国土交通省総合技術開発プロジェクト

循環型社会及び安全な環境の形成のための
建築・都市基盤整備技術の開発

エネルギー自立循環型建築・都市システム技術の開発

報告書

＜上巻＞

平成 17 年 10 月

国土交通省

まえがき

本報告書は、国土交通省の総合技術研究開発プロジェクトの一環として、平成１３年度に着手し、平成１６年度に終了した「エネルギー自立循環型建築・都市システム技術の開発」の研究開発成果をとりまとめたものである。この研究プロジェクトは、住宅居住時におけるエネルギー消費量を、2000 年頃の標準的な値と比較して 50%まで削減可能な実用的技術の組み合わせについて、実証実験等によって明らかにし、普及のための実務者向けの設計ガイドラインを作成すること等を目標に掲げて取り組まれたものである。

わが国におけるエネルギー消費に起因する総二酸化炭素排出量のうち、住宅及びその他の用途の建物における二酸化炭素排出量は、部門別に見ると最も急激な増加を示し、2002 年度においては約 3 割を占めるに到っている。そのうち、住宅においては、1990 年度と比較して 2002 年度時点で 28.8%の増加となっており、国の温暖化対策としては当初の地球温暖化対策推進大綱(2003 年 3 月)における削減目標値を修正し、2010 年度までの期間内に 1990 年度比で 6%増加までに抑制する目標が再設定されようとしている。このような状況では、実効性のある省エネルギー住宅技術の整備と急速な普及が必要不可欠であると言える。

一方で、わが国の住宅には、健康増進、利便性・快適性の向上といった点において改善や質的向上が求められているところもあり、省エネルギー化と質的向上のふたつの課題を同時に解決するために、より合理的な建築技術の確立と普及が求められている状況である。

こうした状況を背景に、この研究プロジェクトによって、住宅におけるエネルギー用途又は関連の深い機能であるところの「暖房」、「冷房」、「換気」、「給湯」、「照明」、「家電」、「排水処理」の各々に対して、①エネルギー消費量削減に実効性を有する要素技術を抽出し、②それら要素技術に関する設計施工方法の要件を明確化し、③住宅建設に係る実務者のための設計ガイドラインを作成することができた。また、各要素技術の実効性を評価し、設計施工方法の要件を明らかにする過程では、性能評価のための実験手法及び評価理論の新たな開発整備を行っており、それらは今後の公的な技術基準等において活かされることを期待するものである。

最後に、本プロジェクトは産・学・官の多大な協力により実施されたものであり、研究実施機関となった国土技術政策総合研究所の担当者、ならびに関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

平成１７年１０月

国土交通省大臣官房技術審議官
中島　威夫

国土交通省総合技術開発プロジェクト
循環型社会及び安全な環境の形成のための建築・都市基盤整備技術の開発

エネルギー自立循環型建築･都市システム技術の開発

報 告 書 目 次 ＜上 巻＞

まえがき

上巻 目次 i

第Ⅰ編 研究概要 1

第1章 研究概要 3
1.1 研究の意義・目的 3
1.2 研究の背景 4
1.3 研究開発の概要 5
1.3.1 要素技術の開発 5
1.3.2 省エネルギー効果の実証実験 7
1.3.3 設計建設支援手法の開発 8
1.3.4 自立循環型住宅の普及推進 10
1.4 まとめ 11

第Ⅱ編 自立循環型住宅のための要素技術開発〔A〕 13

第2章 断熱外皮に関する調査・研究（A１） 15
2.1 断熱外皮委員会の目的と構成 15
2.1.1 断熱外皮委員会の目的と概要 17
2.2 実住宅の熱的な簡易コミッショニング技術の開発 19
2.2.1 簡易コミッショニングの必要性 19
2.2.2 実住宅の熱損失係数簡易実測方法 20
1) 実測手法の概要 20
2) スウェーデンにおける先行研究事例 21
3) 高気密高断熱住宅における実測結果 22
4) C値5程度での実測結果 24
5) 熱・換気回路網モデルによる熱・換気性能のシステム同定 27
6) 熱流センサーの測定誤差要因検討 27
7) 簡易実測手法の実用可能性 28

2.2.3 建築物の省エネとISO規格
－断熱材物性値の整備に向けた基本方針 29
1) 住宅供給の立場から 29
2) 断熱材供給の立場から 30
3) まとめ 30
2.3 断熱外壁の移流と熱・湿気性状に関する検討目的と方針 31
2.4 断熱壁体モデル基礎実験－北方建築総合研究所 35
2.4.1 目 的 35
2.4.2 空気移動を考慮した断熱壁体の基礎実験 35
2.4.3 各取合い部の相当隙間面積の測定 52
2.5 断熱壁体モデル基礎実験－日本建築総合試験所－ 56
2.5.1 目的 56
2.5.2 実験概要 56
2.5.3 実験結果 60
1) 壁体内部の温湿度分布 60
2) 壁体内面の温度分布 61
3) 局所熱貫流率 61
2.5.4 考察と断熱外皮設計上の知見 62
2.6 温暖地向け断熱壁体モデル基礎実験－建築研究所－ 71
2.6.1 目的 71
2.6.2 非暖房室の温湿度性状に対するスタディー 71
1) シミュレーション計算による検討 71
2) 既存住宅における冬季実測データによる検討 73
2.6.3 温暖地向け断熱壁体モデル基礎実験 75
2.6.4 水分移動解析プログラムの検証及び年間シミュレーションによる検討 79
1) 水分移動解析プログラムの検証 79
2) 年間シミュレーションによる防露性能の検討 81
2.6.5 まとめ 82
2.7 断熱された土壁住宅の壁体内熱・湿気性状の長期実測と断熱技術の検討 84
2.7.1 土壁の熱・湿気物性試験 85
2.7.2 断熱した土壁造住宅の躯体及び断熱層内部の熱・湿気性状 88
1) 愛知県に建つ実住宅での試行-土壁の外張断熱- 88
2) 愛知県に建つ実住宅での試行
-土壁外側のクリアランスを利用した発泡プラスチック系断熱工法- 90
3) 滋賀県に建つ実住宅での試行
-土壁外側のクリアランスを利用したボード状繊維系断熱工法- 92
2.7.3 断熱した土壁造住宅の断熱効果-主に室内温熱環境の観点から 93
2.7.4 断熱技法のイメージ 94
1) 壁の断熱 95
2) 床・基礎の断熱 95
3) 天井・屋根の断熱 96
4) 開口部 96

5) 換気・暖房 96
2.7.5 おわりに 97
2.8 在来木造住宅を対象とした壁内通気量に関する検討（G8） 99
2.8.1 検討の目的 99
2.8.2 検討概要 99
1) 数値シミュレーションの概要 99
2) 住宅のモデル化と計算条件 100
2.8.3 シミュレーション結果 101
1) 外気に面する外壁隙間をゼロにした場合のシミュレーション結果 101
2) 外気に面する外壁隙間をゼロにした場合のシミュレーション結果 101
3) CEの隙間がゼロの場合のシミュレーション結果 102
4) CDEFがゼロの場合のシミュレーション結果 102
2.9 防湿層付き断熱材による天井断熱性能の検証実験 104
2.10 性状数値シミュレーション開発 114
2.11 移流の影響が無視できる壁体を対象にした
透湿抵抗比による簡易防露設計法 118
2.11.1 目的 118
2.11.2 相対湿度の分布特性を考慮した定常計算の考え方 118
1) 断面構成に関する条件 119
2) 透湿抵抗比に関する範囲 119
3) 線形モデルによる解析 120
2.11.3 感度解析 120
2.11.4 相対湿度の分布領域を考慮した簡易防露設計法 125
1) レベル1：定常計算による方法 125
2) レベル2：地域毎の内外透湿抵抗比による方法 125
2.11.5 今後の課題 126
2.12 断熱構造を構成する木材のダメージファンクション開発 128
2.12.1 はじめに 128
2.12.2 実験の基本概要 129
2.12.3 実験結果 130
1) 温湿度一定の環境下にある木材 130
2) 温湿度が変動する環境下にある木材 132
3) 一時的に大量な水分で湿潤化する環境下にある木材 134
4) ほぼ飽和状態での木材 136
5) 温湿度一定の環境下にある耐力面材 138
2.12.4 まとめ 139
2.13 木造断熱外皮設計上の知見 141
2.13.1 断熱性能の観点から 141
1) 断熱性能に関する技術的展開 141
2) 土壁住宅の断熱強化について 141
3) 天井断熱に関する知見 141
4) 壁内気流が断熱性能に与える影響 142

5) 開口部の断熱強化 143
6) 躯体断熱強化の効用 143
2.14 RC造集合住宅の断熱設計ルールに関する検討 145
2.14.1 目的 145
2.14.2 構造熱橋部の断熱補強仕様の緩和 145
2.14.3 構造熱橋部の簡易計算法 150
1) 外壁-床（バルコニー）取合い部 152
2) 屋根-外壁取合い部 153
3) 屋根-戸境壁取合い部 153
2.14.4 RC集合住宅トレードオフ基準の検討 153
2.14.5 玄関スラブの断熱補強 162
2.15 断熱工法とRC躯体内の湿気性状基礎実験 163
2.15.1 実験の目的 163
2.15.2 実験の概要 163
2.15.3 試験体と測定点 164
2.15.4 測定結果 165
2.15.5 各試験体内の分布 176
2.15.6 中性化と強度発現に関する検討 180
2.15.7 まとめ 183
2.16 開口部断熱強化 184
2.16.1 断熱戸の熱的効果と課題の整理 184
2.16.2 断熱室内戸の併用効果
…実験棟への装着時のシミュレーションと実測結果 185
1) シミュレーションと実測の概要 185
2) 実験棟の概要 185
3) 暖冷房負荷・主寝室の室温変動シミュレーション 186
4) 実験棟における実測結果(その１)
…主寝室の室温変動と上下温度差の実測 187
5) 実験棟における実測結果(その2)
…窓近傍温度と湿度の実測 190
2.16.3 内外に非気密部材を設置した開口部の熱的性能に関する検討 192
1) 検討の方法 192
2) 既存の付属部材による断熱効果の検討 194
3) 非気密付属部材による開口部断熱の可能性 196
2.16.4 多数室温湿度シミュレーションに基づく窓面結露量把握 197
1) 断熱強化の省エネルギー効果 197
2) 検討の目的 198
3) シミュレーションの概要 199
4) 計算結果と考察 201
5) まとめ 205
2.16.5 発熱ガラスによる室内環境改善効果に関する検証 205
2.17 おわりに 208

本文カラー再掲 211

第3章 高効率暖冷房・給湯システム（Ａ２） 213

3.1 はじめに 213
3.1.1 研究計画 213
3.1.2 研究成果 214
1) 冷暖房システム 214
2) 給湯システム 215
3.2 高効率暖房システム 217
3.2.1 隣室空調条件による消費エネルギー 217
1) はじめに 217
2) 研究の目的 217
3) シミュレーションによる予備検討 217
4) 実験による実態把握 219
5) シミュレーションによる戸境壁断熱の評価 221
6) まとめ 223
3.2.2 温水式床暖房における温水パネル下と配管の断熱効果 224
1) はじめに 224
2) 計算条件 224
3) 計算方法と計算結果 225
4) まとめ 226
3.2.3 戸建住宅におけるエアコンの消費エネルギーの試算 227
1) はじめに 227
2) 暖冷房負荷 227
3) エアコン実測によるCOPの推定 228
4) COPと暖冷房消費エネルギー 230
5) 室内快適性の評価 232
6) まとめ 233
3.2.4 冬期の窓面によるコールド・ドラフトの影響 233
1) はじめに 233
2) 実験室概要 234
3) 2002年度実験 234
4) 2003年度実験 236
5) まとめ 238
3.3 高効率給湯システム 239
3.3.1 給湯消費モードの設定 239
1) 給湯モードの必要性 239
2) 4人家族における湯消費モードの設定 240
3) 2・3人世帯の給湯消費モード設定 243
4) 季節変動について 248
5) その他の実験条件 248
6) 単身世帯について 248

7) まとめ 249
3.3.2 湯節約器具による節水・節湯・省エネルギー効果の検証 250
1) シャワー水栓による節湯効果把握 250
2) 食器洗浄実験 258
3) 食器洗い乾燥機の効果把握 268
3.3.3 追焚・自動保温による消費エネルギー 273
1) はじめに 273
2) アンケート調査 273
3) 追焚・自動保温による消費エネルギーの試算 276
4) まとめ 276
3.3.4 給湯消費エネルギー年間シミュレーション 277
1) はじめに 277
2) 計算条件 277
3) 計算結果 279
4) まとめ 281

第4章 換気・通風システム（Ａ３） 283
4.1 自然風の利用 283
4.1.1 自然風利用の目的と効果 283
4.1.2 建物に作用する風圧力の推定 284
1) 気象データの利用 284
2) 風圧力の推定 285
4.1.3 通風性能確保のための外部開口部計画 286
1) 通風の原理と卓越風に配慮した計画 286
2) ウィンドキャッチャーの利用 289
3) 屋根面の活用 289
4) 温度差換気の利用 291
4.1.4 開口部付属物や内部建具の影響 293
1) 網戸・シャッターの影響 293
2) 内部建具計画 295
4.1.5 通風窓の事例と防犯・騒音への配慮 298
1) 通風窓に求められる性能と窓の事例 298
2) 防犯性に配慮した夜間開放可能窓 300
3) 遮音性能の確保 302
4.1.6 省エネルギー効果の確認 304
1) シミュレーションによる検討 304
2) 実測による検討 309
4.1.7 窓開閉に関する実態調査 316
1) 窓開閉の要因と就寝・通風時の温熱環境 316
2) 窓開閉に関する意識調査 318
3) 窓開放状況に関する実態調査 320
4.2 適切な換気設備 324

4.2.1 換気設備計画の留意点 324
1) 換気設備の種類と得失 324
2) 自然給気口の室内温熱環境への影響 328
4.2.2 省エネルギーに配慮した換気設備計画 331
1) 高効率機器の導入 331
2) 適切なダクト計画 332
3) 全熱交換ユニットの効果 334
4.2.3 ハイブリッド・ベンチレーション 338
1) 温度差利用型・戸建て住宅用ハイブリッド換気システム 338
2) 通風式集合住宅用ハイブリッド換気システム 343
3) 集合住宅用ダクト式ハイブリッド換気システム 347
資料1 第Ⅳ地域にある都市の夏季および中間期における気象データ平均値 351
資料2 戸建住宅（単独タイプ、寄棟屋根） 風圧係数一覧表 353
資料3 戸建住宅（密集地タイプ、寄棟屋根・片流れ屋根） 風圧係数一覧表 354
資料4 高層集合住宅 風圧係数一覧表 355

第5章 昼光利用・照明システム（Ａ５） 357
5.1 研究開発の目的と内容 357
5.2 昼光利用・照明システムの全体像と設計フロー 358
5.2.1 昼光利用・照明システムの全体像 358
5.2.2 昼光利用・照明システムの設計フロー 359
1) 昼光利用の検討 359
2) 人工照明の設計 359
3) 省エネ効果の総合的検討 360
5.3 昼光利用の技術 361
5.3.1 採光手法 361
1) 採光手法の基本－系統的シミュレーションによる検討 361
2) 採光手法の応用－高窓の形態と採光量、室温の関係に関する検討 369
3) まとめ 372
5.3.2 導光手法 373
1) 導光手法の基本－シミュレーションによる検討 373
2) 導光手法の応用－実際の住宅を想定した模型実験 376
3) まとめ 381
5.4 照明システムの技術 382
5.4.1 高効率ランプによる多灯分散照明 382
1) 一室一灯からの脱却 382
2) 高効率ランプによる多灯分散照明手法の提案 382
3) リビング・ダイニングにおける多灯分散照明の評価実験 383
4) 和室における多灯分散照明手法の評価実験 387
5) まとめ 391
5.4.2 照明点灯行動の実態と併用手法 391
1) はじめに 391

2）電灯照明の使い方に関するアンケート調査 392
3）電灯照明の点灯行動に関する被験者実験 395
4）まとめ 401
5.4.3 天気応答型昼光照明制御システム 402
1）はじめに 402
2）研究方法 402
3）天気応答型昼光照明制御システムの概念 402
4）天空輝度分布に基づく作業面照度の算出法 403
5）シミュレーションによる省電力量の算出 406
6）まとめ 407
5.5 昼光利用・照明システムによる省エネ効果の算定 408
5.5.1 目的 408
5.5.2 照明システムによる省エネの可能性に関する検討 408
1）年間の照明用電力消費の試算法 409
2）試算結果と考察 409
3-a）一室一灯照明と多灯照明 410
3-b）昼光照明を行なった場合 411
5.5.3 自立循環型住宅モデルにおける省エネ効果の試算 412
1）自立循環型住宅モデルと省エネ目標レベルの概要 412
2）比較対象ケースごとの照明機器 413
3）生活行為・昼光利用を考慮した年間の照明用電力消費量試算 415
4）照明用電力消費量の試算結果と考察 416
5.5.4 まとめ 418
5.6 昼光利用・照明システムの設計に役立つツールと参照データ 419
5.6.1 昼光シミュレーションソフトウェアの開発 419
1）はじめに 419
2）統合操作パネル 420
3）様々な計算機能 420
4）可視化機能 424
5）相互反射計算の精度検証 425
6）まとめ 426
5.6.2 材料の反射特性の詳細データ 426
1）はじめに 426
2）反射特性値の定義 427
3）反射特性値の測定装置 427
4）測定対象とした舗装材料 428
5）反射特性値の測定角と測定結果 428
6）まとめ 429
5.7 研究開発のまとめ 436
5.8 カラー再掲 437

第6章 開口部・日射遮蔽計画（Ａ６） 439

6.1 はじめに 439
6.1.1 日射熱取得率の構成要素 439
6.1.2 日射熱取得率計算法の現状 440
1) ガラス中央部の計算法 440
2) 次世代省エネ基準の計算法 440
3) 建築物の省エネ基準（PAL）の計算法 442
4) ASHRAE STANDARD 142の方法 442
5) Energy Star Windowsについて 443
6) 各種計算ソフトの最新動向 444
6.1.3 日射熱取得率測定法の現状 444
6.2 日射熱取得率測定法の開発 445
6.2.1 はじめに 445
6.2.2 日射熱取得率測定の原理 445
6.2.3 日射熱取得率測定装置の概要 446
6.2.4 太陽光シミュレータ 447
1) 光源の検討 447
2) 太陽光シミュレータの概要 448
3) ランプハウス部の構成 449
4) 有効照射面積 449
5) 照射方向 450
6) 照度安定性と平行度 450
7) 面内不均一性 451
8) 分光分布 451
6.2.5 計測箱 451
1) 計測箱概要 451
2) ファンヒーター 452
3) 冷却パネル 452
4) バッフル 452
5) 試験体取り付け枠 452
6) 遮蔽板 453
7) 計測箱周壁 453
6.2.6 恒温室 453
1) 恒温室の概要 453
2) 光導入窓 453
3) バッフル 453
4) 気流発生装置 454
6.2.7 実験室の配置 454
6.3 日射熱取得率の測定 456
6.3.1 実験条件 456
6.3.2 試験体 456
1) サイズ 456
2) 開閉方式 456

3）枠 456
4）ガラス 456
5）付属物 459
6.3.3 実験結果と考察 465
1）枠種の違い 465
2）すだれ 465
3）外付けロールスクリーン 466
4）カーテン 466
5）紙障子 466
6）内付けブラインド 466
7）外付けルーバー 468
8）ブラインドシャッター 469
9）ブラインド内蔵ガラス 470
10）ガラス違い 472
6.3.4 実験結果のまとめと今後の課題 473
6.4 日射遮蔽性能の簡易計算法に関する検討 475
6.4.1 背景 475
6.4.2 現状における問題点 476
6.4.3 簡易計算法に関する検討 476
1）基準となるガラスの選定 476
2）普通単板ガラス及び普通複層ガラスAの基準となるガラスの選定 488
3）日射遮蔽部材の遮蔽係数(比率)の決定 489
4）庇等の効果について 489
5）簡易計算法の概要 490
6）表示されていないガラス及び部材について 490
6.4.4 日射遮蔽性能の評価基準に関する検討 490
1）レベル分けの検討 490
2）レベル分けの決定 493
6.5 住宅用日射遮蔽部材の調査 495
6.5.1 調査の内容 495
6.5.2 調査の概要 495
6.5.3 日射遮蔽手法の分類 495
1）日射遮蔽手法の分類 495
2）日射遮蔽効果と形態の整理 497
6.5.4 日射遮蔽性能に関するデータの整理 497
1）カタログによる性能値の整理 497
2）既往の研究による性能値の整理 499
6.5.5 事例紹介 504
1）事例の概要 504
2）事例紹介 504
図版カラー再掲 524

第7章 資源循環システム（Ａ９） 525
7.1 はじめに 525
7.1.1 研究目的 525
1) 研究テーマ別検討内容の概要 525
7.2 節水機器・生ごみ処理機の負荷削減効果に関する研究（節水WG） 529
7.2.1 水まわり、節水型機器の負荷削減、経済効果の検討 529
1) 整理解析法 529
2) 各種衛生機器での効果検討 530
3) まとめ 532
7.2.2 台所、流し周りでの節水効果（実住戸での使用水量調査） 533
1) 研究目的 533
2) 文献調査 533
3) 実測調査方法 534
4) 実験結果及び考察 535
5) 予洗い使用水量の算出 536
6) まとめ 537
7.2.3 各種生ごみ削減方法における試算 537
1) 研究目的 537
2) 試算方法 537
3) 試算結果 538
4) 試算条件の設定と検証 539
5) まとめ 539
6) 課題 539
7.3 水資源を有効利用した屋上緑化に関する研究(実験WG) 544
7.3.1 緑化パレットのシステム概要 544
1) 試験パレットの設定 544
2) 試験パレットの概要 544
7.3.2 屋上緑化利用水の安全性評価 545
1) はじめに 545
2) 再利用水の水質基準 545
3) 循環利用水の細菌によるリスク評価 546
4) 屋上緑化利用水の水質評価 547
5) 屋上緑化利用水の衛生学的安全性の評価 550
7.3.3 浄化槽処理水利用に関する水質・衛生学的評価 559
1) はじめに 559
2) 実験方法 559
3) 結果および考察 560
4) まとめ 568
7.3.4 屋上緑化による熱的効果に関する検討と評価 569
1) 底面潅水式緑化パレットの熱的性能に関する検討 569
2) 平面パネル式緑化パレットの熱的性能に関する検討 575
3) 屋上緑化による省エネルギー効果の試算 579

4) 熱負荷シミュレーション 581
7.4 浄化槽利用による資源循環システムの開発研究 589
7.4.1 はじめに 589
7.4.2 実験方法 589
7.4.3 実験結果と考察 591
1) ディスポーザ対応浄化槽の水質 591
2) タブレット状次亜塩素酸ソーダ消毒による
リサイクル水中微生物の消長 592
3) 生ごみ排出量と汚泥(スカム)処分量 592
4) 余剰汚泥(スカム)の性状と生成堆肥の成分 593
5) 施肥試験結果 593
6) リサイクル水の水質 594
7) 雨水の水質 595
7.4.4 結論 596
7.5 総括 597

委員名簿

委員名簿

Ⅰ編
研究概要

第１章　研究概要

第1章 研究概要

1.1 研究の意義・目的

「エネルギー自立循環型建築・都市システム技術の開発」は、平成 13 年度以降進められて来た国土交通省総合技術開発プロジェクトである。本来ならば完全自立循環、すなわち商用エネルギーも水の供給を受けずに自立した住宅であることが理想ではあるが、それは長期的課題(未来住宅)として念頭に置くとしても、まずは 2010 年前後の京都議定書における約束期限までに、住宅の分野からの二酸化炭素排出抑制への寄与として建築・設備分野からアピールできる技術を早急にとりまとめんとするものである。

本研究は国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所の両者が協力しつつ、民間及び大学等とも連携して取り組んできたものである。4年間の研究期間(平成 13～16 年度)において、省エネルギー率 50%以上を達成することのできる普及型の住宅システム(住宅部品、設備、設計手法、普及手法等より成るパッケージ)の構成を、実証実験、理論計算、実態調査等により明らかにするとともに、行政施策への反映策の検討やモデル住宅の建設を行うことを目的に据えてきた。

自立循環型住宅開発プロジェクトの新規性を挙げるとすれば、それは次の 4 点であると思われる。

1) 省エネルギー効果に関する新しい実証実験手法を確立し、わかり易い形で技術の実効性を正面から捉えようとしている点。
2) 建築躯体と設備、建築設計と機械技術の相互乗り入れ、透明な知識の共有に着目している点。
3) 効果の実証された技術を中心に、普通の住宅設計者や実務者に向けたノウハウの提供に重点を置いている点。
4) 省エネルギー対策を、高断熱化や日射遮蔽性能向上といった躯体技術に限定せずに、通風や自然採光等の、より広範なパッシブ的躯体技術を重視するとともに、実効性を有する設備技術面での対策を重視している点。

1.2 研究の背景

住宅分野での省エネルギー対策を大別すると、断熱気密性や通風性能等に代表される「躯体性能向上」と、エアコンや太陽電池等の「設備効率向上」という 2 つのアプローチで構成される。

前者の「躯体性能向上」に関しては、1980 年に施行された断熱基準(省エネルギー法に基づく)が、1992 年、1999 年と強化改正されたにつれて、断熱化された住宅が普及しつつあるものの、本格的な普及のためには、戸建住宅の大半を占める木造住宅(戸建の7割程度と推定され、中小規模の建設業者によるものが多い)に適用できる実用的な設計施工方法(改修手法を含む)及び評価技術の確立がひとつの課題となっている。マンション等の集合住宅や工業化住宅に関しても課題は残っている。また、冷房エネルギー消費に深く係わる、通風性能及び日射遮蔽性能等の自然エネルギー利用技術についても、設計方法と、より明確な性能評価基準が必要とされている。

もう一方の省エネルギー対策である「設備効率向上」については、1970 年代以降のいわゆる省エネルギー住宅開発を顧みると、建設主体が高度な技術を持ちあわせ所有者による維持管理体制が比較的整った大規模建築とは対照的な条件下にある住宅等小規模建築では、複雑な設計施工や維持管理を必要とするような設備は、たとえ理論的効率が優れていても普及の軌道に乗せることは容易でないことが浮き彫りとなったと言えよう。

また、近年の経済状況下ではたとえ高性能であっても高価格の設備の普及は容易でなく、今後の公的補助を活用しようとする場合においては実際の居住条件下における省エネ効果の裏付けを確認しつつ効率的に適用することが必要となるのではないかと考えられる。

市場では、暖冷房設備システム、給湯設備システム、照明設備、冷蔵庫等の家電、太陽光発電・太陽熱温水器・燃料電池など実に様々な設備に関して省エネ性向上の取り組みがなされている。課題は、気象や立地条件、住宅性能や規模、生活スタイルや意識を加味して、いかに設備を選択し、適切に設計設置するのか、という点であると同時に、「躯体性能向上」と合わせて、どのような設備の組み合わせによって、どの程度の実質的な省エネルギーが達成できるかを明確にすることである。

1.3 研究開発の概要

研究全体は4つの課題群、すなわち「要素技術の開発」「省エネルギー効果の実証実験」「設計建設支援手法の開発」及び「普及促進のための取り組み」から成り、それらには 15 の具体的課題が含まれている。以下、4 つの課題群について概要を述べる。

1.3.1 要素技術の開発

1) 断熱外皮のための新技術開発

建物外皮の断熱化は、暖冷房時の熱損失低減及び屋根等の部位を通じた日射熱取得の低減の主たる手段であり、最重要視されている省エネルギー手法であると言っても過言でない。断熱化は、暖冷房効率の向上とともに、室内温度分布の均一化、ひいては暖房空間の快適性向上への寄与が大きい。省エネルギー基準、住宅性能表示評価基準、低利融資条件としての諸基準の整備によって近年では、特に寒冷な地域を中心として新築住戸における断熱施工が一般化してきている。

一方で、温暖地域においては、多様な在来工法の存在や寒冷地に比して小さな冬期内外温度差等の諸条件を加味した温暖地向けの断熱技術の整備に対するニーズが見られる。今後、温暖地において断熱技術がより普及するためには、そうした、より簡易化された温暖地向けの断熱技術の開発が不可欠な状況にあると言える。そしてその開発のためには、断熱技術に要求される諸性能、なかでも湿害防止性能と実効断熱性能に関する定量的合理的な評価手法の整備が不可欠である。なぜならば、十分に余裕のある安全率を掛けて仕様基準を決めるだけでは、技術の本格的な普及は見込めず、実態に即した仕様基準が必要とされていると思われるからである。

2) 高効率暖冷房・給湯システムに関する技術開発

住宅のエネルギー消費量のうち、暖冷房(特に暖房)及び給湯用エネルギー消費の占める比率は大きい。

建物外皮の断熱性能が向上しても通常の住宅では暖冷房設備が必要であることに変わりなく、設備機器の選択やシステムの省エネルギー設計が必要となる。しかし現状は、新しい機器が頻繁に開発・商品化され、方式も極めて多様であるがために系統的な省エネルギー設計手法の整備が容易ではない。さらに、暖冷房設備により形成される温熱環境は、居住者の使用方法、建物外皮の断熱性、気象条件等の諸条件に依存して空間分布や時間変化が生じるため、その質的評価は温暖地の一般の住宅において特に困難が伴う。

給湯に関しては特にそのためのエネルギー消費が増加傾向にあり、省エネルギー設計法の明確化が喫緊の課題である。

本研究課題では最終的に、自立循環型住宅のための設備計画手法提案を行うことを目標として、そのための主たる方法論として、暖冷房及び給湯の両者に関してシミュレーションを採用する。

第一段階として、シミュレーション手法の同定、計算モデルの構築、既存ソフトウェアの検査等を実施し、第二段階として実証実験結果

を用いてシミュレーション精度の検証を行う。第三段階としては家族類型毎の暖冷房及び給湯スケジュール等シミュレーション計算条件の設定を行った上で、シミュレーションによる省エネルギー性の評価資料を蓄積する。最後に第四段階として、自立循環型住宅のための設備設計手法提案を作成する。

①仮想住宅モデルにおける期間暖冷房負荷、既存のCOP算出式を用いたエアコンに関する期間暖冷房エネルギー消費量、同じく実験室実験で求めた実際のエアコンのCOP予測式を用いた期間暖房エネルギー消費量に関するシミュレーションを行った。

②集合住宅住棟内の隣室空調条件の違いによる期間暖冷房負荷に関するシミュレーションを行った。戸境壁及び床の断熱による負荷削減効果に関しても検討を行った。

③窓面付近のコールドドラフトが室内温熱環境に及ぼす影響に関して被験者実験を行った。

④入浴・シャワー及び食器洗浄行為に関する被験者実験を行い、各種湯節約器具による節湯効果に関する資料を得た。

⑤戸建住宅1事例に関して、ガス給湯機に太陽熱温水器を併用した場合の省エネルギー効果を検証した。

3) 換気・通風システムに関する技術開発

平成 15 年 7 月より、シックハウス対策として改正された建築基準法に基づき、原則的にすべての住宅で全般換気用の機械換気設備の設置が義務付けられた。連続的に運転されることの多いその種の換気設備は、暖冷房設備に比して容量は小さいもののトータルの電力消費量は省エネルギー面で無視できない量となり得る。

一方、通風は日射遮蔽とともに防暑のための重要な手法であるが、定量的評価が容易でなかったために省エネルギー基準他の公的基準類において評価項目となることは極めて希であるものの、住宅実務者及び居住者のいずれもが断熱と同程度かそれ以上に重要視してきた要因である。

換気に関しては、送風機動力エネルギー削減のための換気手法開発と、換気熱負荷の削減効果を有する熱交換型換気設備に関する評価を行った。また、自然給気口からの冷気の侵入による室内温熱環境への影響を実験的に評価した。

通風に関しては、まず通風量の高精度予測法開発のため、開口部の流量係数の予測手法開発、風圧条件に関するデータベースの整備、夜間でも開放可能な開口部の要件に関する検討、夜間における通風を活用した場合の冷房エネルギー削減効果に関するシミュレーションによる評価を行うことによって、自立循環型住宅のための通風計画手法を構築した。具体的には以下の作業を行った。

(1) 換気について

①集合住宅及び戸建住宅用ハイブリッド換気システムの換気性能に関する検証実験

②全熱交換器内部の空気移動モデルの作成と、それを組み込んだ住宅全体の熱・換気・湿気回路網計算

③第三種換気設備用自然給気口からの冷気侵入による温熱環境への影響に関する実験

(2) 通風について

①開口部の流量係数の予測法開発を目的とした風洞実験及びシミュレーション

②開口部実物を用いた流量係数の実測実験

③集合住宅建物に作用する風圧に関する系統的な風洞実験の実施及び戸建住宅の群模型を用いた風圧測定風洞実験及びシミュレーション

④防犯を考慮して夜間も開放可能な開口部に関する要件の検討、開口部の遮音性能に関する実験

⑤窓の開放行為に関する文献調査、アンケ

ート調査及び現場実測調査

4) 昼光利用・照明システムに関する技術開発

オフィスの省エネルギー計画では、昼光照度に応じた照明器具の点灯制御や人感センサーによる点滅等、照明に係る省エネルギー対策が講じられる例も少なからず見られるのに対して、住宅については未だに白熱灯が多数使用されていたり、開口部の大きさや配置に工夫の余地が残るために昼間であっても薄暗い状況があったりと、照明計画と省エネルギーとの接点に係る技術の普及が遅れていると言わざるを得ないのが現状である。

最終的に自立循環型住宅のための昼光利用技術及び人工照明計画を作成することを目標として、自立循環型住宅における昼光利用のあり方に関する検討、昼光利用環境の照度分布等の物理的性状に関する予測手法の開発、昼光利用環境の質的評価方法の整備、昼光利用と日射遮蔽という相反機能間の関連性に関する検討を行った。

5) 開口部日射遮蔽計画に関する技術開発

平成 11 年省エネルギー基準(次世代省エネルギー基準)や住宅性能表示評価法基準等においては、開口部の遮熱性能に関する規定が定められており、日射遮蔽計画の重要性に関する認識が深まりつつある。しかしながら、開口部の日射熱取得率を求めるための計算方法は整備されつつあるものの、実際の日射遮蔽部材を対象とした測定法が未だに整備されていないのが現状である。

また、防暑計画において日射遮蔽は通風と並んで重要な手法であるにもかかわらず、日射遮蔽のための部材については、種類や普及度の点で課題が残されている。

開口部を対象とした実験室における日射熱取得率の測定方法を開発し、主な日射遮蔽部材・手法を対象として日射熱取得率に関するデータの整備を行った。また、自立循環型住宅における日射遮蔽のための計画手法を作成した。

6) 資源循環システムに関する技術開発

住宅において水を消費することによっても二酸化炭素の排出が発生する。すなわち、浄水場での浄化、ポンプによる圧送、排水の下水処理、また湯にする場合には加温するのにエネルギーが消費される。したがって、水や湯の使用量を削減することが二酸化炭素排出の削に直結する。また、家庭から出る生ゴミの処理についても、その回収や焼却などのためにエネルギーが消費され、それに由来する二酸化炭素排出が生じ得る。

自立循環型住宅を計画・設計する際に、環境負荷低減に寄与できる水・ごみ系の要素技術を一般に言われる 3R(Reduce, Reu-se, Recycle)の観点から提案し、その有効性を検討した。

1.3.2 省エネルギー効果の実証実験

住宅は他の工業製品に比べてその利用形態及び使用環境が極めて多様であるという事ができ、供給業者もあえて追跡調査的に性能を検証することは容易ではない。そのため、明確な欠陥でもないかぎり一般に性能評価が顕在化しにくい。しかも、住宅は一般的には 25 年～50 年と使用期間が長いので、早期に住宅分野での自立循環性の向上を図るためには、客観的中立な立場から実際の居住条

件を配慮しつつ実証的に有望な技術を明確化することが不可欠である。

1) 自立循環住宅システムの計画

最初に、家庭用設備機器の種類毎のエネルギー消費性状に関する資料収集を行った。そのために、各設備機器の使用時間を仮定し、標準的な家庭(東京郊外、世帯主 40 才程度の 4 人家族)におけるエネルギー消費量を、エネルギー消費調査統計と比較上で積み上げ推定を行った。また、家庭用設備機器のエネルギー消費効率向上技術に関する情報収集を行い、設備機器の省エネ化を図った場合のエネルギー削減量を推定した。

次に、躯体性能向上による暖冷房エネルギー消費量の削減効果の推定をシミュレーションにより行った。気象条件は東京近郊(温暖地の代表として)とした。最後に、実験において検証の対象とする省エネ住宅システムの設計計画を行った(目標 50%以上)。

2) 実証実験手法の開発と実施

実験住宅として、独立行政法人建築研究所内に建設された RC 造構造体のうち 2 区画(最上階妻側)を使用した。同建物の概要は、1 区画床面積 75m^2 程度、南面配置、断熱仕様は次世代省エネ基準(開口部は交換可能)となっている。

2 区画(西と東)に 2 通りの住宅・設備システムを設置することができる。春・夏・秋・冬、最短でも 10 日間程度の欠損のないデータを収集し、四季のデータを合成して年間の省エネ効果を推定した。従来は、実際に居住されている世帯の実態調査等を行ってきたものの、生活行動や機器設備の特性などが不明なままでおわることが少なくなく、また世帯によって生活行動がまちまちであるために、エネルギー消費構造と様々な工夫の省エネ上の効果を明確にすることが困難であった。そこで、制御機器を用いて生活を再現する方法を採用し、2 つの住戸に同一の生活を再現し、その下で省エネ対策の現実的な効果に関する情報を得んとした。また、実験を進める上で、いわゆる「ライフスタイル」にはエネルギー消費との関係で不明な部分が少なからずあるために、実証実験と並行して様々な被験者実験等、基礎的な実験も実施した。

3) エネルギー消費の詳細実測調査

実証実験において、居住者のエネルギー消費行動を再現する上で、個々の設備や機器類の使用行為や設備等の特性に関する情報が必ずしも十分に得られていないことから、少数の住戸ではあるが、年間にわたって詳細にエネルギー消費に関する実態情報を収集した。用途別をはじめ、設備や機器毎のエネルギー消費量、使用頻度、使用タイミング等に関しても詳細な情報を得た。

1.3.3 設計建設支援手法の開発

1) 設計支援システム

住宅建設に関わる実務者が、室内環境の向上や省エネルギーを意図して或る設計なり企画立案を行う場合に、設計企画案の効果を定量的に評価又は比較する必要が生じることがある。特定の条件に関する評価や優劣比較は、他の専門家に尋ねたところで一見して答え

の出ない場合もあり、ましてや既存物件における実験や実測はコストや時間の点から困難なことが多い。そうした場合に、コンピュータープログラム上で建物や設備の挙動をシミュレートして評価情報を得ることは極めて有力な方法であると言われている。

本サブテーマでは、そうした環境シミュレーション手法という一種の設計支援手法を開発整備することを目的とした。

開発項目はシミュレーションの入力データの作成を容易にする目的を持ったプリプロセッサ AE-CAD の開発と、各種の環境要素に関するシミュレーションプログラムの開発の二つに大別することができる。AE-CAD は、建物の 3 次元情報を直感的に分かり易い画面構成と操作で入力可能にするもので、機器・開口部・各種部材に関するライブラリーを持っている。環境要素に関するシミュレーションプログラムとしては、新たに昼光利用の効果を予測するための Daylighting を開発するとともに、換気通風計算用の Ventisim についても機能の向上を図った。また、熱負荷計算用プログラム SMASH については、最初に AE-CAD 用のデータコンバーターを開発した。

2) ライフサイクルアセスメント

自立循環型住宅は、主として居住時のエネルギー消費に起因する二酸化炭素排出量の削減を目的とした設計建設される住宅であるが、建材の製造から住宅建設、そして改修及び解体までのライフサイクルを通じて生じるエネルギー消費及び二酸化炭素排出に関しても今後の方向性を見据えると研究開発対象に含めないわけには行かない。建築学会、空気調和・衛生工学会、あるいは民間企業においてもライフサイクル評価のための手法開発に取り組まれてきたが、建築研究所においても外部の研究者と協力し 1997 年以来プログラムの開発公表及び改良がなされてきた。

第一の目的は、ライフサイクルを通じた二酸化炭素排出量を最小化するための設計ツールを開発することであり、第二の目的は開発するツールを活用してパラメトリックスタディーを実行し、設計ツールを直接使用しない実務者であっても設計の要点を把握できるような知見を整備することである。

3) 教育･情報提供システム

自立循環型住宅を構成する諸技術を実務者に活用してもらいためには、研究成果を報告書や論文の形式で公表するのみでは不十分であることは明らかであり、実務者にとって使いやすい形式として公表することが不可欠である。このため、自立循環型住宅の設計方法或いは設計上の留意点を取りまとめた設計ガイドラインを最終的成果物の中心に位置付ける必要がある。

最終成果である自立循環型住宅の設計ガイドラインの作成準備段階として、以下のような検討を行った。特に他の研究課題担当者との意見交換を図り、内容調整や協同によるガイドラインの枠組みの構築を進めてきた。

①省エネに関する既往の評価基準事例の調査
②自立循環型住宅の設計プロセスの検討
③省エネ要素技術の検討、一覧整理
④省エネ技術・手法についての情報収集、検討・整理

・個別要素技術に関する情報収集
・集合住宅における省エネ効果のケーススタディー
・一戸建て住宅のケーススタディー整理

⑤設計ガイドラインの構成の検討

・設計ガイドラインの類似事例の収集
・ガイドライン構成の検討・整理
・ガイドラインの試行作成

1.3.4 自立循環型住宅の普及推進

1) ストック改修戦略

わが国の住宅ストックは 4700 万戸程度と考えられており、年間百万戸程度の新築住宅の自立循環型住宅化が図れたと仮定してもすべての住宅の自立循環性を高めるまでに、単純に考えても 40 年の年月を要することとなる。その点からも、改修による自立循環性の向上を推進するための取り組みが必要とされている省エネ改修をはじめとして自立循環性を高めるための改修施工の普及に向けての取り組みが開始されてはいるものの、残存性能に関する診断技術、機能性能向上の予測技術、改修を円滑に低コストで行うための施工システム、などの点において課題が残されており、普及には結びついていない。

地域毎(寒冷地から温暖地まで)及び建築年代毎(～1981 年、～1991 年、～1998 年、1999 年以降の4区分)に住宅の断熱仕様や内外装仕様等の実状を把握するために、インターネットによるアンケートと現地調査を併用した実態調査を実施した。得られた資料は、省エネルギー化を目的とした改修の普及策について検討する際に不可欠となると思われる。次に、部位毎(天井等、壁、窓、床、暖冷房設備)の省エネ改修に要する費用と、省エネルギー効果の試算を行った。費用対効果の優れた改修項目はどれか、建築年代別に改修の主たる動機となる項目(高齢化対応や内装更新等)との相性の良い改修項目といったものをモデルケースに関して試みに選定し、工事費用及び二酸化炭素削減効果について見積もりを行った。

2) 地域住宅生産主体との連携

本州・四国・九州の大半の地域は比較的温暖な気候を有しており、それらの気候風土を加味した断熱・省エネ技術(特に木造住宅のための技術)の検討を、省エネ基準の策定主体の研究及び行政組織と地域の実務家との共同作業によって行った。また、地域的特色を有す住宅及びライフスタイルに適した、省エネ及び居住性向上のための技術を見出し普及させることによって、居住者のニーズに応え、地域性豊かな住宅の存続可能性を高める。体制としては、自治体を窓口として、地域の設計者、工務店技術者、建築技術者と、省エネ及び環境技術分野(例えば断熱、通風、換気など)の研究者、関係する行政担当者が協力して取り組んだ。具体的には、地域の実務家を中心として、徳島県、国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所、財団法人建築環境省エネルギー機構、住宅金融公庫などから専門家が参加して、次のような点に関する検討を行った。

①省エネ・環境技術と地域的な住宅及びライフスタイルに関する情報交換
②地域的特色を有する住宅に関する室内環境やエネルギー消費量に関する実態把握
③真壁造等の構造、各部の構法などに適った断熱工法についての検討
④モデル住宅の設計や建設に関する共同作業による検討会

3) モデル事業実施

自立循環型住宅の開発プロジェクト全体の目的として、2010 年という京都議定書の約束

期限を念頭に置いて、比較的短期的に普及を望める技術に研究開発の焦点を当て、かつそうした技術に関する情報の普及策を見出すために、研究成果の実務者向けの情報提供や、D2(地域連携委員会)における実務者の置かれた実状に関する情報収集等にも努めた。それらの取り組みと同様の主旨を持って、自立循環型住宅プロジェクトの研究成果及び研究組織に集積された技術を直接的に反映した住宅をモデル的に建設することは極めて有効かつ重要な研究手段である。

モデル事業実施委員会は、自立循環型住宅開発委員会において開発される様々な技術の普及を効果的に促進することを目的として設立された。そのために長崎県南松浦郡上五島町において、木造公営住宅(上郷団地・2 棟 3 戸)の建設を行った。

A 棟 2 戸については、平成 15 年 9 月に 2 戸とも入居が完了した。2 世帯とも若夫婦 2 人に生まれたばかりの子供 1 人の 3 人家族である。A棟では、平成 15 年 8 月 6 日に、入居に先立ち温湿度センサーおよび含水率センサーが取り付けられた。また平成 16 年 2 月 6 日に設置されたセンサーの一回目の電池交換、およびデータの取得が行われた。B棟の 1 戸についても温湿度環境の検証を実施した。

1.4 まとめ

以上のように、本研究は、生活上で生じるエネルギー消費に起因する二酸化炭素排出量を半減させることのできる技術の組み合わせの抽出し、それらを実務において活用する際に必要となる技術情報をとりまとめることを目標の中心に据え、取り組んできた。

二酸化炭素排出量の半減技術の普及が容易でないことは、現状のエネルギー消費の増加の現実を見れば認めざるを得ない。「普及」という目標を掲げるとき、全く新たな技術を開発するというよりは、既存でかつ普及の見込みが感じられる技術の効果を検証し、効果があるとすれば住宅設計建設実務においてどのような点に注意して技術を活用すべきなのか、公的基準の対象となる場合に合理的な評価はどのように行うべきであるか、に関する関連技術の整備補完こそ極めて重要な状況にあるのではないかと考えられる。もちろん、全く新たな発想や先端技術への取り組みも合わせて行われることが望まれるが、いわば川下の普及少し手前の、実用を強く志向した技術の開発を待っている既存技術や製品が少なくない状況では、新たな可能性に未知なる部分を含む技術に資源を集中させるのには危険が少なくないと判断される。

本研究プロジェクトのような取り組みは、一見地味な取り組みとなろうが、新築 110 万戸、既築 4700 万戸が消費するエネルギーの抑制策を現実的に考えるならば、当面の技術開発課題のひとつとしては必然性のあるアプローチではないかと考えられる。

研究成果の提示方法としては、多数の学術論文や専門性の高い詳細な報告書とともに、実務者向けにコンパクトな「自立循環型住宅設計ガイドライン」の編纂を行なった。また、平行してやや専門性は高くなるが実務者向けの環境要因に関するシミュレーションツールの開発、居住時のみでなくライフサイクルを通じた環境負荷量(二酸化炭素排出量を含む)の計算プログラムの作成も行なった。

また、自立循環型住宅の考え方、あるいは技術の普及速度を高める狙いから、各地域の実務者との情報交換やコンサルテーション、モデル住宅の建設についても取り組みがなされたとともに、既存住宅の改修による自立循環型住宅技術の普及策に関しても具体的に検討がなされた。

(澤地 孝男)

A

Ⅱ編
自立循環型住宅のための要素技術開発

第２章　断熱外皮に関する調査・研究（Ａ１）

第３章　高効率暖冷房・給湯システム（Ａ２）

第４章　換気・通風システム（Ａ３）

第５章　昼光利用・照明システム（Ａ５）

第６章　開口部・日射遮蔽計画（Ａ６）

第７章　資源循環システム（Ａ９）

第2章 断熱外皮に関する調査・研究（Ａ１）

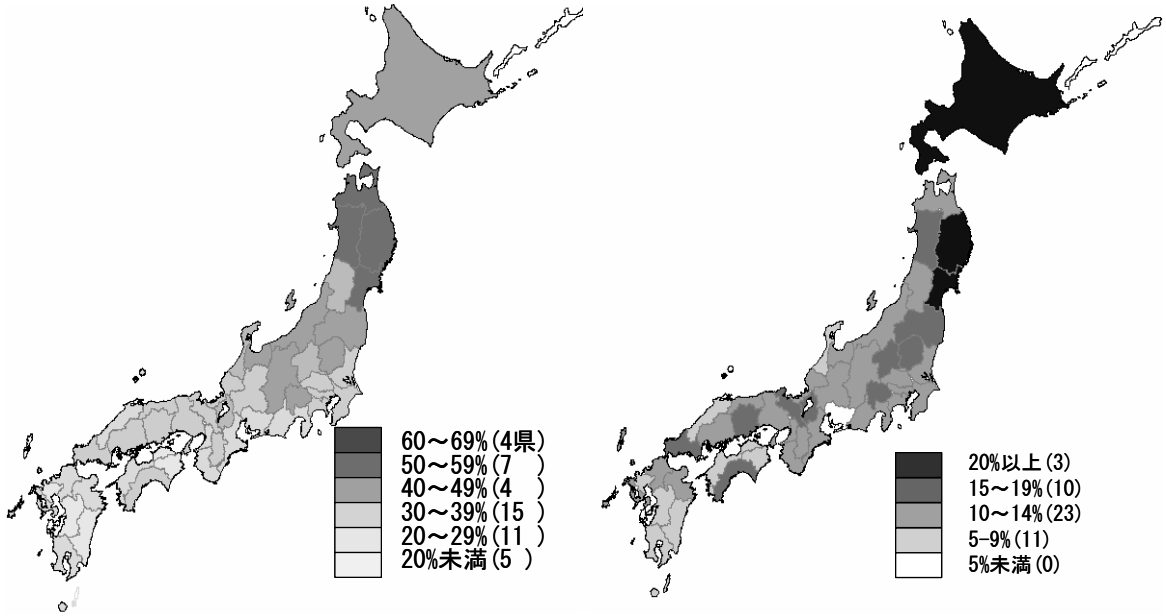
2.1 断熱外皮委員会の目的と構成

断熱外皮技術は、暖冷房負荷低減、住空間の快適性向上に向けた住宅の基盤技術といえる。そして、住宅を構成する様々な要素技術の中で、断熱外皮技術ほど、様々な要求性能とのバランスから構成されている技術はないだろう。そして、断熱外皮技術ほど、多くの職種がかかわり、施工精度に左右され、性能検証が難しい技術はない。

断熱技術の構築に際しては、断熱性、防露性はもとより、施工性、構造安全性、耐久性、防火性、意匠性などとの関連を強く意識し、常に住宅生産者に対して仕様の明解さを心がけることが重要である。それが希薄だと、単なる机上の空論にとどまってしまうのが、この技術開発の難しさでもある。

わが国の住宅技術の展開は、これまで仕様規定に支えられていたといっても過言ではない。住宅省エネ基準においても同様である。その仕様規定は、寒冷地の住宅断熱化の中で構築された知見、技術をベースに成り立っているものである。もともと設計性能の実際性能を一致されることを主眼に確立された‘断熱外皮技術’は、いつしか「高断熱、高気密」と呼ばれ、今や住宅そのものの分類にも使われるようになっている。

冬期気候が穏やかな温暖地では、もともと住宅断熱化に対する関心は低い。さらに寒冷地に比べて住宅全体に占める暖冷房エネールギーの割合が低く住宅断熱化のニーズ・優先度が低いことなどが、普及率が低い要因といえる。さらに「高断熱・高気密」という住宅イメージへの漠然とした違和感、地域特性に見合った住宅技術開発の欠如が、設計性能と実際性能が乖離したままの‘断熱’住宅建設を支えている。



出典:平成12年度・13年度　住宅金融公庫　公庫融資住宅規模規格等調査報告　(平成13年度で11万4千戸)

(a)平成4年、平成11年基準対応住戸　　(b)平成11基準対応住戸

図 2.1.1　平成4年、平成11年基準対応状況

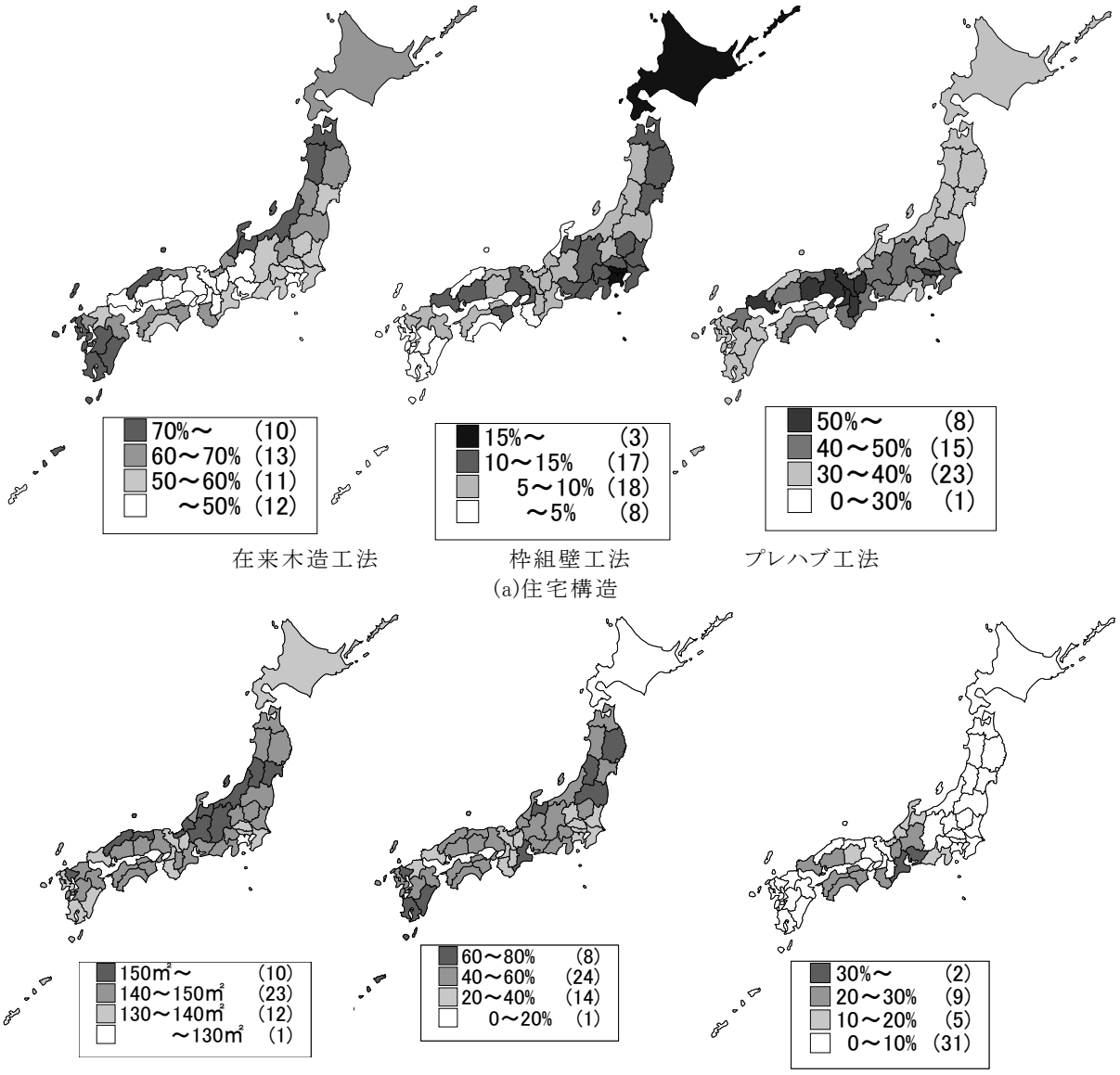


図 2.1.2 住宅属性と省エネ基準対応率（DATA：住宅金融公庫1998）

参考までに、図 2.1.1に、平成4年省エネ基準、平成11年省エネ基準対応住宅の建設・普及状況について住宅金融公庫融資住宅の対応率を示す。図から関東・中部日本以北での住宅断熱化はかなり進んでいるが、それに比べて温暖地での対応は遅れていることがわかる。特に平成11年基準対応率では、中部日本、北陸など、いくつかの地域で明らかに対応が遅れている状況がうかがえる。

一方、住宅属性(図 2.1.2)との関係から考えると、前述の地域は、在来木造工法の建設比率が比較的高い、延床面積の大きな住宅が多い、和室続き間を持つ住宅が多い、土壁造住宅のような伝統的木造住宅が多いなどの特徴をもつ地域と重なる傾向があることも見えてくる。

寒冷地はもとより温暖地においても、それぞれの地域に適応する住宅技術の最適解あるいは選択肢を探る作業は重要である。

住宅の耐久性を損なうことなく、現状よりも少ないエネルギーで、居住空間から極端な温度むらを取り除き、住宅設計性能と実際性能が一致し、持続可能な生産体制によって構築され、地域で進化できる、‘寡黙な断熱外皮技術’の本格的な研究開発は、ようやく第一段階に進みつつある。

2.1.1 断熱外皮委員会の目的と概要

1) 目的

温暖地の住宅断熱化の定着と暖冷房負荷低のため、寒冷地技術を簡略化した普及解を探ることが本とらわれず委員会の目的ではない。寒冷地がそうであったように、わが国の地域特性にあった最適な断熱技術を開発することが本委員会の目的である。

具体的には各地域に相応しい‘寡黙な断熱外皮技術’を開発するための基礎情報を整備し、施工性に優れ湿害(壁体内部結露等に起因する木材腐朽等)が生じない断熱技術の評価システム開発と実践的技術提案を行うことを主たる目的としている。

そして、得られた知見を住宅生産者にとって手法の選択性を損なわず、なるべくわかりやすい形で示していくことも主たるねらいに据えている。

2) 委員会の概要

本委員会は、2002年度より11のタスクグループからなる戸建住宅部会とRC造等集合住宅の断熱技術を対象とした集合住宅部会から構成される(表 2.1.1)。

G1では特に平成11年省エネ基準、住宅性能表示評価基準等に関して、戸建住宅、RC造集合住宅を対象に、設計施工の観点から仕様バリエーションを拡大すべき点など整理した。

G2では、住宅熱損失係数の現場実測手法の開発、住宅の運用エネルギーに大きく関係する断熱材等の長期物性に関する諸外国の動向調査等を行い、今後の熱物性表示方法の方向性について考察した。

G3では、基礎断熱住宅の床下地盤の熱応答等が初期的暖房負荷に与える影響等に関する検討を行った。

G5では、既往の技術にとらわれず、地域性、外界にハイコンタクトな今後の住宅技術、断熱外皮技術のあり方に関していくつか提案を行った。

G6では、住宅断熱化に重要な開口部を対象に付属部材等による断熱強化手法を検討し、実験と数値解析により設計上の知見を導いた。

G7、G8、G10では、木材腐朽関数の開発に向けた基礎実験、温暖地を対象とした新断熱技術の実験検証を行った。

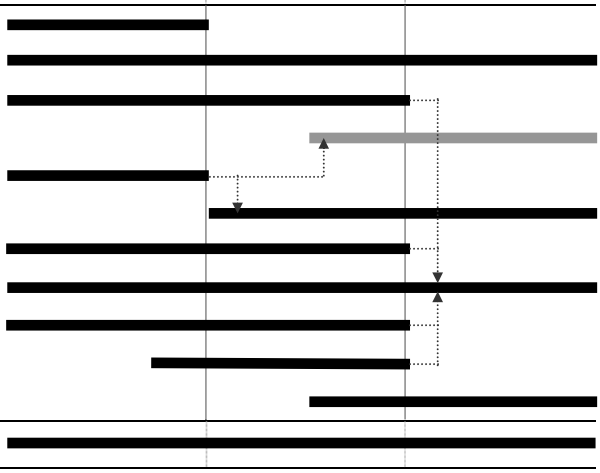
G9では、主に愛知県、滋賀県、徳島県、長崎県において、伝統的地域住宅、県産材活用型住宅の断熱化に向けた地域材料の基本物性を把握し、既存住宅、試行住宅の温熱環境、気密性能(全体、部位別)等の把握を行った。特に土壁造住宅に関しては、その住宅・構造特性を尊重した新たな断熱技法を提案した。

G13では、A1での研究成果を性能規定と仕様規定の中間に位置づけされる準性能規定開発を試みた。

集合住宅部会では、各種断熱工法がRC躯体の中性化に及ぼす影響に関する基礎実験の実施、次世代省エネ基準で規定される住宅熱損失係数に基づく部位間トレードオフ規定、構造熱部の断熱補強の簡易化に向けた検討を行った。

表 2.1.1 A1 断熱外皮委員会タスクグループの構成、活動スケジュール

	タスクグループ	2002	2003	2004
戸建住宅部会	G1 省エネ基準等の課題検討			
	G2 熱的簡易コミッショニング技術開発			
	G3 基礎断熱技術情報開発			
	G4 自然室温等の評価指標開発			
	G5 『あるべき住宅像』の提案			
	G6 開口部の断熱補強手法開発			
	G7 木材等 damage-function 開発			
	G8 新断熱技術開発			
	G9 地域住宅支援			
	G10 断熱技術評価手法開発			
	G13 断熱技術ガイドライン作成			
集合住宅部会 G11				



なお、G4は断熱効果を室温で評価し、今後の温暖地の断熱水準を検討すること目的に設立を予定していた。後期より活動を開始する予定でいたが、その検討の殆どは教育・情報提供システム委員会(C3)で実施した。研究成果については、「自立循環型住宅への設計ガイドライン」を参照されたい。

次節より研究内容を紹介する。

(鈴木大隆)

2.2 実住宅の熱的な簡易コミッショニング技術の開発

2.2.1 簡易コミッショニングの必要性

循環型社会の基盤要素の一つである住宅の長期耐用化技術に関して、これまで、主に構造的耐久性の観点で様々な方策が盛り込まれてきた。これらの技術により、住宅建築そのものの物理的な耐久性は50年から100年を目標とされるレベルに向上している。しかしながら、欧米に比して格段に短いとされるわが国の住宅寿命は、構造的耐久性だけに左右されているわけではないことが様々な調査により明らかにされている。構造的限界により放棄・解体されるのではなく、住み続ける、使い続ける魅力、もしくは余儀なくその場を離れた住人に新しく変わって住まうに足る魅力が、その建物になくなることが大きな原因の一つとして挙げられる。従って、住宅の長期耐用性を論じる際には、その建物の“魅力”についても検討する必要がある。

住宅の魅力を形作る要素には、デザイン・プランニングなどの設計・計画的な配慮も重要であるが、室内環境に影響の大きい諸性能をしかるべきレベルに維持することも極めて重要である。本節では、断熱外皮技術の開発の中で、住宅の建物性能と設計法を明確にすることを目的とした一連の研究活動について述べる。これは住宅の長期性能保証と中古住宅市場の活性化の基礎となる。

従来の「耐久性保証」の観点は、建築物の形態保存の保証であるが、性能の長期保証を行うには、断熱性能・気密性能に関する経時変化程度の確認を行う必要がある。

同時に、初期性能の評価を明確に行うことも必要である。これについては、1)計画の妥当性、2)材料の妥当性、3)施工の妥当性、それぞれに関して、明確な評価手順の構成を検討する必要がある。

住宅の気密性能については、1時間程度という短時間で実測する手法があるため、目標とする性能の設計・施工は困難であるが、検証は簡易に行うことができる。ところが、断熱性能については、これに相当する技術はまだ明確ではない。

品確法の施行により、住宅の断熱施工に対する信頼性が向上したが、設計意図通りの断熱配置が確実になっているだけで、厳密には、実際の居住状態での断熱性が確保されているわけではない。加えて、断熱材自体の性能劣化に関する懸念が払拭されてはいない。すなわち、住宅断熱性能の不安定要素としては次が考えられる。

①断熱材の断熱性能
②熱橋対策の精度
③施工の確からしさ
④気密程度の影響

これらは、建設後の住宅で評価することで、定量化され、明確になると考えられる。

海外では、我が国の性能表示制度の手本となったフランスにおける性能管理システムが有名であるが、住宅の断熱性の評価の点では、次節に示すスウェーデンSPによって開発されたオール電化プレファブ住宅を対象とした実証手法が唯一といえる。我が国の場合は、オール電化住宅の建設割合や床部の損失熱の割合が異なるため、消費エネルギーの記録手法や係数の同定を行う必要があるが、基本的には我が国でも展開可能な、有望な手法の一つと位置づけられる。

スウェーデンSPの手法のような住宅の断熱性能評価手法を新たに開発するには、次の二つのアプ

ローチが考えられる。

①室内温度変動等からの疑似Q値同定
②壁体部位毎のK値の実証

それぞれに手法について、理論的アプローチ、実践的アプローチの2つのアプローチがあると考えられる。よって、ここでは、表 2.2.1の作業区分に整理する。具体的には表 2.2.2に示す。

表 2.2.1 コミッショニング手法マトリックス

	疑似Q値計測	K値計測
目的	既築住宅熱性能検証 設備改修診断	断熱欠損確認 設計性能評価
理論整理	決定論的手法 確率論的手法	定常法 非定常法
実践検証	制御室温 変動室温	定常法 非定常法

表 2.2.2 予定作業

	内容	
理論＆物性整理	文献収集＆整理	
	理論構築	疑似Q値計測
		K値計測
	断熱材物性整理	
実証実験結果整理	基本計画作成	
	実証実験	疑似Q値計測
		K値計測

2.2.2 実住宅の熱損失係数簡易実測方法

1) 実測手法の概要

以下では、理論的整理における重要な課題となる、計測におけるばらつきの評価について、基本的な考え方とアプローチのバリエーションを述べる。

外気温湿度の気象変動、建材の物性値、様々な実験における誤差など、住宅の熱性能を評価する際に、ばらつきを示すものは多い。ばらつきを含む現象は、確定的な値と、それからのばらつきで表現される。住宅の実際の現場で断熱性能の明確化を行うには、このばらつきに対して、なんらかの扱い方を決めておく必要がある。

ばらつきの処理として、最も簡単なものは、平均値を用いてばらつきを無視することである。この手法は、本来は、工場で均質に生産された多くの部材から代表的な性能値を表現することに適しているが、個別事例の計測において、平均化処理を行うには、逆にばらつきを無視しても良い、という保証を考えておく必要がある。実際には、現場で性能を評価すること自体、ある意味では、平均値からのばらつきそのものを対象としていることになっており、また、一般的に、なんらかの事故が発生する場合は、ばらつきに起因していることが多い。従って、安易な平均化によるばらつきの無効化操作は可能な限り行わず、なんらかの数値表現を行うことが望ましい。

ばらつきの数値表現は、基本的には平均に対する分散による。これは全ての統計・確率手法に共通している出発点である。ばらつきを正規分布に立脚する白色ノイズ分散（複数の因子が関与する場合は共分散）として扱うことは多くに数学的表現手法に共通している。以下では、代表的な数値表現を示す。

(1) 定常系統計モデル

ばらつきの要因に時変動はないとして、平均値と分散の2種類の数値で表現するモデル。直感的であるが、実際の現象では時変動があるため、表現可能範囲は広くない。

(2) アンサンブル平均の最小二乗に基づく物性値同定手法

熱回路網法により空間方向の質点間の相関を数式記述した構成方程式系を時間

方向に離散化し、ある時間で平均化した値を正値として、この間の係数を最小二乗法により同定する手法である。

空間方向の多様性、時間方向のばらつき、共に拡張性が高く、複雑な平面形にも対応しやすい。現実には、経時で係数は変動するため、時間方向の平均(アンサンブル時間)間隔の決定に技術が必要である。

(3) 時系列モデル＋ばらつき要因の加算モデル

AR(自己回帰)モデル、MA(移動平均)モデル、ARMA(自己回帰移動平均)モデル、ARIMA(積分自己回帰移動平均)モデル等の離散データの重み平均を予測値とする時系列モデルに、それぞれの時点でのばらつき要因を白色雑音として加算する手法である。

中でも、カルマン・フィルターは、コンピュータの繰り返し計算に適した考え方で、応用範囲の広いモデルである。これを物性整理に用いるには、決定成分の係数同定に用いることになる。

(4) 確率微分方程式

マルコフ過程、伊藤の積分方程式に基づき導出される、確率変数そのものの微分方程式(Fokker-Plank方程式)を初期値・境界条件を与えて直接計算する手法である。計算が極めて煩雑であるため、検討事例は多くないが、適用範囲の広さの点では、期待が大きい。

以上のうち、おそらくは最小二乗に基づく手法、もしくはカルマン・フィルターを用いる手法か、FP方程式を用いる手法に基づき、ばらつき成分を抽出することが最も汎用性が高いと思われる。

2) スウェーデンにおける先行研究事例

住宅の性能保証システムとしては、フランスにおける先行事例が有名であるが、住宅の断熱性能についての規定はない。我々の調査では、スウェーデンにおける工業化製品全般の品質保証システムの一環として、オール電化住宅を対象とした、断熱性能同定手法がSandbergらにより提案されている。[1)]

この手法は、工業製品全般に関する性能保証システムP-Markに含まれる。P-Markそのものは、再現性のある高い品質を保証する生産設備の管理が基本であり、具体的には、品質計画のチェック、生産品・ストック・最終製品の査察、日誌の査察、生産指示書の査察などで構成されている。製造全体のほぼ5%の割合でランダムな査察が実施され、認可された仕様からの逸脱があれば記録され、このリストは製造業者に送られ、いかにしてより効率的で誤差の小さな製品を作るか、という情報を製造業者に提供する。

新築プレファブ住宅に関する品質管理システムは、SPならびに関連する生産業者・専門家集団との共同作業により開発され、1989年から運用されている。住宅建設のP-Mark品質管理システムは、計画の設計段階から、施工を経て引き渡し段階まで、全ての段階を含んでいるが、供給される住宅の1%において、工事中の建設現場でのランダムな査察が行われる。重大なミスの殆どが建築現場で発生するからである。

この査察の内容は、基礎・建築物・付帯品(配管・ダクト等)それぞれについての図面・設置指示書、排水・断熱・防湿手法の指示書に対する、建設施工現場での確認である。

また、供給される住宅の4%において、居住開始2ヶ月後に査察が実施される。この時点での査察対象には、基礎、外部衛生設備、浴室、トイレ、洗濯室、キッチン等の現況確認の他、外壁の断熱性能と気密性能、熱的快適性、暖

房能力とエネルギー消費、換気経路と換気能力等の計測が含まれている。具体的な計測対象は、換気ダクトからの騒音および空気漏れ、外壁の熱画像撮影等である。

このスウェーデンのシステムと我が国のシステムの大きな相違点を表2.2.3にまとめる。すなわち、スウェーデンのシステムの方が、より生活・住宅使用の実態に則し、かつ、実際のパフォーマンスの評価に近づいている。逆に我が国のシステムには、現場実証手法の欠落と共に、住まい手の生活スタイルの考慮が組み込まれているとは言えないことが明かである。

Sandbergらによる提案手法は、オール電化住宅を対象に、建物の熱エネルギー損失、すなわち建物の熱性能を、単純な計測と計算により同定する手法として開発されたものである。

日射の影響を受けない夜間の建物内外温の変動と電力使用量を1週間から10日間程度測定し、両者の結果から断熱性能を算出する手法であるが、基礎断熱を前提とする住宅が対象であるため、地盤への流出熱を予め整理した値で置換するところに工夫がある。

表 2.2.3 性能評価システムの現場検査相違点

	スウェーデン	日本
実施対象	1%ランダム抽出	全件
実施時期	抜き打ち	事前通達
検査手法	査察と実測	査察のみ
検査対象	断熱性能、暖房システム、換気システム	断熱材

3) 高気密高断熱住宅における実測結果

(1) はじめに

本節では高気密高断熱仕様の実住宅を用いて実施した夜間発熱実験結果と実験実測から推定される熱損失係数推定結果について述べる。

(2) 実験概要

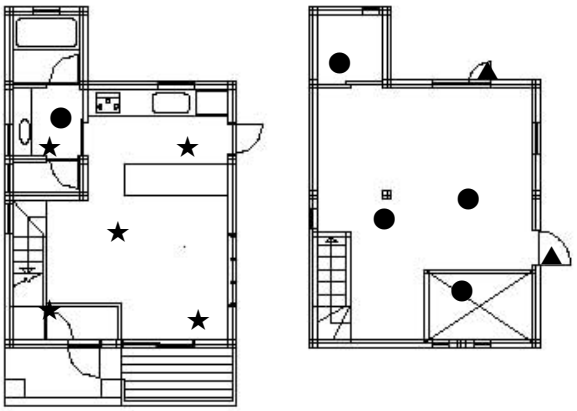
ここで対象とした建物は、三重県松阪市に建つ建築面積約36㎡(11坪)の高気密・高断熱仕様のモデルハウスである。住宅概要を表2.2.4に、住宅平面図を図 2.2.1に示す。設計図書から得られる本モデルハウスの熱損失係数(総括熱貫流率)は181.94[W/℃](換気回数n=0.5、Q値:2.50)である。

(3) 測定項目

ここで必要な測定項目は、温度、消費電力の2項目であるが、本住宅の換気量測定のために二酸化炭素濃度についても計測を行った。温度についてはT型熱電対により室温(室内各所26点)、外気温(地上5mの高さ)、床下温度(床下各隅部付近4点と中央部の5点)の計33点の測定を行った。二酸化炭素濃度については1、2階の室中央及び外気の3点を二酸化炭素濃度変換器(㈱ヴアイサラ製)を用いた。各測定項目のデータ計測インターバルは 1 分間隔とした。

表 2.2.4 実験住宅概要

所在地	三重県松阪市久保町
工法	FP在来工法
延床面積	72.88m^2
気積	239.63m^3
C値	0.57cm^2/m^2



※計測装置の配置
●…室温計測ポイント(2階と同位置の1階●は略)
★…床下測定ポイント ▲…外気測定ポイト

図 2.2.1 実験住宅平面図

(4) 実験期間および夜間発熱スケジュール

夜間発熱実験は'03年10月11日から20日、'04年1月27日から2月1日、'04年5月13日から18日、'04年8月4日から9日の各季節1回実施した。発熱スケジュールは日射が無い夜間帯であるPM6:00～AM6:00の12時間とし、発熱量は熱損失係数設計値から加熱用電気ヒーター1台当たり室内外温度差が5℃程度となるように決定した。

(5) 実験結果

実験実測結果の一例として、秋季実験時の夜間発熱時間帯(A.M. 4:00)における室内上下温度分布を図 2.2.2に示す。

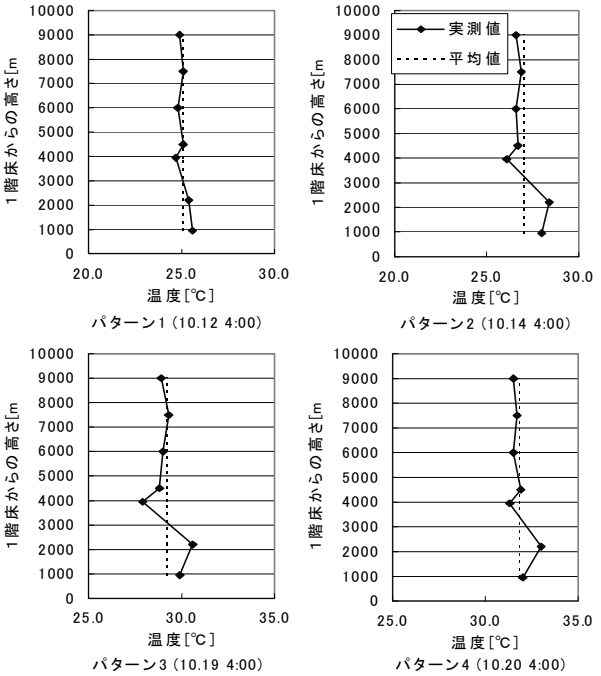


図 2.2.2 住宅内上下温度の一例

図に示すように、比較的発熱量が大きい場合にでも室内上下温度分布幅は2℃程度と非常に小さく、本実験住宅程度の規模・断熱性レベルであれば室内温度分布は非常に小さいことが明らかとなった。なお、結果については省略したが、床下温度についても測定5地点間の差は最大で1℃程度と非常に小さかった。

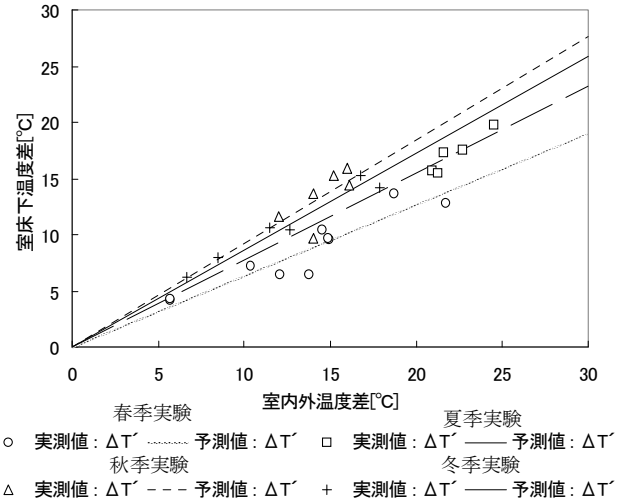


図 2.2.3 室内外温度差と室床下温度差

表 2.2.5 各実験時の温度差係数

	温度差係数[-]	相関係数
秋季実験	0.64	0.93
冬季実験	0.77	0.90
春季実験	0.92	0.70
夏季実験	0.87	0.97

以上の結果から同時期の計測においてはその発熱量の大小にかかわらず、一定の温度差係数を用いることが可能であることが明らかとなった。

(6) 熱損失係数推定結果

各実験実測値からの熱損失係数推定結果として、室内外温度差と発熱量(消費電力量)の相関関係を図 2.2.4に熱損失係数推定値(勾配)を表2.2.6に示す。

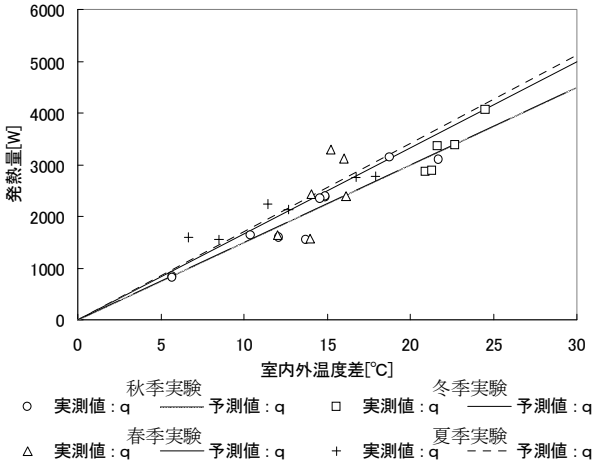


図 2.2.4 発熱量と室内温度差

表 2.2.6 熱損失係数推定結果

	熱損失係数[W/K]	相関係数
秋季実験	150.61	0.96
冬季実験	150.34	0.81
春季実験	166.65	0.62
夏季実験	170.34	0.93

なお、ここでは換気量のばらつきを取り除くため、換気による熱損失を除いた熱損失計数を示している。図に示すように、実験毎に若干異なる勾配となっているが、両者は非常に良い相関となっており、表に示すように熱損失係数推定値は150～170[W/K]と10%程度の範囲であった。ここで推定された結果は現場実測からの簡易推定という観点からは、比較的良好な結果であり、換気熱損失を除いた設計値の140[W/K]と比較するとやはり一割程度大きな値であった。

以上のことから、比較的気密性が高く、規模の小さい住宅においては本簡易推定法適用の可能性が示されたと言える。

(7) 今後の課題

今後は建物熱容量の影響や夜間放射の影響を詳細に検討し、その絶対値の評価および推定誤差の範囲を明確化して行く必要がある。また、種々の断熱・気密性能、規模の住宅においても同様の実験を行いその適用範囲を明確化する必要があると考える。

4) C値5程度での実測結果

温暖地において、気密化の特別な努力を行っていない通常程度の気密性の住宅を対象として、熱損失係数実測の検討を行った。

計測対象は京都府相楽郡木津町相楽台に建つ鉄骨2階建て、延べ床面積163m^2、の戸建住宅であり、断熱・気密性能は次世代省エネ基準に準拠している。計測期間は、2004年11～12月、このなかで、計7回のトライアル(2夜連続を5回、1夜のみ2回)を行った。室内発熱は、強制対流型電気ヒータ(弱600W、強1200W)6台により行い、発熱量は適宜設定した。屋内8点の温度を測定し、これらの代表床面積による重み付け平均の結果を屋内温とした。結果の一例を図 2.2.5に示す。

1分毎の計測値1時間分から求めた標準偏差は、1時間以内の室内外温度差のばらつきを示し、これが小さいほど内外温度は安定していたことを示す。夜間は標準偏差0.3℃以下で、概ね安定していた様子が伺える。標準偏差が最低の時の内外温度差は、この結果では16.2℃であった。

10夜の結果、深夜12時から3時の1時間毎の室内外温度差とその時の発熱量の相関を図 2.2.6に示す。直線は計測回毎に、原点を通るように定めた回帰直線である。直線の傾きがQ値(正確にはQ値に述べ床面積を乗じた数値)を表すことになるが、相当にばらついている。

本結果には、夜間の低温放射による熱損失の影響が含まれていない。ブラントの式を用いて、外気温と相対湿度の計測値より天空放射(低温放射)量を求め、表面対流熱伝達率で除して相当外気温とした。結果を図 2.2.7に示す。放射冷却を考慮することでQ値が全体に小さくなるが、同時に計測回数毎のばらつきも小さくなった。

次に、夕刻から深夜までの外気温度変動の程度とQ値の相関を見た。結果を図 2.2.8に示す。外気温変動が小さいほどQ値のばらつきが小さい傾向が見られた。

室内空間に温度差が大きいほど、ここで単純に床面積で重み付け平均している屋内温に誤差が生じる。

屋内温度分布とQ値の相関を見た。室内の8箇所の計測点の中で同時刻の最大値と最小値の差を温度分布としている。結果を図 2.2.9に示す。温度分布とQ値にはあまり大きな相関は見られないが、どちらかといえば、温度分布が大きくなるとQ値も大きくなる傾向が見られる。

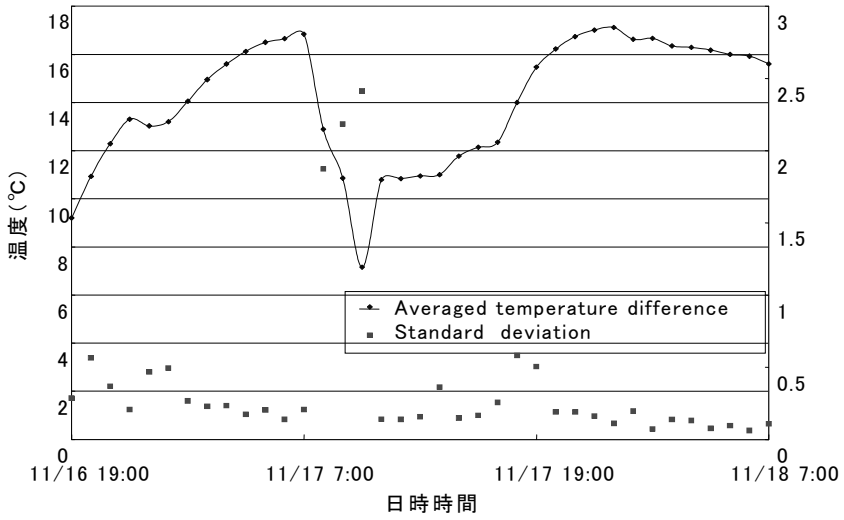


図 2.2.5 内外温度差と標準偏差の一例

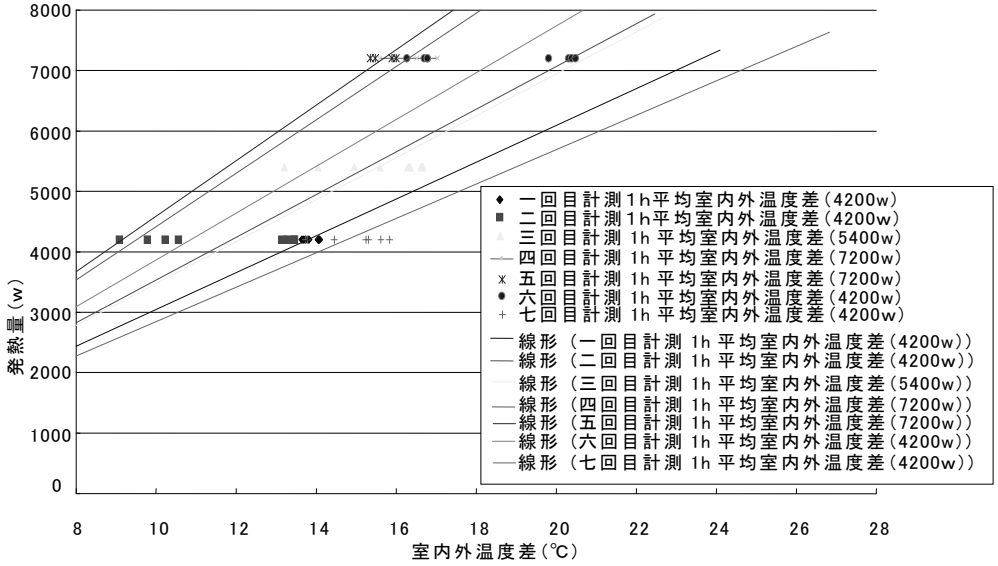


図 2.2.6 室内外温度差と発熱量の相関

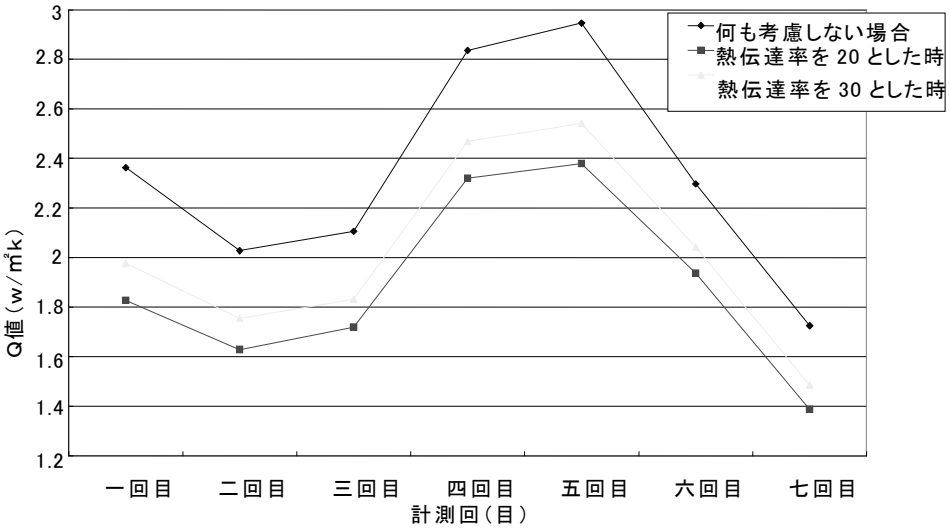


図 2.2.7 放射冷却考慮によるQ値の変化

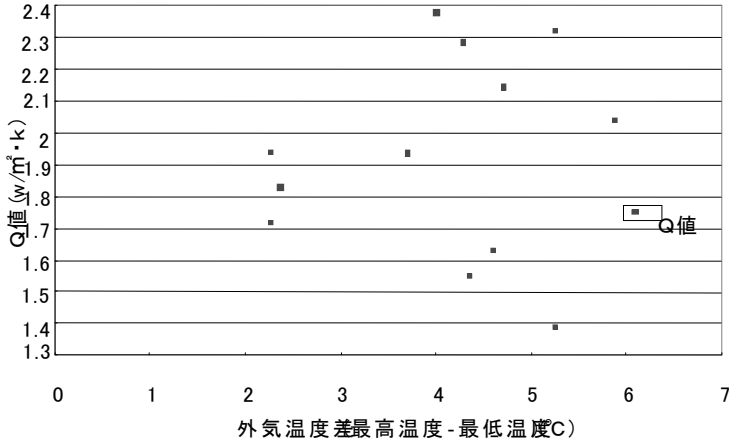
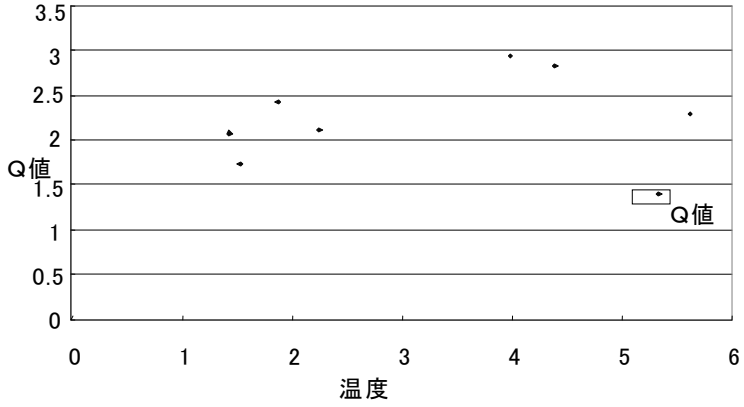


図 2.2.8 外気温の低下程度とQ値の相関



採用されたQ値とその時の室内温度分布(室内最高点一最低点)

図 2.2.9 室内温度分布とQ値の関係

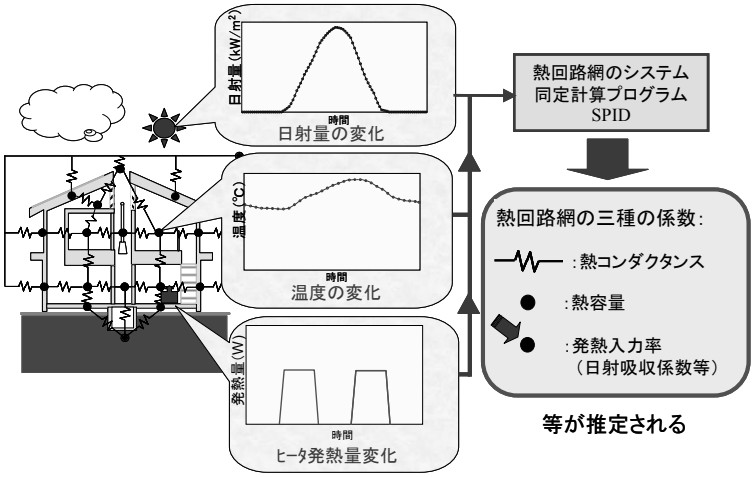


図 2.2.10 熱回路網のシステム同定

以上、C値5程度の戸建住宅について、Q値実測手法の適用を試みた。結果は、高断熱・高気密住宅における適用結果に比較するとばらつきが大きく、得られたQ値には50%以上の差が出た。決して小さいとはいえないばらつきであり、これの原因の同定を行った結果、低温放射、屋内温度分布の影響が無視できないことがわかった。

5) 熱・換気回路網モデルによる熱・換気性能のシステム同定

建築の熱的性能には隙間風などの換気量も大きく影響するので、同時に換気量の測定も行うことが望ましい。多数室系での室間換気量も把握する多数室換気測定においてトレーサーガスを用いる場合に、これはガスの拡散系と見なされる。一方、建築伝熱系は温度の拡散系と考えられる。この測定法は、熱や換気の性能把握を、これらの拡散系のシステム同定として捉えることに基づいている。

一般的に拡散系のモデルは次の方程式で表わされる。ここにxは温度やガス濃度を、mは熱容量や室容積を、cは熱コンダクタンスや風量を、gは発熱量やガス発生量を、rは日射吸収係数やガス分配係数を表す。添え字番号は節点番号を表すが、cやrの添え字番号は方向性を持ち、cijはjからiへ向かう風量等を意味する。このシステム同定の数学的な原理は、そのxやgの変動値を測定し、最小二乗法によってm、cやrの係数を推定するものである。この計算プログラムをSPID(System Parameter Identification) と呼んでいる。また推定誤差の各種の統計的な評価指標の出力も加え、入出力の処理プログラムも伴った総合的プログラムをSPID-Cと呼んでいる。

$$\sum_{j=1}^{n} m_{i,j} \dot{x}_j = \sum_{j=1}^{n+no} c_{i,j} (x_j - x_i) + \sum_{j=1}^{ng} r_{i,j} g_j$$

本委員会では、このSPID-Cを紹介し、適用例を示し、また試用を募った。

適用例の一つは、旭川の北方建築総合研究所にある実験住宅に関する簡単な5節点の熱回路網モデルを仮定し、NETSと呼ぶシミュレーションプログラムによって模擬的な測定値を数日分生成し、SPIDによって2個のm、7個のc、1個のrを推定し、相関係数が0.9997のシステム同定精度を得たものである。

もう一つの適用例は、同じ建物に関して実際の測定値で試したものである。この場合は正解が不明なので、システム同定精度は決定係数CODや推定された係数の推定誤差分散によって評価した。この結果CODが0.7程度と、あまり良好ではなかった。これは建物が吹き抜け的空間を有し、簡単なシステム同定モデルでは表現が難しいことや、各室での電気ヒーター発熱のオンオフによる室温応答が明確に現れていなかったこと等が原因と考えられる。

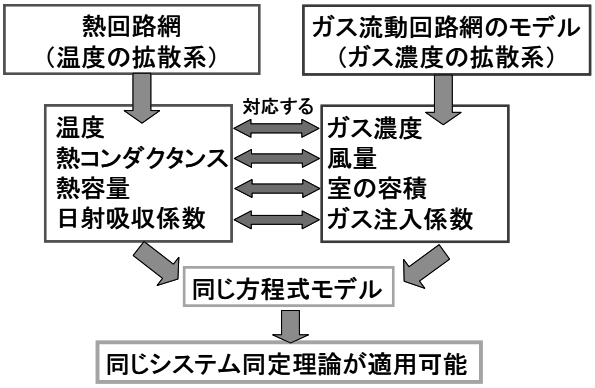


図 2.2.11 換気と熱性能測定の共通性

本システム同定理論を十分に実適用し検証するまでに至らなかったが、模擬測定値では満足できる評価性能が得られ、期待できる方法であることが示された。今後も他の場で検証と展開を行っていく予定である。

6) 熱流センサーの測定誤差要因検討

現場実証では、なんらかの意味で、熱流を直接測定することが有用であるが、熱流センサーを用いた計測結果では、極めて大きなばらつきが記録されることがしばしばであり、値のばらつきを理由に、精度に欠ける機器であるという認識を持つ研究者が多い。以下では、熱流計測に関する検討事例を示す。検討は、理論的に起こりえる熱流の変動程度を数値的に予測することによる。単純な断熱材と外装材からなる1次元の壁体を対象に、接する室空気の温度が微少な変動をしている想定下で、室空気及び壁体表面の温度変動の確率分布をFo

kker-Plank方程式により求めた。結果、室内側表面に貫入する熱流の発生確率分布を図 2.2.12に示す。図中の●は、結果の分布を次式でプロットした結果を示す。

$$f = 0.375e^{-1.8|q-16.74|^{1.6}} \quad (1)$$

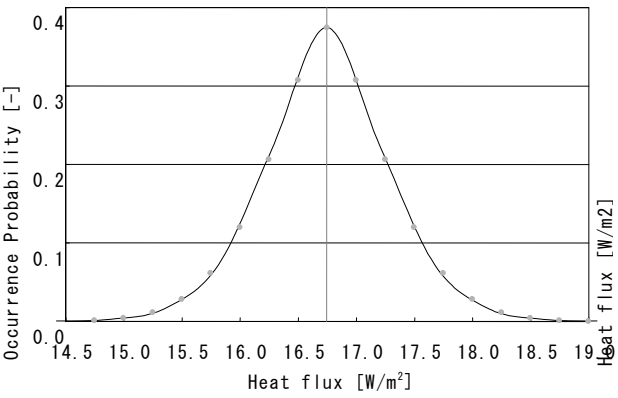


図 2.2.12 壁体表面熱流の発生確率

図 2.2.13には、0-1の乱数列1000個に対し、(1)式の逆関数を適用して熱流分布の再現を図った結果を示す。比較的大きなばらつきを示すことが分かる。すなわち、本検討の結果は、熱流計測においてしばしば遭遇するばらつきは計器の誤差・誤動作ではなく、熱流そのものがそれなりの幅を持って変動している可能性を示唆している。壁体断熱抵抗が大きくなるほど、熱流の平均値は小さくなるため、場合によっては正負が逆転する可能性もある。

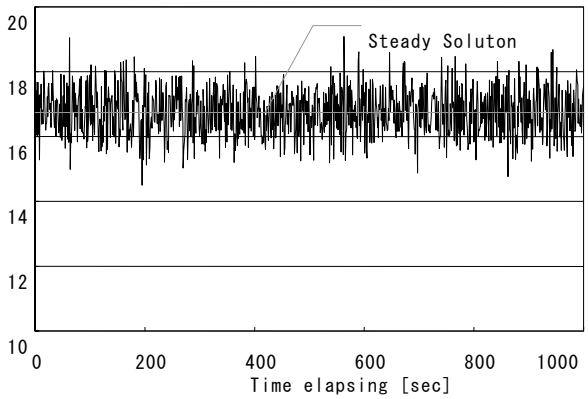


図 2.2.13 熱流のばらつき（計算結果）

7) 簡易実測手法の実用可能性

簡易計測手法の実用可能性について、現在提案されている様々な手法により検討を行った。

結果、現在普及が進んでいる高断熱・高気密住宅については、妥当な精度での測定結果が得られる見通しが示唆された。このような対象については、夜間の室内発熱と屋内10点程度の温度計測により、Q値に相当する数値を現場で同定することができる可能性が高いといえる。

温暖地で比較的多い、C値5程度の住宅については、相当大きなばらつきとなり、数夜の結果による性能の判断は困難であることが示唆された。

熱流センサーの誤差検討においては、通常使用時に計測されるばらつきは誤差ではなく、空間温度の微小な変動による影響であることが数値実験の結果、明らかとなった。部分的な断熱性能検証を目的とした壁体貫流熱流の実測などに有用である。

2.2.3 建築物の省エネとISO規格－断熱材物性値の整備に向けた基本方針

1) 住宅供給の立場から

断熱材の物性値を整備することを目的として、居住者が断熱材に求める性能及びその性能に影響する要因について整理した(表 2.2.7)。

居住者が断熱材に求める性能には、省エネおよび快適性向上を目的とした断熱性能、防露性能が挙げられる。これらの性能に影響する要因には、JISに規定される宣言値のように断熱材のみで決まるものから、設計値、経年による寸法変化や変形など、断熱材が曝露される環境に左右される要因も多い。また、施工による影響も大きい。

さらに、断熱材も住宅を構成する建築材料であるから、材料自体の耐久性が要求される。人体の健康に及ぼす影響も、居住者の関心が高い項目である。

長期間にわたり生活する居住者にとって、初期の性能のみでなく、性能変化を考慮した長期間の性能が特に重要だと言える。住宅を供給する立場として、断熱材に対する居住者の要望を、住宅の耐用年数を通して長期間にわたり満足するためには、断熱材の性能が各種要因によって変化することを踏まえ、性能変化を単なる劣化ではなく材料特性として捉えることが重要である。

住宅供給者は、断熱材の性能に影響を及ぼす外部要因、室内要因などを適切に評価し、実証で得られる性能に即した設計値を決定する必要がある。断熱材の性能に関する正確な情報を把握することにより、材料の選択、施工法などを適切に考慮した断熱設計を居住者に提供することが可能となるであろう。

(梅野 徹也)

表 2.2.7 居住者の要望

性能			項目・要因
＜快適性＞			
	断熱性能		
		初期性能 性能変化	製造時熱伝導率(宣言値) 初期熱伝導率(設計値) 乾燥時熱伝導率経年変化 湿度による熱伝導率経年変化 吸湿量・保水量 吸湿速度・透湿速度 材料劣化(温度・湿度・紫外線・酸化・微生物分解・白蟻食害) 寸法変化(厚さ・長さ・巾・直交性) 変形(無加重そり・加重へたり・温度クリープ)
		施工による影響	隙間 継ぎ目処理 吸湿量 保水量
	防露性能		
		初期性能 性能変化	隙間 寸法変化(厚さ・長さ・巾・直交性) 変形(無加重そり・加重へたり・温度クリープ)
		施工による影響	通気量 隙間 継ぎ目処理 吸湿量 保水量
＜耐久性＞			
	耐震		変位に対する追従性
	防耐火		防火認定
	防カビ		結露期間
	防腐 (腐朽菌)		結露期間 薬剤
	防蟻性		侵入防止 材料内通過しやすさ
＜健康＞			
	薬剤		成分・毒性 放散量 薬効持続時間
	VOC		成分・毒性 放散量 減衰時間

2) 断熱材供給の立場から

住宅の長期断熱性能変化を考えた場合その要因は1)断熱材そのものの変化、2)構造躯体・断熱材取り合いの変化に大別される。更に断熱材そのものの変化とは1-1)熱伝導率の変化、1-2)厚さの変化と考えられる。一方、構造躯体・断熱材取り合いの変化とは2-1)断熱材の収縮による断熱欠損の発生、2-2)躯体の収縮あるいは変形による断熱欠損の発生、2-3)施工精度による断熱欠損に大別される。その中で断熱材供給の立場から検討を要するのは1-1)熱伝導率の変化と1-2)厚さの変化を定量的に評価し、表示する方法であると思われる。

発泡プラスチックを例に取りJISとISOの比較を行った。表2.2.8のように現行JISが製品出荷時の性能を規定しているのに対し、ISOでは長期性能を考慮していることがわかる。更に、ISOでは建築設計時に材料規定値をそのまま用いるのではなく、使用される温度、湿度、耐用年数による熱伝導率の補正を行った上で用いられることになっている。

しかし、ISOにおいても①長期断熱性能変化に関する係数が整備されていない、②特に繊維系断熱材の劣化に関して十分なデータが揃っていない(繊維系吹き込み断熱材の沈降に関する規格があるのみ)等の問題がある。今後国内において住宅の断熱性能保証を考えた場合、材料毎の劣化データの整備と規格化及び建築設計方法側の整備が必要と考えられる。

表 2.2.8発泡プラスチックのJIS/ISO比較

	国内	国外
	JIS A 9511 -1995	ISO/FDIS 4898:2004
適用範囲	配管断熱	建築用
密度	○	○
熱伝導率	製造後 36h測定	製造後 28日測定
曲げ強さ	○	○
圧縮強さ	○	○
吸水性	○	○
燃焼性	○	×
透湿係数	参考値	○
長期熱伝導率変化	×	○
寸法安定性	×	○
圧縮クリープ変形	×	○

(ISO10456:1999「Building materials and products -- Procedures for determining declared and design thermal values:建築材料及び製品－呼び及び設計熱価の測定手順、国内対応規格JIS A 1480-2002」)

(小浦　孝次・布井　洋二)

3) まとめ

住宅の長期耐用化の基本要件として重要視される、建築に用いられる断熱材の断熱性能に関する物性値について、求められる評価視点を、住宅供給者と断熱材供給者の双方の立場から整理した。前者は、居住者の望む姿を、後者は製造者の望む姿をそれぞれ代弁していると考えられる。

断熱材の物性値として、長期の経時変化に伴う熱抵抗の変化、具体的には熱伝導率ならびに厚みの変化を明確にすることが双方の立場から要求されている。

今後は、経時変化の予測技術の確立を踏まえた上で、世界に通用する規格に落とし込む必要があると考えられる。また、設計値の決定に必要な、建物各空間における状態量を整理することは、住宅供給者を中心として行う必要がある。

建築断熱材に限られたことではないが、情報量の多い製品ほど、「優れた」製品であるという社会的な価値観の形成が望まれる。

1) P. Sandberg, S. Jahnsson : Development of a method for the measurement of specific heat loss in occupied detached houses, Thermal Envelopes Vol. 6, pp.425-430

2.3 断熱外壁の移流と熱・湿気性状に関する検討目的と方針

2.3.1 はじめに

住宅断熱化は、温度むらをなくす、輻射環境の改善など室内温熱環境の向上に大きく寄与するほか、暖冷房エネルギーの低減にも有効な基盤技術である。しかし、不適切な断熱を行った場合には設計性能と実際性能に大きな乖離が生じ、内外装材の汚損や住宅の耐久性を脅かすような湿害が生じる危険性も少なくない。わが国では寒冷地を除けば本格的な断熱化の歴史は浅く、不適切な断熱化による弊害は、厚い断熱を施すほど顕在化する可能性がある。

伝統的な在来木造工法は、多雨多湿なわが国の気候風土で躯体の耐久性を確保するため、壁勝ちの構成として屋根を先行して施工し、竣工後は躯体内を積極的に通風・換気することで躯体耐久性維持を図るという工法的な特徴を有する。この基本的考え方は、現在の在来木造住宅でも継承されている。

しかし、近年の大壁や乾式材料の普及、外装防水性の向上、構造空隙を利用した断熱化などにより、在来木造が有していた工法的特性は失われ、壁内は湿気的には以前より密閉化され、室内の熱・水蒸気は取合い部などに生じる断熱・防湿欠損部分から大量に流出する構造へと変化した。

石油危機直後に、その工法的変化に気づかないまま断熱化を急速に進めた寒冷地の住宅では、短期間で様々な問題が顕在化した。内外温度差、冬季外気温の違いから、寒冷地で生じた問題がそのまま温暖地で起こり得る問題と短絡的に結びつけることはできないが、この住宅構造工法の断熱化に絡む諸問題を以下に示す。

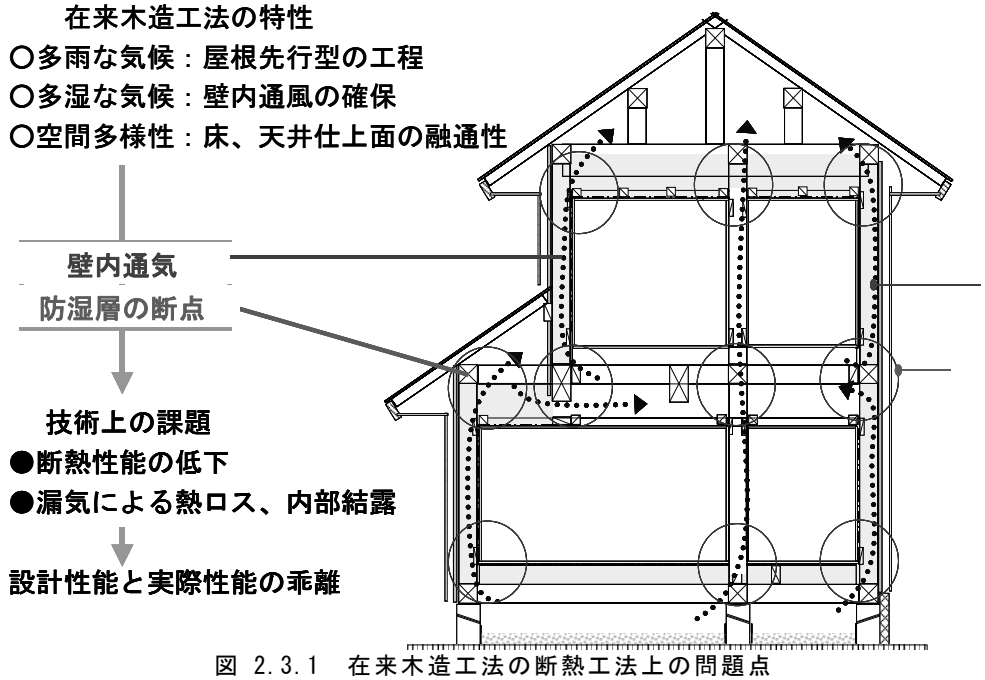


図 2.3.1 在来木造工法の断熱工法上の問題点

①壁内通風による断熱性能の低下

戸建住宅では、構造空隙を利用してグラスウール、ロックウールなどの無機繊維系断熱材により充填断熱するケースが多い。この構造に、通気性を有する繊維系断熱材を壁内充填した場合、寒冷地では壁内通風により、設計性能の15～50%以上も断熱性能が低下する危険性が指摘されている。これは外気温の影響ではなく、壁内気流の有無によるものであり、全国で起こり得る共通した問題と推測できる。そして、繊維系断熱材に限らず、発泡プラスチック系断熱材を空隙に充填した場合でも、断熱材周囲に隙間があると、同様の問題は起こり得る可能性がある。

②内部結露の発生

躯体の断熱化は、室内外の温度差を拡大し、壁内内部に大きな温度差をつくりだす。一般的な家族構成(4人の場合)では、居住空間において一日当たり約5[*l*/day]程度の水蒸気が発生する。そして、竣工直後は躯体・建材などから多量の水分発生が加わる。内部結露による被害は、石油危機を契機に急速な住宅断熱化が進んだ北海道において、数多くの住宅で発生した。

小屋裏内部で生じた結露は、断熱住宅の結露として最も被害例が多いものである(写真 2.3.1(a))。これは、防湿が不完全で透湿による水蒸気の移動の他、住宅断熱化に伴って室温が高くなり、湿気を含んだ空気が温度差により上昇し、小屋裏内にて冷やされたことが原因である。小屋裏結露は、室内の温度上昇が関連しており、不適切な断熱住宅で最もはじめに顕在化する被害といえる。

2階胴差、2階外壁を中心に発生し、主要構造材を腐朽に至らしめる結露(写真 2.3.1(b))も、小屋裏の結露と同様の理由で生じるものである。さらに、躯体の漏気による結露被害として典型的なのは、南側外壁で生じる結露(写真 2.3.1(c))である。これは冬期卓越風の影響で風下側で生じるもので、明らかに外部風圧による空気移動が関係している。



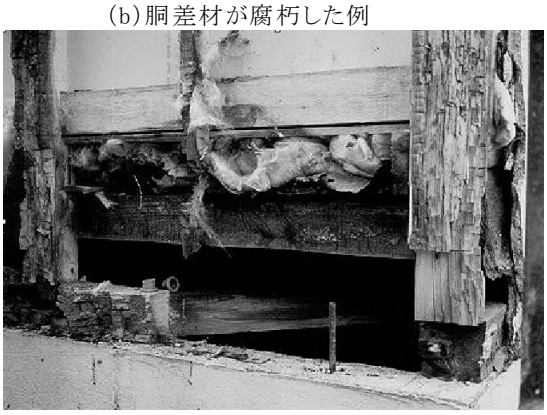
(a)小屋裏結露の例



(b)胴差材が腐朽した例



(c)風下側外壁の土台、隅柱が腐朽した例



(d) 外壁下端部で腐朽した例

写真 2.3.1 木造住宅で生じた湿害事例
(いずれも釧路沖地震[1993]、北海道東方沖地震[1994]で損傷を受けた住宅)

一方、多くは土台腐朽によって顕在化する1階外壁下部を中心とした結露(写真 2.3.1(d))は、不完全な防湿施工に加えて床下の多湿な空気が外壁内下部に侵入することが原因であるほか、北側土台で生じる結露の多くは水周り空間の水蒸気の排出が不十分だったり(換気設備の構造的不備あるいは運用上の不備)、設備配管の漏水等の起因するものが多い。

これらは在来木造工法で生じる内部結露の一端に過ぎないが、その原因は「透湿」による湿気移動ではなく、「移流」やその他の要因ににより生じた現象といえる。

断熱外皮を考えていく上で最も重要なのは、内装等の見える部分に発生する諸問題ではなく、構造躯体内部で発生する見えない諸問題にどう対応していくかという点である。

これまで在来木造工法の断熱外皮技術は、移流と断熱壁体の熱・湿気性状に関連するフィールドを主体とした定性的な実験結果から導いた要件に基づき仕様規定等が策定されてきた。その方が即応的であることと移流を定量的に扱うには解析手法や基礎的なデータが殆ど整備されていなかったためである。

しかし、経験的に構築された仕様規定だけでは、壁体及び各層の同等評価も難しく、専門的かつ実務的な知識を兼ね備えていないと新たな断熱外皮技術を開発することは困難といえる。一方、H11年省エネ基準では判断基準(性能規定)の中に「住宅の断熱性能及び耐久性能を損なうおそれのある結露の発生を防止するための措置を講じること」、すなわち、断熱性能や耐久性能に支障を与えないような一時的結露は許容しても構わないとの考えを示し、従来の断熱外皮開発の幅を広げている。しかし、どの程度まで許容できるのか、現時点では判断材料に乏しく、それに基づく設計・開発も行えない状況にあるといってよい。

いずれにしても、我が国の主流を占める木造住宅では、たとえ平成11年基準設計施工指針に定められた通気止め措置を講じた住宅であっても多少の壁内通気は存在している。まして、今後、温暖地の新しい木造断熱外皮技術を開発していくには、まず、壁内通気等の移流を考慮した熱・湿気性状の予測手法の確立、そのための基礎dataの整備等が急務の課題といえる。そして得られた知見に基に、温暖地を対象とした施工簡便性の高い断熱技術を提案していく必要がある。

2.3.2 検討方針

本委員会では、2002年度より前述の課題に対し研究グループ(G7～G10)を設置し、様々な内容の検討を進めてきた。また、それらの成果に基づき、簡易評価ツールの開発、開発の目標となる準性能規定の開発を目的に2003年度後期よりG13を設置した。

設置当初に考えた検討のロードマップの概要を図 2.3.2に示す。この図は、各タスクグループの断熱外皮技術の開発・評価研究の流れを部位毎にまとめたものである。

木造断熱技術の根幹に位置づけられる外壁に関しては、在来木造工法のように構造的に壁内気流が生じる可能性があるものと、2×4工法に代表されるような壁内気流が生じにくいものがある。

2.4では、G13で開発提案している簡易評価ツールた。昨年度からは主として壁内気流があるものに関して、その基本的な熱湿気性状を把握する実験を行い、今年度それを再現するシミュレーション開発に着手したところである。床断熱や基礎断熱に関しては既往研究の整理を行っている。天井断熱では、特に温暖地での付属防湿層付断熱材の施工状況と、実質的な断熱性能の関係に着目し、検証実験を行っている。これらの詳細は次頁以降を参照されたい。

工法の開発とともに、評価する手法・閾値の開発も同時に行っている。特に、木材腐朽条件に関し

ては、他に類を見ないデータの蓄積を得ており、新たな湿害評価の指標としての活用が期待できる。今後はこれらを仕様として提案するか、性能規定の形をとるか、効果的な普及方針を検討したいと考えている。

（鈴木　大隆、伊庭　千恵美）

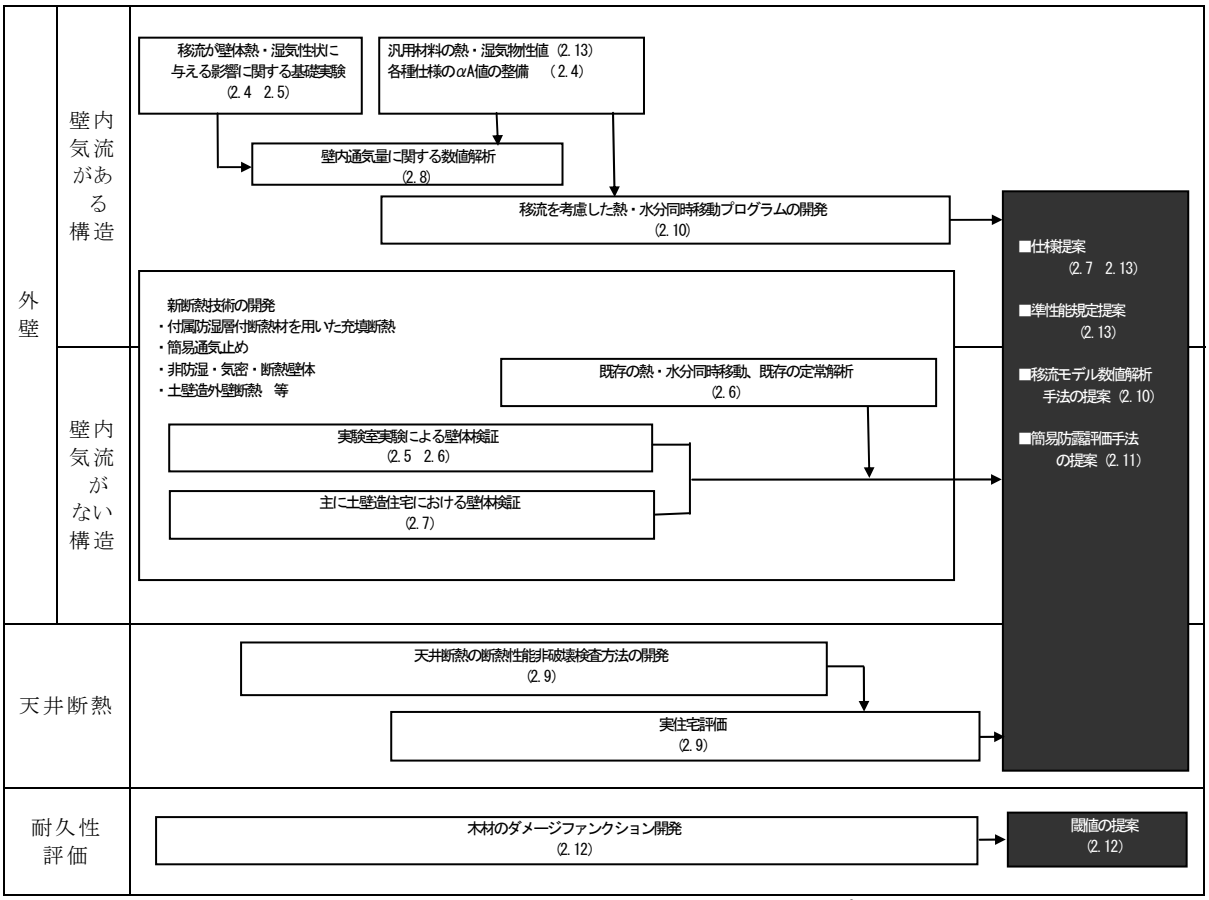


図 2.3.2　断熱外皮技術開発・評価技術開発のロードマップ（主に外壁関連）

2.4 断熱壁体モデル基礎実験－北方建築総合研究所

2.4.1 目 的

在来木造工法特有の躯体内通気が壁内の熱・湿気性状にどのような影響を与えるかを把握するため、実物大試験壁体を作成して、実験を行なった。いずれも、躯体内通風を考慮した壁内の熱・湿気解析用シミュレーションプログラム開発のための基礎的データを得ることを主目的として行っているものである。

・空気移動を考慮した断熱壁体の基礎実験
壁体は吸放湿を有しない材料で構成し、取合い部や防湿欠損を想定した隙間からの、移流に伴う水蒸気移動だけに着目したモデル壁体で検討を行う。隙間量、空気流量と壁体内の温湿度に関するデータを得る。
・各取合い部の相当隙間面積の測定
これまでも、地域性委員会などで、次世代省エネ基準に準拠する気密仕様を対象に各種試験体を作成し、取合い部の相当隙間面積を測定してきたが、本委員会では、さらに平成4年基準に準拠する仕様やその他の通気止めとして有効と思われる仕様について測定を行った。

2.4.2 空気移動を考慮した断熱壁体の基礎実験

在来木造工法では、取合い部の気密施工をしなければ、床下からの冷気が断熱壁体の中を通り、天井懐へ抜けるような流れが生じる場合がある。これは結露や壁体の断熱性能低下の原因になる可能性もあるが、一方でこの壁内通気(漏気)の影響について、定量的に評価した例は少ない。定量的な評価が可能となれば、壁体内部で通気が生じても問題の起こらない「許容できる壁内通気量」の範囲を明確にすることができれば、現在の高断熱・高気密化壁体とは異なるベクトルを有する断熱壁体開発の可能性が生まれる。

そこで、本実験は、壁内通気(漏気)による水蒸気移動に着目するため、断熱材以外の吸放湿性を無視した単純な壁体モデルを用いて、壁内通気が壁内の温湿度に与える影響を定量的に把握することを目的としている。

1) 実験概要

(1) 実験装置

実験装置は、図 2.4.1、写真 2.4.1に示す断熱防露試験装置を用いる。本装置は室内室と室外室の2室からなり、2室の境界に試験体を設置するものである。試験体寸法は最大で2000mm×2500mmである。室内室は温湿度の制御が可能で、範囲は温度10～30℃、相対湿度30～70%である。室外室は温度のみ－10～30℃まで制御でき、湿度は成りゆきである。

(2) 壁体モデル・測定概要

試験体と温湿度測定位置の概要を図 2.4.2に示す。試験体は、木枠の表面を全てアクリ

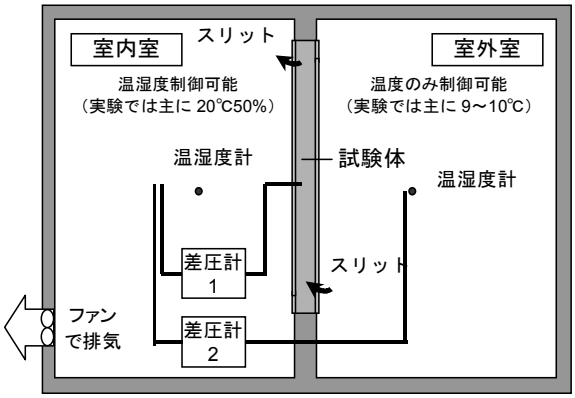


図 2.4.1 試験装置の概要



写真 2.4.1 断熱防露実験室

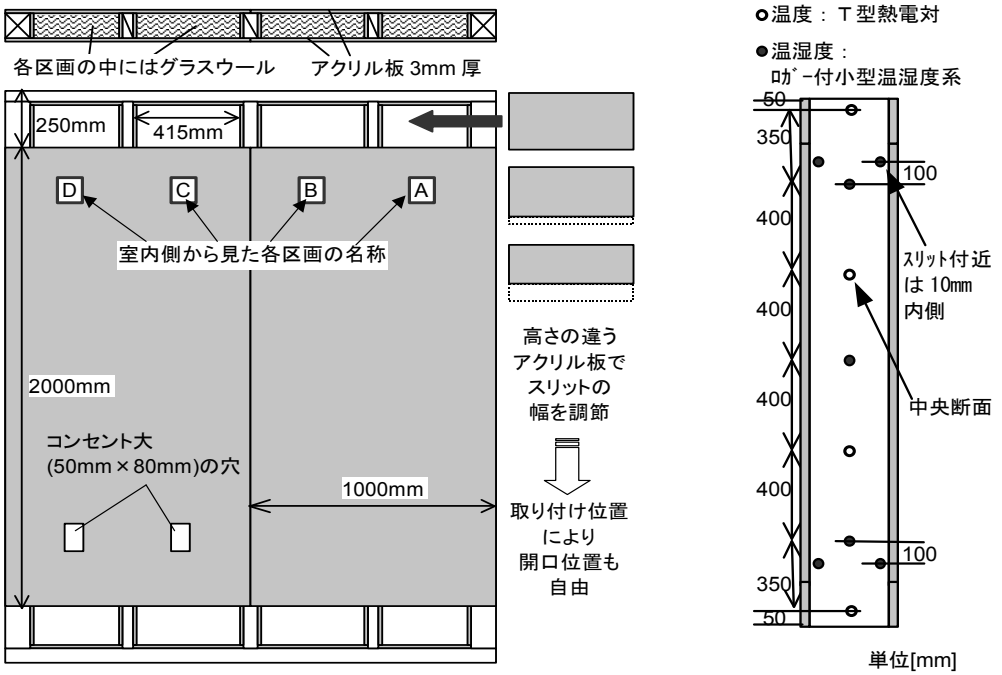


図 2.4.2 試験体概要と温湿度測定位置



写真 2.4.2 試験体とセンサー設置の様子

ル板で断湿し、アクリル板で作られた内外の壁面と各区画は内外上下に取合い部を想定した内部の断熱材(グラスウール16K)のみで構成する。壁体は高さ2400mm×幅415mm×奥行き105mmの4つの区画(A～D)からなる。

4つの開口を持ち、面積の異なるアクリル板でその開口の大きさ(スリット幅)を調節する。なお、C・Dには室内側に防湿欠損を模したコンセント大の穴を開けている。

壁体内の温湿度測定点は、図 2.4.2に示すように、各区画の中央断面とスリット付近である。温度測定にはT型熱電対を、湿度測定にはロガー付小型温湿度計(TR-72S)を用いた。断熱材内部の熱電対や湿度センサは、断熱材繊維に沿って側面から差し込んでいる。

試験体とセンサー設置の状況を写真 2.4.2に示す。

(3) 実験パターン

実験パターンを表 2.4.1に、開口のパターンを表 2.4.2に示す。各区画のスリット幅や位置は、取合い部の隙間を想定し、隙間の大小、外気側への開放の有無の影響を見るべく設定された。また、外気室温度は断熱材内で結露を生じないよう設定されている。

最初に、全試験体で隙間を全閉した場合(Pattern0-3)と、全開(スリット幅約200mm)とした場合について実験を行い(Pattern0-4)、各試験体の特性やばらつきの把握を行った。

次に、試験体の内側上部、外側下部の隙間のみを開けた状態(Pattern2-1)で実験を行い、内外温度差による空気の流れの影響をみた。

Pattern2-2では、図 2.4.1に示すように、室内室に設置したファンで強制的に排気し室内室を負圧として、内外圧力差による空気移動の影響を検討した。

なおスリットの幅は、試験体の区画A、Cが内外とも10mm、B、Dが50mmである。C、Dはスリットに加え、コンセント大の穴が室内側下部、スリットの上方に開いている。

pattern0-4を除き、室内室の設定は20℃ 50%、外気室の設定は10℃ないし9℃であるが、温度が異なっていても絶対湿度はほぼ同じであった。なおそれぞれの室では、試験体高さ中央付近で温湿度を1点、鉛直方向に3点T型熱電対で温度を測定している。

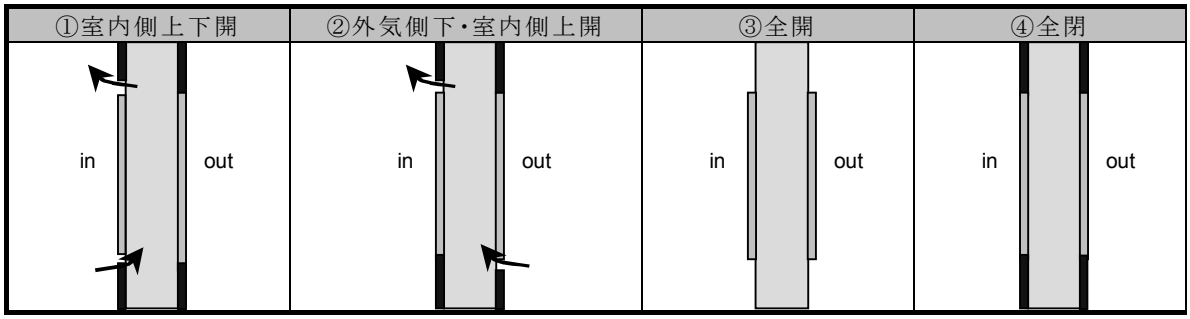
Pattern0-3～1-3にかけては全て定常状態での実験である。Pattern0-4は、センサー間のばらつきを見るため、内外とも同じ温度とし、各区画とも同じ条件としている。

表 2.4.1 実験パターン

Mode	室内室設定	外気室設定*1	開口パターン	強制圧力差	実験日
0-3	18℃ 40%RH	18℃	③	なし	2003/4/1～4/3
0-4	20℃ 50%RH	10℃	④	なし	2003/4/7～4/15
1-1		10℃	①	なし	2003/3/18～3/31
1-2		9℃	②	なし	2003/9/11～9/22
1-3		9℃	②	あり	2003/9/23～9/29
2-1*		10℃	④→①	なし	2003/5/3～5/9
2-2*		10℃	③→①	なし	2003/5/12～5/19

* Pattern 2-1、2-2は参考

表 2.4.2 開口パターン



2) 実験結果

(1) Pattern0-3 （開口部全開）

開口部分を全開としたPattern0-3は、センサーが極端に他と異なる指示値を示すかどうか、T型熱電対と温湿度センサーが同等の温度を示すかどうか、両者の誤差がどの程度か、ということを確認するために行われた実験である。温度がほぼ定常とみなせる時間帯の壁内温度分布・相対湿度分布・絶対湿度分布を図 2.4.3～図 2.4.6に示す。壁体が面する室内室空気・室外室空気はそれぞれ赤●(in)・青●(out)で示した通りである。図中TCはT型熱電対を、TRは温湿度センサーを指す。

図 2.4.3は壁体中央断面の鉛直方向の温度分布を示したものである。これより、熱電対より温湿度センサーの方が0.2～0.3℃高めの温度を示すことが確認できた。室内室・室外室の空気温度との関係から、熱電対の方がより正確な値を示していると考えられる。この誤差の原因については、まだ明らかになっていないため、今後の解析において注意を要する点である。

図 2.4.4はスリット付近での温度を示したものである。これも同様に温湿度センサーの方が熱電対よりも約0.3～0.4℃高めの値を示している。また、熱電対が上下でほぼ同じ値を示しているのに対し、温湿度センサーは上下で温度が異なるものもあり、センサーの中でも個体差があることがうかがえる。

図 2.4.5は壁内相対湿度、図 2.4.6は壁内絶対湿度の分布である。室内室・室外室に絶対湿度で約1.0[g/kg']の差があるため、室内室側のスリット付近の絶対値が高くなると予想されたが、壁体中央断面の絶対湿度が高くなる傾向が示された。特にこれは区画C、Dで顕著であった。

この原因としては、温度はほぼ定常と見られたものの、湿度に関してはまだ定常に至っていなかったことが挙げられる。区画C、Dの壁体中央断面・中央高さの点が他より突出して絶対湿度が高いのは、はA、Bよりも実験開始時の絶対湿度が高く、定常に至るまでのより多くの時間を要することが原因と考えられる。

(2) Pattern0-4 （開口部全閉）

開口部分を全閉としたPattern0-4は、区画間のばらつき、センサーの差し込み位置を確認するためのものである。

図 2.4.3は、壁体中央断面の温度分布であるが、TCとTRはほぼ同等の値を示すものの、TCは高さ方向で最大1.0℃程度のばらつきが見られる。これは、繊維系断熱材の中央断面に正確に熱電対が差し込まれていないことが原因と考えられる。

スリット付近の温度を示した図 2.4.4では、熱電対と温湿度センサーの誤差もあるが、やはり両者の位置が若干ずれており、区画Bの外側のように両者の指示値に1～1.5℃の差が生じている。実験においては、これらのことに注意して結果を見る必要があり、数値計算に用いる際には、これらの情報から逆にセンサー設置位置を割り出して実験結果と対応させる必要がある。

気流が発生しない場合は壁内水蒸気は一様に拡散すると考えられるが、特に区画Dでは上下で2.0[g/kg']の差がついており、原因はまだわかっていない。壁体によって密閉性が異なる(躯体そのものの気密性、目張りの際の隙間など)といった人的要因が考えられるが、繊維系断熱材の繊維に沿った方向と繊維に垂直な方向との透気率や透湿率の差など、物理的な要因も検討する必要がある。これは、数値計算や断熱材の詳細な物性測定を必要とするため、次年度以降の課題とし、本報では、以後に示す各実験パターンの初期値としてとらえておくこととする。

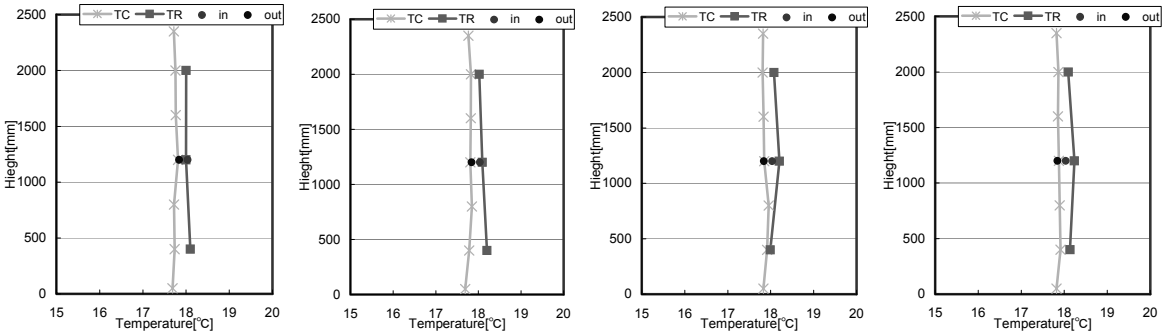


図 2.4.3 壁体中央断面 鉛直方向温度分布（左から区画A、B、C、D）

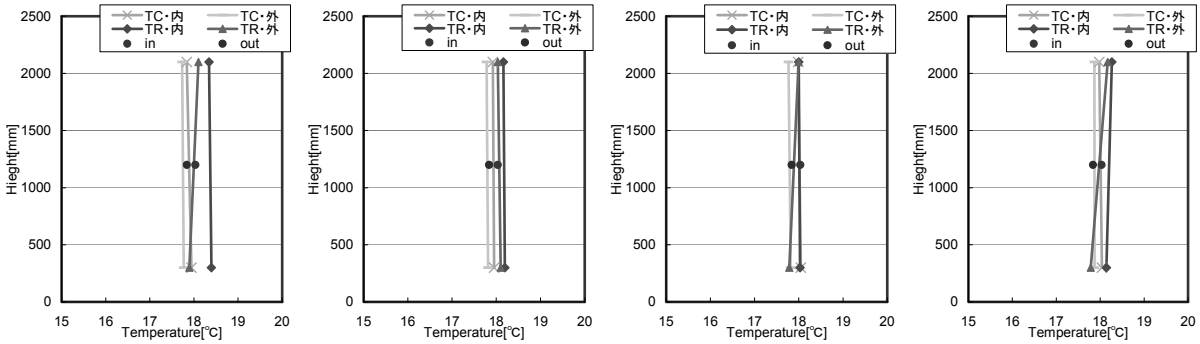


図 2.4.4 スリット付近 温度分布（左から区画A、B、C、D）

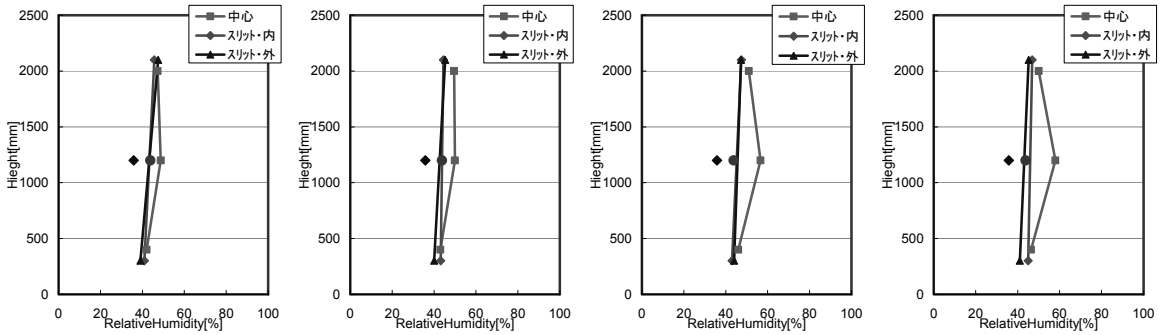


図 2.4.5 壁体中央断面・スリット付近鉛直方向相対湿度分布（左から区画A、B、C、D）

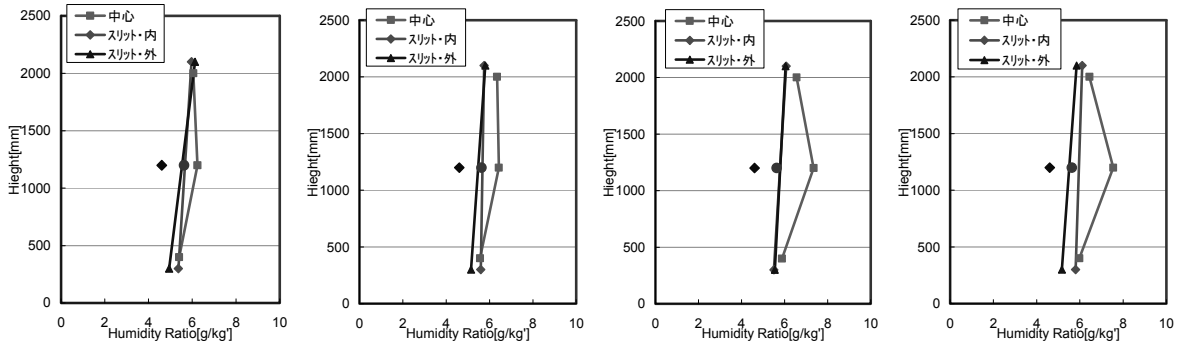


図 2.4.6 壁体中央断面・スリット付近鉛直方向絶対湿度分布（左から区画A、B、C、D）

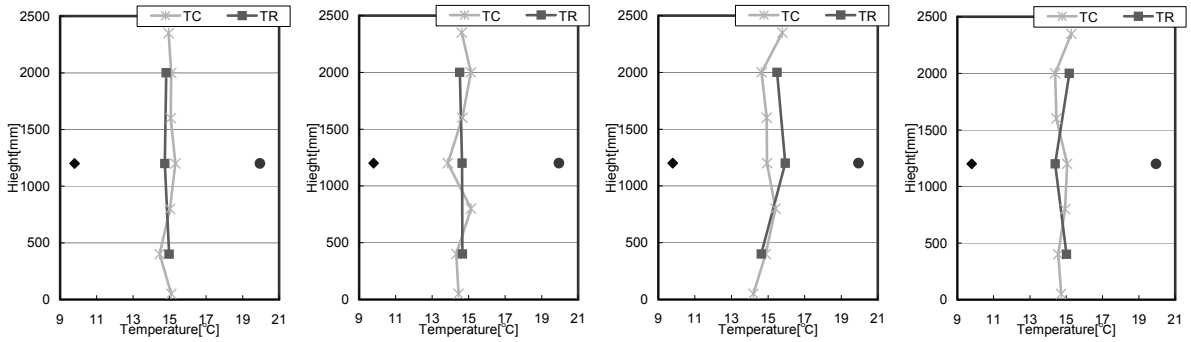


図 2.4.7　壁体中央断面　鉛直方向温度分布（左から区画A、B、C、D）

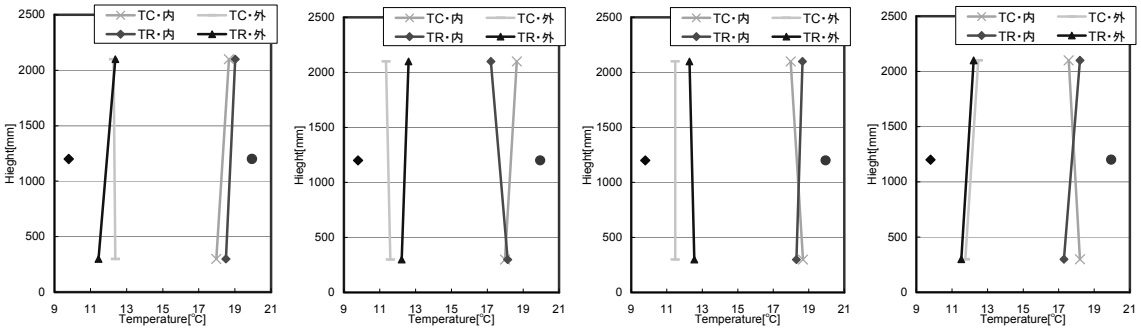


図 2.4.8　スリット付近　温度分布（左から区画A、B、C、D）

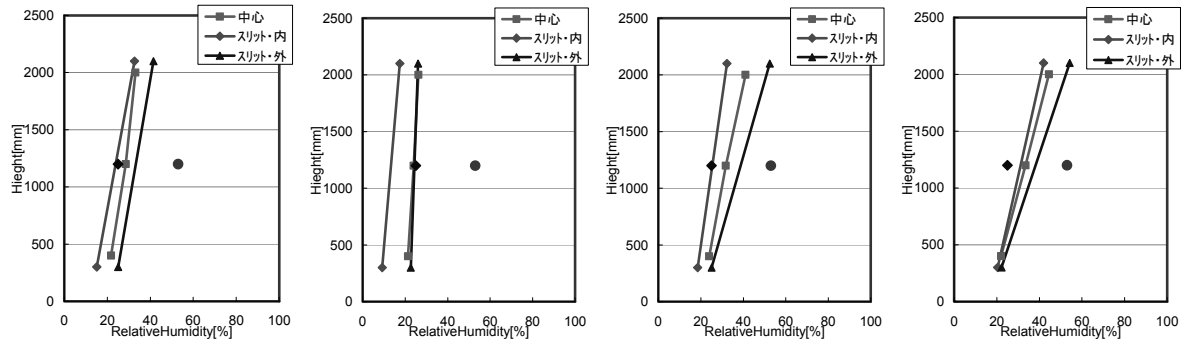


図 2.4.9　壁体中央断面・スリット付近　鉛直方向相対湿度分布（左から区画A、B、C、D）

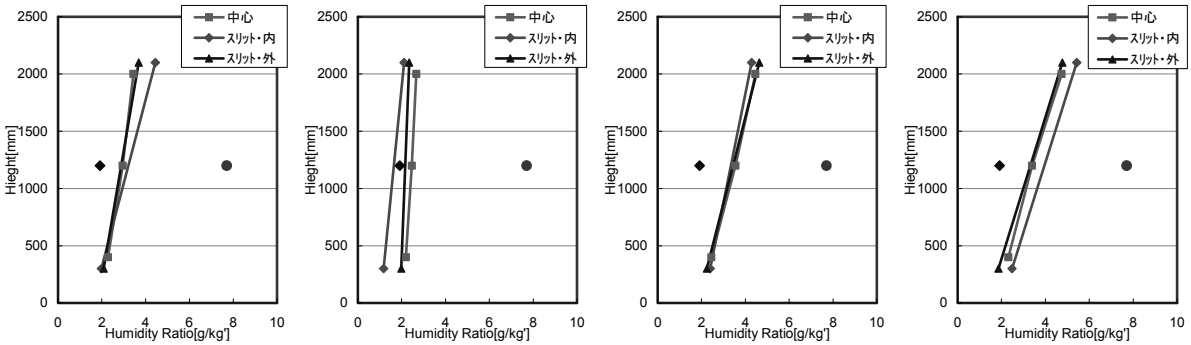


図 2.4.10　壁体中央断面・スリット付近鉛直方向絶対湿度分布（左から区画A、B、C、D）

(3) Pattern1-2,1-3 （内側上部・外側下部 開）

室内側上部・室外側下部のスリットを開けたPattern1-2,1-3の結果を示す。Pattern1-2,1-3は連続して実験を行っているが、図 2.4.11、図 2.4.12に示すように壁体内外の温湿度条件は同じである。

Pattern1-3では室内室からファンで強制的に排気し、内外圧力差を設けた。図 2.4.13に室内室・外気室間と、室内室と区画A・B・C内部との間の圧力差を示す。壁体内部の圧力は中央断面・中央高さにチューブを挿入し測定した。

特に圧力差を設けないPattern1-2の時は、室内室・室外室間の差圧は±3Pa程度、Pattern1-3の時は+1.5～5.5Pa(室内室が負圧)となった。区画間の違いでは、スリット幅が細い(10mm)区画Aが最も差圧が大きく、区画BとCは同程度だが、Cの方が振幅が少ない結果となった。Dは測定していないが、スリットの幅も広く(50mm)、コンセント大の穴もあることから室内室との差圧はより小さくなることが予想される。

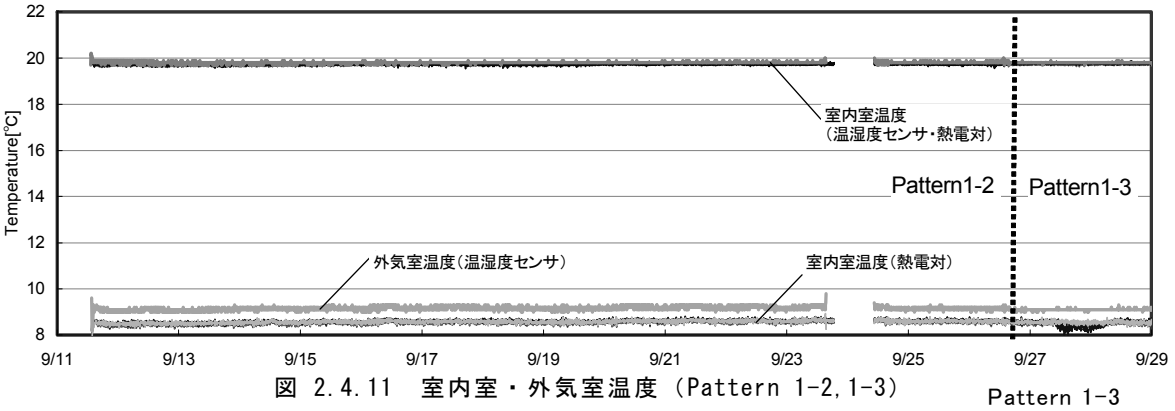


図 2.4.11 室内室・外気室温度 (Pattern 1-2,1-3)

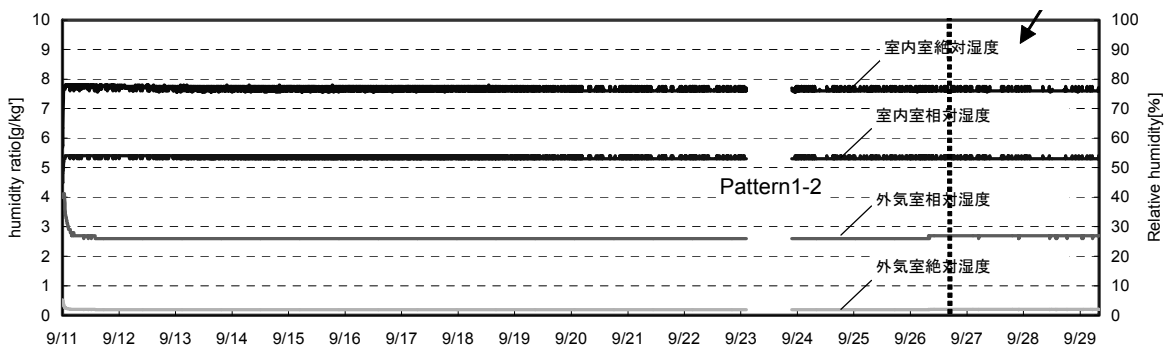


図 2.4.12 室内室・外気室 相対湿度・絶対湿度 (Pattern 1-2,1-3)

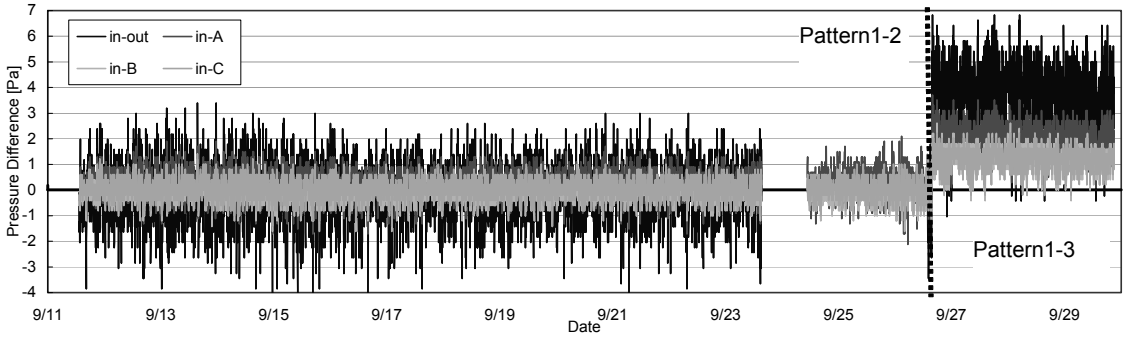


図 2.4.13 室内室－外気室、室内室－区画A,B,Cの圧力差 (Pattern 1-2,1-3)

次頁以降には、各測定点の経時変化を示す。

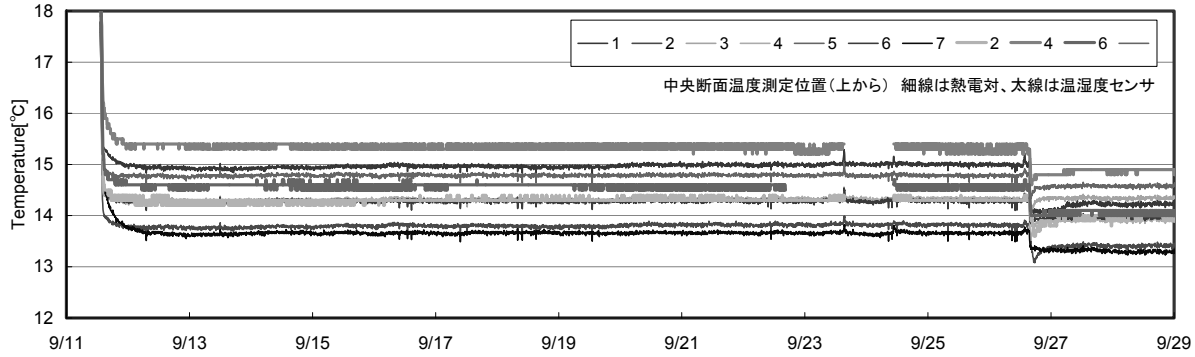


図 2.4.14 壁体中央断面温度（区画A・Pattern 1-2,1-3）

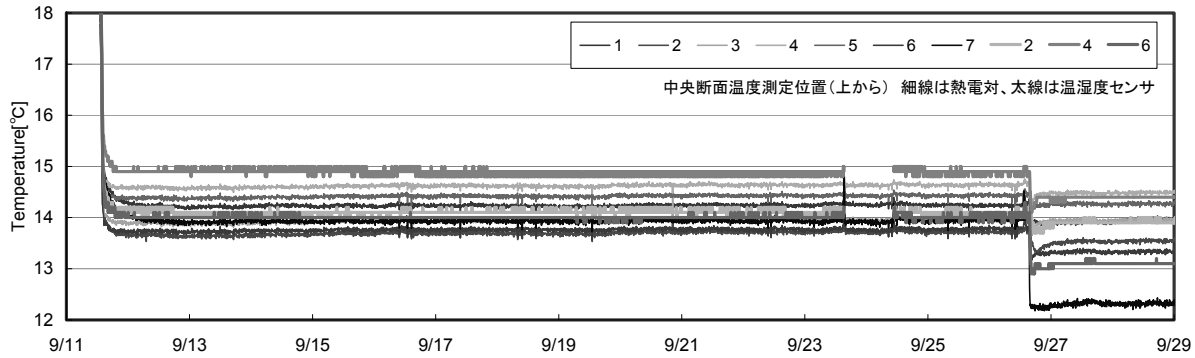


図 2.4.15 壁体中央断面温度（区画B・Pattern 1-2,1-3）

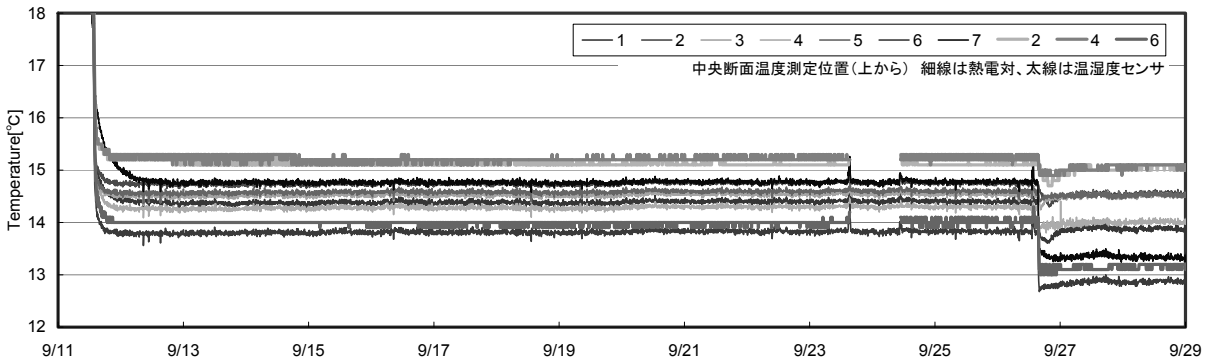


図 2.4.16 壁体中央断面温度（区画C・Pattern 1-2,1-3）

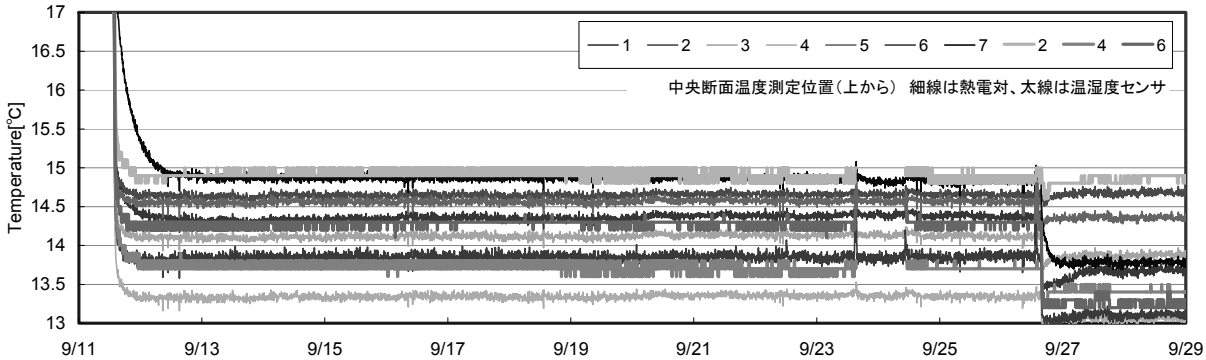


図 2.4.17 壁体中央断面温度（区画D・Pattern 1-2,1-3）

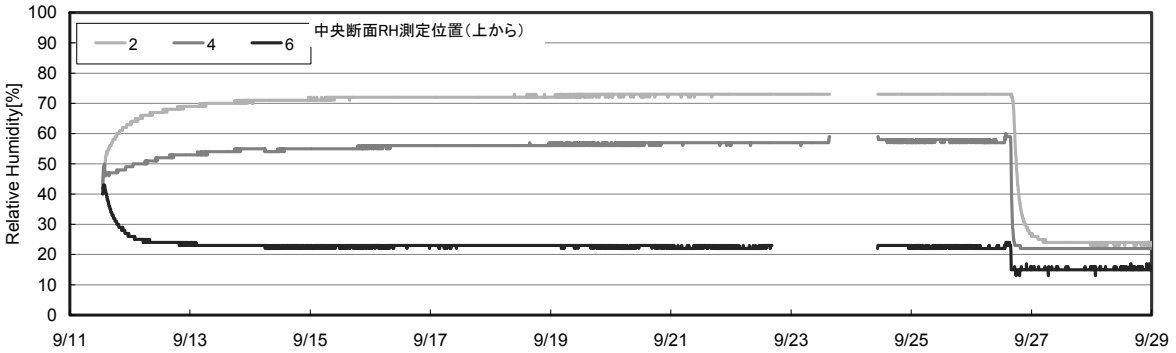


図 2.4.18 壁体中央断面相対湿度 (区画A・Pattern 1-2,1-3)

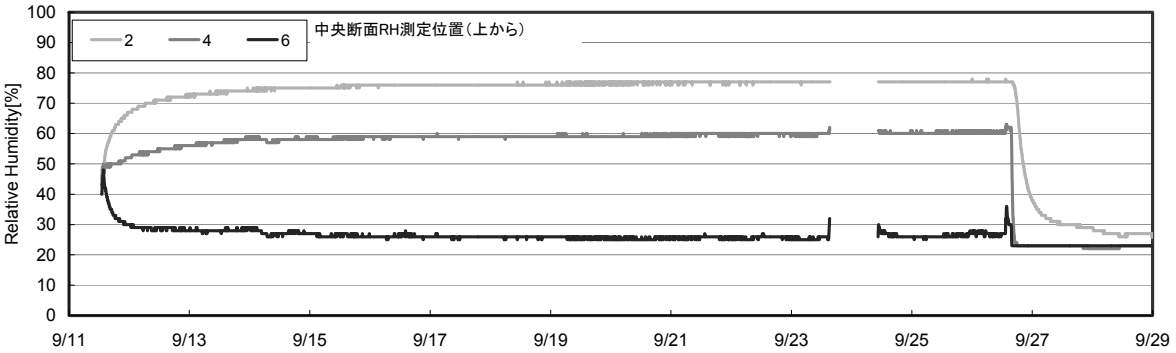


図 2.4.19 壁体中央断面相対湿度 (区画B・Pattern 1-2,1-3)

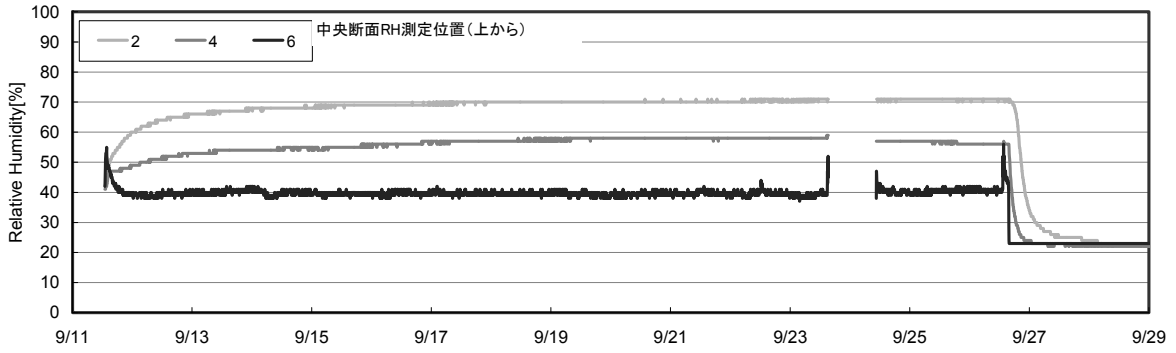


図 2.4.20 壁体中央断面相対湿度 (区画C・Pattern 1-2,1-3)

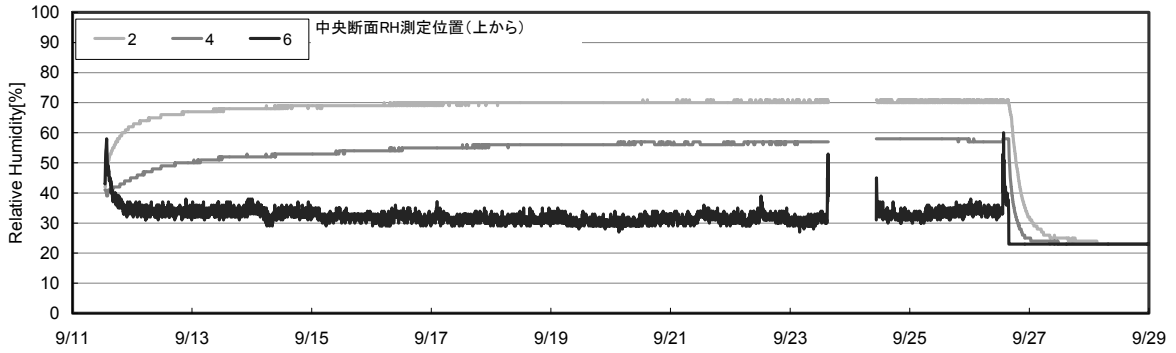


図 2.4.21 壁体中央断面相対湿度 (区画D・Pattern 1-2,1-3)

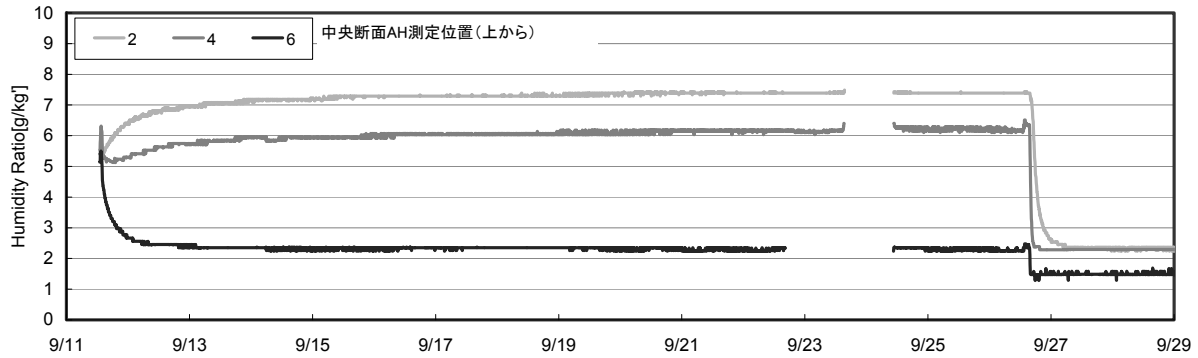


図 2.4.22 壁体中央断面絶対湿度（区画A・Pattern 1-2,1-3）

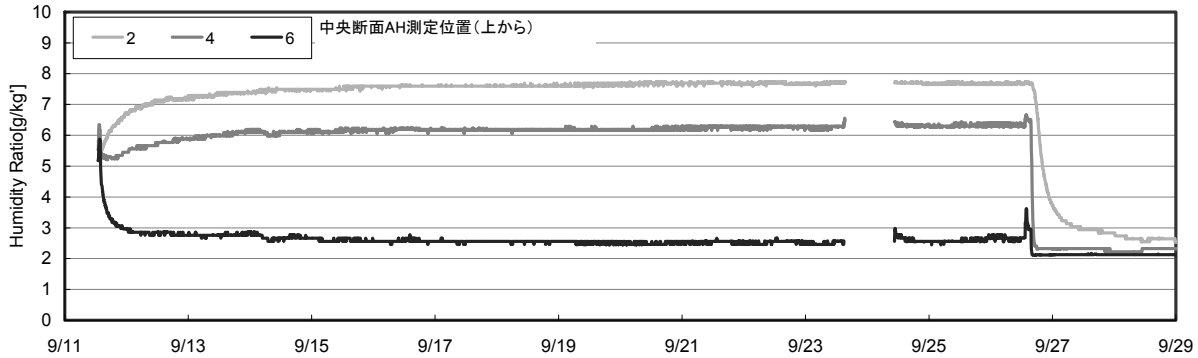


図 2.4.23 壁体中央断面絶対湿度（区画B・Pattern 1-2,1-3）

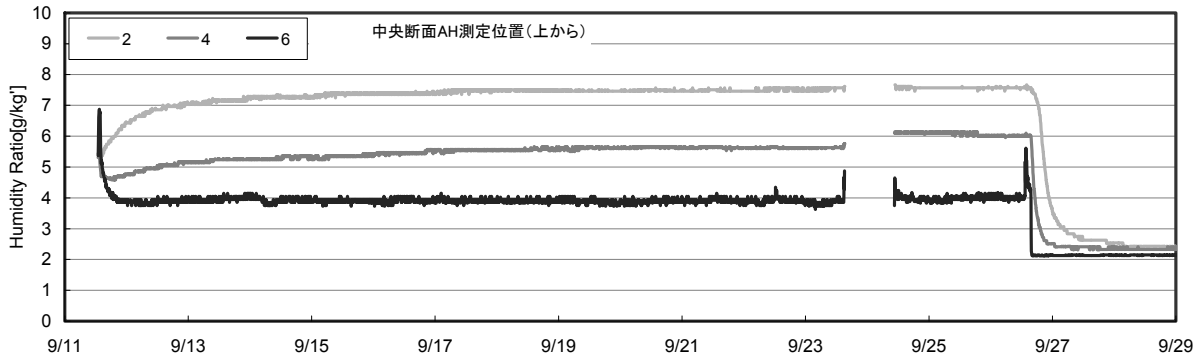


図 2.4.24 壁体中央断面絶対湿度（区画C・Pattern 1-2,1-3）

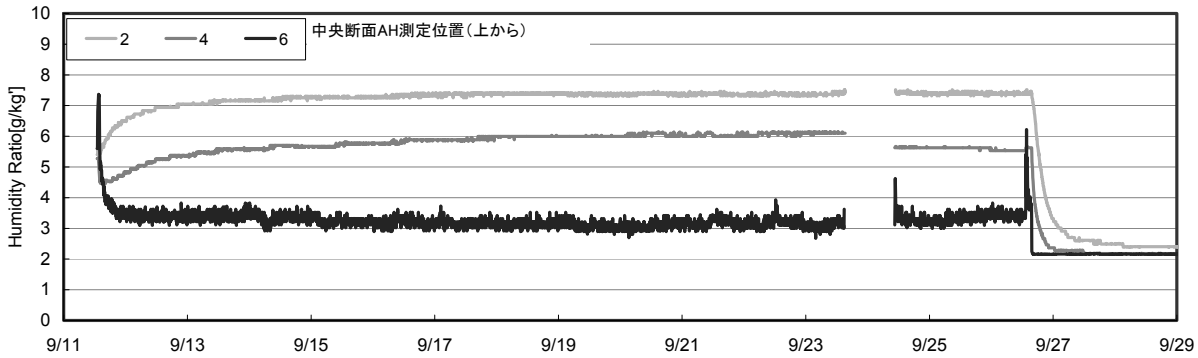


図 2.4.25 壁体中央断面絶対湿度（区画D・Pattern 1-2,1-3）

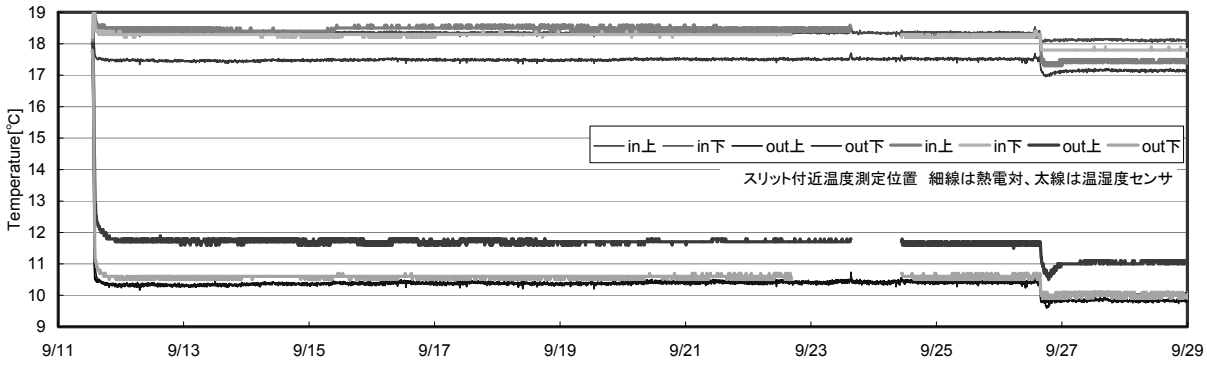


図 2.4.26 スリット付近温度（区画A・Pattern 1-2,1-3）

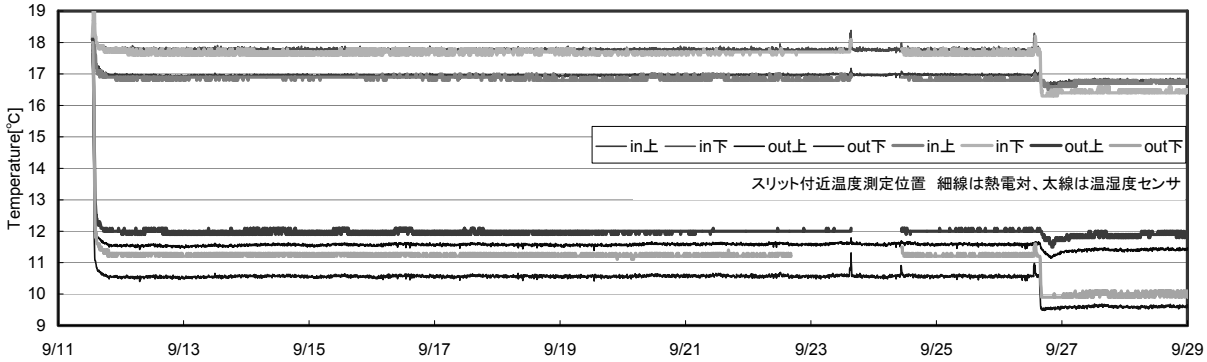


図 2.4.27 スリット付近温度（区画B・Pattern 1-2,1-3）

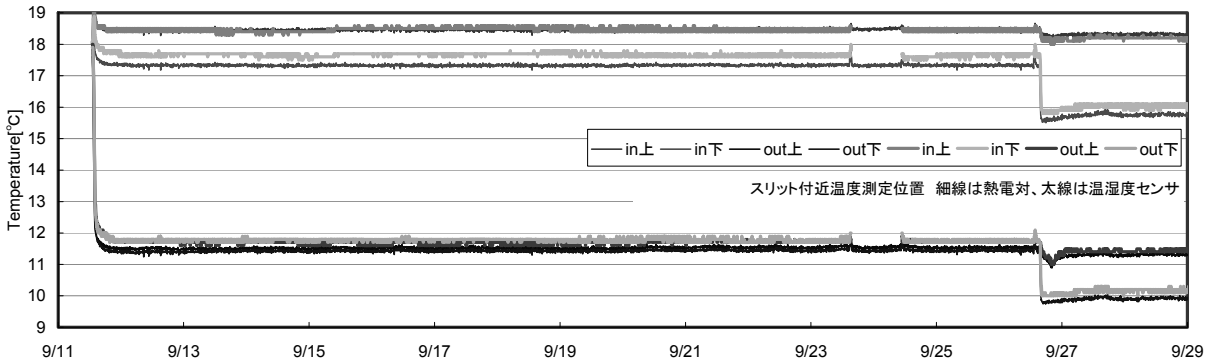


図 2.4.28 スリット付近温度（区画C・Pattern 1-2,1-3）

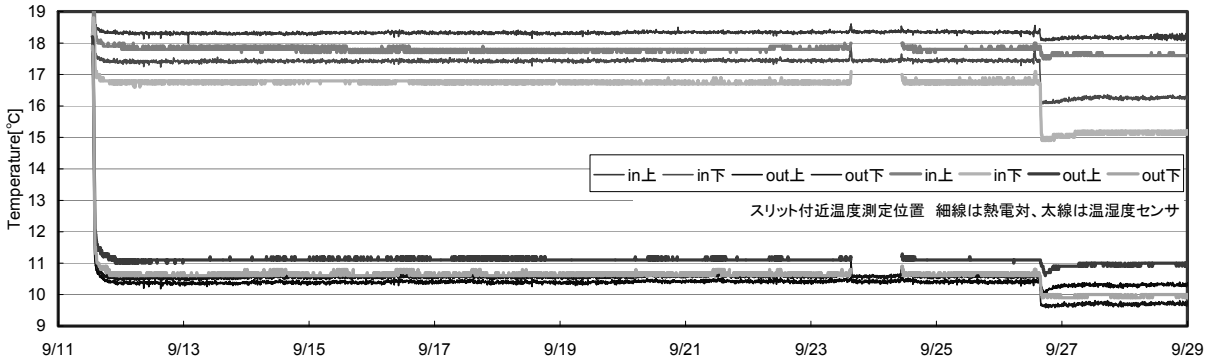


図 2.4.29 スリット付近温度（区画D・Pattern 1-2,1-3）

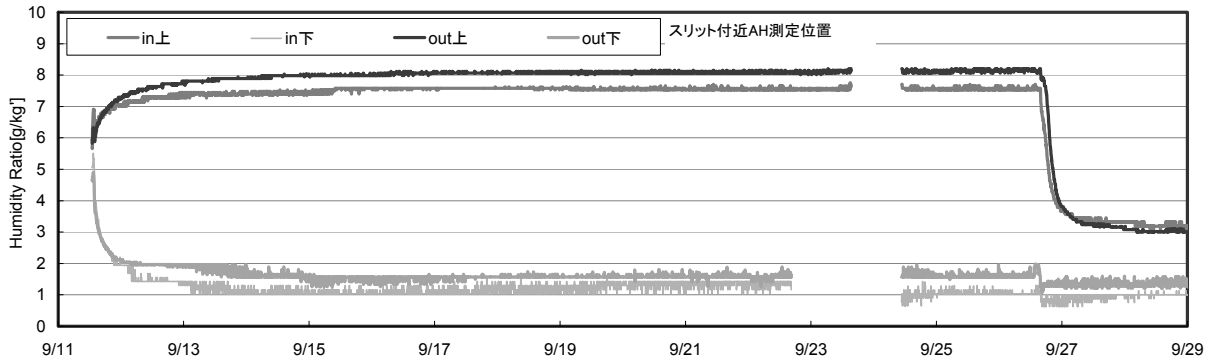


図 2.4.30 スリット付近絶対湿度（区画A・Pattern 1-2,1-3）

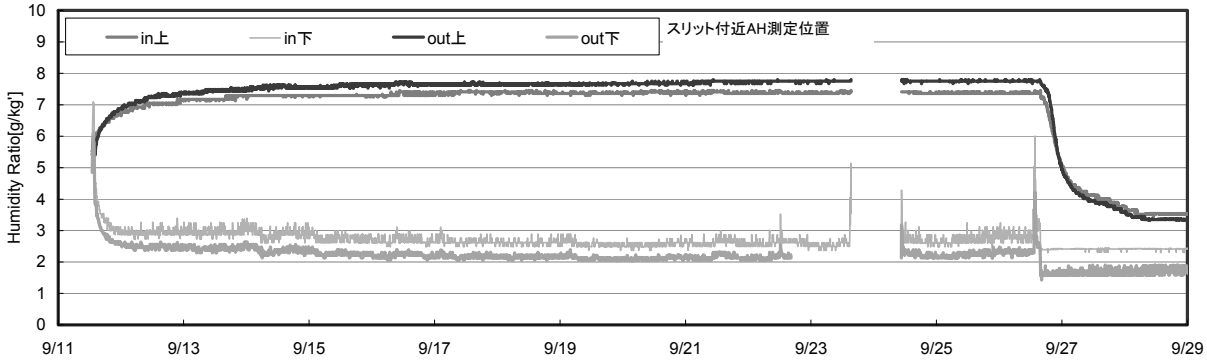


図 2.4.31 スリット付近絶対湿度（区画B・Pattern 1-2,1-3）

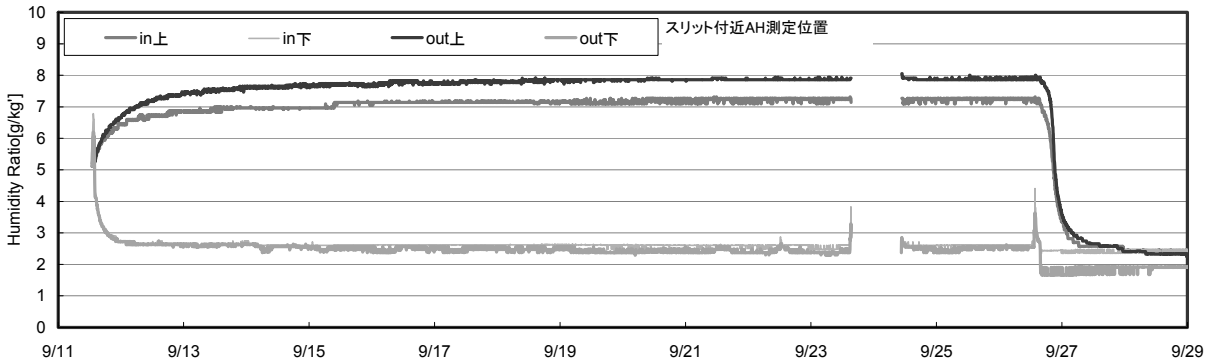


図 2.4.32 スリット付近絶対湿度（区画C・Pattern 1-2,1-3）

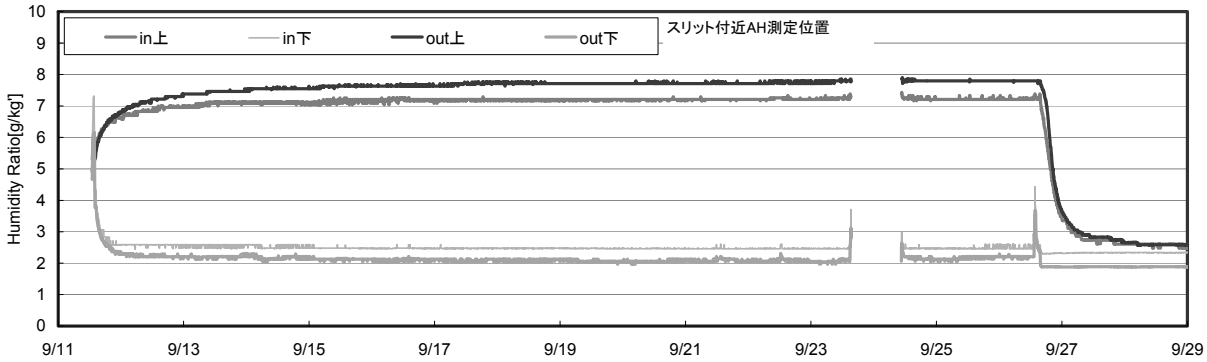


図 2.4.33 スリット付近絶対湿度（区画D・Pattern 1-2,1-3）

(4) 各パターン　分布の比較

これまでに述べた4つのパターンでの壁内温湿度分布を比較する。

図 2.4.34にパターン・区画毎の壁体中央断面鉛直方向の温度分布を示す。なお、スケールを合わせたためPattern1-2、1-3は外気室温度が示されていないが、ともに8.6～8.7℃である。

壁体内には断熱材が充填されているため、パターンによる温度の違いは小さい。しかし、1-2→1-3を見ると1.0℃程度試験体下部の温度が低下している。これは、低温の外気室空気がスリットを通して流入したためと考えられる。ただし、内外差圧1～6Pa程度では、壁体上部の温度に影響を与えるほどの気流は壁内で発生していないことが推測できる。

図 2.4.35にスリット付近の温度分布である。Pattern0-4、1-1ではほぼ同じ分布を示しており、室内側にのみ開口がある場合は壁内に熱的な影響を与えない。室外側に開口のある1-2、1-3の場合、流入する空気の影響で、特に外気側の下部温度が低くなる。

図 2.4.36にパターン・区画毎の相対湿度の温度分布を、図 2.4.37には絶対湿度の分布を示す。

絶対湿度を見ると、いずれも壁体表面に垂直な方向(室内外方向)での分布は小さく、上下で分布がついている。室内側に開口を設けたPattern1-1では、Pattern0-4と比べ室内室空気の絶対湿度に近づいている。分布としては上部が高く下部が低くなる傾向にある。下部にコンセント大の穴をあけた区画C・Dでは、室内空気に触れる面積が大きいため下部の絶対湿度も高くなっている。スリット幅が50mmでコンセント大の穴のない区画Bと、スリット幅が10mmで穴のある区画Cでは、区画Cの方が絶対湿度が高くなっており、スリット状より正方形に近い方が湿気が流入しやすい可能性が示されている。

外気側の下部にスリットを設けたPattern1-2では、下部の絶対湿度が低く上部の絶対湿度が高い傾向が顕著である。これは、下部のスリットから乾燥した外気室空気が、上部のスリットからは湿った室内室空気が流入し、かつ壁内でも温度差により若干の気流が生じているためと考えられる。区画A・Bと区画C・Dで異なる点は、壁体中央断面の中央高さ・下部の絶対湿度である。区画A・Bでは下部が低く中央高さが高いのに対して、区画C・Dでは中央高さはそれほど高くなっていないが下部はA・Bに比べ高い。区画C・Dが持つ試験体下部の穴の影響ではないかと推測されるが、明確な答えはまだ出ていない。試験体下部の室内側・外気側両方に開口を持つことで、壁内の温度差による気流が生じにくくなる可能性はあるが、本試験では壁内の流速あるいは流量を測定できないので、数値計算等で確認する必要がある。

強制的に通気を生じさせたPattern1-3では、壁体上部でも絶対湿度が低くなっている。温度にはあまり影響しない気流も、水蒸気の移動に関しては相当大きな影響を持つことがわかる。本実験のように乾燥空気が流入した場合は、壁内の乾燥化が進み、防露の観点では安全側であるが、流入する空気の絶対湿度が高ければ、壁内の思わぬ部分で結露が生じる可能性がある。

相対湿度については、壁内の絶対湿度が室内外方向にはほぼ一様であることから、温度の低い室外側が高くなる。Pattern1-2の室外側上部スリット付近で相対湿度95%を超える場合が見られ、壁体の下部より上部での結露危険性が示された。

(5) 実験のまとめと今後の課題

今回の実験では、材料の吸放湿を考えず、水蒸気の拡散と移流にのみ着目した。壁内気流がほとんど生じていないと思われる状況では、壁内絶対湿度は上部が高い傾向を示す。この原因は現在も検討中であり、数値計算結果との比較により明確にしたいと考えている。一方、温度にはそれほど影響しない

程度の気流（内外差圧で1～6Pa程度）でも、水蒸気移動に与える影響は大きく、防露上壁内気流のコントロールが非常に重要であることが示された結果となった。

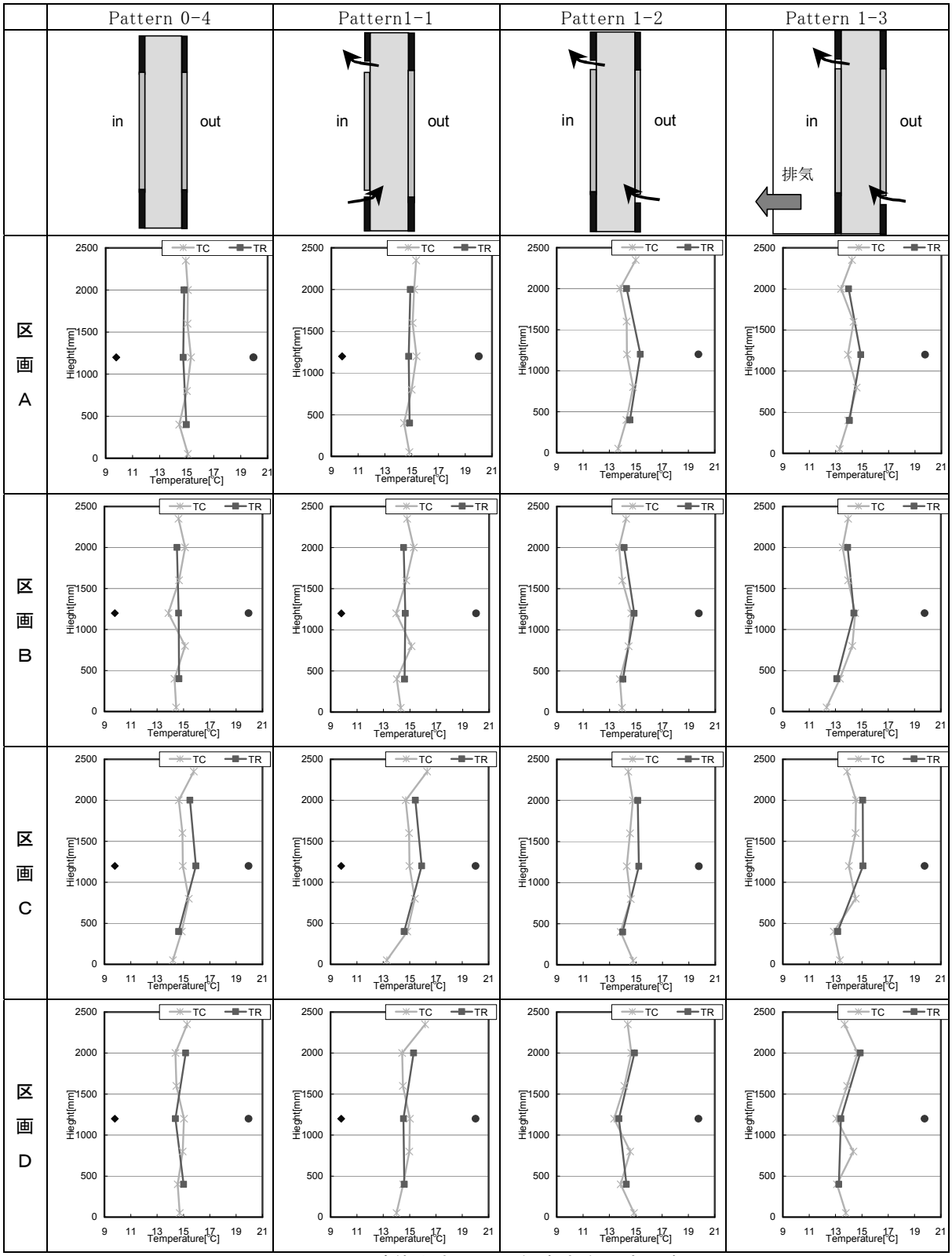


図 2.4.34　壁体中央断面　鉛直方向温度分布

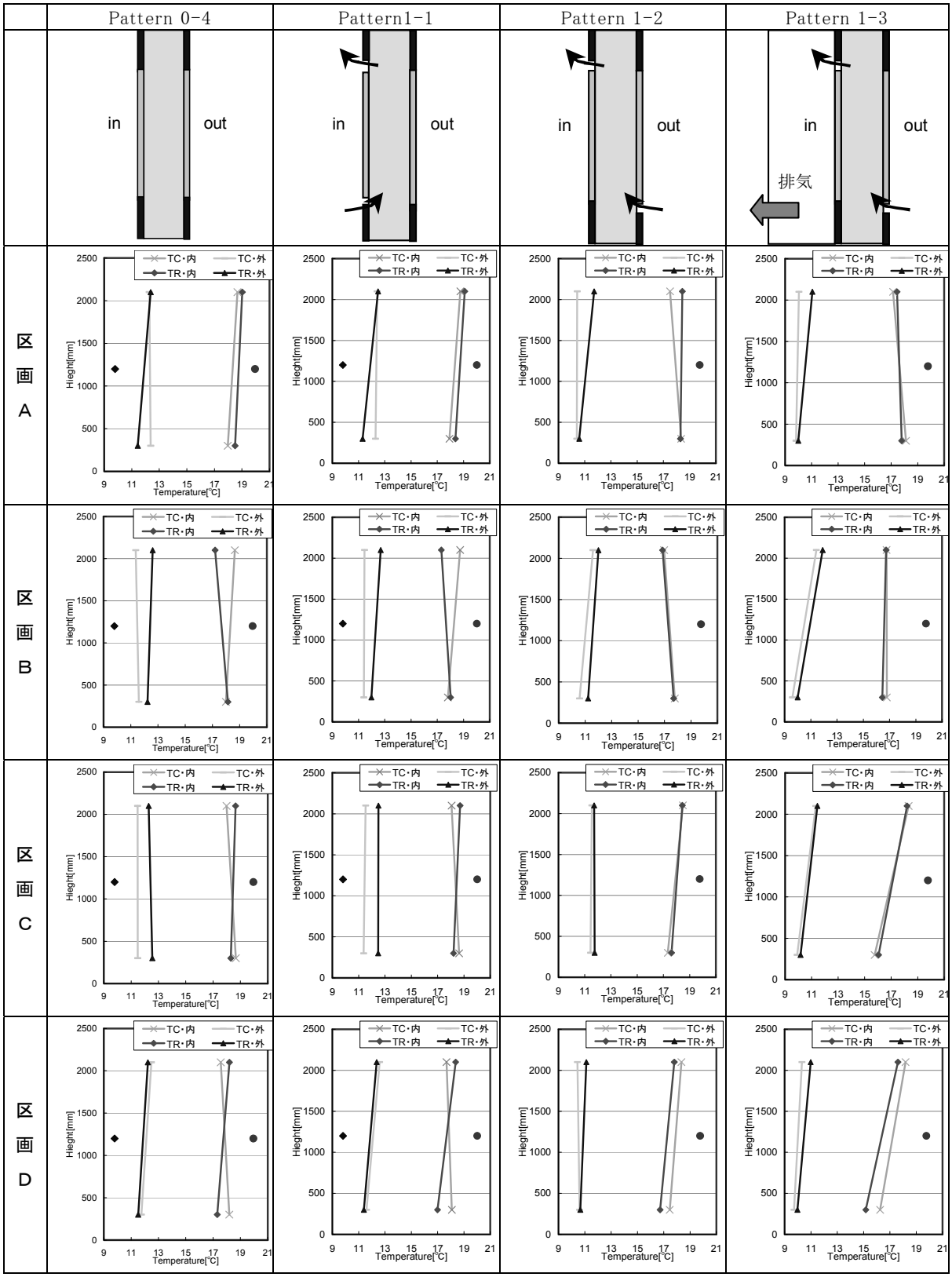


図 2.4.35 スリット付近 温度分布

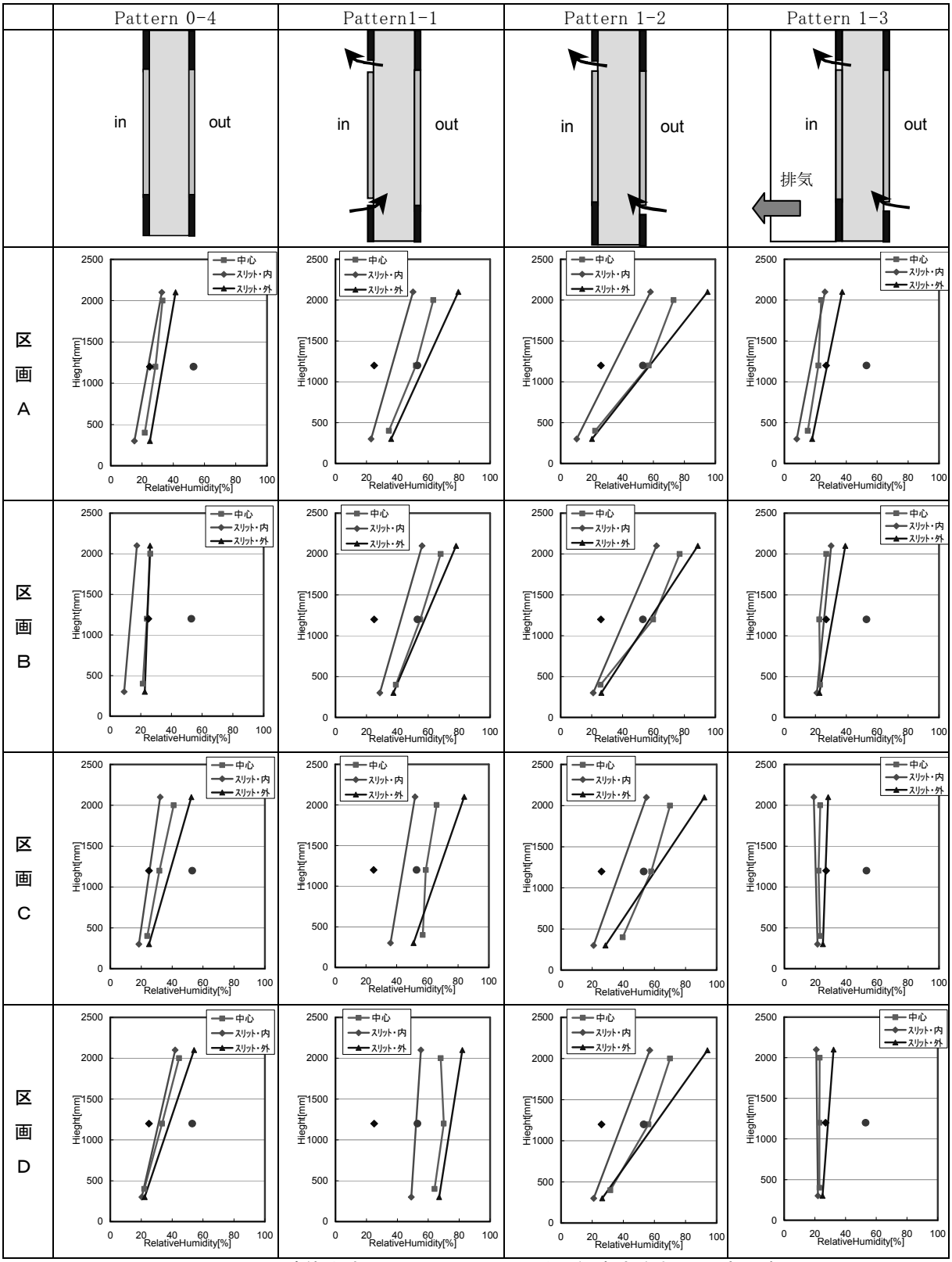


図 2.4.36　壁体中央断面・スリット付近　鉛直方向相対湿度分布

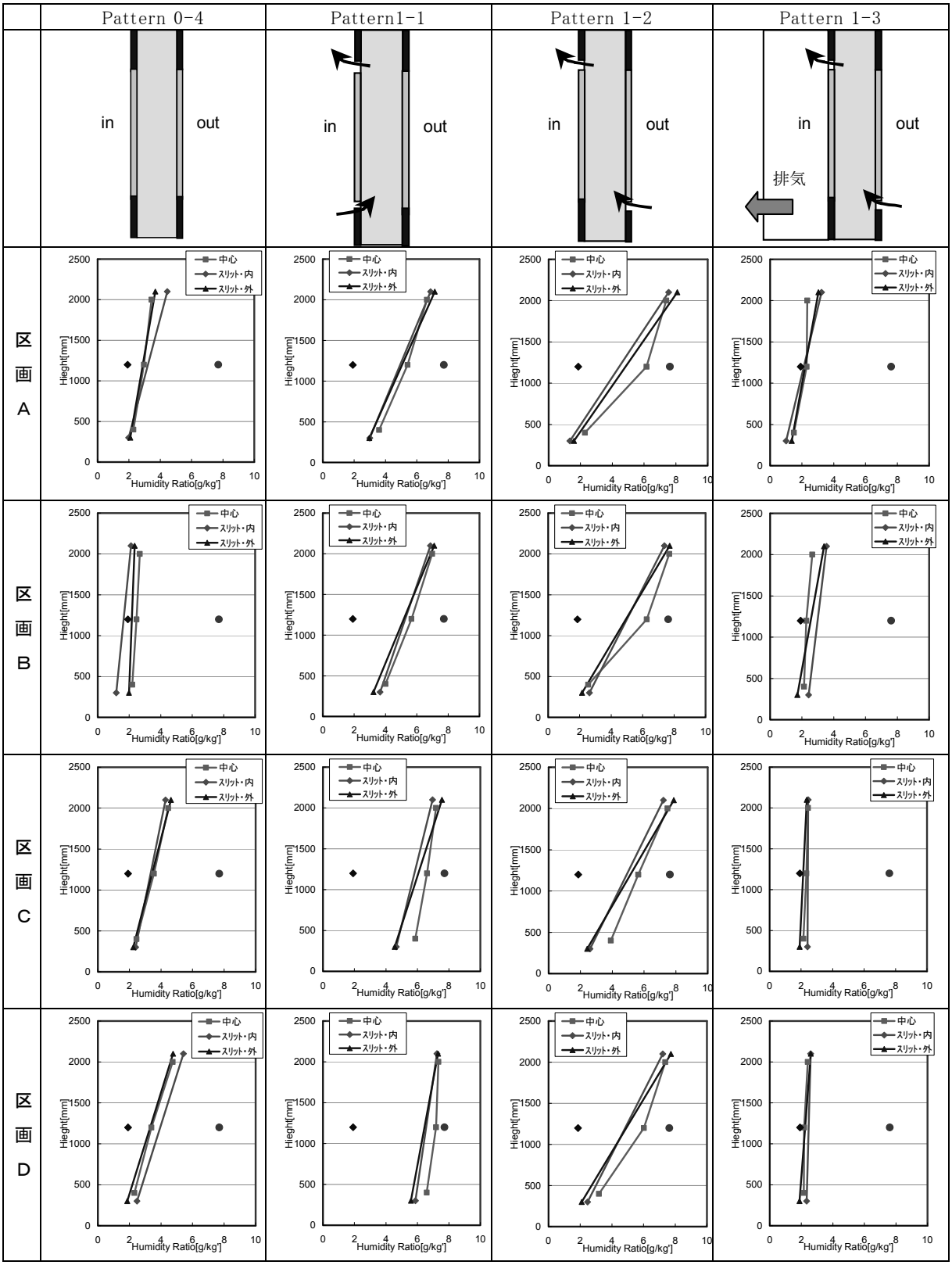


図 2.4.37 壁体中央断面・スリット付近 鉛直方向絶対湿度分布

2.4.3 各取合い部の相当隙間面積の測定

1) 目的

在来木造工法の壁内通気量を推定するため、断熱材種類や施工方法の違いによる床・壁取合い部の隙間量を測定する。また、通気止め材の効果、施工による影響も合わせて検討を行う。

2) 測定概要

(1) 測定装置

図 2.4.38に測定装置を示す。内法寸法1000mm×1500mm×600mmの気密箱の上に試験体を設置し、気密箱内部をファンにより加圧(室内に対しては負圧)して、箱内外の圧力差と空気の流量を測定する。得られた結果から(式)2.4.1を用いて隙間面積(α)、隙間特性値(n)を求める。

$Q=\alpha A*SQRT(2g/\gamma)*(\triangle p\hat{}(1/n))$・式2.4.1

(2) 試験体概要

図 2.4.39に試験体概要を示す。試験体作成状況を写真 2.4.3に示す。

試験体は外壁断熱に付属防湿層付きグラスウール断熱材16K-100mmを用い、外壁断熱材の施工は以下の2種

・良施工(付属防湿フィルムを間柱室内側にしっかりとタッカー止め)
・雑施工(付属防湿フィルムを間柱側面にタッカー止め)

外壁下端部の通気止めは以下の3種と、特段の措置を講じていない状態の4種、

・木材を横下地として間柱間に施工
・通気止専用品(繊維系断熱材)を施工
・床断熱材(XPS,PE、GW32K)を外壁防風材外側まで延長して施工
・外壁の付属防湿フィルムを床合板に折

その他、外壁石膏ボードと床合板の目張りの有無など組み合わせによる計24体の試験体を測定した。

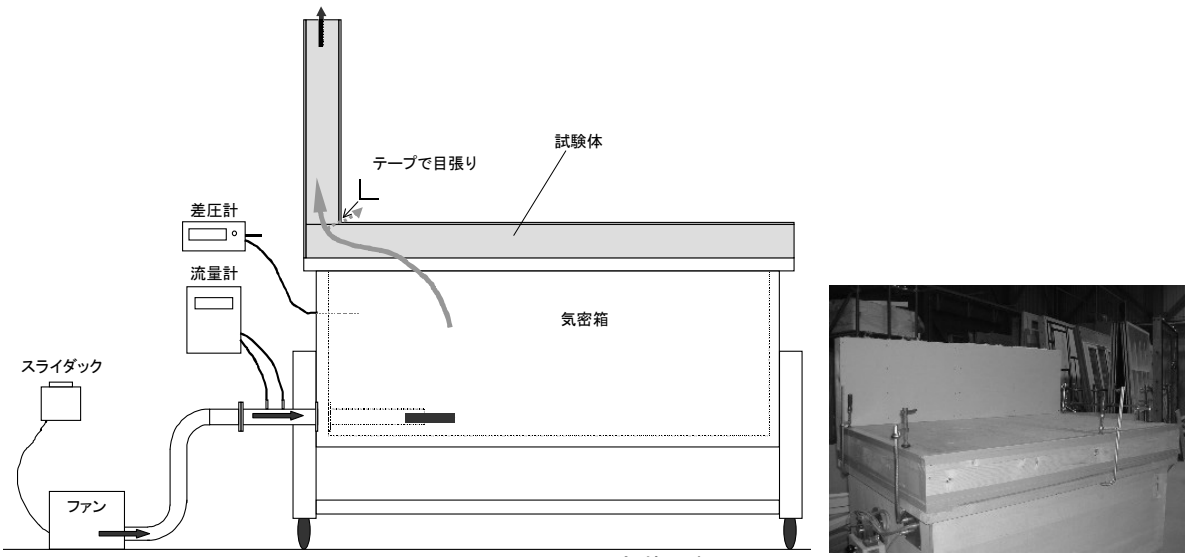
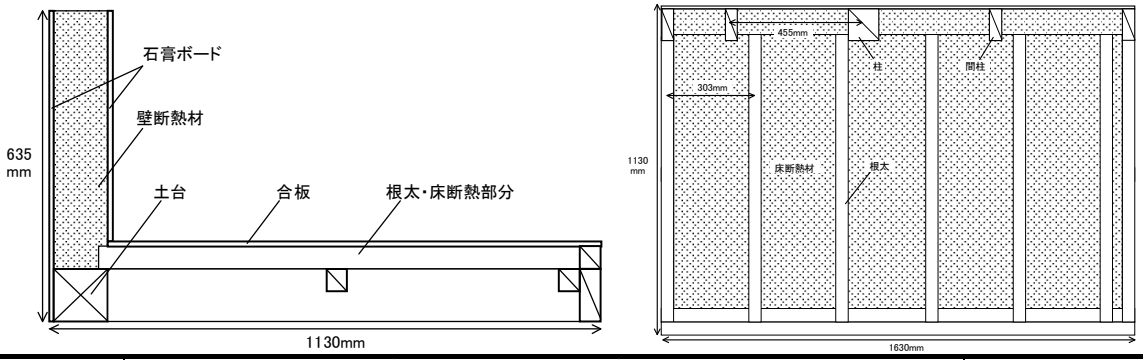
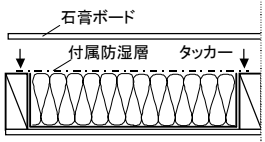
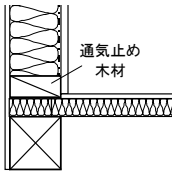
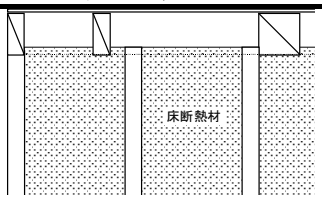
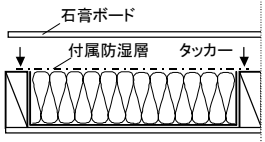
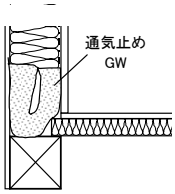
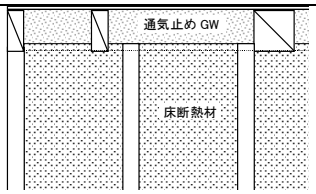
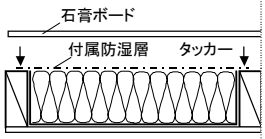
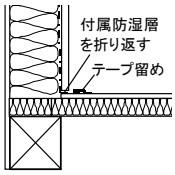
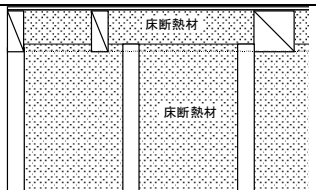
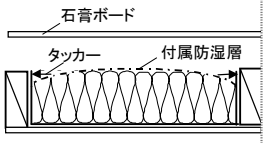
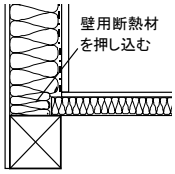
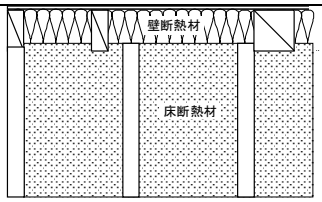


図 2.4.38 測定装置概要



	壁横断面	取合い部断面	床断熱材の配置	試験パターン
試験体① 次世代仕様 木で 通気止め				・床断熱なし (目張り有無) ・床断熱XPS (目張り有無)
試験体② GWで 通気止め				・床断熱なし ・床断熱GW (目張り有無) ・床XPS/PE
試験体③ 良施工				・床断熱なし ・床GW/ XPS ・床PE上下
試験体④ 不良施工				・床断熱なし ・床GW (目張り有無) ・床XPS ・床PE上下

■床断熱材のバリエーション

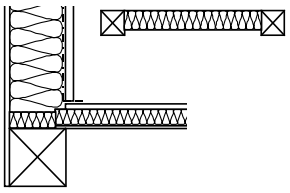
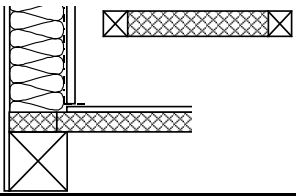
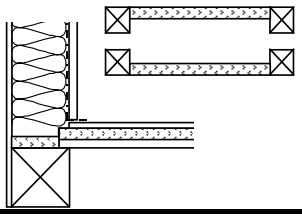
GWボード32K 42mm	XPS3種b 45mm	ポリエチレンフォーム 25mm
		

図 2.4.39 試験体概要



写真 2.4.3 床断熱施工

3) 測定結果

H11年省エネ基準設計施工指針に規定されている通気止め仕様として代表的な「先張り防湿シートを用いた通気止め措置(表2.4.3最下欄記載の仕様)」と比較して、各壁体仕様の隙間量の大小を概説する。

間柱間横方向に24mm×105mmの木下地を施工し通気止めを図った仕様(壁体1-1～1-4)で、床に発プラ系断熱材を施工した場合は、隙間量が約数倍程度増加する。

通気止め部材専用品(袋入りGWを特殊可能したもの:写真 2.4.3右)を施工した場合は約2～3倍程度の増加となる。

発プラ系床断熱材を外壁外気側まで、極力隙間が生じないように施工し、外壁断熱材の付属防湿層を床合板にテープで留めつけた場合(壁体3-1～3-5)も、同様に約2～3倍程度の増加となる。

表 2.4.3 測定結果

		αA	n	R2
試験体1	木で通気止め			
1-1	床断熱材なし(目張りアリ)	0.606	1.00	0.9974
1-2	床断熱材なし(目張りナシ)	1.120	1.11	0.9991
1-3	床XPS(目張りアリ)	0.336	1.01	0.9952
1-4	床XPS(目張りナシ)	0.551	1.09	0.9976
試験体2	GWで通気止め			
2-1	床断熱材なし	0.316	1.10	0.9994
2-2	床GW(目張りアリ)			
2-3	床GW(目張りナシ)	0.453	1.03	0.9999
2-4	床PE(上端揃え・目張りアリ)	0.177	1.01	0.9989
2-5	床PE(上端揃え・目張りナシ)	0.250	1.01	0.9903
2-6	床PE(下端揃え・目張りアリ)			
2-7	床PE(下端揃え・目張りナシ)	0.365	1.02	0.9993
2-8	床XPS(目張りアリ)	0.224	1.11	0.9546
2-9	床XPS(目張りナシ)	0.240	1.02	0.9984
試験体3	良施工 ※目張りアリが基本			
3-1	床断熱材なし	2.124	1.006	0.9942
3-2	床GW	1.086	1.004	0.9916
3-3	床PE(上端揃え)	0.464	1.167	0.9959
3-4	床PE(下端揃え)	0.258	1.059	0.9881
3-5	床XPS	0.685	1.085	0.9951
試験体4	不良施工 ※目張りナシが基本			
4-1	床断熱材なし	3.916	1.107	0.9964
4-2	床GW(目張りアリ)	2.000	1.013	0.9960
4-3	床GW(目張りナシ)	2.219	1.022	0.9966
4-4	床PE(上端揃え)	2.170	1.001	0.9953
4-5	床PE(下端揃え)	1.325	1.056	0.9974
4-6	床XPS	0.492	1.136	0.9930
既往の研究から(※)				
間仕切り壁上下端部:乾燥材通気止め		0.06	1.28	
間仕切り壁上下端部GW10K-75(通気止専用部材)		0.14	1.00	
外壁と床との取合い:先張りPE		0.12	1.16	

※参考:2001年日本建築学会大会学術講演梗概集 D-Ⅱ p11～12
住宅における各種気密ジョイント部の気密性能に関する研究(続報)より

床断熱材は土台付近まで施工し、外壁断熱材の付属防湿層を間柱側面に留めつける標準的な施工では、断熱材の種類によらず隙間量は10倍以上となり、隙間量の増加が著しい。

これらの結果を受け、2.8で換気回路網計算によって各種通気止め措置を講じた場合の壁内通気量を算出し、2.10で壁内通気量が壁内の熱・湿気性状に及ぼす影響を数値解析から把握する。

（伊庭千恵美、鈴木大隆）

2.5 断熱壁体モデル基礎実験－日本建築総合試験所－

2.5.1 目的

我が国の住宅の断熱外皮技術は、寒冷地で培われた技術を基にして、省エネルギー基準の設計施工指針などに記載されているように全国的に具体的な仕様が定められている。平成11年の省エネルギー基準の改正では、断熱・気密・防露性能の更なる向上が求められ、断熱材の室内側に防湿気密層を設け、壁体上下の取合い部には通気止めを施工することが基本となっている。在来木造工法では、取合い部に気密施工を施さなければ、床下からの冷気が断熱壁体の中を通り、天井ふところへ抜ける流れが生じ、断熱性能の低下や内部結露、木材腐朽による湿害などを招く危険性がある。しかし、温暖地などでは防湿気密施工に対する認識不足とともに、その施工技術が難しいという問題が断熱壁体の普及を妨げ、そのような弊害発生の原因にもなっている。また、これまでの壁体内の熱・湿気性状の評価では、壁体構成単独のみを扱ったものがほとんどであり、壁体内部が床下や小屋裏などと繋がっている場合を考慮して検討されていない。

そこで、壁内通気が外壁の熱・湿気性状に与える影響を定量的に把握することを目的として、実際の断熱外壁をモデル化し、断熱材の施工条件も考慮して実験を行った。これにより、壁内通気量の把握、即ち許容できる壁内通気を考慮すれば、地域の気候特性や壁体構成によっては、仕様基準を遵守しなくても、同等の断熱防露性・躯体耐久性を確保できる技術的改善の可能性も考えられる。また、壁内温湿度性状の把握、シミュレーション開発のための基礎データとしても活用でき、住宅の断熱化を促すことが期待できる。

2.5.2 実験概要

1) 壁体モデル

壁体モデルは、図 2.5.1及び図 2.5.2に示すように間柱材(105㎜×35㎜)を用いて、幅490㎜×天井高さ2400㎜の大きさの外壁とし、対象部位、断熱材の種類、施工状態の影響について把握するために、表 2.5.1及び表 2.5.2に示す合計15仕様とした。

壁体の取合い部の隙間は、全ての仕様で上部100㎜とし、下部は床断熱材がグラスウールボード及びポリエチレンボードの場合のみ45㎜角の根太を施工した状態を想定し、それ以外の仕様では上部と同様に100㎜の隙間とした。

壁断熱材に多く用いられているグラスウール断熱材の種類については、高性能品(細繊維,HGW)と通常品(GW)の2種類、また、被覆材がない裸品と防湿フィルム付きが2種類(通常品と厚手で耳幅が広い品(福耳))のものを用いた。

断熱材の施工状態については、断熱材の充填不良などがない理想的な施工状態(施工良)と断熱防湿欠損が生じている施工状態(施工不良)の2条件を再現した。施工良については、グラスウール断熱材で壁内部に空隙が生じないように念入りに充填し、袋入り(福耳)のものは防湿フィルムの耳を間柱の見付け面にタッカーで留め付けた。また、施工不良については、グラスウール断熱材では壁体内に押し込

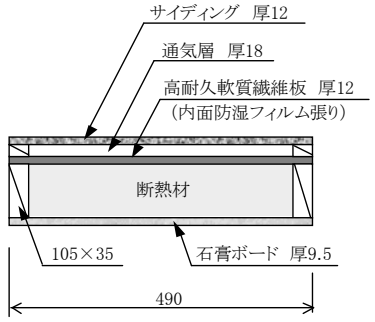


図 2.5.1 壁体構成

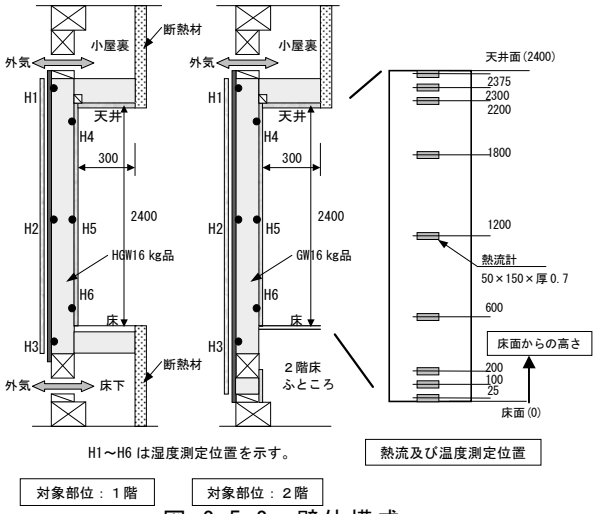


図 2.5.2 壁体構成

みすぎた状態を想定し、室内側端部で20㎜の隙間が生じるように裸GWでは水糸を張って、袋入りGWでは防湿フィルムの耳を間柱の見込み面にタッカーで留め付けてその隙間を保持した(写真 2.5.1)。

ポリスチレンフォーム断熱材については挿入する幅より小さくカットされて施工した状態を想定し、断熱材の周囲に3㎜の隙間が生じるようにするとともに、断熱材自身を内装材側に寄せた場合と外装材側に寄せた場合とした。

また、壁体1-6及び1-7の壁下端の断熱施工については、まず床断熱材を施工(土台部に20㎜入れた状態)してから(写真 2.5.2)、その隙間に壁断熱材(GW)を上から差し込むようにして挿入し、壁体1-9及び1-10ではその同じ床断熱施工に対して、壁下端部に生じた隙間に床断熱材を充填して、壁断熱材との隙間が極力生じないような丁寧な施工方法とした。

表 2.5.1 壁体仕様一覧

壁体	対象部位	壁断熱材		床断熱材	天井断熱材
		種類	施工状態		
1-1	1階	裸HGW充填	良	裸HGW	裸HGW
1-2			不良		
1-3		裸GW充填	良	裸GW	裸GW
1-4			不良		
1-5		袋GW充填	不良	裸GW	
1-6				GWボード	
1-7				PEボード	
1-8		袋GW充填(福耳)	良	裸GW	
1-9				GWボード	
1-10				PEボード	
1-11		PSボード(内側)	不良	裸GW	
1-12		PSボード(外側)			
2-1	2階	裸HGW充填	良	裸HGW	裸HGW
2-2			不良		
2-3		袋GW充填	不良	裸GW	裸GW

注)・裸HGW:高性能グラスウール、被覆材なし、16kg品、厚100㎜
・裸GW:グラスウール、被覆材なし、16kg品、厚100㎜
・袋GW:グラスウール、防湿フィルム付き、16kg品、厚100㎜
・袋GW(福耳):グラスウール、防湿フィルム(厚手、幅広)付き、16kg品、厚100㎜
・GWボード:グラスウール、防湿フィルム付き、32kg品、厚42㎜
・PEボード:ポリエチレンフォーム、厚30㎜
・PSボード:押出法ポリスチレンフォーム、厚50㎜
・自然:外壁上下端の取合い部に気密層を設けないで、そのままとした条件。
・密閉:外壁上下端の取合い部を樹脂テープで気密にした条件。

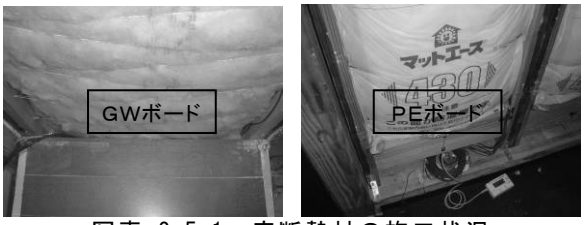


写真 2.5.1 床断熱材の施工状況

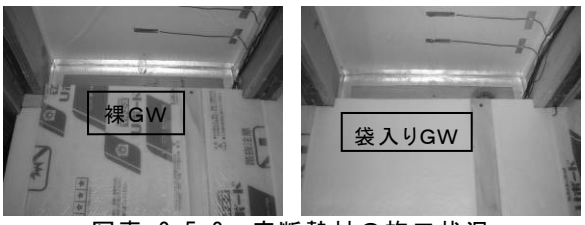
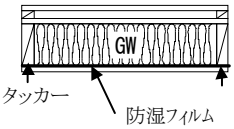
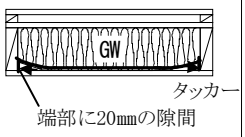
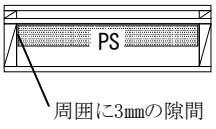
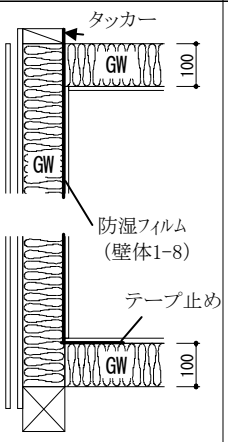
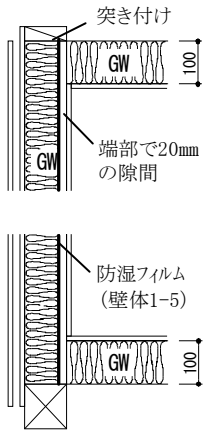
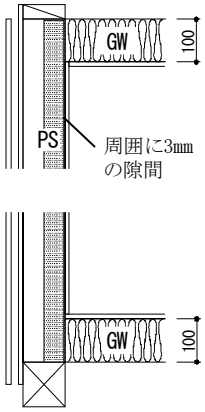
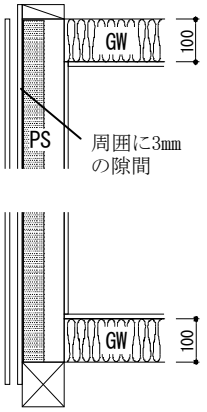


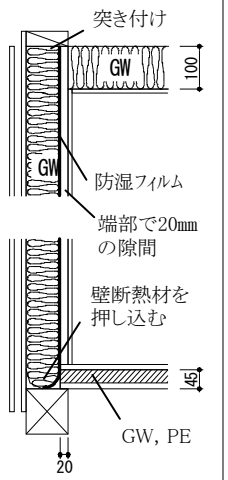
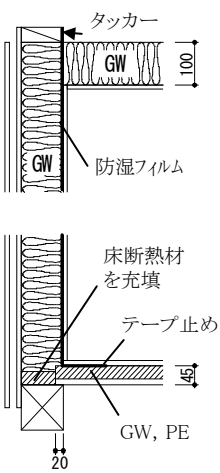
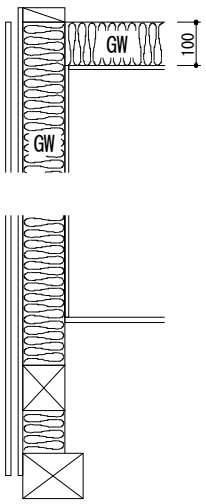
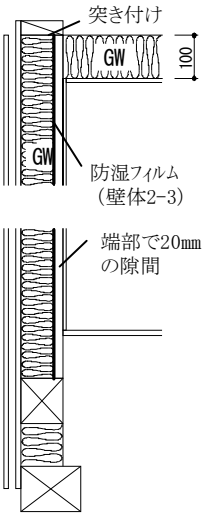
写真 2.5.2 床断熱材の施工状況

なお、各壁体側面は漏気による水蒸気移動が生じないようにポリエチレンシートで断湿し、外装材の内面にはプラスチックフィルムを貼り付けて非透湿処理を施し、外装材の透湿及び吸湿の影響を除いたものとした。また、各壁体構成材の熱物性値から算出した計算上の熱貫流率は、HGWの外壁で約0.32W/(㎡・K)、GWの外壁で約0.37W/(㎡・K)、PSボードの外壁で約0.52W/(㎡・K)である。

表 2.5.2 壁体仕様詳細

対象部位	1，2階		1階	
施工状態	良	不良		
壁　体	1-1，1-3，1-8，1-9 1-10，2-1	1-2，1-4，1-5，1-6 1-7，2-2，2-3	1-11	1-12
水平断面	 袋GWの防湿フィルムは、間柱見付け面に留め付け（壁体1-8,1-9,1-10）	 袋GWの防湿フィルムは、間柱見込み面に留め付け（壁体1-5,1-6,1-7,2-3）		

対象部位	1階			
施工状態	良	不良		
壁　体	1-1，1-3，1-8	1-2，1-4，1-5	1-11	1-12
垂直断面				

対象部位	1階	2階	
施工状態	不良	良	不良
壁　体	1-6，1-7	1-9，1-10	2-1	2-2，2-3
垂直断面				

2) 実験条件

実験は日本建築総合試験所の環境制御ツインチャンバー(内法寸法:W2600×L2600×H3200㎜)を用い、その両室の界壁部分に最大4仕様の壁体を垂直に設置した(図 2.5.3及び写真 2.5.3)。

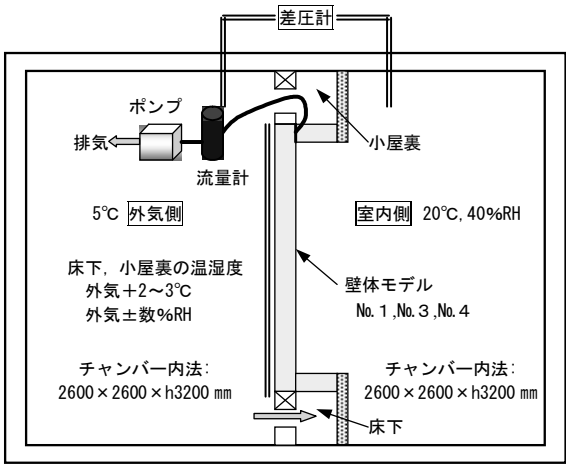


図 2.5.3 実験装置及び壁内強制通気の方法

壁体両側の温湿度条件は、全ての実験を通して外気側5.0±0.3℃、室内側20.0±0.3℃, 40±3%RHの定常状態とした。また、床下及び小屋裏部分に相当する箇所には断熱材でその模擬空間を再現して外気側に開放し、外気に対して概ね+2～3℃, ±数%RHに保たれており、2階床懐内部の温度は、上下階室温の平均値にほぼ近似するという既往の知見を基に、本実験では室内空気が直接、壁体下端部から流入する構成とした。

壁内の通気条件は、1,3,5,7,10L/min(壁体1-12については30L/minまで、壁体1-8, 1-9, 1-10は強制通気なし)の強制通気モード、自然通気モード、密閉モードを行い、袋入りGWではそれに加えて室内側を外気側に対して+5Paの差圧を与えた条件でも実験を行った。なお、通気量1L/minを今回の壁体モデルでの断面平均風速に換算すると、約22.7㎜/min(0.38㎜/sec)である。

強制通気の方法は、図 2.5.3に示すように壁体上端の取合い部を樹脂板で密閉して、そこにパイプ(内径6㎜×3箇所)を取り付け、流量計を介してポンプで強制的に通気させる方法とした(写真 2.5.4)。

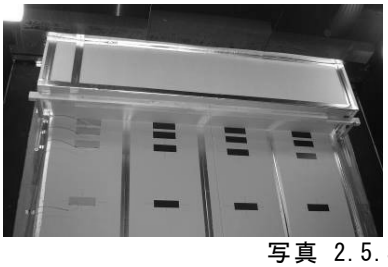



写真 2.5.3 実験状況

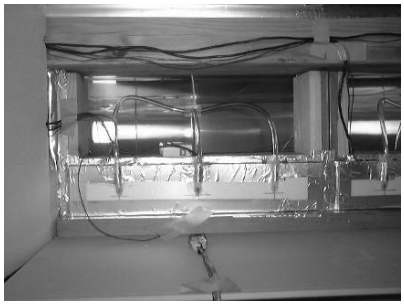


写真 2.5.4 強制通気の状況

3) 測定項目

本実験における測定内容は、図 2.5.2に示す4項目とした。

・壁体内部の温湿度(H1～H6の6点)
・壁体内面温度(内外装材内面で熱流計の位置で9点)
・室内側表面温度(サーモカメラにより全面)
・壁体貫流熱量(内装材表面の9点)

測定センサーは、壁体内部の温湿度測定にはロガー付き小型温湿度センサー(T&D社製、TR-72S)を、壁体内面温度測定にはT熱電対(φ0.2㎜)を、室内表面温度の測定にはサーモカメラ(NEC三栄㈱製、TH7102WV)を用いた。なお、各温湿度センサーの精度については別途、恒温恒湿槽で標準器との検証を行い、

温度で±0.3℃、湿度で±2%以内の範囲であったので、測定値を補正せずにそのまま用いた。

また、壁体貫流熱量の測定には、熱流計(英弘精機㈱製、MF-140)を用い、1箇所に3枚を並べて、50㎜×150㎜の範囲での測定とした。なお、熱流計の表面には厚さ1㎜の樹脂板を貼り付け、室内空気温度の微変動に伴う熱流計の起電力出力の変動を抑えた。

2.5.3 実験結果

1) 壁体内部の温湿度分布

各壁体について、壁体内部の温度測定結果を図 2.5.4に、湿度測定結果を図 2.5.5及び図 2.5.6に示す。

1階を想定したモデルでの裸GWの壁体1-1と1-2を比較すると、温度変化は通気量の増大とともに1-1では外装材下端部(H3)で大きく上昇し、それに対して1-2では内装材下端部(H6)で大きく低下している。その程度は小さいが壁体1-3と壁体1-4でも同様の傾向が見られる。また、湿度変化は通気量の増大とともに両壁体とも低下しているが、1-1の外装材上端部(H1)の低下が顕著である。また温度と同様に壁体1-3と壁体1-4でも同様の傾向が見られる。絶対湿度で壁体1-1～1-4を比較すると、施工良の場合は密閉モードより強制通気モードが全体に低湿であり、施工不良の場合ではその逆となっている。

これらを考え合わせると施工良の場合は、概ね壁体内全面に床下からの空気が拡散されて流れており、施工不良の場合は、床下から進入した気流が外装材まで影響せずに、主として断熱欠損箇所で通気が為されており、尚かつその程度はHGWの方が顕著であると考えられる。

また、袋入りGWの施工不良(壁体1-5～1-7)では、外装材側の湿度が通気量の増加とともに低下している。これは壁内通気の影響が外装材にまで及んでいることを示しており、この程度の施工不良では防湿フィルムの断湿効果が発揮されていないと言える。特に壁体1-7の外装材上端部(H1)で通気量の少ない場合は、飽和状態になっている。また、袋入りGW(福耳)の施工良の場合では、室内外に5Paの差圧を与えても自然通気モードとほとんど変わらないため、この施工方法では壁内通気がほとんど生じていないことを示している。

PSボードを壁断熱材に用いたものでは、その断熱材を内側に寄せた場合(壁体1-11)と外側に寄せた場合(壁体1-12)とで、壁体内部の温湿度分布が大きく異なり、特に外側に寄せた場合は、外装材下端部(H3)で飽和状態となっている。

各壁体の温湿度分布で自然通気モードを壁内通気量に照らし合わせた場合、裸GWの施工良の場合で1～3L/min時と近似しており、それに対して施工不良の場合では10L/min以上の通気量になっているものと推測できる。また、袋入りGWで施工状不良の場合では7～10L/min時と近似しており、それに床断熱材にPEボードを施工したもの(壁体1-7)では10L/min以上の通気量が生じているものと考えられる。また、PSボード断熱材の壁体では10L/min以上の通気量と近似した結果となっている。

2階を想定したモデルで裸GWの壁体2-1と2-2を比較すると、通気量の変化に伴う温度変化は少ないが、湿度については通気量の増大とともに2-1では全体に上昇し、それに対して2-2では概ね低下しているが、いずれも外装材側の湿度が飽和状態に近くなっている。これは壁体下端から室内の高温空気が流入するためであるが、1階の場合と同様に施工不良の場合は、断熱欠損箇所で主に通気されると考えら

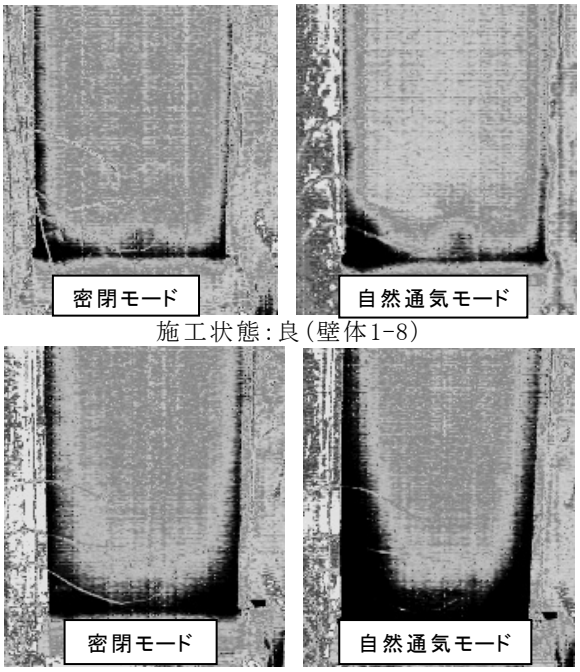
れるため2-2では低下傾向になっているものと考えられる。また、壁体2-3でも外装材上端部(H1)が飽和に近い状態になっており、この程度の施工状態では防湿フィルムの断湿効果が発揮されていないことが伺える。

2) 壁体内面の温度分布

各壁体について、壁体内の冷却側温度分布を図 2.5.7に、加熱側温度分布を図 2.5.8に、両内面温度差分布を図 2.5.9に示す。

その結果、袋入りGWより裸GWの方が壁内通気量による影響が大きく現れており、尚かつGWよりHGWの方が影響を受けやすい結果となっている。これは防湿フィルムの有無及びGW断熱材の通気抵抗による違いと考えられる。また、PSボードを壁断熱材に用いたものでは、その断熱材を内側に寄せた場合(壁体1-11)と外側に寄せた場合(壁体1-12)とで、壁体内部の温度分布が大きく異なる結果となっている。

また、壁体内面の両表面温度差で壁内通気の影響を見た場合、1階を想定したモデルでは壁体下部の温度差が通気量の増加とともに小さくなり、特に、壁体1-6、1-11及び1-12が顕著である。また、1階の中央部及び2階を想定したモデルでは通気量の影響は少ない。ただし、この温度は壁体モデルの幅中央部の温度であるため、施工不良の壁体では、断熱欠損部で温度低下が生じている可能性があり、その状況を室内側表面からサーモカメラで確認した例を写真 2.5.5に示す。その結果、壁体のかなり広い範囲で表面温度の低下が認められる。



施工状態:良(壁体1-8)
施工状態:不良(壁体:1-5)

写真 2.5.5 サーモカメラによる室内側表面の熱画像(壁下端部)

3) 局所熱貫流率

各壁体について、局所熱貫流率の分布を図 2.5.10に示す。

その結果、1階を想定したモデルでは、概ね上下端約200㎜の位置で局所熱貫流率がそれぞれ増加(断熱性が低下)しており、その他の部位ではほぼ同程度の断熱性能を示している。壁断熱材に裸GWを用いたものは通気量が増すほど、全体的に局所熱貫流率が増加(断熱性が低下)するが、施工不良の場合は上端部で逆転する傾向が見られる。また、袋入りGWでは通気量の影響は少なく、福耳GWでは差圧が生じても断熱的には影響は少ない。

PSボードを壁断熱材に用いたものでは、断熱材を室外側に寄せると室内側に寄せた場合より密閉モードで約2割の断熱性の低下が見られ、尚かつ壁内通気の影響で下半分の断熱性が大きく低下している。

2階を想定した壁体モデルでは、下端部から室内空気が侵入するため通気量が増すほど断熱性は上昇するが、上端部では1階モデル同様に大きく低下している。

また、各壁体の局所熱貫流率を用いて、各測定点の高さ方向の面積配分により壁体全体の平均熱貫流率を求めた。その結果を通気量

との関係で示したものを図2.5.11に示す。これより、壁内通気量と平均熱貫流率は概ね相関があり、1階壁モデルでは通気量の増加とともに断熱性が低下し、自然通気モードで約5～10%の断熱低下が認められ、通気量として約3～10L/minである。また、2階壁モデルでは通気量の増加とともにHGWの施工良の場合が断熱性が低下し、施工不良の場合は断熱性が上昇する結果となっており、自然通気モードでは1階壁モデルと同程度の断熱性の変化がある。これらは壁体内の施工不良にともなう断面欠損により、複雑な流れが生じるためと考えられ、今後の確認が必要である。

2.5.4 考察と断熱外皮設計上の知見

一連の実験において、壁内通気が取合い部を含む断熱外壁モデルの熱・湿気性状に与える影響を検討した。

壁内通気により1階モデルでは、床下から室外の低温低湿の空気が流入するため内部結露的には安全側に働くが、室内側下部の壁面温度を低下させるため、表面結露を助長させ、併せて断熱性能の低下も5～10%程度と考えられ、施工不良においてはさらに大きくなることが予想される。また、2階モデルでは床下から高温空気が流入するため、外装材裏面での結露の危険性が増すが、壁下端部での温度及び断熱性能の低下はない。

なお、PSボードを壁断熱材に用いた場合は、その施工状態によって熱・湿気性状が大きく異なった結果になっており、このことから温暖地などでよく用いられている厚50㎜のGWでも、その施工状態によっては断熱防露性能が大きく変化する危険性があり、今後十分検討する必要がある。

また、GWなどの繊維系断熱材で連続した断熱欠損が生じた場合、その部位に壁内通気が集中することになる。断熱欠損の大きさや発生箇所が定量的でないため、断熱防露設計では繊維系断熱材の充填工法として断熱欠損が生じない施工（全充填）とすることが第一と考え、あとは取合い部の気密施工の状態をどの程度まで考慮できるかである。その意味では今回の実験から、自然通気モードでの各壁体の壁内通気量は、概ね3～10 L/minと考えられ、完全気密を考えない許容できる壁内通気量として5 L/minが1つの目安になると考えられる。

（小南和也）

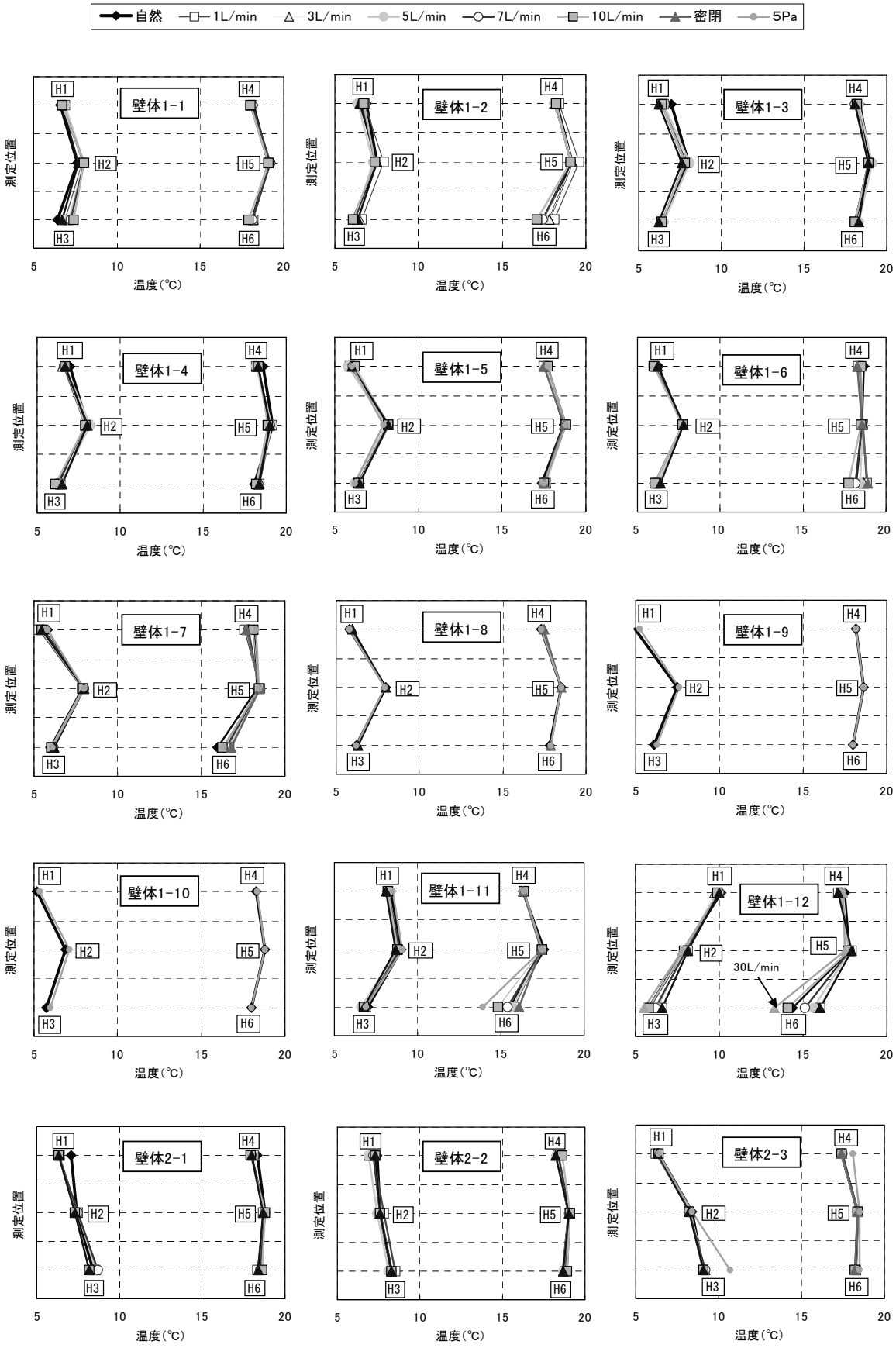


図 2.5.4 壁体内部の温度測定結果

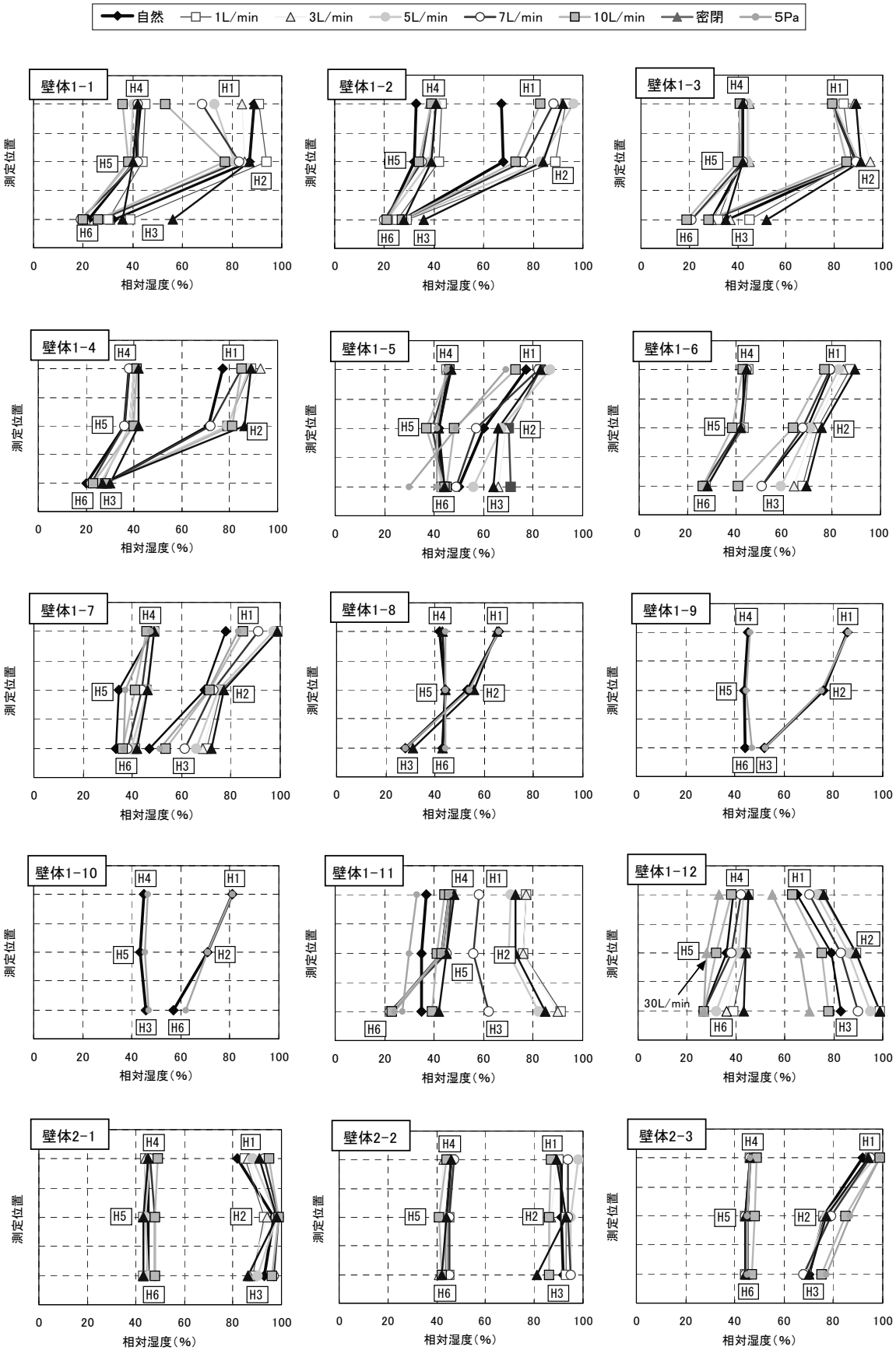


図 2.5.5 壁体内部の相対湿度測定結果

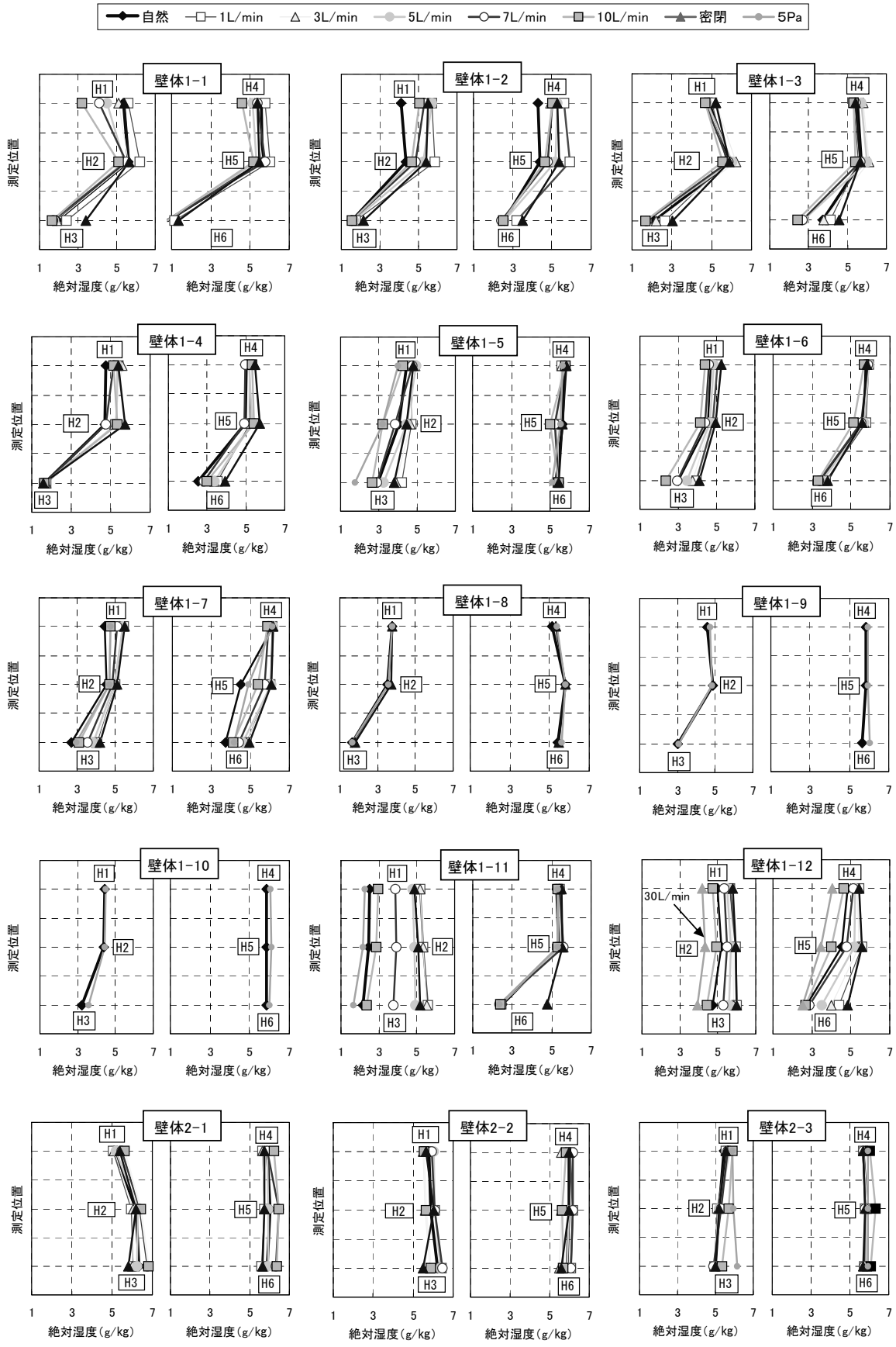


図 2.5.6 壁体内部の絶対湿度測定結果

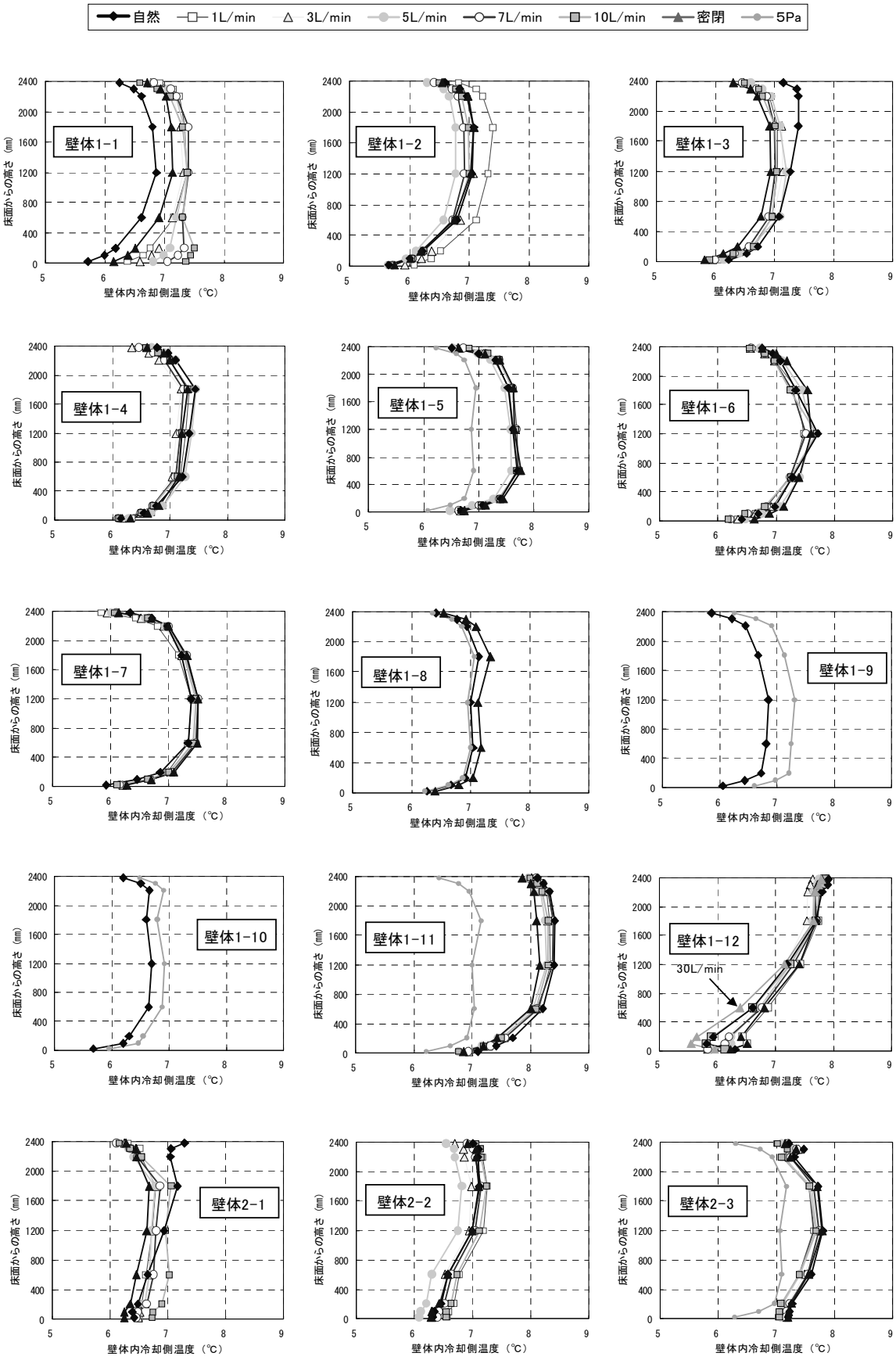


図 2.5.7 壁体内の冷却側温度測定結果

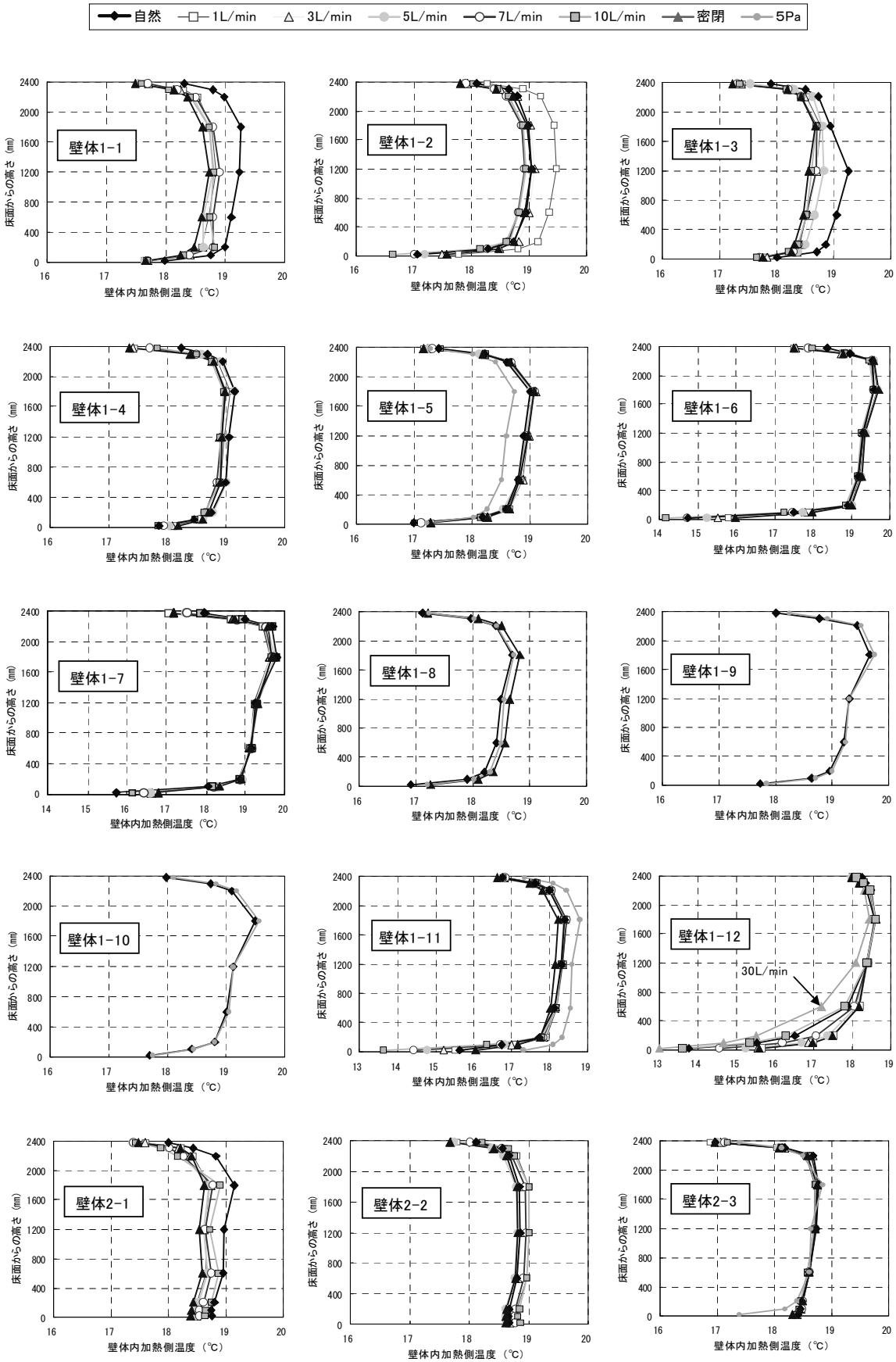


図 2.5.8 壁体内の加熱側温度測定結果

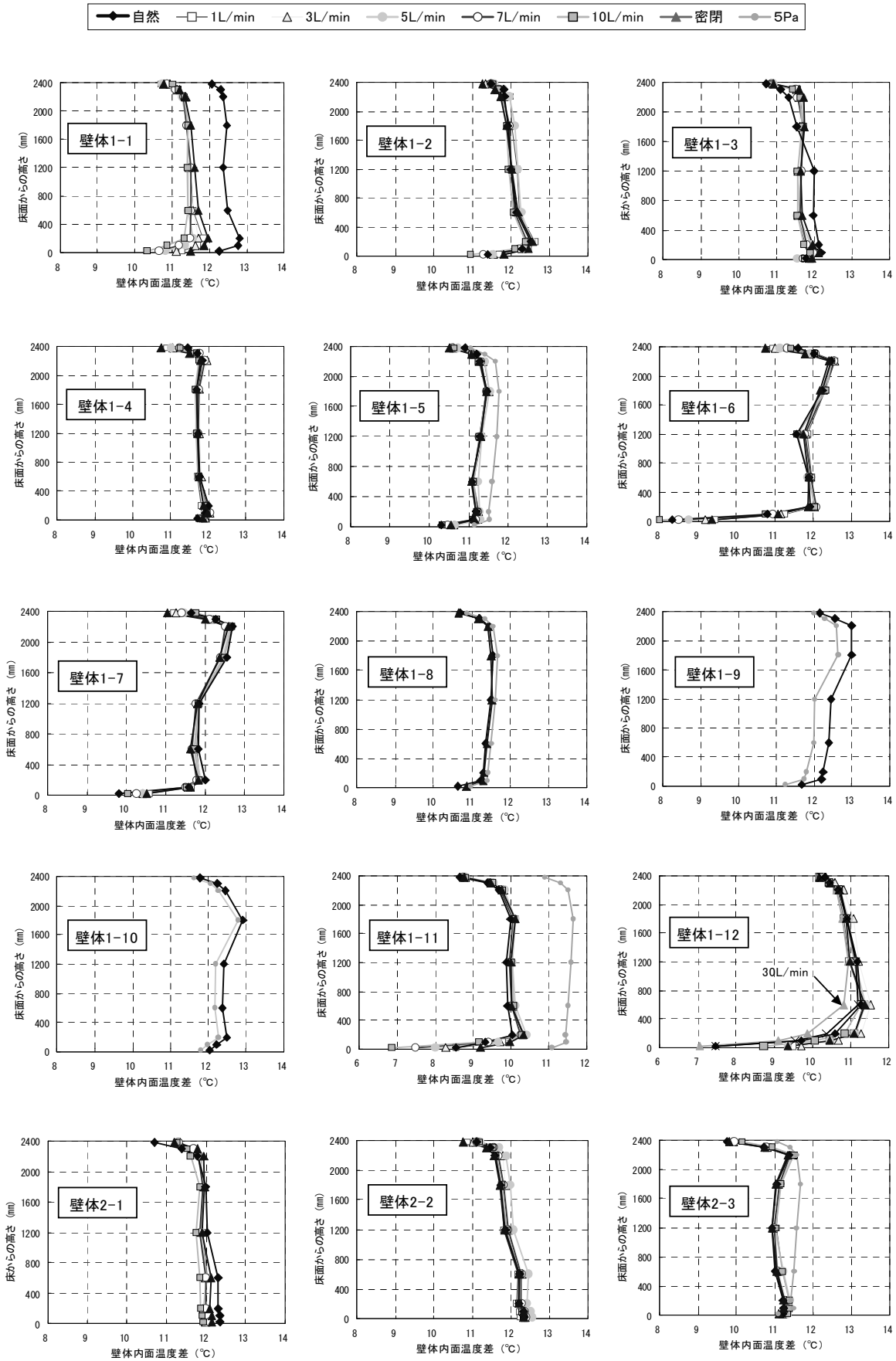


図 2.5.9 壁体内の両内面温度測定結果

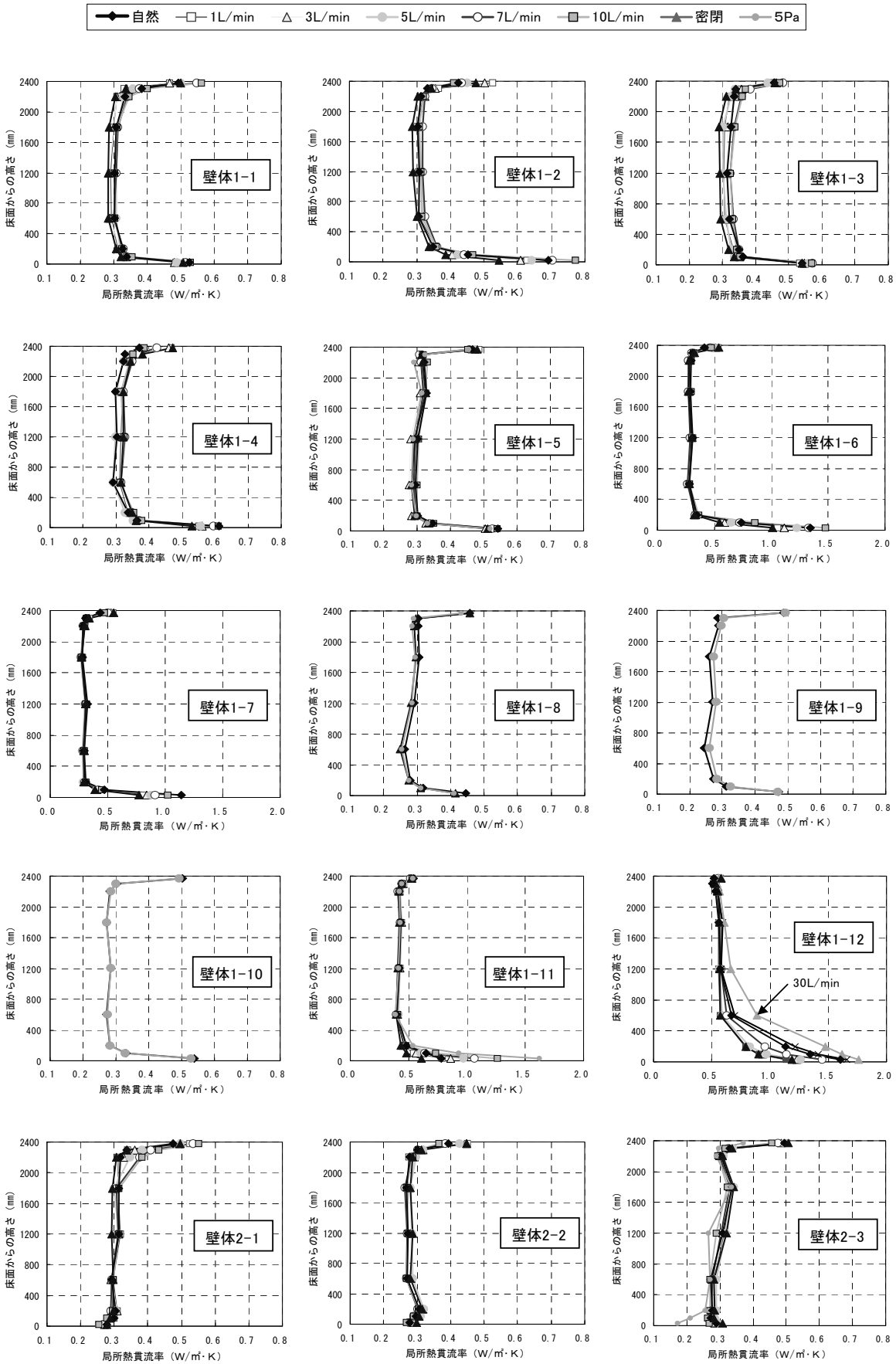


図 2.5.10 局所熱貫流率測定結果

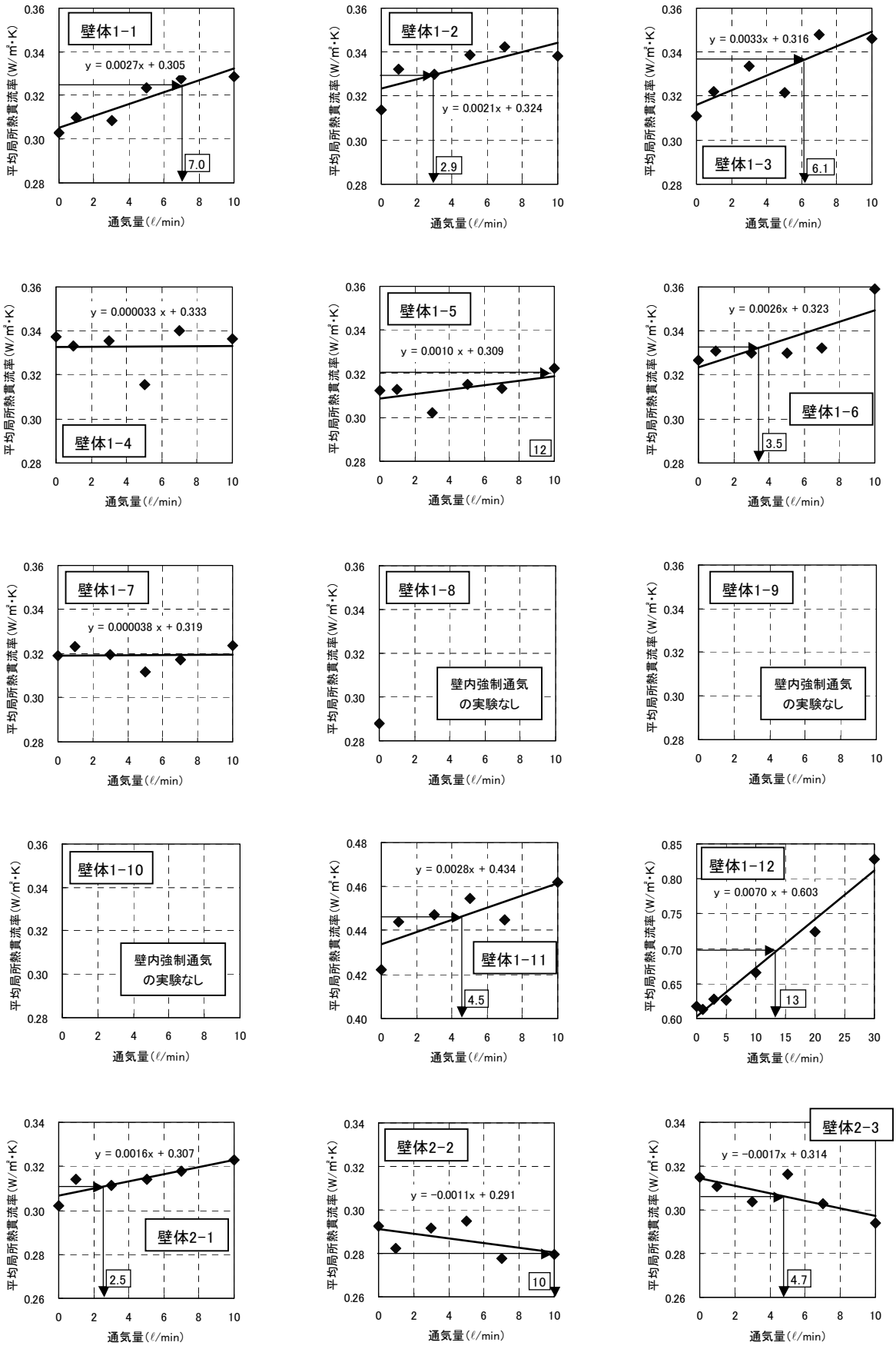


図 2.5.11 局所熱貫流率と通気量の関係

2.6 温暖地向け断熱壁体モデル基礎実験－建築研究所－

2.6.1 目的

平成11年に告示された次世代省エネルギー基準(以下「次世代基準」とする)では、一般に温暖地と呼ばれるⅣ地域以南においても、木造の充填断熱工法の場合は、断熱層の室内側にJIS A 6930に規定する住宅用プラスチック系防湿フィルム(以下「防湿フィルム」とする)を施工することが必要とされている。これは、透湿による湿流を防ぐことと同時に、取合い部等、移流による隙間から壁体内部への水蒸気の浸入を抑えることを目的としている。しかし、温暖地における別張り防湿フィルムの施工は、一般工務店レベルでは十分に根付いていないうえ、夏型結露の問題[2)]も孕むことから、木造住宅の断熱気密化を阻む一因ともなっている。

温暖地では、真壁や土壁といった伝統的工法を用いる住宅も多く、省エネルギー性能の高い木造住宅を温暖地に普及させるためには、防湿気密施工の簡略化のための要件を明らかにする必要がある。

本節ではこれらの観点から、温暖地で多く見られる、間欠・局所暖房による壁内湿気性状への影響を考慮するため、非暖房室の温湿度性状についてもスタディーを行う。また、温暖地向け断熱壁体を対象とした防露実験を行ったうえで、シミュレーション計算により年間を通した湿気性状を把握し、防湿層を省略した壁体の適用条件に関する基本的な知見を得ることを目的としている。

2.6.2 非暖房室の温湿度性状に対するスタディー

温暖地では寒冷地とは暖房条件が異なり、間欠・局所暖房を行うケースが多く、この点については様々な実測結果が指摘している。本節では、シミュレーション計算及びフィールドにおける室内温湿度の調査結果から、非暖房室の温湿度設定に関する知見を得るためのスタディーを行う。

壁内湿度性状は比較的長い周期の温湿度条件に影響を受けるため、冬季の平均的な室内条件に関する知見を得ることが重要である。非暖房室温度については隣室温度差係数などが過去に提案されており、本節では防露計算や実験に用いる室内条件に対する知見を得る観点から、冬季における隣室温度差係数及び絶対湿度差係数についての検討を行う。

1) シミュレーション計算による検討

スマッシュを用いたシミュレーション計算により、各室の温湿度を求め、隣室温度・絶対湿度差係数を算出する。計算条件として、気象条件に加え、建物の断熱性、暖房機器などを変更したケースを検討した。隣室係数は、暖房室(居間・台所)との室間換気は洗面所のみに限定されるため、洗面所についてのみ係数を算出した。計算データは樹脂サッシ普及促進協会資料から引用した。

(1) 温度及び湿度の計算条件

a 在室者、機器、照明等のスケジュール

在室者、機器(空調、発熱)、照明等のスケジュールは建築学会標準問題を参考に

設定した。表2.6.1に計算条件を示す。

表 2.6.1 計算条件

項目	CASE1	CASE2	CASE3
構造	在来軸組木造住宅(通気層あり)		
断熱	S54年省エネ基準 (旧省エネ基準)		H11年省ｴﾈ基準 (次世代省ｴﾈ基準)
換気回数	1.5回		0.5回
暖房機器	石油ｽﾄｰﾌﾞ	ｴｱｺﾝ	
室内条件	温度：居室在室時のみ20[℃] 湿度：CASE1は「暖房機器＋人体＋調理」からの水蒸気発生量を考慮する。CASE2,3は暖房運転時、RH=50[%]一定		
外気条件	下記に示す地域の気象データ Ⅰ地域(0)：なし Ⅱ地域(1)：盛岡 Ⅲ地域(2)：仙台、松本 Ⅳ地域(4)：東京、新潟、宇都宮、大阪 Ⅴ地域(1)：鹿児島		
計算期間	3ヶ月(12月～2月)		

b 自然換気回数

自然換気回数は、CASE1、2(改修前の既築住宅)においては旧省エネ基準相当の1.5[回/h]とし、CASE3(改修後の既築住宅または新築住宅)においては次世代省エネ基準相当の0.5[回/h]とした。

c 室間換気量

暖房室(台所)から非暖房室(洗面室)への水蒸気流入を考慮するため、室間換気は台所(≒20[m³])基準の5[回/h]換気量を24時間運転する。

居間・食堂 ⇔ 台所=5[回/h]

台所 ⇔ 洗面室=5[回/h]。

d 暖房機器による設定温湿度

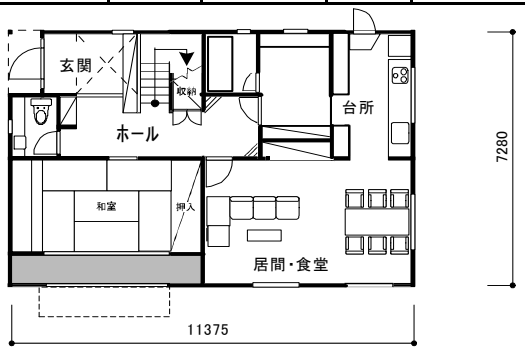
暖房は居住者の在室時のみ行い、この時の暖房温度及び湿度は表2.6.2のように設定する。

(2) 計算結果

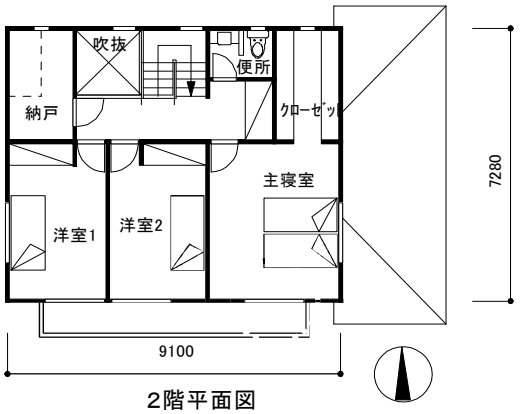
暖房室温湿度は居間の値を、非暖房室については洗面所の値を用い、1～2月における1時間毎のデータより季間平均値を求め、(1)、(2)式より隣室温度差係数*f*及び隣室絶対湿度差係数*f'*を算出した。

表 2.6.2 暖房及び湿度条件

計算モデル	暖房機器	運転パターン	温度	湿度
CASE1	石油ストーブ	居室在室時	20[℃]	加湿なし(人体・調理・暖房機器からの水蒸気発生量考慮)
CASE2、3	エアコン		20[℃]	加湿あり(暖房運転時、50[%]一定)



1階平面図



2階平面図

図 2.6.1 計算対象平面図

$$f=\frac{(\theta_r-\theta_x)}{(\theta_r-\theta_o)} \qquad (1)$$

$$f'=\frac{(X_r-X_x)}{(X_r-X_o)} \qquad (2)$$

図 2.6.2に冬季の平均温湿度、隣室温度差係数及び隣室絶対湿度差係数を示す。旧基準仕様のCASE1、CASE2では、暖房方式の違いのみであるが、隣室係数に対して大きな違いは見られない。一方、CASE2とCASE3を比較すると*f*及び*f'*ともにCASE3の値が小さくなっている。CASE3では断熱性が高く、換気回数も少ないため、非暖房室の温湿度が暖房室の値に近づいたものと思われる。また、地域による差は、鹿児島を除けばそれほど大きくないと言えよう。

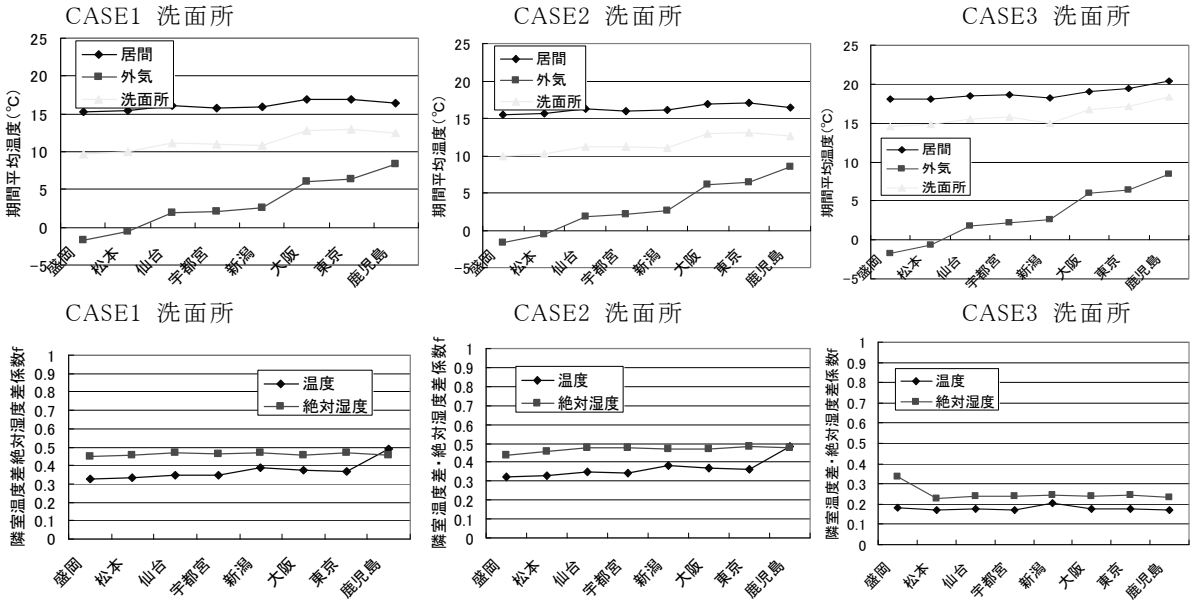


図 2.6.2 隣室温度差及び絶対湿度差係数

2) 既存住宅における冬季実測データによる検討

前節ではシミュレーション計算により、非暖房室の温湿度について検討した。本節では、既存住宅における実測調査で得られた冬季室内外温湿度より、居住者が実際に生活している状況での室間温度差に関するデータを整理したうえで、隣室係数を算出し、非暖房室の温湿度設定に関する知見を得る。

(1) 測定概要

測定対象は関東地方に建つ、2×4工法の木造戸建住宅である。家族構成は3～4人であり、熱損失係数はおおよそ2(W/m^{2}K)以下、気密性能は0.9～5.2(cm^2/m^2)となっている。対象住戸の概要を表 2.6.3に、平面図及び温湿度測定位置を図 2.6.3に示す。

測定時期はKE邸、KI邸に関しては2月下旬、MI邸については12月下旬の7日間であり、測定間隔は10分間である。

(2) 居間との絶対湿度の関係

図 2.6.5は、在宅時間が長いと考えられる、居間と他の部屋との絶対湿度の相関関係を示したものである。居間と仕切りのないKI邸、KE邸の台所は、絶対湿度の相関性が高く、同等の絶対湿度で推移していることが示されている。洗面所については、入浴による影響と思われる、絶対湿度の上昇がみられる。KE邸主寝室については、居間と隣接しているにもかかわらず、絶対湿度の相関性は低い。これは、気密性能が5(cm^2/m^2)程度ならば、部屋が隣接していても、空間的に仕切られ、室間換気が少ない状況では、高湿側の部屋からの水蒸気流入の影響はほとんどないことを示している。

一方、MI邸の和室については、絶対湿度に関する居間と相関係数が0.56となっている。MI邸は気密性が高く、間取りは比較的開放的になっていることと、浴室が和室と同じフロアにあることにより、相関性がやや高く表れて

表 2.6.3 測定対象住戸の概要

項目	KE邸	KI邸	MI邸
工法	2×4工法		
述べ床面積 m2	130.31	151.58	154.95
地域	千葉県千葉市	茨城県つくば市	群馬県玉村町
家族構成	4	3	4
熱損失係数 W/m2K	1.98	1.75	1.82
気密性能 cm2/m2	5.18	2.72	0.9
暖房設備	居間、主寝室、和室、子供室：ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟｴｱｺﾝ その他：電気ヒータ、カーペット等	居間のみ開放型石油ファンヒータ その他：電気ヒータ、カーペット等	居間、主寝室、和室、子供室：ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟｴｱｺﾝ その他：電気ヒータ、カーペット等

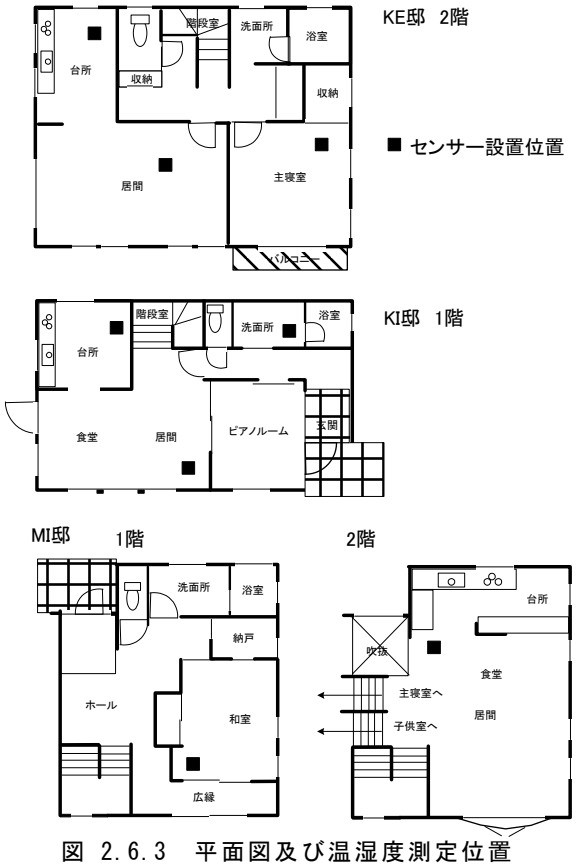


図 2.6.3 平面図及び温湿度測定位置

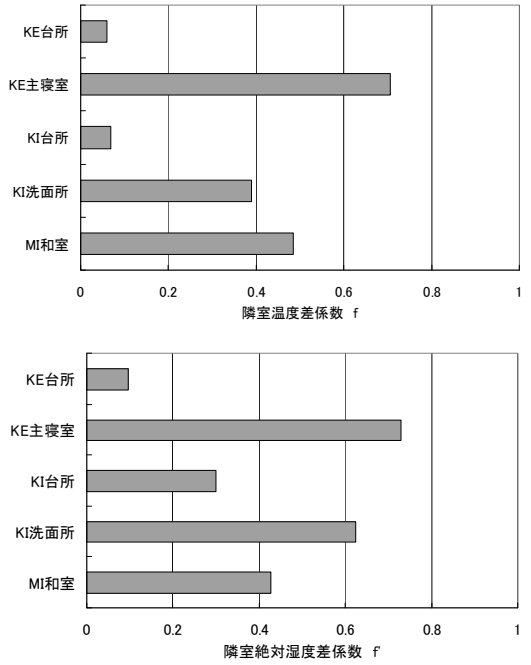


図 2.6.4 隣室温度差及び絶対湿度差係数

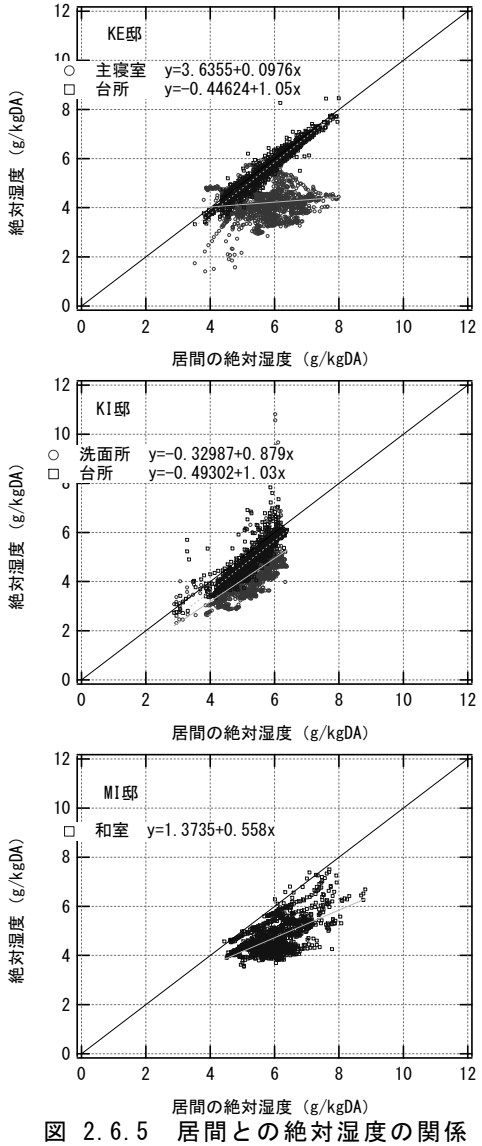


図 2.6.5 居間との絶対湿度の関係

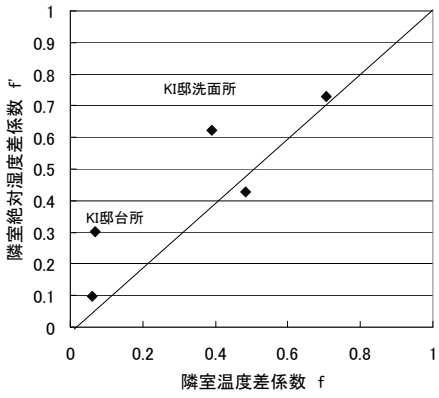


図 2.6.6 隣室温度差及び絶対湿度差係数の関係

いるものと考えられる。

(3) 隣室温度差及び絶対湿度差係数

図 2.6.4に、7日間の平均温湿度より算出した、隣室温度差及び絶対湿度差係数を示す。隣室絶対湿度差係数については、先に述べた居間との絶対湿度の関係で得られた知見を裏付ける結果となっている。

隣室温度差係数fと隣室絶対湿度差係数f'の関係を図 2.6.6に示す。台所及び洗面所については絶対湿度差係数が若干大きいが、両係数の間にはおおよそ相関性が見られ、暖房室に比べて温度が低い部屋は、絶対湿度も低下する傾向が見られた。

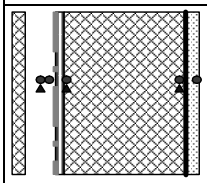
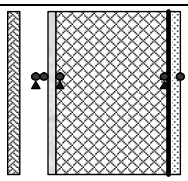
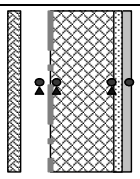
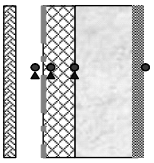
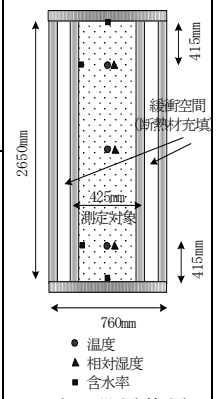
2.6.3 温暖地向け断熱壁体モデル基礎実験

温暖地における防湿気密施工簡略化の可能性を探るために、防湿フィルムを省略した壁体仕様を対象として、次世代基準Ⅳ地域以南で防露上厳しいとされる、富山及び八王子の外気温湿度変動を再現した実験室実験を行い、暖房室及び非暖房室を想定した条件下での壁内温湿度性状を検討する。

1) 試験体

試験体の概要を表 2.6.4に示す。

表 2.6.4 試験体の概要

試験体Ⅰ(基準壁)	試験体Ⅱ(透湿壁)	試験体Ⅲ(断熱京壁)	試験体Ⅳ(断熱土壁)	
				
① ②③④ ⑤ ⑥⑦⑧	① ②③ ④ ⑤⑥⑦	①②③ ④ ⑤⑥	①②③④⑤ ⑥	
①ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞt=15 ②通気層t=18 ③透湿防水シート ④構造用合板t=9 ⑤断熱材 住宅用 GW16K89mm ⑥防湿気密層 ⑦石膏ﾎﾞｰﾄﾞt=12 ⑧ビニールクロス	①ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞt=15 ②通気層t=18 ③ｼｰｼﾞﾝｸﾞﾎﾞｰﾄﾞt=12 ④断熱材 住宅用 GW16K89mm ⑤透湿防水シート ⑥石膏ﾎﾞｰﾄﾞt=12 ⑦ビニールクロス	①ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞt=15 ②通気層t=18 ③透湿防水シート ④断熱材 GW32K75mm ⑤石膏ﾎﾞｰﾄﾞt=7.5 ⑥京壁t=17.5	①ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞt=15 ②通気層t=18 ③透湿防水シート ④断熱材 GW32K30mm ⑤土荒壁 t=70 ⑥仕上げ	
別張り防湿フィルムを施工した標準的な断熱壁体 熱抵抗2.09(m²K/W)	防湿層のない壁体モデル(外装下地材:ｼｰｼﾞﾝｸﾞﾎﾞｰﾄﾞ) 熱抵抗 2.22(m²K/W)	防湿層のない壁体モデル(真壁、石膏ﾎﾞｰﾄﾞ下地(ジュラク仕上げ25mm厚)) 熱抵抗 2.22(m²K/W)	防湿層のない壁体モデル(土塗り漆喰仕上げ70mm厚) 熱抵抗 0.99 (m²K/W)	センサー設置位置(枠材姿図)

*透湿抵抗の単位はm²sPa/ng

試験体Ⅰ(基準壁)は、別張り防湿層を持つ繊維系断熱材の充填壁体であり、現行の防露指針に則った仕様である。基準壁以外は別張り防湿フィルムを省略するために提案された仕様で、試験体Ⅱ(透湿壁)は、外装下地面材に透湿性の高いシージングボードを配置することにより、防湿層の省略を狙ったものである。試験体Ⅲ(断熱京壁)は和室で用いる真壁を想定しており、高密度グラスウールを充填することにより、断熱材が薄くなっても高い断熱性を維持できるように配慮されている。試験体Ⅳ(断熱土壁)は、西日本において多く存在する土壁を高密度グラスウールにより外側から断熱したもので、次世代基準は満たさないものの、土壁の持つ熱容量や吸放湿性といった特性を生かした仕様となっている。外装材は窯業系サイディングを採用し、厚さ18mmの通気層を設けている。

それぞれの試験体寸法は、高さ2650mm、幅760mmで、測定は間柱で挟まれた中央部分の

高さ方向中央及び上端下端からそれぞれ415mmの上下方向3箇所における各断面を対象とし、両側の空間は断熱材を充填して緩衝空間とした。センサー類は、温度計測はT熱電対、湿度計測は較正された静電容量式相対湿度センサーを用いた。

また、上下枠及び間柱に電気抵抗式含水率センサーを埋め込んだ。試験体に用いた材料の透湿抵抗を表2.6.5に示す。

表 2.6.5 試験体に用いた材料の透湿抵抗

材料	透湿抵抗 (m^2sPa/ng)	材料	透湿抵抗 (m^2sPa/ng)
シージングボード*	6.32E-04	サイディング*	3.46E-03
構造用合板*	8.01E-03	石膏ボード*	4.22E-04
京壁*	1.80E-03	ビニールクロス**	3.22E-03
土壁*	3.36E-03	防湿シート**	2.51E-01

*JIS A 1324に準拠、温度23℃、相対湿度高湿側50%、低湿側0%(塩化カルシウム)
**JIS Z 0208に準拠、温度25℃、相対湿度高湿側90%、低湿側0%(塩化カルシウム)

2) 実験条件

表 2.6.6 実験条件

記号	外気条件	室内条件	測定期間	備考
A-1	八王子	20℃、50%RH	H14年7月23日～H15年3月14日	暖房室を想定
B-1	富山	20℃、50%RH	H15年3月20日～H15年4月30日	
B-2	富山	20℃、60%RH	H15年5月2日～H15年5月31日	
B-3	富山	15℃、70%RH	H15年7月10日～H15年8月31日	非暖房室を想定
B-4	富山	11℃、90%RH	H15年9月10日～H15年10月9日	

実験条件を表 2.6.6に示す。室内温湿度については、20℃、50%及び60%に加え、非暖房室を想定した15℃、70%と11℃、90%の4水準を設定した。非暖房室の湿度設定は、暖房室から湿った空気が流れ込む状況を想定し、20℃、50%における水蒸気圧とほぼ同等の値とした。これは、前節の結果を考慮すると、かなり厳しい条件となる。外気条件は、最寒期である2月下旬の10日間の時刻別平均値より、日変動を考慮した外気温湿度の変動を再現したものである(図 2.6.7)。

実験は建築研究所の熱貫流率実験装置(8×5.2×3.05m:図 2.6.8)において、前述した4種類の試験体を同時に並べて取付け、壁内温湿度が安定するまで、前述した最寒期の外気変動を繰り返した。

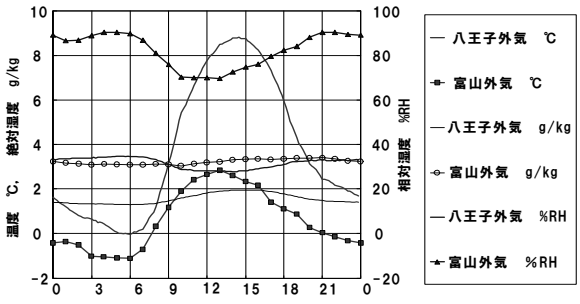


図 2.6.7 外気温湿度設定値

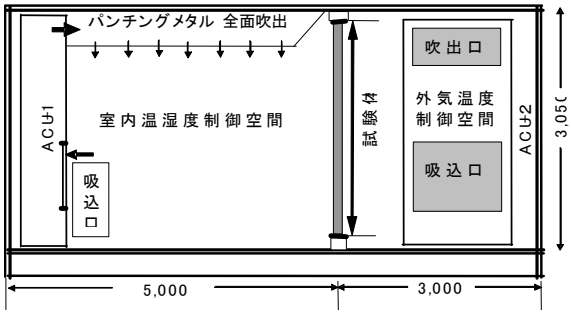


図 2.6.8実験施設概要（熱貫流率実験装置）

3) 実験結果

(1) 壁内温湿度変動

a 暖房室における壁内温湿度性状（A-1、B-1、B-2）

図 2.6.9の八王子の気候を再現した条件では、温度に関しては試験体間であまり大きな差が見られない。また、相対湿度は透湿壁がやや高いものの、全ての仕様で50%以下を維持している。

富山を想定したB-1では、断熱材外気側を透湿防水シートで仕上げた断熱京壁と断熱土壁の温度が若干低く推移している(図 2.6.10)。相対湿度に関してはA-1と比べるとかなり上昇しているが、値の大きい断熱京壁

でも80%以下で推移している。

b 非暖房室における壁内温湿度性状(B-3、B-4富山)

室内の温度を15℃、70%と仮定したB-3では、断熱材外気側の温度(図 2.6.12)が、図 2.6.10に示されるB-1に比べ1℃以上低下している。相対湿度は、90%は超えないものの全体にB-1よりも高く、室温に断熱材外気温度が引きずられ、結果的に相対湿度が上昇したものと考えられる。

室内側の条件を11℃、90%としたB-4では、空調機の性能上、外気側湿度が設定値よりも若干高く制御されており、より厳しい条件となっている(図 2.6.13)。図 2.6.14の相対湿度変動では、透湿壁と断熱京壁が83%～98%の範囲で変動しており、測定上結露は発生していないものの、高湿度な状態が常に維持される結果となっている。

一方、断熱土壁では相対湿度がほぼ80%以下に抑えられており、結露発生の危険性は低い。

(2) 結露観察結果

B-4の実験終了後、外装材を取り外して壁体内部を目視観察した。基準壁、透湿壁に関しては、外装下地材、枠材ともに結露の発生は確認されなかった。また、基準壁及び透湿壁に用いた外装下地材(合板及びシージングボード)を切り取り、乾燥前後の質量から含水率を求めたところ双方とも11%以下であった。

(3) 通気層の換気性状

通気層の換気性状を確認するため、通気層下端部から炭酸ガスを注入し、上端部で感知するまでの時間遅れを赤外線炭酸ガス分析計により測定した。測定は室内外温度差10℃、20℃において行い、各試験体とも、通気層における風速はおおよそ0.04～0.07 m/sであった。

(4) 断熱材外気側における相対湿度の頻度分布

図 2.6.14に相対湿度の頻度分布を示す。頻度分布は、湿度変動が安定した後の約10日間のデータを用いて算出した。

八王子を想定したA-1では、どの壁体も試験期間中の相対湿度が50%を下回っている。

外気条件として富山を想定したB-1～B-4では、A-1と比べて頻度分布が全体的に高湿側に寄っている。また、非暖房室を想定したB-3、B-4では、頻度分布の基準壁からの差が、暖房室を想定したB-1と比べて大きくなっている。頻度分布を見る限り、断熱土壁に関しては非暖房室においても断熱材外気側相対湿度が90%を上回ることはなく、防露上は問題ないことがわかる。一方、透湿壁は室内温湿度15℃、70%までなら壁内湿度を90%以下に維持することができるが、室内11℃、90%の条件では断熱材外気側の相対湿度は常に90%以上となる。断熱京壁に関しても室内温湿度15℃、70%までなら壁内湿度を90%以下に維持することができるが、室内11℃、90%の条件では断熱材外気側の相対湿度が一時的に98%程度まで上昇した。

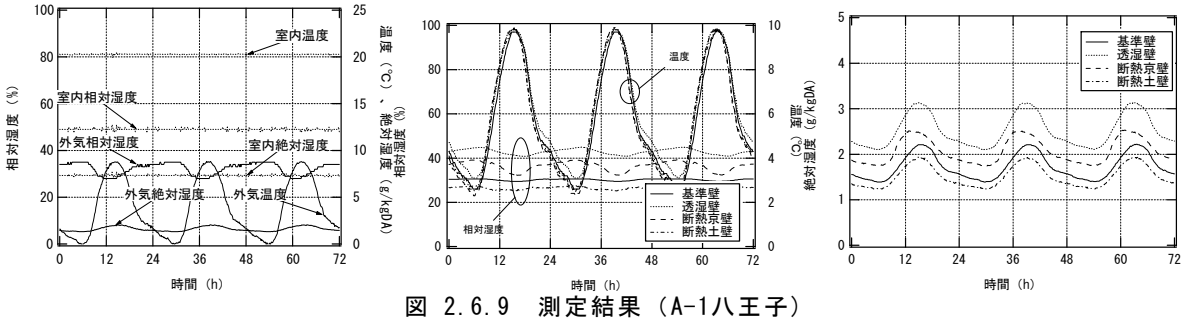


図 2.6.9 測定結果 (A-1八王子)

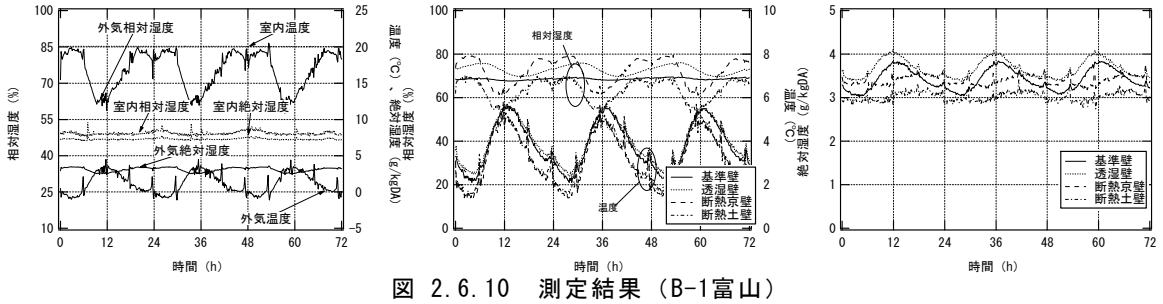


図 2.6.10 測定結果（B-1富山）

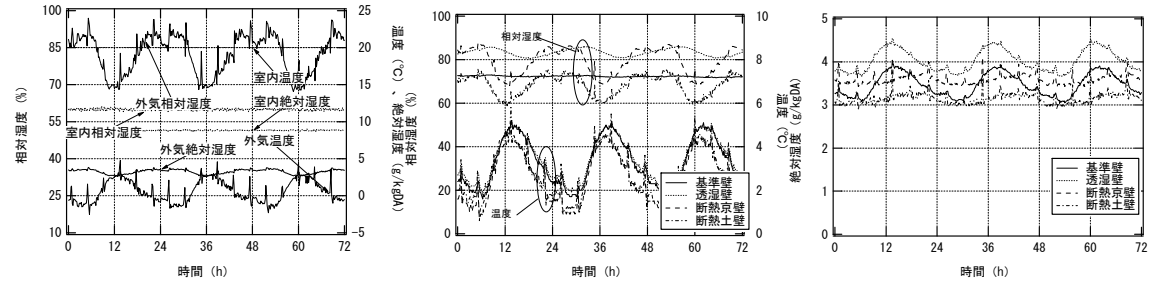


図 2.6.11 測定結果（B-2富山）

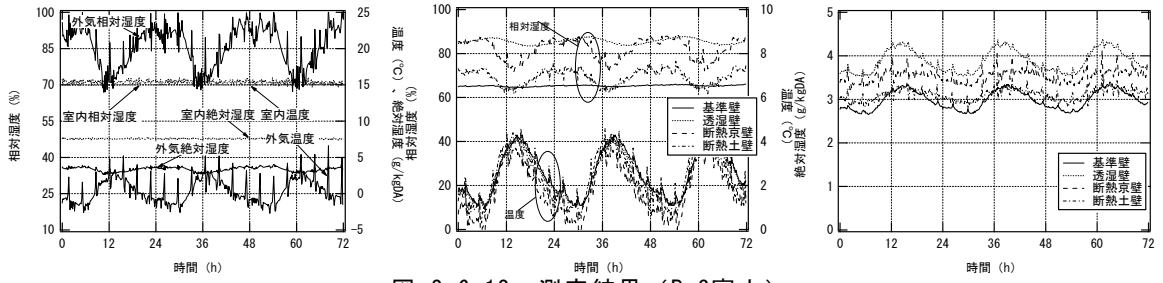


図 2.6.12 測定結果（B-3富山）

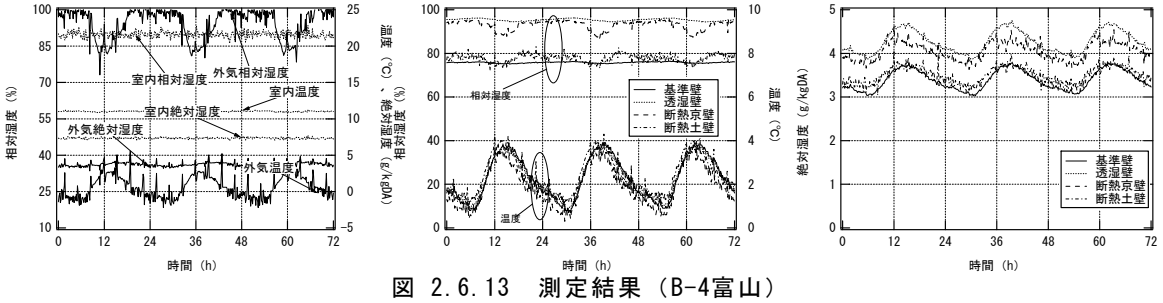


図 2.6.13 測定結果（B-4富山）

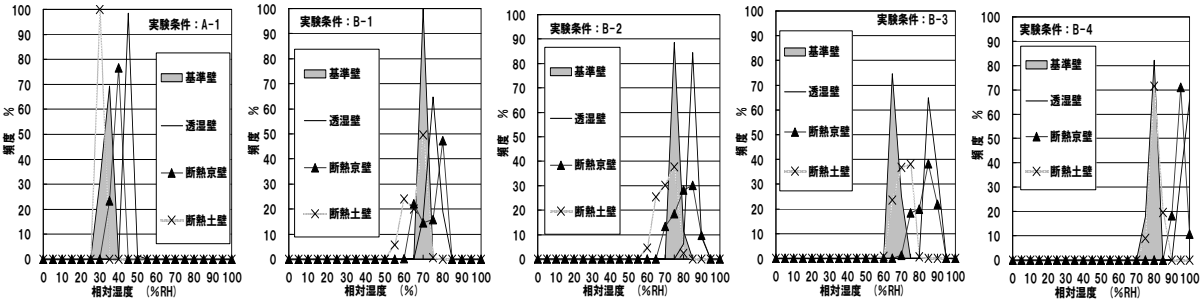


図 2.6.14 断熱材外気側の相対湿度頻度分布

*相対湿度5%毎の頻度を表示しており、例えばx軸が90%の場合は相対湿度85%～90%の範囲における頻度を意味する

2.6.4 水分移動解析プログラムの検証及び年間シミュレーションによる検討

本節では、水分移動解析プログラムの精度を検証するため、実験で用いた各材料の材料物性値を明確にしたうえで、測定結果との比較を行う。また、年間を通じたシミュレーション計算により、実状を考慮した壁体の防露性能の検討を行う。

1) 水分移動解析プログラムの検証

(1) 基本式

基本式は、材料実質部に関しては水分の化学ポテンシャルを用いた、熱水分同時移動方程式を使用した。通気層については温度差による換気量を逐次計算し、熱湿気の収支を求める。数値計算は、各式を後退差分近似し、得られた連立方程式を過大緩和法により解く方法を採用した[3)]。

$$\rho_w \frac{\partial \phi}{\partial \mu}\frac{\partial \mu}{\partial t} = \nabla\left(\lambda'_\mu \nabla\mu + \lambda'_T \nabla T\right) \quad (1)$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla\left\{\left(\lambda + r\lambda'_{Tg}\right)\nabla T + r\lambda_{\mu g}\nabla\mu\right\} \quad (2)$$

$$\gamma_a V \frac{\partial X_v}{\partial t} = \sum \alpha_c' A\left(X_s - X_v\right) + \gamma_a Q\left(X_o - X_v\right) \quad (3)$$

$$\gamma_a c V \frac{\partial T_v}{\partial t} = \sum \alpha_c A\left(T_s - T_v\right) + \gamma_a c Q\left(T_o - T_v\right) \quad (4)$$

$$Q = \alpha A\sqrt{2g|\Delta p|/\gamma_a} \quad (5)$$

$$\Delta p = -(\gamma_o - \gamma_v)h \quad (6)$$

(2) 計算対象

計算結果の検証では、2.6.3における測定結果を用いるため、室内外空気温湿度を既知とし、表 2.6.4に示す4種類の壁体構成を計算対象とした。試験体高さは2.65mであり、材料実質部では1次元の熱及び湿流を仮定し、通気層は一様拡散とした。

(3) 熱湿気物性値

計算に使用した各材料の物性値を表2.6.7に示す。湿気物性値は、できる限り実際の試験体を構成する材料と同じロットの試料から得られた値を用いた。特に、透湿抵抗は材料によって湿度依存性が異なるため、JIS A 1324に定めるドライカップ法に加え、ISO 1663に規定するウエットカップ法によっても測定を行った。各材料とも4水準(平均湿度25RH%～92.5RH%)の測定結果に基づき、湿気伝導率を算出し(図 2.6.15)、表2.6.8に示す近似係数を得た。平衡含水率に関してはISO 12571に準拠して測定を行い、得られた結果(図 2.6.16)を、表2.6.9に示すSchilgeiskyの式で近似した。プログラムの検証では比較対象が実験室実験の結果であるため、表面の熱及び湿気伝達率は、室内外ともに9.3(W/m^{2}K)、5.96(g/[m^{2}hg/kgDA])一定とした。

表 2.6.7 計算に使用した材料物性値

材料	熱伝導率 W/mK	比熱 J/Kkg	密度 kg/m^3	透湿抵抗 m^{2}h(g/kgDA)/g
軟質繊維板	0.063	1052	371	-
構造用合板	0.16	1860	613	
ﾓﾙﾀﾙ (京壁)	0.522	1001	1091	
土壁	0.45	844	1334	
石膏ﾎﾞｰﾄﾞ	0.22	870	787	
GW16K	0.045	698	16	
GW32K	0.036	698	32	
ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ	0.963	879	1095	
ﾋﾞﾆｰﾙｸﾛｽ		-		6.7
防湿シート		-		523
透湿防水シート		-		0.32

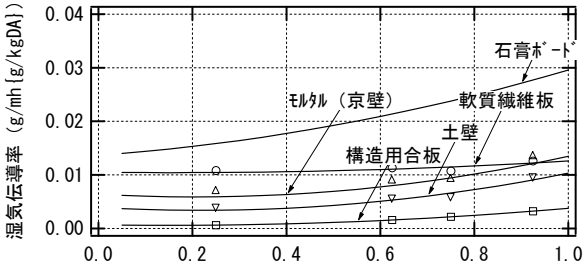


図 2.6.15 湿気伝導率

表 2.6.8 湿気伝導率近似係数

材料	係数			
	Ws	a	b	c
構造用合板	0.36	0.7266	−0.985	8.82
ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ	0.34	0.786	−1.05	11.1
土壁	0.0645	0.66	−0.69	25.06
軟質繊維板	0.1523	0.55257	−0.54619	13.782
ﾓﾙﾀﾙ(京壁)	0.0148	0.22941	−0.34378	5.761
石膏ﾎﾞｰﾄﾞ	0.0802	0.40746	−2.201	67.71
GW	0.3003	0.89025	−2.818	73.29

$\lambda' = a + b\varphi + c\varphi^2$

w:平衡含水率(kg/kg)、φ:相対湿度(mmHg/mmHg)

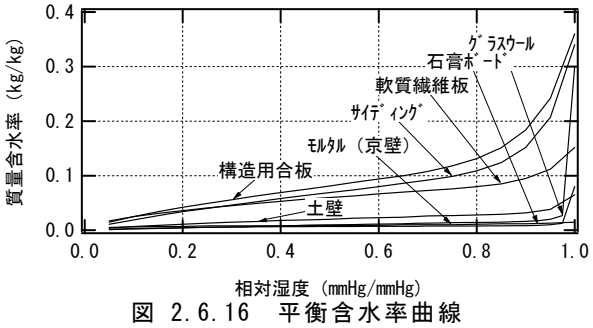


図 2.6.16 平衡含水率曲線

表 2.6.9 平衡含水率曲線近似係数

材料	係数			
	Ws	a	b	c
構造用合板	0.36	0.7266	−0.985	8.82
ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ	0.34	0.786	−1.05	11.1
土壁	0.0645	0.66	−0.69	25.06
軟質繊維板	0.1523	0.55257	−0.54619	13.782
ﾓﾙﾀﾙ（京壁）	0.0148	0.22941	−0.34378	5.761
石膏ﾎﾞｰﾄﾞ	0.0802	0.40746	−2.201	67.71
GW	0.3003	0.89025	−2.818	73.29

$w = w_s \varphi^a \exp\left[b\left(1-\varphi^c\right)\right]$

w:平衡含水率(kg/kg)、φ:相対湿度(mmHg/mmHg)

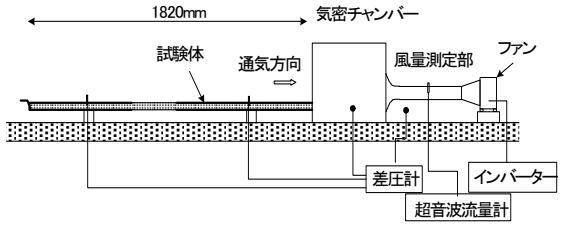


図 2.6.17 流量係数測定装置

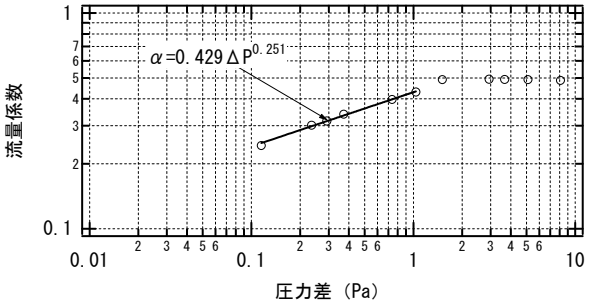


図 2.6.18 通気層の流量係数測定結果

(4) 通気特性

通気層の流量係数を求めるために、木造外壁の通気層部分をモデル化した試験体について、図 2.6.17に示す装置を用いて流量と圧力損失の関係を測定した。冬季の気象条件を再現した防露実験では、通気層内外温度差によって生じる圧力差はおおよそ1Pa以下であり、一般の換気部材の圧力損失試験における流速よりかなり小さいことが予想される。そのため、図 2.6.18に示す1Pa以下の範囲において得られた流量係数を、通気層の換気計算に適用した。

(5) 計算結果と実験結果の比較

計算は、助走期間を3ヶ月とし、室内外温湿度の測定値を10分間隔で読み込んで行った。実験における外気条件は最寒期の富山を想定しており、室内条件は20℃、50%RH一定である。図 2.6.19に相対湿度測定値と計算値の比較結果を、図 2.6.20に時系列データによる絶対湿度の相関図を示す。

計算値は測定値をおおよそ再現していると考えられるが、基準壁の相対湿度、断熱京壁室内側の絶対湿度に若干の差がみられる。図 2.6.20に示すように、断熱京壁以外の絶対湿度に関する相関性は高く、基準壁における相対湿度の測定値との差は、主に温度の計算誤差による影響と考えられる。今回は、実験室中央における測定結果を室内外の入力値とし、どの壁体も表面伝達率が同じと仮定して計算を行った。しかし基準壁は空調機の吹き出し口近くに設置されているため、実際には通気層への流入空気の温度や表面伝達率が他の試験体と異なっていたことが推測される。

各試験体の境界条件を明確にし、再度検証を行うことが必要であるが、水分収支に関しては実験結果と比べて±0.5g/kgDA程度の精度で予測が可能と考えられる。

2) 年間シミュレーションによる防露性能の検討

表 2.6.4に示す各壁体構成について、年周期を考慮した壁内湿度性状を確認するために、気象データを用いたシミュレーション計算を行った。

(1) 計算概要

基本式、物性値等は前節と同じとし、その他の計算条件の概要を表 2.6.10に示す。

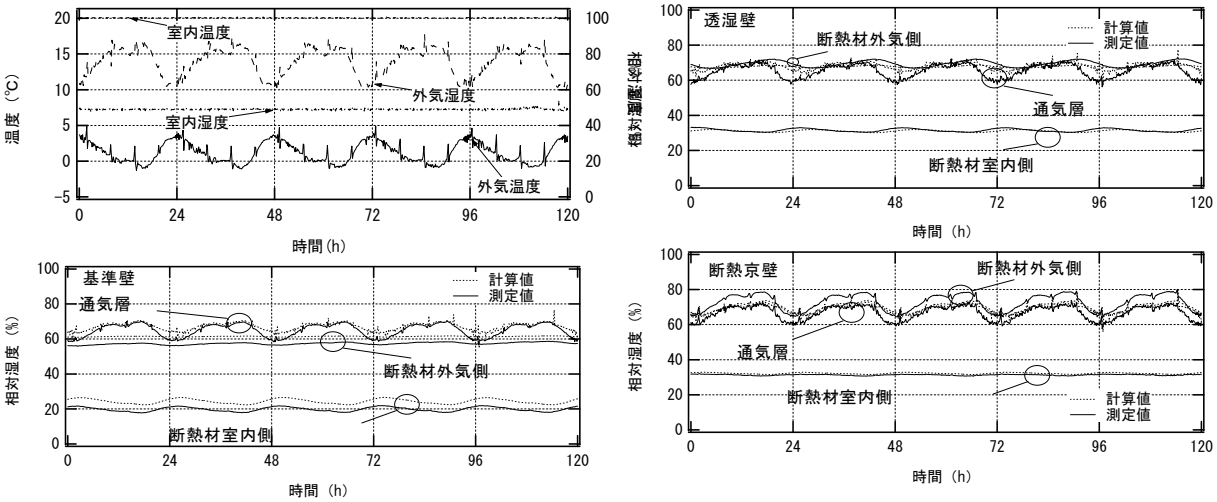
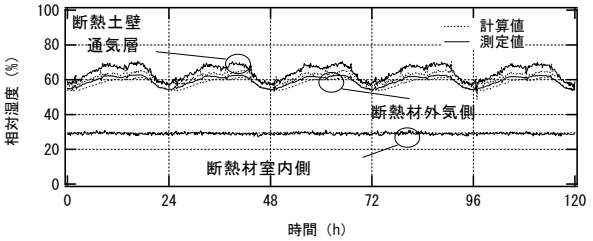


図 2.6.19 相対湿度測定値及び計算値の比較



(続)図 2.6.19 相対湿度測定値及び計算値の比較

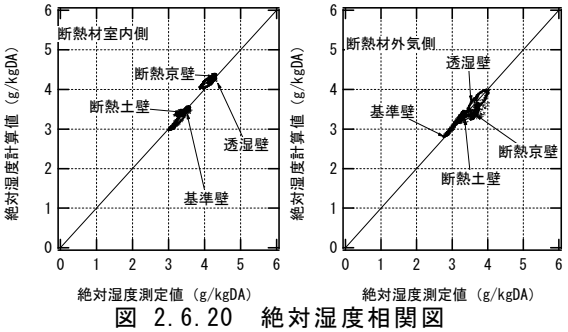


図 2.6.20 絶対湿度相関図

室内温度は、冬季における暖房室の温度を想定しているが、前節までの結果を考慮し、非暖房室についての検討も行うこととする。非暖房室の室内温湿度設定は、隣室温度差係数fを0.5、隣室絶対湿度差係数f'を0.4として算出した。また、断熱材内の壁内気流や防湿欠損などは想定していない。

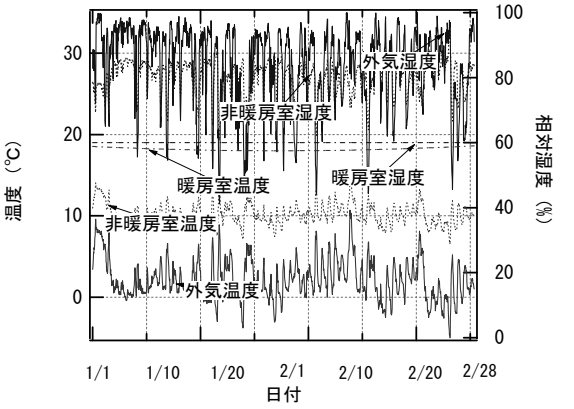
(2) 計算結果

図 2.6.21に、断熱材外気側における1月から2月までの相対湿度及び絶対湿度を、図 2.6.22に同期間中の相対湿度頻度分布を示す。外装下地面材を用いた基準壁と透湿壁は1日の相対湿度変化が小さく、外気の日変動による影響が小さい。室内条件として非暖房室を想定した場合だが、断面仕様によって、若干だが相対湿度が上昇するものと低下するものがある。

表 2.6.10 計算条件

- 熱伝達率(W/m^{2}K):外気側 23.2室内側及び通気層9.3
- 湿気伝達率(g/m^{2}hmmHg):外気側50室内側及び通気層
- 通気層の扱い:温度差による換気計算
- 気象データ:富山アメダス気象データ標準年
- 助走期間:1年
- 暖房室(case1)
  室内温度 (℃) $\theta_r = 4.5\cos\left(\frac{2\pi(K-212)\times 24}{8760}\right) + 22.5$
  室内相対湿度(%) $\varphi_r = 60$
- 非暖房室(case2)
  隣室温度差係数f=0.5
  隣室絶対湿度差係数f=0.4

これは出力ポイントである断熱材外気側における温度低下と絶対湿度低下の程度が断面構成によって異なるためであり、季間平均値による定常計算によってもこの現象は確かめられている。図 2.6.14と異なり、暖房室を基準とした非暖房室の隣室温度差及び絶対湿度差係数がほぼ等しい場合、暖房室と非暖房室における頻度分布に大きな差は生じなかった。



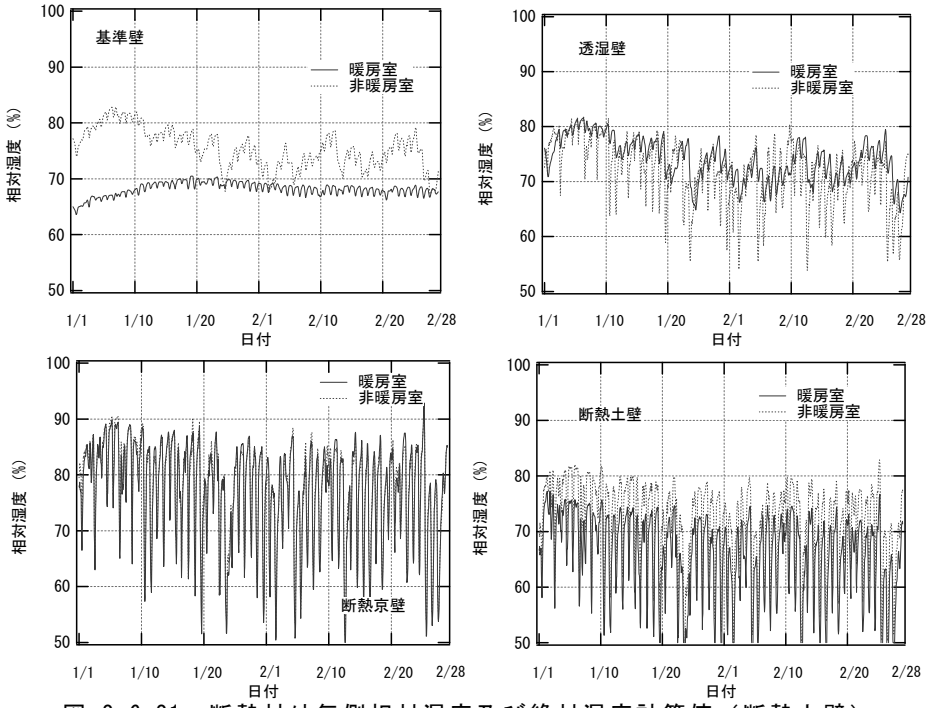


図 2.6.21 断熱材外気側相対湿度及び絶対湿度計算値（断熱土壁）

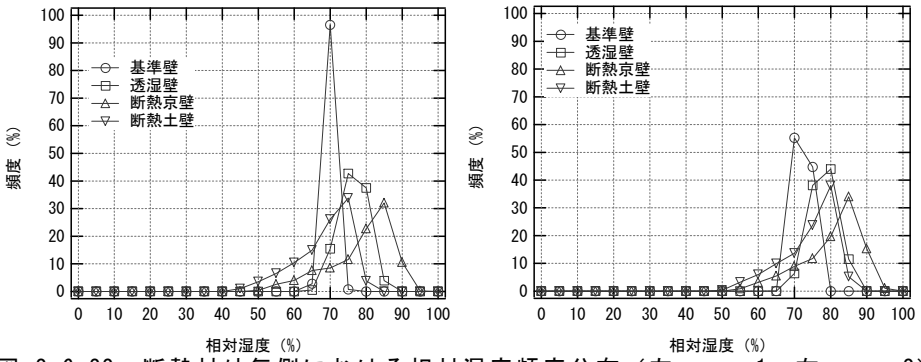


図 2.6.22 断熱材外気側における相対湿度頻度分布（左：case1、右：case2）

年周期の気象条件を考慮しても、各壁体とも、1～2月を通じて断熱材外気側相対湿度はおおよそ90%以下に抑えられており、富山の気象条件下における壁体一般部の防露性能は検証された。

2.6.5 まとめ

本節では、温暖地における断熱壁体の防露性能を検討するため、非暖房室における温湿度性状

の検討を行い、温暖地向け断熱壁体に対する防露実験を行った。また、実験結果により水分移動計算プログラムの検証を行い、さらに気象データを用いたシミュレーション計算によって、年間の気候変動を考慮した壁内温湿度の解析を行った。以下に本節において得られた知見を示す。

①非暖房室における温湿度性状に関する検討

・隣室温度差及び絶対湿度差係数は、建物の断熱及び気密性能に影響を受けるが、気象条件による影響は小さい。
・暖房室と隣接している部屋でも、空間が仕切られ、発生源との室間換気の少ない部屋の隣室係数は大きく、外気に近い温湿度環境となる。
・隣室温度差係数と隣室絶対湿度差係数には相関性があり、暖房室に比べて温度が低い部屋は、絶対湿度も低下する傾向が見られた。

②温暖地向け壁体に関する防露実験

・富山の最寒期の気象条件が継続する状態での、防湿フィルムを省略した壁体内部の湿度性状を示した。
・絶対湿度が暖房室と同じ場合、非暖房室では、暖房室よりも内部結露に対してより厳しい条件となる。
・測定対象となった試験体については、温度15℃以上且つ室内絶対湿度7.4g/kgDA以下であれば、富山の最寒期の気象条件下でも、水分蓄積が生じないことを実証した。

③水分移動解析プログラムの検証及び年間シミュレーションによる検討

・合板や軟質繊維板といった、国内の木造住宅で一般的に用いられている材料の湿気伝導率の相対湿度依存性を示した。
・開発された計算プログラムは、水分収支に関しては実験結果と比べて±0.5g/kgDA程度の精度で予測可能であることを確かめた。
・外装下地材の透湿性の高い壁体では、1～2月を通じて断熱材外気側相対湿度をおおよそ90%以下に抑えることが可能であった。
・隣室温度差係数と絶対湿度差係数が同等の非暖房室における、冬季における壁内相対湿度の上昇は5%程度であった。
・検討対象となった断面仕様の壁体一般部における防露性能が検証された。

(齋藤　宏昭)

記号

t: 時間	c: 比熱 (J/kgK)
ϕ: 体積含水率 (m^3/m^3)	Q: 換気量(m^3/h)
μ: 水分化学ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ (J/kg)	p:圧力(mmAq)
T: 温度 (K)	V:体積(m^3)
θ: 温度 (℃)	α:流量係数
X: 絶対湿度 (g/kgDA)	A:面積(m^2)
λ': 水分伝導率	添字
γ_a: 空気比重量 (kg/m^3)	μ:水分化学ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ
r: 潜熱 (J/kg)	T:温度
ρ: 密度 (kg/m^3)	g:水蒸気
λ: 熱伝導率 (W/mK)	v:通気層
α_c: 熱伝達率 (W/m^2K)	o:外気
α'_c: 湿気伝達率 ($g/m^2hg/kgDA$)	s:表面
	r:室内

＜参考文献＞

1)(財)住宅・建築省エネルギー機構:住宅の次世代省エネルギー基準と指針
2)齋藤宏昭、土屋喬雄:冷房時における夏型壁体内結露に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第519号、p.39-45、1999.5
3)郡公子、石野久彌:設計用非空調隣室温度に関する研究、日本建築学会大会講演梗概集(九州)、p.761-762、1989.10
4) 坂本雄三監修、快適窓学データ編2:窓の高性能による結露防止効果、樹脂普及促進委員会、2004年5月」
5) 東京理科大学卒業論文:高断熱住宅における熱・空気環境と居住後性能に関する研究、1996年
6) 青木正諭他:温暖地に向けた断熱外壁の防露技術に関する研究　その4　防湿気密層のない壁体の熱湿気性状に関する冬期温暖地を想定した実験報告、日本建築学会大会講演梗概集(北陸)、p.69-70、2002.8
7) 藤田里美、瀬戸裕直、澤地孝男他:温暖地に向けた断熱外壁の防露技術に関する研究その7　湿潤な気候下における冬期実験報告、日本建築学会大会講演梗概集(東海)、p.159-160、2003.9
8)藤田里美他:温暖地に向けた断熱外壁の防露技術に関する研究　－第3報－　湿潤な気候下における冬期　実験報告、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、p.689-692、2003.9
9)齋藤宏昭、澤地孝男、瀬戸裕直:温暖地に向けた断熱外壁の防露性能に関する検討、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、p.689-692、2004.9

2.7 断熱された土壁住宅の壁体内熱・湿気性状の長期実測と断熱技術の検討

1998年、次世代省エネルギー基準が告示化され、この年、性能の確保と手法簡便化を両立する各種省エネ技術の開発、地域性を色濃く残す住宅を対象にした断熱技術、換気・暖冷房技術等の開発を目的とした建築研究所官民連帯研究[1)]がスタートした。この委員会活動から、我が国の伝統的木造住宅、すなわち土壁造住宅の生産者の方々との情報交換が本格的にスタートした。

この頃の土壁住宅は「Eco、自然素材、健康…」などの追い風を受けつつも、建主の若年齢化（住宅建設資金の低下）、左官職人の減少、資材枯渇などで、かなりシェアをかなり失っている状況であった。

図 2.7.1は、1990年に住宅金融公庫が調査した土壁造住宅（公庫融資対象）の建設比率を示したものである。土壁造住宅は東海地方、中部日本、四国、山陽地方など関東以西での建設比率が高い。近年は、図に示す建設比率を大きく下回っていると思われるが、最近でも年間数千戸の新築住宅が建設されているものと推測される。

前述の委員会から土壁造住宅に感じている魅力は生産者の方々がこだわっているものとは異なるだろう。この住宅が地域生産性に優れている点、建物四周に廻らされる深い庇が日射遮蔽性能、通風性能、外壁の耐久性向上に大きく貢献する形態を多くの住宅が兼ね備えている点、これらは、近年の高性能住宅ではなかなか実現することのできない環境負荷低減住宅の技法といえる。さらに乾式木造住宅では実現しがたい土壁の湿気容量と熱容量を有している。もし、断熱材の内側に土壁を配することが可能なら、乾式の木造断熱住宅とは異なるティーストの穏やかな室内環境性能が創出できる可能性がある。

本節では、まず、測定事例が少ない土壁の熱・湿気物性測定結果について述べ、実際の住宅に試みた様々な断熱技術の概要と断熱構造内部の温湿度性状、構造躯体の木材含水率変動に関する測定結果を報告する。そして、土壁造住宅の望まれる断熱技術について検討・提案する。

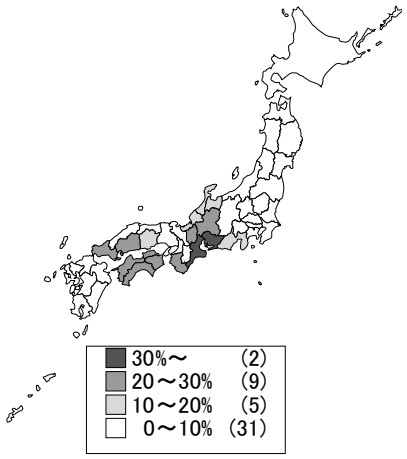


図 2.7.1 新築住宅に占める土壁造住宅の割合

( )内は都道府県数:住宅宅金融公庫調査1990年

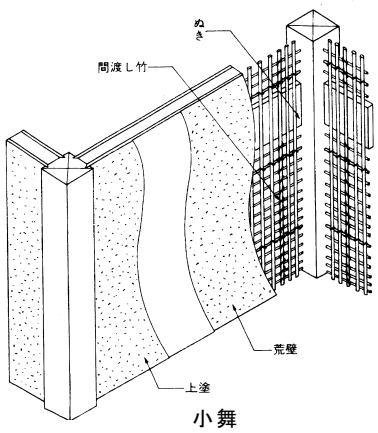


図 2.7.2 標準的な土壁の断面



写真 2.7.1 土壁造住宅外観

2.7.1 土壁の熱・湿気物性試験

多くの伝統的住宅技法がそうであるように、土壁そのものの定量評価は十分とはいえない。構造強度しかり、熱伝導率、湿気物性など、生産者みずからがそれを避けていた感さえある。

筆者らが係わった香川県、山口県、滋賀県、愛知県、静岡県、群馬県、徳島県、長崎県では、それぞれ土の種類、再生土(解体住宅から回収した土)の混入率、すさや竹の組み方、工程・工期も大きく異なり、さらに最近はドロコンと称する土壁省力化工法も混在する。当然、'伝統的土壁派'と'省力的土壁派'と間には共通の話題は生まれず、存在するバリエーションがあまりにも多いことも、これまで定量化できなかった理由でもある。

ここでは、従来日本で用いられている土壁に着目し、愛知県豊橋市で製作された土壁試料について平衡含水率・熱抵抗値の測定を行う。試験体は表面仕上げなし、中塗り、上塗りの3体である。試験体を表 2.7.1に示す。

表 2.7.1 試験体

試験項目	寸法 mm	密度 kg/m^3	備考
熱抵抗	800×800×71.5	1334	-
透湿抵抗	300×300×71.5		-
平衡含水率	20×20×20		小舞は除く

1) 試験方法

(1) 熱抵抗

熱抵抗の測定はJIS A 1420(建築用構成材の断熱性測定方法－校正熱箱法及び保護表熱箱法)に準拠して行った(図 2.7.3)。試験体は、端部が崩れている部分があるため、図 2.7.3に示す範囲を試験対象とし、試験体の端部や取付け枠からの熱損失は別途校正を行った。試験条件を表 2.7.2に示す。

表 2.7.2 熱抵抗試験条件

熱流方向	上向き
設定温度	加熱箱内空気 35℃ 低温室内空気 15℃
表面気流	加熱箱側 0.5m/s以下 低温室側 自然対流

(2) 透湿抵抗

透湿抵抗の測定はJIS A 1324(建築材料の透湿性測定方法)に規定されるカップ法により行った。

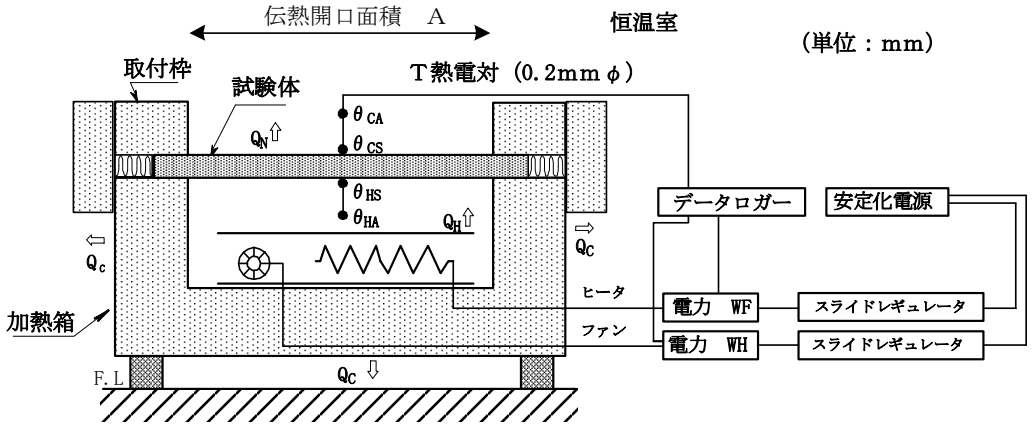
$$w=(m-m_s)/m_s \times 100$$

w:質量含水率(mass%)
m:平衡状態の試験体の質量(kg)
m_s:絶乾質量(kg)

試験体は60℃の雰囲気中に放置して乾燥状態となった後に、図 2.7.3に示す塩類の飽和溶液が入ったデシケータ(相対湿度33・75・93%)に納めて試験を行った。また,相対湿度50%は恒温恒湿槽内で条件設定を行った。相対湿度100%は設定が困難なため、密閉容器内に水を張ることによって、容器内の水蒸気圧が飽和状態に限りなく近い(≒100%)とみなした。試験時の温度条件は、全て23℃とした。なお、試験体は測定終了後、105℃の乾燥器内で恒量となるまで放置して絶乾状態とした。

(3) 平衡含水率

試験体を図 2.7.4に示すように、一定湿度となった容器内に納めて吸湿させ、質量一定となった時に次式から平衡含水率を求めた。



加熱箱の内のり寸法　D:750mm　W:750mm
加熱箱材質　押出法ポリスチレンフォーム(厚さ100mm)

図 2.7.3　熱抵抗試験装置

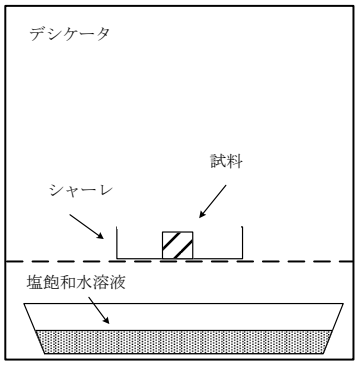


図 2.7.4　平衡含水率測定装置

2) 試験結果

(1) 熱貫流抵抗

試験結果を表 2.7.3に示す。

(2) 湿気抵抗

試験結果を表 2.7.4及び図 2.7.5に示す。

表 2.7.3　熱貫流抵抗試験結果

伝熱面積	[m^2]	0.562
厚さ	[m]	0.0715
発生熱量	[W]	59.20
校正熱量	[W]	25.51
試験体通過熱量	[W]	33.69
加熱箱内空気温度	[℃]	36.4
低温室内空気温度	[℃]	15.6
空気温度差	[℃]	20.8
試験体平均温度	[℃]	26.0
熱貫流抵抗	[(m^2・K)/W]	0.35
熱貫流率	[W/(m^2・K)]	2.9
熱抵抗	[(m^2・K)/W]	0.16
みかけの熱伝導率	[W/(m・K)]	0.45
伝熱面積	[m^2]	0.562
厚さ	[m]	0.0715
発生熱量	[W]	59.20
校正熱量	[W]	25.51
試験体通過熱量	[W]	33.69
加熱箱内空気温度	[℃]	36.4
低温室内空気温度	[℃]	15.6
空気温度差	[℃]	20.8
試験体平均温度	[℃]	26.0
熱貫流抵抗	[(m^2・K)/W]	0.35

(注)*みかけの熱伝導率は参考値。

表 2.7.4　透湿抵抗試験結果

No.	透湿量G [ng/s]{g/h}	透湿抵抗Zp [(m^2・s・Pa)/ng] {(m^2・h・mmHg)/g}	透湿係数Wp [ng/(m^2・s・Pa)] {g/(m^2・h・mmHg)}	透湿率*μ [ng/(m・s・Pa)] {g/(m・h・mmHg)}
1	2.54×10^{4} {0.0914}	3.46×10^{-3} {7.20}	289 {0.139}	20.7 {9.93×10^{-3}}
2	2.51×10^{4} {0.0903}	3.50×10^{-4} {7.29}	286 {0.137}	20.4 {9.81×10^{-3}}

(注1){ }内の数値は、参考として従来単位で表したものである。
(注2)透湿率は参考値。

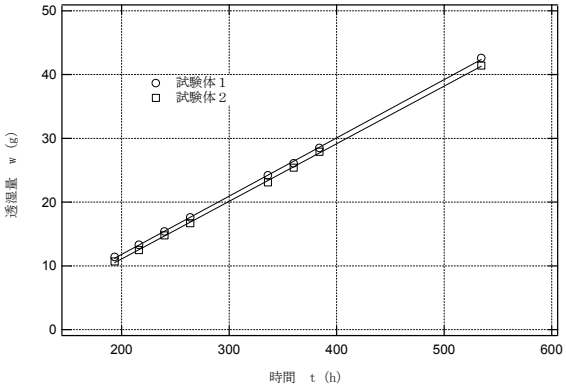


図 2.7.5 透湿量と時間の関係

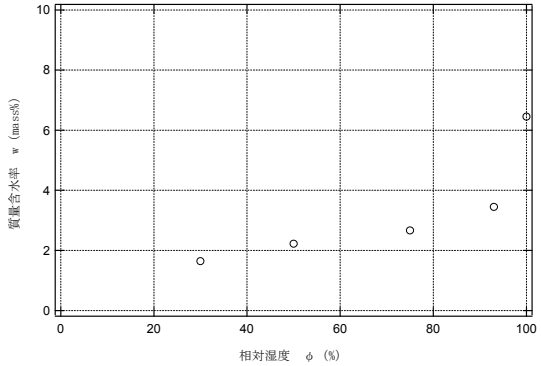


図 2.7.6 平衡含水率曲線

(3) 平衡含水率

試験結果を表 2.7.5及び図 2.7.6に示す。

3) 試験結果に対する考察

表 2.7.6は、公的解説書等に記載される物性値、いくつかの地域で生産された土壁の熱・湿気物性の測定結果を示している。現時点では、熱伝導率に関しては概ねグラスウール16Kの10倍程度と推測される。

冒頭に記した通り、土壁は施工方法、構成材料の配合率、種類が多種多様であることから、熱・湿気物性値にも相当なばらつきがあることが予想される。従って、土壁造住宅の断熱技術開発、あるいは仕様規定等を開発していくには、土壁の施工方法、使用材料に関して、多少の仕様規定が必要と思われる。

表 2.7.5 平衡含水率試験結果

相対湿度 φ (%)	平衡含水率w (mass%)
33	1.6
50	2.2
75	2.7
93	3.5
100*	6.4

(注)＊密閉容器に水を張ったものを相対湿度100%とみなした。

表 2.7.6 土壁の熱伝導率・透湿抵抗値

		熱伝導率 [W/mK]	透湿抵抗 [m²hmmHg/g]
土壁	次世代省エネ基準解説書記載値	0.69 (密度:1280kg/m³)*	―
	香川県で生産された土壁	0.43	―
	山口県で生産された土壁	0.45	7.20
	豊橋市で生産された土壁	―	―
参考	グラスウール16K	0.045*	―
	シージングボード	―	1.6*

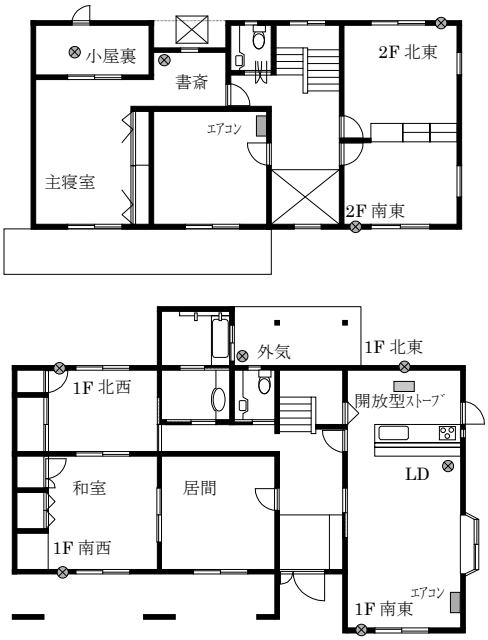
＊ 次世代省エネ基準解説書、住宅金融公庫仕様書等の記載値

2.7.2 断熱した土壁造住宅の躯体及び断熱層内部の熱・湿気性状

1) 愛知県に建つ実住宅での試行-土壁の外張断熱-

(1) 住宅概要

写真 2.7.2に住宅外観、図 2.7.7に平面、図 2.7.8に断熱構造部の断面を示す。



⊗:温湿度測定位置

図 2.7.7 平面図



写真 2.7.2 住宅外観

図 2.7.7に示すとおり、外壁の一般部では土壁の内外に断熱材を施工し、和室の外壁では外張り断熱としている。屋根では、天井面及び屋根面の双方に断熱材を施工し、小屋裏換気することで夏期の防暑対策としている。外壁の一般部の室内側、天井面及び屋根面には袋入りの繊維系断熱材を用いている。

実測対象建物は2001年12月下旬に竣工・入居した。なお、暖冷房はエアコン及び開放型ストーブを用いた間欠運転で、計画換気システムは設置されていない。

(2) 調査概要

温湿度計測にはT&D社製TR-72sを用いた。図 2.7.7・図 2.7.8に、温湿度の測定位置を示す。

外壁は1、2階の南北の各壁において、土壁の内側(室内側)と外側(外気側)の2点を測定した。

また、室内2箇所(1階のLDと2階の書斎)と外気についても測定した。測定は2002/1/30から2003/1/31までの1年間行った。

(3) 調査結果

図 2.7.9に各部位の温度分布、図 2.7.10に相対湿度の日平均値を示す。

図 2.7.9から土壁の内外で大きな温度差がないことがわかる。これは、土壁の外側に外張断熱が施されているためである。また、図から外壁内部の温度は夏期には30℃程度と外気や室内と同程度となっており、方位による差はほとんどないことがわかる。また、冬期には5～15℃程度で推移し、特に1階北西側外壁の土壁温度がかなり低くなっていることがわかる。これは、日射受熱量や居室温度が影響していると推測される。

図 2.7.10から外壁内部の相対湿度は外気や室内と同様に、冬期に低く夏期に高く推移していることがわかる。また、夏期における外壁内部の相対湿度は、方位による差は

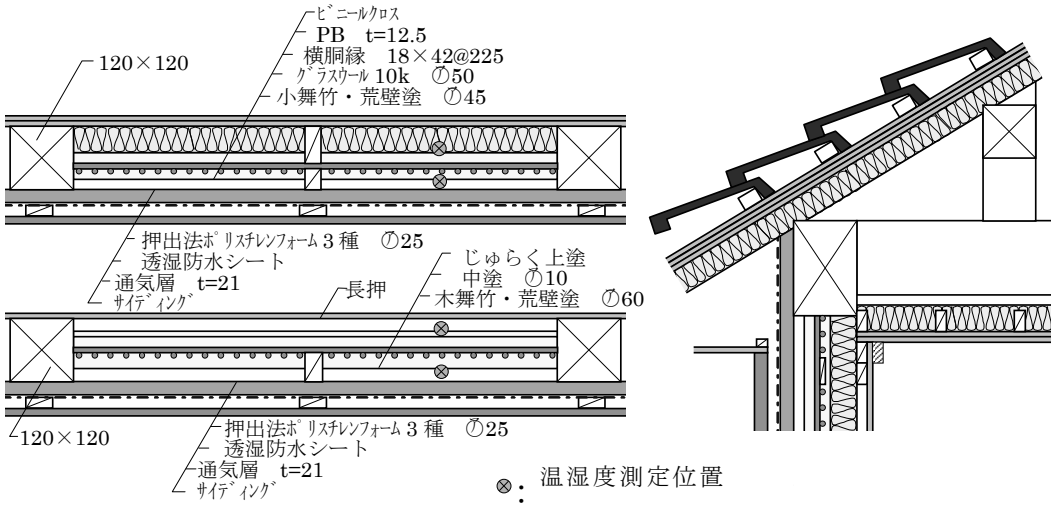


図 2.7.8 断熱構造部の断面（左上：一般外壁 左下：和室外壁 右：屋根）

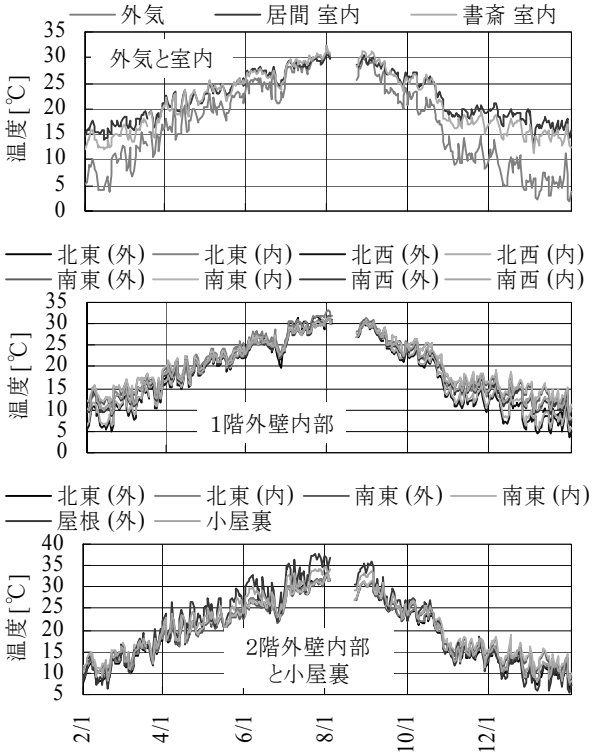


図 2.7.9 温度測定結果（日平均値）
（左上:外気と室内 左下:1階外壁内部
右上:2階外壁内部と小屋裏）

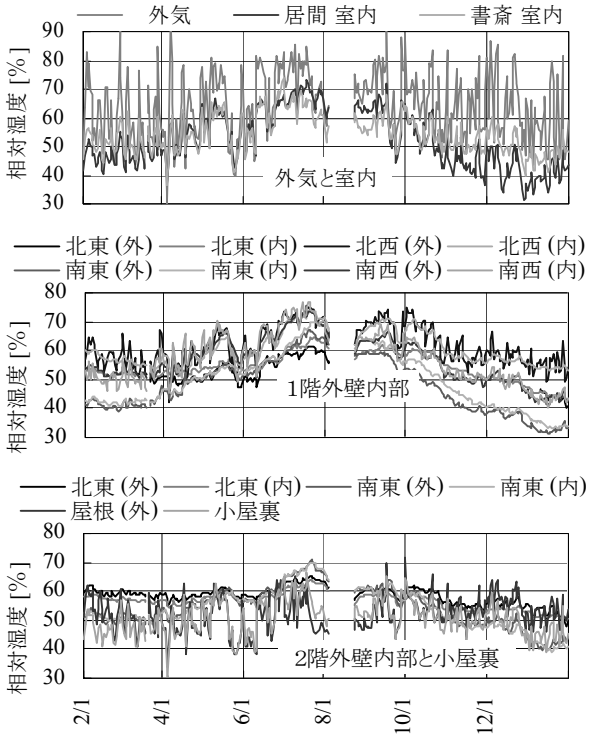


図 2.7.10 相対湿度測定結果（日平均値）
（左上:外気と室内 左下:1階外壁内部
右上:2階外壁内部と小屋裏）

あるものの概ね60～80%RH程度を推移している。これらのことから竣工後1年間において外壁内部で木材腐朽に至らしめるような高湿度な環境になっていないと考えられる。

また、1年経過後は竣工直後に比べて壁内相対湿度は概ね5～10%低下しているが、これは、土壁自体が経時により乾燥化していることを顕しているといえる。

以上の実測結果から、壁内の温湿度には壁の位置する方位により差があるものの、相対湿度は30～80%の範囲を推移しており、土壁部分における内部結露の危険性は低いと思われる。また、外壁内部の相対湿度は冬期に低く夏期に高いが、長期的には徐々に低下していると考えられる。

2) 愛知県に建つ実住宅での試行
-土壁外側のクリアランスを利用した発泡プラスチック系断熱工法-

(1) 住宅概要

写真 2.7.3に住宅外観、図 2.7.11に平断面、図 2.7.12に断熱構造部の断面を示す。1階外壁は土壁の外側クリアランスに硬質ウレタンフォーム20mmを施工、2階外壁は木軸間に高性能GW100mmを施工し、防湿気密層は施工していない。



写真 2.7.3 住宅外観

(2) 調査概要

温湿度の計測にはT&D社製TR-72を使用した。主な測定位置を図 2.7.11に示す。外壁と屋根については、断熱材の内側表面と外側表面の位置で測定した。また、外壁は1階と2階の東西南北それぞれの壁で、屋根は南側の屋根で行った。

(3) 調査結果

a 外壁

図 2.7.15に1階外壁内部の各季節の典型的な湿度性状を示す。北壁の断熱材外側においては、竣工直後(夏期)の相対湿度が90%以上と高いが、中間期にはおよそ70%まで低下している。

図 2.7.16に2階外壁の相対湿度を示す。1階外壁と比べ方位による差は小さい。1階、2階の外壁とも、竣工直後(夏期)から時間が経過するにつれ、壁内相対湿度は低下し、全体として壁内が乾燥化傾向にあることがわかる。しかし、乾燥化の度合いは特に南側壁が大きい等、方位によって異なり、冬期には方位間で30%RH程度の差が見られる。方位による乾燥化の度合いの違いは、日射の影響の他に、風向きによって室内からの漏気に伴う水蒸気の移流量の違いなどが原因と推測される。

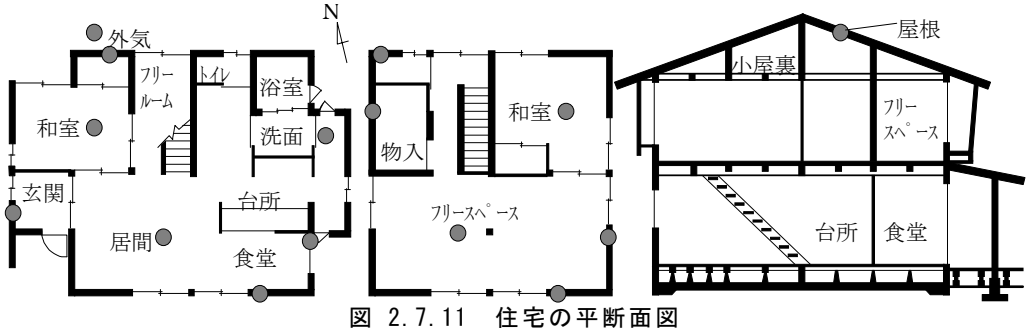
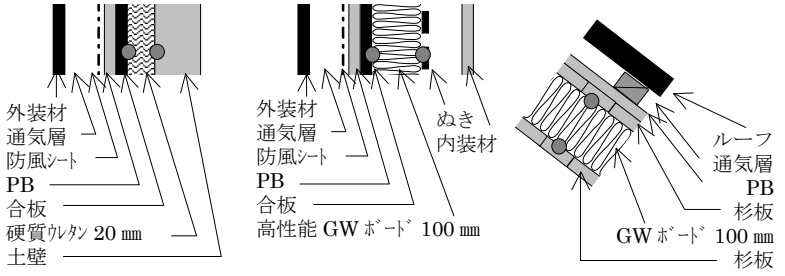


図 2.7.11 住宅の平断面図



(a)1階外壁断面　(b)2階外壁断面　(c)屋根断面

図 2.7.12 断熱構造部の断面

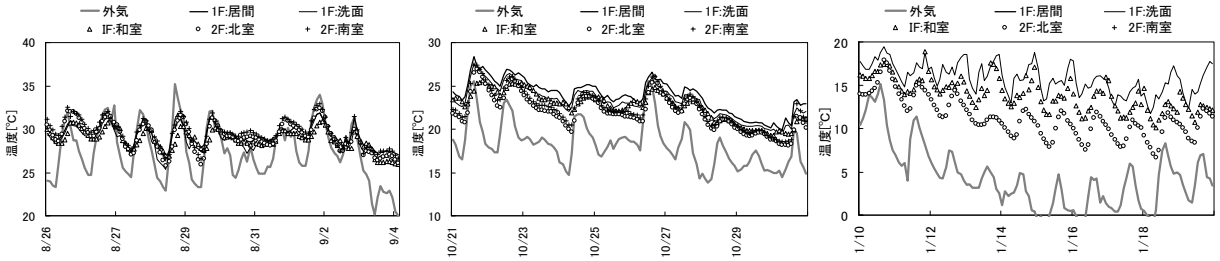


図 2.7.13 外気と居室の温度変動

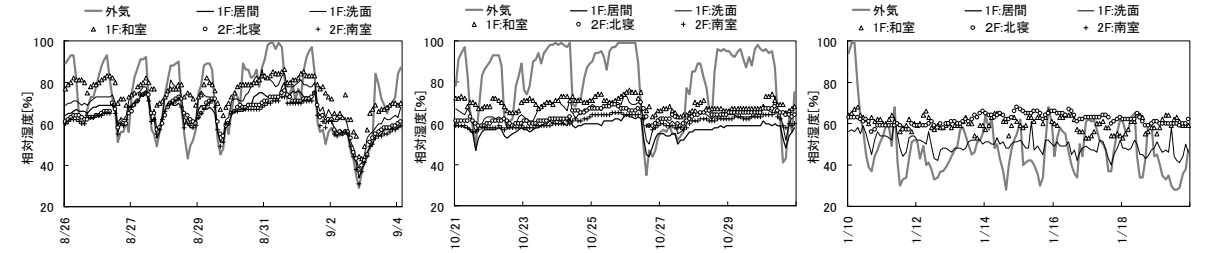


図 2.7.14 外気と居室の相対湿度変動

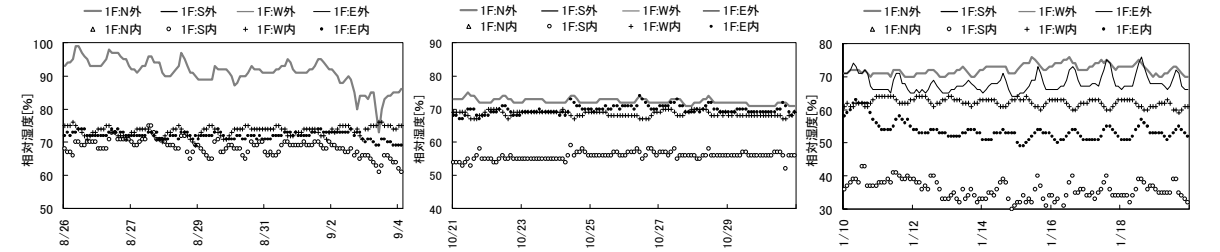


図 2.7.15 1階外壁の相対湿度変動

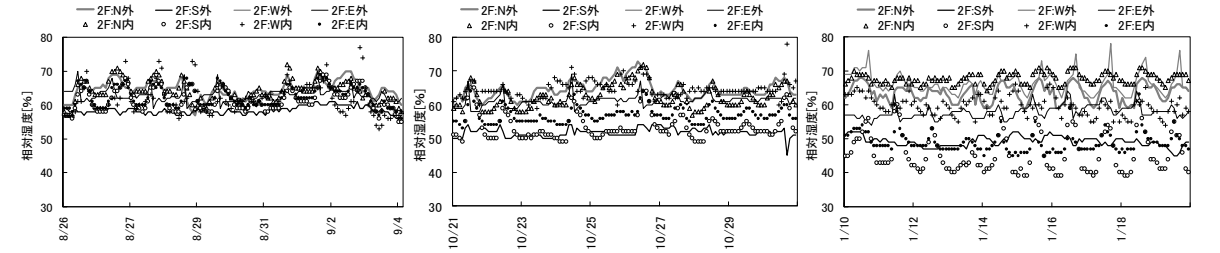


図 2.7.16 2階外壁の相対湿度変動

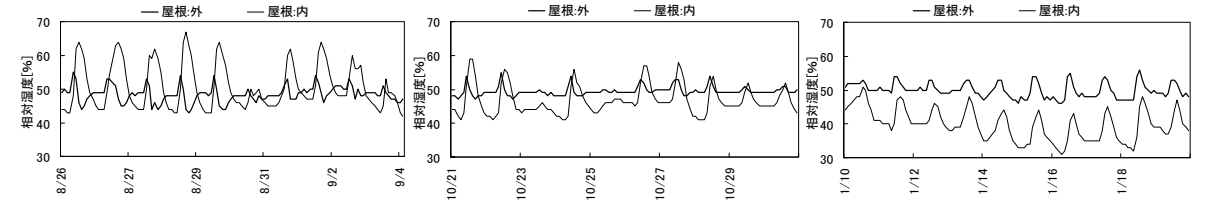


図 2.7.17 屋根の相対湿度変動

b 屋根

図 2.7.17に屋根の相対湿度を示す。夏期における屋根断熱内側の相対湿度の変動幅が大きいこと、小屋裏では温度が25～40℃、絶対湿度が10～30g/kg'と日変動が大きいことがわかる。これは、屋根面集熱のチャンバーからの放熱の影響を受けているものと思われる。

3) 滋賀県に建つ実住宅での試行
-土壁外側のクリアランスを利用したボード状繊維系断熱工法-

(1) 住宅概要

図 2.7.18に住宅平面、図 2.7.20に外壁断熱構造部の断面を示す。外壁は土壁の外側クリアランスにボード状繊維系断熱材35 mmを全充填した。

(2) 調査概要

温湿度の計測にはT&D社製TR-72を使用した。主な測定位置を図 2.7.18に示す。外壁は、住宅四面の断熱材室内側表面で測定した。また、それぞれの土台で木材含水率(KNS-????)を測定した。

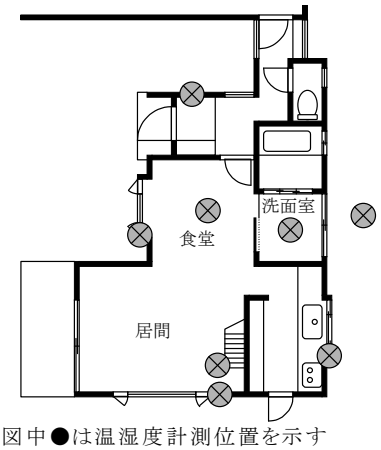
(3) 調査結果

図 2.7.20に外壁内部の湿度性状を示す。竣工直後から9ヶ月経過までの間、壁内の相対湿度に大きな変化はなく、各部位とも概ね70%RH前後、外気の絶対湿度が高い梅雨期でも80%RHを下回っており、壁内が通年乾燥していることがわかる。

図 2.7.21に外壁土台部の木材含水率の推移を示す。



写真 2.7.4 住宅外観



図中●は温湿度計測位置を示す

図 2.7.18 平面図

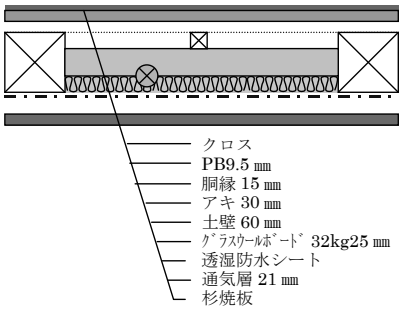


図 2.7.19 外壁断面図

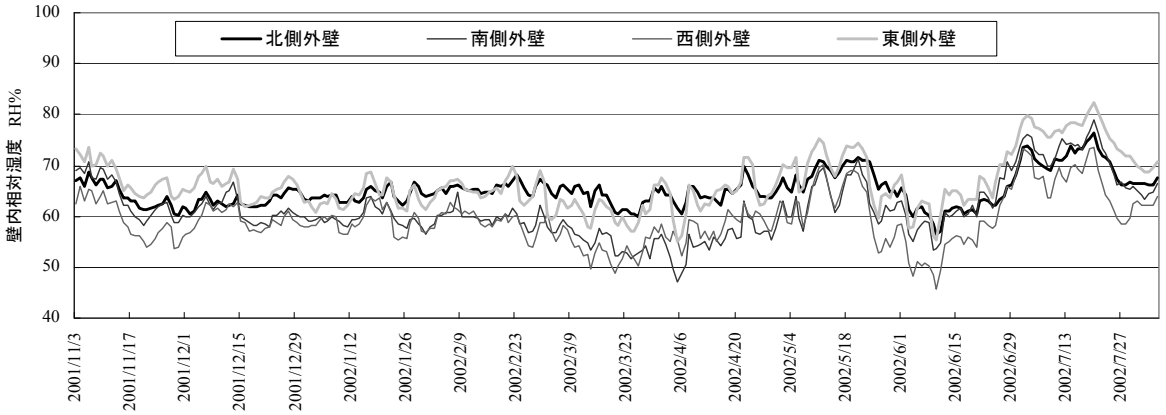


図 2.7.20 断熱した土壁造外壁内部の相対湿度の変動

図 2.7.21 木材含水率の推移

2.7.3 断熱した土壁造住宅の断熱効果-主に室内温熱環境の観点から

1) 断熱化の目的

部分間歇の暖冷房形態が一般的なわが国では、断熱化による暖冷房エネルギーの低減効果はそう大きくない。温暖地のように元来、暖房エネルギーが少ない地域においては、暖房面積が広がった場合はむしろエネルギー消費量が増加することさえある。

それでは、何のために断熱化を推進するのか。輻射環境の改善、冬期においては内部発熱(日射、生活発熱)による自然室温(暖房していない時間帯のなりゆき室温)の改善により、温度的むらの少ない室内環境を創出することであり、一般に快適室温といわれる温度、例えば冬期20℃、夏期26℃を実現するためではない。

さて、前述の断熱した土壁造住宅の室内温度環境はどのように変わったのであろうか。

2) 実測結果と考察

本稿ではこれまで報告した断熱化した土壁住宅と一般的な在来木造住宅の測定結果を基に、表 2.7.7に示す2地域、計4軒の実測結果から、一般的な土壁造住宅と断熱した土壁造住宅の比較を行う。

図 2.7.22は、豊橋市に建つ断熱した土壁造住宅の春、夏、冬季における典型的な居室温湿度性状を示したものである。夏季は自然通風によりエアコンを殆ど使用しない暮らしをしている。冬季の居室は外気温より約10℃程度高く15～20℃の範囲で推移している。暖房停止後、翌朝までの室温低下は概ね5℃程度に納まっていることがわかる。

図 2.7.23は冬季1ヶ月間の居室と外気の日平均気温の関係を示したものである。愛知県豊橋市に建つ2軒の住宅の比較から、断熱化により南側居室で約3℃前後、全く暖房していない北側居室では5℃前後、日平均室温が上昇していることがわかる。天井、床、開口部の断熱仕様は十分というにはほど遠いものがあるが、冬季における断熱効果をうかがうことができる。

滋賀県安土町に建つ一般的な土壁住宅では、南側・北側居室の温度むらはほとんどないものの、外気温と1～2℃程度しか違いがない。それに対して、断熱した土壁住宅では居室の日平均室温は外気に比べ10℃以上高く、断熱効果が顕著に現れている。また、断熱化することで外気温の影響を受けにくくなっていることがわかる。

表 2.7.7 測定住宅の断熱概要

地域		愛知県豊橋市		滋賀県	
住宅名		一般住宅	断熱住宅	一般住宅	断熱住宅
断熱仕様	天井	グラスウール16K-50mm	＜天井＞ グラスウール16K-50mm ＜屋根＞ グラスウール16K-50mm	無し	グラスウール16K-100mm
	壁	無し	＜真壁＞ ポリスチレンフォーム25mm ＜他＞ ポリスチレンフォーム25mm ＋グラスウール16K-50mm	無し	高密度グラスウールボード32K-25mm
	床	無し	高発泡ポリスチレン25mm	無し	高発泡ポリスチレン25mm
	窓	単層ガラス	単層ガラス	単層ガラス	複層ガラス
床面積[m^2]		152	187	213	59(増築)

これらの住宅は、暖冷房が主要居室に設置されたエアコンが間歇運転していることを除き、居住者の生活様式や住宅形態などが同一条件ではないことに注意は必要である。しかし、少なくとも、これらのデータは、ささやかな断熱化の必要性や効果を、実感に乏しく机上でしか表れない省エネルギー効果より、はるかに説得力があると思われる。

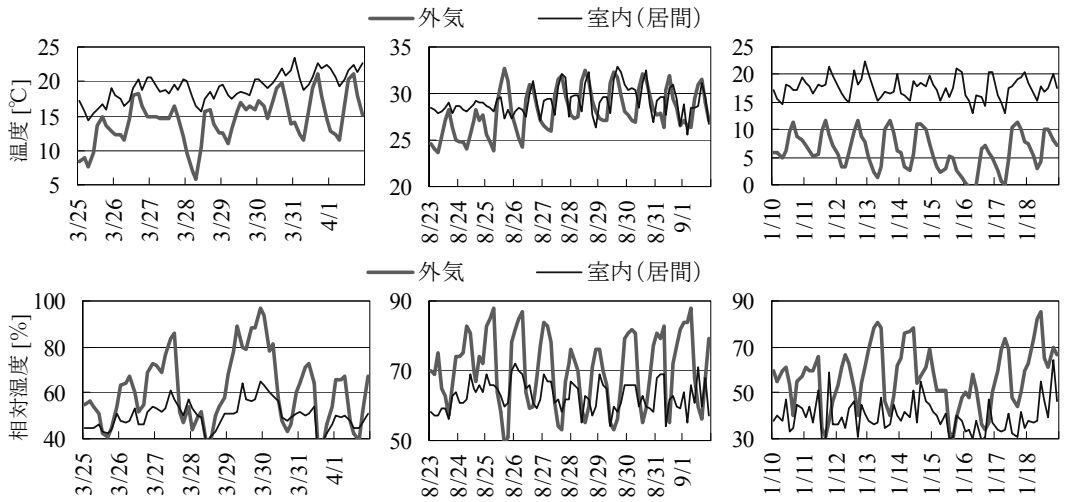
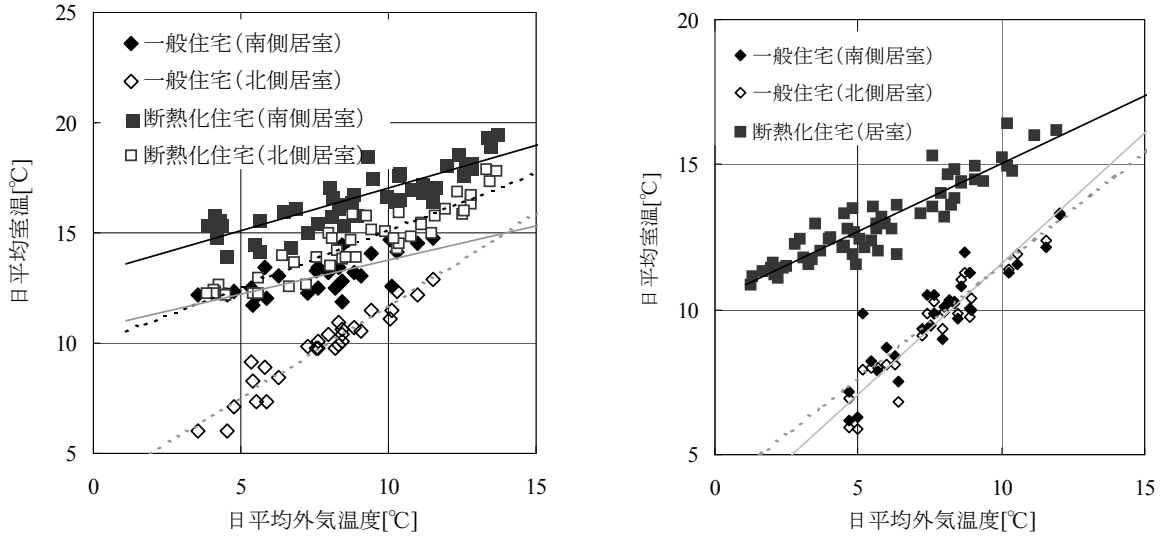


図 2.7.22 豊橋市の断熱した土壁住宅の実測結果



(a)愛知県豊橋市　　(b)滋賀県安土町

図 2.7.23 冬期間の居室温度と外気温度の関係（日平均温度）

2.7.4 断熱技法のイメージ

これまで数年間に渡り、数軒の土壁住宅の断熱化に取り組み、壁内の熱・湿気性状、室内温熱環境の検証を行い、様々な知見を得ることができた。

これらの知見を基に、今後の土壁造住宅の断熱技法を以下に提案してみたい。もちろん、土壁の断熱方法はこのほかにも様々なバリエーションが存在する。しかし、一般の在来木造工法と同様、あえて型式として提示することが断熱化への新たな一歩となり得る。

1) 壁の断熱

前述したように、熱容量、湿気容量などの土壁の特性を室内温熱環境形成に活用するには、土壁の外側に断熱材を設けるのを基本とした外壁断熱を行うべきである。

断熱材を軸組外側に施工する(外張断熱)のは簡単だが、効率性が優先され、いずれ、土壁造住宅の生産体制や形態的な魅力はいつしか失われてしまうだろう。

軸間のクリアランス30～35mmの空隙を利用して、数多くの問題点を有する袋入り(付属防湿層付)断熱材ではなく、ボード状繊維系断熱材、その中でも施工性が良好で、撥水性が高い高密度・細繊維品を充填することが望ましい。そのとき、断熱材には防湿性に優れるボード状発プラ系材料の使用は避けたい。元来、この種の断熱材は隙間なく充填することは難しいほか、施工中・竣工後も土壁に含まれる大量の水分の乾燥促進を妨げることになるためである。防湿気密フィルムの施工は、初期的には土壁の乾燥を妨げる危険性さえある。

乾燥後は、土壁の湿気容量があれば内部結露防止のために断熱材の室内側に防湿気密フィルムを施工する必要はないだろう(実測結果を後述)。断熱材外側には、必要に応じて、耐力面材を施工するが、材料としては透湿性・防水性等の性能安定性に優れる材料(例えば高耐力シージングボードなど)を選択する必要がある(少なくとも、土壁造の耐力面材には性能個体差が大きいOSBは避けるべきである)。耐力面材の有無にかかわらず、防水下地として透湿防水シートを施工する。防水下地材の施工は気密層を自然形成する。もちろん、その外側は通気層が不可欠だが、元来、土壁造の住宅では外装施工のため、軸組外側には横もしくは縦に何らかの下地が施工されるのが一般的であり、その空隙を通気層に利用することは容易である。

こうすることで、既存の外張断熱、充填断熱とは一線を画す、新しい断熱工法が生まれる。それは、室内側に湿気容量、熱容量を配する無防湿・気密型断熱外皮技術と表現した方が良いかもしれない。この技法が、「外張か充填か」といった既成概念への定義付けは何ら意味を有しないだろう。

2) 床・基礎の断熱

多くの温暖地では、床断熱した床下空間では、程度の差はあれ、竣工直後、繰り返し夏期に結露が生じていると考えられる。この現象は、今後、床の高断熱化に比例して顕著になっていくだろう。しかし、木材腐朽等の実害がなければそれでいいとするには、もうひとつの問題がある。すなわち、床組材の防腐、床下の防蟻措置にどう対処するかという点である。床下換気を講じることで床下は'外'であり、薬剤処理しても室内には侵入することはない？という常識は、はたして正しいのだろうか。

在来木造住宅においては間仕切壁後やり施工(一般的な在来木造工法では床や天井よりも間仕切壁の柱、下地が先行して施工されるが、床、天井の下地等が施工された後に間仕切壁を施工する方法をいう。次世代省エネ基準の設計施工指針に準拠する方法)等々行い、確実に床面を気密化しても床面の相当隙間面積は1cm^2/m^{2}程度(ASHRAEでは2cm^2/m^{2}と規定されている)、それらに無縁の住宅での床面隙間は5cm^2/m^{2}を超える。冬期間の内外温度差により床下と居室の間で生じる自然対流は、床下に施された薬剤の揮発成分を居室に拡散させる危険性をはらんでいる。

床断熱された床下に比べ、基礎断熱の最大のアドバンテージは床下及び床組みの長期乾燥維持性に優れていることである。この特性を活かし、さらに樹種を吟味すれば薬剤処理を

全く前提としない床組は、現行基準でも不可能ではない(これらは必ずしも土壁造住宅に限ったことではない)。

ところで、土壁の建設者の多くは、伝統的在来軸組の妙技に強いこだわりがある。基礎断熱のもうひとつのメリットは床組を限定しないことであり、既存の床組を踏襲できることが土壁造住宅に基礎断熱を勧める所以でもある。

3) 天井・屋根の断熱

屋根の外張断熱は本当に簡単なのだろうか。軒が無い住宅ならいざ知らず、軒のある住宅の破風の寸法、軒先デザインを変えずに外張断熱を行うのは本当に難しい。一方で、なじみのある繊維系天井断熱は天井面の気密化、断点を設けない断熱層の形成、外壁や間仕切壁の取合い部処理など、さまざまな工夫が求められ、当面、この住宅に根付くとは思えない。

伝統的在来木造の2階は軒桁を可能な限り低くおさえ、屋根なりに仕上げるのが基本であり、本来は屋根の充填断熱が最もなじむのかもしれない。一定の天井高を確保したスクエアな空間が今後求められるなら、桁上断熱がベストであろう。小屋梁を上端そろいにするなど、小屋組み、壁軸組み変更が若干伴うが、入母屋、切妻などの様々な屋根形態に適合し、間仕切壁の通気止め云々の措置を不要にすることが、この技法を勧める最大の理由である。

北関東地方のように、わが国には昔から小屋梁を上端ぞろいに施工する地域は少なくない。これらの地域では桁上断熱工法の導入はそう難しいものではない。しかし土壁造住宅の小屋組は伝統的な軸組がほとんどで、桁上断熱がなじみにくい面があり、防湿気密層を必要としない天井断熱工法の開発が望まれる。

4) 開口部

土壁造住宅は採光面の開口部が大きく、開口面積は延床面積の30%以上を超えるものが多い。このような住宅様式には、省エネ基準の設計施工指針に規定されるような部位バランス型断熱強化の方向を歩むのではなく、まず開口部(アルミ一重ガラス)の性能強化を図り(雨戸の断熱強化もしくは遮熱複層ガラスを用いたサーマルブレイクサッシ)、基礎断熱と桁上断熱で断熱強化を簡単に済ませ、土壁の熱・湿気特性を活用するためのささやかな断熱を外壁に施すといった、土壁専用の断熱技術が必要である。

5) 換気・暖房

住宅規模、室容積が大きな土壁造住宅では、高価な機械換気システムは不要であり、第3種換気を前提としたい。部分間歇暖房を基本とするこの住宅には、どの居室にも分散配置されているサッシと分散する躯体の隙間から新鮮外気を導入したい。もちろん、使用材料のVOC対策は不可欠である。

暖房は、開放型ストーブの使用禁則さえ徹底すれば、方式にはこだわらなくともよいだろう。住宅内温度むらの解消には全日全室暖房が有効なことは誰でも理解できるが、次世代省エネ基準レベルより大幅に断熱強化しない限り、暖冷房エネルギーは増大するだろう。それより、断熱化がもたらす自然室温の上昇によって、居室の熱的改善を図り、「こたつで寒さを感じない暮らし」とはいわないまでも、必要に応じてエアコンの部分間歇暖房で対応するというのが、この住宅の生活様式になじむと思われる。

2.7.5 おわりに

新築土壁造住宅は、ドロコンと言われる省力化工法でも1年弱の工期を要し、本格的土壁をやるなら最低2年の工期は当たり前という。

工務店あたり年平均1.5軒程度として、今もなお、温暖地を中心として3000戸程度の住宅が新築されていると思われる。一方で、施主のニーズから、数十年以上前に建設された膨大なストック量の土壁造住宅を対象としたリフォーム・改修工事は数多く行われている。

今もなお、土壁造住宅に携わる(こだわる)工務店は、年間、僅かな新築土壁住宅の建設と、新築に比べれば数多い土壁造住宅改修により経営が成り立っているという。工務店の経営形態から見ると、住宅ストックという面ではわが国より成熟しているといわれるヨーロッパの経営形態に近いのかもしれない。我が国もいずれ新築から改修市場に移行していくといわれるが、実は彼らの工務店経営は新たな時代を先取りしているともいえる。筆者らが、土壁造住宅の断熱技法開発に取り組み始めているのは、新築ばかりではなく、温暖地で膨大なストックをかかえるこの住宅構造の改修市場への備えとも思っている。

十分な工学的根拠がそろわないままの報告となったが、今後も様々な機会を通じて工学的検討を重ね、近いうちに、新築のみならず、既存改修にも展開できる実効性、汎用性の高い「型式」技法として構築していくつもりである。

なお、一連の研究調査活動の中で、紙面に顕しきれないほどの各地域の工務店の方々、研究者の方々の多大なご指導、ご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

(鈴木大隆、北谷幸恵)

註

*1 住宅金融公庫四国支店 平成5年度地域住宅特性検討委員会

*2 建築研究所官民連帯共同研究「地域性に配慮した省エネ住宅技術開発」委員会,平成10年度～12年度

主な参考文献

・真瀬悦邦、北谷幸恵、鈴木大隆、澤地孝男他:防湿層の無い断熱外壁・屋根の温湿度性状-東海地域に立つ実住宅での実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集2001年
・望月昭・鈴木大隆・北谷幸恵・澤地孝男他:土壁住宅の断熱技術に関する研究 その1 愛知県に立つ実住宅での実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集2002年
・水沼信・鈴木大隆・澤地孝男他:土壁住宅の断熱技術に関する研究 その2 山口県における実験室実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集2002年
・青木正諭・瀬戸裕直他:温暖地に向けた断熱外壁の防露技術に関する研究 その4 防湿気密層のない壁体の熱湿気性状に関する冬期温暖地を想定した実験報告など:;日本建築学会大会学術講演梗概集2002年
・鈴木大隆、本間義規他:温暖多湿な地域における基礎断熱の熱・湿気環境に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集2000年
・岩前篤, 松本衛他:地盤防湿処理のある住宅床下空間の温湿度性状に関する研究、:日本建築学会計画系論文報告集NO.528、2000年2月
・鈴木大隆:土壁造住宅の断熱技法、建築技術2004年1月号

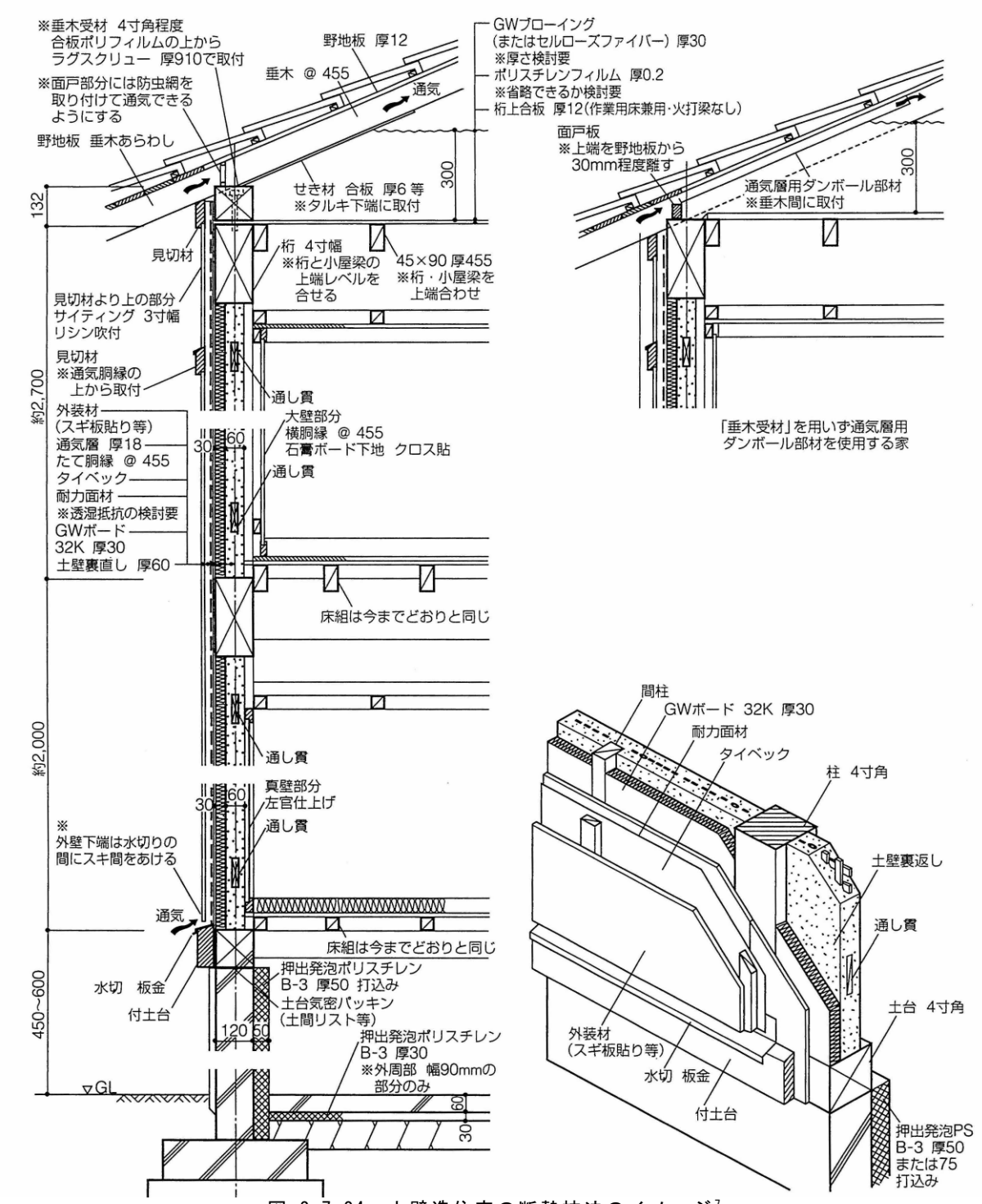


図 2.7.24 土壁造住宅の断熱技法のイメージ[7]

2.8 在来木造住宅を対象とした壁内通気量に関する検討 (G8)

2.8.1 検討の目的

在来木造構法は、柱や梁などの軸組を基本とする構造である。伝統的な民家などでは、柱と柱の間を、竹木舞などを編んで下地とし、そこに土を塗りこんでいくいわゆる日本壁(真壁)が多く、軸組みの間は様々な建築材料で充填される構造であった。しかし現在では大壁構造が主流であり、壁の中は床下空間や天井懐、小屋裏とつながる大きな構造空隙となっている(図 2.8.1)。

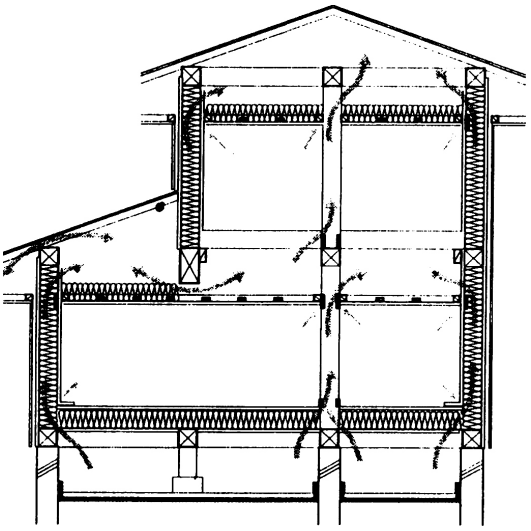


図 2.8.1 在来木造工法の壁内気流概念図
(引用文献1)

一般に壁体の防露設計では、材料内の1次元的な湿気拡散のみを扱う定常計算の場合、透湿抵抗や湿気伝導率と両境界のポテンシャル差との積で表される流れで表現する。しかし、在来木造では、前述したように様々な構造空隙が連続しているため、実際の壁体構造は拡散流のみではなく隙間を経由した流れ、すなわち移流を考慮しないと現実と大きくずれてしまう。

移流量は、壁体単体のみを切り出してきて計算するのは不十分で、例え1階外壁を対象とする場合でも住宅全体の流れを解く必要がある。

ここでは、壁体内の熱水分同時移動シミュレーションの入力条件を算出するために、住宅の気密性能と隙間分布を条件として壁内通気量の推定を行うことを目的とする。

2.8.2 検討概要

北総研の実験室実験で求めた床・壁取り合い部のαAを入力条件として、壁体内や床下空間などの非居住部も室とみなした多数室換気シミュレーションを行う。

1) 数値シミュレーションの概要

移流量の計算は, 各室の温度を指定する換気回路網計算にて行う。換気回路網計算は, 各室床面圧力を仮定し, 風量残差がゼロになるまで収束計算するアルゴリズムとする。

各開口の風量:

$$G_{mj} = \mathrm{sgn}\cdot \alpha A_{mj} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma_i}} \cdot \Delta p^{\frac{1}{n}} \cdots (1)$$

連続の式:

$$\sum_{j=1}^{n} G_{mj} = 0 \cdots (2)$$

圧力の補正方法:

$$a = \left| p_{m0}^{k} - p_{m0}^{k-1} \right| \Big/ \left| \Delta p_{m0}^{k} \right| \qquad \cdots(3)$$

$$p_{m0}^{k+1} = p_{m0}^{k} - \Delta p_{m0}^{k} \quad (a \Rightarrow 1) \qquad \cdots(4)$$

$$p_{m0}^{k+1} = p_{m0}^{k} - a \cdot \Delta p_{m0}^{k} \quad (a < 1) \qquad \cdots(5)$$

ただし、 G:風量 (kg/h)、αA:有効開口面積(m2)、p:圧力(Pa)、Δp:圧力差(Pa) 、添え字:nは室数、iは自室、jが隣室を表す。Sgnは流れの向きに応じた符号を表す。

反復計算法にはNewton-Raphson法を用いるが、初期値が適当ではない場合、解が発散することがある。そうした不具合を防ぐため、前時間ステップの圧力補正値と比較して、現時間ステップの補正値が発散しないように修正する。なお、温度差の大きい流体のマスバランスを扱うため、風量は質量単位で扱うものとする。なお、実際には存在するであろう方位による流れの偏りを無視した。すなわち、今回の検討では外部風の影響をみていない。基礎式は以下の通りである。

2) 住宅のモデル化と計算条件

各階床面積 58.0m^2 (9100mm×6370mm)、延床面積116.0m^{2}の総2階建てを対象として換気シミュレーションを実施した。室内空間は1、2階を含めて1室とし、①床下空間(床断熱仕様)、②1階外壁、③居室、④天井懐、⑤2階外壁、⑥小屋裏の6室モデルで行う。C値は2.0m^2/m^{2}として、隙間割合を開口部30%、換気設備(自然換気口)30%、躯体隙間40%(床面10%、2階天井面10%、各階の壁・床・天井取り合い各5%)の割合で配分した。この配分割合は参考文献2及び北総研における実験の床合板と壁石膏ボードとの間の目張りありなしの測定結果に基づいて設定している。

高さ関係を含めた計算モデルを図 2.8.2に示す。各階の床・天井取合い部は床面高さ及び天井面高さに、開口部も上下に均等に配分する。総開口数は36であり、通気壁体の上下のn値は1.1、それ以外のn値は1.5に設定した。

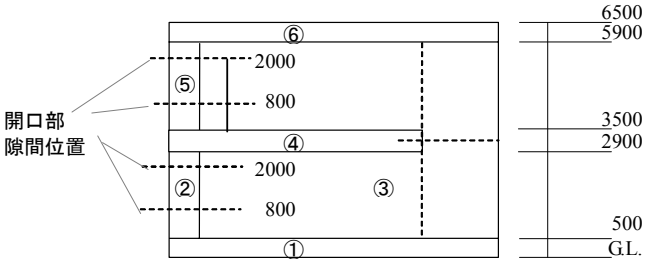


図 2.8.2 計算モデル断面図

表 2.8.1 各室の温度条件

① 床下	8.0℃	② 1F 外壁	12.5℃
③ 居室	20.0℃	④ 天井懐	18.0℃
⑤ 2F 外壁	12.5℃	⑥ 小屋裏	6.6℃

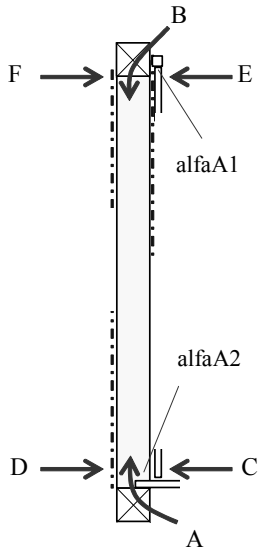


図 2.8.3 各階壁体の流量表示位置
(流入を正とする)

表 2.8.2 隙間設定パターン(北総研測定結果)

	テーマ	alfaA1 (cm^2/m)	alfaA2 (cm^2/m)
No.1-1	次世代仕様1	0.12	0.06
No.1-2	次世代仕様2	0.12	0.12
No.2-1	木で通気止め1	0.12	0.61
No.2-2	木で通気止め2	0.12	0.35
No.3-1	GW通気止め	0.12	0.2
No.4-1	標準施工	0.35	1.0
No.5-1	施工不良	0.7	2.0
No.5-2	施工不良 ×2	1.5	4.0
No.5-3	施工不良 ×4	3.0	8.0
No.5-4	施工不良 ×8	6.0	16.0
No.5-5	施工不良 MAX	16.0	16.0

各室の温度は日本建築総合試験所での実験条件及び2.10で行う壁体内熱水分同時移動シミュレーションでの条件を参考に決定している(図 2.8.3)。

シミュレーション結果は、図 2.8.3に示す隙間位置に対して、各階外壁の単位長さ当りの通気量(リットル/min/m)で示す。記号A～Fは通気部位を示しており、外壁空間に対して流入が正、流出が負である。

2.8.3 シミュレーション結果

1) 外気に面する外壁隙間をゼロにした場合のシミュレーション結果

AからFの開口が全て開いている状態でのシミュレーション結果である。

表 2.8.3 1階外壁の各部通気量結果

	No.1-1	No.1-2	No.2-1	No.2-2	No.3-1	No.4-1	No.5-1	No.5-2	No.5-3	No.5-4	No.5-5
	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m
A	0.497	0.957	3.752	2.488	1.522	5.622	9.087	15.206	25.811	44.799	72.800
B	-0.327	-0.375	-0.610	-0.494	-0.428	-1.946	-4.462	-10.103	-20.535	-39.774	-70.263
C	-2.185	-2.250	-2.605	-2.424	-2.325	-2.699	-2.864	-2.942	-2.968	-2.924	-2.494
D	2.173	2.091	1.614	1.866	1.996	1.481	1.211	1.055	0.993	1.074	1.745
E	-0.793	-0.899	-1.413	-1.160	-1.015	-1.539	-1.754	-1.853	-1.885	-1.831	-1.261
F	0.636	0.476	-0.740	-0.276	0.250	-0.919	-1.218	-1.362	-1.415	-1.345	-0.528

表 2.8.4 2階外壁の各部通気量結果

	No.1-1	No.1-2	No.2-1	No.2-2	No.3-1	No.4-1	No.5-1	No.5-2	No.5-3	No.5-4	No.5-5
	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m
A	-0.176	-0.324	-0.919	-0.703	-0.483	0.223	2.437	7.581	17.634	36.725	66.514
B	-1.037	-1.022	-0.981	-0.995	-1.011	-2.708	-5.261	-10.886	-21.141	-40.326	-71.777
C	2.728	2.760	2.890	2.841	2.794	2.991	3.053	3.114	3.146	3.155	3.401
D	-0.793	-0.756	-0.593	-0.650	-0.712	-0.353	-0.208	0.079	0.184	0.239	0.946
E	1.524	1.566	1.737	1.672	1.612	1.866	1.944	2.020	2.059	2.071	2.370
F	-2.246	-2.224	-2.134	-2.164	-2.199	-2.019	-1.965	-1.909	-1.882	-1.864	-1.454

2) 外気に面する外壁隙間をゼロにした場合のシミュレーション結果

計算条件であるC値2.0cm^2/m^2(隙間割合:開口部30%、換気設備30%、床面10%、天井面10%、壁取り合い20%)のうち、今回の計算では壁取り合い20%をキャンセルした(隙間を塞いだ)ので、C値は1.6cm^2/m^{2}に向上している。それ以外の条件(各室温度など)は同一条件とした。結果を表 2.8.5～表 2.8.6に示す。

表 2.8.5 1階外壁の各部通気量結果

	No.1-1	No.1-2	No.2-1	No.2-2	No.3-1	No.4-1	No.5-1	No.5-2	No.5-3	No.5-4	No.5-5
	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m
A	0.616	1.165	4.049	2.892	1.840	5.763	8.833	14.674	25.102	44.143	73.410
B	0.324	0.211	-0.479	-0.218	0.091	-1.748	-4.298	-9.919	-20.278	-39.408	-69.673
C	-1.586	-1.742	-2.418	-2.074	-1.862	-2.603	-2.828	-2.924	-2.955	-2.915	-2.487
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0.646	0.366	-1.152	-0.600	-0.070	-1.411	-1.707	-1.831	-1.869	-1.819	-1.250
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2.8.6 2階外壁の各部通気量結果

	No.1-1	No.1-2	No.2-1	No.2-2	No.3-1	No.4-1	No.5-1	No.5-2	No.5-3	No.5-4	No.5-5
	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m
A	-0.431	-0.828	-2.542	-1.893	-1.273	-1.581	0.815	6.380	16.640	35.876	66.021
B	-1.388	-1.373	-1.201	-1.278	-1.339	-2.997	-5.660	-11.430	-21.803	-41.081	-71.783
C	1.893	1.960	2.515	2.286	2.084	2.869	2.986	3.077	3.127	3.146	3.397
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	-0.075	0.241	1.229	0.884	0.528	1.709	1.859	1.973	2.036	2.059	2.365
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3) CEの隙間がゼロの場合のシミュレーション結果

外壁の隙間がA、B、D、Fに存在する場合の1F、2F各々の計算結果を表 2.8.7及び表 2.8.8に示す。ここでの計算結果はC、Eのみゼロにしたもので、その他の計算条件は同じである.

表 2.8.7 1階外壁の各部通気量結果

	No.1-1	No.1-2	No.2-1	No.2-2	No.3-1	No.4-1	No.5-1	No.5-2	No.5-3	No.5-4	No.5-5
	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m
A	0.334	0.618	1.862	1.376	0.933	3.505	3.505	12.715	23.732	43.433	72.578
B	-0.815	-0.862	-1.054	-0.983	-0.913	-2.925	-2.925	-12.087	-23.167	-43.106	-73.783
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	1.445	1.334	0.773	1.009	1.205	0.905	0.905	0.878	0.914	1.044	1.741
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	-0.964	-1.090	-1.581	-1.402	-1.225	-1.485	-1.485	-1.506	-1.479	-1.372	-0.536

表 2.8.8 2階外壁の各部通気量結果

	No.1-1	No.1-2	No.2-1	No.2-2	No.3-1	No.4-1	No.5-1	No.5-2	No.5-3	No.5-4	No.5-5
	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m
A	0.254	0.461	1.274	0.977	0.683	2.498	2.498	9.867	19.672	38.482	68.412
B	-0.512	-0.551	-0.692	-0.642	-0.591	-1.979	-1.979	-9.063	-18.676	-37.311	-68.074
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	1.341	1.259	0.904	1.041	1.168	0.939	0.939	0.776	0.660	0.550	1.039
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	-1.083	-1.170	-1.486	-1.375	-1.260	-1.458	-1.458	-1.580	-1.656	-1.721	-1.376

4) CDEFがゼロの場合のシミュレーション結果

外壁の隙間がAとBのみに存在する場合の1F、2F各々の計算結果を表 2.8.9、表 2.8.10に示す。計算条件は室内と外壁との隙間をキャンセルした以外は同じである。

表 2.8.9 1階外壁の各部通気量結果

	No.1-1	No.1-2	No.2-1	No.2-2	No.3-1	No.4-1	No.5-1	No.5-2	No.5-3	No.5-4	No.5-5
	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m
A	0.487	0.747	1.117	1.046	0.918	3.002	5.899	12.090	23.077	42.874	73.229
B	-0.487	-0.747	-1.117	-1.046	-0.918	-3.002	-5.899	-12.090	-23.077	-42.874	-73.229
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2.8.10 2階外壁の各部通気量結果

	No.1-1	No.1-2	No.2-1	No.2-2	No.3-1	No.4-1	No.5-1	No.5-2	No.5-3	No.5-4	No.5-5
	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m	L/min/m
A	0.326	0.504	0.762	0.712	0.623	2.106	4.299	9.360	19.109	37.888	67.976
B	-0.326	-0.504	-0.762	-0.712	-0.623	-2.106	-4.299	-9.360	-19.109	-37.888	-67.976
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

引用文献・参考文献

1)鈴木大隆他:壁内通気が外壁及び住宅熱性能に及ぼす影響に関する基礎的検討, 日本建築学会環境工学委員会熱環境小委員会第33回熱シンポジウム, 2003
2)廣田他:住宅における各種気密ジョイント部の気密性能に関する研究(続報)その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集、2001.9

2.9 防湿層付き断熱材による天井断熱性能の検証実験

2.9.1 はじめに

温暖地における天井断熱は、繊維系の断熱材がポリエチレンフィルムでラップされたもの（防湿層付き断熱材。以下、単に断熱材と表記）を天井野縁に敷き込む工法が多く行われている。このような工法の場合、断熱材は小屋梁の下部で押しつぶされていたり、もっと悪い例では、小屋梁部分で途切れていたり、小屋梁にもたれかけさせるような施工（写真 2.9.1参照）が行われていたりする。また、吊り木部分では隙間なく断熱材を敷き込むことは不可能であるし、継ぎ目部分での不完全性も考えれれる。本研究では、このような断熱施工に対して、どの程度、断熱性能に影響するのか、恒温恒湿実験室内に造られた居室の天井の表面温度分布をサーモグラフで撮影することにより検証し、見かけの熱貫流率も算出して全体の評価も行った。

2.9.2 実験室実験

1) 実験概要

(1) 実験室及び検証試験体

室内外の気候を想定して温湿度を制御できる恒温恒湿実験室（2.8m×5.8m、高さ4.0m）に、ほぼ6帖大（2.50m×2.73m、天井高2.45m）の部屋を製作（図 2.9.1）、天井の一部を開けて室内側温度として実験室天井面より吹き出された空気を上部から導入できるようにした。天井裏には外気側から1.82mの部分の梁上に仕切（合板＋発泡ポリスチレン50mm）を設けて、その外気側を検証対象の天井断熱部分とした（図 2.9.2）。なお、梁及び天井野縁は図 2.9.3のように架かっている。

断熱材はグラスウール10K相当の厚さ100mm（W=430、L=1365mm）を1重敷きとした。断熱材の敷き方は表 2.9.1のような施工で、5パターン（以下、PTNとする）行った（写真 2.9.1～写真 2.9.6参照）。最初に、対象天井部の長辺

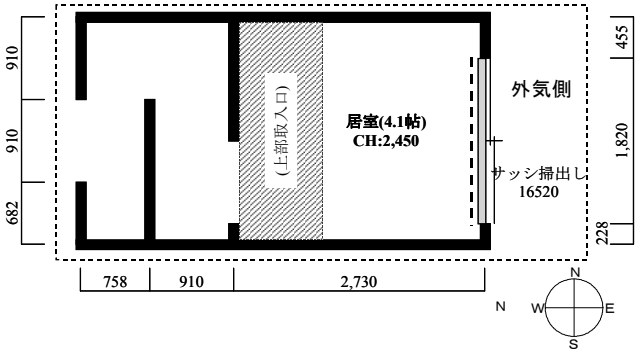


図 2.9.1 実験室平面図

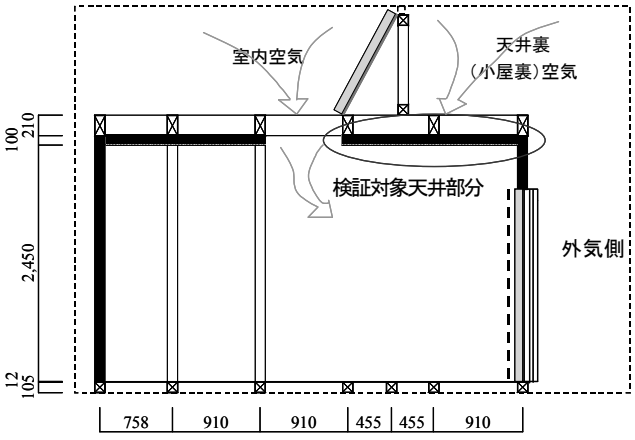


図 2.9.2 実験室断面図（東－西断面）

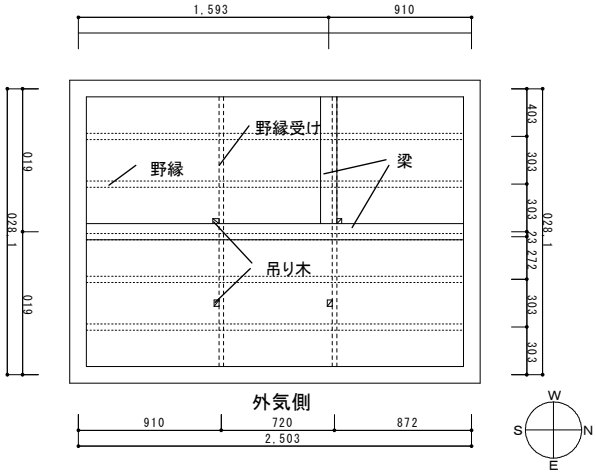


図 2.9.3 梁・天井野縁伏図



写真 2.9.1 ハの字施工

表 2.9.1 敷込みパターン

	敷き込み方法
1	断熱材は天井野縁に平行施工 断熱材に垂直な梁:ハの字施工(写真 2.9.1) 断熱材に平行な梁:梁面止め施工 外壁との取り合い:垂直方向はL字施工 平行方向は突付け(写真 2.9.2) 断熱材短辺継ぎ目は突付け
2	1において断熱材短辺継ぎ目を重ねる (10cm程度)(写真 2.9.3)
3	断熱材は天井野縁に平行施工 梁下は垂直方向も平行方向もつぶして挿入*(写真 2.9.4) 外壁との取り合い:垂直方向の東側:L字施工、西側:突付け、吊り木2箇所増設(写真 2.9.5) 断熱材の短辺継ぎ目は突付け
4	断熱材は天井野縁に垂直施工 断熱材に垂直な梁:ハの字施工 断熱材に平行な梁:梁面止め施工 外壁との取り合い:突付け 吊り木2箇所あり(写真 2.9.6) 断熱材の短辺継ぎ目は存在しない
5	4において梁下は垂直方向も平行方向もつぶして挿入、吊り木2箇所あり

＊試験体の石膏ボードと梁下の間隔は90mm程度であった。

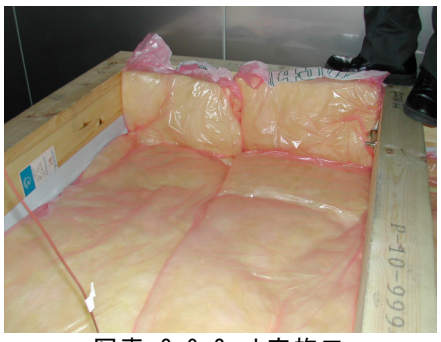


写真 2.9.2 L字施工
(断熱材は野縁に平行施工)



写真 2.9.3 PTN2 短辺継ぎ目(重ね)



写真 2.9.4 梁下つぶして挿入



写真 2.9.5 吊り木(照明用など)(断熱材は野縁に平行施工)



写真 2.9.6 吊り木、ハの字施工
(断熱材は野縁に垂直施工)

方向に野縁が施工されていることから、一般的には行われないが、断熱材を極力切らずに施工できるように、野縁に平行に施工した（PTN1～3）。その後、一般的に行われている野縁に対して垂直に断熱を敷く方法について検証を行った（PTN4,5）。

2）測定方法および条件

測定センサーは天井室内側表面に熱流計を適当に3カ所、その横に熱電対を配置し、この熱電対の値によって、熱流計測定値、およびサーモグラフ測定値を補正した。室内温度は天上から15cm程度下がった、検証対象天井部のほぼ中心に配した。天井裏側（以下、小屋裏側とする）には南西、北東角、西側の斜め仕切壁付近と中央部に熱電対を設置した。小屋裏側の各点温度は断熱材の施工の不十分さにより、室内温度の影響を受け、中央温度と他の温度に0.4～1.0℃程度の温度差が生じたが、中央以外の3点は±0.3℃以内に納まっていた。解析にはそれら4点の平均値を小屋裏側温度とした。

室内側には熱画像の温度分布面積を解析できるように、南側からほぼ303mm間隔（最後の北側壁とアルミテープの間隔は約250mm）でアルミテープを貼り付けた（写真 2.9.7）。

温度条件は外気側を5℃、室内側を25℃とした。途中いくつかの実験で室内側の制御システムに故障が生じ、30℃以上となってしまったが、目安としていた内外温度差20℃以上で安定していたので検証には支障がないと判断し、解析を行った。測定前の養生は全てのパターンで22時間以上行い、定常状態を見計らって測定した。参考までに最短養生時間であった、パターン3の温度変動を図 2.9.4に示す。養生中は熱流計と熱電対の測定インターバルを30分とし、定常を確認の後、1分インターバルに変更、測定を行いつつ、サーモグラフ撮影を行った。解析には、その間7～10分の測定値を用いた。



写真 2.9.7　室内センサー設置状況

（換気扇及び開口部が設置してあるが、換気扇には目張りを行い、窓には断熱材とカーテンで十分な断熱性能を持たせてある）

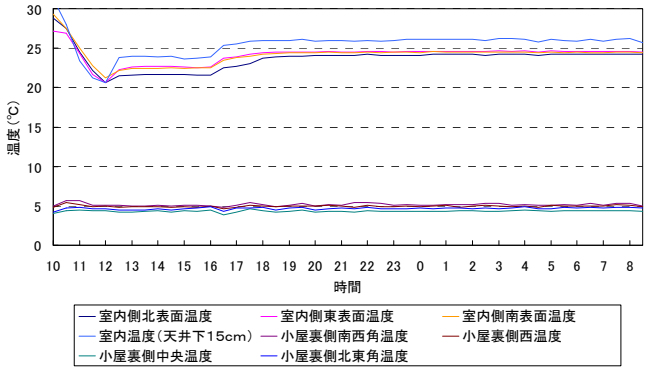


図 2.9.4　パターン3の養生課程（2/14～15）

3）実験結果

（1）熱画像表示温度補正

熱画像の表示温度を解析するにあたり、熱画像表示温度の補正を行った。パターン（実験）毎に得られた熱画像から、熱電対部分の表示温度を読み取って、熱電対測定値との散布図によって、直線近似から熱画像表示温度補正式を求めた。例としてPTN1の散布図を図 2.9.5に示す。得られた補正式とR^2は表2.9.2の通りであった。（PTN4については値がばらついて、負の相関となった

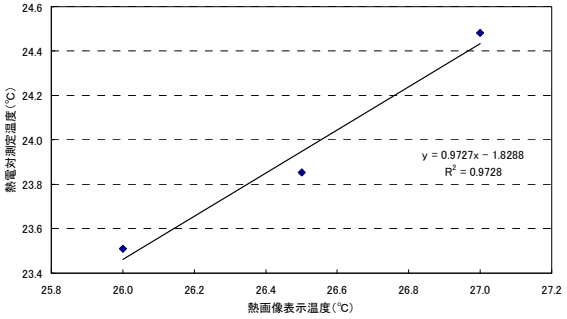


図 2.9.5 PTN1の熱画像表示温度と熱電対測定温度相関図

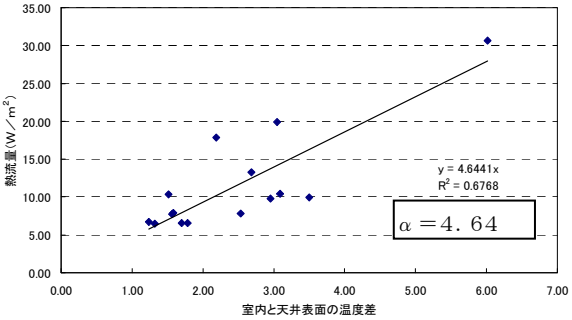


図 2.9.6 室内と天井表面の温度差と熱流量散布図（全パターン）

表 2.9.2 熱画像表示温度補正式

PTN	補正式	R^2
1	Y=0.9727X-1.8288	0.9728
2	Y=1.2596X-9.0001	0.8931
3	Y=2.3125X-36.771	0.8859
4	Y=2.7143X-44.814	1.00
5	Y=1.2411X-9.925	0.8702

ため、他の各パターンに似た近似式となる2点間で補正した。）

(2) 室内側熱伝達率算出

サーモグラフ撮影中は、熱流計の揺れを考慮して1分インターバルで温度と熱流量を測定した。その間、7～10分の測定値の平均値を測定点での熱流量、表面温度及び室温として、測定点3カ所について室内側熱伝達率αを次の①式から求めた。

天井全体の熱伝達率αを求めるにあたっては、パターン（実験）毎の、室内と天井表面の温度差と熱流量について散布図を取り、その直線近似(y切片は0)の傾きをαとすることを検討したが、散布図に相関が見られないパターンもあったため、後述の見かけの熱貫流率の算定にあたっては、3測定点の単純平均値を使用することとした。なお、全パターンを通じての温度差と熱流量の相関はおおよそ取れていた（図 2.9.6）。

$$\alpha = Q/(\theta_i - \theta_s) \cdots ①$$

Q：通過熱量（W/m²） θ_i：室温（℃） θ_s：天井表面温度（℃）

(3) 熱画像の調整

全てのパターンで内外温度が同じというわけにはいかなかったので、おおよその温度低下具合を視覚的に同レベルで把握できるように、熱画像のレベル（温度の色表示）を次のようにして調整した。

・前述(2)によって得られた熱伝達率を使用して、次の②式を用いて設計熱貫流率Kpを満たす表面温度を求めた。
・前述(1)で得られた温度補正式の逆関数によって、熱画像上で設計Kp値を満たす温度を求めた。
・この温度を熱画像上、黄色で示されるように表示レベルの調整を行った。

なお、設計熱貫流率は参考文献[1)]における物性値と熱伝達抵抗（0.09m²K／W）を用いて計算して、0.45（W／m²K）であった。

$$\theta_s = \theta_i - K_p(\theta_i - \theta_o)/\alpha \cdots ②$$

K_p：設計熱貫流率（W／m²K） θ_o：小屋裏温度（℃）

更に、得られた画像に梁や吊り木等の様々な障害による温度低下のおおよその影響範囲と面積を把握するため、天井面に貼

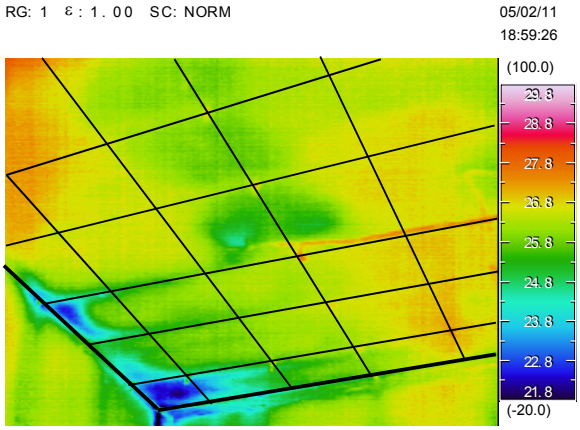


図 2.9.7 メッシュ書き込み例（PTN1 北側熱画像）

り付けたアルミテープの画像を拾って、メッシュを書き込んだ(図 2.9.7)。

(4) 部位別解析

断熱の施工方法や梁、吊り木等の障害部分の温度低下が、どの程度の範囲で影響しているのか、またその断熱性能を熱画像の各部を拾い上げて解析した。

影響範囲はメッシュ寸法からおおよその寸法を求め、断熱性能については、障害の中心部分と影響範囲境界部分での見かけの熱貫流率(W/m^{2}K)(以下、K値とし単位を省略する)を次の③式により求めた。なお、影響範囲境界(以下、単に境界とする)とは周辺表面温度とほぼ同化するまでの範囲を視覚的に判断したものであり、設計断熱性能を満たす位置ではないことを断っておく。

$$K = \alpha_i(\theta_i - \theta_s)/(\theta_i - \theta_o) \cdots ③$$

Q:通過熱量(W/m2)　θ_i:室温(℃)
θ_o:小屋裏温度(℃)　θ_s:天井表面温度(℃)

a 壁際垂直（断熱材短辺）L字施工

壁際から100～150mmの範囲で大きく温度低下を招いている。今回の施工では北側より南側が良かったようで、K値はPTN1,2の平均で北側の最低温度の所で1.63、境界付近で0.78、南側ではそれぞれ、0.93、0.71であった。解析結果の例としてPTN1の北側を次に示す。(熱画像参照:図 2.9.8～図 2.9.10, 図 2.9.12)

表 2.9.3 壁際垂直L字施工K値（解析例）

壁際垂直(短辺)L字【北】	PTN1	
温度低下幅150mm程度		
	最低温度	150mm
小屋裏平均	4.8	4.8
熱画像表示値	22.6	25.6
修正熱画像表示値	20.2	23.1
室内温度	26.0	26.0
熱伝達率	5.39	5.39
見かけのK値	1.486	0.744

b 壁際垂直L字施工（隅角部）

壁際からほぼ300×300mm程度の範囲で大きく温度低下が見られた。壁際と同様に若干、南側の方が良い値となった。K値はPTN1,2の平均で北側は最低温度部分で1.6、境界付近で1.06、南側はそれぞれ、1.41、0.88であった。一般壁際より隅角部の方がK値も悪く、範囲も大きく測定された。(熱画像参照:図 2.9.8～図 2.9.10, 図 2.9.12)

表 2.9.4 壁際垂直L字施工(隅角部)K値(解析例)

壁際L字(隅角)【南】	PTN2	
温度低下幅200mm*300mm程度		
	最低温度	200mm
小屋裏平均	4.8	4.8
熱画像表示値	25.9	27.3
修正熱画像表示値	23.6	25.4
室内温度	30.4	30.4
熱伝達率	4.82	4.82
見かけのK値	1.276	0.944

c 壁際突付け施工

断熱材平行(長辺)方向はPTN4で、垂直(短辺)方向はPTN5のそれぞれの一部で確認できただけで、PTN3も含めて4,5の他の部位では確認できなかった。また、確認できた部分についても参考までに影響範囲を求めたものの、下表に示す通り、殆ど温度低下を招いていなかった。K値はPTN4,5の平均で最低温度部0.62、境界部0.53であった。(熱画像参照:図 2.9.15, 図 2.9.18, 図 2.9.19)

表 2.9.5 壁際突付け施工K値（解析例）

壁際平行(長辺)突付け【南】	PTN4	
温度低下幅100mm程度		
	最低温度	100mm
小屋裏平均	5.7	5.7
熱画像表示値	25.2	25.4
修正熱画像表示値	23.6	24.1
室内温度	26.2	26.2
熱伝達率	5.18	5.18
見かけのK値	0.660	0.523

d 壁際突付け施工（隅角）

PTN4の南側とPTN5の北側で確認できた。範囲はおおよそ200mm四方で、K値はPTN4,5の平均で最低温度部1.25、境界部0.62であった。(熱画像参照:図 2.9.18, 図 2.9.19)

表 2.9.6 壁際突付け施工(隅角部)K値(解析例)

壁際突付け(隅角)【南】	PTN4	
温度低下幅150mm*150mm程度		
	最低温度	150mm
小屋裏平均	5.7	5.7
熱画像表示値	24.2	25.2
修正熱画像表示値	20.9	23.6
室内温度	26.2	26.2
熱伝達率	5.18	5.18
見かけのK値	1.346	0.660

e 梁下垂直(断熱材短辺)ハの字施工

PTN1,2の解析から温度低下範囲は幅350mm程度で、PTN4の場合は若干範囲が小さい、250mm程度であった。K値はどちらも殆ど同レベルであった。影響範囲の違いについては、PTN1,2では野縁に平行に断熱材を施工しているため、小屋裏空気が野縁に沿って断熱材と天井下地材の間に入りやすくなっているためだと思われる。PTN4の施工が一般的であるので、下表にそのK値を示す。(熱画像参照:図 2.9.8, 図 2.9.10, 図 2.9.18)

表 2.9.7 梁下垂直ハの字施工K値

梁下垂直(短辺)ハの字	PTN4	
温度低下幅250mm程度		
	中心部	芯から125mm
小屋裏平均	5.7	5.7
熱画像表示値	24.7	25.3
修正熱画像表示値	22.2	23.9
室内温度	26.2	26.2
熱伝達率	5.18	5.18
見かけのK値	1.003	0.592

f 梁下平行(断熱材長辺)面止め施工

PTN1,2の解析から温度低下範囲は幅150mm程度であり、PTN4の場合は若干範囲が大きい180mm程度であった。また、K値もPTN4の方が若干大きかった。これは前述ハの字施工と同様、野縁と断熱材の方向によるものだと推測される。(熱画像参照:図 2.9.9, 図 2.9.12, 図 2.9.17)

表 2.9.8 梁下平行面止め施工K値(解析例)

梁下平行(長辺)面止め	PTN4	
温度低下幅180mm程度		
	中心部	芯から90mm
小屋裏平均	5.7	5.7
熱画像表示値	24.5	25
修正熱画像表示値	21.7	23.0
室内温度	26.2	26.2
熱伝達率	5.18	5.18
見かけのK値	1.141	0.798

g 梁下平行(断熱材長辺)挿入施工

PTN3と5のみで行った施工である。温度低下は梁を含んで100mm程度であった。PTN3の中心部のK値は0.79であり、境界部は0.42であった。PTN5のK値はそれぞれ、0.38、0.36でPTN5の方が良かった。これはPTN3では野縁が梁側面に平行にあったため、野縁と反対側の断熱材は梁と天井下地材に押さえられていただけに過ぎないのに対して、PTN5の方は野縁が垂直方向にあり、野縁の厚さ分だけ断熱材が押さえつけられて、小屋裏空気が梁下に入る隙間が小さくなったためだと考えられる。特に一般的な施工であるPTN5は、下表に示すように殆ど温度低下を招いていなかった。(熱画像参照:図 2.9.15, 図 2.9.19)

表 2.9.9 梁下平行挿入施工K値(解析例)

梁下平行(長辺)挿入	PTN5	
巾80mm(梁部を含む)程度		
	中心部	芯から40mm
小屋裏平均	5.8	5.8
熱画像表示値	32.8	32.9
修正熱画像表示値	30.8	30.9
室内温度	33.5	33.5
熱伝達率	3.88	3.88
見かけのK値	0.381	0.363

h 梁下垂直(断熱材短辺)挿入施工

PTN3では熱画像で確認できなかった。PTN5においても一部に現れた程度で、範囲も殆ど見分けがつかなかったが、150mm程度と推測した。しかしながら、下表に示すように大きくは温度低下を招いてはいない。(熱画像参照:図 2.9.13, 図 2.9.20)

表 2.9.10 梁下垂直挿入施工K値(解析例)

梁下垂直(短辺)挿入	PTN5	
巾150mm(梁部を含む)程度		
	中心部	芯から75mm
小屋裏平均	5.8	5.8
熱画像表示値	31.9	32.3
修正熱画像表示値	29.7	30.2
室内温度	33.5	33.5
熱伝達率	3.88	3.88
見かけのK値	0.537	0.467

i 吊り木（梁部）の影響

吊り木の影響は80～140mm四方程度であり、南側の吊り木の方が範囲が大きかった。K値は最低温度部で1.16程度、境界部で0.81程度であった。北側の吊り木だけで比較すると、PTN1,2よりPTN3の方が最低温度部分で若干、K値が悪かった。これはPTN3では断熱材を梁下に挿入したため、この部分で無理な施工になっていたためだと考えられる。(熱画像参照:図2.9.8～2.8.10, 2.8.14)

表 2.9.11 吊り木（梁部）のK値（解析例）

吊り木(梁)【北】	PTN2	
温度低下幅80mm程度		
	最低温度	40mm
小屋裏平均	4.8	4.8
熱画像表示値	26.7	27.6
修正熱画像表示値	24.6	25.8
室内温度	30.4	30.4
熱伝達率	4.82	4.82
見かけのK値	1.086	0.873

j 吊り木（照明等単独）の影響

PTN3,4両方とも北側に設置した吊り木で悪い値となった。影響範囲は100mm四方程度、K値はPTN3,4の北側平均値で最低部で2.33、境界部で1.19となった。南側の吊り木はPTN4では確認できなかった。PTN3の南側のK値は0.74、境界部で0.48であった。こうした結果から、吊り木の部分は、ちょっとした施工の加減で、温度低下範囲も断熱性能も左右される傾向が読み取れる。(熱画像参照:図 2.9.13, 図 2.9.15, 図 2.9.17)

表 2.9.12吊り木（照明等）のK値（解析例）

吊り木(照明)【北】	PTN4	
温度低下幅100mm程度		
	中心部	中心から50mm
小屋裏平均	5.7	5.7
熱画像表示値	23.1	24.6
修正熱画像表示値	17.9	22.0
室内温度	26.2	26.2
熱伝達率	5.18	5.18
見かけのK値	2.101	1.072

k 継ぎ目（短長辺突付け）の影響

断熱材の短辺方向の継ぎ目に関しては、どのパターンの熱画像でも全く確認できなかった。長辺方向に関しては、PTN4,5で部分的に確認できた。影響範囲はどちらも100mm程度、K値はPTN4の中心部が1.00、境界部が0.73であった。PTN5はそれぞれ0.52、0.47で周辺と殆ど変わらなかった。(熱画像参照:図 2.9.16, 図 2.9.19)

表 2.9.13 継ぎ目（短辺突付け）K値（解析例）

継ぎ目(長辺)【北】	PTN4	
温度低下幅100mm程度		
	中心部	芯から50mm
小屋裏平均	5.7	5.7
熱画像表示値	24.7	25.1
修正熱画像表示値	22.2	23.3
室内温度	26.2	26.2
熱伝達率	5.18	5.18
見かけのK値	1.003	0.729

l 継ぎ目（短辺重ね）の影響

重ね継ぎの場合の影響は広範囲に渡り、温度低下も大きかった。熱画像でも上になった断熱材の方向に広範囲で温度低下が見られた。(熱画像参照:図 2.9.11)

表 2.9.14継ぎ目（短辺重ね）K値（解析例）

継ぎ目(短辺重ね)	PTN2		
温度低下幅 最低温度部分から北100mm程度 温度低下幅 最低温度部分から南300mm程度			
	−100mm	最低温度	+300mm
小屋裏平均	4.8	4.8	4.8
熱画像表示値	27.8	24.6	27.3
修正熱画像表示値	26.0	22.0	25.4
室内温度	30.4	30.4	30.4
熱伝達率	4.82	4.82	4.82
見かけのK値	0.825	1.584	0.944

m 部位別解析熱画像

これまでに解析した、影響範囲と障害部位等を記入した熱画像を以降に示す。

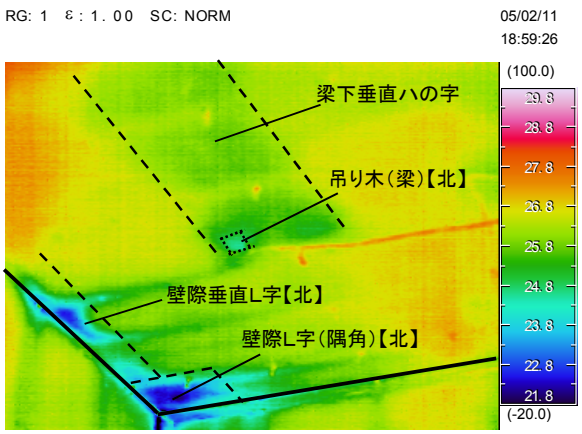


図 2.9.8 PTN1北側 熱画像

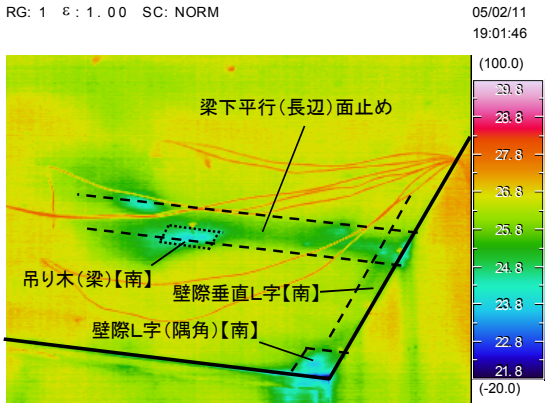


図 2.9.9 PTN1南側 熱画像

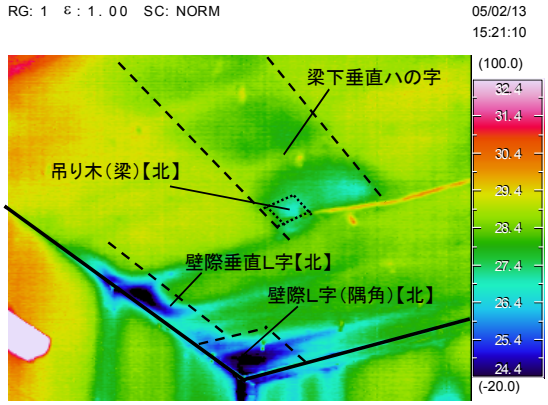


図 2.9.10 PTN2北側 熱画像

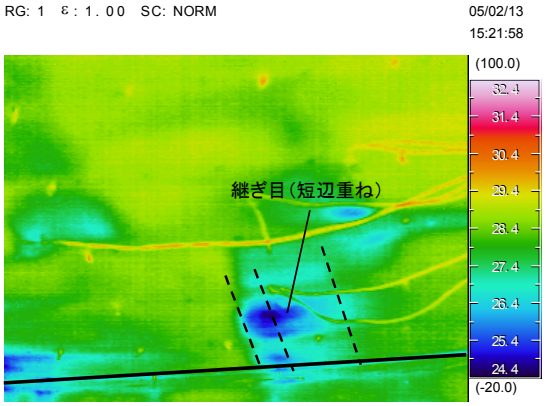


図 2.9.11 PTN2中央 熱画像

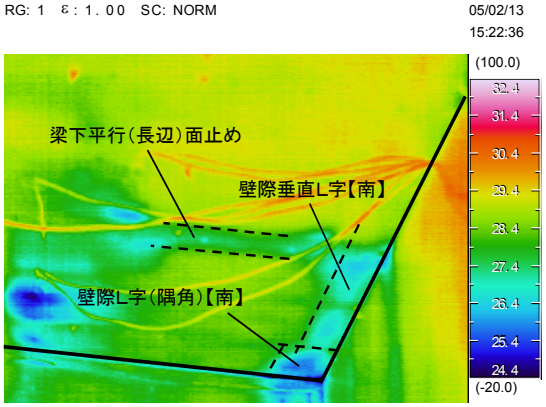


図 2.9.12 PTN2南側 熱画像

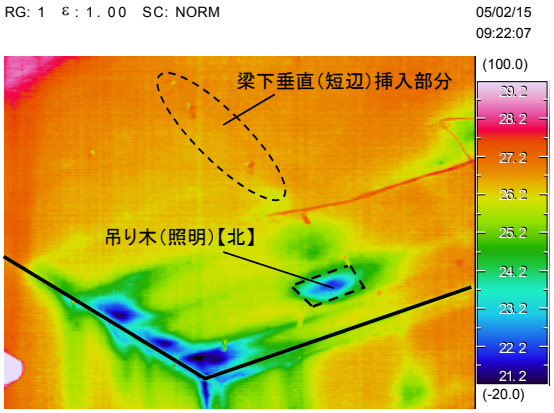


図 2.9.13 PTN3北側 熱画像

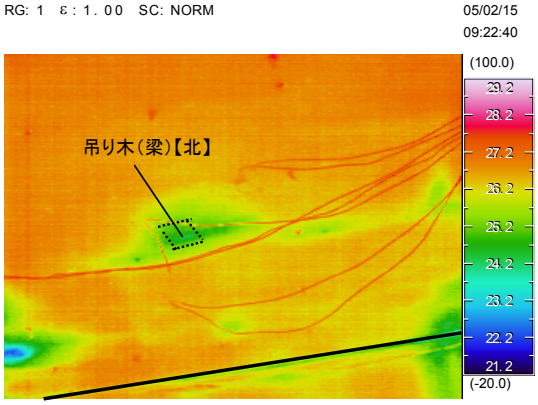


図 2.9.14 PTN3中央 熱画像

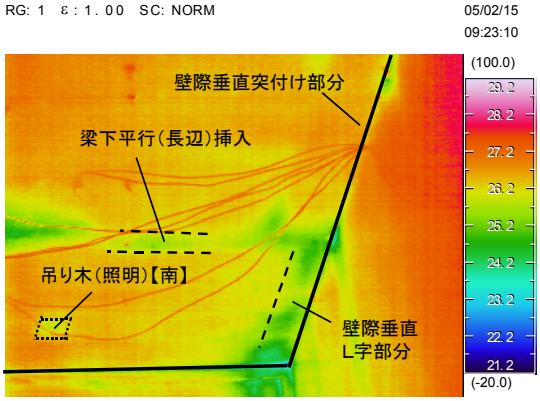


図 2.9.15 PTN3南側 熱画像

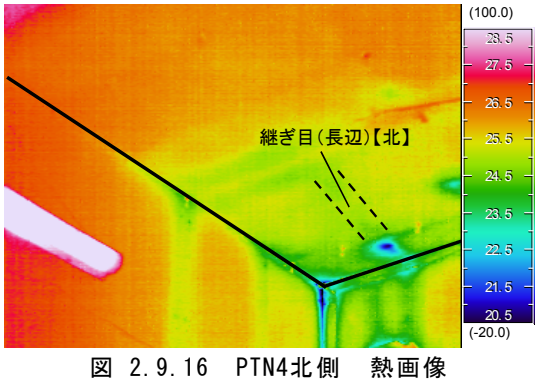


図 2.9.16 PTN4北側 熱画像

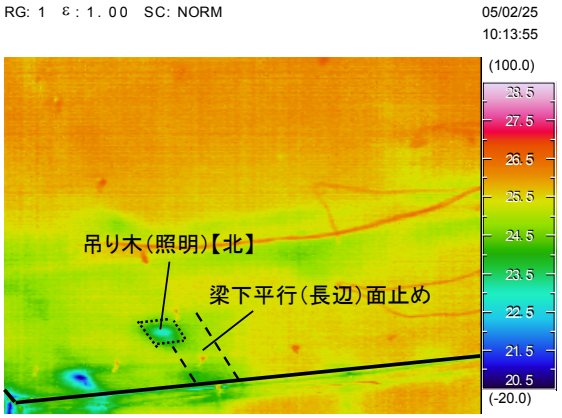


図 2.9.17 PTN4中央 熱画像

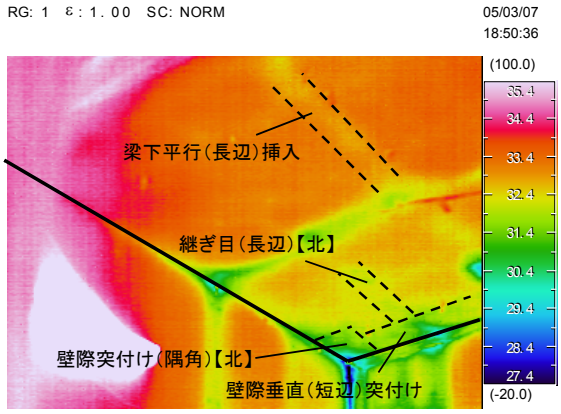


図 2.9.19 PTN5北側 熱画像

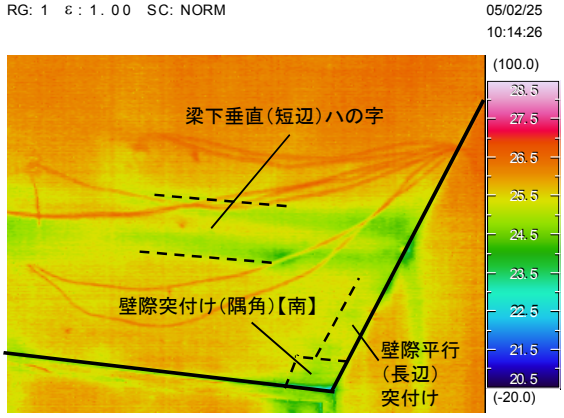


図 2.9.18 PTN4南側 熱画像

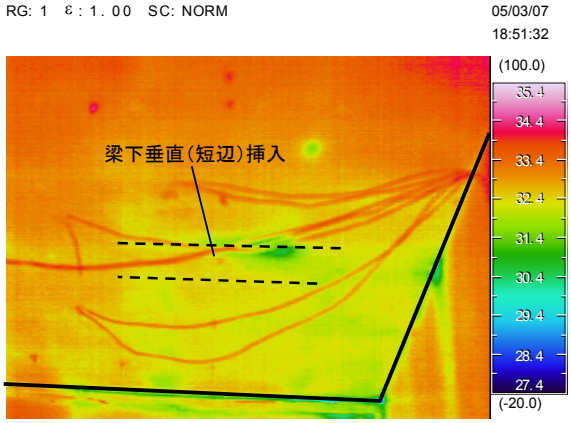


図 2.9.20 PTN5南側 熱画像

(5) 全体の見かけの熱貫流率Kの算出

熱画像を目で識別できる色の範囲で区切り、以下の手順で全体の見かけの熱貫流率を算出した。

・メッシュの寸法から各色温度帯の面積を算出し、

表 2.9.15 PTN5の見かけの熱貫流率計算過程

	紺	水	緑	黄緑	黄	黄・オレンジ	オレンジ
画像温度下	27.9	28.9	29.9	31.4	32.2	32.7	33.4
画像温度上	28.9	29.9	31.4	32.2	32.7	33.4	33.9
温度帯中心	28.4	29.4	30.7	31.8	32.5	33.1	33.7
中心(修正温度)	25.3	26.6	28.1	29.5	30.3	31.1	31.8
小屋裏温度	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
室内温度	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
αi	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88
K値	1.15	0.97	0.75	0.55	0.44	0.34	0.23
面積計(m^2)	0.005	0.004	0.225	1.165	0.278	0.890	0.861
面積計	3.428						
実質K	0.423						

・各区切った色の中心温度で、③式により各色温度帯の熱貫流率を求め、
・それらの相加平均により全体の熱貫流率を求めた。

例として表 2.9.15にPTN5の区切りの色とその面積など計算過程を示す。

全てのパターンの熱貫流率は表2.9.16の通りとなった。

今回の方法では、温度の区切りや、採寸などに人間の感覚によるものが大きく入ってしまったが、天井全体として捉えると、これらの誤差は相殺され、下表の算出結果は実状の熱貫流率に近いと考えられる。

この結果から、

・梁下は断熱材をつぶしても入れること
・壁際にはしっかり突き付けること
・梁に断熱材をもたれかけさせるような施工を行わないこと
・断熱材の継ぎ目はしっかり突付けて、重ねないこと
・吊り木部分は特に注意して、吊り木に断熱材

をしっかり寄せて施工すること

PTN1～5の熱貫流率の結果から、これらの施工が、全体の熱貫流率に現れてくることが傾向として見て取れた。

また、今回用いた試験体は実住宅と比して単位面積当たりの障害が多いことを考慮すると、前述したような施工を行うことで、全体としては設計値を満たした施工ができることが示されたと考える。

表 2.9.16 対象天井全体の見かけの熱貫流率

PTN	見かけの実質熱貫流率(W/m²・K)
1	0.644
2	0.767
3	0.493
4	0.545
5	0.423

2.9.3 まとめと今後の課題

天井断熱として繊維系の断熱材がポリエチレンフィルムでパックされた断熱材を用いる場合の、各障害部(梁や吊り木等)での施工方法と目安として温度低下の影響範囲を示し、断熱性能を著しく低下させるような施工方法を明らかにした。また、今回明示したような施工を行う(またはやらない)ことで、全体としては敷き込みの断熱材でも設計値を満たした施工ができることを示した。

しかしながら、今回の解析に当たり、熱画像表示温度を熱電対において修正したにもかかわらず、その修正された値でも表示上、室温より高くなっている部分があり、熱画像の特性上の問題点や、メッシュの区切りや色の判断、面積の算出などで人間の感覚がかなりの部分で入ってしまったことを考えると、今回の検証実験で得られた数値は、まだまだ精度の面では疑問の残るところである。今後はこうした熱画像を使った評価手法そのものにも検討を加え、開発していく必要があると考える。

参考文献

1)(財)建築環境・省エネルギー機構, 住宅の次世代省エネルギー基準と指針, 平成11年11月
2)松岡、伊庭、瀬戸、齋藤、鈴木, 日本建築学会大会学術講演梗概集D-2,p49-50,2004年8月

2.10 性状数値シミュレーション開発

2.10.1 開発目的

わが国の戸建住宅壁体の大きな特徴は、土壁構造・RC構造を除き、壁体内部に空間を持つことである。木製もしくは鋼鉄製の柱・梁の構造体により、自ら構造体外側の外装材と内装材の2層を持つことになり、これらに挟まれた空間が壁体内部空間として存在することになる。

近年、居室空間と収納等の非居室空間、居室空間同士の空気の移動による物質と熱の伝播現象に起因する様々な問題が生じている。ポジティブには換気計画、ネガティブな側面としては非暖房室の結露問題などと密接に関連している。これらを受け、従来の建物の熱負荷計算手法に、空間同士の換気回路をカップリングする数値シミュレーションが多数開発されている。空間における熱と物質の移動では、ポテンシャル勾配に応じる拡散より、空気そのものの移動による移流が圧倒的に影響が大きく、熱・換気練成評価は現実との重ね合わせの点で非常に重要な手法となる。

壁体内については、これまで、内部空間は1質点、もしくは固体として扱われていた。しかしながら、第2．7節で示されているように、例えば、床下から壁体内に流入する外気の影響による壁体全体の断熱性能の低下、内部での結露問題などは、従来の取り扱いではその程度を正確に表現できない。壁体全体で平均化することにより過小評価となるか、逆に局所的な影響として過大評価するかいずれかになるためである。

以上を背景に、壁体内空間を対象とした、空気移動を考慮した熱・湿気性状数値シミュレーションを開発した。本節では、これの概要と、床下から外気の流入する壁体における計算結果、これによる設計上の知見等をまとめる。

2.10.2 プログラム概要

数値シミュレーションプログラムは、京都大学大学院工学研究科鉾井研究室で作成された。温度と絶対湿度を未知数とし、これらの移動に、温度・絶対湿度の勾配を考慮する熱・湿気同時移動過程を基本に、空気移動による移流項を付加した。空気移動は圧力勾配とせん断応力ならびに温度差による上下成層を考慮するナビエ・ストークス方程式に基づく。ただし、層流域として扱う。空間は3次元を対象とし、時間は非定常状態である。数値計算はフォートランで記述されている。

2.10.3 計算結果

図 2.10.1に計算対象のイメージを示す。内外の温湿度条件は、外気5℃70%、室内20℃40%とした。床下温湿度は8℃60%、天井懐は室内と同じ20℃40%である。

壁体構成は、外側から、防風層高耐力シージングボード12mm、壁体内部空間（断熱材グラスウール10kg/m^{3}充填）、石膏ボード9.5mmの3層構成である。防湿気密フィルム、通気層はなく、また、壁内

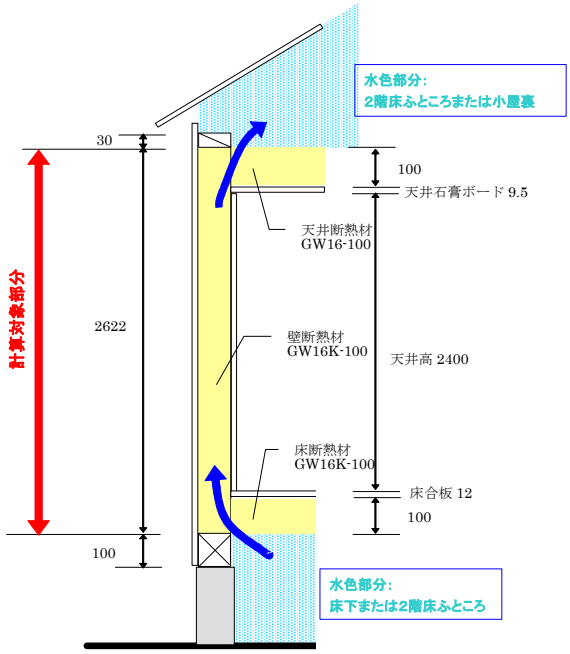


図 2.10.1 計算対象イメージ

表 2.10.1 計算に用いた物性値

	グラスウール16K	
熱伝導率	0.044	[W/mK]
透湿率	1.41×10-10	[kg/msPa]
透気率	9.0×10-5	[kg/msPa]

と外気、室内との間には移流は生じないものとしている。

床下から流入した外気は、壁体内に充填したグラスウールの内部を通って上部に達し、天井懐相当の空間(領域外)に流出する。計算に用いた物性値を表2.10.1に示す。

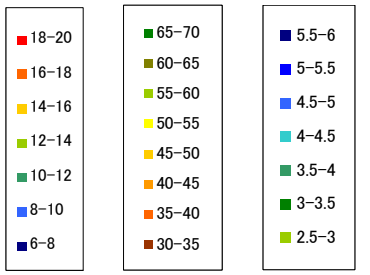
計算条件は、壁体流入空気量を変えて8種類とした。本シミュレーションでは、空気移動は圧力勾配で定まるため、流入境界では流量を与えず、適当な圧力差を与え、結果としての流量から条件値を修正する手法を採用している。よって、条件で想定した流量と、結果的に生じる流量とは若干の差が生じる。これを表 2.10.2にまとめる。

表 2.10.2 計算条件

CASE	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
設定	0	0.2	0.5	1.0	2.5	5.0	10.0	20.0
結果	0	0.194	0.503	0.997	2.507	4.979	10.020	20.015

以下に計算結果の温度、絶対湿度、相対湿度を示す。それぞれ、壁体室内側からの外壁側断面、中央断面、室内側断面の分布と中央の垂直断面である。

下部から低温低湿の空気が流入しているため、基本的には下部が低温・低湿になっている。僅かに左右対称性が崩れるのは、計算の数値解法に由来していると考えられるが、移流の影響のある場では、物理的に必ずしも左右対称になるとは限らないので、その程度は不明である。



図凡例

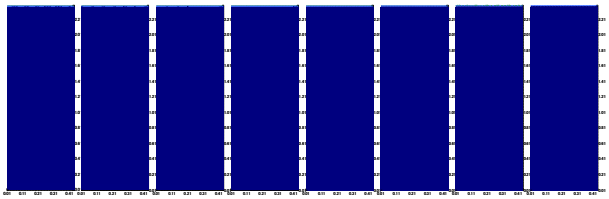


図 2.10.2(1) 温度分布 (外側断面)

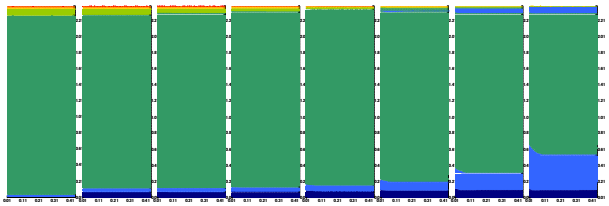


図 2.10.2(2) 温度分布 (中央断面)

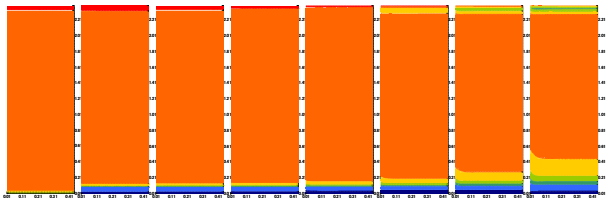


図 2.10.2(3) 温度分布 (内側断面)

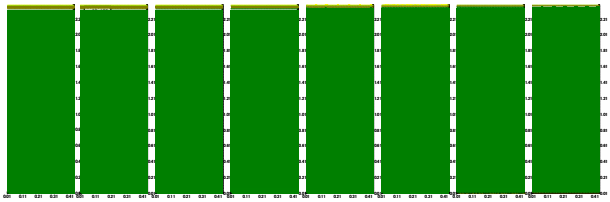


図 2.10.2(4) RH分布 (外側断面)

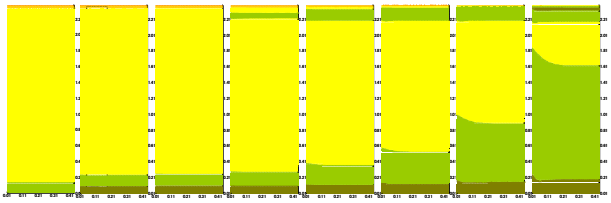


図 2.10.2(5)　RH分布（中央断面）

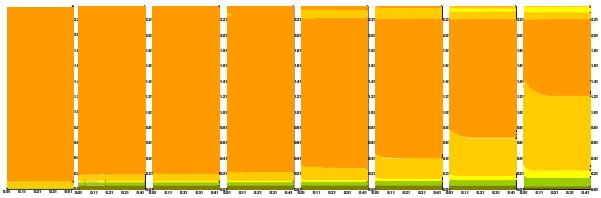


図 2.10.2(6)　RH分布（内側断面）

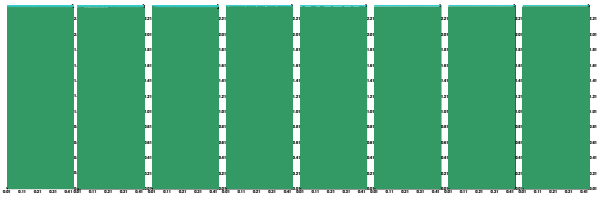


図 2.10.2(7)　絶対湿度分布（外側断面）

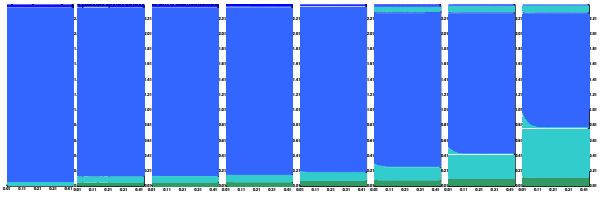


図 2.10.2(8)　絶対湿度分布（中央断面）

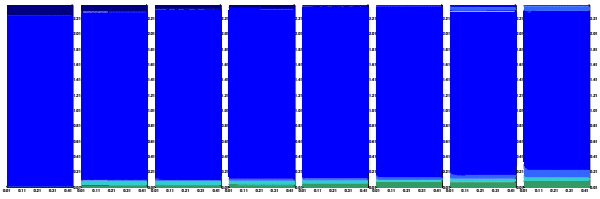


図 2.10.2(9)　絶対湿度分布（中央断面）

壁体の外側と内側では、絶対湿度は室内側が高くなっている。これは室内側からの透湿現象による。下部から低湿空気が流入するため、中央断面で、流量が増えるほど低湿化している。

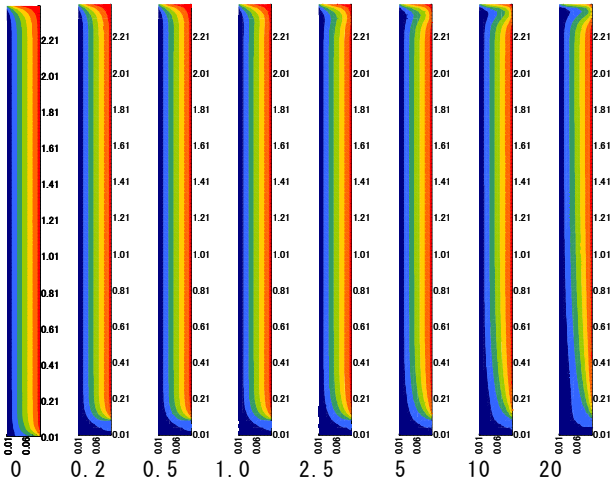


図 2.10.2(10)　温度分布（中央垂直断面）

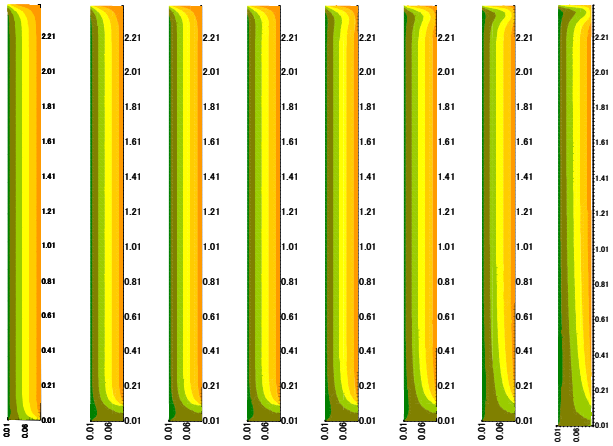


図 2.10.2(11)　RH分布（中央垂直断面）

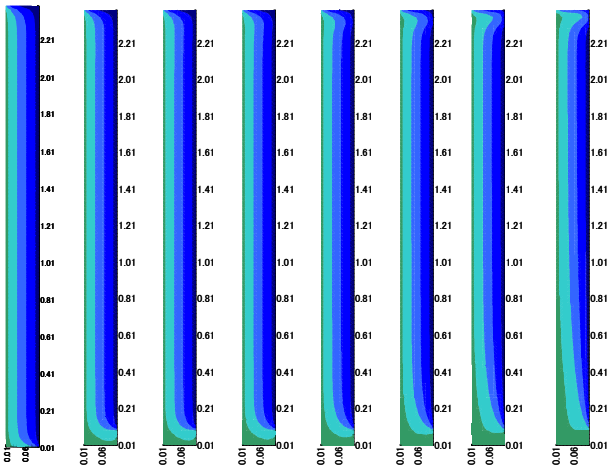


図 2.10.2(12)絶対湿度分布（中央垂直断面）

相対湿度は温度と絶対湿度のバランスで決定するため、低温の外気側が最も高湿状況になっていることが分かる。床下からの流入がなければ、室内側は40%程度に十分乾燥しているはずであるが、流入により、5%程度、高湿化することが今回の結果から明らかになった。また、壁体内部の相対湿度は外気側の一般部で最も高い。従って、一般断面において、防露上の問題がなければ、床下からの移流による高湿化が実質的な問題になる可能性は低いといえる。

2.10.4 まとめと断熱外皮設計上の知見

移流の影響のある壁体内の温度・湿度場を対象とする数値シミュレーションプログラムを開発し、これにより床下から壁体内に空気が流入する対象の温湿度性状を検討した。

今回の計算条件では、結露に至る様な解は現れていない。移流の空気量によるが、20L/minは相当に大きな範囲と考えられるので、相対湿度で最大5%程度の高湿化ということができる。この範囲では、通常の1次元拡散に基づく壁体内湿度計算の、断熱材外側の値よりも高くなることはなく、従って、床下からの空気流入による高湿化は防露設計を変更せざるを得ないようなレベルではないといえる。ただし、これは流入空気の乾燥度に大きく依存している。冬季降雨時などの低温で高湿の空気が流入する場合には、まったく異なる解が出現する可能性があるため、本結果のみでは、たとえば通気止めの効果は判断できない。また、温度は室内側に低温化する部位が現れ、これは壁体断熱性の低下を意味する。

2.10.5 今後の課題

数値シミュレーションを利用することにより、通気止めの効果などを定量化することが可能になる。ただし、前述したように、設定する対象・境界条件などにより解が大きく変わる可能性がある。今後の課題を以下に列挙する。

- 床下空間の湿度:長期的には、外気と同様と考えてよいが、梅雨時期や冬季の降雨時には、低温で相当の高湿空気となる。これの評価が重要である。
- 壁体内には断熱材が偏った状態で充填されている場合があり、粗密が存在すると、空気はおそらくは粗の部分を集中的に通過するため、湿度・温度場が変わる。外壁側に断熱材が押さえつけられている場合、逆に外壁側に通気層のように空気層がある場合、中央が詰まっていて両端に空気層がある場合など、現実を反映した設定が必要であろう。
- 建物全体の換気計画、自然換気回路との相互干渉により、流量と向きが変わる可能性がある。整理の困難な事象であるが、実態の把握が必要と考えられる。

(岩前 篤)

参考文献

1:鉾井修一、湿った建築壁体の熱的特性に関する基礎的研究、博士論文、1986
2: 安福勝・鉾井修一・鈴木大隆・小南和也・伊庭千恵美、空気流動を考慮した断熱壁体内の熱・水分性状に関する検討 差圧と建材間の隙間の影響、AIJ大会梗概集D-2分冊、2004、pp.327-328

2.11 移流の影響が無視できる壁体を対象にした透湿抵抗比による簡易防露設計法

2.11.1 目的

従来の定常結露計算は、結露を許容しないことが前提となっており、安全率の高い設計手法であると言える。しかし内部結露防止は、結露に起因する断熱性の低下、腐朽、カビ発生といった様々な湿害を防止することが目的であり、この場合、一時的な結露が実害に結びつくとは限らないため、時間的な要因を考慮した評価手法が求められている。近年は、水分移動に関するシミュレーションツールも開発されているが、シミュレーション計算を行うためには、理論的背景を理解した上で断面を構成する各部材の厚さ、物性値など全ての情報が必要であり、戸建住宅の設計実務者の利用は難しい。特に温暖地では、木造住宅の半数以上が地域に根ざした中小のビルダーにより建設されており、省エネルギー性能の高い外皮設計の自由度を高めるためには、設計計画段階で様々な仕様について簡易的かつわかり易く性能を把握できる手法の開発が必要不可欠である。

本節ではこれらの観点から、一般の木造断熱外皮で用いられている材料物性の範囲について、600を越える組み合わせの非定常計算を行い、冬季の季間平均値に対する定常計算の予測精度について、非定常計算結果との比較を行うことにより考察する。次に、気象条件や材料物性値と冬季における壁内相対湿度の偏差の関係を得、定常計算をベースとした壁内相対湿度の分布領域を考慮した簡易防露設計法を提案する。

2.11.2 相対湿度の分布特性を考慮した定常計算の考え方

一般にRC壁体に比べて木造断熱壁体、特に通気層を持つ場合は構成部材の水蒸気拡散係数が大きいため、断面構成によっては定常計算でも季間の平均的な壁内湿度を求めることができる。図 2.11.1は、繊維系断熱材を用いた壁体に対する非定常計算結果から得られた冬季の平均相対湿度分布及び標準偏差の一例であるが、断熱材外気側(図 2.11.1破線部分)の相対湿度頻度が図 2.11.2のように歪度が小さい分布形状と仮定し、その標準偏差を外気の気象条件や材料物性値を説明変数として推定することができれば、平均値 μ と標準偏差 σ によって、相対湿度の分布特性を考慮した定常計算が可能となる。

本手法を用いた場合の、設計フローのイメージを図 2.11.3に示す。本手法では、季間平均値による定常計算をベースにしているため、断面構成に対してその都度計算を行なう方法以外に、気象条件と使用する材料物性値をパラメータとして地域毎の透湿抵抗比の推奨値を示すことにより、断面構成を決定するチャートの作成も目的としている。

前述した簡易手法を検討するにあたって、以下の項目を考慮する。

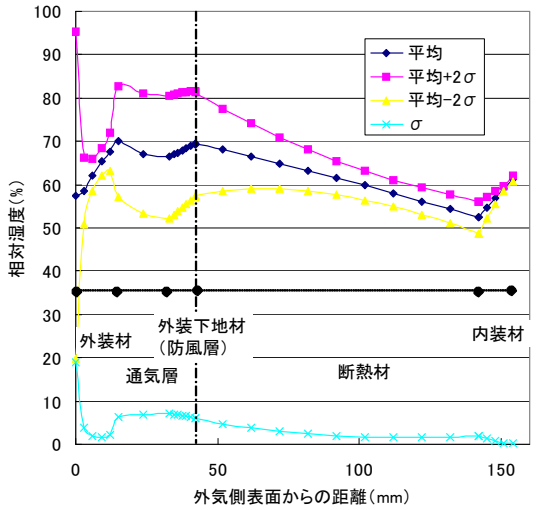


図 2.11.1 冬季の平均相対湿度分布及び標準偏差の断面分布

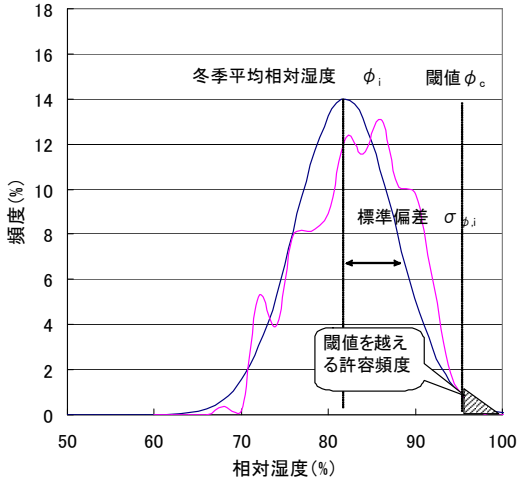


図 2.11.2 断熱材外気側における相対湿度の分布特性

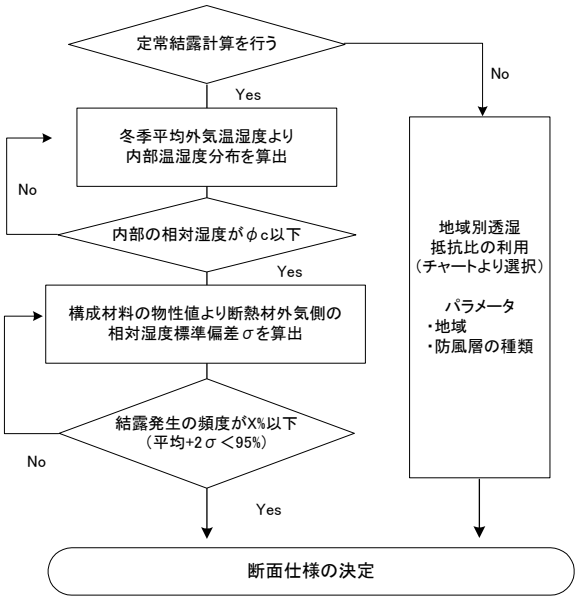


図 2.11.3 本研究で検討する設計フローのイメージ

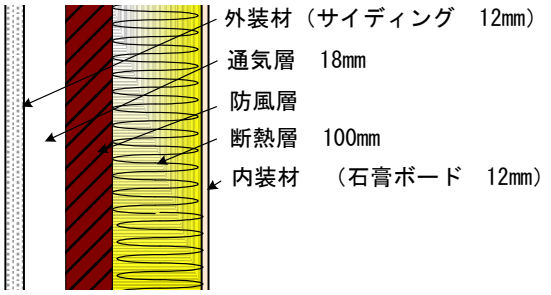


図 2.11.4 計算対象

1) 断面構成に関する条件

断面構成は図 2.11.4に示すように、内装材、断熱層、防風層、通気層、外装材といった配置を想定する。通気層は、風量が確保されていれば外気絶対湿度に近くなるため、年周期の外気変動に対する壁内湿度の位相の遅れが小さくなり、定常計算において扱い易くなる。また、防露上の観点からも重要であるため、今回の簡易設計法では通気工法を持つ壁体構成に限定した。

2) 透湿抵抗比に関する範囲

断熱材外気側を境界とした内外の構成材料の透湿抵抗の比率、いわゆる透湿抵抗比については1以上とする(図 2.11.4参照)。透湿抵抗比が1以下のケースでは、断熱材の外気側において水分蓄積が生じるうえ、冬季における定常結露計算ではほとんどのケースで結露発生となる。このようなケースは、非定常計算により詳細な検討を行う必要があり、限界設計に分類されるため、本手法の範囲外とする。

3) 線形モデルによる解析

実際の相対湿度頻度分布は、高湿度域において平衡含水率曲線の傾きが大きくなるため、分布形状が高湿側に歪んだ形となることが考えられる。しかし、平衡含水率曲線を直線近似した線形モデルを用い、蒸気拡散領域における解析を行うことにより、正規分布に近い頻度分布が得られるよう配慮した。また、線形近似では安全側の結果が得られるため、防露設計の観点からは妥当な扱いである。

2.11.3 感度解析

壁内の湿気性状は、室内温湿度をある条件に限定したとしても、構成材料の材料物性値や気象条件など様々な要因に影響される。ここでは、一般的な木造断熱壁体の材料構成を考慮し、材料物性や気象条件をパラメータとした非定常計算による感度解析を行うことにより、定常計算と非定常計算結果の差に対する考察を行なったうえで、各パラメータと壁内相対湿度標準偏差との関係を明らかにする。

1) 計算概要

(1) 基本式

基本式は、材料実質部に関しては水分の化学ポテンシャルを用いた、熱水分同時移動方程式を使用した。通気層は一様拡散を仮定し、通気層風速を0.05m/s固定として熱湿気の収支を求める。数値計算は、各式を後退差分近似し、得られた連立方程式を過大緩和法により解く方法を採用した。

$$\rho_w \frac{\partial \phi}{\partial \mu}\frac{\partial \mu}{\partial t} = \nabla\left(\lambda'_\mu \nabla\mu + \lambda'_T \nabla T\right) \quad (1)$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla\left\{\left(\lambda + r\lambda'_{Tg}\right)\nabla T + r\lambda_{\mu g}\nabla\mu\right\} \quad (2)$$

$$\gamma_a V \frac{\partial X_v}{\partial t} = \sum \alpha_c' A\left(X_s - X_v\right) + \gamma_a Q\left(X_o - X_v\right) \quad (3)$$

$$\gamma_a c V \frac{\partial T_v}{\partial t} = \sum \alpha_c A\left(T_s - T_v\right) + \gamma_a c Q\left(T_o - T_v\right) \quad (4)$$

(2) 計算条件

計算対象は、図 2.11.4に示す通気層を持つ断熱壁体とする。本研究では温暖地を検討対象としているため防湿層はあえて設けず、防湿層を持たない木造断熱壁体の断面構成を検討するうえで重要となる、防風層と断熱層の物性値を表 2.11.1に示す範囲で変化させる。表1の物性値の検討範囲は、温暖地の木造住宅において一般的に使用される建材の物性値を考慮して設定しており、計算結果が様々な断熱工法に対応できるよう配慮して定めた。ただし、内装材の石膏ボード、外装材のサイディングの仕様については、パラメータが増えすぎることを避けるた

表 2.11.1 計算条件

材料	種類	範囲	対象範囲に含まれる材料
防風層 (外装下地材)	透湿抵抗 (m2hg/kgDA/g)	0.2～12	透湿防水シート、軟質繊維板12mm、構造用合板*12mm、OSBボード*9mm、EPS25mm、ウレタンフォーム25mm、軽量モルタル30mm、土壁70mm
	熱抵抗 (m2K/W)	0.048～1.2	
	絶対湿度変化に対する含水率変化 κ kg/m3{kg/kgDA}	1～8000	
断熱層	透湿抵抗 (m2hg/kgDA/g)	1～140	グラスウール、ロックウール、ウレタンフォーム、XPS、EPS (厚さ100mm)

*OSBボード、構造用合板については、透湿抵抗の湿度依存性が高く、平均湿度25%では上記範囲から逸脱するが、平均湿度75%では範囲内に入る場合もあるため記載した

め、一定とした。石膏ボードについては透湿抵抗が低いため、断熱層と防風層の境界部分で発生する内部結露に関しては、合板や土壁などを断熱層の内側に施工するより厳しい結果が得られる。また、外装材に関しては、18mm程度の通気層がある場合、冬季結露に対しては外装材の吸放湿性能及び断熱性能の低い方が一般的に厳しくなるため、安全側の条件を採用した。

防風層の平衡含水率曲線(質量基準)の傾きを便宜上$\partial w/\partial\varphi$=0.2に固定し、材料密度γを設定することにより湿気容量を変化させた。また、安全側の解析を行うために相対湿度98%まで$\partial w/\partial\varphi$を一定とし、98%を越えた場合はその時点の含水率と相対湿度100%における限界含水率を直線で結んで計算に用いた。ただし、液水移動はないものとしている。

シミュレーション計算では、化学ポテンシャルを用いているため、表 2.11.1の絶対湿度変化に対する含水率変化κ (kg/m^3{kg/kg DA})は(5)式で求めている。

$$\kappa=\gamma\frac{1}{X_s}\frac{\partial w}{\partial\varphi} \qquad (5)$$

計算対象地域及び室内温湿度条件を表 2.11.2に示す。外気温湿度は対象地域のアメダス気象データ標準年の値を用いた。

計算は、助走期間を1年とし、表 2.11.1のそれぞれのパラメータに対して3～4水準の組み合わせとし、表 2.11.2に示す4都市、計650通り以上の組み合わせについて行った。ただし、防湿層の透湿抵抗が断熱層より大きい場合や、相対湿度98%を越える頻度が明らかに高いケースでは、液水移動を含んだ非定常解析が必要となる壁体構成であるため、本計算では扱わない。

表 2.11.2 計算対象地域及び室内条件

計算対象地域	拡張アメダス気象データ 富山、八王子、大阪、鹿児島
室内条件	温度:θ_i=22.5+4.5cos(2π(day-212)/365+22.5) 相対湿度: ϕ_i=60% day:1/1を起点とした延べ日数

2) 計算結果

(1) 放射成分の影響に対する検討

壁体内部の防露計算を行なう場合、冬季には長波長放射等の影響があるため、厳密には放射成分を考慮する必要がある。しかし、簡易設計法を開発する観点からは、外界条件に対するパラメータは少ない方が良い。図 2.11.5は、冬季の壁内湿度平均値に標準偏差を加えた値について、外気空気温度を入力値とした場合と放射を考慮した場合の結果を比較したものである。位置は断熱材外気側、期間は1～2月の平均値であり、放射成分を考慮したものは北側壁面を想定している。断熱材外気側の相対湿度は、放射成分を無視した結果の方が全体的に高く、防露計算上は厳しい結果となっている。

図 2.11.6は、拡張アメダス気象データに記載されているⅣ地域以南の各都市について、冬季における北面SATと外気温度の差と夜間放射量の関係(1～2月の平均値)を比較したものであるが、おおよそ夜間放射量が70W/m^{2}以下では、外気温度が低い結果

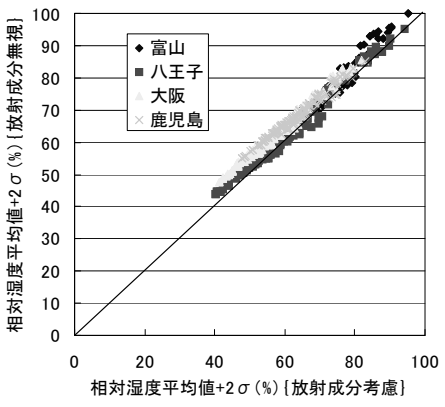


図 2.11.5 壁内相対湿度に対する外気の放射成分の影響

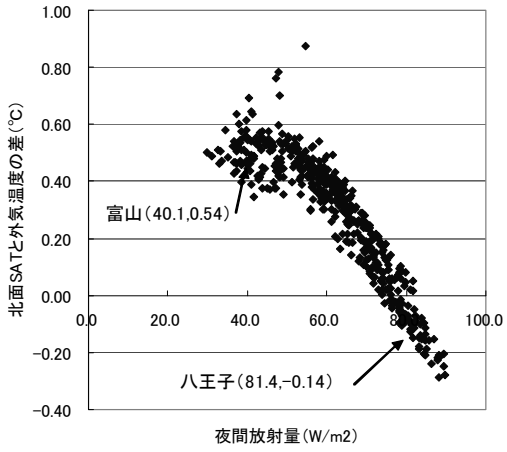


図 2.11.6 北面SATと外気温度の差と夜間放射量の関係（1～2月の平均値）

となっている。これは、北側壁面でも拡散日射の影響があるためと考えられるが、Ⅳ地域以南では外気空気温度を外界条件としても、おおよそ安全側で壁内湿度を計算できることを示しており、本節では、以後、外気温度を入力値とした計算結果によって検討を進める。

(2) 冬季における断熱材外気側相対湿度の分布形状

計算対象地域の冬季における温湿度の頻度分布を図 2.11.7に示す。温度については平均値を中心に分布が広がっているが、絶対湿度、相対湿度に関してはそれぞれ左右に歪んだ分布となっている。図 2.11.8に非定常計算によって得られた断熱材外気側相対湿度の頻度分布の抜粋を示す。頻度分布の区間の幅は5%である。壁内相対湿度は、外気の分布が歪んでいるにも関わらず、左右対称の分布形状が多い。これは、壁体構成部材の吸放湿性により、外気変動の影響が緩和されることと、計算上、湿気容量を線形として扱ったためと考えられる。

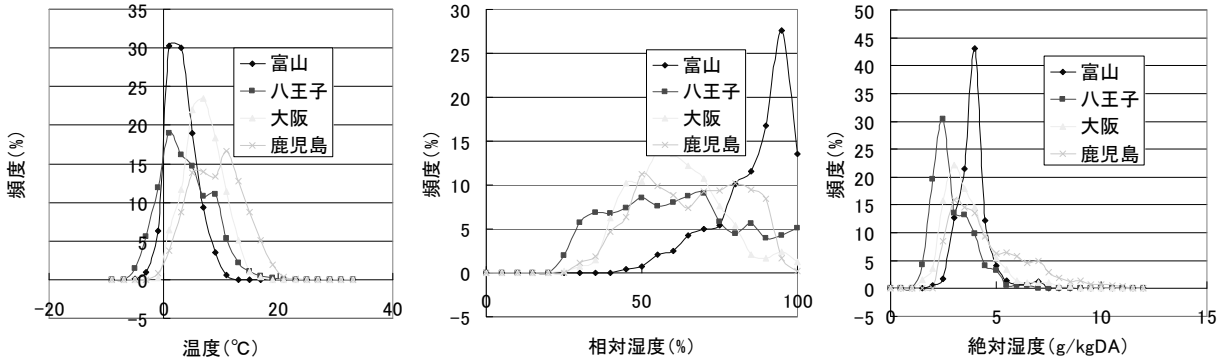


図 2.11.7 計算対象地域の外気頻度分布（1～2月）

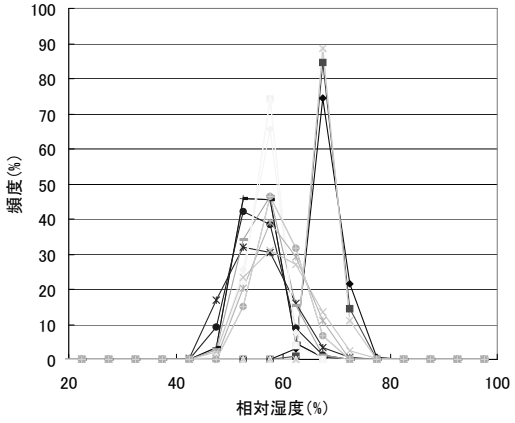


図 2.11.8 断熱材外気側相対湿度頻度分布（1～2月）

(3) 季間平均値に対する定常計算と非定常計算の比較

表 2.11.1で設定した範囲において、定常計算結果がどの程度の不確かさで壁内湿度を推定できるかを検討する。検討対象位置は断熱層と防風層の境界部分の冬季相対湿度平均値(1～2月)とし、定常計算の入力条件としては同期間の平均内外温湿度を用いた。また通気層に関しては、非定常計算と同等の換気回数分の熱および湿気の排出が行なわれるとして、外装材の貫流抵抗と換気損失を並列合成した熱及び湿気貫流抵抗を求めて、定常計算に用いた。その他の諸物性値は、非定常計算と同一である。定常計算の入力条件を表 2.11.3に示す。

表 2.11.3 定常計算における入力条件

（冬季平均値）

地域	外気温度 ℃	絶対湿度 g/kgDA	相対湿度 %
富山	2.2	3.7	84
八王子	3	2.7	58.3
大阪	6	3.5	58.6
鹿児島	8.4	4.5	63.7
室内	18.6	8.1	60

断熱層と防風層境界部分における冬季平均温湿度の定常計算と非定常計算の比較結果を図 2.11.9に示す。温度に関しては定常計算結果が最大0.3℃程度、非定常計算結果に比べて低く、定常計算結果が非定常計算結果を上回ることはない。

一方、絶対湿度は±0.3g/kgDA程度の範囲に入っており、相対湿度については非

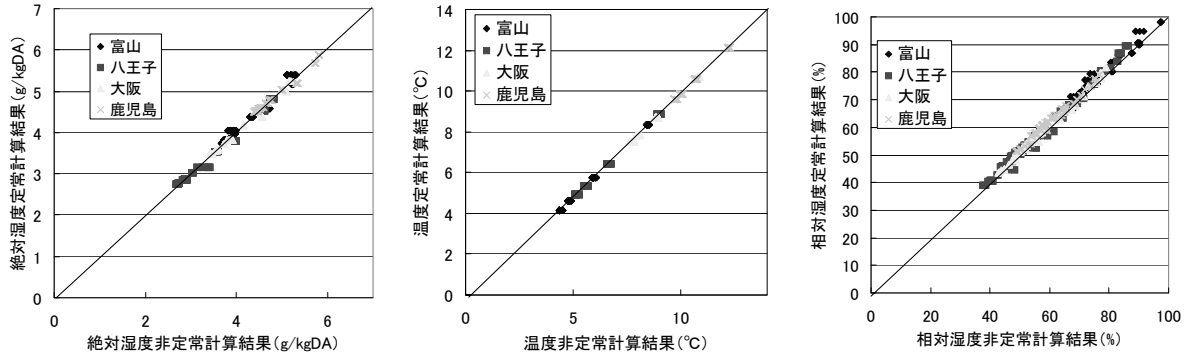


図 2.11.9 季間平均値に対する定常計算と非定常計算の比較

定常計算を基準とした定常計算のプラス側誤差は最大で+3.6%となっている。定常計算の温度が低い理由としては、熱容量を考慮していないことと、非定常計算では水分移動に伴い熱も移動するため断熱層外側の温度が高くなっているものと考えられる。絶対湿度に関しては、年周期の影響に加え、非定常計算において相対湿度が98%を越えた場合、湿気容量が急激に大きくなる扱いをしているため、高湿側で誤差が生じたものと思われる。しかしながら、今回設定した条件の範囲では、定常計算でも季間平均温湿度を推定できることが確認された。

(4) 相対湿度標準偏差と各パラメータの関係について

前節で壁内相対湿度の季間平均値に対する定常計算結果の有用性が確認された。

ここでは、相対湿度の分布特性と各パラメータの関係を把握し推定式を得ることを目的とする。説明変数については、後述する簡易防露設計法において用いることを念頭に、多重共線性を避けたうえで、できる限りわかり易い扱いができるように定めた。振幅比 η 及び内外透湿抵抗比は以下のように定めた。

・防風層振幅比 η の算出

材料の両表面絶対湿度が(6)、(7)式で変化する場合、半無限固体の深さxの位置の絶対湿度変動は(8)式で表される。η は、外気絶対湿度変動の振幅に対する比であり、(9)式で表される。今回の検討では周期を24時間として ω を(10)式により求めた。

$$X_1 = X_0 + X_s \cos \omega t \qquad (6)$$

$$X_2 = X_0 \qquad (7)$$

$$X = \eta X_s \cos\left(\omega t - \sqrt{\frac{\kappa\omega}{2\lambda'}}x\right) \qquad (8)$$

$$\eta = \exp\left(-\sqrt{\frac{\kappa\omega}{2\lambda'}}x\right) \qquad (9)$$

$$\omega = 2\pi / T = 2\pi / 24 \qquad (10)$$

・内外透湿抵抗比 ξ の算出

図 2.11.10に示すように、断熱材外気側を境界として、室内側に位置する材料の透湿抵抗と外気側に位置する部材の透湿抵抗を用い、(11)式により内外透湿抵抗比を求

める。通気層と外装材の合成抵抗は、通気層の風速をv=0.05m/sとして換気回数を求め、(12)式によって求める。

$$\xi = \frac{R_i^{'}}{R_o^{'}} \qquad (11)$$

$$R_o^{'} = R_{o,1}^{'} + \gamma' nV + R_{o,2}^{'} + \frac{1}{\alpha_o^{'}} \qquad (12)$$

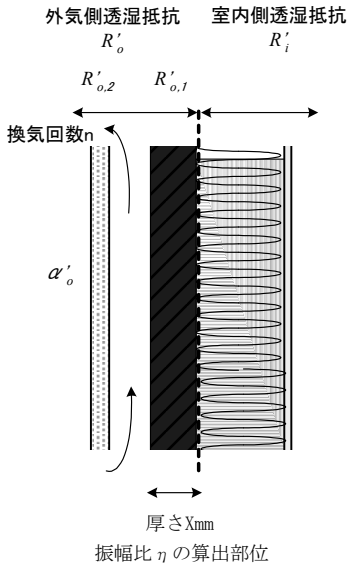


図 2.11.10 内外透湿抵抗比ξの求め方

表 2.11.4に、物性値及び外気条件を説明変数とした防風層外気側相対湿度標準偏差 σ_ϕ に対する重回帰分析の結果を示す。

表 2.11.4 断熱材外気側相対湿度標準偏差に対する重回帰分析結果

目的変数	説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	P-値
相対湿度標準偏差 σ_ϕ 重相関係数 0.84	定数項	-2.336	-0.06687	0.001523
	外気温度標準偏差 σ	0.8332	0.3747	1.30E-60
	防風層振幅比 η	2.987	0.585	3.70E-114
	内外透湿抵抗比 ln(ξ)	0.3453	0.3214	7.74E-43

標準偏回帰係数に着目すると、防風層の振幅比 η の影響が大きく、η が小さくなるほど σ_ϕ も小さくなること示されている。η は半無限固体を想定した場合の外気絶対湿度の周期変動に対する振幅比を表しているため、η と σ_ϕ の関係は妥当であるといえよう。振幅比 η と σ_ϕ の相関関係を図 2.11.11に示すが、η のみでは σ_ϕ の分布範囲が大きい。一方、σ_ϕ は断面構成が同じ場合は、外気温度標準偏差 $\sigma_{\theta,o}$ とほぼ線形の相関関係(図 2.11.12)があるため、(13)式に示すように σ_ϕ を $\sigma_{\theta,o}$ で除すことにより外界条件の影響を除去する。こうして得られた $\sigma_{\theta,o}$ と η の関係図 2.11.13に示す。

$$\sigma_{m,\phi} = \frac{\sigma_\phi}{\sigma_{\theta,o}} \qquad (13)$$

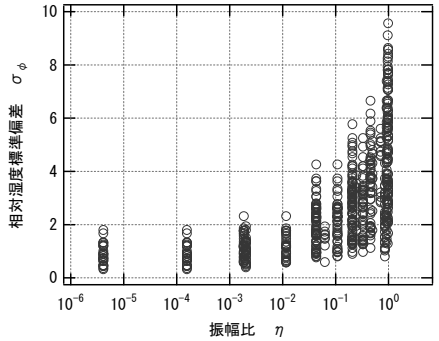


図 2.11.11 振幅比 η と σ_ϕ の関係

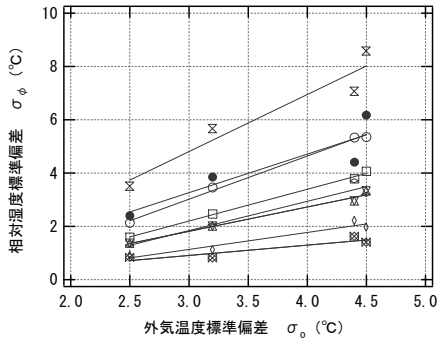


図 2.11.12 外気温度標準偏差 $\sigma_{\theta,o}$ と σ_ϕ の関係

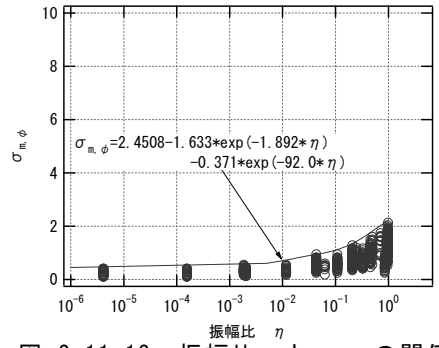


図 2.11.13 振幅比 η と $\sigma_{m,\phi}$ の関係

図 2.11.13に示す近似式は、本計算の検討範囲内における防風層の湿気物性値と σ_ϕ の最大範囲の関係を示している。

2.11.4 相対湿度の分布領域を考慮した簡易防露設計法

前節までに得られた知見をもとに、相対湿度の分布領域を考慮した簡易防露設計法を提案する。簡易設計法は、実際に定常結露計算を行なうレベル1とし、地域毎の透湿抵抗比 ξ を用いて断面構成を定めるレベル2とする。本防露設計法の適用条件を以下に示す。

・次世代省エネ基準Ⅳ、Ⅴ地域における壁内気流の生じない断熱壁体の冬型結露防止を目的とする。
・断面構成は、内装材、断熱層、防風層、通気層、外装材の配置とし、防風層及び断熱層の物性値は表 2.11.1の範囲内とする。特に防風層の透湿抵抗については範囲を越えてはならない。
・通気層は、十分な通気量が確保される仕様(風速0.05m/s以上)とする。
・内外透湿抵抗比 ξ については1以上とする。
・外装材についてもサイディングに代表される、熱的薄壁を想定する。

1) レベル1:定常計算による方法

相対湿度の分布領域を考慮した定常計算による防露設計手法を以下に示す。

Step1: 冬季における外気温湿度(1～2月)の期間平均値を用いて、断熱材外気側の期間平均温度及び湿度を求める

$$X_i = X_o + \frac{R'_o}{R'_i + R'_o}\left(X_r - X_o\right) \quad (13)$$

$$\theta_i = \theta_o + \frac{R_o}{R_i + R_o}\left(\theta_r - \theta_o\right) \quad (14)$$

$$\phi_i = \frac{X_i}{X_{sut}(\theta_i)} \times 100 \quad (15)$$

Step2: 壁体を構成する材料の物性値及び外気の統計データをパラメータとし、断熱材外気側の相対湿度標準偏差を求める。

$$\sigma_{m,\phi} = 2.4508 - 1.633\exp(-1.892\eta) - 0.371\exp(-92.0\eta) \quad (16)$$

$$\sigma_\phi = \sigma_{\theta,o} \times \sigma_{\phi,m} \quad (17)$$

η については(9)、(10)式より求める。

Step3: 期間平均相対湿度及び標準偏差 σ_ϕ より、冬季における閾値を越えるかどうかの判定を行なう。K_ε は、正規分布の場合、正規分布表より求めて閾値を越える確率を算出することができるが、今回は暫定的に K_ε =2とする。

$$\phi_c > \phi_i + K_\varepsilon \sigma_{\phi,i} \quad (18)$$

(7)式を満たさない場合、Step1からStep3を繰り返すことにより適切な断面構成を選択する。

2) レベル2:地域毎の内外透湿抵抗比による方法

レベル2では、表 2.11.6の地域毎の透湿抵抗比の推奨値より、材料構成を決定する。透湿抵抗比は防風層の振幅比 η によってランクが分類され、表 2.11.5から選択することにより、η を計算せず透湿抵抗比 ξ のみで仕様を決定することが可能である。以下に、表 2.11.6に示した地域毎の透湿抵抗比の算出方法を示す。

(7)式を考慮し、絶対湿度の閾値 X_c について表すと以下の式となる。

$$X_c = 0.01 \times g(\theta_i) \times \left(\phi_c - K_\varepsilon \sigma_{\phi,i}\right) \quad (19)$$

(11)及び(13)式を考慮し、閾値 X_c を越えな

いために必要な透湿抵抗比 ξ は(20)式で表される。

$$\xi > \frac{X_r - X_o}{X_c - X_o} - 1 \qquad (20)$$

$g(\theta_i)$:飽和絶対湿度(g/kgDA)
$\sigma_{\theta,o}$:外気温度標準偏差(℃)
ϕ_o:断熱材外気側相対湿度標準偏差
添字 r:室内 o:外気 c:上限値

地域毎の内外透湿抵抗比 ξ を算出するにあたり、防露設計の観点からより厳しい条件とするため、以下の条件を設定した。

・ランク1～3の材料に関しては、防風層の断熱性能を無視する
・内外透湿抵抗比 ξ が1.5未満の場合、数値を切り上げ ξ=1.5とする
・断熱材の熱抵抗はグラスウール16K、100mm相当とする
・ランク4における付加断熱材の断熱性能はEPS4号品(λ=0.043W/m^{2}K)とする
・室内条件18℃、60%RHとする
・閾値を $\phi_c = 98$%、$K_\varepsilon = 2$ とし、季間平均相対湿度 ϕ_m が90%を越えるときは $\phi_c = 90 + K_\varepsilon \sigma_\phi$ とした。

2.11.5 今後の課題

本節では、相対湿度の分布領域を考慮した簡易設計法を提案し、地域毎の透湿抵抗比の推奨値を暫定的に提示した。今後の課題を以下に示す。

・閾値を求める際の K_ε の検討
・通気層を持たない密閉壁に対する透湿抵抗比の推奨値の検討

表 2.11.5 透湿抵抗比算出のための防風層の材料分類例

	材料物性値	透湿抵抗 (m2hg/kgDA/g)	絶対湿度変化に対する含水率変化 κ (kg/m^{3}kg/k	厚さ (mm)	振幅比 η
ランク1	モルタル	3.1	8963	25	7.00E-05
	窯業系ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ	6.1	8963	12	9.50E-05
	OSBボード	13.3	3615	12	1.70E-04
		10	3615	9	1.50E-03
	構造用合板	5.5	3615	12	3.80E-03
		4.1	3615	9	1.50E-02
ランク２	軟質繊維板	1.3	927	12	0.25
		1	927	9	0.35
ランク３	シート類	―	―	―	0.99
ランク４	XPS1種	41.7	1.87	25	0.6
	硬質ｳﾚﾀﾝﾌｫｰﾑ1種1号	10.4	1.87	25	0.78
	ﾌｪﾉｰﾙﾌｫｰﾑ1種1号	10.4	1.87	25	0.78
	EPS1号	5.2	1.87	25	0.84
	ｸﾞﾗｽｳｰﾙ24K	0.4	0.49	25	0.97

表 2.11.6 地域毎の透湿抵抗比の推奨値

都道府県	都市名	ランク1	ランク2	ランク3	ランク4	都道府県	都市名	ランク1	ランク2	ランク3	ランク4
茨城県	水戸	1.9	2.7	3.5	1.6	兵庫県	生野	3.5	4.4	5.8	2.0
茨城県	土浦	1.5	2.0	2.5	1.5	兵庫県	神戸	1.5	1.5	1.5	1.5
栃木県	宇都宮	1.9	2.5	3.1	1.5	奈良県	奈良	1.7	2.1	2.7	1.5
栃木県	真岡	2.4	3.3	4.4	1.9	奈良県	針	4.8	6.7	10.0	2.6
群馬県	沼田	3.6	4.5	5.5	2.2	和歌山県	和歌山	1.5	1.5	1.6	1.5
群馬県	前橋	1.5	1.7	2.0	1.5	和歌山県	新宮	1.5	1.5	1.5	1.5
埼玉県	熊谷	1.5	1.6	1.9	1.5	岡山県	古町	4.3	6.2	9.5	2.5
埼玉県	秩父	2.3	3.2	4.1	1.9	岡山県	岡山	1.5	1.7	2.0	1.5
東京都	八王子	1.6	2.1	2.7	1.5	広島県	加計	3.8	4.8	6.5	2.1
東京都	東京	1.5	1.5	1.5	1.5	広島県	広島	1.5	1.5	1.8	1.5
千葉県	銚子	1.5	1.5	1.5	1.5	島根県	松江	2.1	2.4	3.1	1.5
千葉県	千葉	1.5	1.5	1.5	1.5	島根県	赤名	6.4	7.3	10.0	2.5
神奈川県	横浜	1.5	1.5	1.5	1.5	鳥取県	鳥取	1.9	2.6	3.4	1.5
神奈川県	小田原	1.5	1.7	2.2	1.5	鳥取県	茶屋	11.3	28.2	*	4.3
山梨県	甲府	1.5	1.8	2.2	1.5	徳島県	徳島	1.5	1.5	1.5	1.5
山梨県	大月	2.4	3.3	4.3	1.9	徳島県	京上	4.1	5.7	8.3	2.4
静岡県	静岡	1.5	1.5	1.5	1.5	香川県	高松	1.5	1.5	1.5	1.5
静岡県	浜松	1.5	1.5	1.5	1.5	香川県	財田	1.5	1.9	2.3	1.5
愛知県	名古屋	1.5	1.8	2.1	1.5	愛媛県	松山	1.5	1.5	1.6	1.5
愛知県	豊橋	1.5	1.5	1.8	1.5	愛媛県	宇和島	1.5	1.5	1.5	1.5
岐阜県	岐阜	1.5	1.8	2.1	1.5	高知県	高知	1.5	1.5	1.5	1.5
岐阜県	多治見	2.2	3.3	4.6	1.9	高知県	梼原	3.8	6.1	10.5	2.5
三重県	津	1.5	1.5	1.5	1.5	山口県	山口	1.6	2.2	2.9	1.5
三重県	熊野	1.5	1.5	1.5	1.5	山口県	下関	1.5	1.5	1.5	1.5
新潟県	新潟	2.5	2.7	3.2	1.5	福岡県	福岡	1.5	1.5	1.6	1.5
新潟県	小出	4.7	4.8	5.7	2.0	福岡県	太宰府	1.6	2.2	3.0	1.5
富山県	魚津	3.7	4.4	5.8	1.9	大分県	湯布院	3.4	5.7	9.4	2.6
富山県	富山	4.6	4.7	6.0	1.8	大分県	大分	1.5	1.5	1.9	1.5
石川県	輪島	2.2	2.6	3.1	1.5	長崎県	上五島	1.5	1.5	1.5	1.5
石川県	金沢	2.0	2.4	2.9	1.5	長崎県	長崎	1.5	1.5	1.7	1.5
福井県	福井	2.8	3.4	4.4	1.6	佐賀県	佐賀	1.5	1.6	2.1	1.5
福井県	今庄	5.0	6.7	9.8	2.5	佐賀県	嬉野	1.8	2.5	3.4	1.5
滋賀県	大津	2.0	2.2	2.7	1.5	熊本県	南小国	4.9	11.0	32.8	3.7
滋賀県	信楽	4.0	6.3	9.9	2.7	熊本県	熊本	1.5	2.1	2.9	1.5
京都府	舞鶴	2.8	3.5	4.7	1.6	宮崎県	神門	3.7	18.2	*	6.4
京都府	京都	1.6	1.9	2.3	1.5	宮崎県	宮崎	1.5	1.7	2.8	1.5
大阪府	枚方	1.8	2.2	2.8	1.5	鹿児島県	鹿児島	1.5	1.5	1.7	1.5
大阪府	大阪	1.5	1.5	1.5	1.5						

X_c-X_o<0.1のものは、抵抗比が大きく50を越え、別張り防湿層などの処置が必要となるため*とした
ランク1～ランク4の防風層の分類は、表 2.11.5を参照

2.12 断熱構造を構成する木材のダメージファンクション開発

2.12.1 はじめに

結露・湿害の防止を目的とした断熱技術開発に関連する研究は数多い。その取組み方には大きく2つのアプローチがある。一つは、各種壁体を実物大で実験・評価し、どちらかといえば定性的な比較から壁体設計への知見を導き出そうとする方法である。もう一つは、実験はシミュレーション手法の検証と精度を高めるために行い、壁体評価や壁体設計の情報を数値シミュレーションで導き出そうとする方法である。液水現象や壁体のモデリング、物性値や結露制限値等に課題はあるにしても、壁体内部の温湿度性状や構成部材の水分状態の予測に用いるシミュレーションの実用性は高まってきており、最近の断熱壁体開発や評価は、どちらかといえば後者によるアプローチが多い。

いずれの場合でも、壁体評価や手法提案する際には、判断基準すなわち「どこに閾値を設定するか」を明確にすることが重要である。判断に用いられる一般的な指標としては、①壁体内の温湿度性状、発生頻度、累積値等、②カビ菌類、木材腐朽菌の生育条件に関する既往研究例えば[1,2]を基にした壁体内温湿度の発生頻度、累積値などのほか、木造建築を対象に筆者らが試みた③数値計算で得られた木材含水率の経年変化から判断する方法[3]などがある。

「湿害」との係わりから我が国の建物外皮技術を概観すると、古くは土壁住宅に代表されるような湿式材料と高含水率な構造材(生材)を使用した建築技術、RC造など構造躯体の保有水分が多い建築構造では、竣工後の初期段階での高湿状況、結露は許容することを前提として成立しているものが多い。最近の断熱住宅でも、小屋裏、躯体内通風を抑制した気密壁体では、構成材料の保有水分によって竣工初期に一時的な結露が生じることもあるが、それらを許容し、断熱材の外気側を湿気的に開放することで、長期的な乾燥促進を図るという考え方が前提となっている。また、近年普及している基礎断熱工法にしても、竣工直後は基礎RCの保有水分、それらが安定しても中間期・夏期には高湿外気の流入や低い地盤温度によって床下が高湿状態に至る場合や地域によっては一時的な結露が生じる場合がある[4,5]。しかし、床断熱に比べ、床下の乾燥性に優れ、大量なカビや木材腐朽のリスクが少ないことが普及の理由となっている技術もある。

断熱壁体における結露現象の評価については、いくつかのアプローチが考えられる(図 2.12.1)。

Aは、壁内での高湿化及び内部結露はいずれ木材腐朽に結びつく危険性が高いので、実害の防止には、Step1(壁内の高湿化)、Step2(結露の発生)を評価項目とし、「僅かな結露も容認しない」という考え方である。一見、この考え方は最も安全率の高いアプローチだが、前述の初期結露あるいは床下結露などが示しているように、耐久性の高い技術の評価として必ずしもふさわしいとはいえない。仮に、この考え方に基づき断熱外皮技術の構築ができたとしても、多くの制約条件が必要となり、壁体設計の自由度はかなり制約される。

Bは、壁内が高湿になる、一時的に液水で湿潤化することを容認するが、カビ菌類の発芽・生育・定着は防止するという考え方である。カビ菌類の発生は、構造躯体の耐久性にダメージを与えないまでも、居住空間の空気質を悪化させる危険性は高く、結露現象がもたらす実害の一つである。しかし、一年のある時期、外気条件そのものがカビ菌類の生育条件に属するわが国の気候条件、数千種以上にも及ぶ菌類の存在を勘案すると、断熱外皮設計上の閾値とするには多くの課題がある。また、健

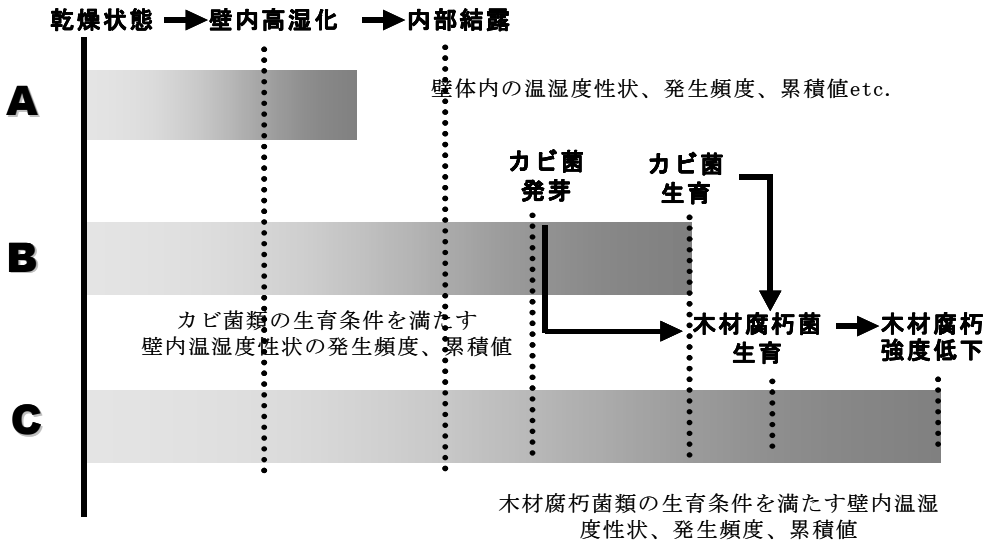


図 2.12.1 断熱外皮の湿害防止設計のリスクマネージメント

康害の原因となるカビ菌類の発生は、断熱外皮技術と空調の方法や生活様式とのコンビネーションで対応する方がはるかに現実的であることを考えると、断熱外皮設計上の直接的な評価指標とはなり得ないとの意見もあるだろう。

Cは、僅かな結露は容認するが、構造躯体が保有すべき基本的な性能(例えば構造性能等)へのダメージは回避するという考え方である。しかし、Bと同様、断熱外壁内におかれた木材や鉄材の劣化性状と構造性能との関係を明らかにした既往研究は皆無であり、それを閾値とすることは現状では難しい。

いずれにしても、BやCは、「一時的な結露は容認する、害がなければ容認しても構わない」という考え方が前提となるもので、Aに比べ壁体設計の自由度が拡大するとともに、実情に即していることは明らかである。

以上の観点から、本委員会では、断熱外皮技術の湿害防止のためのリスクコントロールとしてCのアプローチを構築すべく、基礎的な実験的検討を行ってきた。以下に実験結果を述べ、現時点で得られているいくつかの知見を整理する。

2.12.2 実験の基本概要

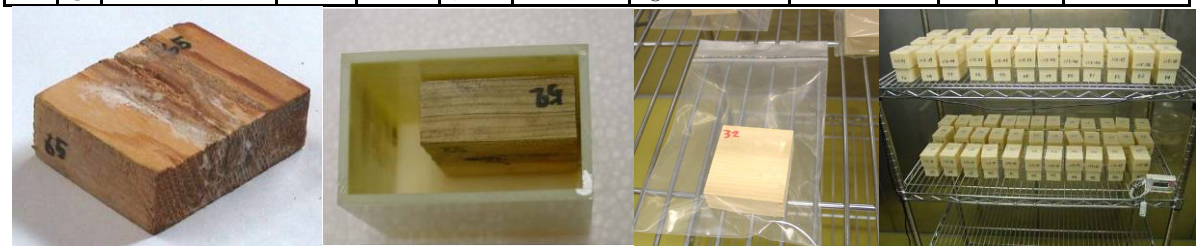
木造建築の構造躯体内に存在する木材、木質面材(以下、木材等と称す)は、以下のような環境条件(雰囲気の温湿度、含水状態)に存在していると考えられる。

① 例えば床組材のように、長期間、比較的安定した温湿度環境にある木材等
② 例えば外壁や小屋組のように日周期で変動する温湿度環境にある木材等
③ ②の条件下で、毎日繰り返し生じる多少の結露水に晒される木材等
④ ①の条件下で、毎日繰り返し生じる多少の結露水に晒される木材等
⑤ 設備漏水、外部漏水などにより、一時的に大量な水分に晒される木材等

これらの環境条件を考慮し、表 2.12.1に示すような実験を行った。

表 2.12.1 実験概要

№	分類	実験場所	実験条件						試験体数		実験期間
			温度	湿度	滴下	樹種	木材含水率[%wt]	滴下量	数	計	
A1	① ④	積水ハウス +北方建築 総合研究所	30℃	なり ゆき	無	ﾍﾞｲﾏﾂ (辺材)	非含水		3	111	00/6 ～ 01/7
							20～30%		36		
							40～60%		36		
							80～120%		36		
A2	① ④	積水ハウス	30℃	95%	無	ベイ栂	20～30%		10	60	03/1 ～
							30～50%		25		
							50～70%		25		
B2	② ③	北方建築 総合研究所	26～ 27℃	70～ 95%	有	ベイ栂	非含水		2	42	01/10 ～ 04/3
							0g	15 ～ 45%	6		
							0.8g		8		
							1.6g		18		
							2.0→0.4g		8		
B4	③	北方建築 総合研究所	26～ 27℃	70～ 95%	有	ベイ栂	1.6g	30～ 70%	20	40	03/1～
							2.4g		20		
C1	① ④	富山林業 技術ｾﾝﾀｰ	27℃	100%	無	ﾍﾞｲﾂｶﾞ	40～60%			60	03/1～
						杉(辺材)			20		
						ﾍﾞｲﾏﾂ			20		
						合板			20	40	
						OSB			20		
E1	⑤	三重大学	30℃	60%	有	ベイ栂	8g/2週	30～70%	20	40	03/～



(a)試験片概要(b)試験片をプラスチックケースに格納　　(c)恒温恒湿室内での試験片設置状況

写真 2.12.1 試験状況

2.12.3 実験結果

1) 温湿度一定の環境下にある木材

この実験(表 2.12.1中A1、A2)は、例えば床下等、比較的温湿度が安定した環境下にある木材を想定して行ったものである。試験片の重量含水率を、結露水や設備系の漏水の有無等を勘案し概ね3～4段階に設定して行っている。

(1) 実験概要

試験片に用いた樹種は木造住宅の構造材として一般的なベイマツ及びベイツガ辺材である。これらは木造住宅の構造材として一般的で、特にベイツガは耐朽性が低いカテゴリ(D-2)に属し、その辺材は心材より耐朽性が劣り、各種木材の中では最も腐朽しやすいカテゴリーといえる。1つの試験片寸法は60mm×50mm×20mm(写真 2.12.1(a))、木口は長辺方向にある。

それぞれを、まず絶乾状態にして、重量

含水率を概ね30%wt未満、40～70%wt、70%wt以上の3段階に設定した。次に、試験片をプラスチックケースまたは密閉できるポリエチレンフィルムケースに入れ、40wt%以上の試験片は2000年6月、30wt%以下の試験片は2000年9月より室温30℃、相対湿度95%以上で一定となっている恒温恒湿室内に設置した(写真 2.12.1(c))。

そして10週経過後から概ね2～4週毎に試験片を取り出し、材料長手方向の縦圧縮強度(理由は後述)を測定し、再度、絶乾重量を測定した。

関連文献[例えば※2など]によれば、含水率と各種強度の一般的な関係は概ね次のように整理される(図 2.12.2)。

・木材は、重量含水率数%から概ね繊維飽和点までは、含水率が低いほど機械的強度は高く、その関係は負の比例関係にある。また、重量含水率が1%減少すると、図中の表に掲げる割合で強度は増加する。

・木材繊維の損傷または腐朽等がない場合は、繊維飽和点以上では、含有水分の多少は機械的強度にほとんど影響を及ぼさず、強度は概ね一定と考えて良い。

カビ、木材腐朽菌等の生物的要因による木材へのダメージ状態を、目視で判断するのは容易でない。しかし、前述したような含水率と機械的強度の一般的な関係を参考にすれば、構造強度に支障を与える腐朽の有無に関する定量的な評価がある程度は可能となる。そこで、図 2.12.2付表に掲げる機械強度のうち、測定が簡便で木材劣化との相関性が高い縦圧縮強度に着目して検討を行った。

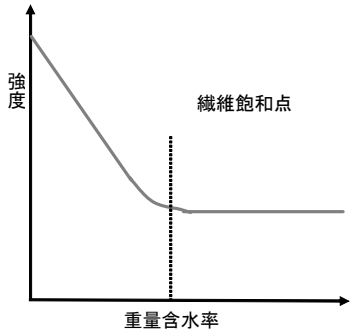


図 2.12.2　重量含水率と強度の一般的な関係

付表　繊維飽和点未満の含水率減少1%当たりの強度増加率

各種機械的性質	増加率
曲げ強さ	5%
曲げヤング率	2%
縦圧縮強さ	6%
横圧縮比例限度	5.5%
繊維方向せん断強さ	3%
縦引張り強さ	1%
横引張り強さ	1.5%

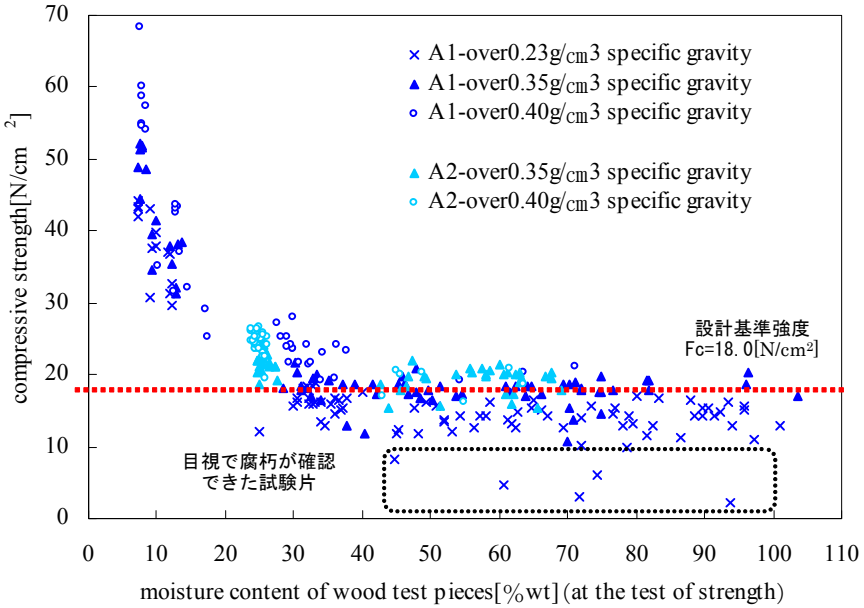


図 2.12.3　重量含水率平均値と縦圧縮強度の関係

(2) 実験結果

図 2.12.3は恒温室の設置期間中の重量含水率平均値と縦圧縮強度(JISZ2101-1994による)の関係を示したものである。また、参考までに、実験期間中の各試験片の重量含水率の推移を図 2.12.4に示す。

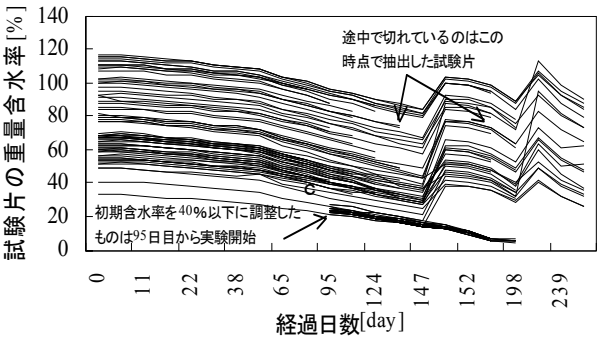


図 2.12.4 実験期間中の重量含水率推移

図 2.12.4では、目視観察で明らかに木材腐朽が確認できた試験片を点線で囲っている。また、建築基準法で定められた基準強度(縦圧縮強度)Fc=18.0[N/mm^2][12)]を横破線で示している。

重量含水率と縦圧縮強度の関係は、10～30wt%までは直線的に変化し、それ以上になるとほぼ縦圧縮強度が一定となる傾向が読みとれ、図 2.12.2と同様の傾向となっている。しかし、木材腐朽が目視で確認できた試験片の縦圧縮強度は全て10[N/mm^2]以下で、前述の傾向やその他の試験片とは明らかに分布の仕方が異なっていることがわかる。

これらの試験片に見られる共通点としては、恒温室で18週(約4ヶ月)以上経過し、この間の重量含水率が40～80%の範囲にあることが指摘できる。

また、ベイマツ基準強度Fc=18.0、ベイツガ基準強度Fc=17.4[N/mm^2]を下回っている試験片は、重量含水率が概ね30%以上で十数週以上経過しているというのが共通点である。なお、カビ等の菌類の付着は10週目に抽出した試験片から確認された。それらは、恒温室内で重量含水率が30～70%程度で推移していた試験片に多い。一方で、重量含水率が概ね15%以下、80%以上で推移していた試験片については、設置時間の長さに係わらずカビ菌類等が発生している割合は少なかった。

2) 温湿度が変動する環境下にある木材

この実験(表 2.12.1中B2、B4、B5)は、例えば外壁、小屋裏等の温湿度が日周期で変動する環境下にある木材を想定して行ったものである。試験片の重量含水率を、結露水や設備系の漏水の有無等を勘案し概ね20～70%wtに設定して行っている。

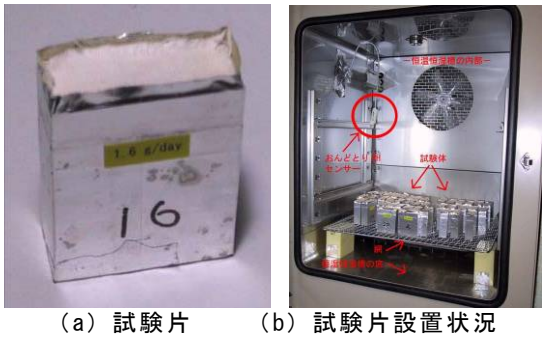
(1) 実験概要

試験片に用いた樹種はベイツガ材、試験片寸法は前述の実験と同様である。

各試験片は、絶乾(60℃-48hr)にした後、密閉容器内にて重量含水率を概ね20%wt以下に設定し、壁体の土台を想定して、結露水等の滴下水分が土台上面滞留して試験片を濡らすように、試験片上面(木口)は厚いガーゼで覆った。試験片の4面はアルミテープで断湿、下面は恒温恒室室内に開放している(写真 2.12.2)。

試験片を、図 2.12.5に示すように温湿度26℃-70%RH(8.5時間)、27℃-95%(15.5時間)でサイクリックに変化させた恒温恒湿室内に設置し、水分滴下については、滴下無し、水分滴下量0.4、0.8、1.6、2.0g/dayの5パターンを設定した。そして、一定の期間を経た後に試験室から取りだし、重量、縦圧縮強度を測定し、再び絶乾して重量含水率を把握する。

なお、水分滴下量は、通気層がなく外装下地に構造用合板12mmを使用した充填断熱壁体(土台を含めた2次元モデル)を対象とし、鹿児島の西壁を想定して、標準気象



（a）試験片　（b）試験片設置状況

写真 2.12.2 試験状況

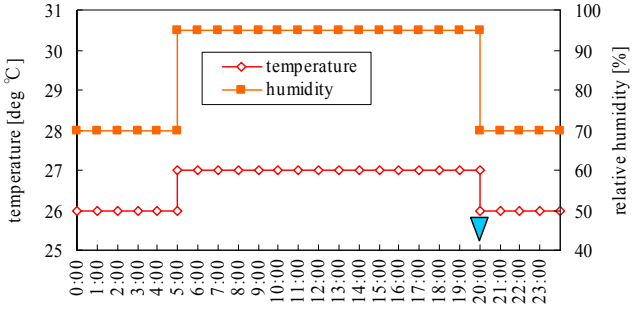


図 2.12.5 温湿度・水分滴下スケジュール

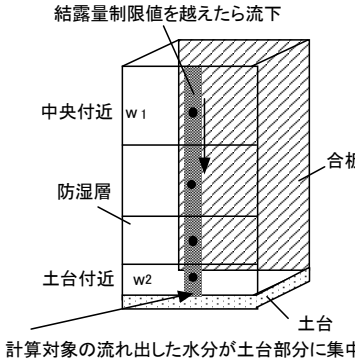


図 2.12.6 水分滴下量算出の概念

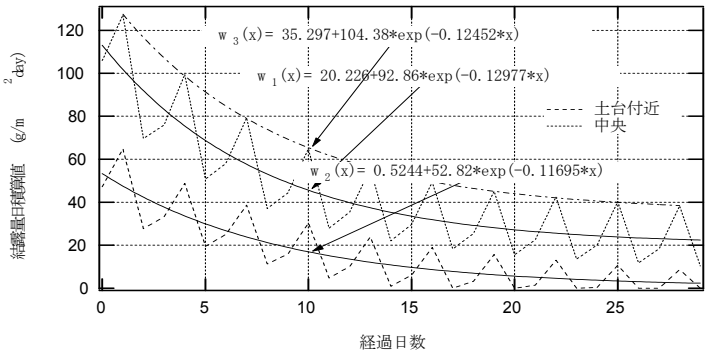


図 2.12.7結露量日積算値（初期含水率20%の場合）

表 2.12.2 試験片上面（20mm×50mm）への水分滴下量 [g/day]

期　間	初期含水率15% 制限値20g/ m^2	初期含水率20% 制限値20g/ m^2	初期含水率20% 制限値10g/ m^2
試験開始後1～14日	3.22	6.59	6.97
試験開始後15～28日	0.08	0.95	1.62
試験開始28日以降	0.008	0.12	0.95

データの中から代表日3日間(8/23～25)を繰り返し用い、熱水分同時移動方程式を基本式としたプログラムを用いて30日間計算し、算出した結露量などを参考に決めている(図2.12.6～図2.12.7,表2.12.1)。

(2) 実験概要

図 2.12.8は、実験期間中の各試験片の重量含水率の推移を示している。滴下量2.0 g/dayとした場合、実験開始後まもなく重量含水率が急激に増加したため、5週以降は滴下量を0.4g/dayに変更した。その他の試験片は、14週以降は20～15%wtの範囲で安定し推移している。

また、図 2.12.9は試験開始後数日経過した時点での、試験片重量含水率の日変動の一例を示す。重量含水率が概ね2%wtの範囲で日変動し、乾湿が繰りかえされていることがわかる。

図 2.12.10は、実験期間中の重量含水率平均値と縦圧縮強度の関係を示したものである。図中には、前述したA1、A2の実験結果、建築基準法で定められたベイツガ材の基準強度(縦圧縮強度)Fc=17.4[N/mm^2]を横破線で示している。今回の実験では、目視でも木材腐朽が生じた形跡は確認できなかったが、縦圧縮強度の面からも構造上問題となるような性能低下は生じていないことがわかる。

また、表 2.12.3は、目視によるカビ菌類の発生状況を示したものである。何らかの水分が与えられると、実験開始後8～12週以降、カビ菌類が目視で確認できるほどになること、水分滴下量を増すほどカビ菌類が早く生じることなどがうかがえる。

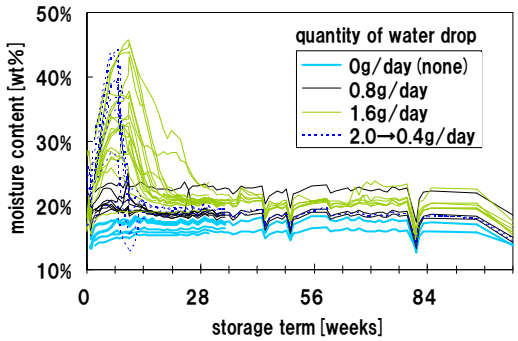


図 2.12.8 実験期間中の重量含水率の推移

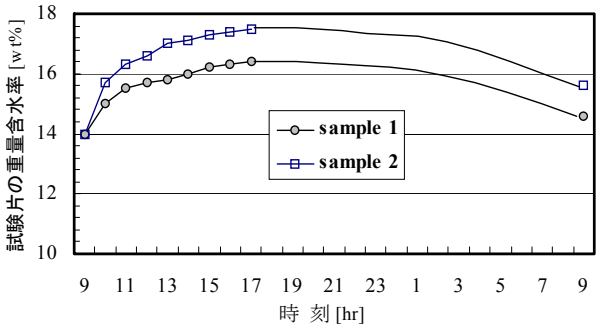


図 2.12.9 試験片の重量含水率の日変動

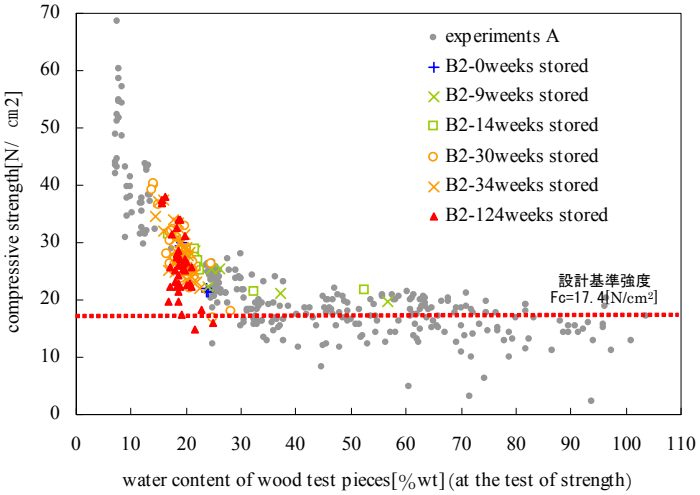


図 2.12.10 重量含水率平均値と縦圧縮強度の関係

3) 一時的に大量な水分で湿潤化する環境下にある木材

この実験(表 2.12.1中E1)は、例えば床組材や土台などが、設備漏水や外部漏水など大量な水分によって繰り返し湿潤化する状態を想定したものである。温湿度は一定としている。

(1) 実験概要

試験片は2週間に一度、水を満たしたトレイに置き、湿潤化(重量含水率を60%wt程度増加)させたのち、温度30℃、相対湿度60%に維持した恒温恒湿湿に設置し、概ね十数週間から数週間毎に試験片を取り出し、圧縮試験を行った。

(2) 実験結果

図 2.12.11に試験片の重量含水率の変化を示す。図(a)より、試験片を水の張ったトレイに1時間浸すことで、重量含水率は50%程度増加し、数日から1週間程度で湿潤前と同じ状態に戻るという比較的長期的な乾湿繰り返しになっていることがわかる。また図(b)より、この乾湿繰り返し傾向は実験を終了する60週まで続いていることがわかる。

図 2.12.12は、実験期間中の重量含水率平均値と縦圧縮強度の関係を示したものである。このような条件下でも、設計強度を下回るような状態には至っていない。しかし、写真 2.12.3に示すように、ベイツガは30週、ベイマツは35週を超えるあたりから試験片の一部が褐色になり、年輪に垂直方向にひびが入る試験片が確認されている。写真 2.12.4に、実験前の試験片と異常が確認された試験片を電子顕微鏡で観察した画像を示す。異常があった試験片は細胞形状に明らかな変形が認められ、褐色腐朽菌あるいはその他の理由により何らかの劣化が生じてい

ると考えられる。これが木材にどのような影響を及ぼすのかについては未だ不明な点が多く、今後の課題としたい。

表 2.12.3 カビに関する目視観察調査

カビの状態	0	カビが全く無い状態
	1	カビかもしれない黒ずみがあるように見える
	2	カビが少しある
	3	カビが広範囲にある
	4	カビがひどい

		日付	10/15	11/12	12/10	1/7	2/6	3/4	4/1	5/7	5/28	6/24	8/13	3/4
滴下量	試験体	週数	0	4	8	12	16	20	24	29	32	36	43	124
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	圧縮			
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	圧縮			
滴下	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	圧縮		
なし	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	圧縮		
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	32	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	圧縮	
	34	0	0	0	1	2	3	3	3	3	圧縮			
	41	0	0	0	1	1	1	2	2	2	圧縮			
	4	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	圧縮		
0.8g	19	0	0	0	1	2	3	3	3	3	3	圧縮		
	40	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	圧縮		
	1	0	0	0	2	3	3	3	3	3	3	圧縮		
	20	0	0	0	1	2	3	3	3	3	4	4	4	4
	31	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
	18	0	0	0	0	1	圧縮							
	29	0	0	1	3	3	圧縮							
	5	0	0	1	3	3	4	4	4	4	圧縮			
	15	0	0	0	0	2	2	2	2	3	圧縮			
	30	0	0	0	1	2	3	4	4	4	圧縮			
	33	0	0	1	2	3	4	4	4	4	圧縮			
	37	0	0	0	0	0	0	1	1	2	圧縮			
	7	0	0	1	1	2	2	3	3	3	3	圧縮		
1.6g	9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	圧縮		
	11	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	圧縮		
	26	0	0	0	2	3	4	4	4	4	4	圧縮		
	42	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	圧縮		
	3	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	6	0	0	0	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3
	16	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3
	23	0	0	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2
	28	0	0	0	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	2	0	0	3	3	圧縮								
	22	0	3	4	4	圧縮								
2.0g	13	0	0	0	1	2	圧縮							
↓	25	0	0	0	1	1	圧縮							
0.4g	8	0	0	0	1	2	2	2	3	3	3	圧縮		
	38	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	圧縮		
	17	0	0	0	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3
	21	0	0	0	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3

注：22番は初期含水率調整中にカビが発生した

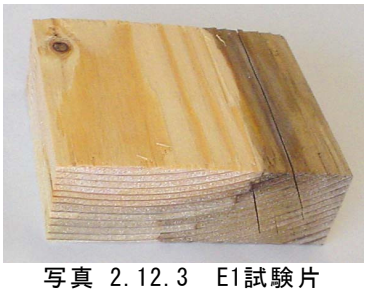
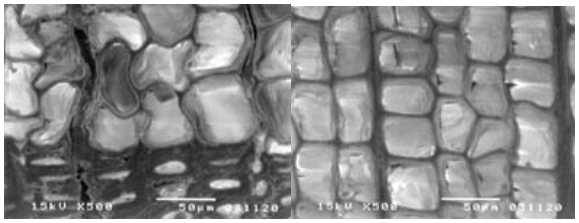
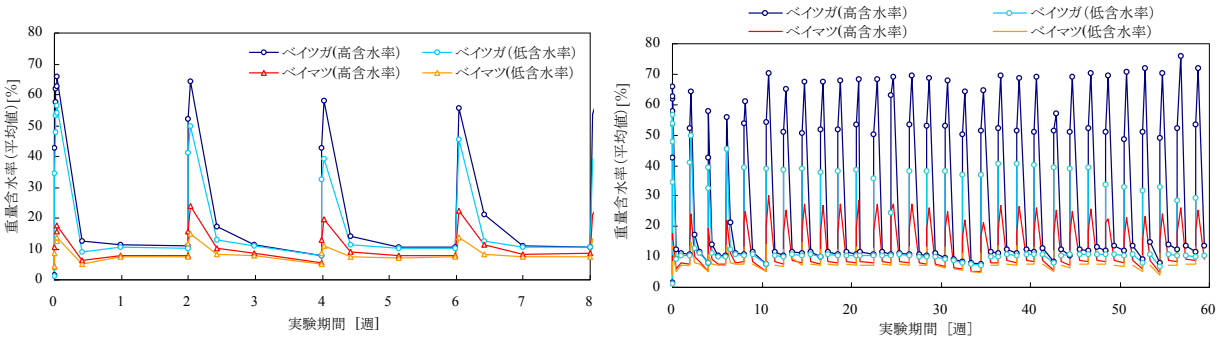


写真 2.12.3 E1試験片



a異常があった試験片 b実験前の試験片

写真 2.12.4 電子顕微鏡による観察画像



（a）木材含水率の短期変動　　（b）実験期間中の木材含水率の推移

図 2.12.11　木材含水率の変動

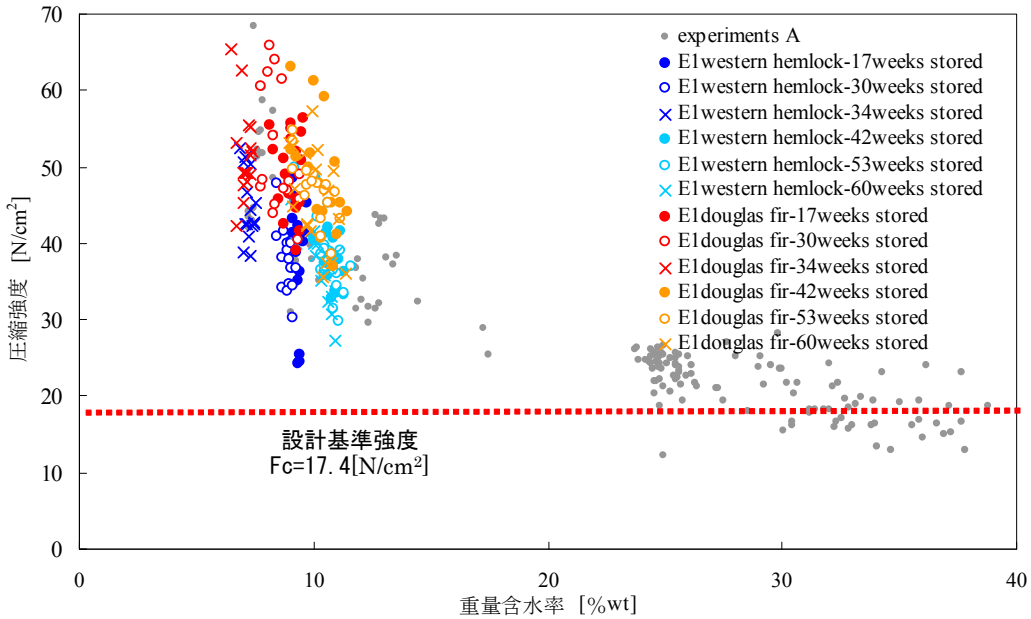


図 2.12.12　重量含水率平均値と縦圧縮強度の関係

4）ほぼ飽和状態での木材

この実験は（表 2.12.1中C1）、3樹種を対象に相対湿度100％の定常条件下で行ったものである。例えば、打設直後のコンクリートなどに接する木材に相当されよう。

(1) 実験概要

27℃、85%RHに調整された恒温恒湿室内で、デシケータを用いて100%RHの湿潤条件（定常状態）にして長期の劣化試験を行った。供試験体は木口面2×6cm、繊維方向5cmとし、木口面及び最も面積の広い面の計4面をアルミテープで覆った。

樹種はスギ辺材、ベイマツ、ベイツガの3種を用意した。後2樹種の試験体内の多くは心材であったが、その一部を辺材が占めているものもあった。

(2) 実験結果

気乾状態の試験体を上記の湿潤条件下に置いたところ、2週間後には含水率は平衡状態に近づき約25%となった。この時点からの経過日数と試験体密度の関係を図 2.12.13に示す。ベイマツとベイツガの密度は前半微増した後ほぼ平衡状態となっているが、スギ辺材では400日付近から低下するものがあった。これは腐朽が生じたことによるものであることを741日経過時点で確認した（写真2.12.5、写真 2.12.6）。

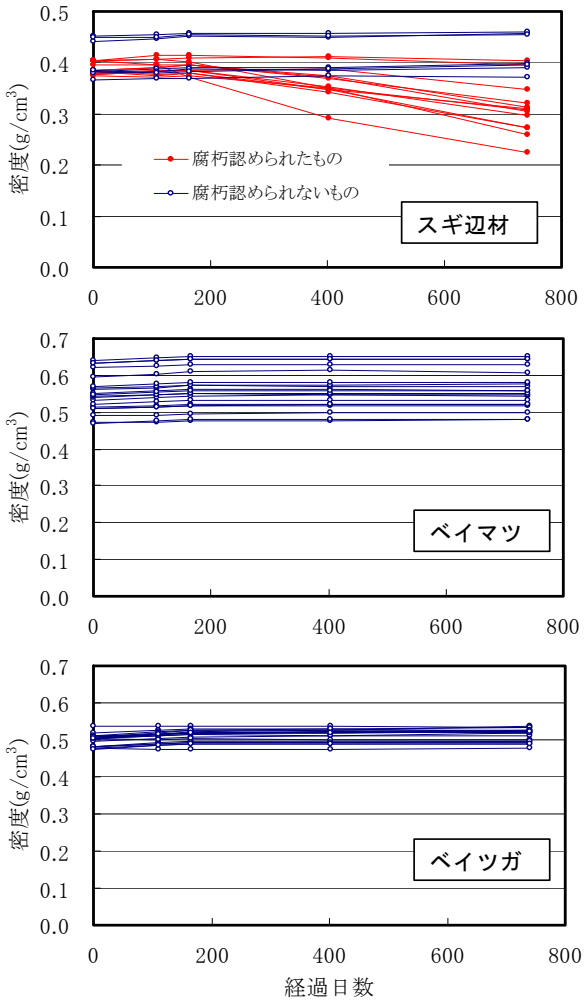


図 2.12.13 湿潤状態での密度の推移

いずれの樹種も3ヶ月を経過した頃から、カビの付着が認められ、ベイマツ、ベイツガではその後も大きな変化はみられなかった。それに対して、スギ辺材では741日経過時点でアルミテープをはがしたところ、その被覆の有無にかかわらず、ほぼ全面で腐朽菌類の存在が認められた。

次に、試験体を6cmの辺において、繊維方向に対して平行に3等分に切って、縦圧縮試験を行った(写真 2.12.5, 写真 2.12.6)。試験はJIS Z2101木材試験を参考にし、湿潤条件でそのまま行った。写真3に示すとおり、スギ辺材では、繊維方向に亀裂を生じており、褐色腐朽の特徴がみられるものが多かった。

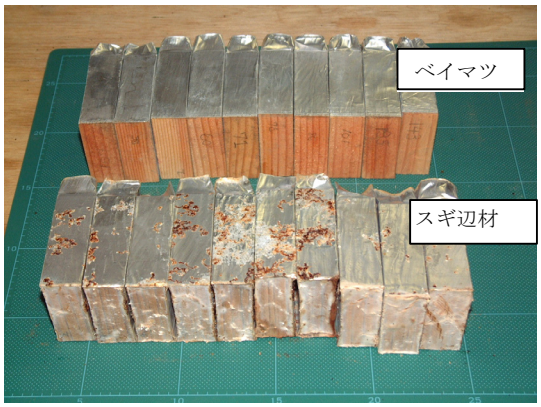


写真 2.12.5 741日経過取り出し直後の状況



写真 2.12.6 アルミテープをはがした後のスギ辺材

縦圧縮強さの順位を図 2.12.14, 図 2.12.15に示す。スギ辺材で目視により腐朽が認められたものは、縦圧縮強さが著しく低下していた。ス辺材でのコントロールとして吸水状態の試験体を用いた。すなわち縦圧縮強さは、繊維飽和点までは含水率の増加により低下するがそれ以上の含水率ではほとんど変化しないことが知られており、腐朽の影響を確認することが可能であると考えられる。パーセンタイル値の高いところでは、両者は比較的一致しており、腐朽による強度低下が明らかとなった(図 2.12.14)。一方、ベイマツ、ベイツガでは、既報による通常の繊維飽和点での強度値と同等であり、極端な強度低下を起こしているものはなく、腐朽はなかったと考えられる(図 2.12.15)。今回、約2年経過時の腐朽状況を確認したが、スギ辺材については今後、短い経過期間でのデータ蓄積が必要であると考えられる。また、スギ心材との比較も検討する必要がある。



写真 2.12.7 縦圧縮試験体の状況(左からベイマツ，ベイツガ，スギ辺材)

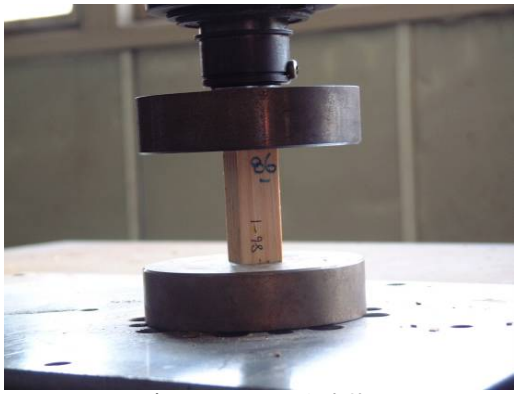


写真 2.12.8 試験状況

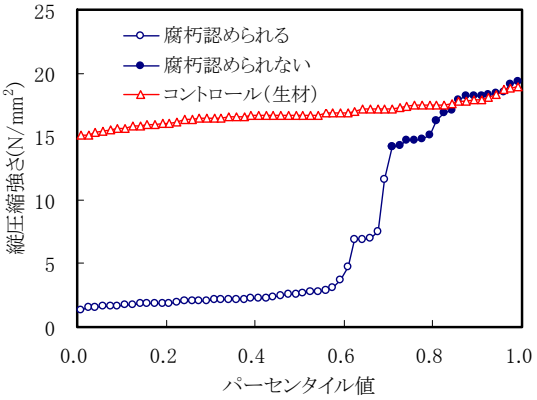


図 2.12.14 スギ辺材の縦圧縮強さの順位

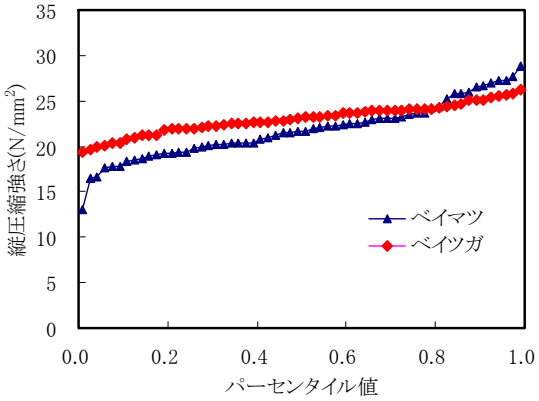


図 2.12.15 ベイマツ，ベイツガの縦圧縮強さの順位

5) 温湿度一定の環境下にある耐力面材

ボードとして選定した市販のシベリア産カラマツ構造用合板(以下;合板)、OSB(アスペン)について、恒温室(27℃, 85%RH)内に設置した水蒸気飽和状態のデシケータ内で腐朽試験を行い、1年間にわたり観察した(写真 2.12.9)。合板、OSBとも含水率が20%を超えた3ヶ月目からアオカビ類(顕微鏡観察での同定による)の繁殖が盛んとなり、1年後には、合板では引き続きアオカビ類のみ観察されたが、OSBではアオカビ類は少なくなり、担子菌と想定される菌類が観察された(図 2.12.16)。ボードの劣化について、曲げ試験による評価を試みたところ、曲げ強さは合板では約2/3に、OSBでは約1/2に減少していた(図 2.12.17)。

この結果は、既往文献に示される湿潤時の曲げ強度の低下度と同様の傾向となっており[1)]、本実験では腐朽の影響は少なかったと考えられる。



写真 2.12.9 OSBの腐朽試験の状況

また、同条件下で養生している木片試験体(ベイツガ、ベイマツ、スギ)は、試験開始後3ヶ月でカビの発生が認められたが、含水率は30%程度にとどまり腐朽には至っていない。

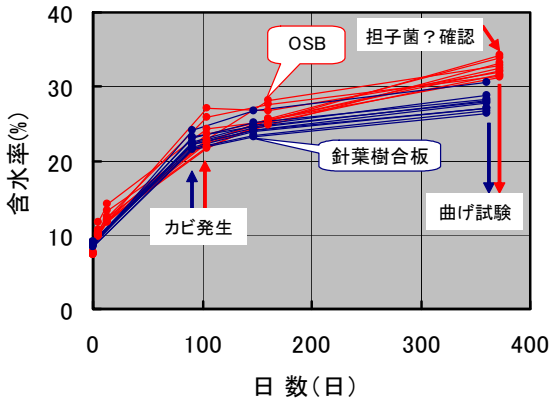


図 2.12.16　各木質ボード含水率の変移

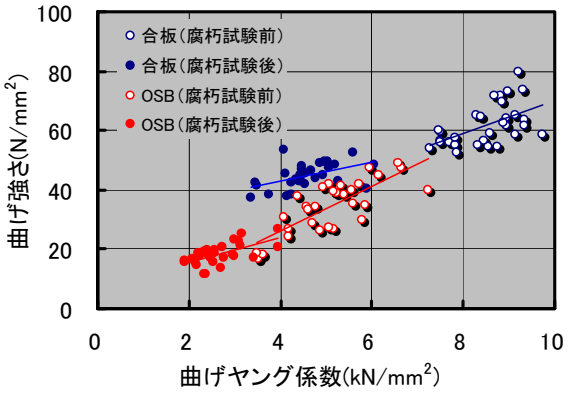


図 2.12.17　腐朽試験前後の曲げ強度性能

2.12.4 まとめ

実験はまだ現在も進行中であり、まだ最終的な知見を導き出すことはできないが、現時点での結果をまとめると以下のようになる。

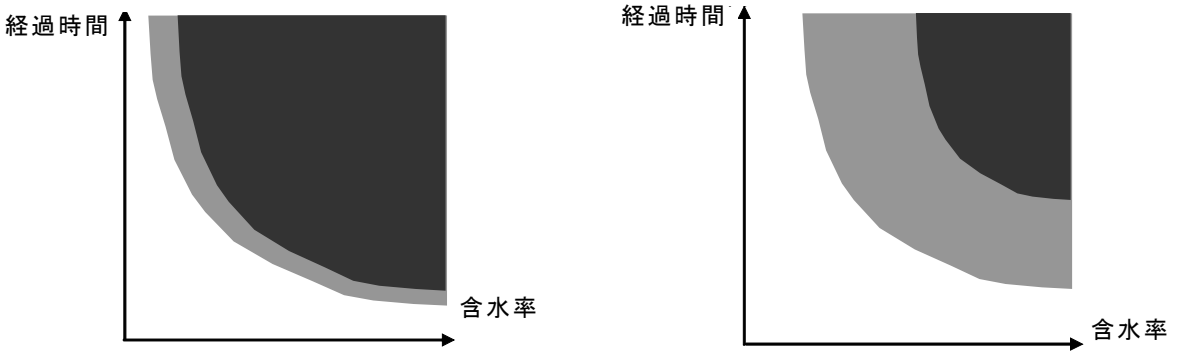
- 温湿度一定の環境下にある木材を対象にした実験(A2,A3)を行った結果、目視による木材腐朽が認められ、明確な強度低下が顕れたのは、30℃、湿度はほぼ100%に近い環境下で18週(約4ヶ月)以上置かれ、重量含水率が40～80%の範囲にあった木材である。
- 建築基準法で定められた基準強度を下回ったのは、上記の環境下で十数週以上置かれ、重量含水率が概ね30%以上に保たれていた木材である。
- 温湿度が日周期で変動する環境下にある木材を想定した実験を行った結果、水分滴下がある試験片では8～12週以降、カビ菌類が発生する恐れが大きい。しかし、124週を超える実験を行っても、木材の縦圧縮強度に影響をもたらすようなダメージは確認できない。
- 一時的に大量な水分で湿潤化し、乾燥を繰り返す木材を想定した実験を行った結果、30週以降に試験片表面が褐色化し、細胞膜に異変が生じる試験体があった。しかし、60週にわたる乾湿繰り返しでも木材の縦圧縮強度に大きな影響をもたらすようなダメージは確認できない。

これらの結果から、少なくとも木材の構造強度に影響を及ぼすようなダメージが発生するには、これまで想定されていたより、相当な期間と過酷な環境条件が必要と思われる。

これらのことは、物理的な性能という面から捉えた「木材の腐朽」という現象が、含水率の大小だけを因子と考えるだけでは不十分であり、提示された含水率が保持される時間も因子に加えねばならないことを示している。

今後、ダメージファンクション開発の方向を示し、本節のまとめとする(図 2.12.18)。これまでは図左に示すように、湿害という観点では「黒」の領域がかなりの部分を占めていた。しかし、この4年間の実験により、図右のように、「黒」の領域はかなり減少し、「灰色」もしくは「白」の領域が拡大したことは間違いない。今後は、「灰色」の領域、すなわち湿害に至るか至らないか、現時点で不明確な部分を明らかにし、環境条件と時間軸の中で湿害に関する関数式を開発していく所存である。そうなることで、壁体の熱・湿気数値解析などで湿害評価が可能となり、現在よりも多様な断熱外皮設計が可能になると思われる。

(鈴木大隆、北谷幸恵、柴和宏、永井久也)



(a)既往の湿害発生領域　　(b)本実験結果に基づく湿害発生領域

図 2.12.18　湿害発生領域の概念図

関連する発表論文

・鈴木大隆、岩前篤他,2つの環境条件下において生物的要因が木材の物理的性能に与える影響－主に断熱壁体の内部温湿度環境と湿害の観点から－、日本建築学会熱シンポジウム発表論文集,2001.10など

参考文献

※1　例えば、鈴木憲太郎:含水率範囲毎のベイツガ材の腐朽について、第36回木材学会大会要旨集..p 26,1986,4
※2　木材居住環境ハンドブック, 朝倉書店, 1995.
※3阿部恵子:住環境とカビ, 科学と工業, 68(8), pp 371～379, 1994.

2.13 木造断熱外皮設計上の知見

2.13.1 断熱性能の観点から

1) 断熱性能に関する技術的展開

次世代省エネルギー基準の施行とともに、仕様書や解説書、材料メーカーなどの技術伝達により標準的な断熱壁体構成は広く認知されるに至っている。しかし、情報が伝達されても、それが実行されなければ結局は何も変わらない。断熱化のメリットが付加価値となるのは、断熱が不可欠な寒冷地ではなくて、むしろ温暖地であるが、それを伝える手法・内容が必ずしも十分ではないこと、また、試行錯誤をサポートする技術的背景が不足しているのが現状の課題といえよう。

ここでは、現状の建築技術・施工技術の延長上にあって、しかしながら評価や物理的なメカニズムの解説がいままで十分になされてきていない事柄、すなわち、土塗壁の断熱化、軸組構造と空気の流れ、湿害にも深く関連する天井部位の断熱、ゼロエネルギー化には避けて通れない開口部の断熱強化について、その概略を説明する。

2) 土壁住宅の断熱強化について

日本では住宅のプレハブ化が進んでいるが、それでも着工棟数からすると全体の13.5%であり、依然として在来木造が多い。木舞を組み、丁寧に土壁を重ね塗りしていく住宅は伝統工法の最右翼であり、中部から近畿、中国地方の瀬戸内海側などに多くその事例が散見され、その比率はプレハブ住宅の比率にほぼ等しいといわれている。こうした住宅は最も断熱化とはほど遠い存在であり、施工者側も省エネルギーとは対極的な位置に存するが、現在でもそれ相応のシェアを占める土塗壁住宅の性能向上を図ることは避けて通ることはできないであろう。皮肉なことに、三重県や滋賀県、岡山県、山口県などの土壁住宅の多い地域は、最もプレハブ化が進んでいる地域でもある。

土壁は熱伝導率が低く断熱性が高いと一部に誤解されているが、それは真ではない。しかし熱容量があるために、見かけ上、熱負荷の平準化には役に立つ可能性がある。そうした非定常な伝熱特性のある壁体を断熱するとどうなるのだろうか。周期的定常条件での負荷比較をしてみる。土壁の壁体だけでの断熱性能は不十分であるが、これに30mm程度の断熱を付加することによって、実質50mm？程度の断熱性能を付与できる可能性があることがわかる。

3) 天井断熱に関する知見

空気は温度が高くなると軽くなる性質がある。これを浮力というが、この力によって空気の移動が生じる。外気温度が低くなる冬期は室温との差が大きくなり、寒冷地では20～30℃程度にもなる。そのため、外気との空気の出入りがある住宅内では定性的に下から上へと空気が流れることになる。空気移動量は気密性能に依存するが、一般に床下や1階の低い位置から外気が流入し、2階の壁や天井から室内空気が抜ける力が働く(図 2.13.1)。

炊事・入浴や人体からの水分発生など、生活に伴う水蒸気発生により加湿された室内空気の多くは小屋裏に抜ける。その際、断熱材外気側や野地板表面など露点温度以下の部位で結露を生じるのである。よく雨漏りと間違う天井面のしみなどは、実は結露の跡であることがほとんどである。

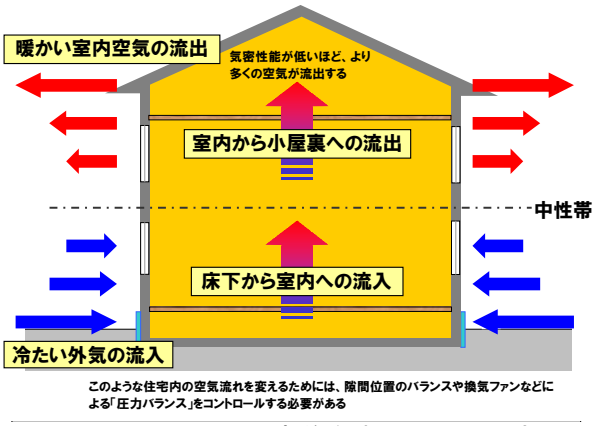


図 2.13.1 内外温度差を生じているときの住宅内部空気流れ

こうした天井断熱におけるリスクは、気密化技術や換気技術が定着するにつれて減少傾向にあるようだが、これからの断熱化が普及しつつある地域では必ずしもそうでもない。北海道などの寒冷地では、確かに防湿気密層の施工が一定レベルで定着してきており、小屋裏換気はフェイルセーフ的な役目を担うが、温暖地では必ずしもそうとは言い切れないのである。断熱施工にある程度注意を払う施工者でも、天井部分は袋入りグラスウールをそのまま敷き詰めるというところが少なくない。一昔前は袋入りグラスウールを適当に放り投げただけの施工もあったくらいだから、それに比べれば少しは正常化に向かっているが、最も気密施工に注意しなければならない天井面の気密施工が、最もおざなりになっているのが現状である。

小屋裏へ抜けた水分は換気で対処する対応は古くからあり、住宅金融公庫の仕様書等では有効換気面積などの設計ルールが定められている。外気に対して開口を設けるということは、すなわち外気と同じにすることであるが、必ずしも換気上、有効開口面積が確保されず、小屋裏の熱水分バランスが崩れているケースが多い。

天井部分の断熱は、結露防止のための措置が重要なのはいうまでもないが、少なくとも断熱材としての機能を保持するためには、まずは空気の流れを止めることが何より重要である。天井面は少なくとも袋入り断熱材を丁寧に隙間なく並べる程度では駄目なこと、必要であれば、屋根断熱や桁上断熱など確実に気密化できる手法を採用すべきであろう。

4) 壁内気流が断熱性能に与える影響

断熱材は、熱伝導率の低いガスを保持させることで伝熱を防ぐが、繊維系断熱材のような非常に通気性の高い材料は、外部風等の圧力が働くことにより繊維間に保持されている空気が移動し、劇的に断熱性能が低下する。特に断熱厚が厚くなる部位は、材料内の熱対流なども生じるため、適切に移流拡散を防止しなくてはならない。幸い100mm厚程度では、材料内の対流は大きくはないので、外部風対策をしっかりすれば問題はない。しかし、日本の伝統的な住宅は面的な部分からの移流のみではなく、住宅構造内に存在する多くの空隙が接続する構法であるため、こうした部分、すなわち根太床を利用し壁勝ちとなる外壁・間仕切壁等の存在を無視することはできない。こうした部位に生じる気流により断熱性能が低下するのはもちろん、室内側表面温度を低下させるので、室内輻射環境も悪化する。また、室内はもちろん床下や天井懐などを経由して移流に伴う水分移動が起こり、思いがけない部位での結露をはじめ、壁体内結露の主因にもなるので十分な対策が必要である。

5) 開口部の断熱強化

開口部は熱的に最も弱い部位であることは間違いない。そのため、開口部面積を最小にする方策は、寒冷地では一般的にとられた対応である。断熱性能が向上するとともにエネルギー消費は少なくなるが、外気温度の平均値が室内温度と等しくならない限り熱損失が生じるわけで、ゼロエネルギー化を図るためには日射等の自然エネルギーを利用することが不可欠になる。パッシブソーラー技術はもっともユビキタスな手法であり、今後、避けては通れない流れにもなるだろう。断熱性能が高くなると同時に開口部面積も増大させることが必要で、熱損失の大きな開口部の面積を増加させることはベクトルが全く異なることから、どこかに何がしかの工夫が必要となる。その工夫が開口部の断熱性能の可変化である。具体的には、日射の期待できる日中は有効に日射を採り入れ、熱損失にしかならない夜間は断熱戸などの工夫で開口部の断熱性能を強化することである。

図 2.13.2は、東京における開口部面積比率と熱損失量(エネルギー消費量)との関係を示したものである。日射受熱量は南鉛直面で90W/m^{2}を仮定しており、これらの日射受熱が有効に利用できることを想定した単純な試算である。通常は、開口部面積が大きくなると熱損失が増えることになるが、逆に日射受熱量が増加することで自然温度差が大きくなり、実質的にエネルギー消費量は低減する。

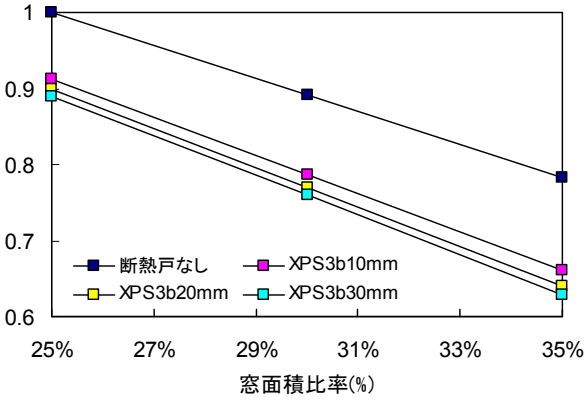


図 2.13.2 開口部面積と日射受熱による
エネルギー削減効果（東京：Ⅳ地域）

この比率は、外気温度の高くなる地域で顕著に効果がみられ、Ⅰ・Ⅱ地域よりもⅢ・Ⅳ地域になるほうが効果が高い。また、断熱戸を併用することで、より省エネルギー性能が向上する。例えば、窓面積比率が25%・断熱戸なしを基準にすると、窓面積比率35%・断熱戸XPS3b10mmを付けることで、約30～40%程度のエネルギー消費削減が可能となる。

6) 躯体断熱強化の効用

前項と同じ考え方で、例えばⅣ地域でⅡ地域の断熱仕様にしたときに、窓面積比率と断熱戸の効果がどのように変化するのかを試算した結果が図 2.13.3である。

窓面積比率25%、断熱戸なしを基準にすると、窓面積比率35%・断熱戸XPS3b30mmを夜間使用することで、実に60%近くのエネルギー消費削減が期待できることがわかる。このことからも、躯体の断熱性能はエネルギー消費の均一化で図るのではなく、構造的に可能な限り厚くすることが重要である。

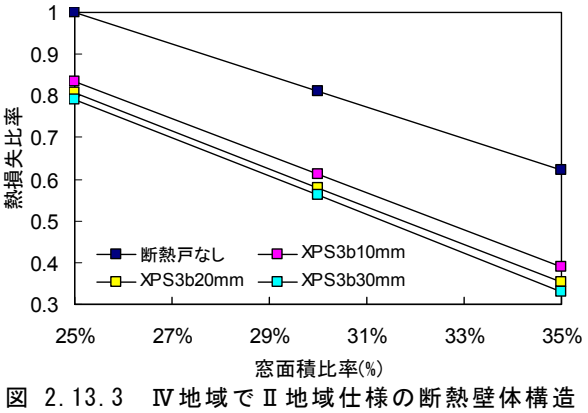


図 2.13.3 Ⅳ地域でⅡ地域仕様の断熱壁体構造
にしたときの開口部面積と日射受熱による
エネルギー削減効果

断熱化技術は寒冷地の技術であり温暖地は必要ない、という風潮が次世代省エネルギー基準以降、6年経った現在でもあまり変化しないようであるが、断熱化によって劇的に変化するのはむしろ温暖地であるということに、もっと関心が向いてもよいのではないだろうか。

（本間　義規）

2.14 RC造集合住宅の断熱設計ルールに関する検討

2.14.1 目的

RC造集合住宅における断熱工事に関しては、住宅の省エネルギー基準をはじめ、建築学会工事共通仕様書、断熱材メーカー団体による仕様書など多くの仕様書が示されている。

しかし実際には、省エネ基準に準拠した断熱化が、施工性、コスト、意匠性など総合的に設計施工計画を判断した場合に実施困難であるなどの理由から、省エネ基準を満たす設計を断念せざるを得ないケースが多々あるのが現状であろう。そして、そのことがRC造集合住宅における省エネ基準適合住宅の普及を阻害する要因のひとつとして考えることもできる。よって、省エネ基準適合住宅の普及率を向上させるためには、省エネ基準に準拠した断熱化を、実務現場の実情をより考慮したものとすることが必要と考えられる。

以上のような状況を鑑み、本RC部会では、実務現場に受け入れられやすい省エネ基準(仕様基準)案策定のために以下の項目について検討した。

①構造熱橋部の断熱補強仕様の緩和
防露性能を確保しつつ、また熱ロスも他の部位での補完が可能な範囲でできるだけ緩和する。
②部位間トレードオフの検討
内断熱における外壁断熱材の厚さ増が室内空間を圧迫することから、外壁断熱材の厚さをできるだけ低減し、その不足分を他の部位で補完し、また、構造熱橋部の断熱補強緩和に伴う熱ロス増の補完をするトレードオフ案を検討する。

(砂川 雅彦)

2.14.2 構造熱橋部の断熱補強仕様の緩和

1) 目的

RC造集合住宅の構造熱橋部は、住宅の省エネルギー基準の設計施工指針で熱損失の低減、結露防止のために適切な断熱補強を行うことが定められている。この設計施工指針によらない場合は、判断基準に基づいて計算等で断熱性能、防露性能を証明しなければならない。しかし、現実には設計施工指針に基づく断熱補強が困難な場合が多く、また、その場合の計算等による性能評価が設計上の大きな負担となっている。

以上のことを鑑み、断熱補強仕様緩和案策定のため、断熱補強仕様緩和案(必要R値、補強範囲)を設定した上で、室内側表面結露の危険性を計算により確認した。

2) 検討方法

定常二次元伝熱計算により室内側表面最低温度と露点温度との比較により防露性能を判定し

た。定常計算での結露判定がNGとなる場合は、非定常伝熱計算により追検討を行った。

3) 計算モデル

検討した構造熱橋部は、「表2.14.1構造熱橋部検討箇所」に示す「1. 外壁-床(バルコニー)取合い部」「2. 屋根-外壁取合い部」「3. 屋根-戸境壁取合い部」とし、各々の取り合い部について、躯体仕様を梁(内側)、壁構造、梁(外側)の3パターン設定した。

また断熱補強仕様は、躯体断熱が内断熱と外断熱の各々について現行規定、断熱補強無し、予備検討に基づき設定した最小断熱補強仕様(「表2.14.2 最小断熱補強仕様(案)」)、及び最小断熱補強仕様に梁断熱補強を加えた仕様とした。検討箇所別の検討断熱補強仕様を「表2.14.4検討断熱補強仕様一覧」に示す。

4) 計算条件

対象地域は、Ⅰ～Ⅳ地域とし、外気条件は各地域における主要都市の中で外気温の最も低い都市を想定して設定した。

Ⅰ地域 : 旭川 –12.0℃
Ⅱ地域 : 盛岡 –5.7℃
Ⅲ地域 : 松本 –5.2℃
Ⅳ地域 : 宇都宮 –3.1℃

室内条件は、15℃70%とし、その露点温度9.6℃を結露判定に用いた。

5) 計算結果

計算により結露判定をした結果を「表2.14.5防露性能検討結果」に示す。

(1) 内断熱における断熱補強仕様

内断熱における断熱補強仕様緩和については、以下のような傾向にあることが判った。

・断熱補強を省略することはできない。
・設定した最小断熱補強仕様案とすることは、防露上可能である。但し、Ⅱ地域における2。屋根-外壁取合い部・梁(内側)は、非定常計算においても暖房期間の一時期において露点温度を下回る(「図2.14.1定常計算NGモデルの非定常計算結果」参照)。
・最小断熱補強仕様案で設定した断熱補強材のR値(Ⅰ地域以外)は、Eタイプ断熱材で10㎜以下、Ⅳ地域の場合は断熱モルタルで約15㎜となる。「表2.14.3参考:断熱補強材料厚さ」参照

(2) 外断熱における断熱補強仕様

外断熱においては、断熱補強を省略することができそうである。Ⅰ地域においては、非定常計算においても、一時期露点温度を下回るケースがあるが、その実害の程度については今後検討の余地がある。(「図2.14.1定常計算NGモデルの非定常計算結果」参照)

6) まとめ

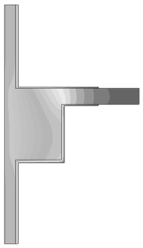
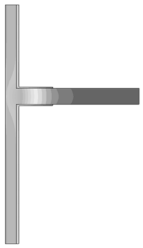
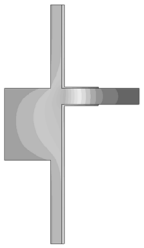
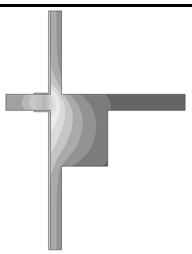
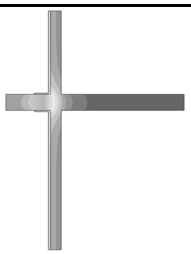
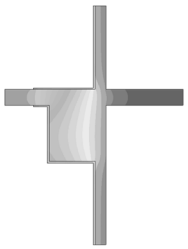
定常、及び非定常伝熱計算による構造熱橋部の防露性能の検討した結果、内断熱においては、断熱補強を省略することはできないが、断熱補強厚、補強範囲を大幅に緩和できることが判った。外断熱については、断熱補強省略の可能性のあることが判った。但し、いずれも防露性能上においてのことであり、断熱補強緩和による熱ロス増大が他の部位での補完可

能性について検討したうえで緩和仕様案の策定をしていくことになる。

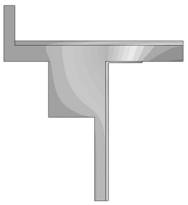
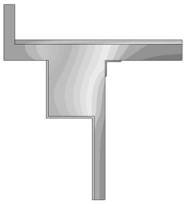
（砂川 雅彦 ／ 大西 啓之）

表 2.14.1 構造熱橋部検討箇所

1. 外壁-床(バルコニー)取合い部

	梁(内側)	壁構造	梁(外側)
■内断熱工法 /外壁【内断熱】-床スラブ	A 	B 	B' 
■外断熱工法 /外壁【外断熱】-バルコニ	C 	C' 	C" 

2. 屋根-外壁取合い部

	梁(内側)	壁構造	梁(外側)
■内断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【内断熱】	D 	D' 	D" 
■外断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【外断熱】	E 	E' 	E" 

3. 屋根-戸境壁取合い部

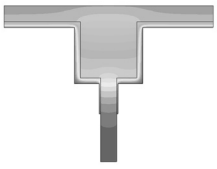
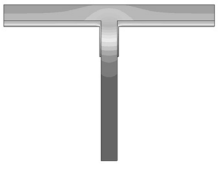
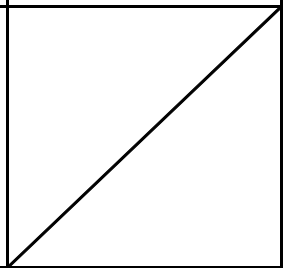
	梁(内側)	壁構造	梁(外側)
■内断熱工法 / 屋根【内断熱】-戸境壁	F 	F' 	

表 2.14.2 最小断熱補強仕様（案）

取り合い部	躯体構造	断熱補強仕様	Ⅰ		Ⅱ		Ⅲ		Ⅳ		補強範囲の基点
			R値	補強範囲	R値	補強範囲	R値	補強範囲	R値	補強範囲	
外壁-床（バルコニー）【内断熱】	A 梁（内側）	最小断熱補強仕様(案)	**0.6**	**700**	**0.3**	**500**	**0.3**	**500**	**0.2**	**400**	壁躯体外面
		現行規定	0.6	900	0.6	600	0.6	600	0.6	450	梁内面
	B 壁構造 B’ 梁（外側）	最小断熱補強仕様(案)	**0.6**	**300**	**0.3**	**200**	**0.3**	**200**	**0.2**	**200**	壁内面
		現行規定	0.6	900	0.6	600	0.6	600	0.6	450	壁内面
屋根-戸境壁【内断熱】	F 梁（内側）	最小断熱補強仕様(案)	**0.6**	**700**	**0.3**	**500**	**0.3**	**500**	**0.2**	**400**	梁下端
		現行規定	0.6	900	0.6	600	0.6	600	0.6	450	スラブ上面
	F’ 壁構造	最小断熱補強仕様(案)	**0.6**	**300**	**0.3**	**200**	**0.3**	**200**	**0.2**	**200**	スラブ下面
		現行規定	0.6	900	0.6	600	0.6	600	0.6	450	スラブ下面
屋根-外壁【内断	D 梁（内、外）、壁構造	最小断熱補強仕様(案)									
		現行規定	0.6	900	0.6	600	0.6	600	0.6	450	梁室内側表面
【外断熱】	C,E 梁（内、外）、壁構造	最小断熱補強仕様(案)									
		現行規定	0.6	450	0.6	300	0.6	300	0.6	200	梁室内側表面

表 2.14.3 参考：断熱補強材料厚さ

材料名		熱伝導率 (W/㎡K)	R値別材料厚さ(㎜)		
			R=0.2	R=0.3	R=0.6
断熱材	A-1	0.052	10.4	15.6	31.2
	A-2	0.05	10.0	15.0	30.0
	B	0.045	9.0	13.5	27.0
	C	0.04	8.0	12.0	24.0
	D	0.034	6.8	10.2	20.4
	E	0.028	5.6	8.4	16.8
	F	0.022	4.4	6.6	13.2
断熱モルタル		0.081	16.2	24.3	48.6

表 2.14.4 検討断熱補強仕様一覧

1．外壁-床（バルコニー）取合い部

■内断熱工法 / 外壁【内断熱】-床スラブ	
A 梁（内側）	[現行規定]
	断熱補強なし
	断熱補強なし＋梁断熱
	最小断熱補強
	最小断熱補強+梁断熱（断熱補強厚）
	最小断熱補強+梁断熱（R=0.6）
	最小断熱補強+梁断熱（外壁断熱厚）
B 壁構造	[現行規定]
	断熱補強なし
	最小断熱補強
B’ 梁（外側）	[現行規定]
	断熱補強なし
	最小断熱補強

■外断熱工法 / 外壁【外断熱】-バルコニー	
C 梁（内側）	[現行規定]（外側断熱補強）
	[現行規定]（内側断熱補強）
	断熱補強なし
C’ 壁構造	[現行規定]（外側断熱補強）
	[現行規定]（内側断熱補強）
	断熱補強なし
C” 梁（外側）	[現行規定]（外側断熱補強）
	[現行規定]（内側断熱補強）
	断熱補強なし

2．屋根-外壁取合い部

■内断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【内断熱】	
D 梁（内側）	[現行規定]
	最小断熱補強+梁断熱（断熱補強厚）
D’ 壁構造	[現行規定]
D” 梁（外側）	[現行規定]

■外断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【外断熱】	
E 梁（内側）	[現行規定]
	断熱補強なし
E’ 壁構造	[現行規定]
	断熱補強なし
E” 梁（外側）	[現行規定]
	断熱補強なし

3．屋根-戸境壁取合い部

■内断熱工法 / 屋根【内断熱】-戸境壁	
F 梁（内側）	[現行規定]（梁断熱:屋根断熱厚）
	[現行規定]（梁断熱:断熱補強厚）
	最小断熱補強
	最小断熱補強+梁断熱（断熱補強厚）
	最小断熱補強+梁断熱（屋根断熱厚）
F’ 壁構造	[現行規定]
	最小断熱補強

表 2.14.5 防露性能検討結果

室内側表面最低温度＞露点温度　◎:定常計算でOK　△:非定常計算で一部NG　○:非定常計算でOK　×:NG

1. 外壁-床(バルコニー)取合い部

■内断熱工法 / 外壁【内断熱】-床スラブ		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
A 梁(内側)	[現行規定]	◎	◎	◎	◎
	断熱補強なし	×	×	×	×
	断熱補強なし＋梁断熱	×	×	×	×
	最小断熱補強	◎	◎	◎	◎
	最小断熱補強+梁断熱(断熱補強厚)	◎	◎	◎	◎
	最小断熱補強+梁断熱(R=0.6)	◎	◎	◎	◎
	最小断熱補強+梁断熱(外壁断熱厚)	◎	◎	◎	◎
B 壁構造	[現行規定]	◎	◎	◎	◎
	断熱補強なし	×	×	×	×
	最小断熱補強	◎	◎	◎	◎
B' 梁(外側)	[現行規定]	◎	◎	◎	◎
	断熱補強なし	×	×	×	×
	最小断熱補強	◎	◎	◎	◎

■外断熱工法 / 外壁【外断熱】-バルコニー		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
C 梁(内側)	[現行規定](外側断熱補強)	◎	◎	◎	◎
	[現行規定](内側断熱補強)	◎	◎	◎	◎
	断熱補強なし	△	◎	○	◎
C' 壁構造	[現行規定](外側断熱補強)	◎	◎	◎	◎
	[現行規定](内側断熱補強)	◎	◎	◎	◎
	断熱補強なし	○	◎	◎	◎
C" 梁(外側)	[現行規定](外側断熱補強)	◎	◎	◎	◎
	[現行規定](内側断熱補強)	△	○	○	◎
	断熱補強なし	○	◎	◎	◎

2. 屋根-外壁取合い部

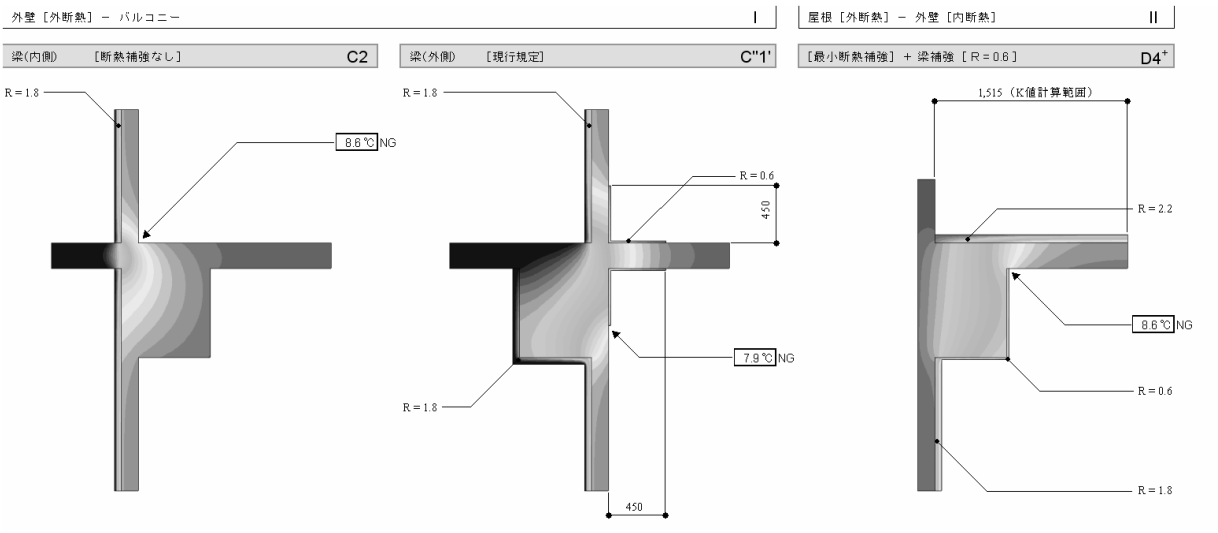
■内断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【内断熱】		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
D 梁(内側)	[現行規定]	◎	◎	◎	◎
	最小断熱補強+梁断熱(断熱補強厚)	×	△	○	○
D' 壁構造	[現行規定]	◎	◎	◎	◎
D" 梁(外側)	[現行規定]	◎	◎	◎	◎

■外断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【外断熱】		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
E 梁(内側)	[現行規定]	◎	◎	◎	◎
	断熱補強なし	◎	◎	◎	◎
E' 壁構造	[現行規定]	◎	◎	◎	◎
	断熱補強なし	◎	◎	◎	◎
E" 梁(外側)	[現行規定]	○	◎	◎	◎
	断熱補強なし	◎	◎	◎	◎

3. 屋根-戸境壁取合い部

■内断熱工法 / 屋根【内断熱】-戸境壁		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
F 梁(内側)	[現行規定](梁断熱:屋根断熱厚)	◎	◎	◎	◎
	[現行規定](梁断熱:断熱補強厚)	◎	◎	◎	◎
	最小断熱補強	◎	◎	◎	◎
	最小断熱補強+梁断熱(断熱補強厚)	◎	◎	◎	◎
	最小断熱補強+梁断熱(屋根断熱厚)	◎	◎	◎	◎
F' 壁構造	[現行規定]	◎	◎	◎	◎
	最小断熱補強	◎	◎	◎	◎

a 【定常計算結果】



b 【非定常計算結果】

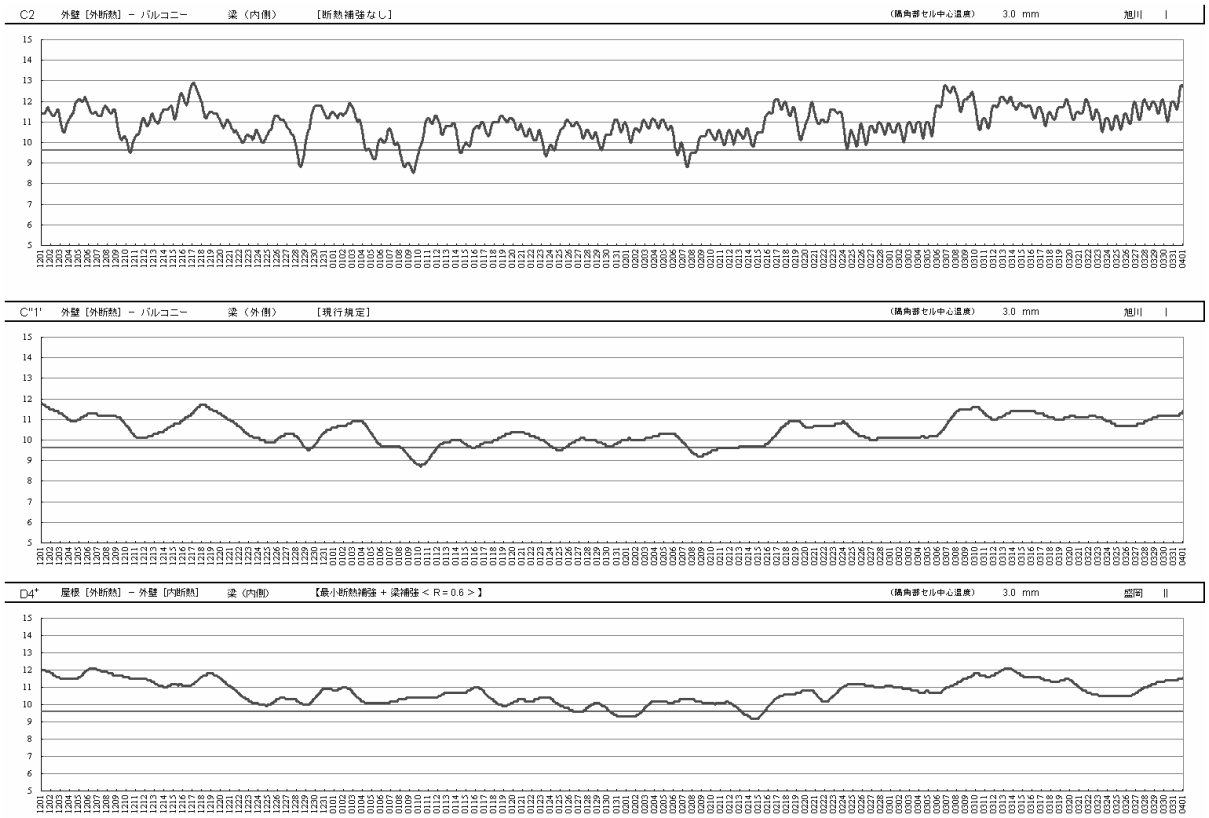


図 2.14.1　定常計算NGモデルの非定常計算計算結果

2.14.3 構造熱橋部の簡易計算法

2.14.2構造熱橋部の断熱補強仕様の緩和において検討したモデルについて、定常二次元伝熱計算の出力データから構造熱橋部の熱貫流率を求めた。また、構造熱橋部の実質熱貫流率を簡易的

に求めるための低減係数aHも併せて求めた。計算結果を「表 2.14.6構造熱橋部の熱貫流率」、「表 2.14.7構造熱橋部の低減係数aH」に示す。

表 2.14.6 構造熱橋部の熱貫流率

1. 外壁-床(バルコニー)取合い部　　＊網掛けは、防露上NG

■内断熱工法 / 外壁【内断熱】-床スラブ		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
A 梁(内側)	[現行規定]	0.754	0.758	0.729	0.732
	断熱補強なし				2.100
	断熱補強なし＋梁断熱	1.336	1.346	1.320	1.320
	最小断熱補強	1.576	1.745	1.587	1.734
	最小断熱補強+梁断熱(断熱補強厚)	1.222	1.475	1.326	1.494
	最小断熱補強+梁断熱(R=0.6)		1.271	1.116	1.182
	最小断熱補強+梁断熱(外壁断熱厚)	0.838	0.962	0.930	1.005
B 壁構造	[現行規定]	0.598	0.617	0.624	0.642
	断熱補強なし				1.056
	最小断熱補強	0.682	0.809	0.819	0.861
B' 梁(外側)	[現行規定]	0.535	0.539	0.507	0.525
	断熱補強なし				0.858
	最小断熱補強	0.607	0.701	0.669	0.702

■外断熱工法 / 外壁【外断熱】-バルコニー		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
C 梁(内側)	[現行規定](外側断熱補強)	0.539	0.571	0.506	0.563
	[現行規定](内側断熱補強)	0.497	0.514	0.308	0.398
	断熱補強なし	0.908	0.907	0.863	0.863
C' 壁構造	[現行規定](外側断熱補強)	0.608	0.658	0.506	0.707
	[現行規定](内側断熱補強)	0.635	0.706	0.617	0.737
	断熱補強なし	1.034	0.907	1.073	1.073
C" 梁(外側)	[現行規定](外側断熱補強)	0.722	0.721	0.644	0.656
	[現行規定](内側断熱補強)	0.953	1.048	0.875	1.010
	断熱補強なし	1.418	1.405	1.313	1.313

2. 屋根-外壁取合い部

■内断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【内断熱】		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
D 梁(内側)	[現行規定]	0.118	0.072	0.039	0.072
	最小断熱補強+梁断熱(断熱補強厚)		0.692	0.496	0.496
D' 壁構造	[現行規定]	0.313	0.323	0.313	0.362
D" 梁(外側)	[現行規定]	0.186	0.173	0.118	0.153

■外断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【外断熱】		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
E 梁(内側)	[現行規定]	0.075	0.042	-0.173	-0.114
	断熱補強なし	0.333	0.317	0.215	0.215
E' 壁構造	[現行規定]	0.320	0.382	0.317	0.398
	断熱補強なし	0.555	0.594	0.588	0.588
E" 梁(外側)	[現行規定]	0.424	0.493	0.372	0.441
	断熱補強なし	0.617	0.643	0.558	0.558

3. 屋根-戸境壁取合い部

■内断熱工法 / 屋根【内断熱】-戸境壁		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
F 梁(内側)	[現行規定](梁断熱:屋根断熱厚)	0.439	0.463	0.468	0.545
	[現行規定](梁断熱:断熱補強厚)	0.962	0.933	0.923	0.995
	最小断熱補強	1.183	1.365	1.355	1.554
	最小断熱補強+梁断熱(断熱補強厚)	1.019	1.188	1.178	0.995
	最小断熱補強+梁断熱(屋根断熱厚)	0.541	0.559	0.562	0.634
F' 壁構造	[現行規定]	0.494	0.507	0.504	0.597
	最小断熱補強	0.577	0.676	0.676	0.771

表 2.14.7 構造熱橋部の低減係数aH

1. 外壁-床(バルコニー)取合い部 ＊網掛けは、防露上NG

■内断熱工法 /	外壁【内断熱】-床スラブ	現行規定	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
A 梁(内側)	[現行規定]	0.750	0.884	0.889	0.854	0.858
	断熱補強なし					2.461
	断熱補強なし＋梁断熱	1.000	1.566	1.578	1.547	1.547
	最小断熱補強		1.847	2.045	1.859	2.032
	最小断熱補強+梁断熱(断熱補強厚)		1.432	1.729	1.554	1.750
	最小断熱補強+梁断熱(R=0.6)			1.490	1.307	1.385
	最小断熱補強+梁断熱(外壁断熱厚)	1.000	0.982	1.128	1.090	1.177
B 壁構造	[現行規定]	0.500	0.701	0.723	0.731	0.752
	断熱補強なし	1.000				1.237
	最小断熱補強	1.000	0.799	0.948	0.959	1.009
B' 梁(外側)	[現行規定]	0.500	0.627	0.632	0.594	0.615
	断熱補強なし	1.000				1.005
	最小断熱補強	1.000	0.711	0.822	0.784	0.822

■外断熱工法 /	外壁【外断熱】-バルコニー	現行規定	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
C 梁(内側)	[現行規定](外側断熱補強)	0.750	0.632	0.670	0.593	0.660
	[現行規定](内側断熱補強)	0.500	0.583	0.603	0.361	0.467
	断熱補強なし	1.000	1.064	1.063	1.012	1.012
C' 壁構造	[現行規定](外側断熱補強)	0.750	0.713	0.772	0.593	0.829
	[現行規定](内側断熱補強)	0.750	0.745	0.828	0.723	0.864
	断熱補強なし	1.000	1.212	1.063	1.258	1.258
C" 梁(外側)	[現行規定](外側断熱補強)	0.750	0.846	0.845	0.755	0.769
	[現行規定](内側断熱補強)	1.000	1.117	1.228	1.026	1.184
	断熱補強なし	1.000	1.662	1.647	1.539	1.539

2. 屋根-外壁取合い部

■内断熱工法 /	屋根【外断熱】-外壁【内断熱】	現行規定	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
D 梁(内側)	[現行規定]	0.500	0.139	0.084	0.046	0.084
	最小断熱補強+梁断熱(断熱補強厚)			0.811	0.582	0.582
D' 壁構造	[現行規定]	0.500	0.367	0.379	0.367	0.425
D" 梁(外側)	[現行規定]	0.500	0.218	0.203	0.138	0.180

■外断熱工法 /	屋根【外断熱】-外壁【外断熱】	現行規定	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
E 梁(内側)	[現行規定]	0.500	0.088	0.050	-0.203	-0.134
	断熱補強なし	0.750	0.390	0.371	0.253	0.253
E' 壁構造	[現行規定]	0.750	0.320	0.382	0.317	0.398
	断熱補強なし	1.000	0.650	0.696	0.689	0.689
E" 梁(外側)	[現行規定]	0.500	0.424	0.493	0.372	0.441
	断熱補強なし	1.000	0.723	0.754	0.654	0.654

3. 屋根-戸境壁取合い部

■内断熱工法 /	屋根【内断熱】-戸境壁	現行規定	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
F 梁(内側)	[現行規定](梁断熱:屋根断熱厚)	0.750	0.604	0.636	0.644	0.750
	[現行規定](梁断熱:断熱補強厚)		1.323	1.284	1.269	1.368
	最小断熱補強		1.627	1.877	1.863	2.137
	最小断熱補強+梁断熱(断熱補強厚)		1.402	1.634	1.620	1.368
	最小断熱補強+梁断熱(屋根断熱厚)	1.000	0.744	0.769	0.772	0.871
F' 壁構造	[現行規定]	0.500	0.679	0.697	0.694	0.821
	最小断熱補強	1.000	0.794	0.930	0.930	1.061

1) 外壁-床（バルコニー）取合い部

A:内断熱、梁(内側)

最小断熱補強案仕様における低減係数は、1.8～2.0となるため住戸全体の熱損失に与える影響が大きく、他の部位での補完も困難と考えられる。梁部の断熱補強を併用することが現実的と考えられる。

B、B':内断熱、壁構造・梁(外側)

壁構造、梁(外側)の場合は、最小断熱補強案仕様において、現行規定の低減係数1.0よりも小さい値(熱ロスが小さい)である。

C、C'、C":外断熱

梁(内側)、壁構造の場合は、断熱補強無し

で低減係数1.0～1.2となる。同じ外断熱であっても、梁(外側)は熱ロスが大きく、低減係数が1.5以上であるため、熱ロス対策上最小断熱補強仕様の検討も必要と考えられる。

2) 屋根-外壁取合い部

内断熱(D、D'、D")、外断熱(E、E'、E")ともに現行規定の低減係数を下回る。特に外断熱は、断熱補強を省略した上に低減係数も1.0以下となっている。

3) 屋根-戸境壁取合い部

梁がある場合は、最小断熱補強のみでは低減係数が1.6～2.1となるため、梁の断熱補強も併用した方が現実的と考えられる。梁のない壁構造の場合は、最小断熱補強でほぼ1.0以下であるため緩和案として現実的であると考えられる。

以上のことから、断熱補強仕様の緩和に伴う熱ロスは、断熱工法(内断熱か外断熱か)と梁の位置(内か外か)によって傾向が異なることが判った。

よって、緩和規定の策定については、断面形状に応じて断熱補強仕様を定める必要があると考えられる。

(砂川 雅彦 ／ 大西 啓之)

2.14.4 RC集合住宅トレードオフ基準の検討

1) 目的と検討方法

断熱材中のフロン等地球温暖化ガスを環境負荷の小さいガスに変換した場合、熱伝導率が大きくなるため断熱材の施工厚さを増す必要がある。RC集合住宅で多く使用されている吹き付けウレタン内断熱工法においては開口周りや各取り合い部の寸法が変わるため建築コストの増大が予想される。一方、最近注目されている外断熱工法では熱橋部断熱補強を室内側で行う場合が多く、室内外の断熱工事を行わなければならず工事が煩雑となるためH11年基準(次世代省エネ基準)普及の障害となっていた。そこで、住戸としてのQ値を維持しながら、施工性に配慮した採用しやすい各部位の断熱性能の組み合わせをⅣ地区において検討した。住居のQ値は以下の式で表されることから、モデルプランを作成し各部位面積からQ値を算出し、Q値基準の2.70を下回る組み合わせを評価した。

$$Q=(Aw*Kw+Ar*Kr+Ahb*aH*Khb+Am*Km+0.35*V*n)/S$$

A:該当する部位面積 K:その部位の熱貫流値
V:気積 n:換気回数 S:床面積 aH:熱橋係数
w:壁部 r:屋根部 hb:熱橋部 m:開口部

2) 建築プランと計算ルール

対象住戸はもっとも熱損失が大きいと考えられる西側最上階妻側住戸とし、H11年基準策定時に使用された各部位面積とほぼ一致するような標準平面プランを作成し、各部位の面積を算出した。又、近年の集合住宅では大きな開口サッシを使用する場合が多い事から、①標準プランに加え②南側にハイサッシを使用し開口率を大きくした場合と、③西側に開口をも

うけた場合、④両方を採用した場合の4パターンとした。RC集合住宅のQ値計算では、各部位の熱損失量の中でも熱橋のしめる割合が比較的大きい。更に今後、隣接住戸間の遮音性を増すために床スラブ、戸境壁を厚くし熱橋が増えることが予想されることから、躯体構造は①標準プランに加え、②厚さを増した高級プランの2パターンとした。

躯体断熱の組み合わせは一般的に実施されている①すべて内断熱とした場合、②壁を内断熱、屋根を外断熱とした場合、③すべて外断熱とした場合の3パターンを検討対象とした。又、躯体構造は①壁式構造、②梁型が室外側になる場合、③梁型が室内側にある場合の3パターンとした。

部位の断熱性能の増減については次のルールを設けた。開口部は近年大きく改良され、乙種防火認定を取得した樹脂サッシやドアなど高断熱化が進んでいる。そこでⅣ地区仕様規定H-1ランク(R=0.215m^{2}K/W)からH-3ランク(R=0.287m^{2}K/W)まで強化できるとした。

各部位断熱の内、天井(屋根)断熱は現行仕様規定より薄くした場合、最上階の夏期室内環境の悪化が懸念されることから薄くすることは好ましくないため、仕様規定を最低として最大施工厚は100mmまで可能とした。壁断熱の場合、内断熱では現行仕様規定Eランク(λ=0.028W/mK)35mmからDランク(λ=0.034W/mK)35mmに緩和したケースを検討対象とした。外断熱では現行仕様規定のままとした。

熱橋部は熱橋部の形状と断熱補強の方法により熱橋係数aHを用いて処理される。今回の検討では2.14.2、2.14.3節で新たに算出された熱橋係数を用いて検討を行った。

特に外断熱では断熱補強を行わなくても結露が発生しないことが確認されたため補強を取りやめ、これにより増加する熱損失を他の部位の断熱強化により補うこととした。熱橋係数を表 2.14.9、表 2.14.10、表 2.14.11に示す。

計算に当たっては①開口部強化を優先的に行った場合、②天井(屋上)断熱強化を優先的に行った場合、③壁断熱強化を優先的に行った場合の3パターンで検討した。

3) 結果

許容される断熱の組み合わせを表 2.14.12、表 2.14.13、表 2.14.14に示す。壁面積に対する開口率が20%前後の場合(標準プラン・南ハイサッシプラン)、壁式・梁外・梁内いずれの構造に於いても開口部を強化することによって基準値を下回ることが分かる。しかし、開口箇所を増やした25%前後の場合(西開口・南ハイサッシ＋西開口)では、開口部の強化に加え、天井(屋上)断熱を大幅に強化する必要がある。又、内断熱では梁外の場合が、外断熱の場合は梁内の方が有利な結果が得られた。更に床スラブ・戸境壁を厚くした高級プランでは基準値を満足する断熱メニューが作成できない場合が見られる。以上の結果から躯体形状・開口率に合わせた断熱方法や開口部メニューが必要であることが分かった。今後Ⅳ地区以外の地域に関しても検討し、部位間トレードオフのルールを作成する予定である。

(小浦　孝次・八木　一彰)

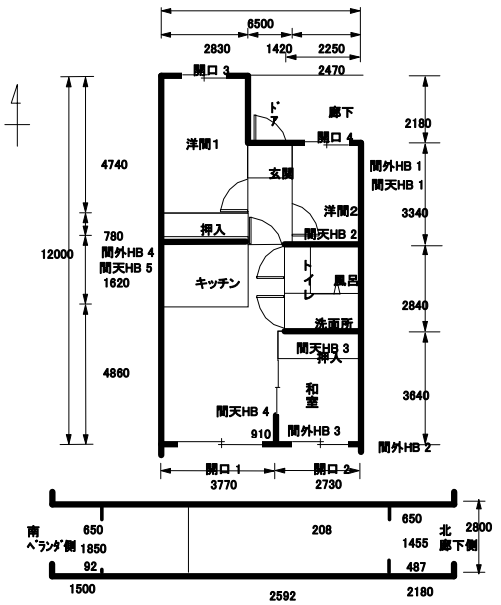


図 2.14.2　検討用　RC集合住宅平面プラン

表 2.14.8 各部位基準面積と形状

通常ﾌﾟﾗﾝ(床ｽﾗﾌﾞ200mm:天井ｽﾗﾌﾞ150mm:戸境壁150mm:外壁135mm:間仕切り150mm)
高級ﾌﾟﾗﾝ(床ｽﾗﾌﾞ250mm:天井ｽﾗﾌﾞ150mm:戸境壁200mm:外壁150mm:間仕切り150mm)

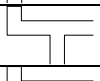
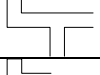
	部位名称	方位	形状	基準面積	
				標準	高級
熱橋部	①床・壁 取合い部	東		0.436	0.545
		西		2.4	3.0
		南		1.3	1.625
		北-1		0.734	0.9175
		北-2		0.566	0.7075
	②天井・壁 取合い部	東		0.327	0.327
		西		1.8	1.8
		南		0.975	0.975
		北-1		0.5505	0.5505
		北-2		0.4245	0.4245
	③戸境壁・壁取合い部	南		0.19875	0.265
		北		0.19875	0.265
	④間仕切り・壁取り合い部	西		0.3975	0.3975
		南		0.3975	0.3975
	⑤戸境壁・天井取り合い部	東		0.7365	0.982
	⑥間仕切り・天井 取合い部	東-1		0.3705	0.3705
		東-2		0.3705	0.3705
		西		0.4245	0.4245
		南		0.1365	0.1365
開口部	⑦開口	南-1	引き違い 2.60w*2.070h	5.382	5.382
			引き違い・ﾊｲｻｯｼ 2.60w*2.270h	5.902	5.902
		南-2	引き違い 1.69w*2.070h	3.4983	3.4983
			引き違い・ﾊｲｻｯｼ 1.69w*2.270h	3.632	3.632
		北-1	引き違い 1.235w*1.57h	1.93895	1.93895
		北-2	引き違い 1.235w*1.37h	1.69195	1.69195
		ドア	引き違い 0.785w*1.92h	1.5072	1.5072
		西-1,2	引き違い 1.235w*0.97h、1.64w*1.17h	3.11675	3.11675
外壁部	⑧壁	東	熱橋・開口含む 2.18*(2.8-0.15)	5.777	5.777
		西	熱橋・開口含む 12.0*(2.8-0.15)	31.8	31.8
		南	熱橋・開口含む 6.5*(2.8-0.15)	17.225	17.225
		北	熱橋・開口含む 6.5*(2.8-0.15)	17.225	17.225
	⑨天井	天井	70	70	70

表 2.14.9 熱橋係数（壁式）

部位名称			すべて内断		屋根外断・壁内断		すべて外断			
			(補強有り)		(補強有り)		断熱補強有り		断熱補強無し	
	方位	形状	仕様規定	再計算	仕様規定	再計算	仕様規定	再計算	仕様規定	再計算
①床・壁 取合い部	東		0.5	0.752	0.5	0.752	0.75	0.829	1.0	1.258
	西		0.5	0.752	0.5	0.752	0.75	0.829	1.0	1.258
	南		0.5	0.752	0.5	0.752	0.75	0.829	1.0	1.258
	北-1		0.5	0.752	0.5	0.752	0.75	0.829	1.0	1.258
	北-2		0.5	0.752	0.5	0.752	0.75	0.829	1.0	1.258
②天井・壁 取合い部	東		－	－	0.5	0.425	0.75	0.467	1.0	0.689
	西		－	－	0.5	0.425	0.75	0.467	1.0	0.689
	南		－	－	0.5	0.425	0.75	0.467	1.0	0.689
	北-1		－	－	0.5	0.425	0.75	0.467	1.0	0.689
	北-2		－	－	0.5	0.425	0.75	0.467	1.0	0.689
③戸境壁・壁取合い部	南		0.5	0.615	0.5	0.752	0.75	0.467	1.0	0.689
	北		0.5	0.615	0.5	0.752	0.75	0.467	1.0	0.689
④間仕切り・壁取り合い部	西		0.5	0.752	0.5	0.752	－	－	－	－
	南		0.5	0.752	0.5	0.752	－	－	－	－
⑤戸境壁・天井 取り合い部	東		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－
⑥間仕切り・天井 取合い部	東-1		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－
	東-2		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－
	西		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－
	南		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－

表 2.14.10 熱橋係数（梁外）

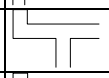
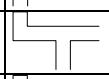
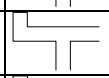
部位名称			すべて内断		屋根外断・壁内断		すべて外断			
			(補強有り)		(補強有り)		断熱補強有り		断熱補強無し	
	方位	形状	仕様規定	再計算	仕様規定	再計算	仕様規定	再計算	仕様規定	再計算
①床・壁 取合い部	東		0.5	0.615	0.5	0.615	0.75	0.769	1.0	1.539
	西		0.5	0.615	0.5	0.615	－	－	－	－
	南		0.5	0.615	0.5	0.615	0.75	0.769	1.0	1.539
	北-1		0.5	0.615	0.5	0.615	0.75	0.769	1.0	1.539
	北-2		0.5	0.615	0.5	0.615	－	－	－	－
②天井・壁 取合い部	東		－	－	0.5	0.180	0.5	0.516	1.0	0.654
	西		－	－	0.5	0.180	0.5	0.516	1.0	0.654
	南		－	－	0.5	0.180	0.5	0.516	1.0	0.654
	北-1		－	－	0.5	0.180	0.5	0.516	1.0	0.654
	北-2		－	－	0.5	0.180	0.5	0.516	1.0	0.654
③戸境壁・壁取合い部	南		0.5	0.615	0.5	0.615	－	－	－	－
	北		0.5	0.615	0.5	0.615	－	－	－	－
④間仕切り・壁取り合い部	西		0.5	0.752	0.5	0.752	－	－	－	－
	南		0.5	0.752	0.5	0.752	－	－	－	－
⑤戸境壁・天井 取り合い部	東		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－
⑥間仕切り・天井 取合い部	東-1		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－
	東-2		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－
	西		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－
	南		0.5	0.821	－	－	－	－	－	－

表 2.14.11　熱橋係数（梁内）

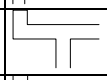
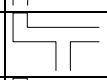
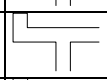
名称			すべて内断		屋根外壁内		すべて外断			
			(補強有り)		(補強有り)		断熱補強有り		断熱補強無し	
	方位	形状	仕様規定	再計算	仕様規定	再計算	仕様規定	再計算	仕様規定	再計算
①床・壁　取合い部	東		0.75	0.858	0.75	0.858	0.5	0.467	1.0	1.012
	西		0.75	0.858	0.75	0.858	—	—	—	—
	南		0.75	0.858	0.75	0.858	0.5	0.467	1.0	1.012
	北-1		0.75	0.858	0.75	0.858	0.5	0.467	1.0	1.012
	北-2		0.75	0.858	0.75	0.858	—	—	—	—
②天井・壁　取合い部	東		—	—	0.75	0.084	0.5	0.134	0.75	0.253
	西		—	—	0.5	0.084	0.5	0.134	0.75	0.253
	南		—	—	0.75	0.084	0.5	0.134	0.75	0.253
	北-1		—	—	0.75	0.084	0.5	0.134	0.75	0.253
	北-2		—	—	0.5	0.084	0.5	0.134	0.75	0.253
③戸境壁・壁取合い部	南		0.75	0.858	0.75	0.858	—	—	—	—
	北		0.75	0.858	0.75	0.858	—	—	—	—
④間仕切り・壁取り合い部	西		0.5	0.752	0.5	0.752	—	—	—	—
	南		0.5	0.752	0.5	0.752	—	—	—	—
⑤戸境壁・天井　取り合い部	東		0.75	0.750	—	—	—	—	—	—
⑥間仕切り・天井　取合い部	東-1		0.5	0.821	—	—	—	—	—	—
	東-2		0.5	0.821	—	—	—	—	—	—
	西		0.5	0.821	—	—	—	—	—	—
	南		0.5	0.821	—	—	—	—	—	—

表 2.14.12 許容される断熱の組み合わせ（壁式）

壁式・標準開口(室内壁面積に対する開口率 19.76%)

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	E30	E30	E40	E30	E30	E40
天井・屋根		D100	D85	D100	D85	E100	E60	E100	E60	E100	E60	E60	E100	E60	E60
開口	南	H-1	H-2	H-2	H-2	H-1	H-2	H-1	H-2	H-1	H-2	H-1	H-1	H-3	H-1
	北	H-2	H-2	H-2	H-2	H-1	H-3	H-2	H-3	H-1	H-3	H-1	H-2	H-3	H-1
	西	－	－												
	ﾄﾞｱ	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-2	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1
Q値		2.68	2.65	2.66	2.70	2.70	2.70	2.68	2.70	2.69	2.70	2.69	2.70	2.66	2.67

壁式・南ハイサッシ(室内壁面積に対する開口率 20.68%)

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	E30	E30	E45	E30	E30	E45
天井・屋根		D100	D85	D100	D85	E100	E60	E100	E60	E100	E60	E60	E100	E60	E60
開口	南	H-2	H-2	H-2	H-2	H-1	H-3	H-1	H-2	H-1	H-3	H-1	H-2	H-3	H-1
	北	H-2	H-2	H-2	H-3	H-2	H-3	H-2	H-3	H-2	H-3	H-1	H-2	H-3	H-2
	西	－	－												
	ﾄﾞｱ	H-1	H-1	H-1	H-2	H-1	H-1	H-1	H-2	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1
Q値		2.64	2.68	2.69	2.69	2.70	2.65	2.68	2.70	2.70	2.65	2.67	2.65	2.68	2.68

壁式・西開口(室内壁面積に対する開口率 24.15%)

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	D35	D35	NG	D35	NG	E30	NG	E45	E30	NG	E45
天井・屋根		D100	D85	D100	D85	E100		E100		E100		E60	E100		E60
開口	南	H-3	H-3	H-3	H-3	H-2		H-3		H-2		H-2	H-3		H-2
	北	H-2	H-3	H-3	H-3	H-3		H-3		H-3		H-2	H-3		H-3
	西	H-1	H-3	H-3	H-3	H-2		H-2		H-2		H-2	H-2		H-2
	ﾄﾞｱ	H-1	H-1	H-1	H-3	H-2		H-1		H-2		H-1	H-1		H-1
Q値		2.70	2.69	2.68	2.70	2.70		2.68		2.70		2.69	2.67		2.69

壁式・西開口＋南ハイサッシ(室内壁面積に対する開口率 25.07%)

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	NG	D35	NG	D35	NG	E30	NG	E45	E30	NG	E45
天井・屋根		D100	D85	D100		E100		E100		E100		E60	E100		E60
開口	南	H-3	H-3	H-3		H-3		H-3		H-3		H-2	H-3		H-3
	北	H-3	H-3	H-3		H-3		H-3		H-3		H-3	H-3		H-2
	西	H-1	H-2	H-3		H-2		H-2		H-2		H-2	H-2		H-2
	ﾄﾞｱ	H-1	H-2	H-1		H-1		H-2		H-1		H-1	H-1		H-1
Q値		2.70	2.70	2.70		2.66		2.70		2.66		2.69	2.70		2.68

表 2.14.13 許容される断熱の組み合わせ（梁外）

梁外・標準開口（室内壁面積に対する開口率 19.76%）

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	E30	E30	E40	E30	E30	E40
天井・屋根		D85	D85	D100	D85	E100	E60	E100	E60	E100	E60	E60	E100	E60	E60
開口	南	H-1	H-1	H-1	H-2	H-1	H-2	H-1	H-2	H-1	H-3	H-1	H-2	H-3	H-1
	北	H-1	H-1	H-2	H-2	H-1	H-2	H-1	H-3	H-2	H-3	H-1	H-2	H-3	H-1
	西	－	－												
	ﾄﾞｱ	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-2	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1
Q値		2.70	2.70	2.68	2.65	2.70	2.70	2.70	2.69	2.69	2.66	2.69	2.66	2.70	2.67

梁外・南ハイサッシ（室内壁面積に対する開口率 20.68%）

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	E30	E30	E45	E30	E30	E45
天井・屋根		D100	D85	D100	D85	E100	E60	E100	E60	E100	E60	E60	E100	E60	E60
開口	南	H-1	H-2	H-2	H-2	H-1	H-2	H-2	H-3	H-2	H-3	H-1	H-2	H-3	H-1
	北	H-1	H-2	H-2	H-2	H-1	H-3	H-2	H-3	H-2	H-3	H-1	H-2	H-3	H-2
	西	－	－												
	ﾄﾞｱ	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-3	H-1
Q値		2.70	2.63	2.63	2.68	2.70	2.70	2.63	2.66	2.65	2.68	2.67	2.69	2.70	2.68

梁外・西開口（室内壁面積に対する開口率 24.15%）

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	D35	D35	NG	D35	NG	E30	NG	E45	E30	NG	E45
天井・屋根		D100	D85	D100	D85	E100		E100		E100		E60	E100		E60
開口	南	H-2	H-2	H-3	H-3	H-2		H-2		H-3		H-2	H-3		H-2
	北	H-2	H-3	H-3	H-3	H-2		H-3		H-3		H-2	H-3		H-3
	西	H-2	H-2	H-2	H-2	H-2		H-2		H-2		H-2	H-2		H-2
	ﾄﾞｱ	H-1	H-2	H-2	H-2	H-2		H-2		H-1		H-1	H-2		H-1
Q値		2.70	2.70	2.63	2.68	2.70		2.70		2.66		2.69	2.69		2.69

梁外・西開口＋南ハイサッシ（室内壁面積に対する開口率 25.07%）

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	D35	D35	NG	D35	NG	E30	NG	E45	E30	NG	E45
天井・屋根		D100	D85	D100	D85	E100		E100		E100		E60	E100		E60
開口	南	H-2	H-3	H-3	H-3	H-2		H-3		H-3		H-3	H-3		H-3
	北	H-3	H-3	H-3	H-3	H-3		H-3		H-3		H-2	H-3		H-3
	西	H-2	H-2	H-2	H-2	H-2		H-1		H-2		H-2	H-3		H-2
	ﾄﾞｱ	H-2	H-2	H-2	H-2	H-2		H-1		H-1		H-1	H-2		H-1
Q値		2.69	2.66	2.66	2.70	2.70		2.69		2.69		2.68	2.69		2.69

表 2.14.14 許容される断熱の組み合わせ（梁内）

梁内・標準開口(室内壁面積に対する開口率 19.76%)

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	E30	E30	E30	E30	E30	E35
天井・屋根		D100	D85	D100	D85	E80	E60	E100	E60	E60	E60	E60	E65	E60	E60
開口	南	H-2	H-2	H-2	H-3	H-1	H-2	H-1	H-3	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1
	北	H-2	H-2	H-2	H-3	H-1	H-2	H-2	H-3	H-1	H-1	H-1	H-1	H-2	H-1
	西	－	－												
	ﾄﾞｱ	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1
Q値		2.64	2.68	2.68	2.64	2.70	2.68	2.68	2.63	2.68	2.68	2.68	2.69	2.69	2.64

梁内・南ハイサッシ(室内壁面積に対する開口率 20.68%)

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	D35	E30	E30	E35	E30	E30	E35
天井・屋根		D100	D85	D100	D85	E95	E60	E100	E60	E65	E60	E60	E75	E60	E60
開口	南	H-2	H-3	H-2	H-3	H-1	H-2	H-2	H-3	H-1	H-1	H-1	H-1	H-2	H-1
	北	H-2	H-3	H-3	H-3	H-1	H-2	H-2	H-3	H-1	H-2	H-1	H-1	H-1	H-1
	西	－	－												
	ﾄﾞｱ	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-2	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1
Q値		2.67	2.61	2.70	2.67	2.70	2.70	2.63	2.66	2.70	2.69	2.64	2.69	2.67	2.67

梁内・西開口(室内壁面積に対する開口率 24.15%)

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	D35	NG	D35	D35	D35	NG	E30	E30	E45	E30	E30	E45
天井・屋根		D100	D85	D100		E100	E60	E100		E100	E60	E60	E100	E60	E60
開口	南	H-3	H-3	H-3		H-2	H-3	H-3		H-1	H-2	H-1	H-2	H-3	H-1
	北	H-3	H-3	H-3		H-2	H-3	H-3		H-2	H-3	H-1	H-2	H-3	H-1
	西	H-2	H-3	H-3		H-2	H-3	H-2		H-1	H-2	H-1	H-1	H-1	H-1
	ﾄﾞｱ	H-1	H-1	H-3		H-1	H-1	H-1		H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1
Q値		2.68	2.70	2.70		2.70	2.65	2.70		2.69	2.70	2.67	2.65	2.68	2.70

梁内・西開口＋南ハイサッシ(室内壁面積に対する開口率 25.07%)

部位名称		すべて内断				屋根外断・壁内断				すべて外断熱					
		(補強有り)				(補強有り)				断熱補強無し					
		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ		高級ﾌﾟﾗﾝ		標準ﾌﾟﾗﾝ			高級ﾌﾟﾗﾝ		
優先部位		天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	天井	開口	壁	天井	開口	壁
壁		D35	D35	NG	NG	D35	D35	D35	NG	E30	E30	E45	E30	E30	E45
天井・屋根		D100	D85			E100	E60	E100		E100	E60	E60	E100	E60	E60
開口	南	H-3	H-3			H-2	H-3	H-3		H-2	H-3	H-1	H-2	H-3	H-2
	北	H-3	H-3			H-3	H-3	H-3		H-2	H-3	H-2	H-2	H-3	H-1
	西	H-3	H-3			H-2	H-3	H-2		H-1	H-1	H-1	H-1	H-2	H-1
	ﾄﾞｱ	H-1	H-3			H-1	H-3	H-1		H-1	H-1	H-1	H-1	H-1	H-1
Q値		2.68	2.70			2.70	2.67	2.70		2.65	2.67	2.68	2.68	2.68	2.66

2.14.5 玄関スラブの断熱補強

断熱補強仕様の検討において最も困難な設計施工上の問題を抱える箇所のひとつが、玄関廻りの床仕上げと絡むスラブ上面の扱いである。

玄関スラブにおける断熱補強仕様別の防露性能、熱貫流率を現行規定における場合と比較することで緩和の可能性を検討した。検討対象地域は、Ⅳ地域、宇都宮、計算モデルは、玄関ドアが玄関外壁面積に占める割合が1/3と想定した。断熱補強仕様は4通り設定し、二次元伝熱計算により表面温度、熱貫流率を求めた。図 2.14.3に検討結果を示す。

A:現行規定

玄関ドアK=4.65(省エネ基準)使用時、実質熱貫流率は、2.322W/㎡K、室内側表面最低温度は10.8℃で露点温度を上回る。

B:最小断熱補強

スラブ上面に断熱材Eランクt=5(断熱モルタルt＝15相当)で、結露域は発生しない。しかし、熱貫流率は断熱性能の高い玄関ドア(K=2.91)を用いてもA:現行仕様に若干劣る。

C:最小断熱補強＋梁部断熱

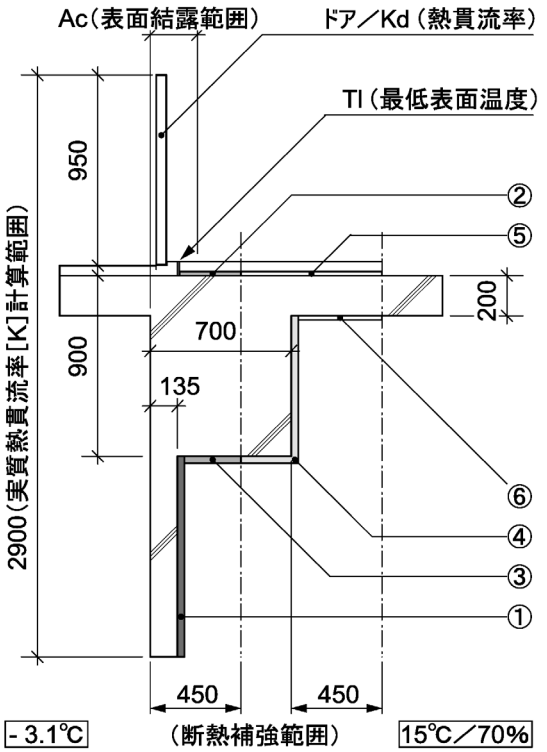
B:最小断熱補強に梁部断熱補強を加え、また玄関ドアの断熱性能をワンランク向上(K=4.07)させることでA:現行仕様とほぼ同等の熱貫流率となり、室内側表面温度もBに比べると若干低下するものの露点温度を上回っている。

D:スラブ上面断熱省略

スラブ下面は現行仕様どおりで、上面の断熱を省略したケースである。

上面の表面温度最低点は7.7℃まで低下し、結露発生状況になる。しかし、室内露点温度(9.6℃)より低い結露域は壁表面から約100㎜である。

結露域が発生することは否めないが、この結露を著しい実害ではないと捉えることができれば、玄関ドアの断熱性能をワンランク向上させることで、熱損失の補完は可能となる。



	①	②	③	④	⑤	⑥	Kd	Ac	TI	K
A	35	20	35	35	20	20	4.65	-	10.8	2.322
B	35	5	5	-	-	-	2.91	-	10.3	2.139
C	35	5	35	35	5	20	4.07	-	9.9	2.238
D	35	-	35	35	-	20	4.07	233	7.7	2.300

図 2.14.3 玄関廻りの仕様、及び計算結果

以上の検討結果より、ある程度の結露域を実害に至らないものとして許容できれば、上面の断熱を緩和、あるいは省略することも可能と考えられる。

(砂川 雅彦 ／ 大西 啓之)

2.15 断熱工法とRC躯体内の湿気性状基礎実験

2.15.1 実験の目的

断熱工法の観点からは、一般的に、外断熱は内断熱と比較して躯体が熱膨張・収縮から守られるため、耐久性の向上が期待できるといわれている。しかし、断熱工法がRC躯体の耐久性や長期性能維持にどの程度影響するのかは未解明の部分が多い。

RCの劣化作用には、アルカリ骨材反応や塩害、化学的腐食、凍害、中性化等が挙げられる[1)]。通気層を持つ外断熱工法では、躯体を雨水から保護することで鉄筋腐食や凍結融解等を未然に防ぐ可能性がある一方で、外気と比較し炭酸ガス濃度が高い室内側が打放しの場合、中性化の面で不利となる可能性もある。内断熱の場合は、外気側を打放しとするか仕上げを行うか、その仕上げ材種類によっても外界から受ける劣化要因は異なる。

また、炭酸ガスは水に溶けて中性化を促進させるため、コンクリートが置かれる空気中の温湿度が中性化の進行速度に影響することが知られている[2)]。工法を工夫することで、RC躯体への水や炭酸ガスの浸透防止や、コンクリートの適度な湿度保持ができ、耐久性が向上する可能性がある。

本研究は、上記の様々な劣化要因の中でも、特に中性化に影響するコンクリート内の温湿度に着目した実験を行い、断熱工法と耐久性評価に関する基礎データを蓄積することを目的としている。また、実測結果から、断熱工法の違いが中性化にどのような影響を及ぼすかについて基礎的な検討を試みている。

2.15.2 実験の概要

本実験は、RC壁体の断熱工法に着目し、以下の観点でフィールド実験を行い、耐久性評価の基礎となる躯体内温湿度データを蓄積する。

内断熱・外断熱の工法の違いによるコンクリート躯体の温湿度分布の比較
断熱材の通気性(透湿性)の有無による湿気性状の比較
防水仕上げの有無による湿気性状の比較
屋外暴露による外界条件の影響を観察
方位(北・南)による違いを観察
壁内上下方向での温湿度分布性状を比較

フィールド実験を行う実験棟の概要を図 2.15.1に示す。実験棟はRC造一部木造の1階建てで、延べ床面積は45.13m^{2}である。本実験棟の南側と北側RC壁部分を、幅約880～1000mmに分割したものを、1つの試験体とする。試験体は、南側外断熱4体、南側内断熱2体、北側外断熱1体、北側内断熱1体の計8体である。

実験棟施工の様子を写真 2.15.1～写真 2.15.4に示す。

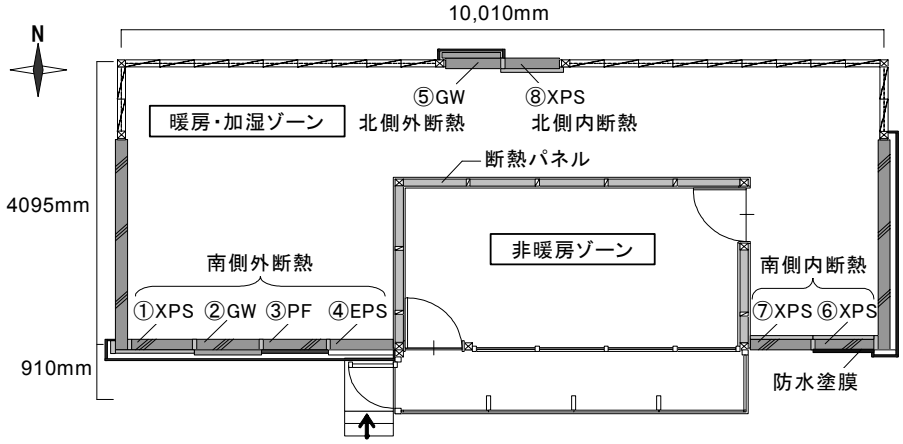


図 2.15.1 実験棟の概要と試験体位置



写真 2.15.1 型枠と絶縁用XPS

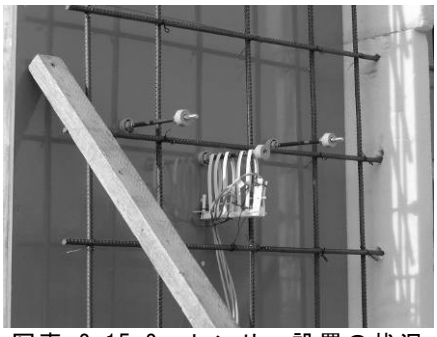


写真 2.15.2 センサー設置の状況



写真 2.15.3 型枠をはずした直後の壁



写真 2.15.4 南側外断熱部分の4種類の断熱材

2.15.3 試験体と測定点

試験体の仕様を表 2.15.1に示す。

南側外断熱部分は、断熱材の通気性(透湿性)の差を見るため、それぞれ透湿抵抗の異なる押出法ポリスチレンフォーム(XPS)、ビーズ法ポリスチレンフォーム(EPS)、高性能グラスウール(HGW)、フェノールフォーム(PF)の4種類を断熱材として用いている。4種の断熱材は熱伝導率もそれぞれ異なるため、熱抵抗を揃えるため厚さを変えている。各断熱材の物性値を表 2.15.2に示す。各試験体は、50mmのXPSで熱・湿気的に絶縁している。

南側内断熱部分2体は、1体は外気側表面を打ち放しのまま、もう1体は外気側に防水性のあるアクリル樹脂塗膜を施工し、防水塗装の有無による影響をみる。

表 2.15.1 試験体仕様

試験体名	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
断熱位置	外断熱					内断熱		
断熱材	XPS	HGW	PF	EPS	HGW	XPS	XPS	XPS
方位	南				北	南		北
外部仕上げ	通気層＋窯業系サイディング					防水塗膜	塗膜無し	
室内仕上げ	コンクリート打放し					なし		

※XPS:押出法ポリスチレンフォーム ※HGW:高性能グラスウールボード
※PF:フェノールフォーム, ※EPS:ビーズ法ポリスチレンフォーム

表 2.15.2 使用した断熱材の物性値

	XPS	GW	EPS	PF
熱伝導率[W/mK]	0.030	0.032	0.041	0.020
厚さ[mm]	50	60	68	35
熱抵抗[m^2K/W]	1.67	1.88	1.69	1.75
透湿抵抗[m^2sPa/ng]	0.0333)	0.000423)	0.00683)	0.033*

※熱伝導率・厚さは実測値
※透湿抵抗はカタログ(*)、あるいは参考文献3による参考値

各試験体の温湿度測定位置を図 2.15.2に示す。コンクリート内の温湿度測定には、透湿防水シートと接着剤により防水加工を施した温湿度センサーを用い、コンクリート打設時に直接埋め込んでいる。加工によるセンサー部の精度は別途検討が必要となるが定性的な傾向は得られる。コンクリート打放し面では水分が蒸発しやすく、躯体内の湿度勾配が大きくなることが予想されるため、打放し面に近い部分に密になるようセンサーを配置している。その他材料境界面や室内側表面の温度、外断熱部分の通気層内温湿度を測定している。なお、南側HGW外断熱部分のみ、上・中・下の3箇所で温湿度を測定しており、躯体内高さ方向の温湿度分布をみることができる。

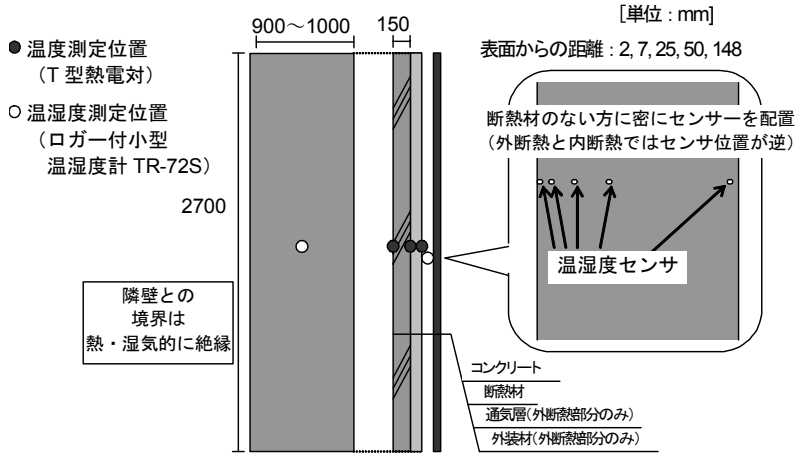


図 2.15.2 温湿度測定位置

2.15.4 測定結果

1) 測定の経過

コンクリート打設は2003年6月7日、6月9日から30分間隔で測定を開始した。実験期間中は、7/5までは断熱未施工、10/10までは内断熱壁体外側の防水塗膜未施工、2004年1/18～4月下旬まで暖房、それ以降は11月下旬まで暖房せず室内はなりゆきである。

2) 測定結果

(1) 実験棟内と外気・通気層の温湿度

図 2.15.3～図 2.15.5に、外気・室内・南北通気層の温度・相対湿度・絶対湿度を示す。通気層、室内は2003年12月中旬からの測定だが、暖房開始前までは建物自体の気密性も低かったことから、室内はほぼ外気と同じような変動をしていたものと考えられる。12月下旬～1月中旬は間欠暖房、1月下旬から4月下旬まで連続暖房・加湿を行い、室内は20℃50%RHを維持している。また2年目の暖房開始は11月下旬からで室内は20℃20～40%RHに維持されている。

通気層は、日射の影響により南側では日中の温度上昇が大きく相対湿度の変動も大きくなった。絶対湿度は南北でそれほど差がなかった。

(2) 断熱材種類による違い

南側外断熱部分4体の壁内温度・相対湿度・絶対湿度の経時変化を図 2.15.6～図 2.15.17に示す。図中の凡例は、室内側表面からセンサー位置までの距離を示している。

断熱材施工後(7/6以降)、RC躯体内部の温度は、外気温や日射の影響を受けにくくなり、ほぼ均一な温度となっている(図 2.15.7 148mmと図 2.15.9 25mmはセンサー異常の可能性あり)。

相対湿度に関しては、打設直後はコンクリートから発生する水分のため非常に高湿度であるが、徐々に室内表面(2mm)が乾燥していく。断熱材とRC躯体との境界付近(148mm)では、断熱材の透湿抵抗の違いが顕著に表れている。すなわち、透湿抵抗の小さなHGWとEPSは、打設後約1月経過後は60%RH程度以下になるのに対し、透湿抵抗の大きいXPS、PFでは80%RHを超える状態が6ヶ月程度は続いている。特に、XPSとPFを用いた壁体は断熱材を施工した後、境界部の相対湿度が上昇しているが、これは断熱材を後張り施工したことで、外気側に水分が抜けにくくなったためと思われる。

なお、RC躯体中央部付近(50mm)では、いずれの壁体でも80%RHを超える状態が6ヶ月以上続き、まずHGW、次いでEPSの順に乾燥が進むことがわかる。

(3) 外断熱・内断熱による違い

XPSを用いた南側の外断熱1体・内断熱2体の壁内温度・相対湿度・絶対湿度の経時変化を図 2.15.18～図 2.15.25に示す。図中の凡例は、外気側表面からセンサー位置への長さを示している。

温度については、外断熱に比べて内断熱の2壁体は外気の変動や日射の影響を直接に受けるため、変動が非常に大きいことが特徴的である。また、外断熱に比べて壁内の分布も均一ではない。

相対湿度、絶対湿度に着目すると、内断熱でRC躯体外側の防水塗装が行われていない間(打設～10/10)、躯体外気側から2mm、7mmの部分で急激な変動が見られる。一方、10/11に防水塗膜を施工した内断熱壁体の方は変動幅が小さくなることから、この変動は降雨の影響と考えられる。また、XPS外断熱壁体は経時により安定的に乾燥傾向にあるが、内断熱の2壁体は細かな変動を繰り返しながら、乾燥している。内断熱の躯体内部は躯体内のゆっくりとした水分移動と降雨による急激な水分移動の両方に影響を受けているものと推測される。

また躯体内部の絶対湿度は、外断熱では暖房加湿後急激に増加しているが、内断熱では影響は受けていない。これは躯体内側の透湿抵抗の差(外断熱壁体は内装仕上げ無し、内断熱壁体内側はXPSが施工されている)によるものである。

a 実験棟内・外気の温湿度

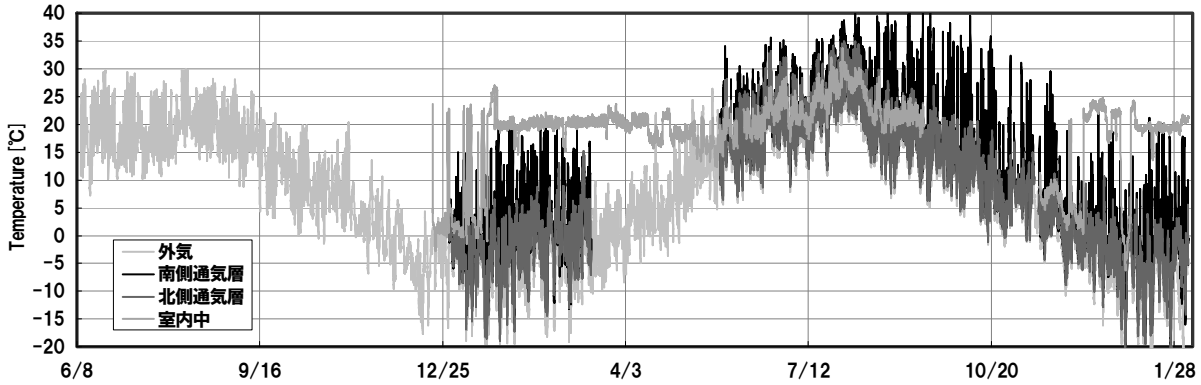


図 2.15.3 外気温・室温・通気層温度の経時変化

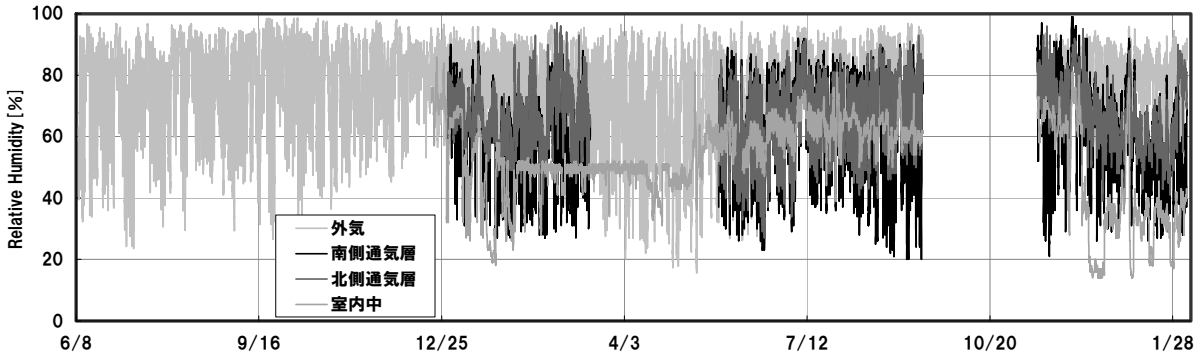


図 2.15.4 外気・室内・通気層相対湿度の経時変化

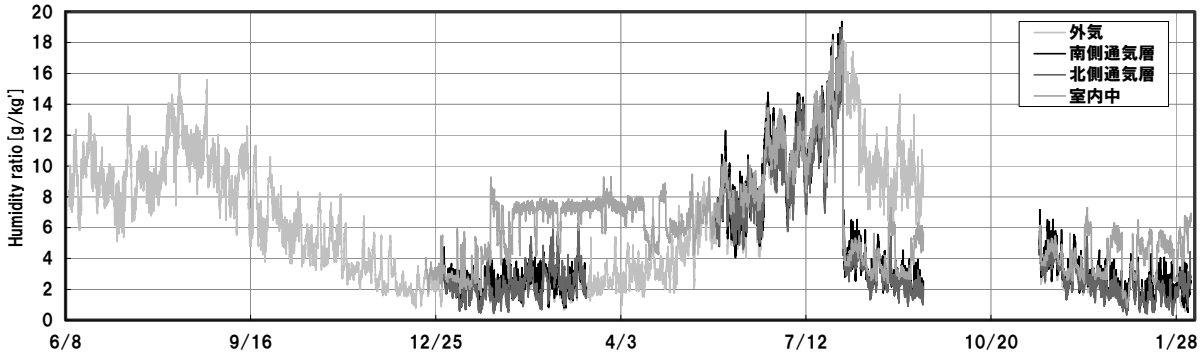


図 2.15.5 外気・室内・通気層絶対湿度の経時変化

b 断熱材種類による温湿度変動の違い

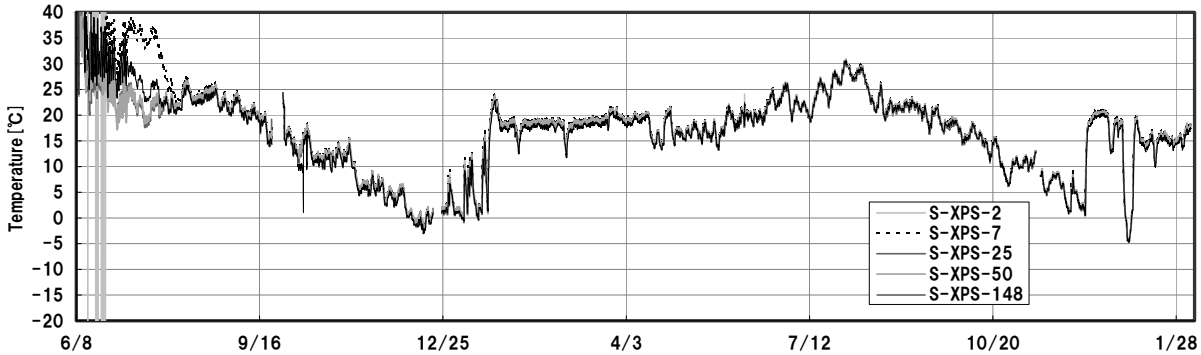


図 2.15.6 試験体①南側外断熱XPS 壁内温度 経時変化

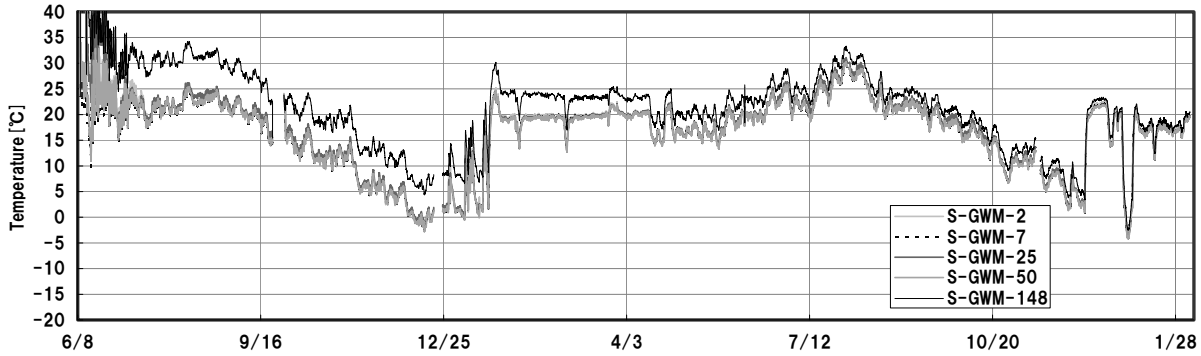


図 2.15.7 試験体②南側外断熱HGW 壁内温度 経時変化

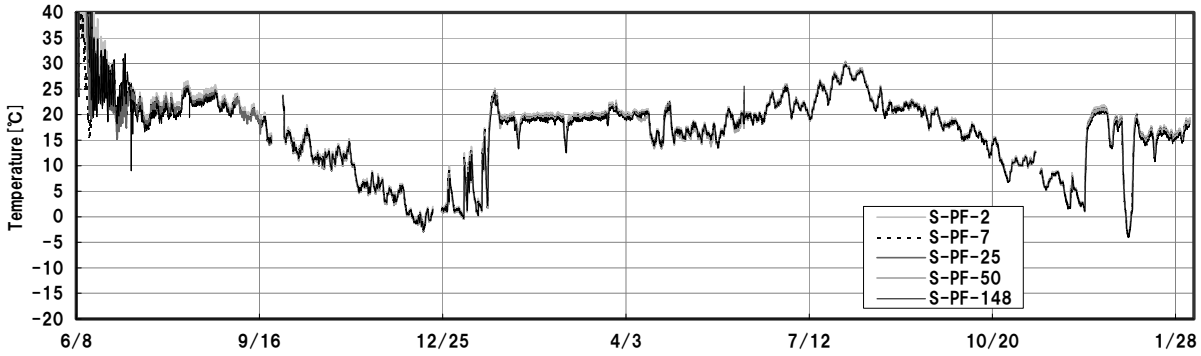


図 2.15.8 試験体③南側外断熱PF 壁内温度 経時変化

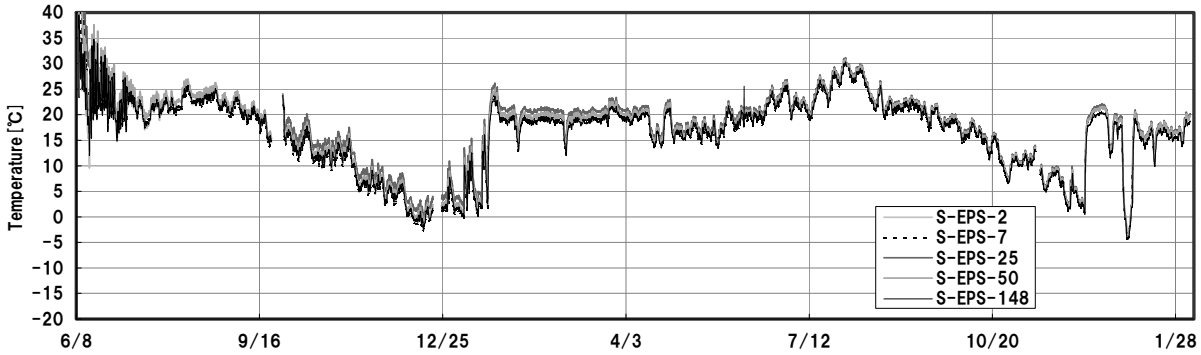


図 2.15.9 試験体④南側外断熱EPS 壁内温度 経時変化

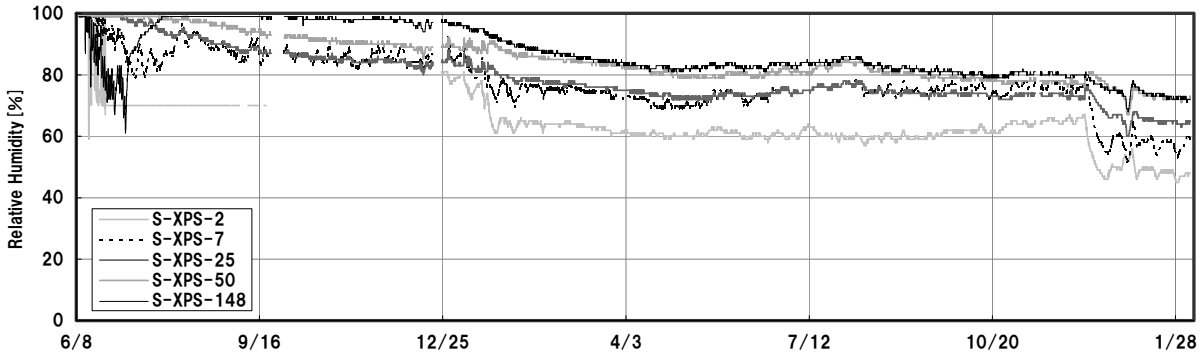


図 2.15.10 試験体①南側外断熱XPS 壁内相対湿度 経時変化

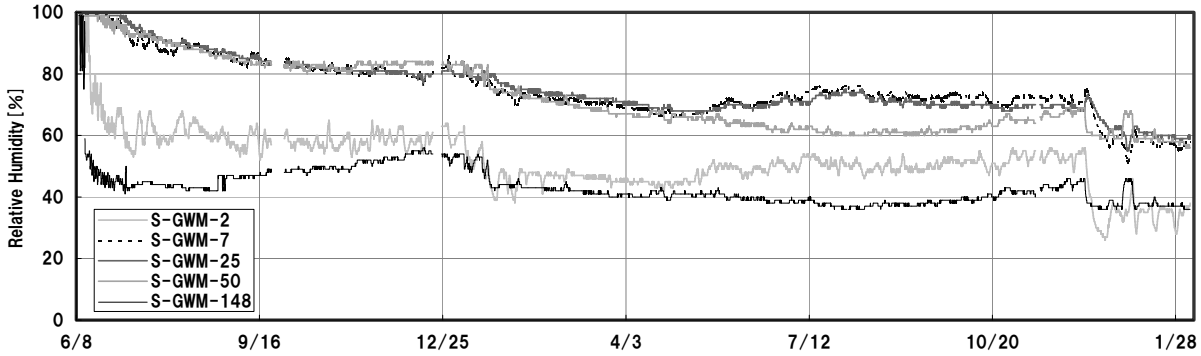


図 2.15.11 試験体②南側外断熱HGW 壁内相対湿度 経時変化

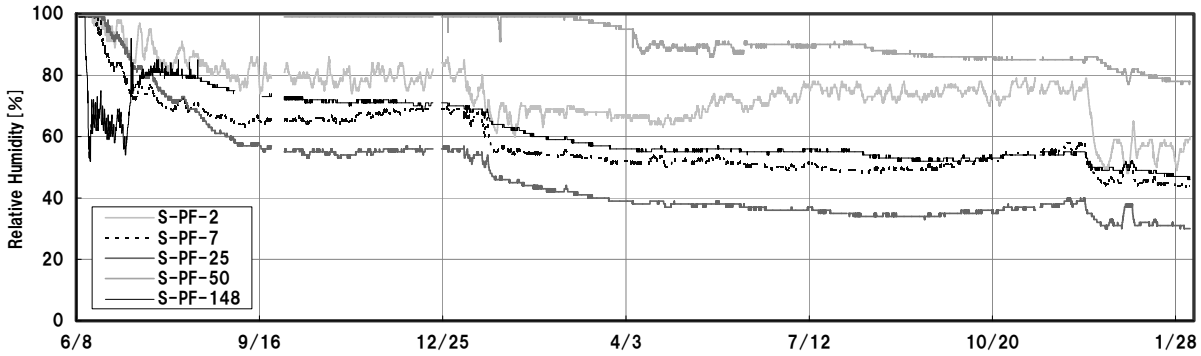


図 2.15.12 試験体③南側外断熱PF 壁内相対湿度 経時変化

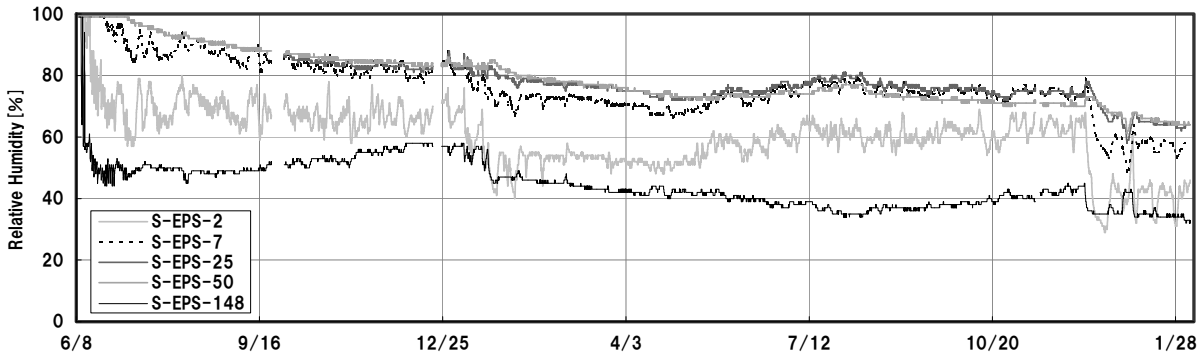


図 2.15.13 試験体④南側外断熱EPS 壁内相対湿度 経時変化

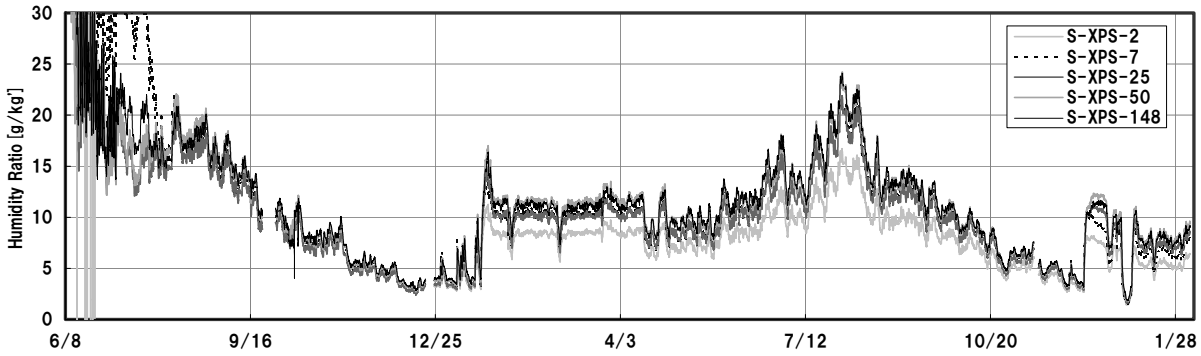


図 2.15.14 試験体①南側外断熱XPS 壁内絶対湿度 経時変化

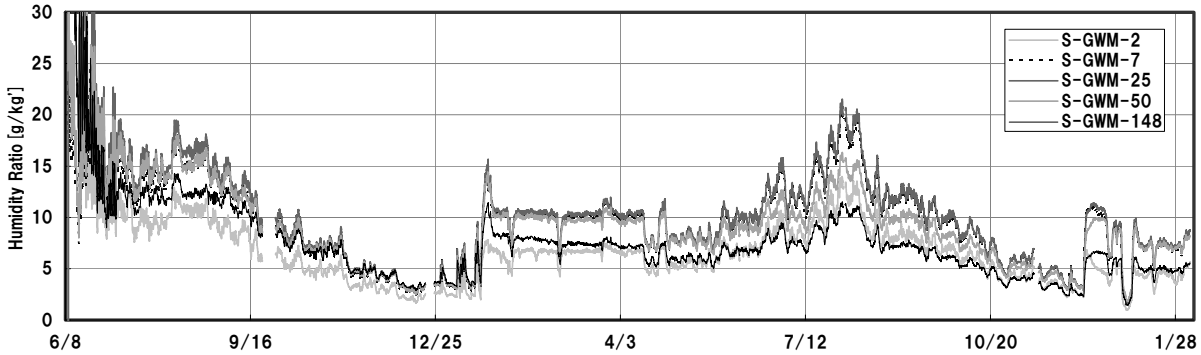


図 2.15.15　試験体②南側外断熱HGW　壁内絶対湿度　経時変化

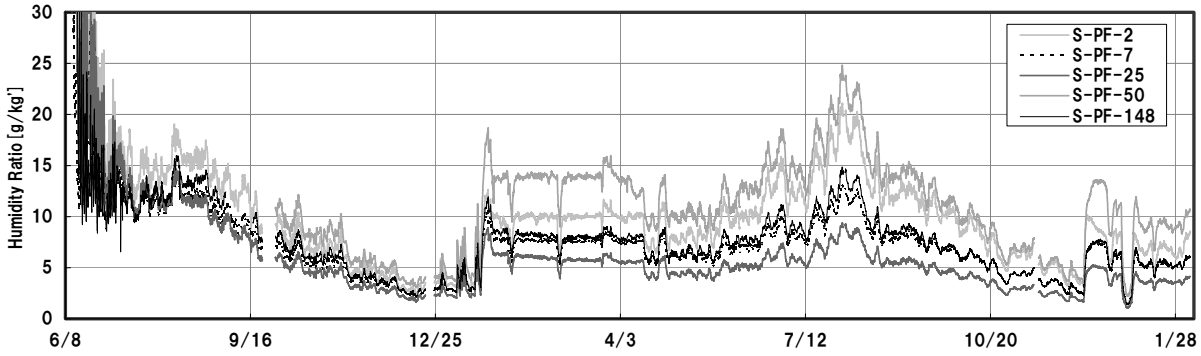


図 2.15.16　試験体③南側外断熱PF　壁内絶対湿度　経時変化

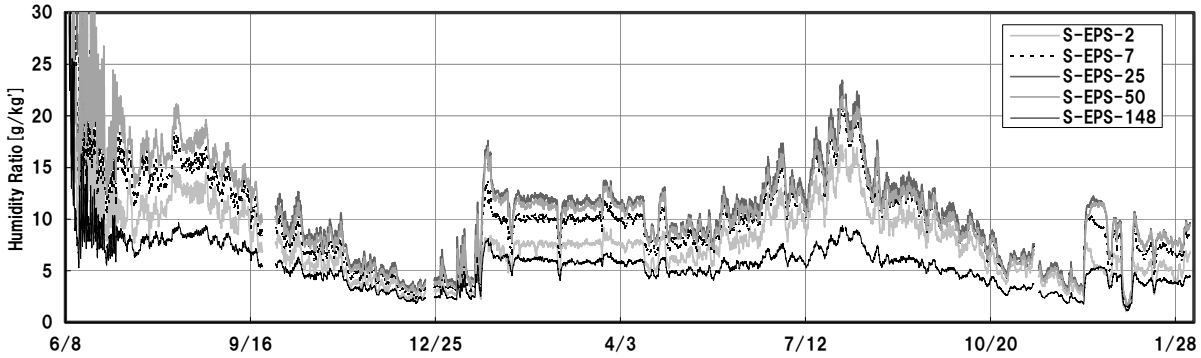


図 2.15.17　試験体④南側外断熱EPS　壁内絶対湿度　経時変化

c 外断熱・内断熱による温湿度変動の違い

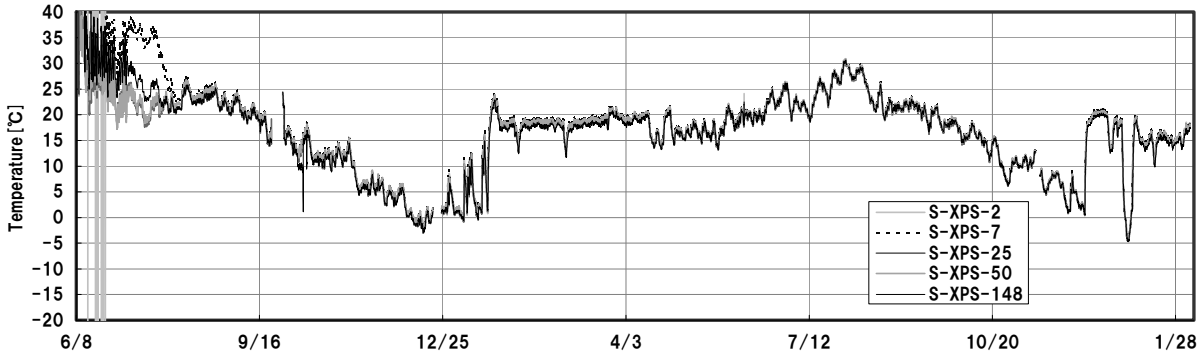


図 2.15.18　試験体①南側外断熱XPS　壁内温度　経時変化

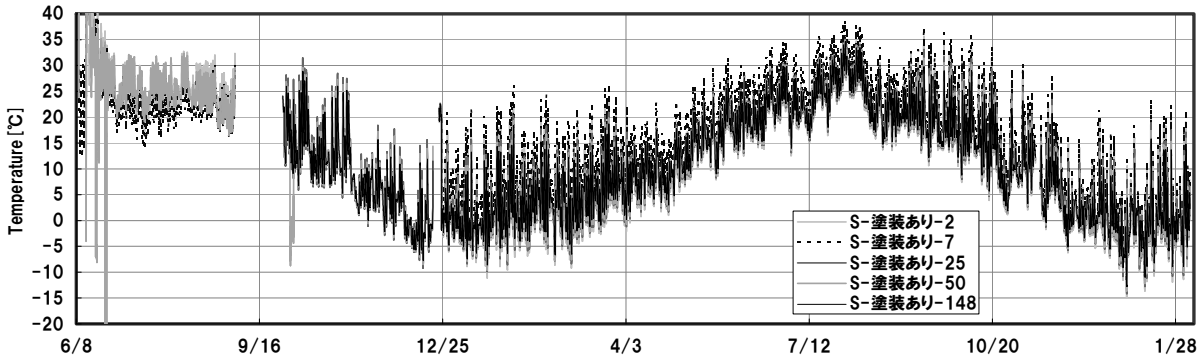


図 2.15.19 試験体⑥南側内断熱XPS（外表面塗装あり） 壁内温度 経時変化

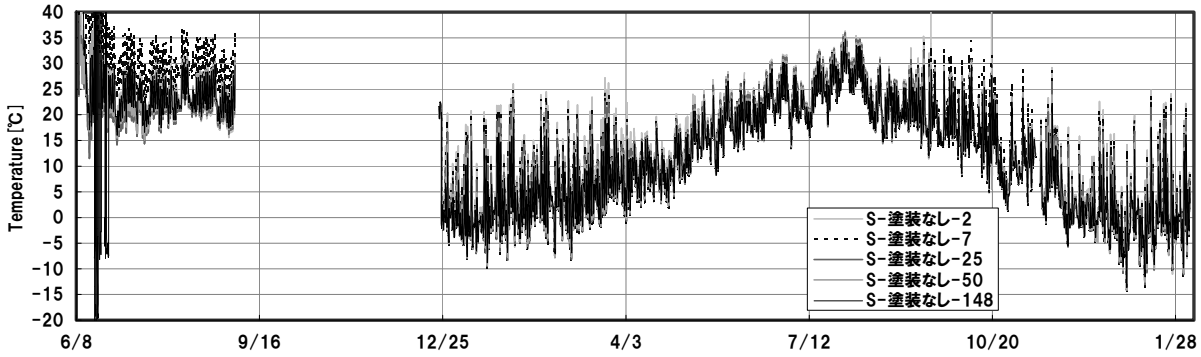


図 2.15.20 試験体⑦南側内断熱XPS（外表面塗装なし） 壁内温度 経時変化

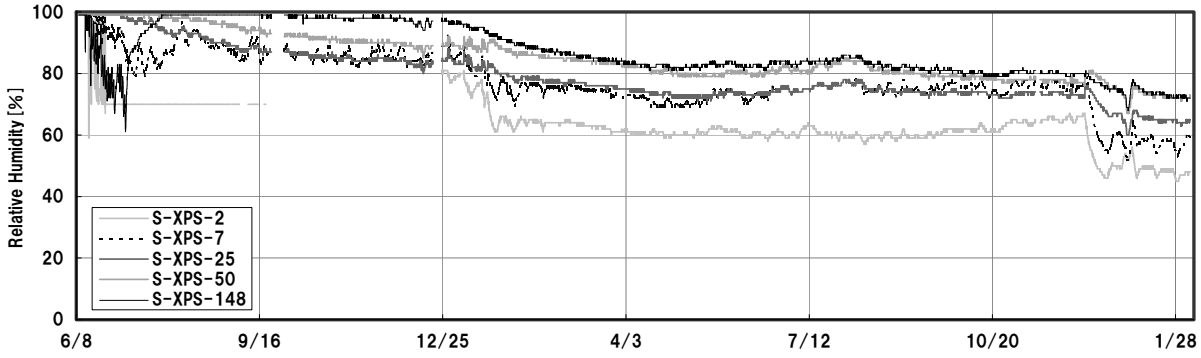


図 2.15.21 試験体①南側外断熱XPS 壁内相対湿度 経時変化

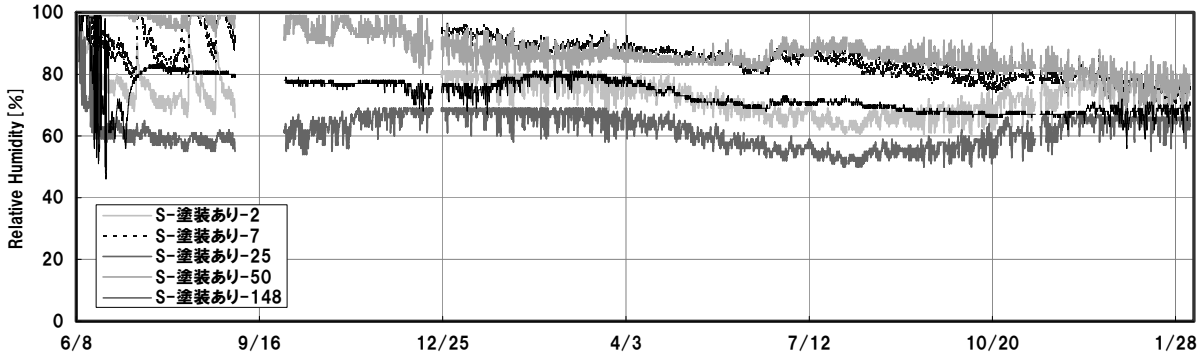


図 2.15.22 試験体⑥南側内断熱XPS（外表面塗装あり） 壁内相対湿度 経時変化

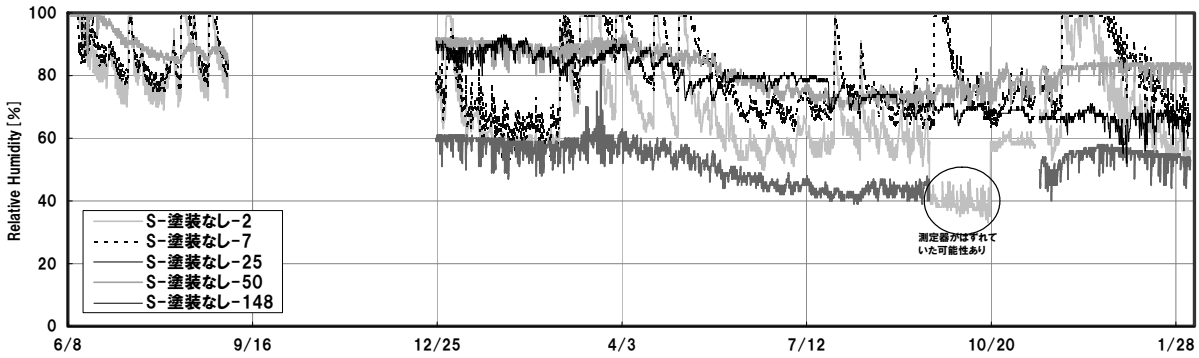


図 2.15.23 試験体⑦南側内断熱XPS（外表面塗装なし） 壁内相対湿度 経時変化

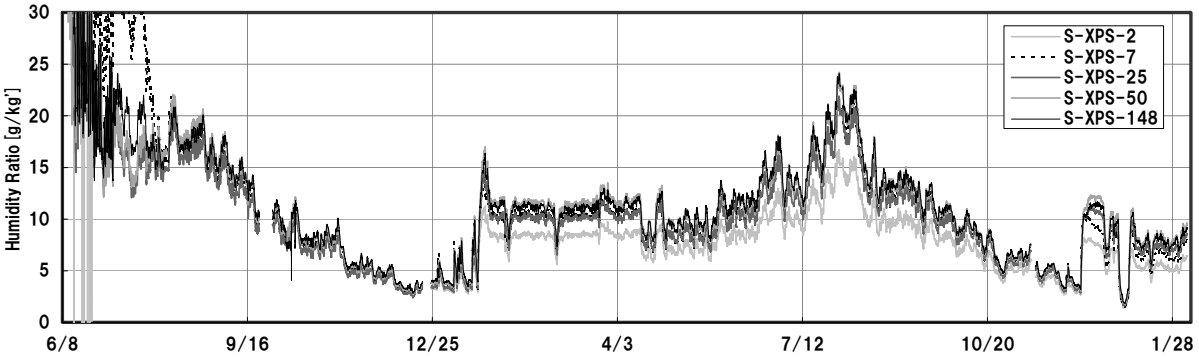


図 2.15.24 試験体①南側外断熱XPS 壁内絶対湿度 経時変化

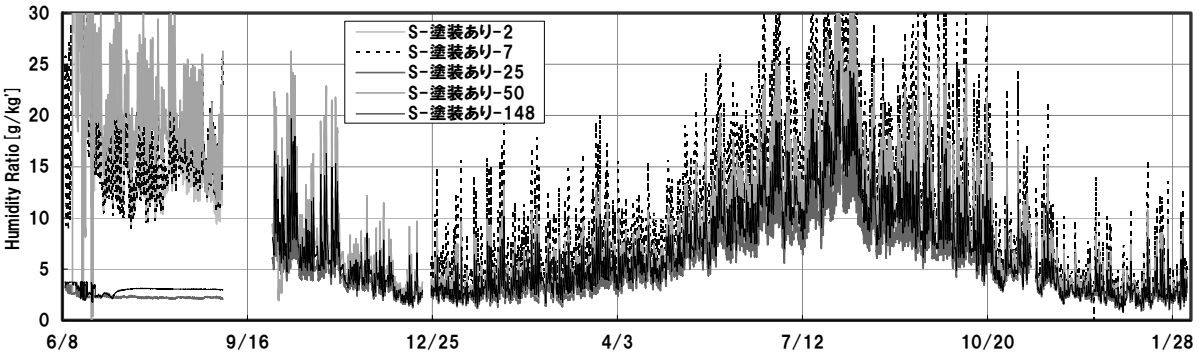


図 2.15.25 試験体⑥南側内断熱XPS（外表面塗装あり） 壁内絶対湿度 経時変化

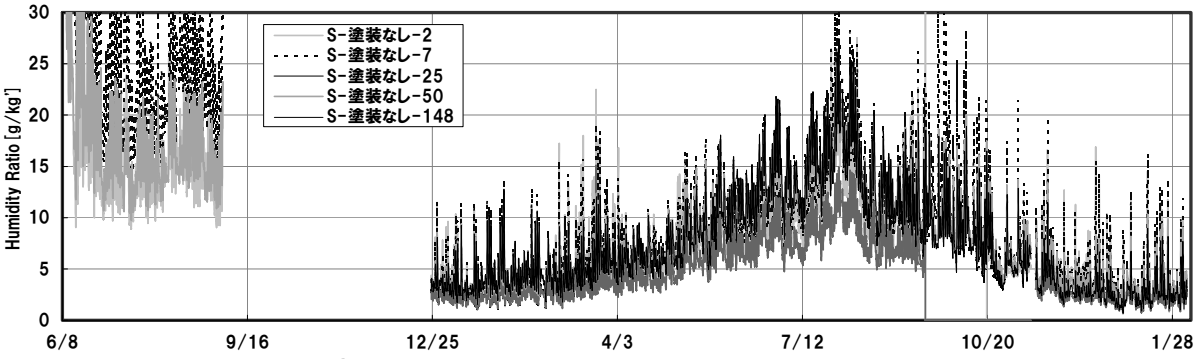


図 2.15.26 試験体⑦南側内断熱XPS（外表面塗装なし） 壁内絶対湿度 経時変化

d 方位（南北）による温湿度変動の違い

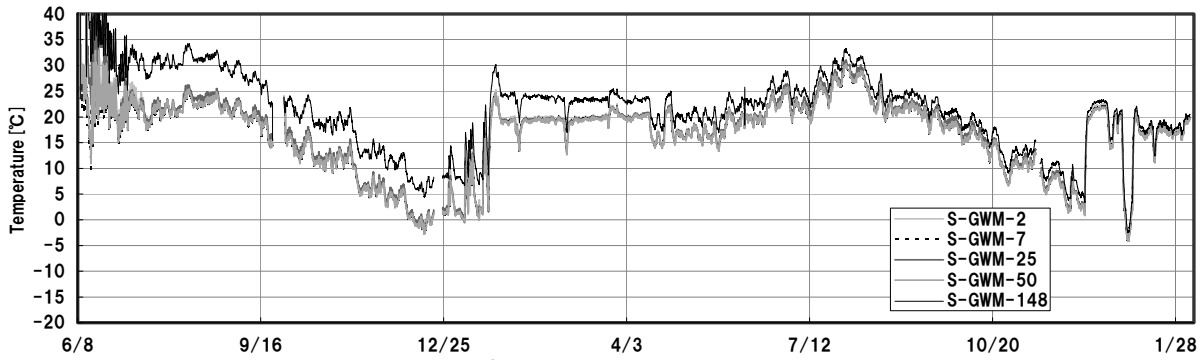


図 2.15.27 試験体②南側外断熱HGW 壁内温度 経時変化

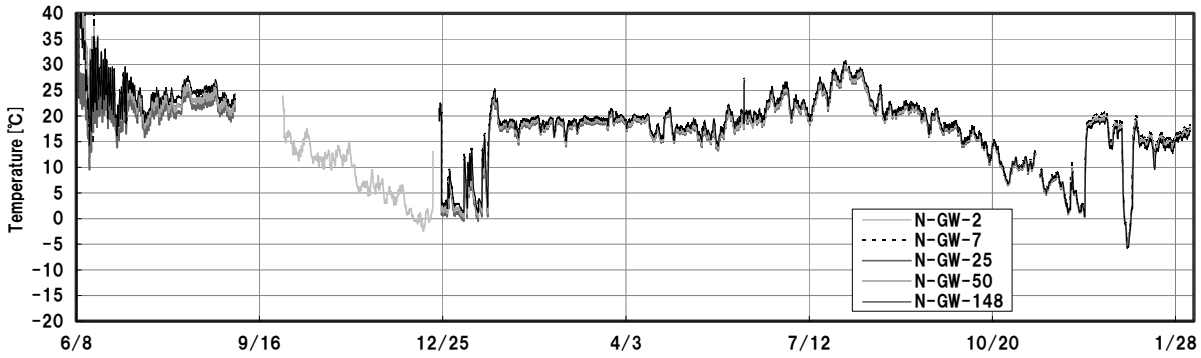


図 2.15.28 試験体⑤北側外断熱HGW 壁内温度 経時変化

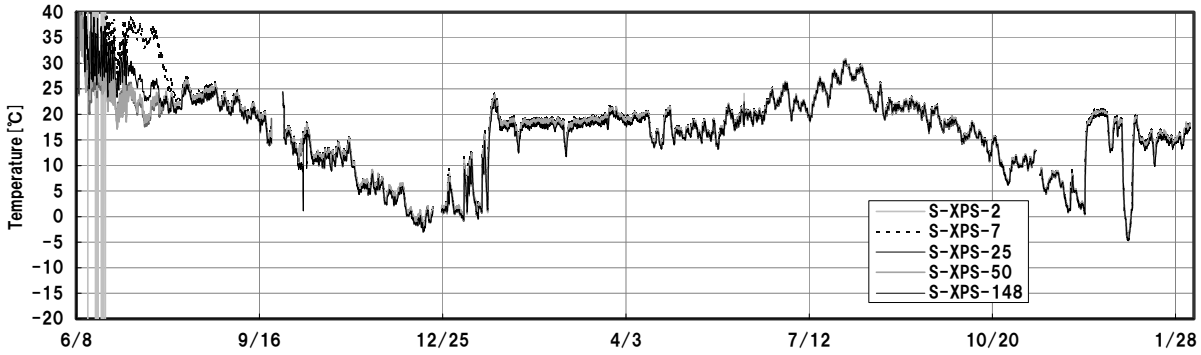


図 2.15.29 試験体⑦南側内断熱XPS 壁内温度 経時変化

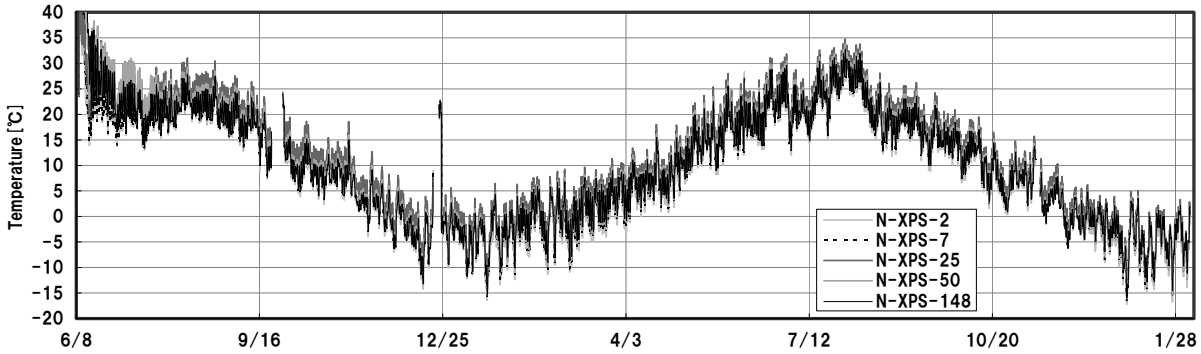


図 2.15.30 試験体⑧北側内断熱XPS 壁内温度 経時変化

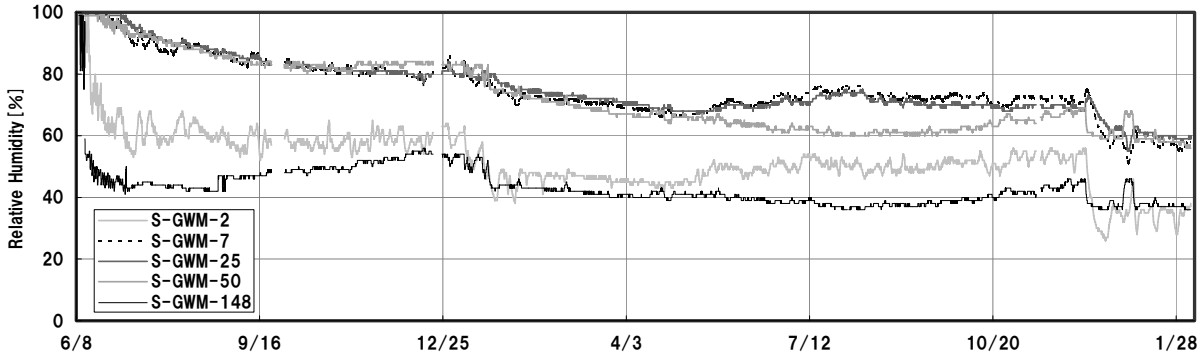


図 2.15.31 試験体②南側外断熱HGW 壁内相対湿度 経時変化

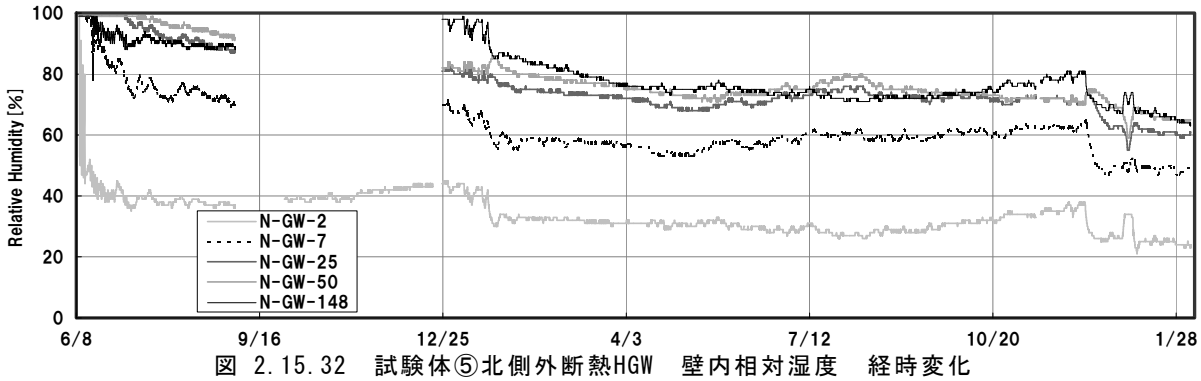


図 2.15.32 試験体⑤北側外断熱HGW 壁内相対湿度 経時変化

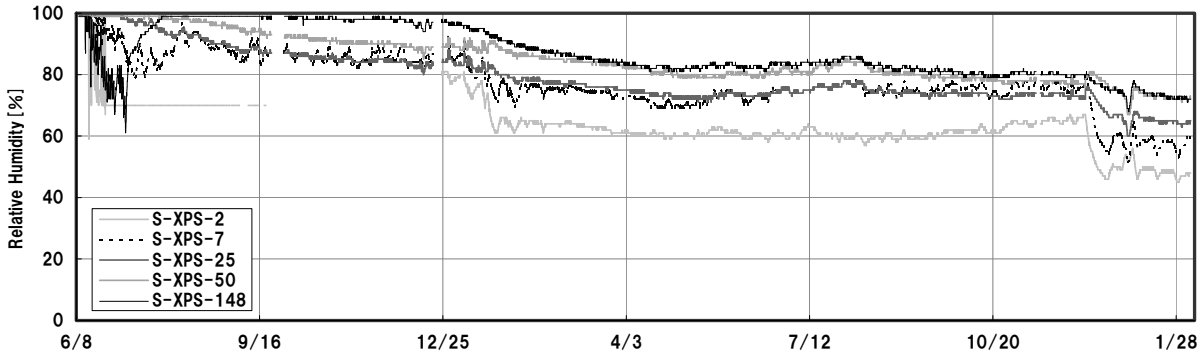


図 2.15.33 試験体⑦南側内断熱XPS 壁内相対湿度 経時変化

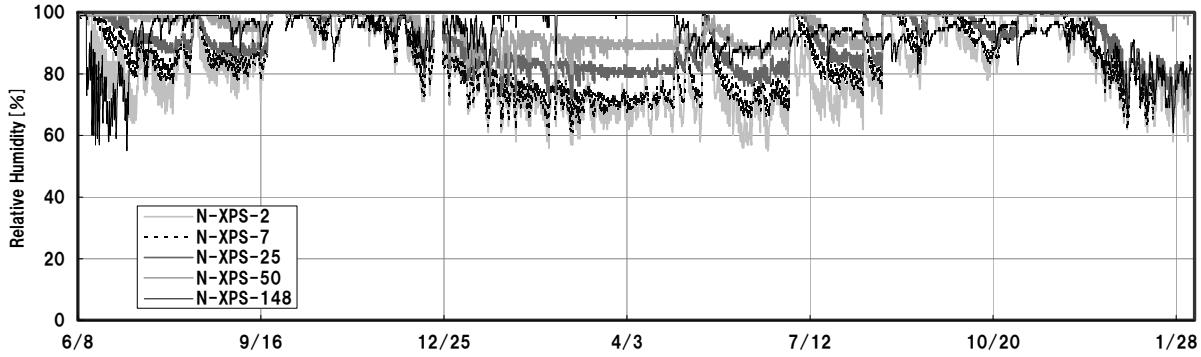


図 2.15.34 試験体⑧北側内断熱XPS 壁内相対湿度 経時変化

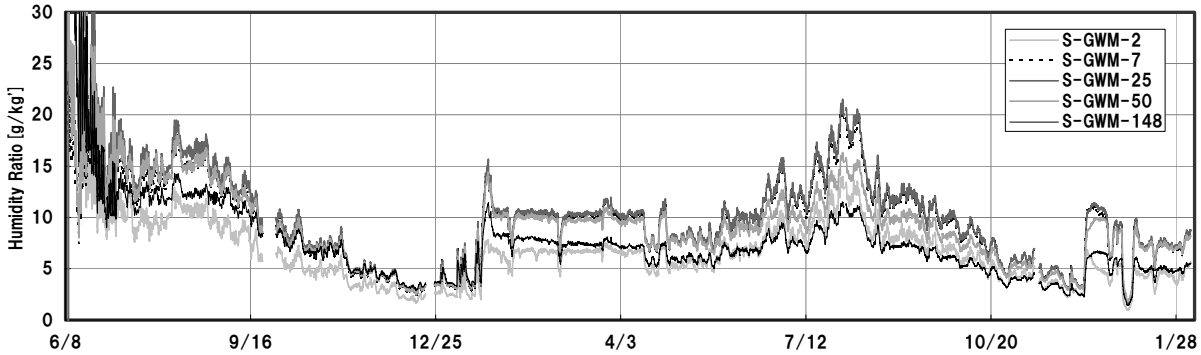


図 2.15.35 試験体②南側外断熱HGW 壁内絶対湿度 経時変化

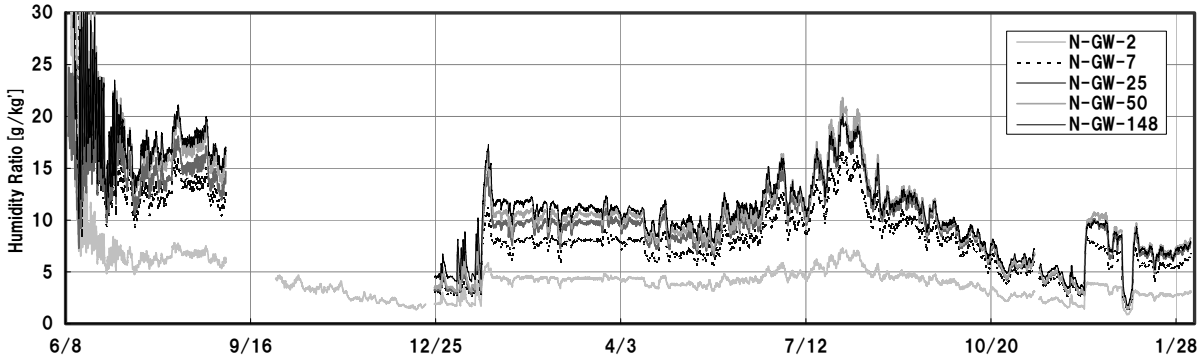


図 2.15.36 試験体⑤北側外断熱HGW 壁内絶対湿度 経時変化

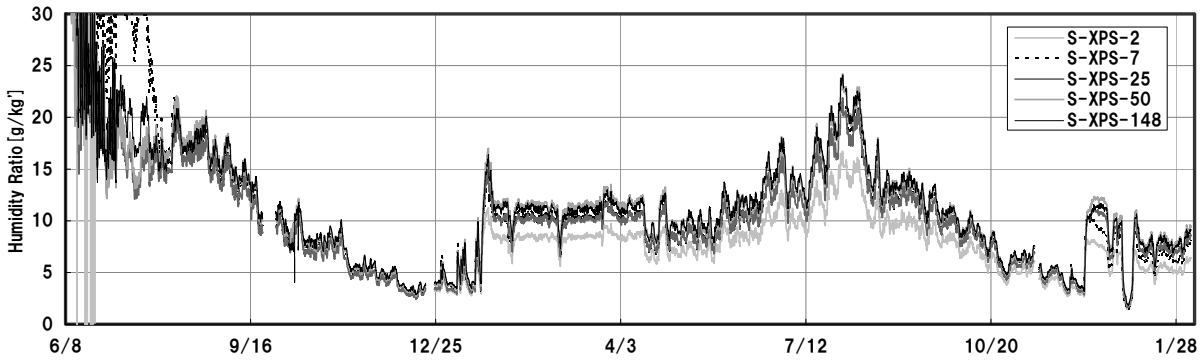


図 2.15.37 試験体⑦南側内断熱XPS 壁内絶対湿度 経時変化

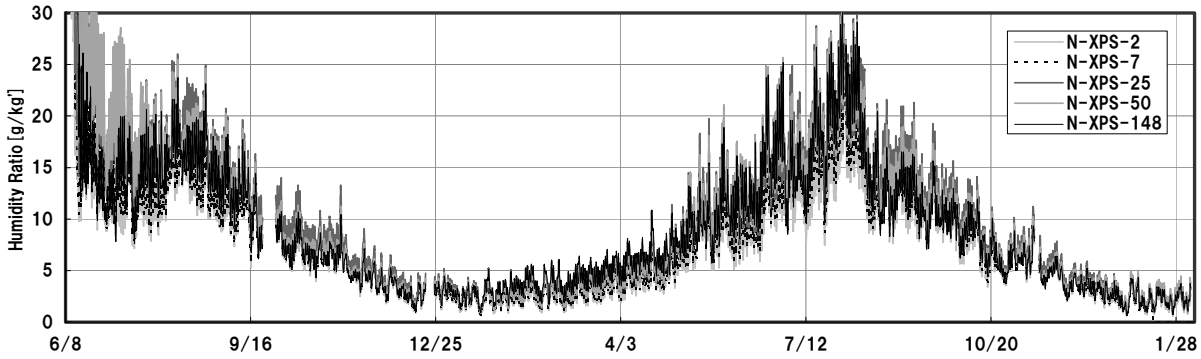


図 2.15.38 試験体⑧北側内断熱XPS 壁内絶対湿度 経時変化

また、XPS内断熱については、北側は南側ほど外気の影響を受けず、12月以降は室内側が高く外気側が低い分布が形成されている。

2.15.5 各試験体内の分布

図 2.16.39は、外断熱5壁体の躯体内相対湿度・絶対湿度分布を、2003年度夏・冬の暖房前後、2004年度の夏・暖房開始前後のそれぞれの時期で示したものである。

施工後約2ヶ月経過した8月において、使用断熱材、方位に関して既に特徴的な違いが現れている。透湿抵抗の低いGWとEPSでは室内側と外気側の両方で相対湿度が低くなっており、透湿抵抗の高いXPSでは外気側の相対湿度が高いという点である。この傾向は、コンクリート打設後1年9ヶ月経過した現在も同様である。

なお、北側のGW壁体では外気側の相対湿度が高く、南側に比べて躯体乾燥が進んでいないことがわかる。これは、前述したように通気層の換気量が少ないためであろう。一方PFは室内に最も近い2mmの相対湿度が高くなっており、センサーの向き等の設置状況が他と異なっていた可能性が考えられる。

絶対湿度を見ると、2003年8月時点では初期の躯体保有水分のため絶対湿度が高く、12月まで徐々に低下し、暖房期の加湿により若干増加し、夏季に再びピークとなるが2003年8月時点よりは小さな値である。外断熱したRC躯体はこのような周期変動を繰り返しながら、すこしずつ乾燥していくものと推測される。

図 2.15.38は、内断熱3壁体の躯体内相対湿度・絶対湿度分布である。

北側の内断熱壁体は、冬期は室内側の断熱材境界面に近い部分の相対湿度が高く、外気側にいくにつれて低くなるという、外断熱と逆の分布を示している。特に北側のXPSは100%RH近い状態となっている。

南側の内断熱壁体は、防水塗膜なしの方が塗膜ありよりも外気に近い部分での相対湿度が低くなっている。逆に、室内側の断熱材境界付近では、塗膜なしの方が高い。図 2.15.20、図 2.15.21で示したように、南側の内断熱壁体は外からの降雨水の影響を受け水分の移動方向が明確ではないため、時期によりかなり複雑な分布になっている可能性がある。

絶対湿度については、外断熱と同様、初年度の夏から冬にかけて小さくなり、暖房期には若干増加し、翌年の夏季に再びピークを迎える。

図 2.15.39は躯体内相対湿度・絶対湿度分布を、南北のGW外断熱とXPS内断熱で整理したものである。

これまで述べてきた通り、南北の違いで顕著なことは、GW外断熱の外気側に最も近い部分（断熱材境界面付近）の湿度の違いと、XPS内断熱の外気に近い部分の分布の違いである。両者の違いは、ともに日射が関係していると考えられ、熱的な影響として温度変動に、湿気的な影響として表面蒸発速度に、それぞれ現れていると推測できる。

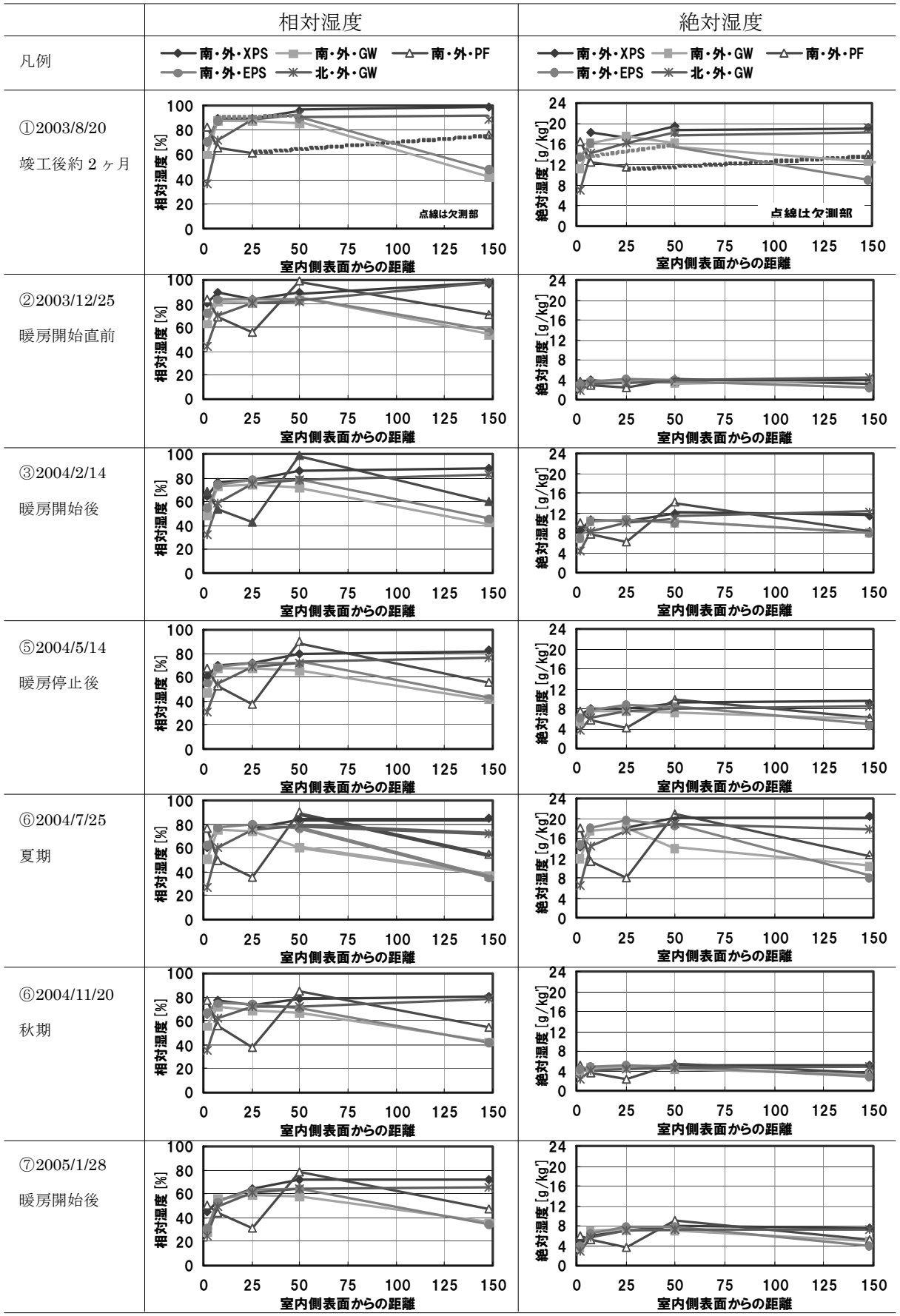


図 2.15.39 試験体内の湿度分布－（外断熱）

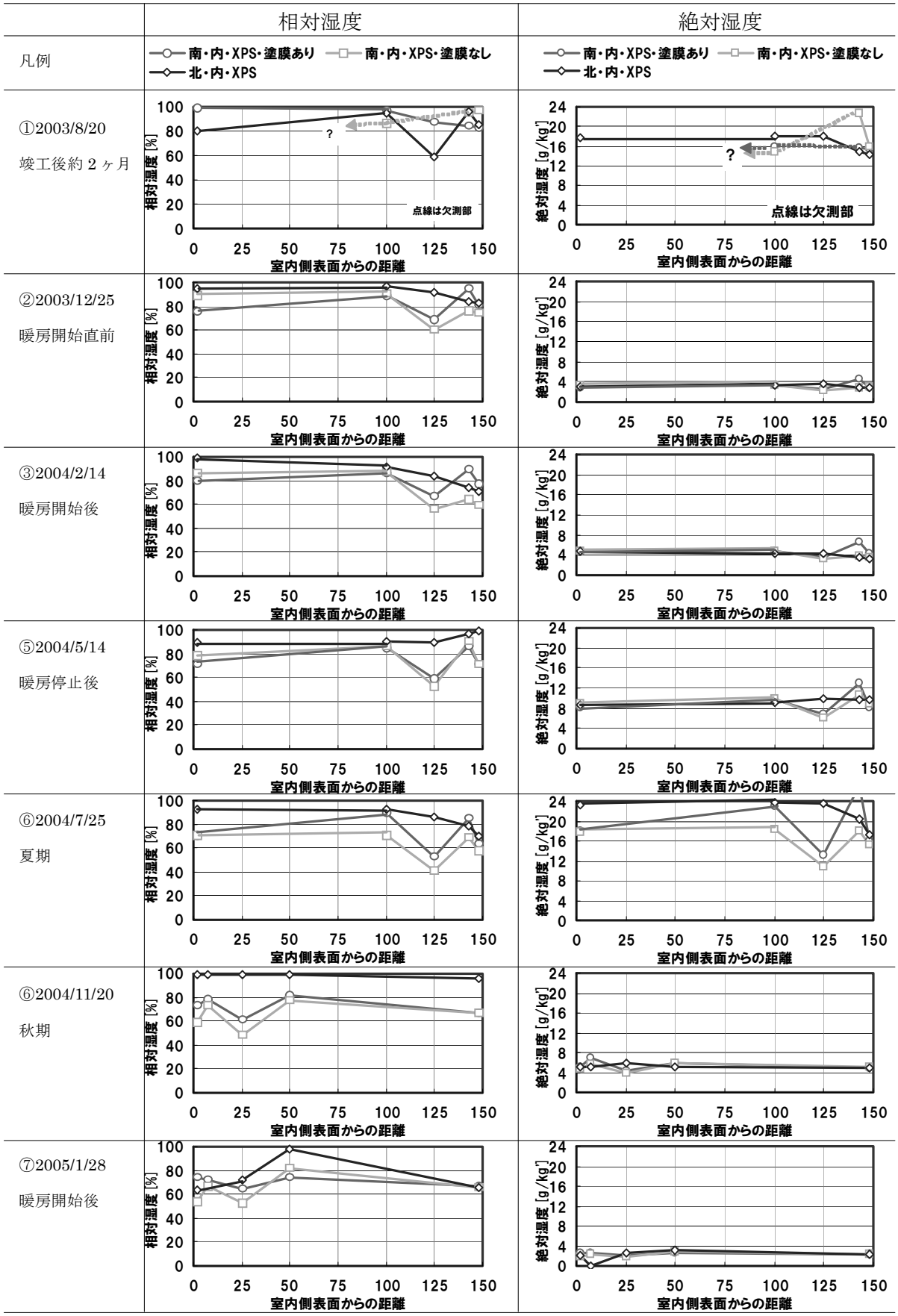


図 2.15.40　試験体内の湿度分布－（内断熱）

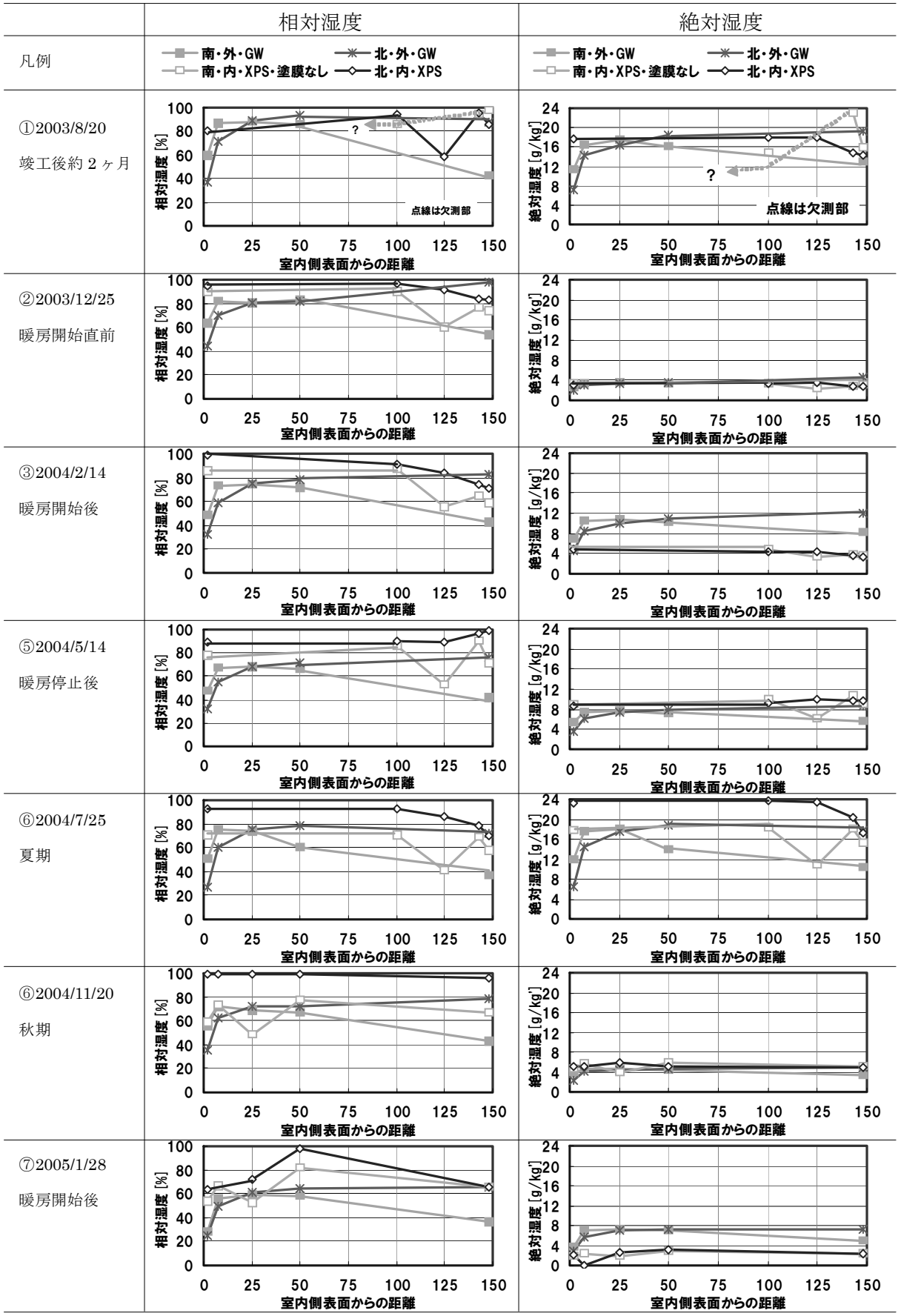


図 2.15.41 試験体内の湿度分布－（南北比較）

2.15.6 中性化と強度発現に関する検討

本項では断熱工法がコンクリートの躯体耐久性に及ぼす影響について中性化及び圧縮強度発現の点から検討する。

1) 計算方法

計算方法はJASS 5鉄筋コンクリート工事による[4]。検討は前節で述べた実験壁を対象とする。各計算に必要な温湿度データは実測期間については実測結果を用い、欠測期間については、コンクリート内温度は外断熱の場合で20℃、内断熱の場合で10℃、コンクリート内相対湿度は60%とする。圧縮強度計算に用いる打設後24時間のコンクリート温度は、施工日の日最高気温に10℃を加えた値(34.8℃)と仮定する。空気中のCO_2濃度は屋外は390PPM、室内は500PPMとする。

また、型枠脱型まではコンクリート内の相対湿度が高く中性化が進行しないので、脱型後、断熱材施工完了時を時間の基点とする。

表 2.15.3に中性化深さの計算に用いる表面仕上げの影響係数を示す。この係数は材料の透湿抵抗・通気率により大きく異なる。

今回の検討では、JASS 5に掲載される数値、表 2.15.2に記載した透湿抵抗値などを参考に壁体モデル毎に断熱材、仕上げの有無に応じて係数を設定している。通気層工法を採用した壁体の外装材、通気層はこの係数にどのような影響を及ぼすかは定かではないため、その影響は無視している。また繊維系断熱材を用いた場合には材料密度、断熱材外側に透湿防水シートなどの気密層を設けるか否かで透湿抵抗や通気性が異なってくる。それらがこの係数に及ぼす影響についても明確ではないため、繊維系断熱材を用いた外断熱壁体については、通気を阻害するものが全くない場合(R6=1、コンクリートが外気に直接曝されている場合と同値)と、若干の抵抗があると想定した場合(R6=0.5)の2ケースを想定した。

また、JASS 5では防水塗装のように施工精度、経時により透湿性能に変化がある材料については、その影響を考慮して設計値に安全率を乗じて係数を設定している。

それに関していえば、発泡プラスチック系断熱材は透湿抵抗が大きいため、断熱材継ぎ目部分や欠損部分が係数に与える影響は少なくないと思われる。そこで、本検討では、断熱材の継ぎ目等が一切ない理想的な施工状態の

表 2.15.3 表面の仕上げ影響係数 (R6)

壁体モデル	外壁通気層	RC躯体外側の防水塗装	外気側		室内側	
			断熱施工が良好な場合	断熱施工不良の場合	断熱施工が良好な場合	断熱施工不良の場合
①南-外断熱-XPS	有り	無し	0.03	0.15	1	
②南-外断熱-GW			1	1	1	
②'南-外断熱-GW'			0.5	0.5		
③南-外断熱-PF			0.03	0.15	1	
④南-外断熱-EPS			0.05	0.25	1	
⑤北-外断熱-GW			1	1	1	
⑥南-内断熱-XPS	無し	有り	0.35*1	0.35*1	0.03	0.15
⑦南-内断熱-XPS		無し	1	1	0.03	0.15
⑧北-内断熱-XPS			1	1	0.03	0.15

*1 JASS 5 では、防水塗装仕上の係数は経時変化等を考慮して表中の数値が設定されている
*2 断熱材継ぎ目の隙間、断熱欠損などを考慮し、断熱施工が良好な場合の係数の5倍と仮定した
XPS:押出法ポリスチレンフォーム GW:高性能グラスウールボード PF:フェノールフォーム EPS:ビーズ法ポリスチレンフォーム

場合とジョイント部等に隙間が生じている場合の2ケースを想定した。実際の施工状態は、これらの中間的なレベルにあると思われる。

2) 中性化深さの計算結果

図 2.15.42、図 2.15.43に断熱材の施工精度の違いを勘案した場合の中性化深さの計算結果を示す。

内断熱、外断熱ともに、今回計算対象としたようなプラスチック系の断熱材が施されている面は、経時による中性化はかなり小さな値となっている。また、断熱施工不良を考慮して仮にR6を5倍として検討したが(図 2.15.43)、中性化深さに関する大きな違いはない。

繊維系断熱材を用いた外断熱では、影響係数R6を1とした(断熱層の透湿・通気抵抗を0とした)場合、内断熱壁体よりも外気側の中性化が進行する結果となっている。これはコンクリート内の温度が、内断熱の場合に比べ高くなり中性化が促進されるためである。しかし、R6を0.5とした場合は、内断熱よりも中性化の進行は遅くなり、繊維系断熱材の場合は密度、表面処理方法によって、中性化の進行は大きく異なると推測される。

各図では外気側からの中性化と室内側からの中性化深さを示している。室内側では、内装仕上げのない外断熱の方が、内断熱に比べて中性化深さが大きくなることがわかる。これは直接空気に晒されたコンクリート面の中性化は空気中のCO_2濃度の影響を大きく受けるためである。今回の計算条件のように透湿・通気抵抗を有しない内装仕上げを行った場合、あるいは内装仕上げを行わない外断熱壁体は、発泡プラスチック系断熱材を用いた内断熱の場合より、中性化深さは大きくなる。

以上の検討は、断熱工法、断熱材種類、仕上げの有無などがRC躯体の中性化に与える影響を、実測値を用いて定性的に把握することを主目的としたものである。計算結果が実際の壁体で生じている中性化現象と一致するか否かは、今後、実験を継続しながら比較検証する予定である。

建築基準法では中性化による構造安全性の確保に対してかぶり厚さを規定している。その厚さは部位によって異なるが、外壁に関しては最低30mmを確保することが規定されている。さらに建築学会ではさらに安全率として5mm加算することとしており[4]、実際の現場では35mm程度のかぶり厚さが確保されていると考えられる。今回の計算結果は、いずれもこのかぶり厚さの中に納まっており、100年程度以上の耐用性を想定した場合でも、断熱工法等の違いが躯体の中性化に与える影響は少ないといえる。

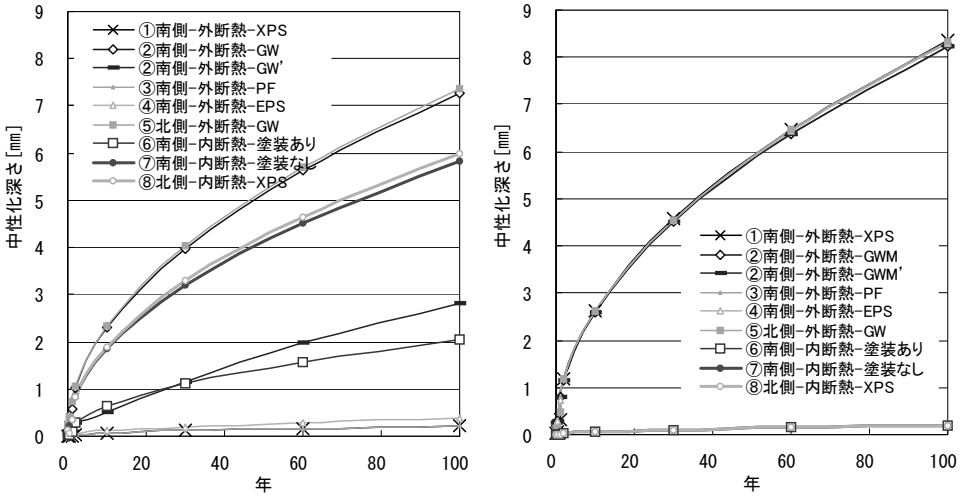
中性化は、コンクリートの乾燥過程で生じる収縮ひびわれ、温冷履歴によるクラック発生などがその進行を早めることが知られている。後者に対して外断熱工法は有効だが、中性化を抑制するにはコンクリート自体の水セメント比、配合、高強度化などによって対応していく方が、コスト、耐震性などの面からも合理的といえよう。

3) 圧縮強度の計算結果

図 2.15.44に圧縮強度発現の推定結果を示す。コンクリート材質は実験棟で使用した4週強度20.7N/mm^2、水セメント比55%である。前節で紹介した実験では、コンクリート打設後1ヶ月間は断熱材が未施工だったが、この検討も、その条件で行っている。

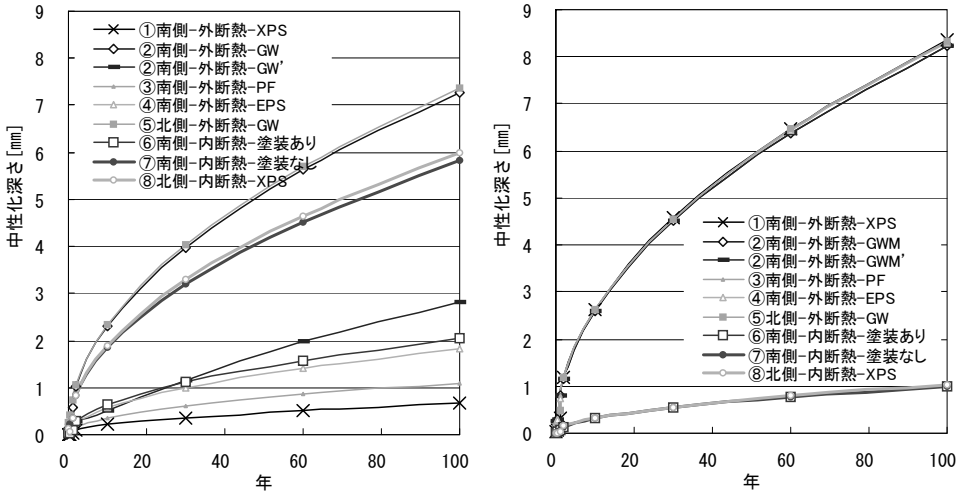
図から、内断熱の方が外断熱よりも若干強度発現が小さいこと、他の外断熱工法より躯体

内温度が高いXPS外断熱壁体の強度発現が小さいことなどがわかる。しかし、打設時期などの外部要因の方がはるかに影響が大きいと思われ、断熱方法の違いがコンクリートの強度発現に与える影響は(1.0N/mm^{2}以内)僅かなものといえる。



(a)外気側からの中性化深さ　　(b)室内側からの中性化深さ

図 2.15.42　断熱施工が良好な場合



(a)外気側からの中性化深さ　　(b)室内側からの中性化深さ

図 2.15.43　断熱施工が不良の場合

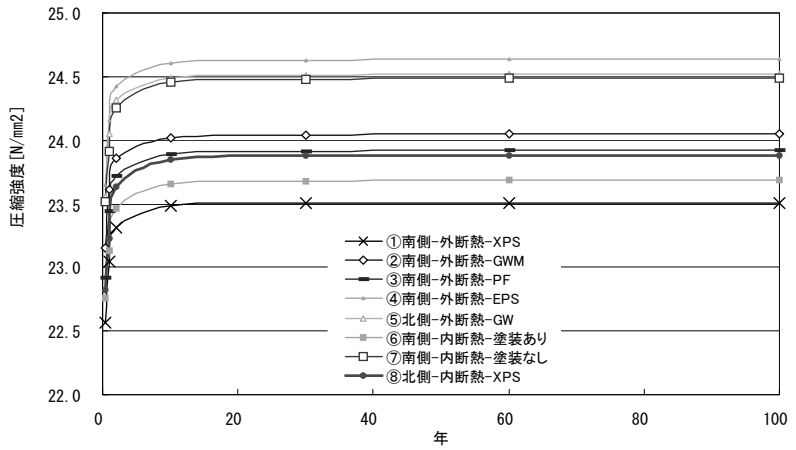


図 2.15.44　圧縮強度の発現推定

2.15.7 まとめ

本節では、断熱工法の違いがRC躯体の熱湿気性状にどのような影響を与えるかを把握するため、北海道立北方建築総合研究所構内に建つ実験建物で、外断熱4種、内断熱1種の壁体を南北面に設置し、約2.5年間の実測結果を整理した。このような実験はこれまでわが国で報告された例は少なく、今後、RC躯体の耐久性推定に向けた重要な基礎データーとなる。

また、この実験結果を基に、各種断熱工法がRC躯体の中性化に対してどのような影響を与えるかについて検討した。現時点では、中性化深さの実測を行っていないため、あくまでも定性的な見解にとどまらざるを得ないが、断熱工法での中性化深さは、断熱材や仕上材の透湿・通気抵抗、有無により差が生じるものの、相当な耐用性を想定した場合でも、基準で規定されるかぶり厚さに達する恐れはないと思われる。また、コンクリートの強度発現に関しては、断熱工法間で大きな差は見られなかった。

今後も、実測、より精緻な数値解析を行い、RC躯体と断熱工法の関係について検討していく所存である。

(伊庭千恵美、北谷幸恵、鈴木大隆)

＜主な参考文献＞

1)鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針(案)・同解説、(社)日本建築学会、2004
2)コンクリートの促進中性化試験の評価に関する研究、阿部道彦他、日本建築学会構造系論文報告集、p.1-10、1990
3)建築材料の熱・空気・湿気物性値、(社)日本建築学会、2001
4)JASS5 鉄筋コンクリート工事(解説)、日本建築学会、PP.159-160、PP218-219

＜関連研究発表＞

空気移動を考慮した断熱外壁の熱・湿気性状に関する基礎実験 －その1 隙間性状の異なる単純漏気壁体モデルでの検討－、伊庭千恵美、鈴木大隆、桂修、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-Ⅱ、p 155-156、2003

2.16 開口部断熱強化

2.16.1 断熱戸の熱的効果と課題の整理

開口部からの熱損失は、換気負荷と並んで比率の大きい部位であることは間違いない。真空ガラス・真空断熱材などの高性能な素材も登場してきているが、非常に高価であるし、断熱壁体に比べるとまだまだ性能は低い。外皮の断熱強化がある水準に達した後の課題は、自然エネルギーを有効利用して住宅の室温維持に係るエネルギー消費をゼロに近づけることにある。現在のところ、ユビキタスかつコストのかからないエネルギー源は太陽エネルギーで、これを活用する開口部の工夫は避けて通れない。必然的に開口部は大きくならざるを得ないが、日射熱取得の期待できない夜間は大きな熱損失源になるとともに室内温熱環境悪化の原因にもなりうる。すなわち、開口部を利用したエネルギー利用は相反する要求を同時に満たさなければならないのである。

エネルギーの有効利用を図りつつ開口部を断熱強化する方法には様々なアプローチがあり得るが、コストを必要以上に増加させずに断熱性能を強化するには多重化が最も現実的かつ有効だと思われる。具体的には開口部の内外に部材を付加させて、外部の状況に応じて日射透過特性や熱抵抗を可変させることが目標となる。以下に研究項目を列挙する。

①内外断熱補強部材の熱的性能の把握

まず、これらの付属部材がどのくらいの熱抵抗増加につながるのかについて把握するため、実験検討を行う。ここでは熱抵抗の増加のみではなく、隙間性状の測定も同時に行う。

②外部に非気密部材を設置した開口部の熱的性能に関する検討

また、開口部の熱貫流率は内外の熱伝達層が大きな熱抵抗になっており、熱抵抗の低い窓部材ほどその比率は大きくなる。風環境が大きく変化するのは外部であるので、適切な外部補強を施すことで対流熱伝達率増大の防止効果が期待できるが、隙間性状や面材料の熱コンダクタンスなどの考慮によりその効果は大きくことなるであろう。この点に関して2.16.2で検討を行う。

③多数室温湿度シミュレーションに基づく窓面結露性状把握

既存部材の組み合わせのみではなく、新規に断熱補強部材を開発するときには、できるだけ断熱強化が可能な部材構成が求められるが、この手法には以下のような課題をクリアしなければならない。以下にそれを列挙すると、

a)断熱戸側を気密にしないと窓面結露や地域によっては結氷も生じ、結露水による汚れなどの問題が生じる

b)開口部周りは日射が直接当たるため使用部材によっては熱反りや変形などを生じてしまう

c)市販断熱材を利用するタイプは光透過性が期待できない建具に填め込む方法が一般的で，非使用時に収納に困る

これらの課題のうち、特に結露の定量的評価に関して、熱水分同時移動モデルを用いた多数室温湿度シミュレーションを行い、その設計要件を2.16.3で検討する。

④発熱ガラスを用いた室内温熱環境の改善効果に関する検討

非気密断熱戸の利用を前提として、実害のない窓面結露量に抑えるには、部材断熱性能をある

レベル以下にしなければならない。しかしケースによっては、発熱ガラスを有効に活用することで逆に断熱性能をアップさせることも可能になるだろう。2.16.5ではそうした可能性についての基礎的な検討を行うとともに、ドラフト抑制による室内環境改善の可能性についても実験的に検討する。

2.16.2 断熱室内戸の併用効果…実験棟への装着時のシミュレーションと実測結果

1) シミュレーションと実測の概要

本研究の一環として実施された試験室試験において、サッシの内側に発泡断熱材を充填した室内断熱戸を併設することにより、窓の断熱性能を大きく向上させることができることが確認された。このことを受けて、本項では実験棟の一部窓に試験室試験に用いた室内断熱戸と同じ厚さの発泡断熱材を装着し、その効果を熱負荷シミュレーションソフトウエアを用いて解析するとともに併用時と非併用時の室内側温度及び湿度の違いを実測した。

2) 実験棟の概要

本シミュレーションと実測に用いた実験棟は、千葉県野田市にある木造軸組・パネル構造・2階建・延床面積137.21㎡の住宅である。躯体部は発泡プラスチック系断熱構造体パネルを用いた断熱気密構造であり、断熱性能、気密性能ともに平成11年省エネルギー基準に適合する仕様となっている。窓は中空層厚さ12ミリの複層ガラスを装填したアルミ熱遮断構造製サッシ、玄関ドアは発泡ウレタンを充填した高断熱構造のものが設置されている。

換気システムは排気セントラル方式で、1階洗面所付近に排気ユニットが設置され、自然給気口は各室にそれぞれ1箇所ずつ配置されている。

表 2.16.1 実験棟の概要

項目		仕様及び性能概要
所在地		千葉県野田市
構造		木造・軸組(パネル構造)・2階建
延床面積		137.21㎡
	1階床面積	65.42㎡
	2階床面積	71.79㎡
断熱構造	屋根	ウレタンフォーム断熱材 ア89
	外壁	ウレタンフォーム断熱材 ア70 … 充填
	床	ウレタンフォーム断熱材 ア87 … 床断熱部分
	基礎	ポリスチレンフォーム断熱材 ア30 … 立ち上がり部及び床下上部
開口部	窓(北面)	アルミ熱遮断構造サッシ 低放射複層ガラス(A12)
	窓(他方位)	アルミ熱遮断構造サッシ 複層ガラス(A12)
	玄関ドア	高断熱フラッシュ構造ドア(ウレタンフォーム断熱材充填)
熱損失係数(計算値)		2.23[W/(㎡・K)]
相当隙間面積(実測値)		1.07[C㎡/㎡]
換気装置	計画換気	排気セントラル換気システム 1階洗面所付近に排気ユニット設置 各居室及び玄関付近に設置
	局所換気	台所及び浴室に設置



図 2.16.1　平面図・立面図

3) 暖冷房負荷・主寝室の室温変動シミュレーション

(1) 条件設定等

a 計算内容

・住宅全体の暖房負荷及び主寝室中央部における室温変動を解析する。
・シミュレーションには熱負荷計算ソフトウエア「SMASH」を用いる。
・気象データは埼玉県越谷市（実験棟の最寄）のものを用いる。

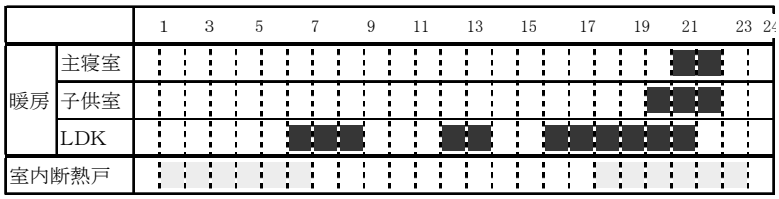
b 暖房温度及びモード

・設定温度20℃の局所間欠暖房とする。
・スケジュールは日本建築学会標準問題による（表 2.16.2）。

c 生活スケジュール

・夫婦と子供2人の4人家族を想定し、生活スケジュール及び機器発熱等の諸条件は日本建築学会標準問題による。
・室内断熱戸の設置及び使用条件・室内断熱戸は、夜間（18時～翌朝7時）に閉じ、昼間は開放する（表 2.16.2）。
・室内断熱戸は、サッシ室内側額縁内法にはめ込む方式とした
※実際には室内側壁面に沿って開閉する装着方法となるため、今回のシミュレーションや実測よりサッシと室内断熱戸との間隙が少し大きくなる。
・室内断熱戸は、1階リビングルーム、主寝室及び子供室に設置されている引違い窓（掃出サイズまたは肘掛窓サイズ）に設置する。
設置窓の概要は図 2.16.2に示す。

表 2.16.2 暖房及び室内断熱戸併用時間



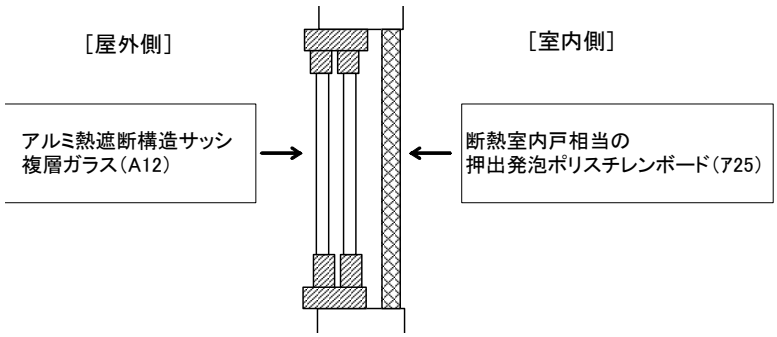


図 2.16.2 断熱室内戸の併用状態（使用時）

表 2.16.3 暖房負荷シミュレーション結果

［単位:MJ］

	11月	12月	1月	2月	3月	4月	合計
室内断熱戸不使用	1,080.42	2,946.98	4,062.56	3,524.24	3,128.24	622.88	15,365.30
室内断熱戸使用	761.86	2,387.30	3,372.28	2,966.24	2,630.10	491.02	12,608.80
差							2,756.52

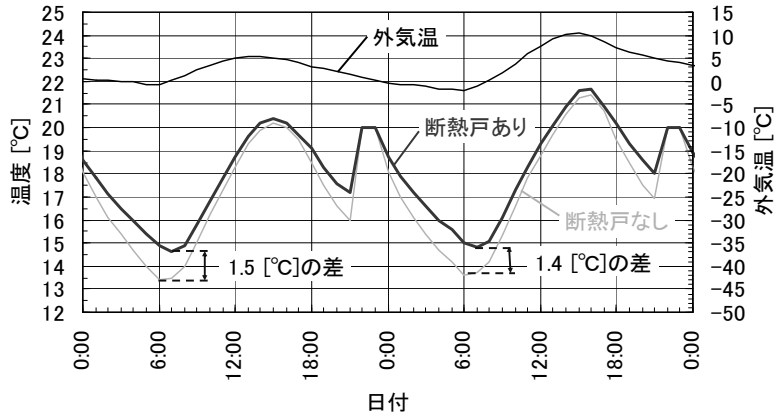


図 2.16.3 主寝室における室温変動

(2) 暖房負荷

室内断熱戸を使用した場合と使用しない場合の暖房負荷の違いを表 2.16.3に示す。11月から4月までの暖房使用期間中における負荷の差は2,756MJであり、約18%の負荷低減効果があることがわかった。 仮に暖房機器が電気式エアコン(COP=3)であると仮定すれば、期間中の電気代に換算して約6,000円の節約になる。

(3) 室温変動

主寝室中央部の室温変動を図 2.16.3に示す。室内断熱戸を使用しない場合には翌朝の最低室温が13.8℃まで下降するのに対し、室内断熱戸を使用した場合には最低室温が14.8℃まで確保できる。約1.5℃の保温効果があることがわかった。また、室内断熱戸を使用した場合には、使用しない場合と比べて暖房を切った後の室温降下が格段に緩やかになることが確認された。

4) 実験棟における実測結果(その１)
…主寝室の室温変動と上下温度差の実測

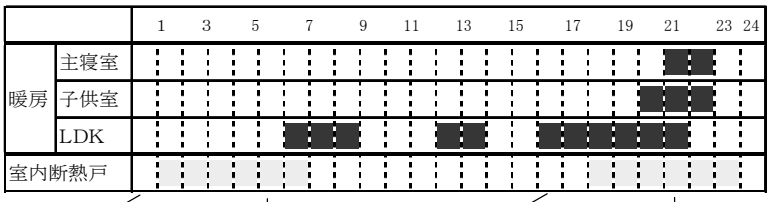
図 2.16.1の実験棟において、室内断熱戸を使用しない場合と室内断熱戸を使用する場合の主寝室中央部の室温変動と上下温度差変動の実測を行った。

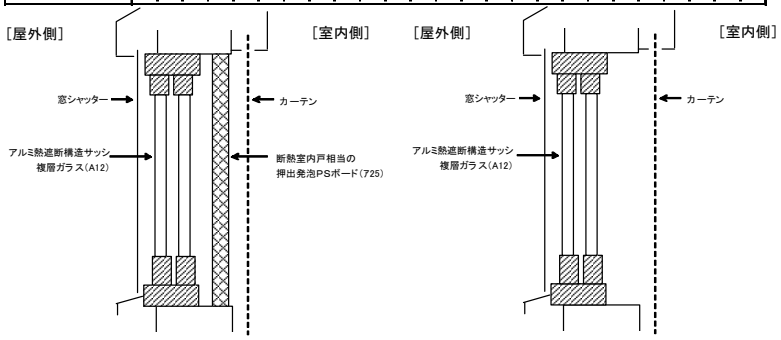
(1) 実測に関わる条件設定等

a 実測内容

・主寝室中央部床上1200㎜における室温変動を実測する。
・主寝室中央部床上1200㎜と床上100㎜の上下温度差変動を実測する。

表 2.16.4　暖房及び室内断熱戸併用時間





［断熱室内戸使用状態の設定(夜間)］　　［断熱室内戸不使用状態の設定(夜間)］

図 2.16.4　窓の仕様比較

表 2.16.5　主寝室中央部高さ1200㎜における室温変動
…前後10分間の平均値　(単位：℃)

	23時(暖房 turn off)		翌朝6時(最低温度)		温度低下
	主寝室温	外気温	主寝室温	外気温	
室内断熱戸なし(2月3日から4日)	22.0	1.6	11.8	1.0	10.2
室内断熱戸あり(1月27日から28日)	22.7	2.2	13.5	−0.6	9.2
				室内断熱戸による効果(単純比較)	1.0

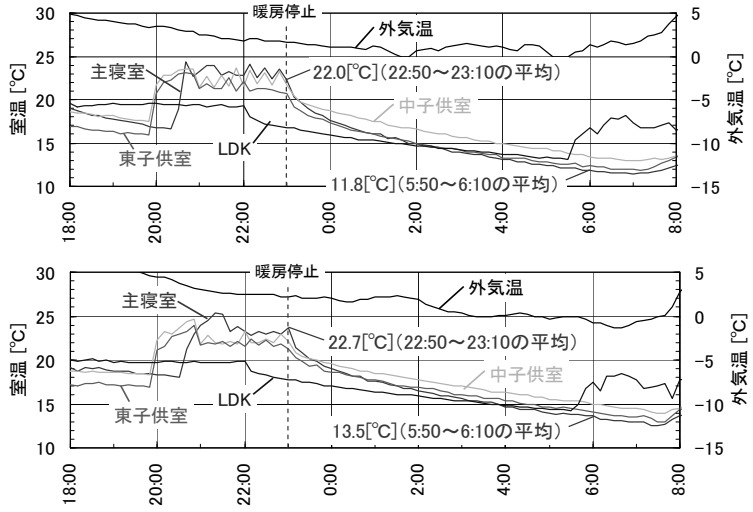


図 2.16.5　各室における室温の時系列変化
(2005年1月27日18:00 ～ 28日8:00)

b 実測日

・平成17年1月27日～28日
　室内断熱戸使用
・平成17年2月　3日～　4日
　室内断熱戸不使用

c 暖房温度及びモード

・設定温度20℃の局所間欠暖房とし、暖房機器には電気式エアコンを用いる。
・スケジュールは日本建築学会標準問題による(表 2.16.4)。

d 室内断熱戸等の設置及び使用条件

・室内断熱戸に相当する断熱材(押出発泡ポリスチレン板 ア25)をサッシ室内側額縁内法にはめ込む方式とする(図 2.16.4)。以下、これを室内断熱戸という。
※断熱材は周囲に目視上すき間がない程度の止め付けとし、目張り等の気密処理は行わない。
・室内断熱戸は、1階リビングルーム、主寝室及び子供室に設置されている引違い窓(掃出サイズまたは肘掛窓サイズ(図 2.16.1の●印箇所)に設置する。
・サッシの外側には窓シャッターが設置されている。
・サッシの内側にはカーテンが設置されている。
・窓シャッター、室内断熱戸及びカーテンは、夜間(18時～翌朝7時)に閉じ、昼間は開放する(表 2.16.4)。

(2) 実測結果

a 主寝室中央部の室温変動

主寝室中央部の室内外温度を表 2.16.5に示す。

室内断熱戸を使用した場合には、不使用の場合と比べて翌朝の最低温度が1℃高くなっている。最も低い外気温度が室内断熱戸を使用した1月27日から28の間では-0.6℃、室内断熱戸を使用しなかった2月3日から4日の間では1.0℃であったことを勘案すると、室内断熱戸の併用により、実質上2.6℃の保温効果があったことになる。

各室における18時から翌日8時までの室温変動を図 2.16.5に示す。各室ともに、室内断熱戸を使用した場合には使用しない場合と比べて室温の低下が緩やかで、翌朝の最低温度も1.5℃程度高くなっていること検証された。

b 主寝室中央部の上下温度差

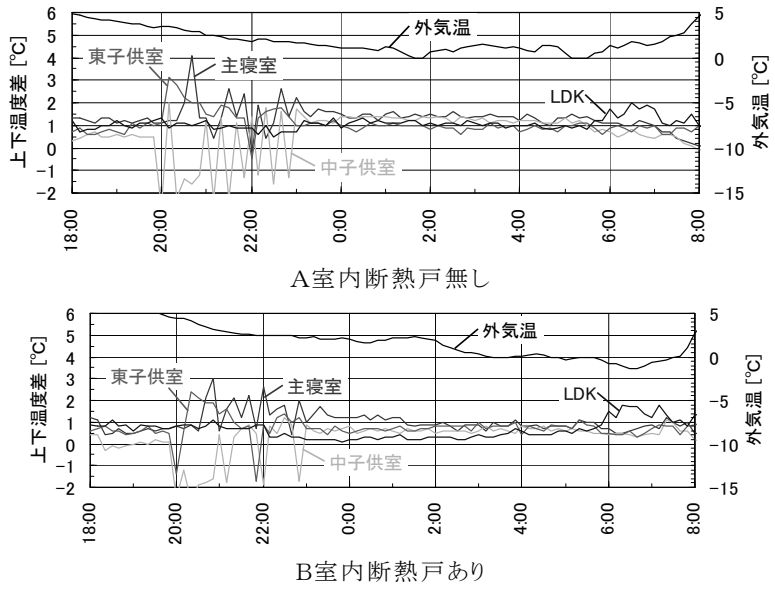
表 2.16.6は、主寝室中央部における床面からの高さ1200㎜箇所と同100㎜箇所との上下温度差について、定時前後30分間の実測平均値を時系列に並べたものである。

室内断熱戸を使用した場合には、不使用の場合と比べて上下温度差が0.4℃小さくなっている。表 2.16.1に示すように、この実験棟は各部の断熱性能が次世代省エネルギー基準に適合し、相当隙間面積が1C㎡/㎡に迫る高気密化が図られている。このような住宅にあっては、元来室内での上下温度差が小さいことがメリットとされているが、窓の断熱性能をより一層高めてコールドドラフトの影響を極少化することにより、上下温度差の抑制にも効果を及ぼすことが検証されたことになる。

各室中央部における床面からの高さ1200㎜箇所と同100㎜箇所との上下温度差の時系列変化を図 2.16.6に示す。他室においても主寝室と同様に上下温度差が小さくなっていることが検証された。

表 2.16.6 主寝室中央部高さ1200㎜における室温変動
…前後10分間の平均値 (単位：℃)

	23時	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	平均	差
室内断熱戸なし(2月3日から4日)	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.1	1.4	0.4
室内断熱戸あり(1月27日から28日)	1.5	1.2	1.2	0.9	0.8	0.9	0.8	0.6	1.0	



A室内断熱戸無し

B室内断熱戸あり

図 2.16.6 各室中央部の上下温度差の時系列変化
(2005年2月3日18:00 ～ 4日8:00)

5) 実験棟における実測結果(その2)…窓近傍温度と湿度の実測

窓の室内側に熱抵抗の大きい付属部材を使用する場合、付属部材の内外で大きな温度勾配が生じてサッシやガラス室内側表面の温度が低下するため、サッシやガラス面の結露が生じやすくなることはよく知られている。

サッシやガラスが室内側に露出している箇所では結露が生じず、厚手のカーテンや障子などが併設されているサッシやガラス面だけに結露が生じるといった現象である。

本項では、実験棟LDKにおける窓と室内断熱戸の間隙及び窓(ガラス中央部)の温度の変化ならびに窓と室内断熱戸の間隙部分の湿度の変化を実測した結果を報告する。

(1) 実測に関わる条件設定等

a 実測内容

・LDKに設置されている掃出サイズ窓の窓(ガラス中央部)室内側の温度実測。
測定点:床面からの高さ1200㎜
・LDKに設置されている掃出サイズ窓と室内断熱戸との間隙中空層の温度実測。
測定点:床面からの高さ1200㎜
・LDKに設置されている掃出サイズ窓と室内断熱戸との間隙中空層の湿度実測。
測定点:床面からの高さ1200㎜

b 実測日

・平成17年2月18日0時～19日12時

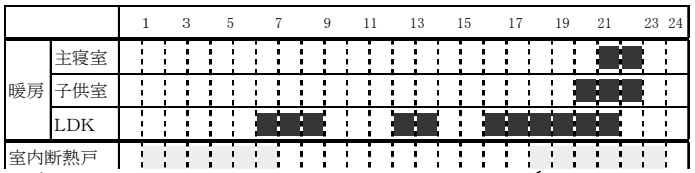
c 暖房温度及びモード

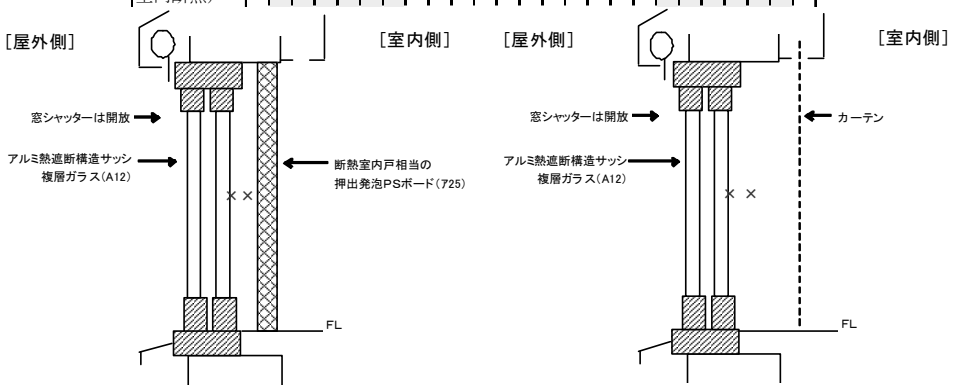
・設定温度20℃の局所間欠暖房とし、暖房機器には電気式エアコンを用いる。
・スケジュールは日本建築学会標準問題による(表 2.16.7、写真 2.16.1)。



写真 2.16.1 実験の設定 (LDK内観)

表 2.16.7 暖房及び室内断熱戸併用時間





[断熱室内戸使用状態の設定(夜間)] [断熱室内戸不使用状態の設定(夜間)]

×印:温度(湿度)測定点を示す

図 2.16.7 窓の仕様比較

d 加湿モード

・加湿器を用い、相対湿度40%の設定で連続運転する。

e 室内断熱戸等の設置及び使用条件

・LDKに設置されている掃出サイズ窓のうち一方に、室内断熱戸に相当する断熱材(押出発泡ポリスチレン板 ア25)をサッシ室内側額縁内法にはめ込む方式とする(図 2.16.7、写真 2.16.1)。カーテンは開放したままとする。
※断熱材は周囲に目視上すき間がない程度の止め付けとし、目張り等の気密処理は行わない。

・LDKに設置されている掃出サイズ窓のうち他方の窓には室内断熱戸を使用しない。
(窓の室内側はカーテンのみ)

・室内断熱戸及びカーテンは、夜間(18時～翌朝7時)に閉じ、昼間は開放する(表 2.16.4)。

(2) 実測結果

a 各測定点における温度の時系列変動

各測定点における温度の変動を図 2.16.8に示す。室内断熱戸を使用した窓では、室内断熱戸を閉めた18時以降において、窓室内側表面温度と間隙部温度が急激に降下していくことが確認できる。LDK中央部の室温と窓室内側表面温度との差は最大12℃に達していた。

また、室内断熱戸を使用した窓と使用しない窓を比較すると、窓室内側表面では9.5℃、間隙部では6.5℃それぞれ室内断熱戸を使用した窓の方が温度が低くなっていた。

なお、暖房時の室温設定は20℃としているものの、LDK中央部の実測温度は18℃から19℃止まりとなっている。これは、エアコンの自動温度設定と実測との誤差、温風の吹き出し制御はエアコン側の温度線差に依存しているため、であると考えられる。

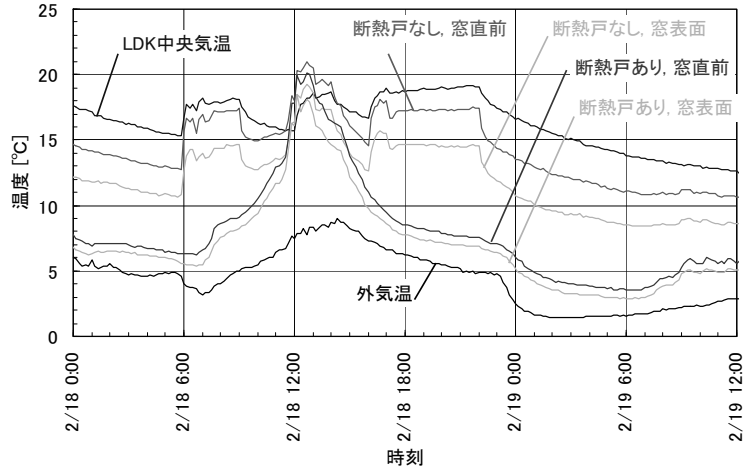


図 2.16.8 LDK中央部及び窓近傍の温度の時系列変化(2005年2月18日0:00～19日12:00)

b 各測定点におけるの湿度の時系列変動

各測定点における温度の変動を図 2.16.9に示す。LDK中央部の湿度変動は少なく、30%から40%の間で推移している。室内断熱戸を使用していない窓とカーテンの間隙部は次に湿度変動が少なく、20%から40%強の間

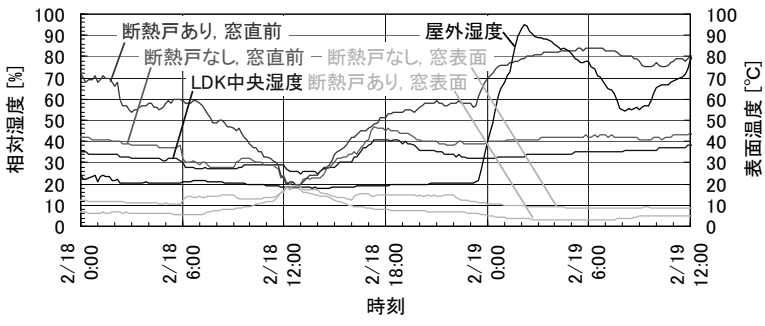


図 2.16.9 LDK中央部及び窓近傍の相対湿度の時系列変化(2005年2月18日0:00～19日12:00)



図 2.16.10 実験棟・屋外からの結露有無観察(2005年2月17日)

で、大部分の時間帯でLDK中央部の湿度より数ポイント高めの湿度変動となっている。
一方、室内断熱戸を使用した窓の室内断熱戸と窓との間隙は変動幅が大きく、室内断熱戸を開放している時間帯ではLDK中央と近似した湿度（最低は20%）であるが、室内断熱戸を閉めた18時以降急激に上昇し、最大値（翌朝6時）は85%近くまで上昇していた。翌早朝に屋外側から目視観察したところ、サッシ各部及びガラス面に結露は確認されなかった（写真2.15.2）。

以上の結果から、この実験住宅と同等の諸条件設定のもとでは、室内断熱戸に今般程度(JIS A 4706の「A 3等級」または「A4等級」と推定される)の気密性をもたせておけば、深刻な結露性状には至らないものと考察される。

なお、加湿器は機器内蔵センサで設定湿度まで加湿する機構となっているが、今般の実験においては、LDK中央部の湿度を設定条件まで高めることができなかった。これは機器の能力不足に起因するものである。

2.16.3 内外に非気密部材を設置した開口部の熱的性能に関する検討

開口部の室内側および屋外側に障子や雨戸といった部材を取り付けた場合の断熱効果および結露危険性を、部材周辺からの通気を考慮した数値計算により検討する。

1) 検討の方法

(1) 検討対象開口部の概要

開口部は図 2.16.12に示すような、高さ1,311mm、幅1,671mmの引違いサッシで、アルミ＋PVC樹脂複合、複層ガラス(3mm+A12mm+3mm)という構成のものである。

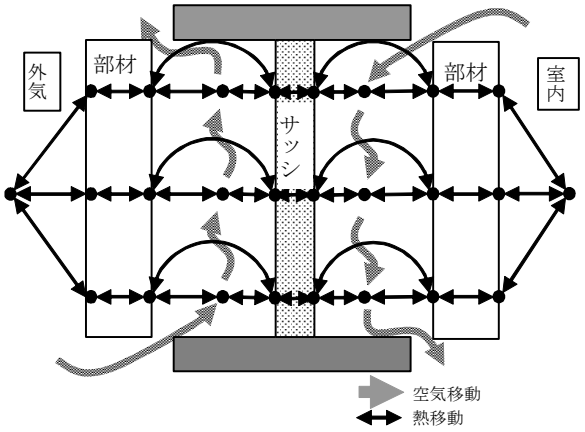


図 2.16.11 計算モデル

(2) 数値計算の手順

ⅰ.熱貫流率計算ソフトTB2D/FDM1）により得られる、サッシおよび付属部材における分割範囲（(3)a参照）ごとの熱貫流率から熱コンダクタンスを求める。

ⅱ.サッシおよび付属部材を高さ方向に5等分し、それぞれについて平均熱コンダクタンスを求める。

ⅲ.開口部全体の2次元熱空気移動計算（図2.16.11、表2.16.8）を行い、各部の温度、通気量、熱流量を得る。なお、サッシおよび付属部材における面方向の熱伝導は無視している。

(3) TB2D/FDM用解析モデルの作成

a 計算範囲の分割

TB2D/FDMでは図 2.16.12にサッシの例を示すように、同一の断面を有していてその形状や材料の組み合わせなどから温度差が生じると予想される範囲ごとに分割して計算する。分割範囲の取り合い部は、同様の断面を持つ部分の熱貫流率を代入する。

b 解析モデルの作成

TB2D/FDMでは2次元の直交座標系で解析モデルを構築する必要がある。また、

表 2.16.11　２次元熱空気移動計算の方法

■空気層内気流速度

上端および下端にある隙間に対する圧力差によって生じる透気に起因するものとする。右図のように圧力条件[Pa]を与えると、次の関係式が得られる。なお、静圧については付属部材下端を基準（$p_{s,1}=0$）とし、また空気層内全圧 p_a [Pa]の動圧成分は無視する。

$$p_{s,n}=-\rho_o g y \quad (1)$$

$$p_d=C\times\frac{1}{2}\rho_o w^2 \quad (2)$$

$$p_{a,n}=p_{a,1}-y g\sum_{\ell=1}^{n}\rho_\ell \quad (3)$$

$$Q=\rho_o A_l\left|p_{d,1}-p_{a,1}\right|^{\frac{1}{n}}=\rho_m A_m\left|p_{a,m}-\left(p_{s,m}+p_{d,m}\right)\right|^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

（$p_{d,1}-p_{a,1}<0$ または $p_{a,m}-\left(p_{s,m}+p_{d,m}\right)<0$ の場合、空気層内気流は下向き）

$$v_\ell=\frac{Q}{\rho_\ell D} \quad (5)$$

ただし、ρ：空気密度[kg/m³]（$=1.293\times\frac{273.15}{\theta}$）、

θ：空気温度[K]、g：重力加速度[m/s²]（$=9.80665$）、

y：付属部材の上下端長さ[m]、C：風圧係数[ND]、

w：屋外風速[m/s]、Q：隙間の通過空気量[kg/s]、

A：隙間の通気率[m³/s Pa$^{1/n}$]（差圧１Pa のときの通気量）、

n：隙間特性値[ND]、v：空気層内気流速度[m/s]、

D：空気層の水平断面積[m²]。

添え字は、s：静圧、d：動圧、a：空気層内の全圧、o：屋外、$1\cdots\ell\cdots m$：質点番号（1：下端、m：上端）。

■熱伝導

伝導による熱流量 H_d [W/m²]は次式により求める。

$$H_d=\frac{\lambda}{x_{i,j}}\left(T_i-T_j\right) \quad (6)$$

ただし、λ：熱伝導率[W/m K]、x：要素間距離[m]、

T：要素温度[K]

添え字ｉ、ｊ：要素ｉ、ｊ

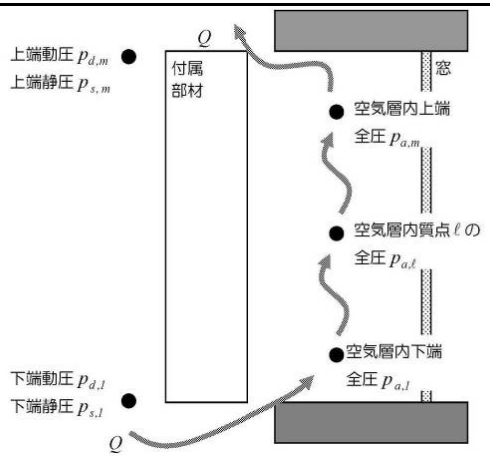


図　空気層内気流速度算出のための圧力設定点

■放射熱伝達

放射による熱伝達量 H_r [W/m²]は次式により求める。

$$H_r=\varepsilon_{i,j}\sigma\left(T_i^4-T_j^4\right) \quad (7)$$

ただし、ε：放射率[ND]、

σ：シュテファン・ボルツマン常数[W/m² K⁴]（=5.67×10⁻⁸）、

１）空気層内

$$\varepsilon_{i,j}=1\Big/\left(\frac{1}{\varepsilon_i}+\frac{1}{\varepsilon_j}-1\right) \quad (8)$$

２）雨戸の屋外側

$$\varepsilon_{i,j}=\varepsilon_i\varepsilon_j \quad (9)$$

■対流熱伝達率

１）空気層内

式（10）で定義されるヌセルト数 Nu [ND]から対流熱伝達率 h [W/m² K]を求める。

$$Nu=\frac{hd}{\lambda_\ell} \quad (10)$$

ただし、d：空気層水平断面の相当直径[m]

（$=4S/L$　S：断面積[m²]　L：周長[m]）、

λ_ℓ：質点 ℓ における空気の熱伝導率[W/m K]

（$=\left(0.76\left(\theta_\ell-273.15\right)+241\right)\times10^{-4}$）

A．層流（$Re\le2000$）の場合（Re：レイノルズ数[ND]）

$$Nu=8.23 \quad (11)$$

B．乱流（$3000<Re<10^6$）の場合

式（12）で定義されるプラントル数 Pr [ND]が 0.5～2000 の範囲にあるとき、式（13）から Nu を得ることができる。

$$Pr=\eta_\ell c/\lambda_\ell \quad (12)$$

ただし、η_ℓ：質点 ℓ における空気の粘性係数[Pa s]

（$=18.2\times10^{-6}\frac{293.15+117}{\theta_\ell+117}\left(\frac{\theta_\ell}{293.15}\right)^{\frac{3}{2}}$）、

c：低圧比熱（=1006）[J/kg K]

$$Nu=\frac{(f/2)(Re-1000)Pr}{1+12.7\sqrt{f/2}\left(Pr^{2/3}-1\right)} \quad (13)$$

ただし、f：管摩擦係数[ND]（$=\left(3.64\log Re-3.28\right)^{-2}$）

２）雨戸の屋外側

次式の、普通面におけるユルゲスの式を用いる。

$$h=5.8+3.9w \quad (w\le5) \quad (14)$$

$$h=7.1w^{0.78} \quad (w>5) \quad (15)$$

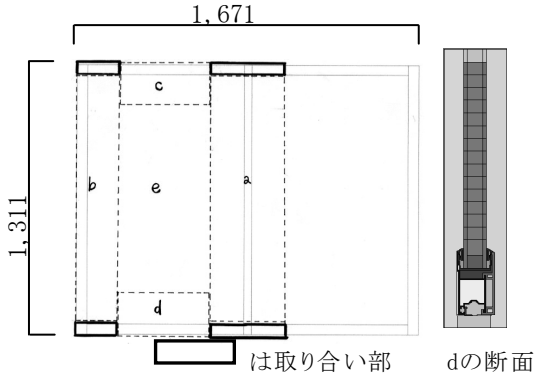


図 2.16.12 分割範囲（サッシの例）

特にサッシ断面ではアルミなどの薄い材料が使用されている。そこで、計算要素の寸法は0.5mmを基本単位とした。設定条件について、温度および総合熱伝達率は、室内側を20℃、9.1W/m^2 K、屋外側を0℃、25.0W/m^2 Kとする。各構成材料の熱伝導率は表2.16.9の通りとする。

表 2.16.9 各材料の熱伝導率[2)]

材料	熱伝導率(W/m K)
アルミニウム	204.65
軟質塩化ビニル･ゴム	0.163
ガラス	1.0
硬質塩化ビニル	0.163
ポリスチレン3種	0.028
真空断熱材	0.008
合板	0.16
木材	0.15
鋼材	53.0
和紙	0.212
透光断熱材	0.0336
布	0.0426

2) 既存の付属部材による断熱効果の検討

(1) 検討対象の付属部材

表2.16.10に示すような3×7＝21通りの既存の付属部材の組み合わせを検討対象とする。サッシおよび各付属部材について、TB2D/FDMで求めた熱貫流率およびJIS A 2201により測定された(カーテンは幅5cmの隙間に流量係数0.6を想定して求めた)隙間の通気率(差圧1Paのときの通気量)と特性値を表 2.16.11に示す。

2次元熱空気移動計算におけるその他の共通条件は室温20℃、外気温0℃、屋外風速3.0m/s、風圧係数は部材下部0.2、部材上部0.15、放射率1.0、開口部高さ1.311mとした。

(2) 計算結果

プログラム計算結果の1例を図2.16.13に示す。すべての計算結果について熱流量の室内側と屋外側の差は1%以下であった。

表 2.16.10 検討対象とした付属部材の組み合わせ

屋外側付属部材		室内側付属部材
断熱雨戸 鋼板雨戸 なし	×窓サッシ×	断熱内戸 (発泡断熱材25mm厚) 断熱内戸 (発泡断熱材5mm厚) 断熱内戸 (真空断熱材15mm厚) 障子(和紙) 障子(透光断熱材6mm) カーテン なし

表 2.16.11 サッシおよび各付属部材の熱空気特性値

部材	熱貫流率 [W/m^2 K]	空気層厚[mm]	通気率 [m^3/s Pa1/n]	隙間特性値[ND]
サッシ	3.510	―	密閉	密閉
断熱内戸(発泡断熱材25mm)	1.267	140	1.791×10^{-3}	1.59
断熱内戸(発泡断熱材5mm)	3.079	140	1.791×10^{-3}	1.59
断熱内戸(真空断熱材15mm)	0.952	140	1.791×10^{-3}	1.59
障子(和紙)	6.515	81	0.728×10^{-3}	1.42
障子(透光断熱材6mm)	3.193	81	0.649×10^{-3}	1.54
カーテン	5.768	140	38.65×10^{-3}	2.00
鋼板雨戸	11.016	74	1.741×10^{-3}	1.83
断熱雨戸	3.026	55	1.208×10^{-3}	1.71

また、サッシよりも室内側の温度分布を見ると、サッシ最下部の表面温度が最も低かったので、この部分(A点)の表面温度で結露危険性を判断する。

付属部材の組み合わせごとの熱貫流率について、計算結果と併せてBLT WDW-01による実験値を表 2.16.12に示す。実験値に対する計算値の割合は54～105%(平均75%)と全体的に小さかった。特に、内外のいずれかに付属部材がなく、もう一方に断熱性能の高い部材が設置されているときは、実験値に比べて計算値が54～66%と誤差が大きく表れた。

(3) 断熱性と結露危険性の検討

付属部材の組み合わせと熱貫流率およびA点とサッシ最下部の表面温度の分布を図 2.16.14に示す。

まず熱貫流率が最も小さくなったのは、サッシの室内側に真空断熱材15mmの断熱内戸、屋外側に断熱雨戸を取り付けた場合であり、0.726W/m^2 Kだった。逆に最も熱貫流率が大きくなったのは、室内側・屋外側のどちらにも部材を取り付けない場合の3.510W/m^2 Kであり、その次はサッシの室内側にカーテンを取り付け、屋外側には何も取り付けなかった場合の2.686 W/m^2 Kだった。

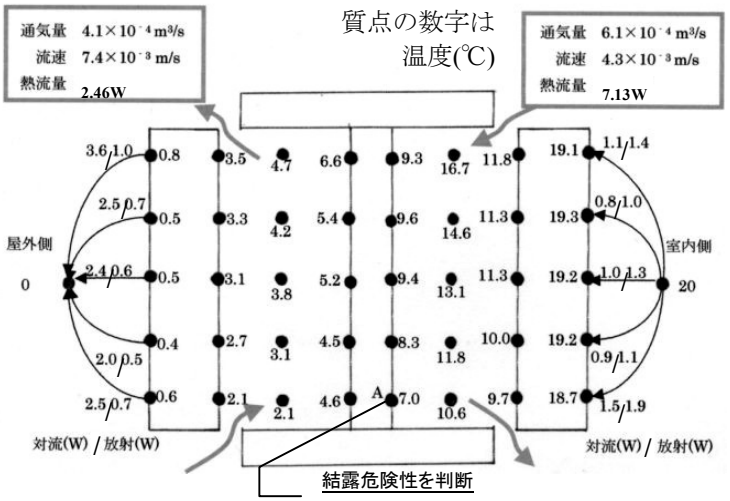


図 2.16.13 断熱雨戸×サッシ×断熱内戸（真空断熱材15mm）の計算結果

表 2.16.12 付属部材の組み合わせと熱貫流率[W/m^2 K]

		屋外側付属部材		
		断熱雨戸	鋼板雨戸	なし
室内側付属部材	断熱内戸(真空断熱材15mm)	0.726 (1.09)	0.812	0.964 (1.80)
	断熱内戸(発泡断熱材25mm)	0.789 (1.08)	0.891	1.073 (1.86)
	断熱内戸(発泡断熱材5mm)	0.986	1.144	1.454
	透光断熱障子	0.978 (1.32)	1.133	1.437 (1.71)
	カーテン	1.440	1.797	2.686 (3.07)
	和障子	1.139 (1.59)	1.349 (1.74)	1.798 (2.13)
	なし	1.492 (2.25)	1.858 (2.59)	3.510 (3.33)

※()内はBLT WDW-01による実験値

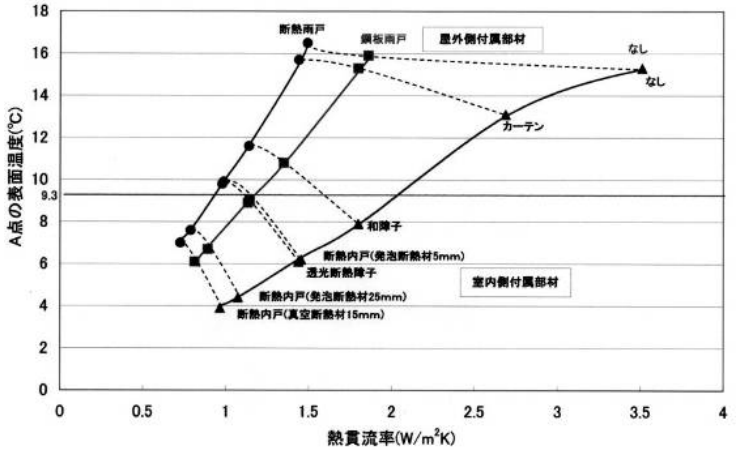


図 2.16.14 付属部材の組み合わせと熱貫流率およびA点の表面温度の分布

結露危険性を検討するために、仮に室内側の温湿度を20℃、50%とすると、その空気の露点温度は9.3℃であるので、これよりもA点の温度が高い付属部材の組み合わせの中で熱貫流率が低いのは、断熱雨戸×サッシ×断熱内戸(発泡断熱材5mm)、または障子(透光断熱材6mm)であった。この2つの組み合わせを比べると、障子(透光断熱材6mm)の方が日中閉じたままでも採光できるので、推奨される。

3) 非気密付属部材による開口部断熱の可能性

付属部材における設計条件の変化に対する、開口部全体の断熱性や結露危険性の変化を2次元熱空気移動計算により求め、開口部断熱の可能性を検討する。変化させる設計条件の基準仕様は、2)で最も推奨された「断熱雨戸×サッシ×障子(透光断熱材6mm)」に近い値として、サッシと付属部材との間の空気層厚さを室内側80mm、屋外側60mm、通気率を室内側、屋外側共に1.0×10^{-3} m^3/s $Pa^{1/n}$、熱コンダクタンスを室内側10 W/m^2 K、屋外側を3.16 W/m^2 Kのように設定した(図2.16.15～図 2.16.17に★で示す)。また、これらの検討範囲は、2)で検討対象とした付属部材がほぼ含まれるようにした。これ以外の計算条件は2)と同じであるが、隙間特性値については、室内側1.5、屋外側1.7で一定とする。

(1) 空気層厚さの影響

図 2.16.15上段に、内外付属部材とサッシとの間の空気層厚さと開口部の熱貫流率との関係を示す。内外共に空気層が厚くなるほど開口部の熱貫流率は低くなる傾向を示すが、80～120mmを越えるとほとんど変化がなくなる。また他の設計条件(通気率、熱コンダクタンス)に比べて、熱貫流率の変化に与える影響は最も小さい。

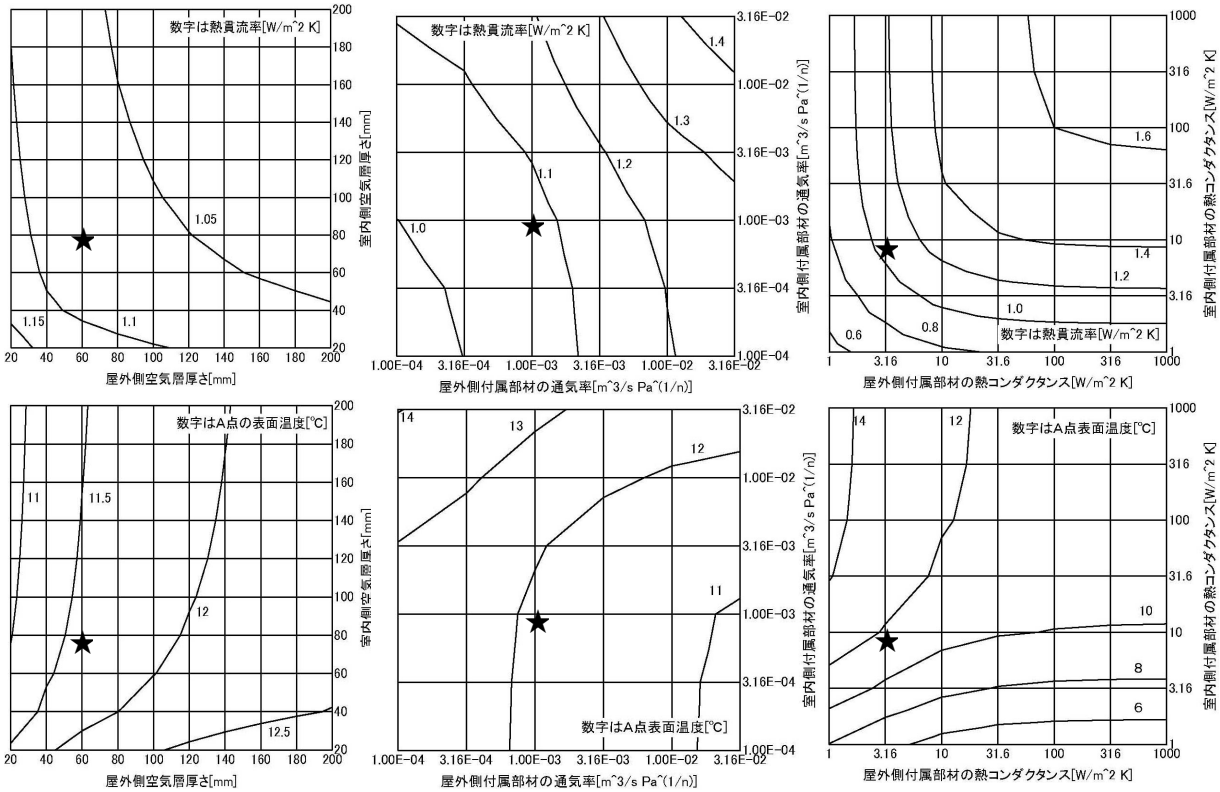


図 2.16.15 内外付属部材とサッシとの間の空気層厚さと開口部の熱貫流率およびA点の表面温度との関係

図 2.16.16 内外付属部材の通気率と開口部の熱貫流率およびA点の表面温度との関係

図 2.16.17 内外付属部材の熱コンダクタンスと開口部の熱貫流率およびA点の表面温度との関係

図 2.16.15下段に、A点の表面温度との関係を示す。結露を回避するためにはA点の表面温度を高くすればよいので、屋外側の空気層を厚くし、室内側を薄くするべきであることが分かる。A点の表面温度上昇の程度は内外空気層の厚さのバランスによって大きく異なることが分かるが、両者共に80mm以上となっている範囲では、効果が小さい。またこの検討範囲全体でも変化が2.0℃に留まる程度である。

熱貫流率と結露危険性の両方を考慮すると、空気層厚さについては、室内側を60mm以下にし、屋外側は100～150mm程度とするのが適切といえる。

(2) 通気率の影響

図 2.16.16上段に、内外付属部材の通気率と開口部の熱貫流率との関係を示す。

内外共に通気率が低くなるほど空気層内の換気量が減少するので、開口部の熱貫流率は低くなる傾向を示す。基準仕様でも熱貫流率は充分低いので、むしろこれ以上通気率が高くならないような付属部材の設計が重要である。

図 2.16.16下段に、A点の表面温度との関係を示す。結露を回避するためには、通気率は屋外側を低くし、室内側を高くすればよいことが分かる。一般にサッシでの結露防止のためには、室内側付属部材の気密性を高くして室内水蒸気の侵入を防ぐように言われているが、本研究対象の付属部材のように非気密で室内水蒸気の侵入がある場合には、逆に、空気層内の換気量を増加して窓表面温度を高くすることが改善策となる。通気率について、屋外側を室内用部材並み($1.0\times10^{-4}m^3/s\ Pa^{1/n}$)にし、室内側をカーテン程度($3.16\times10^{-2}m^3/s\ Pa^{1/n}$)とすることで、基準仕様よりも2.2℃の温度上昇が見込まれる。

(3) 熱コンダクタンスの影響

図 2.16.17上段に、内外付属部材の熱コンダクタンスと開口部の熱貫流率との関係を示す。内外共に熱コンダクタンスが小さくなるほど開口部の熱貫流率が低くなり、その影響の度合いは内外共ほぼ等しいことが分かる。熱貫流率だけを考える限りでは、できるだけ熱コンダクタンスを小さくすべきと言える。

図 2.16.17下段に、A点の表面温度との関係を示す。A点の表面温度上昇のためには、室内側の断熱性をほどほどにし、屋外側で充分断熱する方針となる。熱貫流率も考慮すると、検討範囲においては、基準仕様に対して屋外側を$1.0W/m^2\ K$に変更するだけでよいと考えられる。

以上、(1)～(3)節の検討結果に従って空気層、通気率、熱コンダクタンスを改善したところ、熱貫流率が$0.651W/m^2\ K$、A点の表面温度が16.1℃(20℃、78%の空気の露点温度に相当)であった。

参考文献

1)赤坂裕ほか:熱貫流率計算ソフトVer. 1.0マニュアル:リビングアメニティ協会、1999.3
2)日本建築学会・編:建築設計資料集成1 環境:丸善、1978.6

2.16.4 多数室温湿度シミュレーションに基づく窓面結露量把握

1) 断熱強化の省エネルギー効果

開口部の断熱強化が、どの程度省エネルギー効果があるのかを試算してみた。図 2.16.18～図 2.16.20は、Ⅱ地域からⅣ地域までの次世代省エネルギー基準を満たす住宅を対象として、日中は通常のガラス開口部のみで、夜間に断熱戸を付加した場合の、開口部面積比率

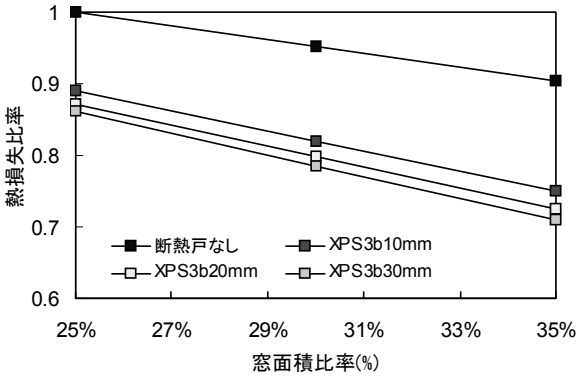


図 2.16.18 窓面積比率と熱損失比率の関係
（Ⅱ地域）

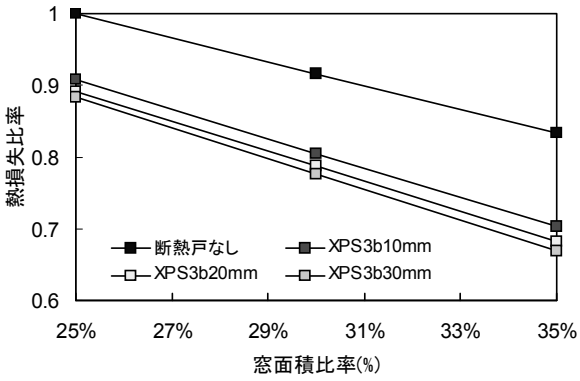


図 2.16.19 窓面積比率と熱損失比率の関係
（Ⅲ地域）

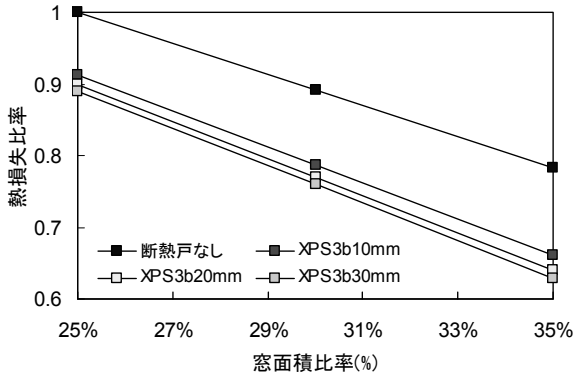


図 2.16.20 窓面積比率と熱損失比率の関係
（Ⅳ地域）

と熱損失量（エネルギー消費量）との関係を示したものである。日射受熱量は南鉛直面で90 W/m²を仮定している。通常は開口部面積が大きくなると熱損失が増えることになるが、日射受熱量が増加することで逆に自然温度差が大きくなり、実質的にエネルギー消費量は低減する。その効果は試算の範囲内では外気温度の高くなる地域で顕著にみられ、Ⅰ・Ⅱ地域よりもⅢ・Ⅳ地域になるほうが、効果が高い。例えば、窓面積比率が25%・断熱戸なしを基準にすると、窓面積比率35%・断熱戸XPS3種b、10mm厚を付加することで、約30～40%程度のエネルギー消費削減が可能となる。

2）検討の目的

以上のように、開口部の断熱強化は自然エネルギーのパッシブ利用と、住宅の省エネルギー化には欠かせない技術である。しかしながら、既往研究の経緯を振り返ると、断熱戸の採用を躊躇させるいくつかの要因がある（2.16参照）。ここでは、その中の要因のひとつである外窓での結露について検討する。

外窓での結露の問題点は、窓周りの汚損や部材耐久性、また室内空気環境にも大きな影響を与えることにある。従来行われてきた外窓結露に関する検討は、窓中空層の水分状態を室内と同等であると仮定し、窓表面温度と空気の露点温度を比較することから適用の可否を判断してきた。これは判断として安全側であるが、断熱戸を使用する意欲を削ぐことにもなる。しかし、住宅内の水分状態をより現実に近いかたちで捉えると、1階の開口部と2階のそれとでは空気流れ性状が異なるため、部位によって判断基準を変えても差し支えないだろうし、また、例え結露条件になったとしても、ガラス面が曇ったり、1日のサイクルで解消したりする程度の結露、すなわち液滴落下するような結露でないのならば、許容範囲として捉えても良いだろう。

本研究では、壁体を非定常熱水分同時移動で扱い、換気回路網と室の熱水分収支を連成させた多数室温湿度シミュレーションプログラムを用いて、断熱戸の隙間量、断熱戸の段

熱性能、居室の換気量、建設地域等をパラメータとするシミュレーションを実施することにより、結露性状の把握と室内側断熱戸の設計条件を明らかにすることを目的とする。

3) シミュレーションの概要

(1) 壁層および室の扱い

空間の水分状態は、当該空間での水分発生量と水分移流量、壁体等への吸放湿量のマスバランスで決定する。特に窓中空層は、空間ボリュームが比較的小さいため、移流の影響が大きくなる。以上より、本検討では窓中空層への水分移動をより現実に近いかたちで扱うため、窓中空層も1室とみなし、換気回路網計算を連成した多数室熱収支バランスを計算する。また壁層に関してはハイグロスコピック領域における非定常熱水分同時移動扱いとする。

壁層部分の基礎式を①式、②式に、境界条件を③式、④式に示す。室の熱水分収支式は⑤式、⑥式に示すとおりであるが、この式のうち、壁体の吸放湿部分に逐次積分法を用いるため、①、②式はラプラス変換して時間領域の解として単位応答化しておく。なお換気計算に関しては瞬時定常で扱うが,1タイムステップ前の温度を利用することにより簡略化を図る。

水分収支
$$\left(\Phi_0\gamma'+\kappa\right)\frac{\partial X}{\partial t}-\upsilon\frac{\partial T}{\partial t}=\lambda_x'\nabla^2 X \quad \cdots①式$$

熱収支
$$-r\kappa\frac{\partial X}{\partial t}+\left(c\rho+r\upsilon\right)\frac{\partial T}{\partial t}=\lambda\nabla^2 T \quad \cdots②式$$

境界条件
$$-\lambda_x'\frac{\partial X}{\partial n}=\alpha_x'\cdot\left(X_O-X\right) \quad \cdots③式$$

$$-\lambda\frac{\partial T}{\partial n}=\alpha\cdot\left(T_O-T\right) \quad \cdots④式$$

室の水分収支
$$\Gamma\frac{dX_r(t)}{dt}+\sum_{i=1}^{N}\alpha_{x_i}'\cdot S_i\cdot\left(X_r-X_{surf_i}\right)+G\cdot\left(X_r-X_o\right)=W(t) \quad ⑤式$$

室の熱収支
$$c\Gamma\frac{dT_r(t)}{dt}+\sum_{i=1}^{N}\alpha_i\cdot S_i\cdot\left(T_r-T_{surf_i}\right)+cG\cdot\left(T_r-T_o\right)=H(t) \quad \cdots⑥式$$

ただしT:温度(℃)、X:絶対湿度(g/kgDA)、λ'x: 湿気伝導率(g/ms(g/kgDA))、λ:熱伝導率(W/mK)、κ:絶対湿度変化に対する含水率変化率(g/m³(g/kgDA))、ν:温度変化に対汁含水率変化率(g/m³K)、c:材料比熱(J/keg)、ρ: 材料密度(kg/m³)、 r: 相変化熱(J/kg)、α:対流熱伝達率(W/m²K), α':湿気伝達率(g/m²s(g/kgDA))、W(t):水分発生量(g/h)、発生熱量(W)

(2) 外窓表面の結露水の凝固・蒸発量の扱い

結露量は絶対湿度差と水蒸気の物質移動係数によって決定する。窓中空層は基本的に半密閉空間であるから、通常の表面よりははるかに小さな湿気伝達になっていることが想定される。そこで、結露が生じると想定されるガラス表面の物質移動係数KcはSh数から⑦式で算出することにした。Sh数は、液滴の蒸発に関わるシャーウッド・ウィリアムズの式⑧式を適用して凝縮・蒸発に関する物質移動係数を算出する。ガラス表面近傍風速が高くなるほど、すなわちRe数が大きくなるほど物質移動係数は大きくなるが、ここでは層流を仮定してRe=1500を採用した。

$$K_c=\frac{Sh\cdot D}{l} \quad \cdots⑦式$$

$$Sh=0.43\cdot Sc^{\frac{1}{3}}\cdot \mathrm{Re}^{0.56} \quad \cdots⑧式$$

ただし、D:水蒸気の拡散係数=2.65×10-5 (m2/s)、l:代表長さ(m)、v:代表風速(m/s)、υ:動粘度=14.23×10-6(m2/s, 10℃ 101325Pa)、Sc=0.615 (8℃)

(3) 数値計算モデル

図 2.16.21に示すような総2階建て(延床面積120m²)の5室モデル(床下, 1F居室、1F窓開口部、2F居室、2F窓開口部)を対象とする。

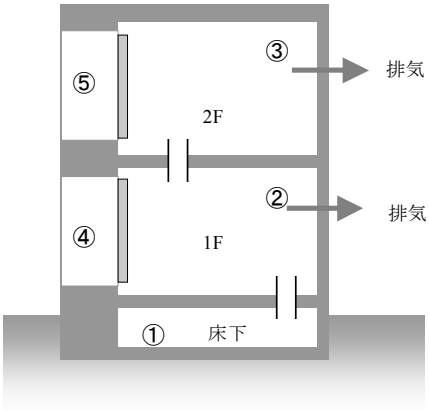


図 2.16.21 計算モデル（5室モデル）

a 断熱性能

断熱性能は、外壁 GW16K 100mm、天井は GW16K 200mm、床まわりは基礎断熱 XPS 3b 基礎外側100mmとした。性能的には次世代省エネ基準Ⅱ地域を満たしている。また開口部仕様として、外窓は PVC ペア(2.5 W/m²K)の窓を1階:14.4m²、2階:14.4 m² 設け、床面積に対する開口部比率24%とした。

b 気密性能・換気設定

躯体の気密性能C値は2 cm²/m² (隙間配分 基礎-土台 30%, 各部取り合い 60 %、開口部10%)とし、換気方法として、0.5ach集中排気方式および換気量が確保されない場合を想定した0.1achの2水準を設けた。実質的には、これに漏気による換気量も含まれるため、実質的な換気量は大きくなる(0.5achの場合0.63ach程度、0.1 achの場合で0.24ach程度の実質換気量になる)。なお、排気箇所は1Fおよび2Fの各居室から同量排気するものとする。

c 断熱戸仕様

表2.16.13 断熱戸(引き違いモデル)の隙間設定※

部位	上下	左右	召合せ
隙間量(cm²/m)	1.10	6.80	20.91

※ベターリビングでの引き違い内窓αA測定結果平均値

1Fおよび2Fの開口部に押出発泡ポリスチレン 3種bを 10mmおよび 20mmの2水準の断熱戸を設置するものとする。断熱戸の隙間配分は表 2.16.13に示す引き違いモデルをベースに、この隙間を一律0.5倍および0.25倍とする3水準で検討する。

d 居室の温度制御

窓面での温湿度性状は室温の制御方法によっても大きく変化する。そのため、全日暖房をして20℃を保つパターンと7時から22時までは20℃に制御して夜間は自然な温度低下をさせる間欠暖房の2種類で検討している。

e 居室の水分発生量

各室における水分発生量は1F居室と2F室合わせて10.033kg/dayとした。

f 検討対象地域・気象データ

検討対象とする気象データは盛岡(Ⅱ地域)仙台(Ⅲ地域)、東京、大阪(Ⅳ地域)を用いた。

以上のような計算条件を記号で表す際、**[換気条件][隙間パターン]-[室温設定]**で表現する。この順に内容を説明すると、換気条件は0.5ach設定をH、0.1ach設定をLとし、表 2.16.13に示す通常の大きさの隙間を「1」、0.5倍にしたものを「2」、0.25倍にしたものを「3」、暖房条件は20℃一定設定を「20」、間欠暖房を「15」とする。

例えばH1-20は0.5ach設定で通常の隙間量、20℃一定設定を表すことになる。

計算結果は2年分を助走期間とし、3年目の1月の結果を用いて検討する。

4) 計算結果と考察

シミュレーション結果として、床下空間、1F、2F各居室、1F、2F各窓中空層の温湿度が算出され、また窓面の結露量が計算される。さらに、室温を指定した場合には、そのときの暖房負荷が計算される。

一例として、盛岡市XPS10mm-H1-15の各空間相対湿度の結果と、窓面結露量の時系列変動を図 2.16.22および図 2.16.23に示す。基本的に、乾燥した外気は中性帯よりも低い位置から浸入し、その多くが床下空間を経由して入ってくること、さらに基礎断熱しているので床下温度が室温に近い状態(平均温度で約13℃程度)であることから、床下空間の相対湿度がもっとも低くなる。水分発生のある室内はその発生時間・量に応じて相対湿度が変動するが、基本的に1階よりも2階の方が高い。これは1Fの空気が移流により2F居室に流れ込むからで、2Fの方が高湿化しやすいことを示している。窓中空層も同様に移流の影響で1F窓中空層よりも2F窓中空層の方が、湿度が高くなる。そのため、窓面結露量も2Fの方が多くなるが、この結果は単純に多数室の物質移動現象の結果に過ぎない。

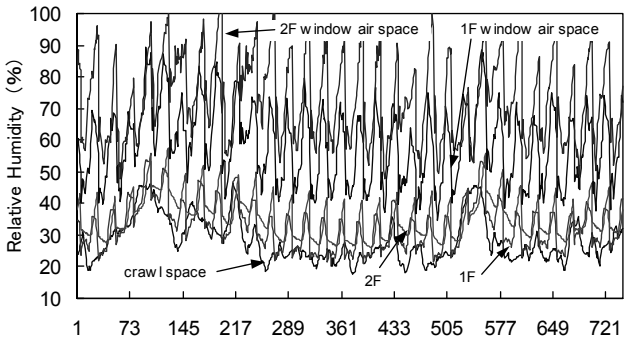


図 2.16.22 各空間の相対湿度変動
(盛岡・XPS10mm-H1-15℃、1月)

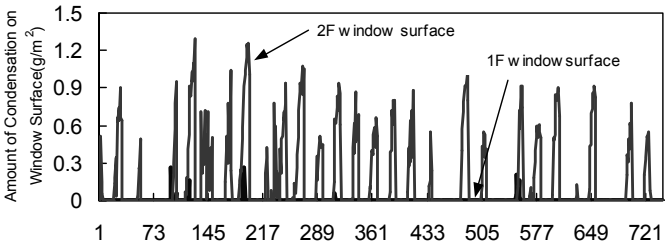


図 2.16.23 各階の窓面結露量の時系列変動
(盛岡・XPS10mm-H1-15℃、1月)

表 2.16.14 材料物性値

	conc	ヒノキ	合板	XPS 3b
λ 'x	$3.5e^{-3}$	$3.8e^{-3}$	$2.4e^{-3}$	$3.8e^{-3}$
λ	1.624	0.104	0.109	0.0289
ϕ	0.05	0.773	0.80	0.003
ρ	2220	340	509	30.0
C	0.795	1.256	1.880	1.465
κ	2920.0	4710	4494.0	2.368
ν	1.08	2.56	3.427	0.00119

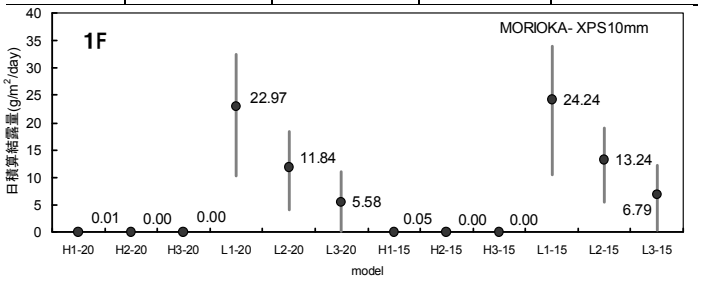


図 2.16.24 結露量比較(盛岡市:XPS10mm-1F)

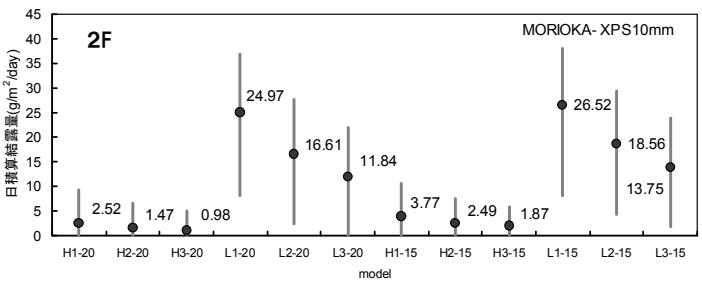


図 2.16.25 結露量比較(盛岡市:XPS10mm-2F)

(1) 結露量比較・盛岡市(Ⅱ地域)の場合

図 2.16.24～図 2.16.27は盛岡市における各シミュレーションパターンの窓面結露量の日最大値、日最小値および日平均値(22～7時)を示している。

1F窓は、居室換気量が0.5ach(記号ではH)で、暖房方式に関係なく、またXPS厚が10mm、20mmいずれの場合もほとんど結露しない。これは1F窓中空層が外気の浸入経路となるからである。

2F窓中空層は、0.5achの場合、多少結露する程度であるが、0.1ach設定ではかなりの量の結露が発生することがわかる。またその量は、夜間暖房停止する間欠暖房でやや高くなる。

(2) 結露量比較・仙台市（Ⅲ地域）の場合

図 2.16.28～図 2.16.31は仙台市におけるシミュレーション結果を示している。概ね盛岡市のシミュレーション結果と同様な性状にあることがわかるが、盛岡においてXPS10mm程度の結露を許容するならば、XPS20mmまでは可能である。一般的な性状をみてみると、L1(0.1ach、断熱戸は×1の隙間量)の場合、日平均値は盛岡市より若干小さくなる程度でそれほど変わらず、振幅は大きくなる傾向にある。この原因は外気の温度平均値は高くなるけれども、外気絶対湿度に関しても、盛岡より有意に高くなる(p<0.001)ことにも起因している。

(3) 結露量比較・東京（Ⅳ地域）の場合

東京では(図 2.16.32～図 2.16.35)、さらに結露量は減少する。

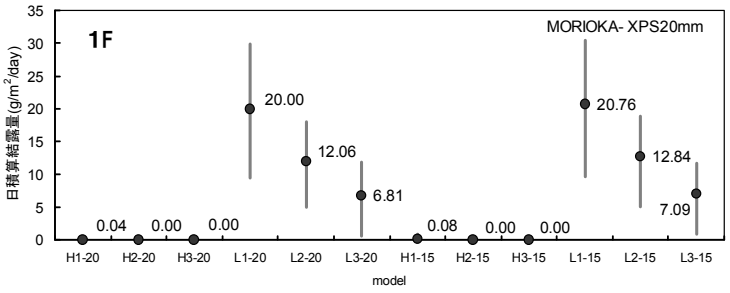


図 2.16.26 結露量比較（盛岡市：XPS20mm-1F）

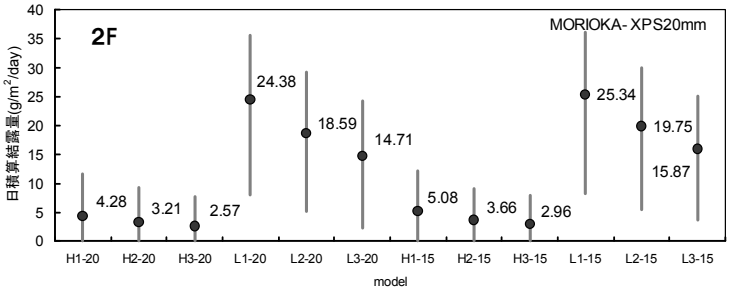


図 2.16.27 結露量比較（盛岡市：XPS20mm-2F）

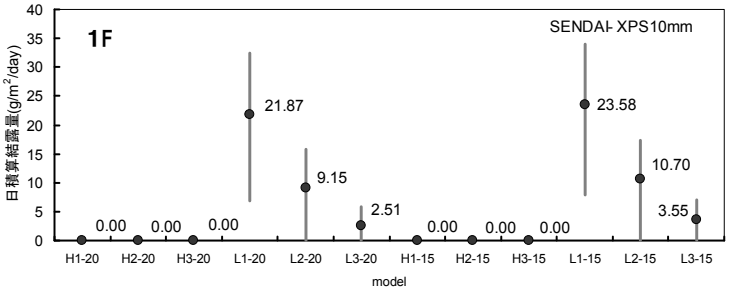


図 2.16.28 結露量比較（仙台市：XPS10mm-1F）

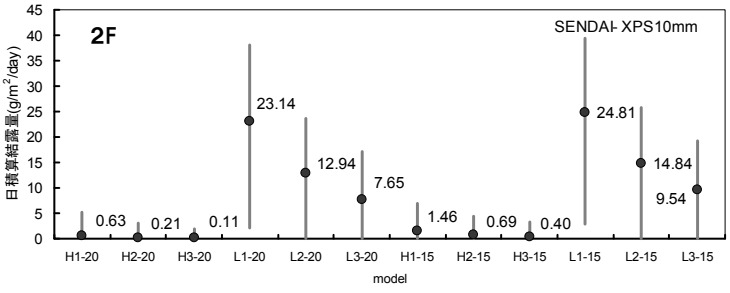


図 2.16.29 結露量比較（仙台市：XPS10mm-2F）

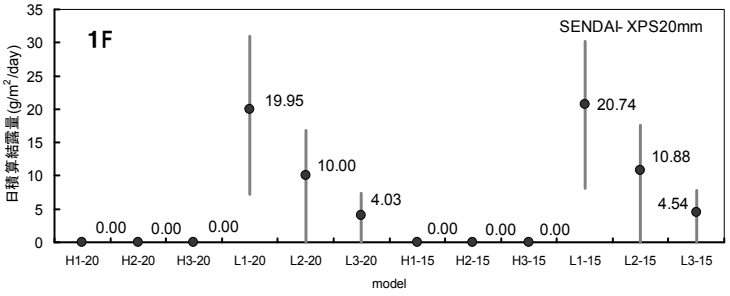


図 2.16.30 結露量比較（仙台市：XPS20mm-1F）

例えば0.5achを確保する場合、XPS・2Fの結露量は、仙台市においてXPS10mm・2Fで生じる結露量よりも小さくなる。ただし、L1モデル(0.1ach設定で換気量が不足する場合)はⅢ地域とほぼ同様な結露発生があり、換気による湿気排出が重要なことを示唆している(これは夜間の暖房方法によらない)。

ただし、隙間量を低減させることで、寒冷地よりも効果的に結露量を減少させ得ることができるので、断熱戸をある程度のレベルまで気密化をすることで、かなり結露リスクを抑えることが可能となるだろう。

(4) 結露量比較・大阪市(Ⅳ地域)の場合

図 2.16.37～図 2.16.40は大阪市における結果である。東京より西に位置するにも関わらず、東京より結露量が増加している。また、換気量0.1achで隙間通常の場合の2F窓は、盛岡市よりも結露量が多い。

1月の外気温湿度の月平均値を表 2.16.15に示す。東京と大阪市の平均外気温度に有意差はないが、絶対湿度ははるかに大阪市のほうが高い。室内の水分発生状況等は全く同一条件なので、この差異は外気の水分状態の違いが考えられる。ただし、その場合でも換気量を確保し、開口部に外気が流れ込むような圧力差を作り出せば、かなりの結露量削減になることもわかる。

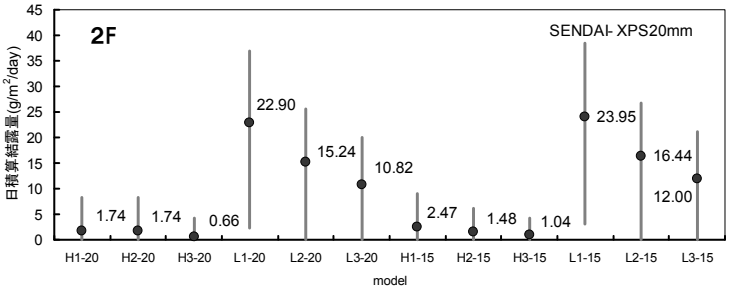


図 2.16.31 結露量比較(仙台市:XPS20mm-2F)

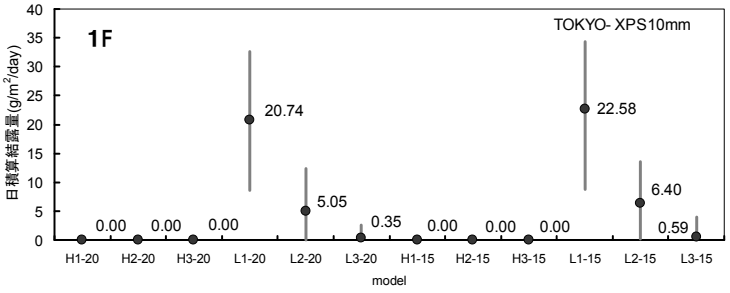


図 2.16.32 結露量比較(東京:XPS10mm-1F)

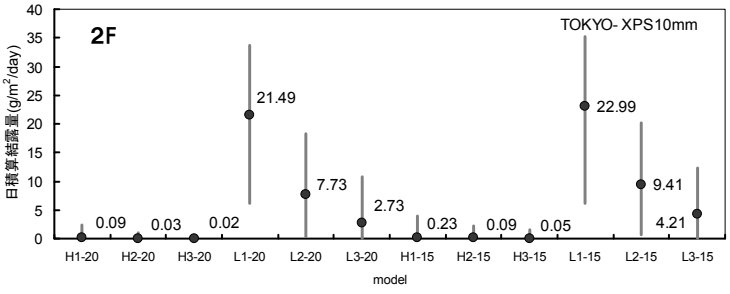


図 2.16.33 結露量比較(東京:XPS10mm-2F)

表 2.16.15 各都市における外気温湿度1月平均値

都市	温度(℃)	絶対湿度(g/kgDA)	相対湿度(%)
盛岡	-2.7	2.31	72.8
仙台	1.0	2.48	60.7
東京	6.3	2.78	47.2
大阪	6.1	3.54	60.0

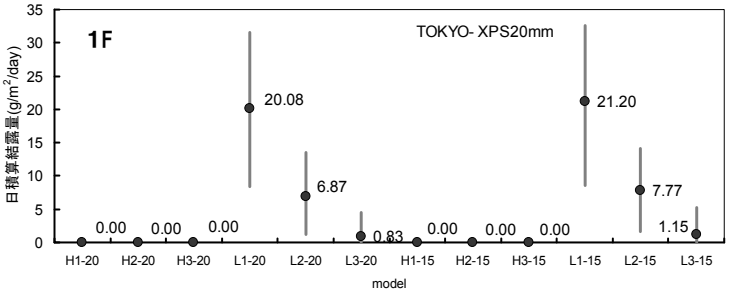


図 2.16.34 結露量比較(東京:XPS20mm-1F)

(5) 断熱戸断熱性能と結露量

一般に断熱戸の性能があがると室内からの伝熱量が少なくなるため結露量が増大する。しかし、L1・2Fは断熱厚が増すと結露量が同等もしくは減少する。この理由は空気流れが図 2.16.36のように変化することに起因する。

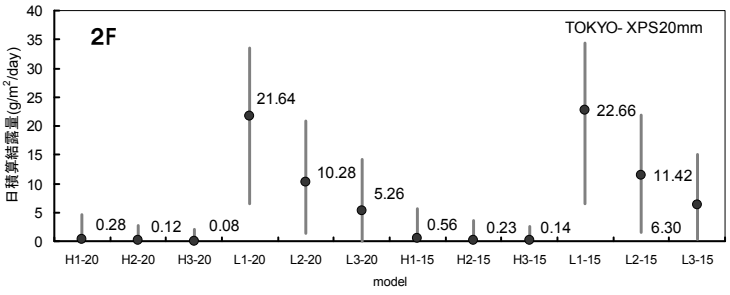


図 2.16.35 結露量比較（東京：XPS20mm-2F）

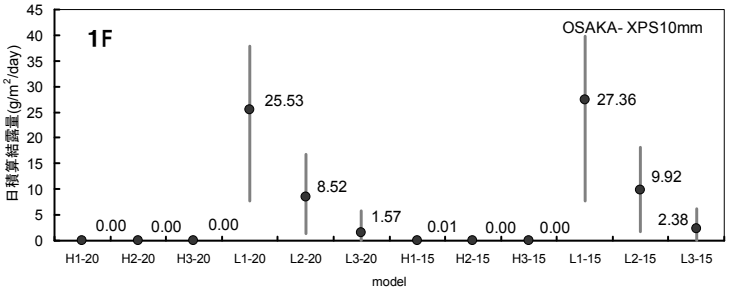


図 2.16.36 結露量比較（大阪市：XPS10mm-1F）

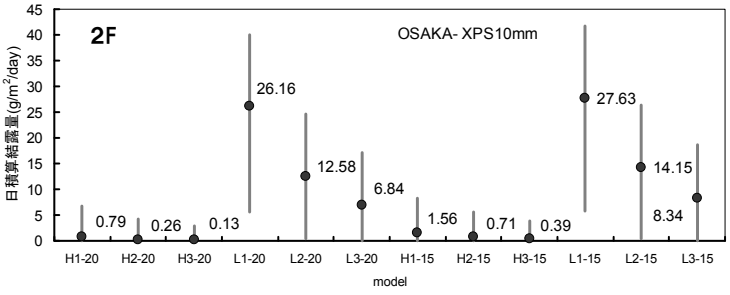


図 2.16.37 結露量比較（大阪市：XPS10mm-2F）

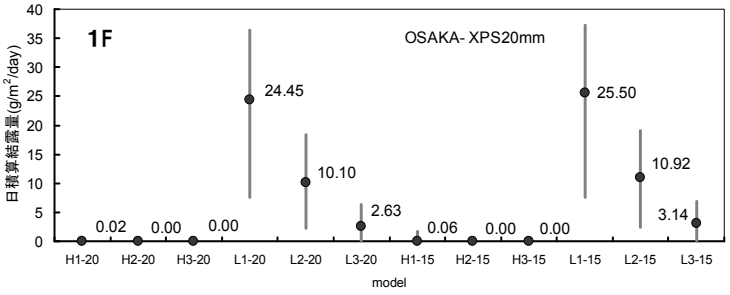


図 2.16.38 結露量比較（大阪市：XPS20mm-1F）

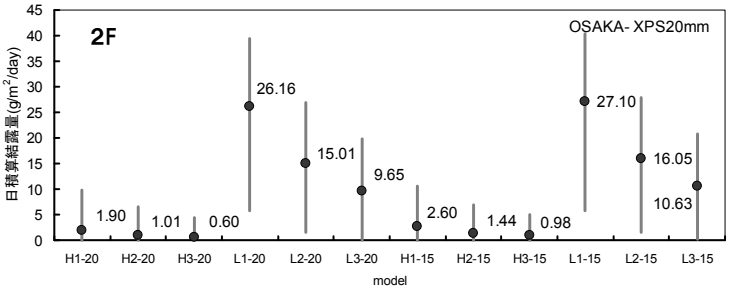
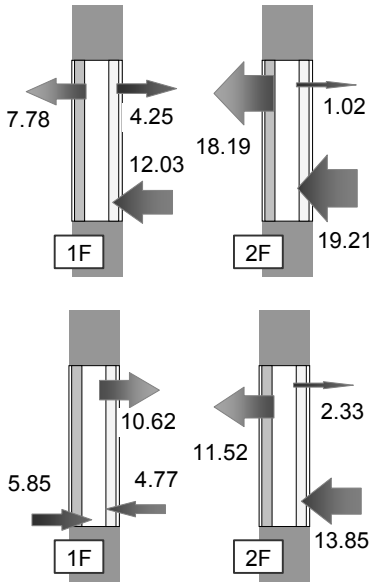


図 2.16.39 結露量比較（大阪市：XPS20mm-2F）



L1-20:XPS20 mm の場合
1 階は室内からの流入が多い。2 階は室内空気がほぼそのまま外気に抜ける流れになる。

H1-20:XPS20 mm の場合
1 階は外気と室内空気が混合する流れになる。2 階は外気に抜ける流れがやや減少する。

図 2.16.40 換気量設定の違いが開口部まわりの空気流れに与える影響（上：0.1ach、下：0.5ach、盛岡市）

5）まとめ

多数室温湿度シミュレーションにより、断熱戸を使用する際の窓面結露性状について検討した。その結果、階数によって結露性状に違いがあり、1F は比較的安全なこと、また基準法通りの換気量が確保されれば、断熱戸の気密性能がある程度ルーズでも窓面結露は生じづらいことがわかった。また何らかの不具合で換気量が低減していても、気密性をあげることによって結露量を削減できることを定量的に示した。

2.16.5 発熱ガラスによる室内環境改善効果に関する検証

1）発熱ガラスの概要

発熱ガラスはガラス表面に金属薄膜層を溶着し、その金属層に通電することによりジュール発熱を促し、結果ガラス面全体が発熱するものである。

この発熱ガラスは冬季における窓近傍のコールドドラフト防止や結露防止、温熱的な快適性向上が期待できる技術であることから、その性状を実験により確認することとした。

2）実験計画

(1) 概要

発熱ガラスを住宅に設置した場合の、冬季における諸特性を把握するため、人工環境実験室内に発熱ガラスを介した室内外環境を再現し、コールドドラフト、および結露の状況を観察する。

(2) 試験体（実験用発熱ガラス）

・ガラスサイズ　:900㎜×900㎜
・面積　:0.81㎡
・枚数　:3枚
・ガラス構成　:FL6＋A6+HLG6

（※HLG:発熱ガラス）

(3) 実験設備

人工環境実験室内に発熱ガラス3枚を縦方向に嵌め込んだチャンバーボックスを設置し、チャンバー内部に外部気象条件を、チャンバー外部、すなわち人工環境実験室内に住宅内部の室内気候をそれぞれ設定可能なものとした。

尚、室内環境改善効果をカーテンの有無と併せて検証するため、撥水生地のカーテンを室内側に設置した。

表 2.16.16　温度計測点

場所	ポイント
室外側	チャンバーボックス内代表点　1点
室内側	高さ(FL±0、＋100、＋200、＋1200、+2700、+2800)×窓面からの距離(50、150、450、950、1950)　計30点
ガラス	室内外面ガラス表面中心×3枚　計6点

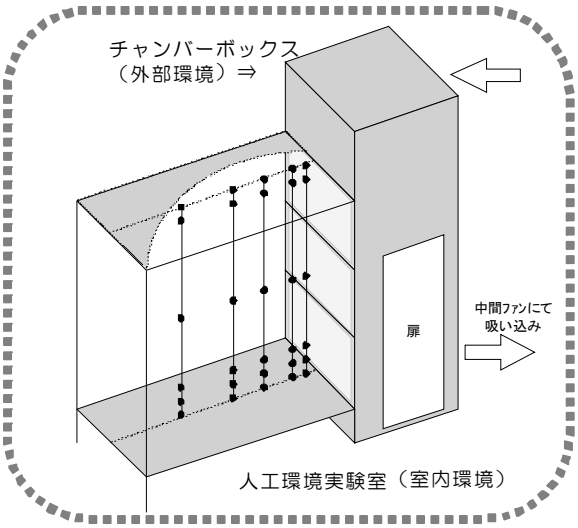


図 2.16.41　実験設備

表 2.16.17　試験パターン

	室内条件		外気温	カーテン	制御ガラス
	DB(℃)	RH(%)	(℃)		(枚)
1	16	80	0	有	3
2			0	有	1
3			0	有	0
4			0	無	3
5			0	無	1
6			0	無	0

※制御ガラス1枚の場合は最下層とする。

(4) 実験パターンと手順

① あらかじめチャンバー内外の温湿度を室内条件に揃え、その後チャンバー内に外気温度条件の空気を成層流に近い形で送風する。

② 発熱ガラスの制御を行う。発熱ガラスの設定温度は室内側ガラス表面の計算上の露点温度12.6℃より、12.0℃とした。(その後制御が入りにくい状態であったため12.5℃に変更)。

3) 実験結果

(1) 発熱ガラス運転状況

発熱ガラスは、ガラス表面温度が設定温度(12.5℃)を下回ると発熱し、概ね2～3℃表面温度を上昇させた後停止する。発停頻度はカーテンがある場合のほうが細かくなっている。

(2) コールドドラフトの状況

ガラスの発熱がない場合、窓近傍床面にコールドドラフトが発生しているが、ガラスの発熱がある場合、発熱枚数に関らず解消されている。

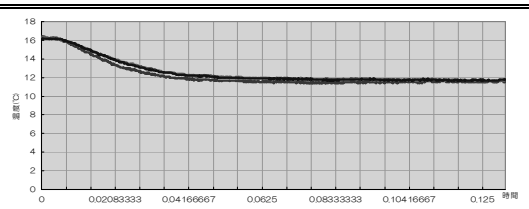
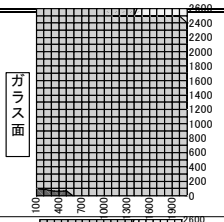
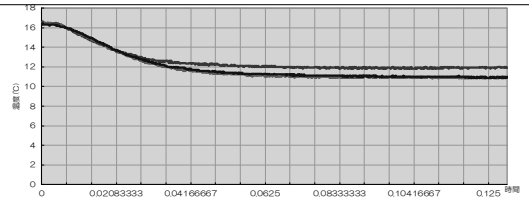
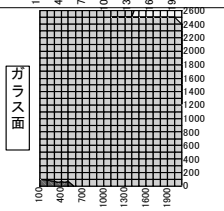
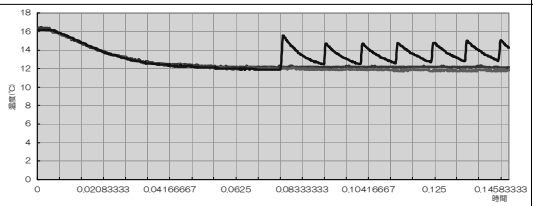
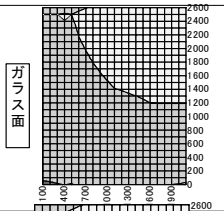
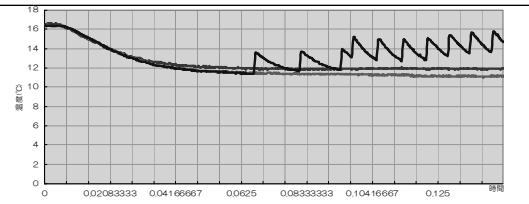
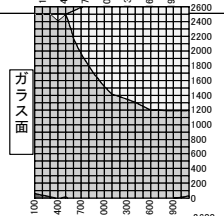
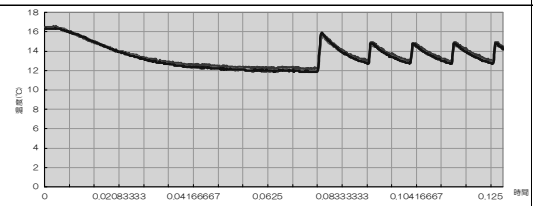
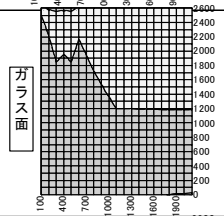
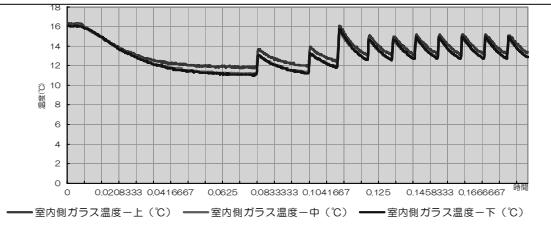
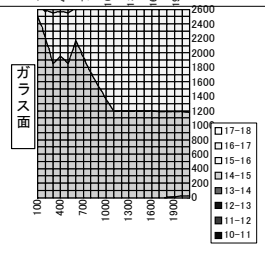
(3) 結露状況

発熱ガラスの制御により結露は解消されるが、ガラス中央部に結露が残ってしまう場合もあった。金属幕内の通電状況は不明であるが、若干高めな温度設定が必要のようである。

4) まとめ

コールドドラフトおよび結露対策として発熱ガラスの有効性を確認した。発熱ガラスの適切な制御により冬季の室内環境改善の可能性が十分にあるといえる。

表 2.16.18 試験結果

試験パターン		ｶﾞﾗｽ表面温度(室内側)	室内温度分布 (170分後)	消費電力 (稼働領域)
制御ガラス	カーテン			
0	なし			0Wh／h
0	あり			0Wh／h
1	なし			17.4Wh／h
1	あり			31.9Wh／h
3	なし			50.0Wh／h
3	あり			74.0Wh／h

2.17 おわりに

本委員会では、主に温暖地の断熱外皮構築に向けて、様々な検討を行ってきた。それらは、実在する熱的評価手法、新たな木造断熱外皮技術評価手法と技術構築、RC造集合住宅の断熱技術評価手法と技術構築、開口部の高断熱化手法、実用的な断熱設計手法構築を目的とした検討の4つに大別される。以下では、代表的な検討結果を概説し、まとめとする。

(1) 実住宅の熱的な簡易コミッショニング技術の開発

2.2では、適切な住宅断熱化を進めていくには、簡易な熱的性能検証手法や信頼できる断熱材設計値の構築が急務との考え方から、スェーデンSP法等を参考としながら、実住宅における熱損失係数実測を行い、高断熱住宅では高い精度で推定可能なことを明らかにした。また、ISO規格等の調査を行い、断熱材の使用環境や経時変化を考慮した物性値整備の重要性を示唆した。

(2) 新たな木造断熱外皮技術構築に向けた評価手法の開発と実用的技術構築に関する検討

① 新たな断熱外皮技術構築に向けた評価手法の開発

2.3では、新たな断熱外皮構築には、これまで曖昧にされていた壁体評価手法の課題を整理し、手法構築のためのロードマップを示した。

まず、評価方法を構築するには、如何なる断熱壁体にも存在する内外と壁内の多少の空気移動が壁内の熱・湿気性状に与える影響を定量的に把握する必要があるとの観点から、2.4と2.5で各種境界条件をパラメーターとした実験室実験を行い、主に空気移動に関する基礎的なデーターを得た。さらに、外壁上下端部の各種通気止め措置(一般的な在来木造工の場合や各種通気止めを設置した場合など)、層構成毎の有効開口面積を把握した。

一方、2.6では、温暖地の標準的な室内温湿度条件を検討し、その条件下で外壁上端部に通気止めを施し、別張り防湿気密層がないもしくは付属防湿層付き断熱材を用いた各種壁体内部の熱・湿気性状の実験的把握を行った。

2.8では、前述した実験壁体を対象に、2.4で得た有効開口面積を用いて換気回路網計算により、実験では求めることが困難な壁内通気量を把握した。

これらの知見を基に、2種の壁体評価方法を提案した。2.10では壁内と室内外に空気移動が無く、断熱層外側に通気層を有した各種断熱壁体を対象に内外透湿抵抗比を用いた簡易防露評価方法を検討、提案した。この方法はIBEC発行の結露防止ハンドブックに記載される同種の方法に比べ、より高い汎用性と予測精度が期待できる。また、2.13では、これまで予測が困難だった繊維系断熱材を充填し多少の壁内通気を有するいくつかの壁体を対象に、空気移動と熱・水分同時移動モデルを合成した壁内熱・湿気数値予測手法を提案した。これらの方法の汎用化に向けては今後も引き続き検討を行っていく所存である。

② 実用的技術構築に関する検討

住宅省エネ基準設計施工指針に規定される仕様拡大のため、2.7では伝統的木造住宅である土壁造住宅の断熱化を目標として、各種土壁の熱・湿気物性の把握、実住宅への試行・性能

検証を行い、土壁そのものの熱・湿気特性を活用した繊維系断熱材を用いた新断熱技術を提案した。これらの知見は住宅省エネ基準設計施工指針に反映する予定である。

また、2.9では、実験室実験から、付属防湿層付き断熱材を天井断熱に適用する場合の断熱設計情報(例えば熱抵抗割り増し係数等)を提案した。

③ 新たな壁体耐久性評価指標の構築に関する検討

従来、木造断熱外皮技術の耐久性評価は、木材腐朽菌やカビ菌等による生物劣化を防止するため、それらの育成環境に至らない温湿度環境を保つという考え方が一般的である。しかし、これらの菌類は一定期間、同一環境が維持されないと発育・繁茂できないというこれまでの研究成果を基に、2.12で各種環境条件下で木材片を長期暴露、強度試験を行い、木造躯体の耐久性評価に関する様々な知見を得た。本検討は今後も継続し、評価指標として構築する所存である。

(3) RC造断熱外皮技術構築に向けた耐久性評価手法の開発と実用的技術構築に関する検討

① 耐久性評価手法の開発

木造等の戸建住宅に比べれば断熱手法が極めて単純なRC造の断熱技術は外断熱、内断熱の2つに大別されるが、例えば使用する断熱材の違いが断熱性能、躯体の中性化に及ぼす影響については定量的に明らかになっているとはいえない。2.15では、各種断熱手法を適用した試験建物を建設し、断熱材・手法の違いが断熱材の長期物性や躯体の中性化に及ぼす影響を把握した。これらに関しては、今後も継続し、長期断熱性能や中性化に関する設計情報を提案していく予定である。

② 実用的技術構築に関する検討

主にRC造集合住宅を対象に、2.14では、近年の開口部断熱性能の強化、脱フロン断熱材の一般化に伴う新たな断熱設計ルール、構造熱橋の断熱・防露措置に関するリミットデザインルールと、それを適用した場合の補完規定に関する検討を行った。これらの検討の一部は、住宅省エネ基準設計施工指針に反映する予定である。

(4) 開口部の断熱強化手法構築に関する検討

開口部の断熱強化は住宅の省エネルギー、住空間の快適性向上に重要な視点である。近年の開口部材の断熱・気密(＝防水)性能の向上は著しいものがあり、それらを前提に例えば断熱雨戸等の付属部材の併用により、一層の高断熱化が期待できる。これらの観点から2.15では付属部材を併用した場合の断熱性能・防露性能強化に向けたモデルを提案し実験評価を行い、それらを基に数値予測手法を構築した。今後は、これらの知見を基に、実用性の高い断熱強化手法を提案する所存である。

以上、本委員会の主たる検討内容を概観したが、いくつかの項目はまだ検討途上にあり、最終提案には至っていない。今後、様々な機会を通じて、継続的に取り組み、実用提案を行っていきたい。また、本委員会の活動を通じ感じることは、今後の多種多様で自由な断熱外皮技術の開発に向けては、性能規定と仕様規定から構成されるわが国の住宅省エネ基準に、その中間的性格を有する‘準性能規定’の開発が不可欠になるであろうという点である。現在も続けられている断熱壁体の性能評価手法・耐久性評価指標開発が順調に進めば、この中間的規定を構築できるのに、そう多くの時間は要し

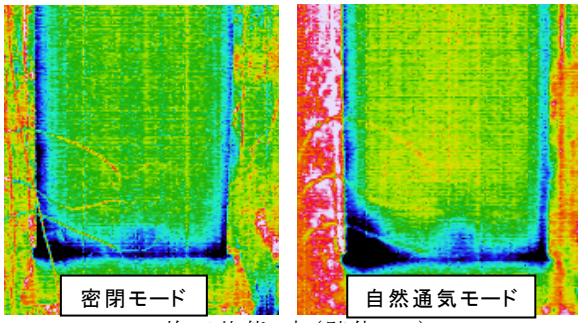
ないであろう。

今後も、様々な機会を通じて、本委員会で明らかとなった次なるタスクを進めていく予定である。

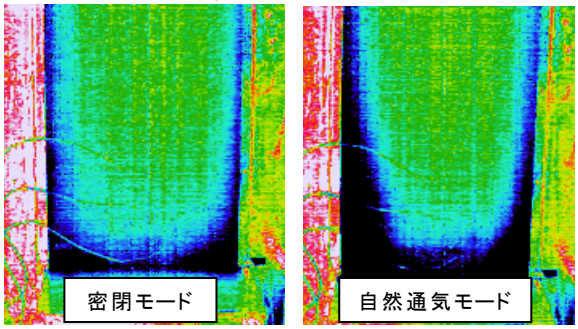
最後に、本委員会に参加して頂いた委員各位、活動に協力していただいた各社、そして各地域の住宅生産者、実務家の方々に、記して感謝の意を表します。

（鈴木大隆）

本文カラー再掲



施工状態:良(壁体1-8)



施工状態:不良(壁体:1-5)

写真 2.5.5 サーモカメラによる室内側表面の熱画像（壁下端部）(p.61)

a 【定常計算結果】

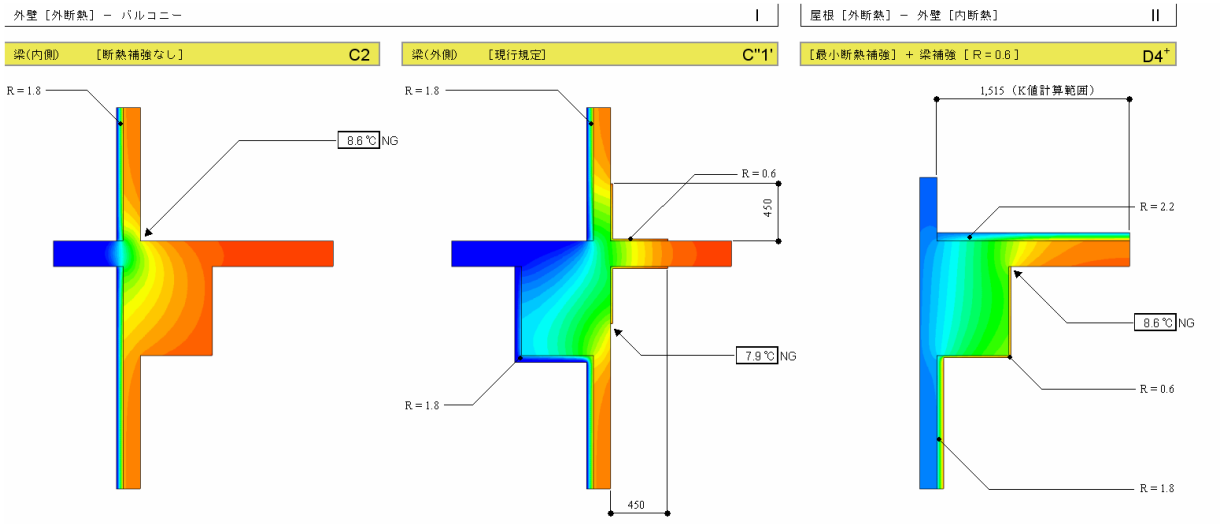
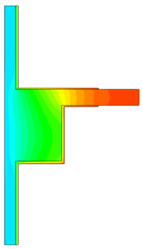
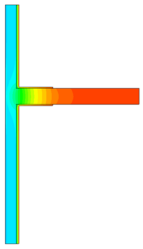
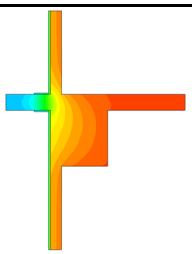
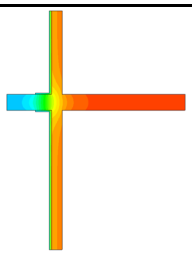
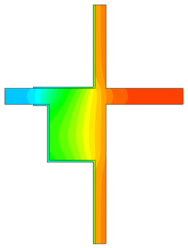


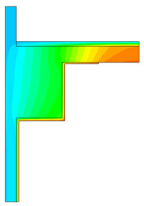
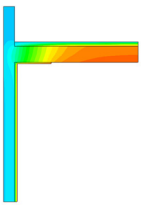
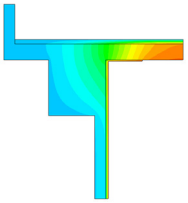
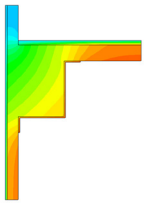
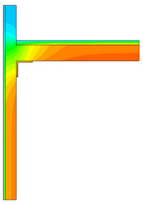
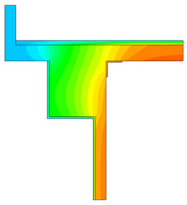
図 2.14.1 定常計算NGモデルの非定常計算計算結果（P150）

表 2.14.1　構造熱橋部検討箇所（p147）

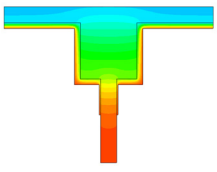
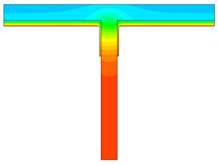
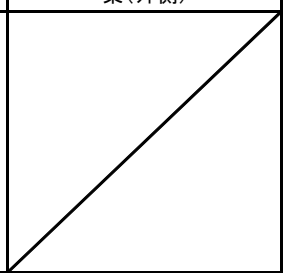
1．外壁-床（バルコニー）取合い部

	梁（内側）	壁構造	梁（外側）
■内断熱工法 /外壁【内断熱】-床スラブ	A 	B 	B’ 
■外断熱工法 /外壁【外断熱】-バルコニ	C 	C’ 	C” 

2．屋根-外壁取合い部

	梁（内側）	壁構造	梁（外側）
■内断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【内断熱】	D 	D’ 	D” 
■外断熱工法 / 屋根【外断熱】-外壁【外断熱】	E 	E’ 	E” 

3．屋根-戸境壁取合い部

	梁（内側）	壁構造	梁（外側）
■内断熱工法 / 屋根【内断熱】-戸境壁	F 	F’ 	

第3章 高効率暖冷房・給湯システム（Ａ２）

3.1 はじめに

3.1.1 研究計画

一般の住宅における消費エネルギーのうち冷暖房と給湯でおよそ 60～70%を占めるため、両システムによる省エネルギーが自立循環型住宅開発の鍵を握ると考えられる。

これまでも機器単体の高効率化は図られており、本章では冷暖房・給湯システム全体の効率を向上させることとなる。消費エネルギーの評価に必要な入力条件を定めて、実測や計算によって求めることが可能であり、既往のシステムから開発中のものまで含めて評価の対象とすることができる。

まず入力条件であるが、全ての場合を設定することは到底不可能であるから、いくつかの代表的な設定を行うこととする。冷暖房でも給湯でも世帯人数と使用スケジュールが課題となる。特に都市部では世帯人数や世帯構成が多様化しており、単身世帯から2･3 世代の世帯まであり、また 2 人世帯でも高齢者夫婦の場合と若年夫婦の場合とがある。これらを含めて、従来の4人世帯の設定だけで評価するには無理がある。本研究ではこの点に注目して、世帯人数ごとの代表的な設定を行って、消費エネルギーを評価することを主目的とした。

評価方法では、既往の多くの研究から実測データを収集しても、世帯人数別の代表的な設定を満足させることは困難であり、実測･実験によって評価することは現実的ではないため、シミュレーションによる検討が必要となる。代表的な設定条件を絞れば、年間消費エネルギーの計算結果より、省エネルギーとなるシステムを提案することができるだろう。

この評価法ではシミュレーションによる消費エネルギー計算結果の精度に依存してしまうため、シミュレーションの計算精度を丁寧に把握しておく必要がある。ケース･スタディを始める前に実測結果･実験結果と十分に検証せねばならない。

シミュレーション方法としては、冷暖房･給湯ともにいくつかの方法が提案されており、主要な計算アルゴリズムは確立されつつある。消費エネルギーのみならず、快適性や利便性の評価のために必要な改良も含めて、シミュレーション方法を開発する。

以上より、研究方針は、

第 1 段階:準備期間　シミュレーション方法の同定、計算モデルの構築、既存のソフトの検査、実態調査などを含む。

第 2 段階:比較･照合　[B1][B2]による実測結果を活用して、同一条件下にてシミュレーションを行い、計算精度を確認する。

第 3 段階:ケース･スタディ　シミュレーションによる。計算条件の設定、計算上の仮定条件の妥当性、計算結果の整理法などの検討を含む。最も省エネルギーとなる設備システムの提案と[B1][B2]に実測比較を依頼できる。

第 4 段階:まとめ　自立循環型住宅の設備計画の立案。最終年度の主要作業。

の 4 段階とした。上記研究方針に当てはまらない研究テーマもあり、別途考慮する。また、準備期間の段階で、見送る研究テーマ、派生する研究テーマもあり得る。その取捨選択は A2 部会で審議の上決定する。

両者が同一のシステムとなることは住宅では稀であるので、冷暖房と給湯とを分離して研究計画を立案した。

3.1.2 研究成果

2002 年度に立てた研究計画に基づいて、暖冷房システム、給湯システムの研究項目と成果を、それぞれ表 3.1.1、表 3.1.2 に示す。

1) 冷暖房システム

住宅全体の暖冷房方式については、検討を重ねたが、あまりに多肢にわたるため、時間的制約を考慮して、もっとも一般的に用いられるエアコンによる部分暖冷房・間欠運転とそれに温水床暖房を併用するシステムと全館連続運転システムの 3 つを取り上げることとした。

また、消費エネルギーの評価とともに室内の快適性を評価する必要がある。そのため、2002 年度と 2003 年度には、特に窓面のコールド・ドラフトの影響について被験者実験を行って、その影響を確認した。この知見をシミュレーションに反映することを考慮したが、十分な方法を発見できなかった。室内温熱環境の評価方法として、一例に過ぎないが、1 時間ごとの室内の温冷感指標を求め、その頻度分布を評価することを提案した。

表 3.1.1 暖冷房システムの研究項目と成果の概要

研究対象	研究内容・方法等	研究成果
暖冷房スケジュール	暖冷房のスケジュール設定。[B1][B2]の実測で採用されるものを参考にする。部分暖冷房と全館暖冷房、24時間空調と間欠運転の比較がテーマとなる。	基本的に[B1] [B2]の実測で採用された暖冷房スケジュールを活用した。 部分暖冷房・間欠運転と全館暖冷房24時間運転を比較した。
暖冷房方式	省エネ効果の調査。標準となり得る方式と省エネ方式の選定	エアコン、エアコンと温水式床暖房、全館暖冷房方式の3通りを検討対象とした。
部分負荷運転	[B1][B2]の実測で概略は把握できる。住宅用のエネルギーシミュレーションの検討、実測と計算の比較・照合。	[C3]で提案された戸建住宅モデルを対象に、SMASHによる暖冷房負荷計算、JRA4046規格によるCOP算定をもとにシミュレーションを行い、限定された条件ながら、エアコンによる暖冷房消費エネルギーを比較した。
地域性	基本的にはⅣ地域を対象。できるだけ対象地域を広げる。	時間的制約から対象地域はⅣ地域に限定し、代表として東京について検討を行った。
快適性と省エネルギーの関連	定常時の不均一な室内環境と熱的快適の評価を被験者実験にて調査、過渡状態の室内気温分布を実験によって評価、過渡状態の快適性の指標、どの程度不快かを示す指標等の検討。	窓面のコールド・ドラフトの影響に関する被験者実験を行った。 暖房開始時と終了時の温熱環境を被験者実験により確認した。 自然給気口からの侵入外気の影響は[A3]で詳細に検討している。 間欠暖冷房運転時の快適性を温冷感指標の頻度分布で評価した。
システムの最適化	暖冷房方式の最適化を図る。ケース・スタディ全体のまとめ。	時間的制約から成果なし。

また、換気設備の一つである自然給気口からの外気が室内温熱環境に与える影響を、実験室実験で検証することとし、詳細は第 4 章の換気・通風システム(A3)で報告されている。合わせて参照されたい。

部分負荷に関する検討では、エアコンによる消費エネルギーに注目し、その推定方法として日本冷凍機工業会の規格 JRA4046 に基づく、外気温から COP を算出する方法を用いた。部分負荷運転の場合を限定された条件ながら検討を行った。

2) 給湯システム

給湯システムにおける入力条件の給水温については、東京都水道局から頂戴した浄水場の出口水温を平均化することでシミュレーションに用いた。

また、使用湯量、使用スケジュールは、世帯人数別に、既往の調査研究から30 日間モードを作成して、シミュレーションに用いた。

給湯熱源としては、主として用いられるガス瞬間式給湯機と電気ヒーター加熱の貯湯槽利用システムを採用した。計算モデルは、既往の文献からさらに改良を加えたものを採用している。

太陽熱利用に関連して、特に貯湯槽における衛生性が話題となった。実住宅の太陽熱利用システムの貯湯槽から検査水をいくつか取り上げ、レジオネラ属菌の検査を行い、その結果は第 7 章 資源循環システム(A9)にまとめられている。合わせて参照されたい。

また、浴槽の断熱程度と保温蓋の影響について文献を基に紹介された。世帯人数やライフ

表 3.1.2 給湯システムの研究項目と成果の概要

研究対象	研究内容・方法等	研究成果
給湯量	1人～4人世帯のスケジュール設定について検討する。戸建と集合住宅とでスケジュールは変らないことを仮定している。	2～4人世帯の30日間給湯スケジュールを作成した。1人世帯では平均化が困難であるので、実測データをそのまま活用する。
給湯栓	湯節約器具の検討・実測等による省エネ効果の把握を被験者実験にて確認した。	手元止水機構付シャワーヘッド、サーモスタット付湯水混合栓及び台所湯水混合栓の吐水形態と止水形態の相違による節湯効果について、被験者実験により明らかにした。
配管システム	デベロッパーやゼネコンのヒアリングより、主要な配管方式について検討する。	計算方法は既往の研究による方式であり、湯水混合栓の計算モデルをも採用した。ケース・スタディではサヤ管ヘッダ方式のみにとどまった。
追焚	これまでの給湯量スケジュールでは注し湯。追炊きの研究例は乏しい。自動設定とユーザー要求、浴槽湯温の維持と翌日の追焚き、浴槽・浴室の保温などを調査して、妥当な条件設定のもとで消費エネルギーを検討する。	追焚利用に関する簡易なアンケートを行い、使用状態を確認した。 追焚の制御について、各メーカから情報提供をいただいた。 浴槽の保温に関して、既往の研究成果を活用し、上記アンケート結果から条件設定を行って、戸建住宅・集合住宅について追い焚き・自動保温における消費エネルギーの簡易シミュレーションを行った。
熱源	[B1][B2]の実測では、ガス給湯機(通常品)を標準として、潜熱回収型ガス給湯機、自然冷媒ヒートポンプ給湯機、太陽熱利用給湯システム(貯湯槽ありとなしの2通り)、燃料電池を対象としている。熱源システムごとにシミュレーション用の計算モデルの開発が必要であり、戸建住宅・集合住宅別に検討する。	通常のガス瞬間式給湯機・潜熱回収型ガス瞬間式給湯機、深夜電力利用型電機温水器(ヒータ利用)について、戸建住宅・集合住宅別に消費エネルギーを年間シミュレーションによって算定した。消費エネルギーに対する機器出力エネルギー、給湯栓で得たエネルギーの割合として、機器効率・システム効率を示した。

スタイルによって異なるが、一般に浴槽に湯を張ってから世帯全員の入浴が終了するまで数時間を要する場合が多い。浴槽の湯温降下を補うために追焚や自動保温、さし湯が必要となる。

浴槽を十分断熱するもしくは保温蓋を用いて、湯温降下を抑えるとこれらの消費エネルギーを低減できる。

断熱・保温の程度と湯温降下の関係を、実験室実験によって示した。詳細は 3.3.3 で検討しているが、追焚や自動保温による消費エネルギーのシミュレーション構築には至らなかった。

また、ある戸建住宅に太陽熱給湯システムを設置し、居住した状態で 1 年間にわたって実測を行い、その結果からガス消費量と使用湯量(熱量)を算出した結果が紹介された。

同等の湯使用をガス瞬間式給湯機で行う場合については、ガス給湯機の計算モデルを用いてガス消費量を求め、両者を比較して太陽熱給湯システムの省エネルギー効果を検証している。特定の一住戸に過ぎないこと、比較的使用湯量の少ない世帯であったこと、集熱効率の高い太陽熱システムであること、太陽熱を有効に使おうと居住者が十分意識していることなどの特異性はあるが、給湯のみで 67%、追焚・自動保温を含めて 53%の省エネルギーとなった。

（岩本靜男）

参考文献

1:清水則夫・他、住宅の省エネルギー化に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2002.9.
2:(財)ベターリビング、住宅用給湯設備の設計・評価手法に関する総合研究、2002.9.

3.2 高効率暖房システム

3.2.1 隣室空調条件による消費エネルギー

1) はじめに

近年、暖冷房負荷の低減を目的として、外壁の高断熱・高気密化の研究が盛んに行われており、設備機器の高効率化と共に、建物全体の省エネルギー化が進んでいる。一方、集合住宅の住戸間における熱の流れについては、従来あまり注目されておらず、十分に把握されていないのが現状である。

日本の人口構成が大きく変化し、価値観やライフスタイルの多様化が進んだ今日、空調の使用法にも様々なパターンが見られるようになった。特に都心部では、日中、不在になりがちな単身者の割合が多く、戸境壁に断熱材が施されていない現在の集合住宅においては、暖冷房負荷や室温が隣接住戸の空調状況に左右されるケースも増えているものと考えられる。

また、従来の集合住宅の熱負荷シミュレーション評価では、隣接住戸を単に等温変動室として扱っていることが多く、戸境壁を通して出入りする熱流の影響を考慮していない。この隣接住戸からの貫流熱が大きいとすると、熱負荷シミュレーションは実態とかけ離れた値を出力していることになり、空調設備容量や断熱仕様の選定に大きな誤差を含んでいる可能性がある。

2) 研究の目的

本研究は、集合住宅での住戸間における空調条件の影響を把握することを目的とする。研究の流れは、以下のとおりである。

(1)隣接住戸の空調状況が空調負荷に与える影響を、シミュレーションにより予備検証

(2)実大の集合住宅試験棟での実証実験で、実際の影響を把握

(3)対策として、戸境壁の断熱を検討し、その効果をシミュレーションにより検証

3) シミュレーションによる予備検討

(1) シミュレーションの共通条件

一般的な3LDK集合住宅を対象に、表3.2.1を共通条件として、空調パターンと設定温度をそれぞれ変化させて、熱負荷プログラムSMASHにより中央住戸の年間暖冷房負荷を計算した。

表 3.2.1 共通の設定条件

地域	東京都心
暖房期間	11月5日～4月18日
冷房期間	4月19日～11月4日
家族構成	勤め人(男)、主婦、小・中学生
構造	RC造(断熱なし、一重サッシ)
住戸位置	中間階、中間住戸、LDK南面
床面積	80.21㎡/戸
外壁窓面積率	北:15.9%、南:44.4%
戸境の躯体	床スラブ180mm、戸境壁150mm
その他	中央住戸は、3居室+LDKのみ空調する
	隣接住戸のさらに外側は、等温隣接条件とする

(2) 5つの空調パターン

空調スケジュールは、中央住戸と隣接住戸

ともに、鍋島らが提案した典型的な5つの空調パターン[1]を用いた(表 3.2.2)。

(3) 標準モード

全住戸とも、暖房 22℃、冷房 26℃、空調スケジュール P2 の場合を標準モード(●)と定義する。他のモードでは、設定温度または空調スケジュールを標準モードから変化させた。

(4) 略語の説明

「全戸」とは、5 住戸すべてを同じ条件で空調することを意味し、「隣戸」とは上下左右 4 つの隣接住戸を同じ条件で空調し、中央住戸は標準モードに設定することを意味する。また、標準モードに対して負荷を増大させる方向に設定温度を X℃変更するモードを「X℃浪費」、その逆を「X℃節約」と表現した。図 3.2.1 に、空調する住戸の位置関係と中央住戸のプランを示す。

表 3.2.2 空調スケジュール

P1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
P2				■	■	■	■	■	■	■	■	■
P3	■	■	■							■	■	■
P4				■							■	■
P5												
時刻	2時	4時	6時	8時	10時	12時	14時	16時	18時	20時	22時	24時

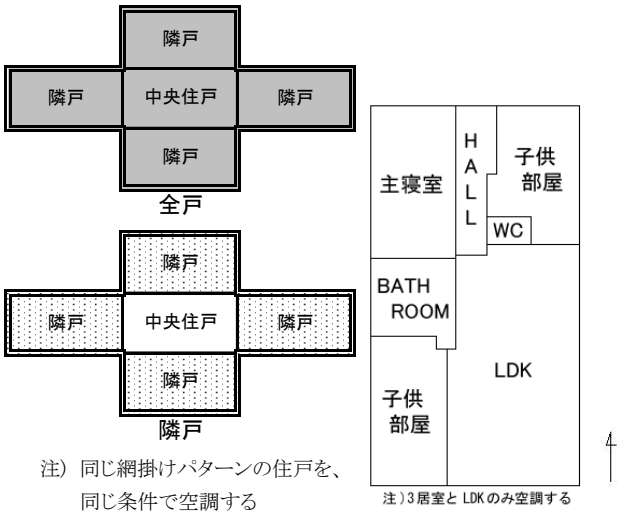


図 3.2.1 略語の説明

(5) シミュレーション結果

図 3.2.2 より、隣接住戸の空調パターンと設定温度を変化させたことで、中央住戸の暖冷房負荷も大きく変化していることがわかる。空調パターンについては、特に、「隣戸 P5」の場合に顕著で、標準モード「隣戸 P2」と比べて 2 倍近くの負荷となっている。従って、不在がちな住戸や空室に接する場合、空調による効果が十分に得られない可能性も考えられる。

設定温度では、標準モードに比べて「隣戸 2℃浪費」の負荷は約 1/2 となり、負荷を左右する強い因子といえる。

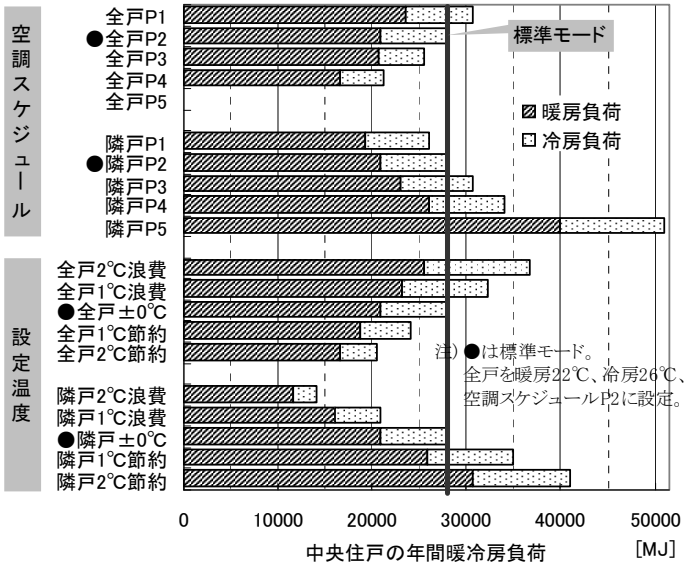


図 3.2.2 SMASH計算結果

また、住戸間に熱移動のない全戸モードでは、負荷の変動は中央住戸単体での浪費や節約によるものとなる。この全戸モードより隣戸モードでの変化が顕著なため、中央住戸の設定温度より、隣接住戸の設定温度の方が負荷に影響を与えることがわかる。

4) 実験による実態把握

(1) 実験棟

実験用に建てられた片廊下型 3LDK の一般的な RC 造集合住宅において夏期実験を行った。温・湿度と気圧を自由に制御できるチャンバーが、中央住戸の南北外壁を完全に覆っている点が特徴である。建物の概要を図 3.2.3、表 3.2.3 に示す。





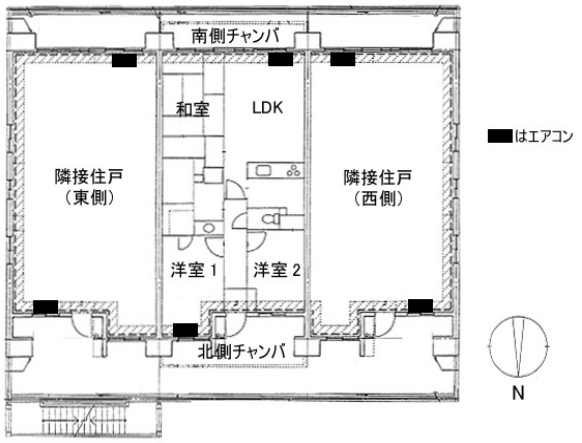


図 3.2.3建物の概要

表 3.2.3 建物の概要

所在地	つくば市・(独)建築研究所
基本断熱性能	1999年省エネ基準(III地域)
構造	RC造(二重サッシ)
住戸数	全9戸、3階建て
建物高さ	9.6m
延べ床面積	956.16㎡(72.65㎡/戸)
外壁窓面積率	北:18.6%、南:45.9%
戸境の躯体	床スラブ、戸境壁とも250mm
その他	中央住戸のみ3LDK内装あり。
	上下左右の住戸内は間仕切りなし。

(2) 測定条件

表 3.2.4 に測定条件を示す。中央住戸の外界条件は、南北のチャンバーで完全に制御し、日射は一切入らない。間仕切りがあるため、室温分布が均一になるよう、エアコンのある LDK と洋室 1 で扇風機を回し、室内のドアは全て開放した。換気口や排水口等の穴は全て断熱材や粘着テープで密封した。

(3) 除去熱量の求め方

中央住戸の LDK と洋室 1 のエアコン吹出口にスチレンボード製のダクトを装着し、吹出口風量、出入口温・湿度を測定した。除去熱量は、エアコン入口空気の比エンタルピーから、出口空気の比エンタルピーを引いて求めた。



図 3.2.4 測定風景

$$h = 1.005t + (2501 + 1.846t)x \quad (1)$$

$$q = \frac{V}{v}(h_i - h_o) \quad (2)$$

q : エアコン除去熱量[$kJ/10\,\mathrm{sec}$]

V : 出口風量[$m^3/10\,\mathrm{sec}$]

v : 出口空気の比体積[$m^3/kg(DA)$]

h_i : 入口空気の比エンタルピー[$kJ/kg(DA)$]

ho : 出口空気の比エンタルピー[$kJ/kg(DA)$]

t : 湿り空気の温度[℃]

x : 湿り空気の絶対湿度[$kg/kg(DA)$]

表 3.2.4 測定条件

測定期間	2003年8月7日～10月11日
実験モード数	7種類
機械換気回数	0[回/h]
空調機器	各戸でパッケージエアコン2台を稼動し、扇風機2台で攪拌する
測定項目	壁面・天井面・床面温度、室温、外気温、エアコン出入口温・湿度、出口風量、ドレン水量
その他	エアコン周りの測定は中央住戸のみ
	中央住戸の外界条件は、温・湿度、気圧を自由に制御できるチャンバ(南北)で操作する
	冷房25℃、暖房30℃とする

(4) 実験モード

図 3.2.5 に、実施した 7 つの実験モードを示す。30℃は、夏期に全ての隣接住戸が通風や扇風機だけで暑さをしのぐ非空調住戸もしくは空室の場合を想定している。モード 5,6,7 では、中央住戸に対する外気温が 30℃であることを想定して、南北チャンバーを 30℃に設定した。

モード 6 の間欠空調は、起床時 2 時間と就寝時 4 時間だけ 25℃で冷房を行うという、表 3.2.2 の P4 の空調スケジュールである。

モード 7 は、断熱材として押出し法ポリスチレンフォーム 30mm を用い、隣接住戸側にのみ貼り付けた。尚、戸境部位と断熱材の熱伝導抵抗値を表 3.2.5 に示す。

表 3.2.5熱伝導抵抗値

部位名	熱抵抗[K･㎡/W]	面積[㎡]
天井	0.469	72.75
戸境壁	0.522	27.10
床スラブ	0.950	72.75
外壁(南)	0.405	15.99
外壁(北)	0.560	15.99
断熱材30mm	0.750	27.10

(5) 実験結果

a 除去熱量について

モード 1 からモード 7 までを連続的に実施した。各モードとも、一つ前のモードの安定状態から空調条件を変化させて再び安定するまでに、約 1 週間を要した。図 3.2.6 に、モード 2 の除去熱量の推移を例示する。また、図 3.2.7 に、各モードの最終日における除去熱量を 24 時間に渡って積算した値を示す。

図 3.2.7 より、等温のモード 1 に比べてモード 2 では、約 3,200W の冷熱が戸境壁に吸収されていることがわかる。又、モード 2 の潜熱量が非常に大きくなったのは、室内に湿気が残留していた実験の初期段階だからと思われる。

尚、モード 1 で潜熱がマイナスとなっているが、これは温度・湿度の計測誤差によるものである。

モード 3 とモード 4 は、顕熱ではモード 2 の 1/4 よりかなり大きく、上下左右のうち 1 隣戸でも非空調室の場合は、除去熱量が大きな影響を受けることがわかる。

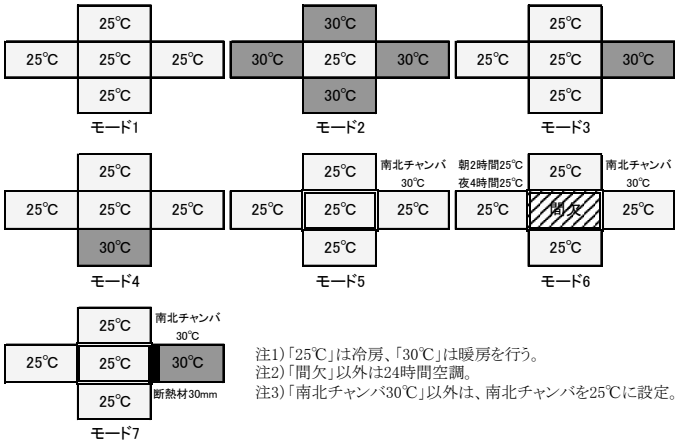


図 3.2.5 実験モード

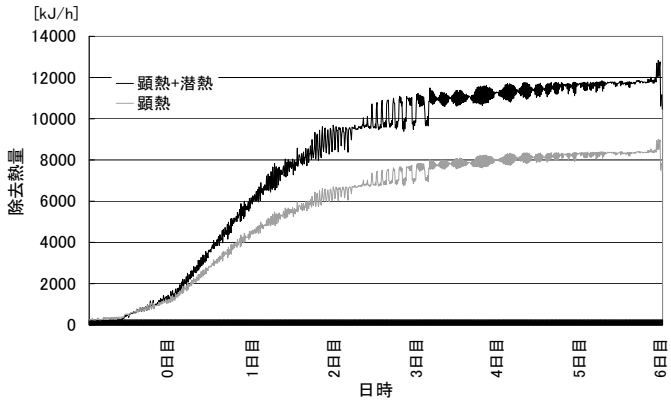


図 3.2.6実験結果-除去熱量(mode2)

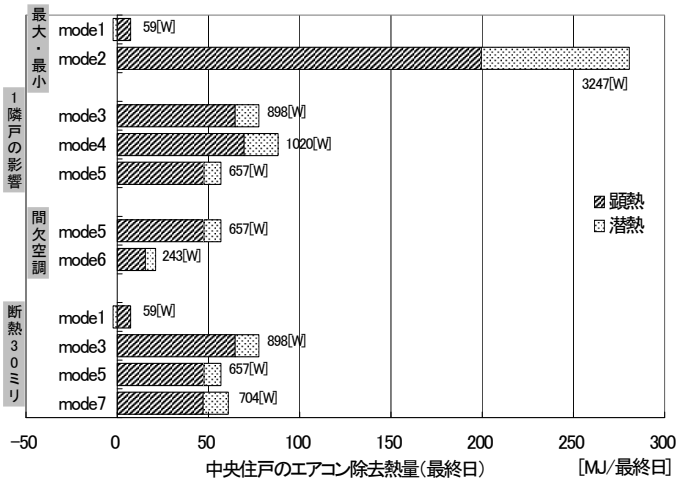


図 3.2.7 実験結果-最終日除去熱量

モード5は、モード3やモード4に比べて除去熱量が小さく、南北の外界条件よりも、隣戸の状態の影響が大きい結果となっている。これは、外壁を断熱材と複層ガラスが覆い、コンクリート厚 820mm の柱が広い部分を占めており、熱伝導抵抗が大きくなっていること、中央住戸と外界との接触面積があまり大きくないことが主な要因と考えられ、都心に多く見られる南北に長いタイプの集合住戸においては、必然的に隣接住戸による影響が大きくなるものと思われる。

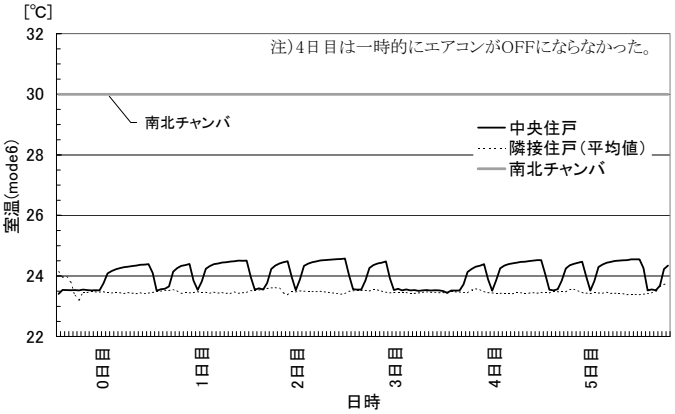


図 3.2.8 実験結果-室温(mode6)

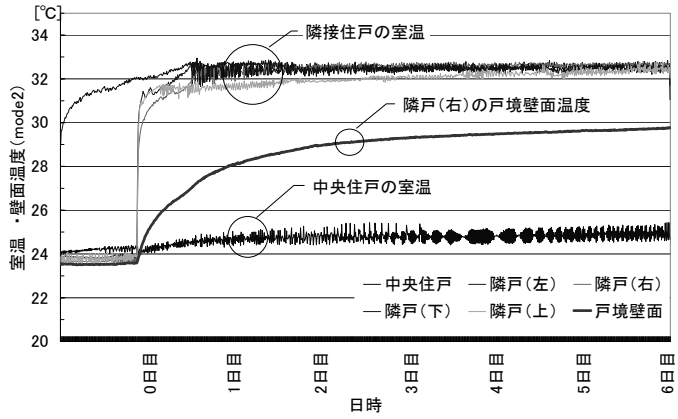


図 3.2.9実験結果-室温・壁面温度(mode2)

モード6は、中央住戸を24時間空調した場合のモード5より、除去熱量がかなり小さくなった。図 3.2.8 に、モード6における中央住戸の室温を示す。南北チャンバーは 30℃を維持しているが、中央住戸の室温は、非空調時でも、24.5℃程度までしか上がっていない。これは、間欠運転の非空調時においても、空調されている隣接住戸からの冷熱流により室温や壁面温度が維持されるためと思われる。

モード7はモード5とほぼ同等の除去熱量となっており、30℃に設定された隣接1住戸からの貫流熱は、断熱材 30mm により抑制され、除去熱量はチャンバーからの貫流熱だけにほぼ抑えられた形になっている。エアコンの制御精度の関係から、設定冷房温度 25℃の中央住戸と、設定暖房温度 30℃の隣接住戸との実際の室温差は、最終日の安定時 9.1℃になっていたことを考慮すると、断熱材 30mm の断熱効果は非常に大きいと言える。

b 室温・壁面温度について

図 3.2.9 に、モード2の室温と、右の隣接住戸における戸境壁の表面温度を示す。これより、エアコンの設定温度を変えると、室温はすぐに上昇するが、熱容量の大きい戸境壁は、およそ一週間かけて冷熱を吸収しながらゆっくり上昇することがわかる。

5) シミュレーションによる戸境壁断熱の評価

(1) シミュレーション1

前述の室温・壁面温度の変動の考察から、戸境壁への吸収を防止するために、各住戸の内壁を十分に断熱することで、エアコンからの冷熱を室の空気に集中させることができ、特に間欠空調時には、必要な時に必要なだけのエネルギーで素早く設定温度に達し、維持できることが期待される。

実験では、断熱材の効果を片側断熱 30mm の1パターンでのみ検証したが、次いでシミュレーションにより、モード7の条件を拡張し、実験棟の戸境壁における断熱材厚の違いや、片側断熱と両側断熱の違い、中央住戸の空調スケ

ジュールの違いによる断熱効果を検討した。熱容量の大きな RC 造集合住宅においては、簡易な壁体モデルを採用する SMASH では誤差が大きいと考えられるため、ここでは、熱的に厚い部位に適する伝熱算法として応答係数法を採用する BRIMAP を用いた[2]。

(2) 計算結果1

図 3.2.10 に、シミュレーション 1 の計算結果を示す。左の片側断熱のグラフのうち、断熱 30mm で P1 のケースが、実験のモード 7 に相当する。尚、片側断熱では、隣戸側の戸境壁に断熱材を貼り付けた。

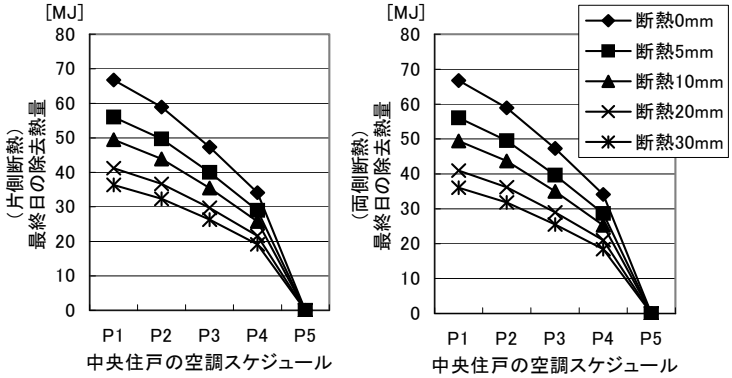
片側断熱より両側断熱の方がわずかに除去熱量は小さいが、その違いは殆ど見られなかった。これは、約 1 週間のシミュレーション期間のうち、定常状態となった最終日での除去熱量であるため、片側断熱ではコンクリートが十分に冷え、冷熱を吸収しなくなっていることが原因と思われる。

また、いずれの空調スケジュールでも、断熱材を厚くするほど省エネ効果の伸びは鈍化した。すなわち、簡易にでも戸境壁を断熱するか否かの違いで、除去熱量に大きな差が出ることがわかる。

(3) シミュレーション2

次に、先の実験棟から南北チャンバーを取り外した建物を対象に、戸境部位を断熱することで建物全体の年間暖冷房負荷にどのような変化が現れるのか、熱負荷計算プログラム SMASH を用いて検証した。

図 3.2.11 に設定条件を示す。地域は土浦市、暖房温度は 22℃、冷房温度は 26℃とし、中央住戸および四隅の住戸の空調スケジュールを P1～P5 に変化させ、他の住戸については P5 に固定した。断熱材には押出し法ポリスチレンフォーム 1 種を用い、戸境部位の両側断熱として 0、10、30mm の計算を行った。



注1) 上記3つの条件以外は、すべて実験モード7と同じとした
注2) 空調スケジュールは、表2を参照
注3) 片側断熱では、隣戸側の戸境壁に断熱材を貼り付けた
–片側断熱(左)　　両側断熱(右)

図 3.2.10計算結果1

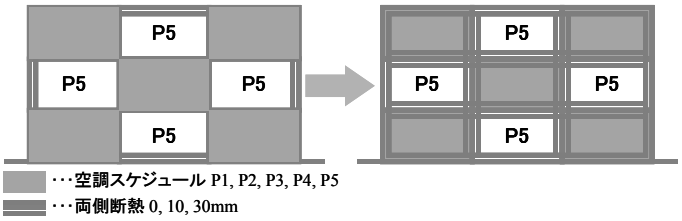


図 3.2.11 設定条件

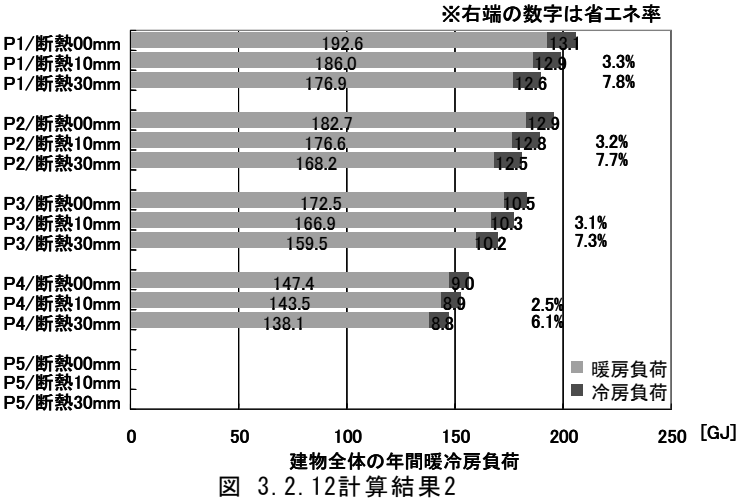


図 3.2.12計算結果2

(4) 計算結果2

図 3.2.12 にシミュレーション 2 の計算結果を示す。どの空調スケジュールにおいても建物全体の年間暖冷房負荷に省エネ効果が現れており、戸境部位の断熱は有効であることがわかる。

6) まとめ

集合住宅の暖冷房負荷における隣接住戸の影響について、まず SMASH で予備を行い、以下の知見を得た。

a)全隣接住戸が非空調室の場合には、同じ空調条件の場合より、年間暖冷房負荷が 2 倍近くに達した。
b)全隣接住戸がエアコンの設定温度を 2℃節約すると、中央住戸では約 2 倍の年間暖冷房負荷が生じた。

そこで、実態を把握するために、実大の集合住宅試験棟において夏期の実証実験を行い、以下の知見を得た。

c)外壁が断熱され、外界との接触面積も小さい縦長タイプの集合住宅では、外界条件よりも隣接する一住戸の空調条件に、より大きな影響を受けることがわかった。
d)戸境壁を 30mm 断熱すると、室温差で約 9℃の貫流熱を抑制することができた。
e)室温はすぐに安定するが、コンクリート躯体は一週間を要した。冷熱の吸収を抑制するために戸境壁を断熱すれば、間欠空調時に省エネ効果を期待できることがわかった。

さらに、実験では十分に検討できなかった断熱材の有効性について、実験モード 7 の条件を拡張する形で BRIMAP と SMASH によりシミュレーションを行い、以下の知見を得た。

f)断熱材を厚くするほど、省エネ効果の伸びは鈍化したため、戸境壁を断熱するか否かが特に大切であることがわかった。
g)戸境壁を断熱した場合、建物全体の年間暖冷房負荷も低下し、省エネ効果を確認できた。

(諸田健太郎)

参考文献

1: 集合住宅における消費エネルギー原単位に関する研究(第 8 報)冷房使用パターンの類型化、鍋島美奈子ほか 7 名、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、2000 年 9 月、P449-452
2: 建設省総合技術開発プロジェクト 省エネルギー住宅システムの開発 報告書、(財)住宅・建築省エネルギー機構、 1983 年 3 月、P259-321

3.2.2 温水式床暖房における温水パネル下と配管の断熱効果

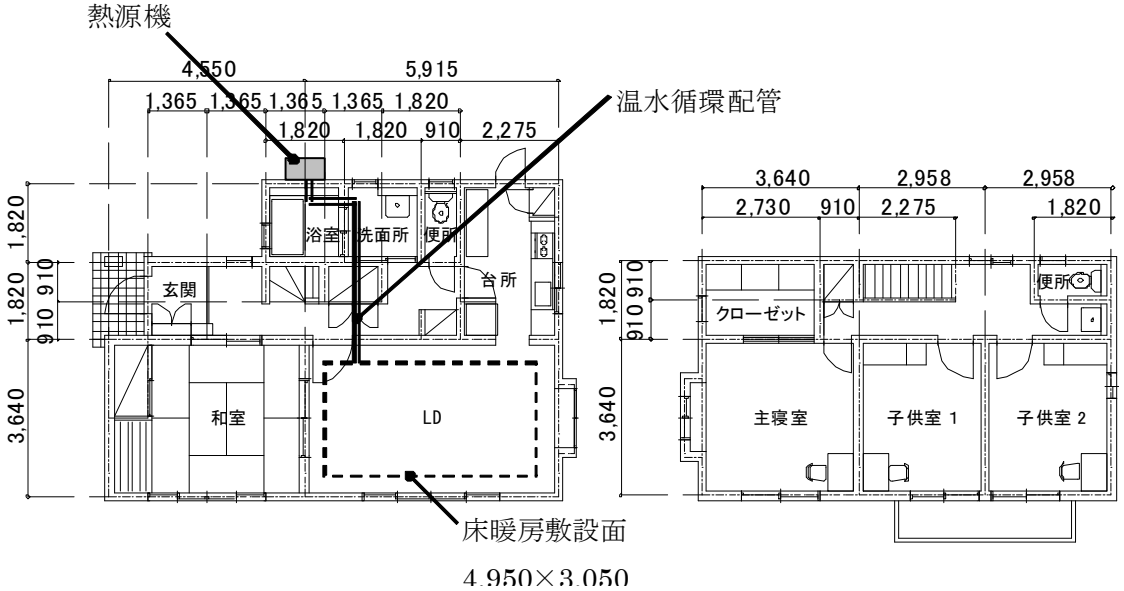
1) はじめに

近年、住宅に床暖房が採用される場合が少なくない。床暖房においては温水床パネル下の断熱が重要であり、温水式床暖房にあっては、熱源とパネルをつなぐ温水循環配管の保温が重要である。これらの断熱仕様と熱損失量を試算し、断熱・保温の程度を確認することが本節の目的である。

集合住宅では、中間階では階下に隣接する住戸があるため、配管の通る床下(もしくは天井裏)の気温は比較的高く、外気温よりは室気温に近い。戸建住宅では床下の気温が低くなることが多いので、戸建住宅を計算対象とする。

2) 計算条件

対象とする戸建住宅として、[C3]で提案されている郊外型住宅モデルプランを採用する。1階の居間(5.9×3.6＝21.2 ㎡)に温水式床暖房を敷設するとし、図 3.2.13 に示すように熱源を配置し、循環配管を仮定した。



(a) 1階平面図　　(b) 2階平面図

図 3.2.13 [C3]郊外型戸建住宅モデルプランと熱源・配管・床暖房面配置

(1) 床暖房の設計条件

主な設計条件として次の 5 点を仮定する。

(i)敷設率を 70%とし、約 15 ㎡(4.95×3.05)とする。

(ii)熱源を特定せず、熱源の出力熱量を基準とする。どんな熱源であっても温水配管から床パネルまでは共通とみなす。

(iii)循環配管の長さは直線で約 6.5m で、余裕率として 1.2 を乗じて 7.8m と仮定する。

(iv)室気温 20℃、外気温 0℃、循環配管が通る床下の気温は室気温と外気温の平均として10℃と設定する。

(v)循環配管は往き管、還り管ともに温水パネルの出入口湯温で満たされているものと仮定する。温水式床暖房は ON となる時間制御と

し、温水流量は一定とする。

(2) 温水パネル下の断熱仕様

標準的な断熱仕様として、床下にグラスウール 16K・50mm 断熱を行った場合(以下 GW50 と呼ぶ)を取り上げる。このとき熱抵抗は0.95 ㎡K/Wとなる。さらに第2章の[A1]断熱外皮に関する調査・研究において、最小限の床断熱である高発泡ポリエチレン 25mm 断熱の場合(以下 PE25 と呼ぶ)を想定する。このとき熱抵抗は 0.65 ㎡K/W となる。

(3) 循環配管の仕様

給湯配管に用いられるサヤ管と架橋ポリエチレン管 13A(以下サヤ管)と、熱伝導率 0.04 W/mK の保温材 10mm を巻いた架橋ポリエチレン管 13A(以下保温管)を想定する。さらに、温水式床暖房で標準的に用いられる 7A ペアチューブ(以下ペアチューブ)を検討する。これは、10A の架橋ポリエチレン管を2本 CD 管に収めたものである。

これらの配管の線熱通過率 UL は既往の研究およびメーカの技術資料より、それぞれ 0.56、0.26、0.21 W/m K となる。

(4) 温水床パネルの出入口温度

上記管種によって設定が異なる。さや管と保温管では入口湯温 θ in＝55℃、出口湯温 θ out＝50℃とし、湯温差 5℃とする。ペアチューブでは流量を小さくして湯温差を 10℃として、入口湯温 θ in＝60℃、出口湯温 θ out＝50℃とそれぞれ設定する。

(5) 温水床パネルからの放熱量

上記設計条件のうち、GW50 の場合はパネルからの放熱量を室内側 85%、床下側 15%の放熱と仮定し、室内側にはパネルの単位面積あたり 120 W/㎡とする。このときパネル全体に供給される熱量は 141W/㎡となる。PE25 では床下への放熱が大きくなるが、室内側には同量の 120W/㎡で放熱されると仮定する。

3) 計算方法と計算結果

(1) GW50と保温管の場合

θ in＝55℃、θ out＝50℃として流量 v [L/分]を求める。

2,115＝4.186×(55－50)×v×1000/60

よりv≒6.1 L/分となる。

配管からの熱損失量 qは、

q＝7.8×0.26×{(55－10)＋(50－10)}

＝172 W となる。

熱源の出力 W は、パネルへの全供給熱量 2,115 W に qを加えたものになるので、W＝2,115＋172＝2,287 W となる。配管からの損失は、供給熱量の約 8%に相当する。また、このときの給湯機出入口水温差 $\Delta\theta$ は、2,287÷1000÷4.186×60÷6.1＝5.4℃ となって、7.8 m の配管で循環湯温は熱損失によりおよそ 0.5℃程度低下することが分かる。

(2) PE25とサヤ管の場合

配管からの熱損失量qは(1)と同様に計算し、q＝7.8×0.56×{(55－10)＋(50－10)}＝371 W となる。床下への放熱は、次のように仮定する。

・床下の総合熱伝達率を9W/㎡Kとして熱コンダクタンスを求める。

・温水パネル内の温水を戻り湯温の 50℃とし、GW50 を基準とすると、温水配管の形状係数を η として、床下への放熱について、次式が成り立つ。

$$315W = \eta \times \frac{1}{\frac{1}{9}+0.95} \times 15m^2 \times (50-10)$$

η を逆算すると η ≒0.56 となる。PE25 の場合を計算すると、

$$0.56 \times \frac{1}{\frac{1}{9}+0.65} \times 15m^2 \times (50-10) = 441W$$

となる。

このとき、熱源の出力は、1,800+441＋371＝2,612 W である。配管からの損失熱量は 14%に該当する。また、循環配管において、2,612÷1,000÷4.186×60÷6.1≒6.1℃より、1℃程度循環湯温が低下する。

(3) GW50とペアチューブの場合

θ in＝60℃、θ out＝50℃として流量 v [L/分]を求める。

2,115＝4.186×(60－50)×v×1000/60

より、v≒ 3.0 L/分となる。

配管からの熱損失量 qは、

q＝7.8×0.21×{ (60－10)＋(50－10) }

＝147 W である。

熱源出力は W＝2,115＋147＝2,264 W となる。放熱損失は供給熱量の約 6%に相当する。また、このときの給湯機出入口水温差Δ θは、2,264÷1000÷4.186×60÷3.0＝10.8 ℃ となって、この循環配管では湯温は熱損失により1℃程度低下する。

ペアチューブの場合は流量を抑えるために、熱源の出入口温度差を 10℃とするため、管内の湯温が高くなって、他のケースより不利であるが、それでも省エネルギーになることが示されている。

4) まとめ

以上の計算結果を図 3.2.14 に示す。戸建住宅の場合は床下気温は基礎断熱を行わないと、かなり低温となるのでより大きな熱損失となるものと想定できる。また、循環配管の設計では、流量や出入口温度差にも留意せねばならない。

熱源の消費エネルギーは、熱源出力を熱源効率で除した値となる。Ⅲ編の第 8 章の自立循環住宅システムの計画・実証実験手法の開発と実施において、温水式床暖房の消費エネルギーが検討されているので、あわせて参照されたい。

（岩本靜男）

計算ケース	熱源出力	配管からの損失	床下への損失	居住者利用熱量
GW50＋保温管13A	2,287 W	172W・8%	315W・14%	1,800W・79%
PE25＋サヤ管13A	2,612 W	371W・14%	441W・17%	1,800W・69%
GW50＋ﾍﾟｱﾁｭｰﾌﾞ7A	2,262 W	147W・6%	315W・14%	1,800W・80%



図 3.2.14 床下断熱と配管保温による熱損失の計算結果

3.2.3 戸建住宅におけるエアコンの消費エネルギーの試算

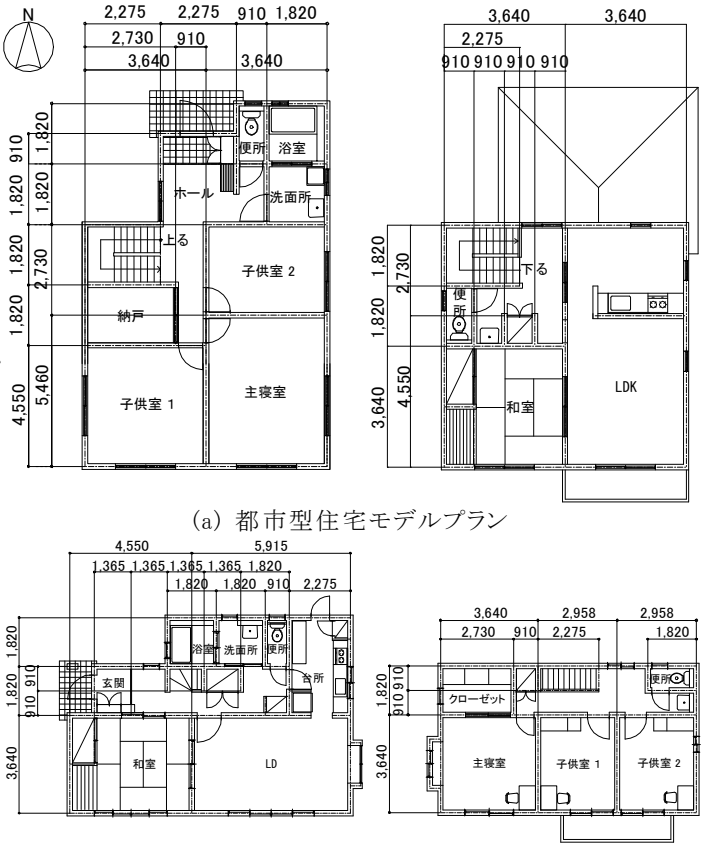
1) はじめに

一般の住宅における消費エネルギーのうち暖冷房はおよそ 30%を占める。現在の住宅の省エネルギーに関する研究は断熱強化により暖冷房負荷を低減させることに重点が置かれている。消費エネルギー削減という観点からは、暖冷房負荷に対して暖冷房機器が要した電力量などにも目を向けるべきであり、暖冷房機器をいかに効率よく運転するかが省エネルギーに大きく関わる。

本研究は、ルームエアコンを用いた場合の暖冷房負荷、暖冷房消費エネルギー、暖冷房 COP(成績係数)の関係を把握し、戸建住宅を対象とした実際の暖冷房時における COP と消費エネルギーの検討を行う。

2003 年度では、特定の一機種ながら、暖房運転時のエアコンの消費電力、出力熱量などを実測によって求め、エアコンの COP と外気温との関連を調査した。エアコンの COP を一般的に算出する方法として、(社)日本冷凍空調工業会規格[1)]の JRA4046(以下 JRA 規格)を採用し、実測から得られた回帰直線による COP の 2 ケースによる消費電力を比較した。その結果、両者の結果は20%程度の差にとどまった。限定された条件ではあるが、JRA 規格による COP 算出法により、消費電力を概ね予測できるものと想定した。2004 年度では、COP 算出は JRA 規格に従い、部分負荷運転時の消費電力算定に条件を課した場合を検討に加えた。

消費エネルギーと運転スケジュールには明確な関連があるものの、得られる室内環境の評価が課題となる。間欠運転と連続運転では後者の方が消費エネルギーは大きくなるが、室内の快適性は高くなる。両者の関連を捉えるのは容易ではない。本研究では、ひとつの試みとして、室使用時間帯の温冷感指標の頻度分布を用いて、室快適性を評価することとした。



(a) 都市型住宅モデルプラン

(b)郊外型住宅モデルプラン

図 3.2.15 計算対象住戸平面図

2) 暖冷房負荷

(1) 計算方法

一般の住宅にかかる暖冷房負荷の計算を行うために住宅用熱負荷計算プログラム「SMASH」を使用する。SMASH では「建物データ」「室データ」「部位データ」「室相互の組合せデー

タ」により建物の計算モデルを構築し、気象データを用いて最大暖冷房負荷計算、期間暖冷房負荷の毎時計算が可能であり、各室の気温、相対湿度も同時に算出される。

(2) 計算対象住宅

計算対象とした住宅は、第 12 章教育・情報提供システム[C3]で提案された戸建住宅のモデルプランを採用する。図 3.2.15 に計算に用いた都市型および郊外型のモデルプランを示す。暖冷房対象室はいずれも LD と個室とする。

(3) 入力条件

2003 年の検討では、表 3.2.6 に示す設定値を用いた。断熱仕様の違いによる比較のために、普通ガラス、複層ガラスと外壁断熱材の厚さ 40mm、100mm を組み合せて、表 3.2.7 に示すような計 4case を SMASH により計算した。

在室者、照明、機器等のスケジュールは、建築学会の標準問題に従った。2004 年の検討では、表 3.2.8 に示す入力条件・設定条件を用いた。断熱仕様は、第 2 章断熱外皮に関する調査・研究[A1]で提案された外壁仕様を参考に、新省エネルギー基準相当と次世代省エネルギー相当の 2 種類を設定した。仕様の詳細を表 3.2.9 に示す。暖冷房スケジュール等は、2004 年検討では、[B1・B2]の実測で用いられたスケジュールを、1 時間単位にまとめて採用した。

表 3.2.6 2003年入力条件と設定値

入力条件	設定値
地域区分	Ⅳ地域
気象データ	SMASH for Windows 気象データ (東京)
暖冷房期間	暖房期間 : 11月 2日 ～ 4月22日
	冷房期間 : 4月23日 ～ 11月 1日
暖冷房温湿度	暖房時 : 20℃以上、湿度はなりゆきとする
	冷房時 : 27℃以下、相対湿度60%以下
暖冷房設定室	各居室とLDK (計5室)
断熱仕様 (外壁断熱以外)	2階屋根 : 吹込用ロックウール 200mm
	下屋屋根 : 押出法ポリスチレンフォーム3種 50mm
	1階床 : 住宅用グラスウール16kg相当 100mm
	基礎 : 押出法ポリスチレンフォーム3種 50mm

表 3.2.7 2003年検討の計算ケース

case	窓の断熱性能 (熱貫流率[W/m²K])	外壁断熱仕様 (厚さ) 住宅用グラスウール16kg相当
1	普通ガラス カーテンあり(夜間):6.51 カーテンなし(昼間):5.17	40mm
2		100mm
3	複層ガラス カーテンあり(夜間):3.89 カーテンなし(昼間):4.65	40mm
4		100mm

表 3.2.8 2004年の計算ケース

case	暖冷房スケジュール	断熱仕様
1	間欠運転	新省エネ
2		次世代省エネ
3	常時運転	新省エネ
4		次世代省エネ

表 3.2.9 外壁断熱仕様の詳細

部位		新省エネ 材料	熱伝導率 (W/mK)	厚さ (mm)	次世代省エネ 材料	熱伝導率 (W/mK)	厚さ (mm)
断熱部位	屋根天井	吹込用ロックウール 断熱材 25K相当	0.047	200	高性能グラスウール 断熱材 16K相当	0.038	200
	1F床	住宅用グラスウール 断熱材 16K相当	0.045	100	硬質ウレタンフォーム 保温版 2種3号	0.024	60
					押出法ポリスチレン フォーム 3種	0.028	40
	外壁	住宅用グラスウール 断熱材 16K相当	0.045	100	高性能グラスウール 断熱材 16K相当	0.038	100
	基礎	押出法ポリスチレン フォーム 2種	0.034	50	押出法ポリスチレン フォーム 3種	0.028	100

3) エアコン実測による COP の推定

(1) 実測概要

JRA 規格のように COP が直線的に増減するかを把握するため、実際の暖冷房運転時における実測を行った。神奈川大学 12-23 室内の給湯実験ブースに設置されている天井埋込式ルームエアコンを使用して、冬季の暖房運転における室内への供給熱量とエアコンの消費電力を 1 分間隔で計測した。実測の概要を図 3.2.16 および表 3.2.10 に、用いたエアコンの性能値を表 3.2.11 に示す。

(2) 実測結果

毎時の暖冷房負荷計算を行うことから、実測結果を 1 時間平均して使用する。実測により得られた暖房時の COP と外気温の関係を図 3.2.17 に示す。

COP は JRA 規格で求めたような直線的な増



図 3.2.16 吹出・吸込気温の測定

表 3.2.10 エアコン実測の概要

測定期間	2003年12月12日～15日 2004年1月5日～10日
設定室温	20℃
風量設定	強 (626m³/h : 風量測定より)
測定項目	・外気温度 [℃] ・エアコン吹出温度 [℃] ・エアコン吸込温度 [℃] ・消費電流 [A]

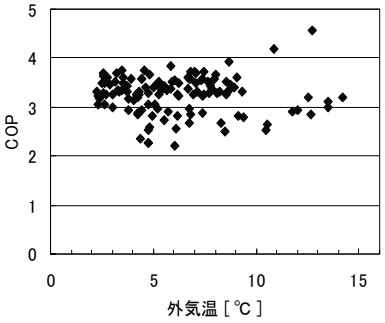


図 3.2.17 外気温とCOP実測結果

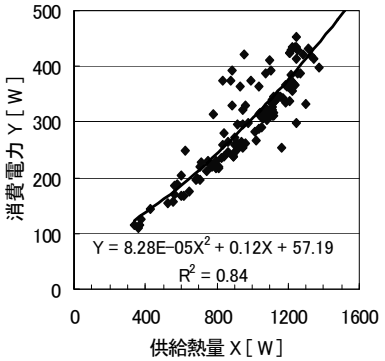


図 3.2.18 供給熱量とCOPの実測結果

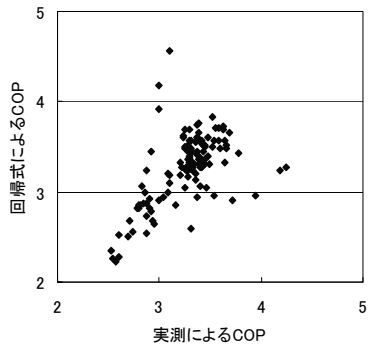


図 3.2.19 実測COPと回帰式によるCOP

表 3.2.11 エアコン性能値

	能力		消費電力		COP
暖房	定格暖房標準能力	4.0kW	定格暖房標準消費電力	900W	4.44
	定格中間暖房標準能力	2.0kW	定格中間暖房標準消費電力	335W	
	定格暖房低温能力	4.2kW	定格暖房低温消費電力	1,680W	
冷房	定格冷房能力	2.8kW	定格冷房消費電力	785W	3.57
	定格中間冷房能力	1.4kW	定格中間冷房消費電力	320W	

表 3.2.12 消費電力の回帰式

$$W = -524.81 + (-6.21) \times ta + (-41.36) \times t_R + 64.96 \times t_S$$

W : 消費電力 [W]　　ta : 外気温 [℃]

t_R : 吸込温度 [℃]　　t_S : 吹出温 度[℃]

寄与率 : 0.90

減はせず、3 付近に分布する結果となった。

エアコンが定格運転ではなく、部分負荷に対する運転となり、定格 COP の 4.44 には達しなかった。ただし、ある限られた期間による実測結果であること、エアコンの定格出力に対して暖房時の消費電力の算出には、外気温や吹出、吸込温度から得られた室内への供給熱量が大きく影響している結果となった。

実測により得られた消費電力を目的変数に設定し、外気温、吹出温度、吸込温度を説明変数に設定して重回帰分析を行い、回帰式を算出した。表 3.2.12 に回帰式と寄与率を示す。

室内負荷が半分以下であること、風量を強設定に固定して運転していること、などエアコンにとっては不利な実験条件が重なっていることに注意する。

図 3.2.18 に示すようにルームエアコンの消費電力と供給熱量には相関関係があることが確認できた。回帰式の外気温と SMASH による暖冷房負荷計算で使用した気象データの外気温、吸込温度と室温を対応させ、吹出温度は暖房負荷と室温から求め、実際にルームエアコンが消費すると推測されるエネルギーを算出した。図 3.2.19 に実測 COP と回帰式より得られた消費電力から求めた COP の分布を示す。

4) COP と暖冷房消費エネルギー

(1) 2003年の検討

暖冷房負荷に対してルームエアコンが必要とする暖冷房消費エネルギーと COP の関係は次式とする。

$$暖冷房消費エネルギー = \frac{暖冷房負荷}{COP} \quad \cdots(1)$$

JRA 規格では、外気温とルームエアコンの性能値を使用して暖冷房時の COP と期間暖冷房消費エネルギーの算出方法を示している。表 3.2.11 に示す実測で使用したエアコンの性能値での COP 算出結果を図 3.2.20 に示す。

JRA 規格では図 3.2.20 のように、冷房時には外気温が低くなる際、暖房時には外気温が高くなる際に COP が直線的に上昇する。

SMASH による暖冷房負荷計算結果の各室の暖冷房負荷とJRA 規格で算出した COP より、暖冷房消費エネルギーを算出し、図 3.2.21 に示す。消費エネルギーの実態調査結果に比較すると、暖房負荷・冷房負荷ともに大きいが、計算で設定されている暖冷房の使い方が現実と一致していないことが原因と考えられる。

各 case の暖冷房の負荷削減の割合と暖冷房消費エネルギー減少の割合は同等となった。

さらに、4case における暖房負荷から JRA 規格と実測から得られた回帰式を用いて算出した暖房消費エネルギーの結果を図 3.2.22 に示す。各 case とも 20%程度、暖房消費エネルギーが増加した。JRA 規格のように COP の上昇傾向がある計算とは異なり、エアコンが部分負荷のなかで定格能力での運転ができないことが原因とみられる。

(2) 2004年の検討

(1)の予備検討から、

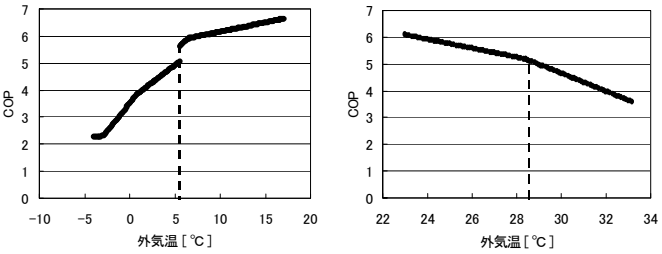


図 3.2.20 実測エアコンのCOP算出結果

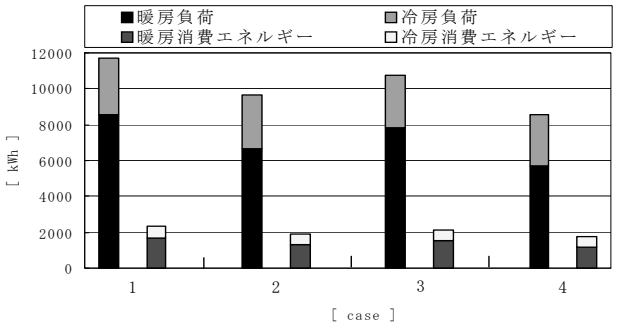


図 3.2.21 暖冷房負荷と消費エネルギーの計算結果 (2003年)

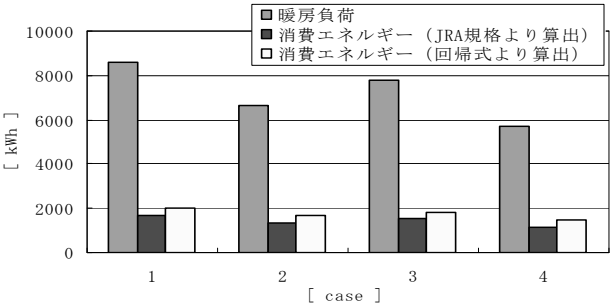


図 3.2.22 暖房消費エネルギーの比較

・断熱性能が劣ることから暖冷房負荷が大きくなり、自立循環型住宅の断熱仕様とは異なること。

・実測に用いたエアコンの定格出力と、計算対象室の暖房負荷が必ずしも対応していないため、現実的とはいえないこと。

・実測による COP は JRA 規格と対応はしていないが、消費エネルギーの算出結果は大きく変わらないこと。

・SMASH による暖冷房負荷計算結果では、負荷が大変小さい場合がある。この際に消費エネルギーを(1)式から求めると、極めて小さい電力となり、実情に合わない。

などの知見を得た。2004 年ではこれらを改善して、前述のように、

・断熱性能を自立循環型住宅の仕様に合わせて設定した。

・暖冷房スケジュールを実証実験のスケジュールとした。

・暖冷房負荷計算結果から、妥当なエアコン機器を選択し、COP は JRA 規格から求めることとした。

・暖冷房消費エネルギーの算出方法として、(1)式に加えて、最小消費電力を設定した。

の改善を行った。

(3) エアコンの性能値

表 3.2.8 に示す計算ケースについて、SMASH で求めた暖冷房負荷を図 3.2.23 に示す。

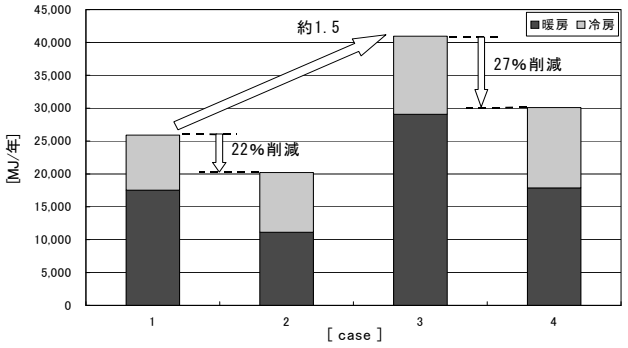
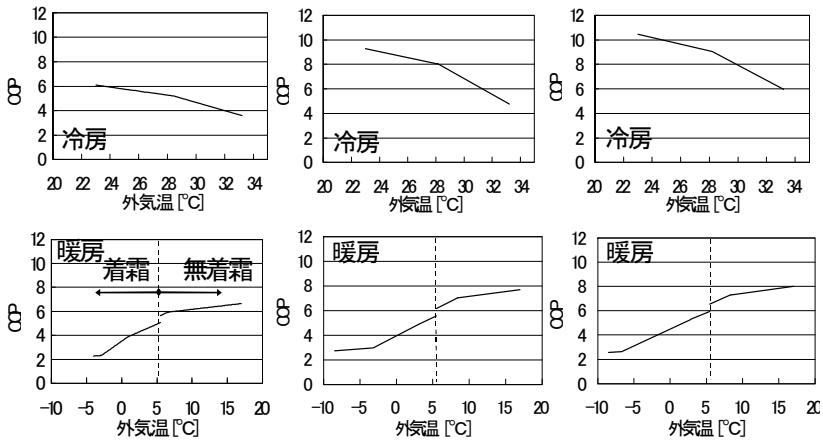


図 3.2.23 暖冷房負荷(2004年)

表 3.2.13 エアコンの性能値(2004年)

	α		β-1		β-2	
(定格)	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房
能力(W)	4,000	2,800	4,200	3,600	3,000	2,500
中間能力(W)	2,000	1,400	2,000	1,700	1,400	1,200
低温能力(W)	4,200		5,500		4,900	
消費電力(W)	900	785	765	795	505	440
中間消費電力(W)	355	320	290	255	195	160
低温消費電力(W)	1,680		1,720		1,630	
COP	4.44	3.57	5.49	4.53	5.94	5.68

計算結果より暖冷房最大負荷を用いて改めてエアコンを選定した。2002 年標準と思われるエアコンα(以下在来型)と2004年最新型のエアコンβ(以下最新型)と、2通りを設定し、その性能値を表 3.2.13 に示す。なお、居間のエアコンとして、在来型では個室と同機種を2台設置しているが、最新型では個室(β-2)とは別の1台のエアコン(β-1)としている。また JRA 規格を用いて算出された COP と外気温の関係を図 3.2.24 に示す。



(a) エアコンα (b) エアコンβ−1 (c) エアコンβ−2

図 3.2.24 エアコンのCOPと外気温の関係(2004年)

a 消費エネルギーの算出

暖冷房スケジュール中で、室を使うときは常時エアコンが ON となると仮定する。室の状態によっては、ヒートポンプが稼動する場合と送風のみで室気温を監視する場合とに分かれるものとする。この境界となる負荷として、エアコンの定格出力の 40%を仮定した。また送風のみ

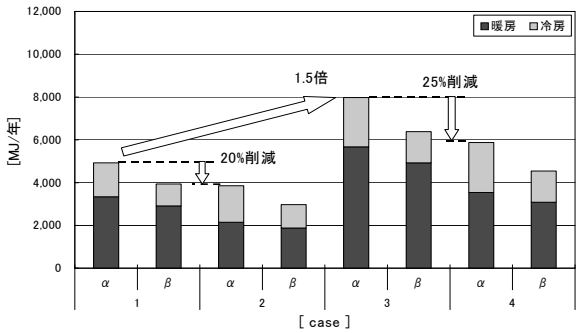


図 3.2.25 (1)式における暖冷房消費エネルギー(2004年)

の場合が最小消費エネルギーとなる。これを50Wと仮定し、消費エネルギーがこれに満たないときは50Wに置き換えることにした。

1時間中にヒートポンプがONとなる時間 tと、OFF のときにファンと制御系だけが稼動するときのエネルギーE(＝50W)を用いて、次式(2)で消費エネルギーC_2を算出する。ここでC_1は(1)式による消費エネルギーである。

$$C_2=(1-t)\times E+C_1\cdots(2)$$

b 消費エネルギーの計算結果

(1)式を用いた場合と(2)式及び最小消費電力を用いた場合の計算結果を図 3.2.25 と図 3.2.26 に示す。エアコンの在来型・最新型の違いによる比較では、高効率の機種を用いた場合 10～20%消費エネルギーを削減できる。断熱強化による比較では、およそ 20%削減することができる。

連続運転した場合には(1)式ではおよそ 1.5倍、(2)式では 2 倍になる。負荷と(1)式で計算したエネルギー量を比較すると 4case ともほぼ同じ割合で変化しているため、図 3.2.25 と図 3.2.26 におけるエネルギー量の差が、部分負荷運転した際のエネルギー量である。その割合をそれぞれ図内に示す。

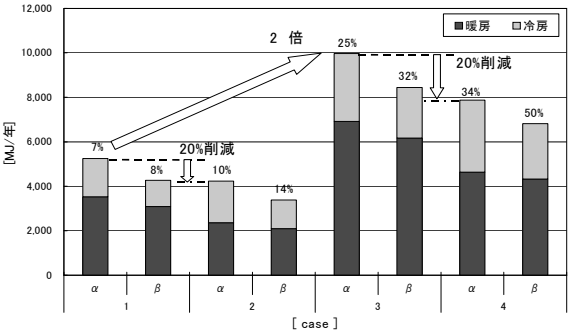


図 3.2.26 (2)式における暖冷房消費エネルギー(2004年)

5) 室内快適性の評価

まず、前節 4)の 2004 年の計算結果を用いて、温冷感指標 PMV により、各時刻の室内快適性を評価する。PMV を計算するための設定値を表 3.2.14 に示す。

表 3.2.14 PMV計算のための設定値

要素	代謝量 (met)	気流 (m/s)	着衣量(clo) 夏期	着衣量(clo) 冬季	気温 (℃)	放射温度 (℃)	湿度 (%)
設定値	1.1	0.1	0.6	1.0	SMASHの出力値を用いる		

代謝量は、居住者の活動に応じて異なり、就寝時は 1.0met 以下となるが、計算設定のための妥当な資料が見つからないため、一意に 1.1met で扱った。

室内気流は SMASH でも計算は行っていない。エアコンによる気流は実際には0.2m/s程度あるものと想定できるが、ここでは少なくとも 0.1m/s を下回ることはないとして、0.1m/s と設定した。

住宅において、居住者は適宜着衣で温冷感を修正しており、重要な生活上の対応と考えられる。しかし、その効果を計算に取り入れる方法が見つからなかったため、ここでは夏期・冬期でもっとも頻繁に用いられる値を用いた。

暖冷房する室としない室において運転方法による温冷感の違いを調べるために、子供室 2 と 2F廊下の PMV の頻度分布を図 3.2.27 に示す。2F 廊下については個室の在室状況に合わせて 20～24 時までを対象とする。快適範囲(±0.5) 内に分布している割合を調べると、子供室 2 の場合、case2 では 69%、case4 では 79%となり連続運転した方が 10%程快適である。2F 廊下の場合、case2 では 27%、case4 では 33%となり著しい違いは見られない。

PMVを±1.0以内とするとcase4の方が20%程頻度多くなる。

また、図 3.2.27 は連続運転時であっても、PMV＝±2程度の時刻があることを示している。これは、子供室外部の廊下の気温が必ずしも高くないため、子供室壁面温度が室気温と離れてしまうため、PMV 計算上の放射温度が気温より冬期では低く、夏期では高くなってしまうことが原因である。

6) まとめ

ルームエアコン暖房運転時の実測により、エアコンが部分負荷に応じた運転で定格よりも低い COP で運転することがわかった。外気温の変動にCOPが直線的に増減する JRA 規格から算出した消費エネルギーより、実測から得られた回帰式により算出した消費エネルギーの方が20%程度の増加がみられた。

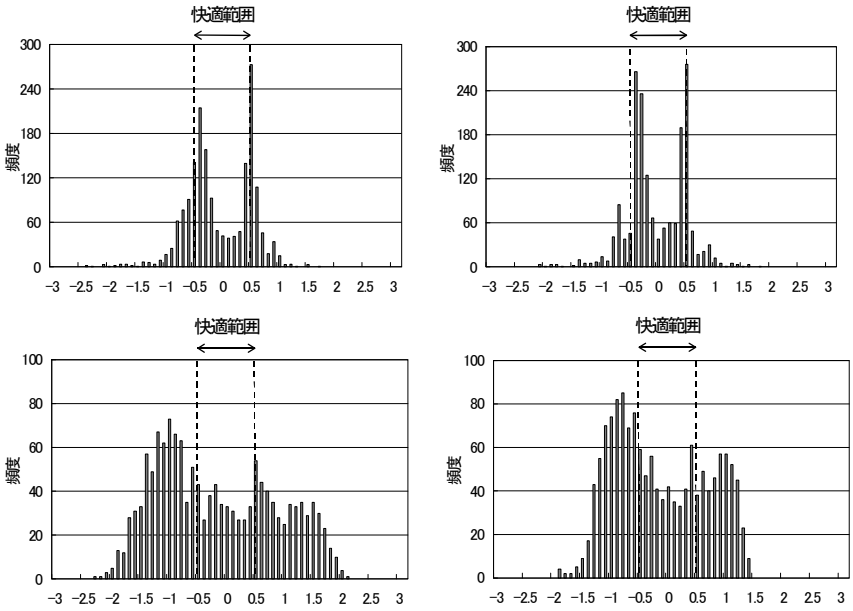


図 3.2.27 子供室2と2階廊下のPMV頻度分布

ヒートポンプが OFF の場合を考慮した部分負荷運転を想定しての消費エネルギー算出と、快適性の評価を室使用時間内での頻度分布で行った。間欠運転と連続運転とを比較すると、連続運転では消費エネルギーは 2 倍程度となるが、温冷感指標の頻度分布では快適範囲になる割合は 69%から 79%と 10%向上することがわかった。

ただし、今回の実測及び計算は、限られた期間の実測であること、特定の一機種であり定格出力に対して半分以下の暖房負荷であったこと、風量は強設定に固定して実測したこと、などの不利な条件が重なっていることに注意が必要である。今回の結果は一例に過ぎないが、部分負荷運転時のエアコンの COP は定格能力や中間能力の性能値に比較して1/2程度まで小さくなる場合もある。

今後の課題として、他の暖房設備を用いた場合の消費エネルギーの検討、省エネルギーと快適性の更なる検討が挙げられる。

(岩本靜男)

参考文献

1:JRA4046:1999、ルームエアコンディショナの期間消費電力量算出基準、1999.
2:澤地孝男・他、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)2003 年 9 月.

3.2.4 冬期の窓面によるコールド・ドラフトの影響

1) はじめに

冬季、住宅では窓面からの不均一放射やコールド・ドラフトが不快の原因となることがある。暖冷房システムのシミュレーションにおいては室気温を一様と仮定して解くことが多いため、この影響を別途評価する必要があり、被験者実験による評価が重要となる。

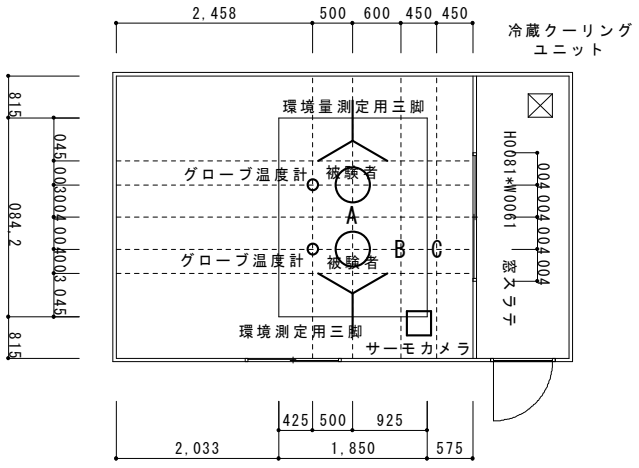
また、住宅においては常時換気設備が義務付けられたことから、換気による影響が懸念される。例えば、住宅において、第 3 種換気方式が採用される場合は、外壁に自然給気口が設置される。

窓面によるコールド・ドラフトに加えて、自然給気口からの外気が室内温熱環境にどのような影響を与えるか、必ずしも明確ではない。居住者の中には、この外気による影響を嫌って、給気口を家具等でふさいでしまうことがあり得る。

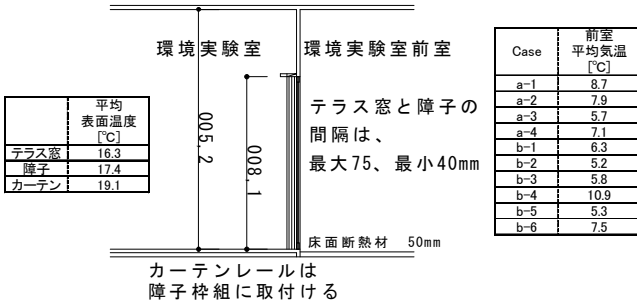
そこで、本研究は、まず窓面のコールド・ドラフトの影響について検討する。集合住宅を模した実験室を用いて、居間等に設置されるテラス窓を用意し、室気温を制御して全身の温冷感が中立の場合について、被験者実験を計画した。2002 年度は準備実験として、障子・カーテン・窓ガラスのみによるコールド・ドラフトの程度と温冷感への影響について、検討した。2003 年度にはシングルガラスとペアガラス、カーテンを設置した場合について検討した。

なお、自然給気口による影響は、第4章換気・通風システムにおいて扱われており、あわせて参照いただきたい。

2) 実験室概要



(a) チャンバー内測定機器配置



	平均表面温度 [℃]
テラス窓	16.3
障子	17.4
カーテン	19.1

Case	前室平均気温 [℃]
a-1	8.7
a-2	7.9
a-3	5.7
a-4	7.1
b-1	6.3
b-2	5.2
b-3	5.8
b-4	10.9
b-5	5.3
b-6	7.5

(b) 窓周辺詳細図

図 3.2.28 実験室内詳細図

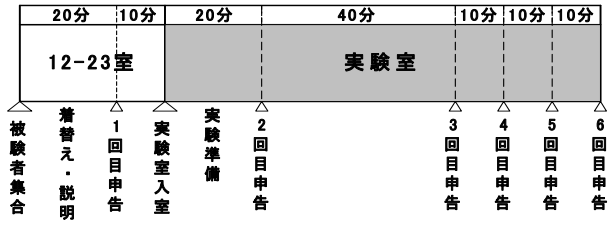


図 3.2.29 被験者実験スケジュール

実験室として、神奈川大学 12-23 室内に設置された室内環境実験用チャンバーを使用した。2002 年度はアネモ型、2003 年度は側壁のグリル吹出口により空調を行い、室気温を制御している。床暖房を模擬できるように、床中央付近に電気カーペットを配置して、空調のみの温風暖房と比較する。

チャンバー室内とテラス窓を隔てて隣接する前室に冷蔵ユニットを設置して、外気に近い環境を形成した。各測定器の測定位置と窓周辺詳細図を図 3.2.28 に示す。また被験者による実験スケジュールを図 3.2.29 に示す。次節より、年度ごとに分けて実験結果を記述する。

3) 2002 年度実験

(1) 実験概要

実験は、冬季に被験者実験と環境量把握実験を、窓周辺条件別・暖房方式別に行った。被験者姿勢は床座と椅座の 2 種類とし、実験パターンとチャンバー内環境の設定を表 3.2.15 に示す。

被験者皮膚表面温度や被験者を取り巻く環境量の測定は CC 熱電対と多点風速計を使用し、1分間隔で測定した。被験者皮膚表面温度の測定は米木ら[1)]と同様とした。

各 Case の平均環境量は表 3.2.16 に示す。

窓周辺気温や風速の測定は CC 熱電対と多点風速計を使用した。窓表面付近風速の測定は超音波風速計を、表面温度はサーモカメラを用いて測定を行った。測定は1分間隔で行った。窓周辺環境量の測定点 A・B・C の位置と平均表面温度は測定機器配置図と併せて図 3.2.28 に示す。

表 3.2.15 2002年度実験パターン

	姿勢	Case	実験日	熱源	窓条件	室内設定	備考
被験者実験	床座	a-1	12/6	空調 電気カーペット	テラス窓のみ	20℃・50%	【使用機器】 ・電気カーペット 本体寸法 1850*2480 表布 ポリエステル100% ・空調機 送風機 風量750CMH 冷水コイル 4KW(7~12℃) 電気ヒーター 2.5KW 【被験者着席時使用物】 床座では座布団を使用 椅座ではパイプ丸椅子を使用 Case b-4~b-6はサンダル着用 【障子】 種類は水腰荒組無地 縦桟は@200横桟は@280に配置 【カーテン】 サイズは1000*1780を2枚使用 丈は床より1cm上げた 【グローブ温度計高さ】 床座 床上300mm 椅座 床上600mm
		a-2	12/7	空調 電気カーペット	テラス窓 +障子		
		a-3	12/9	空調	テラス窓 +障子	22℃・50%	
		a-4	12/10	空調	テラス窓 +カーテン		
	椅座	b-1	12/17	空調 電気カーペット	テラス窓のみ	20℃・50%	
		b-2	12/19	空調 電気カーペット	テラス窓 +障子		
		b-3	12/18	空調 電気カーペット	テラス窓 +カーテン		
		b-4	12/12	空調	テラス窓のみ	22℃・50%	
		b-5	12/14	空調	テラス窓 +障子		
		b-6	12/13	空調	テラス窓 +カーテン		

表 3.2.16 各Case平均環境量と被験者概要

Case	気温 [℃]	相対湿度 [%]	気流 [m/s]	グローブ温度 [℃]	被験者 [人]	身長 [m]	体重 [kg]
a-1	20.8	49.4	0.15	21.7	10	1.71	61.9
a-2	21.0	49.2	0.12	21.7	10	1.73	60.8
a-3	22.4	49.3	0.11	22.6	10	1.72	61.8
a-4	22.5	49.3	<0.1	22.7	9	1.70	57.0
b-1	19.5	50.6	0.12	20.7	10	1.72	61.6
b-2	19.4	50.7	0.13	20.5	10	1.74	62.5
b-3	19.4	50.7	0.13	20.6	10	1.70	60.1
b-4	22.2	51.3	<0.1	22.3	4	1.71	63.5
b-5	22.1	50.2	<0.1	22.3	8	1.71	59.5
b-6	22.1	51.6	<0.1	22.3	9	1.76	66.6

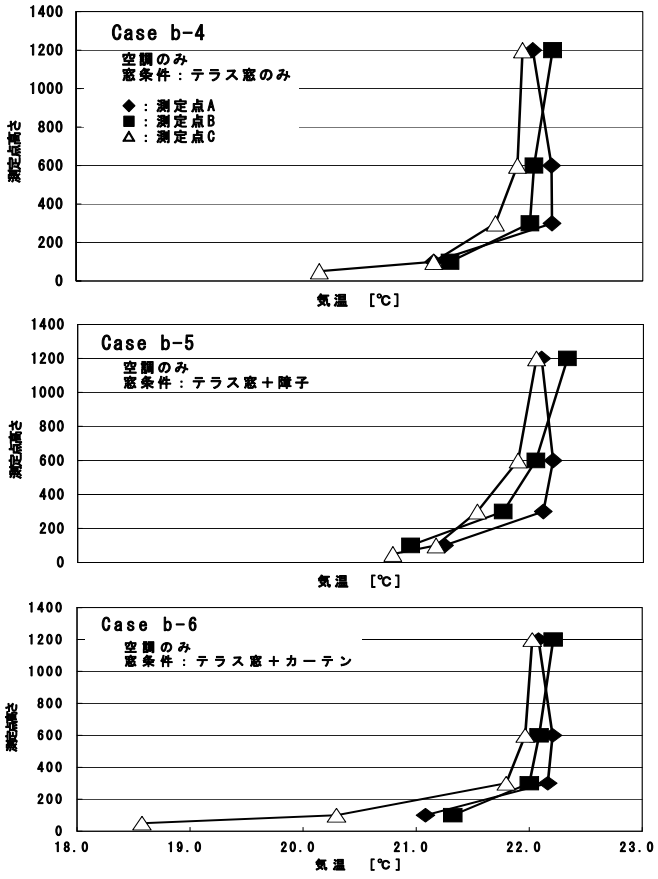


図 3.2.30 被験者付近気温

(2) 被験者実験結果

a) 被験者概要

本研究の被験者は、合計 90 人で行った。実験日程の都合や被験者の欠席によりCase毎の人数は異なった。被験者概要の詳細については平均環境量と併せて表 3.2.16 に示す。被験者の体型は平均等をみて、おおよそ大学生の平均値と思われる。Case a-3は積雪のための皮膚表面温度低下を考慮する必要がある。

b) 被験者付近環境量の測定結果

被験者付近環境量を図 3.2.30に示す。Case a-1・a-2 での床面付近の気温はチャンバー内気温と比べて0.5℃低い。Case a-3・a-4 では 1.5～2℃低い。Case b-1～b-3 では 0.5℃～2℃高い。Case b-4～b-6 では 0.5℃～2℃低い。窓条件ではテラス窓のみとカーテンに比べて障子の上下気温分布は緩やかである。

c) 窓周辺環境量の測定結果

Case b-4～b-6 までの窓周辺測定気温を図 3.2.31 に示す。Case b-4～b-6では、測定点 C の床上 100mm 以下で大きな差が表れた。Case b-4 はチャンバー内気温に比べて 2℃、b-5 では 1.2℃、b-6 では 3.5℃低い。測定点 A では 3Case の差は殆どない。テラス窓に障子を設置する時とカーテンを設置する時での気温差は窓近傍で表れた。

d 温熱感覚申告結果

温熱感覚申告結果は実験終了前3回分を使用した。申告結果と PMV・SET*の関係を図 3.2.32 に示す。PMV と SET*は表 3.2.16 の平均環境量より算出した。全ての Case で SET*は快適範囲内となったが Case b-1・b-2・b-3 は他と比べて低い。PMV は電気カーペットを使用した時に低い。これは既往の実験結果と一致する。全身の平均申告結果から b-1～b-3 以外はチャンバー内の環境は中立付近である。足元での平均申告値は、個人差があったため、標準偏差が大きくなっている。床座時での平均申告値は障子とカーテンでの差は顕著でない。

椅座時の平均申告値は PMV が 0 に近い Case b-4～b-6 で比較する。足元平均申告値を比較すると障子とカーテンの差は顕著でない。テラス窓のみについては、前室のクーリングユニットの容量不足から前室の気温が上昇してしまったため、障子・カーテンと異なる条件となった。厳密な比較はできないが、コールド・ドラフトによる影響は小さいと見られる。窓面付近でコールド・ドラフトは計測からも確認できるが、窓面から 1,500mm 以上離れると温冷感中立の被験者に対しては大きな影響を持たないことがわかる。

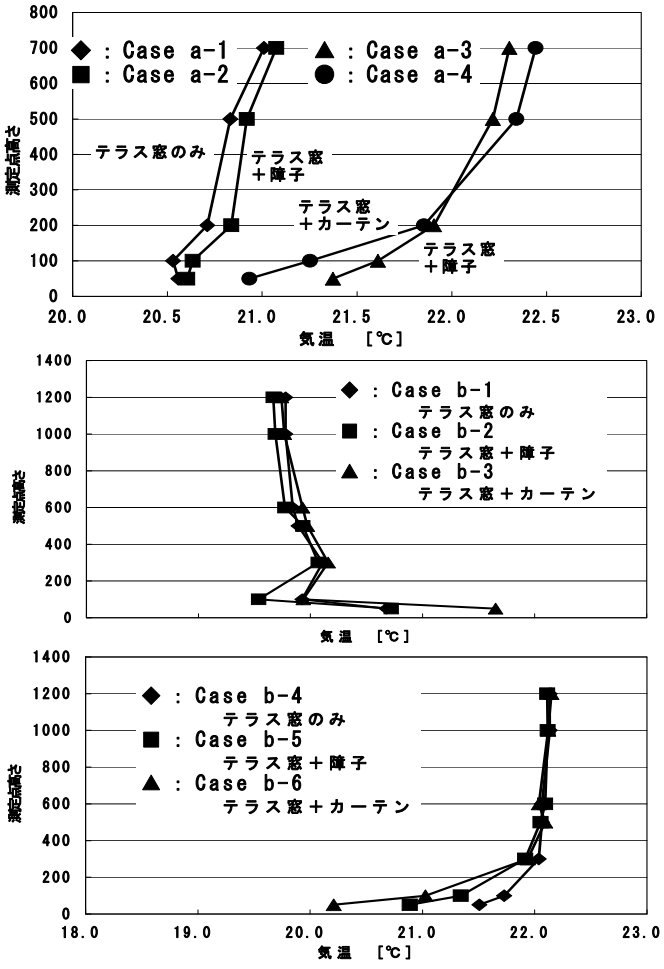


図 3.2.31 椅座時窓周辺気温

4) 2003 年度実験

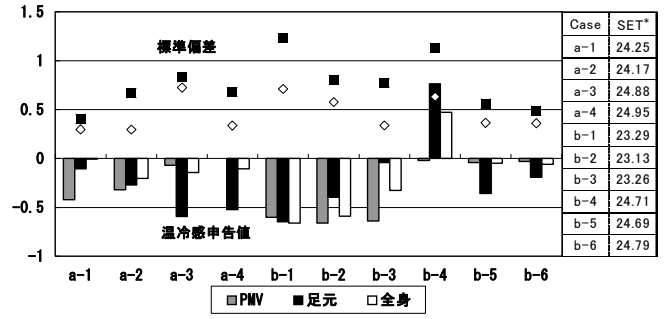
(1) 実験概要

表 3.2.17 に示す暖房方式、窓条件の異なる各 Case で実験を行った。実験方法は基本的に 2002 年度と同様である。

(2) 実験結果

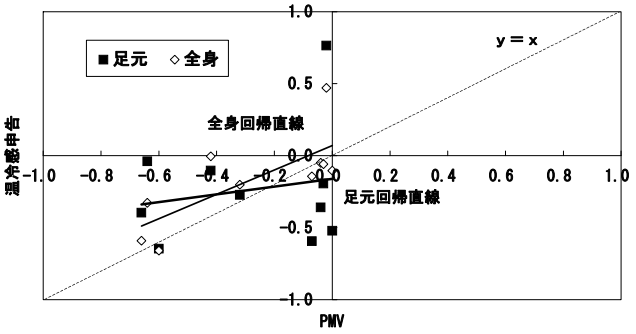
a)被験者・窓周辺環境量

実験室内気温を室内中央 D の床上 600、1200m m の平均値として表 3.2.18 に示す。



Case	SET*
a-1	24.25
a-2	24.17
a-3	24.88
a-4	24.95
b-1	23.29
b-2	23.13
b-3	23.26
b-4	24.71
b-5	24.69
b-6	24.79

(a) 申告結果・標準偏差とPMV・SET*



(b) 申告値とPMVの関係

図 3.2.32 申告結果と温冷感指標

被験者周辺気温は 4 回目申告から 5 回目申告の間の 10 分間を平均値として図 3.2.33 に示す。室内気温と床面付近気温差は、空調のみの Case1～Case3 で 1.4～2.0℃、床暖房を併用した Case4～Case6 で 1～1.5℃であった。

窓周辺測定点での上下温度分布平均値を図 3.2.35 に示す。すべての Case で床面付近以外顕著な分布はみられない。被験者 B の足元は窓周辺 C 付近である。窓周辺 C と被験者付近 D の床面付近を比較するとすべての Case で 1～2℃の差があるため、被験者の足元はコールド・ドラフトの影響により気温が低いことがわかる。

床暖房の床面付近気温の特性として、床上 100～200mm の間で気温が上昇する。窓条件を変え窓面温度上昇させることにより全体的な室内気温は高くなるが空調のみの場合の足元気温は高くなっていない。Case3、6 の窓周辺 A の測定点は窓前面とカーテンの間にあるために気温が低く、窓周辺 B,C の床面付近気温はカーテンと床の間に 10mm～20mm の隙間があり、そこから冷気流が流出するため低くなる。

表 3.2.17 2003年度実験条件

Case	暖房方式	窓条件	吹出し温度 [℃]	前室温度 [℃]
Case1	空調	シングルガラス	20.1	−0.5
Case2	空調	ペアガラス	20.0	0.7
Case3	空調	ペアガラス+カーテン	20.1	−1.6
Case4	空調+床暖房	シングルガラス	20.1	−0.7
Case5	空調+床暖房	ペアガラス	20.0	0.3
Case6	空調+床暖房	ペアガラス+カーテン	20.0	−0.9

表 3.2.18 各Case平均環境量

Case	気温 [℃]	相対湿度 [%]	グローブ温度 [℃]	風速 [m/s]	床表面温度 [℃]
Case1	20.8	44.8	20.9	0.17	20.2
Case2	21.7	43.6	21.4	0.20	22.1
Case3	22.1	42.0	22.1	0.19	20.9
Case4	22.5	43.3	22.9	0.18	25.9
Case5	22.8	41.9	23.3	0.20	26.3
Case6	23.3	44.7	23.8	0.11	26.5

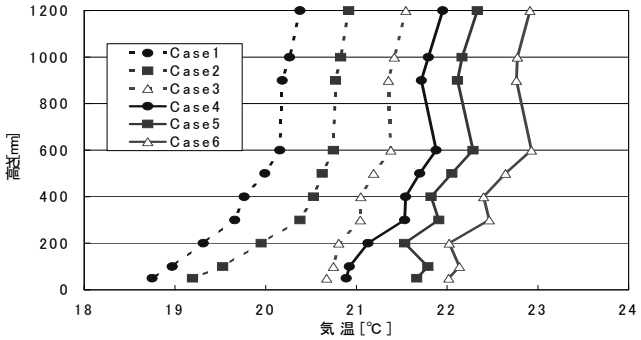


図 3.2.33 被験者周辺気温

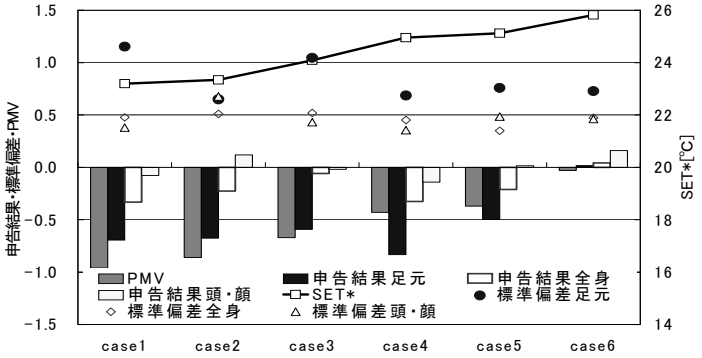


図 3.2.34 PMV・SET*と申告結果

a 温冷感申告・皮膚表面温度

温冷感申告結果は安定した 4～6 回目の平均値を使用した。申告結果とその標準偏差および PMV・SET＊の関係を図 3.2.34 に示す。PM V と SET＊は表 3.2.18 の値より算出した。PMV は床暖房を併用した Case4～6 では快適範囲であった。

全身の申告結果と足元の申告結果を比較すると、Case1～3 の空調のみの場合、全身の申告結果は窓条件がシングルガラス、ペアガラス、ペアガラス+カーテンの順で中立に近づくが足元の申告結果の差は顕著でない。Case4～6 の床暖房の場合も、全身の申告結果は窓条件がシングルガラス、ペアガラスと中立に近づき、ペアガラス+カーテンでは中立申告となる。足元の申告結果も同じ窓条件で中立に近づきペアガラス+カーテンでは中立申告となった。標準偏差をみると足元の申告結果は、全身と比較して大きくなったが、床暖房を併用することによって小さくなった。

皮膚表面温度を図 3.2.36 に示す。Case1～3 をみるとほぼ同等となった。Case4～6 をみると、足の皮膚表面温度が高くなった。また、足元付近に与えるコールド・ドラフトの影響は床暖房を併用することによって改善することができた。

5) まとめ

温熱感覚が中立付近の環境において、室内気候を制御できる実験室において、コールド･ドラフトに着目した計測実験、被験者実験を行った。

2002 年度の実験結果では、

･椅座･空調暖房での足元温冷感はテラス窓に障子･カーテンを設置した場合、窓から 1,500mm 以上離れた場所での差は顕著でない。
･今回の実験条件では、足元と被験者中央付近の気温差は 1～2℃程度であり、この範囲では全身の温冷感に対するコールド･ドラフトの影響は顕著ではないことがわかった。

2003 年度の実験結果では、

･被験者実験の全身と足元の申告結果よりペアガラス、カーテンによるコールド･ドラフトの低減効果、暖房方式との関係を把握した。
･床暖房により足元の温熱環境が改善され、コールド･ドラフトによる影響が緩和されることがわかった。

本実験室内では温風暖房ではアネモ型もしくはグリル型の吹出口を用いており、通常の住宅とは異なる可能性がある。家庭用エアコン等による暖房方式では別途検討が必要と思われる。

（岩本靜男）

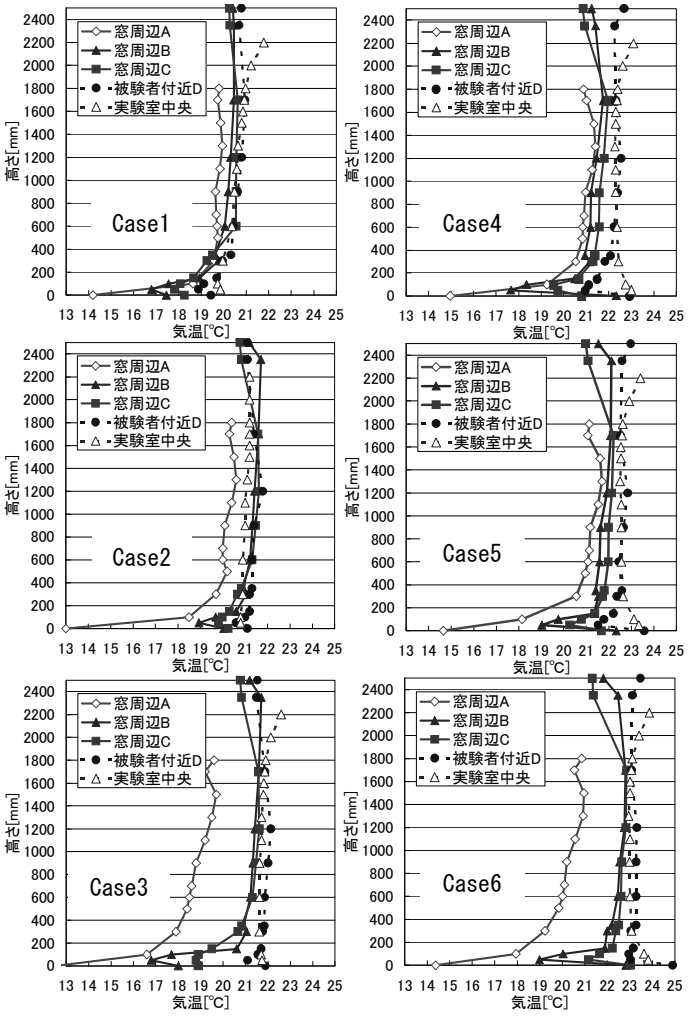


図 3.2.35 窓周辺気温の鉛直分布

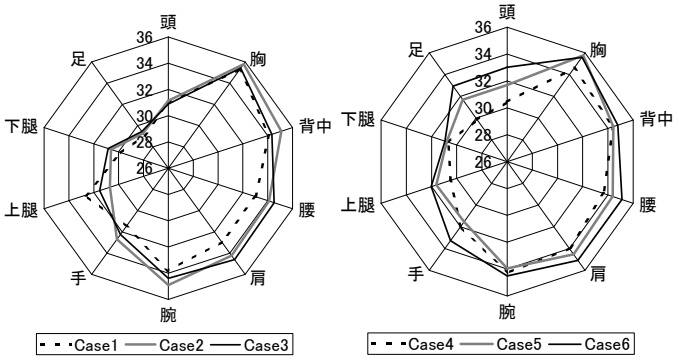


図 3.2.36 平均皮膚表面温度

【謝辞】被験者として神奈川大学学生に多く参加して頂いた。実験者として、当時神奈川大学工学部建築学科卒研生の鴨井周･鈴木健吾･細尾雅史･井浦学に多大な協力を頂いた。記して敬意を表す。

参考文献

1:米木ら、空気調和･衛生工学会学術講演論文集、2001.
2:自立循環型住宅開発委員会 平成 14 年度報告書、(財)IBEC、2002.
3:快適な温熱環境のメカニズム、空気調和･衛生工学会

3.3 高効率給湯システム

3.3.1 給湯消費モードの設定

1) 給湯モードの必要性

住宅全体の消費エネルギーに占める給湯の割合は非常に大きく、自立循環住宅の実現において給湯用途の省エネは極めて重要である。給湯の省エネ技術としては、従来から太陽熱温水器などが開発・普及してきたが、近年になって潜熱回収型ガス瞬間式給湯機(以下、潜熱回収型)や CO_2 ヒートポンプ給湯機(以下、CO_2HP)など新しい高効率機器が相次いで開発され、その選択肢が広がりつつある。

従来の給湯機の効率測定は、日本工業規格(JIS)や日本冷凍空調工業会標準規格(JRA)などにより規定されているが、それらは仮想的な条件での定常的な効率(定格効率)の把握にとどまっている。

一方で、住宅での湯使用は、日々の住民生活によりランダムな様相を呈しながら発生しており、定格効率のみの把握では、実使用時の効率を誤って判断する危険がある。

ここでは、給湯機器の実使用下での性能評価に不可欠となる湯消費について、実測データを元に試験モードを決定した。

試験モード策定においては、昨年度に B1B2 実証実験における成果の一つとして、4 人世帯を想定した「修正M1モード」をすでに提案済である。修正M1モードにおいては、特に貯湯槽を有する給湯機の性能評価を可能とするため、湯消費の平均と日変動などのマクロ特性について検討を行い、連続 1ヶ月を想定したモードになっている。

しかしながら、わが国における世帯構成は少子高齢化の影響から今後大きく変化することが予想されており、より家族人数の少ない 2・3 人世帯への対応が不可欠となっている(表 3.3.1、図 3.3.1)。そこで、本年度は修正M1モードを拡張し、

表 3.3.1 世帯人数の将来予想

		単身	夫婦のみ	夫婦＋子
2000年	若年	5302	1152	2314
	中年	4577	3829	11149
	高齢	3032	3854	1456
2025年予測	若年	3784	639	1062
	中年	6573	3560	8865
	高齢	6801	6092	2070

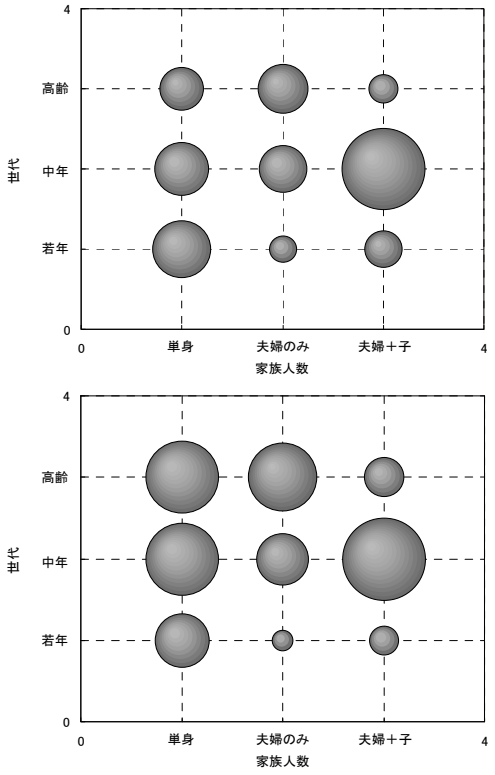


図 3.3.1 世帯構成変化(上段00年、下段25年)

2・3 人世帯に対応したバージョンを用意することで、より幅広い湯消費の評価を目指すこととした。

2) 4 人家族における湯消費モードの設定

はじめに、昨年度に作成した、4 人家族を対象とする修正 M1 モードの作成過程について記述する。

(1) スケジュール設定の方針

住宅における湯消費は、図 3.3.2 に示すようにミクロ・マクロの両面を有する複雑な特性を有する。本検討では、給湯スケジュール作成の方針を次のように定めた。

・対象家族構成は、生活スケジュール設定時の 4 人家族とする。
・住戸ごとで湯使用の差異を考慮するため、複数のモードを設定する。
・貯湯槽を有する給湯機の効率評価を行うため、従来の評価用給湯モードとは異なり、1モードの中に複数日分の異なった消費パターンを設定する。
・B1B2 実証実験における空調・家電と共通の設定生活スケジュール(15 分間隔)の平日・休日外出・休日不在に対して、それぞれ「大」「小」の2タイプを設定し、計 6 日をセットとして1つのモードとする。消費の時刻(5 分間隔)は先に設定した生活行動にあわせる。
・6 日間の消費量は、1ヶ月 30 日に展開した際に、設定した平均・変動になるように設定する。

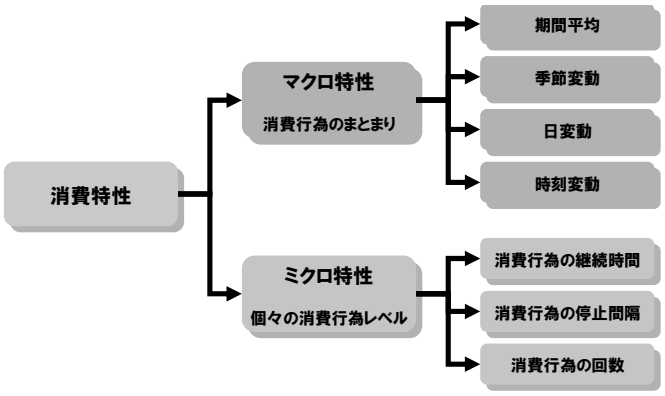


図 3.3.2 給湯消費の特性

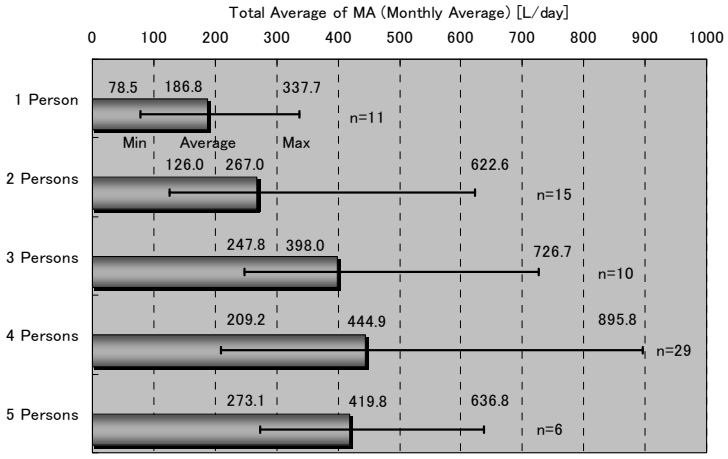


図 3.3.3 湯消費量の世帯人数別平均

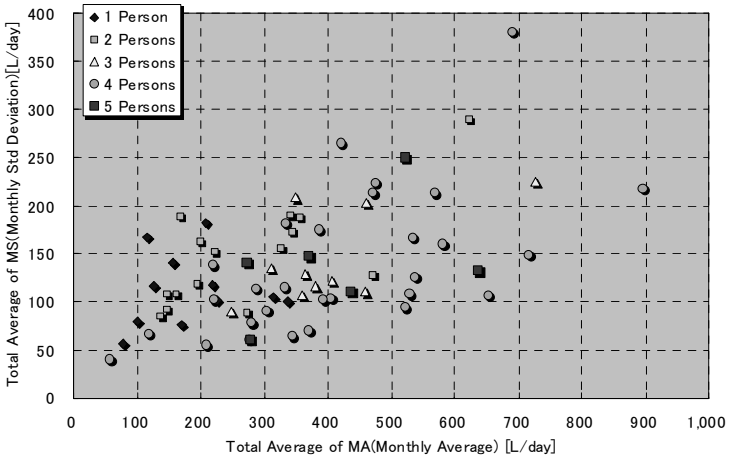


図 3.3.4 湯消費の平均と変動

(2) S/M1/M2/Lモードの設定

本モードの策定にあたっては、集合住宅 O 等における給湯給水消費の実測結果 [1),2)]を基に検討を行った。全住戸数は71住戸で、1人から5人世帯までを含んでいる。世帯人数別の給湯消費量(40℃換算)の平均を

図 3.3.3 に、平均と標準偏差(日変動を表す)との関係を図 3.3.4 に示す。家族構成が近い住戸でも、湯使用の平均量・変動は住戸差が大きい。この結果に基づき 4 人世帯について、平均・標準偏差の代表的な組み合わせとして、S/M1/M2/ L の 4 モードを図 3.3.5、表 3.3.2 のように決定した。

なお、M1 モードについては、本検討において基本となるものであるが、分析対象となった住戸では洗濯への湯使用が行われているものも多く、湯使用量が従来の試験モードとくらべてかなり多い。そのため、本実験においては M1 モードから洗濯分を除き、平均 450[L/(日・戸)]、標準偏差 100 [L/(日・戸)]としたものを修正 M1 モードとした。以下の検討は、修正 M1 モードについてのみ行っている。

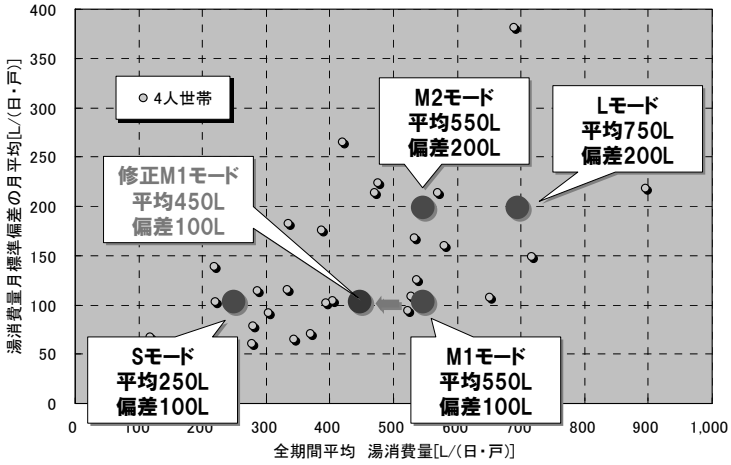


図 3.3.5 4人家族の消費設定

表 3.3.2 S/M1/M2/Lモード

モード	平均	標準偏差
S	250	100
M1(修正前)	(550)	(120)
M1(修正後)	450	100
M2	550	250
L	700	250

※単位:[L/(日・戸)]

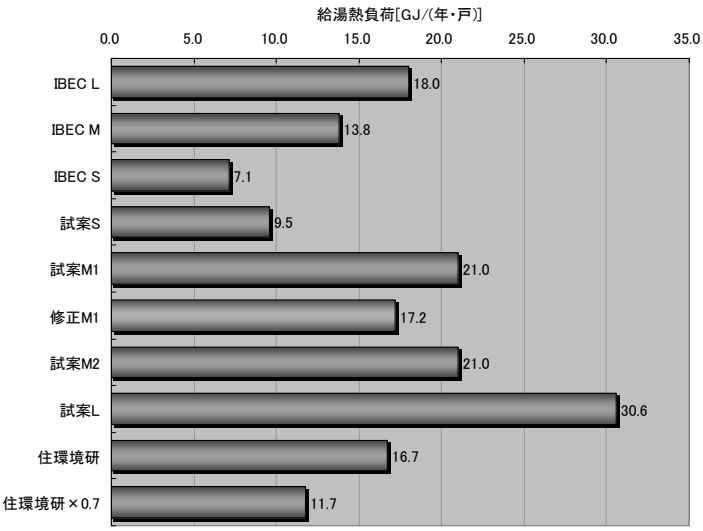


図 3.3.6 既存給湯モードとの比較

(3) 修正M1モードの詳細

修正 M1 モードについて、設定された平均・分散となるように、次の手順でモードの詳細を決定した。

- 平日・休日在宅・休日不在のそれぞれ大・小 2 日、計 6 日の代表日について、消費量を設定する。(表 3.3.3)
- 消費の平均・変動は1ヶ月に展開した際、平均・標準偏差が設定値に近づくように調整(表 3.3.4)。
- 用途の内訳を設定。前述の実測結果の水栓別計測結果を参考にした。
- 時刻分布について、B1B2 実証実験で設定した生活スケジュールに合わせて調整(表 3.3.5)。

なお、本実験では給湯の設定をデータ 5 分間隔で行っているため、実住宅における細かい時間間隔での出湯・停止は再現できていない。

一般的な傾向として、貯湯槽を有する給湯機の効率はマクロ特性(総消費量の平均や日変動)に強く影響される一方で、瞬間式の給湯機においてはミクロ特性(行為の継続時間や停止間隔)の影響が大きいことが知られており、詳細な時間間隔での再現性については今後の検討課題である。

(4) 既往給湯モードとの比較

既存の IBEC L/M/S モードと先に設定した S/M1/M2/L モード、本実験で用いている修正 M1 の比較を図 3.3.6 に示す。ただし、給水温度は年平均 15℃固定である。

S/M1/M2/L モード策定に用いた実測データが比較的グレードの高い住宅におけるものであったこともあり、M1/M2/L モードは全体的に消費量が大きい結果となっている。しかし、洗濯に湯を用いないこととした修正 M1 モードについては、IBEC L モードなどとほぼ近い値になっている。

なお、ここでの比較では S/M1/M2/L/修正 M1 について給湯温度 40℃で用いたが、実験条件としては給湯機の出湯温度変動を見込んで 42℃としても差し支えない。エネルギー調査例として従来一般的な住環境計画研究所の値と比較すると、燃料熱量ベースであることから効率 70%を過程すると、修正 M1 よりかなり少ない値となる。これは住環境研のデータが家族人数別に整理されていないことから、特に問題ないと思われる。

表 3.3.3 修正M1モードの代表6日における湯消費

		台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯		合計
平日(小)	11日	100	150	80	50			380
平日(大)	11日	120	150	140	60			470
休日在宅(小)	2日	160	150	140	100			550
休日在宅(大)	4日	200	150	200	100			650
休日不在(小)	1日	10		200	30			240
休日不在(大)	1日	10	150	200	20			380

表 3.3.4 1ヶ月に展開した修正Ｍ１モード（この時の平均・変動が所定の値になるように修正）

		台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯	浴室合計	合計
1日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
2日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
3日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
4日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
5日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
6日	休日在宅(小)	160	150	140	100		290	550
7日	休日在宅(大)	200	150	200	100		350	650
8日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
9日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
10日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
11日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
12日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
13日	休日不在(小)	10	0	200	30		200	240
14日	休日在宅(大)	160	150	140	100		290	550
15日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
16日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
17日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
18日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
19日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
20日	休日在宅(小)	200	150	200	100		350	650
21日	休日在宅(大)	200	150	200	100		350	650
22日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
23日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
24日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
25日	平日(大)	120	150	140	60		290	470
26日	平日(小)	100	150	80	50		230	380
27日	休日不在(大)	10	150	200	20		350	380
28日	休日在宅(大)	200	150	200	100		350	650
29日	平日大	120	150	140	60		290	470
30日	平日小	100	150	80	50		230	380
1ヶ月モード	平均	119	145	130	62		275	456
	標準偏差	44	27	45	21		45	99
M1実測値	平均	121			62	39	322	544
	標準偏差	41			20	52	127	165

表 3.3.5 代表6日における湯消費の時刻分布

平日(小)			平日(大)			休日外出(大)			休日在宅(小)			休日在宅(大)			休日外出(小)		
時刻	量[L]	水栓	時刻	量[L]	水栓	時刻	量[L]	水栓	時刻	量[L]	水栓	時刻	量[L]	水栓	時刻	量[L]	水栓
06:30	3	洗面	06:30	3	洗面	06:30	2	洗面	07:15	10	洗面	07:15	10	洗面	06:30	3	洗面
06:35	3	洗面	06:35	3	洗面	07:45	2	洗面	07:55	10	洗面	07:55	10	洗面	07:45	3	洗面
07:15	5	台所	07:15	5	台所	08:00	2	洗面	08:10	10	洗面	08:10	10	洗面	08:00	3	洗面
07:20	10	台所	07:20	10	台所	08:15	2	洗面	08:30	10	台所	08:30	10	台所	08:15	3	洗面
07:25	3	洗面	07:25	3	洗面	08:45	10	台所	08:35	10	台所	08:35	10	台所	08:45	10	台所
07:30	3	洗面	07:30	3	洗面	20:00	6	洗面	08:40	10	洗面	08:40	10	洗面	20:00	9	洗面
08:30	3	洗面	08:30	3	洗面	20:30	150	浴槽	11:55	12	洗面	11:55	12	洗面	21:00	25	シャワー
09:30	2	洗面	09:30	3	洗面	21:00	25	シャワー	12:45	15	台所	12:45	20	台所	21:05	25	シャワー
10:15	2	洗面	10:15	3	洗面	21:05	25	シャワー	12:50	15	台所	12:50	20	台所	21:15	25	シャワー
12:45	5	台所	12:45	5	台所	21:15	25	シャワー	12:55	20	台所	12:55	20	台所	21:20	25	シャワー
12:50	10	台所	12:50	10	台所	21:20	25	シャワー	16:00	9	洗面	16:00	9	洗面	21:45	3	洗面
13:45	2	洗面	13:45	3	洗面	21:45	2	洗面	18:00	3	洗面	18:00	3	洗面	22:15	25	シャワー
16:00	2	洗面	16:00	3	洗面	22:15	25	シャワー	18:05	25	シャワー	18:05	25	シャワー	22:20	25	シャワー
17:15	2	洗面	17:15	3	洗面	22:20	25	シャワー	18:10	25	シャワー	18:10	25	シャワー	22:25	3	洗面
18:00	2	洗面	18:00	3	洗面	22:25	2	洗面	18:15	3	洗面	18:15	3	洗面	22:30	25	シャワー
18:15	2	洗面	18:15	3	洗面	22:30	25	シャワー	18:25	12	洗面	18:25	12	洗面	22:35	25	シャワー
19:15	2	洗面	19:15	3	洗面	22:35	25	シャワー	19:30	15	台所	19:30	20	台所	22:45	3	洗面
19:20	2	洗面	19:20	3	洗面	22:45	2	洗面	19:35	15	台所	19:35	20	台所			
19:25	2	洗面	19:25	3	洗面				19:40	15	台所	19:40	20	台所			
20:15	10	台所	20:15	15	台所				19:45	15	台所	19:45	20	台所			
20:20	10	台所	20:20	15	台所				19:50	15	台所	19:50	20	台所			
20:25	10	台所	20:25	15	台所				19:55	15	台所	19:55	20	台所			
20:30	10	台所	20:30	15	台所				20:45	150	浴槽	20:45	150	浴槽			
20:35	15	台所	20:35	15	台所				21:15	25	シャワー	21:15	25	シャワー			
20:40	15	台所	20:40	15	台所				21:20	25	シャワー	21:20	25	シャワー			
20:45	150	浴槽	20:45	150	浴槽				21:45	5	洗面	21:45	5	洗面			
21:10	20	シャワー	21:10	20	シャワー				22:15	10	シャワー	22:15	25	シャワー			
21:15	3	洗面	21:15	3	洗面				22:20	10	シャワー	22:20	25	シャワー			
21:25	10	シャワー	21:25	25	シャワー				22:25	5	洗面	22:25	5	洗面			
21:30	10	シャワー	21:30	25	シャワー				22:30	10	シャワー	22:30	25	シャワー			
21:45	3	洗面	21:45	3	洗面				22:35	10	シャワー	22:35	25	シャワー			
22:00	10	シャワー	22:00	10	シャワー				22:45	11	洗面	22:45	11	洗面			
22:05	10	シャワー	22:05	10	シャワー												
22:15	3	洗面	22:15	3	洗面												
22:30	10	シャワー	22:30	25	シャワー												
22:35	10	シャワー	22:35	25	シャワー												
23:15	3	洗面	23:15	3	洗面												
23:20	3	洗面	23:20	3	洗面												
合計	380	L	合計	470	L	合計	380	L	合計	550	L	合計	650	L	合計	240	L
行為数	38	回	行為数	38	回	行為数	18	回	行為数	32	回	行為数	32	回	行為数	17	回

※消費量は、42℃給湯量換算。

3) 2・3 人世帯の給湯消費モード設定

2・3 人世帯については、修正 M1 モードで設定された4人世帯から、構成員を1人もしくは2人減らし、その分の消費を差し引いて作成する(図 3.3.7)。

なお、1 人世帯については、入浴形態などのばらつきが大きく、ライフスタイルのさらなる検討が必要として、今回は標準的なモードとしては設定していない。

前述の実測データを元に、2/3 人世帯の平均・標準偏差を表 3.3.6 のように設定し、できるだけ近づくように代表 6 日の湯消費を設定した。

設定した 2/3 人世帯の平均湯消費量を図 3.3.8 に示す。

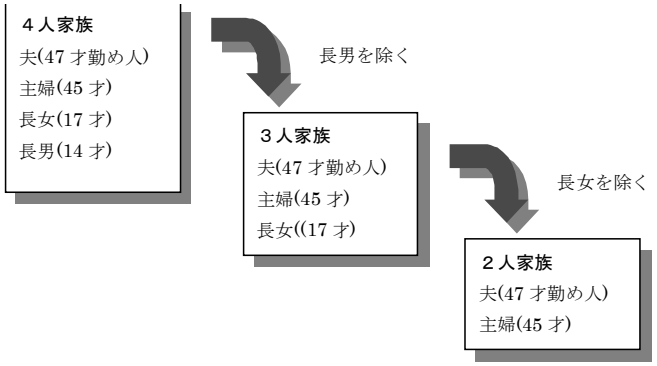


図 3.3.7 2/3人世帯の湯消費設定

2 人世帯における湯消費の設定詳細を、表 3.3.7、表 3.3.9 に、3 人世帯における詳細を表 3.3.8、表 3.3.10 に示す。また、2/3/4 人の各世帯人数における代表 6 日の湯消費内訳を図 3.3.9 に、1 ヶ月の消費変動を図 3.3.10 に、時刻変動を図 3.3.11 に示す。

表 3.3.6 2/3人世帯における湯消費の平均・標準偏差の設定

	平均[L/日]		標準偏差[L/日]		備考
	目標値	実設定値	目標値	実設定値	
2人世帯	270	273	100	96	新規
3人世帯	400	399	100	102	新規
4人世帯	450	456	100	99	修正M1モード

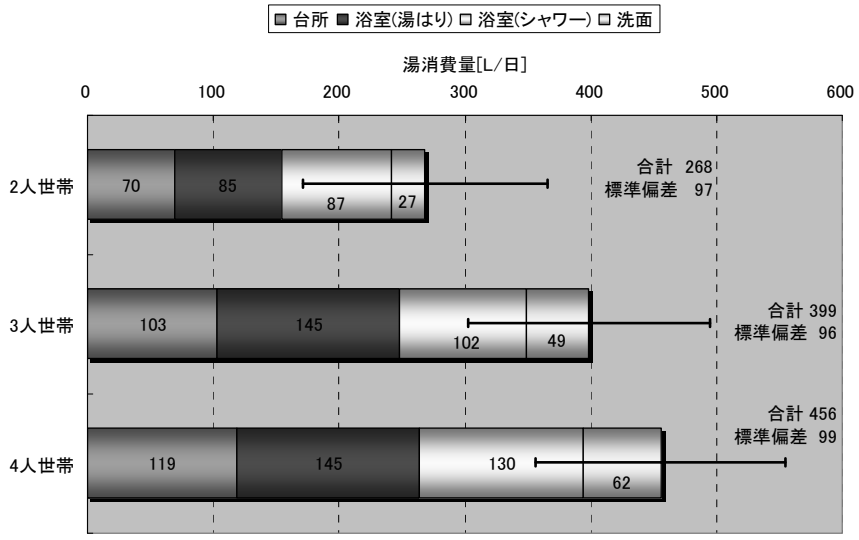


図 3.3.8 2/3/4人世帯の平均湯消費量内訳

表 3.3.7 2人世帯の代表6日における日合計消費量

		台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯		合計
平日(小)	11日	55	0	100	19	0		174
平日(大)	11日	75	150	70	21	0		316
休日在宅(小)	2日	100	150	70	59	0		379
休日在宅(大)	4日	110	150	100	54	0		414
休日不在(小)	1日	10	0	100	12	0		122
休日不在(大)	1日	10	0	100	18	0		128

表 3.3.8 3人世帯の代表6日における日合計消費量

		台所	浴室(湯はり)	浴室(シャワー)	洗面	洗濯		合計
平日(小)	11日	80	150	60	40	0		330
平日(大)	11日	100	150	120	48	0		418
休日在宅(小)	2日	140	150	120	78	0		488
休日在宅(大)	4日	200	150	150	78	0		578
休日不在(小)	1日	10	0	150	27	0		187
休日不在(大)	1日	10	150	75	18	0		253

表 3.3.9 2人世帯の代表6日における湯消費の時刻分布

2人家族 給湯消費モード

平日(小)			平日(大)			休日在宅(小)			休日在宅(大)			休日外出(小)			休日外出(大)		
時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓
06:30	3	洗面	06:30	3	洗面	07:15	10	洗面	07:15	10	洗面	06:30	2	洗面	06:30	3	洗面
06:35	3	洗面	06:35	3	洗面	07:55	10	洗面	07:55	10	洗面	07:45	2	洗面	07:45	3	洗面
18:15	2	洗面	18:15	3	洗面	08:30	10	台所	08:30	10	台所	08:45	10	台所	08:45	10	台所
19:25	2	洗面	19:25	3	洗面	11:55	6	洗面	11:55	6	洗面	20:00	4	洗面	20:00	6	洗面
20:15	10	台所	20:15	15	台所	12:45	15	台所	12:45	20	台所	22:15	25	シャワー	22:15	25	シャワー
20:20	10	台所	20:20	15	台所	12:55	20	台所	12:50	20	台所	22:20	25	シャワー	22:20	25	シャワー
20:25	10	台所	20:25	15	台所	16:00	6	洗面	16:00	6	洗面	22:25	2	洗面	22:25	3	洗面
20:30	10	台所	20:30	15	台所	18:25	6	洗面	18:25	6	洗面	22:30	25	シャワー	22:30	25	シャワー
20:35	15	台所	20:35	15	台所	19:30	10	台所	19:30	20	台所	22:35	25	シャワー	22:35	25	シャワー
22:00	25	シャワー	20:45	150	浴槽	19:35	15	台所	19:35	20	台所	22:45	2	洗面	22:45	3	洗面
22:05	25	シャワー	22:00	10	シャワー	19:40	15	台所	19:40	20	台所						
22:15	3	洗面	22:05	10	シャワー	19:45	15	台所	20:45	150	浴槽						
22:30	25	シャワー	22:15	3	洗面	20:45	150	浴槽	22:15	25	シャワー						
22:35	25	シャワー	22:30	25	シャワー	21:45	5	洗面	22:20	25	シャワー						
23:15	3	洗面	22:35	25	シャワー	22:15	10	シャワー	22:25	5	洗面						
23:20	3	洗面	23:15	3	洗面	22:20	10	シャワー	22:30	25	シャワー						
			23:20	3	洗面	22:25	5	洗面	22:35	25	シャワー						
						22:30	25	シャワー	22:45	11	洗面						
						22:35	25	シャワー									
						22:45	11	洗面									
合計	174	L	合計	316	L	合計	379	L	合計	414	L	合計	122	L	合計	128	L
行為数	16	回	行為数	17	回	行為数	20	回	行為数	18	回	行為数	10	回	行為数	10	回

表 3.3.10 3人世帯の代表6日における湯消費の時刻分布

3人家族 給湯消費モード

平日(小)			平日(大)			休日在宅(小)			休日在宅(大)			休日外出(小)			休日外出(大)		
時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓	時刻	給湯量	水栓
06:30	3	洗面	06:30	3	洗面	07:15	10	洗面	07:15	10	洗面	06:30	3	洗面	06:30	2	洗面
06:35	3	洗面	06:35	3	洗面	07:55	10	洗面	07:55	10	洗面	07:45	3	洗面	07:45	2	洗面
07:20	10	台所	07:20	10	台所	08:30	10	台所	08:30	10	台所	08:00	3	洗面	08:00	2	洗面
07:25	3	洗面	07:25	3	洗面	08:35	10	台所	08:35	10	台所	08:45	10	台所	08:45	10	台所
08:30	3	洗面	08:30	3	洗面	08:40	10	洗面	08:40	10	洗面	20:00	9	洗面	20:00	6	洗面
09:30	2	洗面	09:30	3	洗面	11:55	9	洗面	11:55	9	洗面	21:15	25	シャワー	20:30	150	浴槽
10:15	2	洗面	10:15	3	洗面	12:45	15	台所	12:45	20	台所	21:20	25	シャワー	21:15	25	シャワー
12:45	5	台所	12:45	5	台所	12:50	15	台所	12:50	20	台所	21:45	3	洗面	21:20	10	シャワー
12:50	10	台所	12:50	10	台所	12:55	20	台所	12:55	20	台所	22:15	25	シャワー	21:45	2	洗面
13:45	2	洗面	13:45	3	洗面	16:00	9	洗面	16:00	9	洗面	22:20	25	シャワー	22:15	10	シャワー
16:00	2	洗面	16:00	3	洗面	18:25	9	洗面	18:25	9	洗面	22:25	3	洗面	22:20	10	シャワー
18:00	2	洗面	18:00	3	洗面	19:30	10	台所	19:30	20	台所	22:30	25	シャワー	22:25	2	洗面
18:15	2	洗面	18:15	3	洗面	19:35	15	台所	19:35	20	台所	22:35	25	シャワー	22:30	10	シャワー
19:20	2	洗面	19:20	3	洗面	19:40	15	台所	19:40	20	台所	22:45	3	洗面	22:35	10	シャワー
19:25	2	洗面	19:25	3	洗面	19:45	15	台所	19:45	20	台所				22:45	2	洗面
20:15	10	台所	20:15	15	台所	19:50	15	台所	19:50	20	台所						
20:20	10	台所	20:20	15	台所	20:45	150	浴槽	19:55	20	台所						
20:25	10	台所	20:25	15	台所	21:15	25	シャワー	20:45	150	浴槽						
20:30	10	台所	20:30	15	台所	21:20	25	シャワー	21:15	25	シャワー						
20:35	15	台所	20:35	15	台所	21:45	5	洗面	21:20	25	シャワー						
20:45	150	浴槽	20:45	150	浴槽	22:15	10	シャワー	21:45	5	洗面						
21:25	10	シャワー	21:25	25	シャワー	22:20	10	シャワー	22:15	25	シャワー						
21:30	10	シャワー	21:30	25	シャワー	22:25	5	洗面	22:20	25	シャワー						
21:45	3	洗面	21:45	3	洗面	22:30	25	シャワー	22:25	5	洗面						
22:00	10	シャワー	22:00	10	シャワー	22:35	25	シャワー	22:30	25	シャワー						
22:05	10	シャワー	22:05	10	シャワー	22:45	11	洗面	22:35	25	シャワー						
22:15	3	洗面	22:15	3	洗面				22:45	11	洗面						
22:30	10	シャワー	22:30	25	シャワー												
22:35	10	シャワー	22:35	25	シャワー												
23:15	3	洗面	23:15	3	洗面												
23:20	3	洗面	23:20	3	洗面												
合計	330	L	合計	418	L	合計	488	L	合計	578	L	合計	187	L	合計	253	L
行為数	31	回	行為数	31	回	行為数	26	回	行為数	27	回	行為数	14	回	行為数	15	回

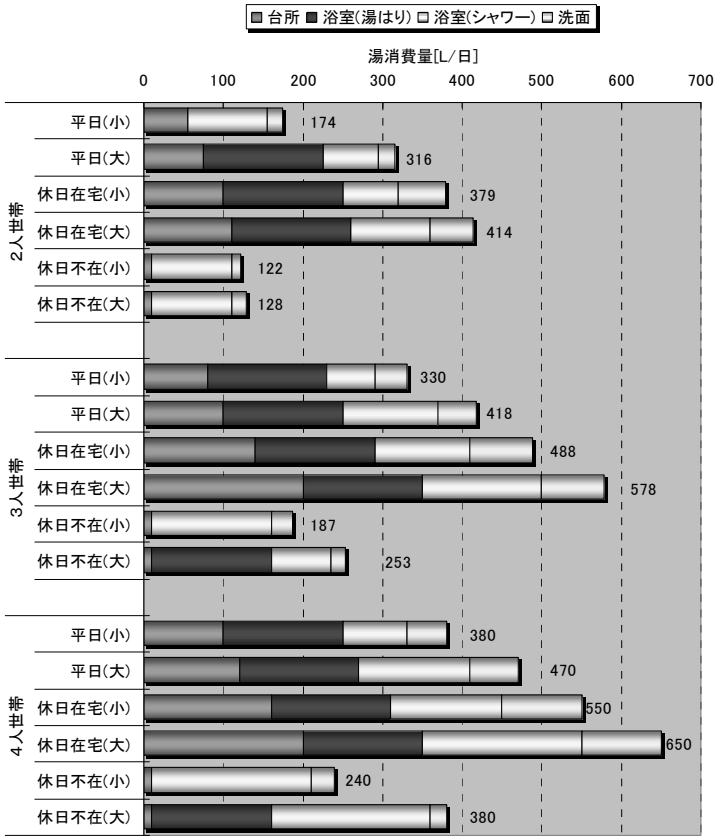


図 3.3.9 2/3/4人世帯の代表6日における日合計消費量

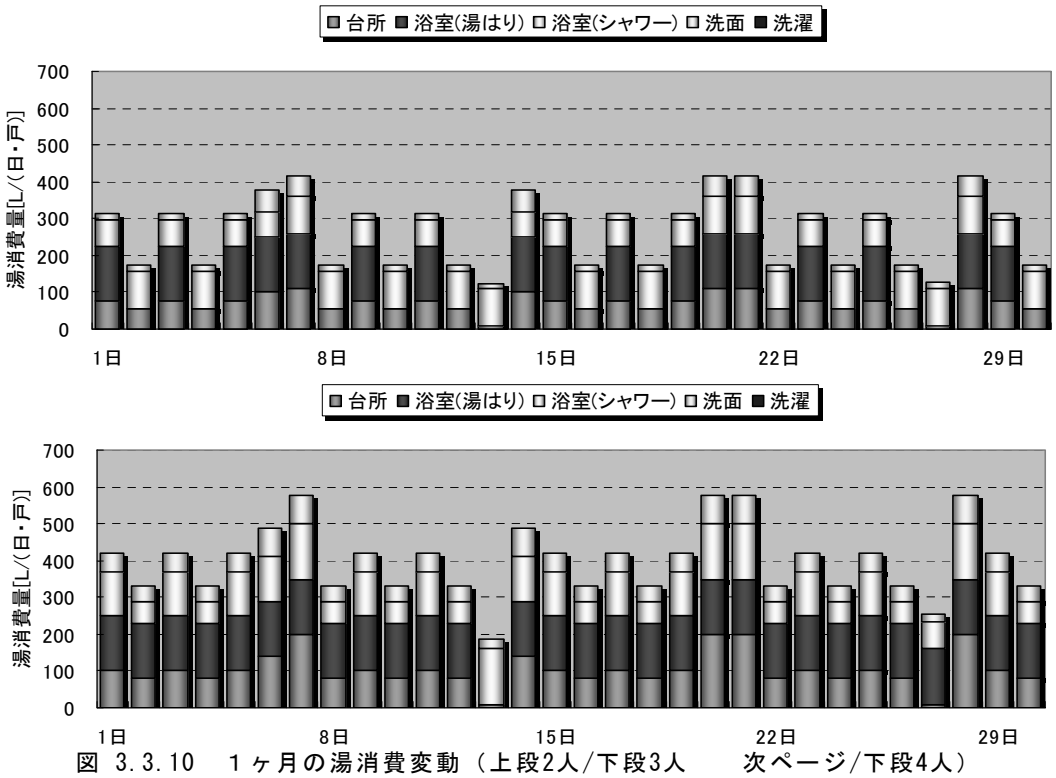


図 3.3.10 1ヶ月の湯消費変動（上段2人/下段3人 次ページ/下段4人）

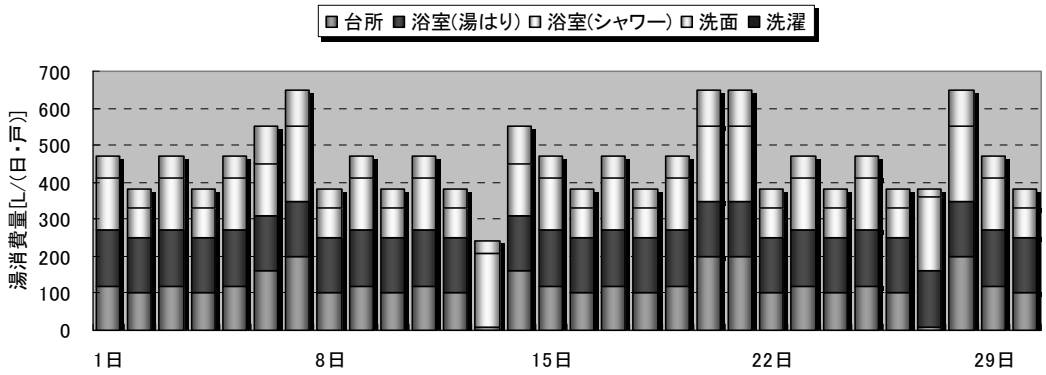


図 3.3.10（続） 1ヶ月の湯消費変動（4人）

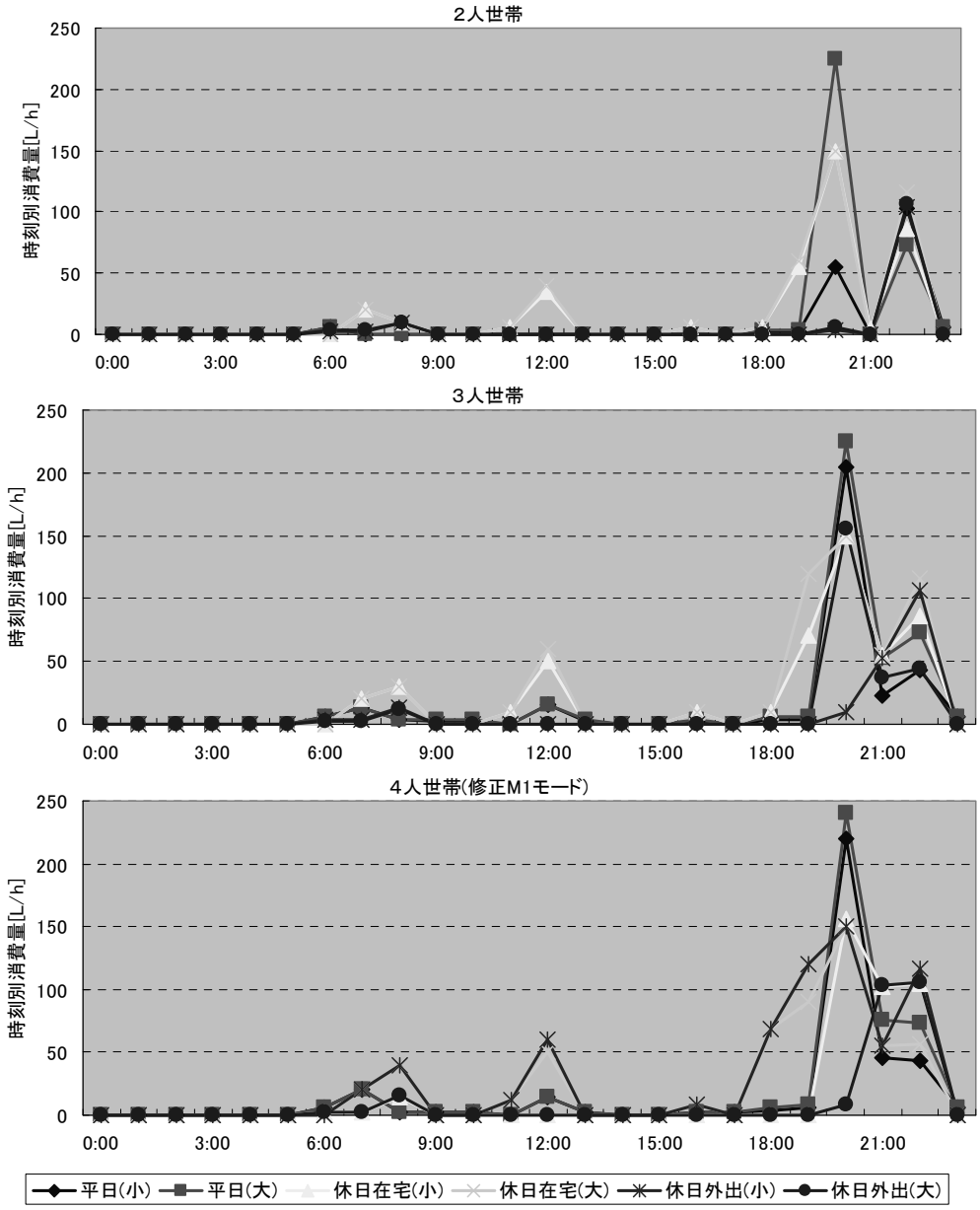


図 3.3.11 2/3/4人世帯における代表6日の湯消費時刻分布

4）季節変動について

本モードは、年間を通した給湯データを元に作成されており、基本的に中間期を想定している。通常の評価ではこの設定を夏期・冬期に拡張しても差し支えないと考えられるが、CO_2HP 給湯機のように性能の季節変化が大きい機器評価においては、季節変動を考慮したモードが必要になる場合がある。

図 3.3.12 に、実測調査における月平均の期間最大・最小および年平均±標準偏差の分布例を示す。

回帰式の係数から、期間最大は年平均に対し＋30%、期間最小は－19%程度となっている。なお、ここでの値は湯量 40℃換算であるため、給水温度の変動の影響は取り除かれている。湯量換算でも季節変動は比較的大きくなっているが、これらの変動は長期不在など特殊な事情によるものもあることから、一般的に季節変動を再現する際には触れ幅±15%程度として、2 月を＋15%、8 月を－15%とするサイン波で湯消費量を補正するのが適当と考える。

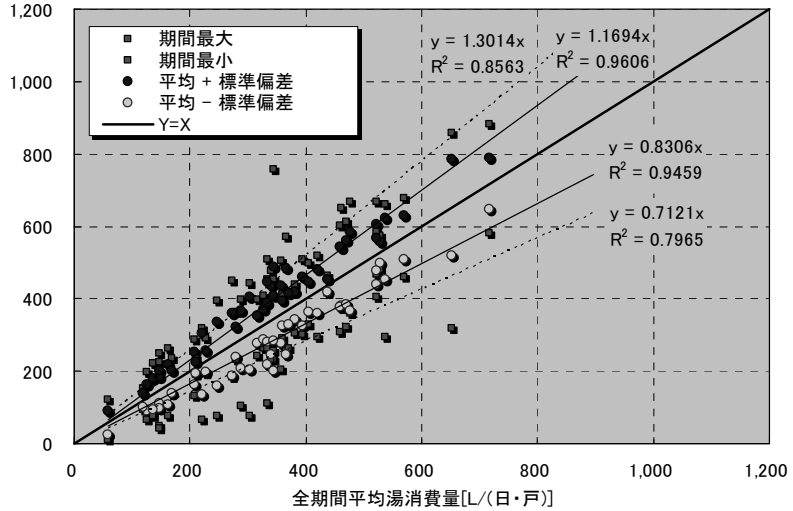


図 3.3.12 湯消費量の季節変動（湯量40℃換算）

5）その他の実験条件

流量については、特に瞬間式給湯機において効率への影響が大きい。しかしながら本モードでは、給湯の消費行為に関するマクロ的な側面は簡略化されていること、流量の精緻な制御は困難であることから、厳密には流量を定義しない。

既往モードの整合から、浴槽落とし込み 8～15[L/min]、シャワー8～12[L/min]、台所・洗面 4～8[L/min]の値を適宜用いればよい。

給湯温度については、本モードでは様々な用途における平均的な使用温度を想定して、基本的に 40℃相当としている。ただし、実験においては給湯機の出口温度が機器設定温度と異なる場合があるので、設定温度は 42℃程度にしてさしつかえない。

なお、給湯温度としては、給湯器出口温度だけでなく水栓での出口温度を採用する方法もあり、水栓での使用温度・最低使用温度などを規定しているモードも存在する。しかしながら、本モード作成に用いたバックデータが給湯機出口温度計測によるものであること、水栓温度での実験は困難であることから、特に特にそうした条件は設定していない。

6）単身世帯について

本ここで述べたモードは 2～4 人世帯を対象としたものであり、単身世帯については住戸差が大きいにも関わらずサンプル数が十分でないことから、ここでは特にモードを設定しなかっ

た。なお、以下で単身世帯について検証する際には、独身社宅において計測された実測結果を消費行為ごとに整理してそのまま用いている(平均湯消費量 約 150～200[L/日])。

7) まとめ

本節においては、住宅における湯消費を標準化した試験用給湯モードについて、昨年度の検討に引き続き検討を行った。その結果、昨年度作成した 4 人世帯を想定した修正 M1 モードに、2・3 人世帯のバージョンを追加し、より幅広い性能評価が可能となった。

一方で、家族人数が少ないほど個人の消費に住戸全体の消費が強く影響されることから、今回検討したような少人数の住戸における給湯消費の標準化はより難しい面があることは注意する必要があり、今後も継続した調査・研究が必要であると考える。

(前 真之)

参考文献

1)都心型集合住宅における給湯・給水消費構造の分析と評価手法に関する研究(その1) 湯水消費の季節変動要因に関する研究
前 真之他 日本建築学会計画系論文集(2003年 4 月掲載)
2)給排水設備研究会研究会誌「給排水設備研究」第 21 巻・第 2 号(2004 年 7 月)最近の給湯消費実態調査 前真之

3.3.2 湯節約器具による節水・節湯・省エネルギー効果の検証

入浴・食器洗浄行為に関して、水栓器具による使用水量の違いを把握し、節水・節湯、省エネルギー効果の検討を行うことを目的とする。本研究ではシャワー実験として、サーモスタット混合水栓の湯温・流量調整に要する捨て水量削減効果把握実験と、手元止水機能付シャワーヘッドの節湯効果の把握をした。

食器洗い実験では足元止水機能付水栓、センサー式自動水栓の節水効果把握実験、シャワー吐水、泡沫吐水の形態の違いによる節水効果の把握実験を行なった。

併せて食器洗い乾燥機による使用湯量、消費エネルギー量の測定を行い、被験者実験による手洗いとの比較を行った。

1) シャワー水栓による節湯効果把握

(1) 実験概要

温度流量調整に要する捨て水量に対するサーモスタット付混合栓(以下サーモ付)の節水効果を把握する湯温流量調整実験、および手元止水機能付シャワーヘッド(以下止水型)の節水効果を把握するシャワー入浴実験を行った。

実験は冬期と夏期に行った。また、シャワー水栓、シャワーヘッドの種類を変えて2003年と2004年に実験を行った。実験期間を表 3.3.11、被験者人数、平均年齢を表 3.3.12 に示す。

表 3.3.11 実験期間

	冬期実験	夏期実験
2003年	2003/2/8～3/8	2003/8/15～9/8
2004年	2004/3/1～3/17	2004/7/20～8/11

注）被験者のうち13名は冬期・夏期共通

表 3.3.12 被験者概要

		冬期		夏期	
		人数	平均年齢	人数	平均年齢
2003年	男性	17名	23.8歳	10名	22.7歳
	女性	15名	22.2歳	10名	22.7歳
	全体	32名	23.1歳	20名	22.7歳
2004年	男性	12名	21.8歳	15名	21.3歳
	女性	12名	22.3歳	15名	21.3歳
	全体	24名	22.1歳	30名	21.3歳

また、被験者の自宅で使用しているシャワー水栓の種類による差を把握するため、自宅の水栓別の被験者数を表 3.3.13 に示す。全ての被験者が温度流量調整実験・シャワー入浴実験の両方を行った。被験者はまず温度流量調整実験を行い、次にシャワー入浴実験を行った。使用したシャワーヘッド散水板の仕様を表 3.3.14 に示す。測定項目を表 3.3.15 に示す。

表 3.3.13 自宅の水栓別被験者数

	2バルブ	サーモ付	その他
2003冬期	19名	12名	1名
2003夏期	13名	6名	1名
2004冬期	19名	3名	2名
2004夏期	26名	3名	1名

表 3.3.14 シャワーヘッド仕様

	穴径[mm]	列数	穴数	総開口面積[mm^2]
2003年度	0.9、0.7	4列	69	32.6
2004年度	0.7	5列	96	36.9

表 3.3.15 測定項目

項目	測定箇所	測定機器
湯温	給水 給湯 混合後	φ1.6mmT型 シース熱電対
流量	給水 給湯	愛知時計電機 ND10-NATAAA ND10-PATAAA
気温・湿度	外気温 控え室 脱衣室	江藤電気 温度・湿度センサ (2119A)

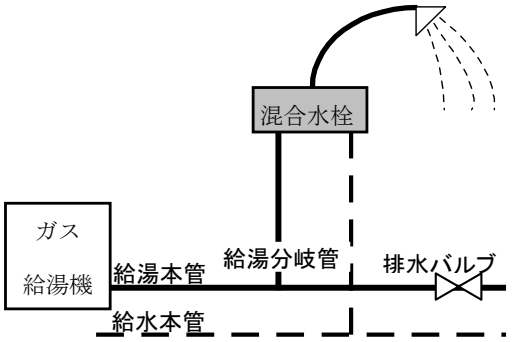


図 3.3.13 2003年度実験施設系統図



図 3.3.14 2003年度実験施設

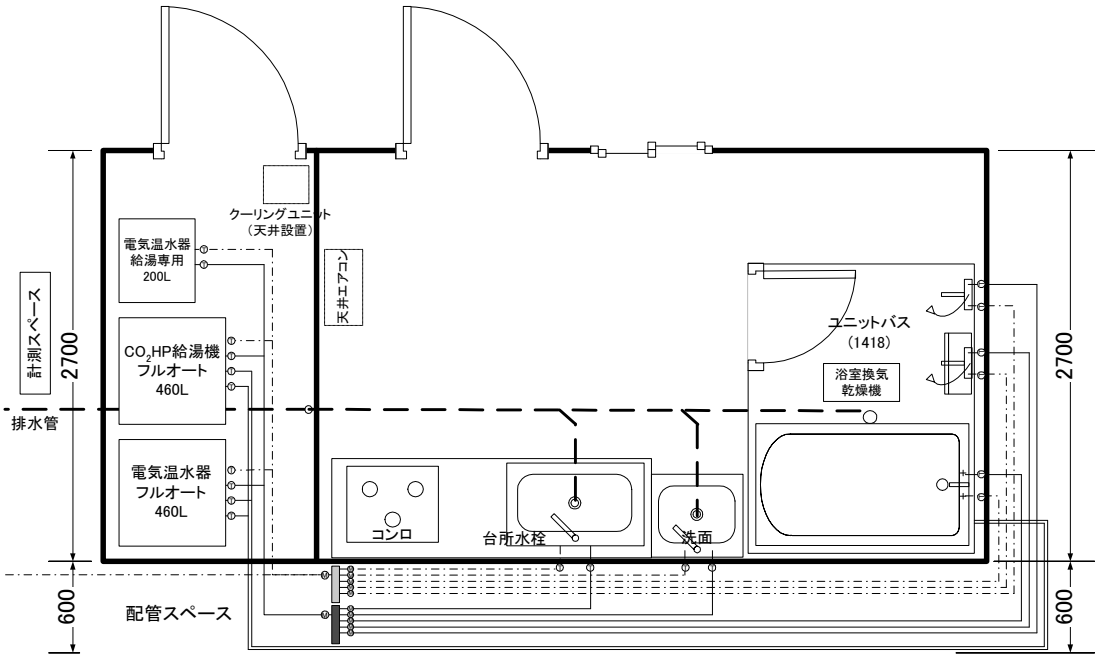


図 3.3.15 2004年度実験施設平面図

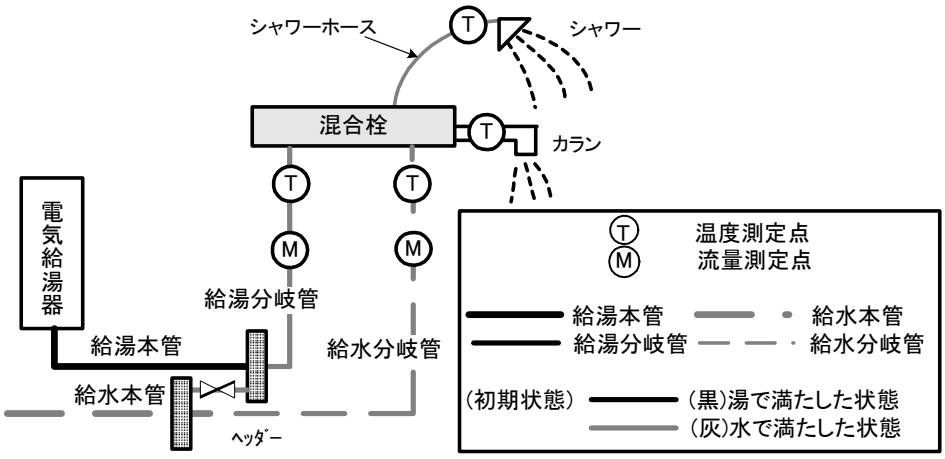


図 3.3.16 2004年度実験施設系統図



図 3.3.17　2004年度実験施設

実験場所、給湯設備は2003年と2004年の実験で異なるが、両実験室とも給湯機出湯温度は60℃に設定した。給湯設備は、2003年は24 号ガス瞬間湯沸機を用い配管は鋼管の先分岐方式、2004年は460L電気温水器を用い、塩ビ管および架橋ポリエチレン管のサヤ管ヘッダ方式であった。2003年の実験設備系統図および概要を図 3.3.13、図 3.3.14 に、2004 年の実験設備平面図、系統図および概要を図 3.3.15～図 3.3.17 に示す。

(2) サーモスタット付水栓による効果把握

a 湯温流量調整実験　実験方法

図 3.3.18 に示す2バルブ・サーモ付の2種類の混合水栓を用いて湯温・流量調整を行い、調整に有する水量を捨て水量とし、比較を行った。被験者は裸体でシャワーを手などに浴びながら湯温・流量を調整し、適温・適流量となった時点で調整終了を申告した。その後 10 秒程度体に浴びさせ、温度・流量に変更が必要ないか確認した。調整終了の申告までに要した給湯・給水量を捨て水量とした。

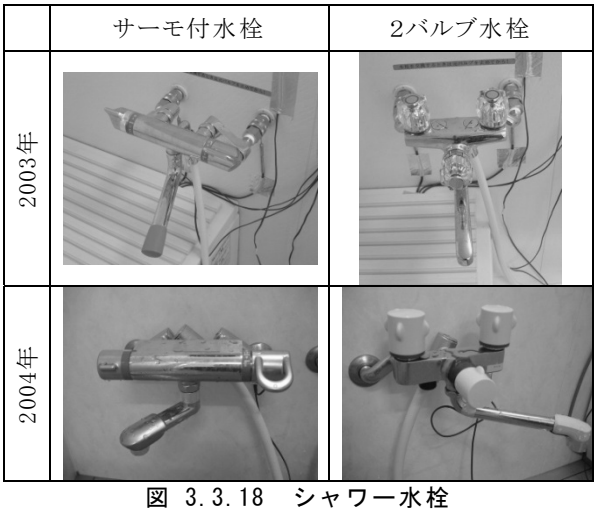


図 3.3.18　シャワー水栓

実験開始時の状態は、シャワー系統への分岐部または給湯ヘッダ以降の配管を給水で満たし、給湯本管は給湯で満たした。分岐部以降の配管は2003年の実験設備では管径 13A、長さ約 1200mm、2004 年の実験設備では、管径 13A、長さ約 7500mm である。実験は2バルブ・サーモ付の順で行い、各被験者がそれぞれの水栓について1日1回ずつ2日間実験を行った。

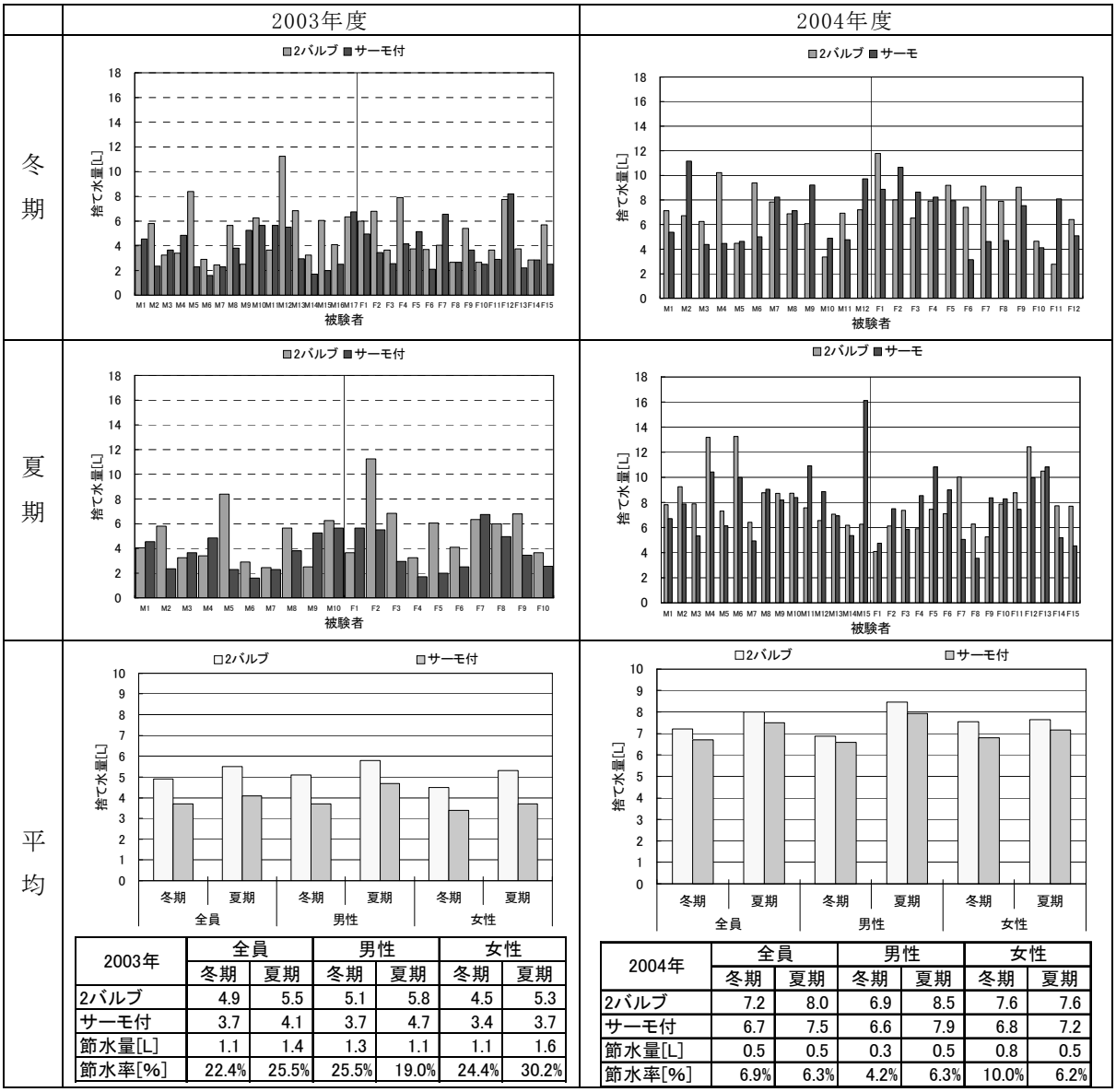
b 捨て水量

被験者別の捨て水量および平均値を表 3.3.16 に示す。捨て水量は両水栓ともに夏期に多い傾向にあった。また、2004 年度は捨て水量が多くなったが、給湯配管系統の違いによる影響が大きいものと思われる。サーモ付による平均の節水量は、調整1回につき約 0.9 L であった。

c 自宅の水栓による捨て水量比較

自宅の混合水栓別に分類を行い2003年の結果を図 3.3.19、表 3.3.17、2004 年の結果を図 3.3.20、表 3.3.18 に示す。2バルブで調整を行う場合は自宅で 2 バルブを用いている人の方が捨て水量が少なく、サーモ付を用いて調整を行う場合は自宅でサーモ付を用いている被験者の方が捨て水量が少なかった。節水量は自宅が2バルブの人は平均0.7L、自宅

表 3.3.16 捨て水量



2003年	全員		男性		女性	
	冬期	夏期	冬期	夏期	冬期	夏期
2バルブ	4.9	5.5	5.1	5.8	4.5	5.3
サーモ付	3.7	4.1	3.7	4.7	3.4	3.7
節水量[L]	1.1	1.4	1.3	1.1	1.1	1.6
節水率[%]	22.4%	25.5%	25.5%	19.0%	24.4%	30.2%

2004年	全員		男性		女性	
	冬期	夏期	冬期	夏期	冬期	夏期
2バルブ	7.2	8.0	6.9	8.5	7.6	7.6
サーモ付	6.7	7.5	6.6	7.9	6.8	7.2
節水量[L]	0.5	0.5	0.3	0.5	0.8	0.5
節水率[%]	6.9%	6.3%	4.2%	6.3%	10.0%	6.2%

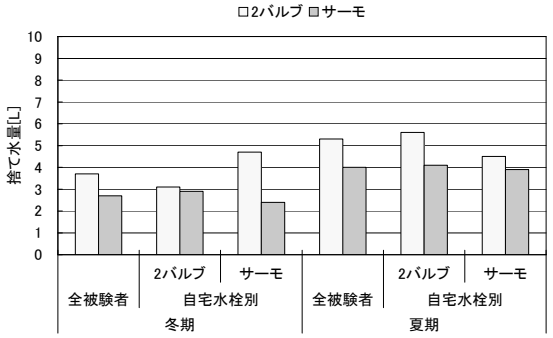


図 3.3.19 自宅の水栓別捨て水量(2003年)

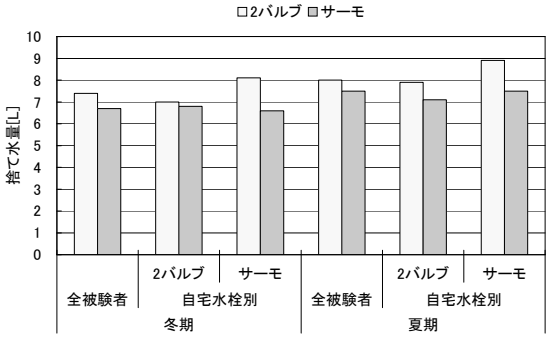


図 3.3.20 自宅の水栓別捨て水量(2004年)

表 3.3.17 自宅の水栓別捨て水量(2003年)

2003年	冬期			夏期		
	全被験者	自宅水栓別		全被験者	自宅水栓別	
		2バルブ	サーモ		2バルブ	サーモ
2バルブ[L]	3.7	3.1	4.7	5.3	5.6	4.5
サーモ付[L]	2.7	2.9	2.4	4.0	4.1	3.9
節水量[L]	1.0	0.2	2.3	1.3	1.5	0.6
節水率[%]	27.0%	6.5%	48.9%	24.5%	26.8%	13.3%

表 3.3.18 自宅の水栓別捨て水量(2004年)

2004年	冬期			夏期		
	全被験者	自宅水栓別		全被験者	自宅水栓別	
		2バルブ	サーモ		2バルブ	サーモ
2バルブ[L]	7.4	7.0	8.1	8.0	7.9	8.9
サーモ付[L]	6.7	6.8	6.6	7.5	7.1	7.5
節水量[L]	0.7	0.2	1.5	0.5	0.8	1.4
節水率[%]	9.5%	2.9%	18.5%	6.3%	10.1%	15.7%

がサーモ付の人は平均 1.5L であり、自宅でサーモ付を使用している人の方が、節水量が多かった。しかし、自宅で 2 バルブを用いている人でもサーモ付を用いることによって節水効果を得られることが分かった。

(3) 手元止水付きシャワーヘッドによる効果把握

a シャワー入浴実験　実験方法



図 3.3.21　シャワーヘッド
（左：2003年，右：2004年）

図 3.3.21 に示す止水型(写真左)、標準型(写真右)の 2 種類のシャワーヘッドを用い、浴槽入浴は行わないシャワー入浴のみを行い、使用湯量の比較を行った。被験者は洗顔・洗髪・体洗い全ての行為を行い、行為を随時インターホンにて申告した。標準型においては、出来る限り日常通りの入浴を行わせた。止水型に関しては使い慣れていない被験者が多かったため、慣れていない被験者に対しては、湯不要時には出湯を停止するように指示した。シャワーヘッド散水板は、止水型と標準型で同じものを使用した。

実験は異なる 2 日間に行い、標準型を先に行う被験者と止水型を先に行う被験者が同数となるようにした。混合水栓はサーモ付を用い、入浴開始時は捨て水がない状態とした。なお、使用量が極端に多い、または少ない被験者による影響を避けるため、解析には標準での使用量の値が平均値±2σ以内(σ:標準偏差)の被験者のデータについてのみ使用した。2003 年は冬期 30 名、夏期 20 名、2004 年は冬期 24 名、夏期 29 名による解析である。

b 湯使用状況

標準的な被験者の各シャワーヘッドによる湯使用状況の一例を図 3.3.22 に示す。

止水型を用いる場合、止水回数が多くなっていることが分かる。また止水型の場合には最初に混合栓の操作を行い 2 回目以降は手元のボタンで止水するため、混合栓による温度・流量調整をあまり行わない。このため入浴中の流量が一定になっていると推測される。

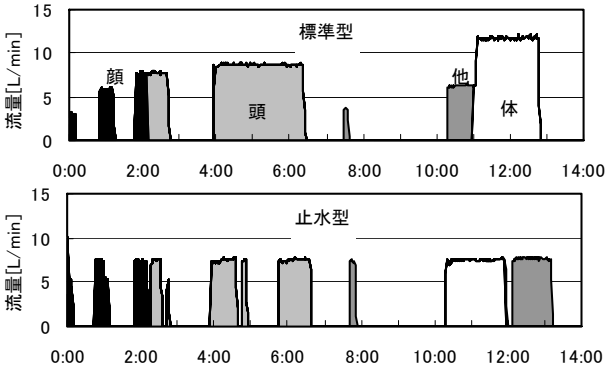


図 3.3.22　湯使用状況の例

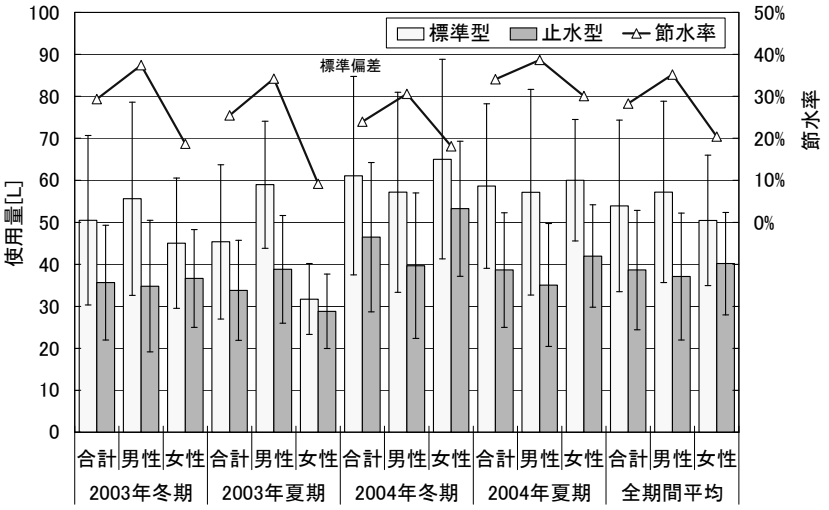


図 3.3.23　平均使用湯量、節水率

c 合計使用量

各シャワーヘッドを用いてシャワー入浴を行った被験者別の使用量を 表 3.3.19 に、平均使用量および節水率を、図 3.3.23、に示す。平均節水率は、[(全被験者合計の

表 3.3.19 被験者別使用湯量

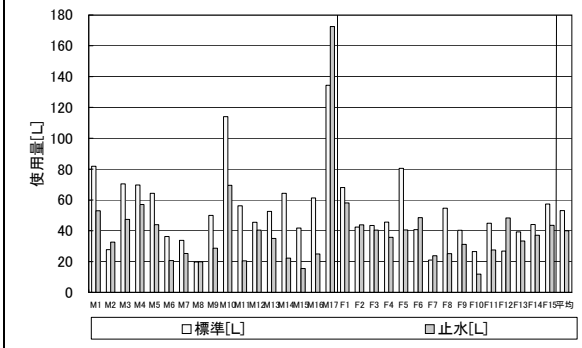
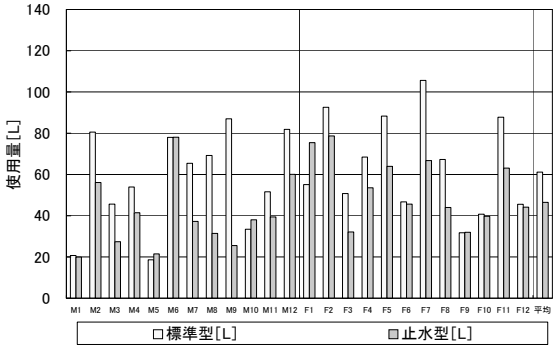
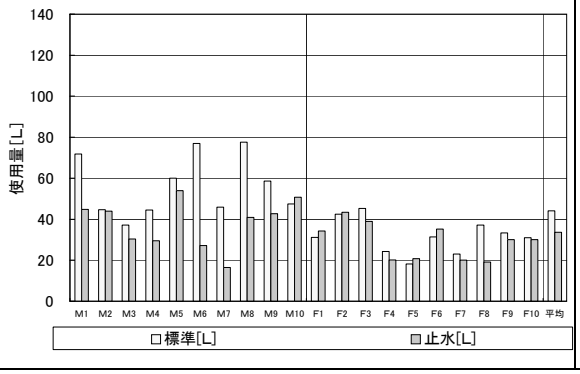
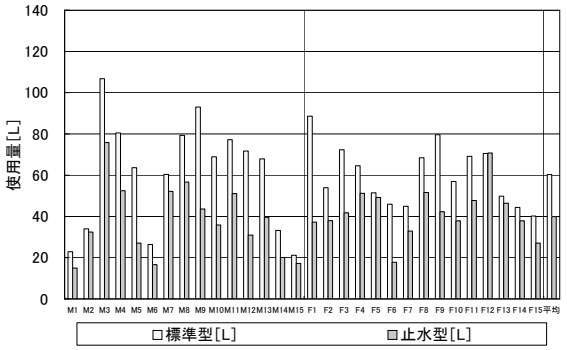
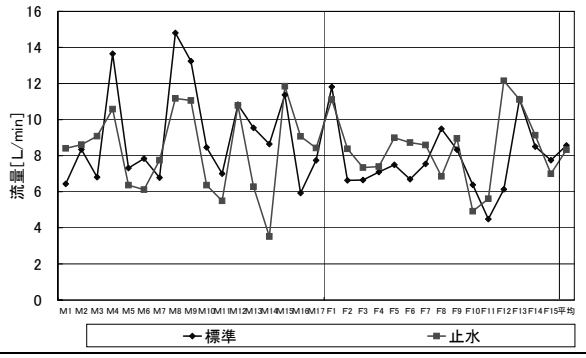
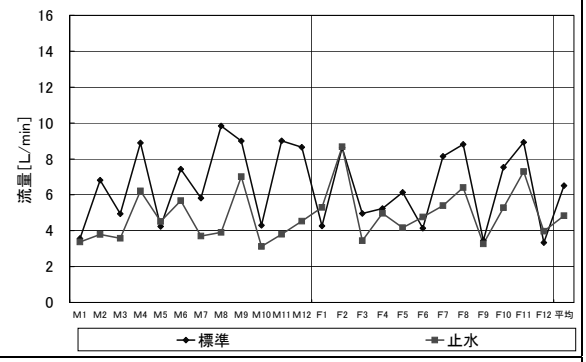
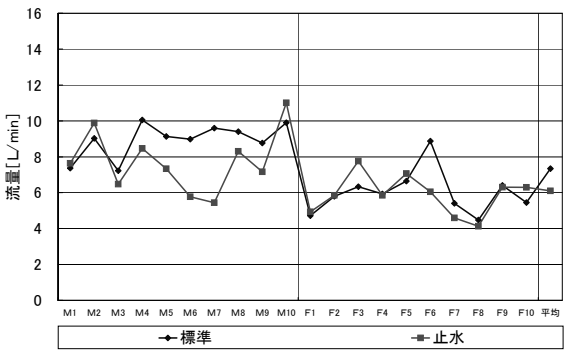
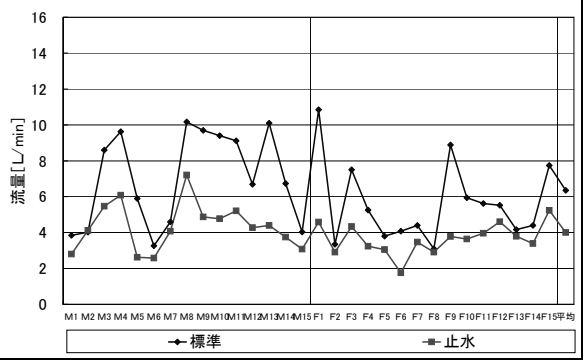
	2003年	2004年
冬期	 ※M17は平均値+2σ以上のため除外	
夏期		 ※M3は平均値+2σ以上のため除外

表 3.3.20 被験者別使用流量

	2003年	2004年
冬期		
夏期		

節水量/全被験者合計の標準型使用量）×100]として求めた。

シャワーヘッドの種類によって多少異なるが、平均で標準型使用量が 53.9L、止水型使用量が 38.6L となり、節水量 15.3L、節水率 28.3%の節水効果が確認された。

標準型での使用量が多い被験者の方が節水率が高くなり、本実験では女性より男性の方が使用量が多くなり、節水率も高い結果となった。

表 3.3.21 平均使用湯量、節水率

		標準型		止水型		節水量	節水率
		使用量[L]	標準偏差	使用量[L]	標準偏差	[L]	
2003年冬期	合計	50.5	20.2	35.7	13.7	14.8	29.4%
	男性	55.6	23.0	34.8	15.7	20.8	37.5%
	女性	45.0	15.5	36.6	11.6	8.4	18.7%
2003年夏期	合計	45.3	18.4	33.8	11.9	11.5	25.4%
	男性	59.0	15.2	38.8	12.8	20.2	34.2%
	女性	31.7	8.5	28.8	8.9	2.9	9.2%
2004年冬期	合計	61.1	23.6	46.5	17.8	14.6	24.0%
	男性	57.2	23.8	39.7	17.3	17.5	30.6%
	女性	65.0	23.8	53.2	16.1	11.8	18.1%
2004年夏期	合計	58.6	19.6	38.6	13.6	20.0	34.1%
	男性	57.2	24.5	35.1	14.6	22.1	38.7%
	女性	60.0	14.5	42.0	12.2	18.1	30.1%
全期間平均	合計	53.9	20.4	38.6	14.2	15.3	28.3%
	男性	57.2	21.6	37.1	15.1	20.2	35.2%
	女性	50.5	15.6	40.2	12.2	10.3	20.4%

d 使用流量

被験者別使用流量および平均値を表 3.3.20 に示す。流量は個人差が大きいが、平均値は標準と止水型で概ね同等となった。

e 部位別使用量

実験中の申告記録を基に

(髪/顔/体/その他)の分類を行った。ただし 2 回の入浴で、申告内容が異なっているが同一行為であると認められる場合は(体⇔全身など)、どちらかの行為に統一するよう修正を行った。

表 3.3.22 に部位別平均使用量、節水量、節水率を示す。節水量は使用量が多い髪・体が多くなっている。

(4) 開口面積と適流量の関係

シャワーの使用湯量に影響する要因として、使用時の流量の影響が大きい。著者を含めた本委員会委員の既往の研究成果 [1),2)]として、使用時の適流量には、シャワー散水板の開口面積が関係していることを明らかにしている。

表 3.3.23 に示す特徴の異なる 3 種類の市販シャワーヘッドを用いて、適流量把握の被験者実験を行った。実験は 2000 年 10 月 24 日～11 月 9 日に被験者実験を行った。被験者概要を表 3.3.24 に示す。全被験者が 3 種類のシャワーヘッドで実験を行うが、順番は被験者ごとランダムとした。シャワーヘッドは壁掛けのみとし、散水板と被験者胸部の距離は概ね 60cm であった。

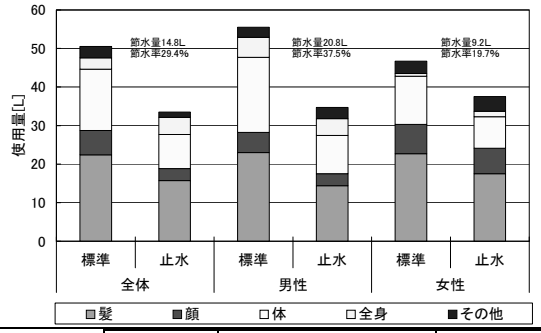
各シャワーヘッドでの適流量、適温の平均、最大、最小値を図 3.3.24 に、適流量と総開口面積の関係を試作散水板での実験結果と併せて図 3.3.25 に示す。

これらの結果より、適流量 Q_T[L/min]は穴径・穴数などから決まる総開口面積 A[mm^2]で概ね推定可能であり、$Q_T=CA^n$ (C,n:実験係数)の関係が概ね成立し、n は 0.5 に近い値となる。総開口面積を標準型の約 50mm^2 から節水型の約 30mm^2 にすることで約 75%、低水圧型の約 18mm^2 にすることで 55%の使用適流量削減効果を確認できた。しかし、穴径の小さい低水圧型は、流量を増やしたときに水はねが気になるなどの意見もあった。

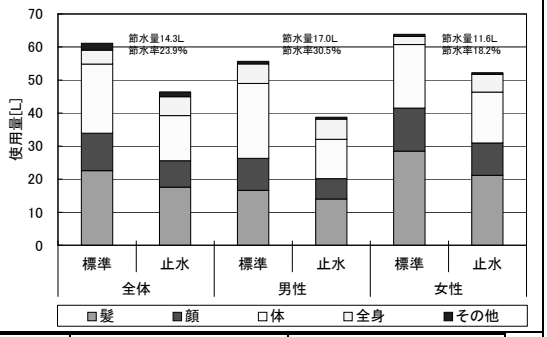
表 3.3.22 部位別使用湯量

冬期

2003 年



2004 年

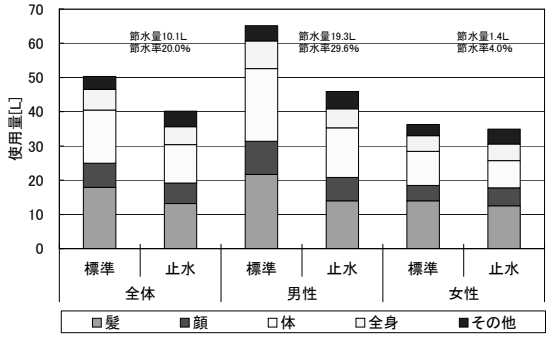


	冬期	標準型[L] 平均	標準型[L] 男性	標準型[L] 女性	止水型[L] 平均	止水型[L] 男性	止水型[L] 女性	節水量[L] 平均	節水量[L] 男性	節水量[L] 女性	節水率[%] 平均	節水率[%] 男性	節水率[%] 女性
2003 年	髪	22.1	23.2	21.6	13.0	8.2	15.2	9.1	15.0	6.4	41.0%	64.7%	29.7%
	顔	8.5	8.0	8.7	6.3	2.8	7.9	2.2	5.2	0.8	25.6%	64.8%	9.7%
	体	14.7	17.9	13.3	8.1	7.3	8.4	6.6	10.6	4.8	44.9%	59.1%	36.4%
	全身	3.5	8.8	1.2	4.1	8.4	2.2	−0.6	0.4	−1.0	−15.9%	4.8%	−85.2%
	その他	2.0	1.6	2.2	2.7	3.1	2.5	−0.7	−1.5	−0.3	−34.3%	−94.9%	−14.7%
	量 合計	50.8	59.5	47.0	34.2	29.8	36.2	16.6	29.7	10.8	32.6%	49.9%	23.0%

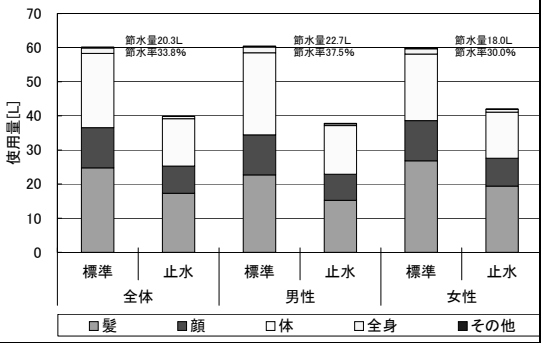
	冬期	標準型[L] 平均	標準型[L] 男性	標準型[L] 女性	止水型[L] 平均	止水型[L] 男性	止水型[L] 女性	節水量[L] 平均	節水量[L] 男性	節水量[L] 女性	節水率[%] 平均	節水率[%] 男性	節水率[%] 女性
2004 年	髪	22.5	16.6	28.5	17.6	14.0	21.1	5.0	2.6	7.3	22.1%	15.9%	25.7%
	顔	11.4	9.7	13.0	8.0	6.1	9.8	3.4	3.5	3.2	29.6%	36.6%	24.4%
	体	20.9	22.7	19.2	13.6	11.9	15.4	7.3	10.8	3.9	34.9%	47.5%	20.1%
	全身	4.2	5.9	2.5	5.7	6.1	5.4	−1.5	−0.2	−2.9	−36.3%	−3.4%	−114.1%
	その他	2.0	0.8	0.6	0.5	0.6	0.5	1.5	0.2	0.1	25.7%	27.1%	16.4%
	量 合計	61.1	55.7	63.8	45.4	38.7	52.2	15.6	17.0	11.6	23.9%	30.5%	18.2%

夏期

2003 年



2004 年



	夏期	標準型[L] 平均	標準型[L] 男性	標準型[L] 女性	止水型[L] 平均	止水型[L] 男性	止水型[L] 女性	節水量[L] 平均	節水量[L] 男性	節水量[L] 女性	節水率[%] 平均	節水率[%] 男性	節水率[%] 女性
2003 年	髪	17.9	21.7	14.0	13.2	14.0	12.5	4.6	7.7	1.5	25.9%	35.6%	10.8%
	顔	7.1	9.7	4.5	6.0	6.8	5.3	1.1	2.9	−0.9	15.6%	29.9%	−18.9%
	体	15.5	21.2	9.9	11.2	14.5	7.9	4.4	6.7	2.0	28.0%	31.6%	20.5%
	全身	6.0	8.1	4.6	5.2	5.6	4.9	0.8	2.6	−0.3	13.2%	31.5%	−5.8%
	その他	3.8	4.4	3.3	4.6	5.0	4.3	−0.8	−0.6	−1.0	−21.8%	−13.3%	−29.4%
	量 合計	50.3	65.2	36.3	40.3	45.8	34.8	10.1	19.3	1.4	20.0%	29.6%	4.0%

	夏期	標準型[L] 平均	標準型[L] 男性	標準型[L] 女性	止水型[L] 平均	止水型[L] 男性	止水型[L] 女性	節水量[L] 平均	節水量[L] 男性	節水量[L] 女性	節水率[%] 平均	節水率[%] 男性	節水率[%] 女性
2004 年	髪	24.8	22.7	26.9	17.3	15.2	19.4	7.5	7.5	7.5	30.1%	33.0%	27.8%
	顔	11.7	11.7	11.7	7.9	7.6	8.2	3.8	4.1	3.5	32.5%	34.9%	30.2%
	体	21.8	24.0	19.5	13.9	14.3	13.5	7.9	9.7	6.0	36.2%	40.5%	30.9%
	全身	1.6	1.7	1.5	0.7	0.5	0.8	0.9	1.1	0.7	58.0%	67.6%	47.6%
	その他	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	77.2%	77.9%	76.5%
	量 合計	60.2	60.5	60.0	39.9	37.8	42.0	20.3	22.7	18.0	33.8%	37.5%	30.0%

表 3.3.23 シャワーヘッド総開口面積

	穴径 [mm]	穴数	最外周散水角	総開口面積 [mm^2]
標準型	□0.9	63	9°	51.0
節水型	0.7	80	9°	30.8
低水圧型	0.7*24,0.5*45	69	7°	18.1

表 3.3.24 被験者概要

	適流量把握 被験者数	適流量把握 平均年齢	行為別使用湯量把握 被験者数	行為別使用湯量把握 平均年齢
全体	31	29.7 (5.2)	10	23.4 (2.7)
男性	21	31.2 (4.8)	5	24.4 (2.0)
女性	10	26.4 (4.7)	5	22.4 (3.0)

( )内は標準偏差

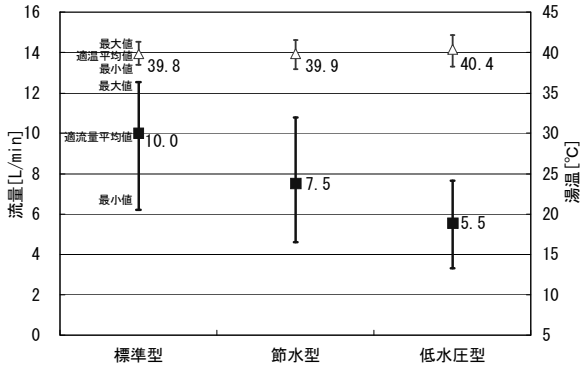


図 3.3.24 適温、適流量

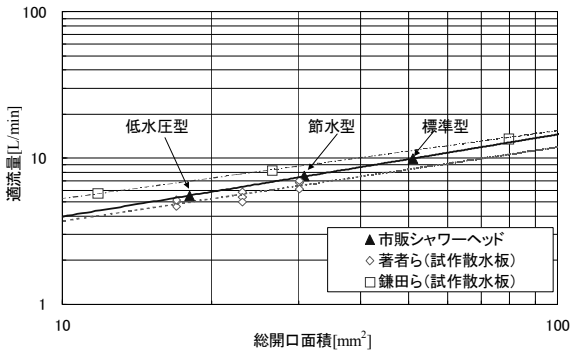


図 3.3.25 適流量と総開口面積の関係

2) 食器洗浄実験

(1) 実験概要

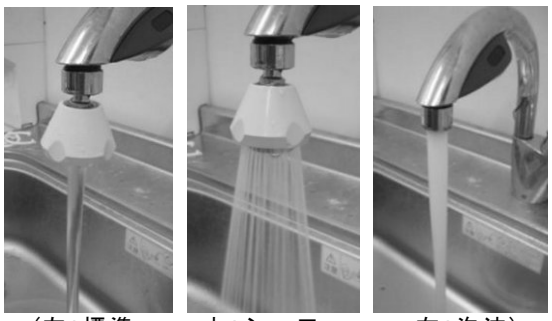
台所水栓による節水機器の効果を把握することを目的に被験者実験を行った。吐水形状を変化させる節水器具として図 3.3.26 に示す器具を使用した。ストレート吐水を標準として、シャワー吐水、泡沫吐水を用いた。

止水方法を変化させる器具として図 3.3.26 に示すものを使用した。シングルレバーを標準として、センサー止水、足踏み止水を使用して評価を行った。

実験は、2004 年のシャワー実験同様の図 3.3.15 に示す神奈川大学給湯実験室で、2004 年に夏期実験、2003 年に冬期実験を行った。被験者概要を表 3.3.25 に示す。2004 年夏期は吐水形態実験 25 名、止水栓実験 26 名(内共通被験者 22 名)を対象に、2003 年冬期は被験者各実験 23 名(内共通被験者 11 名)を対象に行った。

実験は 2004 年 8 月 23 日～9 月 10 日、および 2003 年 12 月 16 日～28 日に行った。

実験室内は夏期 26℃、冬期 23.5℃の設定でエアコンにて冷暖房して実験を行った。実験開始時は捨て水がない状態とし、湯温(給水・給湯・混合後)・流量(給水・給湯)を 2 秒間隔で測定した。実験前に自宅の機器等に関するアンケート調査を行い、実験の様子はビデオによ



(左:標準, 中:シャワー, 右:泡沫)

図3.3.26 吐水形状

表 3.3.25 被験者概要

実験種別		被験者数	共通被験者数	平均年齢
2003冬期	吐水形態	23名	11名	49.5歳 (38～62歳)
	止水方法	23名		
2004夏期	吐水形態	25名	23名	51.4歳 (40～60歳)
	止水方法	26名		
2005冬期	併用・6人分	10名	10名	51.9歳 (42～60歳)



図 3.3.26 止水栓(左:シングルレバー・センサー, 右:足踏み)

って記録した。吐水実験、止水実験共に洗浄する食器は、表 3.3.26、図 3.3.27 に示す4人家族を想定した4セット(44 点)で(財)ベターリビング食洗機性能指標に基づき汚した。被験者は各機器を用いて 1 回ずつ食器洗浄を行った。3 種類の機器による実験を同日に行い、機器の順序は被験者によって異なるようにした。実験時はスポンジ・タワシ・洗剤・洗い桶(容量 5 L)・ペーパータオル・ゴム手袋を用意し、必要に応じて使用させた。また、実験後に使い勝手に関するアンケートを行った。実験状況を図 3.3.28 に示す。

また、2005 年冬期実験とし、2005 年 1 月 11 日～14 日に 2004 年夏期期実験の被験者 10 名を対象として、吐水形状と止水方法の組み合わせによる実験、6 人分(66 点)の食器洗浄に実験を行なった。

実験後にビデオによる記録を参考にして行程による分類を行った。以下では食器洗い・すすぎによる結果のみを示し、桶洗い・流しの掃除は含まないものとする。

表 3.3.26 食器の種類・汚染物質

食器種類	食器(汚染物質)
グラス類	グラス(牛乳・トマトジュース) 湯のみ(緑茶)
皿類	大皿(カレーライス) 中皿(トンカツ) 小皿(ハムエッグ)
茶碗類	茶碗(ご飯) 味噌椀(味噌汁)
箸類	箸(ご飯) スプーン(カレー) ナイフ・フォーク (トンカツ・ハムエッグ)



図 3.3.27 4人分(44点)の食器



図 3.3.28 実験状況

表 3.3.27 吐水形状実験 実験結果平均値

	2003年冬期			2004年夏期		
	標準	シャワー	泡沫	標準	シャワー	泡沫
使用量[L]	32.2	27.0	32.4	34.4	20.5	31.9
流量[L/min]	6.1	4.9	5.8	5.9	3.2	5.2
温度[℃]	28.7	28.9	28.5	36.2	36.3	36.9
節水量[L]	–	5.2	−0.2	–	13.9	2.5
節水率		16.2%	−0.6%		40.4%	7.4%

(2) 吐水形状による比較

吐水形状実験ではシャワー水栓・泡沫水栓の評価を行った。表 3.3.28 に被験者別の使用量、図 3.3.32 に使用量平均値を示す。表 3.3.29 に被験者別の使用流量、図 3.3.33 に使用流量平均値を示す。表 3.3.30 に被験者別の使用湯温、図 3.3.34 に使用湯温平均値を示す。表 3.3.27 に平均値をまとめて示す。

使用量は全てにおいてすすぎの使用量が多い。シャワーにおいては使用量が少なく、これと同様に流量も小さくなっている。しかし実験終了後のヒアリングにおいて使い勝手が悪いと答えた被験者もおり、理由として水がはねることが挙げられた。温度においては2003 年度より、2004 年度の方が 8℃ほど高くなっていた。

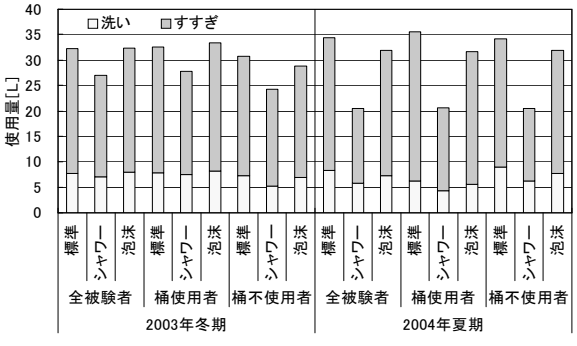


図 3.3.29 平均使用量

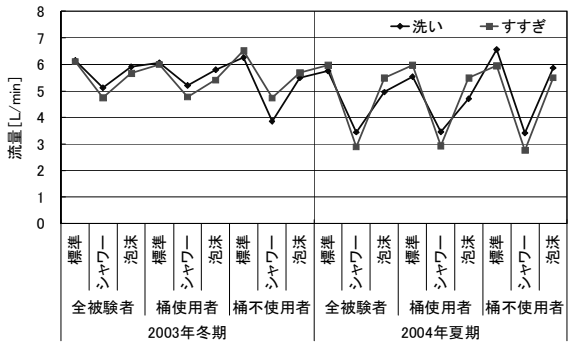


図 3.3.30 平均流量

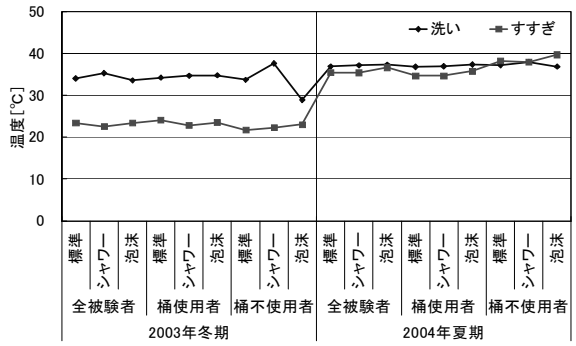
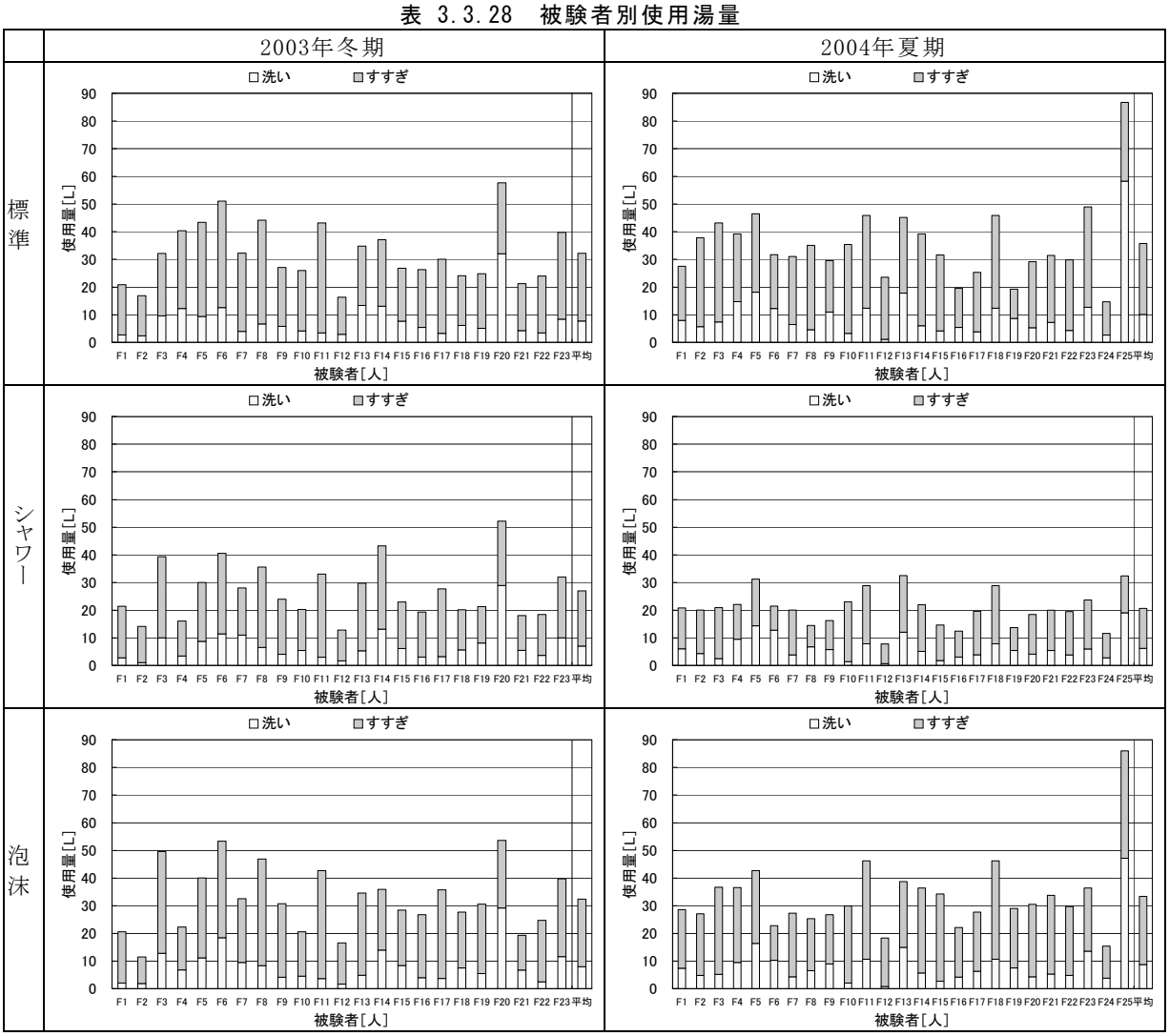


図 3.3.31 平均湯温

a 使用量

表 3.3.28 被験者別使用湯量



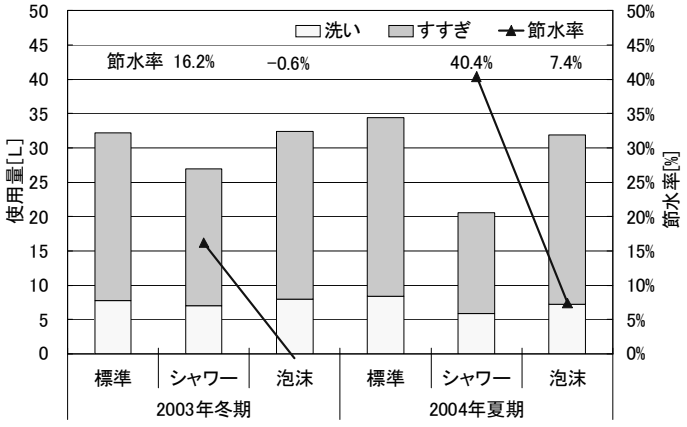


図 3.3.32 平均使用量

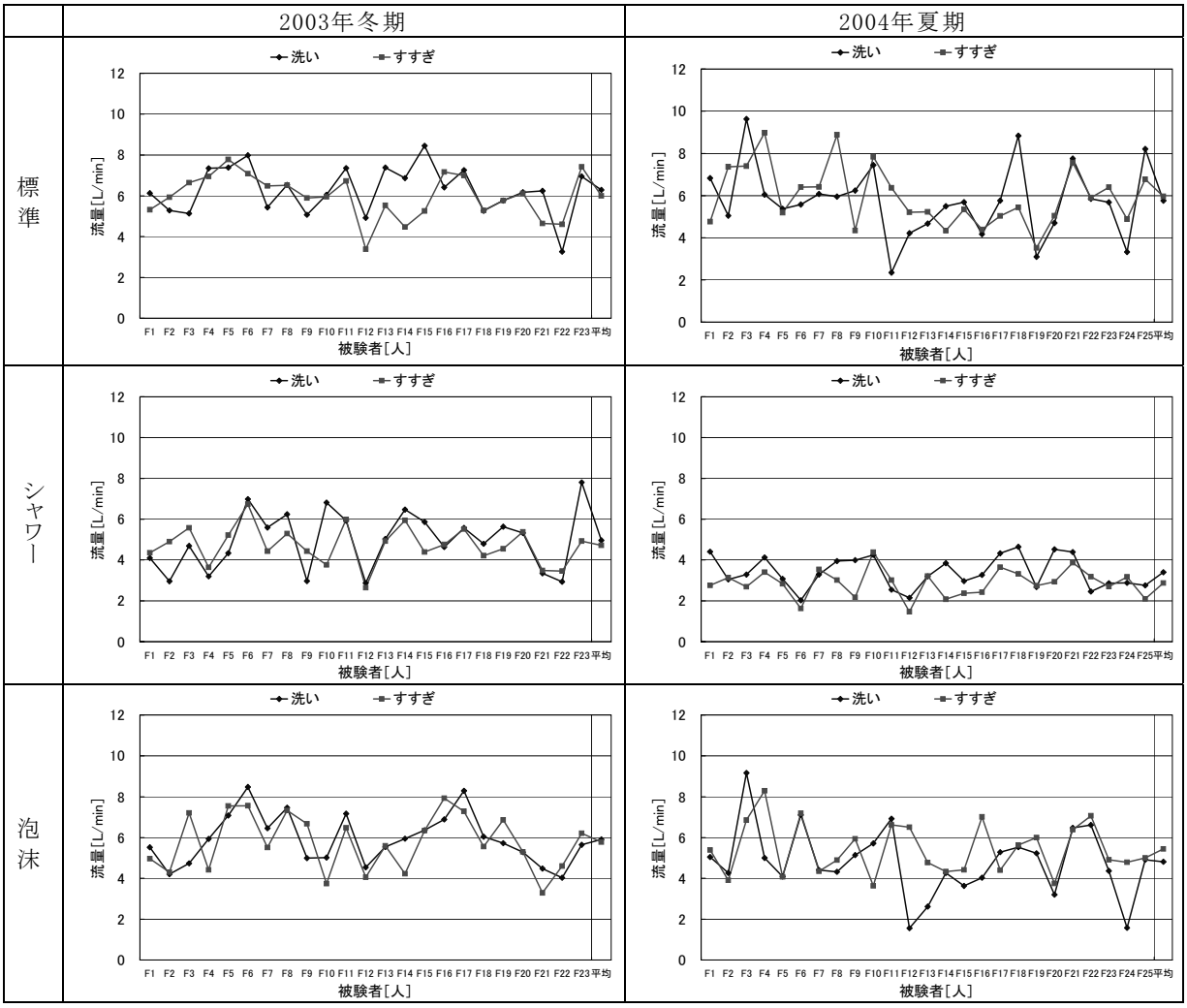
(3) 洗い桶の使用・不使用による比較

洗い桶による影響を検討するため、洗い桶の使用、不使用の被験者毎に平均値を算出した。図 3.3.29 に平均使用量、図 3.3.30 に平均流量、図 3.3.31 に平均湯温を示す。

また、平均値をまとめて表 3.3.31 に示す。使用量に大きな違いはないが、桶使用者の方が僅かに使用量が増加している。これは、桶に溜める湯量の比率が大きいためと思われる。

a 使用流量

表 3.3.29 被験者別使用流量



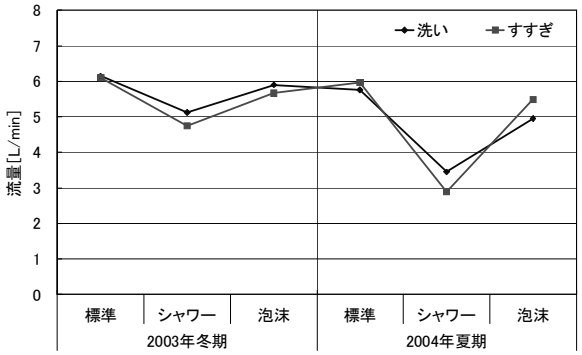


図 3.3.33 平均流量

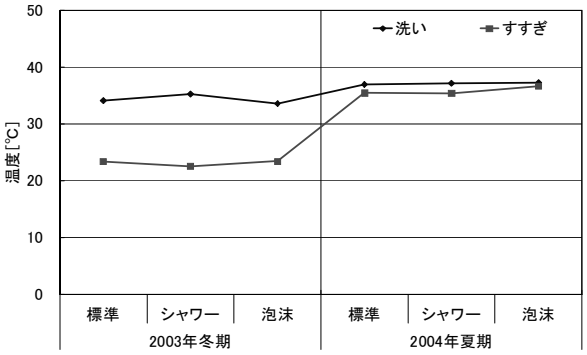


図 3.3.34 平均湯温

b 使用湯温

表 3.3.30 被験者別使用湯温

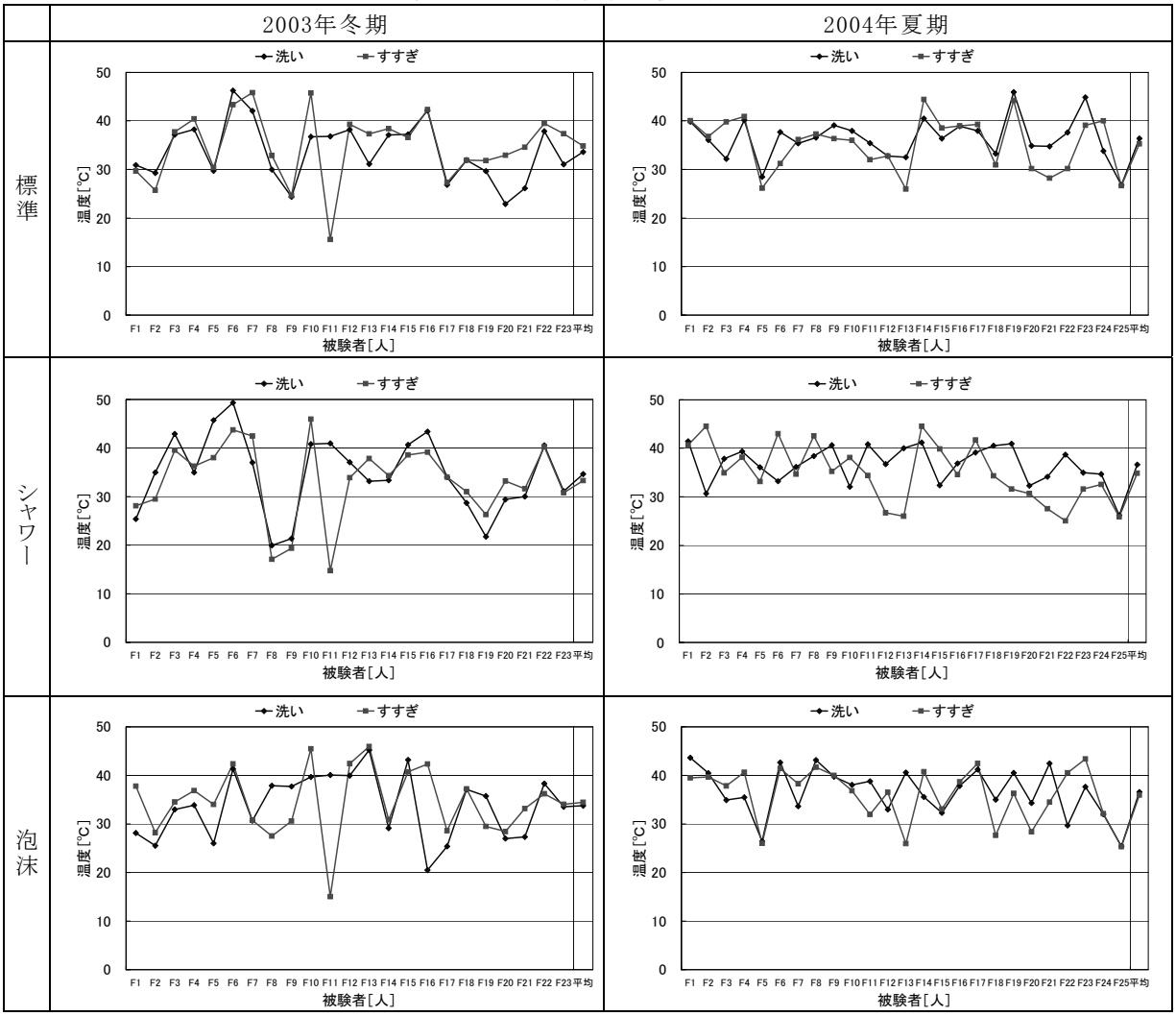


表 3.3.31 実験結果平均値

2003年冬期	桶使用者			桶不使用者		
	標準	シャワー	泡沫	標準	シャワー	泡沫
使用量[L]	32.6	27.7	33.4	30.7	24.2	28.8
流量[L/min]	5.8	3.2	5.1	6.3	3.1	5.7
温度[℃]	35.7	35.8	36.6	37.7	38.0	38.3
節水量[L]	－	4.8	−0.8	－	6.5	1.9
節水率		14.9%	−2.4%		21.1%	6.2%

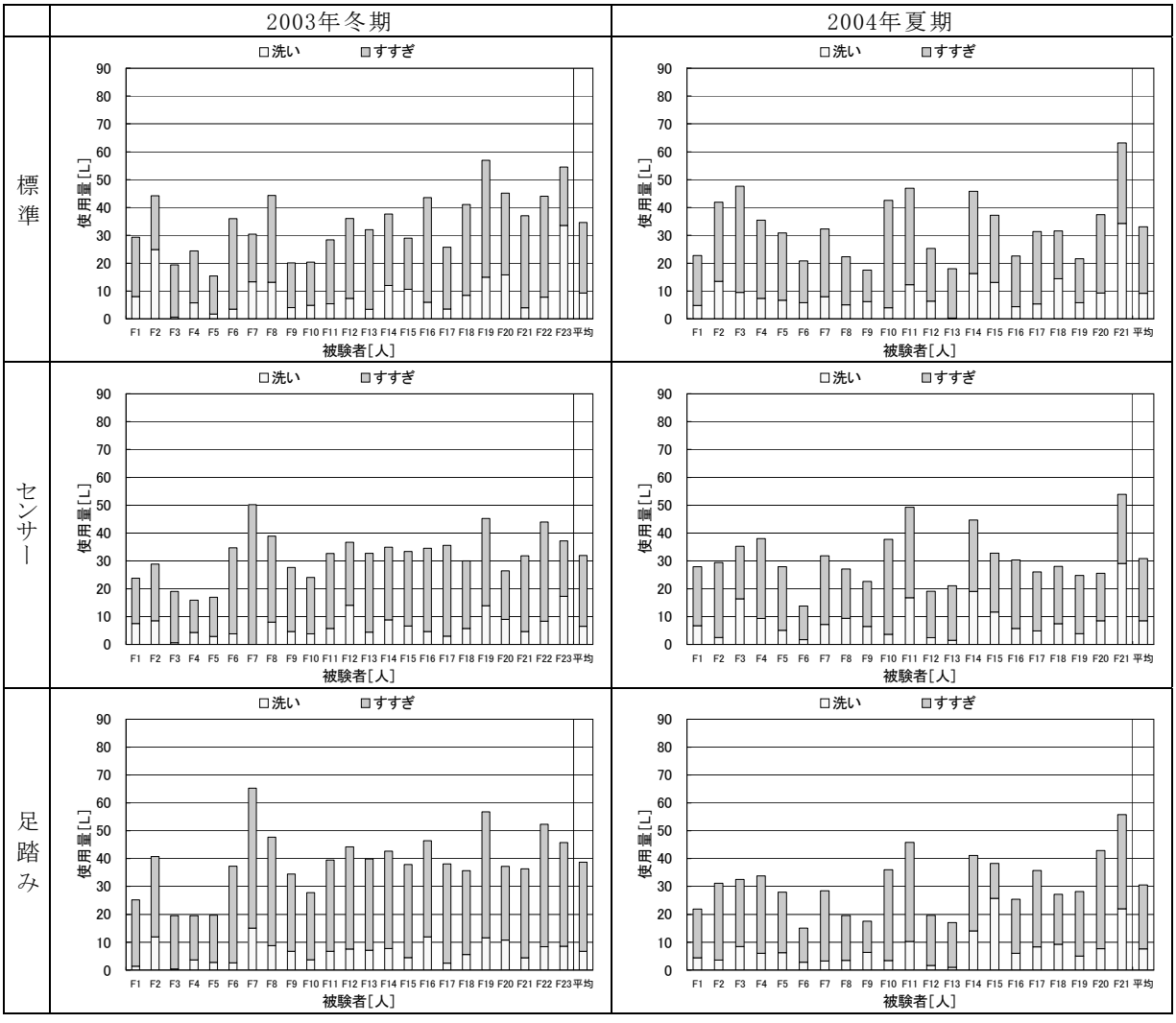
2004年夏期	桶使用者			桶不使用者		
	標準	シャワー	泡沫	標準	シャワー	泡沫
使用量[L]	35.5	20.7	31.7	34.1	20.5	31.9
流量[L/min]	6.0	5.0	5.6	6.4	4.3	5.6
温度[℃]	29.1	28.8	29.2	27.7	30.0	26.0
節水量[L]	－	14.9	3.8	－	13.6	2.2
節水率		41.8%	10.7%		39.9%	6.4%

(4) 止水方法による比較

止水方法ではセンサー式・足踏み式の評価を行った。被験者全員が機器を使い慣れていなかったため、不要時には出湯を停止するよう指示した。表 3.3.32 に被験者別の使用量、図 3.3.35 に使用量平均値を示す。

a 使用湯量

表 3.3.32 被験者別使用湯量



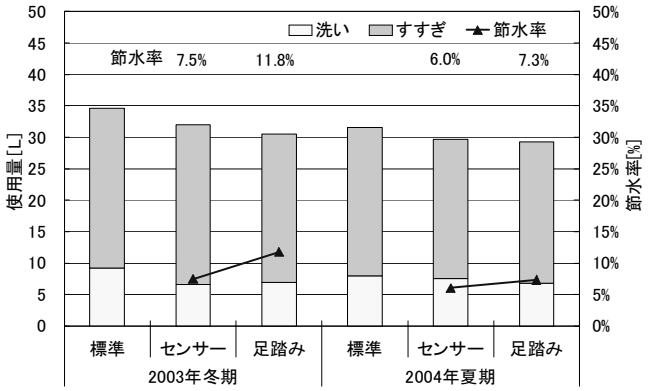
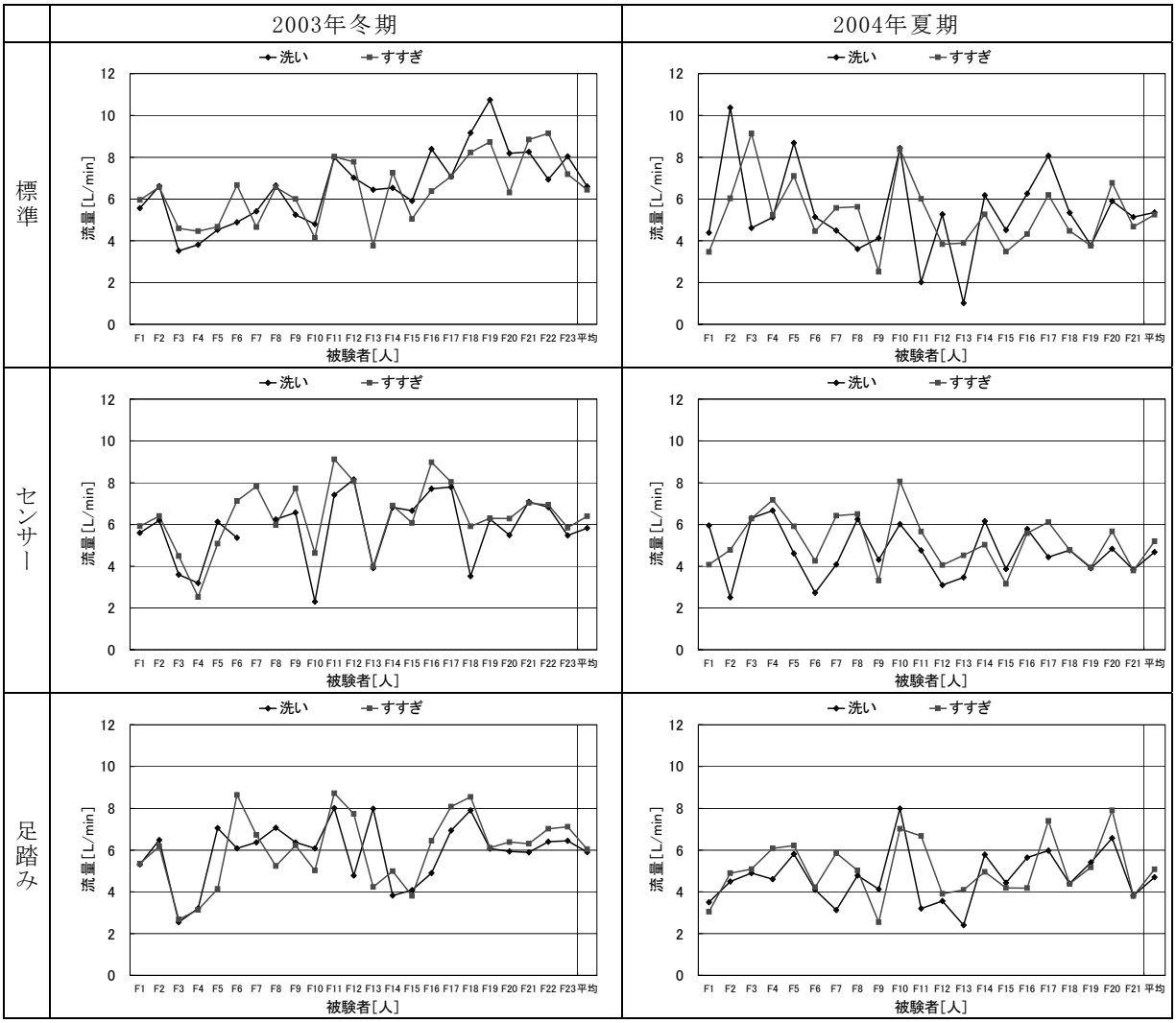


図 3.3.35 平均使用量

表 3.3.33 に被験者別の使用流量、図 3.3.36 に使用流量平均値を示す。表 3.3.34 に被験者別の使用湯温、図 3.3.37 に使用湯温平均値を示す。表 3.3.35 に平均値をまとめて示す。使用量ではすべてにおいてすすぎの使用量が多い。センサー、足踏みとも 5%程度の節水効果が確認できた。

b 使用流量

表 3.3.33 被験者別使用流量



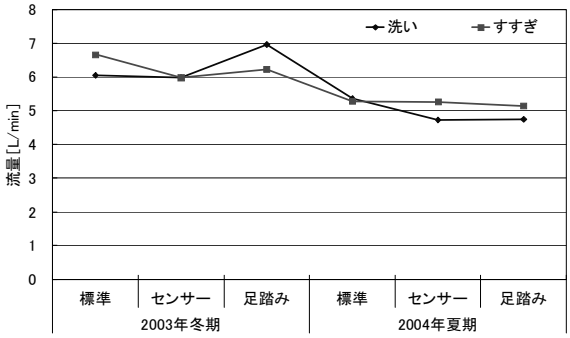


図 3.3.36 平均使用流量

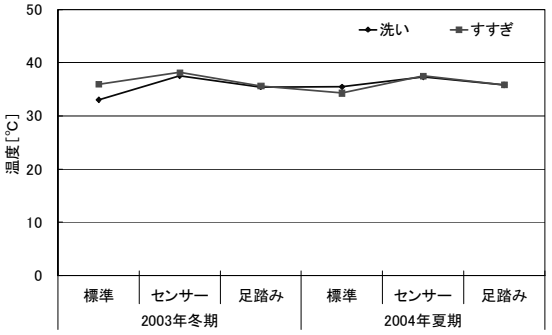


図 3.3.37 平均使用湯温

c 使用湯温

表 3.3.34 被験者別使用湯温

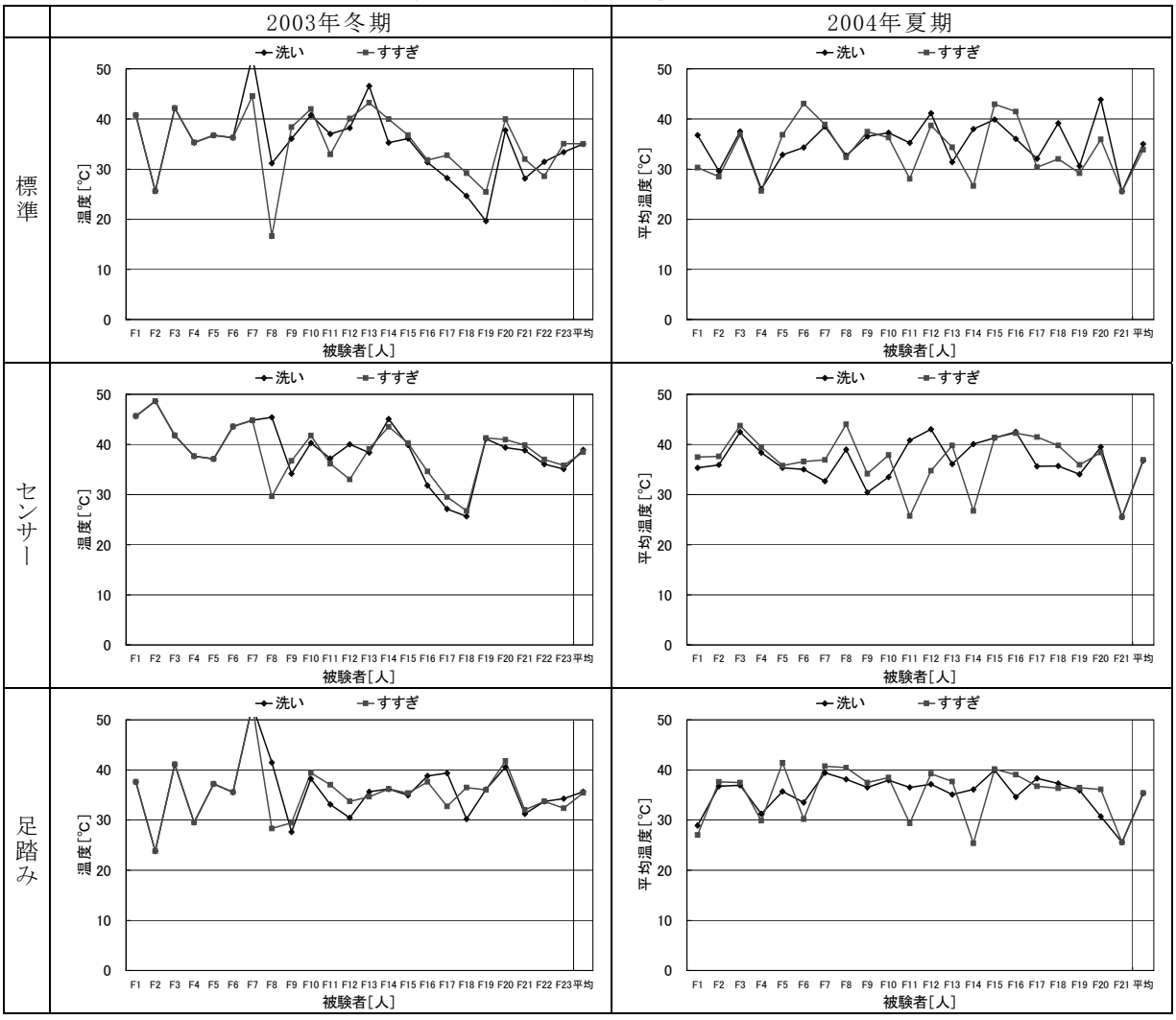


表 3.3.35 実験結果平均値

	2003年冬期			2004年夏期		
	標準	センサー	足踏み	標準	センサー	足踏み
使用量[L]	34.6	32.0	30.5	31.6	29.7	29.3
流量[L/min]	6.4	6.0	6.6	5.3	5.0	4.9
温度[℃]	34.5	37.9	35.5	34.9	37.4	35.9
節水量[L]	–	2.6	4.1	–	1.9	2.3
節水率		7.5%	11.8%		6.0%	7.3%

(5) 洗い桶の使用・不使用による比較

洗い桶による影響を検討するため、洗い桶の使用、不使用の被験者毎に平均値を算出した。図 3.3.38 に平均使用量、図 3.3.39 に平均流量、図 3.3.40 に平均湯温を示す。また、平均値をまとめて表 3.3.36 に示す。

吐水形状実験の場合と同様の傾向で、使用量に大きな違いはないが、桶使用者の方が僅かに使用量が増加している。桶使用者よりも、不使用者の方が節水器具による節水率が高い、特に足踏み止水での節水率が高くなっている。

(6) 節水器具の併用による効果

吐水形態実験と止水方法実験での節水率が良かったシャワー水栓、足踏み止水を併用し(以降、節水)、4 人分(44 点)の食器洗浄時の使用量、流量、温度について比較する。解析には平均±2σ内のデータから解析を行なう。使用した水栓は夏期実験と同様である。

実験前、吐水からの湯温を 40℃に設定して被験者に洗浄を行なってもらった。冬期実験ということで、設定温度を 26℃から 24℃と変更した。

洗いとすすぎの平均使用量を図 3.3.41、平均流量を図 3.3.42、平均温度を図 3.3.43 に示す。実験結果をまとめて表 3.3.37 に示す。節水量は 14.4L、節水率は 46.1%という結果となり、前項で節水効果があった器具を組み合わせることによって、より大きい節水効果が得られることが確認できた。

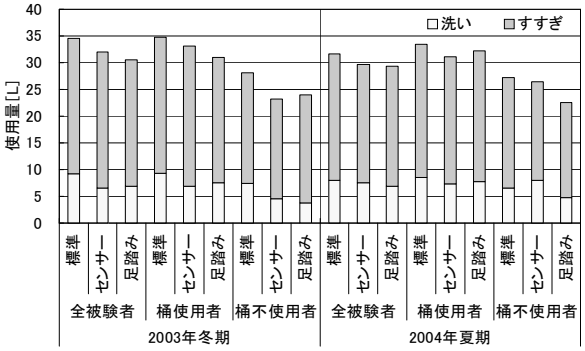


図 3.3.38 平均使用量

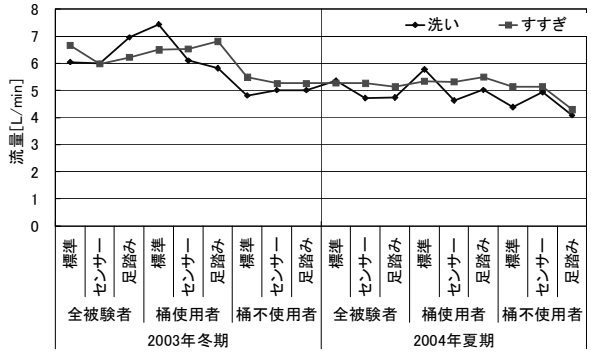


図 3.3.39 平均使用流量

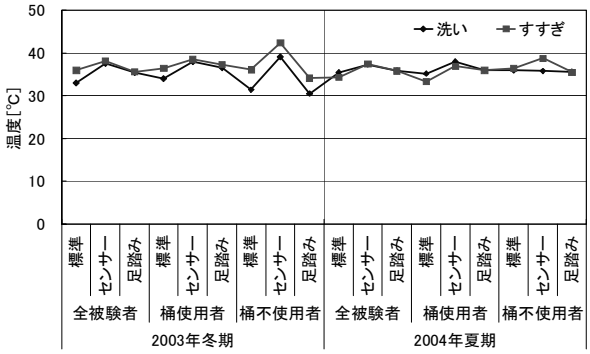


図 3.3.40 平均使用湯温

表 3.3.36 実験結果平均値

2003年冬期	桶使用者			桶不使用者		
	標準	センサー	足踏み	標準	センサー	足踏み
使用量[L]	34.8	33.1	31.0	28.1	23.2	24.0
流量[L/min]	7.0	6.3	6.3	5.2	5.1	5.1
温度[℃]	35.3	38.2	37.0	33.8	40.8	32.3
節水量[L]	–	1.7	3.8	–	4.9	4.1
節水率		4.8%	11.0%		17.4%	14.7%

2004年夏期	桶使用者			桶不使用者		
	標準	センサー	足踏み	標準	センサー	足踏み
使用量[L]	33.4	31.1	32.2	27.2	26.4	22.5
流量[L/min]	5.6	5.0	5.3	4.8	5.0	4.2
温度[℃]	34.3	37.5	36.0	36.3	37.3	35.6
節水量[L]	–	2.4	1.3	–	0.8	4.7
節水率		7.1%	3.8%		2.9%	17.2%

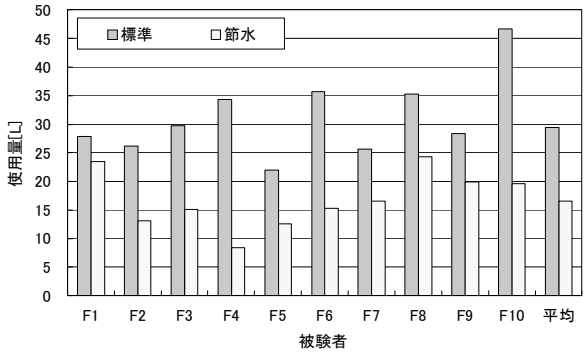


図 3.3.41 被験者別使用量

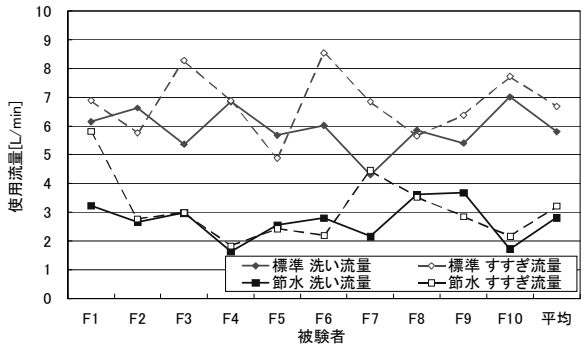


図 3.3.42 被験者別使用流量

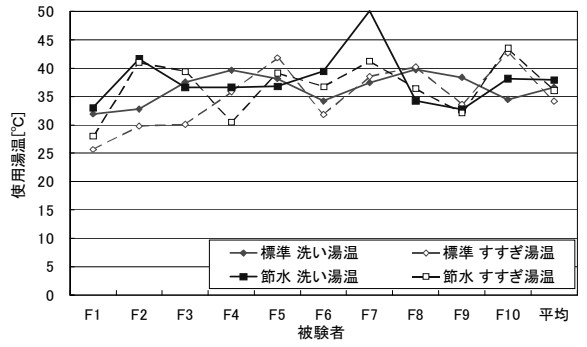


図 3.3.43 被験者別使用湯温

(7) 洗浄食器数による比較

洗浄を行う食器数による使用量の変化を確認した。洗浄した食器数は前項と同様の 4 人分(44 点)と、6 人分(66 点)である。使用した水栓は、ストレート吐水とシングルレバー止水で、洗浄する食器数以外は同じ条件で実験を行った。

被験者別の使用量を図 3.3.44、使用流量を図 3.3.45、使用湯温を図 3.3.46 に示す。実験結果をまとめて表 3.3.38 に示す。

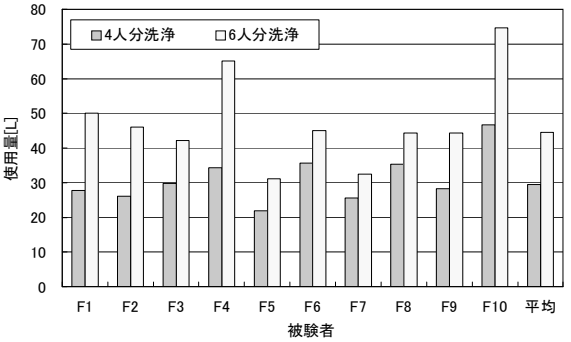


図 3.3.44 被験者別使用量

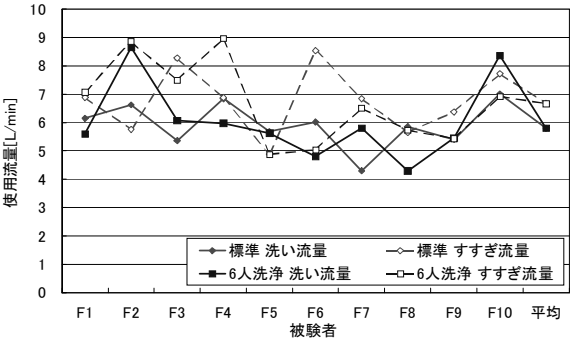


図 3.3.45 被験者別使用流量

表 3.3.37 実験結果平均値

2005冬期実験		使用水量[L]			流量[L/min]			湯温[℃]		
		洗い	すすぎ	平均	洗い	すすぎ	平均	洗い	すすぎ	平均
標準	平均	5.5	23.9	29.5	5.8	6.7	6.5	36.7	34.2	34.6
	標準偏差	2.9	5.0	4.8	0.8	1.2	1.0	2.9	5.4	4.7
節水	平均	4.5	12.0	16.5	2.8	3.2	3.1	37.9	36.1	36.4
	標準偏差	2.7	5.0	5.2	0.7	1.2	1.0	5.4	4.8	4.7
節水率		18.1%	50.0%	44.0%	51.6%	52.0%	52.7%	―	―	―

表 3.3.38 実験結果平均値

2005冬期実験		使用水量[L]			流量[L/min]			湯温[℃]		
		洗い	すすぎ	平均	洗い	すすぎ	平均	洗い	すすぎ	平均
標準4人分	平均	5.5	23.9	29.5	5.8	6.7	6.5	36.7	34.2	34.6
	標準偏差	2.9	5.0	4.8	0.8	1.2	1.0	2.9	5.4	4.7
6人分	平均	9.5	35.1	44.6	5.8	6.7	6.5	35.3	33.7	34.0
	標準偏差	4.9	10.5	9.9	1.2	1.5	1.5	5.2	6.0	5.8
4人分に対する比率		171.1%	146.6%	151.2%	100.1%	99.8%	98.6%	―	―	―

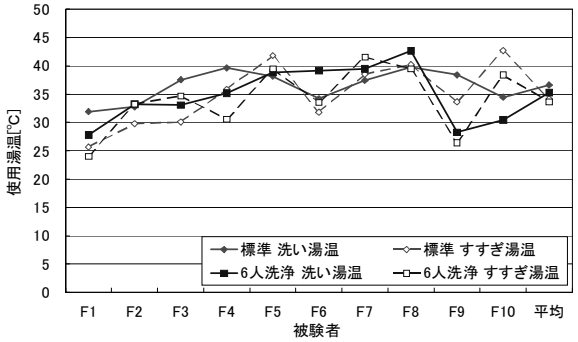


図 3.3.46 被験者別使用湯温

4 人分と6 人分では、食器数に比例して、使用量も約 1.5 倍の結果となった。使用流量、湯温に関しては、被験者により個人差があるが、大きな傾向は見られなかった。

(8) アンケート結果

全被験者に、実験前に自宅での台所水栓、給湯機の種類、および食器洗浄時の食洗機の使用、付け置き洗い、洗い桶の使用などに関するアンケートを行った。アンケート結果を表 3.3.39 に示す。止水方法は、2003 年はシングルレバーと 2 バルブ水栓が同数であったが、2004 年はほとんどが、シングルレバーであった。吐水形態はほとんどがストレート吐水であるが、シャワー吐水の被験者も多く見られた。

表 3.3.39 自宅での状況

		2003年	2004年
台所水栓	シングルレバー	26	22
	2バルブ	26	3
	その他	3	4
吐水形状	ストレート	23	19
	シャワー	9	4
	泡沫	1	3
食洗機	使用	2	3
	不使用	31	26
給湯器	ガス給湯機	32	22
	ガス瞬間湯沸器	1	3
	電気温水器	1	1
付置洗い	行なう	16	17
	行なわない	18	12
洗い桶	使用	22	23
	不使用	12	6

実験後に、実験で使用した水栓器具の使い勝手に関するアンケートを行った。アンケート結果を表 3.3.40 に示す。アンケート結果より、泡沫吐水、足踏み止水が使い勝手が良いとの申告が多かった。一方、節水効果の大きかったシャワー吐水は、使い勝手に関しては、良い評価が少なかった。シャワー吐水では、流量を大きくすると水はねが気になるためだと思われる。

表 3.3.40 使い勝手が良い申告数

実験名	水栓種類	2003年	2004年
吐水形状	標準型	22	8
	シャワー	14	3
	泡沫	20	15
止水方法	標準型	21	3
	センサー	22	9
	足踏み	22	11

3) 食器洗い乾燥機の効果把握

(1) 実験概要

食器洗い乾燥機を用いて食器洗浄を行ったときの使用水量・電力の評価を行った。評価対象とした食器洗い乾燥機には数種類のモードが用意されており、洗い行程に標準モード・節水モードが、乾燥行程に乾燥・送風などのモードがあるが、「標準」のモードで運転を行い、使用水量・使用電力・給湯温度などを測定した。「標準」のモードに乾燥時間が連動して設定されない機種は、乾燥時間を他の機種を同じ 30 分とした。

機器は 3 機種を使い実験を行なった。比較したケースとしては、4 人分(44 点)、または 6 人分(66 点)の洗浄である。食器の設置状況を 4 人分を図 3.3.47、6 人分を図 3.3.48 に示す。

食器の汚し方は食器洗浄実験同様、ベターリビング食洗機性能指標に基づき汚した。実験は、神奈川大学給湯実験室において行なった。初期設定としては、給湯機の設定温度を 60℃とし、湯だけ出湯し、捨て水のない状態にしてから行なう。実験室内は、エアコンにて 22℃設定で暖房を行なった。

(2) 実験結果

a 動作状況

実験を行った 3 機種の使用流量・湯温、消費電力量変動を表 3.3.41 に示す。機種により

洗浄速度の違いがありA社に比べ、B社は約1/2 の時間で洗浄、乾燥が終了した。食器数の違いによる使用流量・湯温、消費電力量変動の明らかな違いは見られなかった。

b 使用湯量、消費熱量

水温を中間期の 15℃と仮定し、使用温度との差から給湯機の効率を1とした場合の熱量として、出湯熱量を求め、これに積算電力量と足したものを消費熱量とした。使用湯量を図 3.3.49、消費熱量を図 3.3.50 に示す、また表 3.3.42 にまとめて結果を示す。本実験では、標準モードに関しての実験しか行っていないが、使用湯量は約 12L で、機種により10%程度の差はある。食器数による差は、C 社の使用湯量が6 人分洗浄の場合多少増加しているが、この差異が食器数によるものかは明らかではない。その他は食器数による差異はほとんどない。

消費電力量は、機種によって50%程度の差があるが、食器数による差はほとんどない。使用湯量と消費電力量を加えた消費熱量では、機種により25%程度の差があった。



図 3.3.47 食器設置状況(4人分)

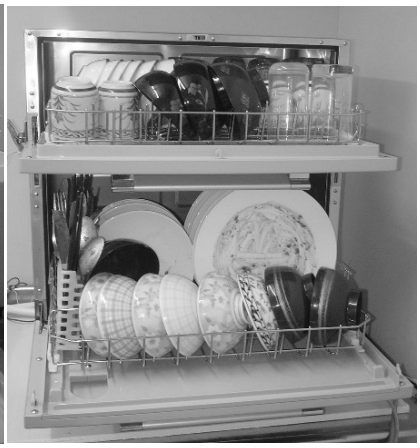


図 3.3.48 食器設置状況(6人分)

c 手洗いとの比較

比較対象とする被験者の手洗いによる食器洗浄実験結果も同様に、水温を中間期の 15℃、給湯機の効率を1と仮定し、出湯熱量を算出した。手洗い実験は、冬期と夏期に行なったが、使用量、湯温などに季節による差異がほとんどなかったため、食洗機の実験を行った時期に近い 2005 年冬期実験の結果を使用した。食洗機実験と手洗い実験での、4 人分洗浄における使用湯量を図 3.3.51、6 人分洗浄の結果を図 3.3.52 に示す。

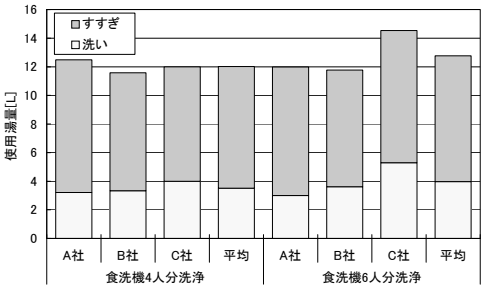


図 3.3.49 食洗機使用湯量

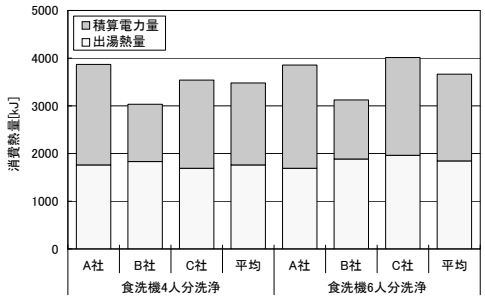


図 3.3.50 食洗機消費熱量

また、手洗い(標準)に対する使用湯量の割合も併せて示す。各実験での 4 人分洗浄における消費熱量を図 3.3.53、6 人分洗浄の結果を図 3.3.54 に示す。表 3.3.43 に結果をまとめて示す。

手洗い(標準)に対する食洗器の使用湯量は4人分洗浄で 36%、6 人分洗浄で 27%であった。手洗い(4 名分)に対する食洗機の消費熱量は 129%、乾燥を除くと116%であるのに対し、手洗い(6 名分)に対する食洗機の消費熱量は 95%、乾燥を除くと87%、機種によっては、70%以下の消費熱量となった。

食洗機には、洗浄モード(節水、スピーディ)、乾燥時間の調整などがあり、使用方法によっては、更なる節水、消費熱量削減が可能である。適正な食器数、

表 3.3.41 給湯流量・消費電力

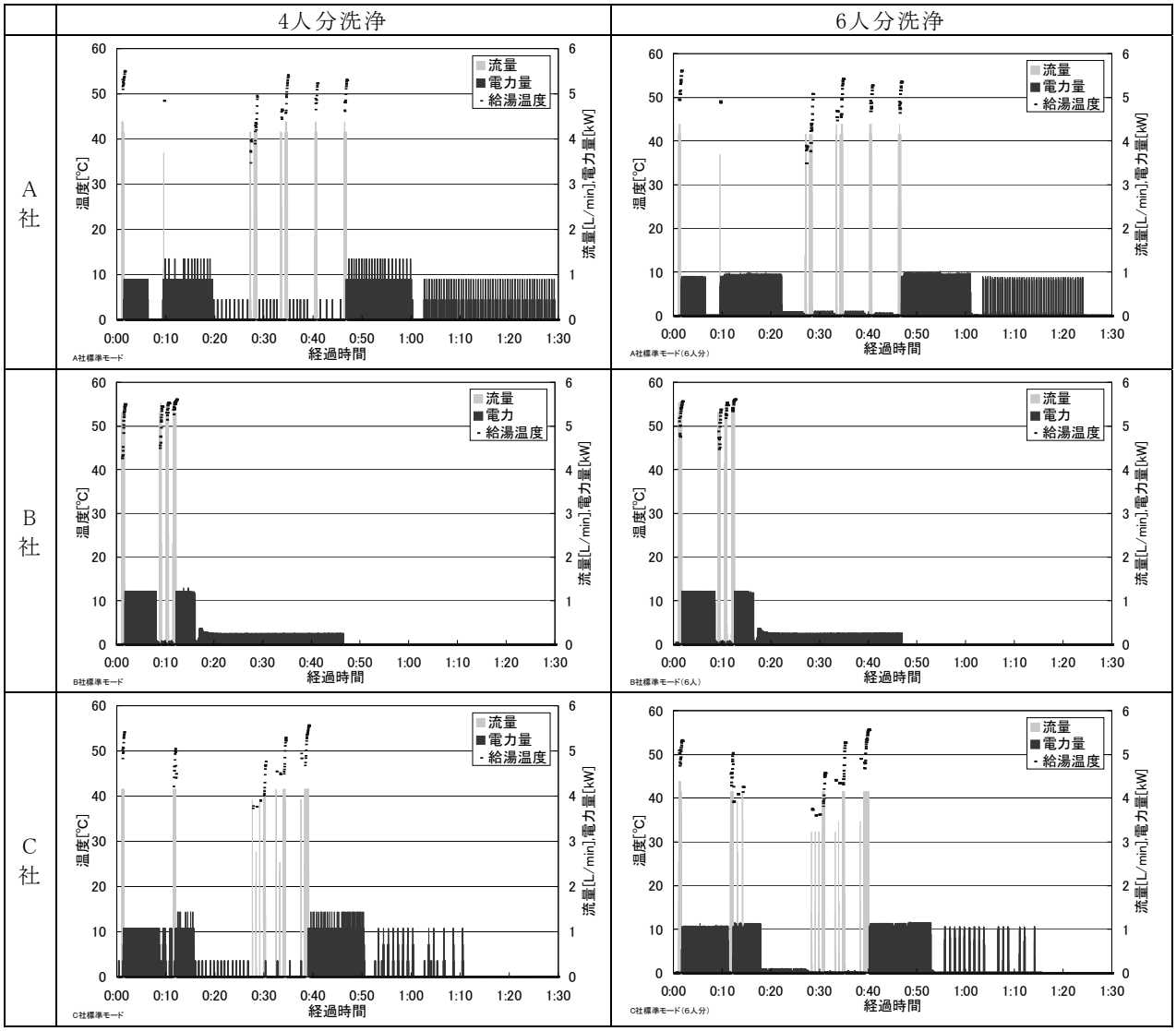


表 3.3.42 食洗機実験結果

		食洗機4人分洗浄				食洗機6人分洗浄			
		A社	B社	C社	平均	A社	B社	C社	平均
平均周囲気温	[℃]	25.2	25.9	26.0	25.7	24.5	23.8	22.6	23.6
平均周囲湿度	[%]	33.0	33.1	34.6	33.6	17.6	17.7	16.2	17.2
使用湯量	[L]	12.5	11.6	12.0	12.0	12.0	11.8	14.5	12.8
平均給湯温度	[℃]	48.7	52.8	48.7	50.1	48.7	53.3	47.3	49.7
積算電力量	[kWh]	0.59	0.33	0.51	0.5	0.60	0.34	0.58	0.5
	[kJ]	2110	1202	1847	1720	2164	1237	2051	1817
出湯熱量	[kJ]	1760	1832	1692	1761	1691	1885	1964	1847
合計消費熱量	[kJ]	3870	3034	3539	3481	3855	3122	4015	3664
合計消費熱量(乾燥なし)	[kJ]	3456	2590	3348	3131	3525	2668	3843	3345

洗浄モードで食洗機を使用することによって、手洗いよりも消費熱量削減が可能である。今回の検討では、給湯機の効率、節水による省資源・CO2 排出量削減などは考慮していないが、食洗機による使用湯量の削減効果は大きい。また、高温洗浄による殺菌、洗浄・乾燥の手間、時間節約効果も考慮すべきである。

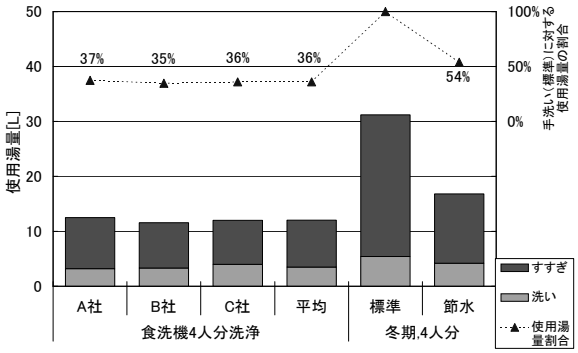


図 3.3.51 4人分洗浄時使用湯量

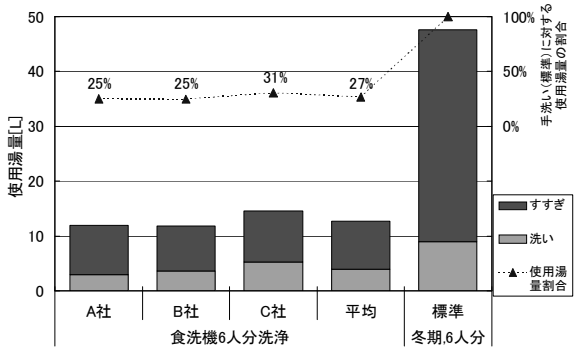


図 3.3.52 6人分洗浄時使用湯量

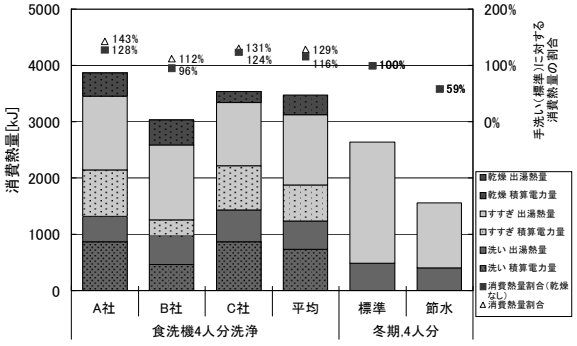


図 3.3.53 4人分洗浄時食洗機と手洗いの消費熱量比較

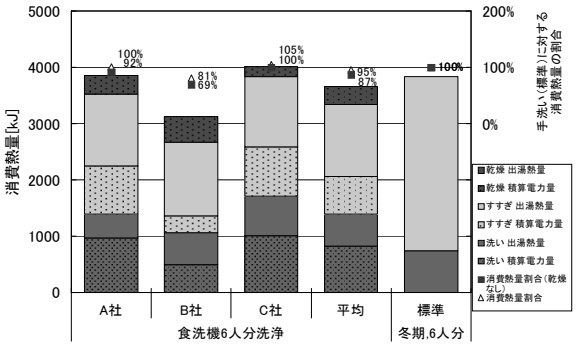


図 3.3.54 6人分洗浄時食洗機と手洗いの消費熱量比較

表 3.3.43 食洗機と手洗いの比較

2005冬期実験		4人分洗浄			6人分洗浄		
		手洗い標準	食洗機平均	手洗いに対する食洗機の割合	手洗い標準	食洗機平均	手洗いに対する食洗機の割合
使用湯量	[L]	31.2	12.0	39%	47.6	12.8	27%
平均給湯温度	[℃]	34.6	50.1	–	35.7	49.7	–
積算電力量	[kWh]	–	0.48	–	–	0.51	–
	[kJ]	–	1720	–	–	1817	–
出湯熱量	[kJ]	2647	1761	–	3840	1847	–
消費熱量	[kJ]	2647	3481	132%	3840	3664	95%
消費熱量(乾燥なし)	[kJ]	2647	3131	118%	3840	3345	87%

(3) まとめ

本研究ではシャワー実験として、サーモスタット混合水栓の湯温・流量調整に要する捨て水量削減効果把握実験と、手元止水機能付シャワーヘッドの節湯効果の把握をした。食器洗い実験では足元止水機能付水栓、センサー式自動水栓の節水効果把握実験、シャワー吐水、泡沫吐水の形態の違いによる節水効果の把握実験を行なった。併せて食器洗い乾燥機による使用湯量、消費エネルギー量の測定を行い、被験者実験による手洗いとの比較を行った。

サーモスタット付きシャワー混合水栓による捨て水削減効果把握実験では、2003 年は捨て水量は 2 バルブで 5.1L、サーモ付で 3.9L であった。節水量は 1.2L で 23.9%の節水効果が得られた。2004 年は捨て水量は 2 バルブで 7.7L、サーモ付で 7.1L であった。節水量は 0.5L で節水率は 6.6%であった。2004 年、2003 年共に男女差は見られなかった。実験室の給湯設備の違いから、捨て水量の違いはあるが、何れの場合もサーモ付きを使用することによって、湯温・流量調節 1 回当たり 1L 程度の節水効果が得られることが分かった。

手元止水機能付きシャワーヘッドによる節水効果比較実験では、2003 年の平均使用量は冬期標準型 50.5L、夏期 45.3L、止水型は冬期 35.7L、夏期 33.8L であった。節水量としては冬期 14.8L(29.4%)、夏期 11.5L(25.4%)となった。2004 年の平均使用量は冬期標準型 61.1L、夏期 58.6L、止水型では冬期 46.5L、夏期 38.6L であった。節水量としては冬期 14.6L(24.0%)、夏期 20.0L(34.1%)となった。全期間平均では、標準型使用量 53.9L、止水型使用量 38.6L で、節水量 15.3、節水率 28.3%であった。季節、シャワーヘッドの種類による節水効果への影響は見られなかったが、男女別で見ると使用量の多い男性の方が、節水効果が 15%程度大きかった。行為別でみると髪と体の使用量が多く、節水効果も大きい結果であった。

台所水栓での食器洗浄手洗い実験では、センサー、足踏み止水によって約 8%の節水、泡沫吐水で約 6%、シャワー吐水で、約 40%の節水となった。節水器具の組み合わせ(足踏み止水＋シャワー吐水)では、約 50%の節水となった。また、夏期と冬期では、使用湯量にほとんど差がない。4 人分洗浄に対して、6 人分では約 1.5 倍の使用湯量となった。

食洗機における 4 人分の食器洗浄においては、使用湯量、消費熱量ともに B 社が省エネルギーであった。しかし、手洗いに比較すると使用湯量は低いものの、消費エネルギー量に換算するとどの食洗機もエネルギーがかかっている。食洗機における 6 人分の食器洗浄においては、使用湯量はA社、B社、消費熱量はB社が省エネルギーであった。手洗いとの比較では手洗いの消費熱量は増加しているのに対して。食洗機にはあまり差が出ていなかった。この結果、食洗機の省エネルギーが望める結果となった。食洗機において、4 人分では、手洗いのほうが省エネルギーであり、大家族(6 人分)の食器数以上であれば省エネルギーになることが分かった。

今後は、鍋などの調理器具の洗浄において、手洗いと食器洗浄機の効果はどのようなものか検討が必要と思われる。また今回の手洗いの使用湯量は、日本電気工業会基準に比べると 1/4 程度であり、手洗い実験の被験者は、実験に協力してもらえたということから、節水に意識がある被験者が多いことも予想されるため、手洗いの平均的な使用量については、今後も検討する必要がある。

(近藤武士)

※日本電気工業会基準:45点(6人分)で予洗い5L、洗い桶5Lで洗い、すすぎ6.5L/minで16.1分とされており、合計115Lとなる。

参考文献

1)鎌田元康ほか 5 名:住宅用給湯設備の使用感に関する実験的研究(第 3 報)シャワーヘッド散水板・洗髪に関する検討および湯使用時の生理反応,空気調和・衛生工学会論文集 No.48,pp.59～72,1992.2
2)近藤武士,鎌田元康ほか 3 名:シャワーヘッド散水板の設計法に関する研究 穴径・散水角が適流量、快適感に及ぼす影響,日本建築学会計画系論文集, No.563,pp61-67, 2003.1

本委員会に関係する論文

1)近藤武士,岩本靜男,他 4 名,節水・節湯器具の評価に関する研究(その 1)サーモスタット付混合栓による効果,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, P467-468,2003.9
2)布野裕子,近藤武士,岩本靜男,他 2 名,節水・節湯器具の評価に関する研究(その 2)手元止水機能付シャワーヘッドによる効果,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊,P469-470,2003.9
3)近藤武士, 布野裕子,岩本靜男,市川憲良,鎌田元康,節水・節湯器具の評価に関する研究(その 3)節水シャワー水栓による夏期・冬期被験者実験,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊,P571-572, 2004.8
4)布野裕子,近藤武士,岩本靜男,鎌田元康,節水・節湯器具の評価に関する研究(その 4)食器洗浄における冬期被験者実験,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊,P573-574,2004.8

3.3.3 追焚・自動保温による消費エネルギー

1) はじめに

これまで住宅の給湯システムに関するアンケート調査でも、浴槽の残り湯の追焚利用は一般に用いられており、需要も多い。給水を加熱して給湯栓まで配管で運ぶ通常の給湯と異なり、追焚では浴槽からの湯を循環して温めるため、給湯系統とは別系統となる。残り湯利用だけでなく、浴槽に湯を張った後の湯保温にも用いられるため、区別して扱わなければならない。

実験室実験に用いられる給湯スケジュールには追焚は含まれずに差し湯のみが扱われている。追焚機能を有しない深夜電力を利用して電気ヒーターで加熱する電気温水器を熱源とする場合は高温差し湯となる場合が多い。

研究計画立案の際に給湯スケジュールにこの追焚機能をどう取り入れるかが課題となった。まずは、「浴槽の残り湯利用を翌日利用して入浴する」場合と「浴槽に湯を張った後の湯保温」の場合とに分離して扱うことが重要である。さらに後者は「居住者が自らボタンを押して追焚する」場合と「給湯システムが自動的に浴槽の湯温を調整する」場合とに分けられる。

これらの追焚に要するエネルギーを算定するには、前者では前日の残り湯が入浴準備時刻で何度に降下するか、湯張りは何Lになるのか等が入力条件として必要であり、後者では自動湯温保持機能の制御特性が入力条件となり得る。しかし、既往の研究では追焚のエネルギー消費を扱った例は皆無に等しく、その実態も明らかではない。

そこで、そこで手始めとして、この A2 小委員会に参加されている委員に自身の追焚利用と自社製品の追焚機能についてアンケートを行った。その結果より、シミュレーションで追焚・自動保温による消費エネルギーを算出するための基本的な設定条件が得られた。

次いで、熱源から浴槽に至る配管の熱損失を試算した。3.2.2 と同様に考察することにした。その結果、配管からの熱損失は、追焚・自動保温による熱源出力に比較して極めて小さいことがわかった。この消費エネルギーは、熱源の消費エネルギー特性が支配的であることが示された。

浴槽における湯温の降下についても、資料[1)]があるものの、実際の住宅における実測データ等は見つからない。また、上記の熱源の消費エネルギー特性については、計算モデルとしてガス給湯機の計算モデルを応用できると思われるが、計算結果の検証に用いることのできる実験・実測データが極めて乏しいために計算モデルの改良すら困難である。

以上のような状況から、追焚・自動保温による消費エネルギーの妥当なシミュレーションを構築するまでには至らなかった。本節では、2002 年度のアンケートによる検討と 2004 年度の配管からの熱損失の検討を示すにとどめることとする。

2) アンケート調査

本 A2 小委員会に参加されている各委員に自身の追焚利用と自社製品の追焚機能についてアンケートを行った。特にシミュレーションの入力条件として重要な項目を吟味して選び、記述方式で自由回答をお願いした。追焚利用実態についての結果を表 3.3.44 に、追焚機能に関する結果を表 3.3.45 ににそれぞれ示す。

省エネルギーに関心の高い回答者による限定されたアンケートではあるが、前者の追焚利

用実態調査から、

・単身世帯ではほとんど利用されていない。
・自動湯張り機能のある場合は常時利用されていると見てよい。
・冬期の給湯温、自動湯張りの浴槽湯温、保温設定とも41～42℃で世帯差は小さい。
・給湯温は季節によって変更する世帯が半分であった。
・入浴後、浴槽のふたは閉める、浴室内は換気する世帯がおよそ半分である。

後者の追焚機能については、利用頻度の高いガス機器に関する回答はないが、

・追焚用配管は銅管と樹脂管の両方使われている。
・湯温検査の頻度は10～30分に一回で、継続時間は3～12時間である。
・追焚開始条件は上記の頻度が30分の場合は設定温度のみで判断しており、10分程度の場合は設定温度より0.6～2℃低下で判断している。
・供給湯温は最大で60℃程度。
・加熱時の湯量と湯温は配管とポンプの条件に依存し、制御されていないことが多い。

などがわかる。機器によって追焚をスケジュールに設定する場合に考慮する必要のある項目が明らかになった。

表 3.3.44 風呂利用と追焚についての実態調査アンケート結果の概要

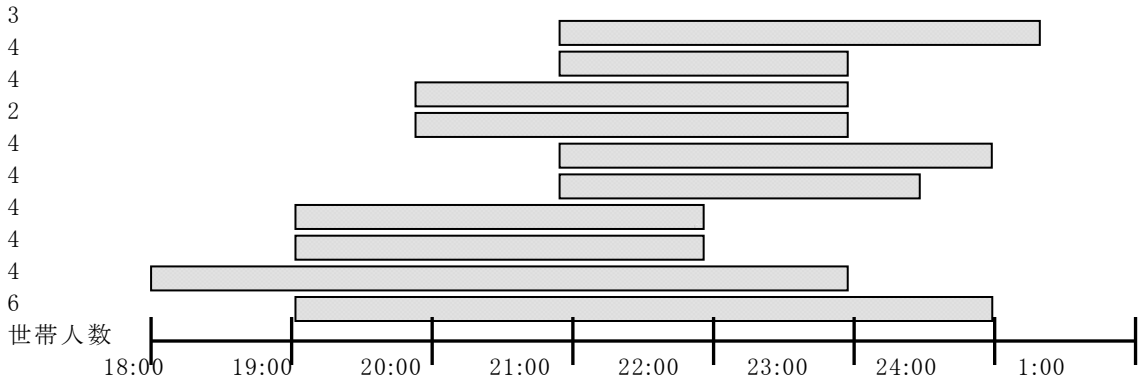
実施日:2002年11月20日	対象:A2部会委員全員 有効回答数22
世帯人数等	平均人数3.0人、2人世帯4、単身世帯4
住戸形態	戸建8名、集合住宅9名、無回答5名
浴槽の方位	方位N7、中央3、東西4(2+2)、無回答8
給湯の熱源	ガス13＋太陽熱併用2、電気2、石油2
給湯温度の設定値	平均41.7℃
給湯温度の変更	**無回答5** ほぼ同時期に必ず変更する**0**／気がついたとき変更する**11**／ほとんど**3**／まったく変更しない**1**
自動湯張り機能の有無	ある 12名 ／ ない 9名 無回答1
ある場合の設定湯温	平均41.5℃
自動湯温調整機能の有無	ある 11名 ／ ない 10名 無回答1
ある場合の設定湯温	平均41.6℃
残り湯を追い炊きする頻度	週に平均2.8 回 追い炊きしない10名、不定期1名、毎回1名
湯張りしてから家族全員の入浴が終るまでの時刻	
・浴室の換気扇の運転	無回答8名、基本的に入浴後に換気ON、全員入浴終了後に10～15分、1～2時間、朝まで換気、インターバルもON1名、換気無し2名、常時1名、バス乾燥ユニット+5時間のタイマー設定1名
浴槽のふたをどう使うか。	11名は入浴後にふたを閉める。アルミシート使用1名。無回答11名。

表 3.3.45 追焚機能についての製品アンケート結果の概要

項目	A社	B社	C社	D社	E社
熱源	石油	電力	深夜電力	電力	深夜電力
残り湯の追い炊き					
残り湯量の検査方式	半導体式圧力センサー(フルオートタイプ)	水位センサー	水位センサー	水位(圧力センサー)	循環ポンプにて風呂循環回路を循環。
差し湯と追焚の順序	湯をさしてから追焚(フルオートタイプ)	給水／給湯後に追焚	追焚してから差し湯	追焚してから差し湯	設定温度まで追焚
追焚停止条件	ふろ湯温が沸き上げ設定温度になった時点で停止	風呂自動運転では風呂設定温度／単独時ではその時点の風呂温度の最大＋2℃	設定温度になったとき	設定湯温に達したとき	設定温度＋1℃に循環温度が到達した場合
追焚用配管種	パックチューブ(φ12.7銅管)または15A樹脂製ペアホース、PE管	樹脂管内径10mmまたは、銅管外形12.7mm	樹脂管、銅管	配管は工事業者により異なる。(機器本体内は銅管)	施工業者による。樹脂管又は銅管15A相当。
自動湯温調整について					
湯温検査の頻度	瞬間式は20分に1回、瞬間貯湯式は30分に1回	自動湯張り時は完了まで随時/保温運転時は30分に1回	およそ10分に1回	およそ10分に1回	およそ10～20分に1回
湯温を検査する時間帯	沸き上げ後 4時間程度／ONの間連続	風呂自動運転時の湯張り完了後、最大3時間	湯張り後最大12時間程度／ONの間連続	湯張り後 4時間程度	自動保温モード設定の間中(0～6時間)
湯温検査方法	ポンプでふろの湯を循環して温度センサーで検知	風呂湯を循環し、その温度を風呂温度と認識	温度センサー	本体内の浴槽湯循環配管に設けた 湯温センサ	温度サーミスターで風呂循環温度を検知
追焚開始の限界温度	ふろ湯温が沸き上げ設定温度未満のとき、自動保温を実行	保温運転時風呂設定温度に達しているか否かで判断	0.6℃	設定湯温より1～2℃降下した時	設定湯温の－2～－1℃で追焚開始
湯温上昇の加熱における供給湯温の温度	ふろ湯温により約20℃～50℃の範囲	風呂温度に対して約16～20℃上昇分	60℃	追焚熱交換器一次側60～70℃。	通常60℃程度
湯温上昇の加熱における循環湯量と供給湯温の制御方法	制御なし。機器と浴槽の配管、浴槽の設置状況により成り行き	循環湯量は配管長と循環ポンプに依存、供給温度は熱交換器能力に依存	循環湯量は配管長とポンプ能力に依存、供給湯温は保温ヒーターのON－OFF時間に依存	急速追焚では最大流量／マイルド追焚では最大後熱交換機温度で制御	タンク内の熱交換器との循環湯量を可変、60℃前後の湯温に制御

※E社のみ高温差し湯があり、定量の差し湯であった。

3) 追焚・自動保温による消費エネルギーの試算

まずは 3.2.2 と同様に配管による熱損失の試算を行う。保温性の低いさや管＋13A 架橋ポリエチレン管について検討する。線熱通過率は 0.56W/mK である。

自動保温の場合を想定すると、往き管は浴槽内水温、戻り管は表 3.3.45 より浴槽内水温より 15℃以上高い湯温となる。流量はおよそ 5～7L/分と想定される。そこで、浴槽内水温を 38℃、戻り湯温を 15℃高い 53℃と想定する。配管は10℃の床下空間を通るものとして、配管からの熱損失 qは、配管長さを 3.0m と想定して、q＝3.0×0.56×{(53－10)＋(38－10)}＝119 W となる。一方、熱源の出力は、15℃差で流量 6.0L/分とすると、W=4.186×15×6.0×1000/60＝6,279 Wとなる。配管からの熱損失はわずかに 2%程度である。

追焚の場合は浴槽内の水温は浴室気温程度までに低下しており、配管内の湯温は往復とも上記より低下することになり、熱損失も低下する。よって、消費エネルギーにおける配管の熱損失は決して大きくはないことがわかる。

すなわち、追焚や自動保温による消費エネルギーは主として熱源の消費エネルギーに依存することがわかった。

4) まとめ

追焚・自動保温の利用状況は概ね捉えることができたと思われる。給湯のスケジュール等に組み込むことは可能である。また、熱源の制御状況も概ね把握することができた。しかし、消費熱量を算定する計算モデルを構築するには、

・浴槽の熱損失から槽内湯温降下を計算できるが、熱損失に関する資料が必要である。
・熱源の計算モデル構築のためには、検証も含めて、十分な計測・実験結果が必要である。

の 2 点が不足しており、十分妥当な計算モデルを構築するには至らなかった。今後の課題としたい。

（岩本靜男）

参考文献

1)清水則夫・他、住宅の省エネルギー化に関する研究 浴槽蓋の保温性能について、日本建築学会大会講演梗概集、2002 年, D-2 分冊, pp.187-188.

3.3.4 給湯消費エネルギー年間シミュレーション

1) はじめに

住宅全体の消費エネルギーの1/3以上を占める給湯による消費エネルギーをシミュレーションによって算定する方法を構築し、年間にわたって、世帯人数別と戸建・集合住宅別について計算を行い、その結果について考察することで、給湯消費エネルギーの削減方法を調査することが目的である。

住宅の給湯システムは、単純には熱源、配管システムで構成される。また居住者による給湯要求に応じてシステムが稼動するため、給湯スケジュールを妥当に設定する必要がある。

熱源としては、ガス瞬間式給湯機の通常型と潜熱回収型及びヒーター利用の貯湯槽を用いる。ガス瞬間式給湯機については王[1)]による計算モデルを基に、年間の多様な水温条件に応じるように改良した計算モデルを用いた。貯湯槽については浅野[2)]による計算モデルを基に、実験結果と一致するように改良した計算モデルを用いた。

管システムの計算モデルは、岩本[3)]によるものを採用し、浴槽を除いて給湯栓計算モデルを組み込んだものである。

年間に及ぶ給湯スケジュールの設定は、3.3.1 で示される、30 日間の給湯モードに基づき、年間±15%の季節変動を考慮したスケジュールとした。本資料は、A2 給湯システムの消費エネルギーを考慮する重要な資料となることを目的としている。

2) 計算条件

(1) 給水温

給湯設備の消費エネルギーを計算する上で重要な入力条件である。ここでは、東京都水道局から頂いた、1990～2003年の全浄水場の浄水温の実測値(月～金の9:00に目視で計測された水温)を活用し、浄水量が比較的多い三郷浄水場の13年間の単純平均を用いた。

(2) 外気温、配管周囲気温、給湯栓周囲気温

室外に設置される熱源機の周囲気温として外気温が必要となる。簡便にSMASHの東京の毎時気象データを用いて設定した。また、配管周囲気温、給湯栓周囲気温が必要となる。例えば SMASH による室気温や床下空間の気温計算結果と連係するのが望ましいが、ここではまず室気温は表 3.3.46 に示すように、四季を想定して 20、23、26℃の3段階で月日によって設定するのみとし、時刻変動は省略した。配管周囲気温は床下気温とするが、簡便に外気温と前述の室気温の平均値を用いた。

(3) 配管システム

戸建住宅については、第12章[C3]で提案された郊外型モデルプランを用いた。省エネルギー的とされるさや管ヘッダ方式とし、給湯用途のシャワーと浴槽は 13A、洗面と台所は 10A とした。給湯機とヘッダを結ぶ連結管は 1.5mの被服銅管を想定した。周囲気温は、給湯機および給湯機とヘッダの連結管は外気温、さや管は配管周囲気温、給湯栓は室気温とそれぞれ設定する。配管系統の概略を図 3.3.55 に示す。

集合住宅では既往文献で用いられている、公団住宅標準プランに基づく配管設計とした。各系統の管径、管種、配管長、配管の周囲気温は、表 3.3.47 に示すように設定した。

表 3.3.46 各気温の設定

外気温	SMASHの東京の毎時気象データ		途中の時刻では近隣の外気温の線形補間
室気温	通日1～75	20℃:冬	時刻変動は省略 一日中同気温
	76～165	23℃:春	
	166～255	26℃:夏	
	256～315	23℃:秋	
	316～356	20℃:冬	
床下気温	戸建:外気温と室気温の平均 集合:室気温に等しい		配管周囲気温に採用する

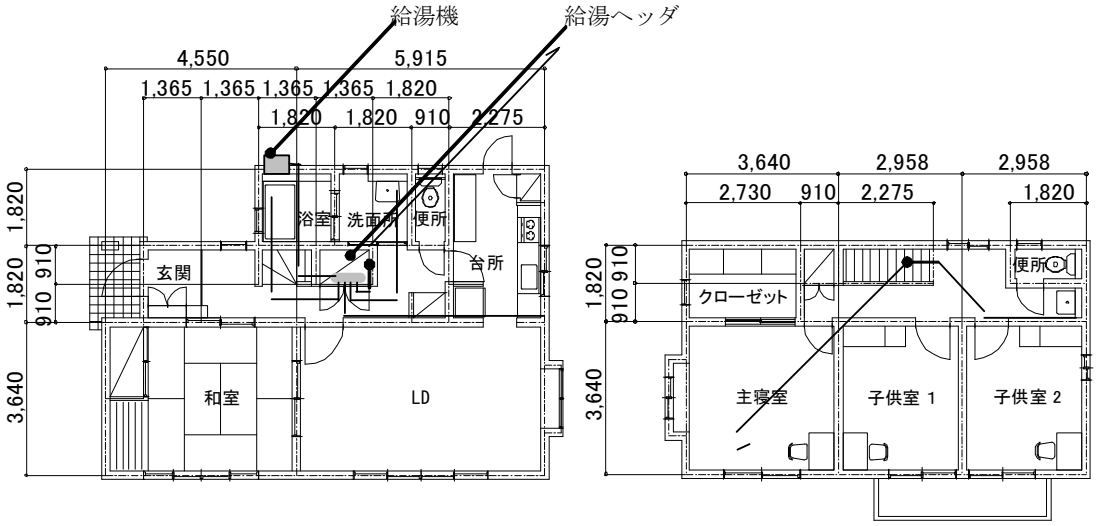


図 3.3.55 郊外型戸建住宅モデルプランにおける配管概略

表 3.3.47 各配管設定

系 統	管径・管種	管長[m]	管周囲気温の設定
主管	20mmGW保温の銅管・20A	戸建4.0／集合1.7	給湯機から1mは外気、その先は床下気温(戸建と集合で同じ設定)
浴槽	さや管・13A	戸建1.0／集合13.5	戸建は全部外気温、集合では床下気温
ｼｬﾜｰ・ｶﾗﾝ	さや管・13A	戸建6.4／集合13.7	床下気温
台所	さや管・10A	戸建8.0／集合13.4	床下気温
1階洗面	さや管・10A	戸建4.8／集合12.0	床下気温
2階洗面	さや管・10A	戸建のみ12.6	ヘッダーから5.7mは床下気温、その先は室気温

表 3.3.48 各世帯用給湯モード
(2人世帯は子供のいない共稼ぎ夫婦を想定しており、戸建住宅は想定しない)

モード番号	日合計給湯量(40℃換算)			設 定
	2人世帯	3人世帯	4人世帯	
1	＊174 L	330 L	380 L	平日(小)
2	316 L	418 L	470 L	平日(大)
3	379 L	488 L	550 L	休日在宅(小)
4	414 L	578 L	650 L	休日在宅(大)
5	＊122 L	＊187 L	＊240 L	休日外出(小)
6	＊128 L	253 L	380 L	休日外出(大)

＊ 浴槽に湯張りしない設定を示す。

表 3.3.49 各給湯系統の湯使用に関わる設定条件

条件項目	浴槽	ｼｬﾜｰ・ｶﾗﾝ	台所	1階洗面所	2階洗面所
使用最低湯温[℃]	0	38	35	35	35
使用湯温[℃]	41	41	41	41	41
規定流量[L/分]	10	10	5	5	5

(4) 給湯モード

表 3.3.48 に示す 2～4 人世帯用の 6 種の給湯モードとした。詳細は 3.3.1 を参照されたい。これらを通日によって割り当てて採用する。なお季節差を考慮することが望ましいことから、通日nを用いて設定する(1)式の r を乗じて、表 3 の給湯量を修正して年間で最大±15%の季節差を考慮した。さらに、浴槽の湯張りは季節によらず一定の 150L と想定し、この季節補正は浴槽以外の給湯量に反映させる。シャワー・台所・洗面に乗じる係数 R は、(1)式の r と日給湯量に占める浴槽給湯(150L)の比率 Br を用いて(2)式で与えられる。湯張りを行わない設定では、R＝ r となる。

$$r = 1.0 + 0.15 \times \cos\frac{2\pi(n-34)}{365} \quad \cdots(1)式$$

$$R = \frac{r - B_r}{1.0 - B_r} \quad \cdots(2)式$$

(5) 給湯運転の発停

給湯機の出口の湯温を元に、これらのモードが作成されているので、その日の給水温と使用湯温 40℃の温度差にモードで設定された給湯量を乗じて熱量とし、この熱量が給湯機出口で得られるまで給湯を続けるよう設定した。

配管システムやその周囲の状況により、給湯栓で得られる熱量は一意にはならないことに注意する。

給湯機の出湯温度を 60℃とし、年間の実働効率、システム効率を算定する。各給湯栓で捨て湯の判断に用いる使用最低湯温などは、表 3.3.49 に示すように設定した。給湯流量は、給湯行為中で変化しないものとして表 3.3.49 に示す一定値を用いた。

A2 委員に対するアンケート調査から出湯温度設定は 40～42℃であったことから、給湯機の出湯温度の設定に 43℃を加えた。

給湯栓の使用湯温は上記アンケート結果の出湯温度設定の中間値を採用した。使用最低湯温は特別な根拠がないため適宜設定した。

(6) 計算ケース

ガス給湯機では表 3.3.50 に示す通常型 G と潜熱回収型 L の 2 通り、貯湯槽利用では沸上温度 90℃一定 C と湯切れなしの最低沸上温度設定 D の2通りを想定した。計算対象は戸建の 3・4 人世帯と集合住宅の 2～4 人世帯の 5 ケースを表 3.3.51 の通りに設定した。

表 3.3.50 ガス瞬間式給湯機の計算ケース

呼称	出湯温度	給湯機設定
G	60℃	通常型・定格効率 81.5 %
L	60℃	潜熱回収型・定格効率 94.8 %

3) 計算結果

以下に計算結果を示す。ここでの効率は全て二次エネルギーによるものであることに注意されたい。

(1) ガス瞬間式給湯機の場合

ガス瞬間式給湯機の計算結果として、年間運転時間、消費エネルギー、システム効率などを表 3.3.49～表 3.3.51 に示す。

・運転時間は、1 日平均 1 時間とすると年間で 3,600×365＝1,314,000 秒となる。
・消費熱量はガス給湯機が消費したガス燃焼熱量であり、標準状態の 13A1㎥で 45.98 MJ 発熱するとした。
・出湯熱量は給湯機出口で求めた熱量の合計である。
・給湯栓熱量は給湯栓出口で求めた熱量の合計である。
・有効熱量は、表 3.3.49 に示す使用最低湯温を上回ったときのみ求めた熱量の合計である。
・湯待ち時間は、表 3.3.49 に示す使用最低湯温に達するまでの時間を合計した値であ

表 3.3.51 計算ケース

ケース	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
住戸形式	戸建住宅		集合住宅		
世帯人数	3人	4人	3人	3人	4人

表 3.3.52 4人世帯の計算結果

	Case2G	Case2L	Case5G	Case5L
運転時間[s]	1,179,258	1,181,037	1,148,895	1,150,743
消費熱量[GJ]	5.390	4.614	5.392	4.616
出湯熱量[GJ]	4.076	4.076	4.076	4.076
給湯栓熱量[GJ]	3.451	3.453	3.310	3.312
有効熱量[GJ]	3.302	3.302	3.132	3.133
湯待ち時間[s]	171,775	172,802	188,908	189,945
実働効率[%]	75.6	88.3	75.6	88.3
システム効率*[%]	64.0	74.8	61.4	71.8
システム効率[%]	61.3	71.6	58.3	67.9

表 3.3.53 3人世帯の計算結果

	Case1G	Case1L	Case4G	Case4L
運転時間[s]	1,025,951	1,027,229	998,704	999,991
消費熱量[GJ]	4.716	4.037	4.717	4.038
出湯熱量[GJ]	3.564	3.564	3.564	3.564
給湯栓熱量[GJ]	3.009	3.010	2.882	2.883
有効熱量[GJ]	2.875	2.875	2.725	2.725
湯待ち時間[s]	161,960	162,874	175,242	176,119
実働効率[%]	75.6	88.3	75.6	88.3
システム効率*[%]	63.8	74.6	61.1	71.4
システム効率[%]	61.0	71.2	57.8	67.5

る。1 日の湯待ち時間の合計を 10 分とすると 600×365＝219,000 秒となる。

・実働効率は、消費熱量に対する出湯熱量の比である。システム効率*は消費熱量に対する給湯栓熱量の比、システム効率は有効熱量の比である。給湯システムの優劣はこのシステム効率で評価可能である。

これらの計算結果より、以下の知見が得られた。

・世帯人数によって給湯量が異なるが、住戸形式によらず出湯熱量はほぼ同等であり、計算による出湯条件が妥当に機能していることが確認できる。また、住戸形式も同一の場合は、G でも L でも有効熱量もおよそ等しくなっており、居住者の使った熱量は同等とみてよい。

・集合住宅と戸建住宅を比較すると、同一のガス瞬間式給湯機であれば、消費熱量はおよそ同等であるが、有効熱量は戸建住宅の方が大きい。また実働効率は同等であるが、システム効率*、システム効率は戸建住宅の方が高い。戸建住宅の方が上手にエネルギーを使っていることになる。配管周囲気温は集合住宅の方が高い設定になっているが配管長は 2 倍程度であり、配管長を短くすることでシステム効率が 2～4％向上することがわかる。

・世帯人数の影響を見ると、実働効率・システム効率ともに 2 人世帯が高い。平日に朝と夜に集中的に給湯利用するためではないかと思われる。また世帯人数が増加するにつれて、当然給湯量も増加し、消費エネルギーも大きくなり、さらに実働効率・システム効率は低下する傾向にある。

・給湯利用が頻繁になるにつれて湯待ちによる損失が増大する。集合住宅では配管長が大きいことから、その影響も大きく現れたと思われる。

・戸建住宅で 3･4 人世帯を比較すると、各効

率はほぼ同等であることがわかる。

・潜熱回収型給湯機は定格効率で 13.3%通常型より高い機種を用いている。実働効率は世帯人数・住戸形式に関わらずおよそ 13%向上しているが、システム効率の向上は 10%程度である。

表 3.3.54 2人世帯（集合住宅）計算結果

	Case3G	Case3L
運転時間[s]	673,246	673,819
消費熱量[GJ]	3.222	2.761
出湯熱量[GJ]	2.478	2.478
給湯栓熱量[GJ]	2.088	2.089
有効熱量[GJ]	2.016	2.015
湯待ち時間[s]	85,666	86,071
実働効率[%]	76.9	89.7
システム効率*[%]	64.8	75.6
システム効率[%]	62.6	73.0

(2) 貯湯槽利用の場合

電気ヒーターを用いて深夜電力時間帯に加熱することとする。加熱量の決定は、給湯がすべて終了した 23:00 に行う。沸上温度 90℃一定のCでは貯湯槽内平均湯温と 90℃の温度差に貯湯槽容量460Lを乗じて計算する。沸上温度最低設定のDでは、23:00 の時点で翌日の日給湯量、日平均気温、水温を読み取って、給湯熱量、24 時間の貯湯槽からの損失熱量、貯湯槽内の湯水混合損失の各熱量を計算する。配管損失分として給湯熱量の 0.2 倍を仮定し、全必要熱量を求めて 1.05 倍する。この熱量が得られる最低の沸上温度を推定する。

さらに計算を簡略化するために、以下の条件を付加している。

・湯切れは一切考慮しない。湯切れを起こさない計算条件とする。
・今回採用された給湯モードは深夜電力時間帯で 23:00～6:30 に給湯利用がない。沸き上げは前日の 23:00～当日 6:20 までのみとし、昼間電力時間帯の「沸き増し」は考慮しない。
・出湯温度は60℃である。給湯栓を開いたと同時に貯湯槽からは 60℃の湯が出るとする。
・タンク内湯温分布から平均値を求め、沸き上げ温度との温度差と容積 460L から沸き上げに必要な熱量を求める。試験計算ではこれの5%増の熱量を用いて、5.4kW の電熱ヒータにより、沸き上げ開始時刻と加熱時間を求める。この時刻設定は前日の 23:00 に 1 回のみ行うことにする。

(1)と同様に計算結果を表 3.3.55～表 3.3.57 に示す。これらの計算結果より、以下の知見が得られた。

・世帯人数による出湯熱量は、(1)と同等であり、計算条件が妥当に再現されていることが確認できる。
・今回は貯湯槽容積の検討には至らなかったが、給湯量が大きくなるに伴って各効率は上昇していることがわかる。2人世帯では今回検討した 460Lの容量はかなり大きいことがわかる。
・沸上温度を工夫することでシステム効率をおよそ10%向上させることができる。今回の計算ではもっとも理想的な湯利用を想定したものであるから、実際ではC設定とD設定の間になるであろう。機器の省エネルギー設定を上手に利用することで、最大10%の効率向上が期待できることになる。
・4 人世帯では 52.2～62.3%のシステム効率となる。
・3 人世帯では 49.2～59.8%のシステム効率となる。

4) まとめ

本資料は、ガス瞬間式給湯システムおよび電気ヒーター加熱の貯湯槽利用システムによる年間給湯消費エネルギーを、世帯人数・住戸形式別に年間シミュレーションによって予測した。その結果得られた知見は以下の通りである。

・給湯モード作成に用いられた実測データが給湯機出湯温度に基づくため、給湯の発停条件は、給湯機出湯熱量で行なわざるを得な

表 3.3.55 4人世帯の計算結果

	Case2C	Case2D	Case5C	Case5D
運転時間[s]	1,132,612	1,132,612	1,101,597	1,101,597
消費熱量[GJ]	6.017	5.312	6.018	5.313
出湯熱量[GJ]	4.076	4.076	4.076	4.076
給湯栓熱量[GJ]	3.413	3.413	3.271	3.271
有効熱量[GJ]	3.309	3.309	3.141	3.141
湯待ち時間[s]	126,066	126,067	140,922	140,922
実働効率[%]	67.7	76.7	67.7	76.7
システム効率*[%]	56.7	64.2	54.4	61.6
システム効率[%]	55.0	62.3	52.2	59.1

表 3.3.56 3人世帯の計算結果

	Case1C	Case1D	Case4C	Case4D
運転時間[s]	982,405	982,405	954,522	954,522
消費熱量[GJ]	5.549	4.818	5.550	4.818
出湯熱量[GJ]	3.564	3.564	3.564	3.564
給湯栓熱量[GJ]	2.977	2.977	2.849	2.849
有効熱量[GJ]	2.881	2.881	2.731	2.731
湯待ち時間[s]	118,389	118,389	129,822	129,822
実働効率[%]	64.2	74.0	64.2	74.0
システム効率*[%]	53.6	61.8	51.3	59.1
システム効率[%]	51.9	59.8	49.2	56.7

表 3.3.57 2人世帯（集合住宅）計算結果

	Case1C	Case1D
運転時間[s]	651,219	651,219
消費熱量[GJ]	4.570	3.793
出湯熱量[GJ]	2.478	2.478
給湯栓熱量[GJ]	2.074	2.074
有効熱量[GJ]	2.019	2.019
湯待ち時間[s]	62,691	62,691
実働効率[%]	54.2	65.3
システム効率*[%]	45.4	54.7
システム効率[%]	44.2	53.2

い。使用最低湯温を考慮した居住者利用熱量はケースごとに異なる結果となるが、実用上ほぼ同等とみてよい。

・世帯人数が同じ場合は戸建住宅の方が集合住宅よりもシステム効率は 2～3%高い結果となった。集合住宅の給湯配管周囲気温は高いものの配管長が 2 倍程度大きいためであり、最短配管計画が重要であることが確認できた。

・ガス瞬間式給湯機では、定格効率で 13%程度高い潜熱回収型を用いると、実働効率は同程度の 13%向上し、システム効率は 10%向上した。また世帯人数による影響を見ると、子供のいない共稼ぎ夫婦の場合では平日に朝と夜に給湯利用が集中するため、2 人世帯がもっとも高いシステム効率を示し、4 人世帯に比較して 5%程度高くなっている。

・電気ヒーター加熱の貯湯槽利用システムでは、沸上湯温の設定を最適化することで最大 10%システム効率を向上させることができる。ヒーターの加熱制御が省エネルギーの鍵を握ることになる。また今回は検討できなかったが、適切な貯湯槽容量を採用することで、より高い効率を得ることができると思われる。

（岩本 靜男）

参考文献

王他、住宅用給湯設備の設計・評価手法に関する研究(その 12)給湯システムの効率予測に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.65-68、2004.9.

浅野他、住宅用給湯設備の設計・評価手法に関する研究(その 10)住戸セントラル給湯システムの貯湯槽の熱効率に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1597-1600、2003.9.

岩本他、住宅用給湯設備の設計・評価手法に関する研究(その 11)住宅用給湯配管と混合水栓の熱損失に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1601-1604、2003.9.

第4章 換気・通風システム（Ａ３）

4.1 自然風の利用

温暖地域のエネルギー消費量の中で冷房の占める割合は必ずしも大きくはないが、高断熱・高気密住宅のようなシェルター性能が高い住宅が普及するにつれて、空調に依存したライフスタイルが定着し、常に窓を閉鎖して空調する居住者が増えてくることが懸念される。冷房の多用は排熱の増加を意味し、ヒートアイランドを助長する恐れがあるとの観点からも望ましくない。そこで、夏季夜間や中間期など、気象条件が体感の改善に有効な場合には外気を通風という形で積極的に取り入れることが考えられる。本章では、通風により冷房負荷の低減を計るための住宅の設計方法、窓の開放方法について検討する。以下に、通風を活用するための建物周囲状況、建物形態、開口部形態、開口部操作方法、防犯性の規格、換気駆動力の制御方法などの概略を示す。

4.1.1 自然風利用の目的と効果

換気通風は、換気量や室内風速によって表 4.1.1 に示すようにその用途が変化する。0.5～1.0回/h の換気回数では、気流速度は室内の大半で 0.25m/s 以下となり、この範囲の換気通風は、室内で発生する居住者や建築材料などからの空気汚染対策として必要となるレベルである。10 回/h の換気回数では室内温熱環境への影響が現れるが、これは室温より低温の外気流入による室や建物躯体の冷却によるものが主体であり、気流感が得られる 0.5m/s 以上の領域は限られる。

表 4.1.1 換気回数による室内環境改善の用途

目的	換気回数・風速
室内空気質の維持	0.5～1.0回/h
建物・室の冷却	10回/h～
温熱環境の改善	10～100回/h

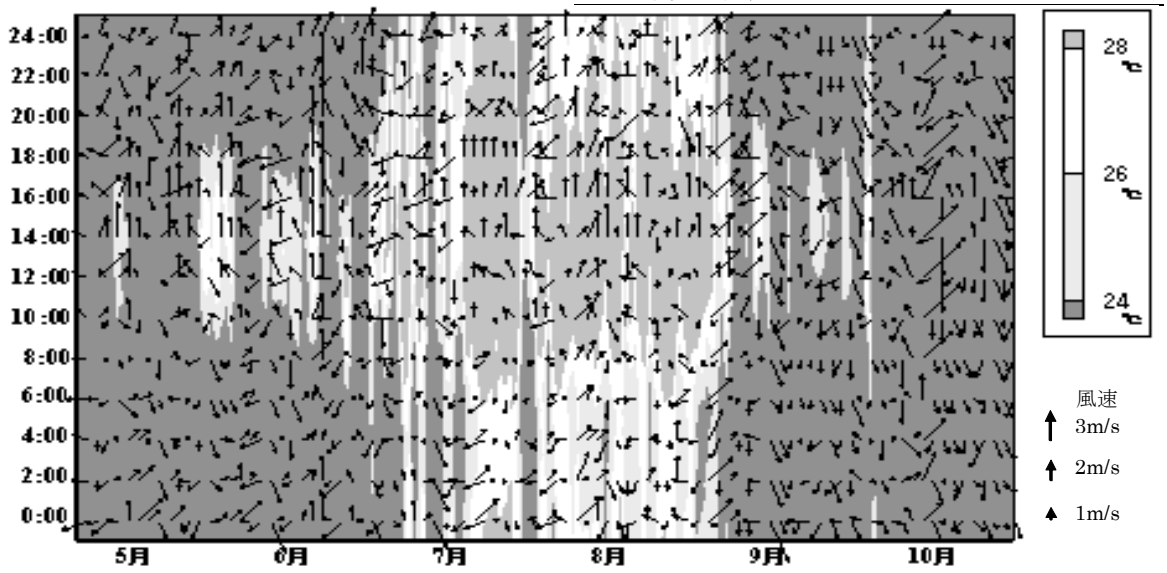


図 4.1.1 東京のアメダス標準年気象データ

蒸暑期の夜間、睡眠中に換気通風を利用する場合の換気回数として適当なレベルといえる。100 回/h の換気回数になると、気流速度が 1～2m/s に達する領域が出現し、体表面からの顕熱・潜熱移動による冷却作用が現れ、空気温度が比較的高い場合でも快適感が得られる。このように、1 回/h 程度の換気回数を「換気」というのに対し、10 回/h 以上の換気回数を、「通風」として区別する。

自然風を室内環境調整のために活用していくためには、住宅建設地域の気象状況を綿密に調査し、住宅の形態や開口部位置の設計に反映させることが重要である。このためには、拡張アメダス気象データ 1)などの気象データを利用するとよい。図 4.1.1 に東京・標準年の中間期・夏期に相当する 5 月～10 月の温度、気流速度(高さ 6.5m 換算)、風向を図示した結果を示す。図では矢印の方向が風向を(上向きが南風)、大きさが風速を表しており、色が温度を表している。図からは、東京ではある程度気流速度が確保される状況では風向は南ないし北となる場合が多いことがわかる。また、通風の活用が難しい外気温 28 度以上となるケースは、主に 7 月半ばから 9 月上旬までの 8:00 から 20:00 までとなっている。夏の夜間から早朝にかけての外気温は意外なほど低い場合が多い。このように、住宅建設地域の気象特性を把握して、通風を活用する季節、時間帯、建物配置を検討する必要がある。

(倉渕 隆)

参考文献

1. 拡張アメダス気象データ, 日本建築学会, 2000 年

4.1.2 建物に作用する風圧力の推定

1) 気象データの利用

建物を設計する際には風圧力の分布を考慮し、気流を室内へ効果的に取り込めるような工夫が必要である。「室内の汚染物排除」や「夏期における室温上昇の抑制」には、通風は効果的であると考えられるため、最適な換気・通風設計を行うためには建物に対する風圧力の様子について知る必要がある。一般的な住宅では、風に対して直角となっている壁面や斜めとなっている屋根面など様々な面が想定され、それぞれの風圧値も異なる値となる。これらを得るためには風洞実験や数値計算(CFD)を実施する必要があるが、一般的には容易ではないため、典型的な住宅の風圧係数分布の一覧表を資料として添付する(後述)。設計時には風向の発生頻度も考慮する必要がある。地域の風向の発生頻度は拡張アメダスなどで調べることが可能である。

効率の良い換気・通風設計を行うためには設計対象建物が立地する地域の風向・風速の特徴を知る必要がある。資料 1 に省エネルギー基準で第Ⅳ地域と定められている地域における夏期および中間期の気象データの主要項目の値をまとめて記すが、一例として東京のデータを表 4.1.2 に示す。

表中の気温等はそれぞれ当該時間内の平均値であり、風向は最も発生頻度の高い風向を示している。都道府県名の下の括弧内は観測点の地域名であり、地域名の下の数字は風速観測点の高さである。

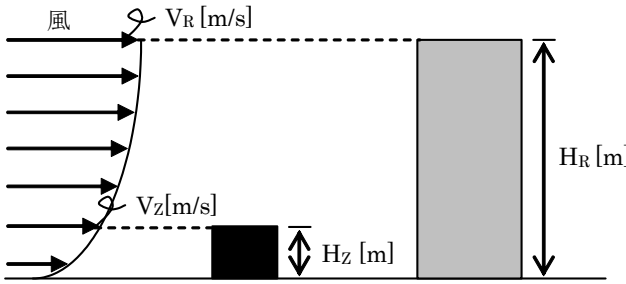
東京では地上 74.5m の地点に風速計が設置されていることがわかる。風速観測点の高さは地域により異なり、統一されていないため、風速測定値を利用するためには、観測点の高さによる影響のないように、ある一定の高さへと換算して示す必要がある。

拡張アメダスの風速データは図 4.1.2 の式(1)により、観測点での風速を地上高さ 6.5m における風速に換算したものである。式(1)中の

表 4.1.2 東京における夏期および中間期の気象データ

		5月		6月		7月		8月		9月		10月	
		覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時
東京（東京）74.5[m]	気温[℃]	20.3	17.3	21.9	19.6	27.6	24.8	28.2	25.4	23.8	21.6	18.8	15.9
	相対湿度[%]	55.6	69.5	69.7	79.6	66.1	76.0	68.5	79.5	72.5	81.5	61.4	71.9
	風速[m/s]	2.0	1.5	2.0	1.6	1.8	1.4	1.9	1.6	1.9	1.6	1.9	1.5
	風向[-]	南	西	東南東	北北東	南南東	東南	南南東	北東	北北東	北	北	北北西

覚醒時 7:00～23:00　就寝時 23:00～7:00



$$V_Z = V_R \times \left(\frac{H_Z}{H_R} \right)^n \qquad (1)$$

V_Z…換算値を求めたい高さにおける風速[m/s]
V_R …各地域の観測点における風速[m/s]
H_Z…換算値を求めたい地上高さ[m]
H_R …各地域の観測点の地上高さ[m]
n …対象建物の周辺状況を表すパラメータ[-]

$$P_{wi} = C_{Pi} \times 0.6 \times V^2 \qquad (2)$$

P_{Wi}…壁面や屋根面中の任意位置iにおける風圧力[Pa]、
C_{Pi} …任意位置iにおける風圧係数[-]、V…軒高における風速[m/s]

図 4.1.2 風速値の高さ方向の換算方法

n は対象となる地点の周辺状況を表し、住宅地では 0.20 程度、中層市街地では 0.25 程度となる。図のように高いところほど風速は強く、地上付近では建物の影響などにより弱くなる。この減少の様相を表しているのが式(1)中の n である(拡張アメダスでは 0.25 を使用)。

2) 風圧力の推定

実際に通風設計を行うためには風圧力差を利用する。風圧力は式(2)より求まる。式(2)中の風速 V は対象建物の軒高における風速(基準風速という)を用いるのが一般的である。地上 6.5m の風速換算値が資料 1 に記されているので、式(1)を用いることにより軒高における風速は算出可能となる(VR に資料中の風速を、HR に 6.5m を代入)。本来、風圧力算出に用いる風速は、対象建物の周辺が開けている状態での建物軒高におけるものを用いる。東京における拡張アメダスのデータは地上 74.5m での風速測定値からの換算値のため、この状況に近い値と考えられる。しかし、風速の観測点が地上 10m 程度の高さに設定されている地域もあり、この場合には資料 1 中の風速へ換算する際に使用した風速値(式(1)中の VZ)が周辺建物の影響を受けていることが考えられ、換算後の地上付近における風速値が過小評価される可能性があるため注意が必要となる。式(2)中の風圧係数 CPi は、壁面や屋根面への風のあたり方を示す数値となる。CPi=1 の場合には基準風速が壁面に垂直に衝突した際の風圧力(基準動圧または基準風圧などという)を示す。このように、基準風速で風圧力を整理すると、建物の高さや地域が異なる場合での対応が容易になる。

(倉渕 隆・遠藤 智行)

4.1.3 通風性能確保のための外部開口部計画

1) 通風の原理と卓越風に配慮した計画

通風量は(通風経路の有効開口面積[1])×(外部風速)×(開口部に作用する風圧力差)0.5 によって決まるので、有効開口面積をなるべく大きく設定し、風圧力差の大きい開口部を選択するとよい。また、通風を用いたい室が外気の流入側に位置するようにできれば、外気温に近い温度の気流が室内を流れるので、通風による冷却効果が一層増すことになる。

最近の話題

風向角が大きい時など風上開口部付近の壁に沿って強い気流がある条件で、大きさの異なる開口部により通風を行う場合、風上側に小さい開口部を用いた方が通風量は大きくなる。風上側開口部の流量係数 α が大きくなるためで、このメカニズムは最近の研究で、かなり明らかとなっている。流入開口部における流れを模式的に図 4.1.3 に示す。流入気流を特徴づけているのは、①法線方向の動圧 Pn、②接線方向の動圧 Pt、③開口部静圧基準の室圧(PR－PS)であるが、③については③'＝③－①＝PR－(Pn＋PS)とするのが便利である。③'の Pn＋PS は、通風量 0 のときは風圧力となるが、通風時もほぼ一定で換気駆動力である風圧と室圧の差(の逆符号)を表す。これらは相互に関連しており 2 つが決まると残りは自動的に決まってしまう。

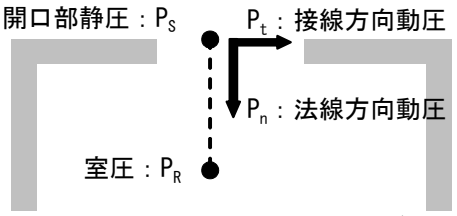


図 4.1.3 流入通風気流を特徴づけるパラメータ

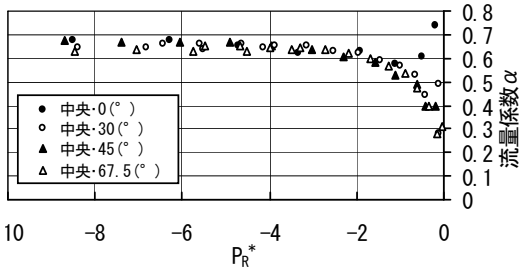


図 4.1.4 P_R*と流量係数の関係

流量係数 α は①Pn の③'換気駆動力に対する比から求められるが一般に一定とならない。②Pt が流量係数 α に影響するためで、①Pn の②Pt に対する比、または③'換気駆動力の②Pt に対する比により変化する。前者は流量係数 α が流入角に依存することを意味する。但し、流入角は通風量によって変化するので後者の関係を用いると、流量係数 α は無次元室内圧 PR*(＝③'／②)に依存して変化することになる。この関係を実験的に検証した結果の例を図 4.1.4 に示す。開口形状が一定であれば、風向角や開口位置によらず α は PR*で一意に決まる。PR*＞－5 で 0 に近づくほど、②Pt が相対的に大きくなり、流量係数 α は小さくなる。気流が開口部にまっすぐ流入する状況では、②Pt は相対的に小さく、流量係数 α は大きくなる。なお、②Pt は α が変化する範囲でほぼ一定となることから、開口部固有の値とみなしてよい。したがって、開口部の風圧と②Pt が分かっていれば、PR*は室圧 PR から計算できる。

1)有効開口面積:
換気上有効な面積を表す。開口前後の圧力差を ΔP[Pa]、空気密度を ρ [kg/m³]とした場合の風量 Q[m³/s]は、
$Q = \alpha A\sqrt{2\Delta P/\rho}$ と表されるが、このときの αA を本書では有効開口面積と呼ぶ。流量係数 α に実開口面積 A[m²]を乗じた値である。

流入開口部の上流側の周辺状況も重要で、気流が植栽などによる木陰を通過しながら住宅に接近するような配置とすると、流入空気温の低下が期待できる。郊外の住宅地など、周囲の開けた状況では、風圧係数は風上面で大きくなるので、通風を活用する季節の気象条件を参考に、風上面を通風経路の最上流側に設置する。風下面は風上面以外でなるべく風圧係数の低い面を選べばよいが、通風経路の距離や直線性、同一階にあるかどうか、などは気にしなくても良い。このような条件に開口部を設定できない場合、または密集住宅地などでは、風洞実験を参考に次善の通風経路を探すか、風圧係数をコントロールする対策を取る。

(倉渕 隆・遠藤 智行)

(1) 戸建住宅の風圧係数分布

東京に建つ図 4.1.5 の住宅に対して(1)建物周辺に十分なスペースがある場合(寄棟屋根)、(2)住宅地のような密集地に建つ場合(寄棟屋根、棟換気口付き片流れ屋根)における風圧係数一覧を資料 2、資料 3 に記す。

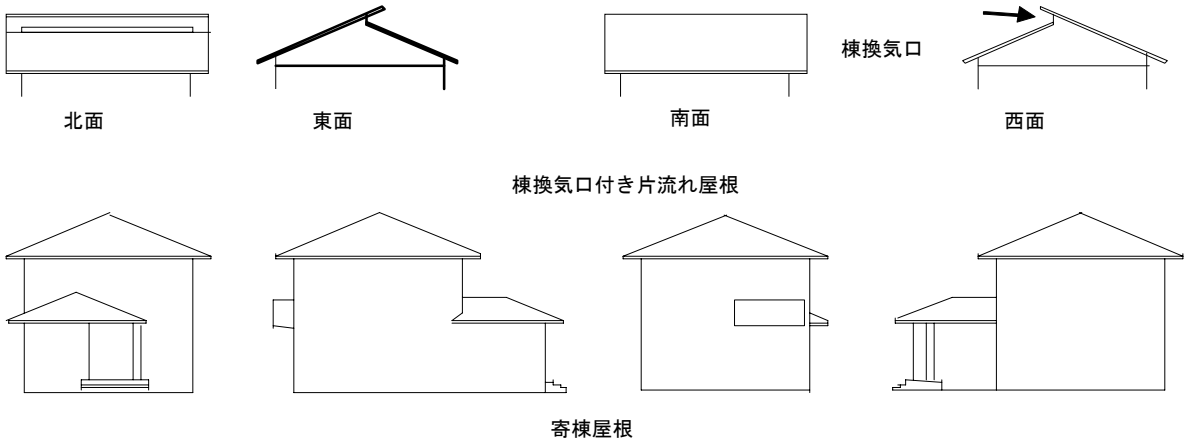


図 4.1.5 風圧係数一覧(資料2、3)の対象住宅

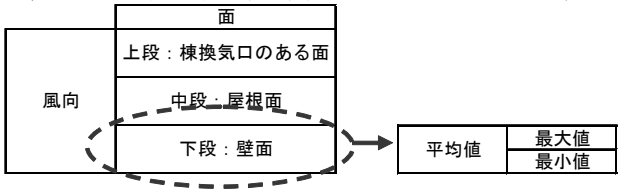
		面のある方向							
		北面		東面		南面		西面	
風向	北	-0.37	0.01 -0.70	-0.32	-0.04 -0.67	-0.33	-0.18 -0.70	-0.40	-0.19 -0.77
		0.51	0.82 0.24	-0.24	0.16 -0.58	-0.07	-0.01 -0.13	-0.02	0.30 -0.62

a)建物の周辺に十分なスペースがある場合(寄棟屋根、風向:北)

		面のある方向							
		北面		東面		南面		西面	
風向	北	0.34936	0.3781 0.318						
		0.35	0.38 0.32	0.03	0.14 -0.13	0.03	0.12 -0.16	0.06	0.13 -0.10
		0.11	0.17 0.06	0.13	0.17 0.10	0.18	0.22 0.14	0.11	0.16 0.06
	南	-0.01872	-0.0007 -0.0523						
		-0.02	-0.001 -0.05	0.02	0.08 -0.07	0.07	0.12 -0.02	0.05	0.14 -0.09
		0.19	0.24 0.10	0.13	0.17 0.11	0.14	0.16 0.11	0.17	0.22 0.10

b)建物が密集地にある場合(寄棟・棟換気口付き片流れ屋根、風向:北、南)

各面・各風向毎に上から順に棟換気口のある面(密集地・片流れ)、屋根面、壁面の風圧係数を記載



各面には面内の風圧係数の平均値・最大値・最小値を左図のように記載

図 4.1.6 戸建住宅の風圧係数一覧の例

東京を想定しているが、建物周辺状況は式(1)中の n で決定されるため、一般的な住宅地や市街地を想定される場合には他の地域においてもこの風圧係数の結果を利用することが可能である。なお、資料中の風圧係数は壁面全体の値として算出しており(図 4.1.5 の北側面など凹凸のある面も 1 つの面と想定)，1 階部分の屋根は考慮していない。図 4.1.6 に各ケースにおける風圧係数の一例を示す。各面において面平均値、面内の最大値、面内の最小値を記している(棟換気口のある場合には屋根面と壁面は寄棟の値を使用)。住宅の周辺が開けている時には風圧係数に大きな差が見られ、特に風向に正対する面では最大で 0.8 程度、平均でも 0.5 程度となる。屋根面に注目すると全ての面において負圧(風に引っ張られる方向への力)となることがわかる。このような状況では屋根面に開口を設け、風圧係数差を大きくとれるような設計を行うことで、充分な通風効果が得られる可能性がある。密集地に建つ場合には、寄棟屋根の場合には壁面、屋根面で分布がなく風圧係数も小さな値となる。棟換気口のある面では風向と正対しない時に負圧になる場合があり、密集地においては棟換気口を設置するなどの工夫が必要となる。このように、戸建て住宅においては屋根面を上手に利用することで、効果的な換気・通風設計が可能になると考えられる。屋根換気口の利用については後述する。

(2) 高層住宅の風圧係数分布

戸建て住宅と同様に高層集合住宅の風圧係数一覧を資料 4 に記す。対象建物は図 4.1.7 のような 15 階建て、45m 高さを想定した集合住宅である。風圧係数一覧の一例を図 4.1.8 に示す。表の見方は戸建住宅のときと同様で、高層集合住宅の場合には各壁面を図 4.1.7 のように 3 等分割している。図 4.1.8 より、風向が北の場合には北側壁面の風圧係数が大きくなることがわかる。また、図 4.1.2 で示したよう

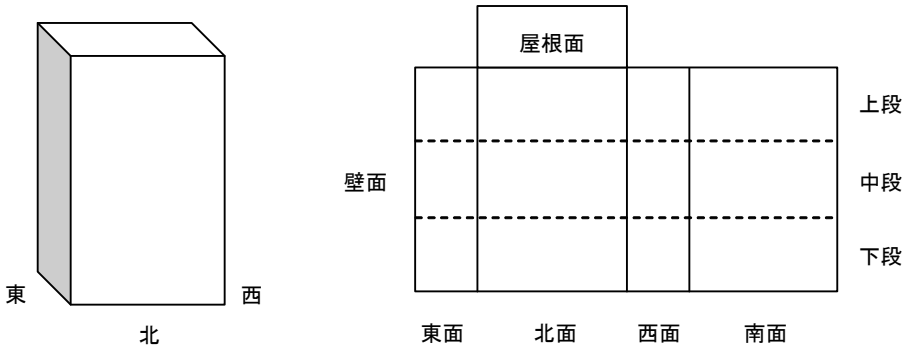
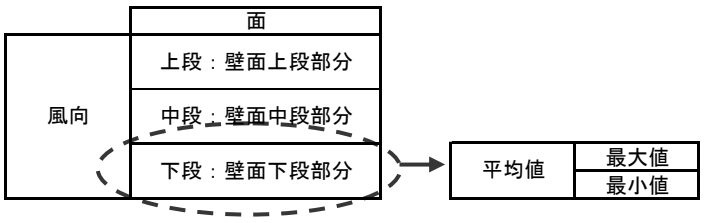


図 4.1.7 資料4の風圧係数一覧を求めた高層集合住宅

		面のある方向									
		北面		東面		南面		西面		屋根面	
風向	北	0.69	0.94	-0.80	-0.57	-0.53	-0.50	-0.76	-0.64	-0.86	-0.65
			0.41		-0.91		-0.57		-0.86		
		0.57	0.89	-0.79	-0.71	-0.50	-0.41	-0.75	-0.67		-1.02
			0.17		-0.83		-0.56		-0.79		
		0.40	0.72	-0.72	-0.51	-0.49	-0.44	-0.66	-0.52		
			0.01		-0.81		-0.54		-0.76		

各壁面を図 4.1.7 のように 3 等分割し、各風向毎に上から順に上段部分、中段部分、下段部分の風圧係数を記載、屋根面は分割なし



各面には面内の風圧係数の平均値・最大値・最小値を左図のように記載

図 4.1.8 高層集合住宅の風圧係数一覧の一例

に、一般には高い位置ほど風速が大きくなり、風圧力も大きくなる。このような高層集合住宅の場合には周囲に同程度の高さの建物がない状況も多いことから、比較的大きな風圧力差を得られることも多く、効果的な換気・通風設計を行うことが充分可能であると考えられる。

（丸田　榮蔵・遠藤　智行）

2) ウィンドキャッチャーの利用

図 4.1.9の住宅を対象に、通風経路の選択と改善方法について検討する。周囲の開けた敷地に建てられ、赤で示したLDK部分で通風を活用するとする。卓越風向が南であったとすると、風上面に位置するAないしB開口と、風上面以外に位置する開口部Cを開放するのが効果的である。建物配置を卓越風向に対して通風に最適に設定できないケースも少なくない。例えば図 4.1.10 は、風向が西の場合で、この風向では窓を開放しても作用する風圧力差は小さく、通風量は風向が南の場合の2割にしかならない。このような場合でも、建物に沿った外部気流がある場合は、建物側の工夫で通風量を大きくすることができる。図 4.1.11 は、開口部の風下部分にフェンスを設けて風圧力を高めた例である。この場合、気流が外壁に沿って流れている部分にフェンスを設置しないと効果は薄い。図 4.1.11 では、風上面となる西面の上流側が開けているので、西面で受け止められた風が、隅角部分ではく離して南北面の西側に循環域を形成する。はく離した気流は下流側で再付着し、再付着点以後は建物に沿って流れる。従って、再付着点の下流側にフェンスを設けると、フェンスの上流の風圧を高め、下流の風圧を引き下げることが可能となる。図 4.1.11 の場合は、フェンスのない場合に比べて通風量を2倍以上に高めることが可能となる。

次に図 4.1.12 は LDK 外部に平面形が三角のサンテラスを設けた例である。サンテラスは1、2 階部分で上下に仕切られており、外面を別々に開放したり閉鎖したりすることが可能となっている。

風上面を開放し、風下面を閉鎖するとウィンドキャッチャーとしてテラス内部の風圧力を高め、風上面を閉鎖し、風下面を開放すると風圧力が低下する。図 4.1.13 は風向が西の場合にサンテラスを通風促進のために活用した例である。(a)はサンテラスの1階部分の風上側を開放、建物側をB－C 開口とした場合の結果である。(b)は 1 階部分の風上側を開放し、2 階部分の風下側を開放した上で、1 階から 2 階に至るドアを開放してB－D開口とした結果である。これらの場合では、図 4.1.9 に示した風向が南で通風に有利な条件に対し、7 割から 5 割の通風量が確保できている。

3) 屋根面の活用

都市域の住宅地などでは住宅が他の建物に取り囲まれており、外壁に直接気流が衝突することがないため、通風を活用しにくい場合が多い。このような場合、屋根面に換気口を設置することを試みるとよい。屋根や開口部形状を工夫すると、風向によらず安定した負圧を得ることができるため、排気用の換気口として利用できる。

陸屋根の場合は、図 4.1.14 に示すように風向によらず屋根面全面が負圧となることが多く、排気用換気口として活用できるため、トップライトと換気口を併用するなどの工夫が有効である。このような状況は、図 4.1.15 に例示するように屋根勾配が 20° 程度まで持続する。図 4.1.15 は屋根勾配 15° の場合であるが、開口部が風下面にあって、その点が負圧となる状況でも、屋根面での負圧の方が大きいので、風下面から屋根開口部への気流が生じている。屋根勾

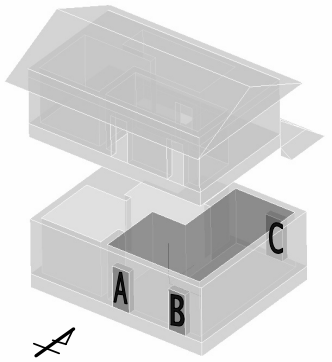


図 4.1.9　検討対象住宅

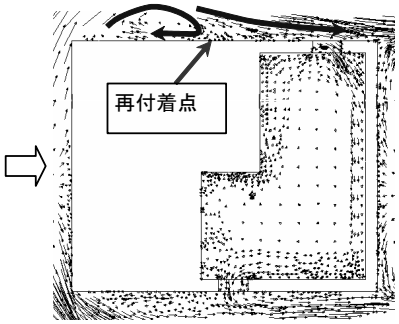


図 4.1.10　風向：西，A－C開口の場合

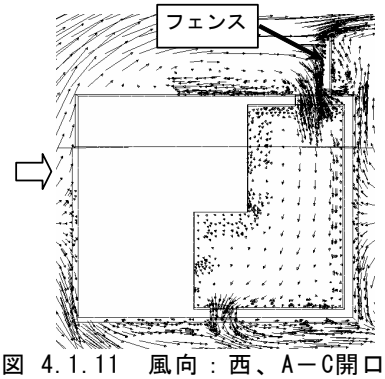


図 4.1.11　風向：西、A－C開口の場合（開口Cの下流側にフェンスを設置）

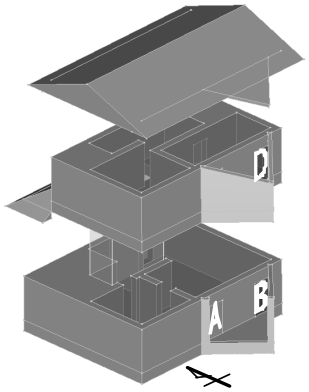
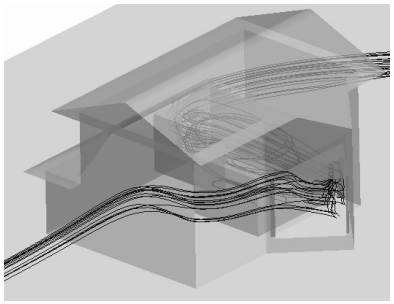
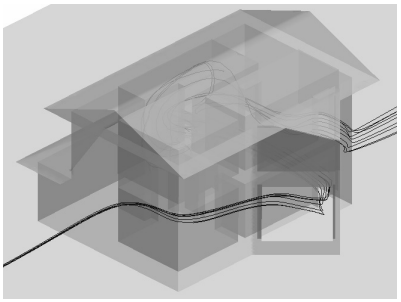


図 4.1.12　サンテラスによる通風促進の工夫



（a）B-C 開口



（b）B-D 開口

図 4.1.13　風向：西の条件でサンテラスを活用した結果

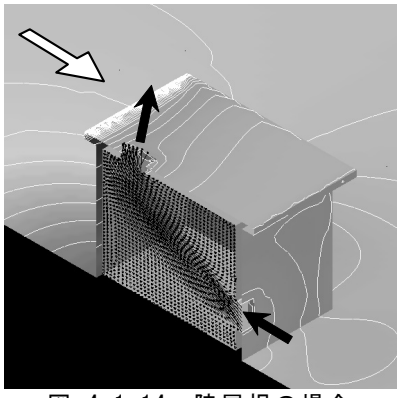


図 4.1.14　陸屋根の場合

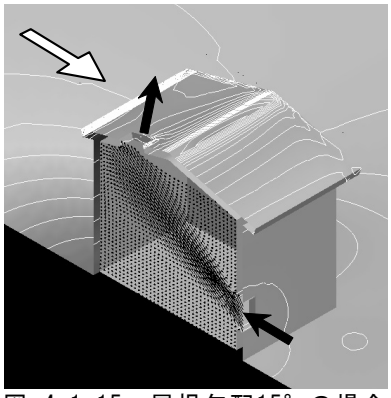


図 4.1.15　屋根勾配15°の場合

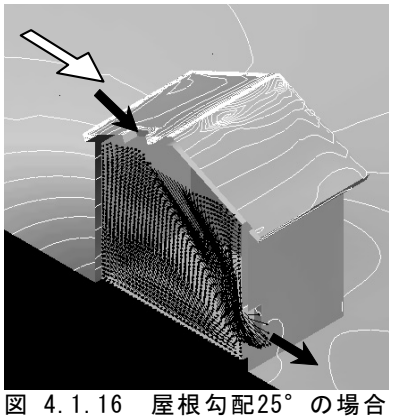


図 4.1.16　屋根勾配25°の場合

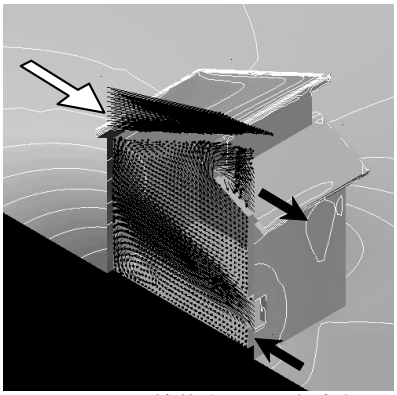


図 4.1.17　棟換気口（片流れ屋根）の場合

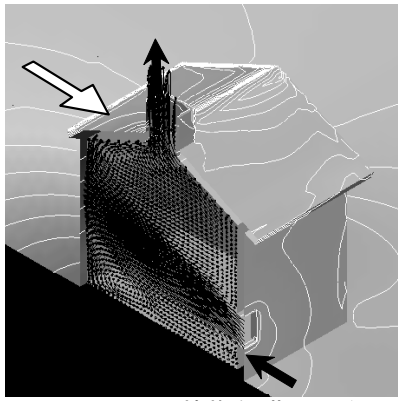


図 4.1.18　棟換気塔の場合

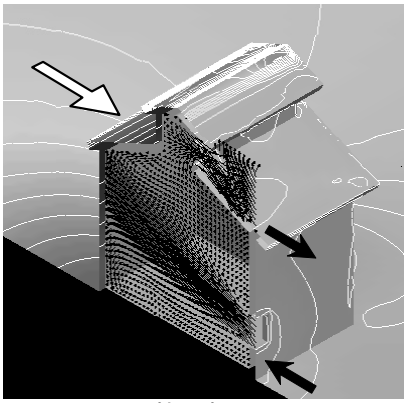


図 4.1.19　越屋根＋開閉システムの場合

配が 20° を大きく超えると風上の屋根面では正圧となる。図 4.1.16 は屋根勾配 25° の結果である。屋根に排気用換気口を設ける他の方法としては、棟部分に生じる負圧を利用することが考えられる。図 4.1.17 に片流れ屋根の間に換気口を設けた結果を示し、図 4.1.18 に棟部分に換気塔を設置した場合の結果を示す。

風圧を検知して風上面を閉鎖、風下面を開放するシステムなども開発されており、安定した排気用換気口として活用できる(図 4.1.19 に越屋根にシステムを導入した場合の結果を示す)。

(倉渕 隆、遠藤 智行)

4) 温度差換気の利用

夏期に室内の温熱環境を快適に保つためには、外界からの熱を遮断することが第一であるとともに、室内で発生する熱は拡散させずに速やかに排出することが大事である。非拡散排熱手法は、屋根窓や高窓の利用が一般的であり、こうした上方開放は町家をはじめとする伝統的民家の典型的な防暑の工夫でもある。

空気は暖められると軽くなる性質があるので、屋根や棟など、できるだけ高所から排熱するのが効率的である。また、密集住宅地に立つ都市型住宅では、窓を開けても十分な通風が得られない場合も多く、その意味でも上方開放による排熱手法は今後重要性を帯びてくるものと考えられる。温度差排熱の手法には、大きくわけて「上方開放のみによる方法」と「高窓と下窓を開放する方法」の 2 種類がある。

(1) 上方開放のみによる方法

図 4.1.20 は高窓や排気塔を利用する熱対流型換気のイメージ図である。気密性の高い住宅に高窓が設置されていることで、同一開口部の中央に中性帯ができ、温度の高い室内空気は室外へ、室温よりも温度の低い外気は室内側へと流入する流れが形成される。この方法は日中外気温度が高く、低温な外気を導入できないときに効果的であり、また防犯上も優れた対応である図 4.1.21 は上方開放による自然排熱の例である。

(2) 高窓と下窓を開放する方法

建物北側などに滞留している低温外気の導入が可能な場合や内外温度差が形成される夜間は、住宅のできるだけ高い位置と可能な限り低い位置に開口を設けることで、効果的な温度差換気を行うことができる。この場合、室内はできるだけ開放的なプランニングとすると、より効果的である。図 4.1.22 に示すような単純な住宅モデルで温度差換気のシミュレーションを行った。ﾊﾟﾀｰﾝ 1 とﾊﾟﾀｰﾝ 2 は夜間の温度状態を、ﾊﾟﾀｰﾝ 3 とﾊﾟﾀｰﾝ 4 は日中の温度状態を想定し、屋根窓のαA をパラメータとしてシミュレーションした結果が図 4.1.23 である。小屋裏温度をある程度高温に保つ工夫をし、かつ屋根窓開口αA をある程度確保できれば、無風状態でもある程度の温度差換気の効果が期待できる。

(本間 義規)

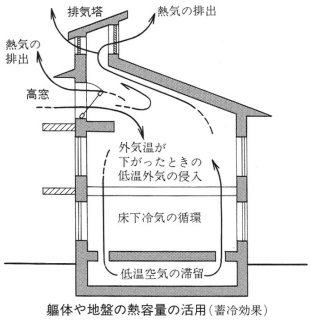


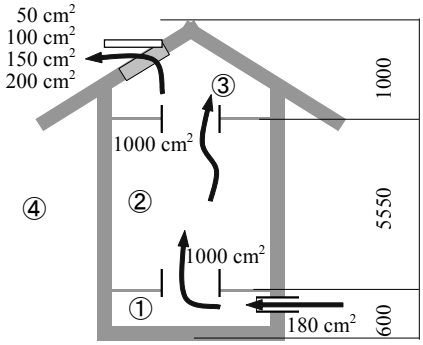




図 4.1.20 上方開放による熱対流方換気

（日本建築学会編，建築教材，雪と寒さと生活Ⅰ発想編，彰国社）

図 4.1.21 上方開放による自然排熱例（岩手県立大学）



	室	室	室	外気
ﾊﾟﾀｰﾝ 1	24	28	40	20
ﾊﾟﾀｰﾝ 2	24	28	30	20
ﾊﾟﾀｰﾝ 3	25	28	40	28
ﾊﾟﾀｰﾝ 4	25	28	30	28

図 4.1.22 計算モデル

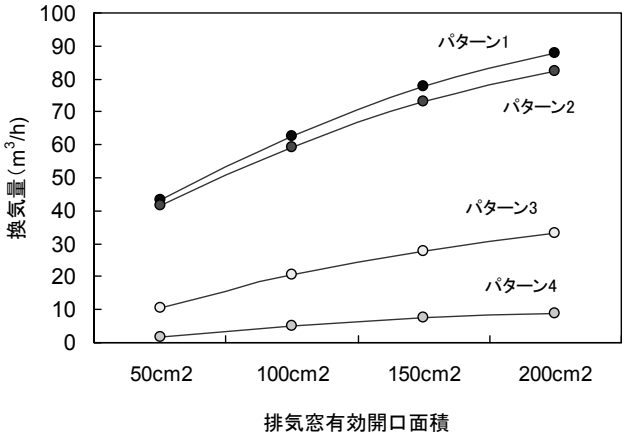


図 4.1.23 排気窓と下窓を開放したときの換気量

4.1.4 開口部付属物や内部建具の影響

1) 網戸・シャッターの影響

外界から室内にスムーズに風を取り入れることを考えると、開口部の抵抗は小さい方が有利である。しかし、開口部には、防虫のための網戸、遮光やプライバシー保護のためのカーテン、ブラインド、すだれ、防犯のための面格子や外付ブラインドシャッターといった窓周り部材を設置することが普通であり、これらの選択によっては通風性能を著しく損ねることになりかねない。開口部に要求される防犯、採光／遮光、視線透過／遮断等の性能とともに、通風性に及ぼす影響を考慮して開口部計画を行うことが必要である。

開口部の抵抗は、流量係数α(開口面積に対する通風換気に有効な面積の割合)で評価される。流量係数αが大きいほどスムーズに風が通過し、小さいほど流れづらくなる(=抵抗が大きくなる)ことを表し、流量係数αを実際の開口面積 A[㎡]にかけた有効開口面積αA[㎡]が通風換気に有効な開口面積となる*)。

流量係数αは、一般に開口面に垂直に流入する時に最も大きく(スムーズに流れ)、流入する角度が斜めになるにつれ小さくなる(抵抗が大きくなる)性質をもつ。引違窓単独(図 4.1.24a)では、流入時に最大 0.6 程度(0.6 は開口部の流量係数αの一般的な値)となる。網戸を閉めると流量係数αが 1～2 割程度小さくなるが(図 4.1.24b)、実際の窓開口面積が網戸によって 68%になっていることを考えると、網戸により通風性能が大きく損なわれる結果とはなっていない。

網戸と外付ブラインドシャッターを併用する(図 4.1.25)と流量係数αがさらに1～2割程度低下する(図 4.1.24c)。しかし、これはブラインドシャッターのスラット(羽根板)より、袖壁状のガイド部分が抵抗として働いている影響が大きく現れたものである。スラット角度が水平～30・の範囲では、スラット自体はほとんど抵抗になっていない。

一方、カーテンや内ブラインドを使用すると、風向によっては通風を大きく妨げることがある。網戸とレースカーテンの組み合わせ(図 4.1.26)では、流出時にはカーテンが網戸に密着してしまい、流量係数αが 0.2～0.3 に低下してしまう(図 4.1.26b)。逆に、通過風速が大きい流入時にはカーテンが大きくあおられることになり、外付ブラインドシャッターと同程度の流量係数α(=0.4～0.5)となる(図 4.1.26a)。

また、すだれを使用する時には、開口部に近接して吊す(図 4.1.27b:サッシ枠から 5cm 離して霧除庇から吊し、下端を固定) より、離して吊す(図 4.1.27a:サッシ枠から 30cm 離してすだれを設置している)方が、隙間を開口部

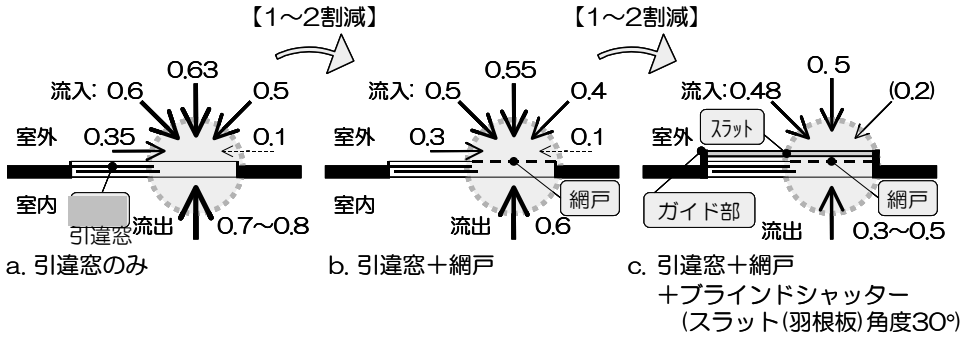


図 4.1.24 引違窓の流量係数の風向による違い

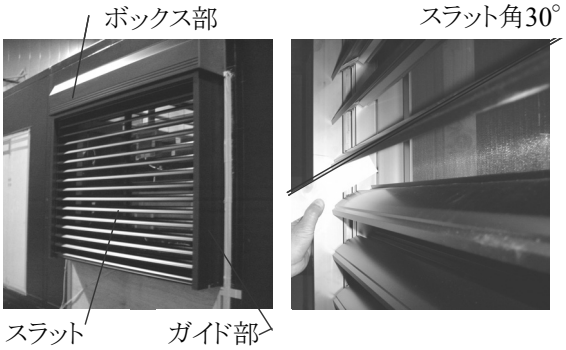
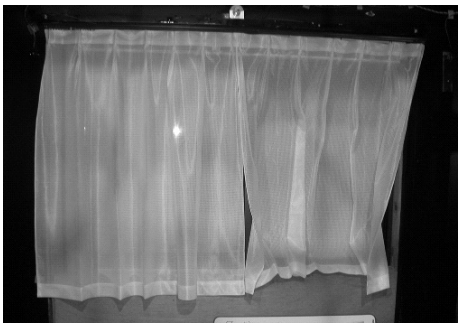


図 4.1.25 網戸+ブラインドシャッター（スラット角度30°）の状況



a. 流入→流量係数α=0.4～0.5

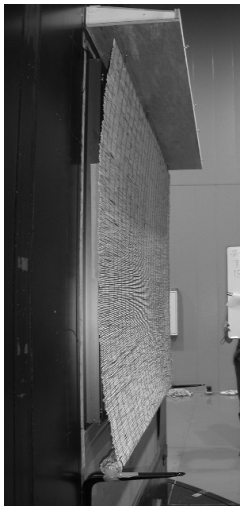


b. 流出時→流量係数α=0.2～0.3

図 4.1.26 引違窓+網戸+レースカーテン



a. サッシ枠から30cm
流入時:α=0.4



b. サッシ枠から5cm
流入時:α=0.3

図 4.1.27 引違窓+網戸+すだれ

との間に確保することができ、大きな流量係数αを確保できる。日射や視線を遮りつつ風を効果的に通すためには、すだれを開口から離れた位置に、あおられないように設置することが有効と言える。

（西澤 繁毅）

［＊本節実験に用いた引違窓の開口面積Aについて］

本節での流量係数αの算出には、開口面積Aに実開口面積(図 4.1.28①)を使用している。これは実際に開いている面積であり、窓サッシの規格寸法(外寸幅と高さ)から求めた面積(図 4.1.28②)とは異なることに注意が必要である。規格寸法から求めた面積 A'=0.99[m2](図 4.1.28②)を基準として考えると、本節で示した流量係数αの値はそれぞれの 83%となる。

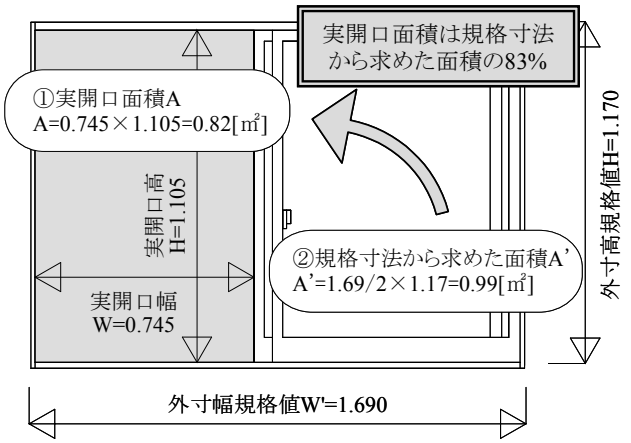


図 4.1.28 開口面積

2) 内部建具計画

卓越風を利用するために、室の配置を開放的にしても、室の間でうまく風が通らないとその効果は半減する。そのため、内部の建具にも工夫が必要である。

(1) 引戸の採用

引戸は片開きに比べ、開放時にも邪魔にならず、さらに必要に応じて開放寸法を調整できることから、通風に対しては有効な建具といえる。さらに引戸の高さを天井一杯に広げること(動く間仕切といったイメージ)で開放時の空間の連続性を持ちながらも、必要に応じて開口の調整ができる。図 4.1.29 の引戸は天井までの高さをとっているため、開け放つと通風の経路を大きく確保できる。引戸の幅を 0.95m、高さを 2.3m、流量係数αを一般的な値と想定すると、有効開口面積は 1.3 ㎡(=0.95×2.3×0.6)となり、表 4.1.3 の試算で想定したドアの有効開口面積より 3 割ほど大きくなる。



図 4.1.29 引戸の例 (有効開口面積約1.3㎡)

(2) 欄間の採用

昔ながらの欄間は、視覚的な区画を確保しながら、空気の流れも確保できるという優れものである。この考え方は現代の住宅にも十分に応用できる。最近は片開き建具上部に欄間機能を付加した建具も見受けられる。

図 4.1.30 の欄間機能を付加した建具は、図面のように欄間部を持ち上げて開くことができる。開放時の欄間部分の幅 0.86m、欄間下側の高さを 0.23m、上側隙間の高さを 0.05m、流量係数を欄間上下で 0.6、0.3 と想定すると、有効開口面積は 0.13 ㎡(=0.86×0.23×0.6[上]+0.86×0.05×0.3[下])となり、表 4.1.3 の試算で想定した通風欄間の面積の 6 割にとどまる。

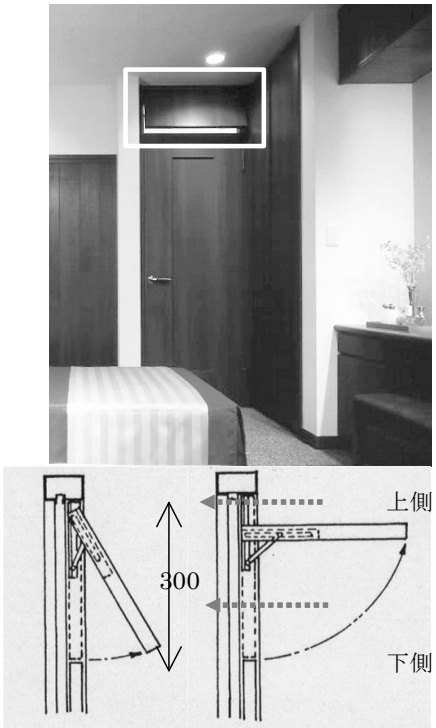


図 4.1.30 欄間の例 (有効開口面積約0.13㎡)

(3) 格子戸、格子間仕切

格子戸は格子ピッチによっては、視線をある程度カットしながらも通風に対しては非常に有効に活用することができる。格子戸と引戸(FIX)を組み合わせることで、完全にプライベートな状態をたもつことと積極的な通風状態を適宜使い分けることが可能となる。

図 4.1.31 の格子戸の空隙率は 0.4、格子戸は幅を 0.9m、高さを 1.8m、流量係数を 0.6 と想定すると、有効開口面積は約 0.4 ㎡(=0.9×1.8×0.4×0.6)となり、表 4.1.3 の試算で想定した通風欄間の約 2 倍の面積が確保できる。

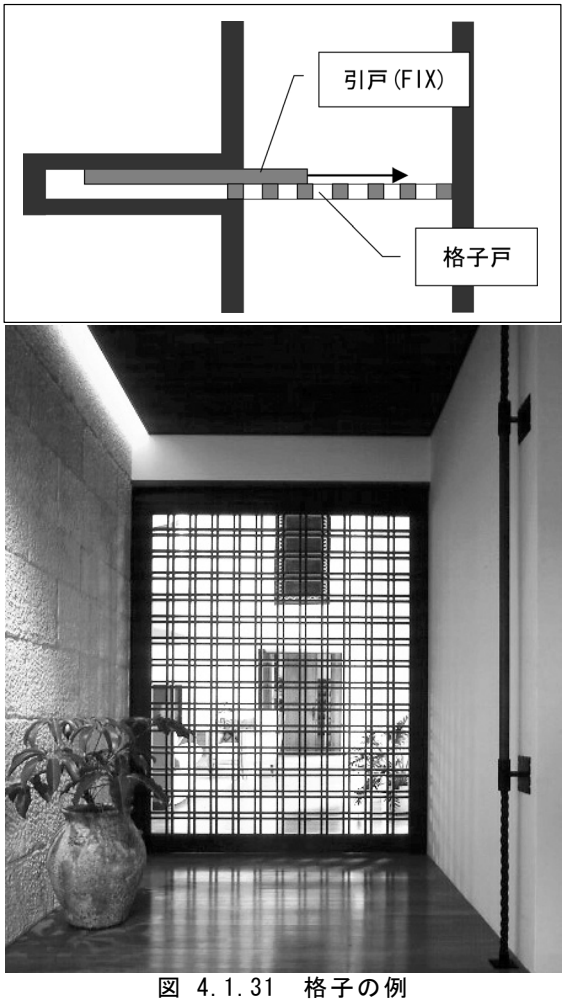


図 4.1.31　格子の例

(4) 開口付建具の採用

廊下などで、引戸が採用できず、建具を設置する場合、扉の開放状態を保つことが寸法的に難しい場合、建具内に開閉可能な開口を設けることも有効である。

(5) ドアストッパー

廊下などで、引戸が採用できず、開き戸を設置する場合ドアストッパーを採用することで通風のための開放状態を保つことが可能である。歩行時の障害となることを考えると床からの出っ張りが少ないタイプが推奨される。

(6) 内部建具設計のポイント

内部建具がどの程度通風に影響するかは、風が通ってくる開口部の面積と流量係数から得られた有効開口面積を合算した「合成αA(㎡)」によって決まってくる。つまり、間仕切りの開口が流入口より小さい場合は、その影響を大きく受けてしまう。表 4.1.3 に 9 パターンの通風経路について、立地条件ごとにどの程度の換気回数が確保できるかを試算したものを示す。

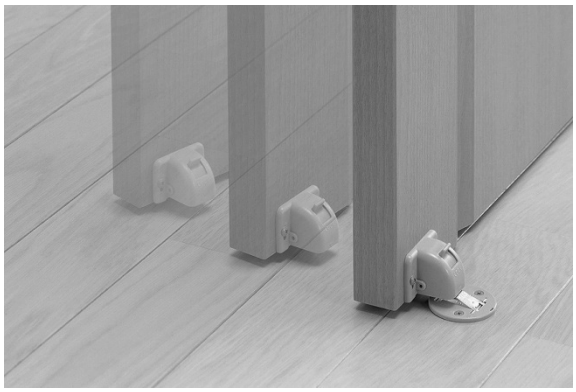


図 4.1.32　ドアストッパー

(7) 昼間の通風

昼間の在宅状態で、防犯上の対策があまり必要でない場合には、窓全開→内部開口全開→窓全開が想定できる。この場合、どのような敷地条件であっても、換気回数が 50 回程度は確保でき、十分な効果が期待できる(表の上段)。

(8) 夜間の通風

夜間、防犯対策が必要な状態では、夜間開放可能窓→通風欄間→夜間開放可能窓が想定される。この場合、どのような敷地条件であっても、換気回数が 10 回程度は確保でき、十分な効果が期待できる(表の下段)。

(吉田　元紀、七岡　寛)

表 4.1.3 合成αAの算出と換気回数の試算

日中・在宅時		窓全開 ドア全開 窓全開	窓全開 欄間 窓全開	窓全開 ドア閉 窓全開
合成αA[m²]		0.49	0.20	0.015
換気回数 [回/h]	立地2	36	15	1.1
	立地2～3	51	21	1.6
	立地1	72	29	2.2
		夜間開放 ドア全開 窓全開	夜間開放 欄間 窓全開	夜間開放 ドア閉 窓全開
合成αA[m²]		0.21	0.15	0.015
換気回数 [回/h]	立地2	16	11	1.1
	立地2～3	22	16	1.6
	立地1	31	23	2.2
夜間就寝時 ※夜間開放とは、ドレーキップ窓等、防犯に配慮し開口面積を抑えた窓の開放をイメージしている。		夜間開放 ドア全開 窓全開	夜間開放 欄間 窓全開	夜間開放 ドア閉 窓全開
合成αA[m²]		0.16	0.15	0.015
換気回数 [回/h]	立地2	11	9	1.1
	立地2～3	17	14	1.6
	立地1	23	19	2.2

※計算条件:外部風1.5m/s

※有効開口面積(αA)の算出

		流量係数	×	幅[m]	×	高さ[m]	=	有効開口面積[m²]
窓全開(網戸入り)	:	0.5	×	0.9	×	1.8	=	0.81
夜間開放(網戸入り)	:	0.5	×	0.25	×	1.8	=	0.225
ドア全開	:	0.6	×	0.9	×	1.8	=	0.972
通風欄間	:	0.6	×	0.9	×	0.4	=	0.216
ドア閉(ｱﾝﾀﾞｰｶｯﾄ)	:		×		×		=	0.015

※合成αAの算出方法

合成αA とは、複数の開口部が連続してある場合に、それらを一つにまとめた場合の有効開口面積αAである。ここでは、風上、間仕切、風下の有効開口面積αAを、その以下の合成公式に従って求めている。

$$\frac{1}{(\text{合成}\alpha\text{A})^2}=\frac{1}{(\text{風上}\alpha\text{A})^2}+\frac{1}{(\text{間仕切}\alpha\text{A})^2}+\frac{1}{(\text{風下}\alpha\text{A})^2}$$

※立地の考え方

立地条件によって、風圧係数差(ΔC)を以下のように想定している。

立地2	:	ΔC=0.1	密集住宅地の通常条件
立地2～3	:	ΔC=0.2	密集住宅地で工夫した場合
	:	ΔC=0.3	郊外住宅値で条件の悪い場合
立地1	:	ΔC=0.4	郊外住宅値で条件の良い場合

※換気回数の算定

換気回数は 3.6m×2.7m×2.4m の室に対する換気回数[回/h]で表す。

4.1.5 通風窓の事例と防犯・騒音への配慮

1) 通風窓に求められる性能と窓の事例

一般の開閉窓は、一部の小窓を除き、通風に十分な開口面積が確保できるので、窓開け時に要求される通風以外の性能の検討も重要になる。通風を行うケースには、家人が在宅で適宜に窓の開閉調整をする場合、昼間家人が留守で室内のオーバーヒート防止等の目的で窓開けをしておく場合、また夜間に無冷房就寝等の目的で窓開けをしておく場合等があげられ、それぞれ窓に要求される「遮断性能」が異なる。以下本項では、夜間就寝時の窓開けを可能にするために「遮断性能」をいかに満足するかに的を当てて解説し、合せて通風窓の事例を紹介する。

(1) 夜間通風窓に求められる遮断性能

夜間通風窓は、通風を満足できる性能が重要であるが、一方、窓を開けることにより、防犯や防音等の遮断性能が損なわれてしまうことがあるので、「通風性能」と「必要な遮断性能」が両立できるものを選定することが肝要になる。窓が夜間通風目的で使用される時に、必要性が高い性能を「○」、必要とされることがある性能を「△」、必要性があまりない性能を「－」の印で整理すると表 4.1.4 のようにあらわせる。各性能に対する必要性は、家の立地、部屋の位置、個人差等により異なり、かならずしも表のとおりでない場合もあるが参考にしてもらいたい。

各遮断性能は、窓本体の開閉方式、窓開放時の施錠機構、窓サイズ及びガラスの品種等により変化し、加えて窓周りに取付けられる庇、シャッター、面格子、網戸等の窓周り部材により性能が向上するので、これらを効果的に併用して通風窓の性能向上を計画する。

通風窓の選定では、意匠性や操作性また予算等との兼ね合いで「窓本体と網戸だけで計画」する場合と、その他の「窓周り部材も併用して計画」する場合(窓本体＋窓周り部材)があり、いずれも図 4.1.33 のように、要求遮断性能を予想し、それを満足する通風窓を選定する。

表 4.1.4 「夜間通風窓」に求められる透過性能と遮断性能の例

性能		必要性	(各用語の本項での意味)
透過性能	採光	－	採光:外光を取り入れられる
	採熱	－	採熱:太陽熱を取り入れられる
	透視	－	透視:屋外が見通せる
	通風	○	
	通行	－	通行:人や物の出入りができる
遮断性能	断熱	－	断熱:熱の貫流を低減できる
	遮熱	－	遮熱:日射熱の侵入を緩和できる
	遮光	△	遮光:外光の侵入を緩和できる
	遮透視	△	遮透視:外から覗かれ難くできる
	防雨	△	防雨:小降りの雨の吹込を防げる
	防塵	△	**防塵:塵・埃のひどい吹込を防げる**
	防音	△	防音:騒音の侵入を緩和できる
	防虫	○	防虫:蚊や蝿等の侵入を防げる
	防犯	○	防犯:侵入盗の侵入を防げる

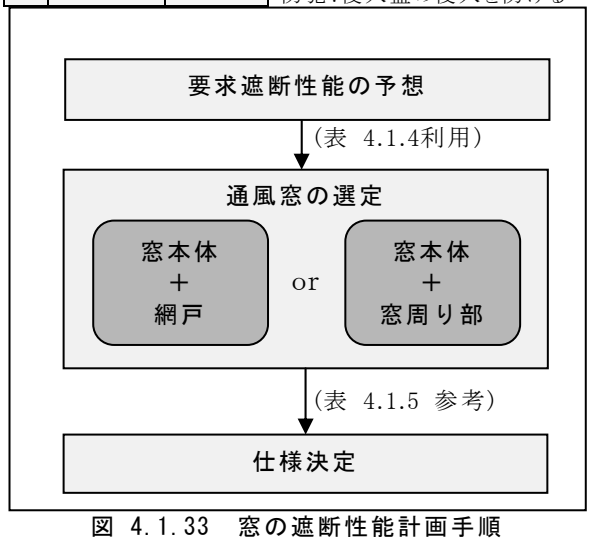


図 4.1.33 窓の遮断性能計画手順

(2) 通風窓の事例

通風窓の選定の参考に、表 4.1.5 に住宅用窓の主な開閉方式とその特長を示す。

また、「窓本体＋各種窓周り部材」で採用を検討する場合、主要な窓周り部材による一般開閉窓の性能改善具合は、表 4.1.6 のような傾向になるので、これら窓周り部材を効果的に併用して通風窓の遮断性能向上を計画する。

（福永　充保）

表 4.1.5　通風窓の事例と性能の特長

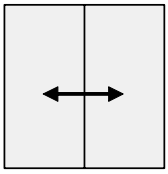
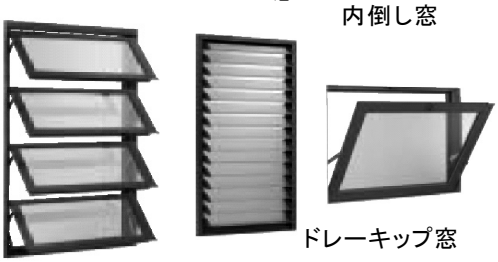
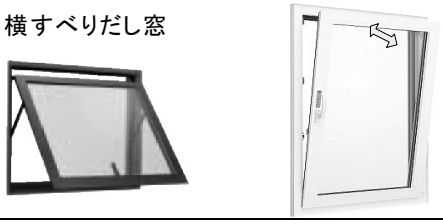
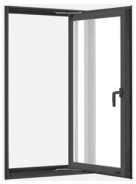
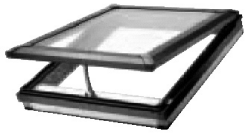
		通風窓の事例	
		窓 全 景	性能の特長
面内開閉		引き違い窓  ダブルハング 	開放面積が自由にとれるが、遮断性能が比較的低く、特に開放状態で防犯性を満足するものは少ないので、窓周り部材を併用して性能向上を計画するのが適当である。
面外開閉	横開き系	オーニング窓 ルーバー窓 内倒し窓  ドレーキップ窓 横すべりだし窓 	通風状態で施錠機構がある開放ストッパーのついているものは「忍び込み犯」(＊)に防犯効果がある。 「打倒し窓」、「横すべりだし窓」、「縦すべりだし窓」で人が通り抜けられない細幅のものは、「破壊侵入犯」(＊)にも防犯効果を発揮する。 (4.1.50項参照) 「オーニング窓」と「横すべりだし窓」の面格子の取付け位置は、室内側になる。
	縦開き系	縦すべりだし窓  縦すべりだし窓(連窓) 	横開き系(回転軸が横方向のもの)は、窓本体の防雨性が比較的高い開閉方式である。 高窓等高所取付け用に遠隔操作で開閉できるものが品揃えされている。 開き系の開閉方式の窓は、開放時に不意の強風に対するあおり止め機構があるものの採用が必要である。
	その他	押出し窓  天窓  障子部が屋外側に 40㎜ 程度平行に押出される	押出し窓は、出幅が少ないので通風効果は小さいが、型板ガラス等を使用すると遮透視効果が期待できる。 天窓は、屋根面が負圧になる部分に配置すると排気効果が期待できる。開放状態で防雨効果は期待できないが、雨センサーにより自動閉機構を備えた機種もある。

表 4.1.6　窓周り部材による性能改善具合の例

性能が上がる ↑　　性能が下がる ↓　　あまり変わらない

性能の種類		必要性の例	窓周り部材						
			庇	通風雨戸	通風シャッター	面格子	網戸	カーテン	ベネシャンブラインド
通風性能		○					注1	↓	
遮断性能	遮光	△		↑	↑			↑	↑
	遮透視	△		↑	↑			↑	↑
	防雨	△	↑	↑	↑				
	防塵	△					(↑)		
	防音	△							
	防虫	○					↑		
	防犯	○		↑	↑	↑			

・網戸(注1):20メッシュ程度の防虫網を使用した一般の網戸は、あまり通風の障害にならない

(窓周り部材の用語の意味)
- ・庇　：窓がある階の出幅の深い軒や庇および窓のすぐ上に取付けられる付庇等
- ・雨戸　：施錠の状態で通風ができる通風ガラリ付きのもの(通風雨戸)
- ・シャッター　：シャッター部が屋外から引き上げられ難い機構で通風スラット付きのもの(通風シャッター)

(通風雨戸、通風シャッターは、引き違い窓に取り付けられるタイプが品揃えされている)
- ・面格子　：防犯用のもの(「忍び込み犯」対応と「破壊侵入犯」対応とがある)
- ・網戸　：20メッシュ程度の一般の網戸(ほとんどの開閉窓に標準的に準備されている)
- (↑)　:極細メッシュ(200メッシュ程度)のものは防塵効果があるが、通風や透視が大幅に妨げられるで通風窓用には実用的でない
- ・カーテン　：一般のカーテンを閉めた場合(レースのカーテンでないもの)
- ・ブラインド　：スラットを30～45度程度の角度にした場合

2) 防犯性に配慮した夜間開放可能窓

侵入盗の手口は色々あり、通風窓は、その取り付け部位等により、防犯性能の要求レベルが異なると予想される。ここでは、素手もしくは小型のネジ回し等を使用して、ほとんど音も立てないでそっと侵入する「忍び込み犯」及びバールや金きり鋏等の工具を使用し窓を破壊して侵入する「破壊侵入犯」(注)を想定して、それら手口に対応できると予想される窓の事例を表 4.1.7 にあげた。近年、侵入盗の手口が激しくなっているので、安全を期する部位の窓には、防犯性に十分配慮が必要である。尚、戸建住宅の場合、2～3階に取付けられる窓は、ベランダや下階の屋根等の足がかりが無ければ、あまり高い防犯性が必要とされないので、このような部位の窓を通風窓として利用する計画も防犯上有効である。

警察庁の調査によると、侵入盗は、侵入に時間を要するほど侵入をあきらめる傾向にあるので、開口部の防犯性能強化には、侵入抵抗時間を長くすることが有効であり、官民合同会議による「建築物品の防犯性能の試験に関する規則」では、5分間以上と規格している。また、家人が在宅で、侵入口確保のための破壊音等が感知できれば、通報等による対策もとれるので、侵入口確保の時に発生音が大きくなるようにすることも強化の一部となる。

(注)「破壊侵入犯」

警察庁ホームページにある「防犯性の高い建築物品の開発・普及に関する官民合同会議」を参考にしている。
尚、防犯規格の詳細は、末尾の補足資料集にある「防犯に関する規格検討」を参照願う。

表 4.1.7 防犯性を配慮した通風窓の事例

「忍び込み犯」対応の通風窓の事例	「破壊侵入犯」対応の通風窓の事例
○開放ストッパー付き窓 開放ストッパー付き窓の例 (窓を閉めないとストッパーが外せない) 写真は窓の一部  ○通風雨戸や通風シャッター付き窓 通風雨戸  通風シャッター  通風状態でシャッター部が屋外から引き上げ難いもの(電動タイプが一般的) ○普通面格子付き窓 面格子付き窓 	○防犯面格子付き窓 ・防犯性の高い面格子は、警察庁ホームページ 生活安全の確保 → 住まいる防犯110番 「防犯性の高い建築物品目録」の中に紹介されている  ステンレス製面格子付き窓 外開き窓用に内付けタイプのものもある ○細幅窓 外枠の短辺内法寸法が25cm以下のもの  細幅縦すべり出し窓 (人が通り抜けられない)

(福永 充保、佐藤 昌幸)

3) 遮音性能の確保

通風を妨げる一つの要因として、窓開放時の騒音の問題がある。ここでは夜間の就寝時に焦点を絞り、遮音性に配慮した開口部についての可能性を検討する。

外部から屋内への騒音の侵入は図 4.1.34 の様に考えることが出来る。①「求められる屋内騒音レベル」がわかり、②「一般的な屋外騒音レベル」がわかれば、③「開口部に必要な遮音性能」が導き出される。

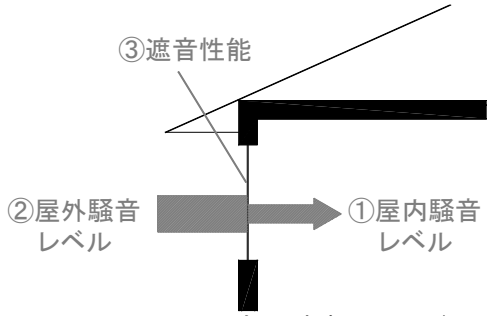
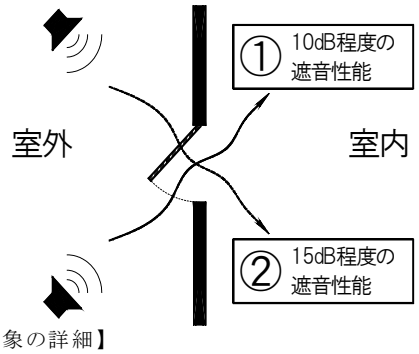


図 4.1.34 開口部の遮音イメージ

(1) 開いている窓の遮音性能について

通常窓を開けると外の音がそのまま入ってくるようなイメージがある。しかし実際に測定してみると、窓を開けていても多少の遮音性能があることがわかる。図 4.1.35 は片開き窓について2方向からそれぞれ音を発生させて室内の音を測定し、窓の遮音性能を測定した例を表したものである。①は音が直接室内に入ってくるような状態だが、それでも 10dB(デシベル)程度の遮音性能がある。さらに、開いたガラスが音を遮る壁のようになる②の状態では 15dB 程度の遮音性能が得られた。つまり、



【測定対象の詳細】
対象室:実住宅主寝室(12.5畳)
対象窓:片開き腰窓(サッシ外枠内法幅400mm×高さ1125mm)
室内仕様:ベッド2台＋布団、椅子1脚(吸音性あり)

図 4.1.35 水平断面イメージ(片開き窓，開き角度45°，家具等による吸音性あり)

・窓を開いていても多少の遮音性能がある(10dB)
・道路などの音源に対して、開く方向を工夫すればさらに遮音性能が高くなる(15dB)

ということがわかる。

(2) 外部騒音と室内騒音許容レベルについて

図 4.1.36 は夜間の住居地域における室外での騒音レベルの実測値と、夜間の住宅室内で推奨される騒音レベルを表したものである。室外では平均値として 44～45dB という測定結果となっている。一方室内で推奨される騒音レベルは 35dB である。

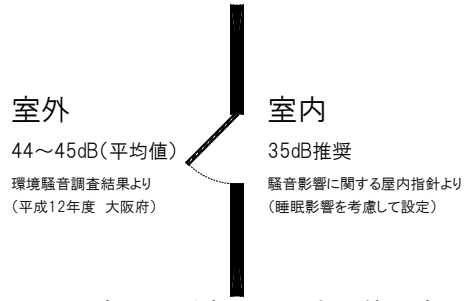


図 4.1.36 室外の騒音レベル実測値と室内の推奨騒音レベル

当然地域によって異なるが、遮音性能が 10dB 程度あれば、室内での騒音を推奨レベルよりも低く抑えながら通風を行える可能性が高くなる。さらに先述のように開き方向を設計段階から工夫すれば、より音の侵入を防ぐことができ、静かな環境で通風を図れる。

(3) まとめ

以上、外部騒音、窓の遮音性能の実測値及び室内騒音許容レベルの指針値を考えると、

騒音に配慮しながら通風を確保することは十分に可能と言える。図 4.1.37 は一例として音源(この場合は前面道路)との位置関係を考慮して、開いた状態での遮音性能を高めるように窓の設置を工夫したものである。

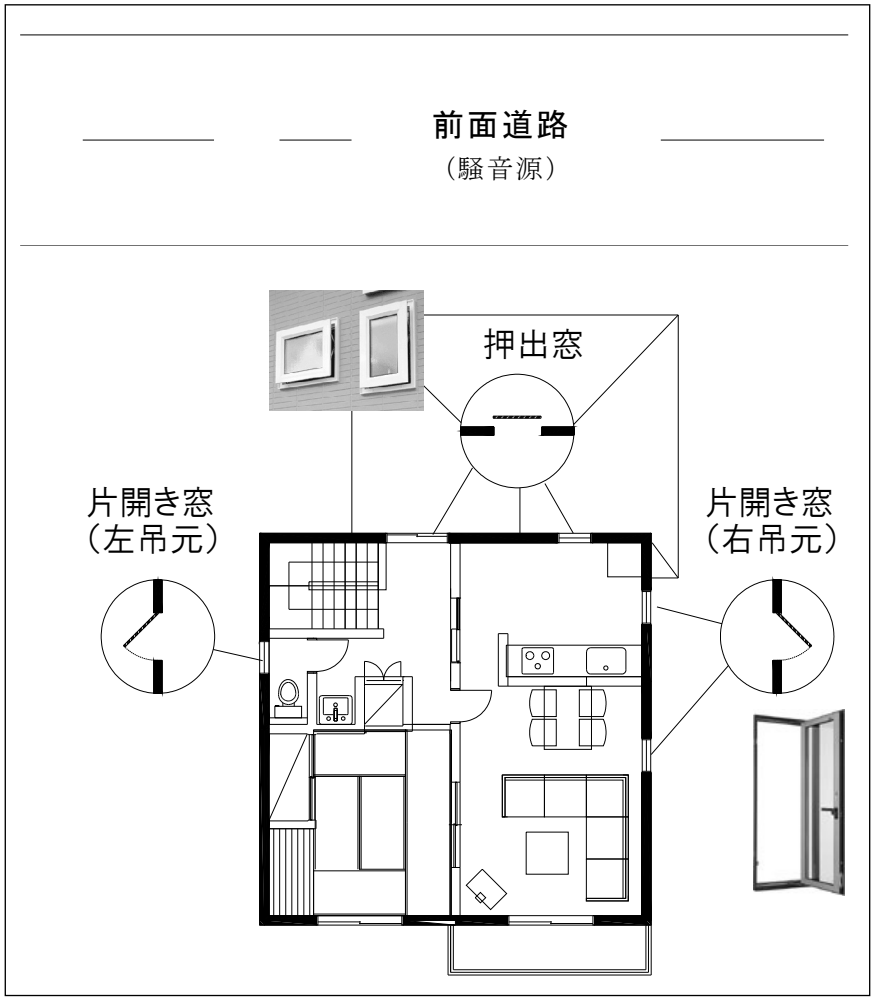


図 4.1.37 遮音に配慮した窓の設置例

(七岡 寛)

4.1.6 省エネルギー効果の確認

この項では、通風の採用により、省エネルギー効果、すなわち冷房負荷の削減がどの程度になるのかをコンピュータシミュレーションと実験住宅の実測により検証する。

1) シミュレーションによる検討

通風による省エネルギー効果は敷地の条件によって変化する。ここでは、

・過密地域　→ 図 4.1.38 参照
・郊外　　→ 図 4.1.39 で周囲の建物を全て取り払って更地にしたと仮定

という 2 つの敷地条件で試算する。いずれも地域は東京(拡張アメダス気象データを使用)とし、6～9 月の時々刻々の通風量と窓の開閉、冷房の負荷(設定 28℃)を求める。対象建物は延床面積 122m^2 の 2 階建の戸建住宅(図 4.1.39 参照)で次世代省エネルギー基準相当の断熱・気密性を有するものとする。また、家族人員は 4 人で専業主婦の世帯を想定する。

省エネルギー手法としては、3 つのレベルを想定し、

・ レベル 0　→ 通常の窓開け(就寝中や部屋に人がいないときは窓を閉める)
・ レベル 1　→ 積極的な窓開け(就寝中や部屋に不在の時でも窓開けを図り、更に冷房中でも室内外の温度に気を配り冷房停止・窓開けに努める)
・ レベル 2　→レベル 1＋屋根面開口の利用

というように段階的に省エネルギー手法を強化した場合の、冷房負荷の削減率を求める。ただしレベル 2 については過密地域のみ試算する。

(1) 窓の開閉方法による省エネ効果の違い

「積極的な窓開け(レベル 1)」では、

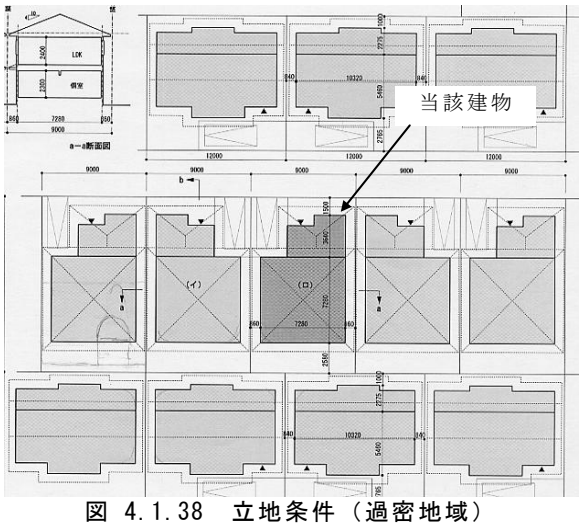


図 4.1.38　立地条件（過密地域）

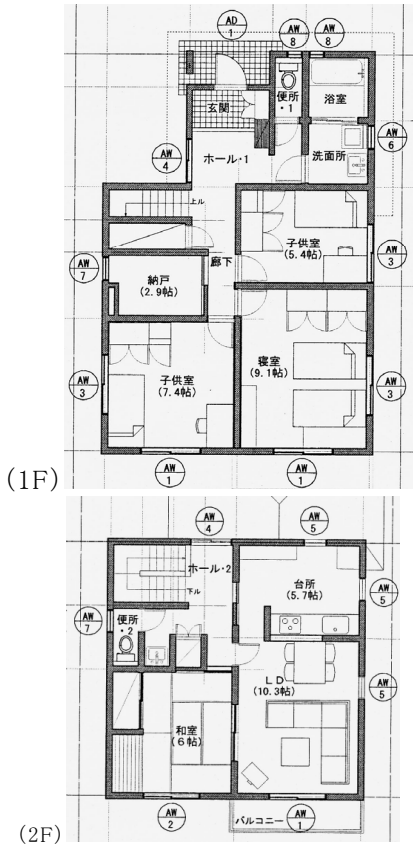


図 4.1.39　対象住戸平面図

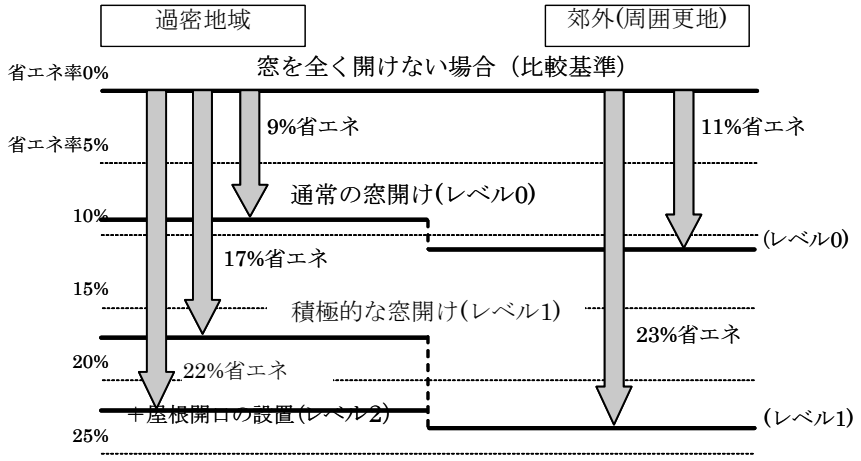


図 4.1.40 通風による省エネルギー効果の試算結果

・室内が適温であれば日中のみならず、就寝時についても窓を開ける。
・それぞれの部屋に人がいなくても、誰かが在宅していれば、一定時間(2 時間)おきに窓開閉判断を行う。
・冷房中であっても、一定時間おき(日中 2 時間、就寝中 4 時間)に室内外の気温をチェックし、外の気温の方が室温より低いときは一旦、冷房を停めて15分間窓を開けてみる。冷房する必要がなければそのまま窓を開けておき、室温が許容温度(28℃)を上回る場合は再び窓を閉めて冷房する

という条件を設定している(詳細な窓開閉・冷暖房判断フローを図 4.1.41 に示す)。日中、在室しているときのみ窓を開ける「通常の窓開け(レベル 0)」でも通風の効果は見られるが、図 4.1.41 に示すように、外の状態を気に掛けながら小まめに窓を開閉する工夫により、省エネ効果が 2 倍程度になることが分かる。

図 4.1.42 によれば、6 月の居間(左列)において、窓を常時閉めた場合には冷房が必要(例えば図中 a, b の部分)であっても、この期間は外気温度が冷涼であるため、レベル 0 あるいは 1 の窓開放により冷房が不要となっている(上段の図の横棒は、レベル 0、1 の窓開閉判断に従って窓を開けたことを示す)。さらに、図中 c, d の部分(夕方から夜間にかけての食事・団欒の時間帯)においては、レベル 0 の窓開閉判断では窓が閉められ冷房している。これは、夕方、買い物から帰った(と想定した)主婦が居間の冷房を稼動させてより、全員が居間を離れるまで窓を閉めたまま冷房を継続したためである。ところが、この間の外気温変動をみると、冷房開始時には 26～27℃だったものが、深夜には21℃程度まで下がっている。レベル 1 の窓開閉判断では、定期的(日中 2h おき)に窓開放の試行を行なうため、この外気温低下を「察知」することが可能となり、冷房を停めることが可能となった。

また、8 月の主寝室(右列)においては、日中、部屋に在室者がいないため、レベル 0 の窓開閉方法では窓を閉めている。この間、外気温の上昇に加えて日射の侵入により、最高で 34℃程度の高温となっている。これに対して、レベル 1 においては、部屋に在室者がいなくても在宅者によって窓開閉を行なうため(図中 e)、室温は 3℃程度低下しており、その蓄冷効果により就寝時の負荷(図中 f)がかなり削減されている。加えてレベル 1 では、就寝中も 1 回は窓開放の試行を行なうため、図中 g の部分のように就寝途中から窓開放・冷房停止というモードに切り替えられる日もある。

このように、外気条件に気を配り、自室あるいは在室者のいない他室についても窓を開放してみる、といった生活上の細かな工夫が、通風利用による省エネルギー効果を高めることが分かる。

(2) 屋根開口設置の効果

この試算では、右のような2種類の屋根形状を仮定した。右側の図のような屋根開口を設けた場合、風が南側(図の左下側)から吹く状態で開口部に負圧(室内から吸い出す力)が発生し、通風を促進する効果がある。また、屋根に設ける開口は、必然的に高所に設置されるので、温度差換気の利用による効果も期待できる。

このような工夫により、通風条件に恵まれない過密地域においても、郊外(レベル 1)に匹敵するような通風効果が得られることが試算結果(図 4.1.40)から分かる。

図 4.1.44 は、両者の屋根形状(ともに過密地域に立地)について、風向別の外気侵入量を侵入先の部屋別に示したものである。通常の、

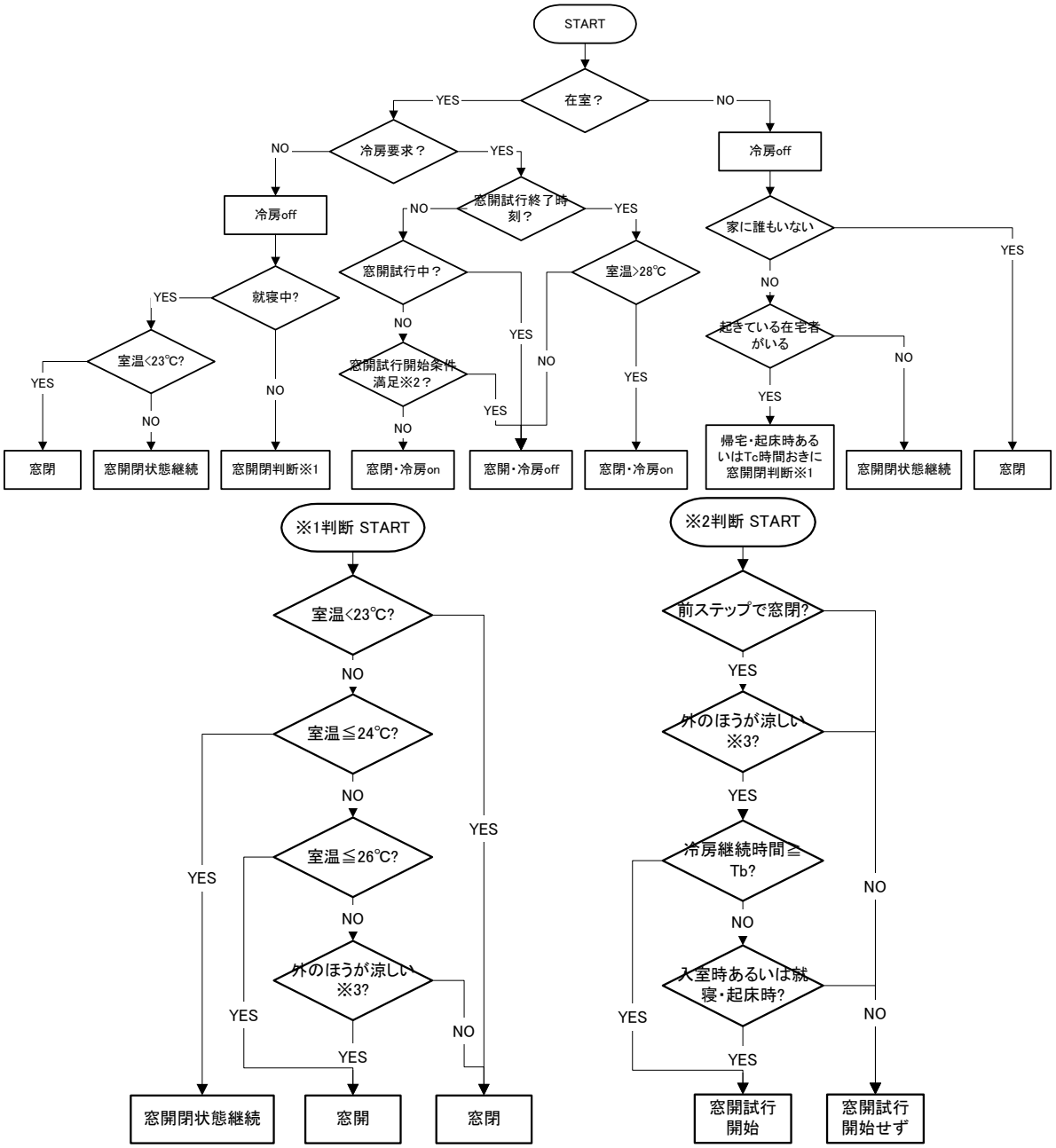


図 4.1.41 「積極的な窓開け（レベル1）」における窓開閉・冷房判断フロー

(フロー図中、「※3」において、外の方が涼しいかどうかは室内外温度差で判断する。
またパラメータ値について、Tbについては日中2h，就寝中4h、Tcについては2hとした)

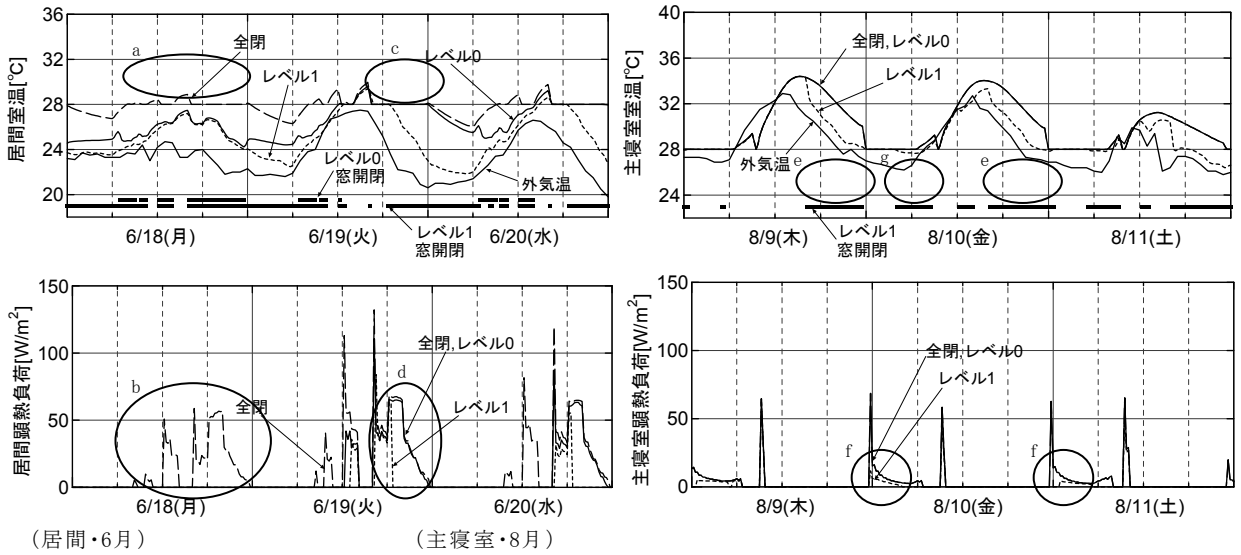


図 4.1.42 窓の開閉方法の違いによる居間・主寝室の室温変動・顕熱負荷への影響（過密地域）

屋根形状では、風向によってばらつきはあるが概ね 1000m³/h(建物全体の容積で割ると換気回数 3～4 回/h)程度の外気侵入量であるのに対して、屋根形状を変えて開口(有効開口面積 1.1m²×2)を設けることにより、2000m³/h(7 回/h 程度)に及ぶ外気侵入量となっている。

部屋別にみると特に 2F の居間(食堂を含む)・和室とホールの侵入量が大幅に増加しており(居間と和室は開放された襖によって繋がっている)、居間・和室については北～東～南西の風において、また 2F ホールにおいては西～北～北東の風向の場合にその傾向が顕著である。これらは建物外皮の風圧係数の分布の変化に対応したものであり、例えば、同じ南寄りの風であっても、やや東寄りの風の場合に居間・和室の侵入量が大きいのは、屋根開口の東側(居間・食堂上部)において負圧がより大きくなるためである。北風の場合には、屋根開口部が風を受けて正圧となり、ここから室内に外気が侵入していると考えられる。

このように、屋根形状を工夫して屋根開口を設けることにより、通風量が大幅に増加することが分かったが、図 4.1.40 の試算結果では、この通風量の増大に見合うほどの冷房負荷削減は得られていない。冷房負荷の削減のためには窓を開けたときの通風量だけではなく、そもそも窓を開けるための条件が揃わなければ通風の利用が不可能である。

図 4.1.45 は、窓を開けたときに期待される冷却量(冷却ポテンシャルと呼ぶことにする)と常に窓を閉めたときの顕熱負荷との関係を居間・食堂についてみたものである。

「冷却ポテンシャル」は、具体的には、居間・食堂の外気侵入量(室内外温度差がないと仮定して全ての居室の窓・室内ドアを開放したときに得られるもの)に、内外温度差(室温から外気温度を引いたもの。室内は冷房設定温度 28℃とする)と空気の容積比熱を掛けたものである。

通風量が得られる条件であっても、以下のような要因によって冷房負荷の削減が図られない場合が生じる。

①外気温の方が室温よりも高い(図中「a」で示す冷却ポテンシャルが負の領域の一部)、②窓を閉めているときでも負荷が発生しないほど涼しい(図中 b の一部)、③冷却ポテンシャルが正で、かつ窓を閉めている状態で負荷は発生しているが、冷却ポテンシャルが十分ではなく室温を許容範囲まで下げるには至らない、あるいは通風だけで凌げることに気づかずに窓を閉めて冷房する(図中 c の×印の一部)。8 月はもともと負荷の大きい季節であるが、外気温度も高いため通風の機会が少ない。6 月は通

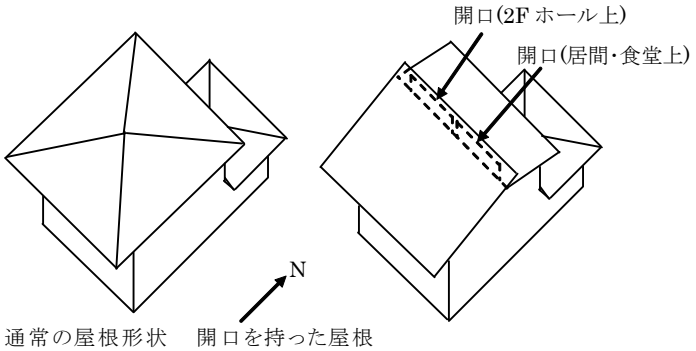
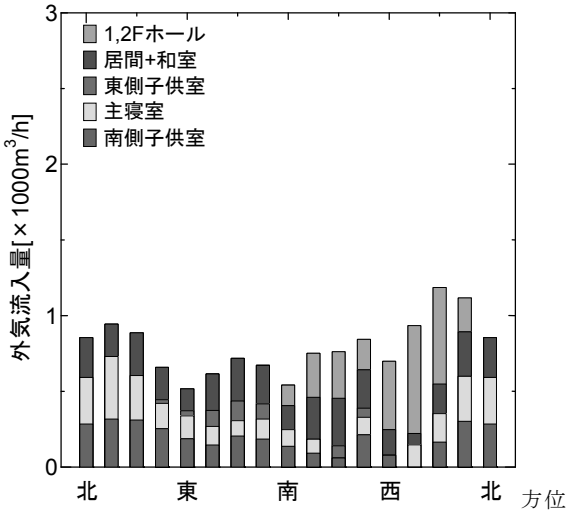


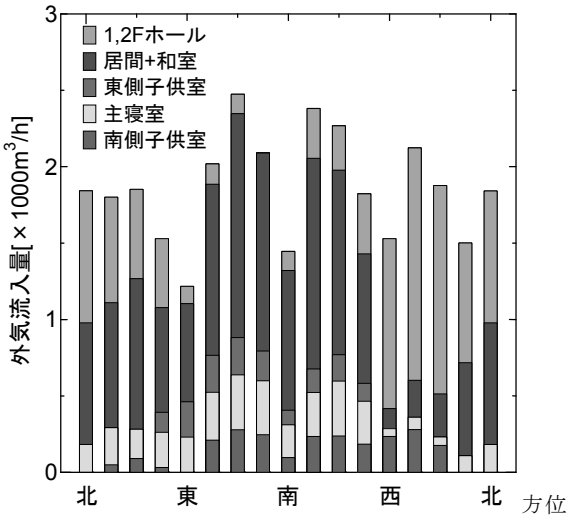
図 4.1.43 試算に用いた屋根形状

風ポテンシャルは大きいが、もともと負荷が小さく、削減効果が小さい。このように通風による冷房負荷の削減効果には自ずと限界があり、その可能削減量は、建物の構造種別・断熱度、日射侵入・内部発熱、可能通風量、地域などに依存する。対象となる建物の条件が通風利用に適合しているかどうかを見極めて必要な投資を行なうことも大切と考えられる。

(長井 達夫)



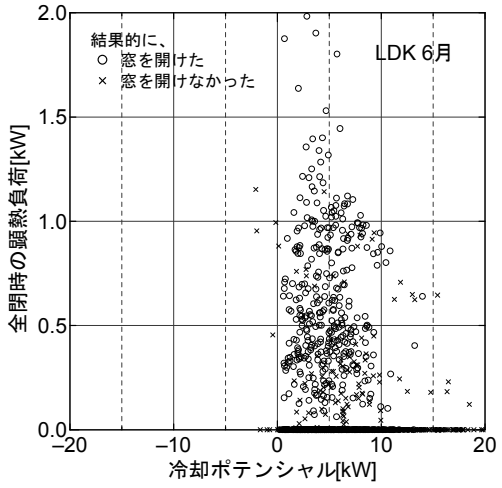
(レベル1:通常の屋根形状)



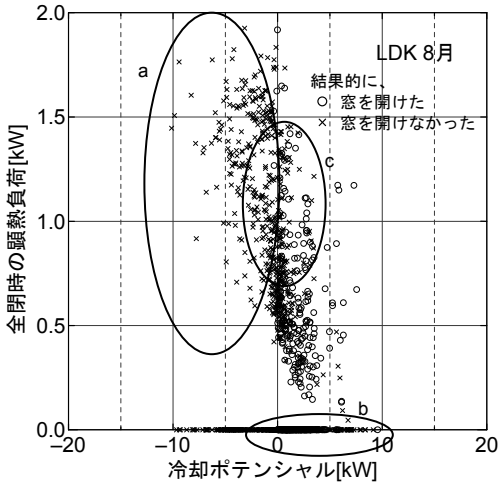
(レベル2:開口を持った屋根)

図 4.1.44 屋根形状の違いによる風向別外気侵入量への影響(過密地域)

(外部軒高風速1.0m/sにおける値。室内外温度差はなく、全ての居室・ホールの窓・室内ドアを開放させた状態)



(6月)



(8月)

図 4.1.45 居間・食堂における「冷却ポテンシャル」(本文参照)と窓を常時閉めているときの顕熱負荷との関係

(過密地域における開口を持った屋根の場合。窓の開閉の区別はレベル2の開閉方法に従った場合の結果を示す)

2) 実測による検討

冷房期において、屋外のほうが室内より低温である場合に通風を行って室内を冷却することは、ごく自然な行動である。しかしながら、通風を行うことによる室内温熱環境への影響については、未だ不明な点が少なくない。そこで、実住宅を用いた実験により通風の効果を確認したので、ここに報告する。

(1) 実験対象住宅

実験は、千葉県野田市に建築された住宅(図 4.1.46)を用いて行った。住宅の諸元を表 4.1.8 に、平面図を図 4.1.47 に示す。当該住宅には排気セントラルの換気システム(排気量 175m^3/h)が設置されており、外気は外壁内の通気層を通じて室内に供給される(平面図中の矢印の位置)。排気は平面図中に点で示す位置で行っている。1 階は LDK となっており、台所及び階段室と空間が連続している。2 階の子供室(東子供室、中子供室)は勾配天井で上部がロフトとなっている。また 2 階居室(子供室及び主寝室)と階段室はドアによって仕切られている。なお、当該住宅の周辺に高層建築物はなく、北側及び南側は駐車場、東側は道路に面していることから、通風においては良好な条件といえる(図 4.1.48)。なお住宅の南側には生垣(高さ 1.5m)、北、東および西側にはフェンス(高さ 1.2m(東側)、0.93m(北、西側))が設置されている。

表 4.1.8 調査対象住宅の諸元

延床面積	137.21 m^2
相当隙間面積	1.07 cm^2/m^2
熱損失係数	2.23 W/m^{2}K
換気システム	排気セントラル換気システム (1階洗面所に排気ユニット)
換気量	175 m^3/h
冷房器具	エアコン 設定温度 28 ℃ LDK : 3.6 kW 主寝室, 中子供室 : 2.8 kW 東子供室 : 2.5 kW

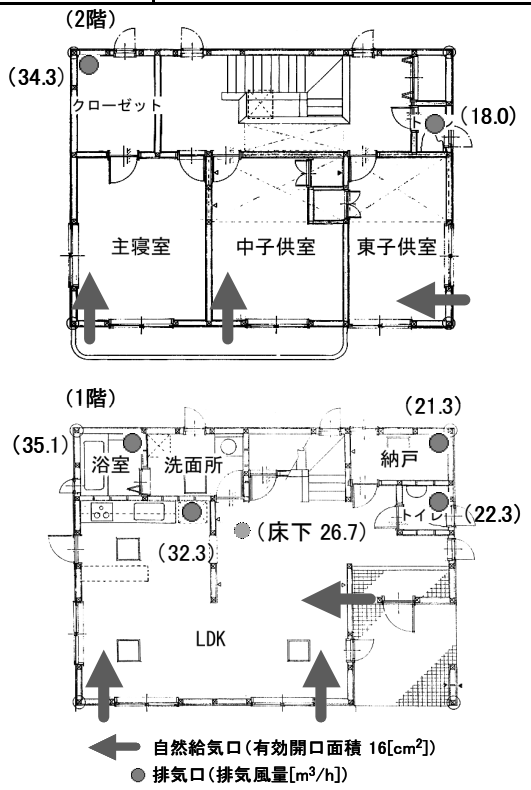


図 4.1.47 平面図および給排気口位置



図 4.1.46 調査対象住宅

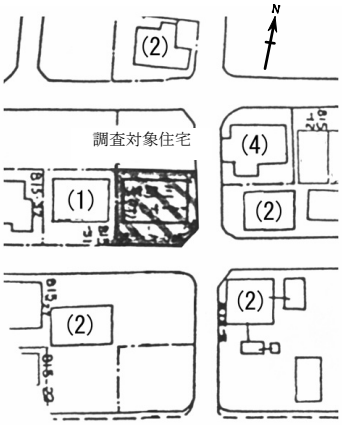


図 4.1.48 測定対象住宅周辺の状況
[( )内は階数]

(2) 実験方法

実験は、午前 7 時から翌日の午前 7 時までを 1 サイクルとし、3 サイクル毎に窓の開閉条件を変更した。実験期間は 2004 年 7 月 16 日～8 月 19 日とした。当該住宅は非居住であったため、発熱や冷房については実際の生活を模したスケジュールを組み運転を行った。これらの条件の詳細については後述する。

(3) 実験条件

a窓の開閉条件

窓は、屋外気温が 28℃以下となったときに開放して通風を行い、28℃を上回った時点で閉鎖した。開放、閉鎖共に手動で行った。また、通風時は防犯を考慮し、引違い窓は片側を 20 cm 開放、縦すべり窓は開口幅を 10cm とした。20 時の時点で外気温が 28℃を下回らなかった場合は、夜間の通風を行わず、スケジュールに従って冷房を運転した。なお 1 階部分については防犯上、18 時 30 分から翌日午前 7 時まで外気温に関わらず窓を閉鎖し、シャッターを閉じた。また午前中の通風時には、納戸、1 階トイレ、2 階トイレ、押入を除く全ての間仕切ドア及び窓を開放した。2 階における窓開けの状況を図 4.1.49 に示す。

以上に示す開閉条件を「通風パターン」とし、これを含めて 3 つのパターンで実験を行った。

実験 1 : 通風パターン
実験 2 : 開放パターン(外気温に関わらず、2 階部分の窓及び間仕切ドアを開放(トイレ、納戸及び押入を除く)。但し、間仕切ドアは 18:30 に閉鎖する。)
実験 3 : 閉鎖パターン(外気温に関わらず、終日窓を閉鎖する。冷房は終日停止する。)

各実験条件における窓・ドアの開閉状況及び冷房の運転状況を図 4.1.50 に示す。なお、実験 1 は 8 月 11 日～12 日、実験 2 は 8 月 5 日～6 日、実験 3 は 8 月 18 日～19 日の測定値を採用した。

b発熱スケジュール

発熱スケジュールは、日本建築学会標準問題に倣い設定した。本来であれば顕熱と潜熱の両方を再現すべきであるが、今回の実験では顕熱のみの発熱とし、白熱電球を用いて発熱を行っている。室内における発熱の状況を図 4.1.53 に、発熱スケジュールを図 4.1.51 に示す。なお、居住者からの発熱は 90W/人とした。

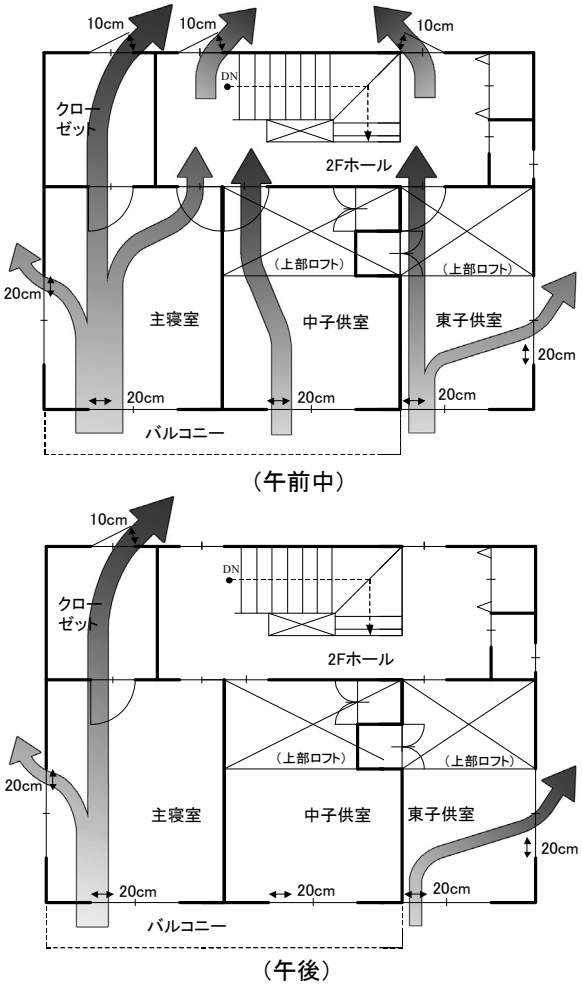


図 4.1.49 2階における窓開けの状況

c冷房スケジュール

冷房スケジュールは在室スケジュールと同一とし、各居室に在室者がいる時間帯は冷房を運転することとした。各居室における冷房のスケジュールを図 4.1.52 に示す。冷房はエアコン(表 4.1.9)により行い、設定温度は 28℃とした。

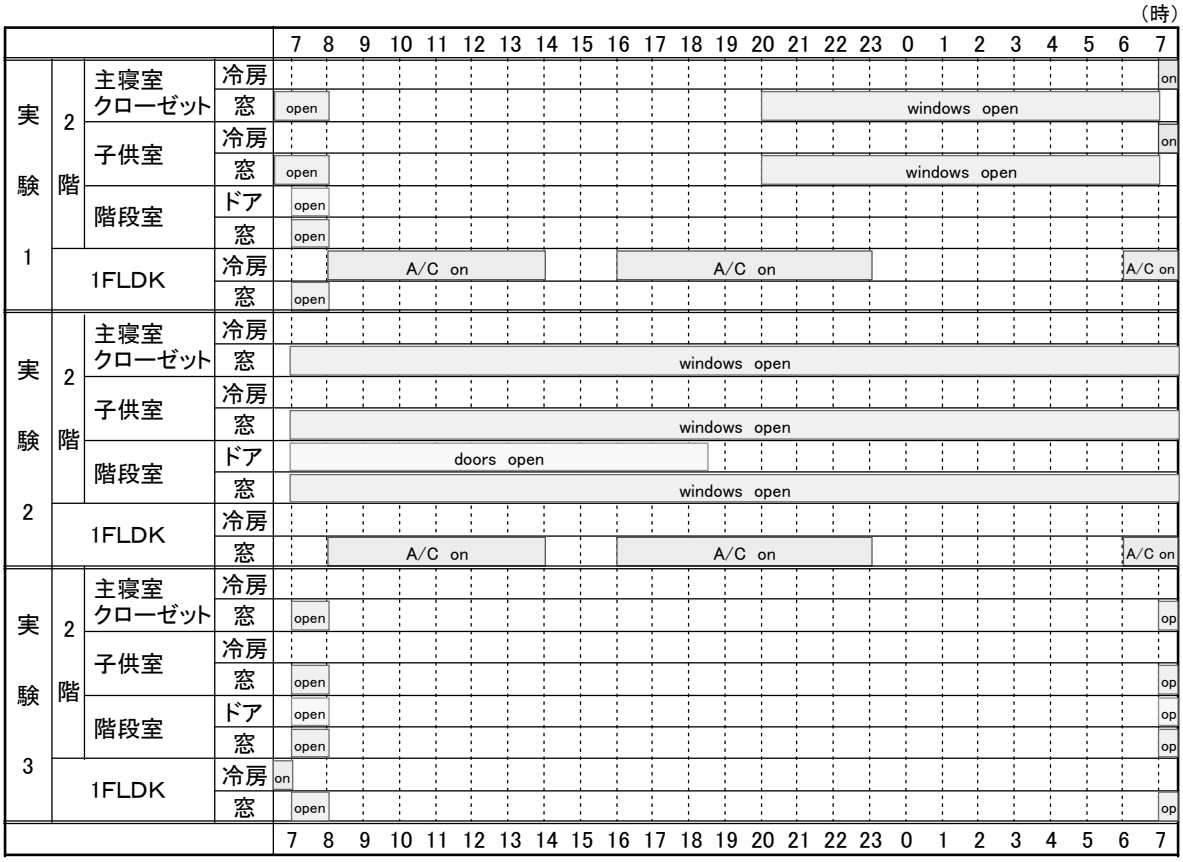


図 4.1.50 窓・ドアの開閉状況及び冷房の運転状況

(時)

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0
LDK	人数×90W	0	0	0	0	0	0	90	360	90	90	90	90	90	90	0	0	270	270	270	270	270	270	90	0	
	照明/LD	0	0	0	0	0	0	180	180	180	0	0	0	0	0	0	0	270	270	270	270	270	270	270	0	
	発熱機器/LD	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
	照明/K	0	0	0	0	0	0	54	54	54	0	0	0	0	0	0	0	0	54	54	54	54	0	0	0	
	調理/K	0	0	0	0	0	0	540	0	0	0	0	0	270	0	0	0	0	540	540	0	0	0	0	0	
	冷蔵庫/K	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	
MBR	人数×90W	180	180	180	180	180	180	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	180	
	照明	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	90	0	
CCR	人数×90W	90	90	90	90	90	90	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	90	90	90	
ECR	照明	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	180	0	0	
1FHL	照明	0	0	0	0	0	0	54	54	54	0	0	0	0	0	0	0	54	54	54	54	54	54	54	0	
UT	照明	0	0	0	0	0	0	36	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	36	36	36	36	36	36	0	
	発熱機器	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	90	0	
BATH	照明	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	54	0	
2FHL	照明	0	0	0	0	0	0	54	54	54	0	0	0	0	0	0	0	54	54	54	54	54	54	54	0	

図 4.1.51 発熱スケジュール 単位:[W]

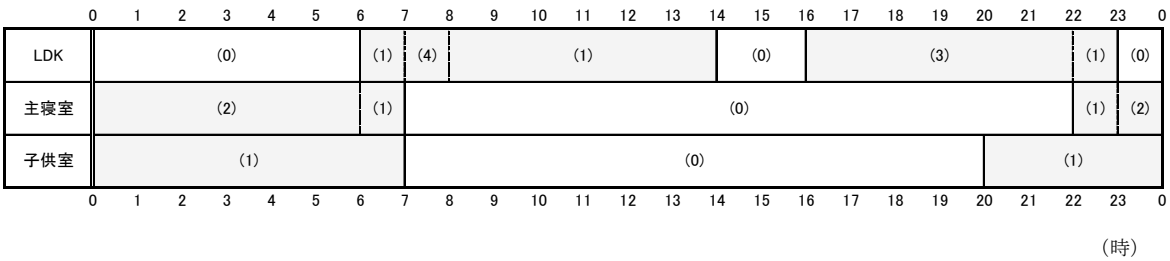


図 4.1.52 冷房スケジュール(( )内は在室人数)

なお通風時(窓開放時)には冷房を停止している。また実験 1、実験 2 では窓の開閉に関わらず、1 階の冷房を図 4.1.52 に示すスケジュールに従い稼動し、実験 3 では全ての冷房を停止した。

dその他の条件

当該住宅の 2 階居室では日射遮蔽を行っている(図 4.1.54)。東子供室の東面、中子供室の南面、主寝室の南面及び西面にシェード(布地の日射透過率: 13%)が設置されており、これをオーニングのように前方へ突き出して日射を遮っている。

突き出す角度は、東西面は水平面に対し約 45°、南面は水平面に対し約 25°とした。なお東子供室の南面については、窓が床上 1.2m の位置に設置されており、庇によって日射が遮られていることからシェードは用いていない。

(4) 測定項目

測定項目の一覧及び測定間隔を表 4.1.10 及び表 4.1.11 に示す。室内外温湿度は温湿度センサ(神栄株式会社 THP-B3T)を用いて計測した。室温は床上 1200mm の位置にて測定した。屋外の風向、風速及び水平面全天日射量は、当該住宅の屋根上 2.0m(地上 10.8m)に設置された風向計(牧野応用測器研究所 光電風向発信機 VF-516)、風速計(牧野応用測器研究所 光電風速発信機 AF-540)、及び日射量計(英弘精機 ネオ日射計 MS-43F 型)により計測した。室内気流速度の測定には微風速計(DANTEC 54R10, 54T21)を用いた。これらの測定値はデータロガー(江藤電気 CADAC 100, KEYENCE NR-1000)にて 1 分おきに記録した。また、エアコンの消費電力量は電力量計からのパルス発信を 60 分毎に積算して求めた。



図 4.1.53 室内おける発熱の状況

表 4.1.9 冷房(エアコン)の仕様

		主寝室 中子供室	東子供室	LDK
冷媒		R410A		
COP	冷房時	5.83	5.26	4.62
	暖房時	5.97	5.86	5.27



図 4.1.54 日射遮蔽の状況(左:南面 右:東面)

表 4.1.10 室内測定項目

測定項目	使用器具	測定間隔
温度・湿度	温湿度センサ THP-B3T(神栄)	1分
室内気流速度	微風速計 54R10, 54T22(DANTEC)	
エアコンの消費電力量	(電力量計よりパルス発信)	60分

表 4.1.11 屋外測定項目

測定項目	使用器具	測定間隔
温度・湿度 (百葉箱内)	温湿度センサ THP-B3T(神栄)	1分
屋外風向 風速	光電風速発信器 AF-540 光電風向発信器 VF-516 (牧野応用測器)	
水平面全天日射量	ネオ日射計 MS-43F型 (英弘精機)	

(5) 実験結果

a外気温度及び風向・風速

実験期間中における外気温の推移を図 4.1.55 に示す。外気温は実験期間を通して高く、平均値は 29.6℃であった。当該住宅付近のアメダス観測所(越谷)における拡張アメダス気象データの、標準年データの平均値(7 月 16 日～8 月 19 日)が 25.5℃ であることから、 2004 年の夏は猛暑であったことが伺える。屋外風向、風速の出現頻度を図 4.1.56、図 4.1.57 に示す。

風向は南が最も多く(49.4%)、次いで東(26.0%)となっていた。風速は 1.5～2.0m/s が全体の 12.5%となっているが、0.0m/s が全体の 38%を占めていることから、当該宅付近の風は比較的静穏であることが確認できる。

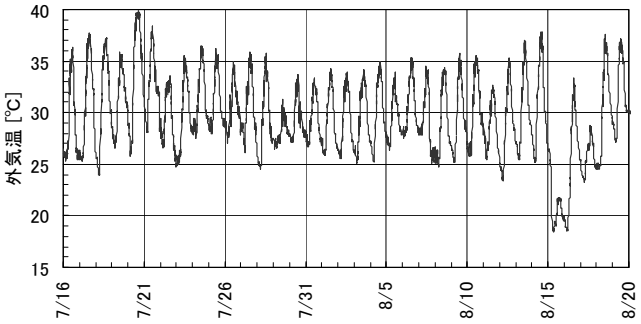


図 4.1.55 外気温の推移

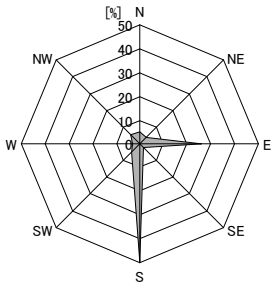


図 4.1.56 風向の出現頻度

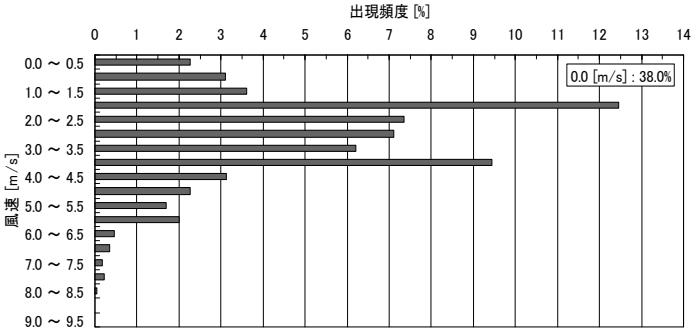


図 4.1.57 風速の出現頻度

b室内気温

2 階居室における室温の推移を実験毎にまとめ、図 4.1.58～図 4.1.60 に示す。

通風パターン(図 4.1.58)を見ると、窓を開放した時点(午後 8 時)から室温が低下しており、通風によって室内の熱が屋外へ排出されていることが確認できる。

また、主寝室の室温低下が最も大きく、東子供室、中子供室と続いている。これは、主寝室には南、西、北の 3 面に開口があり、より風が通りやすい状態であった反面、中子供室は開口が南面の 1 箇所のみで、風が通りにくい状態であったことが起因していると考えられる。

開放パターン(図 4.1.59)では、間仕切ドアを開放している

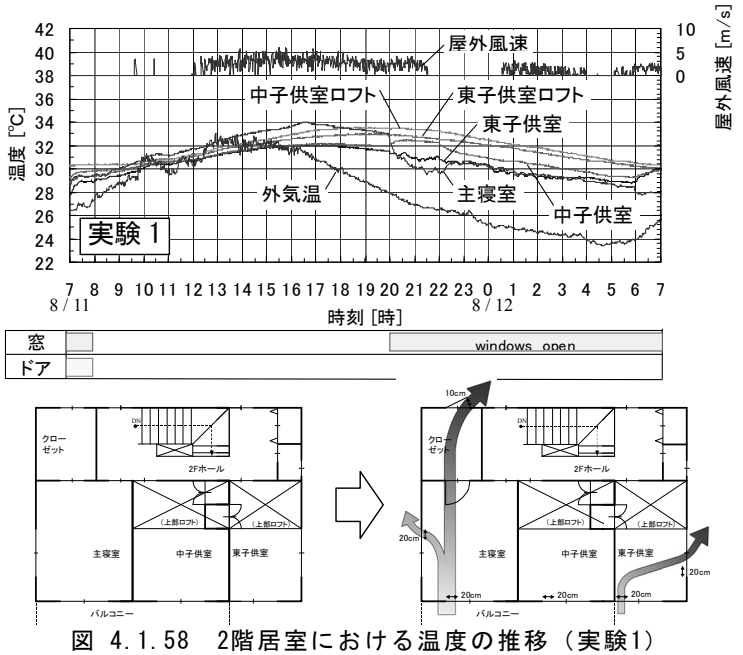


図 4.1.58 2階居室における温度の推移（実験1）

時間帯(午前 7 時～午後 6 時 30 分)において各室の気温は外気温に近くなっている。この間の屋外における平均風速は約 4.5 m/s であったことから、通風量が十分である場合、室温は外気温に近づくと考えられる。また、間仕切ドアを閉鎖した直後(午後 6 時 30 分)から東子供室、中子供室の気温が横這いとなり、午後 8 時以降は発熱等の影響を受け子供室の気温が上昇している。

これは間仕切ドアによって通気輪道(風の通り道)が遮られたことに起因していると考えられ、十分な通風量を得るためには通気輪道を遮断しないことが重要であるといえる。

また実験 1、実験 2 の両方において、通風が行われている状態にあっても、ロフト部分(東子供室、中子供室)の気温が高いまま推移している。

これは図 4.1.61 に示すように、開口から流入した空気が間仕切ドアに向かって(或いは間仕切ドアから開口に向かって)流れ、ロフト部分の換気がなされずに熱が篭ってしまったためであると考えられる。

ロフト部分に篭った熱は天井表面の温度を上昇させ、天井からの熱放射によって室内における温熱感に悪影響を及ぼす恐れがあるため、ロフト部分においても熱の篭らない工夫を施すことが重要であると考えられる。

閉鎖パターン(図 4.1.60)では、室内から排出される熱が少ないため、日没後も気温は高い

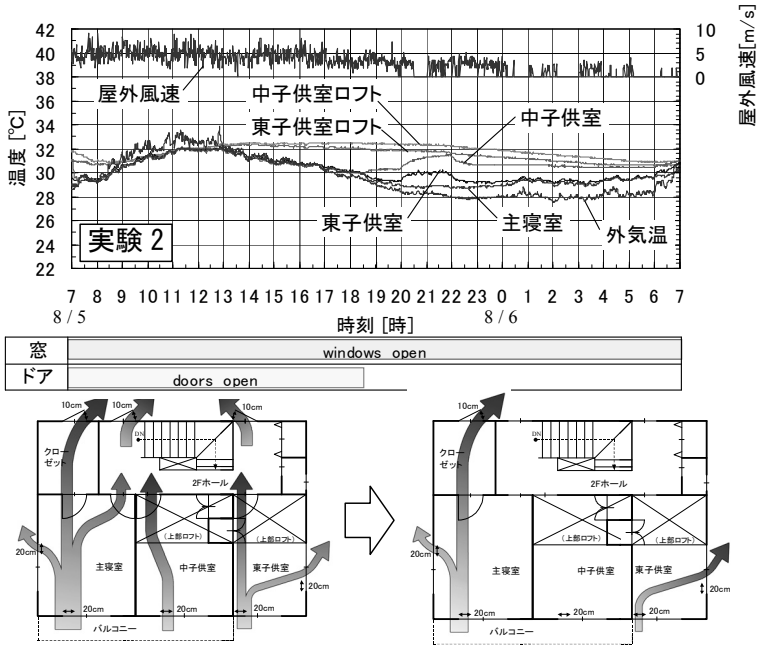


図 4.1.59 2階居室における温度の推移 (実験2)

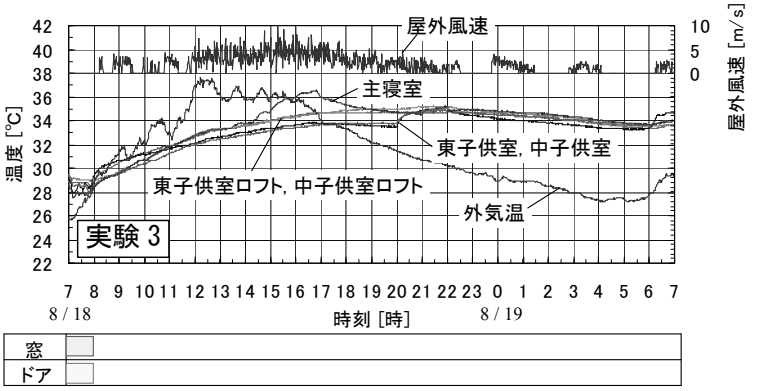


図 4.1.60 2階居室における温度の推移 (実験3)

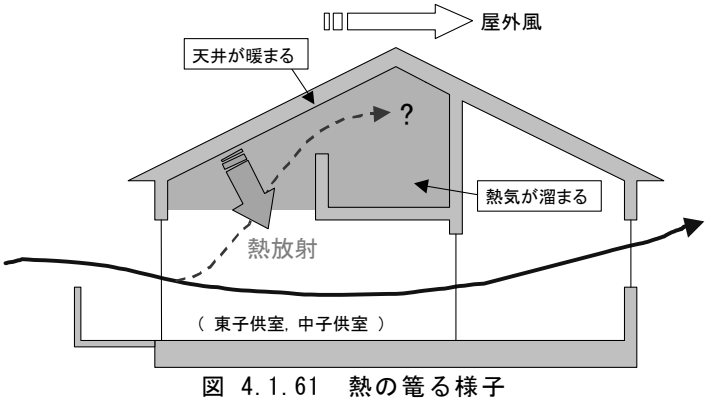


図 4.1.61 熱の篭る様子

まま推移していることが確認できる。

c消費電力量

実験1及び実験2では、2階居室において通風を行っているため冷房を稼動していない。一方、夜間に冷房を稼動した場合(図 4.1.62, 2004年8月12日～13日)、午後 8 時から翌日の午前7時までにおける消費電力量の積算値は、主寝室で 0.51kWh、東子供室で 0.69kWh、中子供室で 0.68kWh となり、合計で 1.88kWh となった。

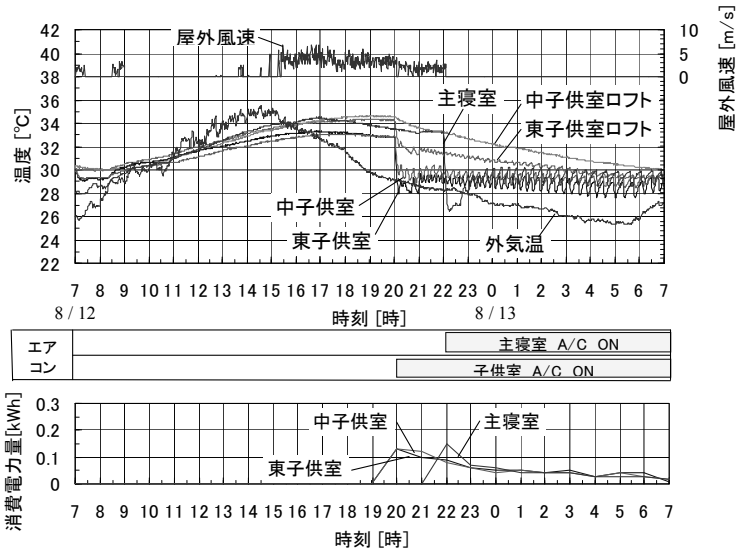


図 4.1.62 2階居室における温度及び消費電力量の推移

(6) まとめ

実験により、以下の 4 点を確認することができた。

・通風時における居室の温度低下は、開口が南北にある主寝室が最も大きく、南面のみに開口がある中子供室が最も小さかった。

・通風量が十分に多い場合、室内気温は外気温に近づく。

・窓を開放していても、間仕切ドアなどによって通気輪道が遮断されると室内の熱が十分に排出されなくなる。

・通風を行っている状況においても、ロフト部分の気温は高いまま推移していた。

(野中 俊宏)

4.1.7 窓開閉に関する実態調査

1) 窓開閉の要因と就寝・通風時の温熱環境

この項では、実態調査のための基礎資料として、窓開閉行為への影響要因を整理し、一方で非覚醒状態である就寝時の温熱環境について検討を行った結果について報告する。

(1) 窓開閉の要因

窓の開閉行為に関する既往研究をレビューし、窓開閉の要因を紹介する。石井ら[1)]が「通風利用に対する影響要因」として、図 4.1.63 に示す気象条件、地理的条件、周辺環境要因などの外部風や外部気象と関連した要因と建築的要因、および生活要因を挙げている。山中ら[2)]や梅宮ら[3),4)]の調査によると、窓を開ける目的や理由として、汚れた空気や湿気の除去のための「換気・通風」因子が最も多いことを挙げており、次いで涼しい外気の導入や風で涼しさを得るなどの「室内温熱環境」因子を挙げており、外界へのつながりの要求などの「心理的外向」因子もあることを指摘している。一方、窓を閉める因子として、「クーラーの使用」が挙げられ、「室内温熱環境維持」因子と、雨や風、虫や鳥、および大気汚染物質や埃などの「侵入防止」因子などが挙がっている。菅原ら[5)]は「防犯」や夜間における「プライバシーの確保」を指摘している。この他に、居住者の年齢・性別・体質・習慣・嗜好、家族構成、および就労や就学などの生活状況も窓開閉の影響要因としてあると考える。これらの要因や因子をまとめたものが表 4.1.12 である。

窓開閉と温度との関係に関する実測調査から、山中[6)]らは室内温度が 20～30℃で窓開放行為の頻度が多いこと、梅宮ら[7)~9)]は時刻別の窓開放率と外気温との関係は中間期に最も相関が高いこと、窓の開放時と閉鎖時における室温のピークはほぼ一致し中間期 23℃、冷房期に 25℃、暖房期に 22℃付近にピークがくること、およびグローブ温度が高い時に窓開閉の生起率が高いことなど、を明らかにしている。

表 4.1.12 窓開閉の要因

窓を開ける要因	窓を閉める要因
・通風による排熱効果を期待 ・室内空気汚染物質の排除 ・湿気の排除 ・経済的事情 ・気分転換 ・居住者の生活・習慣・嗜好	・クーラーの使用 ・雨や雪の侵入防止、強風 ・虫や鳥の侵入防止 ・大気汚染や埃の侵入防止 ・防犯 ・プライバシーの確保 ・騒音防止 ・居住者の生活・習慣・嗜好

(2) 就寝・通風時の温熱環境

就寝時に室内温熱空気環境の快適性を保つためには、代謝量が小さい、臥位である、自発的に環境調整行動を起こすことができない、という点へ細心の注意が必要である。ここでは、夏季における就寝時の条件として代謝量、着衣量、MRTを下記のように設定し、相対湿度 50%および 90%における気温、風速と SET*の関係を求めた(図 4.1.64)。

例えば、風速が 0.5m/s 以上得られれば、相対湿度 50%のときで 28℃以下、90%のときでも 27℃以下であれば SET*の快適範囲(22.4～25.6℃)となることが分かる。

・代謝量:就寝時であるので、基礎代謝のみ(0.7met＝40.6W/m^2)。
・着衣量:盛夏で上掛けが無く、ブリーフ＋Tシャツ＋半袖パジャマ(薄手)の成人男性(ASHRAE55-92 より、0.04＋0.08＋0.42＝0.54clo)。
・MRT:気温と等温。

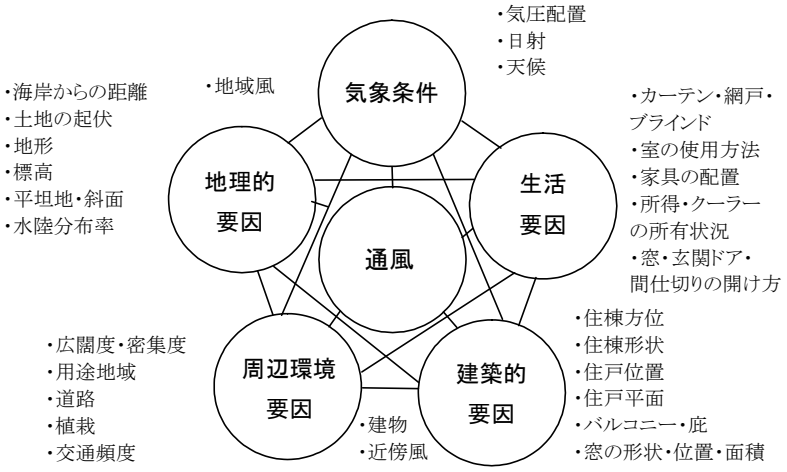


図 4.1.63 通風利用に対する影響要因

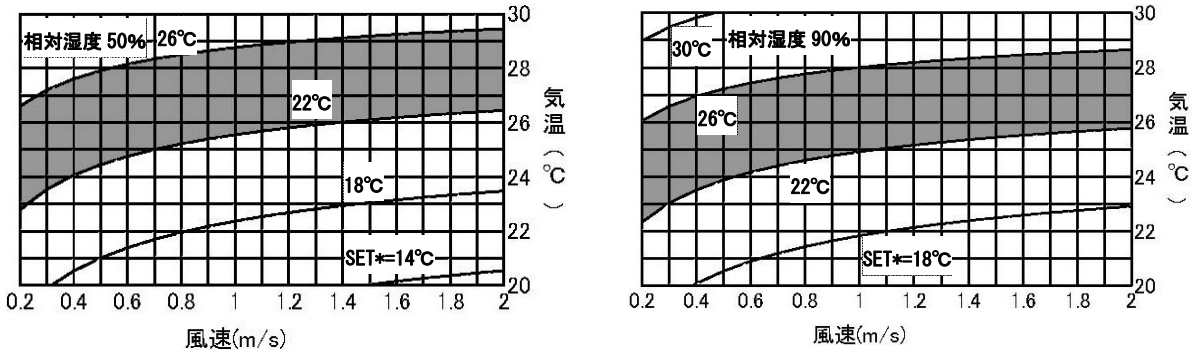


図 4.1.64 就寝時における風速、気温とSET*

(飯野 由香利、菅原 正則)

参考文献

1)科研報告書『住宅における通風の計画および温熱効果に関する総合的研究』(課題番号 59350040、代表 九州芸術工科大学 石井昭夫教授)

2)松井静子、佐藤隆二、山中俊夫:住宅における通風に関する調査研究 (その1)通風に対する意識、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp.177～180、1995 年

3)鈴木玉美、吉田治典、梅宮典子:夏から秋にかけての窓開閉行為の要因に関する申告調査の分析、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp. 325～328、2000 年

4)鈴木玉美、梅宮典子、吉田治典:夏季から秋季にかけての窓開閉行為の要因に関する研究 大学キャンパスにおける学生を対象とした調査、日本建築学会計画系論文集、第 556 号、pp.91～98、2002 年

5)菅原正則、本間博文、梅干野 晃、飯野由香利:夏季の自然通風時における住居平面と住まい方の室内気候への影響に関する調査研究、空気調査・衛生工学会論文集、第 57 号、pp.117～127、1995 年

6)山中俊夫:住宅における通風行為と通風環境に関する基礎的研究 5階建て集合住宅の一住戸における秋季の通風環境調査、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp. 77～80、1996 年

7)鈴木玉美、吉田治典、梅宮典子:観察調査に基づく窓開放率と外気温の関係、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp. 589～592、2001 年

8)渋川宗宏、梅宮典子、西岡利晃、大倉良司:窓の開放時間帯、閉鎖時間帯における室温と外気温の実態―大学の研究室における測定―、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp. 609～610、2002 年

9)井上銀次郎、梅宮典子、鈴木玉美、吉田治典、西岡利晃、大倉良司:窓開閉行為が生起するときの温熱環境的条件に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp. 625～624、2003 年

2) 窓開閉に関する意識調査

窓開閉に対し、居住者がどのような意識を持っているのか。窓開閉に関連した調査2件の結果を紹介する。

(1) 冷房に関するアンケート調査結果より

住宅メーカー居住体験展示施設の来館者を対象に実施した「冷房について」のアンケート結果より、窓の開閉に関わる項目について抜粋を行った。同施設は住宅に興味のある人を対象に住宅に関わる体験学習を行える施設である。

a調査対象

調査は1999年7～8月に実施したものである。N数631件で男女・年齢構成等は表 4.1.13 に示す通りである。

表 4.1.13 調査対象

分類	構成
男女	男55.5% 女44.5%
年齢	10代:0.7% 20代:7.3% 30代:38.8% 40代:25.5% 50代:18.9% 60代以上:8.8%
住居形態	戸建:60.9% 集合:30.7% 社宅:6.8% その他0.5% 無回答1.1%
周辺環境	市街地:27.9% 市街地周辺34.7% 郊外34.2% 無回答3.0%

b調査結果

「現在のお住まいの風通しがよいと思っているか？」の問いには「よい」、「まあよい」を合わせると77%の人が満足しているとの結果であった。

「窓を開けて涼をとらない理由」としては図 4.1.66 の通り「虫が入ってくる」、「外の音が気になる」、「風通しが悪い」といった理由が多い。周辺環境別では、市街地では郊外と比べ、音の問題が多く、虫の問題は少ないのが特徴的である。「防犯上気になる」との理由は、約6年前(1999年)の調査結果であることが影響してか、さほど多くの割合をしめていない。

「夏の就寝時の冷房」については図 4.1.67 の通り、「エアコンのタイマーをセットしている」、「一晩中エアコンをつける」を合わせると、75%がエアコンを使用している。本調査では「窓を開けて」という回答例がないので窓開けの実態はわからないがエアコンの使用が多いことから、窓開けだけによって涼をとる人は多くないと予想される。

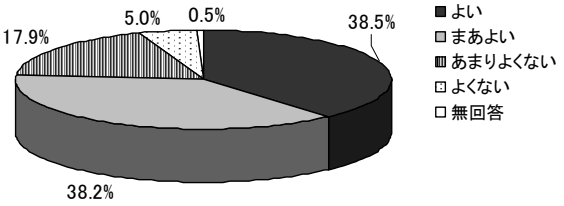


図 4.1.65 風通しのよさ

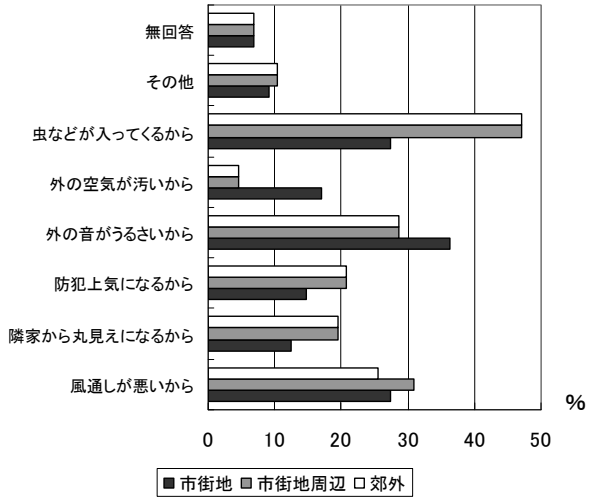


図 4.1.66 窓を開けて涼をとらない理由

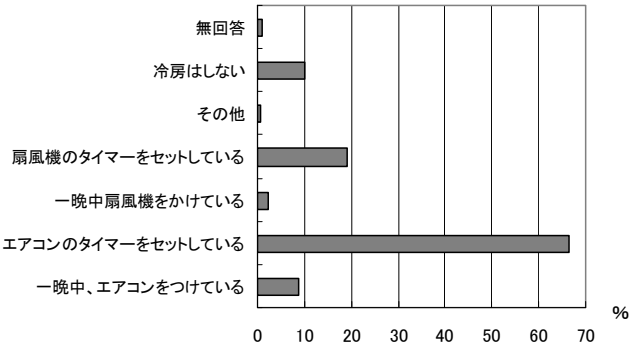


図 4.1.67 夏の就寝時の冷房

(2) 「夏の涼の取り方」に関するアンケート調査結果より

鉄骨プレハブ系住宅メーカー既客を対象としてインターネットを用いて行った「夏の涼の取り方」に関するアンケートより、窓の開放や通風に

関わる項目について抜粋を行った。

a調査対象

調査は 2002 年 11 月に実施したものである。N 数 1514 件で男女・年齢構成等は表 4.1.14 に示す通りである。

b調査結果

図 4.1.68 の通り、「就寝時に窓を開けるか？」という問いに対しては「ほとんど毎日」、「時々」を合わせると 63%の人が開けているという結果であった。また図 4.1.69 では「窓を開けにくい頻度はどれくらいあるか？」という問いに対して、「よくある」、「たまにある」を合わせると同様に 63%となっている。

「窓を開けにくい理由」としては図 4.1.70 の通り、「防犯」が圧倒的に多く(626 件)、「虫が入る」(392 件)、「外の音がうるさい」(322 件)、「室内が見える」(224 件)という順になっている。「防犯」については 7.(1)のアンケート結果(1999 年実施)では見られなかった傾向であり、近年の世相を反映していると思われる。

また「理想とする涼の取り方は何か？」という問いに対して「通風のみ」との回答が 43%を占めており、決して少なくない。「理想」であるからもっと多くてもいいと思われるのだが、実際には回答者が外気温度、上記の開けにくい理由などといった現実の状況を認識してこの程度の回答に落ち着いているのではなかろうか。

その他夏の暑さに関して困ることとして「最上階に熱気が溜まる」という回答が 799 件見られた。日射遮蔽手法の検討は別途必要であろうが、通風も熱気を排出するという意味でこれに答え得るものであろう。

(3) まとめ

以上 2 種の異なるアンケートから窓の開放に関する部分を抽出した。積極的な窓開放による提案を行う上では、

①虫の侵入 ②外部騒音 ③防犯対策

などを考慮した提案が不可欠と思われる。

(七岡 寛、吉田 元紀)

表 4.1.14 調査対象

分類	構成
男女	男75.4% 女24.6%
年齢	10代:0.1% 20代:2.5% 30代:35.1% 40代:33.3% 50代:17.4% 60代:9.8% 70代:1.8%
省エネ地域区分	Ⅰ:2.0% Ⅱ:2.2% Ⅲ:5.0% Ⅳ:87.7% Ⅴ:2.8% Ⅵ:0.2%

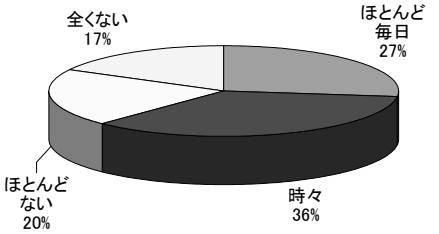


図 4.1.68 就寝時に窓を開ける頻度

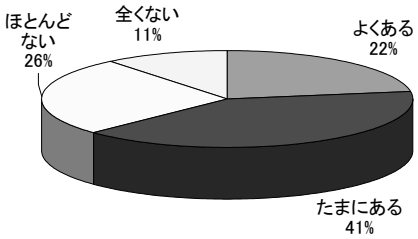


図 4.1.69窓を開けにくい頻度

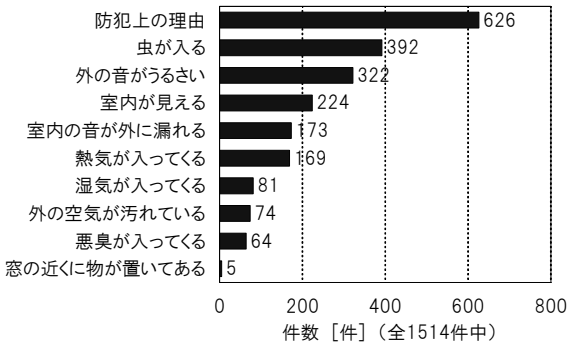


図 4.1.70窓を開けにくい理由

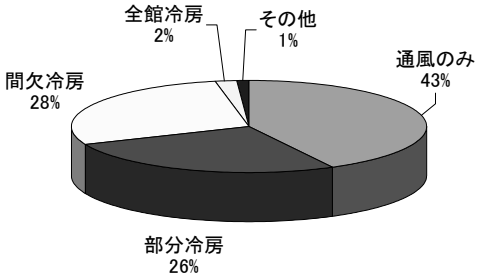


図 4.1.71理想の涼の取り方

参考文献

1) 澤島智明、松原斎樹、藏澄美仁:戸建住宅における夏期の涼の取り方に関する調査研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海) D2 pp. 764～765、2003 年

3) 窓開放状況に関する実態調査

窓開放による通風換気は、夏期の屋内環境維持や室内空気汚染の対策として従来一般的に用いられているが、外部環境の悪化、生活習慣の変化、冷房機器の普及に伴って、居住者の開放習慣が変化し、開放時間が減少傾向にあると言われている。これらは、冷房依存によるエネルギー消費増大やシックハウス問題等の室内空気汚染の一因となっていると指摘されている。この改善のために、周囲環境、生活スタイルに適合した窓開放機能と居住者の開放習慣の再構築が必要である。

この基礎として、居住状態での窓の開閉及び調整の状況の把握が必要であり、この把握に基づく窓開放スケジュールのモデル化は、エネルギー消費や室内空気汚染に関する実態認識や改善効果予測の実効性を高めることにもなる。これまでに、窓の開閉状況やその要因に関する基礎検討が行われているが、上記の検討に必要な居住状態の窓開閉状況が詳細に把握できる連続データが無いため、窓の開放巾を連続的に記録する計測器(以下、窓開巾計と記す)の開発を行った。

窓開巾計は、図 4.1.72 に示すように、窓を開けると糸がバネに連結されたプーリーに巻き取られ、プーリーに連結されたポテンションメーターが回転し数値が出力される機構となっている。記録計(TR-72S)を使い、湿度用チャンネルにポテンションメーターの出力を記録し、温度も同時に記録する。開巾を計算する実験式を作成して記録値から窓開巾を算出した。

表 4.1.15 に示す北海道から四国までの全13件の住宅を対象に、窓開巾計による窓の開閉、室内外温湿度の測定を約 1 年間行った。夏期に主に開放される居室の窓についてみると、1 日の窓開閉状況は多様である。

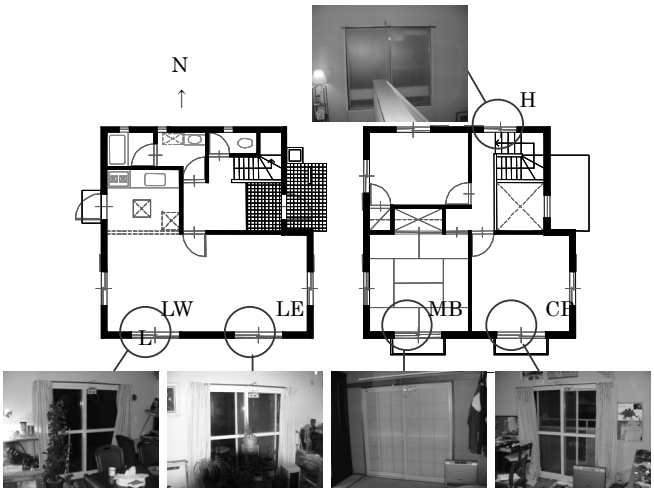


図 4.1.72 窓開巾の測定器設置(南東北1)

表 4.1.15 測定住宅の概要

地域		年/工法	居住人数	暖房器具	冷房器具
北海道	1	1988年、2003年増改築/在来木造	2人	FF式ストーブ、床暖房	
	2	2002年/鉄骨系プレハブ	4人	空気暖房(温風)	
北東北	1	2003年/鉄筋コンクリート	2人	FF式ストーブ、エアコン	エアコン
	2	2003年/在来木造	3人	蓄熱暖房機	エアコン
南東北	1	1986年/木質パネル	4人	温室暖房システム、FF式ストーブ、温水暖房システム	エアコン、扇風機、クーラー
	2	1979年/鉄骨系プレハブ	4人	こたつ、石油ストーブ	クーラー、扇風機
	3	1972年/鉄筋コンクリート	3人	ファンヒーター、ラジエーター型	エアコン、扇風機
	4	1986年/軽量鉄骨造	4人	パネルヒーター、電気ストーブ	エアコン
北陸	1	2003年/2×4	4人	FF式ストーブ	エアコン、扇風機
関東	1	1986年/軽量鉄骨プレハブ	4人	石油ストーブ	クーラー、扇風機
	2	1979年/在来木造	2人	FF式ストーブ、電気ストーブ、オイルヒーター	エアコン、扇風機、クーラー
関西	1	1999年/軽量鉄骨プレハブ	4人	エアコン、ホットカーペット、電気毛布	エアコン、扇風機
	2	2001年/軽量鉄骨プレハブ	2人	パネルヒーター	エアコン、扇風機
	3	1991年/軽量鉄骨プレハブ	3人	ガスファンヒーター、エアコン	エアコン、扇風機
四国	1	1995年/在来木造	2人	灯油、電気ストーブ、オイルヒーター	エアコン、扇風機

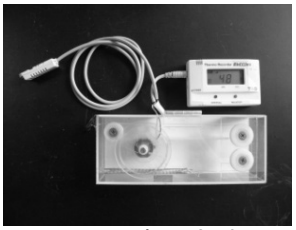


図 4.1.73 窓開巾計

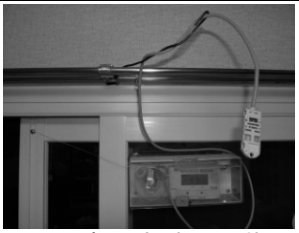


図 4.1.74 窓開巾計設置状況



図 4.1.75　測定住宅の例

(北海道1、南東北1、北東北2,南東北1,南東北2,関東1、関東2、関西1、関西2,関西3,四国1)

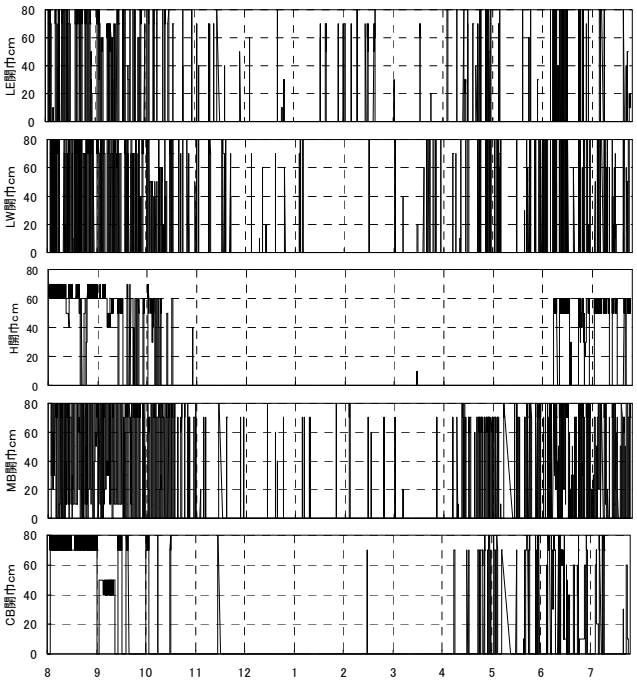


図 4.1.76　窓開巾の測定結果の例(南東北1)

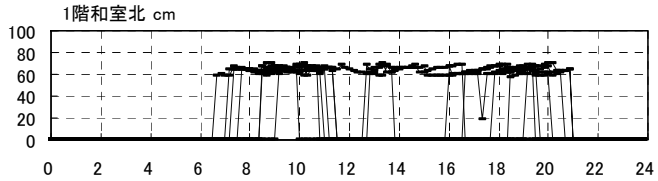


図 4.1.77 北海道2（7月25日～7月31日）

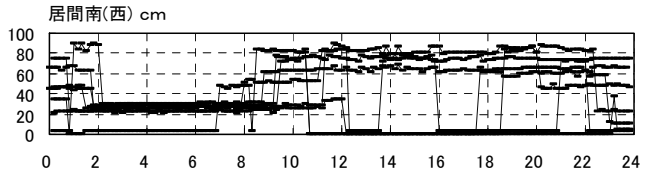


図 4.1.78 北東北1(8月8日～8月14日)

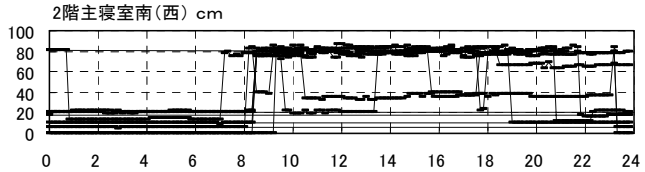


図 4.1.79南東北1(7月4日～7月10日)

北海道2は、2002年築、北海道札幌市にある鉄骨系プレハブ構造の戸建住宅である。一週間を通して、夜間の開放は見られないが、7時から9時の間に開放し、21時前には閉鎖する習慣が見られる。

北東北1は、2003年築、岩手県盛岡市にある鉄筋コンクリート造の集合住宅であるが、終日開放が見られる。

南東北1は、1986年築、宮城県仙台市にある木質パネル構法の戸建住宅である。毎日、8時30分頃に開放し、0時前には1階居間では閉鎖されるが、2 階の寝室では夜間の開放が見られる。

関東 1 は、1986 年築、神奈川県平塚市の軽量鉄骨プレハブ構造の戸建住宅である。

朝から開放し、0 時前に閉鎖している日や、夜間開放の日、4 時頃から開放し始めている日がある。関西 1 は、京都市にある 1999 年築の軽量鉄骨プレハブ構造の戸建住宅である。習慣的な終日開放が見られる。関西 2 は、京都市にある 2001 年築の軽量鉄骨プレハブ構造の戸建住宅であるが、朝開放し、0 時過ぎの閉鎖が見られ、夜間就寝時の開放は行われていない。

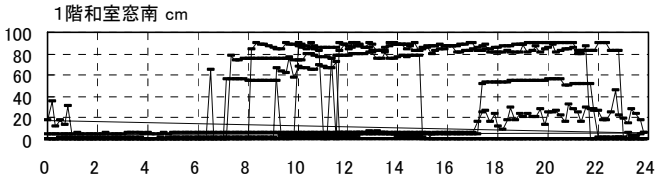


図 4.1.80 関東1（8月22日～8月28日）

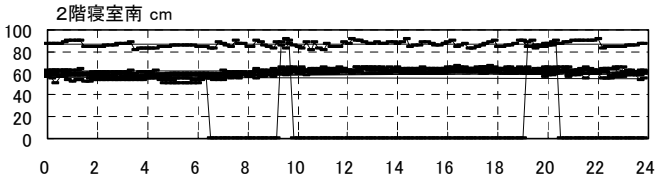


図 4.1.81 関西1（6月13日～6月19日）

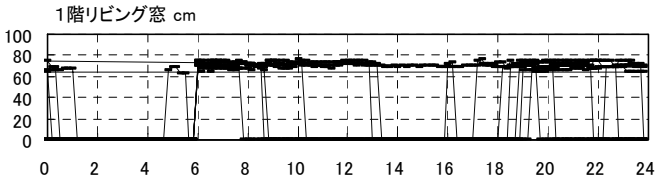


図 4.1.82 関西2（7月18日～7月24日）

住宅によって、夏期の開閉状況に違いが見られるが、夏期以外の状況を含めると、さらに多様な状況がある。北海道の事例では春期、夏期ともに終日閉鎖が多く、開放しても一時的である。夏期になると開放が多くなる部屋もあるが、春期と夏期の開放パターンには大きな違いは見られない。北東北の事例では、集合住宅では秋期と春期に一時的開放が見られるが、秋期の開閉時間はまばらであり、春期には朝開放される習慣が見られる。

北東北の戸建住宅では、春期と夏期に閉鎖が多く、秋期になると頻繁に開放されるようになる。南東北の事例では、秋期、春期にほとんど開放は見られないが、夏期になるとどの部屋でも頻繁に開放されるようになり、終日開放される部屋もある。関東の事例では、秋期、春期に一時的開放が多く、夏期には開放時間が長くなり、夜間開放も見られ、全ての部屋で開閉が頻繁に行われている。関西の事例では、秋期、春期とも終日閉鎖や一時的開放があるが、夏期には夜間開放など、開閉が頻繁になる。関西の事例では、夏期の解放の頻度が高いが、開閉の習慣は事例によって異なる。関西 1 では、秋期には 8 時頃から開放し始め、春期には 9 時頃から開放が始まる。夏期には 0 時から 7 時頃まで開放されている。関西 2 では、秋期は 10 時前後から開放が始まり、春期にはほとんど開放されない。夏期には 6 時頃から開放が始まり、0 時から夜間開放される。関西 3 は、開放開始時間はあまり決められていない。四国 1 では春期に終日閉鎖や一時的開放が多く、夏期には頻繁に開放されるようになり、春期よりも開放される時間が早くなる。

1 日の中での窓の開閉時間は、外気温及び室内温度以外の要因ばかりではなく、居住者の生活習慣に左右されているが、総じて夜間就寝時における閉鎖傾向が見られた。

1 年間の窓開放状況には、気象の年変化に対応した共通の変化が見られる。まず、外気温と室温の年推移の状況を見ると図 4.1.83 及び図 4.1.84 の事例のように、一時的に外気温度と同程度の室温になる月が見られるが、ほとんどの場合に室温は外気温よりも高く推移している。この傾向は全事例に見られるが、冬期の暖房、春期から秋期の終日の窓閉鎖、夏期における窓閉鎖傾向が主な要因となっていると考えられる。

1 年間の窓開放状況には、気象の年変化に対応した共通の変化が見られる。図 4.1.85、図 4.1.86 は各住宅における複数の窓の窓開

巾平均値の月平均値の年推移を示している。総じて 4 月から 5 月に窓の開放が始まり、6 月から 8 月の窓開巾が大きい。また、11 月になるとほとんどの住宅が窓を閉鎖している。開巾が最も大きい事例は関東 1 であるが、それ以外は夏期においても平均で15cm程度に止まっている。

これは、開放時の開放巾が小さいのではなく開放時間が少ないためである。

窓を全開にした状態を100%とした場合の月平均開放率を見ると、主に夏期に見られる月平均開放率の最大値は、関東の 1 事例のみが70%と高かったが、他の場合は 5%から 30%の範囲にあり、ほとんどの住宅において 20%程度以下となっており、窓が有効に活用されていない状況が見られる。

以上のように、夏期における窓の開放状況を見ると、開放行為は見られるものの夜間を中心に閉鎖傾向が強く、開放時間が短いために、窓全開に対して 20%程度の開放に止まっていることが示された。

(林 基哉)

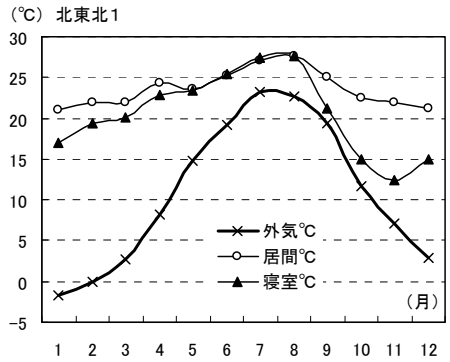


図 4.1.83 外気温と室温の年推移(北東北1)

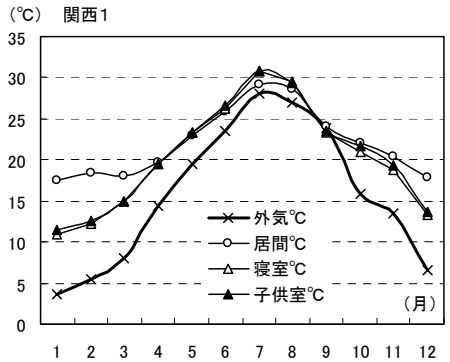


図 4.1.84 外気温と室温の年推移(関西1)

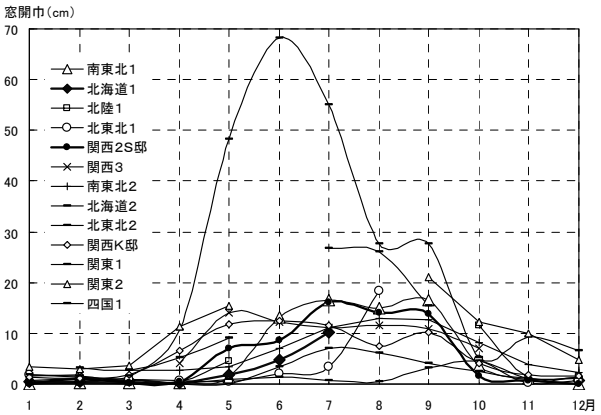


図 4.1.85 月平均窓開巾の年間推移

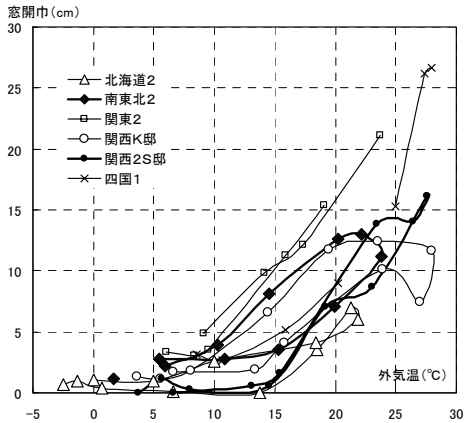


図 4.1.86 外気温度と月平均窓開巾の関係

4.2 適切な換気設備

平成 15 年 7 月より建築基準法の換気基準が改正され、建材の使用面積制限、常時換気設備の設置、小屋裏等からの汚染空気の流入防止を柱としたシックハウス対策が施行された。建材の使用面積制限は、建材からのホルムアルデヒド発散速度によるものであるが、シックハウスの原因物質はホルムアルデヒドとは限らないので、シックハウス防止の観点からは換気設備を効果的に利用することが重要である。そこで、以下ではまず、前提条件として各種機械換気設備をいかに、その目的に合致するように計画し、使用すべきかについて述べることにする。各種換気設備の得失と適切な計画方法、局所換気との関係、メンテナンス、ダクトシステム、自然給気口の影響の概要について説明する。

これらを踏まえた上で、常時換気の省エネルギーのために配慮すべき換気設備計画として、ハード面での選択と適切なダクトシステム計画について検討する。常時換気に要するエネルギーは一般に少ないが、今後のすべての住宅に換気設備の設置が義務付けられることを考慮すると、その効果を損なわないことを前提に、可能な限りエネルギー消費量を抑えるための配慮が必要である。また、全熱交換換気扇が建物建設地域と関連して、どの程度省エネルギー効果が上がるかについて、精密なシミュレーションによって評価する。

さらに、常時換気の換気駆動力として内外温度差による浮力や、外部風による風力を限界まで活用し、換気のためのエネルギー消費量を最小化するハイブリッド・ベンチレーション・システムに着目して検討する。戸建て住宅、集合住宅への具体的な適用方法を例示し、その有効性、省エネルギー効果について実験・シミュレーションにより検討する。

（倉渕　隆）

4.2.1 換気設備計画の留意点

1) 換気設備の種類と得失

一般的に機械換気はその室内外圧力差の性状や、対象となる部屋に対する換気の確実性といった観点から第一種、第二種、第三種といった 3 つの換気方式に分類され各々の換気方式で特徴がある。例えば、第一種換気方式では排気空気から熱回収ができる熱交換型換気を選択することによりコールドドラフトの防止や空調負荷低減効果が期待できる。また、第三種換気方式では室内外の圧力差により給気がなされる為、換気計画どおりの給気経路が確保できるかどうか住宅気密性能、自然給気口の相当隙間面積、室内外温度差に起因する浮力の影響などを考慮した検討が必要となってくる。

住宅に用いられる換気システムとしては、各居室に設けられる吹出し口や吸込み口と換気設備をダクトで分岐配管し一括的に換気を行なうダクト式と、居室毎に換気設備を設ける個別式（居室設置型）が一般的に用いられることが多い。両者を簡単に比較すると、換気設備の台数やダクトの有無、そして換気機器の露出といった違いにより、居室における運転騒音の発生やメンテナンスの難易度、室内インテリアへの影響などの点で個々に得失がある。ただし個別式（居室設置型）に関しては、廊下やホールなどの非居室部分の換気ができないの

表 4.2.1 代表的な住宅用換気システム

	利点	注意点	設計時の留意事項
ダクト式 一種換気 居室機械給気 集中機械排気	・各居室で確実な換気が可能 ・居室における運転騒音が小 ・インテリアデザインが良い ・熱交換型の場合、コールドドラフト防止と空調負荷低減効果が期待できる。	・各室へダクト配管が必要 ・機器のメンテナンスに注意が必要	・計算により適切な送風機を選ぶ必要がある ・各居室の必要換気風量を考慮して、ダクトの本数や長さを決める ・排気経路を水廻り室に設ける場合は、換気機器の仕様書にてその可否を確認
ダクト式 二種換気※ 居室機械給気	・各居室で確実な換気が可能 ・居室における運転騒音が小 ・天井裏や壁体内からの流入を抑制するので、シックハウス対策として有効 ・インテリアデザインが良い ・排気用ダクトが不用	・各居室の排気口から屋外騒音の侵入の可能性あり ・外壁穴が多数存在する為、外観が良くない ・各室へダクト配管が必要	・壁体内結露防止に配慮した排気口が必要
ダクト式 三種換気 居室機械排気	・各居室で換気が可能 ・居室における運転騒音が小 ・インテリアデザインが良い ・扉のアンダーカットを要しないので、プライバシーが確保できる	・給気口から屋外騒音の浸入の可能性あり ・給気口のコールドドラフトへの配慮が必要 ・各室へダクト配管が必要 ・外壁穴が多数存在する為、外観が良くない。	・扉のアンダーカット等を設けると、冬期等において居室への新鮮空気の供給が減少する ・水廻り室からも排気する場合は、浴室の排気量が確保できる風量設計とする。
居室設置型 一種換気 居室機械給排気	・各居室で確実な換気が可能 ・施工が簡単 ・扉のアンダーカットを要しないので、プライバシーが確保できる ・有効換気量率の高い熱交換型の場合、コールドドラフト防止と空調負荷低減効果が期待できる。	・運転騒音が居室で発生 ・機器が露出する為、インテリア性が良くない ・外壁穴が多数存在する為、外観が良くない。 ・熱交換型でない場合、給気によるコールドドラフトへの配慮が必要	・廊下やホールなど非居室の換気は、局所換気の常時換気運転等で対応する。
居室設置型 二種換気※ 居室機械給気	・各居室で確実な換気が可能 ・天井裏や壁体内からの流入を抑制するので、シックハウス対策として有効 ・施工が簡単 ・扉のアンダーカットを要しないので、プライバシーが確保できる	・排気口から屋外騒音の浸入の可能性あり ・機器が露出する為、インテリア性が良くない ・外壁穴が多数存在する為、外観が良くない。 ・運転騒音が居室で発生 ・給気によるコールドドラフトへの配慮が必要	・壁体内結露防止に配慮した排気口が必要
局所換気利用 三種換気 集中機械排気	・費用が安価 ・施工が簡単	・給気口から屋外騒音の侵入の可能性あり ・外壁穴が多数存在する為、外観が良くない。 ・給気口のコールドドラフトへの配慮が必要	・気密住宅でない場合、各居室の確実な換気を確保する為に、上階の居室への給気ファンの追加で対応。

※二種換気(機械給気方式)は普及段階にはないが、新鮮空気を確実に居室に供給することができる方式であるため、上表に含めて整理した。

で、局所換気の常時運転で対応することが望ましい。表 4.2.1 には代表的な住宅用の換気システムを 6 種取り上げ、各換気システムの特徴とともに設計時の留意事項をまとめている。

システムによっては換気経路として機能させることが一般的になっている内壁扉のアンダーカットなどを設けない方が換気システムの性能を発揮できるものや、住宅気密性能の優劣で換気システムの換気性能が左右されるものがあり、換気計画時には各々のシステムの特徴をよく把握した上で、換気機器の性能を最大限に引き出す為の検討や工夫が必要であるといえる。

(1) 局所換気と常時全般換気の関係

局所換気設備の中でも特に大きな排気風量を必要とする台所には、換気扇と捕集フードが一体となったレンジフードが設置されることが一般的となっているが、居室における温熱環境や全般換気の換気経路への影響を考慮し、できる限り同時給排気型のレンジフードを用いるか、レンジフードの運転と連動制御できる専用の給気口を設置することが望ましい。また、数多くのレンジフードの中から排気捕集性能の高い機器を選択することにより、調理に伴う汚染空気を少ない排気風量で効率的に排出することが可能となり室内の温熱環境に対する影響や空調負荷などの点でメリットが生じる。

また、局所換気装置の運転停止時において外気が排気経路を通じて室内に逆流してくることを防止する為に、気密性能の優れた逆流防止シャッターが装備されているものが望ましい。特に第三種換気で全般換気を行う場合には、各居室へのバランスの良い給気を確保する為にも注意すべき項目と言える。

(2) メンテナンスを意識した換気設備計画

常時換気設備の連続使用に伴う経年変化としては、換気扇本体各部への汚れ付着による換気風量低下が懸念される。例として、一般家庭のトイレにて二年間使用したパイプファン（フィルターが装備されていない機種）の汚れ付着状態を写真1に示している。この状態において風量性能の測定結果によると、初期性能に対して25%程度の風量低下が認められており、計画された換気風量が確保されておらずメンテナンスの重要性が示唆されている。また、フィルターが設けられている場合であっても、そのフィルターに汚れが付着したままの運転では風量の低下が生じると言える。

換気システムの種類や使用状況、設置場所によってその汚れ付着や性能劣化のレベルは異なるが、少なくとも換気システムに対してメンテナンスが必須条件という認識を居住者に持っていただくということが大切と言える。しかし、ダクト式の換気システムなどに代表されるような天井裏などに隠蔽されるタイプの機器では、メンテナンスの困難性や居住者がその汚損状況を容易に認識できないといった問題点があり、今後の改善課題としてあげられる。とりあえず現状での対応策としては、次の 3 点が考えられる。

①〈換気機器機種選定〉
換気機器本体内部にフィルターが装着されているものや、清掃メンテナンスが簡易におこなえる機種を選択する。また、ダクトシステムの場合は、換気ユニット以外の部材にフィルターの装着を要する場合もあるので、同等品を使用する場合は注意が必要である。

②〈設置位置の工夫〉
天井に埋め込むタイプの換気ユニットを納戸やなどの収納空間や、小屋裏などへ露出設置することにより、メンテナンス作業が容易にできる工夫をする。また、現在では数少ないタイプであるが縦置き型の換気機器はメンテナンス作業が容易にできるようになっており、今後増えていくことを期待したい。

③〈エンドユーザーへの啓発〉
居住者に対して定期的な清掃を託することが必要と言える。例えば、引渡し後に定期訪問時に、換気設備の状態をチェックすると共に、メンテナンスの方法を知らせるなどの必要性

がある。

また、屋外フード(外気取り入れ口)の選択についてもメンテナンスへの配慮が必要である。

一般的に屋外フードには虫の混入や防虫網(虫の混入を防止する為の 1mm程度の網)や防鳥網(鳥の混入を防止する為の 10mm間隔程度のガラリ)が設けられており、その用途に応じ適切な選択が必要である。常時運転を前提とした換気システムの場合では、屋外フードもしくは換気ユニット設けられるフィルターにおいて虫の混入を防止する方法があるが、メンテナンスの観点からすると、換気ユニットに設けられるフィルターで捕捉する方法が望ましいといえる(もちろんフィルター性能が確保できていることは必須条件である)。屋外フードに防虫網を設け、メンテナンスが可能な位置に設置することで対応が可能となるが、作業に脚立が必要であり不安定な作業であることことや、2 階の場合にはバルコニーと屋外フードの設置位置が必ずしも一致しないので素人が簡単に行える作業ではない場合が多い。場合によっては、転落などの事故を招く恐れも考えられる。

(3) ダクトシステムにおける適正な換気計画

ダクト式換気システムは、住宅の気密性能や変動する外界条件によらず各室に一定の換気量が常に確保できるので、住宅全体の換気計画を達成するのに最適なシステムである。ただし各室へ新鮮空気を給気するダクト圧損にバラツキがあると、各室への給気風量にバラツキが生じ、部屋によっては適正な風量を確保することが困難となる。よってダクト計画を立案する際は、各経路の圧損を同程度にするため、なるべく各経路のダクト長さを揃えることが重要である。例えば図 4.2.4 のような各枝ダクト長が不揃いなダクティングAを、図 4.2.5 のように各枝ダクト長をある程度揃えたダクティングBにすることで、図 4.2.6 に示すように各室への風量を同程度にすることができる。

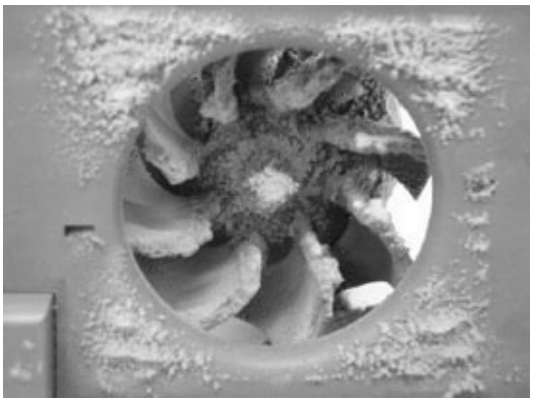
(尾本 英晴、大西 茂樹)



図 4.2.1 縦置き型の換気装置



図 4.2.2 熱交換素子の点検



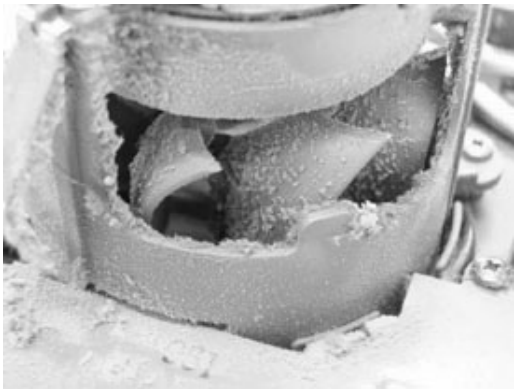


図 4.2.3 一般家庭のトイレで2年間使用したパイプファン(フィルターなしの機種)

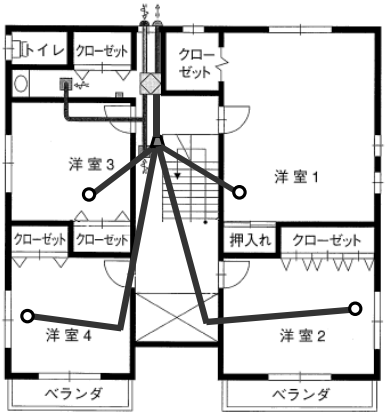


図 4.2.4 ダクティングA

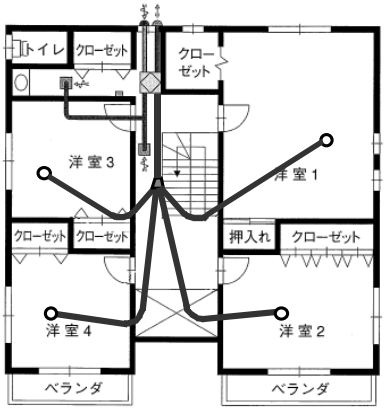


図 4.2.5 ダクティングB

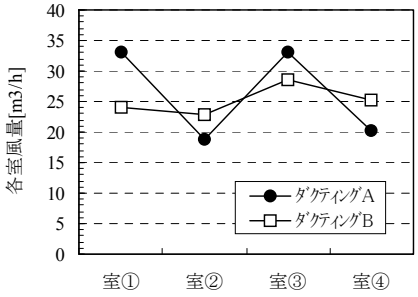


図 4.2.6 各室風量

2) 自然給気口の室内温熱環境への影響

第 3 種換気など、自然給気口から外気が侵入する場合の室内温熱環境への影響を把握した。給気口設置高さ、給気口形状、暖房方式の違いによる影響を実験により検討した。

(1) 実験概要

実験は神奈川大学の実験チャンバーで行った。実験チャンバー平面図を図 4.2.7 に示す。実験チャンバーは16m^{2}の実験室と間仕切壁を挟んで4m^{2}の前室から構成されている。実験室を集合住宅の居室、間仕切壁を外壁、前室を外気と想定し実験を行った。前室を 0℃となるように冷却し、実験室は室中央高さ1100mmにおける PMV が 0 となるように、温水式床暖房(床暖房)またはエアコンで暖房した。間仕切壁には実住宅の外壁の隙間を模擬した隙間を設け、窓や外壁の隙間からの外気侵入も考慮した。

実験は給気口形状、設置高さ、暖房方式を変更した表 4.2.2 に示す 10 ケース行った。合計給気量は換気回数 0.5 回/h を想定して 30 m^3/h とした。給気口からの給気量(給気口風量)と壁や窓の隙間からの風量(隙間風量)の比率は 1:1 となるように制御した。給気口は丸

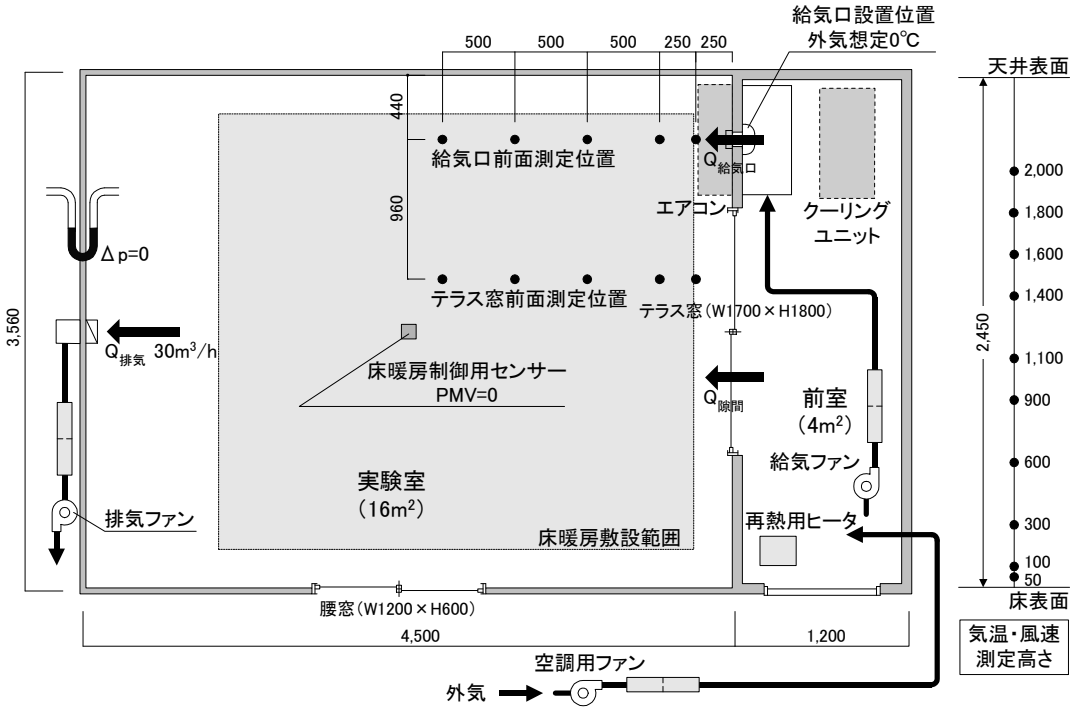


図 4.2.7 実験チャンバー平面図

表 4.2.2 実験ケース

No.	ケース名称	給気口形状	設置高さ	暖房設備
1	RH04F	丸型	FL+400	床暖房
2	RH16F		FL+1600	
3	RH20F		FL+2000	
4	RH04A		FL+400	エアコン
5	RH16A		FL+1600	
6	SH04F	角型	FL+400	床暖房
7	SH16F		FL+1600	
8	SH20F		FL+2000	
9	SH04A		FL+400	エアコン
10	SH16A		FL+1600	

型または角型形状の自然給気口を使用し、間仕切壁袖壁部中央の高さ 400mm,1600mm または 2000mm に設置した。丸型は袖壁に沿って放射状に吹出し、角型は上・左右方向に吹出すタイプである。

測定は給気口前面測定位置とテラス窓前面測定位置の間仕切壁から 250,500,1000,1500,2000mm の位置において行った。各位置における気温分布、風速分布は図 4.2.7 に示す上下に 10 点測定した。

測定時間間隔は 10 秒とし、気温は T 型熱電対、風速は熱線風速計で測定した。床暖房の場合は 10 分間の平均値、エアコンの場合は制御周期 1 周期分の平均値にいて解析を行った。

(2) 実験結果

表 4.2.3 にテラス窓前面測定位置における気温分布を示す。給気口の設置高さが低いほど床近傍気温は低下している。給気口設置高さ 400mm では、床近傍の気温低下が著しい。床暖房時の給気口設置高さ 1600 mm,2000mm では、床近傍の気温低下緩和されている。給気口設置高さ 2000mm は気温低下がより少ない。エアコンでは給気口設置高さ 1600mm でも壁面に近い位置では、床近傍の気温低下が見られる。給気口の形状では、エアコンの場合に、下方にも吹出す丸型の方が床面近傍の温度低下が大きいが、床暖房では差異は見られない。

局所環境として、上下温度差を図 4.2.8、ドラフトの影響を評価する有効ドラフト温度(EDT[注)])を図 4.2.9 に示す。壁面に近い位置おいては、上下温度差も大きく、EDT[注)]も快適域下限以下であるが、壁面から離れると緩和される。給気口設置位置 400mm では、上下温度差も大きく、EDT[注)]低下しており、特にエアコンのケースでその影響が大きい。給気口の形状では、丸型給気口、設置高さ400mm時に、壁面に近い位置においてEDT[注)]低下が見られる。

給気口設置高さ 1600mm,2000mm においては、給気口形状による差異は見られない。

これらの結果より、給気口を腰窓下など低位置に設置する場合は、給気により床近傍の気温低下が懸念される。特に丸型給気口において、その傾向が強い。給気口設置高さ1600mmでは床暖房よりもエアコン、給気口設置高さでは、2000mm より 1600mm の方が、壁面に近い位置で床近傍気温低下が見られるものの、その影響は僅かである。

【注記】有効ドラフト温度EDT (Effective Draft Temperature)
EDT = (TX-TAV) -7.66(Vx -0.15) ･･･(1)
TX:各測定点の気温[℃]
TAV:室中央の平均気温[℃]
VX:各測定点の風速[m/s]
EDT快適域:EDT=-1.67～1.11[℃]

(近藤 武士)

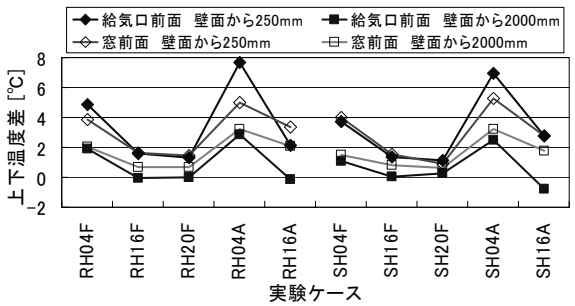


図 4.2.8 上下温度差

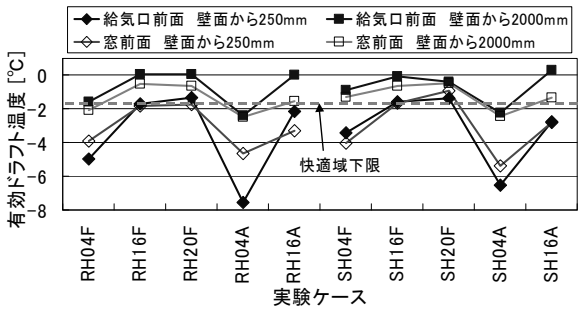
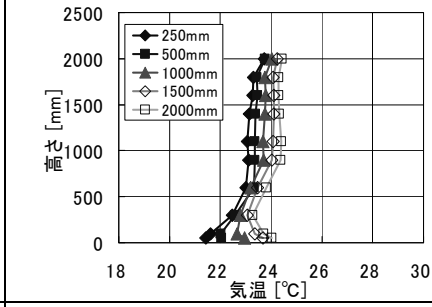
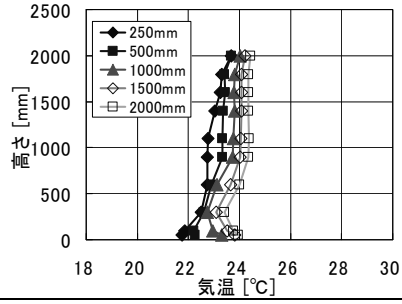
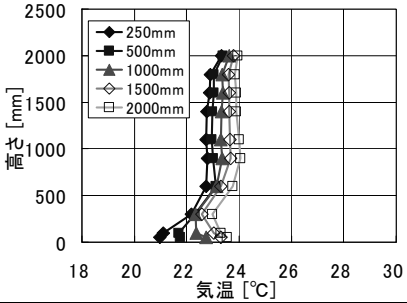
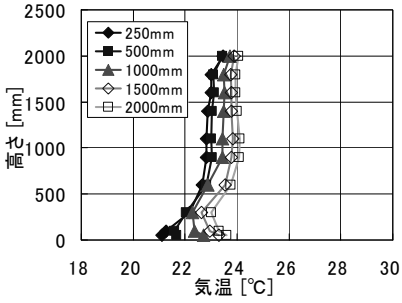
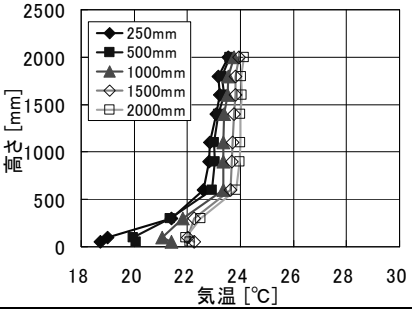
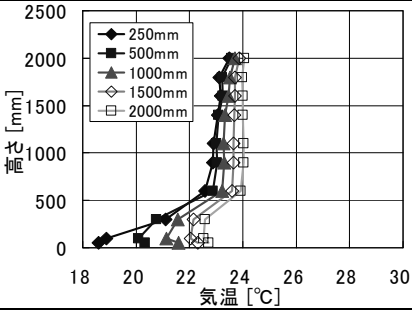
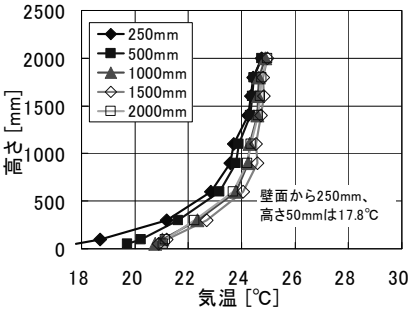
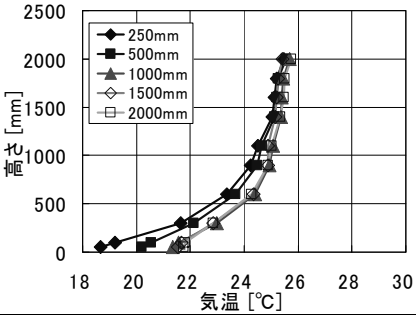
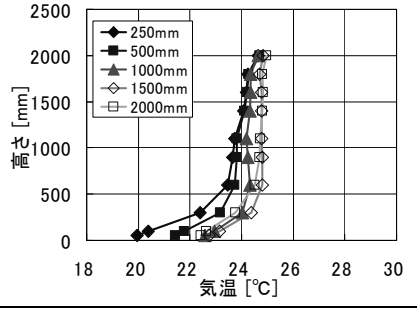
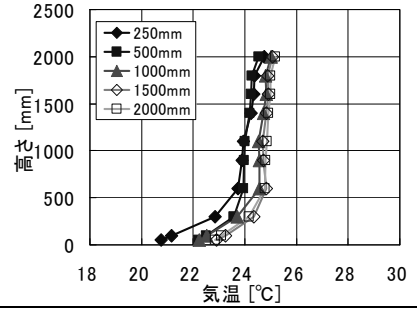


図 4.2.9 有効ドラフト温度

表 4.2.3　テラス窓前面測定位置気温分布

暖房方式	床 暖 房	
給気口	丸型	角型
FL+2000		
FL+1600		
FL+400		
暖房方式	エ ア コ ン	
給気口	丸型	角型
FL+2000	―	―
FL+1600		
FL+400		

4.2.2 省エネルギーに配慮した換気設備計画

1) 高効率機器の導入

(1) 換気装置における対策

換気機器として高効率化の要素技術としてはモーター効率とファン効率の向上があげられ、各換気機器メーカーにて研究開発がすすめられている。ここでは、換気設備の選定時に、省エネルギーの観点における設計者の判断基準となる技術的内容を示した。

電力消費を抑える一般的な手法として、ブラシレスDCモーターを搭載した換気機器の選定が考えられる。DC モーターとACモーターの電力消費比較として、図 4.2.10 にダクト式熱交換器、図 4.2.11 に天井埋込形換気扇を示した。いずれの場合も同一メーカーの同等仕様品(2004 年度製)を比較したものであり、これら図によると、DC モーターにより電力消費は 1/4～3/4 に低減するが、風量や圧力損失などの動作条件によりその効果が異なる点で注意が必要といえる。

また、ACモーターを搭載した換気機器であっても、モーター効率とファン効率や風路設計の工夫により、各メーカーおよび新旧機種で消費電力に差が見られ、カタログ等で比較して機器選定することが望ましいといえる。一例として、天井埋込形換気扇の新旧比較(1996 年製と2004 年製)を図 4.2.12 に示しているが、8 年間で消費電力が約 40%減少していることがわかる。

なお、常時使用する換気設備を優先的に高効率機器とする方が、省エネルギーの観点からは望ましいと言える。

(2) 用途に応じた換気機器の選択

壁取り付型換気扇(パイプファン)のうち局所換気用に設計された機種を常時換気として用いる場合は、省エネルギーの観点から別途注意が必要といえる。このような換気扇の中には排気経路に電動式の気密シャッターが付属しているものがあり、開放している時間帯に電力消費が生じることとなる。気密シャッターは、換気停止時における隙間風や屋外騒音の浸入などの防止対策として用意されているのであるが、電動式シャッターが付属しない機種と比べると消費電力が 2 倍近くに達するものもある(図 4.2.13 参照)。常時運転を想定する場合には電動式気密シャッターが付属しない機種を選択することにより、省エネルギーの実現が可能である。

ただし、冬期に換気風量低減のため運転を停止することも考えられるので、その場合には電動式気密シャッター附属機器を選ぶこともあり得る。

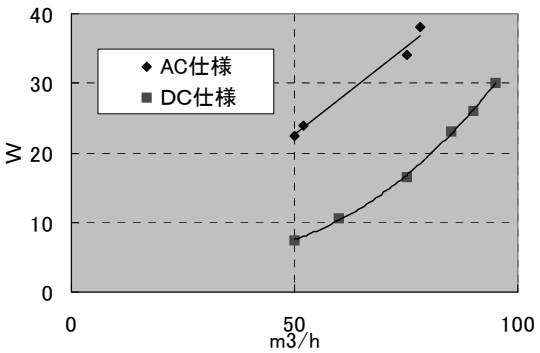


図 4.2.10 モーターの違いによる消費電力比較
ーダクト式熱交換器

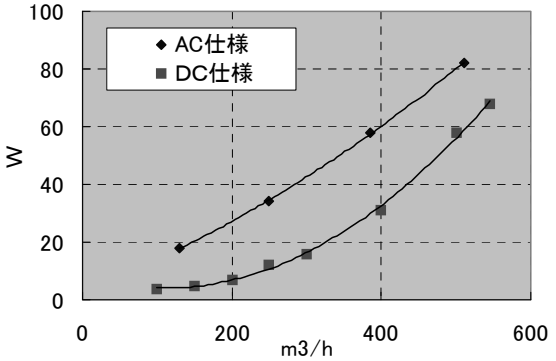


図 4.2.11 モーターの違いによる消費電力比較
ー天井埋込形換気扇

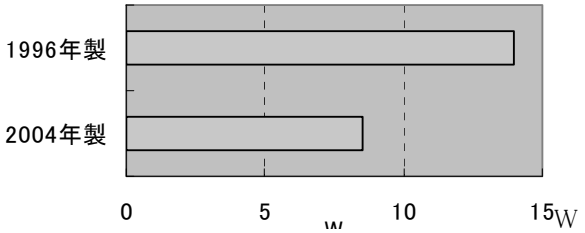


図 4.2.12 天井埋込形換気扇の新旧電力消費比較

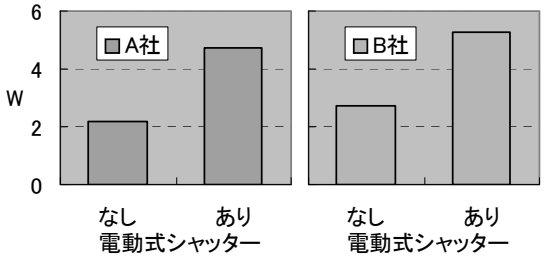


図 4.2.13 電動式シャッター有無の電力消費比較

2) 適切なダクト計画

前述のようにダクト式換気システムは、住宅の気密性能や変動する外界条件によらず一定の換気量が常に確保できるので、住宅全体の換気計画を達成するのに最適なシステムであるが、新鮮外気をダクトで各室に搬送するためダクトによる圧力損失が生じ、大きな搬送動力を必要とする。

よって適切なダクト計画で少しでも消費電力を低減させることが重要であり、例えばダクト圧損が少なくなるようなダクト設計をすることで、換気装置を1ランク風量の小さい機種に下げることができ、省エネルギーに配慮することが可能となる。

(1) ダクト圧損の低減

ダクト計画をする際、なるべくダクト圧損を小さくすることが重要である。建築躯体側からの要求に従うとダクト径は小口径が望まれるが、省エネの観点からは風量に見合ったダクトサイズを選択することが重要である。一般的に主ダクトにはφ100～150mm、分岐後の枝ダクトにはφ50～75mm が用いられるが、当然のことながらサイズの大きいダクトの方が圧損は小さい。又ダクト長も短く、急な曲りを避け曲り回数も少なくした方が圧損は小さくてすみ、より省エネに繋がる。

(2) ダクト圧損の計算例

一般的に住宅に用いられる例として主ダクトにφ100mm、枝ダクトにφ50mm を用いたダクト計画と圧損計算の例を以下に示す。ダクトの摩擦係数λは、実使用風量域で概ねフレキシブルダクトで 0.03～0.04、塩ビ管で 0.01～0.02 程度である。ここでは$\lambda_{\phi 100}$=0.031 及び$\lambda_{\phi 50}$=0.023 を用いて、ダクト圧損計算を行った。

図 4.2.14 は戸建住宅の 2 階部分にダクト式第一種換気を施工した場合のダクティング例（ダクティングA）である。給気は洋室1～4に4分岐し、設計換気量は各室 25m³/h（合計 100m³/h）とした。このダクティングAでダクト圧損が最大となる洋室1のダクト圧損を計算した例が表 4.2.4 である。換気量 25m³/h を実現する

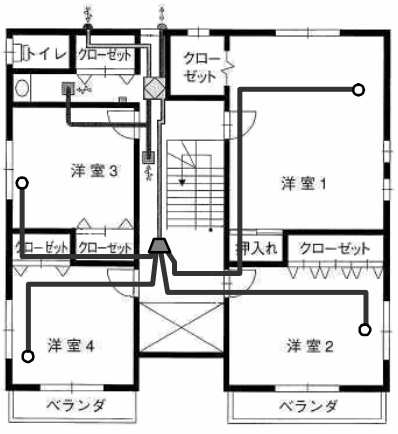


図 4.2.14 ダクティングA

表 4.2.4 ダクティングAの圧損計算

	Q [m³/h]	ﾀﾞｸﾄ径 [mm]	ﾀﾞｸﾄ長 [m]	個数	圧損係数ζ	摩擦係数λ	圧力損失 [Pa]
屋外フード	100	100		1	1.85		14.0
OAダクト	100	100	5			0.031	11.7
OA主曲がり90°	100	100		2	0.642		9.7
本体	100	—	—	—	—	—	
SA主ダクト	100	100	5			0.031	11.7
SA主曲がり90°	100	100		2	0.642		9.7
分岐チャンバ	100	100→50			0.81		6.1
SA枝ダクト	25	50	10			0.023	34.8
SA枝曲がり90°	25	50		4	0.827		25.0
吹出しグリル	25	50		1	0.74		5.6
圧損の合計							128.5

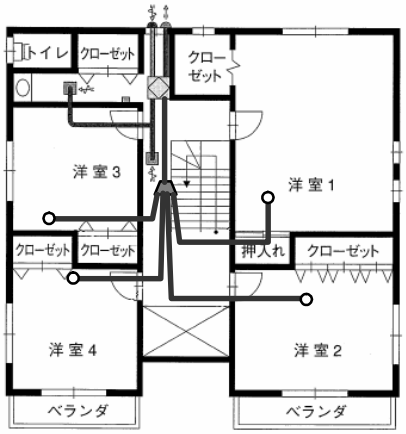


図 4.2.15 ダクティングB

表 4.2.5 ダクティングBの圧損計算

	Q [m³/h]	ﾀﾞｸﾄ径 [mm]	ﾀﾞｸﾄ長 [m]	個数	圧損係数ζ	摩擦係数λ	圧力損失 [Pa]
屋外フード	100	100		1	1.85		14.0
OAダクト	100	100	2			0.031	4.7
OA主曲がり90°	100	100		0	0.642		0.0
本体	100	—	—	—	—	—	
SA主ダクト	100	100	2			0.031	4.7
SA主曲がり90°	100	100		0	0.642		0.0
分岐チャンバ	100	100→50			0.81		6.1
SA枝ダクト	25	50	5			0.023	17.4
SA枝曲がり90°	25	50		2	0.827		12.5
吹出しグリル	25	50		1	0.74		5.6
圧損の合計							65.1

場合の圧力損失は128.5Paとなっている。図 4.2.14と同一の住宅プランに対し、ダクティングAよりもダクト長を短く、曲り回数も少なくしたダクティング例(ダクティングB)を図 4.2.15 に、最大圧損となる洋室1のダクト圧損計算例を表 4.2.5 に示す。各部材の圧損係数及び摩擦係数は、ダクティングAと同じ値を用いている。

この結果よりダクト計画を適切に、すなわちダクト長を短く曲り数も減らすことで、同一換気量に対する最大経路のダクト圧損が 128.5Paから65.1Paと、およそ半減していることが明らかである。

ダクト計画を適正化することで(この場合ダクティングBを採用することで)圧力損失は低減する。これによって換気装置の送風能力を1ランク小さい機種に変更することができ、省エネに繋がる。圧損低減と換気装置選定について図 4.2.16 に示す。100m³/h 時にダクティングAの圧損に対応する圧力差を有する機種Aは、100m³/h 時で入力は 67.9W である。一方ダクティングBに対応する機種Bでは、同じ 100m³/hに対して入力が 48.7W と、およそ3割減となっている。よってこの例では適切なダクト計画をすることで換気装置を1ランク低風量の機種に下げることができ、3 割の省エネ効果があるといえる。

なお図 4.2.14、図 4.2.15 は共に 2 階建住宅の 2 階部分のみを示しており、この場合 1 階は別の換気システムが必要となる。

住戸全体を1つの換気システム(1 台の熱交換器)で賄えば熱交換器が1台で済むが、1階天井から 2 階天井への立上げダクトの設置スペースを要することや、ダクト長が長くなって圧力損失が過大となることなどから、2 階建住宅の場合は1フロアに1システムが一般的であり、ここではそれに従って計算例を示した。

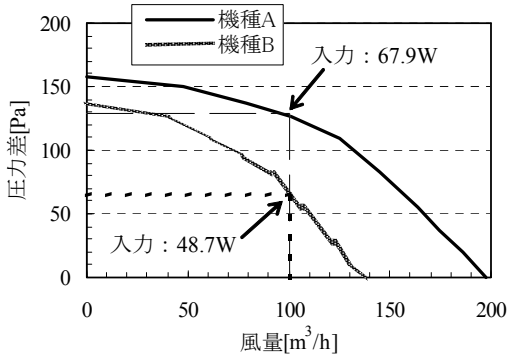


図 4.2.16 圧損低減と入力

(3) その他の留意事項

ダクトは一度施工してしまうと清掃などのメンテナンスが困難であるが、特に給気系統のダクトは住宅各室に新鮮空気を搬送しているため、汚れ対策は重要な課題である。例えば屋外給気口を、2階建の場合はベランダ部などメンテナンス可能な個所に設置して屋外フードに防虫網を用い、定期的なメンテを行えば、ダクトの防塵の面でも有効である。

また OA ダクト(屋外フードから換気装置本体まで)をなるべく短くしたり、曲り個所を減らしたり、できるだけダクト内表面が荒いものは避けることで、ダクト内部へのホコリや塵埃の付着を、少しでも抑制することができる。更にこれらダク

ト部材の防塵対策は、そのまま圧損低減にも繋がるメリットがある。また OA ダクトが直管であれば屋外フード側から清掃ブラシ等でダクト内部を清掃することも可能といえる。

（尾本　英晴、大西　茂樹）

3) 全熱交換ユニットの効果

日本の住宅用エネルギー消費の内、暖冷房による消費が約 1/3 を占めている。次世代省エネルギー基準レベルの高断熱戸建住宅では、換気による熱損失は換気回数 0.5 回/h の条件下で、温暖地域（省エネルギー基準のⅣ地域）においては暖房熱負荷の 15%程度、寒冷地域（同基準、Ⅰ・Ⅱ地域）においては 25%程度と試算される。

また、住宅の気密性を向上させれば隙間風（漏気）量が減り、住宅全体の換気量の内、換気システムを通過する空気の割合が大きくなることから、断熱性能・気密性能を向上すれば、給気の予熱や熱負荷低減などの熱交換の効果が高まる。暖冷房を行わない場合は熱回収を行う必要はないので、給気または排気側だけのファンを運転することや、積極的に通風をとるなどの工夫が消費エネルギーの削減につながる。

(1) 省エネルギー効果の検討

セントラル換気型全熱交換器の設置を想定した戸建住宅の省エネルギー効果について検討し、全熱交換器を採用する場合の留意点と判断基準について解説する。対象建物の平面図兼換気設備図を図 4.2.18 に、建物・計算概要を図 4.2.19 に示す。

換気回路網に熱回路網および水蒸気流動を加えて、建物と全熱交換器をモデル化した。全熱交換器を使用する計算モデルとして、立地条件などから清掃以外は通風を行わない「設備依存型」、暖冷房に標準的と思われる窓開け換気（通風）を加えた「一般型」を作成した（表 4.2.6）。また、「設備依存型」において、全熱交換器内の給気ファンを停止させた計算モデルを「第三種換気モード」とした（図 4.2.17）。暖冷房運転の設定に関して、温湿度設定は表 4.2.7 に従い、発停スケジュールは「在室・内部発熱スケジュール」に基づき、在室時に在室している室のみとし、内部発熱（顕熱・潜熱）や浴室・台所の局所換気についても考慮に入れモデル化した。なお、札幌では在室時に全ての居室、ホール 1・2、洗面所、便所 1・2 を暖房する設定とした。

全熱交換器の省エネルギー効果としては、1)外気負荷の軽減と本体消費電力から算出する節約消費電力、2)機械換気設備の給気によって生じるコールドドラフトによる不快感の軽減、3)非冷暖房空間の温熱環境改善、4)冬季の加湿効果・夏季の除湿効果などが考えられる。



図 4.2.17　計算モデル

(2) 冬季・夏季の地域別暖冷房負荷にみる全熱交換器の省エネルギー効果

暖冷房の検討ケースと地域別の月平均外気温度を表 4.2.8 に示す。計算モデルは「設備依存型」を使用し、9 月を除く各ケースについて、「全熱交換器あり」（熱交あり）と「全熱交換器なし」（熱交なし）の冷暖房負荷を計算し比較する。3 地域（札幌、東京、鹿児島）において、次世代省エネルギー基準に適合する断熱・気密性能を設定した（表 4.2.9）。

各検討ケースにおける暖冷房負荷を図 4.2.20 に示す。暖房負荷は顕熱負荷のみで、冷房負荷は顕熱負荷と潜熱負荷の合計値を表している。

地域別では寒冷地域である札幌の暖房負荷低減率が最も大きいが、温暖地域である東

京でも 10%程度の暖房負荷低減効果が見られる。各地域において、暖房負荷に比べて冷房負荷の低減率が小さい。東京における設定室温(表 4.2.7)と月平均外気温度(表 4.2.8)の差を見ると、冷房時の 1.3℃に対し暖房時は 15.5℃であることから、暖房時の方が冷房時より熱回収の余地が大きいことが一因と考えられる。東京の 2/1(水)における全熱交換器内の外気(OA)、給気(SA)、還気(RA)の時間ごとの温度変化を図 4.2.22、図 4.2.21 に示す。全般換気を行う建物全体の気積に対して冷暖房を行う居室の気積が小さいこと、在室スケジュールから暖房制御をしている時間が少ないこと、全館暖房ではないことなどから RA の温度が暖房された居室と比較して小さいためと思われる。換気計画は各階のホールから還気をとるため、RA の温度を見るとホールなどの非暖房空間の室温が外気に対して高くなっており、換気による温熱環境の悪化を緩和する点での効果が大きいと言える。

(3) 中間期の冷房負荷にみる通風の効果と省エネルギーの工夫

「設備依存型」における「全熱交換器あり」と、全熱交換器内の給気ファンを停止させた「第三種換気モード」、暖冷房に標準的と思われる窓開け換気(通風)を加えた「一般型」の東京における9月の冷房負荷を図 4.2.22 に示す。

「全熱交換器あり」と「第三種

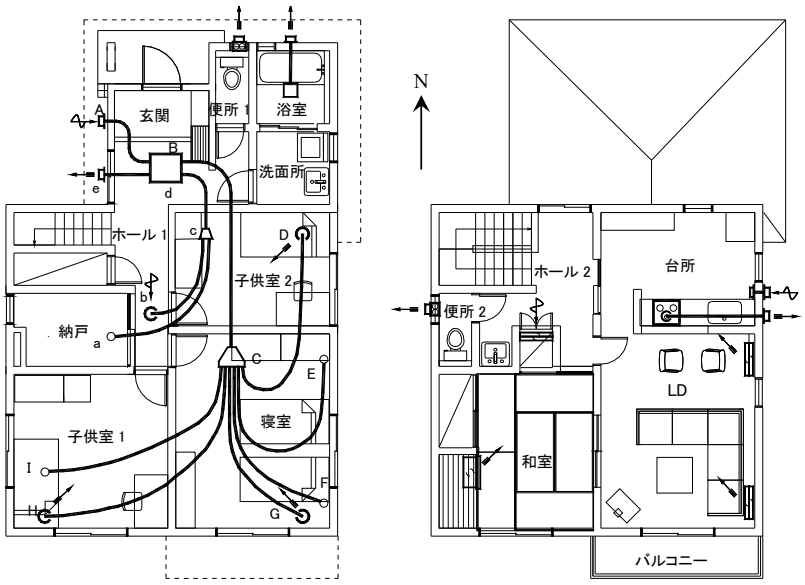


図 4.2.18 平面図兼換気設備図(左側1階、右側2階)

延床面積:122.14m²(居室部分79.5m²)
家族構成:4人(夫婦+子供2人)
気象データ:拡張AMeDAS標準年気象データ
在室・内部発熱スケジュール:平日・休日に分け、部屋別の在室スケジュール、顕熱発熱量、水蒸気発生量を設定
換気計画:1階天井裏をダクトスペースとし、給気は1階が天井吹き出し、2階が床吹き出しとし、各階のホールから還気
全熱交換器:エンタルピ交換効率(暖房時71%;冷房時63%)の定格値を再現できる演繹的モデル、給気風量(SA)=130m³/h、排気風量(EA)=127m³/h(共に変動風量)
機械換気による各居室給気量:0.5～1.0回/h
計算ソフト:熱・換気回路網プログラム「NETS」

図 4.2.19 建物・計算概要

表 4.2.6 通風時における開口部の組合せ

	一般型			設備依存型		
	通常	掃除	就寝	通常	掃除	就寝
風上開口	窓全開	窓全開	就寝開放	窓閉	窓全開	窓閉
間仕切り	ドア閉	ドア閉	ドア閉	ドア閉	ドア閉	ドア閉
風下開口	窓全開	窓全開	就寝開放	窓閉	窓全開	窓閉

注1) 「風上開口」,「風下開口」ともに同一居室の開口
注2) 「掃除」とは, LD および寝室の清掃を指す
注3) 台所の窓は, 清掃時は「開」, 通風時は「閉」とする
注4) 「就寝開放」とは, 窓を片側 25cm 開けた状態とする
注5) 窓に関しては, 開口面積に網戸の流量係数 0.5 を乗じ, 清掃時の流量係数は 1.0
注6) 通風に関しは就寝時を除き, 冷房期間は外気温が 16～25℃の時に窓を開け, 暖房期間は外気温が 18～26℃の時に窓を開け通風をとることにする
注7) 冷房期間の就寝時の通風に関しては, 外気温が 25～28℃の時に行う

表 4.2.7 暖冷房設定温湿度

	設備依存型	一般型
暖房(11/2～4/22)	22℃	22℃ or 通風
(就寝時)	18℃	―
冷房(4/23～11/1)	26℃, 60%RH	26℃, 60%RH or 通風
(就寝時)	28℃, 70%RH	28℃, 70%RH or 通風

注1) 暖房時の相対湿度はなりゆき
注2) 札幌における非居室の暖房設定温度は終日18℃とする

換気モード」において積算冷房負荷に顕著な差は見られないが、「第三種換気モード」は「全熱交換器あり」と比較して、顕熱負荷が減少し、潜熱負荷が増加していることがわかる。

夏季は外気の絶対湿度が高いため、全熱交換器の除湿による冷房負荷の低減効果が表れている。冷房負荷の小さい日は、冷房負荷が「全熱交換器あり」>「第三種換気モード」となっており、「一般型」の冷房負荷が極端に小さい。9/7(木)の全熱交換器内のエンタルピ変化を図 4.2.23 に示す。暖房時と比較して冷房時は外気と還気のエンタルピ差が小さいため熱回収効果が低い。

さらに、時間帯によっては内部発熱や日射受熱等の影響により、還気エンタルピが外気エンタルピを上回る場合があることから、全熱交換器運転が逆効果となる恐れがある。

夏季の夜間や中間期において全熱交換器が逆効果にならないように、外気と還気のエンタルピ比較により全熱交換器を運転判断し、給気または排気ファンを停止することにより、暖冷房負荷と換気ファンの消費電力を同時に節約できる。また、積極的に通風をとることも消費エネルギーの削減につながるといえよう。

表 4.2.8 検討ケースと外気温度

	検討ケース			外気温度(月平均)[℃]		
	暖房(2月)	冷房(8月)	冷房(9月)	2月	8月	9月
札 幌	○			-3.3		
東 京	○	○	○	6.5	27.3	23.1
鹿児島		○			28.4	

表 4.2.9 地域別の断熱・気密性能

	次世代省エネルギー基準			熱損失係数計算値* [W/m²K]
	地域区分	相当隙間面積 [cm²/m²]	熱損失係数 [W/m²K]	
札 幌	Ⅰ	2.0以下	1.6以下	1.5
東 京	Ⅳ	5.0以下	2.7以下	2.3
鹿児島	Ⅴ			

＊ 換気回数0.5回/hにおける値で，全熱交換器の換気回数の低減効果に関しては評価していない

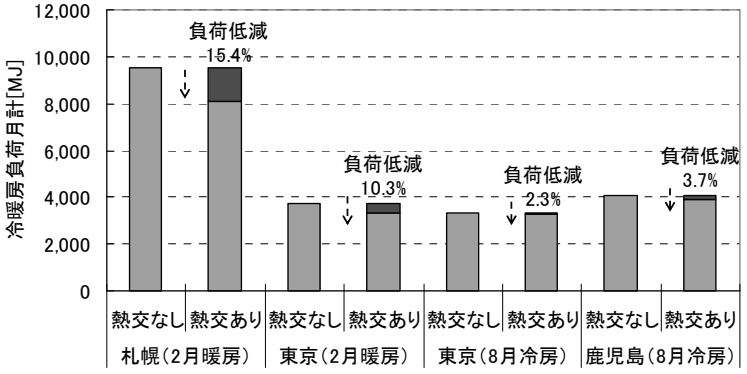


図 4.2.20 冬季・夏季の暖冷房負荷

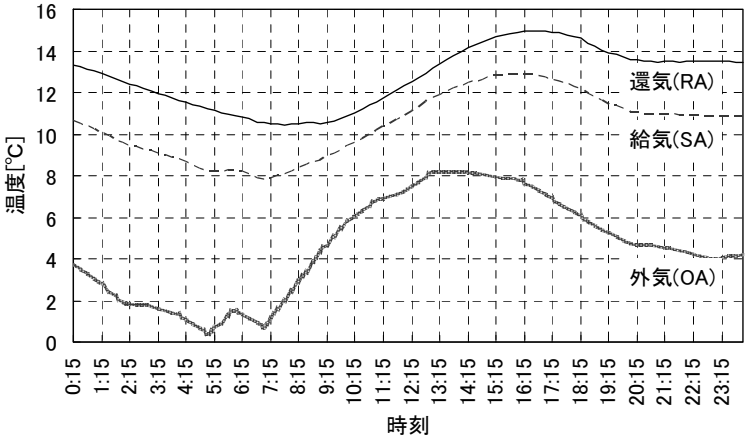


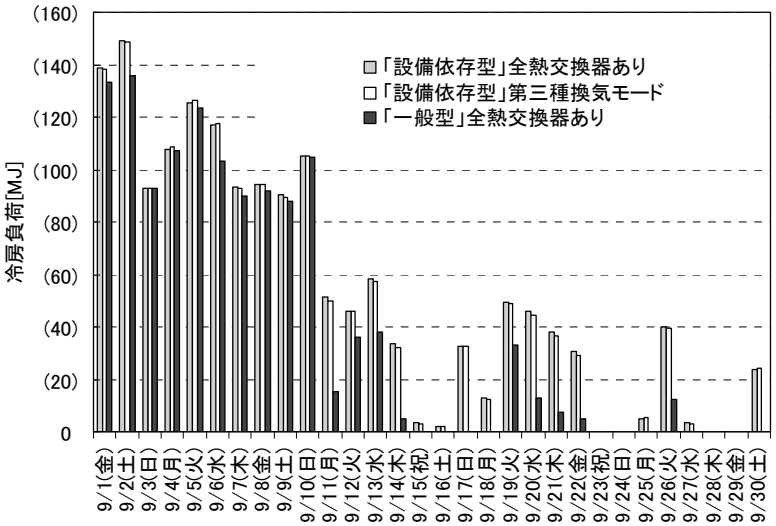
図 4.2.21 2/1の全熱交換器内の温度変化(東京)

(4) Ⅳ地域における全熱交換器の省エネルギー効果

Ⅳ地域(東京)における2月の暖房時を対象に、全熱交換器の消費電力量を,「設備依存型」の「熱交あり」と「熱交なし」の場合で比較した。全熱交換器の性能・効果計算例を表 4.2.10 に示す。暖房用消費電力削減量は、COP=4.0 と想定し、図 4.2.20 に示す暖房負荷低減効果 10.3%(384MJ/月)からエアコン消費電力削減量を推定した。消費電力の削減量は、変動 COP 値で計算した時と比較して、外気温の高い日は大きくなり、外気温の低い日は小さくなる傾向が予想される。全熱交換器の加湿効果は各居室において、水蒸気の蒸発潜熱に、熱回収の対象となる換気量(今回の検討では,ダクトの吹き出し風量とした)と、「熱交あり」と「熱交なし」の居室の絶対湿度差を乗じて

回収される潜熱量に、暖房の運転時間を乗じて算出した。全熱交換器の熱交換素子による換気用消費電力の増分に関しては式(1)を用いて、給気ファンおよび排気ファンの時刻ごとの換気用消費電力の増分量ΔFを算出し平均値を使用した。全熱交換器の負荷低減効果によりエアコン消費電力は削減されるが、ファン動力が増加するため、電力削減効果は 20.733kWh/月となった。

このように、ファン動力は負荷低減効果を相殺するので、ファン動力が小さく効率のよい機種を選択することが望ましい。



	顕熱[MJ]	潜熱[MJ]	冷房負荷[MJ]	顕熱比	負荷比[%]
「設備依存型」全熱交換器あり	1242	349	1591	0.78	100.0
「設備依存型」第三種換気モード	1224	356	1580	0.77	99.4
「一般型」全熱交換器あり	971	265	1236	0.79	77.7

図 4.2.22 9月の冷房負荷(東京)

(5) 全熱交換器を採用する場合の留意点と判断基準

今回の検討をまとめると以下のようになる。

Ⅳ地域(東京)においても全熱交換器の設置により、外気温度が低く室内外温度差の大きい2月で暖房負荷が約1割削減できる。

Ⅳ・Ⅴ地域において、夏季の冷涼な日や夜間、中間期など、還気エンタルピが外気エンタルピより高くなるような状況では、全熱交換器が内部発熱や日射による受熱を熱回収することにより全熱交換器が逆効果となる。

そのため、全熱交換器の運転判断を外気と還気のエンタルピ比較により行い、給気または排気側だけのファンを運転することが消費エネルギーの削減につながる。同様に、積極的に通風をとることも消費エネルギーの削減につながる。

今回のような想定では、Ⅳ地域でも全熱交換器の冬季運用でエアコン消費電力削減量が換気ファン消費電力増加分を上回った。

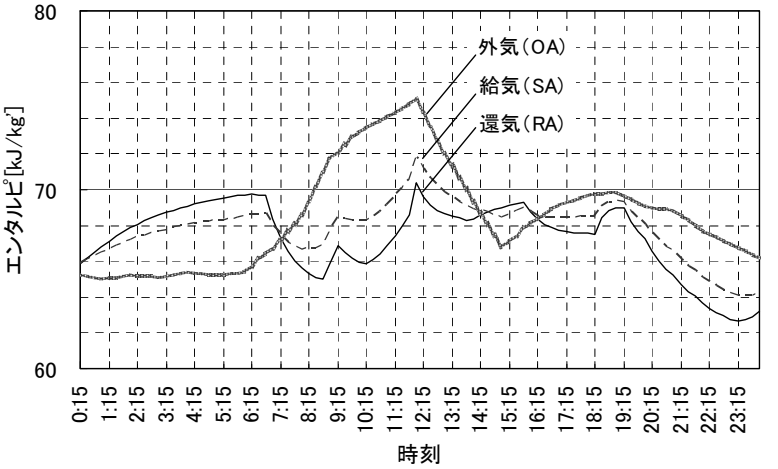


図 4.2.23 9/7の全熱交換器内のエンタルピ変化(東京)

表 4.2.10 全熱交換器の性能・効果計算例 (東京2月)

項 目	消費電力[kWh/月]	備 考
①暖房用消費電力の削減量	26.640	負荷低減量／COPより, COP=4.0として算出
②熱回収による加湿効果	7.227	暖房時に暖房室のみ算出
③熱交換素子による消費電力の増分	13.134	式(1)より, η_V=0.25として算出
削減消費電力 ①+②−③	20.733	削減分を正の数値とする

$$\Delta F = V_F \Delta P / \eta_V \qquad (1)$$

ΔF :換気用消費電力の増分量[W]
V_F :熱交換素子の通過風量[m^3/s]
ΔP :通過風量での静圧差[Pa]
η_V :送風機の総合効率[-](電動機効率とファン効率による)

(鳥海 吉弘、奥山 博康)

4.2.3 ハイブリッド・ベンチレーション

2003 年 7 月に改正された建築基準法では、特にホルムアルデヒドを対象物質としてその室内濃度を低減させるために、換気設備の設置が必要であることが示された。この換気設備の常時稼働により、ファンの消費電力分のみでも住宅で消費される全エネルギーの数％となると予測される。換気にかかるエネルギー量を削減する手法として熱交換器を用いることや、より電力消費の小さいファンを使用することが考えられるが、自然風や室内外温度差を換気の駆動力として利用することも有効な手段と考えられる。加えて、これら駆動力が得られない条件では、機械式のファン等を併用し換気量や換気性能が得られるようにするハイブリッド換気の考え方が有効であると考えられる。ここでは本部会で行われた以下の 3 種類のハイブリッド換気を想定した実験および解析結果について報告する。

1)温度差利用型･戸建て住宅用ハイブリッド換気システム
2)通風式集合住宅用ハイブリッド換気システム
3)ダクト式集合住宅用ハイブリッド換気システム

1) 温度差利用型・戸建て住宅用ハイブリッド換気システム

(1) はじめに

この換気システムは 2 階建て戸建て住宅を対象とし、検知の容易な室内外温度差によるハイブリッド制御を想定している。本項では、実験住宅での実測から温度差利用型ハイブリッド換気システムにおいて換気性能を満たすために必要な室内外温度差を選定し、換気回路網計算を使用した理論計算から温度差利用型ハイブリッド換気システムの換気性能と省エネルギー性について検討した結果を報告する。

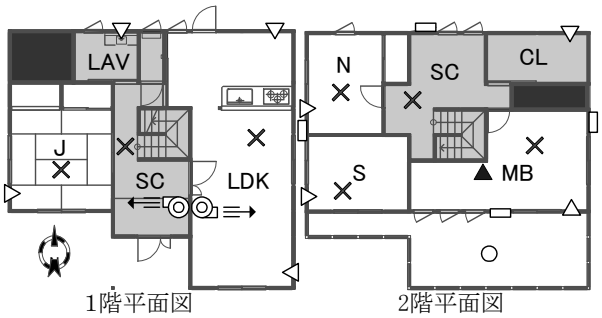
(2) 実験概要

室内外温度差の検知によるハイブリッド制御のための温度差条件を選定する目的で、冬期および夏期に実験住宅においてトレーサーガスによる換気量および換気性能測定を行った。

(3) 実験住宅概要

滋賀県東近江市に建設された実験住宅の概要を図 4.2.24 および写真 4.2.1 に示す。

実験住宅の相当隙間面積は 5.0cm^2/m^2 で、住宅全体の換気口(外壁設置の給排気口)の有効開口面積は次世代省エネルギー基準で自然換気システムとして認められていた 4.0cm^2/m^2 を設定した。



×:トレーサーガス放出･検出点 ▷:換気口 ◎:給気ファン
▭:風圧測定板 ○:風向風速計(地上高10 [m])
･延床面積 150.9 [m^2] ･天井高 2.5 [m]
･住宅の相当隙間面積C値 5.0 [cm^2/m^2]
･住宅全体の換気口開口面積 4.0 [cm^2/m^2]

図 4.2.24 実験住宅概要



写真 4.2.1 実験住宅外観

(4) 測定概要

冬期(2003/11/21～12/21)および夏期(2004/7/23～8/6)に表 4.2.11 に示す項目について測定を行った。図 4.2.24 で濃いグレーで示される部分は、面積に含むが測定対象外とした。

表 4.2.12 にトレーサーガス一定発生法による SRF'値の測定時に想定した次世代省エネルギー基準に準拠した必要新鮮空気量を示す。また、トレーサーガス測定時には、図 4.2.24 で薄いグレーの部分を 1 室として扱った。

冬期の測定条件を表 4.2.13 に示す。第 2 種換気は 0.5ACH での運転を行い、暖房設定温度は20℃とした。また夏期の測定条件を表 4.2.14 に示す。第 2 種換気は 0.5ACH と 0.3ACH の 2 条件を設定し、冷房設定温度は 25℃とした。

表 4.2.11 測定項目

外気導入量	:一定濃度法(SF_6を使用)
SRF'値	:一定発生法(N_2Oを使用)
温度	:熱電対(各室および外気)
風向・風速	:超音波式3次元風向風速計
壁面差圧	:微差圧計

表 4.2.12 必要新鮮空気量設定値

LDK	J	MB	S	N
$50m^3/h$	$20m^3/h$	$40m^3/h$	$20m^3/h$	$20m^3/h$
合計:$150m^3/h$				

表 4.2.13 冬期測定条件

測定ケース	換気条件	暖房条件
W-NV-OF	外壁給排気口	停止
W-NV-AL	↑	全居室連続
W-NV-II	↑	個別間欠
W-NV-IC	↑	個別連続
W-NV2-OF	↑＋第2種換気(0.5 ACH)	停止

表 4.2.14 夏期測定条件

測定ケース	換気条件	冷房条件
S-NV	外壁給排気口	全居室連続
S-NV-0.3	↑＋第2種換気(0.3 ACH)	↑
S-NV-0.5	外壁給排気口 ＋第2種換気(0.5 ACH)	↑

(5) 実験結果

実験結果のまとめを以下に示す。

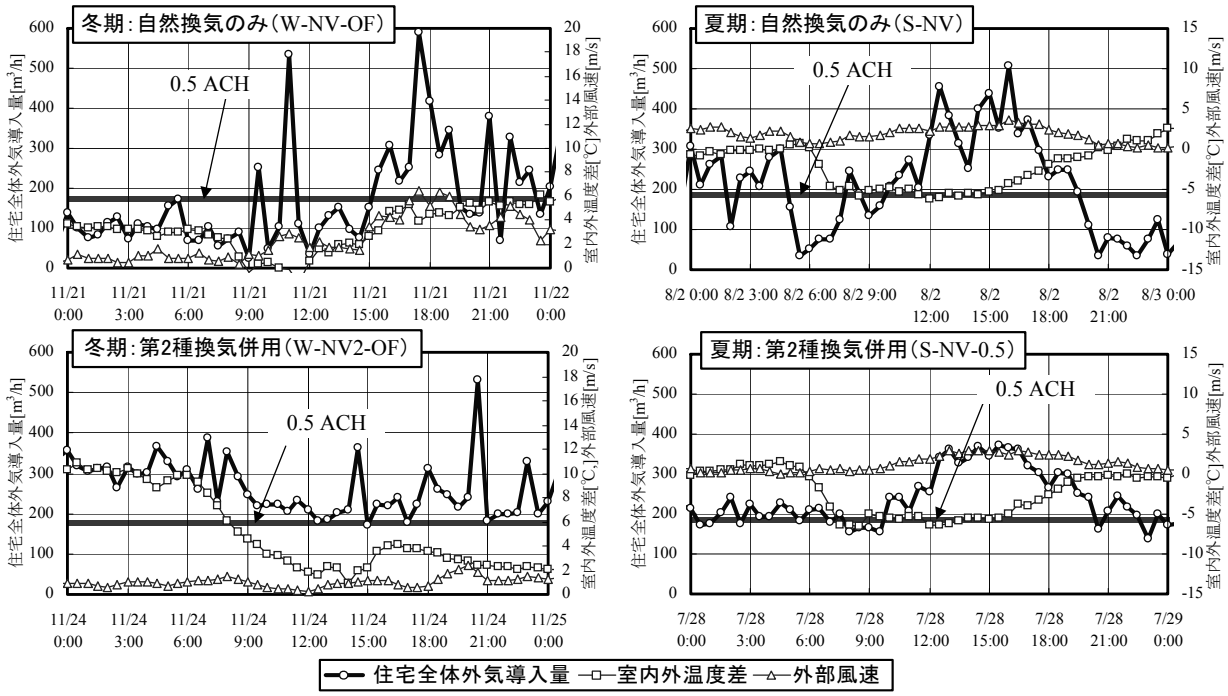


図 4.2.25 住宅全体外気導入量と室内外温度差と外部風速の関係

a住宅全体外気導入量の変動

住宅全体の外気導入量と室内外温度差および外部風速の関係を図 4.2.25 に示す。風速の測定は、夏期は前述の住宅上部に設置した風速計を用いているが、冬期は、一部期間を除いてデータが得られなかったため、彦根の気象データを高

さ補正(べき数を0.25として補正後の高さを10m)し使用した。図 4.2.25 で影響を受け変動している結果となった。これは外気条件として外部風と温度差が複雑に関係し合っているためで、これら測定結果について以下のように整理を行い、ハイブリッド制御のための温度差を算定した。

b自然換気量予測のための外乱条件整理

既往の研究において回路網計算の結果整理により得られた温度差換気システムの住宅全体換気量予測式(式 1)をもとに、外部風の影響を温度差として考慮できる実効温度差⊿T_Eが式 2 のように定義できる。

$$Q = 1.06\times(C\times S)^{0.857}(0.0092|\Delta T| + 0.0357Rv^2)^{0.621} \quad (式\ 1)$$

$$\Delta T_E \equiv |\Delta T| + 3.88Rv^2 \quad (式\ 2)$$

C	:C値	[cm^2/m^2]
S	:床面積	[m^2]
Q	:住宅全体換気量	[m^3/h]
R	:風圧補正係数	[-]
v	:風速	[m/s]
ΔT	:室内外温度差(外気温基準)	[K]

冬期の実験では前述のように住宅直近での風向・風速測定が十分にできなかったため式 1、および式 2 を用いて外部風の影響を実効温度差として整理を行った。一方、夏期の実験では詳細に風向・風速および住宅外壁面における風圧のデータが取得できたため、より詳細な実効温度差を式 3 のように定義して検討した。式 3 は、自然換気の駆動力となる室内外温度差と外部風の圧力の関係を整理したもので、住宅外壁面の隙間が各階の中央に集中していると仮定している。式 3 に実測から得られた風圧データを用いて整理した実効風圧係数差 C_{pEd} を代入し、各方位の⊿T_{Ed} を算定した。また換気回路網による理論計算の結果を基に住宅全体の換気量 Q と⊿T_{Ed} の関係を整理すると式 4 が導出される。

$$\Delta T_{Ed} \equiv \mathrm{sgn}(\Delta T)\times\left(|\Delta T| + \frac{T_r \Delta C p_{Ed} v^2}{2gh}\right) \quad (式\ 3)$$

$$Q = 38.36(\Delta T_{Ed})^{1/1.72} \quad (式\ 4)$$

ΔT_{Ed}	:風向dにおける実効室内外温度差(外気温基準)	[K]
Tr	:室内空気温度	[K]
ΔCp_{Ed}	:風向d時の実効風圧係数差	
d	:風向(1～16方位)	
g	:重力加速度	[m/s^2]
h	:階高	[m]

※sgnは符号を示す関数でx＞0であればsgn(x)=1となり、x＜0であればsgn(x)＝-1を示す。

これらの関係式(式 1 および式 4)により算出された外気導入量を実測された外気導入量と比較したものを図 4.2.26 に示す。特に各方位の風圧係数を考慮した式 4 では計算値と実測結果が、ほぼ直線関係にあり、式3の仮定が一定精度を有する結果を得た。なお式 1 では実測データの整理から R＝0.73 と設定している。

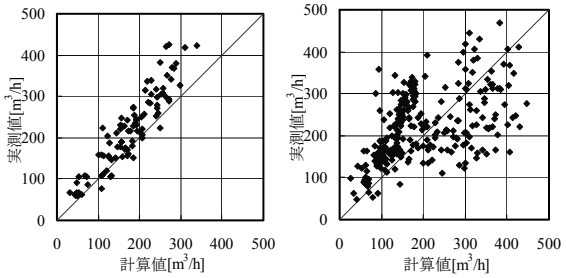


図 4.2.26 住宅全体外気導入量の測定値と関係式による計算値の比較(左:式4による導出(夏期) 右:式1による導出(冬期))

cハイブリッド制御のための室内外温度差の選定

b で整理をした⊿T_{Ed} を用いてハイブリッド制御を行うための室内外温度差の選出を行った。

図 4.2.27 にに実効室内外温度差と実験で得られた住宅全体の換気性能評価値 OSRF の関係を示す。この図における OSRF 値は、定常状態に近いと考えられる期間のデータを選出した物である。これら結果より、室内外温度差の絶対値が約 10℃あれば、ほぼ OSRF=1 を示すため温度差換気のみで住宅内各室に設定した外気導入量が十分得られる結果となった。よって本住宅では室内外温度差の絶対値が 10℃以下で機械ファンを稼働させることがハイブリッド制御の条件となる。

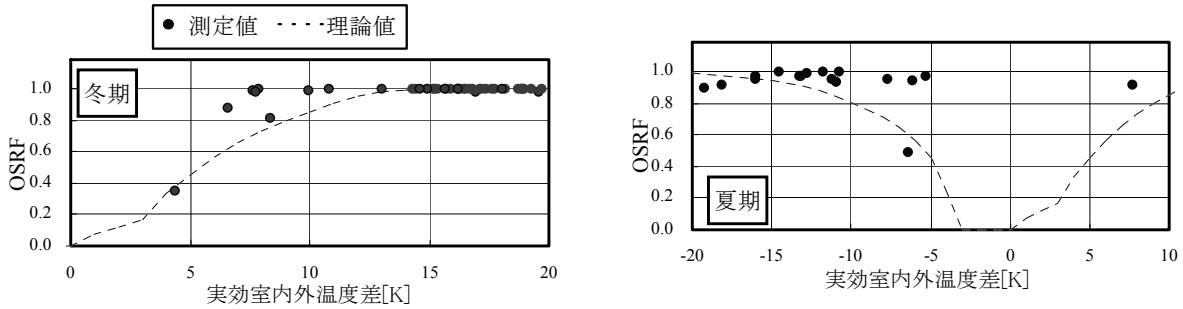


図 4.2.27 実効室内外温度差とOSRFの関係

(6) 理論計算によるハイブリッド制御の換気性能評価および省エネルギー性の検討

ここでは、回路網計算により自然換気システムと様々な形式の機械換気システムと組み合わせた場合の換気性能に関する検討および省エネルギー性能について試算した結果を示す。

a換気回路網計算と実測外気導入量比較

実験住宅の外壁隙間が外壁面に均等に分布しているとしてモデル化し、換気回路網計算を行った結果と実測された外気導入量と比較した結果を図 4.2.28 に示す。実測の外気導入量は外部風や室内外温度差が比較的安定していた期間のデータを選出した物で、外乱条件が安定していれば理論計算が一定の精度を持つ結果となった。

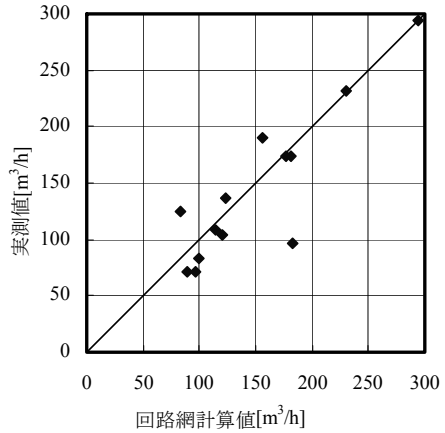


図 4.2.28 住宅全体外気導入量の測定値と回路網計算値の比較

b温度差利用型ハイブリッド換気システムに適切な換気設計の検討

a の実験住宅モデルに表 4.2.15 に示す計算条件を設定し、換気回路網計算(計 270 ケース)を行い、換気性能評価を行った。各室の必要新鮮空気量は次世代省エネルギー基準に準拠し表 4.2.12 に示す値を用いた。

結果を以下に示す。機械換気は住宅の

表 4.2.15 計算条件

計算項目	計算水準
住宅の相当隙間面積 cm^2/m^2	1, 2, 5(実験条件)
換気口の開口面積 cm^2	32.5, 65(実験条件), 135
換気システム	・第2種(給気量m^3/h) 集中:LDK(90),SC(100) 各室:LDK(65),MB(50),S(25),N(25),J(25) ・第3種(排気量m^3/h) 集中:SC(190) 各室:LDK(65),MB(50),S(25),N(25),J(25) ・ファン無し
室内外温度差 ℃	20, 15, 10, 5, 0, -2
外部風速 m/s	0

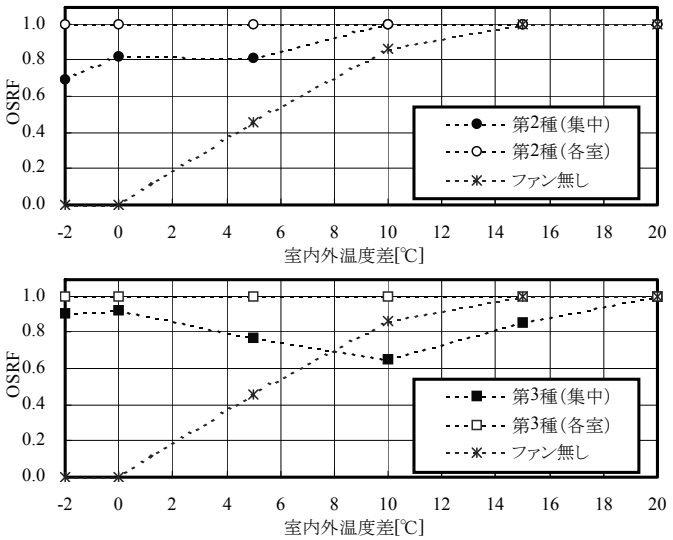


図 4.2.29 換気性能計算結果(C=5cm^2/m^2の住宅に4cm^2/m^2の外壁換気口を設置した条件)

隙間や換気口の面積によらず各居室に給気を行う第 2 種換気と排気を行う第 3 種換気を設定した条件でよい換気性能を示した。またファン無しの場合、実験住宅と同等の隙間があれば、室内外温度差が約 10℃換気性能をほぼ満たし、実測と同様の結果となった。計算結果のうち室内外温度差と OSRF の関係を図 4.2.29 に示す。

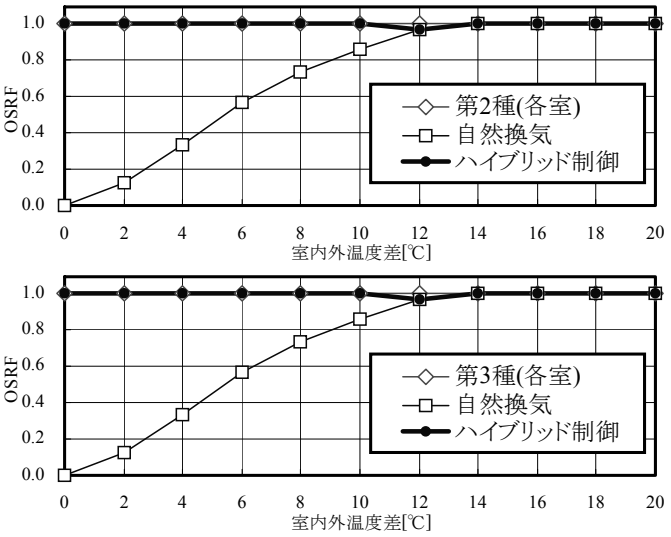


図 4.2.30 ハイブリッド制御時の換気性能

（C=5cm²/m²の住宅に4cm²/m²の外壁換気口を設置した条件）

cハイブリッド制御の性能推定

b における検討で換気性能の高かった各室に給気する第 2 種換気設備と各室から排気を行う第 3 種換気設備を室内外温度差が 10℃以下の場合に稼働させ、それ以外の条件で自然換気システムのみとした場合に予想される換気性能について整理したものを図 4.2.30 に示す。室内外温度差 10℃以下の自然換気駆動力が不足する条件で機械ファン併用で、どの温度差においても OSRF をほぼ満たすことができる結果を得た。

d省エネルギー性検討

室内外温度差の検知によるハイブリッド制御時の省エネルギー性を検討するため、代表都市の拡張アメダス標準年データをもとに、外気温が 18℃以下の条件を暖房期間と想定し、室内温度を 20℃とした場合に温度差換気のみで換気性能を満たす条件である室内外温度差 10℃以上が得られる時間を算定した。結果を図 4.2.31 に示す。九州以北の代表的な都市では暖房期間中に温度差換気のみでの換気が可能な時間帯が 30～50%である結果となり、外気温度が 18℃以下になる条件のうち一定期間において機械ファンの動力を削減できる可能性が確認された。また、4 人家族が居住し朝と夜に設定温度 20℃にて部分間欠暖房を行うスケジュールを想定し、東京の気象データを用いて負荷計算試算すると、冬期に 10%程度の時間で室内外温度差が 10℃となる結果となった。なおより寒い地方や暖房設定温度が高い場合はファン停止の時間が 20%以上となる。しかしながら、これら結果は特に居住者の生活スタイルによって左右されるためより詳細な検討が必要と考える。

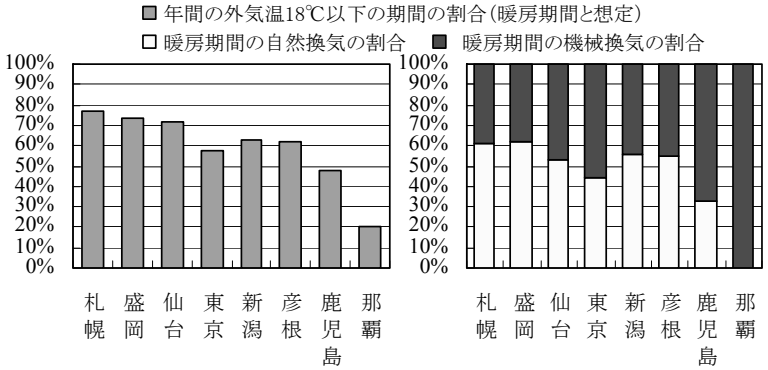


図 4.2.31 連続暖房条件で室内外温度差10℃により自然換気（温度差換気）が利用できる時間の割合

（C=5cm²/m²の住宅に4cm²/m²相当の外壁換気口を設置した条件）

(7) おわりに

室内外温度差を検知してハイブリッド制御を行う換気システムについて、次世代省エネルギー基準で認められていた自然換気システムに準ずる換気口を有する実験住宅を対象として、実測と理論計算を行い以下の結果を得た。

C=5cm²/m² の住宅に 4cm²/m² 相当の外壁換気口を設置した条件で温度差換気を行う場合、次世代省エネルギー基準に準拠した各室の新鮮外気量に対する換気性能を得るために必要な室内外温度差度差は約 10℃である。室内外温度差 10℃の条件でハイブリッド制御を行う場合、暖房温度を 20℃と設定した連続暖房条件で暖房期間(外気温度が 18℃以下と想定)の 30～50%の時間で温度差換気が全般換気に利用できる。また個別間欠暖房を想定した場合は、暖房期間の 10～20%の時間で温度差換気が利用できる。

(中川浩、辻正雄、田島昌樹)

2) 通風式集合住宅用ハイブリッド換気システム

(1) 研究の目的

2003 年の建築基準法の改正に伴い、多くの住宅で機械式の換気システムが選択・導入されることになると考えられる。しかし一定の建物高さを有する集合住宅では、機械換気システムを常時運転する以外にも自然風を利用した換気システムを導入する可能性もあると考えられる。そこで自然風を利用した換気システムの換気性能を測定し、自然風を利用した換気システム導入の可能性と、無風状態における機械ファンの併用(つまりハイブリッド運転)の頻度を推定することを目的として実験および性能の試算を行った。

(2) 想定するシステム

ここで考えるハイブリッドシステムは、集合住宅を対象として外壁部分に図 4.2.32 に示すような自然換気装置を設置して、外部風がある場合には外部風を利用し、無風時及び弱風時にはファンを稼働させて外気導入を得るものである。また当該装置は、流量制御機構を有し、強風時には



図 4.2.32 換気装置風量制御部
(左：開放、右：風量制御時)

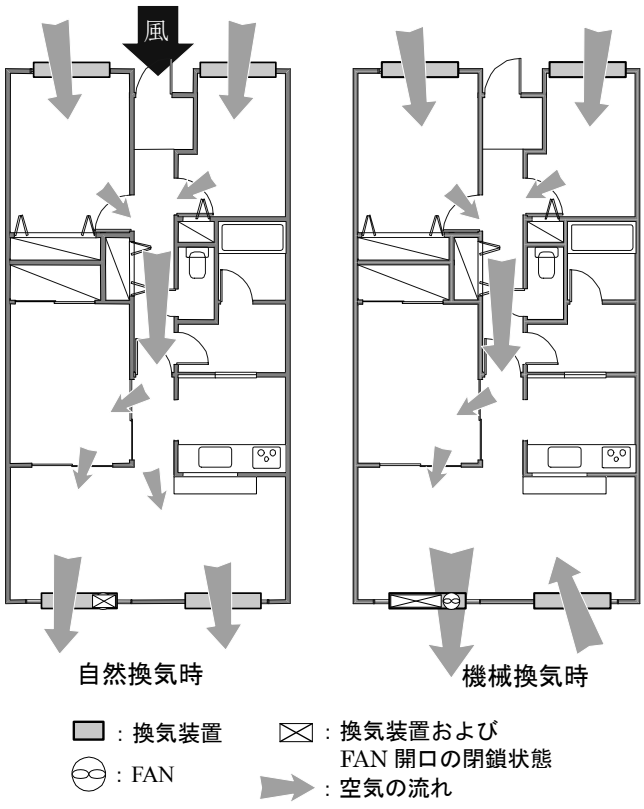


図 4.2.33 各換気条件時の換気性状



図 4.2.34 換気装置設置状況(現場実測のため既存開口部をつぶして換気装置のみ設置。)

給気量を制限することにより過換気を防ぐことが可能である。図 4.2.33 に各換気条件時の換気性状を示す。自然換気時には、外壁面風圧の高い室から空気を導入し、外壁面風圧の低い室から排気を行う。一方機械換気時には、各室の自然換気装置から給気し、自然換気装置に並列に設置されたファンより排気を行う。ファンの作動は、自然換気装置に設けた風量センサもしくは、玄関袖壁部に設置した風圧センサで外部風の有無を判断して行う。なお、使用するファンは住戸に既設の換気設備(サニタリー換気扇等)を流用する方法も考えられる。

(3) ハイブリッド換気システムの可能性についての検討

a集合住宅実験棟における自然換気システムに関する実験

建築研究所内にある集合住宅実験棟(図 4.2.35)の1住戸において、現象を単純化して確認するため、風上室、風下室ができる様2室の空間を設け(図 4.2.36)、自然換気システム及び機械ファン併用時の換気性能評価を行った。換気性能評価指標としてSRF 用い、2 種のトレーサーガスを用いた実験により換気性能及び新鮮外気導入量を評価した。その結果、住戸の前後差圧(南北面圧力差)が±2Pa の範囲でファンを稼動し、それ以外の条件で自然風を用いることで、高い換気性能が得られ、かつ必要な新鮮外気を確保できる事が確認された(図 4.2.37)。

b一般的な集合住宅を想定したシミュレーションによる評価

先述した 2 室での実験結果をより一般的な見解にするため、図 4.2.38 に示した標準的な平面を持つ集合住宅について、住戸全体の換気性能評価指標であるOSRF を用い、シミュレーションによる検討を行った。

図 4.2.39 に示した様に、2 室での実験結果と同様、住戸の前後差圧±2Pa をハイブリッド運転の閾値にした場合、OSRF の値を高く維持することが可能であるという結果を得た。また、拡張アメダス気象データの東京標準年を用い、



図 4.2.35 集合住宅実験棟外観

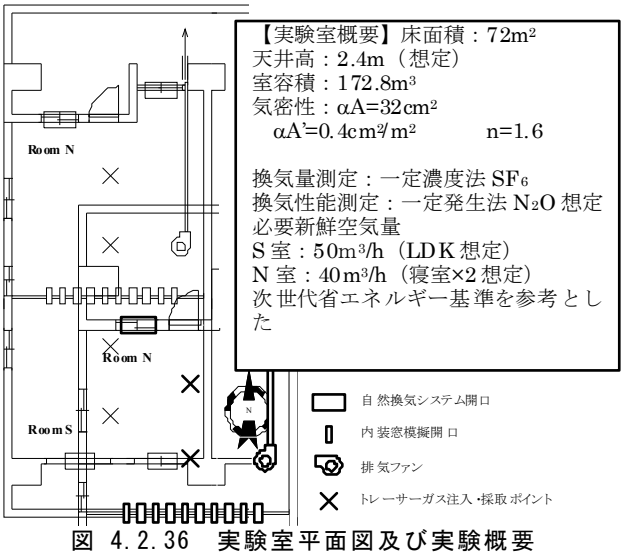


図 4.2.36 実験室平面図及び実験概要

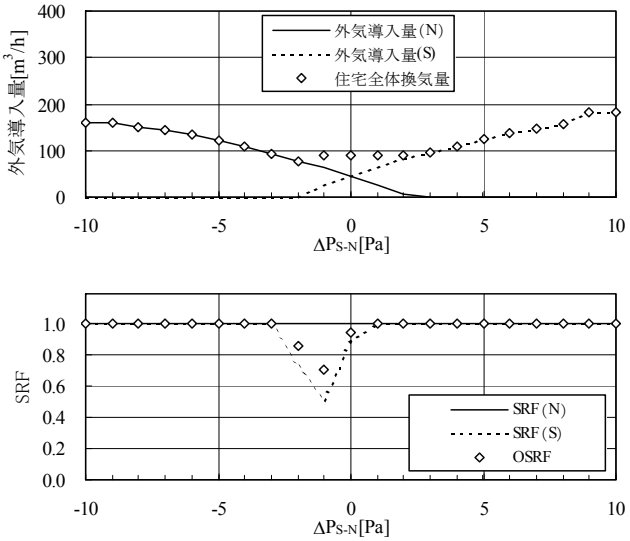
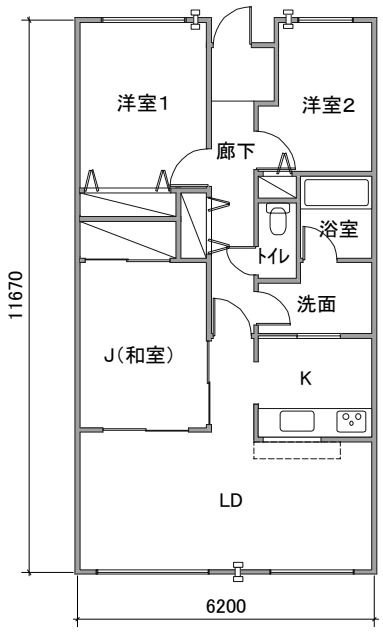


図 4.2.37 ハイブリッド運転で予測される外気導入量及びSRF値（実験結果をもとに定常計算）



【対象住宅】
3LDK・片廊下式　延床面積72m²

窓・玄関ドア:JISの気密性:A-4等級線に従う
内装ドア:開き戸αA'=100cm²/m²
引き戸αA'=50cm²/m²　　(共にn=1.87)
横軸回転窓(室間開口):αA=450cm²,n=2.0
外壁レジスタ:・A=10cm2,n=2.0
周辺温度:室内外とも20.0℃
想定必要新鮮空気量:
LDKJ 50m3/h,洋室1,2 各20m3/h

図 4.2.38 計算室平面図と シミュレーション条件

高層集合住宅の中層階を想定した年間シミュレーションを行った場合も同様の結果が得られ、自然換気利用率も 76%となった(図 4.2.40)。

(4) 年間自然換気利用率の検討

ハイブリッド運転閾値の2Paを元に表 4.2.16 に示す条件にて各都市における自然換気の利用頻度を求めた。一例として図 4.2.41 に東京における自然換気利用率(自然風のみで換気が行える割合)を示す。図の1つの長方形は1住戸を表し、図中数値はその住戸における自然換気利用率を示す。同一高さでも、建物規模が大きい場合での利用率が高く、低層部分の端部を除けば、ほとんどの住戸で、概ね年間 50%程度自然風のみでの換気可能である。他の地域についても、風の弱い松山を除けば、おしなべて年間 50%程度の自然換気利用率を確保できる結果が得られた。

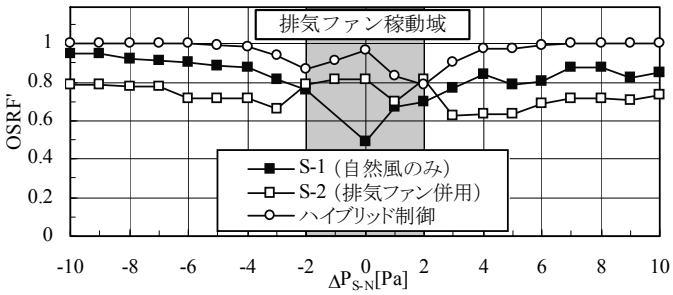


図 4.2.39 各換気システムの差圧毎のOSRF'

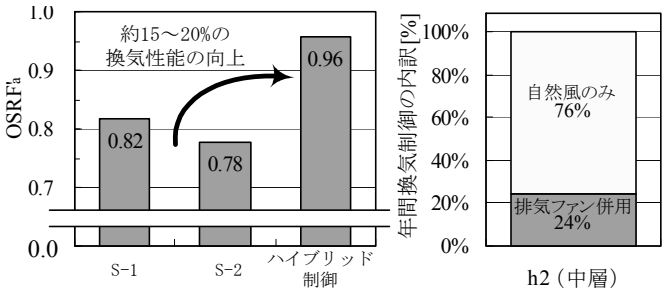


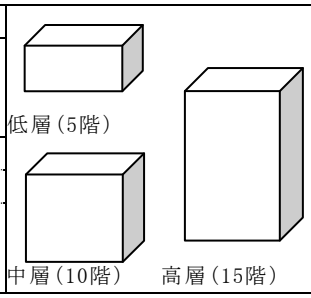
図 4.2.40 各換気システム年間OSRF (OSRFa') と自然換気利用率

(5) 実住宅モデルにおける換気性能評価

集合住宅実験棟の1住戸にハイブリッド換気システム(自然換気装置、排気ファン及び制御システム)を設置し、先述した実験での評価手法にて、システムとしての換気性能評価を実施中である。対象

表 4.2.16 検討対象と条件

検討対象	建物規模	右図参照
	地域	省エネ地域区分Ⅳ:東京、千葉、横浜 静岡、神戸、大阪、松山 省エネ地域区分Ⅴ:鹿児島
検討条件	風速	拡張アメダス気象データ、標準年
	風圧係数	丸田委員のデータを使用
	地表面粗度区分	Ⅳ(東京はⅤであるが、Ⅳに補正した)



建物規模
高さ:
低層:15m
中層:30m
高層:45m
幅:30m(共通)
奥行:15m
(共通)

5F	43.8%	52.2%	61.8%	57.7%	52.7%
4F	47.8%	56.7%	61.8%	58.2%	50.9%
3F	45.1%	51.5%	56.7%	53.0%	48.2%
2F	36.5%	47.5%	51.1%	49.0%	42.1%
1F	35.9%	47.5%	51.1%	49.0%	39.7%

低層建物

10F	55.3%	63.1%	64.8%	63.1%	57.3%
9F	61.4%	64.5%	64.8%	63.4%	60.4%
8F	57.7%	64.5%	64.8%	63.4%	58.1%
7F	57.7%	64.5%	64.8%	63.4%	58.1%
6F	57.7%	64.5%	64.8%	63.4%	58.1%
5F	55.0%	63.7%	64.8%	62.3%	55.1%
4F	52.4%	62.9%	64.8%	61.1%	52.2%
3F	52.4%	62.9%	64.8%	61.1%	52.1%
2F	52.4%	62.9%	64.8%	61.1%	52.1%
1F	52.4%	61.2%	61.5%	59.5%	52.2%

中層建物

15F	64.1%	67.1%	69.0%	67.1%	66.8%
14F	72.3%	74.8%	75.5%	75.6%	72.1%
13F	69.6%	74.5%	75.5%	74.2%	71.1%
12F	69.1%	74.5%	75.5%	74.2%	70.2%
11F	68.6%	74.5%	75.5%	74.2%	69.4%
10F	67.4%	74.0%	75.5%	73.2%	67.2%
9F	66.1%	73.6%	75.5%	72.1%	65.0%
8F	64.8%	73.2%	75.5%	71.1%	62.9%
7F	62.1%	69.6%	70.4%	68.5%	62.2%
6F	59.4%	66.1%	65.3%	65.9%	61.6%
5F	59.5%	65.5%	65.3%	64.9%	60.7%
4F	59.6%	64.9%	65.3%	63.9%	59.8%
3F	59.6%	64.9%	65.3%	63.9%	59.8%
2F	63.0%	70.1%	75.5%	69.0%	60.2%
1F	59.5%	70.1%	75.5%	69.0%	58.8%

高層建物

図 4.2.41　東京における自然換気利用率

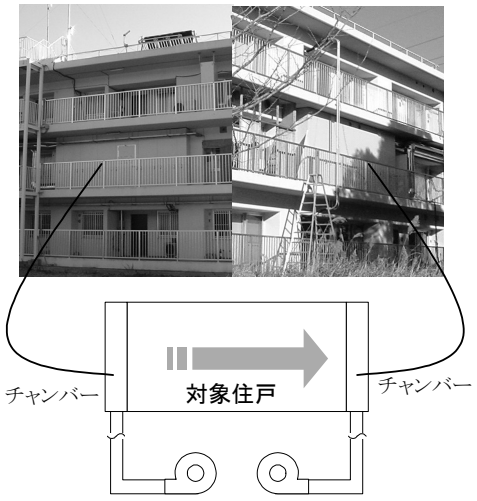


図 4.2.42集合住宅に設置されているチャンバー

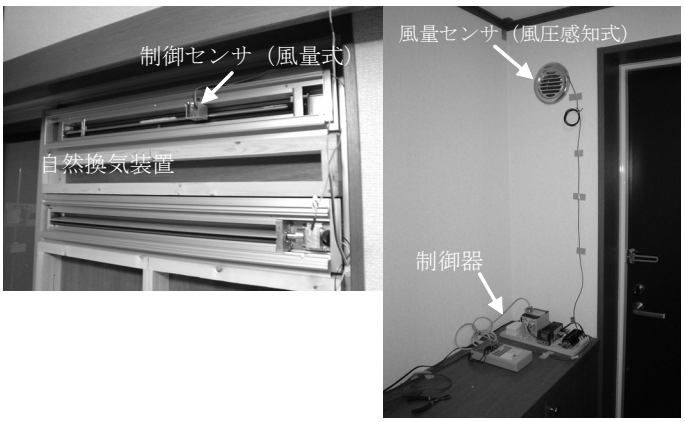


図 4.2.43 設置した換気装置及び制御機器

住戸南北各面には、各々の面で圧力制御が可能なチャンバーが設置されており（図 4.2.42）、定常的な実験が可能である為、定常実験とシミュレーションの整合を行い、その後チャンバーを撤去した自然風下の状態での評価、シミュレーションを進める。なお、制御システムは、2タイプ設置しており（図 4.2.43）、両システムににについて、ハイブリッド制御に関するパラメータの検証を実施する予定である。

(6) まとめ

本部会での検討により、自然風を利用したハイブリッド換気システムは、風量感知等による制御を上手く行った場合、必要な外気導入量を得られることが分かった。また、その自然換気利用率からも省エネルギーに、寄与するものと考える。

（高橋　泰雄、田島　昌樹）

3) 集合住宅用ダクト式ハイブリッド換気システム

(1) はじめに

自然風とファンを併用して全般換気を行う集合住宅用ダクト式のハイブリッド換気システムを対象として下記の事項を実施した。

①外壁面差圧と補助ファン稼働率の関係の把握
②風力換気時の外気導入量予測手法の精度確認
③矩形およびボイド型建物の風洞実験により求めた外壁面風圧係数と、気象データを用いた自然換気利用率予測
④実用化のための検討

(2) 換気システムの概要

風力により居室の常時換気を行い、無風時は補助ファン(浴室換気乾燥暖房機または便所天井扇)による第3種換気を行う。

共用廊下側が風上の場合には図 4.2.44 に示すようにダクトから給気を行い、バルコニー側換気口より排気する。風量調整ダンパーが給気量(バルコニー側風上時は排気量)を制御し、住宅全体の過換気を防止する。バルコニー側が風上の場合には反対向きの風の流れとなる。無風時はダクトおよびバルコニー側換気口から給気を行い、補助ファンにて排気する。表 4.2.17 にシステムを構成する部材一覧を示す。

風量調整ダンパーの動作原理を図 4.2.45 に示す。給排気時とも通過風量が過大になると羽根の開度が小さくなり、風量を抑制する。また、無風時の換気不足を補うための補助ファンの制御方法を図 4.2.46 に示す。ダクト内風速が閾値を下回ると補助ファンを自動的に起動し、ダクト内風速が一定時間閾値を超えると停止する。

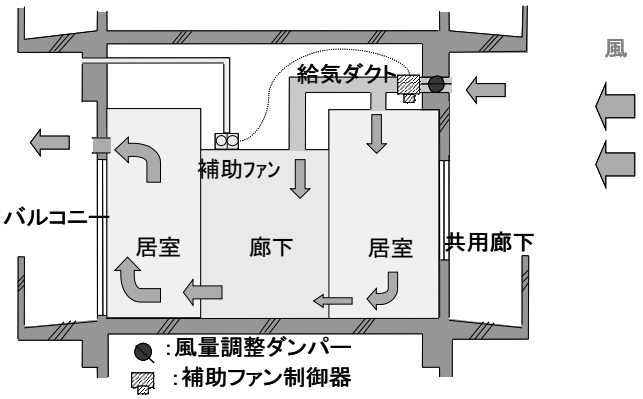


図 4.2.44 共用廊下側風上時の風の流れ

表 4.2.17 システム構成部材と構造

名 称	構造等
外気取入口	平型ガラリ、#10メッシュ付
風量調整ダンパー	過換気防止ダンパー
補助ファン制御器	風速感知式
室内換気口	開閉式換気口
補助ファン	浴室乾燥機または便所天井扇

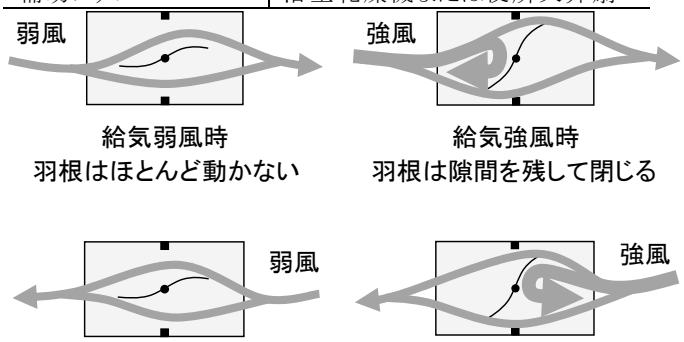


図 4.2.45 風量調整ダンパーの動作原理

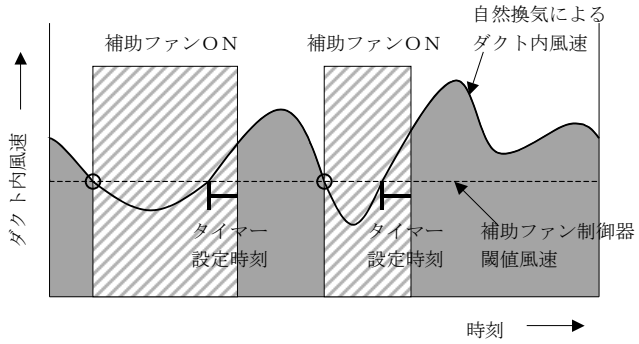


図 4.2.46 補助ファン制御方法

(3) 補助ファン稼働率および外気導入量実測

一定差圧条件下で外気導入量を実測し、過換気防止について確認した。図 4.2.47 に外壁面差圧と外気導入量の関係を示す。強風時に過換気防止していることがわかる。

また、自然風条件下で建築研究所の実験住宅において屋上風向風速、外壁面差圧、補助ファン稼働率、外気導入量を実測した。

外壁面差圧と補助ファン稼働率の関係を図 4.2.48 に、外壁面差圧と外気導入量の関係を図 4.2.49 に示す。

(4) 換気回路網による外気導入量予測

換気回路網により、外気導入量予測を行い、実測値を比較したものを図 4.2.50 に示す。

(5) 年間自然換気利用率予測（矩形建物）

東京の気象データと模型風洞実験による風圧係数を用いて建物外壁面に発生する差圧を予測し、図 4.2.48 の関係をもとに年間自然換気利用率を予測したものを図 4.2.51 に示す。予測の条件は通風式住宅用ハイブリッド換気システムと同様とした。

低層建物では自然換気利用率は低いが、中層建物および高層建物では低層部分も含めて50%程度の自然換気利用率であると予測された。主要都市における年間平均自然換気利用率を表 4.2.18 に示す。

(6) ボイド型超高層建物の自然換気利用率

ボイド型超高層建物(30 階建、各階 10 戸を想定)の模型風洞実験を行い、同様の方法で主要都市における超高層ボイド型建物における年間自然換気利用率を予測したものを表 4.2.19 に示す。上下階による差は小さく、自然換気利用率は 50%程度と予測された。

また、一般的にボイド内に建物から排熱があり煙突効果が働くと考えられる。

1 階付近の開口を大きくしない場合には煙突効果によりボイド内は負圧になる。建物から

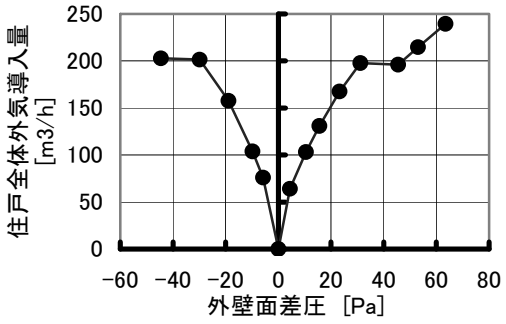


図 4.2.47 外壁面差圧と外気導入量（風力換気時）

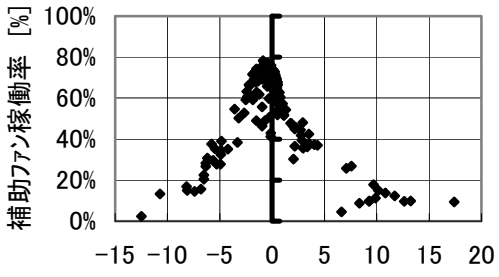


図 4.2.48 差圧と補助ファン稼働率（ハイブリッド換気時）

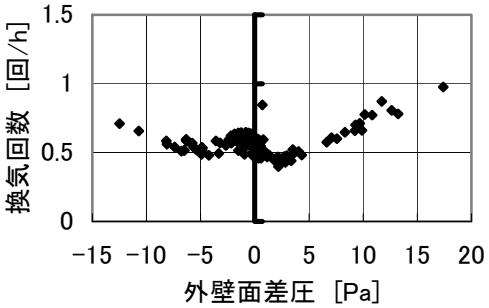


図 4.2.49 差圧と換気回数（ハイブリッド換気時）

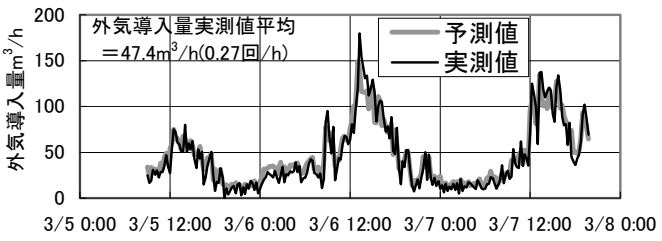


図 4.2.50 外気導入量予測精度の検証

表 4.2.18 年間自然換気利用率（全住戸平均）

	東京	横浜	名古屋	大阪	神戸	福岡
高層	51	65	60	51	57	56
中層	44	61	58	46	52	54
低層	29	55	51	38	45	49

5F	33.0%	37.0%	42.0%	38.0%	37.0%
4F	31.0%	36.0%	32.0%	40.0%	38.0%
3F	22.0%	30.0%	22.0%	34.0%	31.0%
2F	12.0%	24.0%	15.0%	30.0%	23.0%
1F	15.0%	26.0%	16.0%	33.0%	25.0%

低層建物

10F	39.0%	42.0%	45.0%	43.0%	43.0%
9F	45.0%	50.0%	51.0%	51.0%	49.0%
8F	43.0%	48.0%	51.0%	50.0%	48.0%
7F	41.0%	48.0%	50.0%	49.0%	47.0%
6F	39.0%	47.0%	48.0%	49.0%	45.0%
5F	38.0%	47.0%	47.0%	48.0%	43.0%
4F	33.0%	44.0%	45.0%	46.0%	40.0%
3F	31.0%	43.0%	47.0%	45.0%	37.0%
2F	31.0%	44.0%	47.0%	45.0%	37.0%
1F	34.0%	46.0%	50.0%	48.0%	39.0%

中層建物

15F	45.0%	48.0%	47.0%	48.0%	48.0%
14F	51.0%	56.0%	55.0%	57.0%	55.0%
13F	49.0%	55.0%	55.0%	57.0%	54.0%
12F	50.0%	56.0%	55.0%	57.0%	55.0%
11F	49.0%	55.0%	55.0%	57.0%	54.0%
10F	48.0%	55.0%	57.0%	56.0%	53.0%
9F	47.0%	54.0%	56.0%	55.0%	52.0%
8F	46.0%	53.0%	55.0%	54.0%	51.0%
7F	43.0%	51.0%	53.0%	52.0%	48.0%
6F	41.0%	50.0%	53.0%	51.0%	46.0%
5F	43.0%	51.0%	53.0%	52.0%	48.0%
4F	41.0%	50.0%	53.0%	51.0%	46.0%
3F	40.0%	51.0%	52.0%	52.0%	44.0%
2F	42.0%	51.0%	55.0%	52.0%	45.0%
1F	42.0%	53.0%	55.0%	52.0%	46.0%

高層建物

図 4.2.51 自然換気利用率（矩形建物）

の排熱を仮定し、風力にこの負圧を加えた場合の各地の年間自然換気利用率を表 4.2.20 に示す。煙突効果による負圧は下階ほど大きいので、下階ほど自然換気利用率が高くなっている。

表 4.2.19 年間自然換気利用率（各階住戸平均）

	東京	横浜	名古屋	大阪	神戸	福岡
30階	43	58	47	45	52	42
25階	49	63	53	50	57	46
20階	48	62	52	49	56	46
15階	46	60	50	48	55	45
10階	44	58	49	46	53	43
5階	45	61	49	47	54	44
1階	46	59	50	49	55	44
MIN	37	46	36	30	41	38
MAX	51	68	59	58	65	49
AVE	46	61	51	48	55	44

MIN: 間自然換気利用率が最も低い住戸の値
MAX: 間自然換気利用率が最も高い住戸の値
AVE: 住戸の平均

表 4.2.20 年間自然換気利用率（煙突効果考慮）

	東京	横浜	名古屋	大阪	神戸	福岡
30階	43	58	47	45	52	42
25階	52	62	56	53	58	51
20階	56	64	60	57	61	56
15階	59	66	61	60	63	58
10階	61	66	63	61	64	61
5階	63	66	65	64	65	63
1階	66	68	67	65	67	65
MIN	38	55	37	33	44	40
MAX	68	72	70	72	72	67
AVE	58	65	60	58	62	57

MIN: 間自然換気利用率が最も低い住戸の値
MAX: 間自然換気利用率が最も高い住戸の値
AVE: 住戸の平均

(7) 浴室乾燥機を用いた換気システムの開発

浴室換気乾燥暖房機を補助ファンとして、起動停止するハイブリッド換気システムを開発した。図 4.2.52 にその概要を示す。

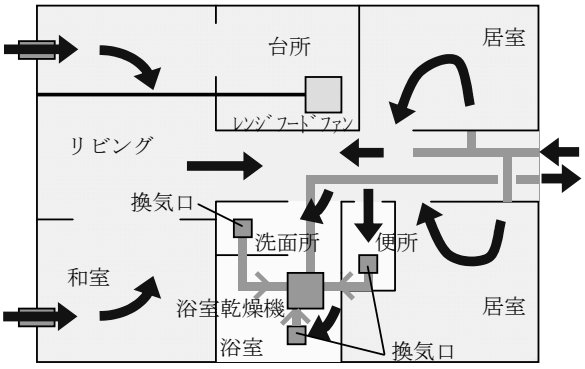


図 4.2.52 浴室換気乾燥機を利用した換気システム

(8) 耐久性の確認

約 400 万回にわたり補助ファン制御器の接点の開閉を行い、耐久性を確認した。テストの状況を図 4.2.53 に示す。

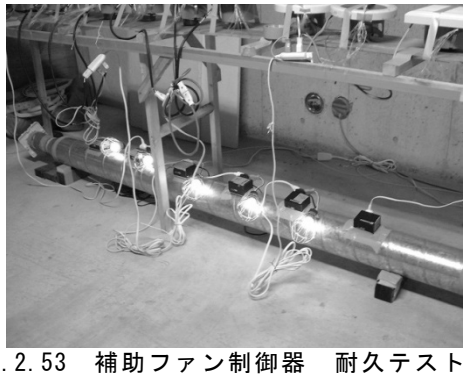


図 4.2.53 補助ファン制御器 耐久テスト状況

(9) まとめ

集合住宅用ダクト式ハイブリッド換気システムについて、外壁面差圧と補助ファン稼働率の関係を把握し、風洞実験により求めた風圧係数と気象データを用いて自然換気利用率予測を行った。その結果、高層建物を想定した場合に理論上50%程度の換気用電力削減が可能であることがわかった。

また、浴室換気乾燥機との連動型の開発や、耐久性に関する実験など実用化のための検討を行った。

（佐藤 健一）

資料１

第Ⅳ地域にある都市の夏季および中間期における気象データ平均値

		5月		6月		7月		8月		9月		10月	
		覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時
茨城（水戸）14.1[m]	気温[℃]	18.0	13.7	19.8	16.7	24.2	21.5	26.3	23.1	22.3	19.3	17.0	12.6
	相対湿度[%]	66.0	85.1	77.1	90.5	77.1	89.0	77.1	91.7	77.1	89.3	71.6	88.4
	風速[m/s]	2.3	1.1	2.3	1.4	2.2	1.1	2.4	1.2	2.2	1.4	1.8	1.4
	風向[-]	東南東	北北西	東	北北東	東	北北東	東南東	北東	北東	北北西	北北東	北北西
群馬（前橋）17.2[m]	気温[℃]	20.0	14.7	21.6	17.7	26.2	22.4	27.4	23.8	22.8	19.5	16.9	13.3
	相対湿度[%]	53.9	71.2	66.3	81.3	68.8	81.1	72.2	85.9	72.8	84.5	63.4	77.0
	風速[m/s]	2.3	1.8	1.9	1.5	1.9	1.5	2.0	1.3	1.7	1.6	2.0	1.8
	風向[-]	東北東	北西	東南東	北北西	東南東	北	東南東	北北西	北北西	北北西	北北西	北西
埼玉（浦和）6.5[m]	気温[℃]	19.8	15.3	22.3	19.0	26.4	22.2	27.4	23.8	23.2	20.2	17.2	13.5
	相対湿度[%]	58.9	78.6	72.1	86.3	69.5	87.5	70.4	86.6	73.8	85.8	65.3	79.4
	風速[m/s]	2.1	1.2	2.1	1.5	1.7	1.0	1.8	0.9	1.5	1.0	2.0	1.4
	風向[-]	南南東	北西	東南	東北東	東南東	北東	東南	東北東	北	北北西	北北西	北北西
千葉（千葉）47.7[m]	気温[℃]	18.6	15.8	21.1	18.6	25.9	23.4	27.4	24.7	23.5	21.1	18.5	15.5
	相対湿度[%]	65.6	76.6	73.6	83.7	71.9	82.4	75.3	86.7	75.1	84.2	65.3	76.5
	風速[m/s]	3.0	2.4	2.8	2.3	2.8	2.2	2.8	2.5	2.6	2.2	2.5	2.3
	風向[-]	東南	北北東	東	東北東	東南	東	南	東	北東	北北東	北	北
東京（東京）74.5[m]	気温[℃]	20.3	17.3	21.9	19.6	27.6	24.8	28.2	25.4	23.8	21.6	18.8	15.9
	相対湿度[%]	55.6	69.5	69.7	79.6	66.1	76.0	68.5	79.5	72.5	81.5	61.4	71.9
	風速[m/s]	2.0	1.5	2.0	1.6	1.8	1.4	1.9	1.6	1.9	1.6	1.9	1.5
	風向[-]	南	西	東南東	北北東	南南東	東南	南南東	北東	北北東	北	北	北北西
神奈川（横浜）19.6[m]	気温[℃]	19.3	16.6	21.5	18.8	25.6	22.9	27.5	24.9	23.2	21.1	18.4	15.6
	相対湿度[%]	66.3	77.1	75.3	86.3	75.7	86.3	76.2	86.0	74.0	82.1	67.6	78.1
	風速[m/s]	3.0	2.3	2.6	1.9	2.2	1.6	2.7	2.3	2.6	2.3	2.8	2.5
	風向[-]	南南東	西北西	東南東	北	南南東	南	南	北西	北東	北	北北東	北北西
富山（富山）20[m]	気温[℃]	17.7	14.3	21.1	18.5	25.5	22.1	27.0	24.1	22.7	19.9	17.2	14.1
	相対湿度[%]	68.0	81.1	76.3	87.7	79.4	92.1	73.7	82.1	76.4	87.8	73.2	84.1
	風速[m/s]	2.5	1.7	2.4	1.6	1.9	1.4	2.2	1.6	2.1	1.5	2.1	1.6
	風向[-]	北北西	南西	北北西	西南西	北北西	南西	北北東	南西	北	南西	西	南西
石川（金沢）48.4[m]	気温[℃]	18.9	14.2	21.9	18.6	26.6	23.1	27.6	24.3	23.5	20.0	17.0	13.1
	相対湿度[%]	59.9	75.3	72.3	86.0	72.4	85.5	73.1	84.9	67.3	81.0	67.1	81.8
	風速[m/s]	1.8	1.1	1.8	1.2	1.9	1.1	1.7	1.1	1.8	1.1	1.6	1.2
	風向[-]	西北西	東	北北西	東南東	西北西	東南東	北東	東南東	北東	東	東	東南東
福井（福井）26.2[m]	気温[℃]	18.3	14.4	22.3	18.7	26.5	22.7	27.9	24.2	23.5	19.7	17.6	14.3
	相対湿度[%]	64.2	80.7	68.3	83.0	68.3	85.4	69.1	86.1	70.4	87.1	71.8	86.4
	風速[m/s]	2.5	1.9	2.1	1.6	1.9	1.3	1.9	1.2	2.1	1.4	1.9	1.4
	風向[-]	西	南南西	西	南南西	西南西	南	西	南	西北西	南南西	南西	南南西
山梨（甲府）26.8[m]	気温[℃]	20.1	15.2	22.9	19.2	27.0	23.1	27.2	23.2	23.4	20.1	17.0	12.8
	相対湿度[%]	56.8	75.6	66.7	83.0	67.7	83.7	67.5	84.7	71.0	83.4	64.6	82.7
	風速[m/s]	2.0	1.0	1.7	0.7	1.6	0.8	1.7	0.8	1.4	0.7	1.4	0.8
	風向[-]	西南西	西北西	西南西	西	西	西	南西	西	南西	西南西	西南西	西南西
岐阜（岐阜）22.8[m]	気温[℃]	20.1	15.8	23.7	20.2	27.7	24.2	29.1	25.4	24.9	21.1	18.7	14.5
	相対湿度[%]	59.5	74.4	66.4	80.6	69.0	82.3	65.8	80.4	64.5	79.2	59.3	75.1
	風速[m/s]	2.3	1.5	2.0	1.1	2.0	1.1	2.1	1.3	2.0	1.2	1.7	1.0
	風向[-]	西南西	北	南西	北	西南西	北	南西	北東	西南西	北北西	北西	北北西
静岡（静岡）16.2[m]	気温[℃]	20.0	16.0	22.2	19.3	26.6	24.3	28.2	24.7	24.8	21.6	19.3	16.1
	相対湿度[%]	66.8	81.3	73.6	85.5	73.2	83.0	73.4	85.4	66.7	79.3	65.8	77.4
	風速[m/s]	2.0	1.0	2.1	1.3	1.8	1.0	2.4	0.9	2.2	1.4	1.8	1.0
	風向[-]	南	北西	東南東	北	南南東	北北西	南	北北西	東北東	北	北東	北北西
愛知（名古屋）17.8[m]	気温[℃]	20.1	16.0	23.3	19.7	26.6	23.1	29.0	25.4	24.8	21.2	18.9	14.9
	相対湿度[%]	56.7	73.1	64.6	78.3	73.4	86.5	63.0	77.9	62.8	76.5	62.5	78.2
	風速[m/s]	2.9	1.9	2.5	1.5	2.4	1.5	2.4	1.5	2.3	1.6	2.2	1.6
	風向[-]	西南西	北北東	南南西	北東	南	東北東	南	東北東	西北西	北北東	北北西	北
三重（津）39.5[m]	気温[℃]	19.2	15.5	22.9	19.8	27.6	24.9	28.1	24.8	24.5	21.6	19.0	15.4
	相対湿度[%]	66.0	77.7	70.1	81.0	72.5	82.9	70.9	82.9	68.5	80.3	63.7	77.0
	風速[m/s]	2.6	1.6	2.7	1.8	2.4	1.7	3.0	1.8	2.9	2.0	2.4	1.8
	風向[-]	東南東	西北西	東南	西	南	北西	東南	西南西	東南東	西北西	西北西	西北西
滋賀（大津）6.5[m]	気温[℃]	19.1	15.1	22.9	19.2	26.8	23.5	27.8	23.9	24.6	20.7	17.8	14.6
	相対湿度[%]	61.7	77.5	66.2	79.9	73.5	85.6	68.1	82.1	64.5	79.3	70.2	82.1
	風速[m/s]	1.2	0.5	0.8	0.5	1.1	0.4	0.7	0.5	1.2	0.7	1.1	0.7
	風向[-]	北	南西	北北東	南	西	南	東北東	南	北北東	南	北	南南東
京都（京都）16.2[m]	気温[℃]	20.0	15.7	23.2	19.2	28.2	24.9	28.9	25.4	24.8	21.0	19.0	14.9
	相対湿度[%]	57.6	73.4	63.0	77.9	66.5	79.1	65.1	78.2	61.9	76.6	61.4	79.0
	風速[m/s]	1.6	0.8	1.7	0.9	1.9	1.0	2.1	1.3	1.7	0.8	1.5	0.7
	風向[-]	西南西	北北東	北東	北北東	東北東	北北東	東	北東	北北東	北	北	北
大阪（大阪）94.1[m]	気温[℃]	20.3	16.3	23.7	20.9	27.4	24.4	28.9	25.9	25.5	22.4	19.0	15.5
	相対湿度[%]	56.8	71.1	68.0	78.5	69.8	81.4	65.7	78.1	57.5	68.6	60.6	75.2
	風速[m/s]	2.3	1.7	2.0	1.6	2.2	1.4	2.2	1.7	2.2	1.5	2.0	1.6
	風向[-]	北西	北北東	西北西	北	西	北	北	北東	北	北	北北東	北北東

覚醒時　7:00～23:00　　就寝時　23:00～7:00

第Ⅳ地域にある都市の夏季および中間期における気象データ平均値

		5月		6月		7月		8月		9月		10月	
		覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時	覚醒時	就寝時
兵庫（神戸）21.8[m]	気温[℃]	19.2	16.1	23.2	20.2	27.4	24.5	28.2	25.6	24.0	21.4	19.3	16.3
	相対湿度[%]	64.4	76.9	66.4	78.1	72.5	85.6	71.5	82.7	68.8	75.3	64.6	73.3
	風速[m/s]	2.4	1.6	2.3	1.8	2.6	1.7	2.5	1.6	2.4	1.9	2.4	2.3
	風向[-]	西	北	南西	北	西南西	西北西	西南西	北西	北北西	北北東	北	北
奈良（奈良）11.1[m]	気温[℃]	19.7	14.0	23.2	18.4	26.5	22.3	28.3	23.4	23.6	19.4	17.0	12.6
	相対湿度[%]	63.5	85.7	66.9	83.3	73.1	89.9	65.1	84.1	71.5	88.1	72.8	91.7
	風速[m/s]	1.5	1.0	1.5	1.2	1.3	0.7	1.6	1.0	1.5	1.0	1.1	0.6
	風向[-]	北北西	北東	北	北東	西南西	北東	北北東	北東	北北東	北北東	北北西	北東
和歌山（和歌山）38.9[m]	気温[℃]	19.9	16.6	23.2	20.1	27.3	24.7	29.2	25.4	25.0	21.4	19.3	15.3
	相対湿度[%]	63.0	75.4	66.8	79.0	70.8	81.7	66.5	80.6	63.7	77.6	64.9	80.4
	風速[m/s]	2.6	1.8	2.4	1.9	2.7	1.9	2.9	1.6	2.4	1.9	2.0	2.0
	風向[-]	西南西	東北東	西北西	東北東	西南西	東南東	南南西	東北東	北	北東	北北東	北東
鳥取（鳥取）32[m]	気温[℃]	19.2	14.1	22.6	18.5	26.7	22.7	28.2	24.4	23.4	19.0	17.8	13.8
	相対湿度[%]	62.0	79.5	69.2	84.7	72.7	87.1	71.4	84.9	68.9	85.9	69.6	85.0
	風速[m/s]	2.4	2.0	1.9	1.4	1.8	1.4	2.1	1.8	1.9	1.8	2.0	1.6
	風向[-]	北北西	東南	北北西	東南東	北	東南東	南南東	東南	東南東	東南東	東北東	東南東
島根（松江）26.7[m]	気温[℃]	18.3	14.4	21.8	19.2	26.0	23.6	27.9	24.1	23.5	20.3	17.7	14.2
	相対湿度[%]	68.4	85.6	78.4	87.9	82.0	89.3	70.1	85.9	69.9	82.4	69.0	84.3
	風速[m/s]	2.7	1.5	2.8	1.8	3.1	2.1	2.4	1.2	2.5	1.3	2.4	1.2
	風向[-]	北東	東	南南西	東南東	西南西	南西	東	東南東	東北東	東	北北西	北東
岡山（岡山）70.9[m]	気温[℃]	19.9	15.6	24.4	20.7	28.3	24.9	28.7	25.4	24.7	21.1	18.5	14.5
	相対湿度[%]	59.0	77.6	63.9	78.1	69.2	81.9	69.0	84.3	65.5	79.9	63.1	80.2
	風速[m/s]	1.6	1.0	1.5	0.9	1.6	0.9	1.5	0.9	1.3	0.9	1.3	0.9
	風向[-]	東南東	北北東	東南	北東	南西	北北東	東南東	北北東	北東	北	北	北
広島（広島）94.9[m]	気温[℃]	20.4	16.4	23.1	19.9	27.7	25.1	28.2	25.0	25.2	21.7	18.1	14.5
	相対湿度[%]	58.4	74.6	73.1	84.4	72.1	83.2	70.7	82.6	62.9	77.4	68.5	82.6
	風速[m/s]	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.9	1.7	2.1	2.1	2.1	2.5
	風向[-]	西南西	北	南西	北北東	西南西	北	南南西	北北東	北	北北東	北北東	北北東
山口（山口）15.3[m]	気温[℃]	19.7	14.9	23.5	19.7	27.1	23.5	27.4	23.7	24.9	20.9	18.0	13.0
	相対湿度[%]	61.2	81.3	71.5	87.5	74.6	88.9	72.8	88.0	70.7	87.0	66.7	86.5
	風速[m/s]	1.8	1.0	1.7	0.8	1.4	0.6	1.8	0.9	1.8	0.7	1.4	0.7
	風向[-]	東北東	東北東	南南西	東北東	西南西	東	南南東	東	東	東北東	北北西	東北東
徳島（徳島）17.5[m]	気温[℃]	19.9	16.8	23.2	20.6	27.0	24.0	28.7	25.5	25.1	22.1	19.1	16.0
	相対湿度[%]	63.9	76.2	72.7	83.5	73.4	84.5	68.9	80.3	67.2	77.3	64.5	75.3
	風速[m/s]	2.9	1.6	2.7	1.8	2.3	1.2	3.3	2.1	2.1	1.8	2.2	1.9
	風向[-]	東南東	西北西	東南東	西	東	西	南南東	南	北北西	西北西	北西	西北西
香川（高松）16.6[m]	気温[℃]	19.9	15.9	24.2	20.2	27.7	24.1	27.9	24.2	24.9	21.2	18.8	14.2
	相対湿度[%]	63.4	81.0	65.1	81.4	68.3	84.1	74.0	88.1	70.0	84.5	65.8	81.1
	風速[m/s]	2.0	1.3	2.1	1.1	2.2	1.2	2.1	1.1	1.7	1.2	1.9	1.2
	風向[-]	北	南西	北北東	南西	西北西	南西	東	南南西	西	南西	北西	南西
愛媛（松山）20.3[m]	気温[℃]	19.5	15.6	23.8	20.3	27.7	25.0	28.6	24.7	24.7	21.3	19.6	15.7
	相対湿度[%]	62.7	75.8	67.4	80.3	72.5	83.0	64.8	79.3	69.3	82.0	61.7	76.8
	風速[m/s]	1.7	1.1	1.6	1.0	1.7	1.2	1.8	1.0	1.7	1.0	1.7	1.2
	風向[-]	西北西	東	西	東南東	西南西	東南東	西	東南東	南西	東南東	北	東南東
高知（高知）15.3[m]	気温[℃]	20.5	16.1	23.8	20.1	27.2	24.2	28.5	25.0	25.2	21.4	20.3	15.6
	相対湿度[%]	63.7	80.5	71.7	87.2	76.5	89.6	69.1	83.0	64.1	78.6	57.8	76.0
	風速[m/s]	1.8	1.4	1.5	0.9	1.5	0.7	1.8	1.2	1.6	1.3	1.7	1.4
	風向[-]	南南西	西北西	南南東	西	東南	西	南南東	西北西	南南西	西北西	西北西	西北西
福岡（福岡）24.5[m]	気温[℃]	20.5	17.1	23.1	20.2	28.2	25.8	28.2	25.2	25.5	22.5	19.8	15.9
	相対湿度[%]	62.9	76.3	74.1	84.6	71.4	80.8	73.1	83.7	66.9	77.3	62.9	77.2
	風速[m/s]	2.3	1.3	2.4	1.3	2.4	1.5	2.5	1.5	2.6	1.3	2.3	1.3
	風向[-]	北北西	南	北北西	東南	南南西	南南東	北北西	東南	北北東	南南東	北	南南東
佐賀（佐賀）56.2[m]	気温[℃]	20.8	16.1	23.8	21.2	28.3	25.2	29.2	25.5	25.0	21.5	19.5	15.2
	相対湿度[%]	63.6	80.9	76.9	86.5	75.2	88.4	68.2	81.1	73.2	86.8	62.8	79.1
	風速[m/s]	1.8	1.2	2.2	1.6	2.5	1.8	2.5	1.6	2.1	1.2	2.0	1.3
	風向[-]	南西	北北東	南	南西	南南西	南南西	北東	北北東	北北東	北	北北東	北北東
長崎（長崎）18.7[m]	気温[℃]	20.0	16.7	23.2	20.6	27.0	24.9	28.6	26.0	25.8	23.1	20.8	17.3
	相対湿度[%]	69.2	82.3	77.4	87.1	81.5	89.9	72.4	81.2	66.4	78.7	64.0	77.4
	風速[m/s]	1.9	1.0	1.9	1.3	2.2	1.5	2.0	1.2	2.0	1.4	1.8	1.1
	風向[-]	西	北東	西南西	北東	南西	南南西	西北西	北東	北	北東	北	北東
熊本（熊本）14.8[m]	気温[℃]	21.1	16.2	24.1	20.9	27.8	24.7	28.4	24.5	25.4	21.6	20.2	15.3
	相対湿度[%]	63.1	83.3	74.5	86.9	77.0	89.6	70.3	86.6	71.1	86.1	60.4	80.6
	風速[m/s]	1.7	1.1	1.8	1.2	1.9	0.9	2.2	1.2	1.6	0.9	1.7	1.2
	風向[-]	西南西	北西	西北西	北北西	南西	南西	南西	北西	北北西	北	北北西	北
大分（大分）19.7[m]	気温[℃]	19.6	15.8	22.9	19.1	26.8	23.9	27.5	24.0	24.3	21.2	19.1	14.9
	相対湿度[%]	65.7	80.9	70.6	84.9	77.6	89.8	73.4	86.9	73.9	85.8	65.8	81.3
	風速[m/s]	1.9	1.5	1.9	1.3	1.7	1.1	2.2	1.5	1.9	1.4	2.0	1.8
	風向[-]	北北東	南	北東	南	北北東	南	東北東	南	北北東	南南西	北	南

覚醒時　7:00～23:00　　就寝時　23:00～7:00

戸建住宅（単独タイプ、寄棟屋根）　風圧係数一覧表

風の吹いてくる方向	面のある方向	北面		東面		南面		西面	
	北	−0.37	0.01 −0.70	−0.32	−0.04 −0.67	−0.33	−0.18 −0.70	−0.40	−0.19 −0.77
		0.51	0.82 0.24	−0.24	0.16 −0.58	−0.07	−0.01 −0.13	−0.02	0.30 −0.62
	北北東	−0.36	−0.01 −0.77	−0.23	0.05 −0.42	−0.44	−0.18 −0.80	−0.62	−0.23 −1.19
		0.39	0.88 −0.14	0.16	0.43 −0.05	−0.15	−0.07 −0.20	−0.27	−0.02 −0.63
	北東	−0.35	−0.02 −0.65	−0.29	0.06 −0.60	−0.53	−0.22 −0.98	−0.67	−0.30 −1.23
		0.15	0.51 −0.32	0.45	0.70 0.04	−0.21	−0.13 −0.28	−0.33	−0.18 −0.52
	東北東	−0.32	−0.10 −0.56	−0.37	0.06 −0.77	−0.50	−0.21 −0.95	−0.47	−0.23 −0.86
		−0.15	0.08 −0.38	0.54	0.85 0.15	−0.27	−0.19 −0.37	−0.23	−0.12 −0.30
	東	−0.42	−0.17 −0.84	−0.40	0.05 −0.83	−0.39	−0.17 −0.82	−0.36	−0.18 −0.72
		−0.31	−0.13 −0.74	0.47	0.87 0.07	−0.25	−0.08 −0.52	−0.14	−0.08 −0.21
	東南東	−0.58	−0.27 −1.18	−0.42	0.06 −0.91	−0.36	−0.11 −0.79	−0.51	−0.22 −1.01
		−0.33	−0.13 −0.57	0.41	0.92 −0.02	0.09	0.22 −0.02	−0.19	−0.15 −0.27
	南東	−0.66	−0.31 −1.28	−0.40	0.07 −0.84	−0.42	−0.01 −0.74	−0.65	−0.32 −1.31
		−0.30	−0.15 −0.52	0.26	0.65 −0.05	0.41	0.67 0.10	−0.26	−0.17 −0.40
	南南東	−0.57	−0.30 −1.07	−0.38	−0.06 −0.68	−0.54	−0.14 −1.04	−0.65	−0.35 −1.27
		−0.19	−0.08 −0.37	0.03	0.33 −0.31	0.63	0.90 0.24	−0.29	−0.12 −0.52
	南	−0.43	−0.24 −0.74	−0.41	−0.14 −0.82	−0.51	−0.20 −0.99	−0.49	−0.27 −0.96
		−0.09	0.00 −0.23	−0.15	0.04 −0.68	0.62	0.88 0.23	−0.24	−0.11 −0.56
	南南西	−0.58	−0.28 −1.06	−0.53	−0.25 −1.06	−0.40	−0.05 −0.81	−0.35	−0.08 −0.74
		−0.20	−0.05 −0.36	−0.24	−0.11 −0.44	0.57	0.87 0.00	−0.18	0.09 −0.36
	南西	−0.70	−0.30 −1.36	−0.53	−0.27 −1.05	−0.30	0.06 −0.58	−0.39	0.04 −0.84
		−0.29	−0.14 −0.54	−0.23	−0.06 −0.34	0.37	0.67 −0.10	−0.01	0.62 −0.47
	西南西	−0.58	−0.20 −1.24	−0.39	−0.18 −0.80	−0.27	−0.09 −0.51	−0.39	−0.04 −0.84
		−0.26	−0.01 −0.61	−0.15	0.04 −0.23	0.01	0.12 −0.13	0.27	0.84 −0.22
	西	−0.40	−0.16 −0.81	−0.34	−0.17 −0.76	−0.43	−0.20 −0.80	−0.40	−0.11 −0.67
		−0.15	0.38 −0.45	−0.12	0.08 −0.20	−0.31	−0.11 −0.53	0.49	0.89 0.22
	西北西	−0.35	−0.11 −0.58	−0.46	−0.21 −0.92	−0.57	−0.27 −1.12	−0.42	−0.07 −0.78
		0.02	0.67 −0.59	−0.23	−0.05 −0.28	−0.34	−0.25 −0.43	0.58	0.88 0.15
	北西	−0.39	−0.04 −0.71	−0.57	−0.19 −1.06	−0.55	−0.26 −1.05	−0.37	−0.03 −0.62
		0.28	0.72 −0.31	−0.42	−0.17 −0.52	−0.23	−0.17 −0.29	0.48	0.71 0.05
	北北西	−0.39	−0.01 −0.75	−0.52	−0.12 −1.06	−0.43	−0.21 −0.83	−0.30	−0.13 −0.61
		0.46	0.85 −0.06	−0.50	−0.10 −0.71	−0.14	−0.08 −0.19	0.26	0.59 −0.28

風向	面
	上段：屋根面
	下段：壁面

各面・各風向に対して上段に屋根面の風圧係数，
下段に壁面の風圧係数を記載

平均値	最大値
	最小値

それぞれの面においては上記の様に
平均値，最大値，最小値を記載

戸建住宅（密集地タイプ、寄棟屋根・片流れ屋根）　風圧係数一覧表

風の吹いてくる方向	面のある方向	北面		東面		南面		西面	
	北	0.34936	0.3781						
			0.318						
		0.10	0.16	0.03	0.14	0.03	0.12	0.06	0.13
			0.02		−0.13		−0.16		−0.10
		0.11	0.17	0.13	0.17	0.18	0.22	0.11	0.16
			0.06		0.10		0.14		0.06
	北北東	0.29774	0.3763						
			0.2613						
		0.06	0.11	0.06	0.16	0.01	0.12	0.02	0.13
			−0.02		−0.07		−0.19		−0.18
		0.09	0.14	0.12	0.23	0.19	0.25	0.11	0.17
			0.05		0.09		0.10		0.06
	北東	0.33202	0.5179						
			0.2289						
		0.12	0.20	0.18	0.32	−0.02	0.17	0.02	0.19
			−0.05		−0.06		−0.37		−0.29
		0.12	0.39	0.16	0.26	0.21	0.26	0.16	0.23
			0.01		0.13		0.13		0.07
	東北東	0.2264	0.2975						
			0.18						
		0.11	0.20	0.27	0.39	0.01	0.18	0.06	0.23
			−0.10		−0.04		−0.37		−0.27
		0.18	0.43	0.19	0.31	0.20	0.24	0.19	0.30
			0.03		0.15		0.15		0.10
	東	0.01256	0.109						
			−0.2133						
		0.05	0.21	0.29	0.46	0.06	0.15	0.09	0.27
			−0.27		−0.04		−0.26		−0.31
		0.17	0.24	0.18	0.21	0.19	0.21	0.18	0.25
			0.05		0.15		0.16		0.15
	東南東	−0.17522	0.0403						
			−0.5778						
		0.01	0.22	0.23	0.34	0.08	0.15	0.05	0.22
			−0.35		−0.05		−0.14		−0.30
		0.17	0.24	0.19	0.23	0.19	0.24	0.17	0.20
			0.09		0.16		0.16		0.12
	南東	−0.28298	−0.0446						
			−0.6131						
		−0.03	0.20	0.14	0.25	0.10	0.20	−0.01	0.19
			−0.42		−0.10		−0.10		−0.39
		0.21	0.34	0.23	0.31	0.21	0.25	0.18	0.21
			0.11		0.16		0.16		0.13
	南南東	−0.1459	−0.0536						
			−0.2398						
		−0.03	0.17	0.08	0.18	0.10	0.18	−0.01	0.14
			−0.32		−0.12		−0.08		−0.31
		0.22	0.35	0.20	0.31	0.18	0.24	0.17	0.21
			0.10		0.13		0.14		0.15
	南	−0.01872	−0.0007						
			−0.0523						
		0.04	0.20	0.02	0.08	0.07	0.12	0.05	0.14
			−0.13		−0.07		−0.02		−0.09
		0.19	0.24	0.13	0.17	0.14	0.16	0.17	0.22
			0.10		0.11		0.11		0.10
	南南西	−0.22664	−0.046						
			−0.4299						
		−0.02	0.11	−0.02	0.11	0.09	0.17	0.08	0.16
			−0.29		−0.27		−0.06		−0.11
		0.22	0.42	0.14	0.19	0.17	0.24	0.28	0.41
			0.06		0.10		0.11		0.11
	南西	−0.2392	0.0022						
			−0.6547						
		−0.02	0.14	−0.02	0.16	0.09	0.18	0.15	0.24
			−0.35		−0.32		−0.09		−0.06
		0.23	0.43	0.19	0.23	0.20	0.28	0.29	0.41
			0.07		0.15		0.13		0.15
	西南西	−0.06396	0.0676						
			−0.3378						
		0.01	0.14	0.03	0.20	0.06	0.12	0.24	0.37
			−0.32		−0.25		−0.14		−0.04
		0.18	0.31	0.18	0.21	0.19	0.22	0.22	0.29
			0.10		0.13		0.13		0.13
	西	0.17012	0.2104						
			0.1193						
		0.05	0.17	0.06	0.25	0.03	0.14	0.30	0.47
			−0.25		−0.28		−0.28		−0.04
		0.18	0.43	0.16	0.17	0.17	0.19	0.27	0.41
			0.00		0.14		0.13		0.14
	西北西	0.25794	0.4105						
			0.1518						
		0.10	0.24	0.03	0.21	0.00	0.17	0.26	0.39
			−0.10		−0.32		−0.38		−0.04
		0.20	0.62	0.15	0.18	0.18	0.21	0.36	0.61
			−0.10		0.10		0.13		0.15
	北西	0.263	0.4477						
			0.1658						
		0.09	0.23	−0.02	0.16	−0.03	0.15	0.18	0.33
			−0.05		−0.32		−0.41		−0.06
		0.16	0.58	0.12	0.17	0.19	0.25	0.35	0.57
			−0.08		0.09		0.08		0.16
	北北西	0.2631	0.3058						
			0.2332						
		0.06	0.11	0.00	0.12	0.00	0.11	0.07	0.12
			−0.03		−0.20		−0.20		−0.07
		0.11	0.25	0.11	0.16	0.18	0.26	0.17	0.24
			0.03		0.09		0.06		0.10

風向	面
	上段：棟換気口のある面
	中段：屋根面
	下段：壁面

各面・各風向に対して棟換気口のある面（北側面のみ），屋根面，壁面の風圧係数を上記のように記載。

平均値	最大値
	最小値

それぞれの面においては上記の様に平均値，最大値，最小値を記載

高層集合住宅　風圧係数一覧表

風の吹いてくる方向	面のある方向	北面		東面		南面		西面		屋根面	
	北	0.69	0.94 0.41	−0.80	−0.57 −0.91	−0.53	−0.50 −0.57	−0.76	−0.64 −0.86	−0.86	−0.65
		0.57	0.89 0.17	−0.79	−0.71 −0.83	−0.50	−0.41 −0.56	−0.75	−0.67 −0.79		−1.02
		0.40	0.72 0.01	−0.72	−0.51 −0.81	−0.49	−0.44 −0.54	−0.66	−0.52 −0.76		
	北北東	0.64	0.94 0.20	−0.53	−0.18 −1.07	−0.46	−0.41 −0.52	−0.57	−0.53 −0.61	−0.86	−0.49
		0.55	0.89 0.05	−0.62	−0.39 −0.88	−0.46	−0.43 −0.51	−0.57	−0.53 −0.61		−1.56
		0.39	0.68 −0.02	−0.50	−0.32 −0.72	−0.50	−0.47 −0.54	−0.56	−0.52 −0.59		
	北東	0.37	0.87 −0.06	0.33	0.52 0.05	−0.52	−0.42 −0.59	−0.45	−0.43 −0.48	−0.86	−0.39
		0.36	0.74 −0.14	0.19	0.40 −0.12	−0.51	−0.44 −0.60	−0.44	−0.42 −0.48		−2.73
		0.27	0.50 −0.14	0.03	0.14 −0.13	−0.57	−0.52 −0.63	−0.47	−0.45 −0.52		
	東北東	−0.07	0.13 −0.47	0.68	0.89 0.32	−0.66	−0.59 −0.71	−0.30	−0.27 −0.35	−0.65	−0.31
		−0.03	0.13 −0.29	0.56	0.82 0.18	−0.63	−0.48 −0.71	−0.33	−0.30 −0.37		−1.39
		0.03	0.20 −0.17	0.25	0.39 0.06	−0.61	−0.38 −0.76	−0.32	−0.28 −0.38		
	東	−0.51	−0.19 −0.97	0.77	0.97 0.58	−0.52	−0.19 −0.98	−0.21	−0.20 −0.23	−0.55	−0.15
		−0.48	−0.16 −0.82	0.64	0.92 0.31	−0.48	−0.16 −0.85	−0.20	−0.17 −0.22		−1.19
		−0.34	−0.09 −0.80	0.30	0.47 0.03	−0.34	−0.10 −0.81	−0.17	−0.12 −0.19		
	東南東	−0.66	−0.59 −0.71	0.68	0.89 0.32	−0.07	0.13 −0.47	−0.30	−0.27 −0.35	−0.65	−0.31
		−0.63	−0.48 −0.71	0.56	0.82 0.18	−0.03	0.13 −0.29	−0.33	−0.30 −0.37		−1.39
		−0.61	−0.38 −0.76	0.25	0.39 0.06	0.03	0.20 −0.17	−0.32	−0.28 −0.38		
	南東	−0.52	−0.42 −0.59	0.33	0.52 0.05	0.37	0.87 −0.06	−0.45	−0.43 −0.48	−0.86	−0.39
		−0.51	−0.44 −0.60	0.19	0.40 −0.12	0.36	0.74 −0.14	−0.44	−0.42 −0.48		−2.73
		−0.57	−0.52 −0.63	0.03	0.14 −0.13	0.27	0.50 −0.14	−0.47	−0.45 −0.52		
	南南東	−0.46	−0.41 −0.52	−0.53	−0.18 −1.07	0.64	0.94 0.20	−0.57	−0.53 −0.61	−0.86	−0.49
		−0.46	−0.43 −0.51	−0.62	−0.39 −0.88	0.55	0.89 0.05	−0.57	−0.53 −0.61		−1.56
		−0.50	−0.47 −0.54	−0.50	−0.32 −0.72	0.39	0.68 −0.02	−0.56	−0.52 −0.59		
	南	−0.53	−0.50 −0.57	−0.80	−0.57 −0.91	0.69	0.94 0.41	−0.76	−0.64 −0.86	−0.86	−0.65
		−0.50	−0.41 −0.56	−0.79	−0.71 −0.83	0.57	0.89 0.17	−0.75	−0.67 −0.79		−1.02
		−0.49	−0.44 −0.54	−0.72	−0.51 −0.81	0.40	0.72 0.01	−0.66	−0.52 −0.76		
	南南西	−0.46	−0.41 −0.52	−0.57	−0.53 −0.61	0.64	0.94 0.20	−0.53	−0.18 −1.07	−0.86	−0.49
		−0.46	−0.43 −0.51	−0.57	−0.53 −0.61	0.55	0.89 0.05	−0.62	−0.39 −0.88		−1.56
		−0.50	−0.47 −0.54	−0.56	−0.52 −0.59	0.39	0.68 −0.02	−0.50	−0.32 −0.72		
	南西	−0.52	−0.42 −0.59	−0.45	−0.43 −0.48	0.37	0.87 −0.06	0.33	0.52 0.05	−0.86	−0.39
		−0.51	−0.44 −0.60	−0.44	−0.42 −0.48	0.36	0.74 −0.14	0.19	0.40 −0.12		−2.73
		−0.57	−0.52 −0.63	−0.47	−0.45 −0.52	0.27	0.50 −0.14	0.03	0.14 −0.13		
	西南西	−0.66	−0.59 −0.71	−0.30	−0.27 −0.35	−0.07	0.13 −0.47	0.68	0.89 0.32	−0.65	−0.31
		−0.63	−0.48 −0.71	−0.33	−0.30 −0.37	−0.03	0.13 −0.29	0.56	0.82 0.18		−1.39
		−0.61	−0.38 −0.76	−0.32	−0.28 −0.38	0.03	0.20 −0.17	0.25	0.39 0.06		
	西	−0.51	−0.19 −0.97	−0.21	−0.20 −0.23	−0.52	−0.19 −0.98	0.77	0.97 0.58	−0.55	−0.15
		−0.48	−0.16 −0.82	−0.20	−0.17 −0.22	−0.48	−0.16 −0.85	0.64	0.92 0.31		−1.19
		−0.34	−0.09 −0.80	−0.17	−0.12 −0.19	−0.34	−0.10 −0.81	0.30	0.47 0.03		
	西北西	−0.07	0.13 −0.47	−0.30	−0.27 −0.35	−0.66	−0.59 −0.71	0.68	0.89 0.32	−0.65	−0.31
		−0.03	0.13 −0.29	−0.33	−0.30 −0.37	−0.63	−0.48 −0.71	0.56	0.82 0.18		−1.39
		0.03	0.20 −0.17	−0.32	−0.28 −0.38	−0.61	−0.38 −0.76	0.25	0.39 0.06		
	北西	0.37	0.87 −0.06	−0.45	−0.43 −0.48	−0.52	−0.42 −0.59	0.33	0.52 0.05	−0.86	−0.39
		0.36	0.74 −0.14	−0.44	−0.42 −0.48	−0.51	−0.44 −0.60	0.19	0.40 −0.12		−2.73
		0.27	0.50 −0.14	−0.47	−0.45 −0.52	−0.57	−0.52 −0.63	0.03	0.14 −0.13		
	北北西	0.64	0.94 0.20	−0.57	−0.53 −0.61	−0.46	−0.41 −0.52	−0.53	−0.18 −1.07	−0.86	−0.49
		0.55	0.89 0.05	−0.57	−0.53 −0.61	−0.46	−0.43 −0.51	−0.62	−0.39 −0.88		−1.56
		0.39	0.68 −0.02	−0.56	−0.52 −0.59	−0.50	−0.47 −0.54	−0.50	−0.32 −0.72		

風向	面
	上段：壁面上段部分
	中段：壁面中段部分
	下段：壁面下段部分

各面・各風向に対して建物壁面の上段・中段・下段部分の風圧係数を上記のように記載。但し，屋根面は分割なし。

平均値	最大値 最小値

それぞれの面においては上記の様に平均値，最大値，最小値を記載

第5章 昼光利用・照明システム（Ａ５）

5.1 研究開発の目的と内容

自立循環型住宅において、光環境に関する省エネルギーの実現は、自然エネルギーである昼光の利用と人工照明の効率化の両側面から、人工照明による消費エネルギーを削減することによってなされる。

上記のことは、可能な限り資源とエネルギーに依存しないという「自立循環」の主旨から最初に考えるべき要件といえるが、光環境を扱う場合には、窓からの開放感、雰囲気の良い照明など、見た目に大きく関わる質的な側面を無視することはできない。さらに、住宅においては、さまざまな居住者の生活スタイルも大きく関係する。したがって、自立循環型住宅における光環境、すなわち昼光利用及び照明に関する技術は、「省エネルギー」を基本に据えながらも快適性に結びつく視覚的な「質」を、居住者の生活スタイルを踏まえて実現する「調和技術」であるといえる(図 5.1.1)。

この「調和」を図るためには、手当たり次第に技術の検討をしていては上手くいかない。そこで、本研究開発にあたっては、以下のような研究理念を立て実施することとした。

『まず、「昼光」および「人工照明」によって必要十分な光を確保できるようにし、次いで、その光の空間的配置・経路(コントロールの仕方)を考えることで、量としての省エネルギーと質としての多様な要求に基づく見た目への対応をはかることができる』

この理念を自立循環型住宅技術として具現化することを目的とし、以下の内容について研究開発を行うこととした。

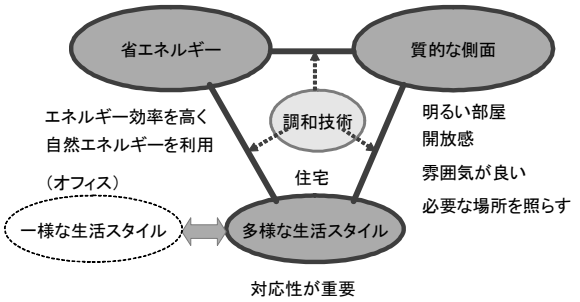


図 5.1.1調和技術としての昼光利用・照明

1. 昼光利用・照明システムの全体像と設計フロー
   自立循環型住宅の昼光利用・照明システムの全体像と設計フローを示し、要素技術を有機的に関連づける(5.2)。
2. 昼光利用技術の開発
   自立循環型住宅の昼光利用技術として、光の確保としての採光手法と光の経路としての導光手法を開発する(5.3)。
3. 人工照明技術の開発
   自立循環型住宅の人工照明技術として、省エネルギーと質を両立する多灯分散照明手法、居住者の点灯行動を踏まえた併用照明手法、天気連動型照明制御手法を開発する(5.4)。
4. 省エネルギー効果の算定
   自立循環型住宅の昼光利用・照明技術を勘案した消費エネルギー削減効果の算定をケーススタディとして行う(5.5)。
5. 設計に役立つ予測ツールとデータ整備
   自然エネルギーを活用する自立循環型住宅に欠かせない昼光環境を予測するソフトウェアの開発と、予測に際して必要な物性反射率データの取得を行う(5.6)。　　(三木保弘)

5.2 昼光利用・照明システムの全体像と設計フロー

ここでは、個別技術の検討の前に、それぞれの技術開発内容と住空間の関係を図示した全体像(5.2.1)と、各要素技術が実際に住宅の照明設計に取り入れられると仮定した場合の設計の流れ(5.2.2)を示す。これらによって、次節以降の各個別技術を相互関係の中で明確に位置付けることができる。

5.2.1 昼光利用・照明システムの全体像

本研究開発の内容を個別に検討する前に全体像を図示することで各技術の位置づけが明確となる。図 5.2.1は本研究開発である昼光利用・照明システムの全体像を断面図として描いたものである。

図の左部分は昼光利用技術である。まず、周辺建物や季節・時刻との関係を考慮して採光をどのように行うか、開口部の基本的形状などを主体に、採光可能性を高めた上で日照調整を如何にして行うか、という視点で検討している(5.3.1)。次いで、取り入れた光を最大限有効活用するための導光について検討している。なるべく装置にたよらずに、室内の反射など建築的な特性を最大限生かすことを念頭に置いている(5.3.2)。気象条件に影響される動的な昼光環境については、その光環境を正確に予測するためのツールが不可欠であり、そのための技術開発も行っている(5.6.1)。また、精度の高い予測には反射特性のデータが不可欠であり、これについても合わせて検討している(5.6.2)。

図の右部分は照明システムの技術である。省エネルギー性と生活行為への対応など照明の質を両立する為の高効率ランプによる多灯分散照明の検討をしている(5.4.1)。また昼光利用との関係で照明器具の点灯を自動・手動により制御する手法などを検討している(5.4.2、5.4.3)。

加えて、以上の昼光利用と照明システムの技術全体を勘案してエネルギー消費量(省エネ効果)の予測を行っている(5.5)。 (三木保弘)

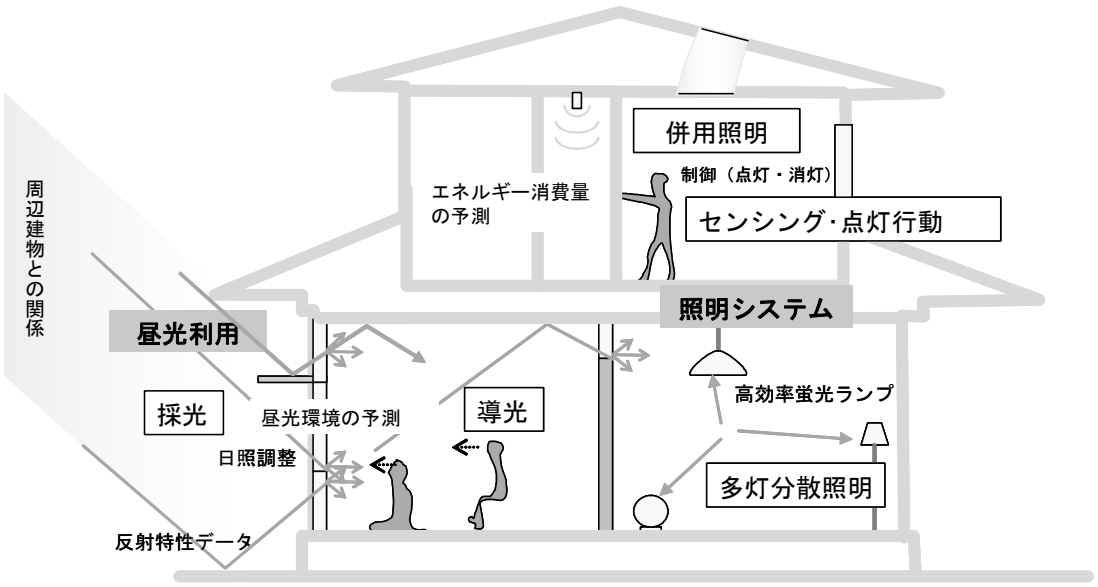


図 5.2.1 昼光利用・照明システムの全体像

5.2.2 昼光利用・照明システムの設計フロー

本研究開発では、実務(設計)に直結する要素技術の開発を目的としている。従って、各個別技術と照明設計におけるプロセスとの関連を示す照明設計フローを作成した(図 5.2.2)。

照明設計には、昼光利用の検討と人工照明の設計という大きな二つのフローがある。昼光利用においては、開口部の形状や室内の仕様といった建築的な手法が検討され、人工照明においては、照明器具の選択・配置及び照明制御システムの仕様決定といった設計が行われる。

以下、このフローに沿って、設計の流れの中における各個別技術の位置づけを説明していく。

1) 昼光利用の検討

建築設計において、部屋の用途や大きさなどが決まると、昼光利用の建築的手法の検討が始まる。具体的には、開口部の形状や日照調整装置の仕様及び室内の仕様といったことである。このプロセスにおいては、それらの省エネ性能や光環境の質の性能が明確になった資料が必要であり、採光手法(5.3.1)と導光手法(5.3.2)の研究は有用な資料となる。

また、それらの要素技術を建築に用いた場合の室内における昼光の分布の把握が採用決定の判断において重要となるが、本研究において開発されたソフトウェア(LVECS)にて昼光分布のシミュレーションが可能になった(5.6.1)。このソフトウェアは、将来的には昼光及び人工照明の双方における明るさの分布やグレア評価といった光環境の総合的な評価ソフトとしての機能を持つことが期待されている。光環境を検討する上で重要な建材の反射特性データベースの構築も、より正確なシミュレーションの一助となる(5.6.2)。

2) 人工照明の設計

建築設計において部屋の用途が決まると、JISの基準照度に基づいて、目安となる照度が決定される。そしてその照度を踏まえて、人工照明の仕様が検討されることになる。

基準照度を満足するだけであれば、複数の設計プランが考えられるが、その部屋で行われる行為に適した光環境や省エネルギー及び経済性を考慮すると、最終的には最適な設計プランが導き出される。その際に、各設計プランがどのような省エネ性能及び光環境の質の性能を持っているかを比較・検討できる資料が必要となる。

そこで、高効率ランプによる多灯分散照明手法を用いた場合の省エネ性能及び光環境の質の性能に対する研究 (5.4.1)、及び居住者の照明点灯行動を加味した、より効果の高い併用手法の研究は有用な参考資料となる(5.4.2)。

また、本研究にて開発された天気応答型昼光照明制御システムは、将来的に重要と考えられる昼光と人工照明の連動制御であり、最新の照明制御技術として本格的な実用化が期待される (5.4.3)。

3) 省エネ効果の総合的検討

昼光利用の建築的手法と人工照明仕様は、相互の効果を連動させ、フィードバックしながら検討されることが理想であるが、それらの総合的な省エネ効果検証が必要となる。年間における省エネ効果検証手法の研究によって精度の高い省エネ効果の算定が可能になった(5.5)。

この年間運用省エネ効果検証によって良好と判断されれば、最終仕様決定となり、照明設計は終了する。

（松下　進）

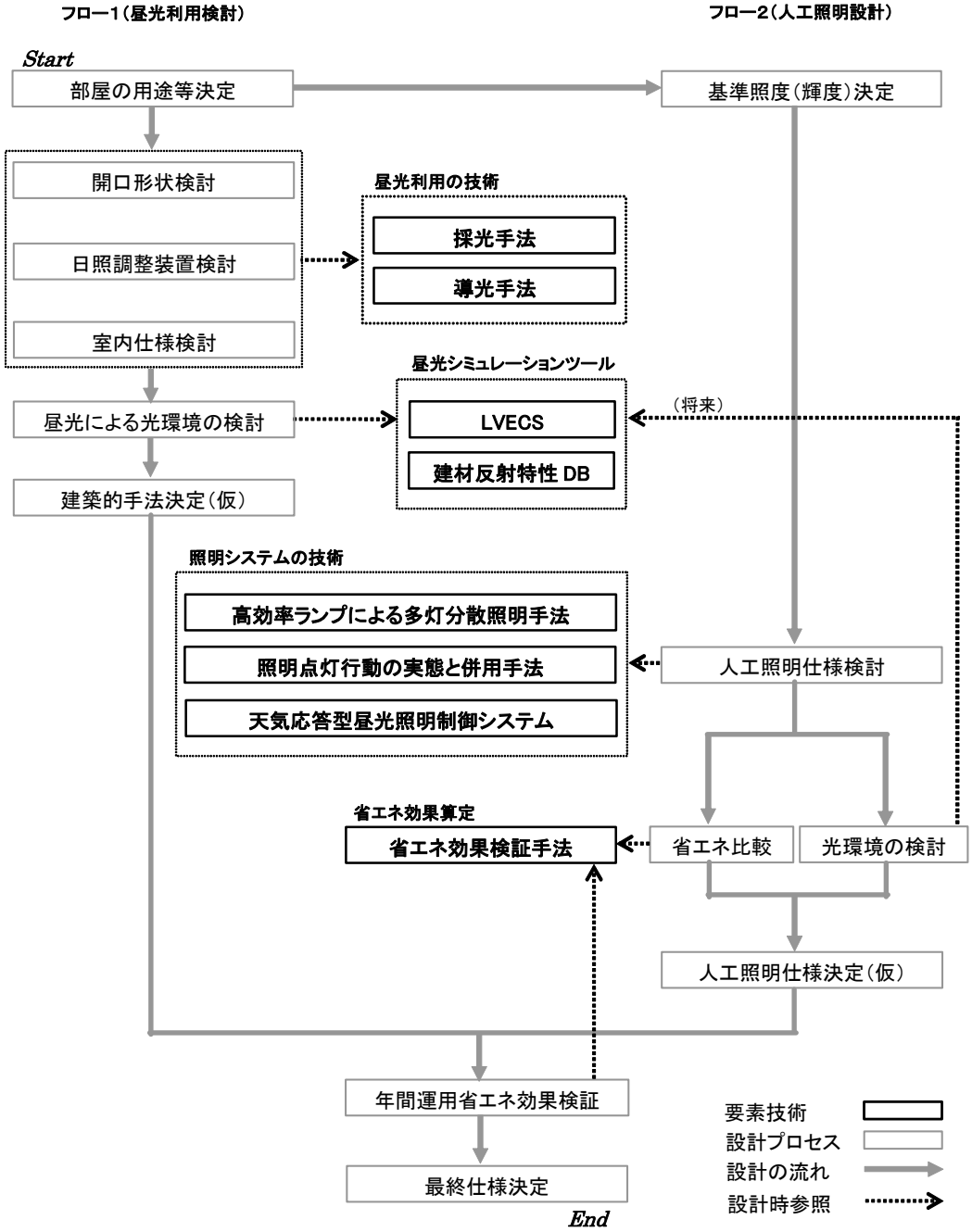


図 5.2.2　昼光利用・照明システムの設計フロー

5.3 昼光利用の技術

自立循環型住宅における昼光利用技術の主たる目的は、昼間の明るさを室内に取りいれることで人工照明による無駄な点灯を少なくし、人工照明エネルギー負荷を減らすことにある。さらに、昼光利用には、人工照明にはない天候の変化による時間的な光の「ゆらぎ」や、空間的な明暗の差である光の「むら」が存在し、これらを上手に利用することで、光環境の質も高めることができる。本節で検討する昼光利用技術は、建物周辺状況という前提を踏まえた上で、忘れがちな建築躯体の特徴を十分に生かした技術、すなわち光の経路をつくり、使い切ることを念頭に置いた手法である。具体的には、開口部からの光を取りいれる「採光手法」と取りいれた光を室奥へ導く為の「導光手法」とに大きく分け、現段階に於ける技術的活用可能性が高いものを検討している。以下では、採光手法、導光手法ともに、「基本的検討」→「応用事例の検討」という流れで記述している。基本的検討を含めているのは、上述の「建築躯体の特徴を十分に生かした技術」の為には応用事例と併せて基本的な観点で系統的検討を行うことも肝要であると判断した事による。

5.3.1 採光手法

1) 採光手法の基本－系統的シミュレーションによる検討

(1) 目的

採光手法は、建築外皮を通じて昼間の明るさを取りいれる。従って、立地条件、すなわち周辺建物の影響、季節・時刻といった太陽位置に関する条件など複雑な要因を考慮する必要がある。従来の昼光利用研究では、昼光環境の再現の困難さから、ケーススタディ的検討が主流であり、系統的な検討結果は非常に少ない。そこで、まず建物立地条件による採光手法を考える前提条件の検討、次いでその立地に最も深く関連する開口位置・形状の検討、そして開口部周りの光を調整する日照調整装置の検討を行う。これらの基本的検討は、上述のように様々なケースに対応できることを念頭に置いて系統的に行われるべきであり、ここでは、作業面切断法を用いた昼光照度分布計算ソフトウェア『Daylighitng』と、晴天を含む屋外光環境をコントール可能な人工空を用いた模型による光環境シミュレーションによって検討した。シミュレーション条件は、原則として、季節は春分・夏至・秋分・冬至、時刻は 9 時・12 時・15 時、天空は晴天・曇天としている。以下では、系統的な観点を考慮しつつ傾向が顕著に現れているものを示す。

(2) 採光に関する立地条件の検討

まず、周辺建物の影響によって、採光手法の利用可能性は大きく異なるため、昼光照度分布計算ソフトウェア『Daylighting』を用いて、隣棟間隔が近い(3m)場合とやや遠い(6m)場合についてシミュレーションを行った。

図 5.3.1 より、全体の傾向として隣棟間隔 3 m の場合に比べ 6m の方が明るくなっていることがわかる。9m の場合については掲載していないが、6m と殆ど同じ程度の明るさとなっていることから、隣棟間隔を 6m 程度確保することで必要十分な明るさが確保できるといえる。対象室が東寄りであるので、3m の場合の夕方近く(15 時)では朝(9 時)とは違い、明るさが得られていない。一方、6m の場合は、住宅内の居室の位置の違いが関係ない程度に午前中と同じ

く明るくなっていることがわかる。

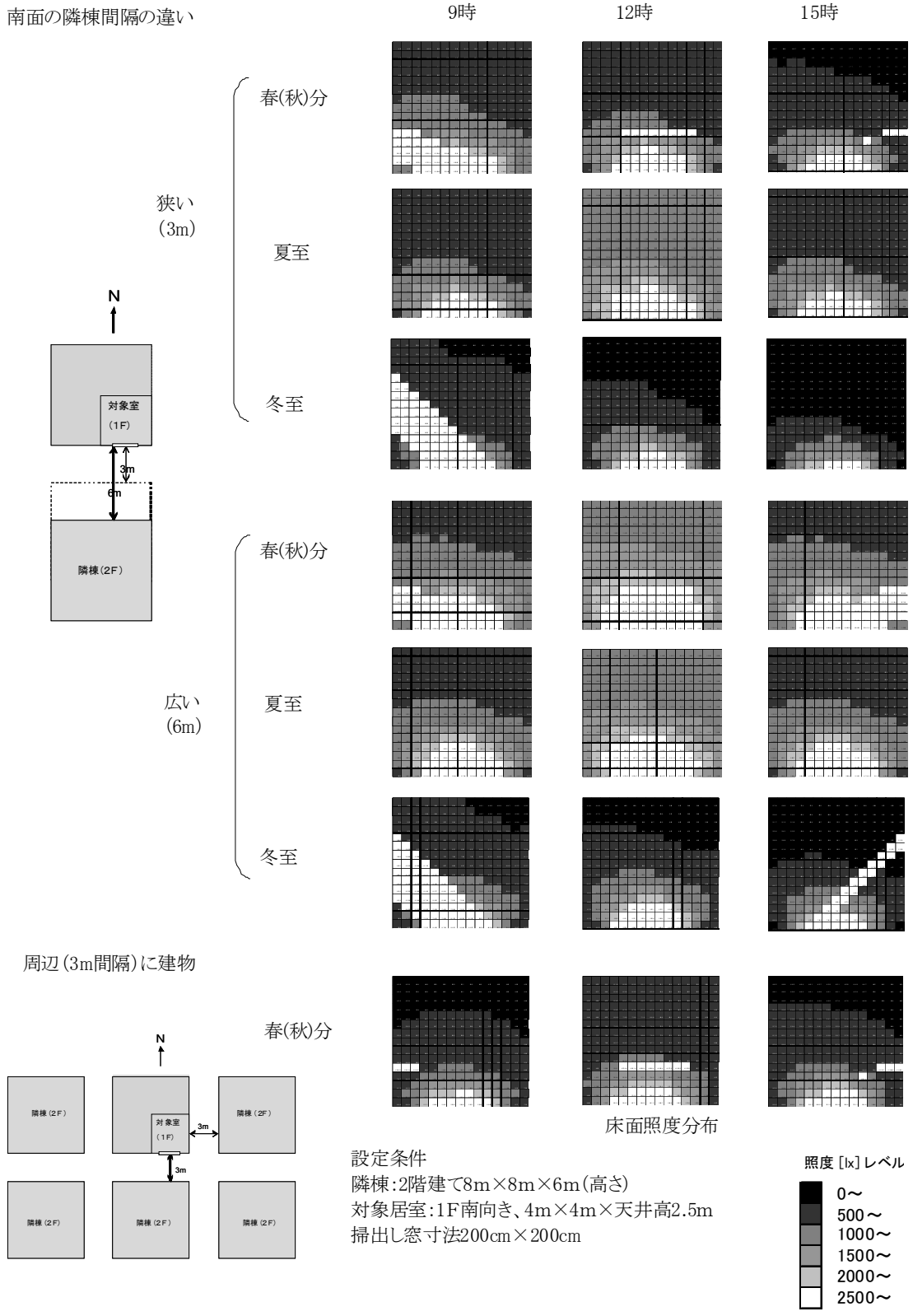


図 5.3.1 立地条件による光環境の違い

(3) 側窓の面数・形状・位置の検討

周辺状況を踏まえた上で、窓の面数・形状・位置を変化させることで、より効率的な採光が可能となる。ここでは、側窓に関する諸条件が光環境に及ぼす影響にもとづく採光可能性を検討する。

a ＜窓の面数＞（図 5.3.2）

窓が１面(南向き)の場合は、直射日光が当たっている部分及びそのごく近傍以外はかなり暗くなる。窓が 2 面(南・北向き、南・東向き)の場合は、空間的に明暗の偏りはあるものの、部屋の隅角部分を除き全般的に明るくなっている。窓が３面(南・東・西向き)の場合は、2 面ではかなり明るい部分の位置に偏りがあった点が解消され、部屋の中央から全般的に明るくなっている。隅角部分についてのみ、やや暗くなるが、2 面の場合の隅角に比べると格段に明るい。

以上を要約すると、2 面採光では明るさ分布に偏りはあるものの 1 面採光に比べ全般的に明るくすることができ、3 面採光では、明るさ分布の偏りが解消されるとともに、全般の明るさも更に向上することがわかる。

b ＜窓の形状＞（図 5.3.3）

同じ面積の窓が横長の場合と縦長の場合(それぞれ窓中心が壁面中心となるように設置)を比較すると、縦長の窓の方が部屋の中央付近まで明るくなっており、より室奥まで光が届いていることがわかる。これは、縦長の窓の方が高い位置からの採光が可能であることによると考えられる。

掃き出し窓1面と、半分の面積の掃き出し窓 2 面に縦に分割した場合とを比較すると、窓高は同じであるにもかかわらず、分割しない場合の方がより室奥まで光が届いていることがわかる。これは上述の横長と縦長の違いの場合における高さの効果と異なり、集中による効果といえよう。

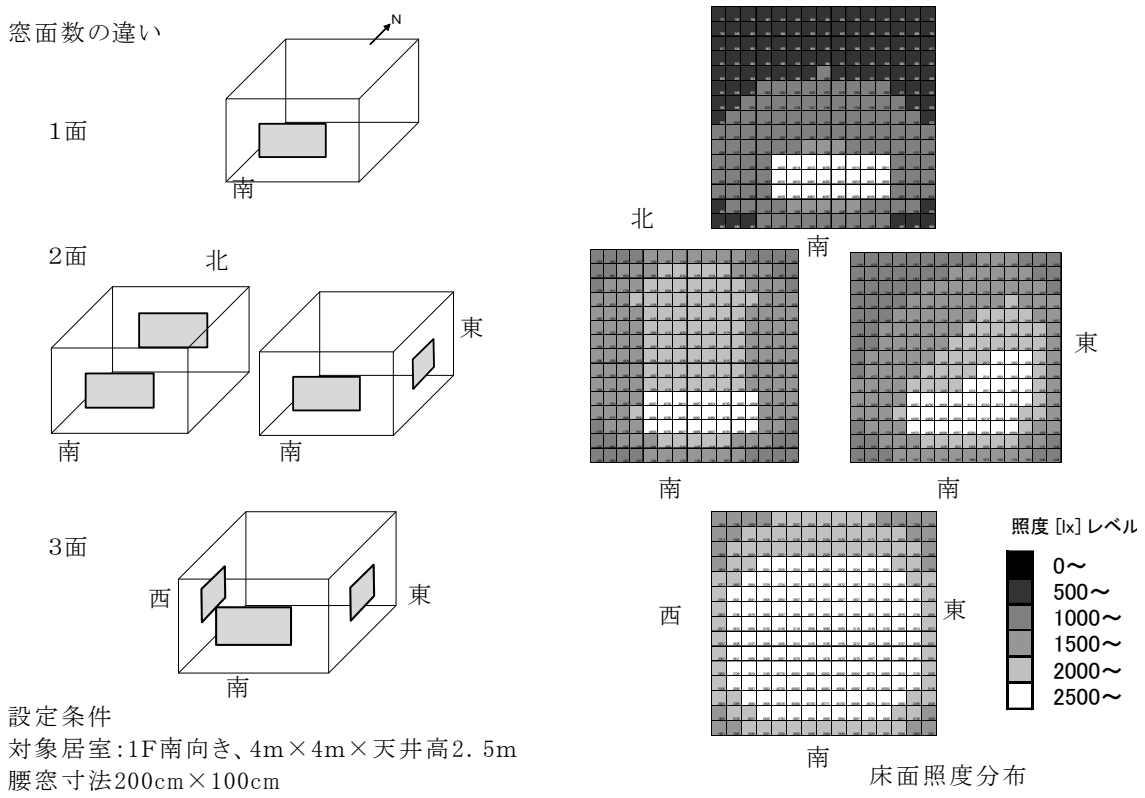


図 5.3.2 窓面数による光環境の違い

c ＜窓の位置＞（図 5.3.3）

同じ形状の窓で高さが異なる場合を比較すると、高い場合（高窓）の場合の方がより室奥まで光が届いていることがわかる。一方、窓の位置が低い場合は、窓周辺のみが明るくなり、明暗の分布に偏りはあるが、床面の反射による間接照度が大きくなり、明るい部分から暗い部分への明るさの変化が高窓に比べて緩やかになっていることがわかる。

(4) 側窓・天窓の光環境の検討

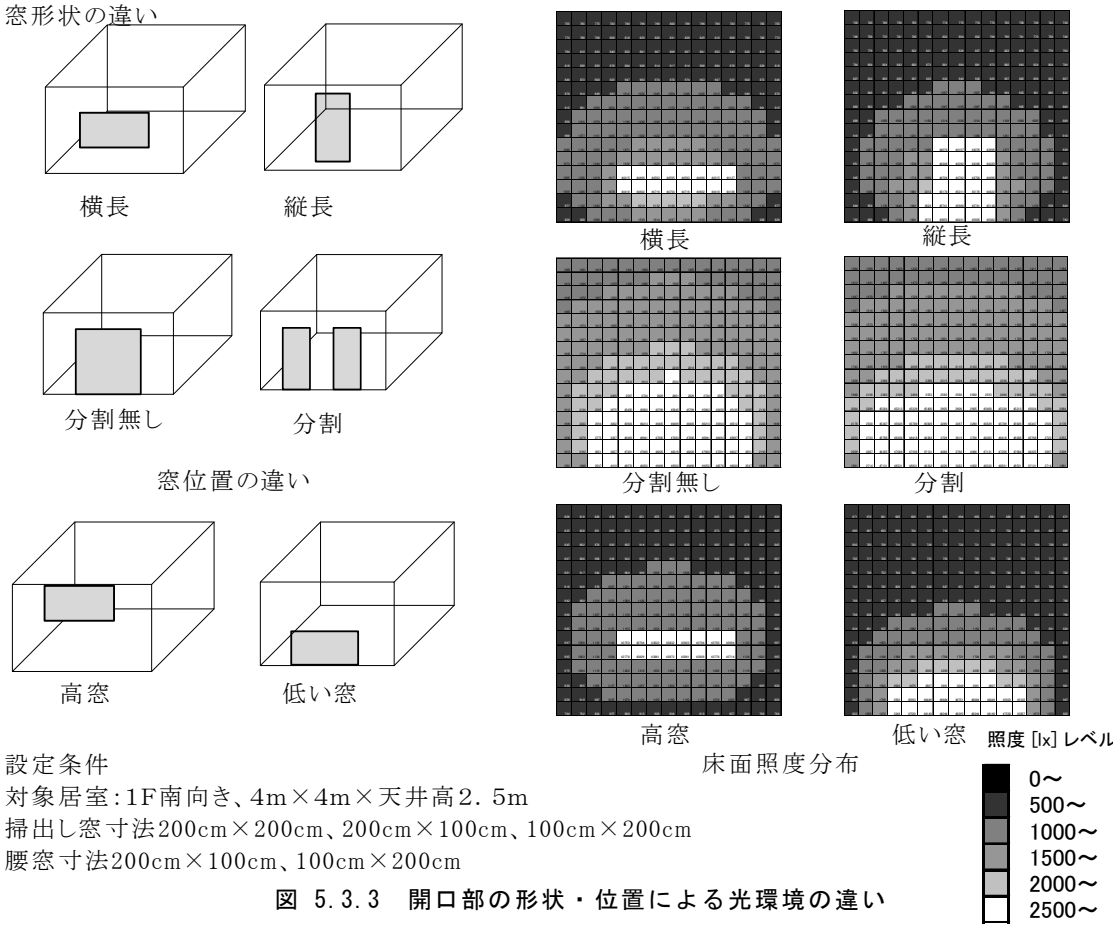
隣棟間隔が狭いなど採光に関する敷地条件が悪い場合、また、北に面した居室に明るさを確保したい場合などは、頂側窓や天窓によって採光を検討することが有効である。ここでは、側窓に対して、更に頂側窓や天窓を加えた場合に明るさの分布にどのような影響があるか検討する。

a ＜頂側窓＞（図 5.3.4）

側窓（腰窓）では室奥部分は光が届かずに暗くなっているが、頂側窓を加えること（腰窓＋頂側窓）で、南壁周辺の明るさはそれほど向上しないものの、室奥部分に光がよく届き、全般的に明るくすることができる。これは、頂側窓からの採光によって室奥の壁で光が反射し、室奥床が明るくなったことによると考えられる。

b ＜天窓＞（図 5.3.4）

天窓による光環境は季節や時刻によって大きく差がある。南に設置された天窓の場合、特に夏期の正午には部屋中心部で 60000 ルクス以上にもなり、過度の明るさとなってしまうため注意が必要で、後述する日照調整装置を考えることが有効である。北に設置された天窓の場合は、天窓単体ではそれほど明るくはならないが、側窓に天窓を加えた場合には室全般を適度に明るくする効果がある。



設定条件
対象居室：1F南向き、4m×4m×天井高2．5m
掃出し窓寸法200cm×200cm、200cm×100cm、100cm×200cm
腰窓寸法200cm×100cm、100cm×200cm

床面照度分布

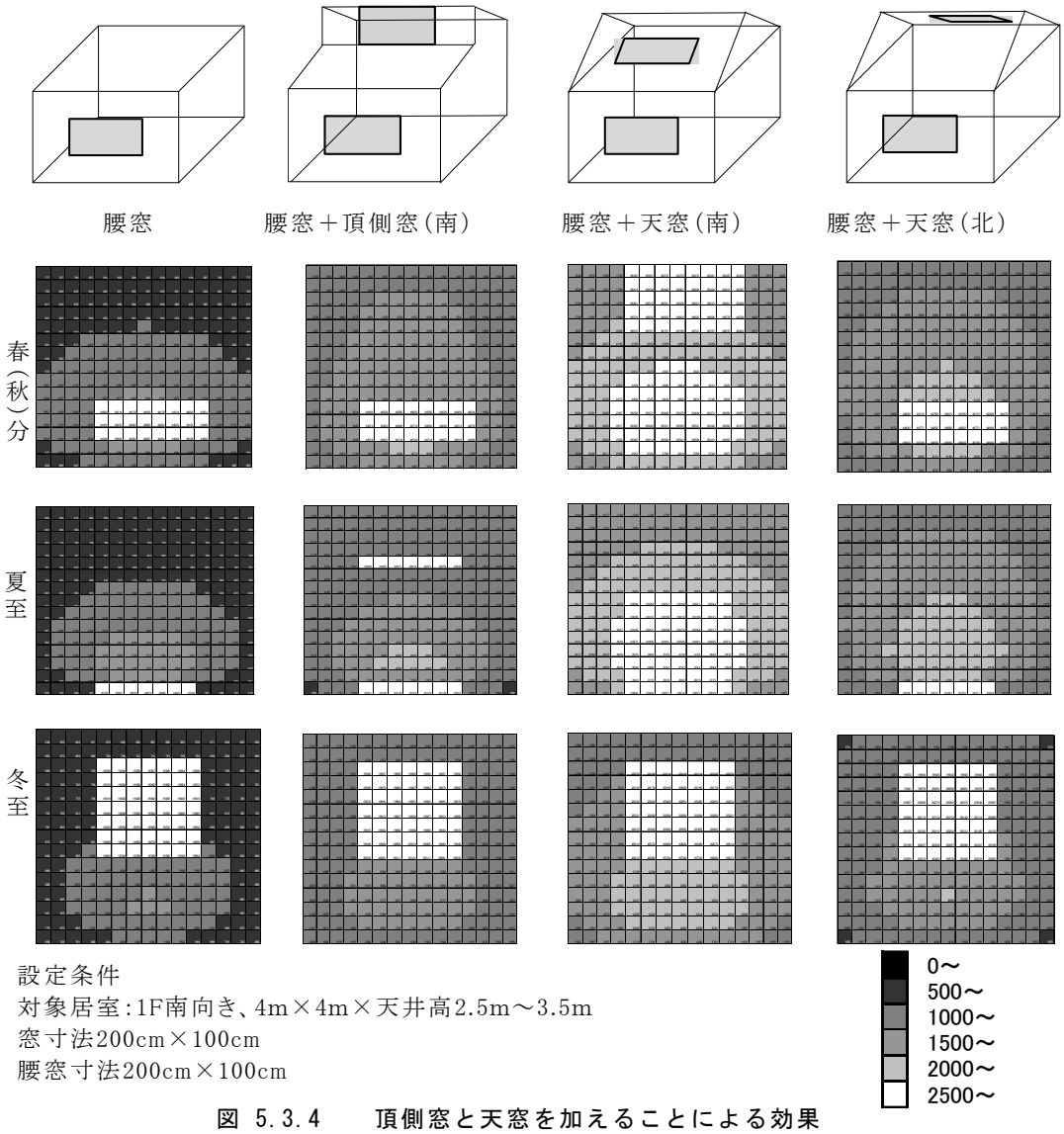
図 5.3.3 開口部の形状・位置による光環境の違い

(5) 日照調整装置の検討

従来の採光技術では、直射日光は遮蔽(カット)するものとして扱われてきた。一般に、直射日光を遮蔽する装置を「日射遮蔽装置」と呼ぶが、光環境という観点では、直射日光をただ遮蔽するのではなく、調整する装置、すなわち「日照調整装置」と呼ぶことができる。つまり、熱環境を考える時は直射日光を遮蔽する「日射遮蔽」を考え、光環境を考える時はうまく直射日光を取りいれて眩しいところだけ遮蔽する「日照調整」を考え、さらにそれらを同時に実現する装置とその使い方を考えることで、光環境と熱環境のバランスをとることができる。

既往の研究における日照調整装置を有する室内光環境の検討は、昼光環境の再現性の難しさからケーススタディ的に行われ、住宅の積極的な昼光利用に対する汎用性のある結果を導くものではなかった。

そこで人工空により系統的に設定された日照条件下における日照調整装置付き室内模型内部の光環境特性について検討する。



設定条件
対象居室:1F南向き、4m×4m×天井高2.5m～3.5m
窓寸法200cm×100cm
腰窓寸法200cm×100cm

図 5.3.4　頂側窓と天窓を加えることによる効果

積水ハウス(株)所有の直射型人工空装置に日照調整装置付き室内模型を設置し、光環境の画像撮影及び床面照度1点の測定を行った。光源と模型の仕様は以下の通り。

・光源設定:窓方位(南・東)、季節(春(秋)分、夏至、冬至)、時刻(9 時・正午)、CIE 標準晴天空＋直射日光)。方位西と 15 時は光環境的に左右対称となるため省いた。
・模型の基本仕様:住宅居室1室(8 畳相当)、室内形状(W×D × H=4000mm × 4000mm × 2500mm)、内装仕上げ(洋室)については、ごく一般的な仕様とし、内装反射率の違いは考慮しない。
・日照調整装置:図 5.3.5 の如く、装置の位置と形態の 2 つの軸で考えられる17通りの装置とし、ルーバーの角度など詳細な仕様は考慮しない。

測定パターンは、日照条件が 12 通り(光源設定参照)、日照調整装置が 17 通りで、全 204 通りの条件となる。

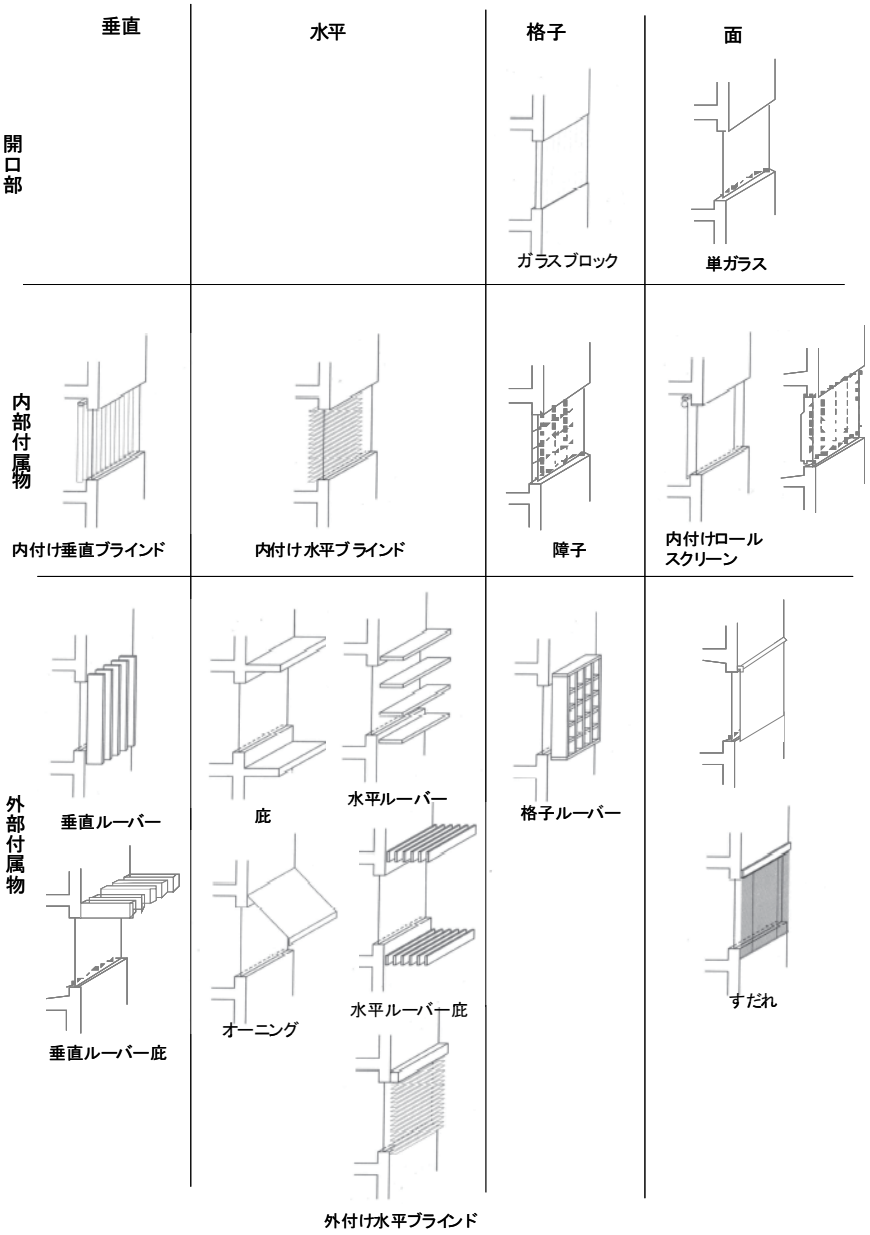


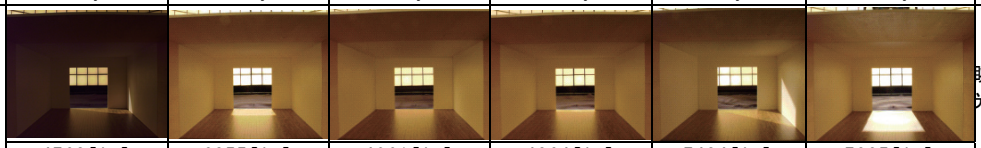
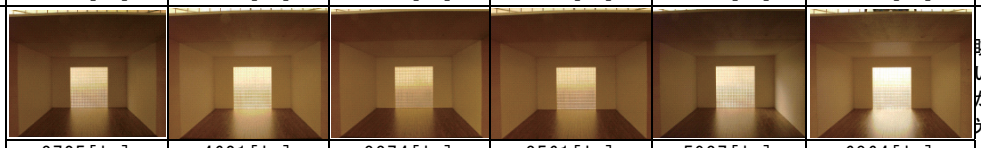
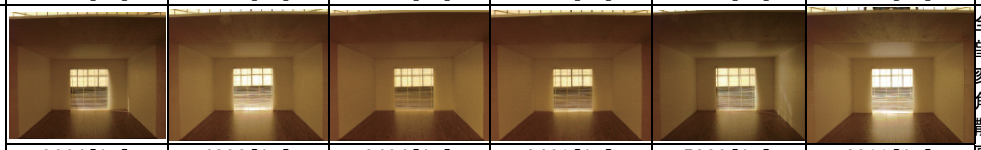
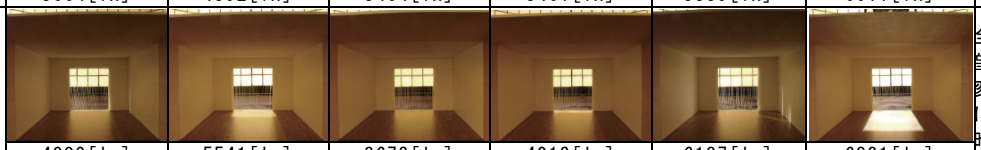
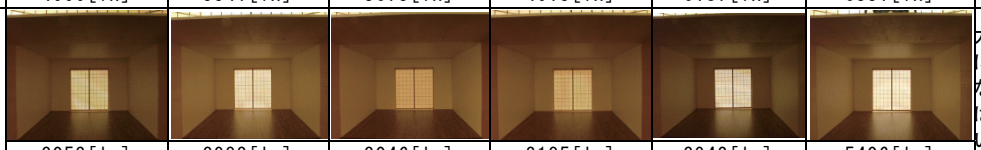
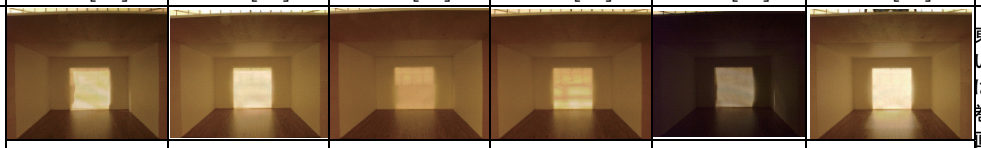
図 5.3.5　日照調整装置の分類

以下、全測定結果のうち、窓方位が南の場合について日照調整装置と光・視環境項目の関係を屋内と屋外に分けて示すこととする(表 5.3.1、表 5.3.2)。日射遮蔽効果を別途考える際に、屋外と屋内で別になっていた方が理解しやすいと考えたからである。人工空を用いている為、見た目の明るさの度合いは現実より暗くなるが、直射光の当たっている箇所と全体の明暗分布は現実を忠実にシミュレートしたものとなっている。表中の照度値は参考値である。模型床面中央付近で直射光が当たらない場所1点で測った照度値に、現実の全天空照度に対する人工空の全天空照度の倍率を掛けた理論値となっている。季節・時刻・方位で異なるが、概ね測定値の 25 倍～50 倍の倍率で理論値となる。

a ＜屋内日照調整装置＞（表 5.3.1）

屋内日照調整装置と光・視環境の関係について特徴的な点を述べる。太陽高度が低い時に適するのが障子・ロールスクリーン・レースカーテンである。眺望が良いのは単ガラス及び調

表 5.3.1　屋内日照調整装置　　※照度[lx]は参考値（理論値）

名称	装置	春(秋)分		夏至		冬至		日照調整装置と光・視環境の関係
		9時	12時	9時	12時	9時	12時	
単ガラス		4763[lx]	6255[lx]	4061[lx]	4264[lx]	7434[lx]	7825[lx]	眺望は最も良い。直射光の拡散性はない。
ガラスブロック		3725[lx]	4621[lx]	3374[lx]	3561[lx]	5937[lx]	6864[lx]	眺望はあまり良くない。直射光の拡散性はかなりある。柔らかい光環境をつくる。
水平ブラインド		3664[lx]	4392[lx]	3404[lx]	3461[lx]	5339[lx]	6011[lx]	全方角に対応可能。眺望は羽の間隔、角度で変わる。直射光は羽の角度によって少し拡散する。調整の効果が高い。
垂直ブラインド		4000[lx]	5541[lx]	3673[lx]	4013[lx]	6187[lx]	6331[lx]	全方角に対応可能。眺望は羽の間隔、角度で変わる。直射光が窓面に対して角度がある時に有効。
障子		3053[lx]	3983[lx]	3046[lx]	3185[lx]	3942[lx]	5406[lx]	太陽高度が低いときに適する。眺望は良くない。直射光の拡散性はかなりある。柔らかい光環境をつくる。
ロールスクリーン		3878[lx]	4647[lx]	3434[lx]	3536[lx]	5388[lx]	6544[lx]	東西面、太陽高度が低いときに適する。眺望はあまり良くないが、巻き上げで調整可能。直射光の拡散性はある。
レースカーテン		4488[lx]	5515[lx]	3882[lx]	3963[lx]	6785[lx]	7398[lx]	太陽高度が低いときに適する。眺望と直射光の拡散性は素材によって異なり、眩しさ抑制と眺望確保の重みが変わる。

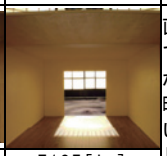
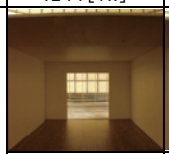
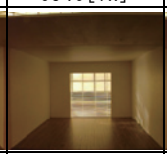
節をしたブラインドや目の粗いレースカーテンである。直射光の拡散性が高いのは、障子・ロールスクリーンで、水平ブラインドは、羽によって天井に光を反射する場合がある。

b ＜屋外日照調整装置＞（表 5.3.2）

屋外日照調整装置と光・視環境の関係について特徴的な点を述べる。太陽高度が高い時に適するのが水平ルーバー・庇であり、低い場合に適するのが簾である。オーニングは高い時と、調節によっては低い場合も対応する。眺望が良いのは庇・オーニングで、簾は眺望は良くないが自然素材の視覚的効果がある。水平ブラインドの特徴は屋内と同じである。

（三木保弘、後藤浩一、岩井彌）

表 5.3.2 屋外日照調整装置 ※照度[lx]は参考値（理論値）

装置名称	春秋分 9時	春秋分 12時	夏至 9時	夏至 12時	冬至 9時	冬至 12時	日照調整装置と光・視環境の関係
垂直ルーバー	 3725[lx]	 5285[lx]	 3613[lx]	 3938[lx]	 5339[lx]	 6118[lx]	直射日光が窓面に対し角度を持って入射する場合に適する。眺望は良い。直射日光の拡散性はあまりない。
垂直ルーバー庇	 4336[lx]	 5489[lx]	 4091[lx]	 4063[lx]	 6636[lx]	 7185[lx]	直射日光が窓面に対して角度を持って入射し、かつ太陽高度が高めの時に適する。眺望は良い。直射光の拡散性は少しある。
庇	 4092[lx]	 4672[lx]	 3792[lx]	 3586[lx]	 6436[lx]	 6580[lx]	窓が南向き、太陽高度が高い時に適する。眺望は良い。太陽高度が低い場合には直射日光が入射しやすい。
オーニング	 3481[lx]	 4009[lx]	 3554[lx]	 3210[lx]	 5139[lx]	 5157[lx]	北面以外に適する。眺望は良い。素材によっては直射光の拡散透過があり、固定の庇に比べ太陽高度の低い場合にも対応可能。
水平ルーバー	 4488[lx]	 5745[lx]	 3792[lx]	 3737[lx]	 6735[lx]	 6722[lx]	南東～南～南西、太陽高度が高い時に適する。眺望は良い方だが羽の間隔によって変わる。直射日光が羽で反射して室内が明るくなる。
水平ルーバー庇	 4244[lx]	 5158[lx]	 3972[lx]	 3938[lx]	 6346[lx]	 6260[lx]	窓が南向き、太陽高度が高い時に適する。眺望は良い。羽角によって、直射光の拡散性がやや変わる。
水平ブラインド	 3817[lx]	 4392[lx]	 3374[lx]	 3461[lx]	 5588[lx]	 5940[lx]	全方角に対応可能。眺望は羽の間隔、角度で変わる。直射光は羽の角度によって少し拡散する。調整の効果が高い。
格子ルーバー	 3511[lx]	 4775[lx]	 3404[lx]	 3411[lx]	 4840[lx]	 6224[lx]	水平ルーバーと垂直ルーバーの特徴を併せ持つ。眺望は、格子の印象によって変わる。
ロールスクリーン	 3756[lx]	 4775[lx]	 3524[lx]	 3486[lx]	 5339[lx]	 6295[lx]	東西面、太陽高度が低いときに適する。眺望はあまり良くないが、巻き上げで調整可能。直射光の拡散性はある
すだれ	 2840[lx]	 3472[lx]	 2926[lx]	 2809[lx]	 3343[lx]	 3877[lx]	東西面、太陽高度が低いときに適する。眺望はあまり良くない。直射光の拡散性はあり、自然素材の視覚的効果が期待できる。

2) 採光手法の応用－高窓の形態と採光量、室温の関係に関する検討

(1) 目的

一般に、高窓や天窓等から採光を行う場合には、屋外の遮蔽物の影響が少なく、多くの光を室内に導入することが可能である。しかし、過大な採光は夏期の冷房負荷の増大を招く。そのため、ブラインドや庇等の日射調整装置により、採光と日射遮蔽のバランスをとることが重要である。

ここでは、窓の内側や室内に日射調整装置がある場合の採光効果を、簡易な実験により検討する。

(2) 方法

高窓の模型を用い、模型内部の照度や温度を測定する。実験は北海道旭川市で行い、昼光を遮るものが極力無い屋外で行う。

模型の概要を、図 5.3.6、図 5.3.7、写真 5.3.1、表 5.3.3 に示す。模型は高窓周辺のみを再現している。模型では直方体の空間の上端に高窓を設置し、高窓と同高さの空間を上部空間、高窓より下の空間を室内として(図 5.3.6 断面 3)、両空間の空気温度を測定する。実験は模型の窓閉鎖(図 5.3.6 中 C の位置に透明プラスチックシートを設置)の場合と、窓開放

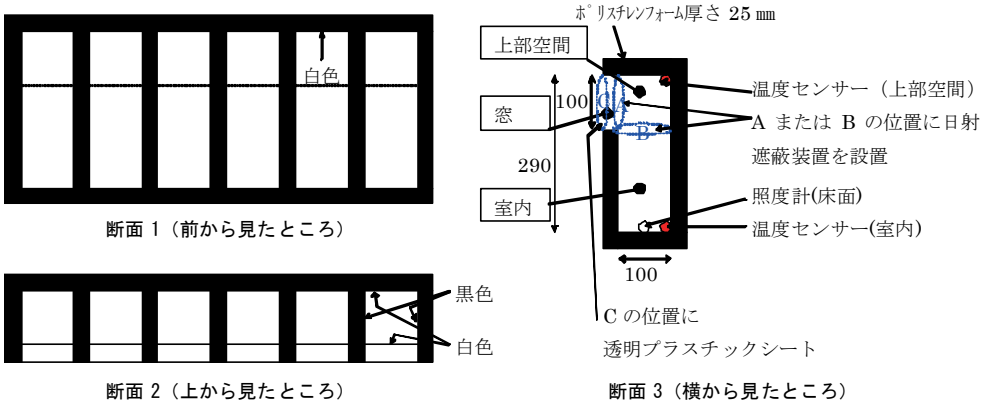


図 5.3.6　模型の断面

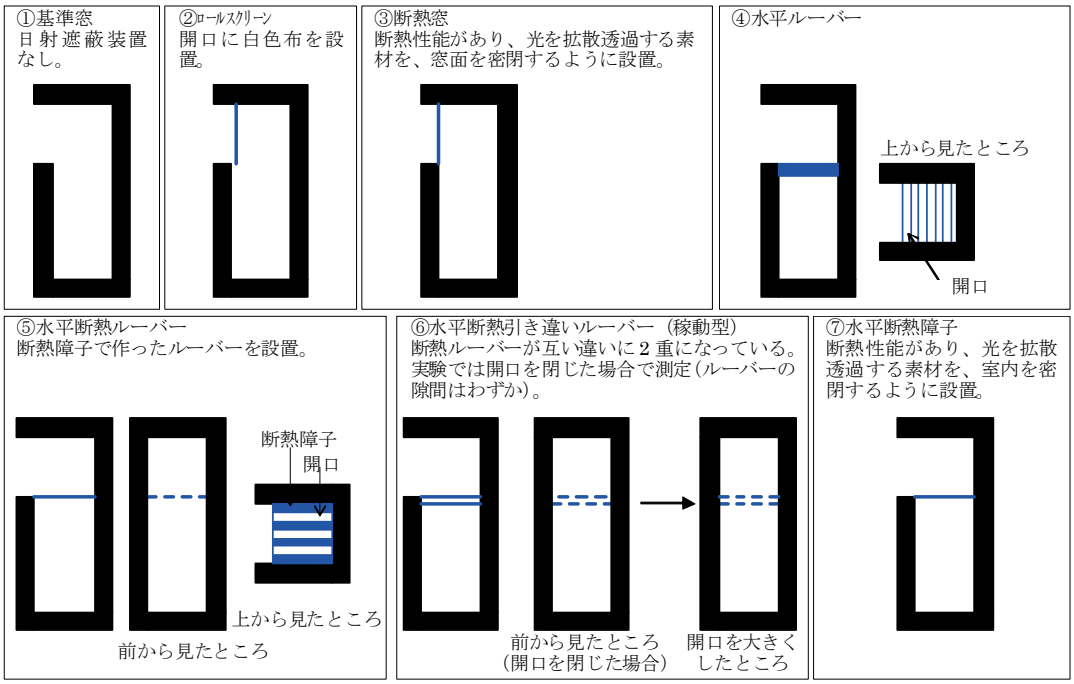


図 5.3.7　模型の日射調整装置



写真 5.3.1 模型

表 5.3.3 模型の部材反射率と透過率

	反射率[%]	透過率[%](*参考値)
模型内壁(白色部分)	83.23	—
模型内壁(黒色部分)	5.28	—
床	12.30	—
ロールスクリーン	67.26	36%
断熱障子	51.36	37%
水平ルーバー	83.23	—
透明プラスチックシート	—	88%

(プラスチックシートなし)の場合について行う。窓開放の場合には模型内と外気の空気交換が自由に行われる。

また、図 5.3.7 に示す②ロールスクリーンの場合には布の上側を除く 3 辺にわずかな隙間がある。⑥水平断熱引き違いルーバーの場合には、室内と上部空間の間にわずかな隙間がある。⑥断熱障子の場合には室内の空気は密閉されており、上部空間との空気の移動は無い。実験は模型の高窓に直射光が入射する晴天時の場合と、曇天時の場合について行う。

(3) 曇天時の実験結果

曇天時の実験は図 5.3.7 の①②④⑤⑥⑦の窓形態で、窓開放の場合について行った。

模型は窓が南向きとなるように設置した。実施日は 2004 年 6 月 5 日で、照度は 13:10～13:15 に測定、温度は 13:25～14:05 に測定した。

図 5.3.8 は模型の室内と上部空間の温度推移を示している。温度の測定では、開始時における全模型の温度を同程度とするために屋内(27℃)で温度を安定させてから、すばやく屋外(19℃)に持ち出して設置した。外気温が室温よりも低く、直達日射も無かったため、屋外設置後の模型内温度は徐々に低下した。

図 5.3.9 は、横軸に模型の床面における昼光率、縦軸に模型を屋外に設置してから 40 分間で低下した温度を示している。図からわかるとおり、外気の室内空間の温度への影響度合いと床面の昼光率は比例しない。

(4) 晴天時の実験結果

晴天時の実験は図 5.3.7 の①②③④⑤⑦の窓形態で、窓閉鎖、窓開放の場合について行った。模型は太陽と正対する方向に設置した。実施日は 2004 年 8 月 6 日で、照度および温度は 14:45～16:00 に、輝度分布は 15:30～15:35 に測定した。

輝度分布測定時の模型の窓付近の鉛直面

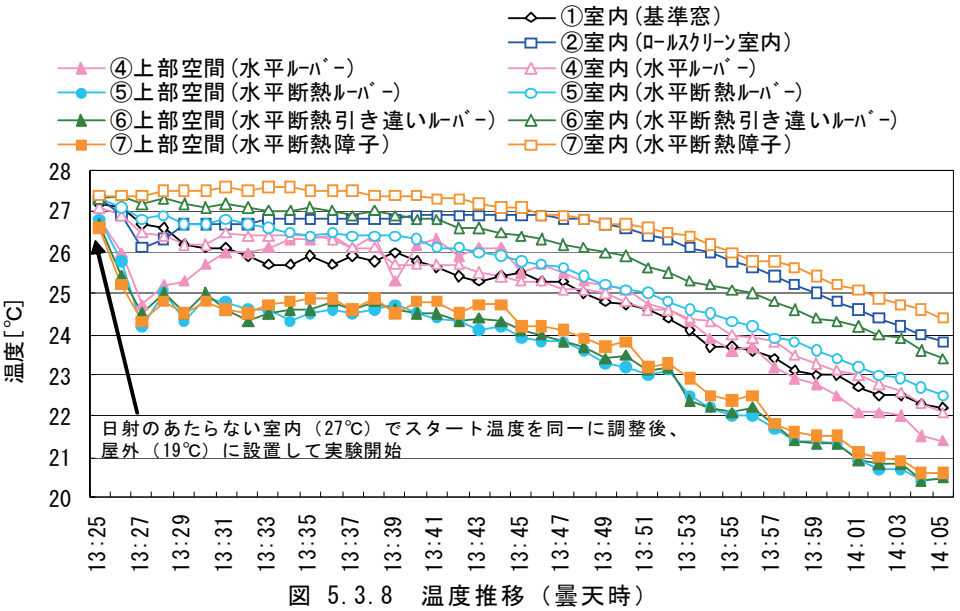


図 5.3.8 温度推移(曇天時)

照度は 97000[lx]程度である。

図 5.3.10 は窓開放の場合の模型内温度推移、図 5.3.11 は窓閉鎖の場合の模型内温度推移を示す。模型は直達日射の当たらない場所で温度を安定させた後、直達日射の当たる屋外にすばやく設置した。そのため、測定開始直後から模型内の温度が上昇した。

図 5.3.12 は横軸に模型窓付近の鉛直面照度に対する模型床面の照度の比率、縦軸に模型を屋外に設置してから 10 分間で上昇した温度を示している。また、図は窓開放、窓閉鎖の両方の場合を示している。図 5.3.13 に模型内の輝度分布を示す。

(5) 考察

図 5.3.9 からわかるとおり、室内上部に水平(図 5.3.6 のBの位置)に日射調整装置がある場合(④⑤⑥⑦)は、上部空間の方が室内よりも温度が低下しており、上部空間に比して室内と外気との空気流動量が少なくなっていることがわかる。

一方、同図から、室内上部に水平に設置され比較的大きな通風穴を持つ装置(⑤⑥)と比べ、②ロールスクリーンでは温度低下量、昼光率ともに小さいことがわかる。

このことから、高窓にロールスクリーンを設置する手法では通風の阻害が明らかで、素材によっては同時に採光性能も低下することがわかる。この手法は多くの住宅で見られるが、通風経路の確保、採光を考慮した素材選択への配慮が必要と言える。

図 5.3.12 からわかるとおり、上部空間と室内を断熱障子により空間的に切り離す手法(⑦)の場合には、採光効果、室温上昇抑制効果ともに高い。また、図 5.3.13 からわかるとおり、天井面付近が比較的明るく感じられる。しかし、高窓を閉じている場合には上部空間の温度が極めて高くなるため、ガラスの熱割れ等が懸念され、上部空間と外気の間で最低限の換気を確保する等の工夫が必要である。また、図 5.3.9 からわかるとおり、④⑤⑥のように室内上部の

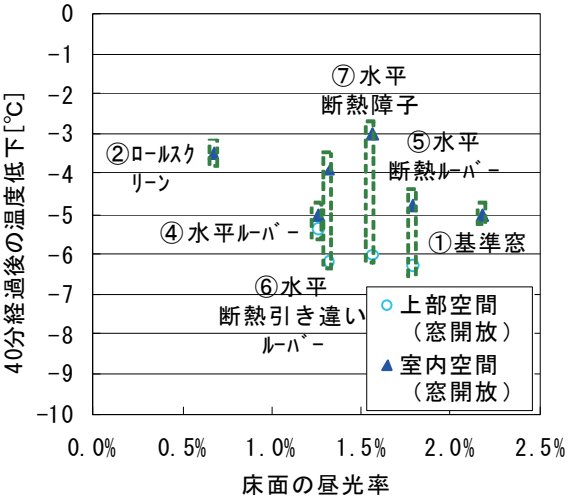


図 5.3.9　温度変化量と昼光率（曇天時）

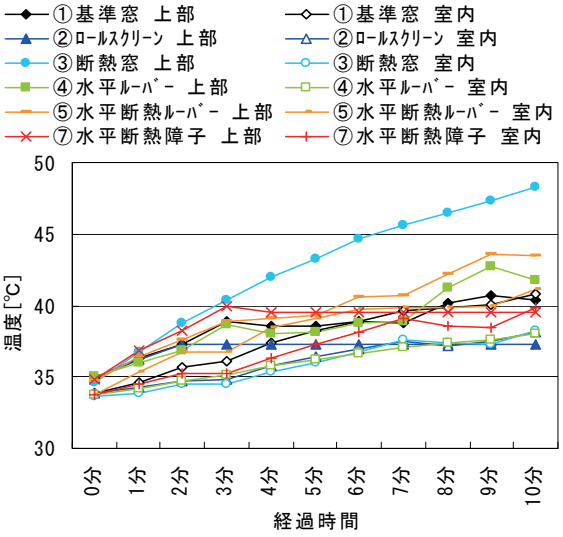


図 5.3.10　温度推移（晴天時・窓開放）

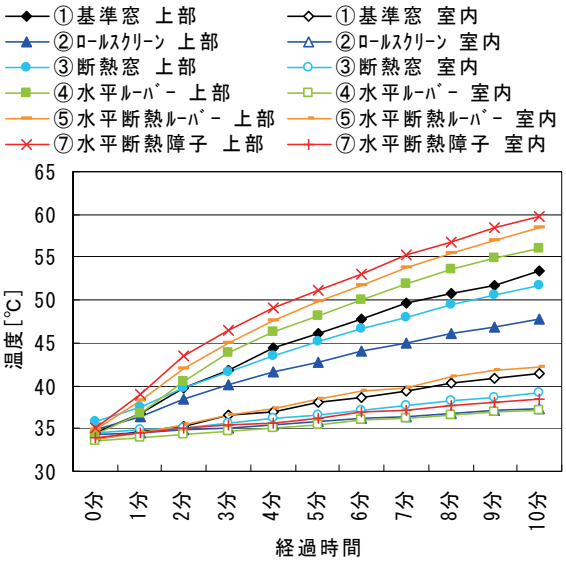


図 5.3.11　温度推移（晴天時・窓閉鎖）

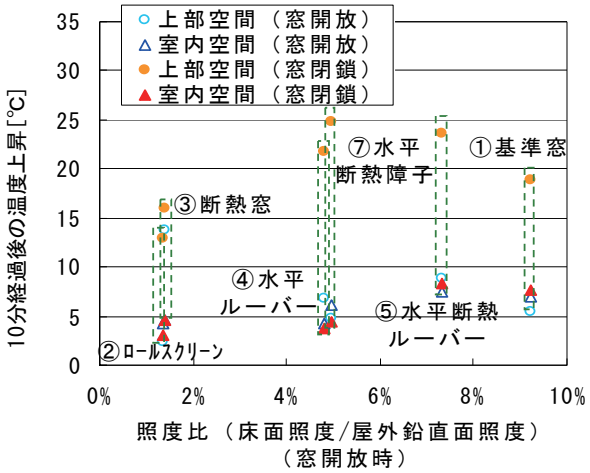


図 5.3.12 温度変化量と照度比（晴天時）

水平位置に設置する通風機能を持つ装置の場合には、採光性能、通風性能を共に高く持つことが可能と考えられる。ただし、図 5.3.12 からわかるとおり、⑤については日射のある場合には室温の上昇が若干大きい。そのため、④のようなルーバーとして室内に直射光が直接入射しない形状とするか、あるいは、⑥のように水平に引き違いで開閉できる機構として、通風を優先させたい場合には開け、日射の強い場合には閉じることが、採光、日射遮蔽、通風のバランス制御を可能にすると考えられる。

図 5.3.12 からわかるとおり、高窓に光を透過する断熱戸を設置した場合には、室温は同素材を水平に設置した⑦と同程度となった。しかし、床面照度は⑦より小さい。また図 5.3.13 の輝度分布図から、室内から見ると天井付近が他の手法と比較して暗く見える。これは、断熱戸を透過した光の多くが高窓の正面の壁面に入射しているためである。断熱戸の使用は、特に寒冷地の暖房負荷低減に有効だが、夏期の日射調整装置として考える場合には、透過した光の配光特性を考慮した素材選択が必要である。（北谷幸恵）

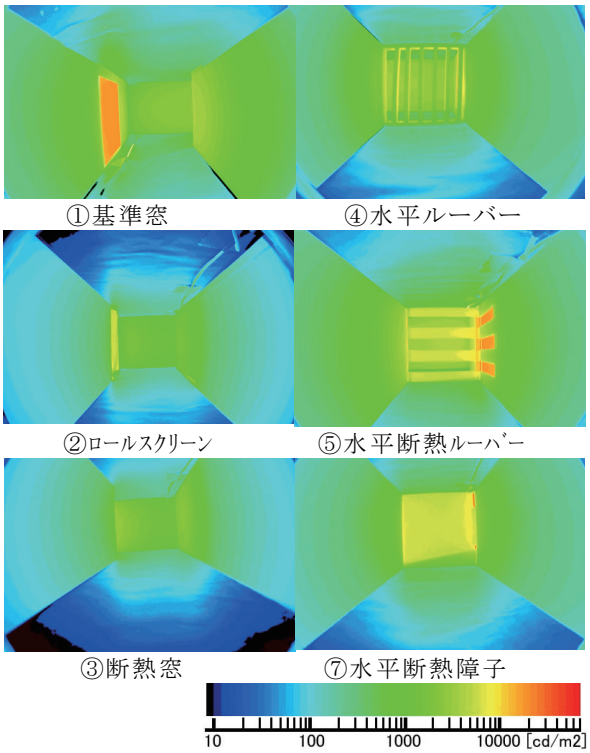


図 5.3.13 模型内の輝度分布図
（床面から天井面方向を撮影）

3）まとめ

本項では、昼光利用の技術のうち、光を確保する採光手法に関して、基本的な検討と、応用事例の検討を行った。

基本的な検討については、ソフトウェアを用いたシミュレーションにより、建物立地条件が採光に与える影響や、立地に最も深く関連する開口位置・形状の様々な検討を系統的観点で行った。また、人工空下に設置した模型実験により、開口部周りの光を調整する日照調整装置と光・視環境の関係を比較可能な状態として示すことが出来た。

これらの知見は、今後、直射光をより有効に利用する、という視点で系統的な観点を持ちつつ具体的な状況設定に絞り込んでいくことで、更に有用なものとなると考える。

応用事例の検討については、基本的な検討とは異なり、実際に屋外の昼光環境下に置いた模型を用いて、採光による光環境と日射遮蔽性能・通風性能などとの関係についてケーススタディ的に考察した。ここでの検討は、採光を主体としながらも、他の環境要素との関連を考えるにあたっての、有用な資料になると考えられる。（三木保弘）

5.3.2 導光手法

1) 導光手法の基本－シミュレーションによる検討

(1) 目的

導光手法は、採光によって取りいれた光を有効に活用するために室奥へ導く手法であり、「昼光利用」の本旨に最も良く沿う手法である。一般に誤解されやすい、また忘れやすいのは、十分な採光をして初めて十分なより高質の導光効果が得られることである。勿論、採光が難しい場所において導光手法を検討することは非常に有効であるが、最初から導光機能に依存しすぎないようにすることが肝要である。そのような理由で、本研究では、前項(5.3.1)で採光手法を昼光利用の必須検討条件としてまず初めに検討した上で、本項において導光手法を検討している。また、導光手法として本研究で主眼に置いたのは、デバイスとしての装置による導光に頼りすぎない、可能な限り建築的・空間的な導光であり、これも、上述の採光を導光の前提としたのと同様に、基本がおろそかになった昼光利用技術は、自立循環型住宅の技術としてふさわしくないと判断した事による。本項では、手法の系統的な観点として、まず建築的な導光手法について、次いで仕上げ面の反射について、最後に開口部に取り付ける部材としてのやや装置的な導光手法について、シミュレーションにより検討している。なお、上記の前提とした自立循環型住宅における考え方により、光ファイバーによる光の経路を自由に曲げる装置は、照明設備的な導光手法として位置付けられることから、ここでは検討していない。

(2) 空間構成による導光の検討

空間構成による導光とは、平面・立面計画の工夫により光の通り道をつくることである。採光手法によって取りいれた光を、光が届きにくい部分へ導入するためには最も有効な手法である。そこで、まず、吹き抜け及び欄間等による基本的な導光の効果について検討した。ここで検討に用いたCG及び照度分布図は、双方向レイトレーシングによる光環境予測ソフトウェア『INSPIRER』を用いて作成している。

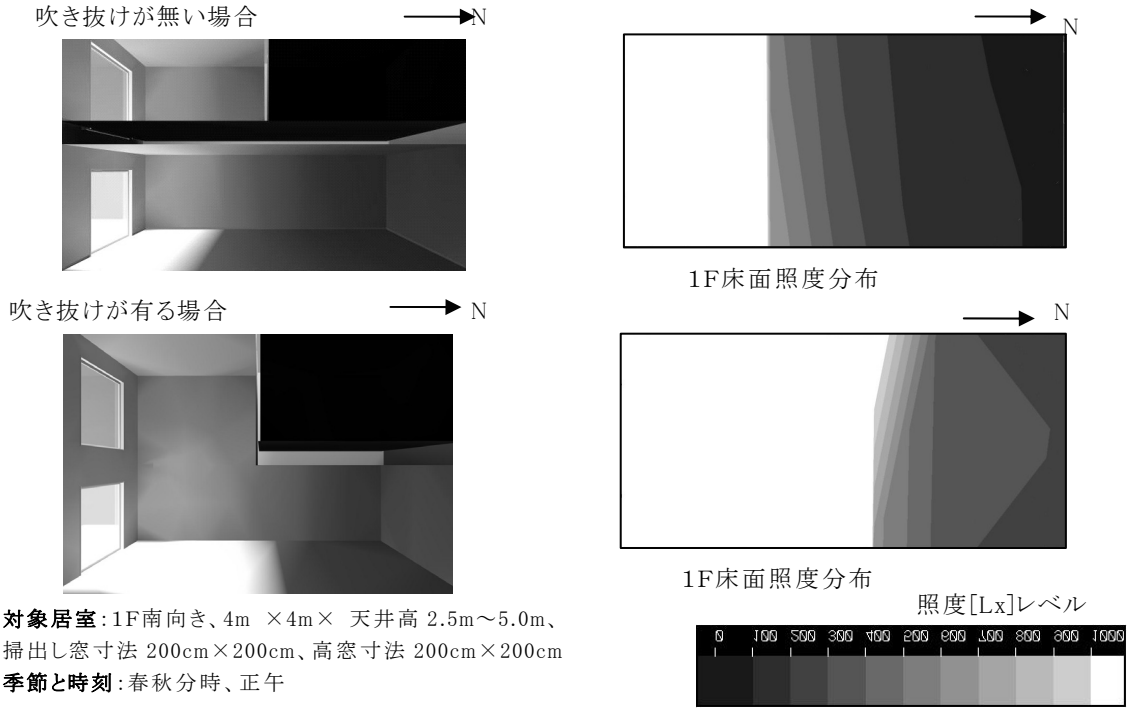
a ＜吹き抜けによる導光効果＞

吹き抜けの高所に窓を設けることにより、より室奥まで光を導くことができる。基本的には、採光手法における高窓や頂側窓と同じ原理によるが、階高を超えて空間的に光を導くことになり、その効果は非情に大きい。但し、天井高が大きくなるので、人工照明・暖房に配慮する必要がある。

吹き抜けが無い場合と有る場合の比較として、非常に奥行きがある部屋(1F)の光環境と床面照度の例を図 5.3.14 に示す。吹き抜けが無い場合には、室の中央で300ルクス程度、室奥で 100 ルクス程度となっているのに対し、吹き抜けが有る場合には、室の奥で300ルクス程度確保できており、室全体が明るくなっていることがわかる。

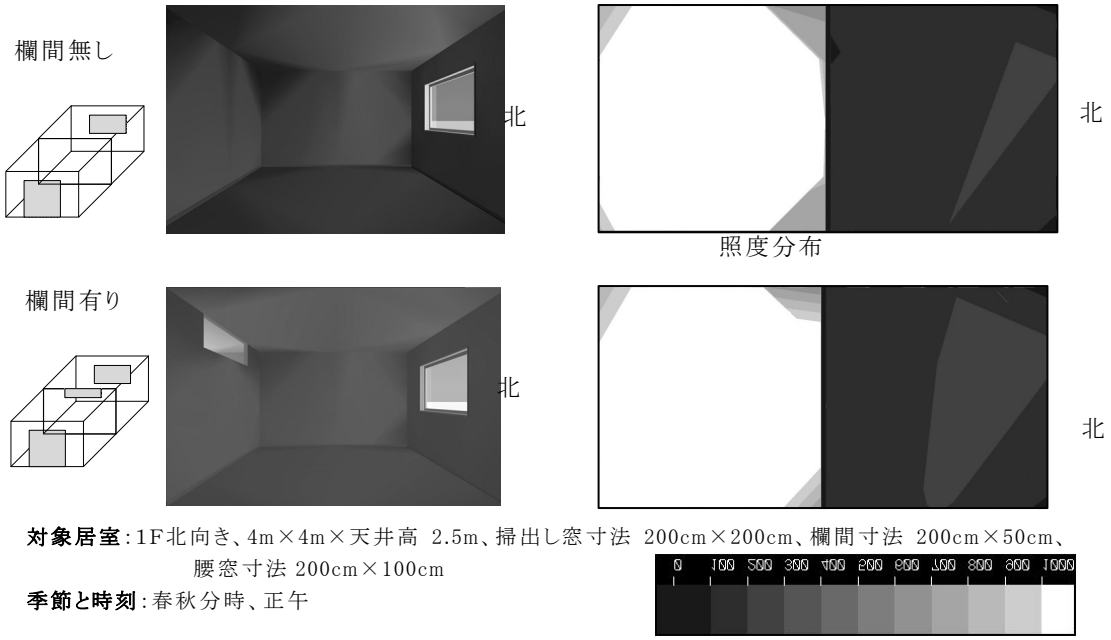
b ＜欄間等による導光＞

2 室が南北に続いているなどの場合に、間仕切り壁の上部に欄間を設けることにより、南側から採光した光を、採光条件の悪い北側の室に導くことができる。視線より下側は壁面により遮られるので、空間としての独立性は保ちつつ、光を導入することができる。欄間に遮蔽物がない方が光を導く上で有利であるが、遮音性や暖房効果等を考慮した場合、何らかの遮蔽物を入れる必要がある。また、後述する室内仕上げ面の反射を利用することで、効果をより高めることが可能である。欄間以外には、ガラ



対象居室:1F南向き、4m ×4m× 天井高 2.5m～5.0m、
掃出し窓寸法 200cm×200cm、高窓寸法 200cm×200cm
季節と時刻:春秋分時、正午

図 5.3.14 吹き抜けの有無による導光効果の違い



対象居室:1F北向き、4m×4m×天井高 2.5m、掃出し窓寸法 200cm×200cm、欄間寸法 200cm×50cm、
腰窓寸法 200cm×100cm
季節と時刻:春秋分時、正午

図 5.3.15 欄間の有無による導光効果の違い

スブロックやガラススクリーンなどの利用も効果がある。

欄間が無い場合と有る場合の比較として、南北に間仕切りで連なった空間の北側の部屋における光環境と床面照度の例を示す。南側の部屋から取りいれた光が欄間によって北側の部屋に導かれ、全体的に明るくなっていることがわかる。ここでは、居室における例を示したが、欄間の活用は、窓面の確保が後回しになりがちな非居室への対応として有効である。

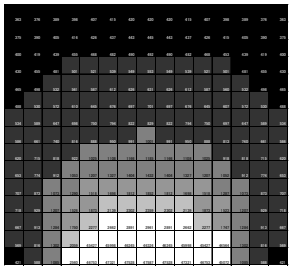
(3) 仕上げ面反射による導光の検討

日本の伝統的な建物にも多く用いられている古典的な手法であり、自立循環型住宅にお

いても有効に活用することができる。地面で反射した光をさらに軒裏(庇裏)で反射させて奥に導く、また、縁側等が有る場合には、そこで反射した光を天井で反射して奥へ導く、といった光の経路を考えることが基本である。屋外床面、庇裏、室内表面の反射率が低い場合と高い場合の光環境のCGと、低い場合・中程度の場合・高い場合の照度分布を図 5.3.16 に示す。CGは上述の『INSPIRER』、照度分布は採光手法の検討で用いた『Daylighting』により作成している。仕上げ面の反射率が低い場合に比べ、仕上げ面の反射率が高くなるにつれ、格段に室全体の明るさが向上していくことがわかる。

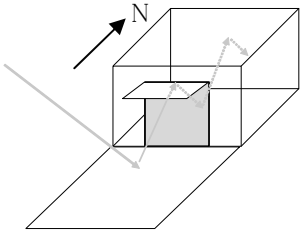
なお、この手法は1階部分のみならず2階以上の部屋でも、セットバック形状のテラスなどがある場合には採用可能な手法である。



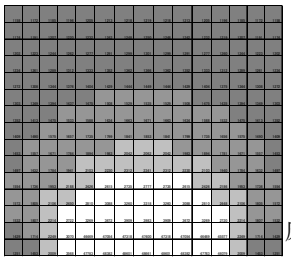


床面照度分布

反射率(低):床 0.1, 壁 0.3, 天井 0.5, 地物(窓前方 5m まで)0.2, 庇裏 0.2
反射率(高):床 0.5, 壁 0.7, 天井 0.9, 地物(窓前方 5m まで)0.8, 庇裏 0.8

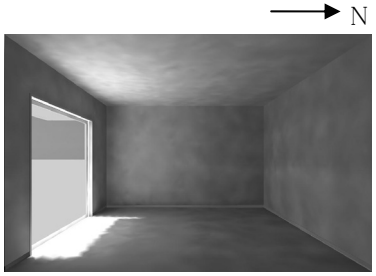


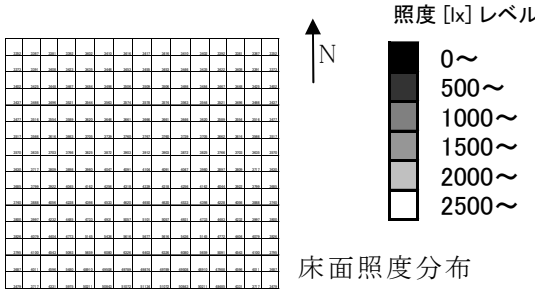
対象居室:1F南向き、4m×4m×天井高 2.5m、掃出し窓
寸法 200cm×200cm、庇長さ 80cm
季節と時刻:春秋分時、正午



床面照度分布

反射率(中):床 0.3, 壁 0.5, 天井 0.7, 地物(窓前方 5m まで)0.5, 庇裏 0.5
反射率(高):床 0.5, 壁 0.7, 天井 0.9, 地物(窓前方 5m まで)0.8, 庇裏 0.8





床面照度分布

反射率(高):床 0.5, 壁 0.7, 天井 0.9, 地物(窓前方 5m まで)0.8, 庇裏 0.8

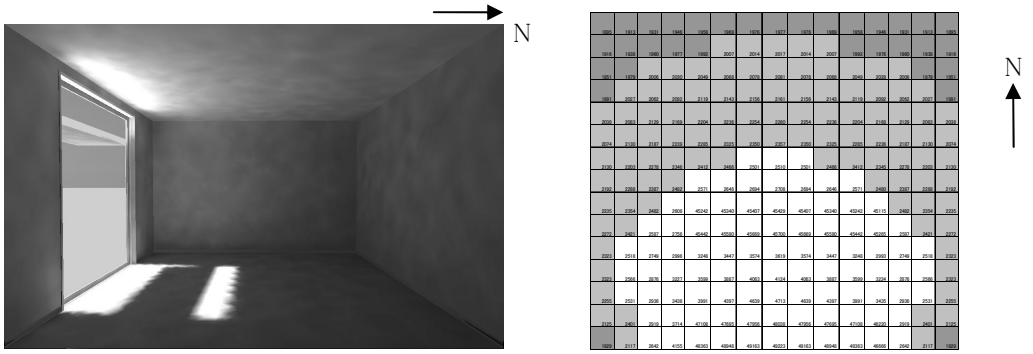
図 5.3.16 仕上げ面の反射率による導光効果の違い

(4) 装置的な導光の検討

窓上部に設置した中庇の上面や窓に装着反射を利用して、光を室奥まで導く手法である。眺望を確保するため、中庇は視線より高する装置で光を反射させ、さらに天井面のい位置に設置することが望ましく、天井高の低い住宅の場合は開口部に向けて天井を傾斜させるといった工夫も必要となる。比較的天井高の高いリビングの開口部や、吹き抜けに面した開口部で使用すると、中庇上部の開口を大きくすることができ効率的になる。ライトシェルフのある室内の光の状況と照度を図 5.3.17 に示す。ライトシェルフは直射日光を天井面へ導くための

中庇で、庇の上部に窓を設けることで、庇の上面で反射された直射日光は天井面に入射し、室奥まで広がる。庇がなければ窓近傍の床面にのみ直射日光が入射し、室奥との間に強い明るさのコントラストが生じる。しかし普通の庇は直射日光を遮蔽するだけなので、窓近傍と室奥との明るさのコントラストは解消されない。ライトシェルフを用いて直射日光を天井に導き室奥を明るくすることで、窓近傍と室奥との明るさのコントラストを弱め、快適な光環境を生み出す。ライトシェルフを設置することで、昼光を室内へより多く導入することができるが、同時に日射熱も流入する。ライトシェルフ上部の窓に庇やブラインドを設置するなど、夏季には適切な日射遮蔽を行う必要がある。ライトシェル以外にも、日照調整としての水平ルーバーや水平ブラインドなどについては、ライトシェルに比べれば小さいが、導光効果がある。

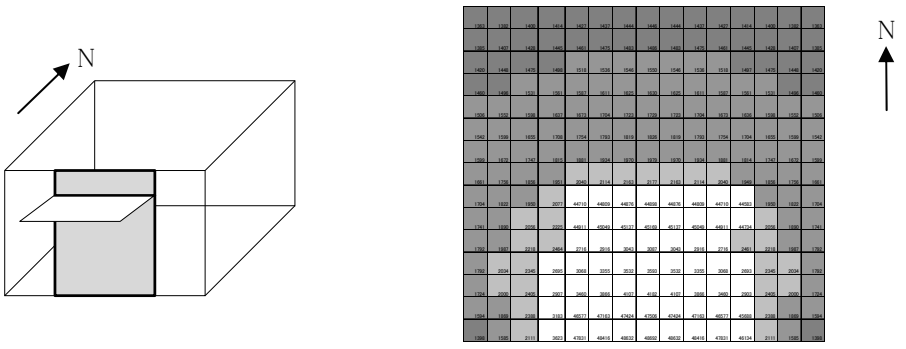
（三木保弘、後藤浩一）



床面照度分布

対象居室：1F南向き、4m ×4m× 天井高 2.5mm、掃出し窓寸法 200cm×200cm、高窓寸法 200cm×50cm、庇長さ80cm、庇上面反射率 0.8、天井反射率 0.9

季節と時刻：春秋分時、正午



天井反射率が0.5の場合の床面照度分布

図 5.3.17 ライトシェルフによる導光効果

2) 導光手法の応用－実際の住宅を想定した模型実験

(1) 目的

窓を大きくすることは採光量を増やすが、同時に暖冷房負荷の増大も招く。一方で、直接屋外から採光することが難しい空間に対し、隣室等から障子や欄間等を介して間接的に昼光を導入し活用することは、住宅建築の伝統的技術とも言える。しかし、近年では人工照明に要するコストの低減もあり、比較的安易に人工照明に頼る住宅設計、生活習慣に変遷してきた部分もある。

一方、近年、建築に活用できる光を透過する素材は、プラスチック素材を中心に、意匠、透過に関わる性能ともに様々なものが開発されている(写真 5.3.2)。

これらのことから、ここでは、間仕切りを介して隣室に導入する等、住宅内での昼光の再活用、有効活用という技術に今一度着目し、より実際の住宅に近い、模型を用いたケーススタディ的な手法でその効果を検証する。

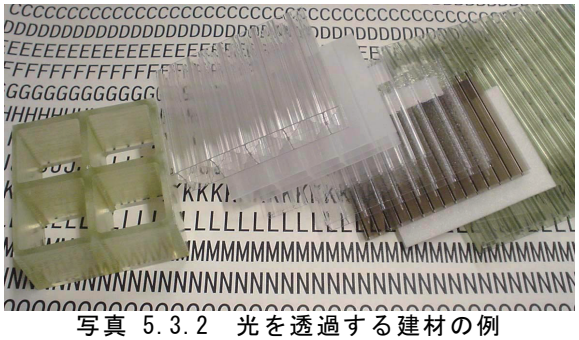


写真 5.3.2　光を透過する建材の例

(2) 方法

検証では住宅模型を屋外に設置し、模型内の照度や輝度分布の測定により、各種法の昼光導入効果を実験的に検討する。

(3) 間仕切り

写真 5.3.3 は間仕切壁に開口を設けている実住宅の例である。隣室に昼光を導入して採光効果や通風性能を高めるとともに、空間の開放感を高めていると感じられる。

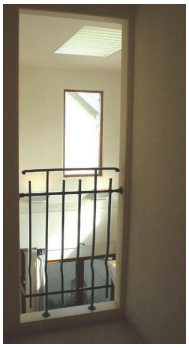
このような間仕切壁に開口を設けることによる隣室からの間接的な採光の効果を模型によって検証した。模型 1 の概要を図 5.3.18、図 5.3.19、表 5.3.4 に示す。

この模型の住宅では、1 階、2 階の廊下には屋外からの直接的な採光はほとんど得られない。そこで、これらの空間に対し、隣接する居間や吹き抜け空間から昼光を導入する。そのため、これらの空間の間に位置する間仕切壁を、光を透過する素材、あるいは形態とする。図 5.3.19 に示すとおり、間仕切りの断面は、①光を透過しない通常の間仕切り、②透過素材(障子)を用いた間仕切り、③腰壁と横架材部分以外の間仕切りを取り払った場合とした。

写真 5.3.4 に、①、③の場合の模型内観を示す。実験は 2003/11/7 13:30～15:30 に北海道旭川市で行った。実験時には曇天で直射光の無い状態であった。模型はなるべく周囲に障害物が無い場所に設置した。



(A)2F寝室と吹向けの間仕切り



(B)2F廊下と吹き抜けの間仕切り



(C)台所と居間の間仕切り

写真 5.3.3　実住宅の間仕切りの開口の例

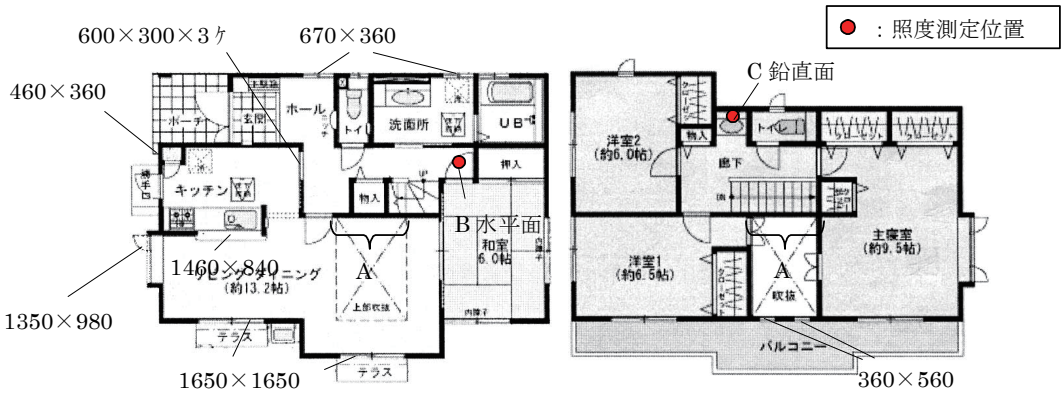
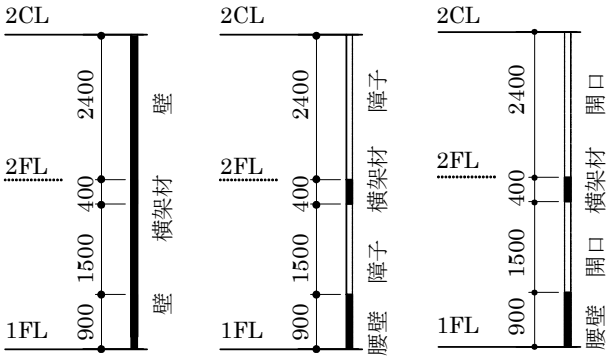


図 5.3.18　模型1の平面

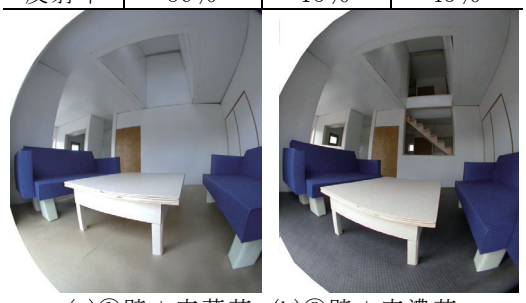


①壁の場合　②障子の場合　③腰壁の場合

図 5.3.19　間仕切り壁Aの断面

表 5.3.4　各部位の反射率

部位	壁・天井	床 こい茶	床 うす茶
反射率	86%	13%	43%



(a)①壁＋床薄茶　(b)③壁＋床濃茶

写真 5.3.4　模型１の内観

表 5.3.5　模型1の測定結果

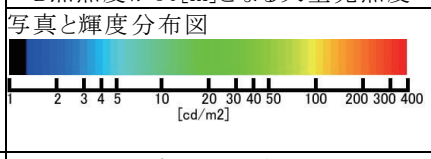
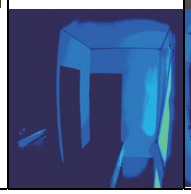
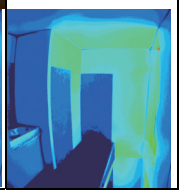
間仕切りA		①壁	②障子	③腰壁	③腰壁
居間の床の色		濃い茶	濃い茶	濃い茶	薄茶
1階	B点の昼光率[%]	0.05	0.17	0.36	0.45
	B点照度が50[lx]となる天空光照度	125000	36800	17400	13900
	写真と輝度分布図				
2階	C点の昼光率[%]	0.006	0.16	0.37	0.43
	C点照度が50[lx]となる天空光照度	1041700	39100	16900	14500
	写真と輝度分布図				

表 5.3.5 に照度と輝度分布の測定結果を示す。表に示すとおり、間仕切壁からの間接光が導入されない場合は、1階、2階ともに極めて暗い空間であった。それに対し、居間や吹抜け空間からの昼光導入により明るさが格段に増し、昼間には昼光のみで歩行に十分な明るさとなる頻度が高い状況になると考えられる。

(1)　床の反射率

窓から離れた位置における室内の照度は、内装等の反射率に大きく影響を受ける。ここでは、前述の間仕切壁に加え、最初に昼光が入射する居間の床の反射率を2種類設定し(表5.3.4)、その影響を検証する。

実験は(3)間仕切りと同一の模型を用い、同時に行った。

表 5.3.5 に示す実験結果から、居間の床面反射率の違いが、廊下の照度にも少なからず影響を及ぼすことが確認できる。

(2) 開放的なプランと天窓からの採光の活用

階段や台所では窓を設けることができなかったり、できても採光量が十分ではないために陰

鬱な空間となることが少なからずある。

写真 5.3.5 は階段に対し隣室から採光している例、および台所と居間との間に間仕切りや天井付けの棚を用いずに開放的なプランとしている例である。

一方、2 階建て住宅の場合、階段は 1 階から 2 階に連続した吹抜けのような空間であり、2 階の階段周辺で採光があれば、その光を階段空間を通じて 1 階にも導入することも可能と考えられる。ここでは、2 階の天窓からの採光を、階段を通じて 1 階に導入する効果を検証する。

図 5.3.20 に模型 2 の面を示す。

この模型の住宅では 1 階の階段、廊下に対し昼光がほとんど入らない。しかし、2 階では天窓から多くの昼光が室内にもたらされる。

そこで、1 階の階段周りの間仕切壁を無くし、解放的な空間とすることで、同時に 2 階の天窓からの昼光を階段空間を介して、1 階の階段周囲にある廊下等にも導く手法を検証する。

表 5.3.6 に測定結果を示す。表に示すとおり、階段周りの間仕切りの有無により、その周囲の 1 階廊下の明るさは全く異なる。このことから、階段周りの間仕切りの形態の工夫により、2 階で採光した光を 1 階に導入する手法は、高い効果を持つことが可能と考えられる。

(6)続き間への採光

写真 5.3.6 に光を透過する素材の室内開口部の例を示す。

障子やガラス戸を用いて続き間に昼光を導入する手法は多くある。ここでは、続き間との間にある扉等稼動部や垂壁、欄間の形態が、昼光導入に及ぼす影響を検証する。

図 5.3.21、写真 5.3.7 に模型 3 の概要を示す。この模型は 2 つの部屋からなり、南側の部屋では南側の壁 1 面が開口部となっており、北側の部屋には屋外に対する開口はない。



(A)階段と和室の間仕切り　(B)居間に対してオープンな台所

写真 5.3.5　実住宅における例



(A)ガラスを用いたドア　　(B)障子

写真 5.3.6　光を透過する間仕切りドア等

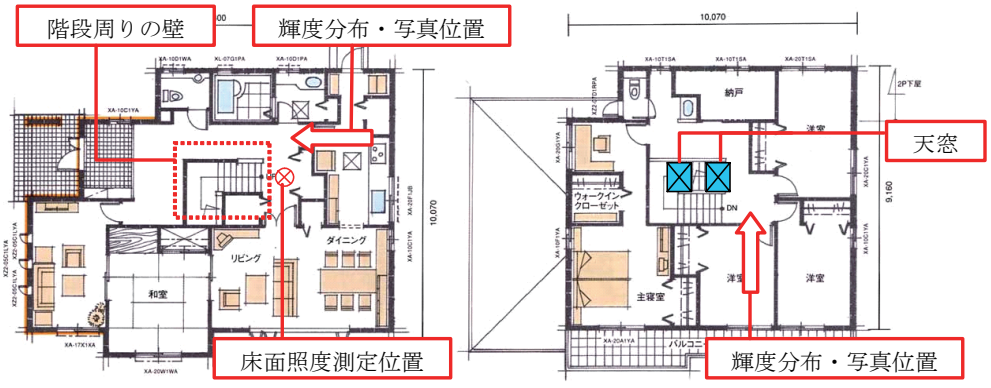
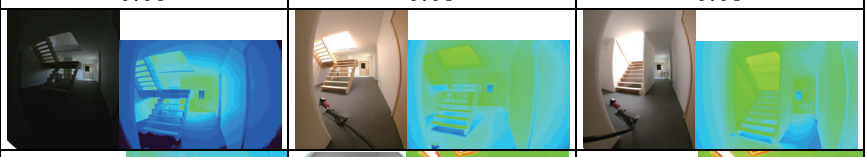
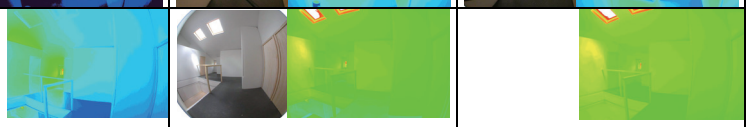


図 5.3.20　模型2の平面

表 5.3.6 模型2の測定結果

パターン		1	2	3
天窓		なし	あり	あり
階段周りの壁		なし	なし	あり
天空光照度[lx]		49900	32500	50100
廊下床面の照度[lx]		26.7	27.5	42.4
昼光率[%]		0.05	0.08	0.08
写真と輝度分布図	1階			
	2階			

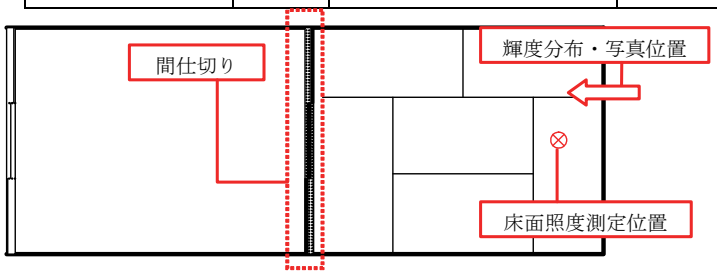


図 5.3.21 模型3の平面



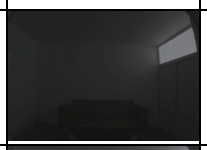
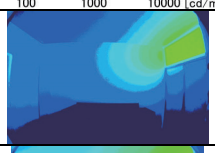
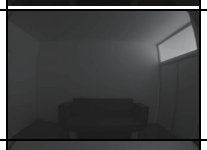
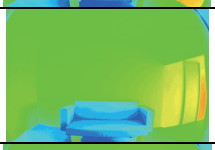
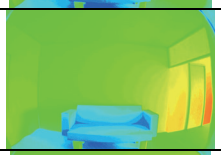
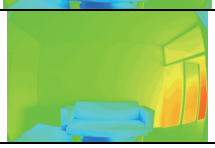
写真 5.3.7 模型3の内観

表 5.3.7 に南側と北側の室の間の開口の仕様と、北側の室における照度、輝度分布を示す。両室の間の間仕切りは上部と下部に別れ、いずれも光を透過させない壁、透過させる素材の場合を設定した。

表に示すとおり、下部の開口の方が上部よりも面積が大きいこともあり、下部の開口が光を透過する場合に、北側の室の輝度が全体的には高くなる。しかし、上部が光を透過させない場合には天井周辺の輝度が低下し、室内が暗く感じられる。そのため、室内の明るさに対する快適感を向上させるためには、欄間のように上部からも昼光を導入させるか、あるいは垂れ壁がなく、床から天井レベルまでの高さで光を透過させる素材によるドアやふすまを用いることが効果的と考えられる。

（北谷幸恵）

表 5.3.7　模型3の測定結果

	間仕切りの仕様 上部(欄間) 下部	照度[lx] 天空光照度 照度	昼光率[%]	写真	輝度分布図 天空光照度10000[lx] あたりに換算
1	障子 ふすま	14800 23	0.16%		
2	開口 ふすま	15300 56	0.37%		
3	壁 ﾛｰﾙﾌﾞﾗｲﾝﾄﾞ(障子製)	17800 125	0.70%		
4	開口 ﾛｰﾙﾌﾞﾗｲﾝﾄﾞ (障子製)	17300 252	1.46%		
5	壁 開口	16700 307	1.84%		
6	障子 開口	18300 415	2.27%		
7	開口 開口	17700 471	2.66%		

実住宅の写真協力　三井ホーム株式会社

3) まとめ

本項では、採光によって取りいれた光を有効に活用するために室奥へ導く「導光手法」について、基本的検討及び応用事例の検討を行った。両検討ともに、デバイス(装置)に頼りすぎず、建築的な解決としての具体的な導光手法を提示している点が意義ある点と考えられる。

今後の課題としては、敷地条件に対する導光手法の効果の検討が必要と考えられる。

(三木保弘)

5.4 照明システムの技術

自立循環型住宅における照明システム技術の主たる目的は、人工照明の効率化と無駄な点灯の減少によって、人工照明エネルギー負荷を削減することを前提としつつも、快適性を損なわない質の高い光環境を形成することにある。光環境の質的側面に関しては、建築躯体に対する器具の配置などに加え、居住者の行動が与える影響も多いことから、その関係の深い部分について実験的に検討する必要もある。更に、それらの人工照明手法をより有効なものとするためには、昼光の利用を前提として照明制御を確実に行うことが肝要となる。ここでは、まず、高効率なランプ(電球形蛍光ランプ)による多灯分散照明を用いることで、夜間における省エネルギー性と光環境による質を両立させるための検討を行っている(5.4.1)。次いで、昼光の利用を前提とした照明システムの基礎として、照明点灯実態・行動の把握に基づく昼光・人工光併用照明への検討(5.4.2)、と天気連動型の照明制御システムの検討(5.4.3)を行っている。5.4.1、5.4.2 は現実的な技術として、最後の 5.4.3 については、今後の可能性として位置付けている。

5.4.1 高効率ランプによる多灯分散照明

1) 一室一灯からの脱却

これまで、日本の住宅の居室における照明は一室一灯が主流であった。一室一灯は、一様に明るくすることには優れているが、居住者の様々な行動や要求される室内の雰囲気に対応できるバリエーションをつくることは難しい。かつて複数の照明器具による多灯照明が提起されたことはあるが、結果として普及には至っていない。その原因として、一つの照明器具に複数のランプを組み込んで様々な行動や雰囲気に対応しようとする無理な多灯照明であったり、複数の照明器具であっても、その効果的な配置の仕方を合理的な手法として示せなかったことなどが挙げられる。また、多灯照明が提起された当時は白熱灯が主流であり、白熱灯で多灯にした場合、単なる多灯化は照明器具のW数の足し算として電力消費が多大なものと見なされ、省エネルギーの観点から普及の足枷になっていたことも原因として挙げられる。

ところが最近、非常に効率の高い電球形蛍光ランプ、それも演色性の高いランプの登場により状況は一転した。多灯で様々な生活場面の必要に応じて照明をした方が、一灯で全体を照明するよりかなりの程度まで省エネルギーで質も高くなる可能性が生じたのである。とはいえ、前述のように、合理的な多灯照明の手法は未だ十分に検討されていないのが現状であり、上記の問題点を解決可能な、すなわち住宅照明の質を向上させ且つ省エネルギーな手法が切に求められている。

2) 高効率ランプによる多灯分散照明手法の提案

上述の背景を踏まえ、合理的な住宅における高効率ランプの多灯分散照明手法を提案する。その考え方を、例をあげて説明すると以下のようになる。

まず、現状である程度省エネルギーと考えられる一室一灯の全点灯W数を設定し、これを

基準とする。図 5.4.1 は一室一灯の全点灯の例である。この場合、リビングの環形蛍光ランプ70Wを一灯、ダイニングの電球形蛍光ランプ 22Wを一灯を点灯すると、計 92Wとなる。

次に、小W数の照明器具の配置を分散(多灯分散)させ、基準とした一室一灯の全点灯W数を超えない点灯の状況を設定する。

図 5.4.2 は、多灯分散の点灯の一例である。この場合、リビング・ダイニングを通じて電球形蛍光ランプ 12Wを 6 灯点灯しており計 72Wとなっている(天井埋込型の 13Wのダウンライトは消灯している)。多灯分散で設置した全ての照明器具のW数の合計が、一室一灯のW数を越えてしまっても、生活場面に応じて点灯する照明器具の総W数が図 5.4.2 の例の様に基準を必ず下回るように設定することで、省エネルギー性を確保することはできる。

3) リビング・ダイニングにおける多灯分散照明の評価実験

(1) 目的

多灯分散照明手法によって最も効果が上がるのは、多くの生活行為が行われ、多様な雰囲気が要求される空間である。その最も代表的な空間は居間・食事室としてのリビング・ダイニングルームである。そこで、実大のリビング・ダイニングルームを用いた多灯分散照明の評価実験を行う。

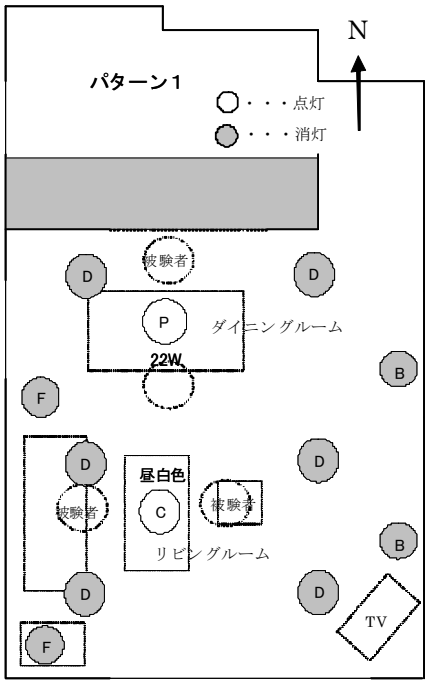
(2) 実験概要

(独)建築研究所内の実験用集合住宅3階において、2003 年 11 月～12 月に実験を実施した。図 5.4.3 に対象室の平面図(照明器具の配置含む)を示す。室の南側がリビングルーム、北側がダイニングルームとなっている。基本的な照明器具配置は次のようになっている。天井照明は、リビングルームのセンターテーブル上にシーリングライト、ペンダント、器具無しのいずれかとし、ダイニングルームのテーブル上にペンダントを配置した。また、ダウンライトは 6 灯配置した。その他の局部照明として、西壁面側には、高さのあるフロアスタンドをリビングとダイニングの中間部分に配置、テーブルスタンドをソファの横(南側)に配置した。東壁面には、ブラケットをリビングとダイニングの両者を照らせるよう二つ配置した。

照明光源は、全て蛍光ランプとし、リビングのシーリングライト(昼白色)、ダイニングのペンダント(電球色)で構成される一室一灯を基準パターン(パターン 1)となるよう設定し、それ以外は全て電球色の蛍光ランプの組合せで全 27 パターンを設定した(表 5.4.1)。小型蛍光ラ



図 5.4.1 一室一灯の点灯例(左)
図 5.4.2 多灯分散の点灯例(右)



C: シーリング P:ペンダント F:フロアスタンド
D: ダウンライト B:ブラケット

図 5.4.3 平面図および照明配置
(パターン1の場合)

表 5.4.1 リビング・ダイニングの照明パターン

	リビング側								ダイニング側					全体		
パターンNo.	シーリング(70W/49W)	ペンダント(12W)	テーブルスタンド(12W)	フロアスタンド(12W)	ブラケット(12W)	ダウンライト(13W)	灯数	出力[W]	ペンダント(12W)	ブラケット(12W)	ダウンライト(13W)	灯数	出力[W]	灯数	出力[W]	備考
1	●(昼白色)						1	70	●(22W)			1	22	2	92	一室一灯型 標準的器具(シーリングは昼白色)
2	●(電球色)						1	70	●(22W)			1	22	2	92	一室一灯型 標準的器具(シーリングは電球色)
3	●(電球色)						1	70				0	0	1	70	リビングのみ、一室一灯(シーリングは電球色)
4	●(電球色)(減光)		●				2	61	●(22W)			1	22	3	83	リビングでシーリング+テーブルスタンド
5	●(電球色)(減光)		●				2	61	●			1	12	3	73	リビングでシーリング+テーブルスタンド
6	●(電球色)(減光)			●			2	61	●			1	12	3	73	リビングでシーリング+フロアスタンド
7	●(電球色)(減光)				●		2	61	●			1	12	3	73	リビングでシーリング+ブラケット
8	●(電球色)(減光)					●(2灯)	3	75				0	0	3	75	リビングでシーリング+ダウンライト
9						●(4灯)	4	52				0	0	4	52	主に床面を照明(リビング主体・ダウンライトのみ)
10						●(2灯)	2	26			●(2灯)	2	26	4	52	主に床面を照明(ダイニング主体・ダウンライトのみ)
11						●(4灯)	4	52			●(2灯)	2	26	6	78	床面・壁面を照明(ダウンライトのみ)
12					●	●(2灯)	3	38		●	●(1灯)	2	25	5	63	床面・壁面を照明(ダウンライト・ブラケット)
13					●	●(2灯)	3	38		同位置にスタンド	●(1灯)	2	25	5	63	ブラケットとスタンドを交換(スタンドの場合)
14		●(天井下50cm)	●	●			3	36				0	0	3	36	ペンダントの吊り高変化(リビングのみ・多灯)
15		●(天井下100cm)	●	●			3	36				0	0	3	36	ペンダントの吊り高変化(リビングのみ・多灯)
16		●(天井下50cm)		●			2	24	●			1	12	3	36	ペンダントの吊り高変化(リビングとダイニングの関係、一室一灯)
17		●(天井下100cm)		●			2	24	●			1	12	3	36	ペンダントの吊り高変化(リビングとダイニングの関係、一室一灯)
18		●(天井下100cm)					1	12	●			1	12	1	24	リビングペンダント、ダイニングペンダント(一室一灯)
19		●(天井下50cm)	●	●	●		4	48	●	●		2	24	6	72	リビング多灯、ダイニング多灯
20			●				1	12				0	0	1	12	リビング天井照明なし、一室一灯、スタンドの高低
21				●			1	12				0	0	1	12	リビング天井照明なし、一室一灯、スタンドの高低
22			●	●			2	24				0	0	2	24	リビング天井照明なし、多灯
23			●	●	●		3	36				0	0	3	36	リビング天井照明なし、多灯
24				●			1	12		●	●(1灯)	2	25	3	37	リビング天井照明なし、ダイニング天井照明なし多灯
25			●	●			2	24		●		1	12	3	36	リビング天井照明なし多灯、ダイニング天井照明なし、多灯
26							0	0	●	●		2	24	2	24	ダイニングのみ、ペンダント+ブラケット、多灯
27						●(2灯)	2	26	●		●(2灯)	3	38	5	64	ダイニングのみ多灯、ペンダント+ダウンライト

ンプについては、白熱 60W 相当の 12W のものを基本とした(ダウンライトは形状の限定より 13 W を使用)。

被験者は男女計 26 名で、3 名(一部 2 名)1組で合計 9 セッションの実験を行った。初めに練習としてダミーを1条件評価した後、全 27 条件について評価を行った。上述の照明パターンがランダムになるよう設定し、さらに 3 組の被験者毎にその提示順序を 3 段階で前後入れ替えた。

実験手順は条件のそれぞれについて、以下の如くであった。被験者は、まず控え室から対象室に入室し、次いで 1 分の間、図 5.4.3 の平面図に示す椅子・ソファ上の波線○の位置に一通り座り、空間全体の印象を把握した上で、好きな椅子・ソファに座って評価を行った。評価は、空間の雰囲気(12 評価尺度)、生活行為への対応(9 評価尺度)について、それぞれ 7 段階で行った。実験に要した時間は、1 セッションあたり平均で 2 時間～3 時間程度であった。

(3) 実験結果と考察

まず、雰囲気に関する 12 尺度の評価尺度平均値を用いて因子分析を行った。その結果、表 5.4.2 に示す 2 因子(第 1 因子:「華やか」「活気のある」「明るい」等、第2因子:「好き」「くつろげる」等)が抽出された。よって、本実験の照明パターンの雰囲気は、この 2 因子で説明できることになる。

次に、生活行為への対応に関する7尺度の評価の平均値を従属変数、雰囲気に関する因子得点を説明変数とする重回帰分析を行い、生活行為への対応度を雰囲気で説明するための偏回帰係数(表 5.4.3)を得た。

各照明パターンの雰囲気に関する因子得点および総点灯W数を付置し、更に表 5.4.3 の第 1 因子、第 2 因子を成分とする偏回帰係数ベクトルを、生活行為への対応をみるために加えて示したものが図 5.4.4 である。この図によって、各照明パターンの雰囲気・行為への対応と総W数との関係を理解することができる(ベクトルの見方:ベクトルの方向との一致の度合いから行為への対応度がわかる)。

図 5.4.4 を考察した結果、リビング・ダイニングルームでは、全体的な傾向として、因子軸で区切られた象限別に見ると、似た照明パターンについて雰囲気・生活行為への対応度が一致している。

第 1 象限(華やか・活気のある－くつろげない・嫌い)には、天井からの一室一灯に近い照明パターンが付置しており、文章を書く・本を読む、パソコンやインターネットなどの行為に最も適している。

表 5.4.2 リビング・ダイニングの雰囲気に関する因子

評価尺度	第1因子	第2因子
地味に感じる-華やかに感じる	0.991	−0.066
活気のある-活気のない	−0.988	−0.128
広く感じる-狭く感じる	−0.976	0.116
暗い-明るい	0.966	0.225
はっきりした-ぼんやりした	−0.935	−0.328
好き-嫌い	−0.264	0.949
くつろげる-くつろげない	0.388	0.908
かたい-やわらかい	−0.125	−0.907
洗練されていない-洗練された	0.361	−0.891
安らぎのない-安らぎのある	−0.446	−0.874
落ち着きのある-落ち着きのない	0.592	0.781
変化のない-変化のある	−0.315	−0.346
因子寄与率(%)	47.78	41.91

表 5.4.3 リビング・ダイニングの生活行為と雰囲気の関係 偏回帰係数

生活行為	偏回帰係数 第1因子	偏回帰係数 第2因子	重相関係数
本・雑誌を読む	1.186218	0.322202	0.9710
文章を書く	1.213627	0.355605	0.9676
家族でくつろぐ	0.458368	−0.28234	0.7995
テレビ、ビデオを見る	0.66992	0.019161	0.9430
パソコンでメールやインターネットをする	0.896455	0.169722	0.9733
音楽を聴く	−0.35295	−0.551	0.9733
パーティをする	0.612396	−0.36497	0.9399
お酒を飲む	−0.41785	−0.65059	0.9704
食事をする	0.809197	0.037581	0.8274

第 2 象限(地味・活気のない－くつろげない・嫌い)には、照明配置にまとまりがなく暗い印象の照明パターンが付置しており、いずれの生活行為にも対応していない。

第 3 象限(地味・活気のない－くつろげる・好き)には、天井照明はなく暗いが、空間の照明配置にまとまりがある照明パターンが付置しており、音楽の聴取や飲酒に最も適している。

第 4 象限(華やか・活気のある－くつろげる・好き)は、天井に照明器具がないが、分散された多数の照明配置で空間全体を照らしている照明パターンが付置しており、パーティや家族でくつろぐ場合などの生活行為に適している。

この図 5.4.4 を省エネルギー性との関係迄も含め、更に詳細に見ていくと、具体的な知見として以下のことが考察できた。

・パターン 1、2 に代表されるような一室一灯(92W)は、天井のシーリングを減光(70W→49W)し、スタンドなど小型ランプを1灯加えることでパターン 4(83W)、7(78W)のような、華やかさや明るい感じを保ちやや省エネルギーとなる一方、好ましさ・くつろぎを増加させ、食事やテレビなどの行為に対応した照明とすることが可能である。

・ダウンライト、ブラケット、フロアスタンドなどの小型蛍光ランプによって主に壁面を照明するパターン 12、13(63W)は、活気があり好ましい雰囲気をつくり、家族でくつろいだりパーティをする場合に対応できる。これらはシーリングライトを用いないため、総 W 数も小さい。活気を増しつつ好ましさを失わないためには、パターン 19(72W)のように目立たない小型のペンダントを天井直下に付加することで実現できる。

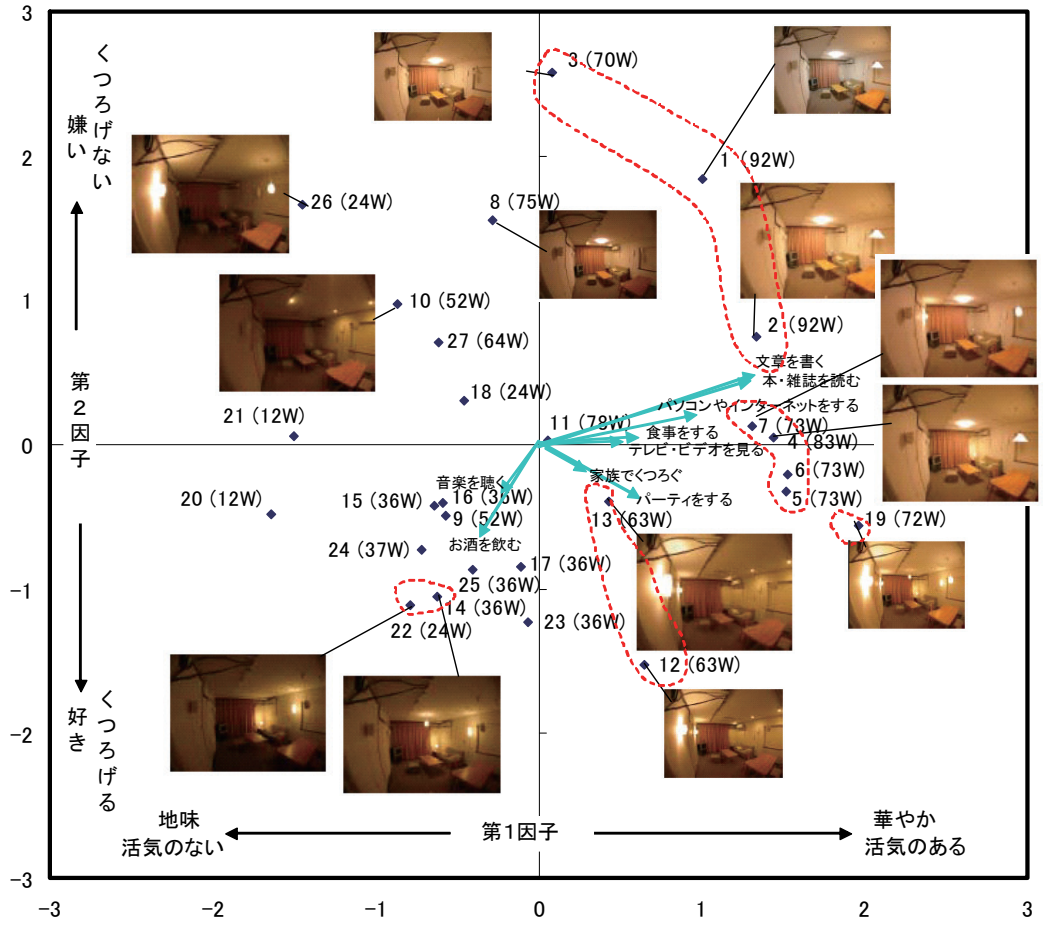


図 5.4.4 リビング・ダイニングにおける雰囲気・行為への対応・電力消費(点灯W数)の関係

・パターン 22(24W)や、パターン 14(36W)のように、お酒を飲む、音楽を聴く場合は少W数で適切な照明が可能である。

以上のように、リビング・ダイニングの場合、多灯分散照明を用いることで、雰囲気・生活行為への対応と省エネルギー性の確保が可能であることがわかった。

4) 和室における多灯分散照明手法の評価実験

(1) 目的

多灯分散照明手法によって効果が上がる多行為空間のうち、日本ならではの空間として和室がある。和室は、リビング・ダイニングと同じ居間・食事室としての機能以外に、寝室としての機能も併せ持っており、生活行為の多様さではリビング・ダイニングを上回るとも言え、検討しておくことは大きな意義があると考えられる。そこで、実大の和室を用いた多灯分散照明の評価実験を行う。

(2) 実験概要

積水化学工業(株)研究所内の実験用住宅1階和室において、2004年 8 月に実験を実施した。図 5.4.5 に対象室の平面図(照明器具の配置含む)を示す。

室の大きさは 6 畳である。基本的な照明器具配置は次のようになっている。天井照明は、室中央位置にシーリングライト、ペンダント、器具無しのいずれかとした。その他の局部照明として、直管形ランプを床の間上部に間接照明として配置するとともにスタンドを下部に配置、高さのあるフロアスタンドを入り口手前に配置、低いフロアスタンドを室奥の隅角部分の床に配置した。

照明光源は、全て蛍光ランプとし、シーリングライト(昼白色)で構成される一室一灯を基準パターン(パターン 2)となるよう設定し、それ以外は、基準パターンに昼白色の床の間照明を加えたパターン(パターン1)を除き、全て電球色の蛍光ランプの組合せで全 21 パターンを設定した(表 5.4.4)。小型蛍光ランプについては、白熱灯 60W 相当の 12W のものと、白熱

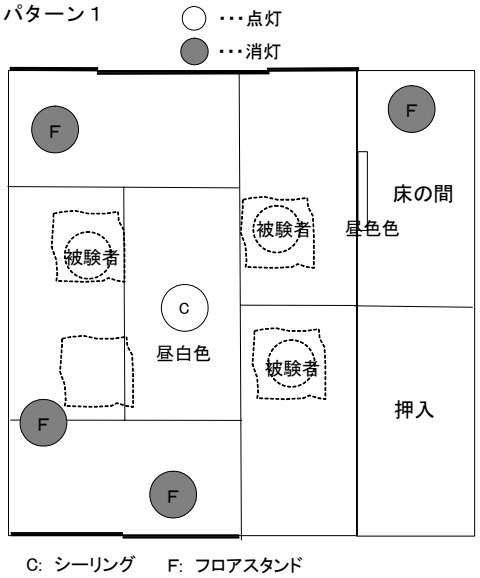


図 5.4.5 和室の平面図および照明配置(パターン１)

40W 相当の 8W のものを基本とした。被験者は男女計 12 名で、3 名1組で合計 4 セッションの実験を行った。初めに練習としてダミーを1条件評価した後、全 21 条件について評価を行った。上述の照明パターンは、評価の際ランダムになるよう設定した。

実験手順は条件のそれぞれについて、以下の如くであった。被験者は、まず控え室から対象室に入室し、次いで 1 分の間、図 5.4.5 の平面図に示す座布団の位置に一通り座り、空間全体の印象を把握した上で、好きな座布団に座って(寝て)評価を行った。評価は、空間の雰囲気(12 評価尺度)、生活行為への対応(12 評価尺度)について、それぞれ 7 段階で行った。実験に要した時間は、1 セッションあたり平均で 2 時間～2 時間半程度であった。

表 5.4.4 和室の照明パターン

	和室								
パターンNo.	シーリング(70W/49W)	ペンダント(12W)	床の間(15W)	フロアスタンド床の間(12W)	フロアスタンド奥(8W)	フロアスタンド手前(8W)	灯数	出力[W]	備考
1	●(昼白色)		●				2	85	一室一灯(昼白色)＋床の間(昼白色)
2	●(昼白色)						1	70	一室一灯(昼白色)
3	●(電球色)						1	70	一室一灯(電球色)
4	●(電球色)(減光)			●			2	61	減光＋1灯
5	●(電球色)(減光)				●		2	57	減光＋1灯
6	●(電球色)(減光)					●	2	57	減光＋1灯
7	●(電球色)(豆球)						1	1	シーリング豆球
8		●(天井下40cm)		●			2	24	ペンダント(高)＋1灯
9		●(天井下80cm)		●			2	24	ペンダント(低)＋1灯
10		●(天井下40cm)			●	●	3	28	ペンダント(高)＋2灯
11		●(天井下80cm)			●	●	3	28	ペンダント(低)＋2灯
12		●(天井下40cm)		●	●	●	4	40	ペンダント(高)＋3灯
13		●(天井下80cm)		●	●	●	4	40	ペンダント(低)＋3灯
14				●			1	12	スタンド1灯
15					●		1	8	スタンド1灯
16						●	1	8	スタンド1灯
17				●	●		2	20	スタンド2灯
18				●		●	2	20	スタンド2灯
19					●	●	2	16	スタンド2灯
20				●	●	●	3	28	スタンド3灯
21				●(枕元・豆球)			1	1	スタンド豆球

(3) 実験結果と考察

和室における実験結果の導出は、リビング・ダイニングと同様の手順で行っている。従って、以下の結果の考察については、リビング・ダイニングにおける結果を適宜比較参照しつつ行うこととする。

まず、雰囲気に関する 12 尺度の評価尺度平均値を用いて因子分析を行った。その結果、表 5.4.5 に示す 2 因子(第 1 因子:「くつろげる」「好き」「やすらぎのある」等、第 2 因子:「活気のある」「広く感じる」「華やかに感じる」等)が

抽出された。本実験の照明パターンの雰囲気は、この 2 因子で説明できることになる。リビング・ダイニングでは、第 1 因子が「活気のある」「華やかに感じる」等、活動的な意味を持つ因子で、第 2 因子が「くつろげる」「好き」等、居心地に関する因子であったことと比較すると、和室では、第1因子の内容と第2因子の内容(含まれる評価尺度)が逆になっ価尺度)が逆になっており、価尺度)が逆になっており、居心地に関する雰囲気因子による評価の重みが高いことがわかる。

次に、生活行為への対応に関する12尺度の評価の平均値を従属変数、雰囲気に関する因子得点を説明変数とする重回帰分析を行い、生活行為への対応度を雰囲気で説明するための偏回帰係数(表 5.4.6)を得た。

さらに、リビング・ダイニングにおける分析と同様に、和室における各照明パターンの雰囲気に関する因子得点および総点灯W数を付置し、表 5.4.6 の第1因子、第2因子を成分とする偏回帰係数ベクトルを、生活行為への対応をみるために加えた図を作成した(図 5.4.6)。ただし、ここでは、リビングにおける結果との比較を容易にするため、第 2 因子を横軸、第1因子を縦軸としている。この図によって、リビング・ダイニングにおける検討と同様に、和室における各照明パターンの雰囲気・行為への対応と点灯W数との関係を理解することができる。

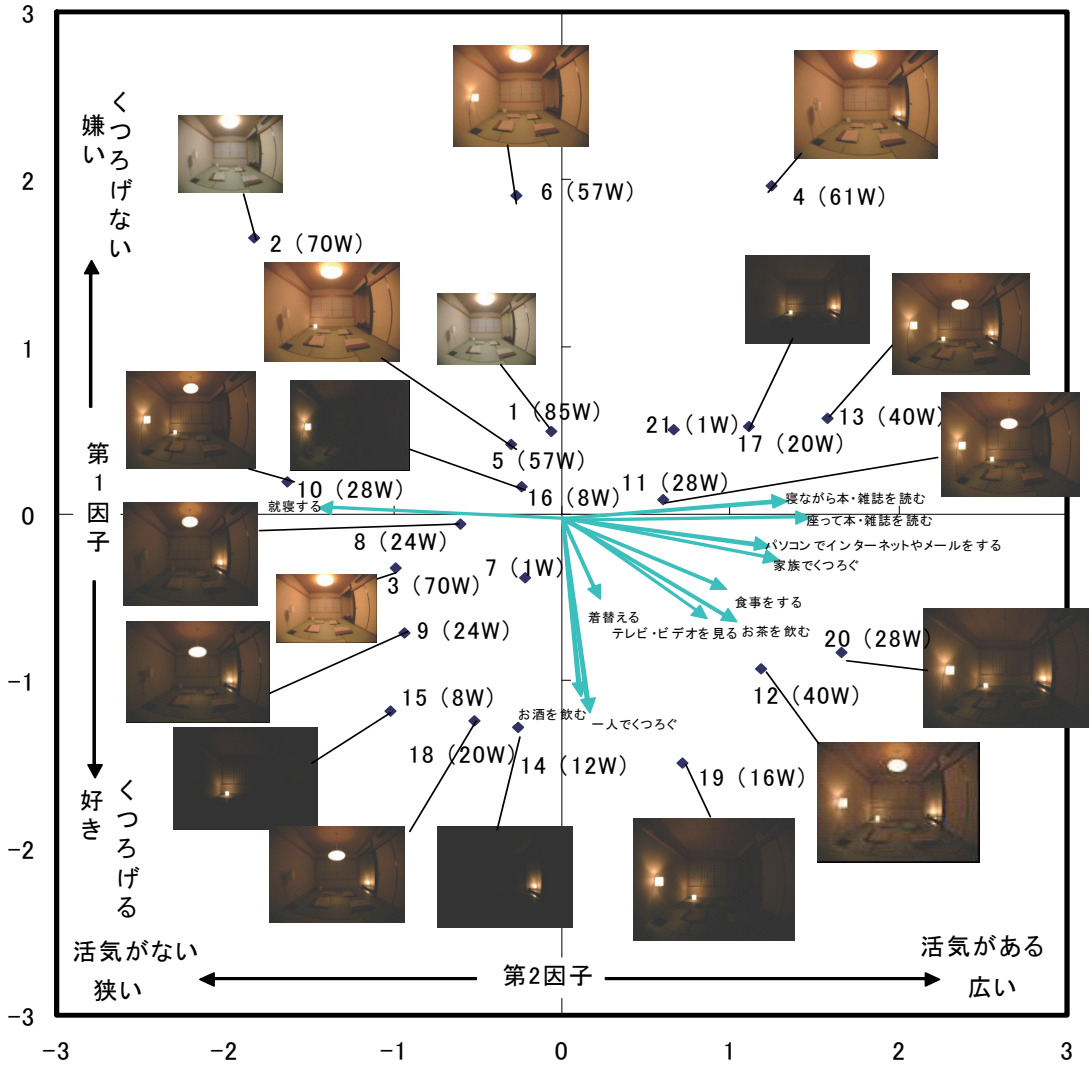


図 5.4.6　和室における雰囲気・行為への対応・電力消費（点灯W数）の関係

図 5.4.6 を考察した結果、和室の場合は、照明パターンの性質がリビング・ダイニングほど顕著な傾向が見られるわけではないことがわかった。リビング・ダイニングに比較して被験者数が少ないことと、和室の評価構造が複雑であることから、評価にばらつきが出たと推察されるが、図 5.4.6 を詳細に見れば、ある程度の傾向は見てとることができる。従って、解釈ができた部分について以下にまとめる。象限毎の全体の傾向を、ここでは省エネルギー性も併せて考察していく。

第 1 象限は、高さの低い小W数のペンダントがある場合と、壁面と床面を複数のスタンドで照らしている場合が付置しており、寝ながらもしくは座って本を読む、つまり、低い位置でのくつろぎながらの視作業に適している。

天井面から照らすW数の高いシーリングライトではなく、W数の低いペンダントを低い位置に設置することで、小W数でも和室での視作業に対応できることがわかる。

第 2 象限(くつろげない・嫌い－活気がない・狭い)には、天井からの一室一灯(昼白色)や一室一灯に近いパターン、入り口付近(画像では左手前のランプ)がスタンドで照らされているものが付置しており、暗いパターンのみ、就寝時に対応している。就寝時に適する以外のパターンである一室一灯に近いものについては、点灯W数が高いことから、和室では、それ以外の多灯分散のパターンで点灯W数を低減できる可能性が高いといえる。

第 3 象限(くつろげる・好き－活気がない・狭い)では、全体的に暗く、床の間に置かれたスタンドによる照明パターンが付置しており、最適といえる行為はないが、就寝するもしくは飲酒にはやや適している。点灯W数は全体に非常に小さい。

第 4 象限(くつろげる・好き－活気がある・広い)では、壁面・床面を照らすスタンドが多いパターン、ペンダントが高い位置(天井付近)にあるパターンが付置ししており、多くの行為(飲酒・一人もしくは家族でくつろぐ、着替え、テレビ・ビデオの視聴、お茶、食事)に適している。この象限に付置しているパターンの数は多くないが、点灯W数は低めであることから、一つの小W数のパターンで複数の行為に対応できる可能性がある。

表 5.4.5 和室の雰囲気に関する因子

評価尺度	第1因子	第2因子
くつろげる-くつろげない	0.905	-0.239
好き-嫌い	0.880	0.203
安らぎのない-安らぎのある	-0.859	0.279
落ち着きのある-落ち着きのない	0.859	-0.317
かたい-やわらかい	-0.739	-0.051
変化のない-変化のある	-0.687	-0.166
洗練されていない-洗練された	-0.601	-0.127
活気のある-活気のない	0.111	0.950
広く感じる-狭く感じる	0.021	0.905
地味に感じる-華やかに感じる	-0.218	-0.882
暗い-明るい	0.108	-0.857
はっきりした-ぼんやりした	-0.455	0.790
因子寄与率(%)	39.39	34.82

表 5.4.6 和室の生活行為と雰囲気の関係 偏回帰係数

生活行為	偏回帰係数 第1因子	偏回帰係数 第2因子	重相関係数
寝ながら本・雑誌を読む	0.020468	-0.56901	0.7749
文章を書く	0.017602	0.680427	0.8423
家族でくつろぐ	-0.17172	-0.42778	0.8414
テレビ、ビデオを見る	-0.25131	-0.35492	0.8920
パソコンでメールやインターネットをする	-0.06388	-0.49491	0.8515
お酒を飲む	-0.4416	-0.01461	0.7828
座って本・雑誌を読む	0.000852	-0.61936	0.8982
一人でくつろぐ	-0.49637	-0.04969	0.7994
食事をする	-0.10861	-0.55836	0.9068
着替える	-0.21346	-0.0886	0.5757
お茶を飲む	-0.25758	-0.44563	0.8099
就寝する	0.017602	0.680427	0.8423

以上のように、和室の場合は、たとえば一室一灯で空間の明るさ(照度値)が大きい場合でも、広くは感じられないなど、リビング・ダイニングなどとは観点の異なる評価が行われており、リビングに比べると明確な結果は得られていないが、雰囲気・生活行為への対応と省エネルギー性の確保が可能であること、一つのパターンで複数の行為に対応できる可能性があることなど、ある程度の具体的知見が得られた。

5) まとめ

多灯分散照明手法は、多くの行為がなされ、且つ様々な雰囲気が要求される部屋において適用される場合に最も有効である。本項で検討対象としたリビング・ダイニングルームや和室は、その意味で代表的な空間であるが、その他、寝室においても、読書や着替え、くつろぐなど多くの行為がなされる。

個室における行為も近年では多様化しており、これらの未検討の部屋においても同様の実験を行うことで、より確度の高い多灯分散照明手法を確立することができる。これらの検討を充実させていった上で、居住者の一日の生活行為と実験結果を参考に照明点灯状況をスケジュールとして設定し、年間電力消費量を算出するこで、住宅全体における多灯分散照明手法の効果を適切に表現することが可能となろう。なお、本研究開発においては、上記の考え方に基づき、5.5 において、まずは仮想的な試行として住宅全般における省エネ効果を算出している。

今後、より高効率なランプが登場した場合でも、本項で示した多灯分散の考え方は適用可能であると考えられる。

(三木保弘)

参考文献

1)三木保弘、宮田紀元:光源の配置と室内表面の構成が雰囲気に及ぼす影響－光の空間的配分に関する研究－、日本建築学会計画系論文集 No.488 pp.111-119、1996
2)戸倉三和子他:コンパクト形蛍光ランプを用いた多灯照明空間の光環境評価, 照明学会全国大会講演梗概集, pp.92-93, 2003
3)三木保弘他:小型蛍光ランプの多灯分散照明による雰囲気・行為への対応と省エネルギーとの両立 リビング・ダイニングの場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.415-416, 2004

5.4.2 照明点灯行動の実態と併用手法

1) はじめに

住宅における電灯照明による電力使用は夜間だけでなく、昼間も行われている。昼光で適切な明るさが得られていれば、昼間、電灯照明が点灯される割合は減少すると考えられるが、実際には様々な制約により、昼光だけでは十分な明るさが得られない場合が多い。

昼光だけでは十分な明るさが得られない場合、現在の住宅では、夜間と同様の電灯照明を点灯している場合が多いと予想され、昼間でも夜間と同じ電力を使用していると考えられる。昼光に応じた、日中の適切な電灯照明の方法を採用することで、昼間の電灯照明による電力使用量を削減できる可能性がある。しかし、実際に居住者がどのように電灯を点灯しているかについては明らかでない。

そこで、電灯照明の使用状況に関するアンケート調査および電灯の点灯行動に関する被験者実験を行った。

2) 電灯照明の使い方に関するアンケート調査

(1) 調査概要

住宅において居住者が日常どのように電灯照明を使用しているかの実態は明らかになっていない。住宅の照明にかかわる省エネ効果を評価するためにも、設置状況および居住者の使用実態を把握する必要がある。2004 年 2 月(冬季)に電灯照明の設置状況と使用状況などに関する 1 回目のアンケート調査を行い、8 月(夏季)に昼光による明るさの程度などに関する 2 回目のアンケート調査を行った。

アンケートは調査会社にモニターの抽出、アンケートの配布および回収を依頼し、アンケート用紙などの作成と回収されたアンケートのデータ入力および解析などは SWG で行うこととした。表 5.4.7 にアンケートの配布および回収状況を示す。全国を 5 つの地域に分け、戸建住宅への配布数を集合住宅への配布数の 2 倍ないし 4 倍とすることとした。関東地域は他の地域より多く配布し、1 回目の調査では 800 部のアンケートを配布し、2 回目の調査では 1 回目に回答のあったモニターから 400 戸を抽出し、配布した。

表 5.4.7 アンケート配布および回収状況

地域	1回目(冬季) 配布数 回収数 (回収率)			2回目(夏季) 配布数 回収数 (回収率)		
	戸建住宅	集合住宅	合計	戸建住宅	集合住宅	合計
関東	299 219 (0.73)	151 119 (0.79)	450 338 (0.75)	150 140 (0.93)	75 63 (0.84)	225 203 (0.90)
北海道+東北	73 46 (0.63)	27 19 (0.70)	100 65 (0.65)	36 28 (0.78)	14 11 (0.79)	50 39 (0.78)
北陸	40 25 (0.63)	10 7 (0.70)	50 32 (0.64)	21 15 (0.71)	4 5 (1.25)	25 20 (0.80)
中部+近畿	67 47 (0.70)	33 26 (0.79)	100 73 (0.73)	35 29 (0.83)	15 13 (0.87)	50 42 (0.84)
中国+四国+九州(沖縄は除く)	80 56 (0.70)	20 11 (0.55)	100 67 (0.67)	40 36 (0.90)	10 7 (0.70)	50 43 (0.86)
合計	559 393 (0.70)	241 182 (0.76)	800 575 (0.72)	282 248 (0.88)	118 99 (0.84)	400 347 (0.87)

アンケートは A4 裏表 3 枚の 6 ページ構成で、1 回目のアンケートには記入例などを記載した別紙を添付した。表 5.4.8 および表 5.4.9 にそれぞれの調査項目を示す。配布および回収は郵送で行い、回答者には薄謝を返送した。

表 5.4.8 1回目アンケート調査項目

Ⅰ	関心事 ex)環境問題に関心がある		
Ⅱ	習慣・行動 ex)現在、電灯をこまめに消灯する		
Ⅲ	明るさなどの好み ex)いつでも部屋は明るい方が好き		
Ⅳ	居間に設置されている日除けと電灯照明の種類と数		
Ⅴ	居間の配置図		
Ⅵ	居間に設置された日除けの開閉、電灯照明の点灯・消灯の状況(行為別)		
Ⅶ	非居室の電灯照明の制御方法(センサーおよびタイマーの利用)と点灯状況	1. 玄関の内側	6. 台所の流し元
		2. 玄関の外側	7. 洗面所の全般
		3. 廊下	8. 洗面台
		4. 階段	9. 脱衣所の全般
		5. 台所の全般	10. トイレ
Ⅷ	住居および居間の状況		
Ⅸ	回答者および家族の状況		

表 5.4.9 2回目アンケート調査項目

Ⅰ	居間の昼間の電灯照明の使い方		
Ⅱ	居間の日除けの開閉状況(外部状況別)		
Ⅲ	居間以外の居室の日除けおよび電灯照明の設置状況と行為別の電灯照明の点灯状況(5部屋まで)		
Ⅳ	非居室の昼光の入り具合(窓などの有無、昼光による明るさの程度)	1. 玄関の内側	5. 洗面所
		2. 廊下	6. 脱衣所
		3. 階段	7. トイレ
		4. 台所の全般	
Ⅷ	住居の状況		
Ⅸ	回答者および家族の状況		

(2) 居間の電灯照明設置状況

図 5.4.7 に居間の面積と設置されている電灯照明の台数の関係を示す。居間の面積が 30 ㎡以下では、1 台のみの設置が過半数であるが、30 ㎡を超えると 2 台以上設置する場合が多い。居間の面積が 50 ㎡を超えると 3 台以上の設置が過半数となる。

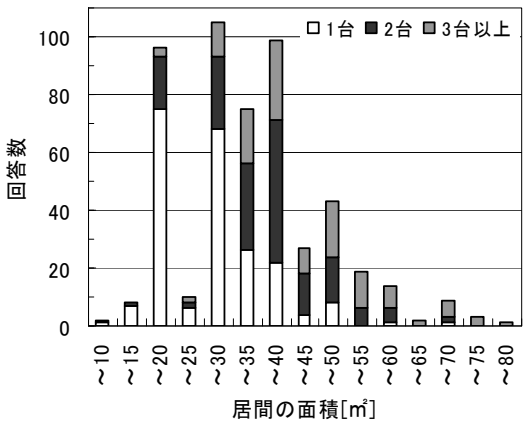


図 5.4.7 居間の面積と電灯の設置台数

図 5.4.8 に 566 戸の居間に設置されている電灯照明器具の種類ごとの総設置台数を示す。図中の折れ線は光源に蛍光ランプが使用されている割合を示す。居間に設置されている器具全体の 40%はシーリングライトで、ペンダントライトは24%であった。連続調光可能な器具は全体の 9%で、ダウンライトでは 24%、スポットライトでは 16%あった。全体の半数は調光不可能な ON/OFF のみの器具であった。蛍光ランプの使用率は全体で 76%であり、ダウンライトでも 31%あった。設置されている電灯照明器具のうち最も多かったのは、段調光可能な蛍光ランプのシーリングライトで、全体の 21%設置されていた。蛍光ランプを光源としたシーリングライトは 62%の住宅で 1 台以上設置されていた。

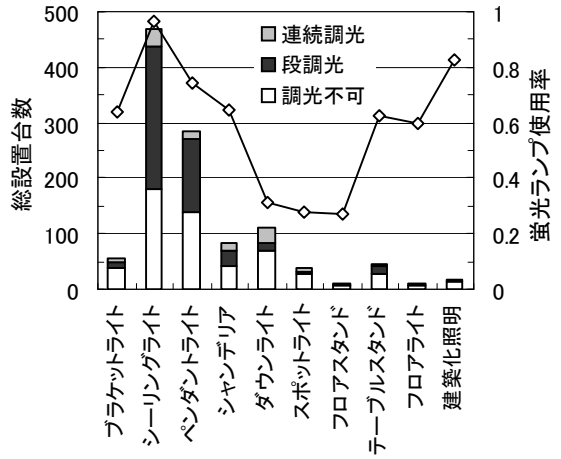


図 5.4.8 居間に設置されている電灯照明

図 5.4.9 に居間の広さと設置されている電灯照明器具の合計出力の関係を示す。光源によって発光効率が異なるため、全て蛍光ランプを使用している場合と光源に白熱ランプを含んでいる場合に分けて示している。全体的な傾向として、居間の面積が大きくなれば、電灯照明器具の合計出力も大きくなっていることがわかる。特に光源が蛍光ランプのみの場合では、その傾向が顕著に見られる。また、光源が蛍光ランプのみの場合は、光源に白熱ランプを含む場合に比べて、合計出力が小さい。光源が蛍光ランプのみの場合は居間の面積が比較的小さい範囲に多く分布している。居間の電灯照明器具の設置台数が1台の場合の92%は光源が蛍光ランプであり、設置台数が2台以上の場合は、光源に白熱ランプを含む場合が 49%であった。住宅の居間では 1 台目の電灯照明器具では蛍光ランプが光源として使われることが多い。

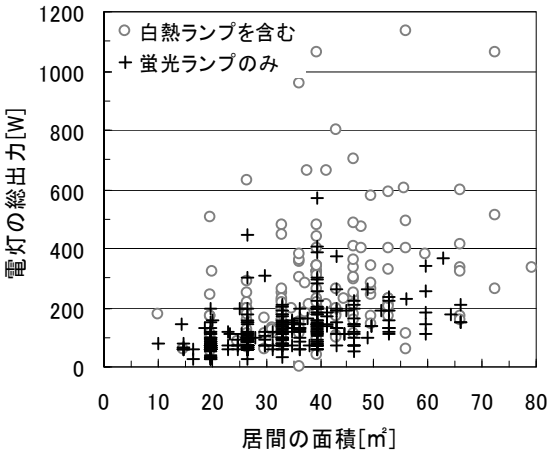


図 5.4.9 居間の広さと電灯照明の総出力

(3) 居間の昼間の電灯の使用

図 5.4.10 に昼間、居間の日除け(カーテンなど)を閉めた場合の電灯照明の点灯状況を示す。集合住宅では、戸建住宅に比べ、日除けを閉めたら常に電灯を点灯するという回答が若干多い。

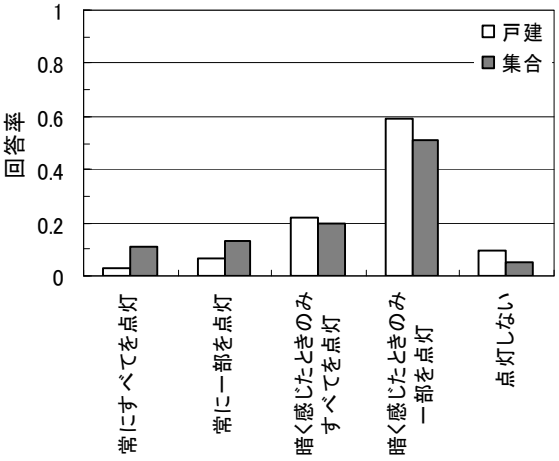


図 5.4.10 日除けを閉めた場合の電灯照明

図 5.4.11 に昼間電灯を点灯する場合、どのようにしたいかについての回答割合を示す。戸建住宅、集合住宅とも室内全体を明るくしたいという回答が 4 割以上であった。

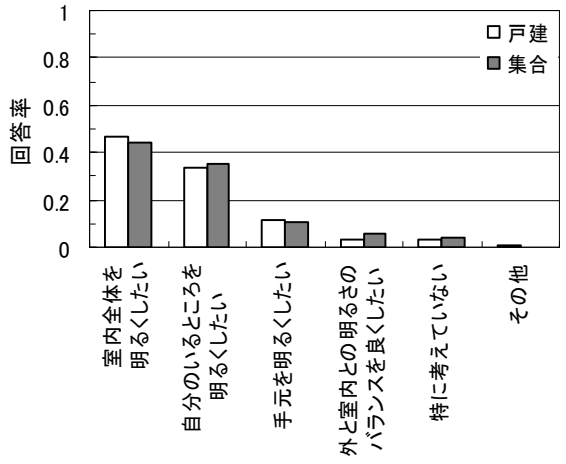


図 5.4.11 昼間、電灯を点灯する目的

(4) 非居室の電灯照明点灯状況

図 5.4.12 に戸建住宅の非居室における人感センサー、明るさセンサー、タイマーの設置状況を示す。玄関外側で人感センサーの設置が 17%あるが、全体にセンサー、タイマーの設置は少ない。玄関、流し元、トイレでは、人感センサーつきの電灯照明器具も販売されており、まだ普及していないが、今後、増えていく可能性はあると考えられる。

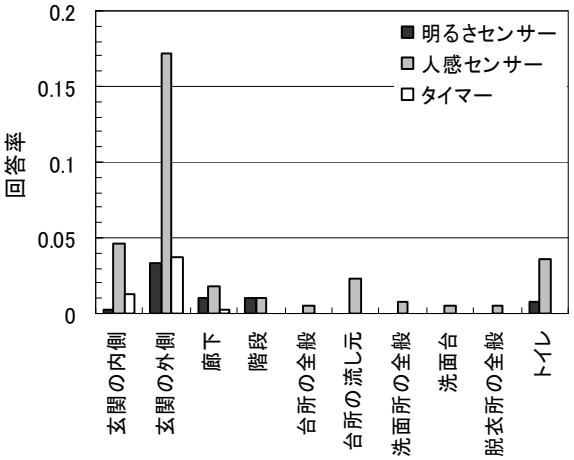


図 5.4.12 センサー、タイマーの設置割合

図 5.4.13 に玄関の電灯照明の点灯状況を示す。図 5.4.14 に玄関の昼光による明るさの状況を示す。戸建住宅では昼間の点灯は 2 割未満だが、集合住宅では半数近い。集合住宅では、昼光が「全く入ってこない」「ほとんど入ってこない」とする回答を合わせると 4 割という結果と一致する。集合住宅は戸建住宅に比べ、玄関の窓や明り取りから昼光が入るという回答が少なく、隣接する廊下や部屋から間接的に昼光が入る程度という回答が多かった。また、戸建住宅では「夜間の留守」「夜間常時」の点灯が集合住宅より多くなっており、防犯目的の点灯と考えられる。戸建住宅では廊下の夜間の点灯も集合住宅より若干多かった。

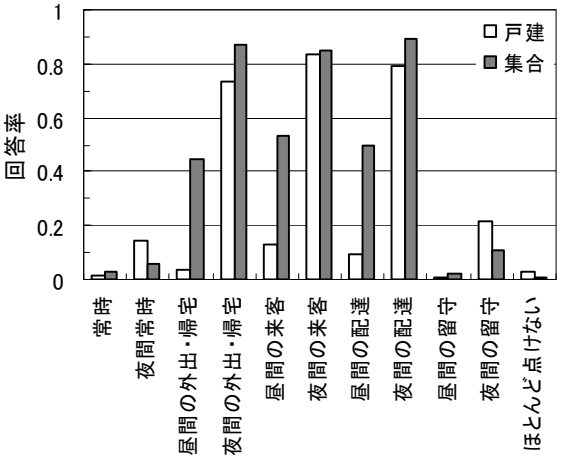


図 5.4.13 玄関の電灯照明の点灯状況

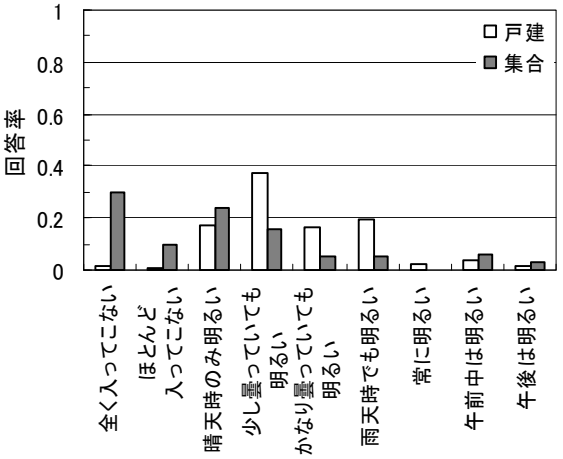


図 5.4.14 玄関の昼光による明るさの状況

図 5.4.15 に台所の電灯照明の点灯状況を、図 5.4.16 に昼光による明るさの状況を示す。玄関同様、集合住宅は昼間の点灯が多い。玄関と異なり、集合住宅でも窓から昼光が入るという回答は少なくなかったが、十分な昼光が入ってくるほどではない場合が多いと考えられる。また、隣接する居間などから間接的に昼光が入るという回答が多く、晴天時のみ明るいという回答が多いことと関係すると考えられる。

図 5.4.17に洗面所の電灯照明の点灯状況を、図 5.4.18 に昼光による明るさの状況を示す。玄関と同様、集合住宅では洗面所に窓や明り取りが少なく、隣接する廊下などから昼光が少し入ってくるものの、昼間の点灯が 7 割程度と多くなっていた。トイレでも同様の傾向が見られ、集合住宅では昼間の使用時の点灯が 8 割近く、昼光が「全く入ってこない」とする回答が 6 割を超えていた。

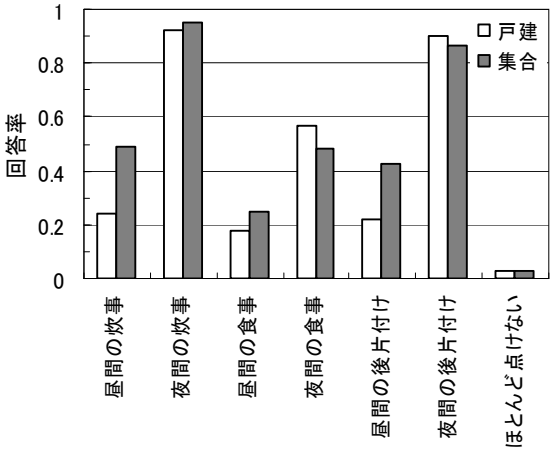


図 5.4.15 台所の電灯照明の点灯状況

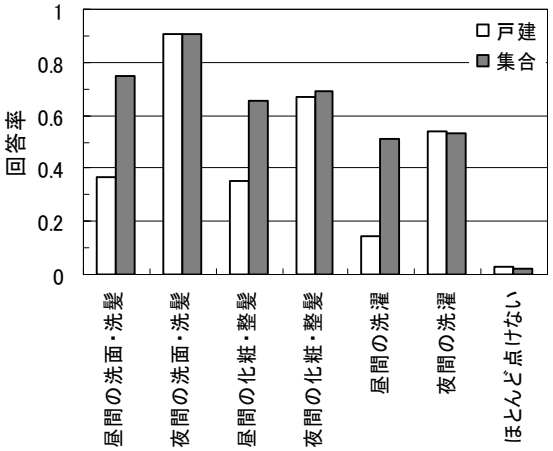


図 5.4.17 洗面所の電灯照明の点灯状況

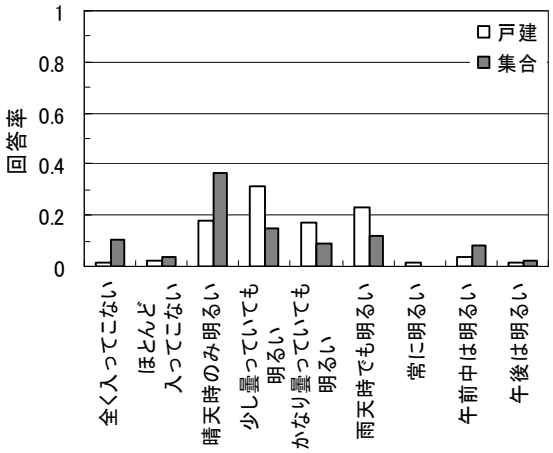


図 5.4.16 台所の昼光による明るさの状況

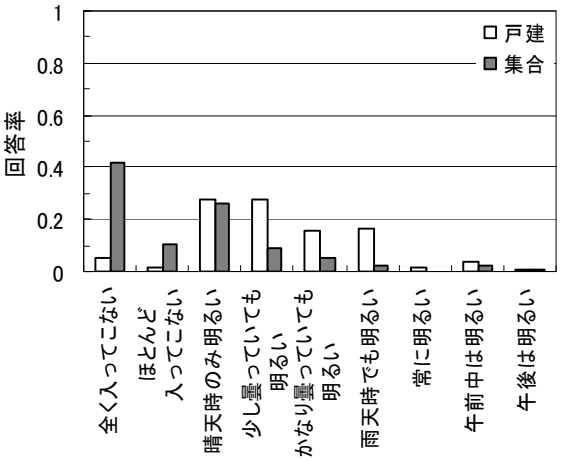


図 5.4.18 洗面所の昼光による明るさの状況

3) 電灯照明の点灯行動に関する被験者実験

(1) 実験概要

アンケートにより得られる電灯照明の点灯状況の実態は、それぞれ異なった状況に対して行われる行動であり、この点灯状況をそのままエネルギー使用量の計算などに反映することは難しい。そこで、建築研究所内の人工空を利用し、住宅居間を模した実大模型による被験者実験を行うこととした。

図 5.4.19 に実験装置の概要を、図 5.4.20 に実験室の外観を示す。人工空は直径 7m、高さ 4.5m のドームで、そのなかに 6 畳程度の居間を想定した実験室を作成した。

図 5.4.21 に実験室の概要を示す。室内の電灯照明としては、ダウンライト 16 灯、シーリングライト 1 灯、ブラケットライト 8 灯、フロアースタンド 1 灯、テーブルスタンド 1 灯を設置した。シーリングライト以外の光源は全て電球形蛍光ラ

ンプを用いた。電灯照明器具の点灯および人工空の操作は実験室内の調光操作卓で行った。

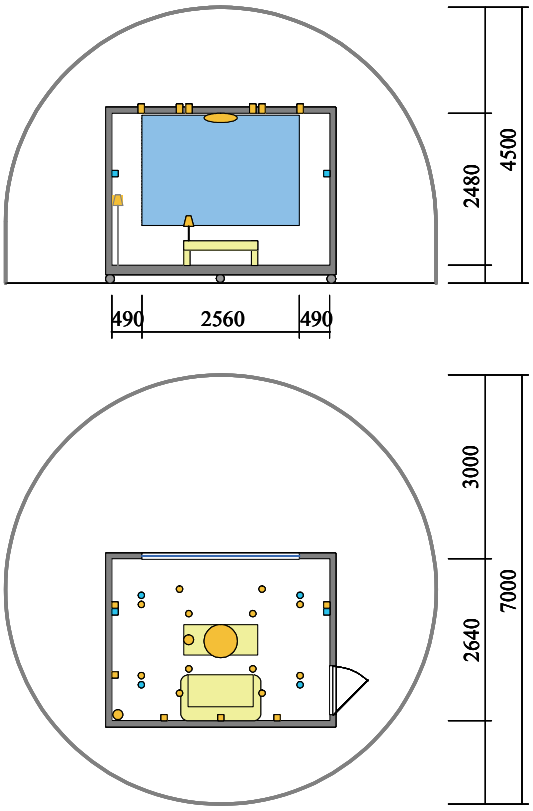


図 5.4.19 実験装置概要

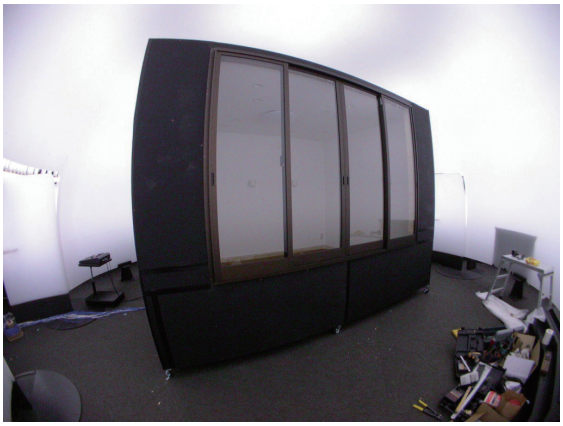


図 5.4.20 実験室外観

表 5.4.10 に実験条件を示す。電灯照明の点灯パターンは A～R の 18 パターンを設定した。点灯器具は図 5.4.21 の記号と対応している。窓から見える人工空輝度は 100～3600[cd/㎡]の 4 段階に設定し、表中の実験条件番号 1～24 の 24 条件を昼間の条件として提示した。人工空輝度 0[cd/㎡]に示した条件番号 25～41 の 17 条件を夜間の条件として提示した。

表 5.4.11 に被験者の概要を示す。被験者は 20 歳代～30 歳代の 24 名で、1 名または 2 名 1 組で実験に参加した。図 5.4.22 に実験風景を示す。

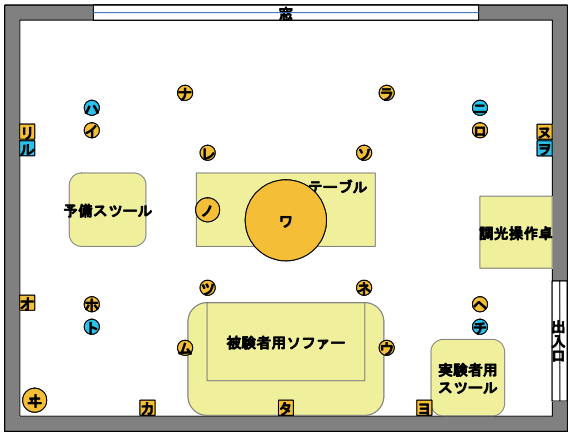


図 5.4.21 実験室概要

表 5.4.10 実験条件

点灯条件	点灯器具 図6.4.15参照	D:ダウンライト B:ブラケットライト C:シーリングライト F:フロアースタンド T:テーブルスタンド	光源光色 [K]	器具出力 [W]	合計 台数 [台]	合計 出力 [W]	実験条件番号 人工空輝度[cd/㎡] 3600	1100	330	100	0
A	なし	なし	–	0	0	0	1	4	8	15	
B	イ・ロ	窓D	2800	12	2	24	2	5	9	16	25
C	ハ・ニ	窓D	5000	12	2	24			10	17	26
D	ホ・ヘ	奥D	2800	12	2	24	3	6	11	18	27
E	ト・チ	奥D	5000	12	2	24			12	19	28
F	リ・ヌ	窓B	2800	8	2	16		7	13	20	29
G	ル・ヲ	窓B	5000	8	2	16			14	21	30
H	ワ	中央C	3000	24	1	24				22	31
I	カ・ヨ・タ	奥B	2800	8	3	24				23	32
J	リ・オ	左B	2800	8	2	16				24	33
K	レ・ソ・ツ・ネ	中D	2800	12	4	48					34
L	イ・ロ・ホ・ヘ	窓D奥D	2800	12	4	48					35
M	イ・ロ・カ・ヨ	窓D奥B	2800	10	4	40					36
N	ホ・ヘ・リ・ヌ	窓B奥D	2800	10	4	40					37
O	リ・ヌ・カ・ヨ	窓B奥B	2800	8	4	32					38
P	ナ・ラ・ム・ウ	窓奥中D	2800	12	4	48					39
Q	キ	隅F	2800	8	1	8					40
R	ノ	机T	2800	8	1	8					41

表 5.4.11 被験者概要

	人数	年齢	身長	視力 右	視力 左
女性	6	21～29	150～164	0.7～1.5	0.8～1.5
男性	18	22～38	157～183	0.7～1.5	0.3～1.5
全体	24	27.2	166.5	1.1	1.1



図 5.4.22 実験風景

被験者は実験室に入室し、実験者から実験の進め方についての説明を受けながら実験室の光環境に順応し、順応後 1 回目の評価を行う。被験者の評価終了後、実験者は実験条件を変更し、約 2 分間の順応時間後、被験者は 2 回目の評価を行う。

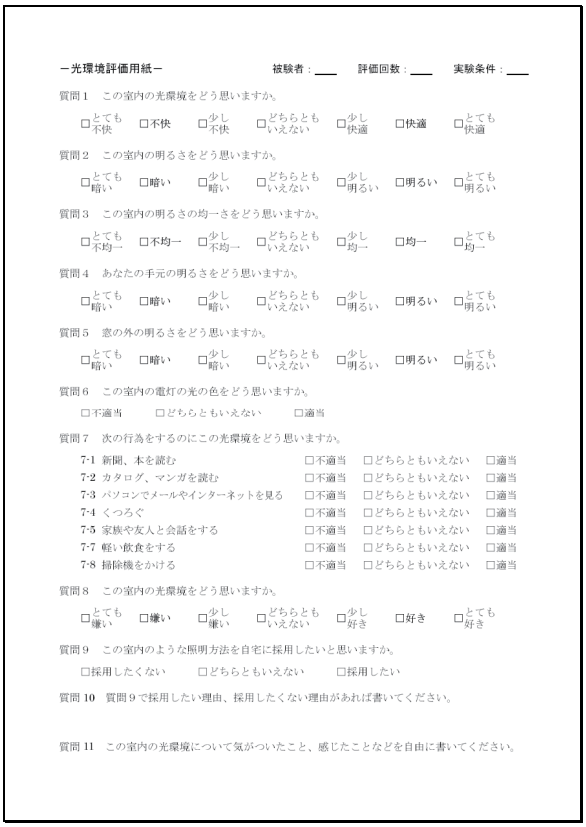
条件変更、評価を繰り返し、設定した 41 条件の評価を行った。人工空の輝度は 90 秒かけてゆっくりと変化させたが、電灯照明の点灯パターンは ON/OFF で瞬時に変化させた。実験の前半は昼間の 24 条件、後半はカーテンを閉め、夜間の 17 条件を提示した。前半、後半それぞれで実験条件をランダムに提示した。41 条件の評価終了後、被験者に電灯照明を実際に操作してもらい、夜間および人工空輝度 100[cd/㎡]の時の好みの照明環境を作ってもらい、同様の評価をしてもらった。

表 5.4.12 に評価項目を示す。7 段階および 3 段階評価の場合、「どちらともいえない」を中間の選択肢として用いた。電灯照明が点灯していない条件では質問6、質問9、質問 10 を削除し、夜間の条件では質問5を削除した評価用紙を用いた。図 5.4.23 に実際の評価用紙を示す。被験者には評価ごとに評価用紙が渡され、評価後すぐに回収した。

表 5.4.12 評価項目

	評価対象	選択肢	
質問1	室内の光環境	とても不快～とても快適	7段階
質問2	室内	とても暗い～とても明るい	7段階
質問3	室内の明るさ	とても不均一～とても均一	7段階
質問4	手元	とても暗い～とても明るい	7段階
質問5	窓の外	とても暗い～とても明るい	7段階
質問6	室内の電灯の光の色	不適当～適当	3段階
質問7	7種類の行為に対して	不適当～適当	3段階
質問8	室内の光環境	とても嫌い～とても好き	7段階
質問9	照明方法	採用したくない～採用したい	3段階
質問10	採用理由	記述	
質問11	気づいたことなど	記述	

被験者実験終了後、41 の実験条件および被験者が設定した 48 の点灯パターンについて、水平面照度分布と目の高さの鉛直面照度の測定、輝度分布画像の作成を行った。表 5.4.13 に各実験条件での平均水平面照度(床上 400[mm]、35 測定点の幾何平均値)および鉛直面照度(被験者着席位置床上 1050[mm])を示す。夜間の条件での平均水平面照度は最大で 121[lx]、最小で 19.8[lx]と比較的低照度である。図 5.4.24 に輝度分布画像の一例を示す。



－光環境評価用紙－　　被験者：＿＿　評価回数：＿＿　実験条件：＿＿

質問1　この室内の光環境をどう思いますか。

□とても不快　□不快　□少し不快　□どちらともいえない　□少し快適　□快適　□とても快適

質問2　この室内の明るさをどう思いますか。

□とても暗い　□暗い　□少し暗い　□どちらともいえない　□少し明るい　□明るい　□とても明るい

質問3　この室内の明るさの均一さをどう思いますか。

□とても不均一　□不均一　□少し不均一　□どちらともいえない　□少し均一　□均一　□とても均一

質問4　あなたの手元の明るさをどう思いますか。

□とても暗い　□暗い　□少し暗い　□どちらともいえない　□少し明るい　□明るい　□とても明るい

質問5　窓の外の明るさをどう思いますか。

□とても暗い　□暗い　□少し暗い　□どちらともいえない　□少し明るい　□明るい　□とても明るい

質問6　この室内の電灯の光の色をどう思いますか。

□不適当　□どちらともいえない　□適当

質問7　次の行為をするのにこの光環境をどう思いますか。

7-1 新聞、本を読む　□不適当　□どちらともいえない　□適当
7-2 カタログ、マンガを読む　□不適当　□どちらともいえない　□適当
7-3 パソコンでメールやインターネットを見る　□不適当　□どちらともいえない　□適当
7-4 くつろぐ　□不適当　□どちらともいえない　□適当
7-5 家族や友人と会話をする　□不適当　□どちらともいえない　□適当
7-7 軽い飲食をする　□不適当　□どちらともいえない　□適当
7-8 掃除機をかける　□不適当　□どちらともいえない　□適当

質問8　この室内の光環境をどう思いますか。

□とても嫌い　□嫌い　□少し嫌い　□どちらともいえない　□少し好き　□好き　□とても好き

質問9　この室内のような照明方法を自宅に採用したいと思いますか。

□採用したくない　□どちらともいえない　□採用したい

質問10　質問9で採用したい理由、採用したくない理由があれば書いてください。

質問11　この室内の光環境について気がついたこと、感じたことなどを自由に書いてください。

図 5.4.23 評価用紙

表 5.4.13 照度測定値

点灯条件	照度[lx](左上:水平 左下:鉛直 右:水平/鉛直) 人工空輝度[cd/㎡] 3600		1100		330		100		0	
A	1475 1806	0.82	464 559	0.83	126 156	0.81	38.9 50.2	0.77		
B	1527 1868	0.82	484 565	0.86	165 172	0.96	78.5 67.3	1.17	50.4 32.9	1.53
C					165 176	0.94	77.9 70.4	1.11	46.7 29.2	1.6
D	1530 1842	0.83	504 569	0.89	173 174	0.99	84.1 69.4	1.21	53.1 30.3	1.75
E					168 173	0.97	81.6 67	1.22	51.7 27.5	1.88
F			483 569	0.85	155 174	0.9	67.1 62.9	1.07	37.4 26.5	1.41

点灯条件	照度[lx] 人工空輝度[cd/㎡] 330		100		0	
G	163 179	0.91	72.2 70.6	1.02	41.1 28.2	1.46
H			146 146	1	118 110	1.07
I			101 65.7	1.53	68 30.2	2.25
J			71.8 65.9	1.09	36.9 27.1	1.36
K					121 91.6	1.32
L					111 70.1	1.59

点灯条件	照度[lx] 輝度 0	
M	99.4 50.7	1.96
N	96.9 61.9	1.57
O	88.2 46	1.92
P	114 71.1	1.6
Q	19.8 11.9	1.66
R	27.4 29.7	0.92

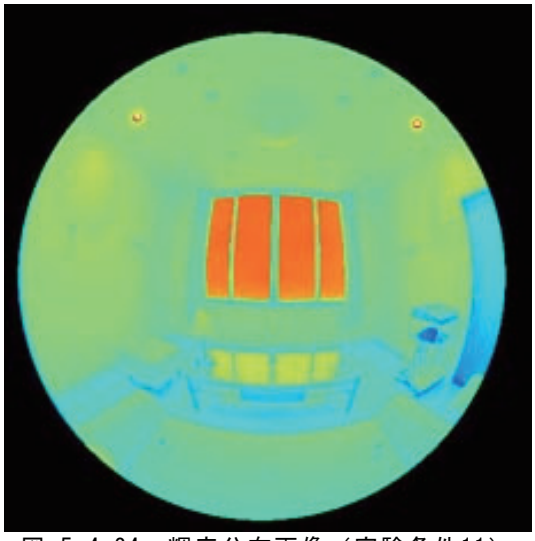


図 5.4.24 輝度分布画像（実験条件11）

(2) 室内の光環境の快適さ

図 5.4.25 に昼間の実験条件での光環境の快適さ評価の結果を、図 5.4.26 に夜間の実験条件での評価結果を示す。窓面輝度 3600[cd/㎡]と 1100[cd/㎡]では、点灯パターンによらず、不快と回答した被験者が少ない。

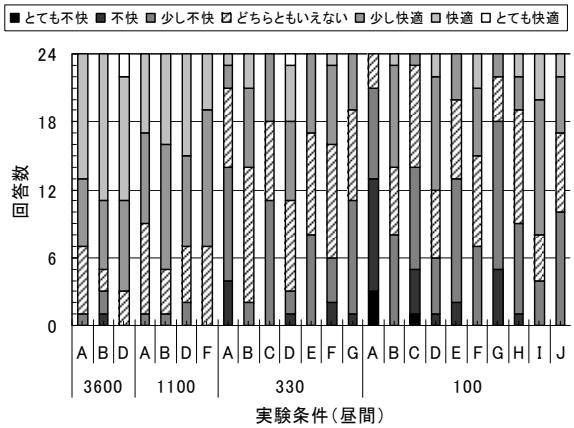


図 5.4.25 光環境の快適さ評価（昼間）

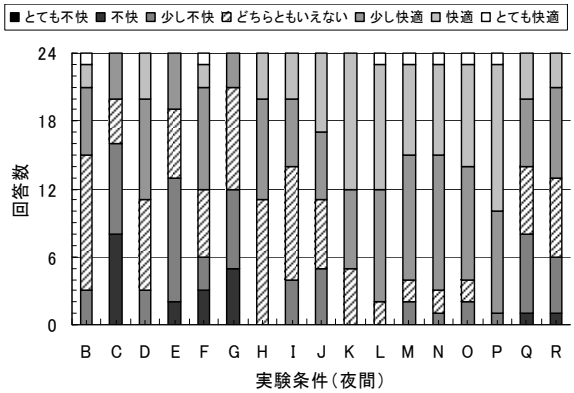


図 5.4.26 光環境の快適さ評価（夜間）

同じ窓面輝度で窓側のダウンライトが点灯するパターンＢと室奥側が点灯するパターンＤとを比較すると、大きな違いは見られなかった。昼間、夜間とともに光源が色温度 5000[K]の昼白色である点灯パターンＣ、Ｅ、Ｇの３つのパターンで不快と回答する被験者の割合が大きくなっている。今回設定したような比較的照度の低い空間では、色温度の低い電球色が好まれたことがわかる。また、ダウンライトやブラケットライトのような器具から昼白色の光が発せられることには違和感があるという意見も多く、このような器具には電球色の光源を用いることが適当と言える。

図 5.4.27 に昼間の窓面輝度 100[cd/㎡]と夜間とで同じ点灯パターンの条件のみの結果を示す。同じ点灯パターンでも評価に違いが見られ、今回設定した条件では、夜間の方が良い評価をしている被験者が多かった。昼間と夜間では好まれる照明方法に違いがあると考えられる。

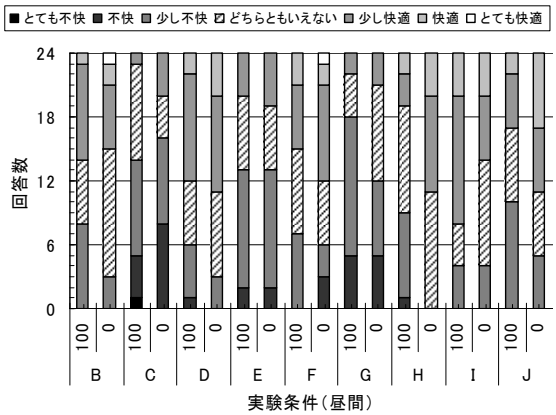


図 5.4.27 光環境の快適さ評価（昼夜比較）

(3) 室内の明るさ

図 5.4.28 に昼間の実験条件での室内の明るさ評価の結果を、図 5.4.29 に夜間の実験条件での評価結果を示す。窓面輝度 3600[cd/㎡]と 1100[cd/㎡]では暗いと回答する被験者は少ないが、窓面輝度 330[cd/㎡]以下では暗いと回答する被験者が多くなっている。シーリングライトを用いたパターンＨは水平面平均照度も高く、明るいと評価した被験者が多いが、光環境を快適とした被験者は必ずしも多くなく、

明るさと快適さには違いがあることがわかる。

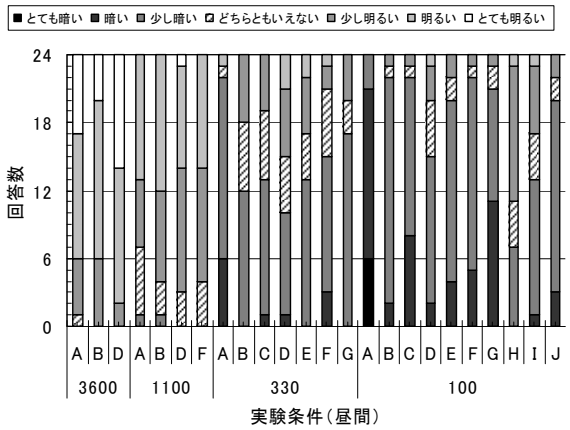


図 5.4.28 室内の明るさ評価（昼間）

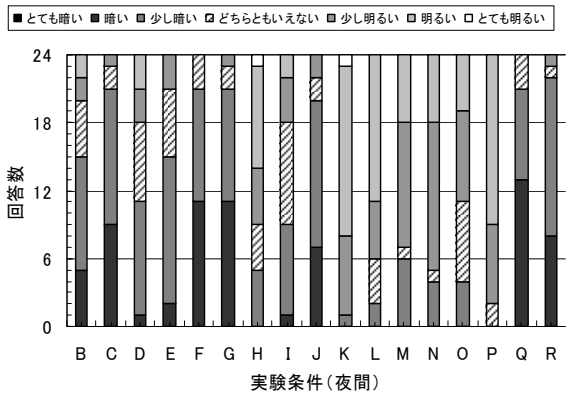


図 5.4.29 室内の明るさ評価（夜間）

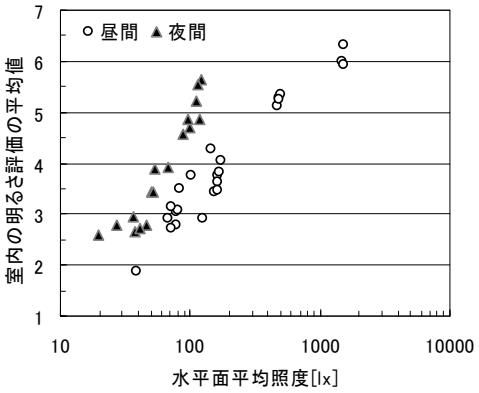


図 5.4.30 水平面照度と明るさ評価の関係

図 5.4.30 に室内水平面平均照度と室内の明るさ評価の各実験条件の平均値の関係を示す。明るさ評価は、とても暗い＝1、とても明るい＝7として、各評価を数値化し、評価カテゴリー間を等しいものとして、24 名の被験者の評価を算術平均したものである。水平面平均照度が大きくなると、明るさ評価の平均値も大きくなる傾向が見られるが、夜間の条件では同程度の照度でも、評価に 1 カテゴリー以上の違いが見られる。また、昼間に比べると、夜間は低い照度でも評価が高くなっていることがわかる。

(4) 行為に対する光環境の適当さ

表 5.4.14 に評価に用いた 7 種類の行為を示す。これらの行為は居間でよく行われると考えられる行為であり、実験室には本、ノートパソコンなどを用意し、評価の参考になるようにした。また、居間で多く行われる行為の中に「テレビを見る」があるが、今回の実験では、テレビを置くことが不可能であったため、行為から除いた。

表 5.4.14 評価に用いた居間での行為

1	新聞、本を読む	2	カタログ、マンガを読む
3	パソコンでメールやインターネットを見る	4	くつろぐ
5	家族や友人と会話をする	6	軽い飲食をする
7	掃除機をかける		

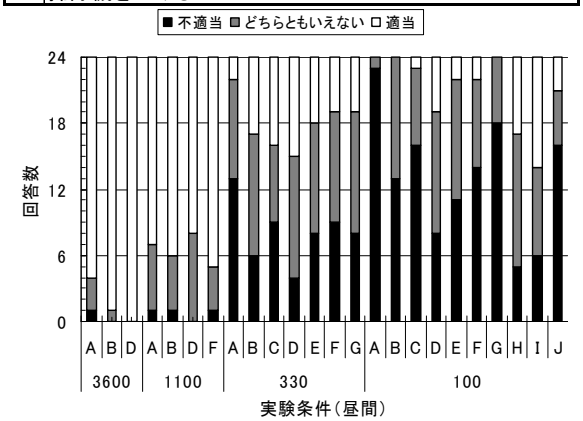


図 5.4.31 「本を読む」の評価（昼間）

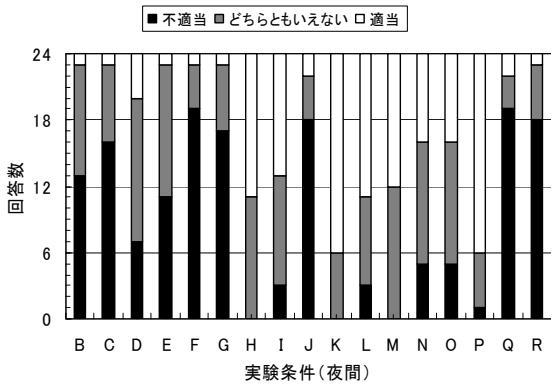


図 5.4.32 「本を読む」の評価（夜間）

図 5.4.31 に昼間の条件での、図 5.4.32 に夜間の条件での「新聞、本を読む」という行為に対する被験者の評価を示す。昼間の条件では、窓面輝度が高い条件、つまり窓から多くの光が入る条件で適当とする被験者が多く、夜間の条件では、パターンK～Pの点灯器具が4

台の条件で適当とする被験者が多いことから、室内が明るい方が適当とされるとわかる。

図 5.4.33 に水平面平均照度と「本、新聞を読む」のに適当と回答した被験者の割合の関係を示す。水平面照度が大きくなると適当とする被験者も多くなっている。

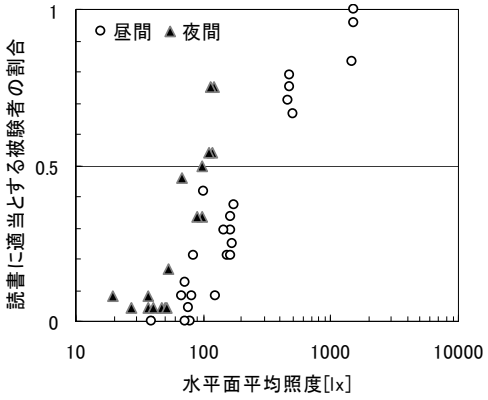


図 5.4.33 水平面照度と「本を読む」評価

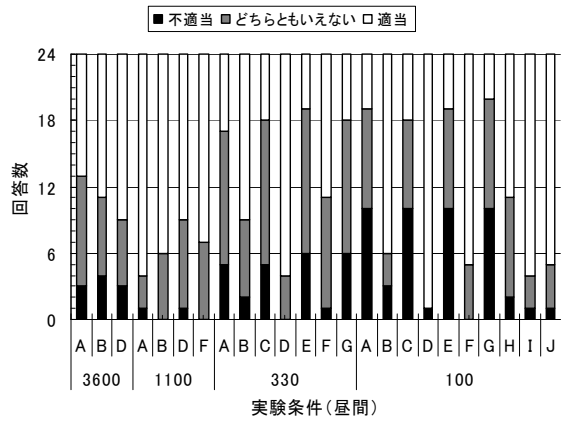


図 5.4.34 「くつろぐ」の評価（昼間）

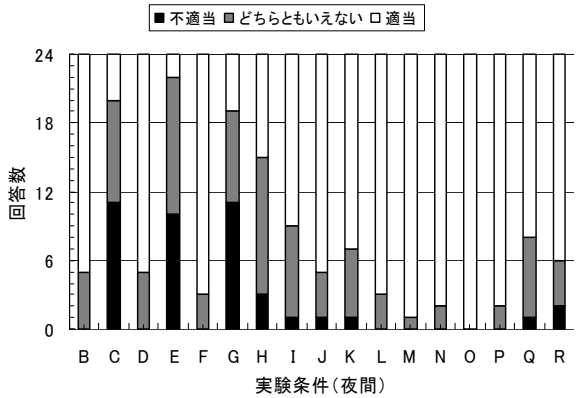


図 5.4.35 「くつろぐ」の評価（夜間）

図 5.4.34 と図 5.4.35 に「くつろぐ」という行為に対する被験者の評価を示す。同じ窓面輝度でBとC、DとE、FとGを比較すると、光源が電球色であるB、D、Fのほうが、光源が昼白色である C、E、G より適当とする評価が多い。「新聞、本を読む」行為ではこのような違いは見られなかったが、光環境の快適さでは同様の傾向が見られた。これらのことから、電灯照明の光源の色は、視作業に対する評価に影響を与えることは少ないが、居間空間としての評価に与える影響は少なくないといえる。

図 5.4.36 に水平面平均照度と「くつろぐ」のに適当と回答した被験者の割合の関係を示す。昼間の条件で水平面照度が大きい場合、くつろぐのに適当とする被験者が少なくなっている。

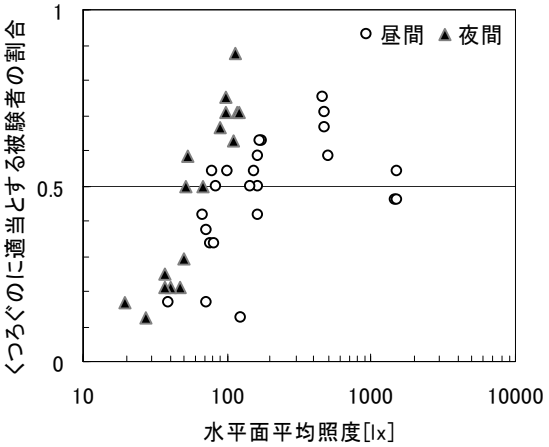


図 5.4.36 水平面照度と「くつろぐ」評価

(5) 快適さ評価にかかわる評価

光環境の快適さ(質問 1)を従属変数、明るさ、均一さ、光色など(質問 2～6)を独立変数として数量化Ⅱ類を行った。快適さは 7 段階の評価を「不快」「どちらともいえな」「快適」の 3 カテゴリーにし、それ以外の 7 段階の評価は 5 つのカテゴリーにして計算を行った。

図 5.4.37 に昼間の条件(点灯条件 B～J)、図 5.4.38 に夜間の条件(点灯条件 B～R)のカテゴリースコアを示す。どちらも「快適」のサンプルスコアが負、「不快」が正になる。昼間の条件では「室内の明るさ」のレンジが大きく、夜の条件では「電灯の光の色の適当さ」のレンジが大きい。夜間の場合、電灯の光の色が適当でないと光環境が不快になる。

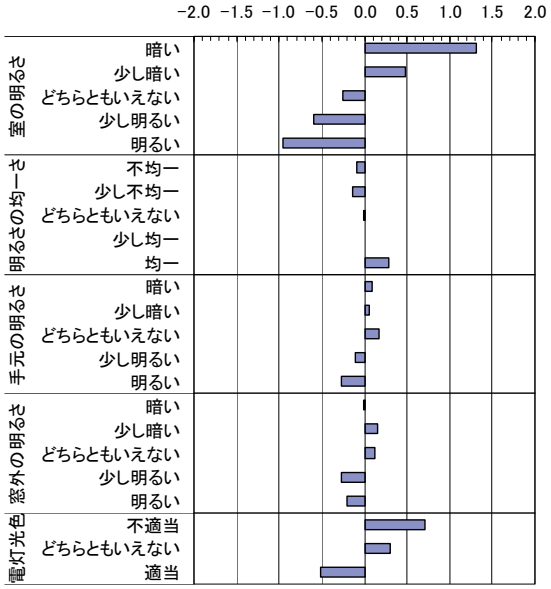


図 5.4.37 カテゴリースコア（昼間）

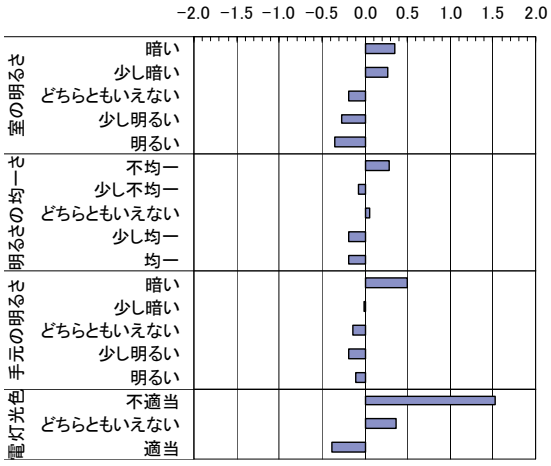


図 5.4.38 カテゴリースコア（夜間）

(6) 快適さ、好きさにかかわる行為

光環境の快適さ(質問 1)、好きさ(質問 8)を従属変数、行為にたいする適当さ(質問 7.1～7.7)を独立変数として数量化Ⅱ類を行った。

快適さ、好きさは 7 段階の評価を「不快・嫌い」「どちらともいえな」「快適・好き」の 3 カテゴリーにして、全条件を用いて計算を行った。

図 5.4.39 に「光環境の快適さ」、図 5.4.40 に「光環境の好きさ」のカテゴリースコアを示す。図 5.4.39 では「不快」が負、図 5.4.40 では「嫌い」が負になる。「好きさ」では「快適さ」より「くつろぐ」のレンジが大きく、影響が大きいことがわかる。

4) まとめ

アンケート調査により実際の住宅の電灯照明の設置状況および点灯状況の概要がわかった。被験者実験により快適な光環境に必要な条件がわかった。今後これらを実際の具体的な設計に生かしていくことが重要である。

（戸倉三和子）

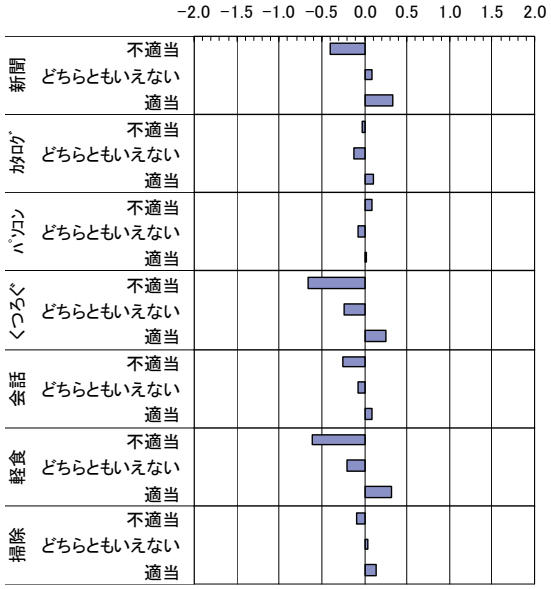


図 5.4.39 カテゴリースコア（快適さ）

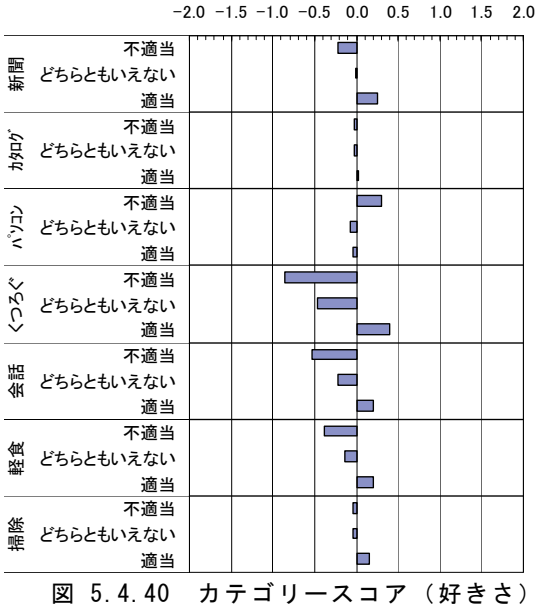


図 5.4.40 カテゴリースコア（好きさ）

5.4.3 天気応答型昼光照明制御システム

1) はじめに

近年、昼光照明の導入による照明負荷低減策として、昼光センサや人感センサを用いて開口部の日射遮蔽装置や人工照明を制御する昼光照明制御システムが開発され、空調制御システムとともにオフィスビルの BEMS に導入されている。

従来の昼光照明制御システムは、開口部側の照明機器に直接取り付けられた個別のセンサを用いて人工照明を制御するものが多い。しかし、個別制御によるグレアの発生や、運用コストの増大などの問題点がある。また、これらの技術は大規模建築への導入が一般的で、住宅など小規模建築には応用された例が少なく、自立循環型住宅への導入に対応できる要素技術の開発が期待される。

そこで本項では、昼光センサによる制御に変わる昼光照明制御システムとして、全天空輝度分布を用いて、時々刻々と変化する開口部からの入射光量を室の任意の点において予測し、人工照明と日射遮蔽装置の制御により室の照度分布を常時一定にする天気応答型昼光照明制御システムの概念を提案した。また、昼光照明と人工照明の併用により、人工照明の過剰な消費電力をどの程度抑制することが可能かを、昼光照明制御システムのモデルを作成してシミュレーションを行い、人工照明の調光による省電力率を示すことにより検討した。

2) 研究方法

デジタルカメラのカラー画像データから輝度分布を求めることができるビデオ測色法 [1),2)]を用いて、9 時から 17 時までにおける各時刻の全天空輝度分布を算出し、昼光照明による室内作業面照度を算出する方法を導出した。これより、昼光人工光併用照明による室内作業面照度を算出した。さらに、この昼光照明制御システムを建築モデルに適用し、削減可能な消費電力量を算出することでシステムの省エネルギー性を評価した。

3) 天気応答型昼光照明制御システムの概念

(1) 制御システムの概要

「天気応答型昼光照明制御システム」とは、デジタルカメラのカラー画像データから全天空輝度分布を算出することができるビデオ測色法を用いて建築空間の光環境を時々刻々と予測し、適切な光環境の水準を満たすように制御するものである。

(2) 制御システムのアルゴリズム

考案した昼光照明制御システムのフローチャートを図 5.4.41 に示す。

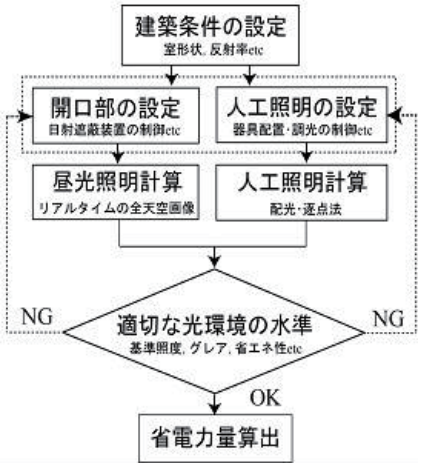


図 5.4.41 昼光照明制御システムのフローチャート

まず、室形状および室内各面の反射率等の建築条件を設定する。次に室の開口部および人工照明の設定を行い、リアルタイムの実測データに基づく昼光照明計算と人工照明計算を行う。次に、昼光照明計算と人工照明計算により算出した結果が適切な光環境の水準を満足するように日射遮蔽装置の制御と人工照明の制御を繰り返すものである。

4) 天空輝度分布に基づく作業面照度の算出法

ここでは、ビデオ測色法を用いて算出した全天空輝度分布を用いて昼光および人工照明による室内作業面照度を算出する方法を述べる。

(1) 作業面照度計算法

作業面上の任意の受照点 P における昼光照明による直接照度 E_{Nd} [lx]を(1)式により算出する。また、人工照明による点 P の直接照度 E_{Ad} [lx]を逐点法を用いて(2)式により算出する。

$$E_{Nd}=\pi\sum_i \tau_i m_i R_i L_i c_i \quad \cdots(1)$$

$$E_{Ad}=\frac{I(\theta,\varphi)\cos\theta}{r^2} \quad \cdots(2)$$

ただし、i:天空あるいは地物の分割要素、τ_i:窓面透過率、m_i:汚染による窓面の保守率、R_i:窓面積有効率、L_i:輝度[cd/m2]、c_i:立体角投射率、$I(\theta,\varphi)$:配光、r:光源と点Pの距離[m]。

また作業面の間接照度 E_r[lx]は作業面切断公式を用いて(3)式により算出する。

$$E_r=\frac{(\Phi_1\rho_1+\Phi_2)\rho_2}{S(1-\rho_1\rho_2)} \quad \cdots(3)$$

ただし、S:作業面面積[m²]、Φ_1:窓から作業面下方に入射する光束[lm]、Φ_2:窓から作業面上方に入射する光束[lm]、ρ_1:作業面下方の平均反射率、ρ_2:作業面上方の平均反射率。

(1)～(3)式で求めた作業面照度から(4)式により、作業面全照度 E[lx]を求める。

$$E=E_{Nd}+E_{Ad}+E_r \quad \cdots(4)$$

(2) ビデオ測色法による作業面照度の測定

a ビデオ測色法の概要

ビデオ測色法は、デジタルカメラの画像データを RGB 値に変換し、それらを色彩較正することで三刺激値の絶対値 X、Y、Z に変換して輝度を求めるという方法である。これを用いれば場所や時間を選ばずに測定点における全天空輝度分布を容易に求めることができる。ここでは(1)式の輝度 L_i を、ビデオ測色法を用いて測定し、昼光照明計算に反映させる方法を示す。

ビデオ測色法では、カラー画像の各画素の正規化ビデオ信号値(R_v、G_v、B_v)は、較正関数(5)式と(6)式により CIE XYZ の 3 刺激値の絶対値(X、Y、Z)に変換される。

$$R_{vs}=a_{r0}(E_v)+a_{r1}(E_v)*R_v+a_{r2}(E_v)*R_v^2$$
$$G_{vs}=a_{g0}(E_v)+a_{g1}(E_v)*G_v+a_{g2}(E_v)*G_v^2$$
$$B_{vs}=a_{b0}(E_v)+a_{b1}(E_v)*B_v+a_{b2}(E_v)*B_v^2 \quad \cdots(5)$$

$$X=0.5880R_{vs}+0.1798G_{vs}+0.1828B_{vs}$$
$$Y=0.2998R_{vs}+0.6056G_{vs}+0.1043B_{vs}$$
$$Z=0.0000R_{vs}+0.0679G_{vs}+1.0201B_{vs} \quad \cdots(6)$$

b 全天空輝度分布の測定方法

デジタルカメラ(Nikon D1)に等距離射影方式の魚眼レンズ(Nikon Fisheye Converter FC-E8 0.21x)を特製のアタッチメントを介して取り付け、9 時から 17 時まで絞り優先オートで絞り値 F を最大値 22 に固定し、10 分おきに全天空画像をインターバル撮影した。

インターバル撮影を行う目的は、天気の変化に連動する昼光照明制御を行うために、9 時から 17 時の就業時間における各時刻の天空輝度分布データを得ることにある。デジタルカメラの画像は IEEE1394 インターフェイスを介し、専用ソフト Nikon Capture を用いてノートパソコン(DELL、INSPIRON3700)に取り込んだ。撮影した画像の絞り値 F およびシャッタースピード S[s]から、(7)式により各画

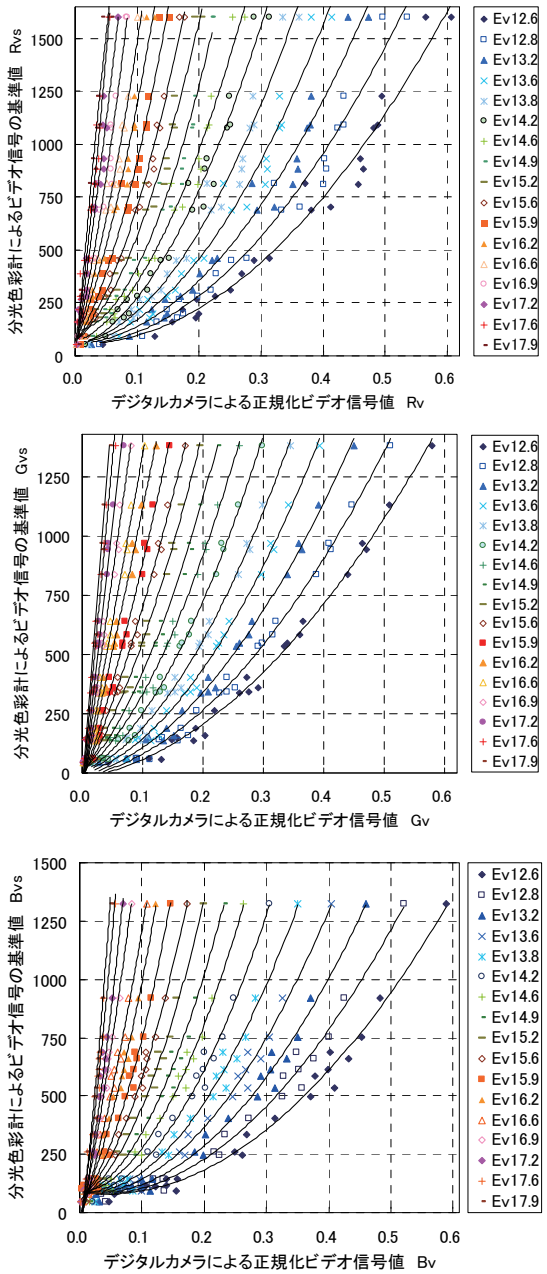


図 5.4.42 ビデオ測色法の較正関数

像の E_v 値を算出した。

$$Ev = \log_2(F^2/S) \qquad \cdots(7)$$

図 5.4.42 および表 5.4.15 に示すビデオ測色法の較正関数のパラメータを E_v 値により決定し、画像データから全天空輝度分布を算出する。

測定場所は京都大学工学部 7 号館(東経 135 度 47 分、北緯 35 度 1 分、海抜 90m)の屋上である。測定日時は 2004 年 1 月 27 日～2004 年 2 月 2 日である。

Nikon Capture の設定により、京都大学工学部 7 号館屋上で 9 時から 17 時まで 5 分おき、あるいは 10 分おきに全天空画像のインターバル撮影を行った。

図 5.4.43 にデジタルカメラを、図 5.4.44 に測定風景を示す。測定期間中に 194 枚の全天空画像を撮影した。全天空画像と全天空輝度分布の算出例を図 5.4.45(a)～(d)に示す。

c 等距離射影方式の全天空画像による立体角投射率の算出

等距離射影魚眼レンズを用いたので、(1)式で用いる立体角投射率の値も等距離射影方式により算出する。図 5.4.46 に示すように、単位半球面上の点の座標(x、y、z)は等距離射影画像上の点(x_1、y_1)に対応し、とすると、(8)式で表される。

$$r_1 = \frac{2}{\pi}\sin^{-1} r \quad x_1 = \frac{r_1}{r}x \quad y_1 = \frac{r_1}{r}y \qquad \cdots(8)$$

表 5.4.15 較正関数のパラメータ

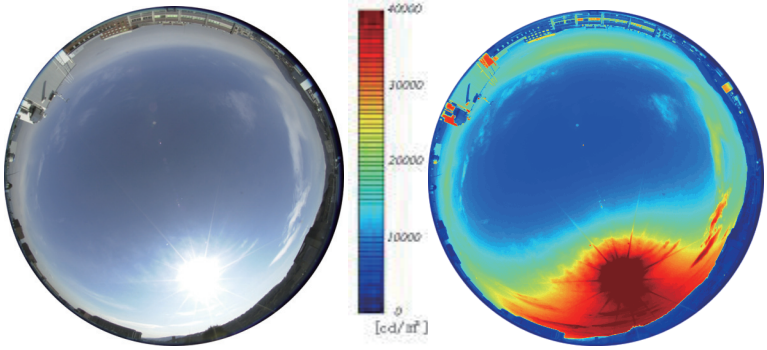
Ev	ar0(Ev)	ar1(Ev)	ar2(Ev)	R2乗値	ag0(Ev)	ag1(Ev)	ag2(Ev)	R2乗値	ab0(Ev)	ab1(Ev)	ab2(Ev)	R2乗値
12.8	5.30E+01	4.30E+01	5.54E+03	0.9741	1.24E+01	2.08E+02	4.97E+03	0.9777	8.11E+01	−2.73E+02	5.07E+03	0.9871
13.2	5.66E+01	1.21E+02	6.91E+03	0.9746	1.67E+01	2.81E+02	6.29E+03	0.9778	8.28E+01	−2.65E+02	6.41E+03	0.9875
13.6	5.96E+01	2.39E+02	8.82E+03	0.9706	1.92E+01	4.22E+02	7.93E+03	0.978	8.25E+01	−1.96E+02	8.06E+03	0.9891
13.8	5.96E+01	3.80E+02	1.13E+04	0.9752	2.33E+01	6.02E+02	9.92E+03	0.9783	8.56E+01	−1.90E+02	1.05E+04	0.9874
14.2	3.81E+01	1.01E+03	1.36E+04	0.9767	2.41E+01	8.76E+02	1.27E+04	0.9774	8.31E+01	−3.45E+01	1.34E+04	0.9876
14.6	6.42E+01	1.13E+03	1.71E+04	0.9763	2.38E+01	1.44E+03	1.49E+04	0.9798	8.68E+01	1.77E+02	1.71E+04	0.9893
14.9	1.18E+02	2.04E+02	2.80E+04	0.9759	2.46E+01	1.93E+03	1.87E+04	0.9793	7.71E+01	5.93E+02	2.06E+04	0.9863
15.2	6.98E+01	2.38E+03	2.59E+04	0.9774	9.94E+00	3.22E+03	2.01E+04	0.9783	6.24E+01	1.42E+03	2.47E+04	0.9883
15.6	6.66E+01	3.14E+03	3.26E+04	0.9815	−5.26E+00	4.85E+03	1.97E+04	0.9784	5.65E+01	2.18E+03	3.00E+04	0.9902
15.9	5.38E+01	4.86E+03	3.80E+04	0.9777	−1.74E+01	6.52E+03	2.32E+04	0.9778	4.66E+01	3.02E+03	3.97E+04	0.9851
16.2	5.66E+01	7.29E+03	4.04E+04	0.9761	−3.06E+01	9.57E+03	1.82E+04	0.9744	6.29E+00	5.98E+03	3.83E+04	0.9893
16.6	5.30E+01	9.58E+03	4.69E+04	0.9802	−4.33E+01	1.24E+04	1.58E+04	0.9731	−3.88E+01	9.06E+03	3.44E+04	0.9849



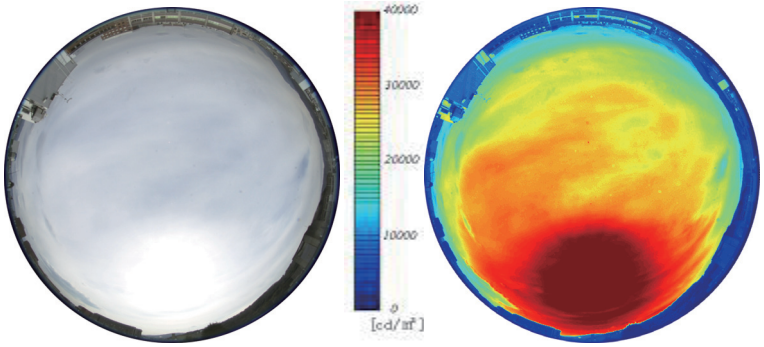
図 5.4.43　デジタルカメラと魚眼レンズ



図 5.4.44　測定風景



(a)全天空画像(晴天時)　(b)全天空輝度分布(晴天時)



(c)全天空画像(曇天時)　(d)全天空輝度分布(曇天時)

図 5.4.45　全天空画像と全天空輝度分布

(8)式により、立体角が一定になるように全天空画像データを分割し、各要素の立体角投射率を算出する。

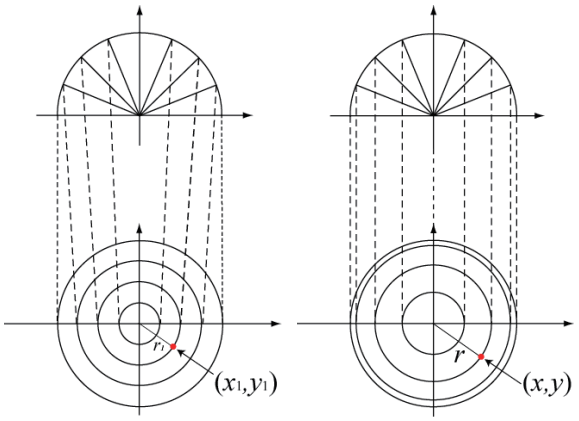


図 5.4.46　正射影方式と等距離射影方式

a 測定結果

測定期間中に 194 枚の全天空画像を撮影した。撮影した画像の絞り値 Fおよびシャッタースピード S[s]から(7)式により E_v 値を算出した。

これより、表 5.4.15 に示す較正関数のパラメータを(5)、(6)式に適用し、ビデオ測色法を用いて画像データから全天空輝度分布を算出した。天空輝度はその方位と高度および天空の状態(雲の出現等)により様々に変化するため、開口部を通して室内に入射する光の量も時々刻々と変化することから、全天空輝度分布の変化にリアルタイムに対応する天気応答型昼光照明制御システムの有効性を確認した。

(3) 全天空輝度分布による作業面照度の計算法

全天空輝度分布による作業面照度を以下に示す方法で算出した。まず、建築モデルとして図 5.4.47、図 5.4.48 に示す北面片側採光の開口部がある室を想定する。対象室各面の設定を表 5.4.16 に示す。受照点は作業面上の室の奥行き方向中央線を 8 分割した 7 点である。次に、受照点から開口部を通して見える天空範囲を算出し、立体角投射率を算出する。

算出した天空範囲を等距離射影に変換すると、図 5.4.49 に示す極座標で表現できる。以上より、ビデオ測色法により得られた画像データを用いて算出した全天空輝度分布に(1)式および(2)式を適用し、作業面照度を算出した。

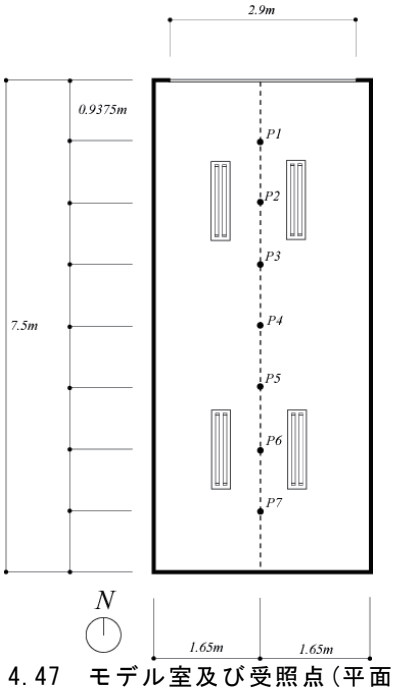


図 5.4.47 モデル室及び受照点(平面図)

表 5.4.16 モデル室の設定

	反射率	透過率	保守率	窓面積有効率
窓	0.1	0.5	0.7	1
天井	0.5	−	−	−
壁	0.3	−	−	−
床	0.1	−	−	−

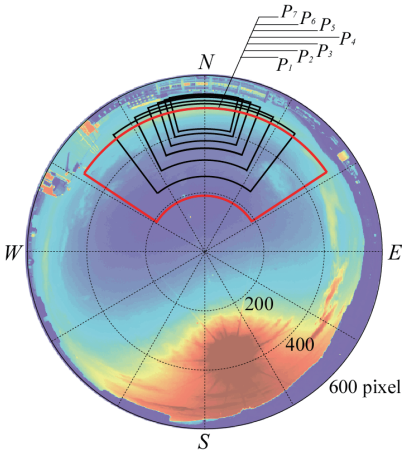


図 5.4.49 各受照点からの天空範囲

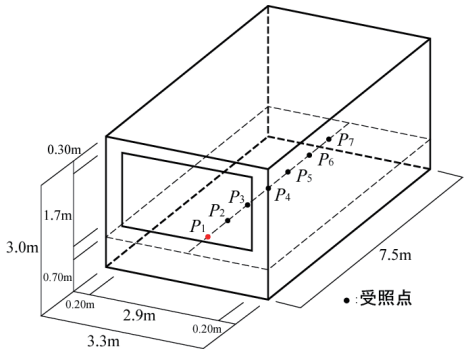


図 5.4.48 モデル室及び受照点

5) シミュレーションによる省電力量の算出

ここでは実測により得られた全天空輝度分布を用いてシミュレーションを行い、消費電力量を算出する。これより、人工照明による過剰な照度を調光により削減した場合の省電力率を算出することで天気応答型昼光照明制御システムの性能評価を行う。

(1) 天空輝度分布に基づく作業面全照度の算出

a 計算法

図 5.4.46、図 5.4.47 で示した対象室に 4)(1)で述べた昼光照明および人工照明による室内作業面照度を算出する計算式を適用する。直射日光は考慮せず、外部環境の地物は無いものとする。開口部は北面片側採光の拡散ガラス窓とする。また、人工照明は基準照度 750lx を満たすように調光されているものとする。

b 計算結果

京都大学工学部 7 号館屋上で 2004 年 1 月 30 日の 9 時から 16 時 40 分まで 10 分おきに全天空画像をインターバル撮影し、ビデオ測色法を用いて算出した全天空輝度分布から窓面に入射する部分の輝度 L_i [cd/m^2]を算出した。図 5.4.50 に各受照点の各時刻における昼光照明による作業面全照度 E_N [lx]を示す。

人工照明のみにより基準照度を満足するよ

うに調光されている場合、昼光照明による作業面照度 E_N [lx]が削減可能な照度に相当する。ここでは、昼光照明を活用して過剰な人工照明を減光し、調光を行う場合の削減可能な消費電力量を次節に示す方法で算出する。

(2) 消費電力量の算出

昼光人工光併用照明による作業面全照度を E[lx]とし、基準照度を E_0[lx]、照明器具の台数を N[個]に設定した場合、照明器具 i (i=1、N)の消費電力を W_i[W]、照明器具の点灯時間を T_i[h]とすると、開口部側の人工照明の調光により、受照点 P_1 の作業面照度を E_0[lx]に保つよう制御した場合の削減可能な消費電力量 W_c[W]は(9)式で算出できる。

また、W_c[W]の 9 時から 17 時までの就業時間あたりの全消費電力量 W[W]に対する割合を省電力率 C_e[%]とすると(10)式により算出できる。

$$W_c = \frac{E - E_0}{E} \times W_i \times N \times T_i [\mathrm{W}] \quad \cdots(9)$$

$$C_e = \frac{W_c}{W} \times 100[\%] \quad \cdots(10)$$

ここでは、W_i=65W、N=4 個とし、(9)式により削減可能な消費電力量 W_c[W]を算出し(10)式により省電力率 C_e[%]を算出した。これより、17%の照明電力削減が可能であることがわかった。

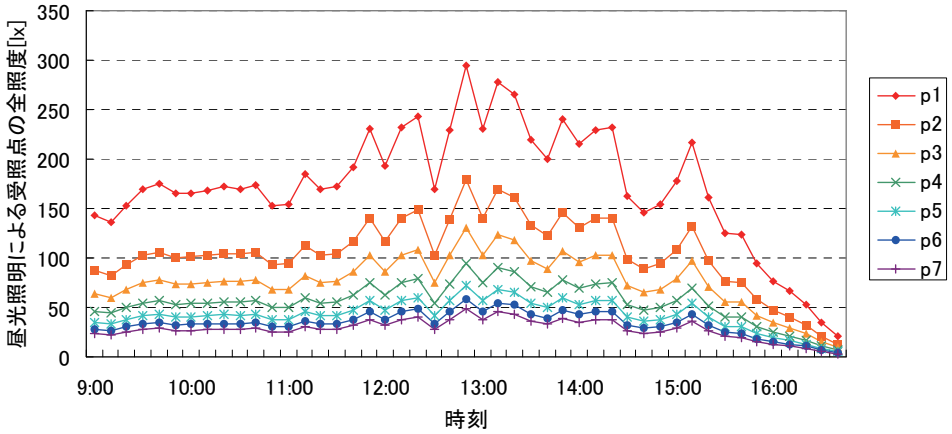


図 5.4.50　全天空輝度輝度分布データに基づく作業面照度

6) まとめ

本項では、天気応答型昼光照明制御システムを考案し、その基礎となる昼光照明計算法を示した。魚眼レンズ付のデジタルカメラを用いて全天空を撮影し、カラー画像データからビデオ測色法により全天空輝度分布を算出した。また、その変化にリアルタイムに対応する天気応答型昼光照明制御システムの必要性を確認した。

さらに、シミュレーションを行い、照明器具の消費電力量および省電力率を算出した。これより、天気応答型昼光照明制御システムの利用による人工照明の消費電力の削減が可能であることを示した。

本項で天気応答型昼光照明制御システムの省エネに対する有効性が確認できた。今後、予測精度の向上や実証的研究へと発展させていくことが必要と考える。

(上谷芳昭)

参考文献

1)上谷芳昭:Measurement of CIE tristimulus values XYZ by color video images,日本建築学会計画系論文集,NO.543,pp.25-31,2001 年 5 月
2)上谷芳昭:ビデオ測色法とその応用,照明学会誌第 85 巻,第 7 号,pp.479-483,2001 年 7 月

5.5 昼光利用・照明システムによる省エネ効果の算定

本節では、ここまでに検討した昼光利用の技術(5.3)、照明システムの技術(5.4)を踏まえた省エネ効果の算定について示す。

5.5.1 目的

5.2 に述べられている昼光利用・照明システム設計フローに従い、5.3 昼光利用の技術(採光手法・導光手法)や、5.4 照明システムの技術(ランプ・照明制御システムの適切な組み合わせ)について検討するためには、まず、照明システムが年間でどれくらいの電力を消費しているのか、次にそれぞれの昼光利用・照明システムの組み合わせがどの程度省エネルギーに寄与するのかを定量的に求め、相互に比較することが重要である。

事務所建築については、このような検討を行うため為の計算手法・年間シミュレーションの開発及び、これらのツールを用いた検討が既に多数行なわれている[例えば 1)、2)など]。

しかしながら、住宅の場合についてはこのような検討手法の開発および検討は、あまり行なわれていない。これは、住宅においてはある程度の昼光利用が行なわれていて昼間に電灯を消灯している場合が少なくないこと、また、用いられている照明設備機器は既に十分高効率化されおり、これ以上の省エネルギー化の余地は少ないの認識が一般的であったからと考える。また、住宅の場合は事務所建築の場合とは異なり、居住者の生活行為のパターンが複雑で一般化しにくく、生活行為に伴う照明機器設備の点灯行動の予測・想定がしにくかったことも影響していた。

このようなことから、本節では、まず、住宅を対象に、居住者の生活行為や昼光利用、多様な照明機器設備およびそれらの制御方法を考慮した年間の照明用電力消費量の計算法を整理・開発した。次に、自立循環型住宅における昼光利用・照明システムに関する様々な要素技術を組み合わせた幾つかのケースについて年間電力消費量の試算を行ない、それぞれのケースの省エネルギー効果を明らかにした。

以下では、まず、戸建て住宅を対象として生活行為スケジュールに基づいた照明用電力消費量を求める方法を整理したのち、一室一灯照明を昼光利用する多灯分散照明に変えることで電力消費削減が可能か否かについて検討した。次に、自立循環型住宅において高効率型の照明機器や、多灯分散照明、積極的な昼光利用および昼光と連動して調光するような照明機器などの手法の採用により、どの程度の照明用電力消費が可能か、居住者の生活行為スケジュールや天候、平日・休日などを考慮して年間について求め比較した結果について述べる。

5.5.2 照明システムによる省エネの可能性に関する検討

戸建て住宅において照明システムの工夫や昼光利用によって照明用電力消費慮の削減が可能か否かについて検討することを目的として、まず、居住者の生活行為・点灯行動から年間照明用電力消費量を求める計算法を開発し試算を行なった。

以下では、まず、試算対象の戸建て住宅と、比較対象とした二つの照明システム、一つは一般的な一室一灯照明システム、もう一つは光環境の質の向上と省エネの双方が期待できる多灯分散照明システムの概要について述べる。次に、居住者の生活行為スケジュールをもとに、照明機器の点灯行動を仮定し、年間の照明用電力消費量を試算した計算方法について述べる。最後に、戸建て住宅において照明用電力消費の削減が可能か否か比較・考察した結果について述べる。

1) 年間の照明用電力消費の試算法

住宅を対象とした戸建て住戸は、図 5.5.1 に示す木造2階建ての都市型住戸で、居住者は夫婦と子供 2 人の 4 人家族である。

図 5.5.2 は住宅における年間の電灯用電力消費量算出の流れを示したものである。

まず、居住者(家族)一人一人について5分間刻みで生活行為(以下、生活スケジュールと記す)を 本自立循環型住宅検討委員会での成果を基に定義した [3]。簡単のため、ここでは平日のみを対象とした。次に、一人一人の生活スケジュールから使用および滞在している部屋を判断し、部屋ごとに在室者あり・なしの時刻別スケジュールを作成した。その後、それぞれの部屋における在室者の生活行為の内容から所要照度を定め、電灯を点灯するか否かの点灯行動の基準となる照度を時刻ごとに設定した。次に、幾つかの電灯照明手法に応じて各部屋の電灯照明器具の台数を決め、それぞれの照明手法の場合の電灯の合計W数を算出した。最後に、上記すべての条件から、部屋ごとに居住者が滞在し、かつ電灯を点灯している場合を5分間隔で求め、それらを日積算したのち、年間の電灯用電力消費量を算出した。ここで、休日の電力消費量は、平日の約 1.5 倍と仮定した。

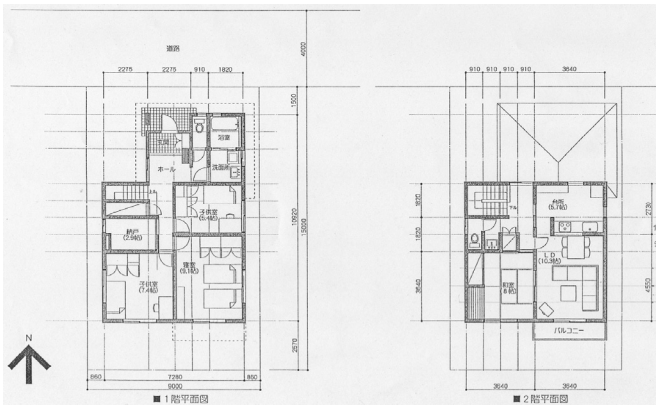


図 5.5.1 標準住戸の平面図

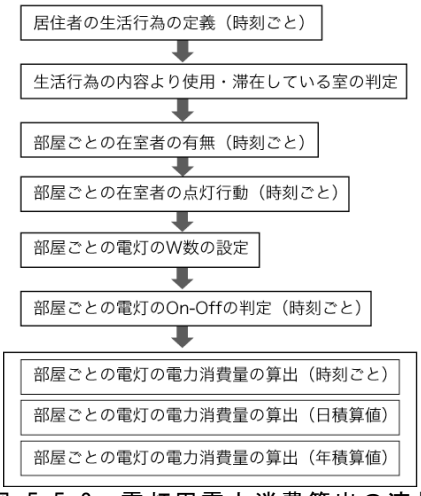


図 5.5.2 電灯用電力消費算出の流れ

2) 試算結果と考察

電灯照明の手法として従来一般的である一室一灯照明と、最近光環境の質の向上と省エネの両面から注目されている多灯分散照明を取り上げた。また、昼光利用の有無が電灯用電力消費量に及ぼす影響を明らかにするため、一室一灯および多灯の双方について昼光を利用した場合としない場合を取り上げた。

表 5.5.1 比較対象ケース

		照明システム	
		一室一灯	多灯分散
昼光利用	あり	基準条件	Case1
	なし	Case2	Case3

表 5.5.1 は比較対象としたケースの一覧で

表 5.5.2 一室一灯の場合の電灯器具

		器具型番	W数	台数	合計W数
居間(2F)		HA8450	70	1	70
食堂(2F)		LB13104	95	1	95
台所(2F)	全般	HA4030	46	1	46
	手元	HW2846 グロー式	20	1	20
和室(2F)		HA8409	70	1	70
子供室１(1F)	全般	HA8453	70	1	70
	手元		20	1	20
子供室2(1F)	全般	HA9621	59	1	59
	手元		20	1	20
寝室(1F)		HA8450	70	1	70

※器具の参考型番は松下電工。

表 5.5.3 多灯分散の場合の電灯器具

		器具型番	W数	台数	合計W数
居間(2F)		HEA1335E	13	5	65
食堂(2F)		HED1170E	13	2	26
台所(2F)	全般	HA4042E	40	1	40
	流し元	HWC2846E	20	1	20
和室(2F)		HAA7035 SF703	67	1	67
子供室1(1F)	全般	HAA8100	61	1	61
	手元		20	1	20
子供室2(1F)	全般	HAA7100	54	1	54
	手元		20	1	20
寝室(1F)		HEA1070E	13	2	26

※器具の参考型番は松下電工。

ある。居住者がある部屋に滞在しているときはその部屋の室内昼光照度によらず常に電灯を点灯すると仮定した一室一灯照明の場合を基準条件、多灯分散照明の場合を Case1 とした。次に、積極的に昼光照明を行なう場合を想定し、室内昼光照度が、その部屋で行なわれている生活行為のための所要照度を満たしていれば電灯を消灯するとした場合で一室一灯照明を Case2、多灯分散照明を Case3 とした。

一室一灯照明の場合(基準条件と Case3)の各部屋の電灯照明器具とＷ数を表 5.5.2 に、多灯分散照明(Case2 と Case4)のそれをに示す。一室一灯照明の場合の全室合計 W 数は 540W、多灯分散照明の場合のそれは 399W である。

以下では、まず電灯のみで照明を行なう一室一灯照明(基準条件)と多灯分散照明(Case1)の比較を行なった結果について述べ、次に昼光照明を行ない電灯を On-Off する Case2 と Case3 とを比較した結果について述べる。

3-a) 一室一灯照明と多灯照明

一室一灯照明および多灯分散照明の年間の電灯用電力消費量を求めた結果を図 5.5.3 に示す。

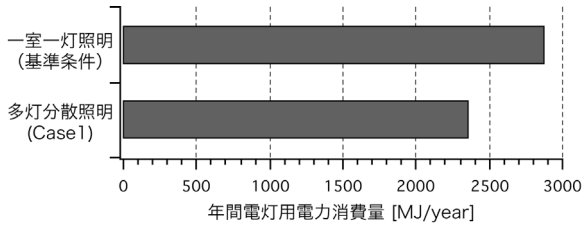


図 5.5.3 一室一灯および多灯分散照明の年間の電灯用電力消費量

一室一灯照明の年間電力消費量は約 2885 MJ/年、多灯分散照明のそれは約 2352MJ/年と多灯照明の方が 533MJ/年少ない。図 5.5.3 では、電灯の使い方などに関わる生活行為スケジュールは同じとしているので、両者の違いは電灯照明器具のＷ数の違いのみのよって生じている。このことは、一室一灯照明を多灯照明に変えるだけで約 18%(=533/2885)の電力消費の削減ができる可能性があることを示している。

表 5.5.4 に一室一灯照明(基準条件)の電力消費の内訳、表 5.5.5 に多灯分散照明(Case1)のそれを示す。

表 5.5.4 一室一灯照明（基準条件）の電力消費の内訳

		器具 W数	1日当たり kJ/day	電力消費量 年間 [MJ/year] 平日	休日	合計
居間(2F)		70	2898.0	756.4	452.1	1208.5
食堂(2F)		95	940.5	245.5	146.7	392.2
台所(2F)	全般	46	496.8	129.7	77.5	207.2
	手元	20	126.0	32.9	19.7	52.5
和室(2F)		70	252.0	65.8	39.3	105.1
子供室1(1F	全般	70	714.0	186.4	111.4	297.7
	手元	20	192.0	50.1	30.0	80.1
子供室2(1F	全般	59	867.3	226.4	135.3	361.7
	手元	20	180.0	47.0	28.1	75.1
寝室(1F)		70	252.0	65.8	39.3	105.1
					合計	2885.1

表 5.5.5 多灯分散照明(Case1)の電力消費の内訳

		器具		電力消費量		
		W数	1日当たり	年間 [MJ/year]		
			kJ/day	平日	休日	合計
居間(2F)		65	2691.0	702.4	419.8	1122.1
食堂(2F)		26	187.2	48.9	29.2	78.1
台所(2F)	全般	40	432.0	112.8	67.4	180.1
	手元	20	216.0	56.4	33.7	90.1
和室(2F)		67	140.7	36.7	21.9	58.7
子供室1(1F	全般	61	732.0	191.1	114.2	305.2
	手元	20	162.0	42.3	25.3	67.6
子供室2(1F	全般	54	793.8	207.2	123.8	331.0
	手元	20	36.0	9.4	5.6	15.0
寝室(1F)		26	249.6	65.1	38.9	104.1
					合計	2352.0

居間の電力消費が一室一灯(基準条件)の場合約 1208MJ/年、多灯分散(Case1)の場合約 1122MJ/年といずれも他の部屋に比べて大きい。これは、居間の電灯の W 数が比較的大きいこと、居住者が居間に滞在している時間が比較的長いためと考えられる。このことより、居間の電灯照明における省エネの工夫は、年間の電力消費削減に寄与する割合が高いと言える。

3-b) 昼光照明を行なった場合

一室一灯照明および多灯分散照明どちらの電灯照明の場合でも、窓から得られる昼光を積極的に室内照明に利用し、必要な照度が昼光によって得られる時刻は電灯を消灯すれば電灯照明用電力消費量の大幅な削減が可能と考えられる。そこで、ここでは、比較的昼光が得られやすい2階の居間兼食堂の部屋で昼光照明を行なった場合の年間の電灯照明電力消費量を求め、どの程度の電力消費削減が可能であるかについて検討した。

まず、図 5.5.1 に示した平面図の2階居間兼食堂室を図 5.5.4 に示すようにモデル化した。南面には幅 1.7m、高さ 1.8m の窓があり室内側にブラインドがあるとした。部屋の窓側が居間部分、室奥が食堂部分である。図中の点 P1 から P4 は、室内昼光照度の計算点で、窓面からそれぞれ 0.9m、1.8m、2.7m、3.6m、

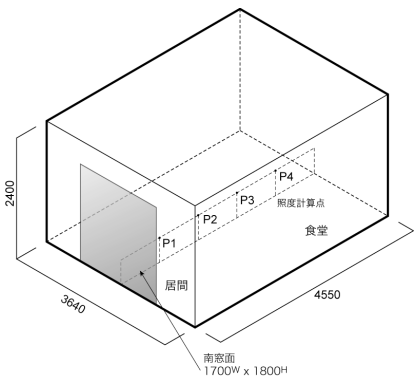


図 5.5.4 居間・食堂の部屋モデル

床面からの高さ0.7m である。点 P2 を居間部分、点 P4 を食堂部分とした。居住者の生活行為スケジュールを 5 分間刻みで設定していることから、室内昼光照度の計算も 5 間隔で年間(365日)について行なった。室内昼光照度の計算は、文献1に示されている直射日光率・天空光率・地表面反射昼光率による方法を用いて求めた。また、年間の計算には、文献 2 で提案されている東京の 1 分間隔の標準年気象データを用いた。

居間または食堂の電灯の点灯・消灯の制御は、次のように行なうとした。まず、居間また食堂で行なわれている生活行為の内容に応じた所要照度を生活行為・時刻ごとに設定し、ある時刻の室内昼光照度計算値が、その時刻に行なわれている生活行為の所要照度より高ければ電灯を消灯、低ければ電灯を点灯するとした。以上のようにして、居間と食堂のそれぞれにおける電灯点灯時間の年間積算値を求めた。

室内昼光照度の計算結果の一例として、12月 10 日から 22 日における点 P2 と P4 の昼光照度を図 5.5.5 に示す。居間(点 P2)の机上面照度は、正午ごろ約 300～400 lx、食堂の机上面(点 P4)では 200～400 lx 程度が得られている。

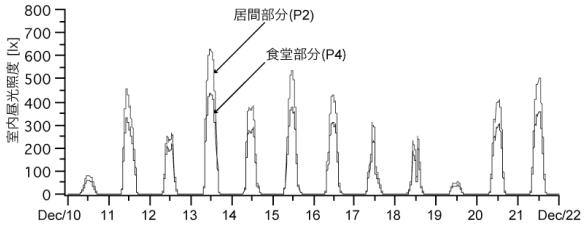


図 5.5.5 点P2・P4の昼光照度計算結果

以上より、居間で電灯を点灯している時間は年間で4106.25時間、食堂で約456.25時間となった。一室一灯照明(Case2)は、居間の電灯用電力消費量は、4106時間(14782500秒)に電灯の合計W数70Wを乗じて1034.8MJ/年となった。食堂についても同様にして求めた結果、156MJ/年となった。多灯分散照明(Case3)の場合、居間の電灯用電力消費量は、4106時間(14782500秒)に電灯の合計W数65Wを乗じて960.9MJ/年、食堂では42.7MJ/年となった。

居間と食堂以外の部屋の電力消費は表5.5.4と表 5.5.5 に示した値を用いて住戸全体の年間電力消費量を求めた結果を図 5.5.6 に示す。図中には比較のため、電灯のみで照明を行なった場合も併せて示した。一室一灯照明で昼光照明を行なった場合(Case2)の年間電力消費量は 2475MJ/年で、電灯のみの場合(基準条件)の約14%に相当する410MJ/年程度の電力消費削減となっている。

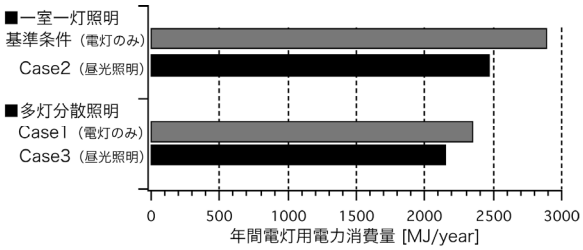


図 5.5.6 昼光照明を併用した場合の一室一灯・多灯分散照明の年間電力消費量

一方、多灯分散照明で昼光照明を行なった場合(Case3)の年間電力消費量は 2155MJ/年で、電灯のみの場合(Case1)より約 197MJ/年小さい。これは約 8%の電力消費削減に相当する。多灯分散照明の方が昼光照明による削減の割合が小さいのは、もともと居間および食堂の電灯用電力消費量が一室一灯照明の場合より小さかったためである。

以上より、住宅においても昼光を積極的に利用し、その分電灯を消灯することで 8〜14%の電力消費の削減が可能であることが明らかになった。

5.5.3 自立循環型住宅モデルにおける省エネ効果の試算

1) 自立循環型住宅モデルと省エネ目標レベルの概要

5.5.2 で整理した計算方法を基に、自立循環型住宅における照明に関する要素技術による効果を適切に組み込むことでどの程度の電力消費削減が可能かについて試算し考察した。ここでは、住宅プランとして一般型の住宅と、本委員会で提案されている自立循環型住宅の2つのモデルを対象に、照明設備機器の効率や配置・制御、積極的な昼光利用の有無などが異なる 6 ケース(表 5.5.6)について年間の電灯照明用電力消費量の試算を行なった。表 5.5.6 中の昼光利用および照明設備計画のレベルは、省エネ効果の目標レベルを示しており、昼光利用ではレベル 1 が 2〜3%削減、レベル 2 が 5%、レベル 3 が 10%程度の削減を、照明設備計画ではレベル 1 が 30%、レベル 2 が 40%、レベル 3 が 50%削減を示している。また、昼光利用の「立地」条件は、立地1が太陽光利用が困難な過密・高層型の立地、レベル 2 が太陽光利用に工夫が必要な過密型の立地、レベル 3 が太陽光利用が容易な郊外型の立地を示している。従来型住宅の平面図を図 5.5.7 に、自立循環型住宅のそれを図 5.5.8 に示す。なお、住宅の居住者は夫婦と子供 2 人の 4 人とした。

表 5.5.6 比較対象ケース一覧

	住宅プラン	目標レベル		照明機器設備		
		昼光利用(立地)	照明設備計画	機器	制御	配置
ケースO	一般モデル	レベルO(立地1)	レベルO	従来機器	在室時常時点灯	一室一灯
ケースA		レベル1(立地3)	レベルO	従来機器	on-off点灯	一室一灯
ケースB		レベル1(立地3)	レベル1	高効率機器	on-off点灯	一室一灯
ケースC	自立モデル	レベル3(立地3)	レベル2	高効率機器	調光	一室一灯
ケースD		レベル3(立地3)	レベル3	高効率機器	調光	多灯分散(簡易)
ケースE		レベル3(立地3)	レベル3	高効率機器	調光	多灯分散
ケースF		レベル3(立地4)	レベル4	高効率機器	昼光連動自動調光	多灯分散

※目標レベルの詳細については、ガイドラインマニュアル3.2および5.2を参照

2) 比較対象ケースごとの照明機器

表 5.5.7 は、表 5.5.6 に示したケース 0 およびケース A～F の照明機器を室ごとに示したものである。ケース 0 は、従来型の高効率でない照明機器(以下、従来型小機器)を用い、ある居室に在室者が居れば必ず電灯を点灯すると仮定したケースである。ケース A は従来型照明機器、ケース B は高効率型照明機器を用いた1室1灯照明で、ともにリビング・ダイニングなどの部屋で晴れた昼間であれば消灯、曇天であれば点灯すると仮定したケースである。ケースCは高効率型照明機器を用いる1室1灯照明である。リビング・ダイニングなどの部屋では、昼間で晴れていれば消灯、曇天時は点灯、中間的な天気の場合は 50%調光で点灯すると仮定した。

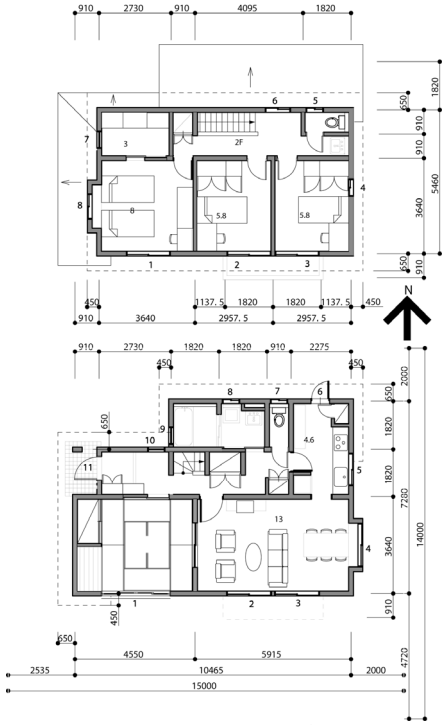


図 5.5.7 一般型住宅モデルの平面図

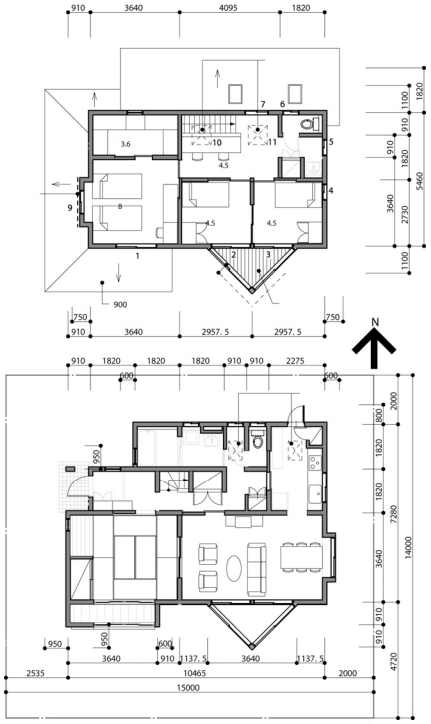


図 5.5.8 自立循環型住宅モデルの平面図

ケースDとE・Fは、光が必要な場所を、必要な時のみ、必要な分だけ照明するという「多灯分散照明」の考え方に基づいた照明機器の選定・配置を行ったケースである。ケース D は照明機器を最大限小型・分散化した多灯分散照明、ケース E はケース D を簡易化し一部に 1 室1灯照明を残した多灯分散照明(以下、簡易型多灯分散照明と記す)のケースである。

例として、ケース A(ケース 0)と、ケース E、ケースF の 1 階の照明機器配置を図 5.5.9～図 5.5.11 に示す。

表 5.5.7 ケースごとの照明器具一覧

	ケース0＆ケースA			ケースB			ケースC			ケースD			ケースE			ケースF		
	名称	数量	単W数	名称	数量	単W数	名称	数量	単W数	名称	数量	単W数	名称	数量	単W数	名称	数量	単W数
玄関外	屋外用ブラケット	1	54	屋外用ブラケット	1	12	屋外用ブラケット	1	12	屋外用ブラケット	1	13	屋外用ブラケット	1	13	屋外用ブラケット	1	13
玄関ホール	シーリング	1	28	シーリング	1	20	シーリング	1	20	ダウンライト	2	13	ダウンライト	3	13	ダウンライト	3	13
廊下	ダウンライト	1	54	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13				ブラケット	1	8	ブラケット	1	8
1Fトイレ	ダウンライト	1	54	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13
洗面所	シーリング	1	28	シーリング	1	20	シーリング	1	20	シーリング	1	20	シーリング	1	20	シーリング	1	20
キッチン	シーリング	1	46	シーリング	1	46	シーリング	1	46	ダウンライト	3	13	ダウンライト	3	13	ダウンライト	3	13
	流元灯	1	19	流元灯	1	19	流元灯	1	19	流元灯	1	23	流元灯	1	23	流元灯	1	23
リビング	シーリング	1	70	シーリング	1	64	シーリング	1	64	シーリング	1	64	シャンデリア	1	52	ダウンライト 窓奥	1	22
										調光リモコン	1		ダウンライト北	2	40	ダウンライト 中央	3	22
										フロアスタンド	1	16	ダウンライト南	2	40	ダウンライト 窓際	1	22
													フロアスタンド	1	16	フロアスタンド	1	16
ダイニング	ペンダント	1	90	ペンダント	1	26	ペンダント	1	26	ペンダント	3	8	ペンダント	2	12	ペンダント	2	12
													スタンド	1	18	スタンド	1	18
和室	シーリング	1	70	シーリング	1	64	シーリング	1	64	シーリング	1	76	シーリング	1	76	シーリング	1	76
	床の間トラフ	1	19	床の間トラフ	1	19	床の間トラフ	1	19	床の間トラフ	1	19	床の間トラフ	1	19	床の間トラフ	1	19
										フロアスタンド	1	8	フロアスタンド	1	8	フロアスタンド	1	8
階段・廊下	シーリング	1	28	シーリング	1	20												
階段							シーリング	1	20	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13
ファミリールーム							スタンド	1	24	スポットライト	2	22	スポットライト	3	50	スポットライト	3	50
							スタンド	1	24	スタンド	2	24	フットライト	2	0.35	フットライト	2	0.35
										フットライト	2	0.35	デスクスタンド	2	24	デスクスタンド	2	24
2Fトイレ	ダウンライト	1	54	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13
寝室	シーリング	1	70	シーリング	1	64	シーリング	1	64	シーリング	1	76	ダウンライト	1	13	ダウンライト	1	13
	ブラケット	1	54	ブラケット	1	8	ブラケット	1	8	調光リモコン	1		間接照明トラフ	2	34	間接照明トラフ	2	34
	クローゼットライト	1	22	クローゼットライト	1	22	クローゼットライト	1	22	ブラケット	1	8	ブラケット	1	8	ブラケット	1	8
										クローゼットライト	1	23	クローゼットライト	1	23	クローゼットライト	1	23
										スタンド	2	36	スタンド	2	36	スタンド	2	36
子供部屋1	シーリング	1	70	シーリング	1	64	シーリング	1	64	シーリング	1	76	ダウンライト	4	13	ダウンライト	4	13
	スタンド	1	24	スタンド	1	24				スポットライト	1	50	スポットライト	1	50	スポットライト	1	50
子供部屋2	シーリング	1	70	シーリング	1	64	シーリング	1	64	シーリング	1	76	ダウンライト	4	13	ダウンライト	4	13
	スタンド	1	24	スタンド	1	24				スポットライト	1	50	スポットライト	1	50	スポットライト	1	50

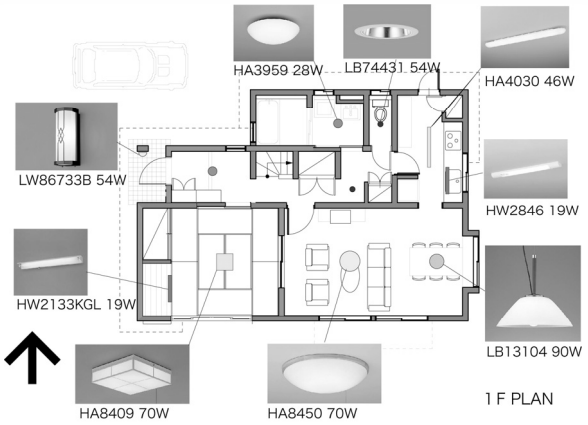


図 5.5.9 一般住宅における一室一灯照明(ケース0及びケースA)

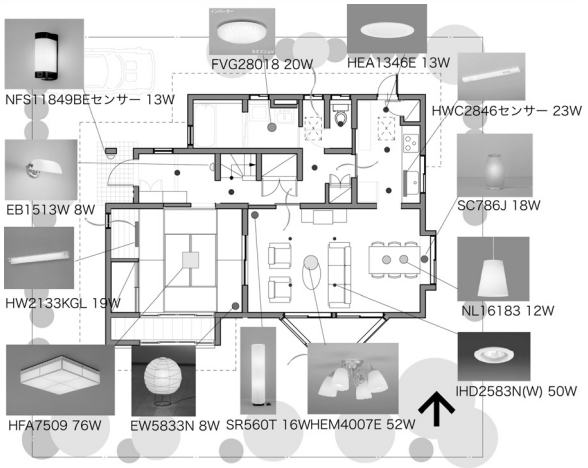


図 5.5.10 自立循環住宅における多灯分散照明(ケースE)

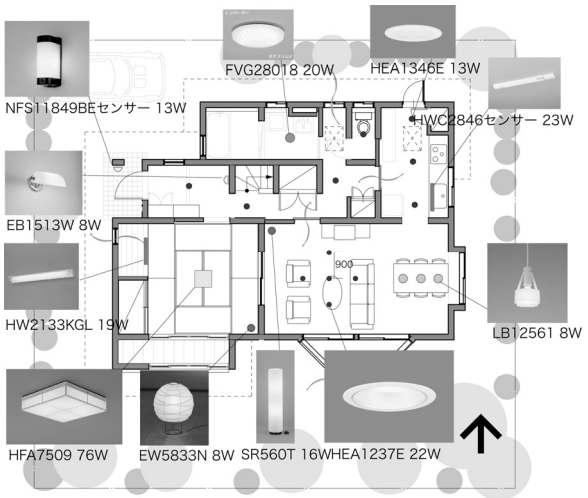


図 5.5.11 自立循環住宅における多灯分散・昼光連動調光照明(ケースF)

3) 生活行為・昼光利用を考慮した年間の照明用電力消費量試算

居住者の生活行為に応じた点灯行動および、昼光利用による調光を考慮した年間の照明設備電力消費量算出は、以下の 1. ～5. に述べる手順で求めることにした。

1. 家族ごとの平日・休日(在宅・外出)の生活行為スケジュールより、居住者の動線と滞在場所・使用部屋を設定。
2. 比較ケースごとに、各室の照明機器一台ずつの時刻別点灯スケジュールを設定。
・ケース 0 は、ある部屋(または廊下)に在室者が居れば、必ず電灯を点灯すると仮定。
・ケース A・B は、快晴時の昼間(10 時から 17 時)であれば、在室者のある部屋(または廊下)の照明機器は消灯と仮定。
・ケースC・D・Eは、十分な昼光が得られている時刻には居住者がいても点灯しない、昼光による照度が設計照度より小さければ、足りない分だけ調光制御により電灯で補完することを想定し、今回の試算では天候を晴天・中間・曇天の 3 種類に分類し、晴天時の昼間(10 時から16 時)は電灯を使用しない、中間天空時の昼間は 50～80%の間で電灯を調光、曇天時の昼間は在室者がいれば点灯するとした。
・ケース F は、リビングルームのみ室内昼光照度に応じた自動調光型ダウンライトを採用しているので、まず、シミュレーションによりリビングルームの室内昼光照度を 5 分間隔で 1 年分求めた。次に、生活行為の内容に応じた必要照度の下限値・上限値を時々刻々設定し、時々刻々の室内照度が必要照度上限値を上回っていれば消灯、下限値より低ければ100%の出力で点灯、下限値と上限値の間であれば 10～100%までの間で連続的に調光するとして照明器具の点灯時間と調光率を 1 年分求め電力消費量を求めた。
3. 照明機器ごとに一日の点灯時間数を集計
4. 平日・休日(在宅および外出)ごとに 1 日分の電力消費量を算出
・平日の場合、晴天・中間・曇天の 3 パターンの電力消費量 1 日分を算出。
・在宅休日および外出休日についても同様に晴天・中間・曇天の 3 パターンの電力消費量 1 日分を算出。
5. 年間の平日・休日の日数にそれぞれの点灯時間数を乗じて年間合計量を算出
・平日・休日における晴天・中間・曇天の日数は、各月ごとの日照率から推定。

照明機器の 1 日当たりの電力消費量は、個別の器具ごとに以下のようにして求めた。

1 日当たりの電力消費量
＝Σ{器具 W 数×調光率×点灯時間}

ここで、時々刻々の調光率・点灯時間は、算出の流れ2. に示したようにケースごとに算出した。具体的には、ケース 0 および A・Bは、電灯調光率は100%(常に100%の器具出力で点灯)、点灯時間数はある部屋に在室者がおり、かつ昼光による照度が必要照度を下回っていた総時間数である。一方、ケースC・D・E の場合の時々刻々の調光率と点灯時間数は、ある部屋(または廊下)で十分な昼光が得られている時刻は居住者がいても点灯しない、昼光による照度が設計照度より小さければ、足りない照度分だけ調光制御により電灯で補うとして算出した。また、居住者の生活行為スケジュールは平日と、在宅の休日、外出する休日の3パターンあるので、そのそれぞれについて1 日当たりの電力消費量を個別に求めた。

最後に、年間の電力消費量は、以下のようにして求めた。

年間の電灯用電力消費量
＝平日の 1 日当たりの電力消費量 × 年間の平日の日数＋在宅休日の1 日当たりの電力消費量 × 年間の在宅休日の日数＋外出

休日の 1 日当たりの電力消費量 × 年間の外出休日の日数

ここで平日・休日の日数は、2005 年のカレンダーをもとに平日の日数は 238 日、在宅休日は 91 日、外出休日は 36 日とした。

4) 照明用電力消費量の試算結果と考察

図 5.5.12 は、表 5.5.6 に示したケース 0 およびケース A～F の年間の照明用電力消費量の計算結果である。

表 5.5.8 は、表 5.5.6 の部屋ごとの内訳を示したものである。ケース 0(一般住宅＋一室一灯照明＋従来型器具)は、立地条件により昼光利用が困難で従来型の機器効率があまり高くない照明機器を用いた場合で、居住者が在室していれば昼夜を関わらず常に点灯するので、約 3900 MJ/年程度と電力消費量が最も大きい。ケース A はケース 0 と照明機器であるが、立地が昼光利用可能で晴れた昼間には電灯を消灯するケースで電力消費量は約 3800 MJ/年と約 3%の削減となっている。

さらに、ケースＡの照明機器を高効率型のものに変えたケース B の電力消費量は約 2700 M J/年となっており、ケース 0 の約 68%と 32%もの電力消費の削減となっている。

表 5.5.8 部屋ごとの年間照明用電力消費量の内訳（単位 MJ/年）

ケース		ケース0	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD	ケースE	ケースF
住宅プラン		一般モデル	一般モデル	一般モデル	自立モデル	自立モデル	自立モデル	自立モデル
目標レベル	昼光利用(立地)	レベル0 (立地1)	レベル1 (立地3)	レベル1 (立地3)	レベル3(立地3)	レベル3(立地3)	レベル3(立地3)	レベル3(立地3)
	照明設備計画	レベル0	レベル0	レベル1	レベル2	レベル3	レベル3	レベル3
照明機器設備	機器	従来機器	従来機器	高効率機器	高効率機器	高効率機器	高効率機器	高効率機器
	制御	在室時常時点灯	on-off 点灯	on-off 点灯	調光	調光	調光	昼光連動自動調光
	配置	一室一灯	一室一灯	一室一灯	一室一灯	多灯分散(簡易)	多灯分散1	多灯分散2
玄関外		248.1	220.8	49.1	13.5	12.1	11.5	11.5
玄関ホール、廊下		423.9	423.9	112.5	121.1	146.3	108.4	108.4
1Fトイレ		128.8	128.8	31.0	31.9	31.9	31.9	31.9
洗面所		154.7	154.7	110.5	110.2	109.1	109.1	109.1
キッチン		223.8	223.8	223.8	185.2	171.8	145.5	145.5
リビング		912.2	870.1	794.5	759.1	703.5	731.0	519.7
ダイニング		332.3	332.3	96.0	65.6	60.6	58.9	58.9
和室		294.0	294.0	274.2	135.3	102.9	66.8	66.8
階段・廊下		65.9	65.9	47.1	0.0	0.0	0.0	0.0
階段・ファミリールーム		0.0	0.0	0.0	304.4	321.2	443.8	443.8
2Fトイレ		99.8	99.8	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
寝室		145.8	145.8	94.7	105.6	96.0	79.9	79.9
子供部屋1		486.2	473.0	443.0	143.4	114.0	58.7	58.7
子供部屋2		410.9	394.6	365.8	179.0	168.7	73.1	73.1
合計		3926.3	3827.4	2666.2	2178.3	2061.9	1942.7	1731.4
省エネ率		100.0%	97.5%	67.9%	55.5%	52.5%	49.5%	44.1%

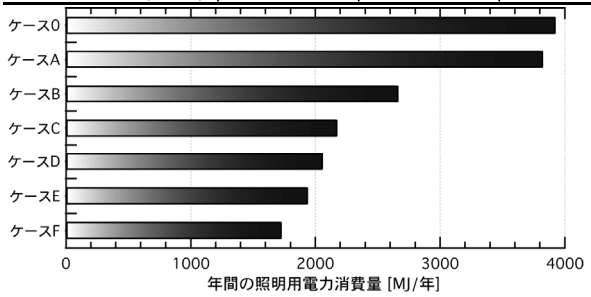


図 5.5.12 ケースごとの年間の照明用電力消費量

自立循環住宅モデルのケース C～F を見てみる。まず、一室一灯照明で照明機器の制御を晴天の昼間は消灯、曇天は 100%点灯、中間天空は 50%点灯としたケース C の電力消費量は約 2200 MJ/年と、同じ一室一灯照明のケース B のそれより約 500 MJ/年小さくなっている。これは、ケースＢの照明器具の制御が on-off のみで中間天空時でも 100%の出力で点灯しているからである。簡易型の多灯分散照明でケースＣと同様な方法で晴天・中間・曇天時の制御を行なうケース D の場合、年間の電力少量は約 2060 MJ/年でケース C より 140 MJ/年程度の削減となっている。これは、個々の照明機器が小型・多灯分散化したことで、明

るさが必要なエリアのみを、必要な時刻のみ、必要な分だけ点灯することができたためである。ケースDの電力消費量はケース0の53%程度と約 47%もの電力消費削減となっている。ケースEは、ケースCで一部、一室一灯照明のままとされていた室・エリアについても多灯分散照明化した場合で電力消費量は約 1940 MJ/年と、ケースDより140 MJ/年小さくなっている。

ケースFは、ケースDのリビングルームの照明器具を無段階で調光が可能なダウンライトに変え、リビングリームの室内昼光照度に応じて自動的に調光制御する場合である。年間の照明用電力消費量は約 1700 MJ/年とケースEよりさらに 210 MJ/年の電力消費削減となっており、ケース0の約44%、すなわち約56%の電力消費削減となっている。これは、自立循環型住宅のリビングルームでは、昼光が比較的室奥まで届き晴天時や中間天空時には必要照度を満たしている場合が少なからずあるからである。図 5.5.13 は、リビングリームの窓際から室奥までの床面から 0.35m の高さにおける昼光照度の年平均値である。これは、窓面からの各距離における昼光照度を5分間隔で求めて年平均したものである。なそ、室内昼光照度の計算は、昼光照度予測ソフトウェア(Daylighting)を用いた。

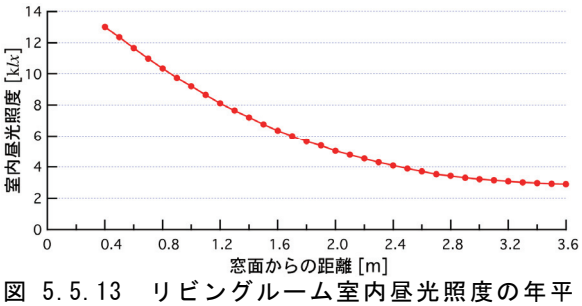


図 5.5.13　リビングルーム室内昼光照度の年平均値

窓際では昼光照度年平均値は約 13 klx と非常に高いが、室奥に行くほど低くなり、窓面から3.6 m では3 klx 程度となっている。窓面から 3 m 以降の室奥でも昼光照度の年平均値が 2 klx と高いことから、昼間であれば電灯が必要な場合は非常に少ないと考えられる。

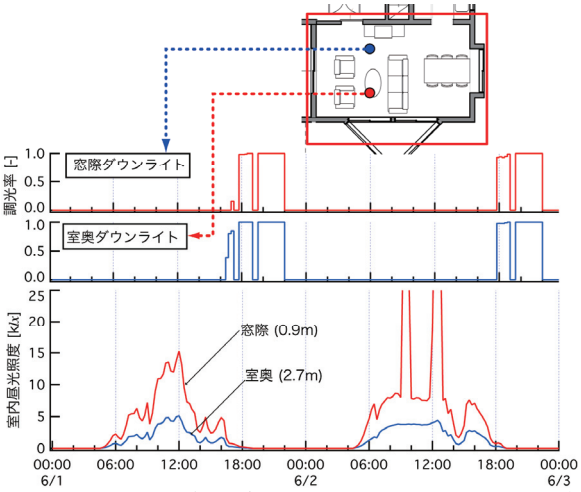


図 5.5.14　リビングルームの室内昼光照度とダウンライトの調光状況（抜粋）

図 5.5.14 は6月1日と2日の室内昼光照度(窓際から0.9mと2.7m)とダウンライトの調光状況を示したものである。

図 5.5.14 の下最図は、時々刻々の室内昼光照度、中段と最上段の図はそれぞれ窓際・室奥のダウンライトの調光割合である。

6月1日は比較的晴天であったので、窓面から 2.7m の室奥の位置でも正午の昼光照度は4 klx 程度と非常に高い。このことにより、室奥のダウンライトは 16 時ごろになって初めて約50%の調光率で点灯している。窓際の照度は室奥より高くなっているので、17 時過ぎになって初めてダウンライトが約 20%調光で点灯している。また、中段と上段の図で 19 時ごろ調光率が 0%となっているのは、家族が夕食のためダイニングリームの食卓に移動しリビングルームのダウンライトを消灯したからである。

以上より、比較的ゆとりのある敷地に自立循環型住宅がある場合は、窓からの昼光が十分に得られるので、これを積極的に利用するため調光可能な照明機器を採用して室内昼光照度に応じて自動調光することは、室内光環境の質の向上のみならず照明用電力消費量の削減にも寄与することが明らかになった。

5.5.4 まとめ

本節では、自立循環住宅で採用すべき昼光利用および照明システムに関する様々な要素技術が、どの程度照明用電力消費削減に寄与するか定量的に把握することを目的として、まず、在室者の生活行為や点灯行動、昼光利用などを考慮した年間の電力消費量を算出する計算法を開発し、省エネ手法採用のレベルが異なる 7 つケースについて試算を行ない比較・検討した。その結果、以下のことが分かった。

1)従来型の住宅で効率の高くない照明機器を用いている場合、照明機器を高効率型の機器に替えて、昼間に消灯するなど積極的な点灯行動をとることで年間の電力消費量の約30%削減が可能である。

2)自立循環型住宅プランの住戸で、照明器具を小型化して多灯分散照明とし、生活の様々な場面に合わせた点灯制御を行なうことで、年間で 40～56%の電力消費量の削減ができる可能性がある。

3)比較的ゆとりのある敷地に自立循環型住宅がある場合、室奥でも窓からの昼光が十分に得られる。これを積極的に利用するため調光可能な照明機器を採用して室内昼光照度に応じて自動調光することは、室内光環境の質の向上のみならず照明用電力消費量の大幅な削減にも寄与する。

(淺田秀男)

参考文献

1)淺田秀男、宿谷昌則:昼光照明・電灯照明・暖冷房システムの年間エクセルギー消費に関する数値解析 その 2. 窓システムと地域に関する検討、1998 年、p.507-508。
2)例えば、瀧澤真弥、井上隆他:窓システムおよび人工照明の制御に関する研究 その 8 システムの検証および総合評価、1997 年、p.469-470。
3)NHK放送文化研究所 編、日本人の生活時間・2000 NHK 国民生活時間調査、2002 年 1 月。

5.6 昼光利用・照明システムの設計に役立つツールと参照データ

本節では、昼光利用・照明システムの設計に役立つツールと参照データとして、照度分布に加え輝度分布まで予測可能な昼光シミュレーションソフトウェアの開発(5.6.1)と、予測に際して必要な物性反射率の詳細データの取得結果(5.6.2)について示す。

5.6.1 昼光シミュレーションソフトウェアの開発

1) はじめに

本項では、昼光シミュレーションソフト(Light and Visual Environment Consulting System、以下 LVECS)の開発について述べる。昨今、コンピューターグラフィクス(以下、CG)分野における様々な成果が建築空間評価にも取り入れられ、現実空間と見違えるほどリアリティの高い CG イメージを作成することが可能となっている。そして、そこで取り入れられている光環境シミュレーションの一環として、昼光シミュレーション機能が組み込まれているソフトウェアも存在する。しかし、実際の設計の場において、これらの昼光シミュレーションソフトウェアが利用されていることは少ない。これには、以下の理由が考えられる。

・ソフトウェアの操作方法が複雑で、設計者が手軽に利用することが出来ない。
・光源としての天空光の扱いが十分ではなく、計算精度が高くない。
・計算方法に昼光シミュレーションに適切ではないアルゴリズムが採用されていたり、計算方法自体がブラックボックス化しているなどの理由により、計算結果を信頼することが出来ない。
・シミュレーションソフトウェアが CG イメージの作成を目的として作られているため、最終的に構築される CG イメージの視野の範囲以外は計算が行われていない、あるいは計算精度が低い。
・計算結果として求められた測光量(輝度、光束発散度、照度)を CG イメージあるいはコンター図などのような形で出力することしかできないために、特定点の測光量を正確に求めたり、得られた結果を元に別の測光量(ベクトル照度など)を求めたりすることができない。

LVECS では、設計実務の場での使用に耐えうるソフトウェアとするため、これらの問題点に対して以下のような対応を行った。

a 操作方法が複雑であること

一般の設計者でも利用経験があると思われる Microsoft Excel をプラットフォームとし、マクロ言語である VBA を利用して LVECS を構築した。また、天空光データ、直射日光データ、地表面データ、建物データなどの各種データの設定、確認を統合的に取り扱える統合操作パネルを開発し、視覚的に分かり易い操作環境を実現した。計算に用いるデータ、計算結果などは、この統合操作パネルから呼び出して可視化表現を行うことが可能である。

b 天空光の扱い

日本建築学会昼光シミュレーション SWG で開発された汎用昼光光源モデル[1)]を用い、あらゆる天空輝度分布を正 20 面体の再分割によって得られるジオデシックドームの三角形要素に輝度値を割り付ける形とした。これにより、再

分割のレベルに応じた精度を期待することが出来る。

c 計算方法

直接照度の算出、間接照度の算出すべての場面で、三角形要素(輝度値一定)を光源とした特定点の照度を求めるアルゴリズムを採用した。このアルゴリズムは、錘面積分の公式により解析解を求めることが可能である。相互反射計算の際にも、このアルゴリズムを繰り返し用いて対応を行っている。

d 計算領域

直接照度、間接照度ともに、計算対象領域全体を要素分割し、すべての要素で測光量を算出している(ただし、後述のイメージベースの輝度分布については例外)。そして、計算結果についても、展開図による測光量の表現などで、計算対象領域全体をカバーすることとしている。

e 計算結果の出力

計算結果は、擬似カラーやグレースケールによる画像表現に加えて、Microsoft Excel の表形式で数値的にも与えられるため、特定点の測光量を正確に求めたり、計算結果を別のシミュレーションに再利用したりすることが可能である。

以下、LVECS の各部分の詳述を行う。

2) 統合操作パネル

LVECS では、直射日光、天空光、地物反射光による直接照度、相互反射による間接照度、輝度分布の計算を行うことが可能であり、多機能であるため、計算の指示や計算過程の把握が容易ではない。そこで、LVECS の統合操作パネルを開発し、計算条件の可視化、計算の実行、計算結果の可視化を一元的に行えるものとした。開発した統合操作パネルを図 5.6.1 に示す。

この統合操作パネルにより、後述の計算条件の可視化、計算実行の指示、計算結果の可視化などが一元的に操作可能である。

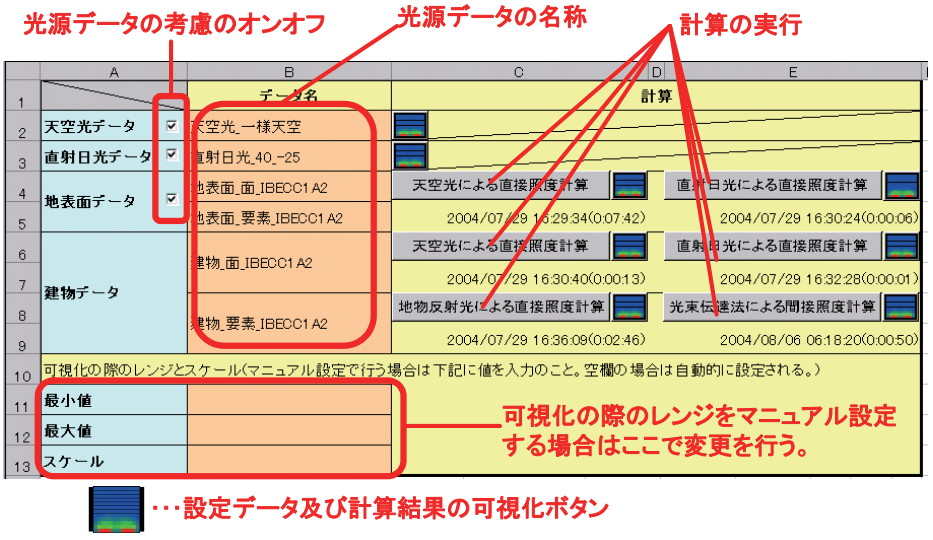


図 5.6.1 統合操作パネル

3) 様々な計算機能

(1) はじめに

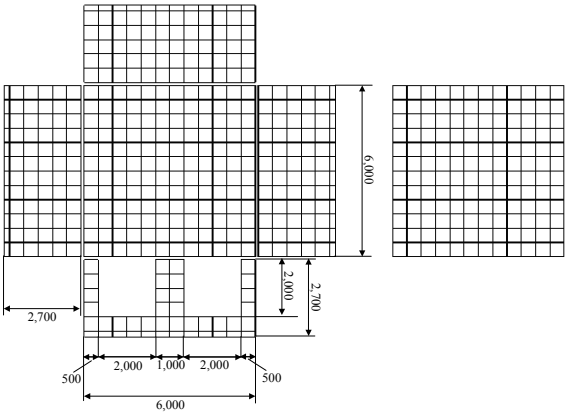
LVECS では、天空光による直接照度に加え、

直射日光による直接照度、地物反射光による直接照度、相互反射計算による間接照度、輝度分布(オブジェクトベース、イメージベース)を求めることが可能である。それぞれの計算において、各データがどのような役割を果たすかをまとめたものが表 5.6.1 である。この表における建物データのうち、法線ベクトルと反射特性を同一にする一続きの面の情報が「面」データであり、計算のためにそれを細かく要素に分割したものが「要素」データである。以下、開発した各機能について説明を行う。なお、以降の説明における計算例は、すべてに図 5.6.2 に示す空間を用いて計算を行ったものである。

表 5.6.1　各データの計算における役割

計算対象	計算の種類	天空光データ	直射日光データ	地表面データ	建物データ 面	建物データ 要素
地表面	天空光による直接照度	光源		計算	障害	
	直射日光による直接照度		光源	計算	障害	
建物	天空光による直接照度	光源			障害	計算
	直射日光による直接照度		光源		障害	計算
	地物反射光による直接照度			光源	障害	計算
	光束伝達法による間接照度					光源 計算
	輝度(分布)					光源 計算

光源	光源、放射光束の情報として
障害	障害物の情報として
計算	計算対象点の情報として



(ただし、反射率は天井面0.7、壁面0.5、床面0.3、地表面0.2)

図 5.6.2 計算に用いた空間

(2) 直射日光による直接照度

直射日光を考慮するため、直射日光定数、大気透過率、太陽高度、太陽方位角を1組のデータとして直射日光の情報とした。図 5.6.3 に示しているのは、太陽高度 40 度、太陽方位角-25 度の場合である。このデータの可視化に際しては、この図のように、天空面における太陽の位置を 3 面図(正面図、平面図、右側面図、正投影法第三角法)で表現することとした。この直射日光データを基に、地表面及び建物内の直接照度分布を求めたものを、それぞれ図 5.6.4、図 5.6.5 に示す。

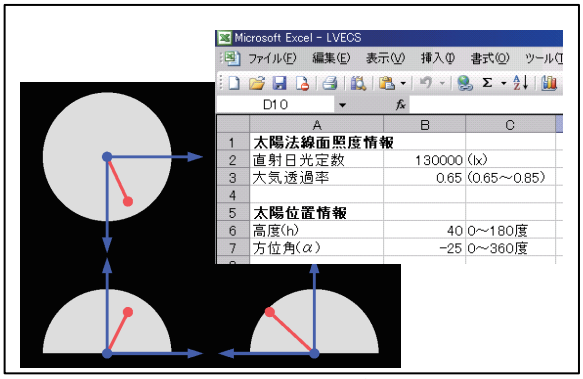


図 5.6.3　直射日光データの例

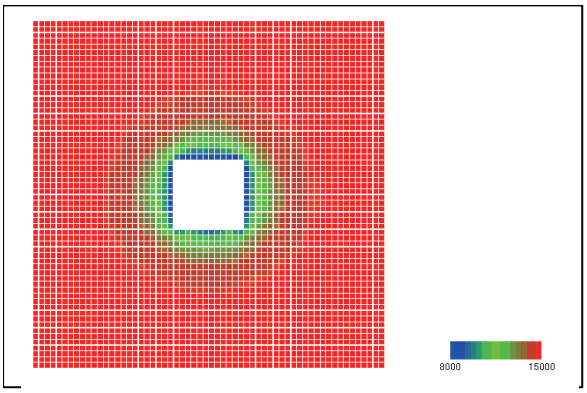


図 5.6.4 直射日光による地表面の直接照度

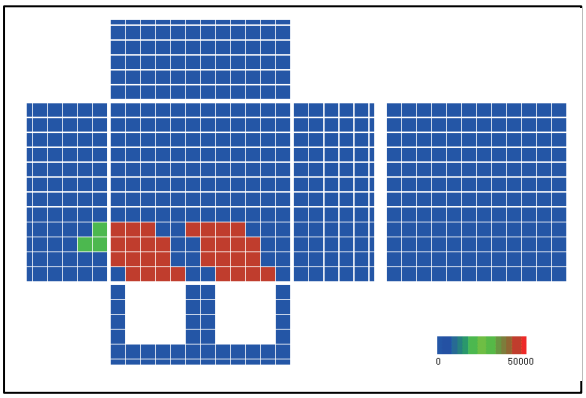


図 5.6.5 直射日光による建物内の直接照度

(3) 地物反射光による建物内の直接照度

一般に、地物反射光による建物内の照度については、光源から1度地表面で反射して建

物内に入るものであるため、直接照度とは呼ばれない。しかし、LVECS においては、直射日光、天空光、地物反射光を並列の光源（独立ではない）として見立てているため、ここではあえて直接照度と呼び、後述の相互反射光による間接照度と区別するものとする。

地物反射光については、図 5.6.4 に示したものが計算例であり、これに地表面の反射率を乗じた上で新たな光源と見立てれば良い。しかし、地物反射光は、直射日光に由来するものに加えて天空光に由来する成分も無視することが出来ない。そこで、天空光による地表面の直接照度を計算する機能を付加し、それを加えた上で地物反射光による建物内の直接照度を計算させることとした。なお、直射日光、天空光による地表面の直接照度については、どちらかの計算を実行しなければ、それぞれを省略した値を地物反射光として計算することも出来る。天空輝度 4,774.65 cd/㎡ の一様天空(全天空照度=15,000lx)による地表面の直接照度の計算結果を図 5.6.6 に、この計算結果と図 5.6.5 に示した結果を合算(直射日光と天空光に由来する照度を合算)したものに反射率を乗じて地物反射光とし、これによる建物内の直接照度を求めたものを図 5.6.7 に示す。なお、天空光による照度の計算は、日本建築学会昼光シミュレーション SWG で開発された汎用昼光光源モデル[1)]を利用している。

(4) 相互反射計算による間接照度

直射日光、天空光、地物反射光それぞれによる直接照度が求められたので、これらの値を基に相互反射計算を行い、間接照度を求める機能を開発した。なお、3 つの直接照度計算のどれかを実行せずに相互反射計算を行った場合は、実行しなかった部分の値はゼロとなり、その分を考慮せずに計算したこととなる。

図 5.6.8 に、これまで計算してきた直射日光、天空光、地物反射光それぞれによる直接照度にそれぞれの部位の反射率を乗じたものを初期光束発散度とし、相互反射計算を行って間接照度を求めたものを示す。なお、相互反射計算は、計算機負荷の小さい漸進法を用いている。

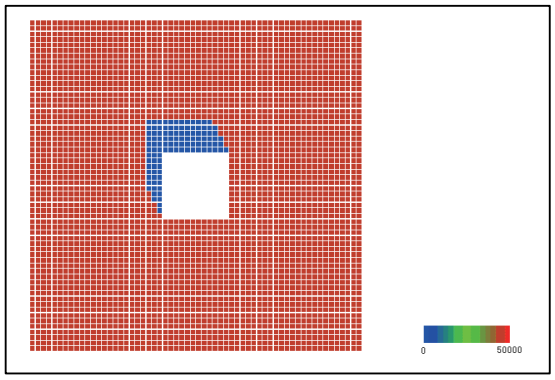


図 5.6.6 一様天空の天空光による地表面の直接照度

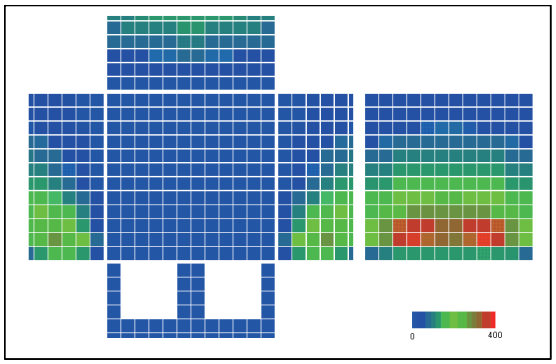


図 5.6.7 地物反射光による直接照度

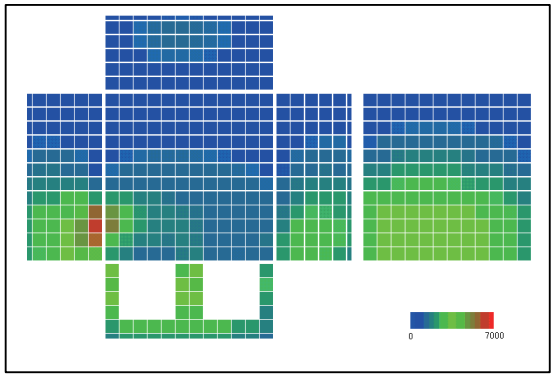


図 5.6.8 相互反射計算による間接照度

(5) 輝度分布（オブジェクトベース）

輝度分布については、いわゆる CG 分野で作成される画像イメージと同様に、あたかも現実空間を見ているかのようなリアリティのある分布を求めることが望まれる。しかし、このような分布の算出は極めて計算機負荷の大きな計算となるし、場合によっては大まかな輝度の値が求まればよい(擬似カラーにより数値を表現する

場合など)ケースもあり得る。そこで、輝度分布の計算機能としては、粗い計算精度ではあるが計算時間の短いオブジェクトベースの輝度分布計算機能と、計算時間は長いが計算精度の高いイメージベースの輝度分布計算機能の 2 種類を用意した。なお、どちらの計算の場合も、基となるのはこれまでの直接、間接照度計算で得られた要素毎の光束発散度であり、それを内挿するかしないかが違いとなる。すなわち、要素を単位として輝度分布とする(要素内一定とする)方法がオブジェクトベース(オブジェクトが最小単位となる)の輝度分布計算機能であり、得られた輝度分布に要素のモザイク状のマス目模様が生じてしまうが、計算時間は短い(要素の大きさに依存する)。これに対し、空間解像度を最終的に生成されるイメージの画素数から導き、求める位置の輝度を要素内で内挿して求める方法がイメージベースの輝度分布計算機能となる。

オブジェクトベースの場合、内挿が不要となるため、いったん最終的な光束発散度が求められれば、それに基づく輝度分布は瞬時に求めることが出来、アニメーション化などに適している。図 5.6.9 に、これまでの計算条件に基づく各要素の光束発散度による輝度分布を示す。さらに、天空光とその地物反射光による影響のみ考慮した結果を図 5.6.10 に示す。なお、どちらの場合も、建物の要素は 10cm×10cm としている。この場合、要素が小さいためにマス目模様の影響は小さいが、直射日光の到達する境界部などではマス目模様の影響を無視できない。

(6) 輝度分布(イメージベース)

オブジェクトベースの輝度分布は、計算は容易であるが、最終的に要素の形が残ってしまうため、リアルな CG 表現としては適切ではない。そこで、イメージベースの輝度分布計算機能の開発を行った。ここで、激しい輝度分布の変化を生じさせ、分布状態を支配する要因となる直射日光による成分については、輝度を求める単位毎に正確に求めることとした。輝度を求める単位とは、最終的に求められる輝度分布の解像度に相当するもので、計算結果を画像イメージとする場合には、イメージの 1 ピクセルがそれに相当する。すなわち、640×480 の画像を出力として計算を行う場合には、640×480 回直射日光による輝度を求めることになる。計算の際は、コンピューターグラフィクスの分野の Raycasti- ng 法(視点から光線を発し、オブジェクトとの最初の交点を求める方法、図 5.6.11 参照)により、計算対象点の位置と法線ベクトルを決定し、直射日光が到達しているか否かという情報と、直射日光の向きのベクトルと法線ベクトルの関係の情報から、輝度を算出することになる。直射日光による直接照度は、計算の過程で要素毎の値が既に計算済みであるので、均等拡散反射を仮定すれば輝度は簡単に求められるが、この方法であらためて計算を行うこととなる。

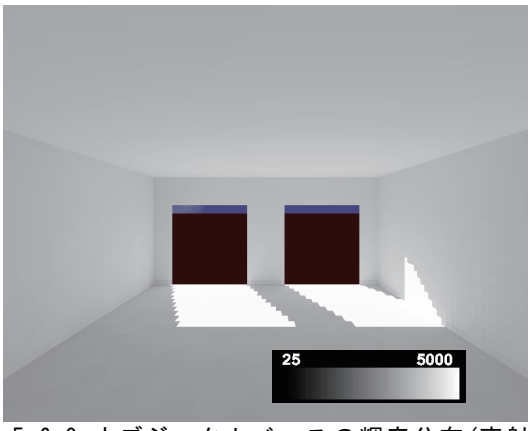


図 5.6.9 オブジェクトベースの輝度分布(直射日光あり)



図 5.6.10 オブジェクトベースの輝度分布(直射日光なし)

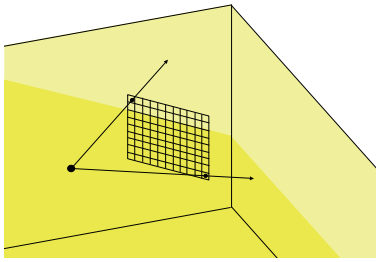


図 5.6.11 Raycasting法

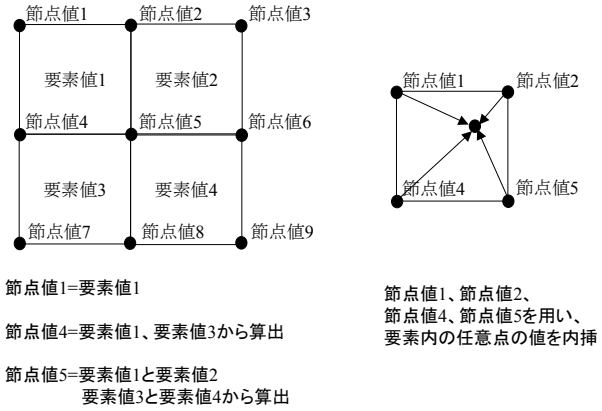


図 5.6.12 要素値を基にした内挿法

直射日光以外の成分による輝度は、輝度分布に寄与する割合が直射日光によるものに比べて比較的小さいため、計算により求められた要素値を用いて算出を行う。この際、計算時の仮定のように要素内の照度を一定としてしまうと、影響が小さいとはいえ輝度の計算結果にマス目模様が生じてしまう。そこで、要素毎の輝度値から節点の輝度値を求め、この値を用いて要素内の輝度値を内挿により求める。要素の値から節点の値への変換は、その節点に接する要素における値を面積に応じて按分することにより求めることができる(図 5.6.12 参照)。この方法は、参考文献 2)で示された方法と同一である。図 5.6.13、図 5.6.14 に、この方法で求めた輝度分布と、比較のために内挿を行わずあえてマス目模様を生じさせたものを、それぞれに示す。

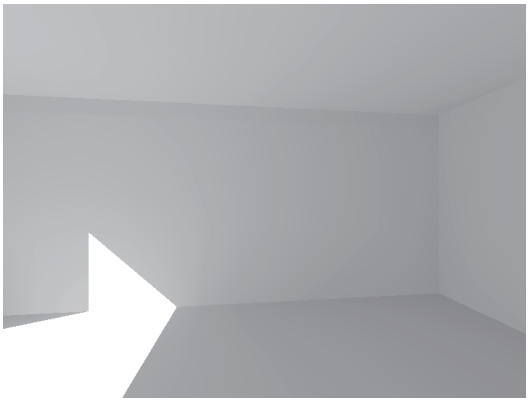


図 5.6.13 イメージベースの輝度分布

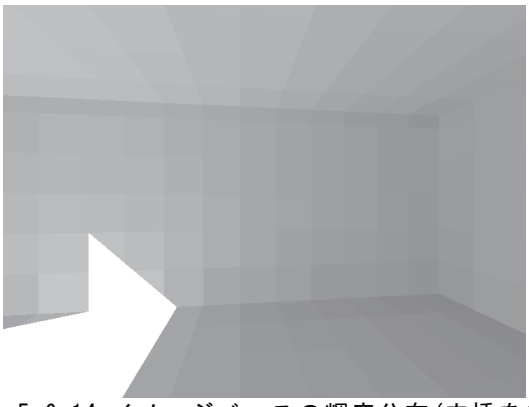


図 5.6.14 イメージベースの輝度分布(内挿を行わなかった場合)

4) 可視化機能

これまで示したように、LVECS による機能が増大した結果、計算条件、計算結果について把握することが容易ではなくなってきたため、計算条件、計算結果を視覚的に理解できるように可視化機能の開発を行った。これまで示してきた計算条件と計算結果の図のすべてがこの機能によるものである。

直射日光の計算条件のみ、正投影法第三角法による表現を採用しているが、残りはすべて同一のルーチンを用いている。すなわち、表 5.6.2 に示すように、共通の可視化ルーチンに対してパラメーターを与え、投影法 3 種類、出力形式 2 種類、出力スケール 2 種類、枠の有無 2 種類を任意に組み合わせて表現することとしている。

表 5.6.2 可視化ルーチンのオプション

投影法	出力形式	出力スケール	枠
展開図	疑似カラー	線形	あり
平行投影	グレー	対数	なし
透視投影			

これまで図で表現したものは、ここで考えられる組み合わせのごく一部であるが、「展開図、グレー、対数、枠なし」で輝度分布を表現すると図 5.6.15 のように、「透視投影、擬似カラー、対数、枠なし」で輝度分布を表現すると図 5.6.16 のように、「平行投影、擬似カラー、線形、枠あり」で天空輝度分布を表現すると図 5.6.17 のようになる。

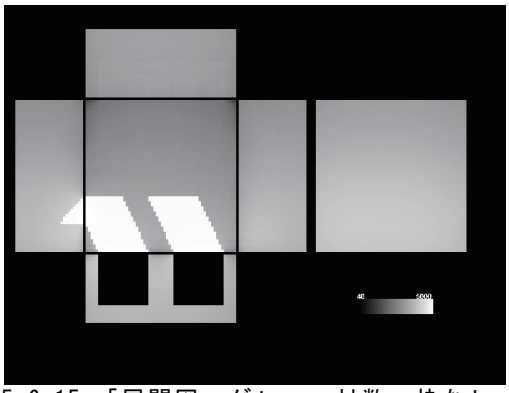


図 5.6.15 「展開図、グレー、対数、枠なし」の輝度分布表現



図 5.6.16 「透視投影、擬似カラー、対数、枠なし」の輝度分布

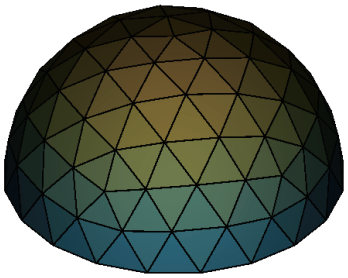


図 5.6.17 「平行投影、擬似カラー、線形、枠あり」の天空輝度分布

5) 相互反射計算の精度検証

様々な計算機能が付加されても、その精度が低ければ計算結果を信頼することはできない。そこで、ここでは特に計算精度にばらつきがあると考えられる相互反射計算の精度について、解析階に近い値を求めることが出来るケースを想定して計算を行った。一般に、積分球における間接照度は、直接照度を E0、反射率を ρ とすると、

ρ／(1−ρ) E0　　数式 5.6.1

となることが知られている。積分球の間接照度をそのまま求めることは出来ないが、正 20 面体の再分割であるジオデシックドームを用いることで、球面の近似モデルを作成することが出来る。ここでは、8 度数のジオデシックドーム(正 20 面体の 1 辺を 8 等分し、1 つの正三角形が 64 個の三角形に分割され、計 1280 面体となる、図 5.6.18 参照)を用いてこれを擬似積分球とし、直接照度を 100lx、擬似積分球の反射率を 0.7 として計算を行った。

計算結果を表 5.6.3 に示す。

表 5.6.3 擬似積分球による間接照度の計算結果

要素数	1280
間接照度平均	233.3348364(lx)
間接照度標準偏差	0.01980012(lx)
間接照度変動係数	0.0000848571
間接照度最小値	233.2979821(lx)
間接照度最大値	233.3348364(lx)

ただし、相互反射は光束伝達法を漸進法(収束条件 未放射光束計 ＜ 初期未放射光束計)で計算した。(放射回数 = 4572)

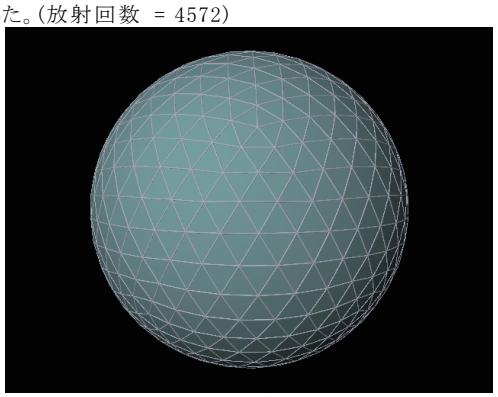


図 5.6.18 8度数のジオデシックドーム(1280要素)による擬似積分球

間接照度解析解が、
100×0.7 / (1-0.7) = 233.333…
であるので、極めて高い精度が確保できていることが示された。

6) まとめ

本項では、天空光による直接照度に加え、直射日光による直接照度、地物反射光による直接照度、相互反射計算による間接照度、輝度分布(オブジェクトベース、イメージベース)を求めることが可能な LVECS の開発概要を示した。統合操作パネルの作成、計算条件及び計算結果の可視化機能の開発、様々な計算機能の付加、さらに、相互反射計算の精度について、擬似積分球を用いて計算精度の高さを示したことなどが主要な成果である。LVECS の開発としては、ほぼ必要な機能を開発することが出来たと考えられるが、これからはこのツールの一般への普及に向けて一層の取り組みを行う必要がある。そのためには、一般の設計者が LVECS を利用した際の意見を収集し、これを迅速に LVECS の計算機能、ユーザーインターフェースに反映させていくことが何よりも重要となろう。

(鈴木 広隆、登石 久美子)

参考文献

1:鈴木 広隆、吉澤 望、原 直也、上谷 芳昭、梅宮 典子、「昼光シミュレーションのための入力/出力インターフェースの開発」、日本建築学会大会学術講演梗概集 D1、p387～p388 平成 16 年 8 月
2:鈴木 広隆、平手 小太郎、安岡 正人、配光特性を考慮した光束伝達法による照明計算法、日本建築学会大会学術講演梗概集 D、p1913～p1914、平成 6 年 9 月

5.6.2 材料の反射特性の詳細データ

1) はじめに

視環境の良否の検討や光環境のイメージの伝達手段である CG の生成においては、材料表面への光の当たり方と材料の反射性状に基づいて表面間の光の伝達や表面の見え方を検討することが不可欠になる。光環境の数値計算において境界条件となる表面は均等拡散性であると仮定している場合が多く、計算結果から得られた照度や輝度は表面の材料の光学的な特性を反映したものとなっていないのが現状である。光環境の数値計算に基づいて良好な視環境を実現するためには、反射特性をも含んだ数値計算手法 [1)]を利用するなどの対策が必要である。少なくとも、均等拡散性の仮定のもとで得られた計算結果であることを認識し、均等拡散性でない材料の反射特性が照度や輝度に及ぼす影響を理解した上で計算結果を解釈する必要がある。いずれの場合も材料表面の反射特性を十分に知る必要がある。

均等拡散性でない材料の反射特性が光環境の数値計算結果を左右する場合の一例として、直射日光が当たる面など、表面に入射する光の指向性が大きい場合がある。たとえば、直射日光の地物反射光も含めて室内の光環境を検討する場合などは、地物の反射特性が室内に入射する地物反射光の量を左右する。ここでは地物の一つである舗装材を対象としてアスファルトやコンクリートの材料表面の反射特性を測定したデータを提示する。

2) 反射特性値の定義

反射特性の指標として、ある入射方向(A_i, θ_i)からの入射光による試験体表面の照度 $E_{Ai,\theta i}$ に対する、ある反射方向(A_r, θ_r)で測定(観察)した場合の試験体表面の輝度 $L_{Ar,\theta r}$ の比であり、次式の関係で表す反射特性値(輝度係数に相当する)を用いる。

$$\rho_{A_i,\theta_i,A_r,\theta_r} = \frac{L_{A_r,\theta_r}}{E_{A_i,\theta_i}}$$

なお、入射方向と反射方向の角度は図 5.6.19 に示すように定め、それらのある組み合わせに対して反射特性値が得られる。

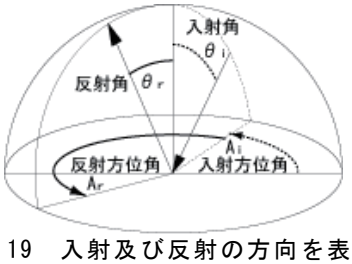


図 5.6.19 入射及び反射の方向を表す角度

3) 反射特性値の測定装置

輝度計を固定し、試験体と光源を回転させることで試験体表面への入射光の方向と、その表面の輝度を測定する方向を種々に設定し、反射特性値を算出するための輝度と照度を測定する装置を構成した。

図 5.6.20 は固定された輝度計から見た測定装置を模式的に示した図である。試験体は 3 つの軸で、光源は 1 つの軸で回転させ、その回転角を指定した角度に設定して試験体の輝度を分光放射輝度計 Topcon SR-3 (視野角 1.0°)で測定、及び、照明装置内の照度を照度計 Minolta T-10M で測定する一連の作業を次々と自動的に遂行するシステムを構成した。これら 4 つの回転角と図 5.3.19 に示す試験体での入射及び反射の方向を表す 4 つの角度を対応付けることで、任意の入射方向、反射方向での輝度を測定することができる。

試験体表面の照度は、輝度測定時の照明装置内照度から同定した法線照度と入射角度から算定した。同定にはあらかじめ測定して得た照明装置内の照度と試験体表面の中心位置での入射光の法線照度との関係を用いている。測定時間中の光源出力の変動に結果が左右されないための措置であったが、その変動はわずかであった。また、試験体への入射光が光源の直接光のみになるように、実験装置全体を暗幕で囲い外光及び間接光が存在しない状態で測定している。

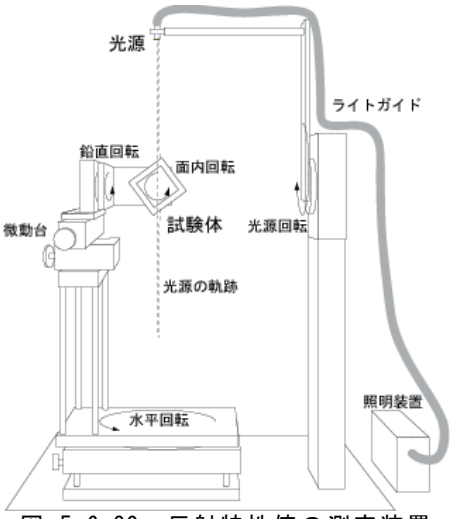


図 5.6.20 反射特性値の測定装置

試験体の回転機構は水平、鉛直、面内回転ステージの 3 つの自動回転ステージを組み合わせて構成した。水平回転ステージに鉛直回転ステージを二つの回転軸が垂直な関係になるように支持部材を介して固定し、その鉛直回転ステージに面内回転ステージをそれら二つの回転軸が垂直な関係になるように支持部材を介して固定している。これら 3 つの回転軸が回転中心にて一点で交差可能なように設計されており、試験体はその表面が回転中心になるように面内回転ステージに取り付けた。

光源の回転機構は試験体の回転機構とは独立しているが、その回転中心は試験体の回

転中心と一致している。ライトガイドの先端を、光源回転ステージに取り付けた支持部材により試験体の回転中心からの距離が23.0cmになるように固定し、その周りを 360° 回転可能としている。光源はライトガイド照明装置(中央精器製 SPH-100E)に取り付けたライトガイドの先端であり直径15mmの円形の発光面である。回転ステージの取り付け部分や微動台などを調整することで、4つの回転軸が1点の回転中心で交わるように調整した。

回転ステージのコントローラーと、輝度計、照度計を1台のパソコンに接続してVisual Basic 6.0により、それら全てを制御するプログラムを作成し、角度の変更した上で照度と輝度を測定し測定データを記録する一連の作業を自動的に遂行するシステムを構築した。

4) 測定対象とした舗装材料

測定対象とした舗装材料の一覧を図 5.6.21 に示す。試験体とした舗装材は全て 10×10×3cm の寸法に整形している。測色計(MINOLTA CM-2002)で測定した D65 光源下で観察視野 2° での輝度と色度を付記している。SCE、SCI はそれぞれ正反射光込み、正反射光除去方式で測定した値である。使用済みと記したもの以外は全て使用されていない状態の試験体である。

5) 反射特性値の測定角と測定結果

詳細な反射特性値を測定するための角度の組み合わせは膨大な数になる。ここで測定対象とした舗装材料はコンクリート試験体ホウキ目仕上げ以外については表面の凹凸には方向性はなく、入射方位に関わらず反射特性が同じとして扱ってよさそうである。入射方向と試験体面法線を含む面のみについて、さまざまな入射方位角で反射特性値を入射角、反射角共に 15° 間隔で測定した結果、排水性舗装用混合剤、使用済みアスファルト、使用済みコンクリート、コンクリート試験体ホウキ目仕上げについては、反射特性値にかなりのばらつきが見られた。表面の凹凸が粗いほど入射方位角による反射特性値のばらつきが大きいようである。試験体表面の方向性や凹凸による測定値のばらつきについての検討がまだまだ必要ではあるが、ここでは図 5.6.21 の試験体写真右斜め上 45° を入射方位角としたときて詳細に測定した反射特性値のデータを示す。

図 5.6.22 は全ての測定角を等距離射影図上に布置したものである。15° 間隔で設定した入射角ごとに、正反射方向からの離角は 5° 間隔で、正反射方向を軸とした方位角を 15° 間隔で半空間について設定し、その組み合わせとなる反射方向を設定した。

測定で得られた反射特性値に基づいて作成した等反射特性値線を図 5.6.23(1)～(11)に示す。図 5.6.23 から各材料について入射角度ごとの反射特性値を読み取ることができる。図中の中心軸の▲印が入射角を示しており、その方向の反射特性値は測定できていない、また、一部の反射方向については光源または輝度計が測定装置の影になり、反射特性値が測定できていない条件も存在している。

材料によって反射特性値の大きさに差異はあるが、入射角が大きくかつ反射角が大きい条件で反射特性値が相対的に高くなる傾向がある。また、一部の試験体では入射角が大きい条件において、入射方位角方向で反射角が大きい方向の反射特性値が相対的に高くなる傾向も見られる。

材料表面が均等拡散性であれば反射特性値は方向に関わらず一定になるが、実際の舗装材料には均等拡散性として扱うことのできない条件があることが確認できた。

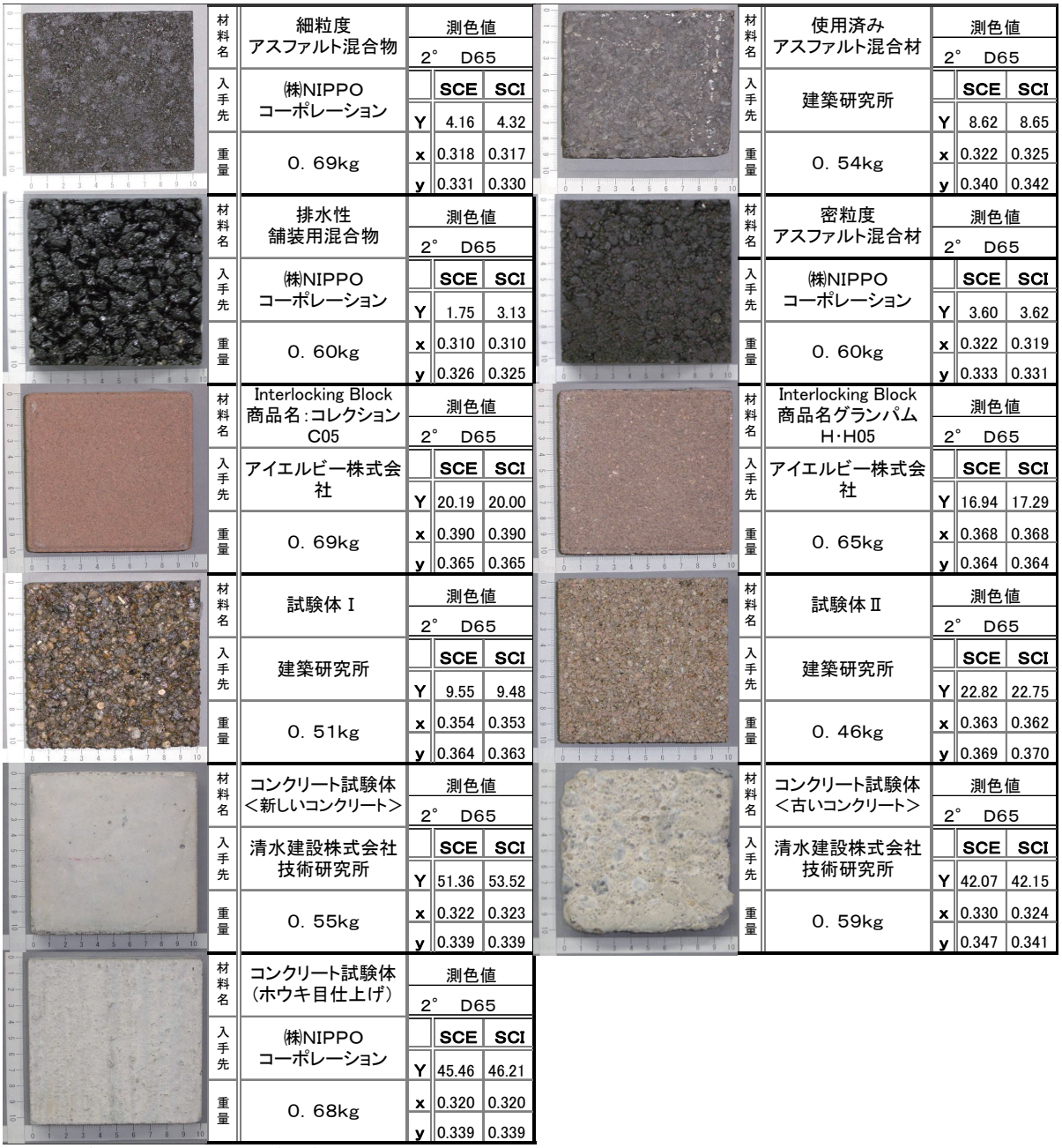
6) まとめ

舗装材料の反射特性値の測定結果を示した。これら反射特性の違いが光環境や視環境の評価にどの程度影響を及ぼすかは今後更なる検討が必要である。その影響が無視できない場合においては、本手法により種々の材料表面の反射特性値を測定することで、それらの特性を踏まえた光環境の計画に役立つデータが収集できることになると考えている。

(原 直也)

参考文献

1. Y. Uetani, K. Matsuura:A Method of Luminance Calculation in an Anistropic Diffuse Reflecting Interior, Journal of the Illuminating Engineering Society, 22-2, pp. 166-175, 1993



材料名	細粒度アスファルト混合物	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	㈱NIPPOコーポレーション	Y	4.16	4.32
重量	0.69kg	x	0.318	0.317
		y	0.331	0.330

材料名	使用済みアスファルト混合材	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	建築研究所	Y	8.62	8.65
重量	0.54kg	x	0.322	0.325
		y	0.340	0.342

材料名	排水性舗装用混合物	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	㈱NIPPOコーポレーション	Y	1.75	3.13
重量	0.60kg	x	0.310	0.310
		y	0.326	0.325

材料名	密粒度アスファルト混合材	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	㈱NIPPOコーポレーション	Y	3.60	3.62
重量	0.60kg	x	0.322	0.319
		y	0.333	0.331

材料名	Interlocking Block 商品名:コレクション C05	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	アイエルビー株式会社	Y	20.19	20.00
重量	0.69kg	x	0.390	0.390
		y	0.365	0.365

材料名	Interlocking Block 商品名グランパム H·H05	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	アイエルビー株式会社	Y	16.94	17.29
重量	0.65kg	x	0.368	0.368
		y	0.364	0.364

材料名	試験体Ⅰ	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	建築研究所	Y	9.55	9.48
重量	0.51kg	x	0.354	0.353
		y	0.364	0.363

材料名	試験体Ⅱ	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	建築研究所	Y	22.82	22.75
重量	0.46kg	x	0.363	0.362
		y	0.369	0.370

材料名	コンクリート試験体<新しいコンクリート>	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	清水建設株式会社技術研究所	Y	51.36	53.52
重量	0.55kg	x	0.322	0.323
		y	0.339	0.339

材料名	コンクリート試験体<古いコンクリート>	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	清水建設株式会社技術研究所	Y	42.07	42.15
重量	0.59kg	x	0.330	0.324
		y	0.347	0.341

材料名	コンクリート試験体(ホウキ目仕上げ)	測色値 2° D65	SCE	SCI
入手先	㈱NIPPOコーポレーション	Y	45.46	46.21
重量	0.68kg	x	0.320	0.320
		y	0.339	0.339

※SCI:正反射光込みで測色 SCE:正反射光除去して測色

図 5.6.21 測定対象とした舗装材料の一覧

測定角

入射方位角 0° で入射角は 15° 間隔。反射方向は、正反射方向からの離角が 5° 間隔、正反射方向を軸とした方位角を 15° 間隔で設定、測定方向を等距離射影図で下に示す。図中◇は装置の影などで測定できなかった設定。

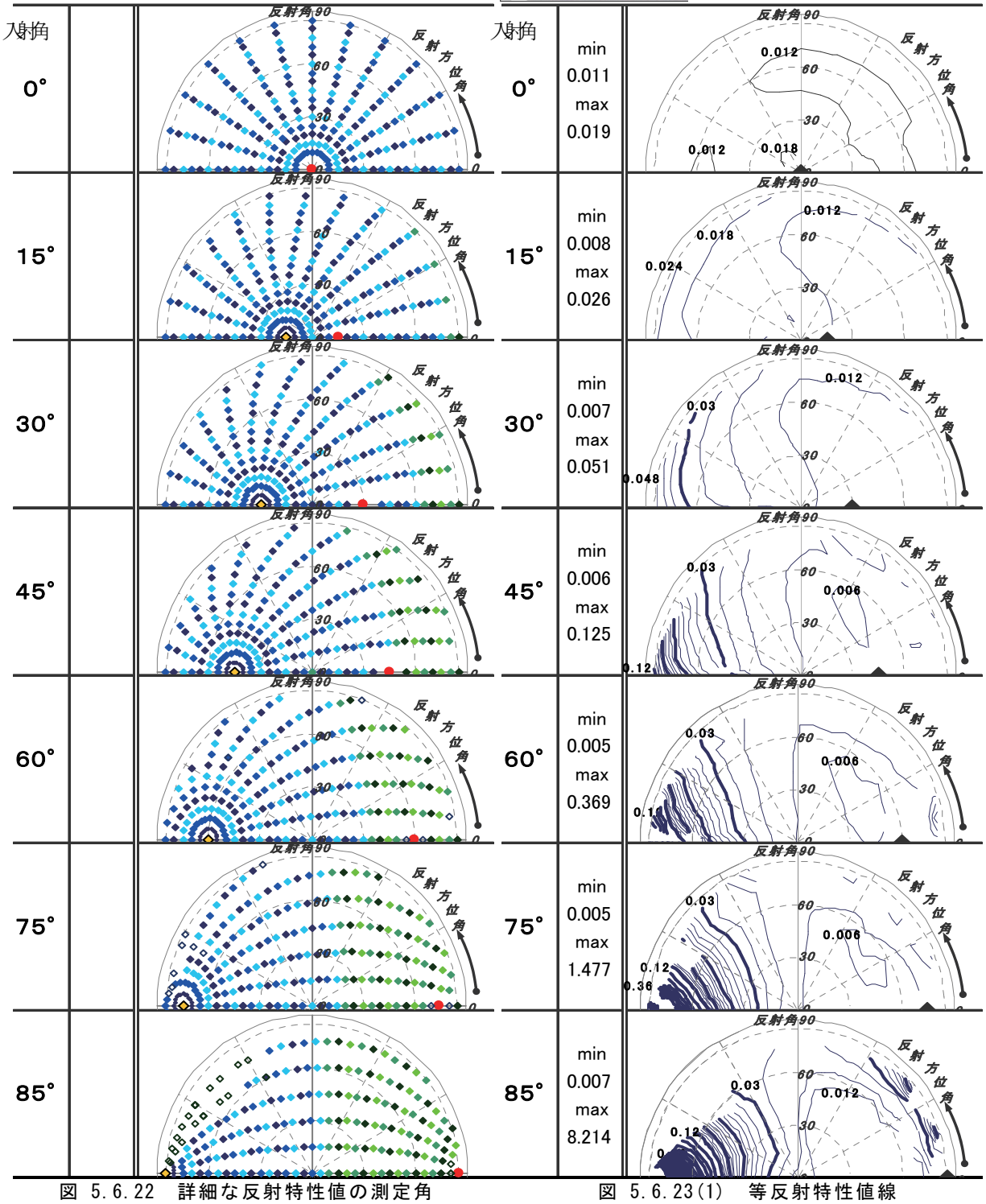
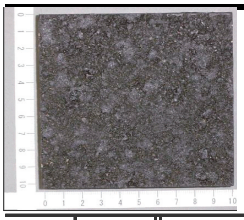


図 5.6.22 詳細な反射特性値の測定角

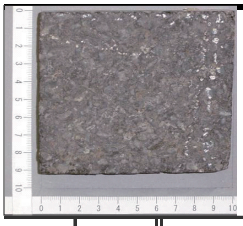
細粒度アスファルト混合材



反射特性値のコンター線は
—— は0.006、
—— は0.03間隔

図 5.6.23(1) 等反射特性値線

使用済みアスファルト混合材



反射特性値のコンター線は
―― は0.003、
―― は0.015間隔

排水性舗装用混合材



反射特性値のコンター線は
―― は0.0032、
―― は0.016間隔

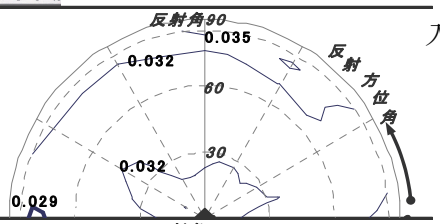
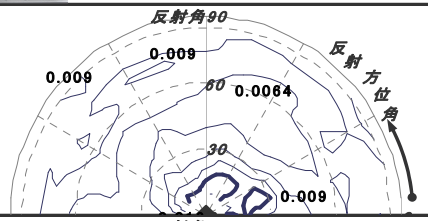
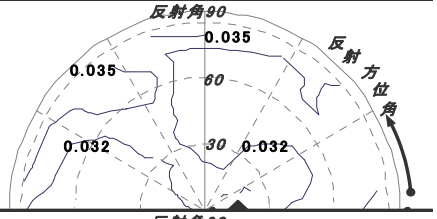
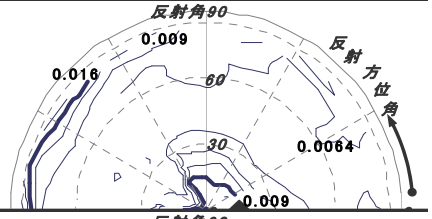
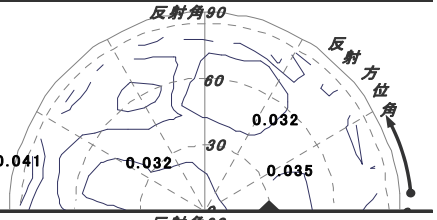
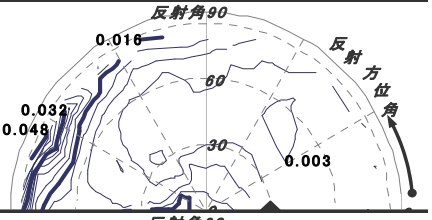
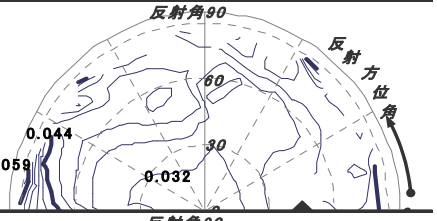
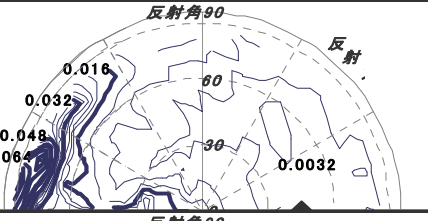
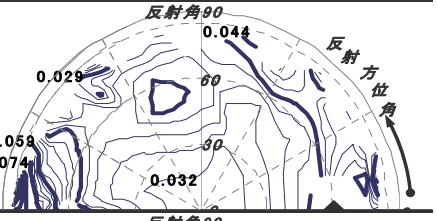
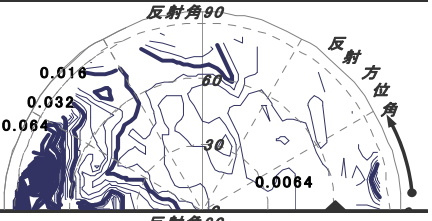
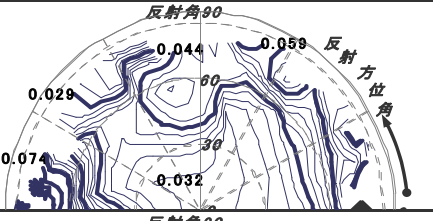
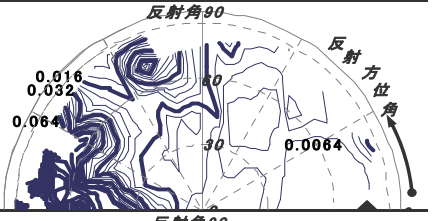
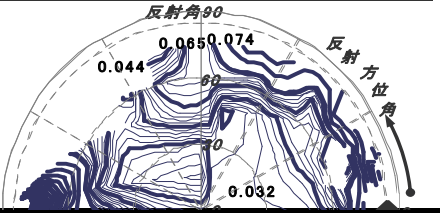
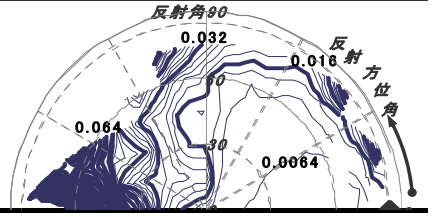
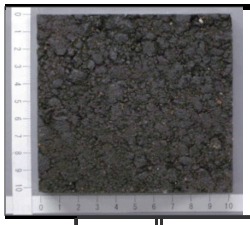
入射角	min / max	使用済みアスファルト混合材	入射角	min / max	排水性舗装用混合材
0°	min 0.029 max 0.036		0°	min 0.004 max 0.019	
15°	min 0.030 max 0.036		15°	min 0.003 max 0.024	
30°	min 0.030 max 0.043		30°	min 0.003 max 0.049	
45°	min 0.024 max 0.063		45°	min 0.003 max 0.145	
60°	min 0.010 max 0.158		60°	min 0.003 max 0.419	
75°	min 0.006 max 0.366		75°	min 0.004 max 0.715	
85°	min 0.016 max 1.988		85°	min 0.004 max 1.940	

図 5.6.23（2）等反射特性値線

図 5.6.23(3)等反射特性値線

密粒度アスファルト混合材



反射特性値のコンター線は
―― は0.0044、
―― は0.022間隔

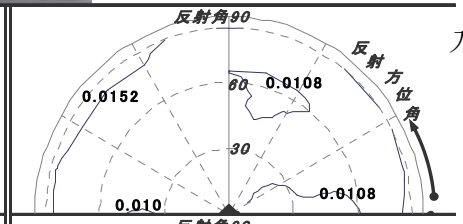
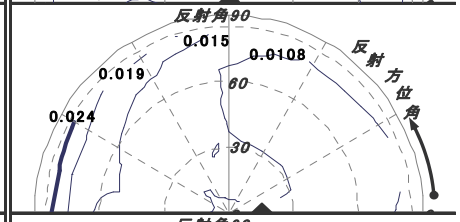
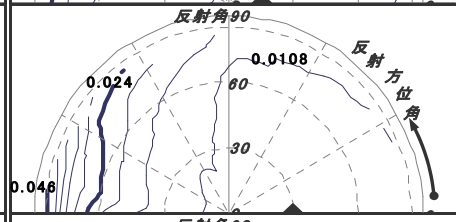
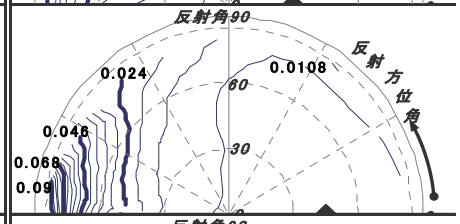
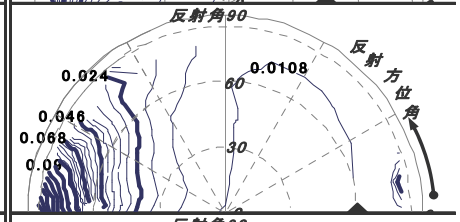
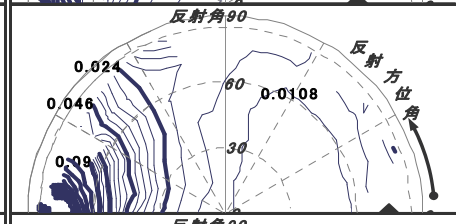
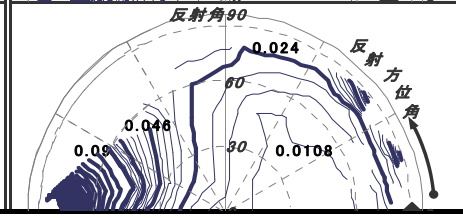
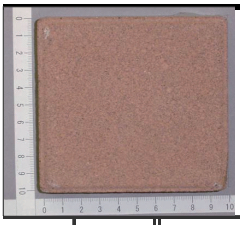
入射角		
0°	min 0.010 max 0.018	
15°	min 0.009 max 0.026	
30°	min 0.008 max 0.048	
45°	min 0.008 max 0.106	
60°	min 0.008 max 0.268	
75°	min 0.005 max 0.992	
85°	min 0.007 max 6.639	

図 5.6.23（4）等反射特性値線

C05



反射特性値のコンター線は
―― は0.005、
―― は0.025間隔

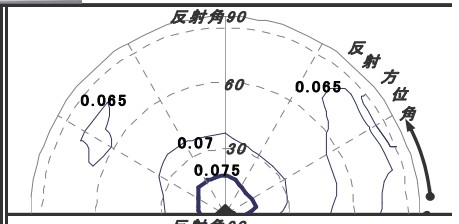
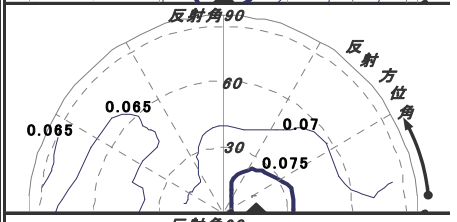
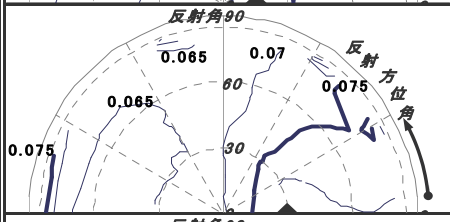
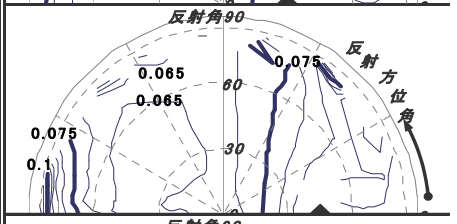
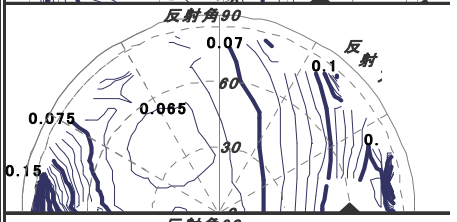
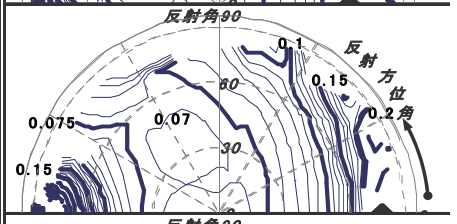
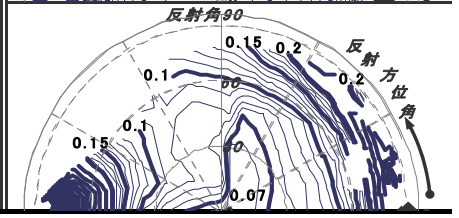
入射角		
0°	min 0.062 max 0.078	
15°	min 0.062 max 0.080	
30°	min 0.054 max 0.084	
45°	min 0.041 max 0.117	
60°	min 0.017 max 0.271	
75°	min 0.009 max 0.838	
85°	min 0.067 max 4.153	

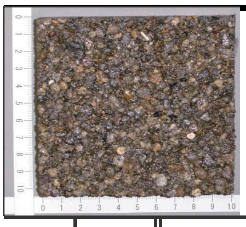
図 5.6.23（5）等反射特性値線

H05

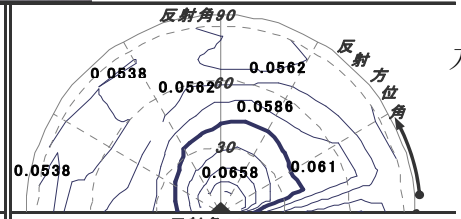
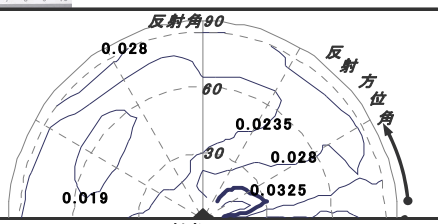
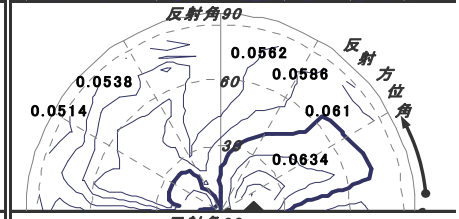
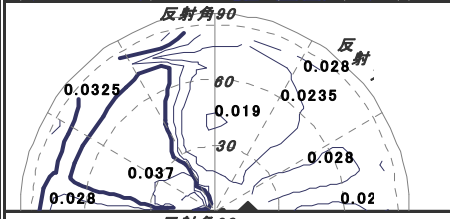
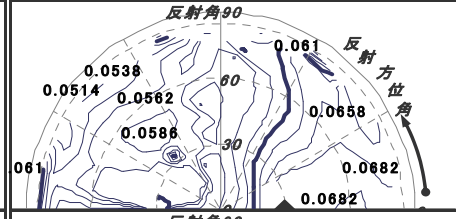
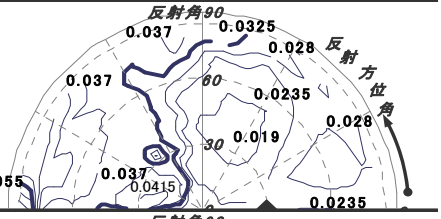
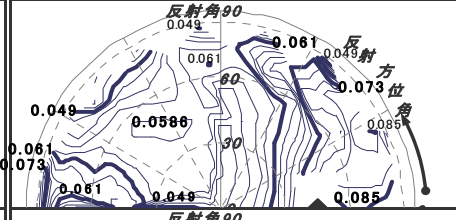
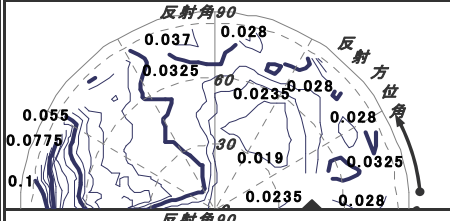
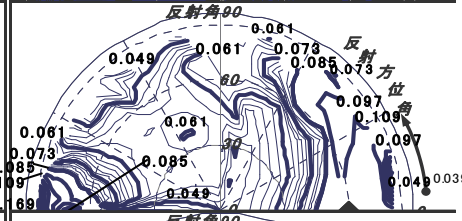
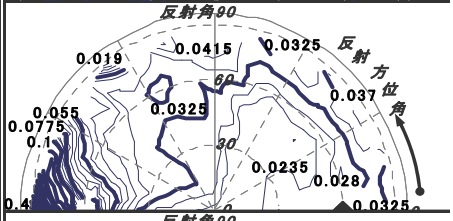
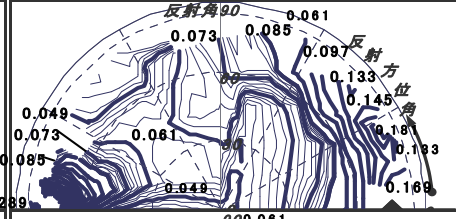
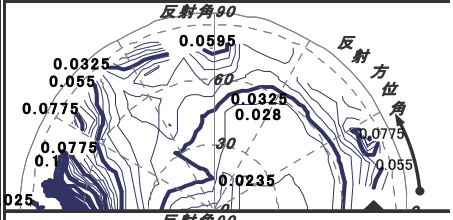
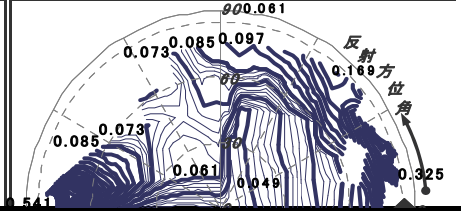
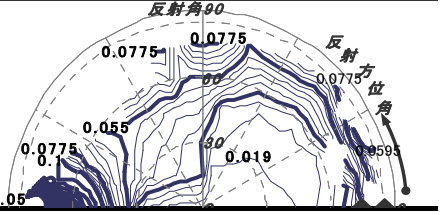


反射特性値のコンター線は
―― は0.0024、
―― は0.012間隔

試験体 I



反射特性値のコンター線は
―― は0.0045、
―― は0.0225間隔

入射角	min / max	図 5.6.23（6）等反射特性値線	min / max	図 5.6.23（7）等反射特性値線
0°	min 0.051 max 0.071		min 0.018 max 0.039	
15°	min 0.050 max 0.071		min 0.019 max 0.045	
30°	min 0.046 max 0.071		min 0.017 max 0.069	
45°	min 0.039 max 0.087		min 0.017 max 0.150	
60°	min 0.025 max 0.179		min 0.013 max 0.407	
75°	min 0.011 max 0.649		min 0.004 max 1.247	
85°	min 0.036 max 2.500		min 0.015 max 3.389	

試験体Ⅱ

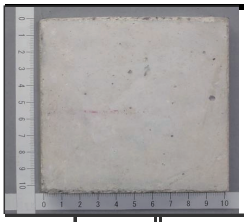


反射特性値のコンター線は
―― は0.008、
―― は0.04間隔

入射角	min / max
0°	min 0.068 max 0.088
15°	min 0.067 max 0.093
30°	min 0.069 max 0.114
45°	min 0.052 max 0.161
60°	min 0.028 max 0.289
75°	min 0.023 max 0.649
85°	min 0.076 max 1.928

図 5.6.23（8）等反射特性値線

新しいコンクリート



反射特性値のコンター線は
―― は0.015、
―― は0.075間隔

入射角	min / max
0°	min 0.141 max 0.186
15°	min 0.143 max 0.188
30°	min 0.122 max 0.186
45°	min 0.086 max 0.243
60°	min 0.028 max 0.422
75°	min 0.047 max 1.941
85°	min 0.148 max 14.46

図 5.6.23（9）等反射特性値線

古いコンクリート



反射特性値のコンター線は
―― は0.0105、
―― は0.0525間隔

コンクリート試験体ほうき目仕上げ



反射特性値のコンター線は
―― は0.01、
―― は0.05間隔

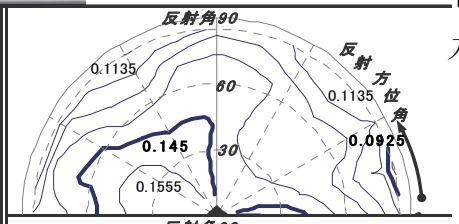
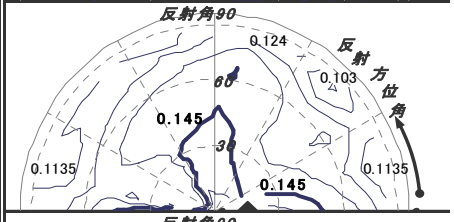
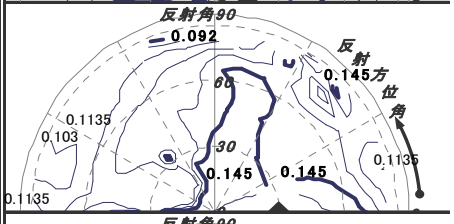
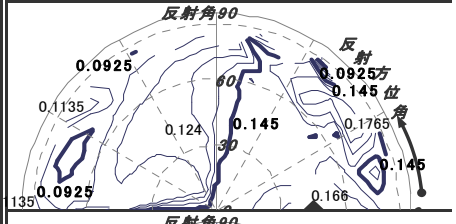
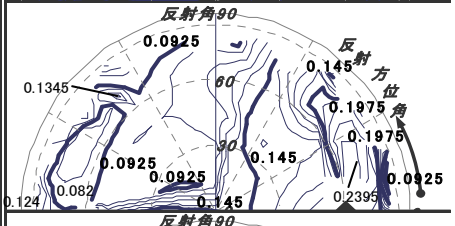
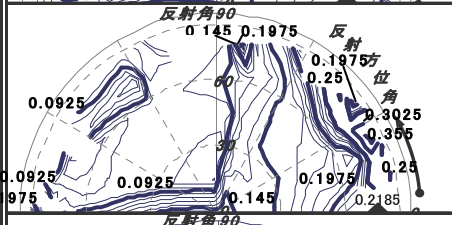
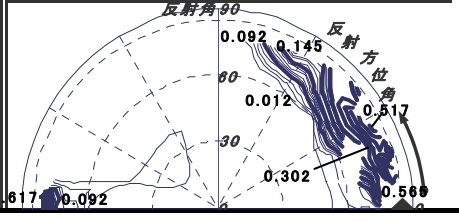
入射角	min / max	反射角90
0°	min 0.078 max 0.163	
15°	min 0.101 max 0.162	
30°	min 0.086 max 0.166	
45°	min 0.067 max 0.186	
60°	min 0.028 max 0.248	
75°	min 0.011 max 0.372	
85°	min 0.017 max 0.893	

図 5.6.23（10）等反射特性値線

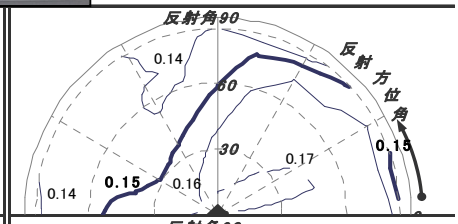
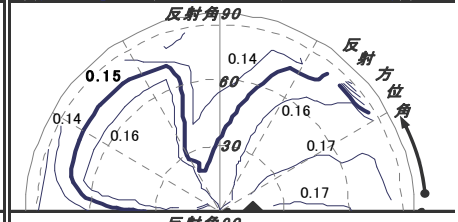
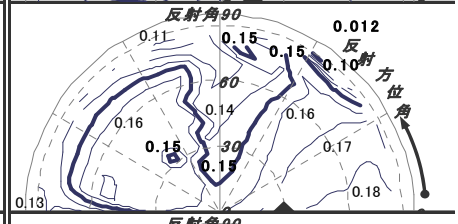
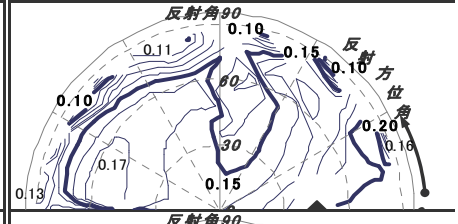
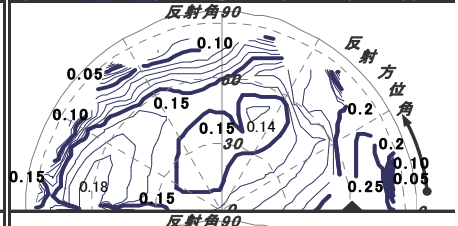
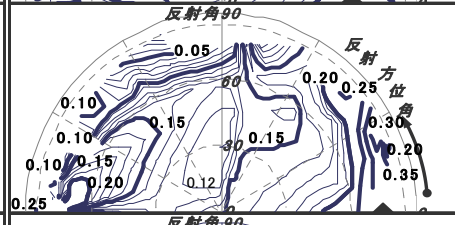
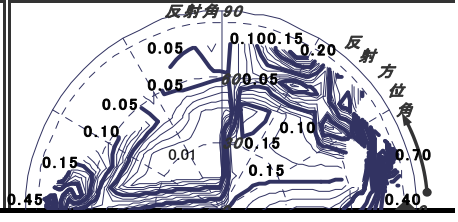
入射角	min / max	反射角90
0°	min 0.132 max 0.177	
15°	min 0.104 max 0.174	
30°	min 0.087 max 0.189	
45°	min 0.046 max 0.215	
60°	min 0.014 max 0.265	
75°	min 0.010 max 0.407	
85°	min 0.005 max 0.880	

図 5.6.23（11）等反射特性値線

5.7 研究開発のまとめ

本研究開発では、自立循環型住宅における昼光利用・照明技術とは、「省エネルギー」を基本に据えながらも快適性に結びつく視覚的な「質」を、居住者の生活スタイルを踏まえて実現する「調和技術」であるとの考えのもと、具体的に『まず必要十分な光を確保できるようにし、次いでその光の配置・経路(コントロールの仕方)を考えることで、量としての省エネルギーと質としての多様な要求に基づく見た目への対応をはかることができる』という研究理念を立て実施された。本研究開発によって示された内容と、それによる効果は、以下のように多岐にわたる。

5.2 節では、自立循環型住宅の昼光利用・照明システム設計フローを作成した。これにより、研究開発の全体像を把握することが容易になった。フローとして開発された要素技術が有機的に関連づけられることで、研究成果を設計者が利用しやすくなった。

5.3 節では、自立循環型住宅の昼光利用技術として、主に光の確保としての採光手法と主に光の経路としての導光手法を開発した。それぞれシミュレーションによる系統的な参考知見と、その応用事例が示された。採光手法においては、日照調整装置の検討による直射日光の光環境としての有効利用可能性と熱・空気環境の影響を検討した点、導光手法においては、その手法の定義自体と、装置に頼りすぎず建築的な導光を様々に検討している点が有用と考えられる。

5.4 節では、自立循環型住宅の照明技術として、省エネルギーと質を両立する多灯分散照明手法、居住者の点灯行動を踏まえた併用照明手法、天気連動型照明制御手法を開発した。多灯分散照明という新たな定義と技術の検討によって、光源自体の効率化と建築的配置による量と質の両立可能性を示したことは、本研究開発の考え方によく沿う一つの解決策を示したものといえる。更に、夏・冬を通じた全国的なアンケート調査や、人工空下の実大模型によって昼光と人工照明の併用可能性を示したことが現実的な知見として有用な点である。更に、直射光を考慮して天候の微細な変動に対応できる照明制御システムについて先駆的に検討している点が今後の展開が期待できるところである。

5.5 節では、自立循環型住宅の昼光利用・照明技術を勘案した消費エネルギー削減効果の算定をケーススタディとして行った。昼光利用・照明技術の両者を基にして、省エネルギー効果の試算を行っているのが量的な効果を把握する上で、非常に意味が大きい。昼光と人工照明の両方について様々な技術要素を更に加えてシミュレーションを行った例はこれまでになく、貴重なデータといえる。

5.6 節では、自然エネルギーを活用する自立循環型住宅の設計に欠かせない昼光環境予測のためのソフトウェア LVECS の開発と、予測に際して必要な材料反射率データの取得を行った。LVECS については、簡易なユーザーインターフェースを有しながらも、相互反射計算により詳細な直接照度や間接照度とともに輝度分布までも算出できる点が特徴的である。材料反射率データに関しては、アスファルトやコンクリートなど地物の反射特性について、新たな測定器を用いたこれまでに無いデータであり、今後の光環境予測に際して非常に役立つものと考えられる。

これらの知見は、何れも具体的に設計に生かしていくことが可能な技術である。しかしながら、自立循環型住宅の光環境の設計においては、多様な生活行為を踏まえて省エネルギーと快適性を確保しなければならず、設計フローを使用したとしても、個々の要素技術にとらわれ過ぎることも生じるであろうし、それにより計画がうまくいかないことも予想される。

そこで、要素技術をより容易に使うため、設計フローの上位概念として、要素技術を一言で総括した考え方を示すと、「適時・適所・適光」として簡潔にまとめられる。例えば多灯分散による照明は、適切な箇所に適切な光を配分することであって、センサーによる点灯などは、適切な時間だけ照明する

ことを意味する。昼光利用も同じくこの考え方に当てはまる。

自立循環型住宅の昼光利用・照明技術の開発は、住宅設計全体の中で、光環境以外の要素技術と併せて並び示されたという点でようやく一歩を踏み出したといえ、今後も更なる開発を進めることで、より意義のある成果が生まれるであろう。

（三木保弘）

5.8 カラー再掲

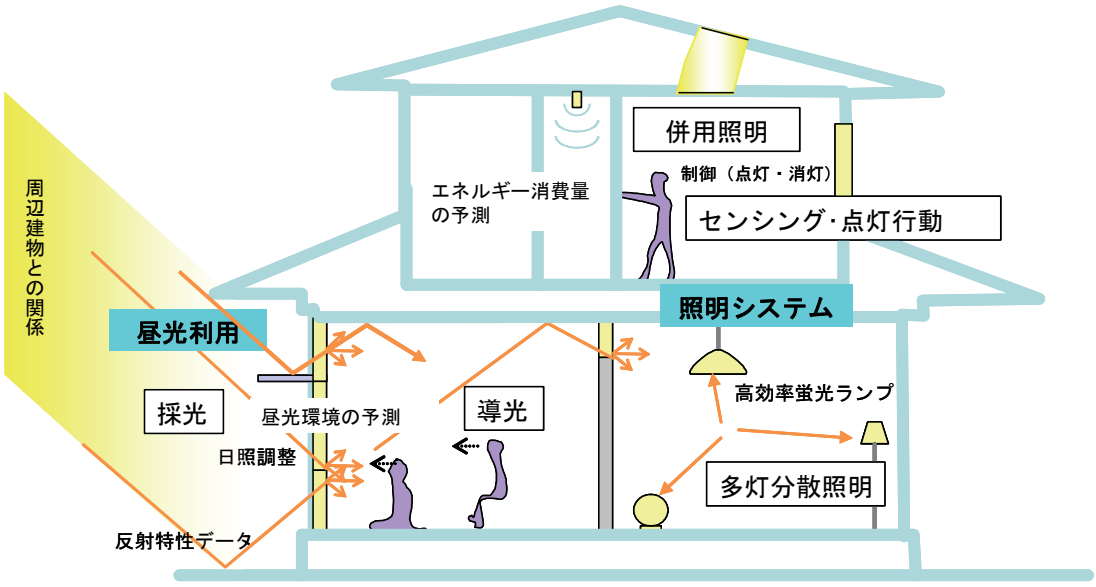


図 5.2.1　昼光利用・照明システムの全体像　（p.362）

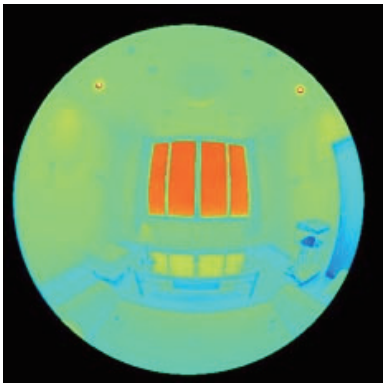
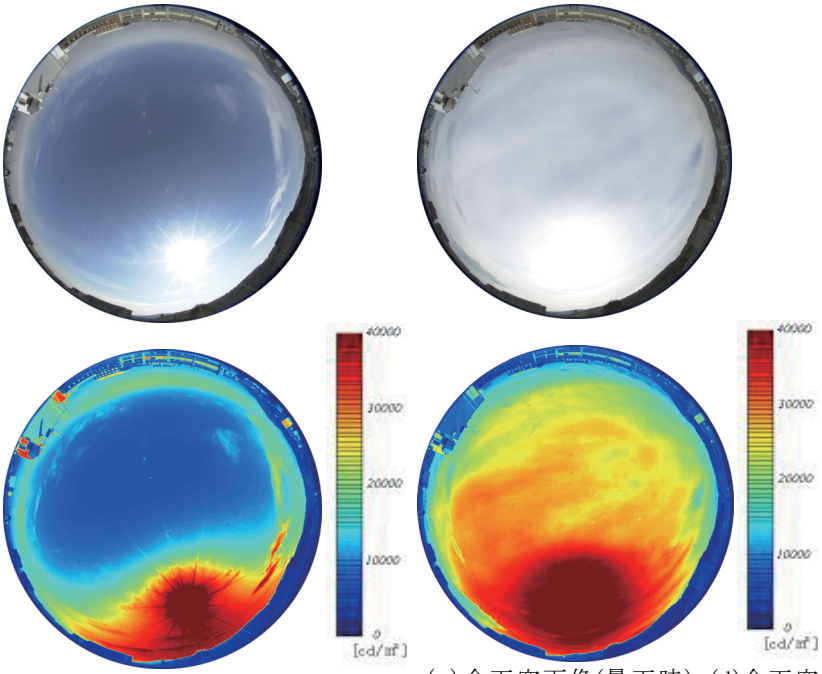


図 5.4.24　輝度分布画像（実験条件11）　(p.398)



(a)全天空画像(晴天時)　(b)全天空輝度分布(晴天時)　(c)全天空画像(曇天時)　(d)全天空輝度分布(曇天時)

図 5.4.45　全天空画像と全天空輝度分布（p.405）

第6章 開口部・日射遮蔽計画（Ａ６）

6.1 はじめに

開口部の遮熱性能については、住宅では次世代省エネルギー基準の改訂、住宅の品質確保の促進等に関する法律などにおいて夏季日射侵入率の規定強化、建築物においては省エネルギー基準の建築物の年間熱負荷(PAL)では省エネルギーに関する計画の義務化の動きなどに伴い、冬季の日射熱取得及び夏季の冷房負荷低減のための遮蔽効果など評価の必要性が高まっている。しかしながら、開口部の日射熱取得率について ISO 15099 などの計算法が規格化される中で、その測定法が未だ整備されていないことは問題であり、計算法の検証のためにもその早急な整備が求められている。このような状況踏まえ、主に日射熱取得率の測定法についての検討を進めてきた。また、ガイドラインマニュアルにおける日射侵入率の簡易計算法についての検討も行ってきた。さらに、日射遮蔽機器や、その設計事例についても調査を行ってきた。

6.1.1 日射熱取得率の構成要素

日射熱取得率(Solar Heat Gain Co-efficient: SHGC)は、日射熱が直接透過、あるいは再放射などによって室内に入ってくる割合を示し、我国では日射侵入率とも呼ばれる。

実際の熱取得（損失）は、図 6.1.1の外枠の部分であり、室内外の温度差による貫流熱と日射による取得熱の合計である。

図中左の日射に関する項目にあげた開口部に当たる入射熱量と、グレージング(ガラス)、フレーム(枠・框)、及び付属物(カーテン等)の、それぞれのあるいは組合せとしての日射透過率・吸収率・反射率などは、光学的な性質である。これらの性質が組み合わさって、最終的には熱の形で取得される。図中右の貫流熱に関する項目にあげた、室内外の温度、熱伝達率、グレージングとフレームの熱抵抗、付属物を付けた時の熱抵抗は熱的な特性である。実際の熱取得（損失）は、室内外の温度差による貫流分と日射による取得分の合計であり、日射熱取得率を求める場合には貫流分を差し引く必要がある。光源照射時には、熱伝達等が変化すると考えられるが、現状ではその把握が困難なため、非照射時に求めた熱貫流率を用いることにしている。

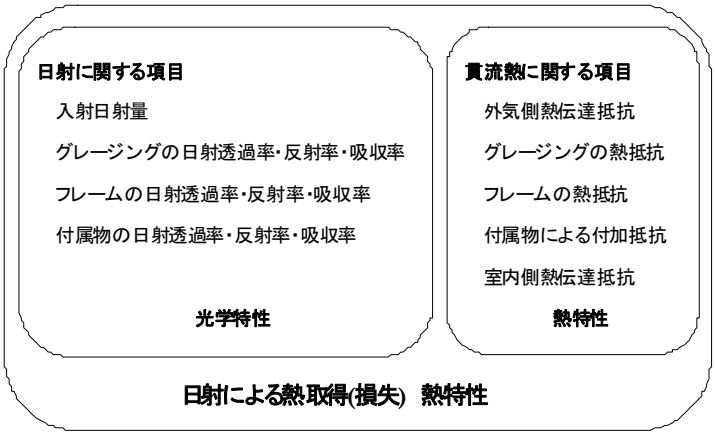


図 6.1.1 日射熱取得の構成要素

6.1.2 日射熱取得率計算法の現状

日射熱取得率の基準値や評価値はガラス中央部における光学的な計算法を援用した計算によって決定されてきた経緯がある。

窓の日射特性はガラスの日射特性の計算方法とサッシを加えた総合的な窓の特性の計算方法に分かれるが、窓ガラス中央値としてのガラスの特性の計算方法として、まず JIS R 3106 と ISO 9050 があげられる。また、窓全体の日射特性の計算方法として米国で ASHRAE STANDARD 142 が提案され、この内容はそのまま ISO 15099 に採用された。

これらの計算方法の規格はそれぞれ各国の省エネ基準に反映されている。日本の省エネ基準としては、住宅の省エネ基準(次世代基準)と、ビルの省エネ基準(PAL)があり、米国の基準として Energy Star Windows などがあげられる。また、海外ではこれらの基準に対応した計算ソフトが、市販または公開されている。

以下にそれぞれの規格、基準などについての概要を述べる。

1) ガラス中央部の計算法

JIS R 3106では1枚ガラス板では、室外・室内表面熱伝達率と日射吸収率とから、ガラスに吸収されて室内へ伝達される熱流の入射する日射に対する比率を計算し、これに、日射熱透過率分を加えて日射熱取得率としている。複層ガラスでは、複層ガラスの各板ガラス間の熱抵抗を求め、室外・室内表面熱伝達率と日射吸収率から、各ガラス板に吸収されて室内へ伝達される熱流の入射する日射に対する比率の合計を求め、これに、日射透過率を加えて日射熱取得率としている。

ISO 9050 は JIS R3106 の基となった規格であり、熱伝達率等の物性が少し異なる程度である。

JIS R3106 も ISO 9050 も、単純化のために、実際の状況とは異なり、日射はグレージングに対してほとんど垂直に当たるものと仮定している。放射が斜めに入射する場合は、グレージングの日射透過率と日射熱取得率は、いずれもいくらか小さくなるので、放射が斜めに入射する場合には、日射遮蔽効果は大きくなる。

2) 次世代省エネ基準の計算法

平成 11 年 3 月 30 日施行の改正省エネルギー基準(次世代基準)の解説書においては、窓ガラス全体の日射熱取得性能の基準として開口部の夏期日射侵入率に関する性能基準が設計・施工指針の中に示されている。

前述の JIS にはガラス単体の日射熱取得率の計算方法は規定されているが、日射遮蔽物が付属している場合の計算方法は規定されていない。

次世代基準では、遮蔽物がない場合のガラス単体の日射熱取得率計算には JIS を採用し、遮蔽物がある場合のガラスと遮蔽物との組み合わせた時の日射熱取得率の計算は、JIS の計算法を援用し、以下の仮定をおいた方法となっている。

ガラス板や日射遮蔽物への日射吸収率を波長毎の分光値ではなく、波長平均した日射透過率・反射率の値を用いて計算する。これ

は日射遮蔽物の多くが、分光透過率・反射率が公表されていないためである。

屋外側に設置された遮蔽物に吸収された日射熱はすべて屋外側に伝達(排除)されるとする。室内側に設置された遮蔽物に吸収された日射熱はすべて室内側に伝達(取得)されるとする。

ガラス板に吸収された日射熱は、当該ガラス内外の熱抵抗比によって分配されるとする。

遮蔽物とガラス面との間の空気層の熱抵抗は条件として与える。複層ガラスの空気層は密閉されているのに対し、通常の日射遮蔽物には通気性があり、遮蔽物とガラス面の間の空気層は密閉されているとはいいがたい。しかし、ここでは遮蔽物が通気性のない面材であり、遮蔽物とガラス面の間が複層ガラスのように密閉されていると仮定している。すなわち、遮蔽物はガラスと同じに扱われる。

室内側、屋外側の熱伝達率は、遮蔽物表面においても板ガラスと同じ値を用いる。

・次世代計算法の問題点

近年、低放射複層ガラスや遮熱複層ガラスなど波長選択性のガラスが市販されている。これらのガラスはエネルギー強度の高い可視光部分においての透過率・反射率が一般のフロートガラスとは大きく異なり(図 6.1.2参照)、ガラスを透過した後の光が太陽光のスペクトルとまったく違ったものとなる。

図 6.1.3は、カーテン、ブラインドなどの付属物を組み合わせた場合の日射熱取得率を、従来から用いられてきた波長平均の透過率・反射率と、波長ごとの分光透過・反射率から求めたものの比較である。波長選択性の高いガラスにおいて差が大きくなることがわかる。

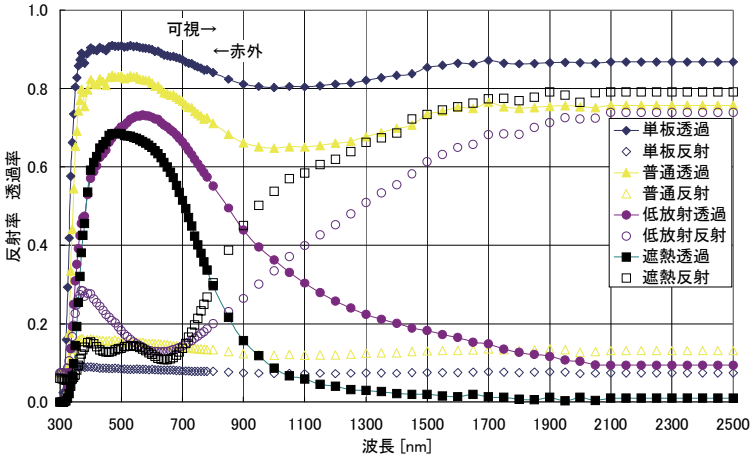


図 6.1.2各種ガラスの分光特性

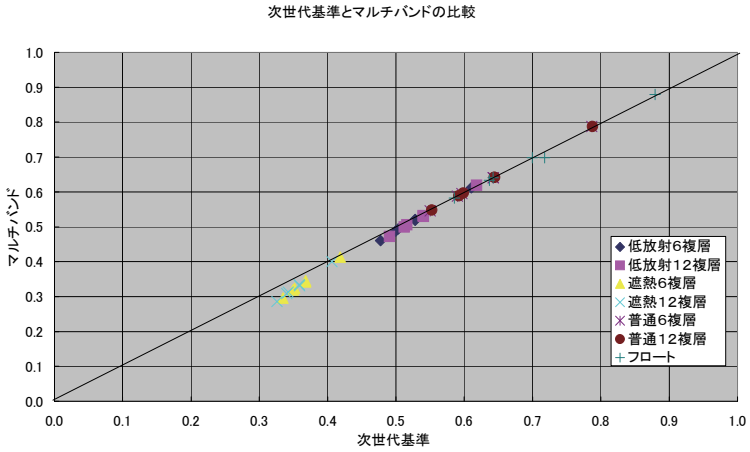


図 6.1.3分光と波長平均での比較

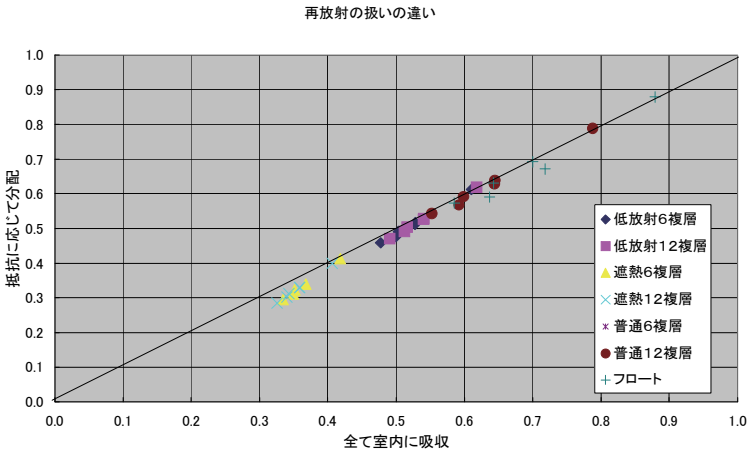


図 6.1.4再放射等の扱いによる比較

また、図 6.1.4は室内側の遮蔽物に吸収された日射熱が、再放射等によって屋外へも分配される時の比較である。波長選択性の高いガラスと、フロート板ガラスにおいて差が大きくなっている。前者では、ガラスの透過光の分光特性の違いで、後者は透過率が高く反射光が屋外に透過することが考えられる。

1）建築物の省エネ基準（PAL）の計算法

前項の住宅の次世代基準と同時に建築物の省エネルギー基準(いわゆるビルの新省エネ基準)が施工されたが、解説書にはPAL計算の章(第3章)に、各種ガラスの性能値が日射遮蔽物としてのブラインドとの組み合わせを含めて記述されている。この章には、ガラスの熱貫流率と日射侵入率が表としてまとめられているが、これらの表には特殊な事情によって2つの考え方の計算法が混在している。すなわち、1980 年に制定したガラス性能値と1995 年に追加した高性能熱線反射ガラスを用いる組み合わせの性能値部分である。

1980 年値は現行 JIS R3106 の元になる JIS が 1885 年に制定される前に定式化されており、表面熱伝達率および中空層の熱抵抗が固定化されていて、表面コーティングによって放射率が変化したときの影響が計算できないという問題点があった。そのため、1985 年頃から日本でも盛んに使われ始めた高性能熱線反射ガラスが正しく扱えないという問題点があった。それに対応した計算方法が板硝子協会から提案され、新しい計算方法を用いて算出した性能値が採用された。しかし、以前の性能値の見直しは行われなかった。

・PAL 計算法の問題点

80年計算法(HASP 等参考、透明・熱吸・熱線反射ガラス)と95年計算法(JIS、年平均補正等、高性能熱線反射ガラス)の2系統のデータがあり、統一すべきである。

複層ガラス＋ブラインドの構成の場合、複層ガラスに相当する透過・反射を有する単板ガラスとして簡略化している。その結果、複層の室内側ガラスの吸収熱が無視されている。

これを修正し、現在計算できない低放射ガラスの計算を可能とすべきである。

また、ガラス周辺部(スペーサー部)や枠の影響が考慮されていないが、開口部の性能としてはこの部分を含めて考えるべきである。

2）ASHRAE STANDARD 142 の方法

この計算法は、現在検討が進められている ISO/DIS 15099 の基になっている規格案である。

窓製品の全日射熱取得率(SHGC)は次式で示される。

$$F_t = \frac{\sum F_c A_v + \sum F_f A_f + \sum F_d A_d}{A_{pf}}$$

ここで、

Ft:窓の全日射熱取得率
Fc:ガラス中心部の日射熱取得率
Ff:フレームの日射熱取得率
Fd:ディバイダーの日射熱取得率
Apf:窓の見付け面積
Av:見る面積(view area)＝(Ac＋Ae＋Ade)
Ac:ガラス中心部の面積
Ae:ガラスのフレームエッジの面積
Ade:ガラスのディバイダーエッジの面積

Ac, Ae, Ade は、熱貫流率(U 値)の定義からきている。窓の U 値の計算ではガラスのフレーム側エッジとディバイダー側エッジはガラス中央部とは異なった U 値を当てるが、窓の SHGC の計算ではガラスエッジ部はガラス中央部と SHGC は変わらないと扱っている。

ガラス中央部の日射熱取得率は、室内と室外の温度差と、入射角を含む日射条件から決定される。ガラスの SHGC は、直接透過した

日射分および吸収されて再放射された日射分を加算して求められる。

$$F_c = \tau_s + \sum_{i=2}^{n-1}\left\{\frac{N_i S_i}{I_s}\right\}$$

ここで、

Fc:ガラス中心部の日射熱取得率
τs:ガラス中心部の日射透過率
Si:i番目のグレージング層で吸収される日射束
Is:入射する全日射束
Ni:i番目のグレージング層に吸収される日射の室内側へ流れる割合で以下のように表される。

$$N_i = \frac{\sum_{j=i}^{n-1} R_{gap,j} + \sum_{j=i+1}^{n-1} R_{gl,j} + \frac{1}{2}R_{gl,i}}{R_{tot}}$$

ここで、

$R_{gap,j}$:j番目とj+1番目のグレージングの間の中空層の熱抵抗
Rgl,j:j番目のグレージングの板の熱抵抗
Rtot:グレージング全体の熱抵抗(ガラス中心部)

また、ガラスエッジ部分の日射取得は、前述したようにガラス中心部の日射取得に等しいと設定する。

フレームの日射熱取得率は、次の式を用いて計算される。

$$F_f = \alpha_f \cdot \frac{U_f}{\frac{A_{surf}}{A_f} h_o}$$

ここで、

Ff:フレームの日射熱取得率
αf:フレームの室外側面の日射吸収率
Uf:フレームのU値
Asurf:フレームやサッシの室外側表面の面積
Af:フレームとサッシの面積(ガラス面に投影されたフレームとサッシの面積)
hc:フレームにおける室外の熱伝達率(対流＋放射)
(ディバイダーの日射取得率Fdも同様に計算するものとする。)

フレームにおける室外の空気の熱伝達率 ho(対流によるものと放射によるものの合計)は、次のように計算するものとする。

$$h_o = h_{c,n-1} + 4\sigma\varepsilon_f T_m^3$$

ここで、

Tm:室外温度とグレージング最外表面温度との平均温度(K)
hc,n-1:グレージングの最室外面(一般にはガラス面)と室外の周囲空気との間の対流熱伝達率
σ:ステファン・ボルツマン定数(5.6693×10-8 W/(m2K4))
εf:フレームの室外側面の半球放射率
である。

3) Energy Star Windows について

北米の全く新しい動きとして米国エネルギー省と環境庁が進めている Energy Star Windows の評価基準がある。これは全米を南北に3地域に分け、各地域に窓の U 値と SHGC の評価基準を設け、ラベル表示することにより高性能窓の普及促進を図る試みである。南部で日本の次世代省エネ基準並の SHGC 基準が設けられている点が注目される。

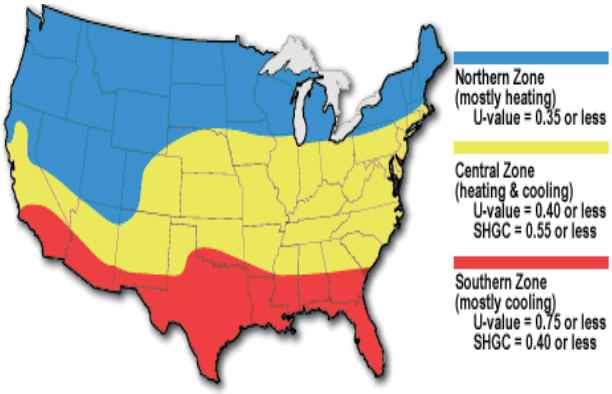


図 6.1.5Energy Star Windowsの評価基準

4）各種計算ソフトの最新動向

北米で Frame/Vision、Window、欧州で WIS というそれぞれ代表的なソフトが、それぞれの地域で最も求められている規格・基準類をベースにして計算アルゴリズムを組み立てている。

また、WIS でしか計算できなかった日射遮蔽物の取り扱い方法が ISO 15099 に取り入れられようとしている。

我が国でも、(社)リビングアメニティ協会において、日射遮蔽物の取り扱いも出来るソフトの開発とデータベースの整備が進められている。

6.1.3 日射熱取得率測定法の現状

1960 年代に太陽光を用いた装置が盛んに研究されていたが、1990 年代前半までの間はほとんど測定法に関しての研究は実施されていない。90 年代後半から北米を中心にいろいろな測定法が提案されてきているが、いまだ確立された方法とはなっていない。

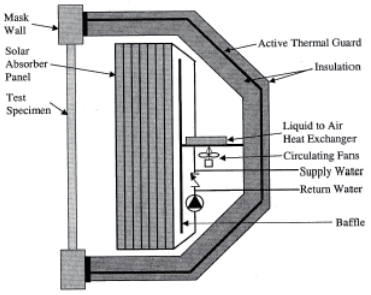


図 6.1.6 Queen’s Universityの装置

図 6.1.6から図 6.1.9に、各国の測定装置の例を、図 6.1.8に建築研究所の試作装置を示した。

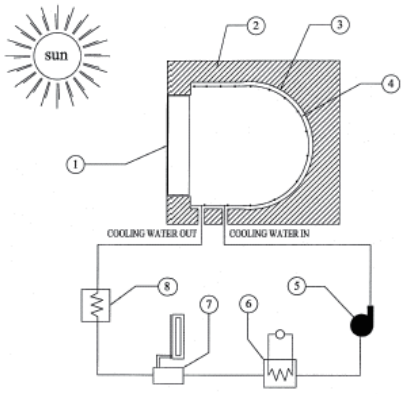


図 6.1.7 ASHRAEの試験装置の構成

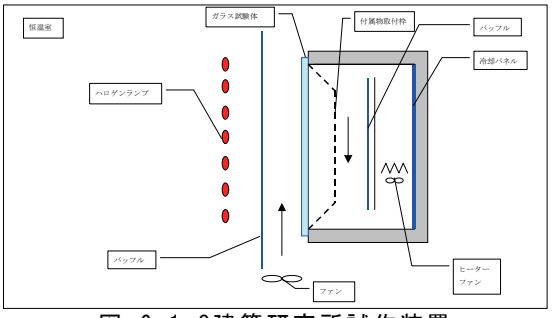


図 6.1.8建築研究所試作装置

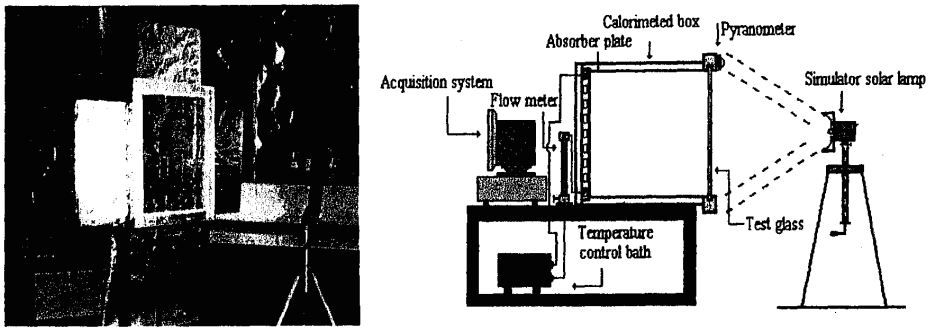


図 6.1.9 National Center for Research and Technology Development in Mexico の装置

6.2 日射熱取得率測定法の開発

6.2.1 はじめに

開口部の日射熱取得率についてISO/DIS 15099などの計算法が規格化されようとする中で、試験法が未だ整備されていないことは問題であり、計算法の検証のためにもその確立が緊急の課題である。

このような状況踏まえ、ソーラーシミュレータを用いた日射熱取得率の測定法についての検討を進めてきた。

光源の分光特性を考えた時、太陽光を用いることは最良の選択である。

しかしながら太陽光を用いる屋外での実験においては、太陽高度、方位角が時間とともに変化するとともに日射強度も一定ではない。

また気温、風向・風速も変動する。これらの要因から日射による取得熱量や貫流熱量が変化する。このように変動の大きい屋外実験では、何が何に影響を与えているのかの仕分けが難しい。このため、それぞれの条件を固定できる室内での測定装置について検討を進めることとした。

6.2.2 日射熱取得率測定の原理

測定の原理を図 6.2.1に示す。計測箱は光源の照射による熱量除去のため、背面に冷却パネルが設けられ、外部の恒温槽より冷却液が循環する。計測箱内表面はすべて熱流計パネルで覆われ、そこを通過する熱量は計測される。計測箱内部には温度制御のためのヒーターと対流熱伝達率設定のためのファンが設置されている。外部には対流熱伝達設定のための気流発生装置と光源が設置される。

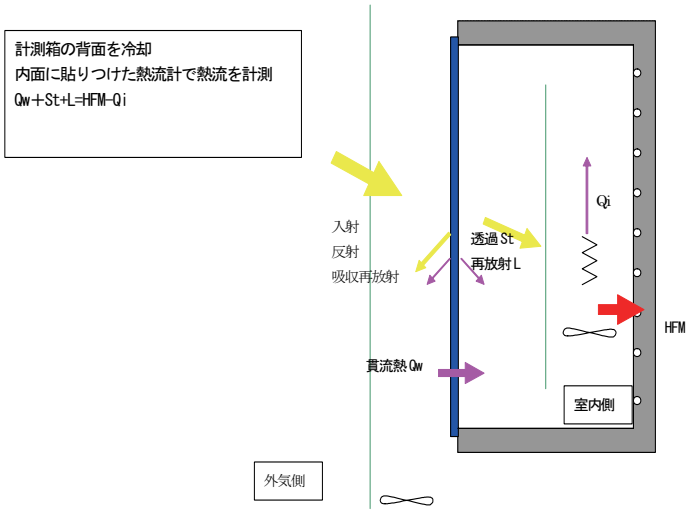


図 6.2.1日射熱取得率測定の原理

試験体を通して計測箱に入る熱量は、透過した日射と試験体に吸収された後、対流・放射で伝達する熱量、および恒温室と計測箱の温度差による貫流熱量である。計測箱の中で発生する熱量はヒーターとファンによるものであり、計測箱内表面全体に貼り付けた熱流計パネルで計測される熱量からこの分を差し引いたものが貫流分と日射による取得熱量である。

そして、この取得熱量から貫流分を除いた日射による取得熱量のみを試験体面で受けた日射熱量(日射量×試験体面積)で割ると日射熱取得率が求まる。貫流分の取得熱量は、光源を照射しない温度差のみの熱貫流測定よりもとめる。図 6.2.1は室内より外気側の温度が高い夏季の場合を示しているが、冬季の場合は室内外の温度が逆転し貫流分の方向が逆になる。

この貫流分を無視できるように室内外の温度差を無くした条件で実験を行うことも考えられる。図は室内より外気側の温度が高い夏季の場合を示している。

6.2.3 日射熱取得率測定装置の概要

図 6.2.2に装置の日射熱取得率測定装置の全体構成構成を示す。

ソーラーシミュレータで照射された光は、光導入窓、外気側バッフルを通過し、試験体に当たり、さらに試験体を透過した光は計測箱のバッフルを透過し冷却パネルに当たる。

恒温室には、光導入用の窓を設けソーラーシミュレータの光が計測箱に取り付けられた試験体に照射されるようになっている。

外気側には透明ガラスのバッフルが設けられ、それと試験体の間の熱伝達率を設定するために、上部に気流調整用のファンが設けられる。

計測箱は断熱パネルで構成され、試験体と対側の面には透過した日射熱を除去するための冷却パネルが設けられる。計測箱と試験体取付枠の室内側表面全面に熱流計が取り付けられ、試験体以外からの恒温室と計測箱の間の熱量を計測できるようになっている。

計測箱内部には透明ガラスのバッフルが設けられ、内部に透過した光のほとんどが冷却パネルに当たるようになっている。

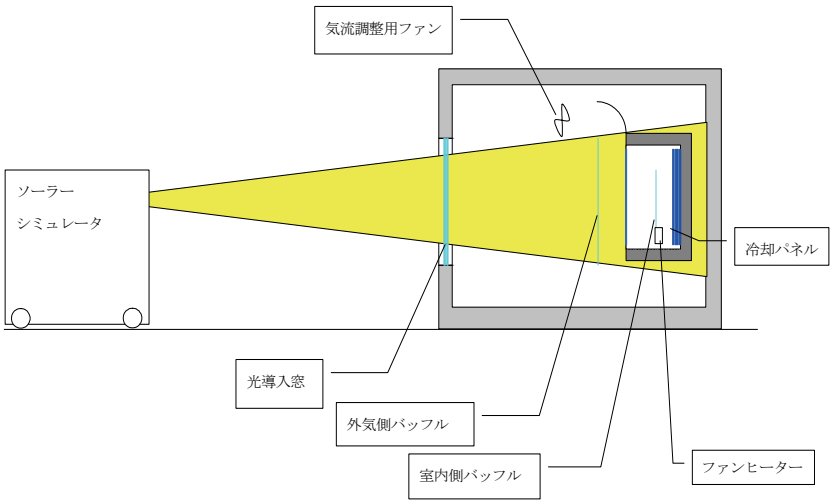


図 6.2.2 日射熱取得測定装置の構成

バッフルと試験体の間が試験を行う時の室内環境ということになる。バッフル下部には熱伝達率の調整と温度の制御のためのファンヒーターが取り付けられる。

6.2.4 太陽光シミュレータ

1）光源の検討

試験に用いる光源としては、日射に近似した波長分布の光源が必須である。このため太陽光発電の評価などに用いられ、現状で最も太陽光スペクトルに近似し、ランプ寿命中の変化も少なく安定した光源であるキセノンのショートアークタイプとした。

図 6.2.3にキセノンランプとエアマス 1.5 基準太陽光、一般によく用いられるハロゲンランプの波長特性を示す。

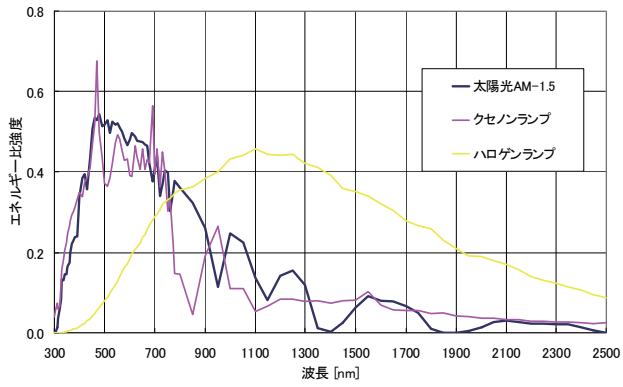


図 6.2.3光源の波長分布

また、光源装置としては数十灯の小容量のランプを分散して直付けするタイプと、少数の大容量のランプでインテグレーターレンズを用いるタイプがある。前者はランプの機差による影響が大きく照射面内の照射強度の分布が大きく、ランプ交換の度に照射強度・分布とも大きく変化する。後者はインテグレーターレンズを用いているため機差による影響は少なく照射強度の斑が少なく、ランプ交換後の照射強度もほとんど変化しない。

日射遮蔽性能(日射熱取得率)を測定する時、照射(入射)強度が最も重要な入力条件であり、ランプ交換による照射強度の斑や変化は入力条件をその度に確定するという作業に大変な時間と労力を費やす。特に前者の多灯式の場合ラ

表 6.2.1 ソーラーシミュレータの仕様

(ア) 基本仕様
1) 有効照射面／照射強度 ：① 850mm×700mm / 1300W/㎡
②1200mm×1000mm / 650W/㎡
③1700mm×1400mm / 325W/㎡
2) 照射方向 ： 水平
3) 面内不均一性 ： ±5%
4) 照度安定度 ： ±3%/Hr
5) 光平行度 ： ±10°
6) 分光分布 ： AM－1.5Gに近似
スペクトル合致度：結晶系 JIS C8912及びIEC 60904-3
400 ～ 900nm,100nm分割で ±25%以内
900 ～1100nm,200nm分割で ±25%以内

(イ) 構成
1) ランプハウス部 ―― 1式
2) 安定化電源部 ―― 4式

(ウ) ランプハウス部
1) ラ ン プ ： ワコム製キセノンショートアークランプ
KXL-6502CF 4本使用
2) 光学システム ： 楕円反射鏡,インテグレーターレンズ
3) 光学フィルタ ： AM1.5Gフィルタ
4) シャッター制御機構：ローカル／リモート切替スイッチ
ローカル用開閉スイッチ
リモート用入力端子付
5) 光安定化機構 ： 内部の光モニターセルと光フィードバック回路により
照射面の照度安定を保つ
6) 冷却装置 ： ランプ冷却用シロッコファン
排気用プロペラファン
排気ダクト（φ200 30m^3/分、45℃）
7) インターロック ： 開閉扉4ヶ所
8) ランプハウス本体： 角パイプフレーム板金塗装（色：アイボリー）
ランプ交換用扉、背面に接続コネクター付
9) 架台 ： 角パイプフレーム板金塗装（アイボリー）、キャスター付
ストッパー付
本体と一体構造

(エ) 安定化電源部
1) 整流方式 ： ダイオードによる全波整流方式
トランジスター定電流出力
2) 定格出力 ： 直流定電流出力、DC40V、80～165A
3) 定格入力 ： 3相 AC200V±10%、17KVA×4（49A×4系統）、50/60Hz
4) 操作スイッチ類： メイン、ランプON/OFF、ランプ起動、
FB回路ON/OFF、ランプ電流調節つまみ
5) 表示灯 ： 上記スイッチ動作表示
ランプ電流オーバー異常表示
6) 指示計 ： ランプ点灯電流、ランプ点灯電圧、ランプ点灯時間積算計
7) 接続ケーブル ： ランプハウスとの接続ケーブル―― 各10m
入力ケーブル（アース付き） ―― 10m
8) 本体 ： アングル材板金塗装（アリボリー）、キャスター付き

(オ) トラブルモニター
1)トラブル表示灯
a) ランプハウス部
b) 電源（キセノン安定化電源）部

(カ) 設備電源容量
1) 安定化電源部へ供給 ： 3相 AC200V、17KVA×4（49A×4）、50/60Hz
2) トラブルモニター ： AC100V、10A

(キ) 重量
1) ランプハウス部 ： 約500Kg
2) 安定化電源部 ： 約180Kg×4台

ンプ正面とランプの間では大きな照度強度の差を示すことから、後者のインテグレーターレンズを用いたソーラーシミュレータとした。

試験体サイズや必要照射量など詳細に検討した結果、表 6.2.1のような仕様のソーラーシミュレータを導入した。

2）太陽光シミュレータの概要

新しく導入した太陽光シミュレータ装置の照射部を図 6.2.4、制御盤を図 6.2.5、電源部を図 6.2.6に示す。電源はランプ 1 灯に付き 1 台となっている。

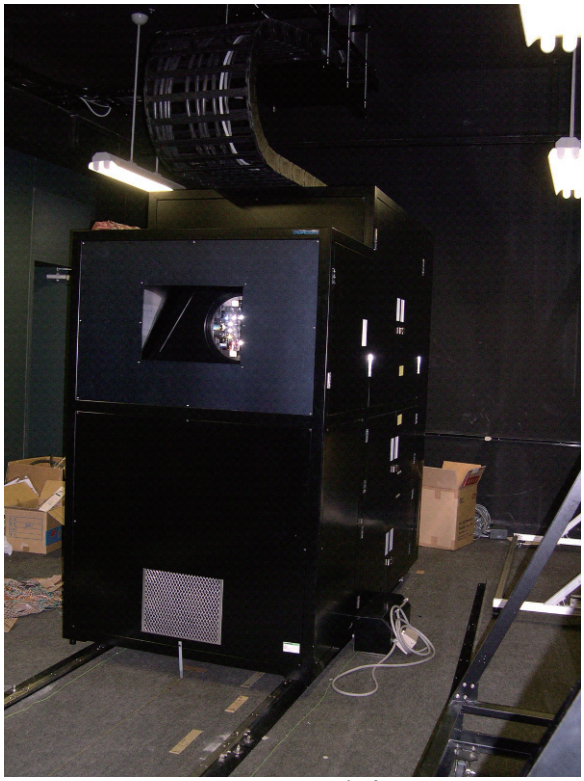


図 6.2.4照射部

ランプハウスからの距離と照射面積・照射強度の関係を図 6.2.7に示す。

照射強度は設計時の 1.5 倍ぐらいとなっており、窓の標準サイズ(16513)の面積でもISO 15099 等の計算条件である夏期 500W/㎡での測定もどうにか可能であると考えられる。



図 6.2.5制御盤

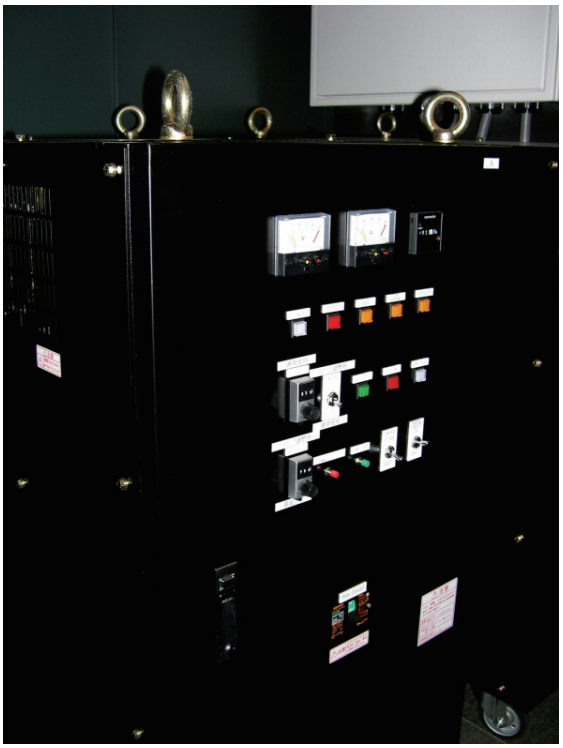


図 6.2.6電源部

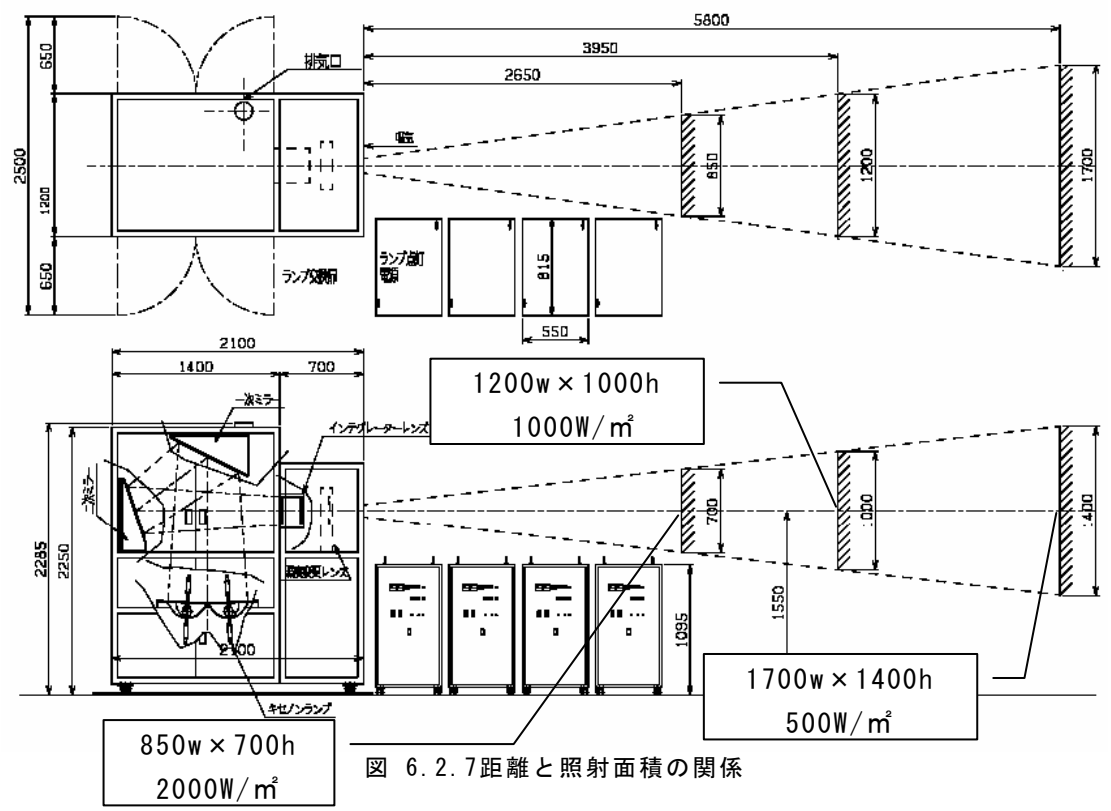
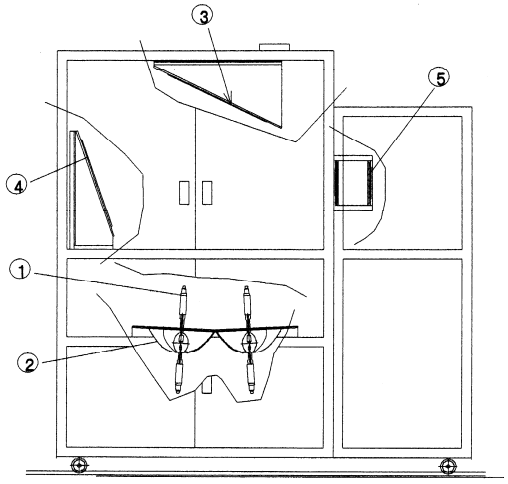


図 6.2.7距離と照射面積の関係

3) ランプハウス部の構成



①キセノンランプ②楕円ミラー③一次ミラー
④二次ミラー ⑤インテグレーターミラー

図 6.2.8ランプハウス部の構成

ランプハウスの構成を図 6.2.8に示す。

装置下部にあるランプ(キセノンショートアーク6.5KW4灯)より照射された光は直接あるいは楕円ミラーで反射され、AM 1.5G フィルターを通り、一次ミラー、二次ミラーで反射されインテグレーターレンズを経て、試験体に照射される。

楕円ミラーは銀の裏面鏡、一次ミラーはアルミ蒸着の表面鏡で、二次ミラーは銀の裏面鏡となっている。インテグレーターレンズは、照射面に均一な分布の光を得るための重要な光学部品で、数十個のレンズを組み合わせた構造となっている。

4) 有効照射面積

照射強度はランプ電源の電流により可変である。表 6.2.2に電流値と照射強度の関係を示す。

5）照射方向

照射方向は水平(試験体に垂直入射)となっており、キセノンランプの特性、実験室の制約から照射角度を変えることは出来ない。

6）照度安定性と平行度

ランプ4灯の内3灯は定電流制御で、1 灯のみがインテグレーターレンズ通過後の光量を検知して電流をフィードバック制御するようになっている。

図 6.2.9にランプ点灯から 70 分後までの照射強度の変化を示した。点灯から 2 分程度

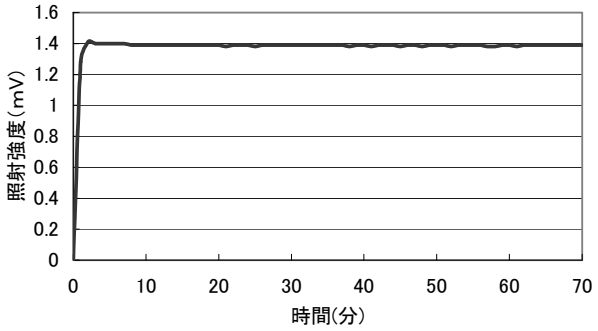


図 6.2.9時間経過と照射強度

表 6.2.3照射面の照射強度分布(電流100A時)

850×700 面内不均一:±3．4%				
1349		1323		1297
	1344	1338	1308	
1323	1349	1364	1308	1277
	1333	1333	1303	
1323		1308		1287
1200×1000 面内不均一:±3．5%				
682		697		682
	703	708	692	
682	703	713	697	682
	692	697	692	
667		687		677
1700×1400 面内不均一:±4．1%				
374		390		379
	395	395	385	
379	395	400	385	374
	390	390	385	
369		379		379

表 6.2.2電流と照射強度の関係

電流	850×700	1200×1000	1700×1400
80	985	492	272
90	1179	595	313
100	1374	687	364
110	1579	790	426
120	1815	903	436
130	2056	1026	549
140	2287	1144	615
150	2528	1251	682

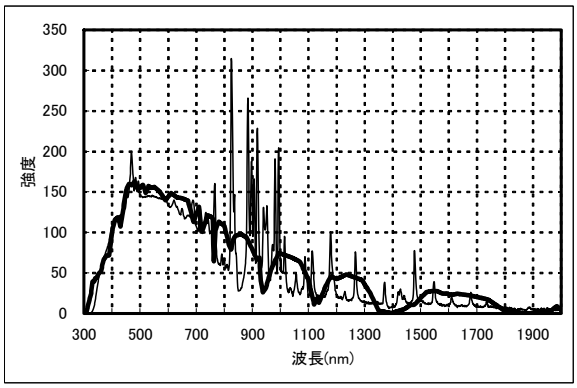


図 6.2.10分光分布(300～2000nm)

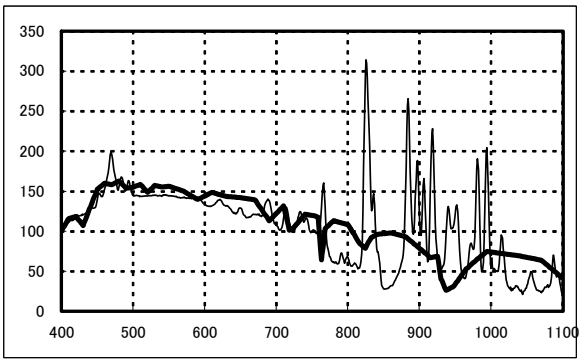


図 6.2.11分光分布(400～1100nm)

表 6.2.4分光照射強度の合致度

波長	照射照度	AM1.5G	合致度
nm	w/㎡	w/㎡	%
400～500	161.40	138.71	116
500～600	158.86	151.28	105
600～700	135.93	137.47	99
700～800	102.32	111.59	92
800～900	80.59	91.99	88
900～1100	112.26	120.32	93

でほぼ一定となっており、始動直後を除けば十分±1%／hr 以内で安定している。これはフィードバック制御による効果と考えられる。距離と照射面の体格の実測の結果、平行度も 9.9%であった。

7) 面内不均一性

表 6.2.3に電流 100A の時の照射面の強度分布を示した。測定は照射面を縦横それぞれ5分割しその中心で測定した。面内の不均一は±5%以内に収まっている。

8) 分光分布

AM1.5G の太陽光との分光分布の比較を図 6.2.10、図 6.2.11に示す。図中の太線が太陽光、細線でギザギザしたものが太陽光シミュレータのものである。

キセノンランプ特有の輝線はフィルターによっても除去しきれていない。

400～1100nm での分光放射照度の合致度を表 6.2.4に示す。最大で+16%、最小で-12%であり概ね AM1.5 に近似していると考えられる。

6.2.5 計測箱

1) 計測箱概要

計測箱の概要を図 6.2.12に示す。

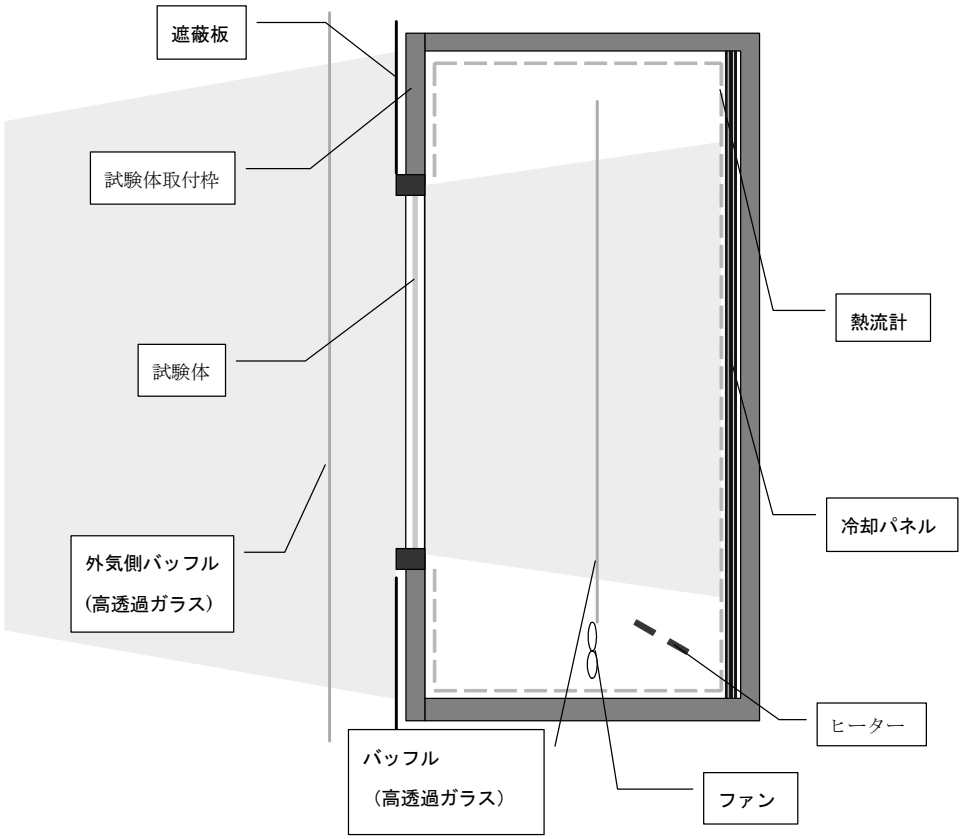


図 6.2.12計測箱概要

2）ファンヒーター

図 6.2.13にファンヒーターを示す。

室内側の熱伝達率設定のために、DC 軸流ファン 12 台を設置した。ファン風速は電源（DC18V2A）の電圧を変更することで変わる。ファンの奥にシリコン被覆シースヒーターを設置した。白金抵抗温度計により、電源(DC32V6A)の電流制御を行っている。

供給される電力は電圧、電流を計測することで求まる。

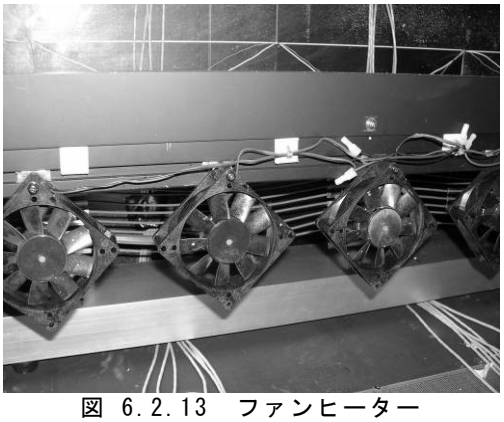


図 6.2.13　ファンヒーター

3）冷却パネル

計測箱背面には、照射時の熱を除去するために冷却パネルが設けられている。

冷却パネルには、外部の恒温槽で温度制御された水が循環するようになっている。表面には熱流計が全面に貼り付けられ、除去熱量が計測される。

4）バッフル

気流の経路を確保するために計測箱内部は高透過型ガラスのバッフルで仕切られている。高透過型のガラスは一般に用いられるフロート板ガラスに比べ、透過率が高く、特性もフラットであるために照射光の分光特性をあまり変化させない。

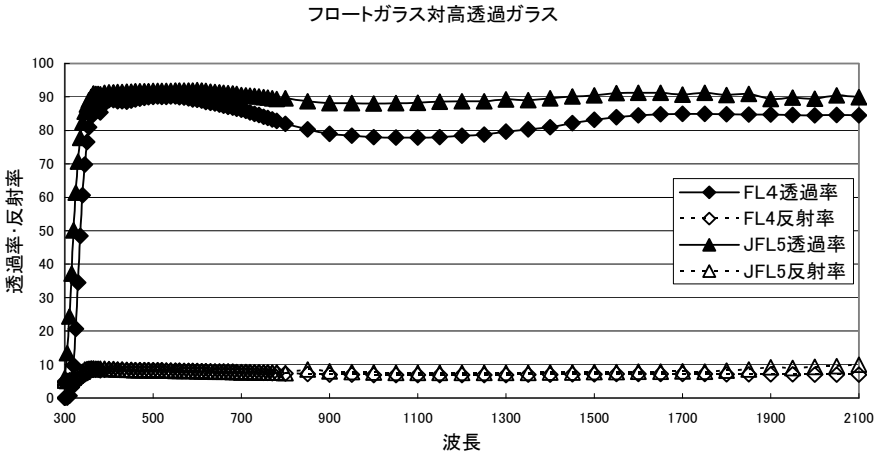


図 6.2.14高透過型ガラスの分光反射率･透過率

ガラスの分光特性を図 6.2.14に示す。また、ガラスは 3μm以上の長波長放射をほとんど透過しないので冷却パネルからの放射の影響を抑えることができる。

5）試験体取り付け枠

試験体取り付け枠は合板の間に断熱材をサンドイッチしたもので、標準サイズ（呼び寸法:16513）の窓を取り付けられる開口が開いている。

照射条件や温度条件の変更による安定までの時間の短縮を考えて、断熱材には熱容

量の小さいペーパーハニカムを用いた。

取り付け枠の計測箱側には、熱流計を貼られ通過する熱量を計測できるようになっている。

6）遮蔽板

取り付け枠の外気側には通気胴縁の上に黒く塗った段ボールを設した。

これは照射光の反射を防ぎ、吸収した熱の排熱を促進し、取り付け枠から流入する熱を小さくするためである。

7）計測箱周壁

計測箱周壁 4 面にも熱流量を計測するために熱流計パネルが全面に貼り付けた。

6.2.6 恒温室

1）恒温室の概要

恒温室プレハブの仕様を表 6.2.5に、側面パネル展開図を図 6.2.15・図 6.2.16に示す。

恒温室の設計条件は、温度－10℃から 30℃で制御精度±0.5℃、湿度は成り行きとした。

表 6.2.5恒温室プレハブ本体の仕様

パネル寸法	3,600W × 3,600L × 3,200H＋75鋼製ベース付	
断熱厚さ	硬質ウレタンフォーム	:75t
	壁, 天井	:内外装・カラー鋼板(黒色)
	床	:内外装・カラー鋼板(黒色)、コンパネ9t内蔵
ガラス	高透過型複層ガラス	:1600×1600×22t (5t×12×5t) ～ 1面
ガラス窓取付枠	同上用取付枠	:アルミ製(アルミアルマイト色)／結露防止ﾋｰﾀ付
搬入扉	親子扉	:1,200W × 2,000H ／ﾄﾞｱﾋｰﾀ付
	その他	:塩ビ管ｽﾘｰﾌﾞ 100φ×3ヶ所

2）光導入窓

太陽光シミュレータ装置点灯時に恒温室内に光を導入する窓には断熱スペーサーを用いた高透過型複層ガラスを取り付けた。

複層ガラスに用いたガラス板は計測箱内のバッフルと同じ特性のものである。

3）バッフル

外気側の気流の経路を確保するため試験体と正対する面にはバッフルを取り付けた。

使用したガラスは計測箱内のバッフルと同じである。

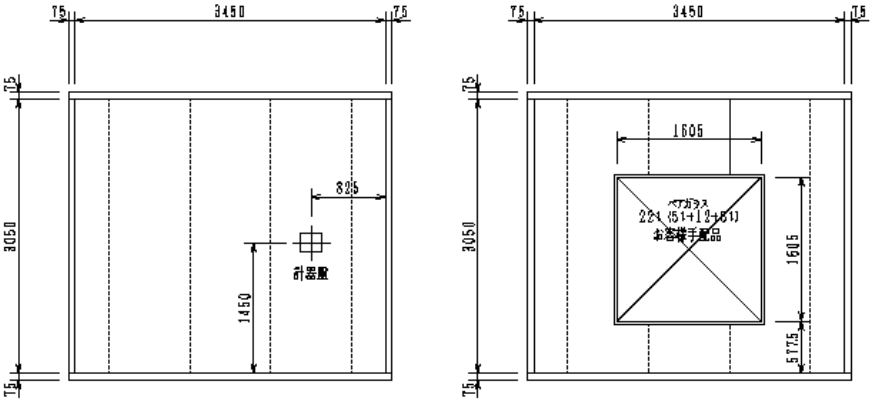


図 6.2.15恒温室の展開図その1

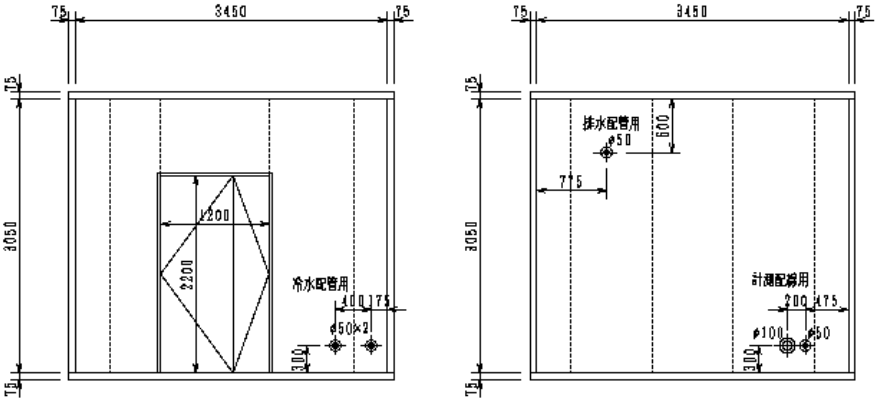


図 6.2.16恒温室の展開図その2



図 6.2.17気流発生装置

4）気流発生装置

試験体の外気側熱伝達率調整のため試験体とバッフル間の上部に整流板付きの気流発生装置を設置した。

AC200V 軸流ファン 3 台が設置され、熱伝達率調整のためインバーターにより制御される。

6.2.7 実験室の配置

太陽光シミュレータ装置、計測箱、恒温室等の配置を図 6.2.18に、断面を図 6.2.19に示す。

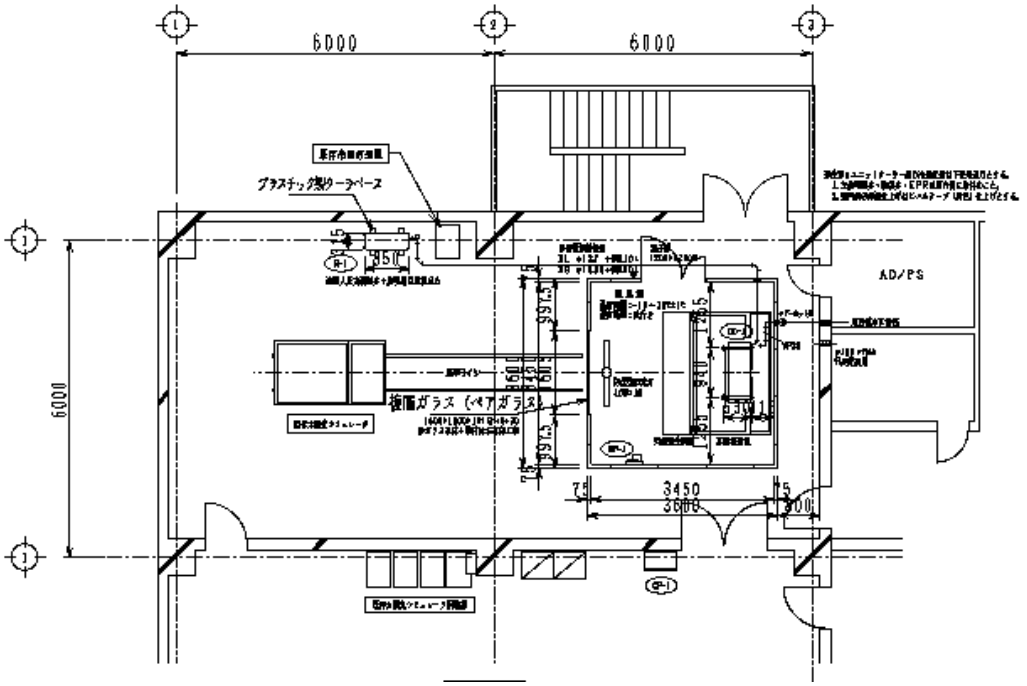


図 6.2.18実験室の配置

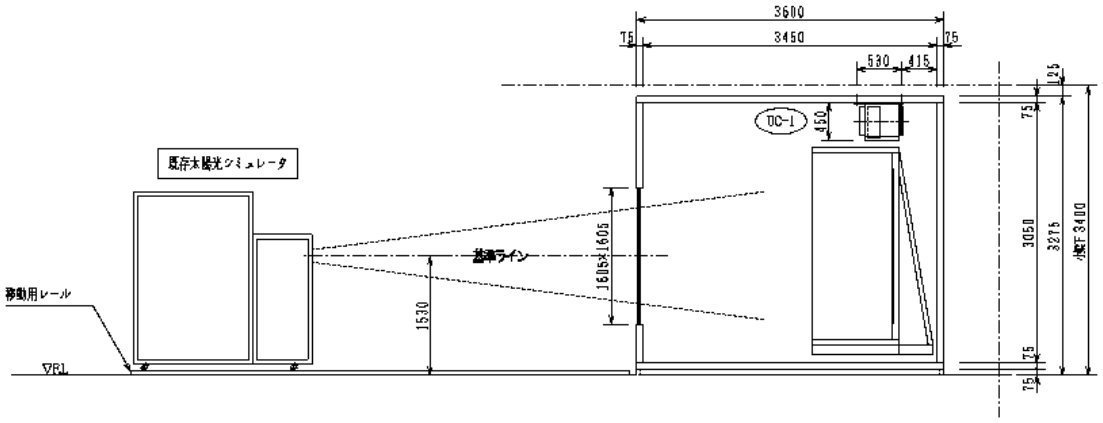


図 6.2.19装置全体の断面

6.3 日射熱取得率の測定

6.3.1 実験条件

日射熱取得率測定の実験条件を表 6.3.1に示す。

表 6.3.1実験条件

	夏条件	冬条件
室内温度	25℃	20℃
外気温度	30℃	0℃
照射強度	300W/㎡	300W/㎡

6.3.2 試験体

試験体は、標準サイズ(呼び寸法:１６５１３)の嵌め殺し窓とした。窓枠はアルミ、アルミ熱遮断、アルミ樹脂複合、樹脂とし、試験体取り付け枠に取り付けた。取り付け枠の詳細を図 6.3.1に示す。

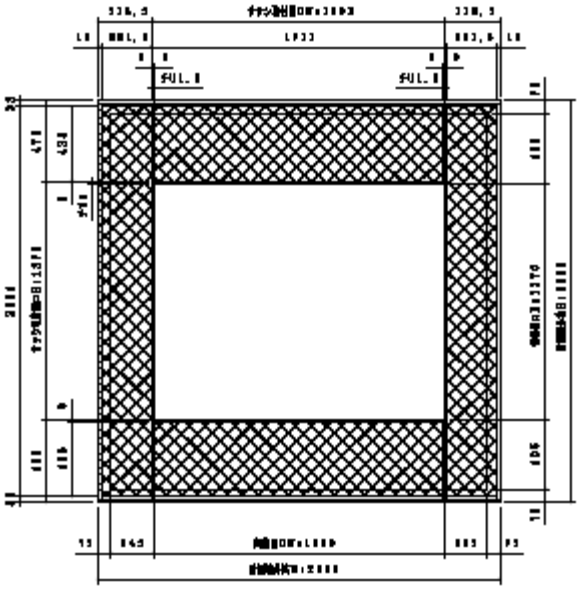


図 6.3.1試験体取り付け枠

1) サイズ

標準サイズ(呼び寸法:16513)で、伝熱開口(1690mm×1370mm)とした。

2) 開閉方式

嵌め殺し窓とした。

3) 枠

アルミ、アルミ熱遮断、アルミ樹脂複合、樹脂の4種類とした。アルミ枠の断面を図 6.3.2、図 6.3.4に、アルミ熱遮断枠の断面を図 6.3.3、図 6.3.5に、アルミ樹脂複合枠の断面を図 6.3.6、図 6.3.8に、樹脂枠の断面を図 6.3.7、図 6.3.9に示した。

4) ガラス

普通複層ガラス、断熱型低放射複層ガラス、銀1層と銀2層の遮熱型低放射複層ガラスの4 種類とし、低放射複層ガラスについては通常の使い方と、裏返した状態での 7 パターンでの実験を行った。

通常、断熱型では低放射膜面が室内側ガラスの中空層側で、遮熱型では逆に膜面が外気側ガラスの中空層側となっている。

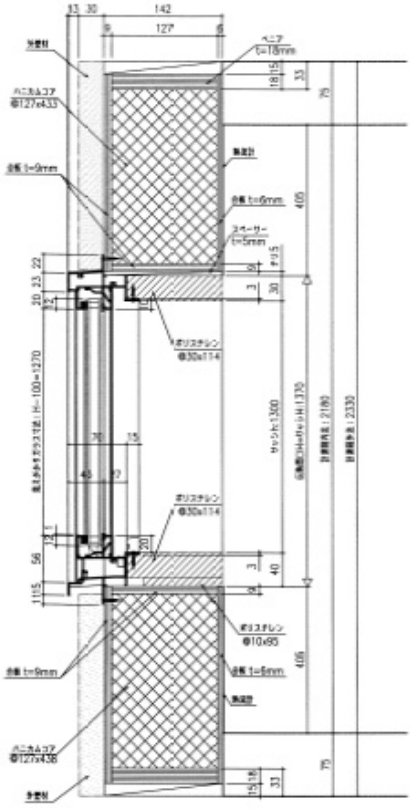


図 6.3.2アルミ枠縦断面

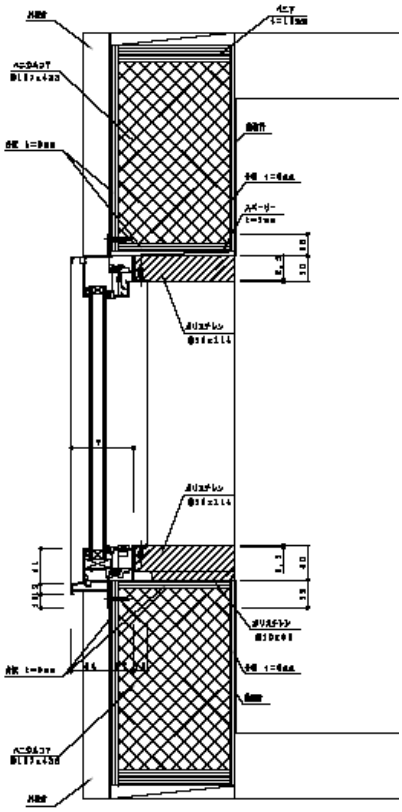


図 6.3.3アルミ熱遮断枠縦断面

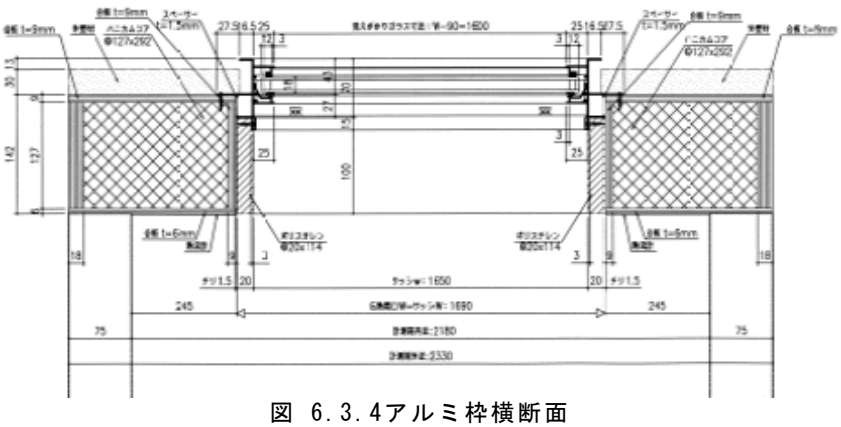


図 6.3.4アルミ枠横断面

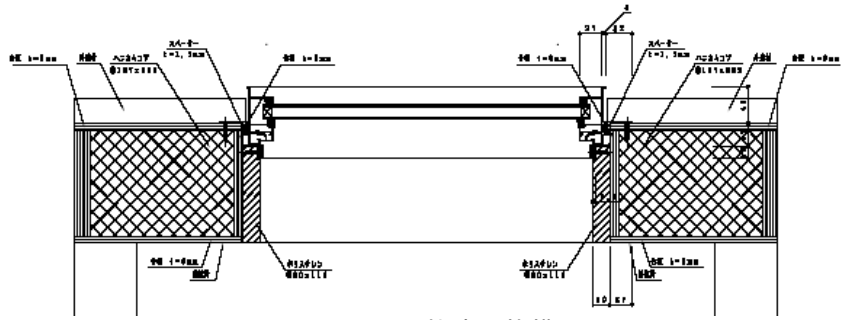


図 6.3.5アルミ熱遮断枠横断面

アルミ枠、アルミ熱遮断枠、アルミ樹脂複合枠では 3-A12-3 の、樹脂枠では 4-A12-4 の複層ガラスでの実験を行った。

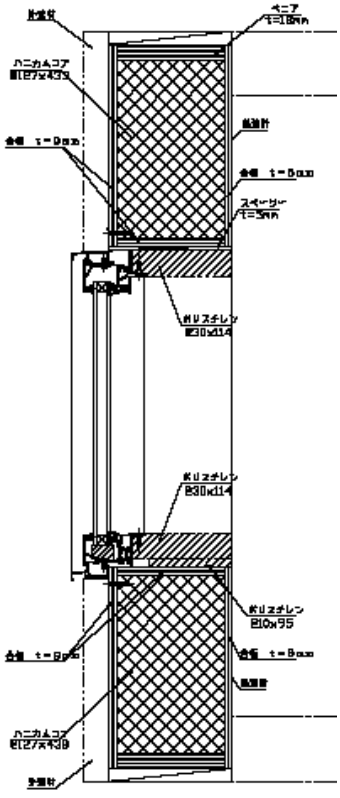


図 6.3.6アルミ樹脂複合枠縦断面

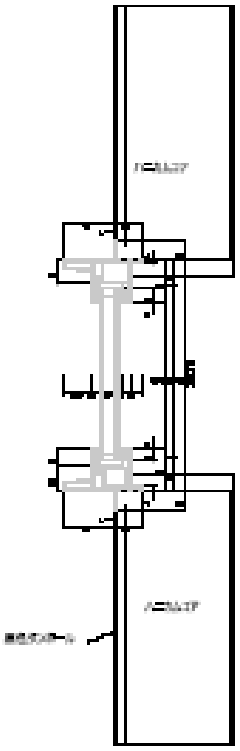


図 6.3.7樹脂枠縦断面

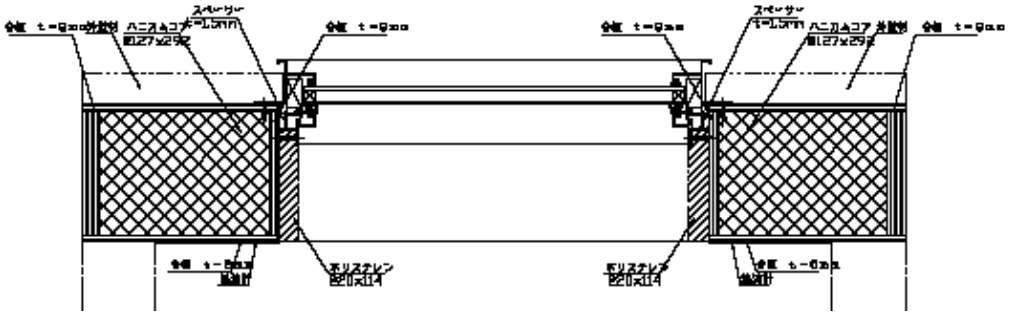


図 6.3.8アルミ樹脂複合枠横断面

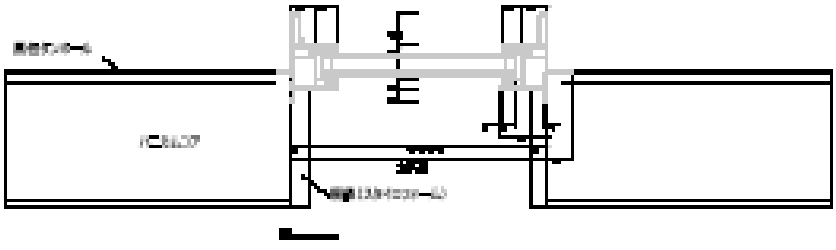


図 6.3.9樹脂枠横断面

5) 付属物

窓に取り付ける付属物は以下の通りとした。

(1) すだれ

実験で使用したすだれを図 6.3.10、図 6.3.11に示す。



図 6.3.10すだれ

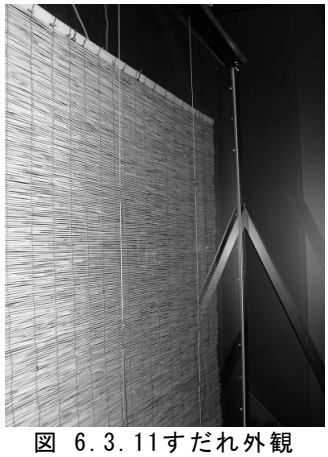


図 6.3.11すだれ外観

(2) レースカーテン

実験で使用したレースカーテンを、図 6.3.12に示す。

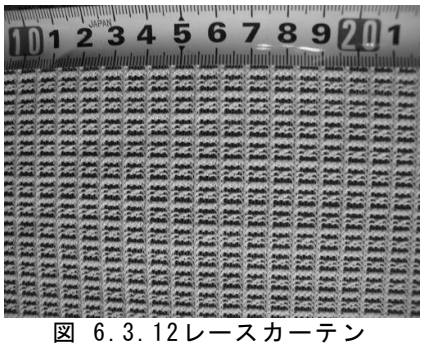


図 6.3.12レースカーテン

(3) ドレープカーテン

実験で使用したドレープカーテンを図 6.3.13に示す。

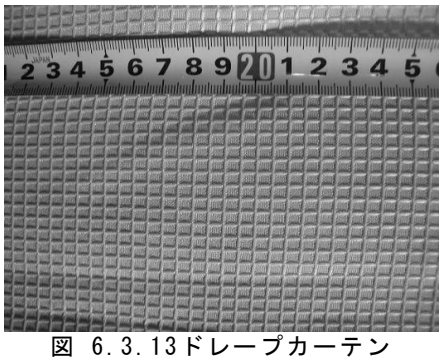


図 6.3.13ドレープカーテン

(4) 外付けロールスクリーン

実験で使用した外付けロールスクリーン1を図 6.3.14から図 6.3.17に、外付けロールスクリーン2を図 6.3.18から図 6.3.20に示す。

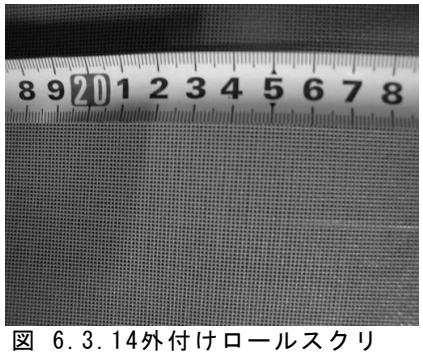


図 6.3.14外付けロールスクリーン１

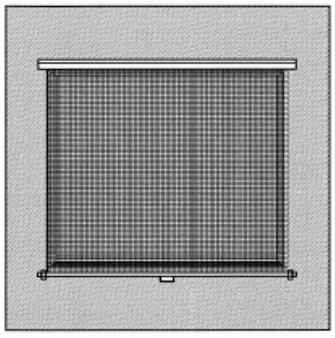


図 6.3.15外付けロールスクリーン１　外観

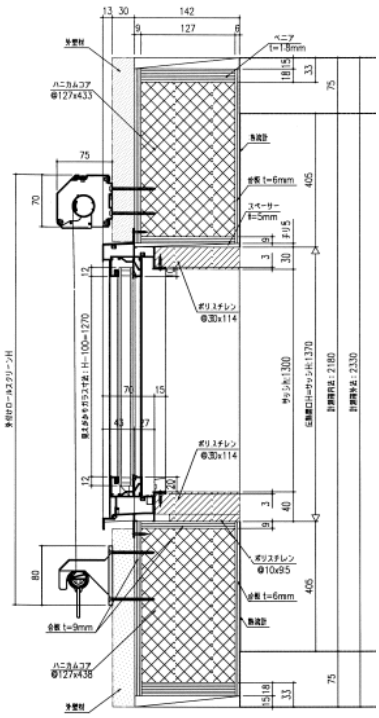


図 6.3.16外付けロールスクリーン１縦断面

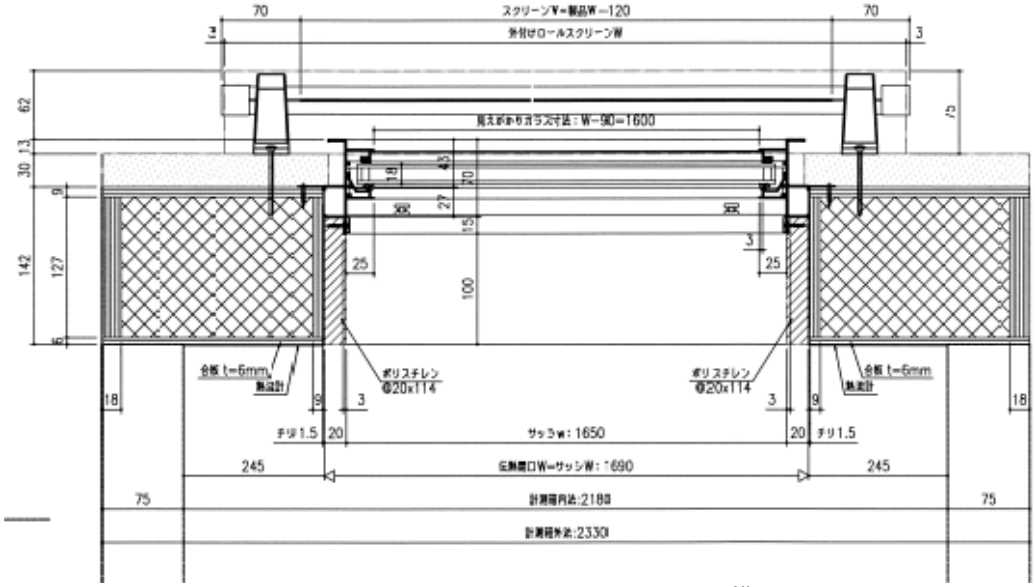


図 6.3.17外付けロールスクリーン１　横断面

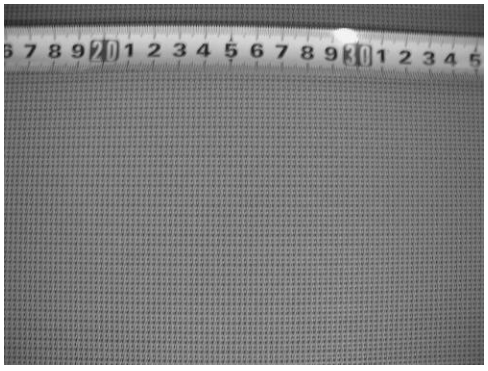


図 6.3.18外付けロールスクリーン2

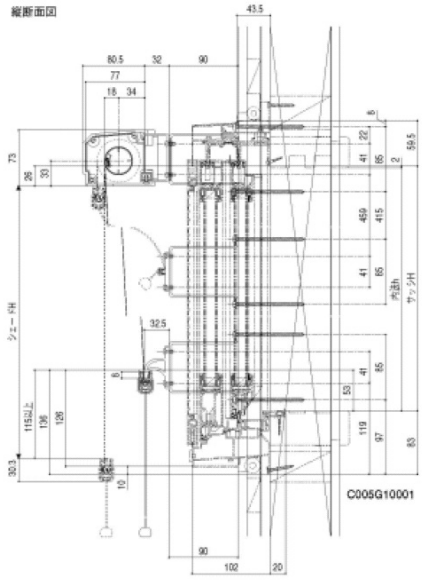


図 6.3.19外付けロールスクリーン２　縦断面

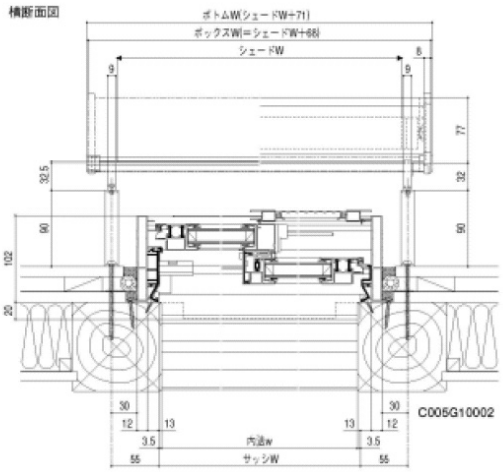


図 6.3.20外付けロールスクリーン２　横断面

(5) 内付けブラインド

実験に用いた内付けブラインドを図 6.3.21から図 6.3.23に示す。スラット角により性能が変化するのでスラット角を変えた実験も行った。スラット角度による隙間比を図 6.3.24に示す。

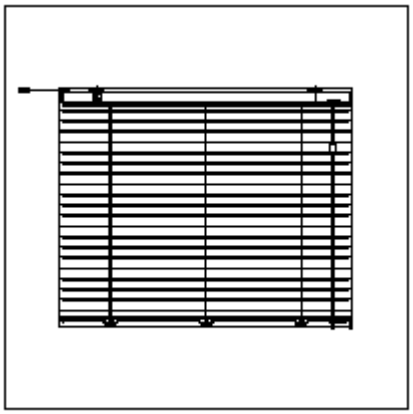


図 6.3.21内付けブラインド内観

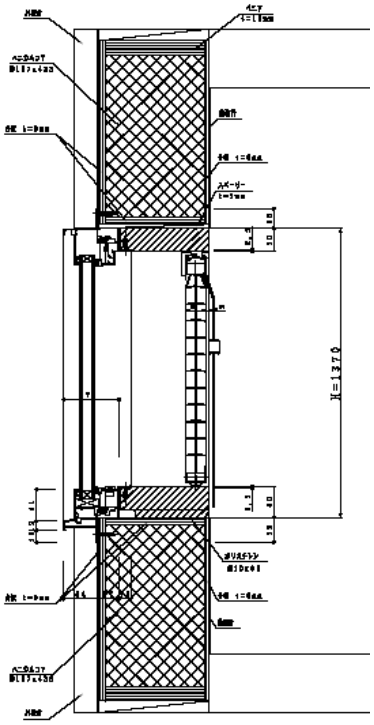


図 6.3.22内付けブラインド縦断面

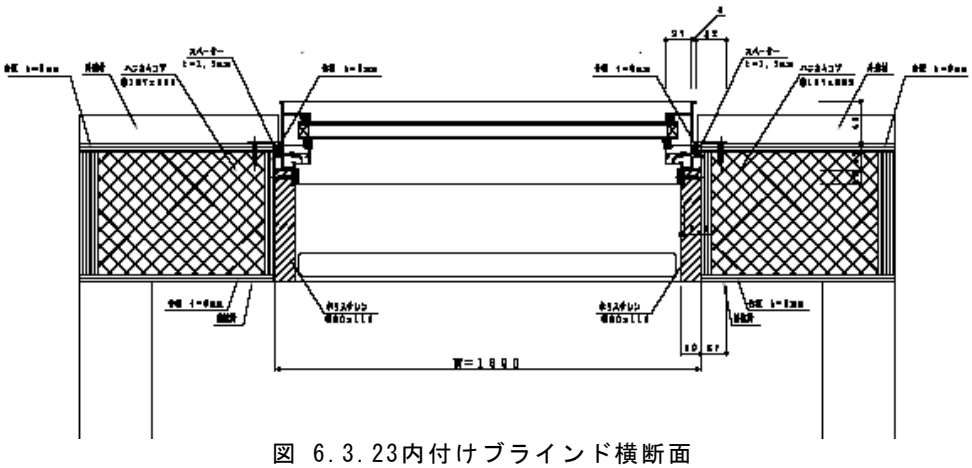


図 6.3.23内付けブラインド横断面

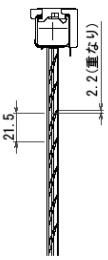
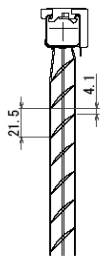
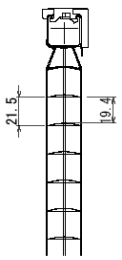
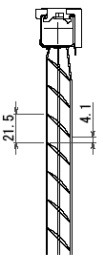
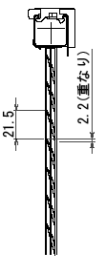
角　度	スラット角度 全閉61°	スラット角度 45°	スラット角度 0°	スラット角度 −45°	スラット角度 −61°
図面寸法					
隙間比	0% (重なり2.2)	19.1% (4.1/21.5)	90.2% (19.4/21.5)	19.1% (4.1/21.5)	0% (重なり2.2)

図 6.3.24内付けブラインドスラット角と隙間比

(6) 外付けブラインドシャッター

実験に用いた外付けのブラインドシャッターを図 6.3.25から図 6.3.27に示す。スラット角により性能が変化するのでスラット角を変えた実験も行った。スラット角度による隙間比を図 6.3.28に示す。

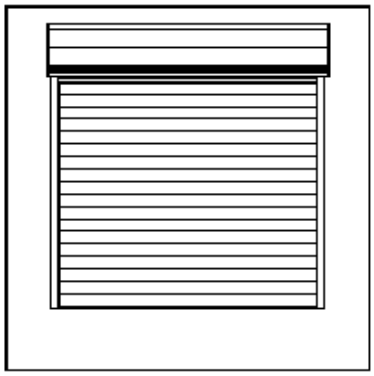


図 6.3.25ブラインドシャッター外観

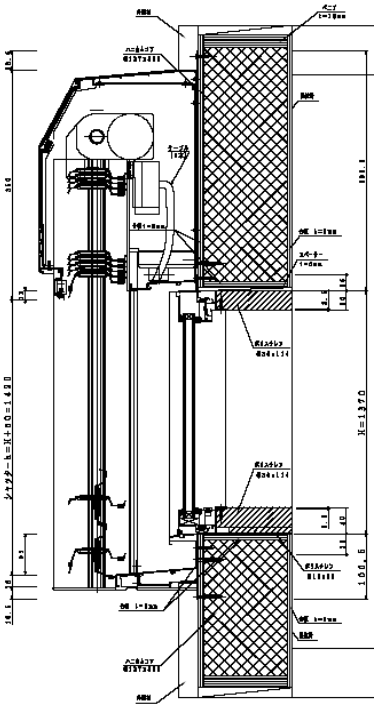


図 6.3.26ブラインドシャッター縦断面

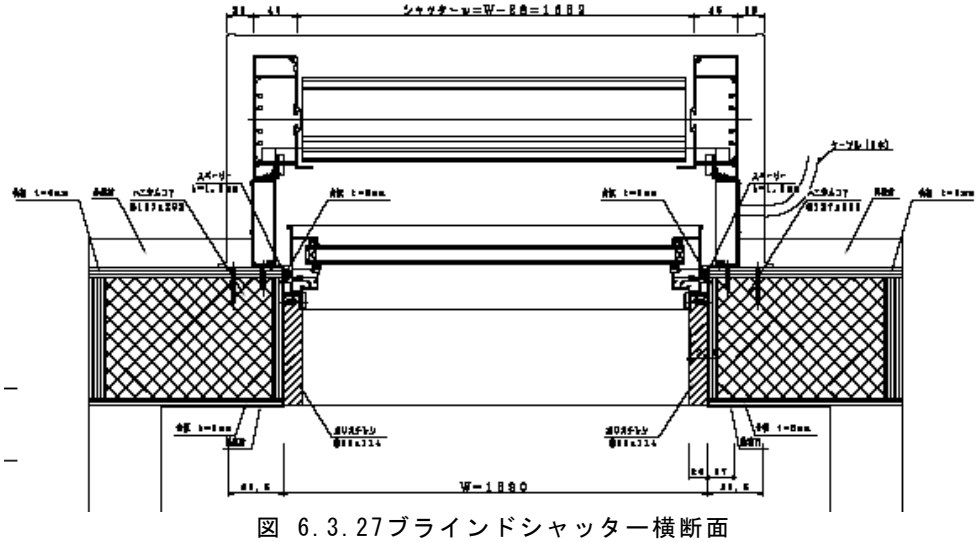


図 6.3.27ブラインドシャッター横断面

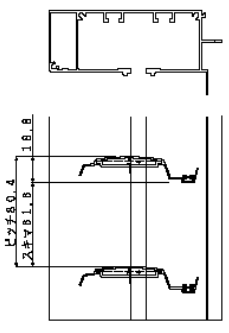
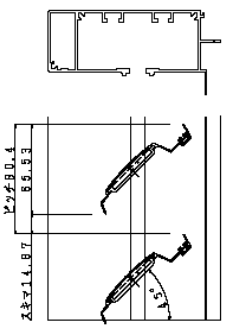
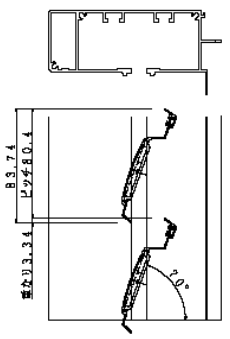
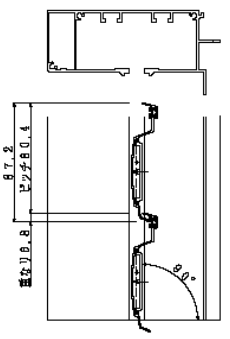
角度	0°（水平）	45°	70°	90°（垂直）
図面寸法				
スキマ比	61.6／80.4＝76.6％	14.87／80.4＝18.5％	0％（3.34mm重なり）	0％（6.8mm重なり）

図 6.3.28ブラインドシャッタースラット角と隙間比

(7) 外付けルーバー

実験に用いた外付けルーバーを図 6.3.29から図 6.3.31に示す。スラット角により性能が変化するのでスラット角を変えた実験も行った。スラット角度による隙間比を図 6.3.32に示す。

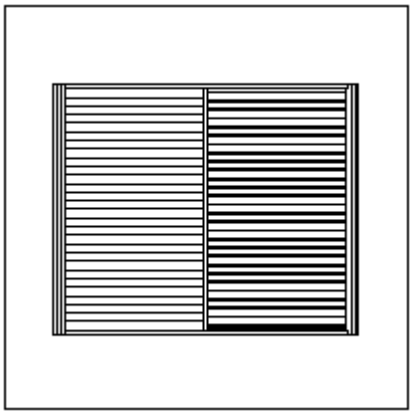


図 6.3.29外付けルーバー外観

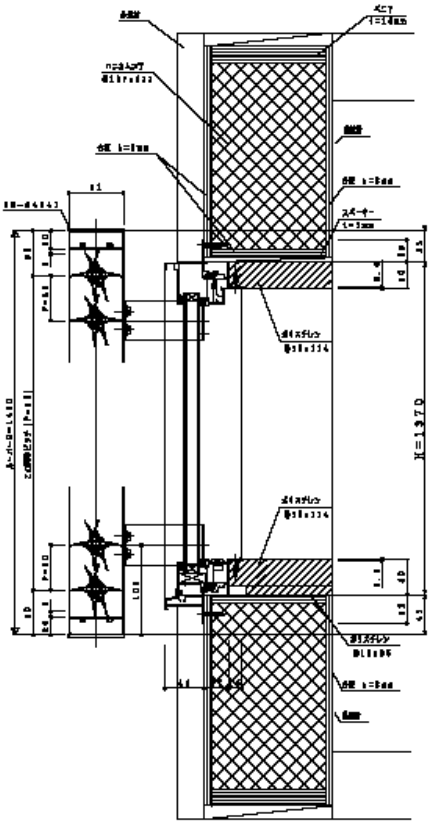


図 6.3.30外付けルーバー縦断面

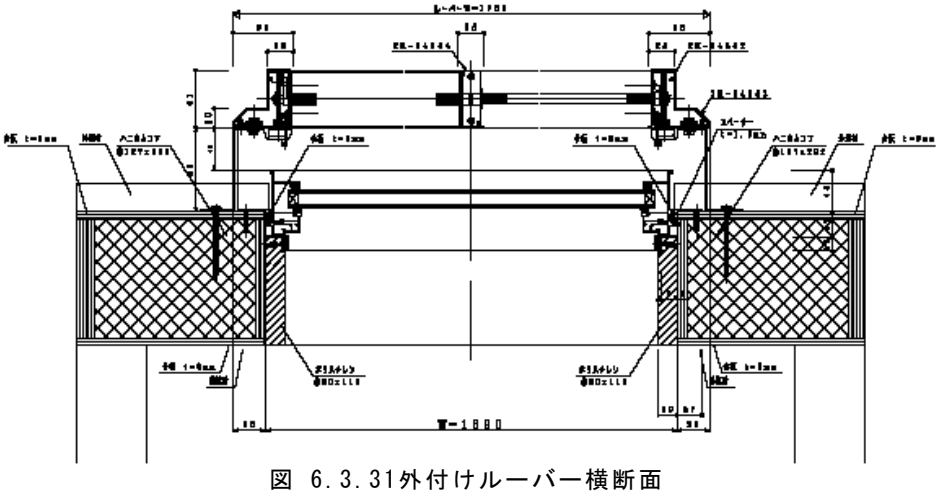


図 6.3.31外付けルーバー横断面

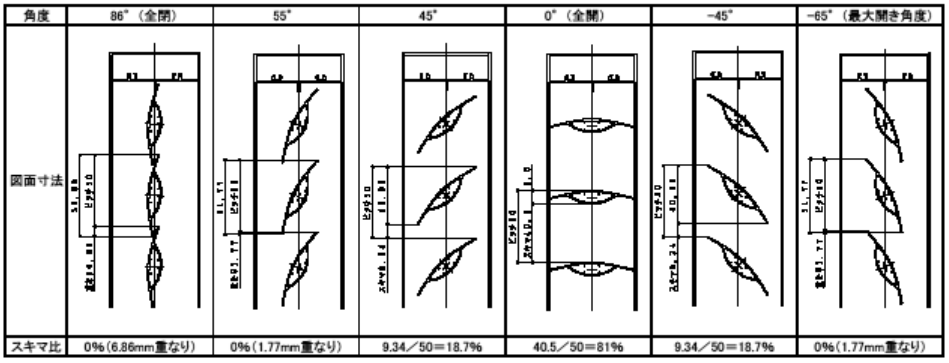


図 6.3.32外付けルーバースラット角と隙間比

(8) ブラインド内蔵ガラス

実験に用いたブラインド内蔵ガラスを図 6.3.33から図 6.3.35に示す。スラット角により性能が変化するのでスラット角を変えた実験も行った。スラット角度による隙間比を図 6.3.36に示す。

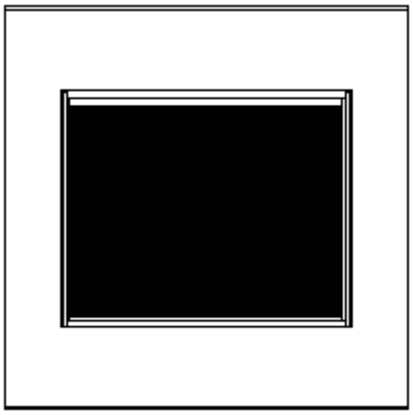


図 6.3.33ブラインド内蔵ガラス外観

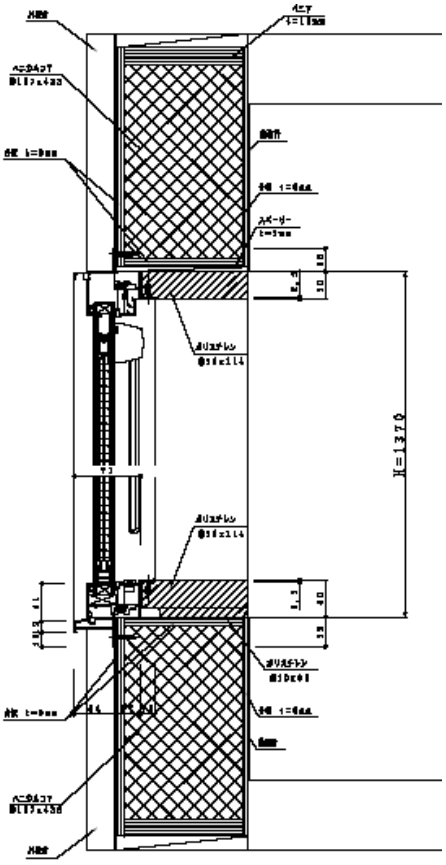


図 6.3.34ブラインド内蔵ガラス縦断面

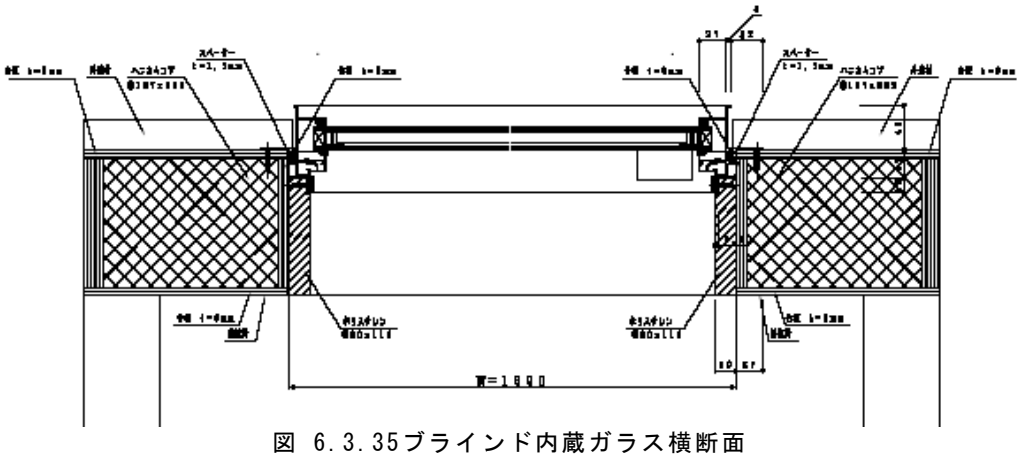


図 6.3.35ブラインド内蔵ガラス横断面

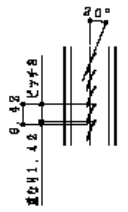
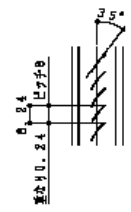
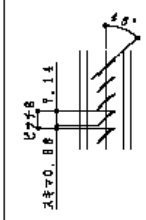
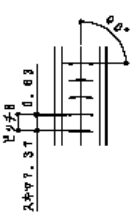
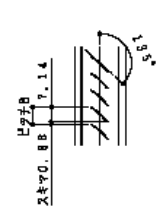
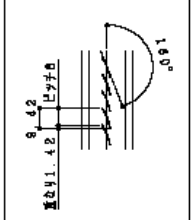
角度	70°（全閉）	55°	45°	0°（全開）	-45°	-70°（最大開き角度）
図面寸法						
スキマ比	0%(1.42mm重なり)	0%(0.24mm重なり)	0.86/8＝10.8%	0.86/8＝92.1%	0.86/8＝10.8%	0%(1.42mm重なり)

図 6.3.36ブラインド内蔵ガラススラット角と隙間比

6.3.3 実験結果と考察

枠、ガラス、付属物を組み合わせたときの実験結果と考察を以下に示す。

1) 枠種の違い

嵌め殺し窓で枠の種類を変えた実験を行った。実験結果と計算値を表 6.3.2、図 6.3.37に示す。計算は(社)リビングアメニティ協会で開発中の境界要素法プログラム TB2D/BEM で行った。

ガラスは樹脂枠が 4-A12-4 で、ほかの枠は普通複層ガラス 3-A12-3 である。枠の色はすべてブラック系とした。

フレーム面積比は窓面積に対する枠の面積比であり、樹脂枠が大きく、後はほぼ同じである。

日射熱取得率は実験結果と計算値がほぼ合っているが、熱貫流率は差が大きい。

これは実験における熱伝達が計算条件と異なっているためである。

表 6.3.2実験結果と計算値

	日射熱取得率	熱貫流率	フレーム面積比	η 計算値	U計算値
アルミ	0.72	3.4	11.0%	0.73	4.0
アルミ熱遮断	0.71	2.9	10.0%	0.72	3.5
アルミ樹脂複合	0.73	2.7	10.7%	0.71	3.1
樹脂	0.69	2.8	17.5%	0.66	3.2

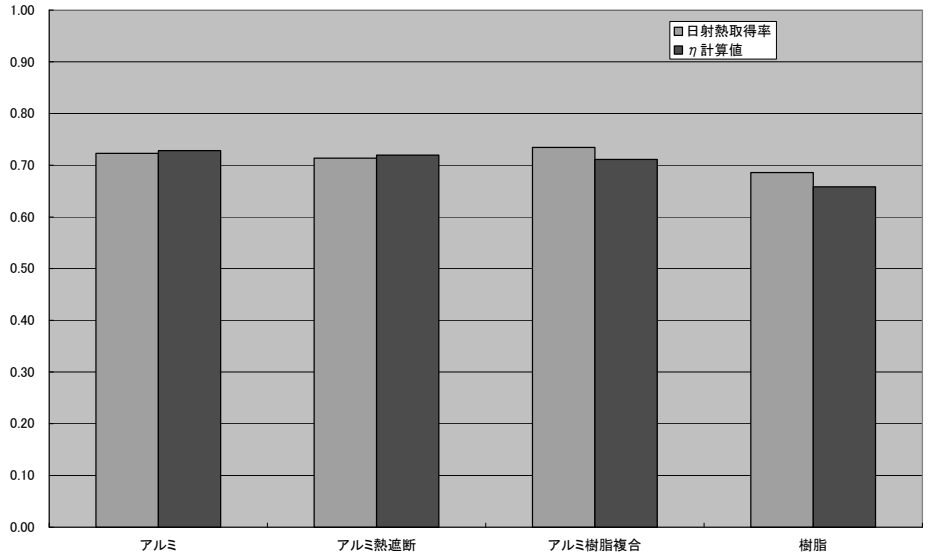


図 6.3.37実験結果と計算値

2) すだれ

アルミ熱遮断枠普通複層 3-A12-3 の外部にすだれを吊したときの結果を表 6.3.3に示す。

装置の都合上、入射角が 0 度の実験しか行えないため、すだれの隙間を通して直接日射が透過している。実際には太陽高度により

隙間からの直接の透過はほとんど無いので、日射熱取得率はもっと小さくなると考えられる。

熱貫流率は、すだれがないときに比べ少し小さくなっている。

表 6.3.3すだれの実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率
アルミ熱遮断＋普通複層 3-A12-3	0.71	2.9
アルミ熱遮断＋普通複層 3-A12-3＋すだれ	0.23	2.8

3）外付けロールスクリーン

アルミ枠普通複層 3-A12-3 の外部にロールスクリーン1を吊したときの結果を表 6.3.4に、樹脂枠普通複層 4-A12-4 の外部にロールスクリーン2を吊したときの結果を表 6.3.5に示す。

実際には太陽高度が高くなると隙間からの直接の透過が少なくなるため、日射熱取得率はもう少し小さくなると考えられる。

熱貫流率は、ロールスクリーンがないときに比べ少し小さくなっている。

表 6.3.4 ロールスクリーン１の実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率
アルミ＋普通複層	0.72	3.4
アルミ＋普通複層 ＋ロールスクリーン1	0.31	3.3

表 6.3.5 ロールスクリーン２の実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率
樹脂＋普通複層	0.69	2.8
樹脂＋普通複層 ＋ロールスクリーン2	0.27	2.5

4）カーテン

アルミ熱遮断枠普通複層 3-A12-3 の内部にカーテンを吊したときの結果を表 6.3.6に示す。

カーテン生地の目の粗さなどによって日射熱取得率は少しは変化すると考えられる。

熱貫流率は、カーテンがないときに比べ少し小さくなっている。

表 6.3.6 カーテンの実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率
アルミ熱遮断＋普通複層	0.71	2.9
アルミ熱遮断 ＋普通複層＋レースカーテン	0.50	2.3
アルミ熱遮断＋普通複層 ＋レースカーテン ＋ドレープカーテン	0.40	2.4

5）紙障子

アルミ熱遮断枠普通複層 3-A12-3 の内部に紙障子をたてたときの結果を表 6.3.7に示す。

日射熱取得率、熱貫流率ともに紙障子がないときに比べて小さくなっている。

表 6.3.7紙障子の実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率
アルミ熱遮断＋普通複層	0.71	2.9
アルミ熱遮断 ＋普通複層＋紙障子	0.38	1.8

6）内付けブラインド

アルミ熱遮断枠普通複層 3-A12-3 の内内

部にブラインドを吊したときの結果を、表 6.3.8、図 6.3.38、図 6.3.39に示す。

スラット角度は 0 度が水平で、スラットの凸面が外側になるように回転したとき正の値、内側になるように回転したとき負の値として表現している。

スラット角度の変化により日射熱取得率が変化するが、隙間比の同じ-45度と45度で少し異なっている。

熱貫流率も、スラット角度の変化により変化している。

表 6.3.8内付けブラインド実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率	隙間比
アルミ熱遮断＋普通複層	0.71	2.9	
アルミ熱遮断＋普通複層＋内付けブラインド61度全閉	0.35	2.1	0.0%
アルミ熱遮断＋普通複層＋内付けブラインド45度	0.45	2.5	19.1%
アルミ熱遮断＋普通複層＋内付けブラインド0度全開	0.70	2.6	90.2%
アルミ熱遮断＋普通複層＋内付けブラインド-45度	0.43	2.3	19.1%
アルミ熱遮断＋普通複層＋内付けブラインド-61度全閉	0.36	2.1	0.0%

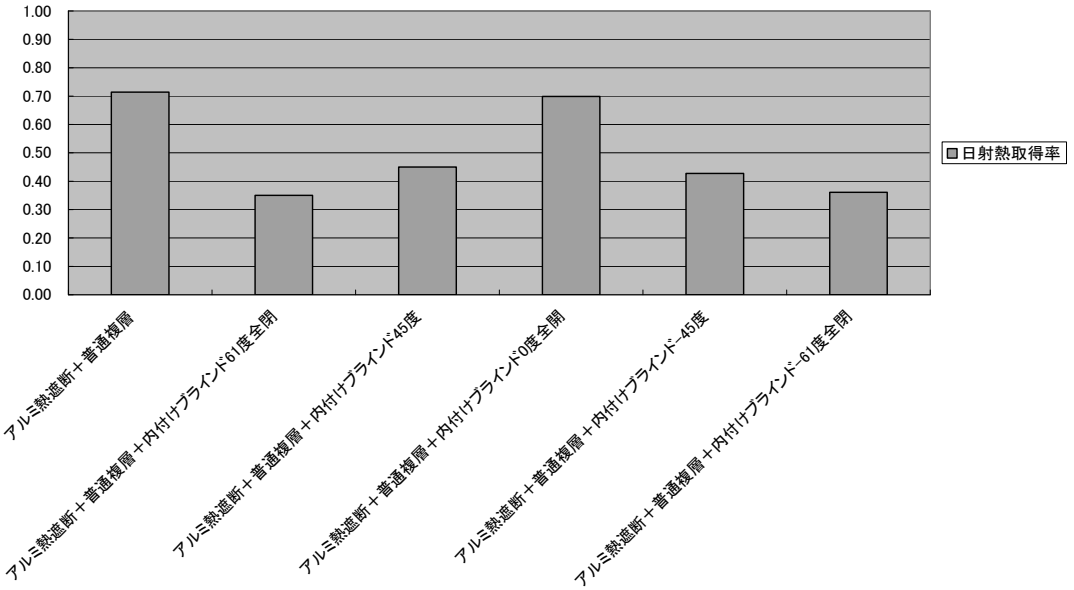


図 6.3.38内付けブラインドの実験結果　日射熱取得率

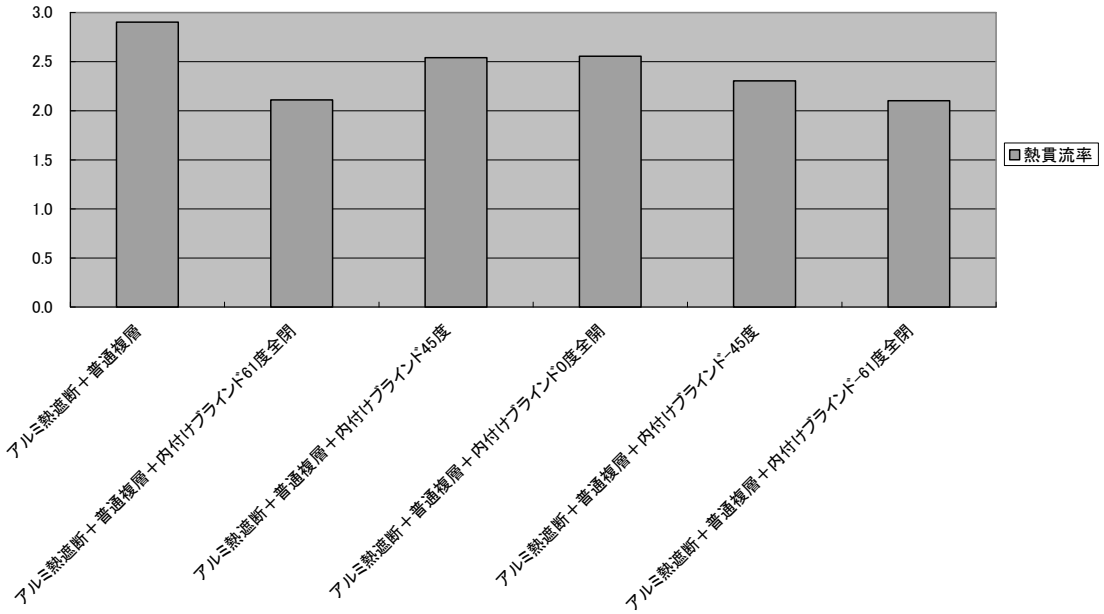


図 6.3.39内付けブラインドの実験結果　熱貫流率

7）外付けルーバー

アルミ熱遮断枠普通複層 3-A12-3 の外部にルーバーを設置したときの結果を表 6.3.9、図 6.3.40、図 6.3.41に示す。

スラット角度は 0 度が水平で、スラットの凸面が外側になるように回転したとき正の値、内側になるように回転したとき負の値として表現している。

スラット角度の変化により日射熱取得率が変化する。スラット角度 86 度全閉では日射熱取得がほとんど無い。

隙間比の同じ-45 度と 45 度で少し異なっているが、スラット表裏の形状違いでの反射の性状が異なることが原因と考えられる。

熱貫流率も、スラット角度の変化により僅かに変化している。

表 6.3.9外付けルーバーの実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率	隙間比
アルミ熱遮断＋普通複層	0.71	2.9	
アルミ熱遮断＋普通複層＋外ルーバー86度全閉	0.02	2.7	0.0%
アルミ熱遮断＋普通複層＋外ルーバー65度	0.08	2.6	0.0%
アルミ熱遮断＋普通複層＋外ルーバー45度	0.23	2.7	18.7%
アルミ熱遮断＋普通複層＋外ルーバー0度全開	0.61	2.8	81.0%
アルミ熱遮断＋普通複層＋外ルーバー-45度	0.21	2.5	18.7%
アルミ熱遮断＋普通複層＋外ルーバー-65度全閉	0.09	2.4	0.0%

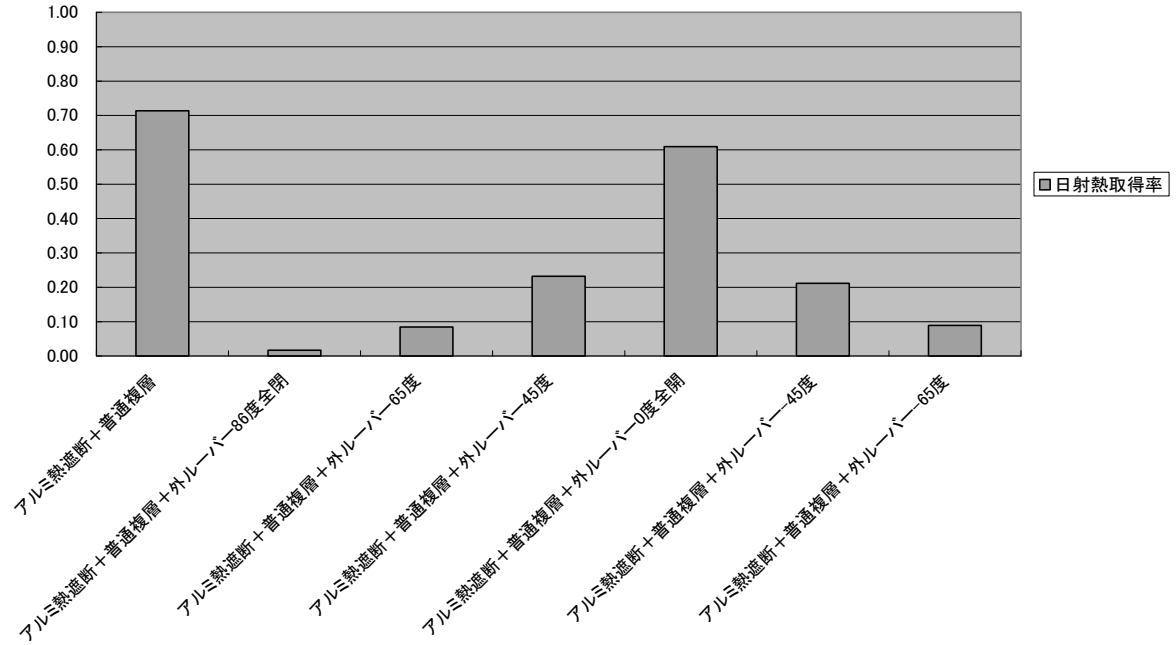


図 6.3.40外付けルーバーの実験結果 日射熱取得率

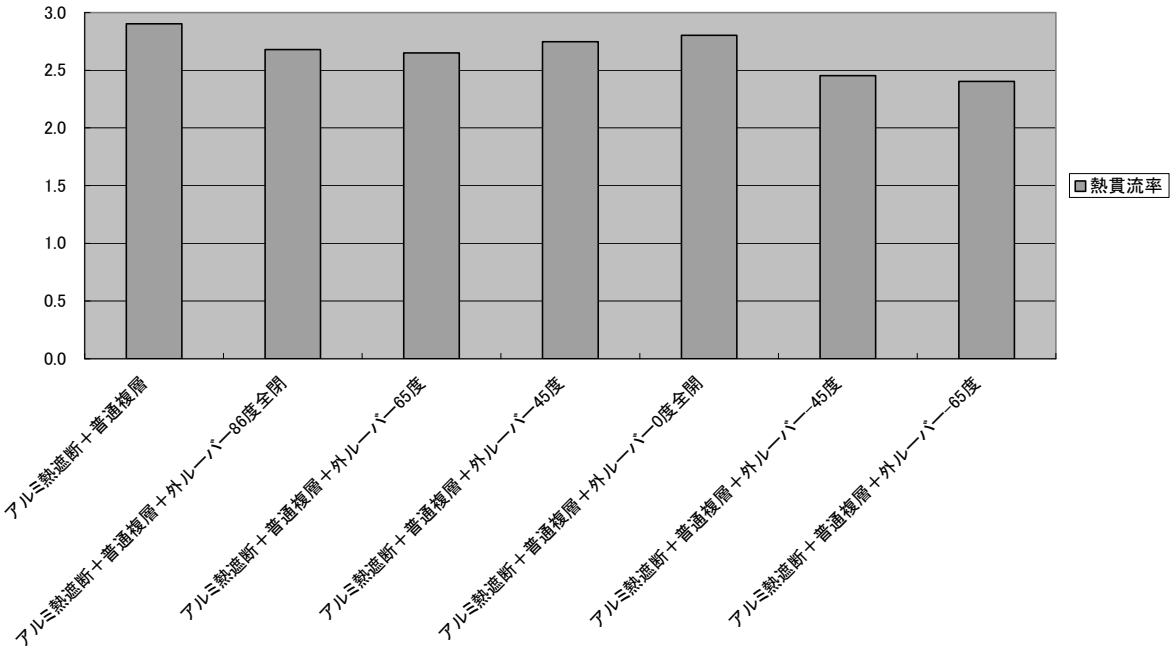


図 6.3.41外付けルーバーの実験結果 熱貫流率

8) ブラインドシャッター

表 6.3.10ブラインドシャッターの実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率	隙間比
アルミ熱遮断＋普通複層	0.71	2.9	
アルミ熱遮断＋普通複層＋ブラインドシャッター90度全閉	0.06	2.4	0.0%
アルミ熱遮断＋普通複層＋ブラインドシャッター70度	0.03	2.9	0.0%
アルミ熱遮断＋普通複層＋ブラインドシャッター45度	0.19	3.0	18.5%
アルミ熱遮断＋普通複層＋ブラインドシャッター0度全開	0.53	3.0	76.6%

アルミ熱遮断枠普通複層 3-A12-3 の外部にブラインドシャッターを設置したときの結果を表 6.3.10、図 6.3.42、図 6.3.43に示す。

スラット角度は 0 度が水平で、スラットの凸面が外側になるように回転したとき正の値として表現している。ブラインドシャッターはスラット角度 0 度で昇降するため負の値とはならない。

スラット角度の変化により日射熱取得率が変化するが、90 度全閉では 70 度より大きくなっている。

これは、全閉の時スラットと窓ガラスの間が密閉空気層に近くなり、スラット面の温度が上昇し、ガラスとの間の放射熱交換によるものと考えられる。

熱貫流率も、全閉の時極端に小さくなっている。これも密閉空気層に近くなることによりその分の熱抵抗が増したためと考えられる。

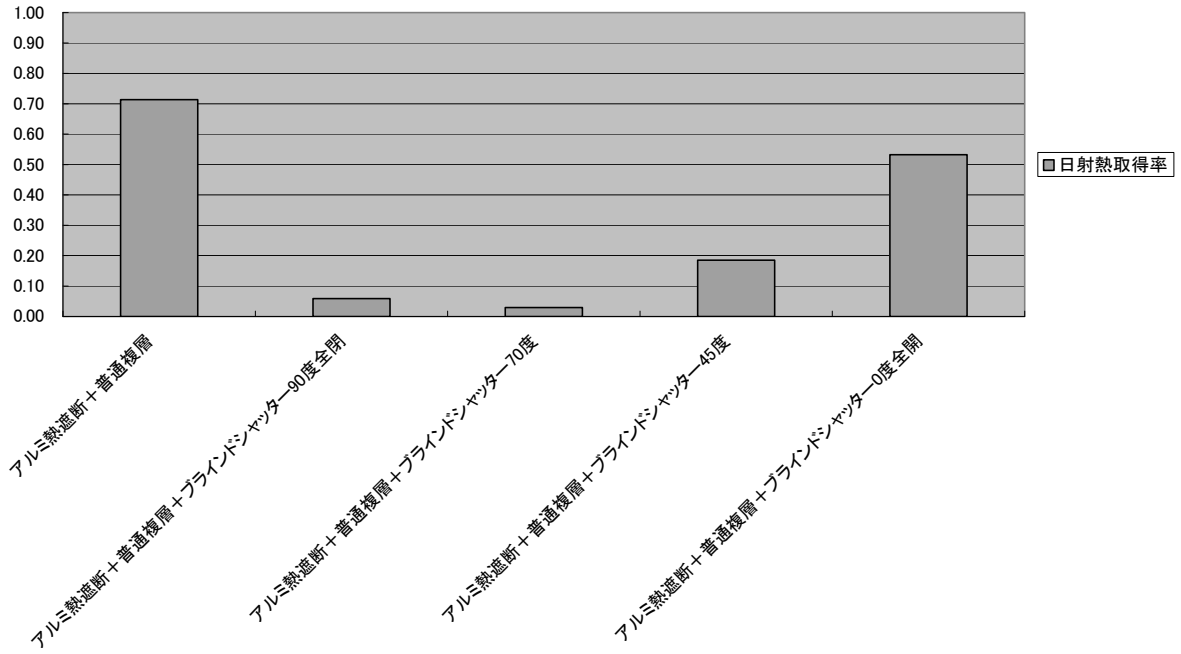


図 6.3.42ブラインドシャッターの実験結果　日射熱取得率

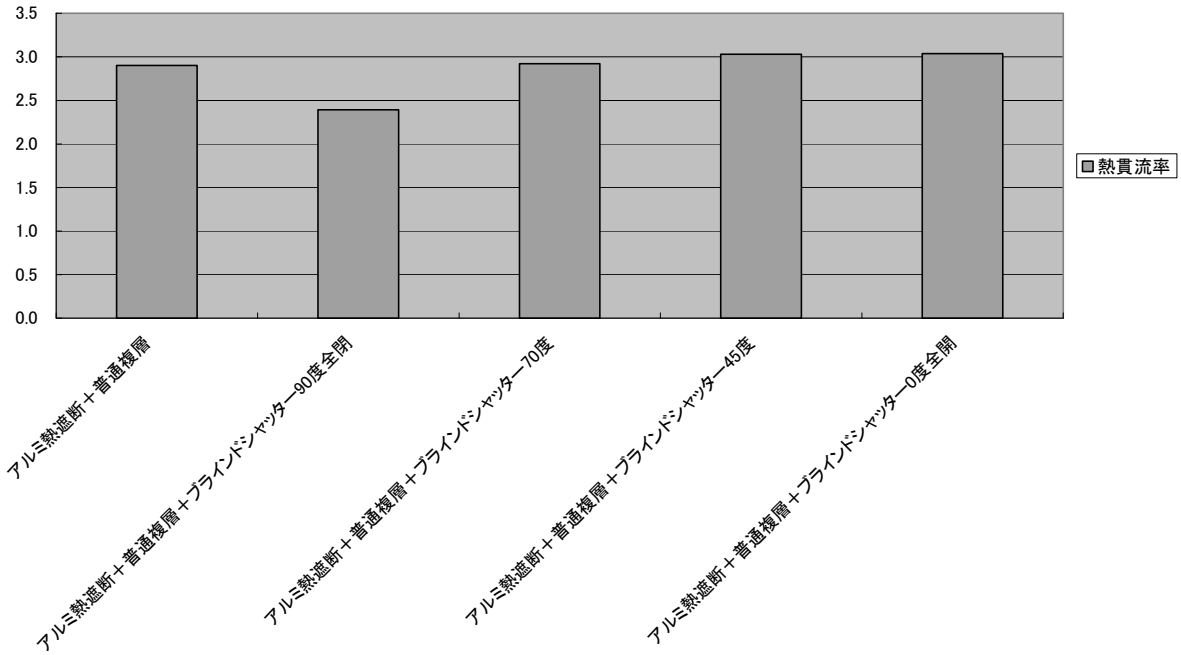


図 6.3.43ブラインドシャッターの実験結果　熱貫流率

9）ブラインド内蔵ガラス

アルミ熱遮断枠にブラインド内蔵ガラスを取り付けたときの結果を表 6.3.11、図 6.3.44、図 6.3.45に示す。ブラインド内蔵ガラスは中空層が16mmの普通複層ガラスの内部に、スラット幅 10mmのブラインドを組み込んだもので、外部よりマグネットで操作できるが、スラット角度の再現性は正確では無い。

スラット角度は 0 度が水平で、スラットの凸面が外側になるように回転したとき正の値、内側になるように回転したとき負の値として表現している。全上げとはブラインドスラットをたたんだ状態で上部にスラットがたまっている。

表 6.3.11ブラインド内蔵ガラスの実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率	隙間比
アルミ熱遮断＋普通複層(3-A12-3)	0.71	2.9	
アルミ熱遮断＋ブラインド内蔵ガラス　全上げ	0.61	2.6	
アルミ熱遮断＋ブラインド内蔵ガラス70度全閉	0.25	2.3	0.0%
アルミ熱遮断＋ブラインド内蔵ガラス55度	0.33	2.4	0.0%
アルミ熱遮断＋ブラインド内蔵ガラス45度	0.39	2.5	10.8%
アルミ熱遮断＋ブラインド内蔵ガラス0度全開	0.55	2.6	92.1%
アルミ熱遮断＋ブラインド内蔵ガラス-45度	0.58	2.4	10.8%
アルミ熱遮断＋ブラインド内蔵ガラス-55度	0.39	2.3	0.0%
アルミ熱遮断＋ブラインド内蔵ガラス-70度全閉	0.24	2.2	0.0%

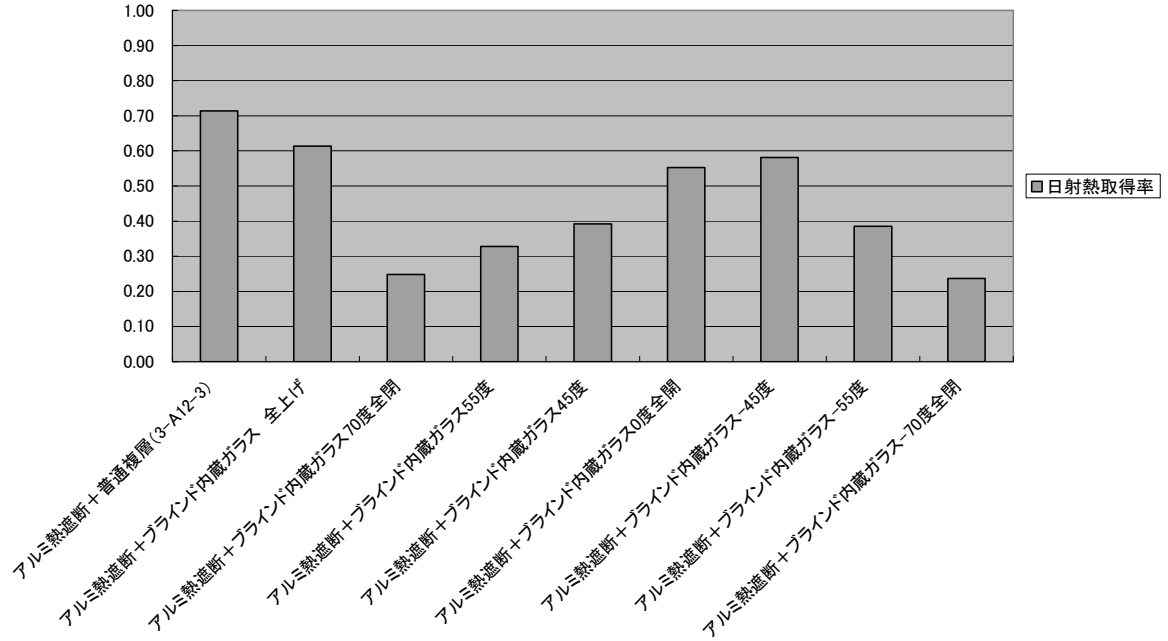


図 6.3.44ブラインド内蔵ガラスの実験結果　日射熱取得率

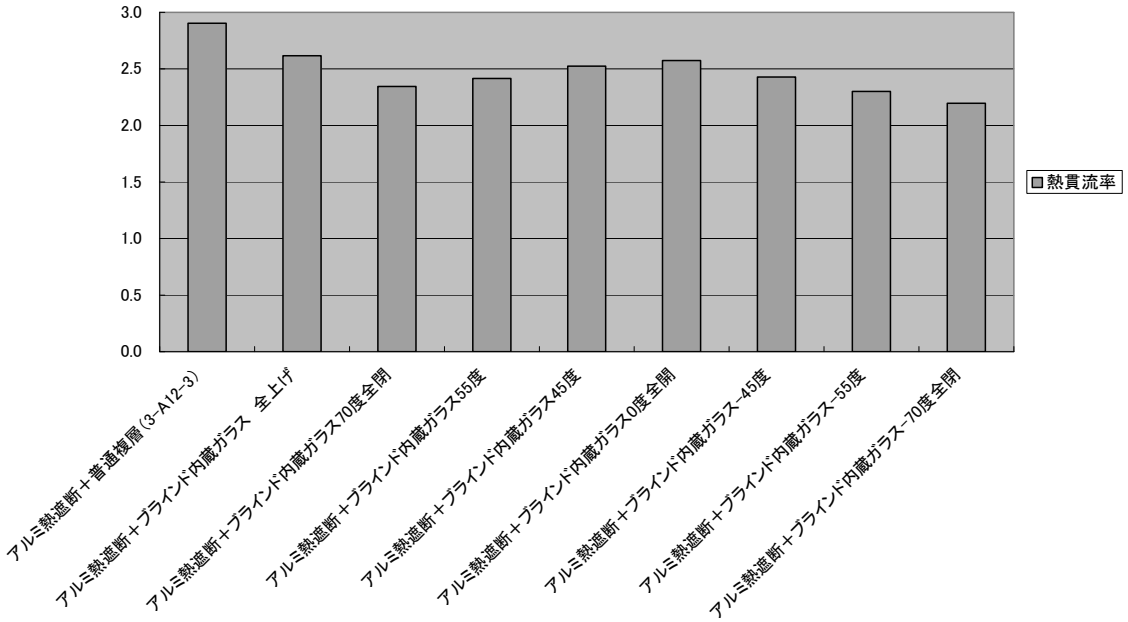


図 6.3.45ブラインド内蔵ガラスの実験結果　熱貫流率

アルミ熱遮断＋普通複層(3-A12-3)と全上げの日射熱取得率の差はたたまれているスラットによる効果と考えられる。

全閉状態のスラット角度-70 度と 70 度の差はほとんど無いが、-55 度と 55 度、-45 度と 45 度の差はだんだん大きくなる。これはスラット面が曲面であるためにスラット表裏の反射の様子が少し変わっているためと考えられる。

熱貫流率も、同じように少し異なっている。

10）ガラス違い

アルミ熱遮断枠に各種ガラスを取り付けたときの実験結果と計算値を表 6.3.12、図 6.3.46に示す。ガラスは、普通複層ガラス、断熱型低放射複層ガラス、銀 1 層と銀 2 層の遮熱型低放射複層ガラスの 4 種類とし、低放射複層ガラスについては通常の使い方と、裏返した状態での7パターンでの実験を行った。計算は(社)リビングアメニティ協会で開発中の境界要素法プログラム TB2D/BEM で行った。

日射熱取得率は実験結果と計算値がほぼ合っているが、熱貫流率は差が大きい。これは実験における熱伝達が計算条件と異なっているためである。

3 種の低放射複層ガラスを表使い、裏使いとしたが日射熱取得率に関してはやはり遮熱型低放射ガラスと同じく膜面が外気側ガラスの中空層側にあるときが日射熱取得率は小さいことがわかる。熱貫流率はほぼ同じである。

表 6.3.12ガラス違いの実験結果

	日射熱取得率	熱貫流率	η計算値	U計算値
アルミ熱遮断＋普通複層(3-A12-3)	0.71	2.9	0.72	3.5
アルミ熱遮断＋断熱型Low－E	0.67	2.1	0.67	2.5
アルミ熱遮断＋断熱型Low－E裏使い	0.64	2.0	0.61	2.5
アルミ熱遮断＋遮熱型Low－E(銀1層)	0.51	2.0	0.49	2.5
アルミ熱遮断＋遮熱型Low－E(銀1層)裏使い	0.61	2.0	0.57	2.5
アルミ熱遮断＋遮熱型Low－E(銀2層)	0.40	1.9	0.41	2.3
アルミ熱遮断＋遮熱型Low－E(銀2層)裏使い	0.49	2.0	0.49	2.3

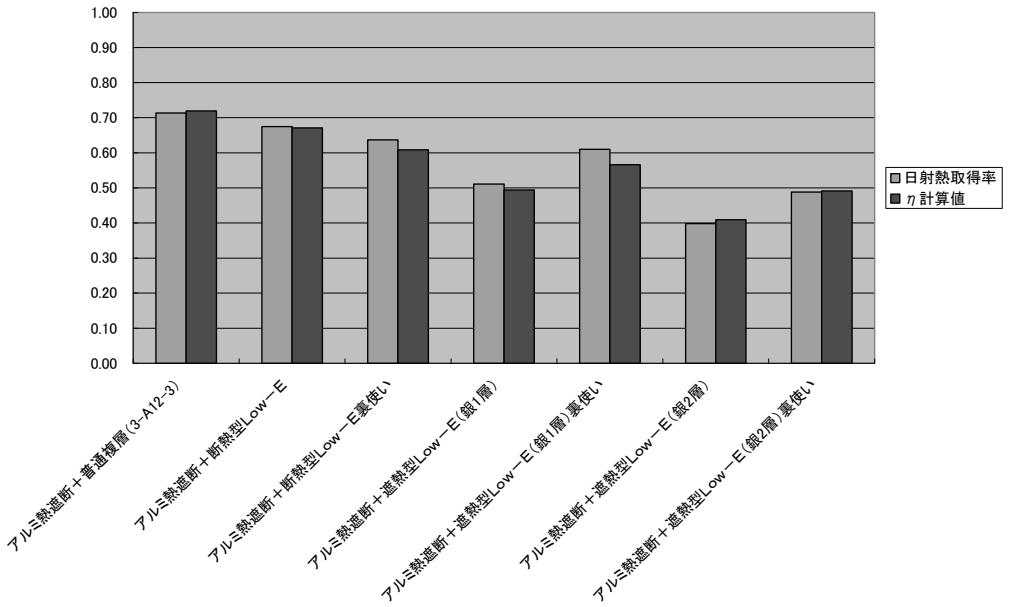


図 6.3.46ガラス違いの実験結果

6.3.4 実験結果のまとめと今後の課題

一連の実験結果をまとめたものが図 6.3.47、図 6.3.48である。

やはり内付けより外付けの付属物で、かつ材料が日射の透過の少ないものの方がの日射遮蔽効果が大きいことがわかる。

一連の実験では主にアルミ熱遮断枠と普通複層ガラスの嵌め殺し窓にさまざまな付属物を組み合わせた実験を行い、測定の妥当性の検証と、代表的な付属物の性能確認はできたと考えられる。

今後は、引き違いや開きなど開閉方式の異なる窓と付属物の組み合わせた実験を継続して行う予定である。

(倉山　千春)

参考文献

1. 住宅の次世代省エネルギー基準と指針、(財)住宅・建築省エネルギー機構、1999
2. JIS A 3106 板ガラス類の透過率・反射率・放射率・日射熱取得率の算定方法、日本規格協会、1998
3. ASHRAE Standard 142, ″Standard Method for Determining and Expressing the Heat Transfer and Total Optical Properties of Fenestration Products″, Working Draft, March 1996
4. ISO/DIS 15099: 1999, ″Windows and doors - Thermal transmission properties - Detailed calculations″、1999
5. 建築物の省エネルギー基準と計算の手引き 改訂 6 版、IBEC、H11.8.20
6. The Effects of Calorimeter Tilt on the Inward-Flowing Fraction of Absorbed Solar Radiation in a Venetian Blind、Michael R. Collins et al.、ASHRAE TRANSACTIONS、2001
7. Effect of Tilt Angle and Temperature Difference on Solar Heat Gain Coefficient Measurement of Fenestration System、Ching-Chia (Thomas) Tseng et al.、ASHRAE TRANSACTIONS、2001
8. 次世代省エネルギー基準に適合した地域対応型住宅技術の開発研究報告書、(財)住宅・建築省エネルギー機構、2000
9. ISO/FDIS 15099: 1999, ″Windows and doors - Thermal transmission properties - Detailed calculations″、1999
10. ISO 15099: 2003, ″Windows and doors - Thermal transmission properties - Detailed calculations″、2003
11. 次世代省エネルギー基準に適合した地域対応型住宅技術の開発研究報告書、(財)住宅・建築省エネルギー機構、2000
12. エネルギー・資源の自立循環型住宅・都市基盤整備支援システムの開発＜自立循環型住宅開発委員会＞平成 13 年度報告書、2002
13. エネルギー・資源の自立循環型住宅・都市基盤整備支援システムの開発＜自立循環型住宅開発委員会＞平成 14 年度報告書、2003
14. エネルギー・資源の自立循環型住宅・都市基盤整備支援システムの開発＜自立循環型住宅開発委員会＞平成 15 年度報告書、2004

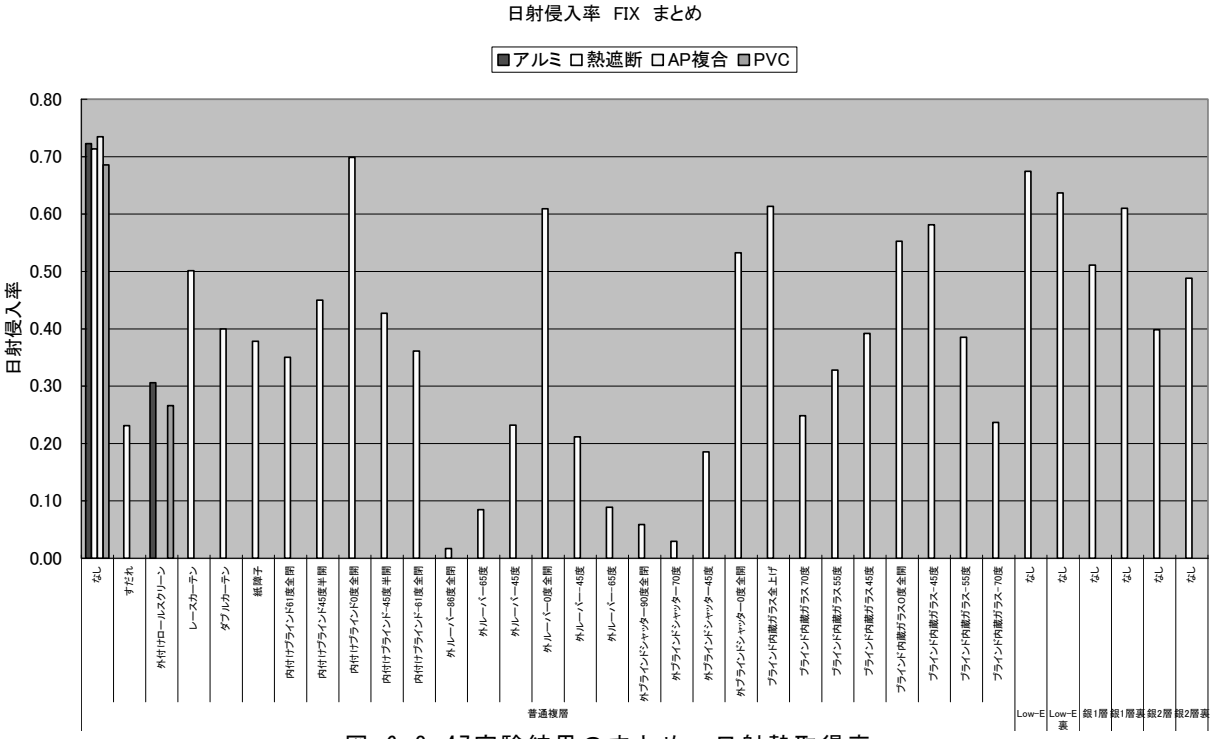


図 6.3.47実験結果のまとめ　日射熱取得率

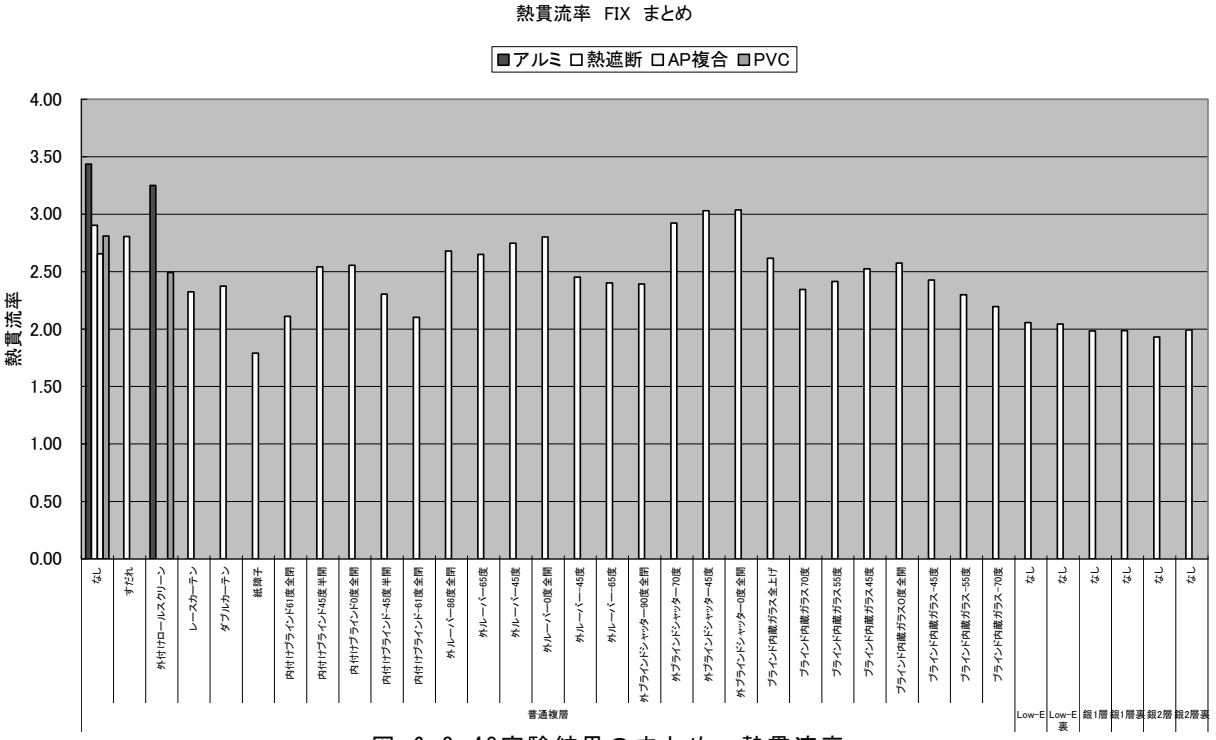


図 6.3.48実験結果のまとめ　熱貫流率

6.4 日射遮蔽性能の簡易計算法に関する検討

6.4.1 背景

いわゆる次世代省エネルギー基準(平成 11 年省エネルギー基準)では、開口部の日射熱取得率(日射侵入率)の基準が強化されている。これに伴い、日射入射時の快適性向上および、冷房負荷削減の為の日射遮蔽性能を評価する必要性が高まり、カーテン・ブラインド・障子など日射遮蔽部材を設置した場合の各種ガラスの日射遮蔽性能の把握も必要となった。

しかしながら、ガラス単体の日射熱取得率の計算方法は JIS で規定されているものの、日射遮蔽部材と組み合わせた場合については、計算方法が定まっておらず、早急な整備が求められていた。

そこで、ガラス業界で日射遮蔽部材を設置している場合の日射熱取得性能の計算方法を共通化し、性能記載のないガラスや、今後開発されるガラスに関しても同じ方法で性能計算をできるようにするという目的で、日射遮蔽部材を設置した場合のガラス面の日射熱取得率について計算方法の検討が行われた。検討の結果、比較的詳細に計算方法が示され、併せてその計算結果が

表 6.4.1のようにまとめられ、設計者は主にこの表をもとに設計を行っている。

表 6.4.1 ガラス単体ならびにガラスと附属部材と組み合わせたときのη値

適用地域	ガラスの仕様	空気層	ガラス部分のη値				
			日射遮蔽部材等の種類				
			なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
Ⅰ Ⅱ	普通三層複層ガラス	12mm	0.71	0.50	0.44	0.38	0.16
	低放射複層ガラスA	12mm	0.75	0.55	0.49	0.44	0.16
	低放射複層ガラスB	12mm	0.62	0.48	0.43	0.39	0.15
	低放射複層ガラスC	12mm	0.59	0.47	0.43	0.40	0.14
Ⅲ Ⅳ Ⅴ	普通複層ガラスA	12mm	0.79	0.53	0.45	0.38	0.17
	低放射複層ガラスA	6mm	0.74	0.53	0.47	0.42	0.16
	低放射複層ガラスB	6mm	0.61	0.46	0.41	0.37	0.15
	低放射複層ガラスC	6mm	0.58	0.45	0.41	0.37	0.14
	遮熱複層ガラスA	6mm	0.50	0.37	0.33	0.29	0.12
	遮熱複層ガラスB	6mm	0.42	0.32	0.29	0.26	0.11
	遮熱複層ガラスC	6mm	0.55	0.39	0.35	0.30	0.13
Ⅵ	普通単板ガラス	－	0.88	0.56	0.46	0.38	0.19
	遮熱複層ガラスA	6mm	0.50	0.37	0.33	0.29	0.12
	遮熱複層ガラスB	6mm	0.42	0.32	0.29	0.26	0.11
	遮熱複層ガラスC	6mm	0.55	0.39	0.35	0.30	0.13
	熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.41	0.36	0.32	0.13
	熱線反射ガラス3種	－	0.35	0.31	0.28	0.26	0.10

6.4.2 現状における問題点

設計者は表 6.4.1 を参考に基準値を満たしているかを判断しているのが現状であり、計算方法が示されたものの、実際にそれを用いて計算しているケースは少ないとされる。その為、表 6.4.1 には 5 種類の日射遮蔽部材について表示されているが、他の数多くの部材や今後新たに開発される部材やガラスについても同じ方法で表現する必要があり、表が縦横に大きく広がる結果となってしまう。また、設計者側は表から値を読み取ることになるが、各日射遮蔽部材を設置した場合の効果が、感覚的にとらえ易いものとは言えない。

そこで本研究では、より簡単で設計者が効果を感覚的にとらえ易い簡易計算法を示し、また、その評価方法についても検討を行った。

6.4.3 簡易計算法に関する検討

庇や内外の付属物を含めた総合的な日射遮蔽性能を、以下のように 1)ガラス単体の日射熱取得率、2)附属部材の日射遮蔽係数、3)庇等の効果の 3 つの積として求める方法を提案した。こうすることにより、表に示されていないガラス、遮蔽部材を含む組み合わせにおいても容易に性能が推定できることに加え、個々の性能がそのまま比例して総合性能に反映されることが明白で、感覚的に理解され易いものになることが期待される。

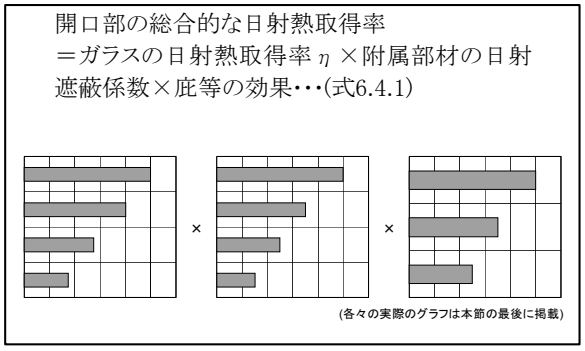


図 6.4.1 開口部の総合的な日射熱取得率

以下に簡易計算法の精度に関する検討を行う。

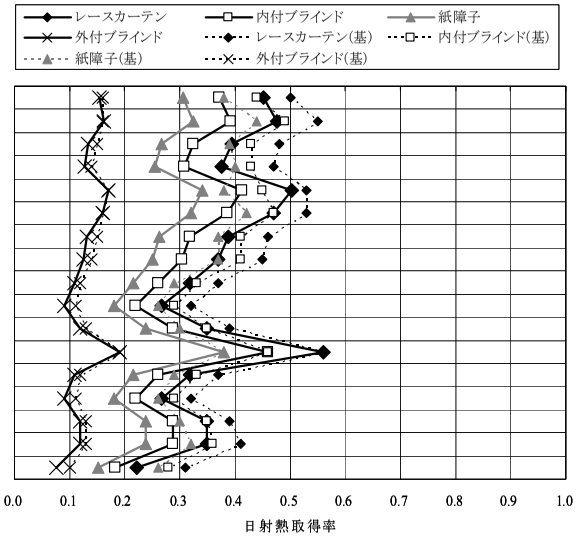
1) 基準となるガラスの選定

基準となるガラスを選定する為に、以下に示す検討を行った。

まず、基準となりうる(ｉ)～(ｖ)の部材を決定し、(ｉ)～(ｖ)の部材のそれぞれについて、簡易計算値の計算結果、及び、次世代省エネルギー基準計算値(表 6.4.1)と簡易計算値との差を求めた。その結果を図 6.4.2～図 6.4.6に示す。各図の(a)には計算結果表及びそのグラフ(次世代省エネルギー基準計算値についても点線で載せている)を、(b)には、次世代省エネルギー基準計算値と簡易計算値との差の程度、及び、双方の相関を示したグラフを載せている。なお、全てのグラフにおいて、実線は簡易計算値を、点線は次世代省エネルギー基準計算値を示す。また、表内の数値は全て小数点以下 3 桁目を四捨五入し、小数点以下 2 桁で表示しており、更に(b)内の表には、差が±0.05 以内のものに色付けを行っている。

(ｉ)普通単板ガラス

比率	1.00	0.64	0.52	0.43	0.22
	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.71	0.45	0.37	0.31	0.15
低放射複層ガラスA	0.75	0.48	0.39	0.32	0.16
低放射複層ガラスB	0.62	0.39	0.32	0.27	0.13
低放射複層ガラスC	0.59	0.38	0.31	0.25	0.13
普通複層ガラスA	0.79	0.50	0.41	0.34	0.17
低放射複層ガラスA	0.74	0.47	0.39	0.32	0.16
低放射複層ガラスB	0.61	0.39	0.32	0.26	0.13
低放射複層ガラスC	0.58	0.37	0.30	0.25	0.13
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.32	0.26	0.22	0.11
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.27	0.22	0.18	0.09
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.35	0.29	0.24	0.12
普通単板ガラス	0.88	0.56	0.46	0.38	0.19
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.32	0.26	0.22	0.11
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.27	0.22	0.18	0.09
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.35	0.29	0.24	0.12
熱線反射ガラス2種	0.55	0.35	0.29	0.24	0.12
熱線反射ガラス3種	0.35	0.22	0.18	0.15	0.08



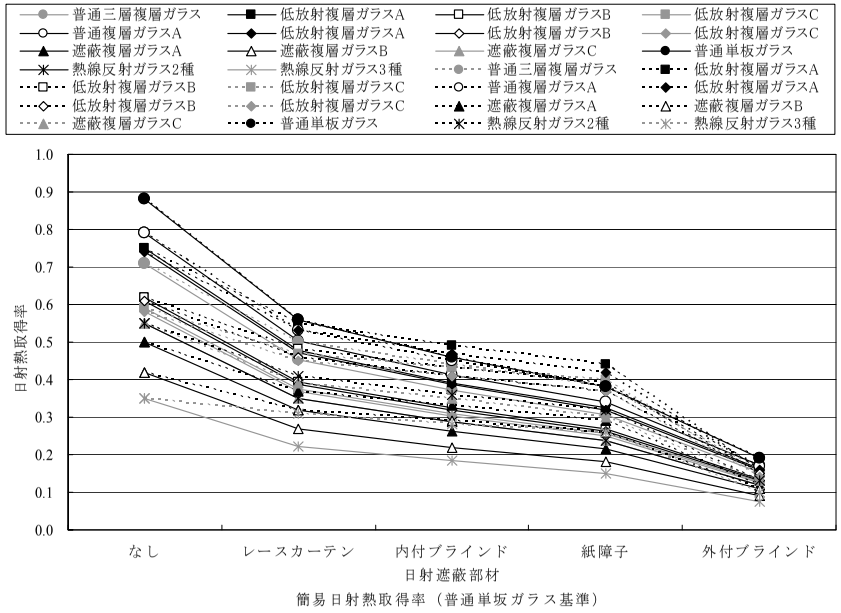
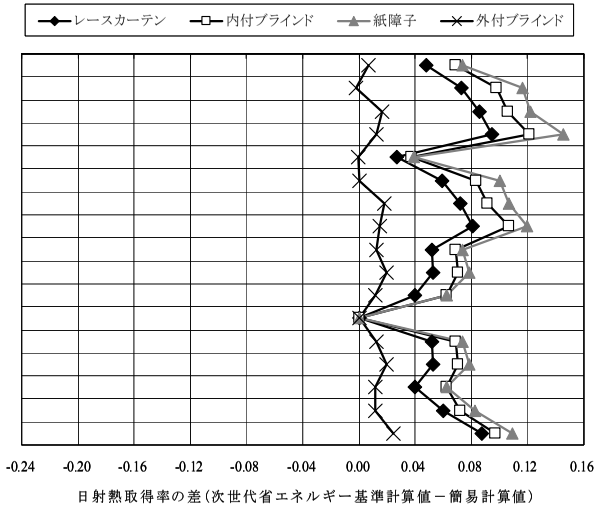
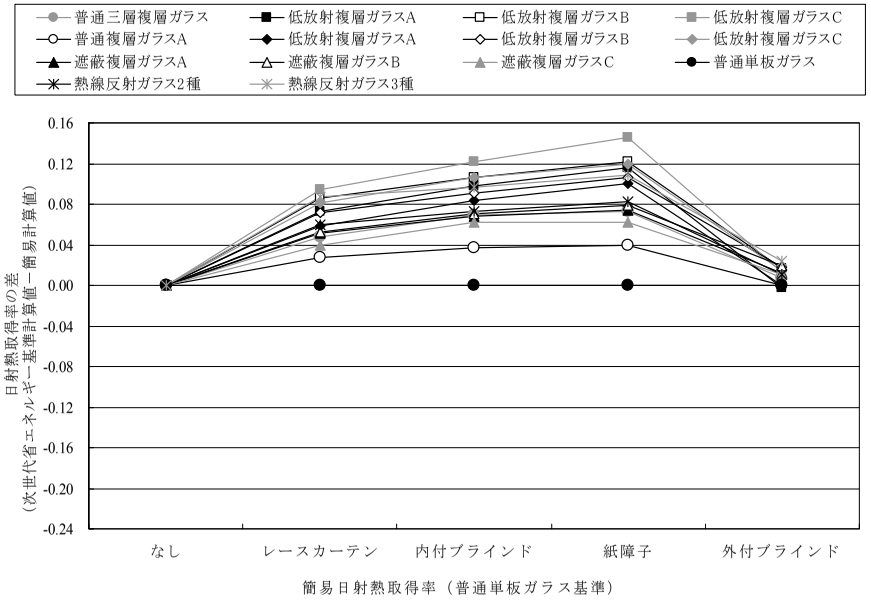


図 6.4.2 (a)簡易計算値(普通単板ガラス基準)

(ⅰ)普通単板ガラス

	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.00	0.05	0.07	0.07	0.01
低放射複層ガラスA	0.00	0.07	0.10	0.12	0.00
低放射複層ガラスB	0.00	0.09	0.11	0.12	0.02
低放射複層ガラスC	0.00	0.09	0.12	0.15	0.01
普通複層ガラスA	0.00	0.03	0.04	0.04	0.00
低放射複層ガラスA	0.00	0.06	0.08	0.10	0.00
低放射複層ガラスB	0.00	0.07	0.09	0.11	0.02
低放射複層ガラスC	0.00	0.08	0.11	0.12	0.01
遮蔽複層ガラスA	0.00	0.05	0.07	0.07	0.01
遮蔽複層ガラスB	0.00	0.05	0.07	0.08	0.02
遮蔽複層ガラスC	0.00	0.04	0.06	0.06	0.01
普通単板ガラス	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
遮蔽複層ガラスA	0.00	0.05	0.07	0.07	0.01
遮蔽複層ガラスB	0.00	0.05	0.07	0.08	0.02
遮蔽複層ガラスC	0.00	0.04	0.06	0.06	0.01
熱線反射ガラス2種	0.00	0.06	0.07	0.08	0.01
熱線反射ガラス3種	0.00	0.09	0.10	0.11	0.02





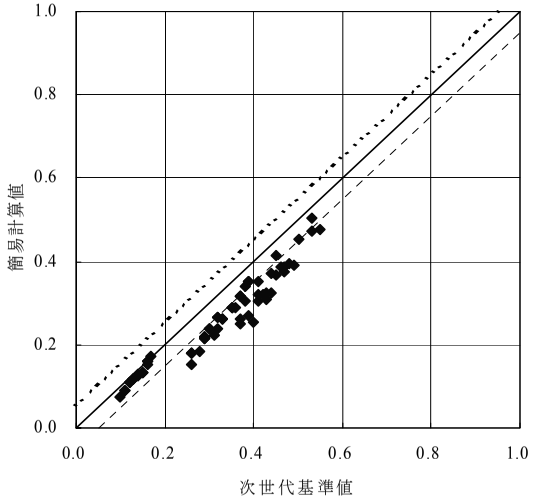
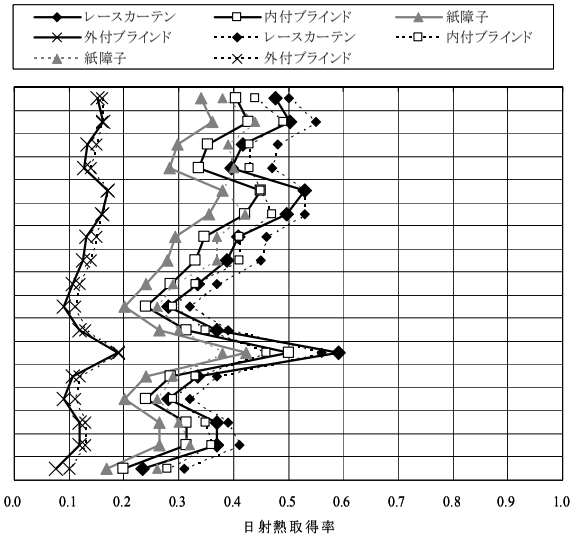


図 6.4.2 (b)簡易計算値と次世代省エネルギー基準値の差(普通単板ガラス基準)

(ⅱ)普通複層ガラスA

比率	1.00	0.67	0.57	0.48	0.22
	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.71	0.48	0.40	0.34	0.15
低放射複層ガラスA	0.75	0.50	0.43	0.36	0.16
低放射複層ガラスB	0.62	0.42	0.35	0.30	0.13
低放射複層ガラスC	0.59	0.40	0.34	0.28	0.13
普通複層ガラスA	0.79	0.53	0.45	0.38	0.17
低放射複層ガラスA	0.74	0.50	0.42	0.36	0.16
低放射複層ガラスB	0.61	0.41	0.35	0.29	0.13
低放射複層ガラスC	0.58	0.39	0.33	0.28	0.12
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.34	0.28	0.24	0.11
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.28	0.24	0.20	0.09
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.37	0.31	0.26	0.12
普通単板ガラス	0.88	0.59	0.50	0.42	0.19
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.34	0.28	0.24	0.11
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.28	0.24	0.20	0.09
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.37	0.31	0.26	0.12
熱線反射ガラス2種	0.55	0.37	0.31	0.26	0.12
熱線反射ガラス3種	0.35	0.23	0.20	0.17	0.08



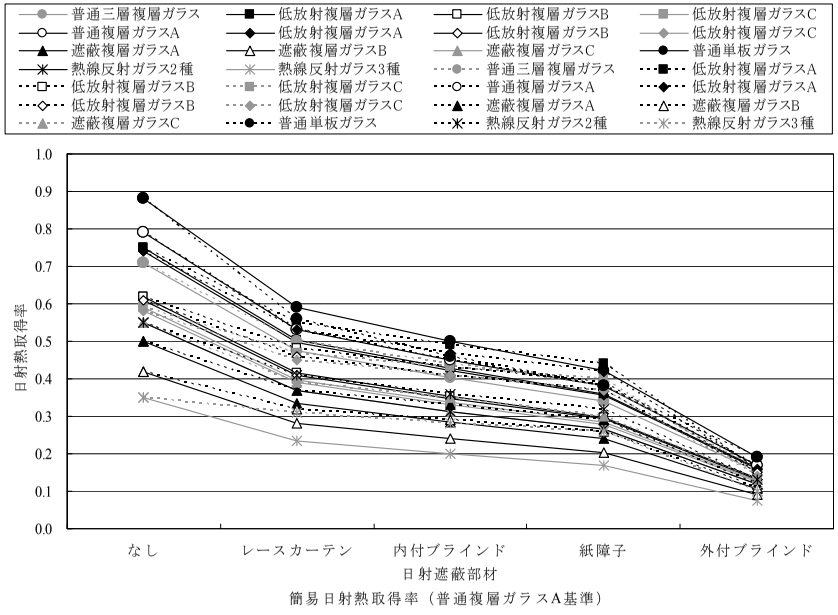
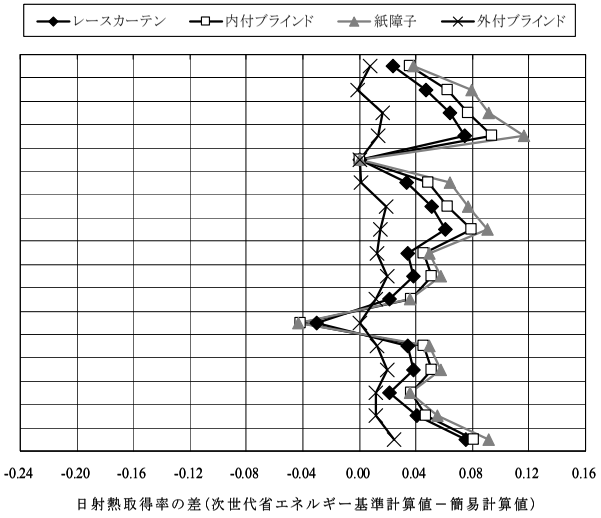
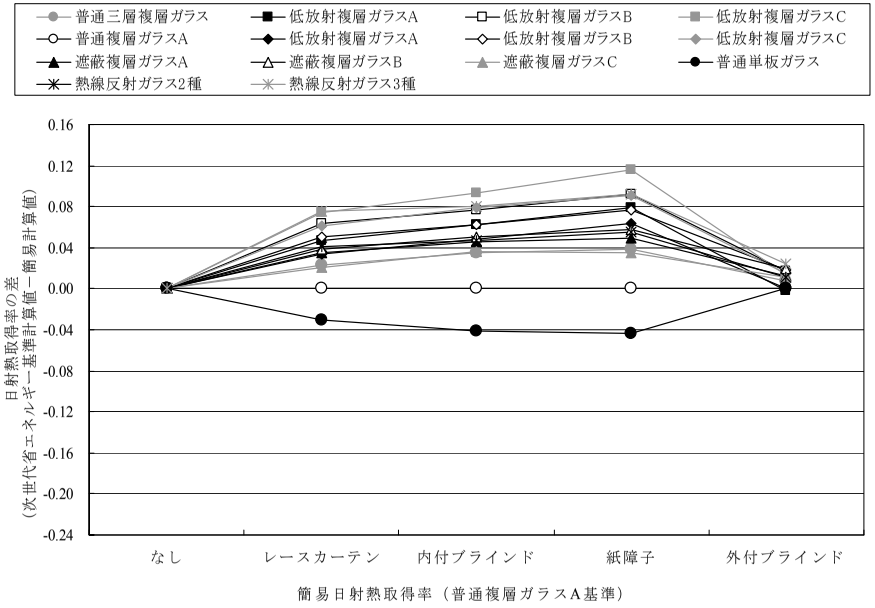


図 6.4.3 (a)簡易計算値(普通複層ガラスA基準)

(ⅱ)普通複層ガラスA

	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.00	0.02	0.04	0.04	0.01
低放射複層ガラスA	0.00	0.05	0.06	0.08	0.00
低放射複層ガラスB	0.00	0.06	0.08	0.09	0.02
低放射複層ガラスC	0.00	0.07	0.09	0.12	0.01
普通複層ガラスA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
低放射複層ガラスA	0.00	0.03	0.05	0.06	0.00
低放射複層ガラスB	0.00	0.05	0.06	0.08	0.02
低放射複層ガラスC	0.00	0.06	0.08	0.09	0.02
遮蔽複層ガラスA	0.00	0.03	0.05	0.05	0.01
遮蔽複層ガラスB	0.00	0.04	0.05	0.06	0.02
遮蔽複層ガラスC	0.00	0.02	0.04	0.04	0.01
普通単板ガラス	0.00	-0.03	-0.04	-0.04	0.00
遮蔽複層ガラスA	0.00	0.03	0.05	0.05	0.01
遮蔽複層ガラスB	0.00	0.04	0.05	0.06	0.02
遮蔽複層ガラスC	0.00	0.02	0.04	0.04	0.01
熱線反射ガラス2種	0.00	0.04	0.05	0.06	0.01
熱線反射ガラス3種	0.00	0.08	0.08	0.09	0.02





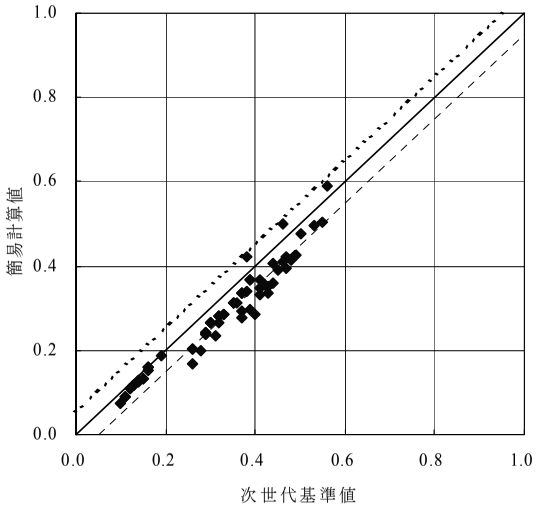
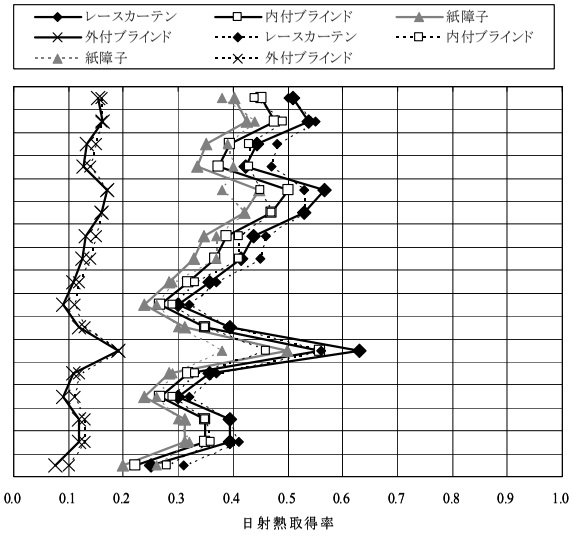


図 6.4.3 (b)簡易計算値と次世代省エネルギー基準値の差(普通複層ガラスA基準)

(ⅲ)低放射複層ガラスA(空気層6[mm])

比率	1.00	0.72	0.64	0.57	0.22
	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.71	0.51	0.45	0.40	0.15
低放射複層ガラスA	0.75	0.54	0.48	0.43	0.16
低放射複層ガラスB	0.62	0.44	0.39	0.35	0.13
低放射複層ガラスC	0.59	0.42	0.37	0.33	0.13
普通複層ガラスA	0.79	0.57	0.50	0.45	0.17
低放射複層ガラスA	0.74	0.53	0.47	0.42	0.16
低放射複層ガラスB	0.61	0.44	0.39	0.35	0.13
低放射複層ガラスC	0.58	0.42	0.37	0.33	0.13
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.36	0.32	0.28	0.11
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.30	0.27	0.24	0.09
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.39	0.35	0.31	0.12
普通単板ガラス	0.88	0.63	0.56	0.50	0.19
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.36	0.32	0.28	0.11
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.30	0.27	0.24	0.09
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.39	0.35	0.31	0.12
熱線反射ガラス2種	0.55	0.39	0.35	0.31	0.12
熱線反射ガラス3種	0.35	0.25	0.22	0.20	0.08



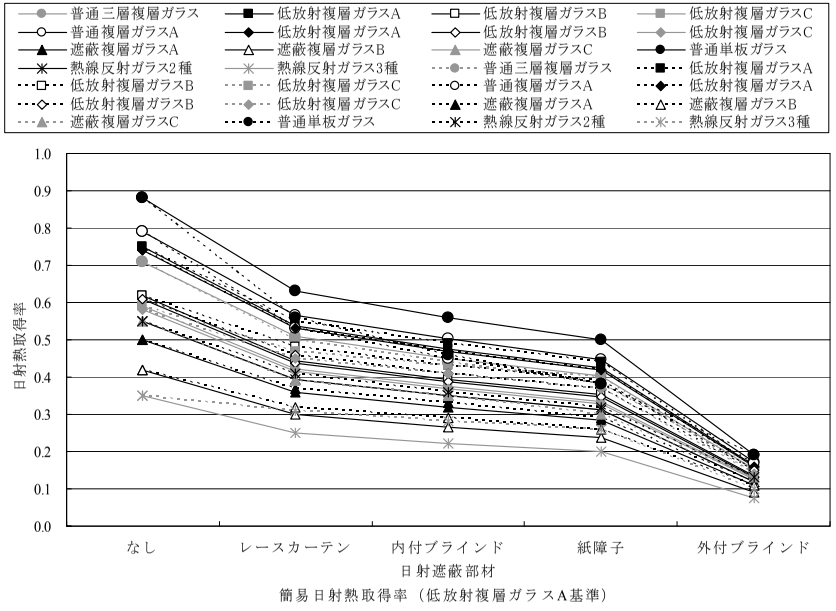
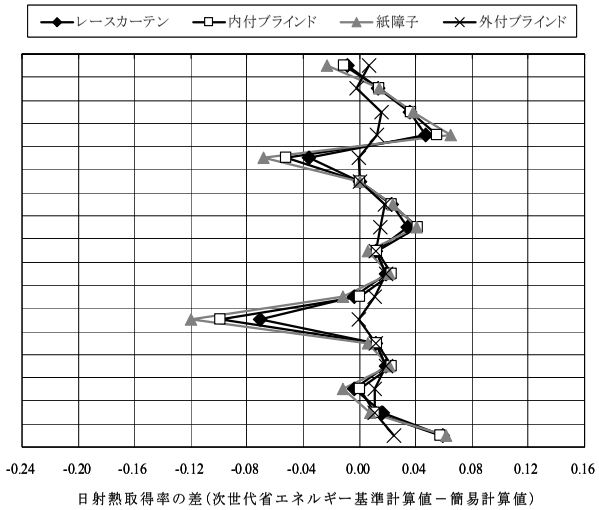
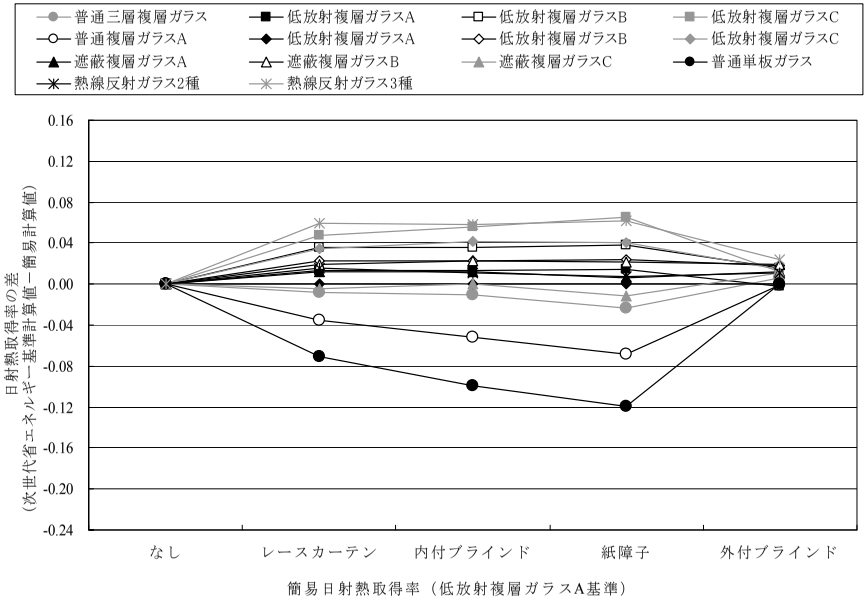


図 6.4.4 (a)簡易計算値(低放射複層ガラスA 6[mm]基準)

(ⅲ)低放射複層ガラスA(空気層6[mm])

	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	0.01
低放射複層ガラスA	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
低放射複層ガラスB	0.00	0.04	0.04	0.04	0.02
低放射複層ガラスC	0.00	0.05	0.06	0.07	0.01
普通複層ガラスA	0.00	-0.04	-0.05	-0.07	0.00
低放射複層ガラスA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
低放射複層ガラスB	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
低放射複層ガラスC	0.00	0.03	0.04	0.04	0.01
遮蔽複層ガラスA	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
遮蔽複層ガラスB	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
遮蔽複層ガラスC	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01
普通単板ガラス	0.00	-0.07	-0.10	-0.12	0.00
遮蔽複層ガラスA	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
遮蔽複層ガラスB	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
遮蔽複層ガラスC	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01
熱線反射ガラス2種	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01
熱線反射ガラス3種	0.00	0.06	0.06	0.06	0.02





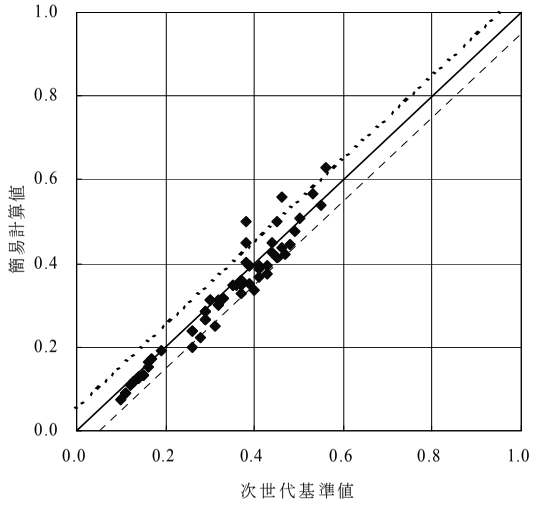
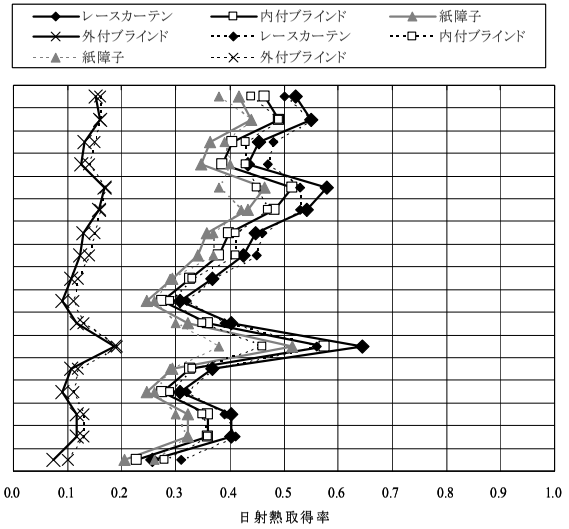


図 6.4.4(b)簡易計算値と次世代省エネルギー基準値の差(低放射複層ガラスA 6[mm]基準)

(iv)低放射複層ガラスA(空気層12[mm])

比率	1.00	0.73	0.65	0.59	0.21
	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.71	0.52	0.46	0.42	0.15
低放射複層ガラスA	0.75	0.55	0.49	0.44	0.16
低放射複層ガラスB	0.62	0.45	0.41	0.36	0.13
低放射複層ガラスC	0.59	0.43	0.39	0.35	0.13
普通複層ガラスA	0.79	0.58	0.52	0.46	0.17
低放射複層ガラスA	0.74	0.54	0.48	0.43	0.16
低放射複層ガラスB	0.61	0.45	0.40	0.36	0.13
低放射複層ガラスC	0.58	0.43	0.38	0.34	0.12
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.37	0.33	0.29	0.11
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.31	0.27	0.25	0.09
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.40	0.36	0.32	0.12
普通単板ガラス	0.88	0.65	0.57	0.52	0.19
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.37	0.33	0.29	0.11
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.31	0.27	0.25	0.09
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.40	0.36	0.32	0.12
熱線反射ガラス2種	0.55	0.40	0.36	0.32	0.12
熱線反射ガラス3種	0.35	0.26	0.23	0.21	0.07



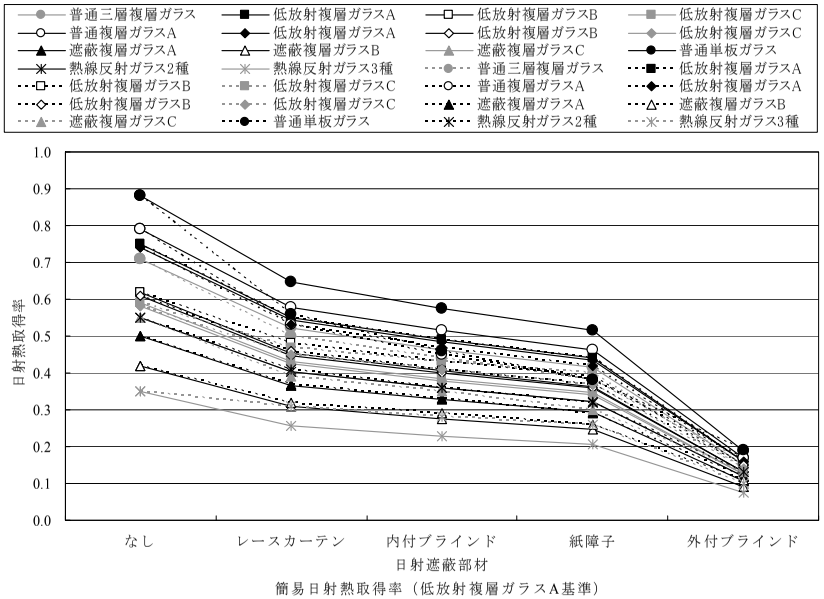
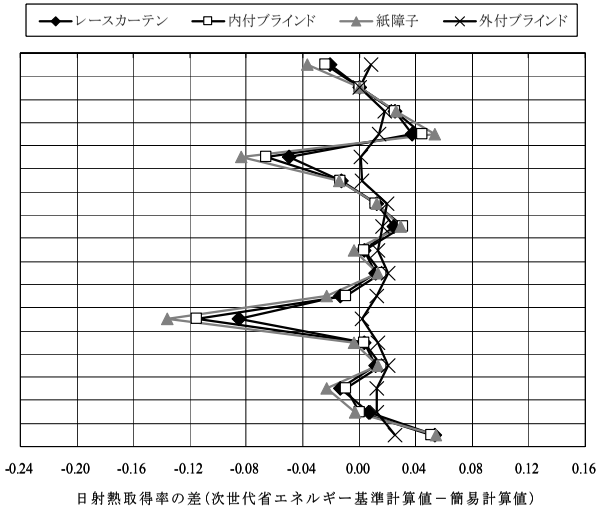
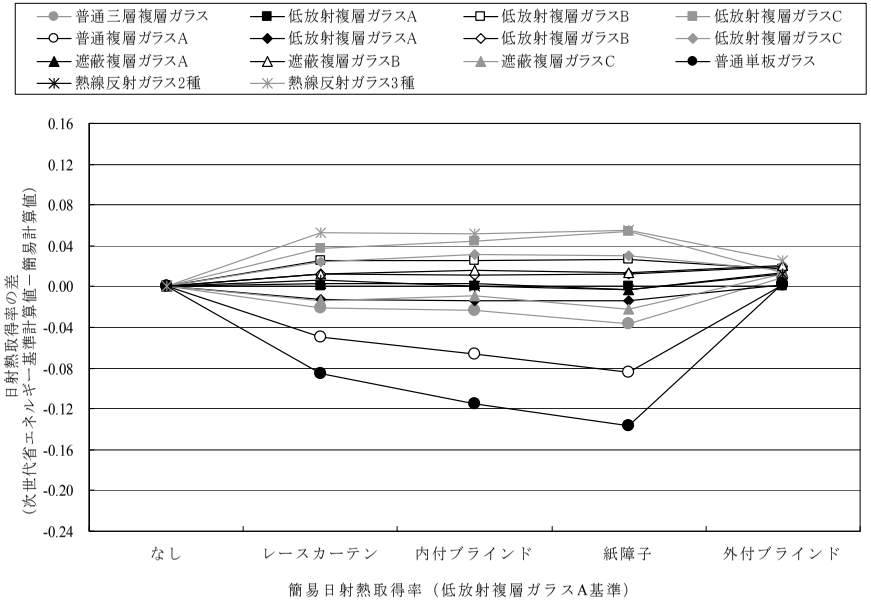


図 6.4.5 (a)簡易計算値(低放射複層ガラスA 12[mm]基準)

(ⅳ)低放射複層ガラスA(空気層12[mm])

	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.00	-0.02	-0.02	-0.04	0.01
低放射複層ガラスA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
低放射複層ガラスB	0.00	0.03	0.02	0.03	0.02
低放射複層ガラスC	0.00	0.04	0.04	0.05	0.01
普通複層ガラスA	0.00	-0.05	-0.07	-0.08	0.00
低放射複層ガラスA	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.00
低放射複層ガラスB	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
低放射複層ガラスC	0.00	0.02	0.03	0.03	0.02
遮蔽複層ガラスA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
遮蔽複層ガラスB	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02
遮蔽複層ガラスC	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	0.01
普通単板ガラス	0.00	-0.09	-0.11	-0.14	0.00
遮蔽複層ガラスA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
遮蔽複層ガラスB	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02
遮蔽複層ガラスC	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	0.01
熱線反射ガラス2種	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
熱線反射ガラス3種	0.00	0.05	0.05	0.05	0.03





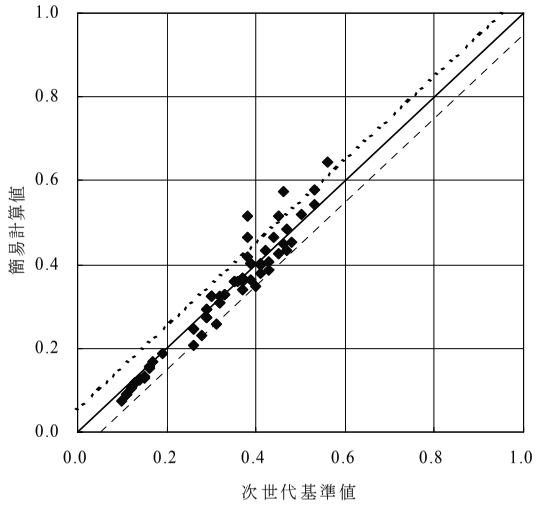
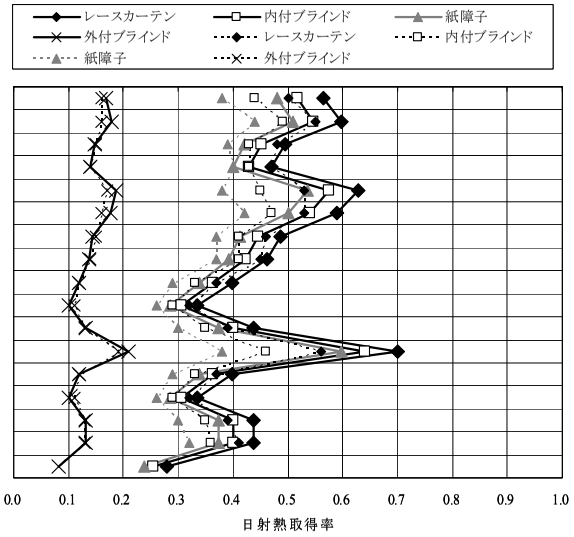


図 6.4.5 (b)簡易計算値と次世代省エネルギー基準値の差(低放射複層ガラスA 12[mm]基準)

(ｖ)低放射複層ガラスC(空気層12[mm])

比率	1.00	0.80	0.73	0.68	0.24
	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.71	0.57	0.52	0.48	0.17
低放射複層ガラスA	0.75	0.60	0.55	0.51	0.18
低放射複層ガラスB	0.62	0.49	0.45	0.42	0.15
低放射複層ガラスC	0.59	0.47	0.43	0.40	0.14
普通複層ガラスA	0.79	0.63	0.58	0.54	0.19
低放射複層ガラスA	0.74	0.59	0.54	0.50	0.18
低放射複層ガラスB	0.61	0.49	0.44	0.41	0.14
低放射複層ガラスC	0.58	0.46	0.42	0.39	0.14
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.40	0.36	0.34	0.12
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.33	0.31	0.28	0.10
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.44	0.40	0.37	0.13
普通単板ガラス	0.88	0.70	0.64	0.60	0.21
遮蔽複層ガラスA	0.50	0.40	0.36	0.34	0.12
遮蔽複層ガラスB	0.42	0.33	0.31	0.28	0.10
遮蔽複層ガラスC	0.55	0.44	0.40	0.37	0.13
熱線反射ガラス2種	0.55	0.44	0.40	0.37	0.13
熱線反射ガラス3種	0.35	0.28	0.26	0.24	0.08



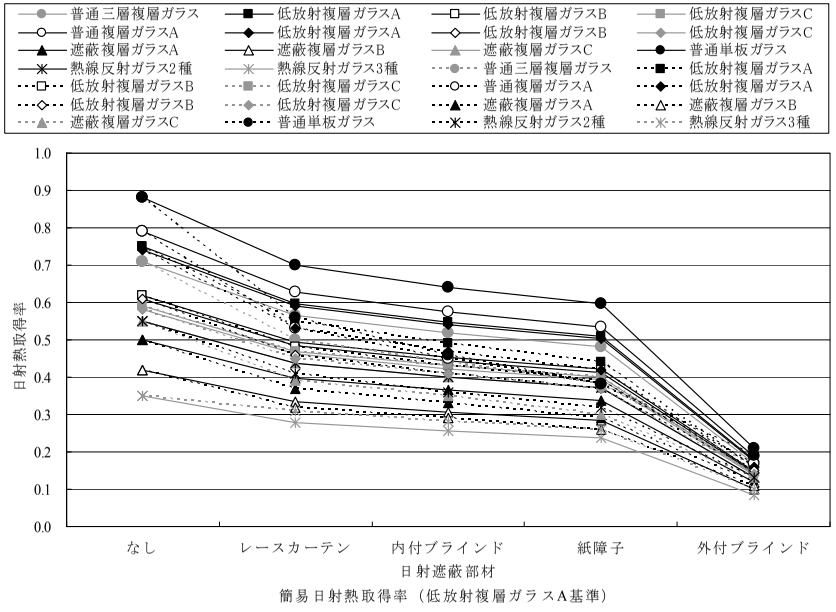
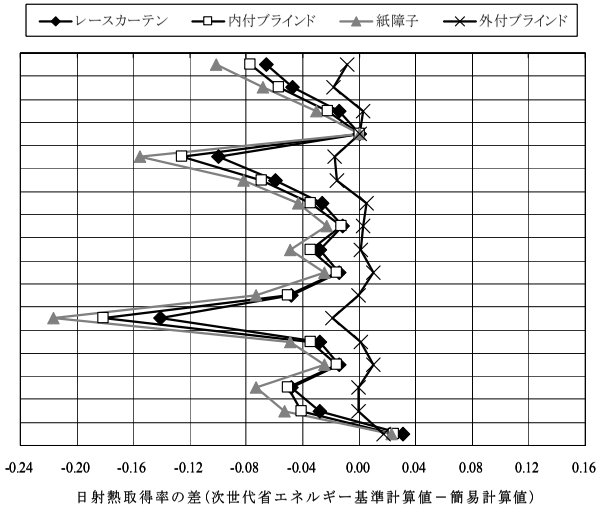
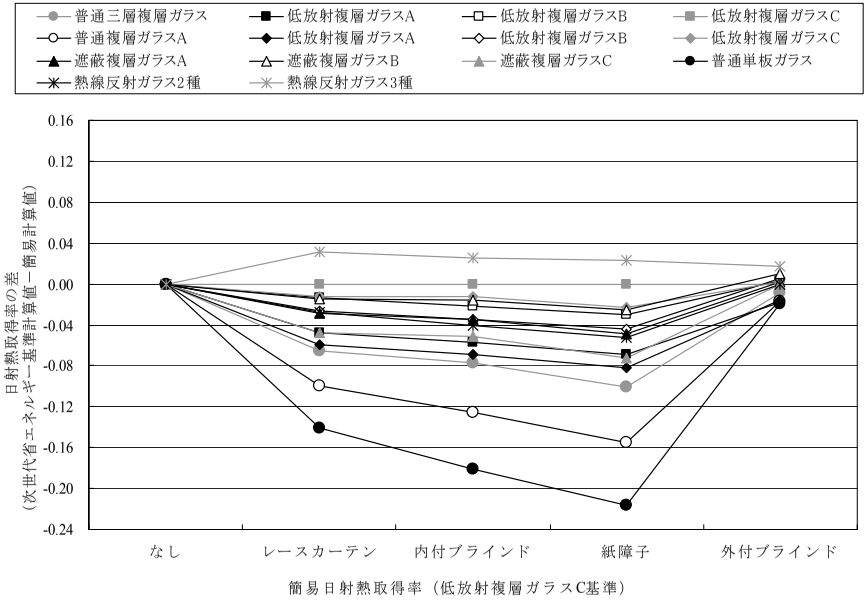


図 6.4.6 (a)簡易計算値(低放射複層ガラスC 12[mm]基準)

(ｖ)低放射複層ガラスC(空気層12[mm])

	なし	レースカーテン	内付ブラインド	紙障子	外付ブラインド
普通三層複層ガラス	0.00	-0.07	-0.08	-0.10	-0.01
低放射複層ガラスA	0.00	-0.05	-0.06	-0.07	-0.02
低放射複層ガラスB	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	0.00
低放射複層ガラスC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
普通複層ガラスA	0.00	-0.10	-0.13	-0.16	-0.02
低放射複層ガラスA	0.00	-0.06	-0.07	-0.08	-0.02
低放射複層ガラスB	0.00	-0.03	-0.03	-0.04	0.01
低放射複層ガラスC	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	0.00
遮蔽複層ガラスA	0.00	-0.03	-0.03	-0.05	0.00
遮蔽複層ガラスB	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	0.01
遮蔽複層ガラスC	0.00	-0.05	-0.05	-0.07	0.00
普通単板ガラス	0.00	-0.14	-0.18	-0.22	-0.02
遮蔽複層ガラスA	0.00	-0.03	-0.03	-0.05	0.00
遮蔽複層ガラスB	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	0.01
遮蔽複層ガラスC	0.00	-0.05	-0.05	-0.07	0.00
熱線反射ガラス2種	0.00	-0.03	-0.04	-0.05	0.00
熱線反射ガラス3種	0.00	0.03	0.02	0.02	0.02





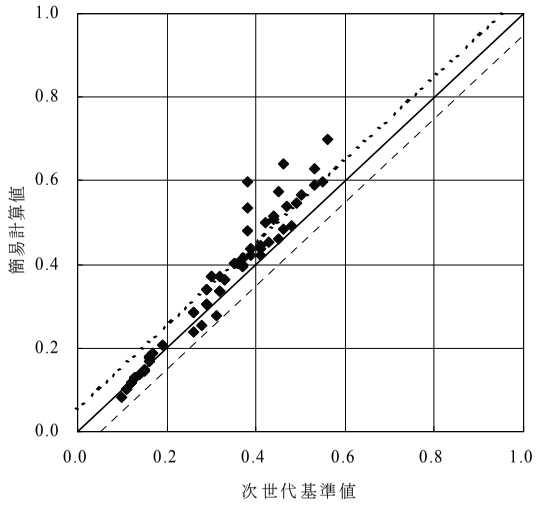


図 6.4.6 (b)簡易計算値と次世代省エネルギー基準値の差(低放射複層ガラスC 12[mm]基準)

図 6.4.2～図 6.4.6の検討結果から、以下のことが分かる。

（ｉ） ほとんどのケースで、次世代省エネルギー基準計算値＞簡易計算値となっている。その差は、低放射複層ガラス C(空気層 12mm)に紙障子を設置した場合が最も大きく、0.15 程度次世代省エネルギー基準計算値の方が大きい値となった。また、外付ブラインド設置時は、どのガラスにおいても最大 0.02 程度の差でおさまっている。他の部材を設置している場合は、普通単板ガラス・普通複層ガラス A を除いて、どのガラスにおいても 0.05 以上の差が生じる場合がほとんどである。

（ⅱ）（ｉ）と同様、ほとんどのケースで、次世代省エネルギー基準計算値＞簡易計算値となっている。その差は、低放射複層ガラス C(空気層 12mm)に紙障子を設置した場合が最も大きく、0.12 程度次世代省エネルギー基準計算値の方が大きい値となった。また、外付ブラインド設置時も(ｉ)同様、どのガラスにおいても最大 0.02 程度の差でおさまっている。他の部材を設置している場合は、単板ガラスを基準とした(ｉ)と比較すると、次世代省エネルギー基準計算値と簡易計算値の差はかなり小さくなっており、半分弱のケースにおいて±0.05 以内におさまっている。

（ⅲ） 低放射複層ガラス C(空気層 12mm)、普通複層ガラス A、普通単板ガラス、熱線反射ガラス 3 種を除けば、他の全てのガラスで次世代省エネルギー基準計算値と簡易計算値が±0.05 以内におさまっている。

（ⅳ） (ⅲ)とほとんど違いはないが、(ⅳ)は(ⅲ)に加えて、低放射複層ガラス C(空気層 12mm)に内付ブラインドを設置した場合の差が±0.05 以内におさまっている。

（ⅴ） 全体的に次世代省エネルギー基準計算値＜簡易計算値となっている。その差は、普通単板ガラスに紙障子を設置した場合が最も大きく、0.22 程度簡易計算値の方が大きい値になった。

以上、(ⅳ)が最も次世代基準計算値と簡易計算値の差が小さくなることがわかった。従って、式 6.4.1 の第 2 項については、(ⅳ)低放射複層ガラス(空気層 12mm)の比率を基準として用いることとする。

ここで更に、より次世代省エネルギー基準計算値と簡易計算値を近づける為に、(ⅳ)についてもう一度検討を行った。上に記述した結果でも触れたが、図 6.4.5 (b)をみてわかるように、低放射複層ガラス C(空気層 12mm)では 1 ヶ所、普通複層ガラス A では 2 ヶ所、普通単板ガラス及び熱線反射ガラス 3 種では 3 ヶ所において差が±0.05 以内におさまっていないことがわかる。ここで、次世代省エネルギー基準計算値に関して、日射遮蔽部材を設置していない場合の値を 1 とした際の各部材を設置した際の値を算出し、それぞれのガラスの傾向を見てみた。その結果を図 6.4.7に示す。

図 6.4.7をみると、熱線反射ガラス 3 種及び普通単板ガラス、普通複層ガラス A を除けば、各ガラスの傾向は似ており、グラフ内でまとまりが見える。そこで、普通単板ガラス及び普通複層ガラス A に関しては、別の比率を採用することとする。また、表 5.1 中で想定されている熱線反射ガラスは極めて透過率の低いものであり、住宅を対象としている今回の検討では、除外することとした。なお、低放射複層ガラス C(空気層 12mm)に関しては、図 6.4.5 (b)を見てわかるように、わずかの差で±0.05 以内におさまっていない程度である為、許容範囲とする。

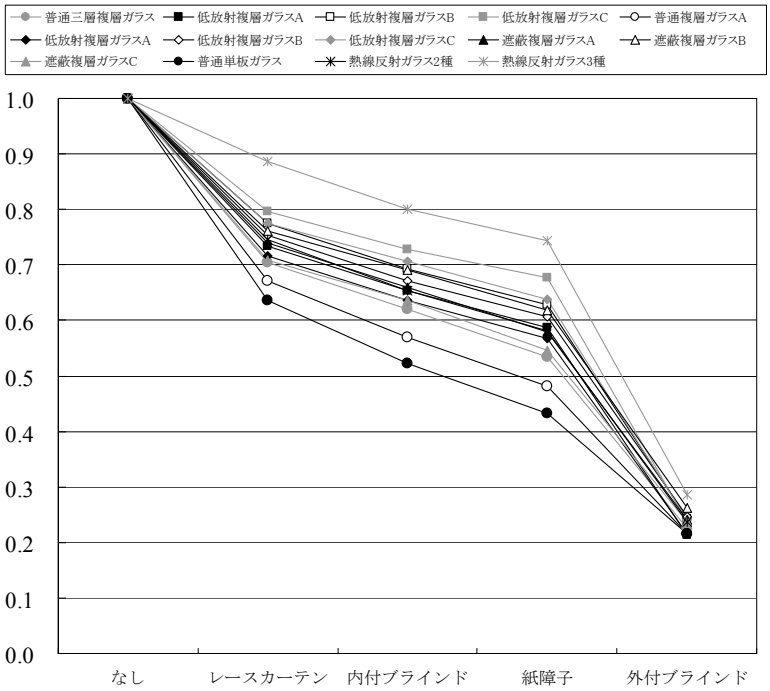


図 6.4.7 各ガラスの比較

2）普通単板ガラス及び普通複層ガラス A の基準となるガラスの選定

ここで、別の計算ルートをとる普通単板ガラス及び普通複層ガラス A に関して、基準となるガラスを選定する。図 6.4.8および図 6.4.9 にそれぞれを基準とした場合の次世代省エネルギー基準計算値と簡易計算値との相関を表すグラフを示す。なお、二つのグラフには普通ガラス以外のガラスの基準となる低放射複層ガラス A(空気層 12[mm])についても次世代省エネルギー基準との相関を示している。二つの図を比較すると、どちらも同程度相関が高いことがわかる。ここでは、今後、日射遮蔽対策が進んで普通単板ガラスよりも普通複層ガラスの方が一般的になると考えられること、また、実験において普通単板ガラスは用いておらず、普通複層ガラスをベースに日射遮蔽性能をみていること等の理由から、普通複層ガラス A の比率を基準とすることとした。

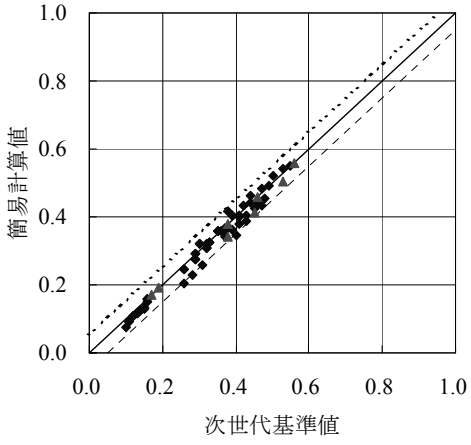


図 6.4.8 普通単板ガラスを基準とした場合の相関

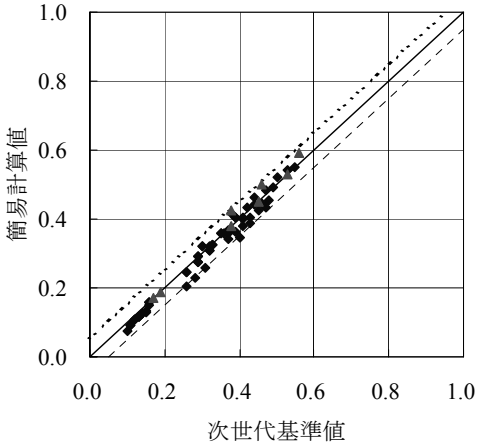


図 6.4.9 普通複層ガラスを基準とした場合の相関

3) 日射遮蔽部材の遮蔽係数(比率)の決定

1)・2)より、式 6.4.1 の第 2 項に用いる日射遮蔽係数は表 6.4.2のように決定した。

表 6.4.2 部材の日射遮蔽係数

	部材の日射遮蔽係数				
設置部材	なし	レース カーテン	内付 ブラインド	紙障子	外付 ブラインド
普通ガラス以外	1.00	0.73	0.65	0.59	0.21
普通ガラス	1.00	0.67	0.57	0.48	0.22

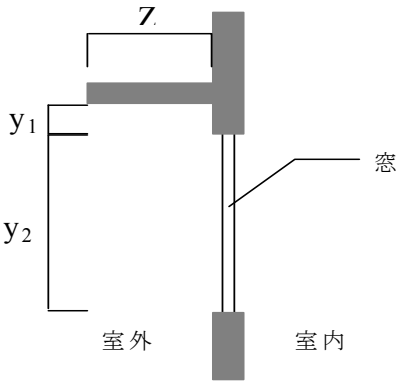
4) 庇等の効果について

式6.4.1の第3項に示した庇等の効果については、表 6.4.3のようにした。

表 6.4.3 庇等の効果

庇の有無	適用方位	日射遮蔽係数
無	全方位	1.0
有	南±30° 以外	0.7
有	南±30°	0.5

庇等のように窓上部に固定されるものは、取り付ける方位や窓との位置関係、また、その出寸法に注意が必要である。Ⅲ～Ⅴ地域では、図 6.4.11のように、庇の出の長さをその下端から窓下端までの高さの 0.3 倍程度とすると、南東～南～南西の方位では、夏期の直達光の遮蔽に有効で、かつ冬期の日射取得の妨害とならない効果的な遮蔽対策となることが平成 14 年基準解説書「住宅の省エネルギー基準と指針」に記載されている。表 6.4.3に示した値は、南東もしくは南西面で、庇の長さがその下端から窓下端までの高さが 0.3



$$Z/(y_1+y_2) \fallingdotseq 0.3$$

図 6.4.10 庇の定義

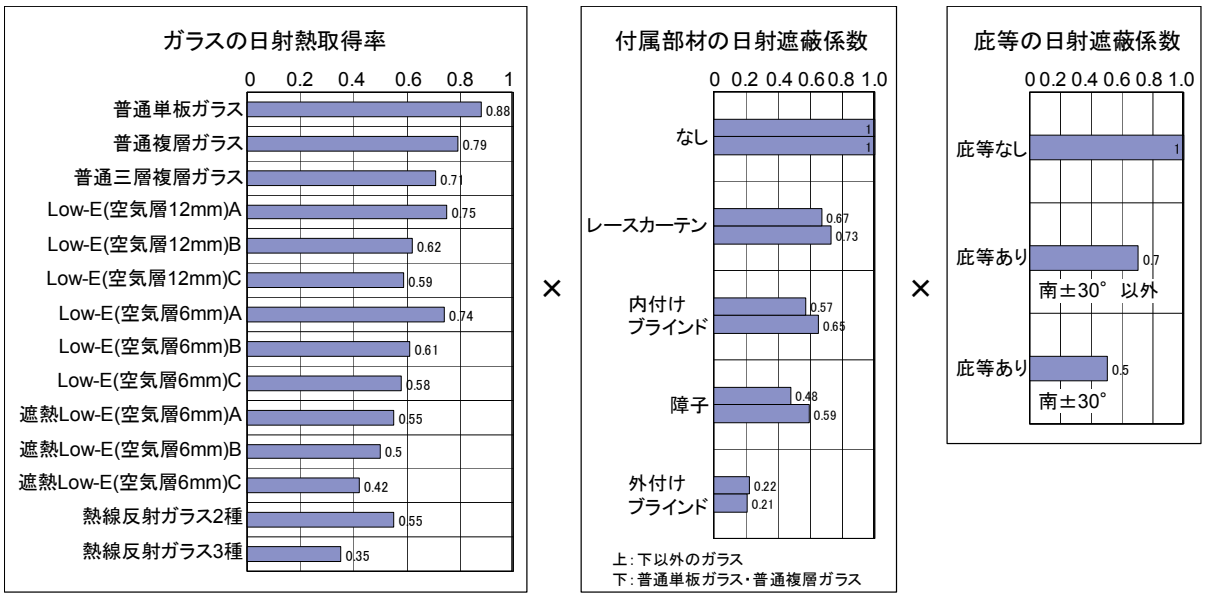


図 6.4.11 簡易計算法の概要

倍の場合の値であり、その値は平成 4 年基準解説書「住宅の省エネルギー基準と指針」に記載されている値を参考にしている。

5）簡易計算法の概要

図 6.4.11に最終的な簡易計算法の概要を示す。なお、この計算方法により求まる総合的な日射熱取得率の値は、窓ガラス+窓サッシ+日射遮蔽部材の全部を含めた値である。

6）表示されていないガラス及び部材について

この評価方法は、表中に表示されていないガラス及び部材や新たに開発されたものに関しても対応できる。その場合、式 6.4.1 の第 1 項、ガラスの日射熱取得率に関してはメーカー等から与えられた値を用いる。

第 2 項の付属部材の日射遮蔽係数に関しても、メーカー等により与えられた値があればそれをそのまま代入し、また前章で示した実測システムによる値を用いることもできる。この場合、基準のガラス(低放射複層ガラス A(空気層 12mm), 普通複層ガラス A)＋日射遮蔽部材の日射熱取得率を測定し、その値を用いて比率(部材の日射遮蔽係数)を求め、第 2 項に採用することとする。

また、商品の性能表示等で正確な値を提示したい場合には、これまで通りの方法、つまり、次世代省エネルギー基準における計算方法を採用すれば良い。

6.4.4 日射遮蔽性能の評価基準に関する検討

1）レベル分けの検討

6.4.3で決定した計算方法を用いて求めた開口部の総合的な日射熱取得率の評価基準について検討を行った。評価は日射熱取得率の値で行う為、ここでは、評価基準となるレベル分けの値を決定する為の検討を行う。

図 6.4.13～図 6.4.15に北±30° 以外の方位、図 6.4.15～図 6.4.17に北±30° の方位の検討過程及び検討結果を示す。なお、図には次世代省エネルギー基準値に庇等の効果を考慮した場合の値と簡易計算値の両方に対してレベル分けを行ったものを示しており、さらに、レベルが異なる箇所に対しては、簡易計算値側に○で示してある。

まず、図 6.4.12～図 6.4.14に示した北±30° 以外の検討結果を見てみる。3 つの図を比較すると、どれも次世代省エネルギー基準計算値と簡易計算値とのレベル評価のずれが生じてしまうが、図 6.4.14のレベル分けが最もずれが少なくなっている。また、図 6.4.14におけるレベル分けの数値の決め方は、レベル 1 を新省エネルギー基準に準ずる値、レベル 2 を次世代省エネルギー基準値、レベル 3 をより上位に位置する性能を有する値としている為、以前の評価と全く異なってしまうことがなく適していると考えられる。

次に図 6.4.15～図 6.4.17に示した北±30° の検討結果を見てみる。3 つのグラフを比較すると、図 6.4.15及び図 6.4.16では次世代省エネルギー基準計算値と簡易計算値とのレベル評価にずれが生じているが、図 6.4.17のレベル分けではずれが生じていないことがわかる。しかも、図 6.4.17におけるレベル

レベル3（0.20以下）　レベル2（0.35以下）　レベル1（0.60以下）　×（0.60より大きい）

〈表の値×庇 に適用した場合〉

北±30° 以外
＜0.2,0.35,0.6＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	なし			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.50	0.35	0.25	0.44	0.31	0.22	0.38	0.27	0.19	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.39	0.28	0.49	0.34	0.25	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.48	0.34	0.24	0.43	0.30	0.22	0.39	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.47	0.33	0.24	0.43	0.30	0.22	0.40	0.28	0.20	0.14	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.53	0.37	0.27	0.47	0.33	0.24	0.42	0.29	0.21	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.46	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.45	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.14	0.10	0.07
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.19	0.33	0.23	0.17	0.29	0.20	0.15	0.12	0.08	0.06
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.32	0.22	0.16	0.29	0.20	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.08	0.06
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.39	0.27	0.20	0.35	0.25	0.18	0.30	0.21	0.15	0.13	0.09	0.07
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.41	0.29	0.21	0.36	0.25	0.18	0.32	0.22	0.16	0.13	0.09	0.07
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.56	0.39	0.28	0.46	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.19	0.13	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.27	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

〈低放射複層ガラスA・普通複層ガラスの比率〉

北±30° 以外
＜0.2,0.35,0.6＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	ガラスのみ			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.52	0.36	0.26	0.46	0.32	0.23	0.42	0.29	0.21	0.15	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.38	0.27	0.49	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.45	0.32	0.23	0.40	0.28	0.20	0.37	0.26	0.18	0.13	0.09	0.07
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.43	0.30	0.22	0.38	0.27	0.19	0.35	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.54	0.38	0.27	0.48	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.45	0.31	0.22	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.13	0.09	0.06
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.42	0.30	0.21	0.38	0.26	0.19	0.34	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.18	0.33	0.23	0.16	0.30	0.21	0.15	0.11	0.07	0.05
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.31	0.21	0.15	0.27	0.19	0.14	0.25	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.59	0.41	0.29	0.50	0.35	0.25	0.42	0.30	0.21	0.19	0.14	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.26	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

図　6.4.12　北±30° 以外におけるレベル分けの検討(0.20, 0.35, 0.60)

レベル3（0.20以下）　レベル2（0.40以下）　レベル1（0.60以下）　×（0.60より大きい）

〈表の値×庇 に適用した場合〉

北±30° 以外
＜0.2,0.4,0.6＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	なし			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.50	0.35	0.25	0.44	0.31	0.22	0.38	0.27	0.19	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.39	0.28	0.49	0.34	0.25	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.48	0.34	0.24	0.43	0.30	0.22	0.39	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.47	0.33	0.24	0.43	0.30	0.22	0.40	0.28	0.20	0.14	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.53	0.37	0.27	0.47	0.33	0.24	0.42	0.29	0.21	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.46	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.45	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.14	0.10	0.07
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.19	0.33	0.23	0.17	0.29	0.20	0.15	0.12	0.08	0.06
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.32	0.22	0.16	0.29	0.20	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.08	0.06
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.39	0.27	0.20	0.35	0.25	0.18	0.30	0.21	0.15	0.13	0.09	0.07
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.41	0.29	0.21	0.36	0.25	0.18	0.32	0.22	0.16	0.13	0.09	0.07
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.56	0.39	0.28	0.46	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.19	0.13	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.27	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

〈低放射複層ガラスA・普通複層ガラスの比率〉

北±30° 以外
＜0.2,0.4,0.6＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	ガラスのみ			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.52	0.36	0.26	0.46	0.32	0.23	0.42	0.29	0.21	0.15	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.38	0.27	0.49	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.45	0.32	0.23	0.40	0.28	0.20	0.37	0.26	0.18	0.13	0.09	0.07
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.43	0.30	0.22	0.38	0.27	0.19	0.35	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.54	0.38	0.27	0.48	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.45	0.31	0.22	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.13	0.09	0.06
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.42	0.30	0.21	0.38	0.26	0.19	0.34	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.18	0.33	0.23	0.16	0.30	0.21	0.15	0.11	0.07	0.05
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.31	0.21	0.15	0.27	0.19	0.14	0.25	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.59	0.41	0.29	0.50	0.35	0.25	0.42	0.30	0.21	0.19	0.14	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.26	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

図　6.4.13　北±30° 以外におけるレベル分けの検討(0.20, 0.40, 0.60)

レベル3（0.30以下） レベル2（0.45以下） レベル1（0.60以下） ×（0.60より大きい）

〈表の値×庇 に適用した場合〉

北±30° 以外
＜0.3,0.45,0.6＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	なし			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.50	0.35	0.25	0.44	0.31	0.22	0.38	0.27	0.19	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.39	0.28	0.49	0.34	0.25	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.48	0.34	0.24	0.43	0.30	0.22	0.39	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.47	0.33	0.24	0.43	0.30	0.22	0.40	0.28	0.20	0.14	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.53	0.37	0.27	0.47	0.33	0.24	0.42	0.29	0.21	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.46	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.45	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.14	0.10	0.07
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.19	0.33	0.23	0.17	0.29	0.20	0.15	0.12	0.08	0.06
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.32	0.22	0.16	0.29	0.20	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.08	0.06
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.39	0.27	0.20	0.35	0.25	0.18	0.30	0.21	0.15	0.13	0.09	0.07
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.41	0.29	0.21	0.36	0.25	0.18	0.32	0.22	0.16	0.13	0.09	0.07
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.56	0.39	0.28	0.46	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.19	0.13	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.27	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

〈低放射複層ガラスA・普通複層ガラスの比率〉

北±30° 以外
＜0.3,0.45,0.6＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	ガラスのみ			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.52	0.36	0.26	0.46	0.32	0.23	0.42	0.29	0.21	0.15	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.38	0.27	0.49	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.45	0.32	0.23	0.40	0.28	0.20	0.37	0.26	0.18	0.13	0.09	0.07
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.43	0.30	0.22	0.38	0.27	0.19	0.35	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.54	0.38	0.27	0.48	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.45	0.31	0.22	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.13	0.09	0.06
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.42	0.30	0.21	0.38	0.26	0.19	0.34	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.18	0.33	0.23	0.16	0.30	0.21	0.15	0.11	0.07	0.05
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.31	0.21	0.15	0.27	0.19	0.14	0.25	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.59	0.41	0.29	0.50	0.35	0.25	0.42	0.30	0.21	0.19	0.14	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.26	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

図 6.4.14 北±30° 以外におけるレベル分けの検討（0.30, 0.45, 0.60）

レベル3（0.40以下） レベル2（0.60以下） レベル1（0.75以下） ×（0.75より大きい）

〈表の値×庇 に適用した場合〉

北±30°
＜0.4,0.6,0.75＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	なし			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.50	0.35	0.25	0.44	0.31	0.22	0.38	0.27	0.19	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.39	0.28	0.49	0.34	0.25	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.48	0.34	0.24	0.43	0.30	0.22	0.39	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.47	0.33	0.24	0.43	0.30	0.22	0.40	0.28	0.20	0.14	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.53	0.37	0.27	0.47	0.33	0.24	0.42	0.29	0.21	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.46	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.45	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.14	0.10	0.07
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.19	0.33	0.23	0.17	0.29	0.20	0.15	0.12	0.08	0.06
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.32	0.22	0.16	0.29	0.20	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.08	0.06
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.39	0.27	0.20	0.35	0.25	0.18	0.30	0.21	0.15	0.13	0.09	0.07
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.41	0.29	0.21	0.36	0.25	0.18	0.32	0.22	0.16	0.13	0.09	0.07
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.56	0.39	0.28	0.46	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.19	0.13	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.27	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

〈低放射複層ガラスA・普通複層ガラスの比率〉

北±30°
＜0.4,0.6,0.75＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	ガラスのみ			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）	庇なし	庇あり（南以外）	庇あり（南）
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.52	0.36	0.26	0.46	0.32	0.23	0.42	0.29	0.21	0.15	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.38	0.27	0.49	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.45	0.32	0.23	0.40	0.28	0.20	0.37	0.26	0.18	0.13	0.09	0.07
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.43	0.30	0.22	0.38	0.27	0.19	0.35	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.54	0.38	0.27	0.48	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.45	0.31	0.22	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.13	0.09	0.06
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.42	0.30	0.21	0.38	0.26	0.19	0.34	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.18	0.33	0.23	0.16	0.30	0.21	0.15	0.11	0.07	0.05
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.31	0.21	0.15	0.27	0.19	0.14	0.25	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.59	0.41	0.29	0.50	0.35	0.25	0.42	0.30	0.21	0.19	0.14	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.26	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

図 6.4.15 北±30° におけるレベル分けの検討（0.40, 0.60, 0.75）

レベル3（0.45以下）　レベル2（0.60以下）　レベル1（0.75以下）　×（0.75より大きい）

〈表の値×庇 に適用した場合〉

北±30°
＜0.45,0.6,0.75＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	なし			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.50	0.35	0.25	0.44	0.31	0.22	0.38	0.27	0.19	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.39	0.28	0.49	0.34	0.25	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.48	0.34	0.24	0.43	0.30	0.22	0.39	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.47	0.33	0.24	0.43	0.30	0.22	0.40	0.28	0.20	0.14	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.53	0.37	0.27	0.47	0.33	0.24	0.42	0.29	0.21	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.46	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.45	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.14	0.10	0.07
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.19	0.33	0.23	0.17	0.29	0.20	0.15	0.12	0.08	0.06
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.32	0.22	0.16	0.29	0.20	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.08	0.06
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.39	0.27	0.20	0.35	0.25	0.18	0.30	0.21	0.15	0.13	0.09	0.07
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.41	0.29	0.21	0.36	0.25	0.18	0.32	0.22	0.16	0.13	0.09	0.07
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.56	0.39	0.28	0.46	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.19	0.13	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.27	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

〈低放射複層ガラスA・普通複層ガラスの比率〉

北±30°
＜0.45,0.6,0.75＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	ガラスのみ			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.52	0.36	0.26	0.46	0.32	0.23	0.42	0.29	0.21	0.15	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.38	0.27	0.49	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.45	0.32	0.23	0.40	0.28	0.20	0.37	0.26	0.18	0.13	0.09	0.07
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.43	0.30	0.22	0.38	0.27	0.19	0.35	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.54	0.38	0.27	0.48	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.45	0.31	0.22	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.13	0.09	0.06
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.42	0.30	0.21	0.38	0.26	0.19	0.34	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.18	0.33	0.23	0.16	0.30	0.21	0.15	0.11	0.07	0.05
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.31	0.21	0.15	0.27	0.19	0.14	0.25	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.59	0.41	0.29	0.50	0.35	0.25	0.42	0.30	0.21	0.19	0.14	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.26	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

図　6.4.16　北±30°におけるレベル分けの検討(0.45,0.60,0.75)

レベル2,3（0.55以下）　レベル1（0.80以下）　×（0.80より大きい）

〈表の値×庇 に適用した場合〉

北±30°
＜0.55,0.80＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	なし			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.50	0.35	0.25	0.44	0.31	0.22	0.38	0.27	0.19	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.39	0.28	0.49	0.34	0.25	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.48	0.34	0.24	0.43	0.30	0.22	0.39	0.27	0.20	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.47	0.33	0.24	0.43	0.30	0.22	0.40	0.28	0.20	0.14	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.53	0.37	0.27	0.47	0.33	0.24	0.42	0.29	0.21	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.46	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.15	0.11	0.08
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.45	0.32	0.23	0.41	0.29	0.21	0.37	0.26	0.19	0.14	0.10	0.07
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.19	0.33	0.23	0.17	0.29	0.20	0.15	0.12	0.08	0.06
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.32	0.22	0.16	0.29	0.20	0.15	0.26	0.18	0.13	0.11	0.08	0.06
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.39	0.27	0.20	0.35	0.25	0.18	0.30	0.21	0.15	0.13	0.09	0.07
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.41	0.29	0.21	0.36	0.25	0.18	0.32	0.22	0.16	0.13	0.09	0.07
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.56	0.39	0.28	0.46	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.19	0.13	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.27	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

〈低放射複層ガラスA・普通複層ガラスの比率〉

北±30°
＜0.55,0.80＞

ガラスの仕様	空気層[mm]	ガラスのみ			レースカーテン			内ブラインド			紙障子			外ブラインド		
		庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)	庇なし	庇あり(南以外)	庇あり(南)
普通三層複層ガラス	12	0.71	0.50	0.36	0.52	0.36	0.26	0.46	0.32	0.23	0.42	0.29	0.21	0.15	0.10	0.07
低放射複層ガラスA	12	0.75	0.53	0.38	0.55	0.38	0.27	0.49	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	12	0.62	0.43	0.31	0.45	0.32	0.23	0.40	0.28	0.20	0.37	0.26	0.18	0.13	0.09	0.07
低放射複層ガラスC	12	0.59	0.41	0.30	0.43	0.30	0.22	0.38	0.27	0.19	0.35	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
低放射複層ガラスA	6	0.74	0.52	0.37	0.54	0.38	0.27	0.48	0.34	0.24	0.44	0.31	0.22	0.16	0.11	0.08
低放射複層ガラスB	6	0.61	0.43	0.31	0.45	0.31	0.22	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.13	0.09	0.06
低放射複層ガラスC	6	0.58	0.41	0.29	0.42	0.30	0.21	0.38	0.26	0.19	0.34	0.24	0.17	0.12	0.09	0.06
遮熱複層ガラスA	6	0.50	0.35	0.25	0.37	0.26	0.18	0.33	0.23	0.16	0.30	0.21	0.15	0.11	0.07	0.05
遮熱複層ガラスB	6	0.42	0.29	0.21	0.31	0.21	0.15	0.27	0.19	0.14	0.25	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04
遮熱複層ガラスC	6	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
熱線反射ガラス2種	－	0.55	0.39	0.28	0.40	0.28	0.20	0.36	0.25	0.18	0.32	0.23	0.16	0.12	0.08	0.06
普通単板ガラス	12	0.88	0.62	0.44	0.59	0.41	0.29	0.50	0.35	0.25	0.42	0.30	0.21	0.19	0.14	0.10
普通複層ガラス	－	0.79	0.55	0.40	0.53	0.37	0.26	0.45	0.32	0.23	0.38	0.27	0.19	0.17	0.12	0.09

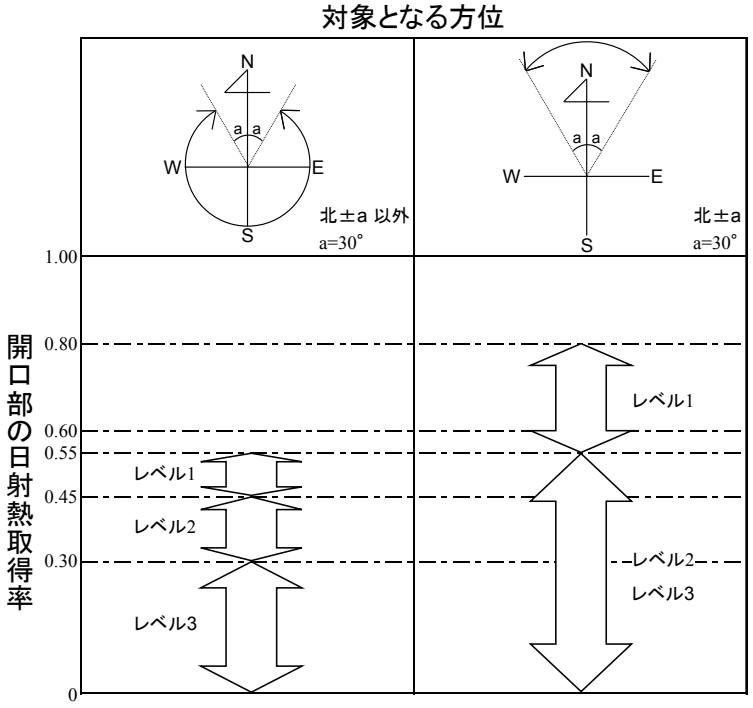
図　6.4.17　北±30°におけるレベル分けの検討(0.55,0.80)

分けの数値の決め方も、北±30°以外の時と同様に、レベル 1 を新省エネルギー基準値に準ずる値、レベル 2,3 を次世代省エネルギー基準値としており、方位ごとでの評価基準の統一とこれまでの評価との兼ね合いを考えても適していると言える。

2）レベル分けの決定

1)より、日射熱取得性能の評価基準を表 6.4.4のように決定した。

表 6.4.4 日射遮蔽性能の評価基準



（井上 隆）

6.5 住宅用日射遮蔽部材の調査

6.5.1 調査の内容

開口部から室内への太陽日射の侵入を遮蔽することで、夏季の日射熱取得を削減し、住宅の防暑性能を向上させるための部材や部品、実際の建物での設計方法の調査・整理を行う。

6.5.2 調査の概要

開口部における日射遮蔽用製品及び建物事例にみられる設計手法について、国内外における事例の調査を行う。成果物については、特に設計実務者が日常業務において参照容易なかたちでの情報提供を意図し、公表されている日射遮蔽性能のデータとあわせ、現在市場で手に入れることが可能な製品の事例、実際の設計例としての建物事例も紹介する。

調査の概要と構成は以下の通りである。

日射遮蔽手法の分類:

日射遮蔽手法を開口部に対する位置関係に着目して分類する。さらに、部材の形状や配置のバリエーションがみられる。これらの開口部との位置関係や形のバリエーションからも分類し、これらをマトリックスにより整理し一覧する。

日射遮蔽性能データ整理:

日射遮蔽の性能値に関して、ガラスメーカーなどから公表されているデータを整理する。また、日本建築学会大会学術講演梗概集等で発表されている、既往の研究についても整理する。

日射遮蔽手法の事例:

市場で入手可能な製品や実際の設計例としての建物の事例を調査する。

6.5.3 日射遮蔽手法の分類

1) 日射遮蔽手法の分類

開口部から建物内に侵入する日射を遮る方法は、開口部自体、つまり窓ガラス等のグレージング材料自体の材質による場合と、日除けを用いる場合とに大別される。日除けはさらに窓の室内側に取り付けるもの(内付け型)と屋外側に取り付けるもの(外付け型)に

分けることができる。ここでは日射遮蔽手法を下記の 3 タイプに分類し、調査を行う。

(1) 開口部

開口部自体によって日射遮蔽を行うものであり、開口部を構成するガラスには単板ガラス、複層ガラス、合わせガラスなどがある。

単板ガラスには、透明板ガラスを基本に強化ガラス、網入りガラス、装飾ガラス等々その種類は非常に豊富であるが、特に日射遮蔽効果のある部材としては熱線反射板ガラス、熱線吸収板ガラス、高性能熱線反射板ガラスが挙げられる。これらは外部の日除けほどではないが日射をある程度遮ることが可能で、日射透過度が低いため、室内に入る日射量を削減することができる。一方、日射の吸収率は逆に高くなり、特に高性能熱線反射板ガラスに至ってはおよそ80%近くにもなる。そのためガラス自体の温度が高くなり、室内への再放射によってペリメーターゾーンの温熱環境が損なわれることがあるので注意が必要である。

合わせガラスは、2 枚の板ガラスの間に柔軟で強靭な中間膜を挟み、熱と圧力を加えて接着させたガラスで、破片が飛散しにくい、衝撃物が貫通しにくいなどの安全性・防犯性に優れたガラスである。

複層ガラスは、透明板ガラスの間に乾燥空気を封入し断熱性能を高めたタイプが最も一般的である。複層ガラスには、乾燥空気の代わりに断熱ガス(アルゴンなど)を封入しさらに断熱性を高めたものもある。構成ガラスの内側に透明な特殊金属膜をコーティングした Low-E ガラス(低放射ガラス)は、複層ガラスの高い断熱性に特殊金属膜による光や熱の透過・反射機能が付加されたものである。Low-E ガラスは、短波長は透過するが長波長は透過しにくい性質があり、この特殊金属膜を室内側ガラス面の内側にコーティングしたものが高断熱性 Low-E ガラスである。これは長波長の暖房熱の室内側ガラスへの伝達を抑え、断熱性能を高める効果がある。逆に、室外側ガラス面の内側にコーティングしたものが高遮熱断熱 Low-E ガラスで、太陽エネルギーを室外側に反射し、かつ室内の温度を外部に伝達しにくい性能をもつ。また、複層ガラスにはガラスを三層にしさらに断熱性能を高めたトリプルガラスもあり、主に寒冷地で用いられている。

これら複層ガラスや合わせガラスには、ガラスとガラスの間に格子やブラインドなどを挟み込むことで日射遮蔽効果を高めているものがある。格子やパンチングメタルなどを挟み込んだ複層ガラス、合わせガラスは意匠性を加味し、かつ日射遮蔽効果を上げている。

ブラインド内蔵二重窓はシステム窓とも呼ばれる。2 枚のガラスの間の空気を循環させたエアフローウインドーは、ペリメーターレス空調の代表的な手法として 20 年近く前から主にオフィスに用いられている。近年では窓ガラスを1枚だけにしてブラインドやファンを併用した「エアバリア」や「簡易型エアフローウインドー」、あるいは「ダブルスキン」など、バリエーションが広く展開されている。

ガラス表面に貼ることで熱線反射や断熱性向上など様々な効果をもたせるフィルムもある。これらは既存のガラスに簡単に施工できる利点が特徴的である。可視光線を多く通すもの、断熱や目隠しの効果があるもの、ハーフミラー状のものなど多くの種類がある。ガラス表面へセラミックインクをスクリーン印刷したものもある。デザインの自由度が高く、透視、熱、光が自由にコントロールできる。

単体のガラスとしては、他には温度によって白濁し遮光性が高くなる白濁ガラスやガラスブロックなどもある。また、ガラス以外の素材では、ポリカーボネートやアクリルなども開口部の素材として広く使われている。また、半透明の素材感が特徴的な、透光性がある断熱材なども市販されている。

(2) 内部・外部付属物

それぞれ開口部の室内側、屋外側で日射遮蔽を行うものである。

具体的な日射遮蔽部材としては、庇、オーニング、すだれ、ステンレススクリーン、ルーバー、ブラインド、ロールスクリーン、プリーツスクリーン、障子、植物などが挙げられる。

ルーバーやブラインドなどは屋内用、屋外用ともに広く用いられているが、屋外に用いる場合には特に耐水性や耐久性、耐風強度などに多くの配慮が必要である。

2) 日射遮蔽効果と形態の整理

一般的に、単板ガラスの窓に日射遮蔽用の補助部材を一切つけない場合には日射の約 9 割がそのまま室内に流入してくる。それに比べて、窓の室内側にロールブラインドやロールスクリーンを設置場合は約 5 割、室外側に庇やオーニングを設置した場合は約8割を遮ることができる。また、遮られた日射は熱となって遮蔽物に蓄積し、輻射熱となって室内へ放出されることもある。そのため、窓の内側よりも外側、外側でも窓からより遠い位置に補助部材を設置することが、日射遮蔽効果を上げる。

日射遮蔽部材の種類は先述したようにガラスの種類から内外の付属物に至るまで実に様々なものが用いられている。これらを形態によって区別すると、線状(ルーバー状)のもの、格子状のもの、面状のスクリーン的なものとに大別することができる。ルーバーはさらに縦ルーバー、横ルーバーとに分けることができる。

上述の(1)と(2)の分類とこれら日射遮蔽効果や形態をマトリックスによって整理したものを図 6.5.1に示す。

3 つの分類は 4 種の形により整理し、17 のクラス(小分類)を見出すことができる。

マトリックスにはそれぞれのクラスのイメージがつかみやすいように、手法を抽象化したアイコンと具体的な設計事例をあわせて示している。

6.5.4 日射遮蔽性能に関するデータの整理

1) カタログによる性能値の整理

分類マトリックスによって整理した各々の日射遮蔽手法について、日射遮蔽性能に関するデータ整理を行う。ここでは先ず、メーカーから公表されている性能値の整理を行った。取り扱うデータの概要を下記に記す。

日射熱取得率(日射侵入率:η値):

日射はガラス面で透過、反射、吸収される。吸収された日射は、ガラス両側の表面熱伝達抵抗の比によって室内側と室外側に再分配される。日射熱取得は、ガラス面に到達する日射への、室内側へ透過・吸収再分配される成分の合計の比で求められる。入射日射を 1 とした場合の日射熱取得の割合が日射熱取得率(又は日射侵入率:η値)である。日射熱取得率が小さいほど、日射遮蔽性能が高いことを示す。

熱貫流率(U値)(W/(㎡・K)):

開口部や壁・床・天井などの建物部位単位での熱の伝わりやすさを示す値で、両側の空気(環境)温度差 1(K)の時に、単位時間・単位面積(㎡)を通過する熱量により表される。値が小さいほど断熱性能が高いことを示す。

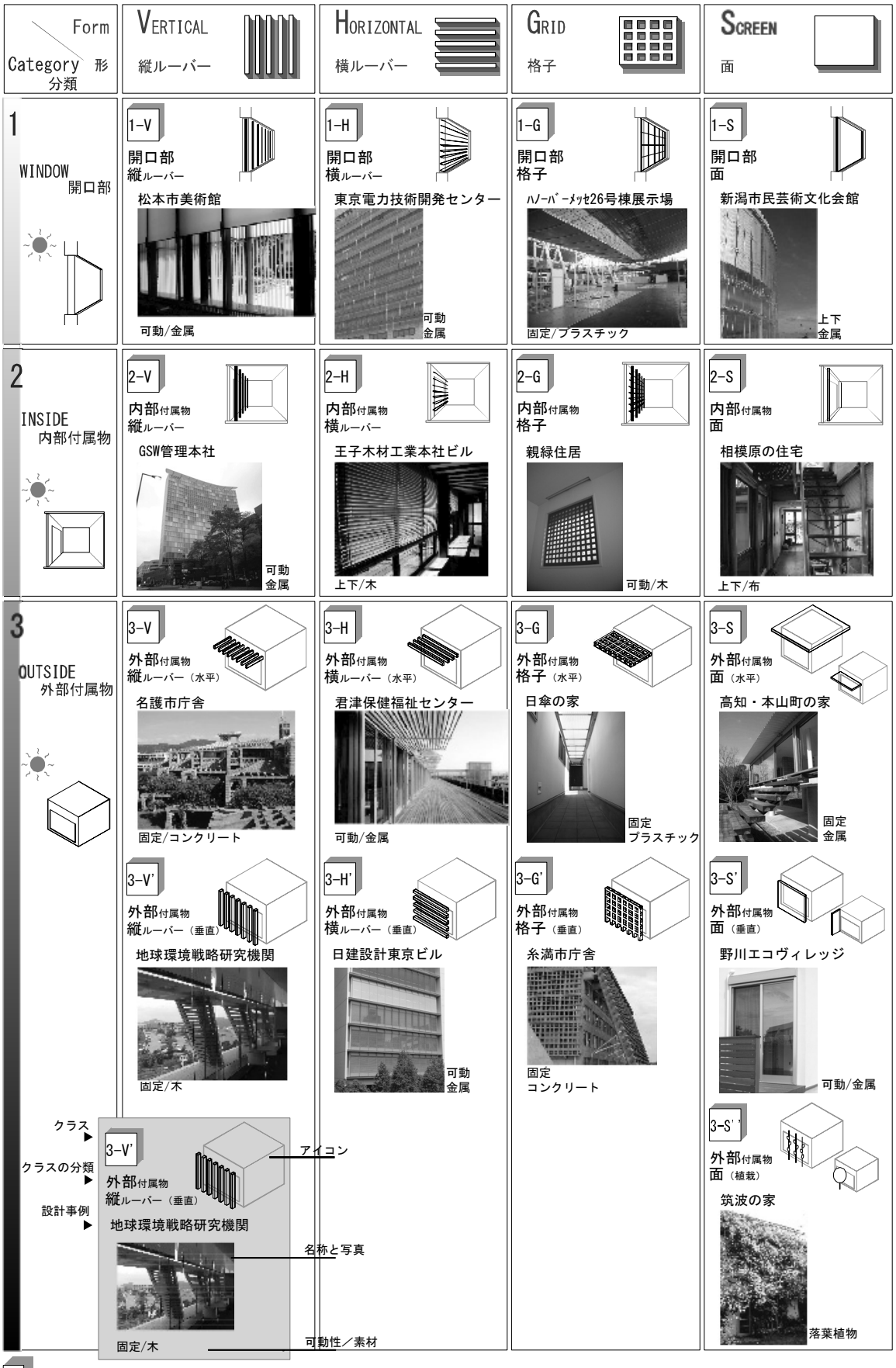


図 6.5.1 日射遮蔽手法の分類マトリックス

表 6.5.1 単板ガラスの性能値

品 種		呼び厚さ (ミリ)	熱的性能 日射熱取得率 [-]	熱的性能 熱貫流率 [W/(㎡･K)]	光学的性能 可視光透過率 (%)
透明板ガラス	フロート板ガラス	3	0.88	6.0	90.2
	フロート板ガラス	6	0.84	5.9	88.9
熱線吸収板ガラス	ブルー系	3	0.78	6.0	83.3
	ブルー系	6	0.66	5.8	74.4
	グレー系	3	0.81	6.0	74.6
	グレー系	6	0.72	5.8	61.4
	ブロンズ系	3	0.82	6.0	76.1
	ブロンズ系	6	0.72	5.8	60.0
	グリーン系	6	0.58	5.8	69.6
高遮蔽性能熱線反射ガラス	シルバー系	6	0.23	4.7	9.2
	シルバー系	6	0.35	5.0	20.4
	シルバーグレイ系	6	0.48	5.4	34.2
	ブルー系	6	0.41	5.1	30.0
	ライトブルー系	6	0.46	5.3	36.6
	シルバーライトブルー系	6	0.39	5.0	30.0
熱線反射ガラス	クリア	6	0.68	5.9	63.1
	ブルー系	6	0.56	5.9	53.8
	グレー系	6	0.62	5.9	43.9
	ブロンズ系	6	0.61	5.9	42.8
	グリーン系	6	0.50	5.9	49.8

参考資料:旭硝子総合カタログ2003年

表 6.5.2 合わせガラスの性能値

品種		構成	熱的性能 日射熱取得率 (η値)	熱的性能 熱貫流率U値 (W/(㎡・K)	光学的性能 可視光透過率 (%)
合わせガラス	透明フロート	FL3+FL3	0.83	5.8	88.6
	カラー(ブラウン)	FL3+FL3	0.53	5.8	28.2
	カラー(乳白)	FL3+FL3	0.75	5.8	70.0
	装飾タイプ(スタンダード	FL3+FL3	0.56	5.8	42.5
	装飾タイプ(和風)	FL3+FL3	0.75	5.8	77.5
熱線吸収合わせガラス	熱線吸収ブルー系	熱線吸収FL3+FL3	0.74	5.8	81.8
	熱線吸収グレー系	熱線吸収FL3+FL3	0.76	5.8	73.2
	熱線吸収ブロンズ系	熱線吸収FL3+FL3	0.77	5.8	74.7
	熱線吸収グリーン系	熱線吸収FL5+FL5	0.57	5.6	71.0
熱線反射合わせガラス	熱線反射クリア系	熱線反射FC6+FL6	0.68	5.5	70.9
	熱線反射ブルー系	熱線反射FC6+FL6	0.56	5.5	60.5
	熱線反射グレー系	熱線反射FC6+FL6	0.61	5.5	49.4
	熱線反射ブロンズ系	熱線反射FC6+FL6	0.61	5.5	48.1
	熱線反射グリーン系	熱線反射FC6+FL6	0.49	5.5	55.8
ラミメタル	ラミメタル 6φ	FL3+FL3	0.50	4.9	45.2

参考資料:旭硝子総合カタログ2003年

可視光透過率(%):

可視光とは人間の目に見える波長の光のことで、可視光透過率はその透過のしやすさを示す値である。値が大きいほどよく可視光を透過することを示す。

日射熱取得率と熱貫流率が熱的な性能を示すものであるのに対し、可視光透過率は光学的性能を示すものである。

これらの性能値について、メーカーのカタログにより公表されているデータに基づいた整理を行った。表 6.5.1から表 6.5.5にガラス種別のカタログ性能値を示す。

2) 既往の研究による性能値の整理

前項で整理したカタログによる日射遮蔽性能値は、ガラス製品については広く網羅されているものの、システム窓など複合的なものや内外の付属物については、整備されていないのが現状である。ここでは、論文や設計資料などの既往の研究によって公表されている性能値について、前項で挙げられていない手法の性能値について整理を行う。

ここでの文献によって公表されている値は、実験値や計算値など様々で、また用いられた実験条件や計算条件についても統一されていないため、各々の文献値相互の比較につ

表 6.5.3 複層ガラスの性能値

品種	構成	呼び厚さ（ミリ）	熱的性能		光学的性能	参考
			日射熱取得率（η値）	熱貫流率U値 (W/(㎡・K)	可視光透過率（%）	
透明複層ガラス	FL3+A6+FL3	12	0.79	3.4	82.0	AGC
	FL6+A6+FL6	18	0.74	3.3	79.6	AGC
熱線吸収複層ガラス	ブルー系HFL3+A6+FL3	12	0.68	3.4	75.6	AGC
	ブルー系HFL6+A6+FL6	18	0.55	3.3	66.6	AGC
	グレー系GFL3+A6+FL3	12	0.71	3.4	67.7	AGC
	グレー系GFL6+A6+FL6	18	0.61	3.3	54.8	AGC
	ブロンズ系BFL3+A6+FL3	12	0.72	3.4	69.1	AGC
	ブロンズ系BFL6+A6+FL6	18	0.60	3.3	53.6	AGC
高遮蔽性能熱線反射複層ガラス	シルバー系SS8複層	6	0.17	2.9	8.2	AGC
	シルバー系SS20複層	6	0.27	3.0	18.2	AGC
	シルバーグレイ系SGY32複層	6	0.38	3.1	30.2	AGC
	ブルー系TS30複層	6	0.32	3.0	26.6	AGC
	ライトブルー 系TBL35複層	6	0.36	3.1	32.4	AGC
	シルバーライトブルー系TSL30複層	6	0.30	3.0	26.4	AGC
熱線反射複層ガラス	クリヤ系熱反6+A6+FL6	18	0.60	3.3	57.7	AGC
	ブルー系熱反6+A6+FL6	18	0.47	3.3	49.2	AGC
	グレー系熱反6+A6+FL6	18	0.52	3.3	40.1	AGC
	ブロンズ系熱反6+A6+FL6	18	0.51	3.3	39.1	AGC
	グリーン系熱反6+A6+FL6	18	0.39	3.3	45.3	AGC
ブラインド入複層ガラス	FL3+A26(ﾌﾞﾗｲﾝﾄﾞ) +ＦＬ3	32	0.79	1.9	81.8	NSG
ガラスペーパー入複層ガラス	FL3+A6(GP2) +FL3	12	0.42	2.7	33.8	NSG
アルミハニカム入複層ガラス	FL3+A6(3H) +FL3	12	0.77	4.2	80.5	NSG
ガラスティッシュ入複層ガラス	FL3+GT1+A6+FL3	12	0.61	3.4	62.3	CG

参考資料
旭硝子総合カタログ2003年(AGC)
日本板硝子総合カタログ2001年(NSG)
セントラル硝子総合カタログ2002年(CG)

表 6.5.4 Low-e複層ガラスの性能値

品種	構成	呼び厚さ（ミリ）	熱的性能		光学的性能
			日射熱取得率（η値）	熱貫流率U値 (W/(㎡・K)	可視光透過率（%）
高遮熱断熱Low-E複層ガラス	Low-E3+A6+FL3	12	0.41	2.5	66.5
断熱Low-E複層ガラス	FL3+A6+Low-E3	12	0.61	2.6	72.0

参考資料:旭硝子総合カタログ2003年

表 6.5.5 真空ガラスの性能値

品種	ガラス種別	構成	呼び厚さ（ミリ）	熱的性能		光学的性能
				日射熱取得率（η値）	熱貫流率U値 (W/(㎡・K)	可視光透過率（%）
真空ガラス	透明＋Low-E	CFL3LE+V+FL3	6	0.68	1.5	75.5
	熱線吸収＋Low-E	GNFL3+V+CFL3LE	6	0.47	1.5	63.9

参考資料:日本板硝子総合カタログ2001年

いての精度は必ずしも高くない。しかし、各手法の特性や手法間にみられる効果の序列把握のためには、十分に参考になるものと考えられる。

各々の参考文献を下記に示す。出典は、「開口部の断熱・遮熱性能に関する研究開発報告書」((財)住宅・建築省エネルギー機構、平成6年6月)である。

(1) 開口部・システム窓

文献性能値を表 6.5.6に示す。

1.「日射遮蔽物の遮蔽効果(その7)」武田・稲沼ら、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和61年
2.「通気性を有するブラインド内臓二重サッシの遮蔽係数の推定」木村・宿谷ら、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和63年
3.「窓の熱的性能評価に関する研究(その7)」井上、射場本ら、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和61年
4.「IBEC №65 Vol.12-2」(財)住宅・建築 省エネルギー機構、1991年7月
5.「住宅の窓における快適性と省エネルギー性の両立に関する研究－日射遮蔽性能に注目した窓システムの提案－」日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和61年
6.新日軽(株)の設計値
7.新日軽(株)提供資料

(2) 内部付属物

文献性能値を表 6.5.7 に示す。

8.「窓の熱的性能評価に関する研究(その7)」井上・射場本ら、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和61年
9.「IBEC №65 Vol.12-2」(財)住宅・建築 省エネルギー機構、1991年7月

表 6.5.6 開口部･システム窓の文献性能値

ブラインド内臓二重窓 (文1,2,3,4,7)

外ガラス	内ガラス	日射透過率		ブラインド色	η値
		(外側)	(内側)		
透明2.4mm	透明3.2mm	0.87	0.87	明色	0.29
透明2.4mm	透明3.2mm	0.87	0.87	中間色	0.32
吸熱	透明6.0mm	0.46	0.80	明色	0.25
吸熱	透明6.0mm	0.46	0.80	中間色	0.26

ブラインド色	入射角	反射率	吸収率	透過率	η値
白色	35.7-34.2	0.44	0.54	0.02	0.18
白色	32.4-20.2	0.44	0.54	0.06	0.28
黒色	34.7-33.5	0.12	0.87	0.01	0.35
黒色	32.0-22.9	0.12	0.87	0.02	0.49

中空層通気型ブラインド内臓二重窓 (文２)

	η値
通気無し	0.23-0.26
通気有り	0.18-0.24

外側サッシが開閉可能で、ブラインドに吸収された日射熱の自然排出が可能[JIS A 1422]に準じた方法で、SC値を実測と計算により推定。

空気循環型窓(ベンチレーション窓)(文3,4,6)

(排気風量の違いによる値。スラットの日射吸収率は0.5%で一定)

風量(m3/h･窓)	U値	η値
0	2.5	0.30
25	1.7	0.24
50	1.5	0.18
100	1.2	0.15

(スラットの日射吸収率の違い。排気風量は50m3/h･窓で一定)

日射吸収率	U値	η値
0.5	1.5	0.18
0.73	1.5	0.20

ブラインド内蔵通気型二重窓(住宅用空気循環窓)(文5)

風量(m3/h･窓)	η値
0	0.27
10	0.25
20	0.23
40	0.19

表 6.5.7 内部付属物の文献性能値

一重ガラス＋ベネシャンブラインド (文1,2,6,7)

(スラットの日射吸収率の違いによる値)

日射吸収率	U値	η値
0.32	4.3	0.40
0.50	4.3	0.53

(スラット角の違いによる値)

日射吸収率	スラット角	η値
0.32	25°	0.50-0.57
	40°	0.41-0.51
	60°	0.39-0.43
	80°	0.28-0.35

仕様		色	η値
透明ガラス2.4-6.4mm 日射透過率0.87-8.0		明色	0.48
		中間色	0.56
吸熱、吸熱パターンガラス 日射透過率0.44-0.30		明色	0.46
		中間色	0.47
反射膜付ガラス (ガラスのみのSC値)	sc＝0.40	明色	0.26
		中間色	0.29
	sc＝0.50	明色	0.33
		中間色	0.37
	sc＝0.60	明色	0.39
		中間色	0.44

ペアガラス＋ベネシャンブラインド (文２)

(スラットの日射吸収率の違いによる値)

日射吸収率	η値
0.32	0.44-0.53
0.50	0.49-0.55

一重ガラス＋ローラーシェイド (文６)

仕様	色	η値
透明ガラス2.4-6.4mm 日射透過率0.87-0.80	半透明明色	0.34
	不透明白色	0.22
	不透明暗色	0.52
吸熱、吸熱パターンガラス 日射透過率0.44-0.30	半透明明色	0.28
	不透明白色	0.25
	不透明暗色	0.35

備考 ロラ?シェイドの日射に対する特性
法線面日射透過率：半透明明色0.25 不透明色0.0 不透明明暗色0.0
法線面日射反射率：半透明明色0.60 不透明色0.80 不透明明暗色0.12

一重ガラス＋ロールブラインド　（文8）

	η値
	0.35

一重ガラス＋カーテン　（文６）

仕様	色	η値
普通ガラス2.5-12mm	明色	0.49
型板ガラス3-7mm	中間色	0.54
	暗色	0.58
吸熱ガラス5.6-6mm	明色	0.42
	中間色	0.46
	暗色	0.49

備考　カーテンの日射に対する特性
法線面日射透過率：明色0.35 中間色0.14　暗色0.11
法線面日射透過率：明色0.60 中間色0.42　暗色0.29

各種日よけの日射遮蔽係数設計値（文3.4.5）

日除けの種類	η値	η値 ASHRAE SC値base
ドレープ（ベージュ色）	0.42	0.47
ドレープ（茶色）	0.44	0.60
ドレープ（青色）	0.55	0.59
ドレープ（ベージュ色Ⅱ）	0.55	0.51
ドレープ（茶と黄色の）	0.50	0.52
シルバーブラインダー	0.35	－
レース（白色）	0.65	0.66
内側反転ルーバー（ψ＝30°）	0.76	－
障子	0.46	－
内側ブラインド（ψ＝30°）	0.53	0.48
内側ブラインド（ψ＝45°）	0.55	0.48
ソーラースクリーン	－	0.33

10.「CORE №.37 カーテンーその遮光性と遮熱性の研究」 商品科学研究所
11.「窓面日除けの日射遮蔽係数の簡易測定法に付いて(その3)」木村・宿谷ら、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 56 年
12.「JIS A 1422:日除けの日射遮蔽係数簡易試験方法」日本規格協会、昭和 57 年
13.新日軽(株)提供資料
14.YKK 提供資料
15.「建設省総合技術開発プロジェクト／省エネルギー住宅システムの開発　報告書」(財)住宅・建築　省エネルギー機構、昭和 58 年

(3) 外部付属物

文献性能値を表 6.5.8に示す。

表 6.5.8　外部付属物の文献性能値

オーニング　（文1,2,6）

No.	色	素材	透過率	η値
1	青	ポリエステル	0.23	0.12
2	白		0.20	0.07
3	白		0.12	0.06
4	ブルー／ホワイト		0.15	0.06
5	クリーム	ガラスクロス	0.07	0.03
6	ブルー		0.05	0.06
7	オフホワイト		0.38	0.27
8	ココナッツブラウン		0.20	0.26
9	ホワイト	アルミニウム合金	0.01	0.06
10	ブロンズ		0.07	0.05
11	クリーム	アクリル	0.14	0.06
12	ホワイト	ポリエステル	0.22	0.10
13	ブラック		0.10	0.06
14	白		0.22	0.08-0.14

備考　1～ 8：表面は塩化ビニール樹脂系塗料
9・10：織糸はアクリル製アルミの表面はアクリル系塗装
11～13：裏面はアクリルコーティング
14：表面はアクリルコーティング

一重ガラス＋ルーバー　（文6）

No.	色	スラット角度	透過率	η値
1	黒色・暗色	10°	0.40	0.45
2		20°	0.32	0.37
3		30°	0.21	0.27
4		40° 以上	0.07	0.16
5	明色	10°	0.43	0.47
6		20°	0.33	0.39
7		30°	0.23	0.29
8		40° 以上	0.14	0.21

備考　幅/スラット間隔 ＝ 1/1
ルーバー数＝17枚・25mm

外付け日除けシャッター （文３）

（太陽高度：30°～40°）

No.	色	形状	透過率	η値
1	ホワイト	スラット形	0.512	0.24-0.28
2			0.117	0.17-0.18
3			0.088	0.12-0.18
4	ブロンズ		0.527	0.34-0.39
5			0.070	0.11-0.13
6			0.033	0.12
7	ホワイト		0.051	0.09-0.11
8	ブロンズ		0.045	0.12-0.15
9	ホワイト	細孔形	0.042	0.06-0.10
10	ブロンズ		0.021	0.20-0.27

（太陽高度：40°～50°）

No.	色	形状	透過率	η値
1	ホワイト	スラット形	0.166	0.20-0.21
2			0.119	0.14-0.15
3			0.097	0.11-0.13
4	ブロンズ		0.117	0.18-0.22
5			0.068	0.15-0.18
6			0.033	0.11-0.12
7	ホワイト		0.061	0.07-0.11
8	ブロンズ		0.032	0.11-0.15
9	ホワイト	細孔形	0.030	0.02-0.04
10	ブロンズ		0.024	0.15-0.20

備考 （スラット角度） 1・4/水平、2・5/30°、3・6/60°
（開口率） 7・8/10.5（%）、9・10/5.6（%）

16.「オーニングの日射遮蔽係数の測定」木村・宿谷ら、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 61 年
17.「オーニングのすばらしさ」オーニング協会カタログ（著者注:内容は上記木村等の研究成果を紹介したもの）
18.「外付け日除けシャッターの日射遮蔽係数の測定」木村・宿谷ら、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989 年
19.「SunTex」PHIFER WIRE PRODUCTS、1989 年
20.建設省総合技術開発プロジェクト／省エネルギー住宅システムの開発 報告書」、(財)住宅・建築 省エネルギー機構、昭和 58 年
21.新日軽(株)提供資料

4mm透明ペアガラス（空気層12mm）＋外ブラインド （文4）

No.	色	スラット角度	η値
1	白	全閉	0.11
2		45°	0.13
3	濃茶	全閉	0.17
4		45°	0.20

備考 アルミニウム製 80mm幅

繊維状ビニル被覆ポリエステル材（SunTex） （文６）

（太陽高度：30°）

No.	色	透過率	η値
1	キャメル	0.37	0.37
2	ブラウン	0.31	0.35
3	ブラック	0.32	0.36
4	グレー	0.33	0.34

（太陽高度：30°）

No.	色	透過率	η値
1	キャメル	0.35	0.35
2	ブラウン	0.28	0.33
3	ブラック	0.29	0.33
4	グレー	0.31	0.33

（太陽高度：30°）

No.	色	透過率	η値
1	キャメル	0.23	0.24
2	ブラウン	0.10	0.17
3	ブラック	0.10	0.17

各種外部要素 （文５）

No.	具体的構成	η値
1	断熱ルーバー雨戸	0.13-0.88
2	アルミルーバー雨戸	0.13-0.88
3	明色外付雨戸	0.13-0.88
4	ツーウェイシャッター	0.18-0.88
5	断熱テント	0.22-0.88
6	固定面格子	0.18-0.88
7	庇（出長45cm程度）	0.22-0.88

備考 η値の最小値：遮蔽性能を最も強くしたときの性能（夏季の遮蔽時）
η値の最大値：遮蔽性能を最も弱くしたときの性能（冬季の受熱時）

6.5.5 事例紹介

1）事例の概要

図 6.5.1に示した「遮熱部品の分類マトリックス」の項目に沿って整理した日射遮蔽手法について、「製品事例」と「設計事例」の2つのカテゴリーにまとめて、具体的な事例の紹介を行う。

「製品事例」では、市場で入手可能な日射遮蔽製品を挙げている。製品名やメーカー名、製品写真や概要をまとめると共に、より詳細な情報の入手のために、メーカーのホームページアドレスを記載してある。

「設計事例」では、グレーチングの日除けへの活用や植物による緑のスクリーンなど、必ずしも日射遮蔽用として市販されている製品の使用に限らない日射遮蔽の手法も有ることから、実際の設計例として建物の事例を挙げることで、手法の実践におけるバリエーションをさらに幅広く捉えることを意図している。

日射遮蔽手法という点に着目した事例を構成するために、建物用途は住宅に限定していない。また、年代や地理的特性に配慮して、現代建築のほか近代建築や伝統的民家、海外の事例も含めている。より詳細な情報の入手のために、掲載誌の例を記載してある。また、両事例とも、前述の性能値を参考にクラス（小分類）に応じた日射遮蔽効果の目安を記してある。効果の序列把握のためには、十分に参考になるものと考えられる。

事例数は、「製品事例」45 事例、「設計事例」74 事例、計 119 事例である。事例リストをに示す.

2）事例紹介

図 6.5.2～図 6.5.17に収集した事例の一例を示す。

（倉山　千春・伊藤　春雄・村田　涼）

参考文献

1.「建築設計資料集成　総合編」、日本建築学会編、丸善、2001 年
2.「住宅・建築省エネルギーハンドブック 2002」、省エネルギーハンドブック編集委員会、（財)建築環境・省エネルギー機構、2001 年
3.「開口部の断熱・遮熱性能に関する研究開発 報告書」、平成4年度開口部断熱・遮熱性能研究委員会、(財)建築環境・省エネルギー機構、1994 年
4.「自然エネルギー利用のためのパッシブ建築設計手法事典　新訂版」、彰国社編、 彰国社、2000 年
5.「INVISIBLE FLOW　省エネルギー建築ガイド」、省エネルギー建築ガイド編集委員会編、（財）建築環境・省エネルギー機構、2001 年
6.「コンフォルト 2003 年9月号」、建築資料研究社、2003 年9月
7.「日経アーキテクチュア 2004 年1月 26 日号」、日経BP社、2004 年1月

表 6.5.9 製品事例リスト

No.	分類	名称	製品例	特徴
1	1-H	ブラインド入複層ガラス	ブラインドペヤA/旭硝子 ペアマルチブラインド/日本板硝子	調光機能があり、冷暖房負荷を軽減するペヤグラスブラインド入りタイプ
2	1-H	ブラインド内蔵窓	ウインキー/YKK-AP	ガラスとガラスの間にブラインドを内蔵したペアガラスサッシ
3	1-G	パンチング入り合わせガラス	ラミメタル/旭硝子	パンチングメタルとガラスをドッキングさせたガラス
4	1-G	格子入複層ガラス	ペアグラス格子入タイプ/旭硝子 ペアマルチクロス/日本板硝子	ガラスとガラスの間に格子を組み込んだデザインの複層ガラス
5	1-G	透光性乳白色ガラスブロック	オパリーン/日本電気硝子	乳白色のやわらかな光が空間をやさしく包む
6	1-G	コントローラー内蔵複層ガラス	ECOSS/フィグラ	コントローラー内蔵のガラスによって太陽の光を自由に設計する
7	1-S	熱線吸収板ガラス	サンブルー/旭硝子	日射を吸収し、快適な室内空間をつくる
8	1-S	熱線反射ガラス	スカイレックス/セントラル硝子	太陽熱を反射して冷房負荷を抑え、周囲の風景を映し出して建物を彩る
9	1-S	複層ガラス	ペヤガラス/旭硝子	冬暖かく暮らせる標準的な複層ガラス
10	1-S	光拡散複層ガラス	ソフトペヤ/旭硝子 ペヤマルチソフト/日本板硝子	光をソフトに拡散し、心地よい室内環境をつくりだす
11	1-S	高断熱Low-Eガラス	サンレーヌ/旭硝子	太陽熱は受け入れ、暖房熱は逃がさない保温窓ガラス
12	1-S	高遮熱断熱Low-Eガラス	サンバランス/旭硝子	四季を通じて快適な室内環境をつくりだす
13	1-S	プリントガラス	セラプリライト/旭硝子	自由なデザインでガラスに表情を与える
14	1-S	合わせガラス	ラミセーフ/旭硝子 合わせガラス/三芝硝材株式会社	飛散防止性、耐貫通性に優れた防犯性の高いガラス
15	1-S	真空ガラス	スペーシア/日本板硝子	２枚のガラスの間に真空層をつくり断熱性能を高める
16	1-S	断熱反射フィルム	ヒートカット/リンテック	高透明なフィルムでクリアな眺望を
17	2-V	木製縦型ブラインド	ウッドバーチカル/ナニックジャパン	スラットが柔軟に動く縦型の木製ブラインド
18	2-V	縦型カーテンブラインド	アルペジオ標準ﾀｲﾌﾟｼﾝｸﾞﾙｽﾀｲﾙ/ニチベイ	大きな窓にも対応するシンプルな縦型カーテンブラインド
19	2-H	木製ブラインド	シンプル?/ナニックジャパン	大面積を可能にした昇降装置付きブラインド
20	2-H	竹製ブラインド	エコール?/井上スダレ	竹を素材にしたエコロジーブラインド
21	2-H	アルミ製ブラインド	断熱ブラインド/立川ブラインド工業	樹脂製スラットで反射と断熱性能を上げた
22	2-H	反射コーティングブラインド	ニューセラミー25遮熱スラット/トーソー	特殊コーティングで赤外線をシャットアウト
23	2-H	木製ブラインド	ティンバーシェイド/アーバーカムレイド	屋外にも設置可能なスギのブラインド
24	2-S	木製スクリーン	フォレス/井上スダレ	淡い光を室内に運ぶ木製のスクリーン
25	2-S	ロールスクリーン	クールシェード/ヨコタ量販	薄いアルミ膜が実現する画期的な日射遮蔽効果
26	2-S	プリーツスクリーン	デュエットシェード/日本ハンターダグラス	ハニカム構造が高い断熱性を発揮するスクリーン
27	2-S	ロールスクリーン	ロールスクリーン和紙タイプ/モルザ	和紙が醸し出す情緒ある質感を楽しむスクリーン
28	2-S	ロールスクリーン	ソフィーダブルタイプ/ニチベイ	１つの昇降機で２枚のスクリーンをコントロール
29	3-H	セラミック製ルーバー	ティンバーブリック/国代耐火工業所	豊かな風合いが魅力のセラミック製ルーバー
30	3-H	ルーバー庇	エコバイザー/オイレス工業	庇に姿を変える１台２役のルーバー
31	3-H	アルミ製ルーバー	インターバイザーLOVシリーズ/インターライト	住まいに適した角度で日射をカットするルーバー
32	3-H	網付可動ルーバー	網付可動ルーバー/YKK-AP	取り付け簡単な網付き可動タイプのルーバー
33	3-H	通風雨戸	エコアマド/不二サッシ	日よけ、通風、自由自在の雨戸
34	3-H	外ブラインド	コンホルト/立川ブラインド工業	遮蔽効果抜群の屋外用ブラインド
35	3-G'	ステンレススクリーン	ユニコワイヤーベルト/ユニバーサル工業	強度と耐候性が強みのステンレススクリーン
36	3-G'	ステンレススクリーン	メッシュアートシステムすだれシリーズ/小岩金網	モダンな空間を演出するすだれの新しいカタチ
37	3-S	アルミ製庇	キトラアルミタイプ/デバイス	無駄を一切省いた、軽やかなアルミ製庇
38	3-S	アルミ製庇	ｲﾝﾀｰﾊﾞｲｻﾞｰｱﾙﾐ形材製角度選定式庇ﾞ/ｲﾝﾀｰﾗｲﾄ	フィンの傾斜角度が選べるアルミ形材製角度選定式庇
39	3-S	オーニング	エルパティオ/テンパル	窓先空間にも涼感を与える大型オーニング
40	3-S	オーニング	オーニングソラーロタイプ/宇部気密ハウジング	天候に合わせて傾斜角度を変更可能
41	3-S	すだれ	軒掛用京すだれ/京すだれ川崎	日本のすだれは今なお優秀な遮光部材
42	3-S	アルミ製シャッター	アルラックス/黒崎播磨	断熱材を充填したアルミシャッター
43	3-S	外付けロールスクリーン	ニューホームウイング/ヨコタ量販	目隠しをしながら通風を確保
44	3-S	外付けロールスクリーン	フレシェード/トステム	現代版すだれ。屋外用ロールスクリーン
45	1-S	自動応答型調光ガラス	自動応答型調光ガラス/アフィニティー	太陽エネルギーで自動的に可変する「生きたガラス」

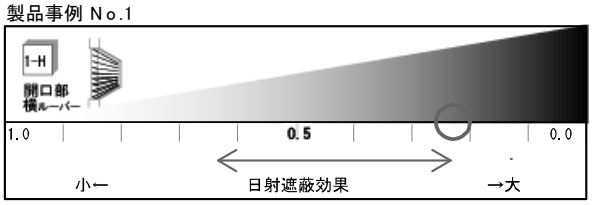
表 6.5.10　設計事例リスト

No.	分類	名称	建物名/設計者名/掲載誌例	特徴
1	1-V	ダブルスキンの中に縦型ブラインド	松本市美術館/宮本忠長建築設計事務所 新建築2002年8月号	セラミックプリントガラスのダブルスキンの間に縦型の電動ブラインド
2	1-V	縦型スラットが建物を囲む	ナチュラルスラット/遠藤政樹＋池田昌弘　EDH遠藤設計室/MIAS 新建築住宅特集2002年7月号	ガラス窓、フレキシブルボード、断熱壁、スチール扉で構成される縦型スラット
3	1-H	ブラインド内蔵木製サッシ	お花茶屋の黒い箱/田井幹夫　アーキテクトカフェ 新建築住宅特集2003年9月号	内側のペアガラスと外側のシングルガラスの間にブラインドを内蔵する
4	1-H	ブラインド内蔵の「可動建具ユニット」	南青山アソートメントハウス/ 内海智行＋長崎辰哉 milligram studio/新建築2003年12月号	西面をブラインド内蔵の「可動建具ユニット」で構成
5	1-H	ファサードを構成する水平可動ルーバー	Office A/篠原聡子　空間研究所 新建築1999年3月号	情報を発信するパネルが可動ルーバーとして機能する
6	1-H	ガラスの横ルーバー	SUVA-BUILDING/Herzog & de Meuron Herzog & de Meuron　1989-1991	ロゴをシルクスクリーンで印刷したガラスが透明性の高い横ルーバーを構成する
7	1-H	角度を自動制御するブラインド	東京電力技術開発センター/第一工房 日経アーキテクチュア1997年5月19日	ベンチレーション窓に内蔵されたブラインドは日射をもとに角度を自動制御
8	1-G	デイライトグリッドシステム	デザインセンター・リンツ/トーマス・ヘルツォーク THOMAS HERZOG ARCHITECTURE & TECHNOLOGY	アルミでコーティングされたグリッドシステムで直射光を遮蔽
9	1-G	ガラスブロックのスクリーン	スプリット・レベルの家/高俊民　アーキノーバ建築研究所 新建築住宅特集1995年9月号	吹き抜け空間の上部に乳白のガラスブロックスクリーン
10	1-G	ガラスとアルミを素材とした幾何学パネル	アラブ世界研究所/ジャン・ヌーベル EL CROQUIS 65/66 Jean Nouvel 1987-1998	カメラの絞りのように開閉し、日射をコントロール
11	1-S	パンチングメタルのオーニング	新潟市民芸術文化会館/長谷川逸子・建築計画工房 新建築1999年1月号	DPG内部に設置されたオーニングで光と熱を制御する
12	1-S	庇に変わるFRP製スライディングドア	逆シャッターのギャラリー/坂茂建築設計 新建築2003年1月号	逆向きにレールをつけた開口部は、開放すると外側への庇になる
13	1-S	アルミ製のシステムパネル	モザール広場の集合住宅/ジャン・プルーヴェ Jean Prouve Complete Works Vol. 3 1944-1954	さまざまな開閉パターンをもつアルミ製システムパネルがファサードを構成
14	1-S	光を透過させる断熱材エアロジェル	設計事務所アトリエ/トーマス・ヘルツォーク THOMAS HERZOG ARCHITECTURE & TECHNOLOGY	ガラスに挿入されたエアロジェルが室内環境を快適に保つ
15	1-S	工業製品による現代的障子	燈居/篠原聡子　空間研究所 住宅建築2001年12月号	断熱障子をFIXガラス内側に貼り、障子の特性を現代的に生かす
16	1-S	セラミック印刷ガラス	hhstyle.com/妹島和世建築設計事務所 新建築2002年5月号	セラミック印刷の太さを上下方向に変えて日射しを遮る
17	1-S	トリプルガラスのファサード	R128/ヴェルナー・ゾーベック Glass & Architecture 2003年春号	透明性とエネルギー負荷低減の両方を目指すトリプルガラス
18	2-V	西面のカラフルな手動ブラインド	ＧＳＷ管理本社/ザウアーブルヒ＆ヒュットン Glass & Architecture 2003年春号	ダブルスキンと手動ブラインドで窓まわりの熱負荷を抑える
19	2-V	西面開口部の木製縦ルーバー	六花亭真駒内ホール/ 古市徹雄都市建築研究所 新建築2003年3月号	可動ルーバーは西日を遮るとともに、閉じると店舗がコンサートホールに
20	2-V	西面と北面開口部に木製縦ルーバー	蒼い家/インターデザインアソシエイツ 新建築住宅特集2003年11月号	アルミのフラットバーで連結され縦軸回転する
21	2-H	木製水平ルーバー	慶応義塾普通部新本館/池田靖史建築計画事務所　安藤建設設計部 新建築2001年12月号	カーテンウォール内側上部に木製ルーバーを設け、日射を調整
22	2-H	南面大開口部上部に木製横ルーバー	House of Shadows/ 郡裕美＋遠藤敏也／スタジオ宙 新建築住宅特集2003年2月号	夏の日射しを制限し、冬は深くまで光を取り込む
23	2-G	ECパネル	PERA＋GALLERY KWON/矢板久明建築設計研究所 新建築2003年11月号	「ECパネル」と呼ばれる青色の透過パネルを内側に設置
24	2-G	木製格子戸	鳩ヶ谷の家/芦原太郎建築設計事務所 新建築住宅特集1995年10月号	庇、格子戸、ブラインドで選択的に遮光
25	2-G	木製格子	富山国際会議場/槇総合計画事務所 新建築1999年11月号	木製格子を通した光が柔らかい表情をつくる
26	2-G	上下にスライドする木パネル	王子木材工業本社ビル/ 川村奈津子MDS一級建築士事務所＋森清敏 新建築2003年2月号	日射の変化に合わせて可動パネルの位置を変える
27	2-S	可動するロールブラインド	SILHOUETTE/渡辺康建築研究所 新建築2003年12月号	レールで左右に可動するロールブラインド
28	2-S	ネットスクリーン	小豆島の住宅/ 長谷川逸子・建築計画工房 新建築住宅特集2001年10月号	ネットスクリーンによるやわらかい遮光
29	2-S	ナイロンテント	The Case Study House - 10 はだかの家/坂茂建築設計 新建築住宅特集2001年1月号	マジックテープで脱着可能にしたナイロンテントで膜を形成
30	2-S	竹、葦を用いた建具	千里の家/ 横内敏人建築設計事務所 住宅建築2001年12月号	竹と葦を素材とした夏障子、御簾、有楽窓で日射しを遮る
31	2-S	障子	木村邸/宮脇檀建築研究室 宮脇檀の住宅	日差しを遮る障子はすべて引き込まれ、全開放が可能
32	3-V	木製ルーバーとポリカーボネイト	軽井沢のゲストハウス/ 大塚聡アトリエ 新建築住宅特集2003年1月号	木製水平ルーバーを支持材としたポリカーボネイトの屋根
33	3-V	アルミのルーバー庇	安曇野高橋節郎記念美術館/宮崎浩　プランツアソシエイツ 新建築2003年9月号	北側開口部上部にアルミ製ルーバー庇
34	3-V	木製水平ルーバー	Y-house/ 林幸稔建築設計事務所 新建築住宅特集2003年12月号	中庭に設けたルーバー庇と、壁面に設けたアンチスリップ鋼板により日射遮蔽
35	3-V	30×60mmの杉材をルーバーに	馬頭町広重美術館/隈研吾建築都市設計事務所 新建築2000年11月号	ルーバーに覆われた切妻のヴォリューム
36	3-V	南側テラスを覆う木製ルーバー	八女市多世代交流館「共生の森」/青木茂建築工房 新建築2001年9月号	外部からな部へ連続する木製ルーバー

表 6.5.10 設計事例リスト（続き）

37	3-V'	全開放できる格子戸	久里浜の住宅/ 多羅尾直子　タラオ・ヒイロ・アーキテクツ 新建築住宅特集2001年1月号	格子戸の開閉によって日射しをコントロール
38	3-V'	木製連子格子	連子格子の家/ 石井修　美建・設計事務所 新建築住宅特集2003年2月号	西面の縁側に連続する格子が、日射を遮り。風を取り込む
39	3-V'	木製の縦格子折戸	千川・スクリーンの家/ 田井幹夫　アーキテクト・カフェ 新建築住宅特集2003年2月号	全開放が可能な折戸で日射を調整する
40	3-V'	木製縦ルーバー	地球環境戦略研究機関/日建設計 新建築2002年9月号	西向きの恵まれた眺望を楽しみながら 快適な光だけを室内に取り込む
41	3-H	スチールフラットバーによる庇	INB邸/ 槇総合計画事務所 新建築住宅特集2002年1月号	南面開口にフラットバーによる奥行きの深い庇
42	3-H	アルミ製可動ルーバー	君津市保健福祉センターふれあい館/坂倉建築研究所東京事務所 新建築1999年4月号	太陽高度に合わせて調節可能な電動ルーバー
43	3-H'	木製水平ルーバー	自由が丘のコートハウス/村田靖夫建築研究室 新建築住宅特集2003年5月号	天井高の高い居間に水平ルーバーを設置
44	3-H'	羽のようなアルミ製庇	ｹﾞｨｰｽﾊﾟｰﾃﾞﾝ建設産業年金基金ｵﾌｨｽの増築/トーマス・ヘルツォーク THOMAS HERZOG ARCHITECTURE & TECHNOLOGY	独特の形状を持つアルミ製の可動庇
45	3-H	アルミの既製品を用いたルーバー庇	エステーR&Dセンター/村田靖夫建築研究室 新建築2001年11月号	既製品を用いた水平ルーバーとロールスクリーン
46	3-H'	外付けアルミブラインド	ピクチャー・ウィンドウの家/ 坂茂建築設計 新建築住宅特集2002年8月号	南面の大開口に約2.5mの庇、２階には外付けアルミブラインド
47	3-H'	アルミフレームの木製ルーバー	Lawyer's Practice/Reinhard Drexel In Detail　Solar Architecture	アルミフレームで連結された木製ルーバーを個別に手動で制御する
48	3-H'	アルミ押し出し成形の電動ブラインド	日建設計東京ビル/日建設計 新建築2003年8月号	太陽高度に応じて外ブラインドの角度を制御
49	3-H'	再生木による水平ルーバー	再生木ルーバーハウス/宮崎浩　プランツアソシエイツ 新建築2000年9月号	耐久性に優れた再生木を外部ルーバーに使用
50	3-G	コンクリートによる格子状の庇	あしゃぎ/ 福村俊治＋空間計画VOYAGER 新建築住宅特集2002年1月号	雨端（あまはじ）と呼ばれる縁側空間を現代的に再現
51	3-G	スチール格子庇＋ソーラーパネル	福島県ﾊｲﾃｸ会津若松技術支援ｾﾝﾀｰ/古市徹雄都市建築研究所 新建築2001年5月号	バルコニーを覆う格子庇にソーラーパネルを設置
52	3-G	FRPグレーチングによる庇	吉礼の家/八木幸二研究室 新建築住宅特集2001年12月号	食堂に面するテラス上部にFRPグレーチングの格子屋根
53	3-G	曲面で連続するグリッド庇	アルベールカミュ高等学校/ノーマン・フォスター Solar Energy in Architecture and Urban Planning	自然換気を効果的にする南面の連続庇
54	3-G'	外壁を覆うスチールグリッド	ホテル・サン・ジェームス/ジャン・ヌーベル EL CROQUIS 65/66 Jean Nouvel 1987-1998	外壁はスチールグリッドに覆われ、開口部は跳ね上げ式で日射をコントロール
55	3-G'	グレーチングを用いた日よけ	宮城県迫桜高等学校/小嶋一浩＋三瓶満真　C+A 新建築2001年5月号	南面はスチールグレーチングの庇、西壁面にはFRPグレーチングパネル
56	3-G'	FRPグレーチング製可動ルーバー	古茂田邸/元岡展久　椙山女学園大学元岡研究室 新建築住宅特集2003根1月号	ﾌｧｲﾊﾞｰｸﾞﾚｰﾁﾝｸﾞによる可動ルーバーを南面と西面に設置
57	3-S	葦簀の庇	美里の家　アートギャラリーの家/仲村渠常広　建築研究室 匠斎庵 新建築住宅特集2003年10月号	南開口部につづく雨端（あまはじ）に葦簀が張られる
58	3-S	金属折板による屋根庇	高知・本山町の家/ 小玉祐一郎＋エステック計画研究所 新建築住宅特集2003年11月号	夏の日射遮蔽と冬の日射導入のバランスを考慮した屋根庇
59	3-S	外部ブラインド＋オーニング	腰越のメガホンハウス/手塚貴晴＋手塚由比　手塚建築研究所 新建築2001年3月号	6×9mの南面開口に設けた外部ブランドとオーニング
60	3-S'	簾	簾庵/松葉力＋テレデザイン 新建築住宅特集2003年2月号	ファサード一面にかけられた簾で日射を調整
61	3-S'	外付けロールブラインド	Duplex/Leimer Tschanz In Detail Building Skin	外付けのロールブラインドで日射を調整
62	3-S'	養生ネットのスクリーン	住宅T×T/北山恒＋architecture WORKSHOP 新建築住宅特集2003年9月号	2層分の高さを幅900mmの養生ネットで覆う
63	3-S'	外壁全面を覆う引戸のスクリーン	Rete tamaplaza/篠原聡子　空間研究所 新建築2003年4月号	アルミニウムコーティングされた膜を張った引き戸を 外壁全面に設置し、可動のスクリーンとした
64	3-S''	夏の日射しを遮蔽するノウゼンカズラ	筑波の家/小玉祐一郎 新建築住宅特集2001年12月号	トレリスをつたうノウゼンカズラを自動の日射制御装置として利用
65	3-S''	サンルームを覆う緑のスクリーン	近藤邸/村田靖夫建築研究室 住宅建築2001年12月号	サンルームの外側にトレリスを設置し、 植物をはわせて緑のスクリーンに設えた
66	3-S''	建物を覆う緑のカーテン	経堂の杜/ 甲斐徹郎/チームネットほか 新建築住宅特集2000年7月号	西面の窓外は蔓性植物のカーテン、 東側は壁面緑化で夏を涼しく
67	1-G	デイライトグリッドシステム	ハノーバーメッセ26号棟展示場/トーマス・ヘルツォーク THOMAS HERZOG ARCHITECTURE & TECHNOLOGY	アルミでコーティングされたグリッドシステムで直射光を遮蔽
68	3-G	FRP製グレーチングの庇	日傘の家/大沢良二＋エステック計画研究所 住宅建築2005年4月号	アウトドアデッキへのブリッジも兼ねたFRP製グレーチングの庇
69	3-G'	遮光発電ルーバー	糸満市庁舎/日本設計 日本建築学会総合論文誌第１号	遮光発電ルーバーで建物を覆い、巨大な軒下空間をつくる
70	2-S	不織布のスクリーン	相模原の住宅/野沢正光建築工房 新建築住宅特集1993年7月号	冬期の冷輻射防止を考慮した不織布のスクリーン
71	3-V	コンクリートのルーバー庇	名護市庁舎/象設計集団＋アトリエモビル 建築文化1993年10月号	アサギテラスに影を落とし風を通すルーバー庇
72	2-H	アルミ製ブラインド	水戸八幡町の家/小玉祐一郎＋エステック計画研究所 新建築住宅特集2000年6月号	吹き抜けの高窓に設けたブラインド
73	2-G	引込み格子網戸	親緑住居/村田靖夫建築研究室 新建築住宅特集2001年12月号	網戸も付いた防犯用の引込み格子戸
74	3-S'	ウインドウシャッター	野川エコヴィレッジ/エステック計画研究所 建築知識 2004年9月号	採光・換気を自在に操るシャッター

製品事例 No.1



ブラインド入複層ガラス

ブラインドペヤA（旭硝子　　http://www.agc.co.jp/）
ペアマルチブラインド（日本板硝子　　http://www.nsg.co.jp/）

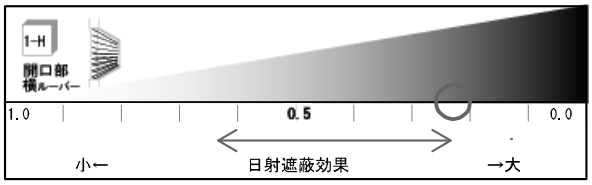


断面構成（ブラインドペヤA）
出典：旭硝子商品カタログ

調光機能があり、冷暖房負荷を軽減する ペヤグラスブラインド入りタイプ

複層ガラスの中空層にブラインドを組み込んだガラス。
高い断熱効果とともに 、ブラインドの開閉により光のコントロール効果を併せもつ。
夏は、強い光の遮蔽効果で冷房負荷を軽減し、
冬は羽に当たる光の反射を利用して光を部屋の奥まで導く。

製品事例 No.2



ブラインド内蔵窓

ウインキー（　YKK-AP　http://www.ykkap.co.jp/）

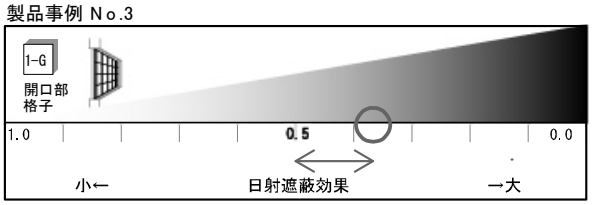


出典：YKK-AP商品カタログ

ガラスとガラスの間に ブラインドを内蔵したペアガラスサッシ

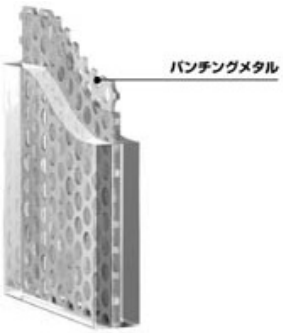
ガラスとガラスの間にブラインドを内蔵したペアガラスサッシ。
内蔵のブラインドは、昇降と開閉ダイヤルでスラットの傾斜角度の調整を行える。
日射遮蔽、断熱、遮音効果も高い。　W1694×H1207mmで￥81,700。

製品事例 No.3



格子入複層ガラス

ブラインドペヤA（旭硝子　　http://www.agc.co.jp/）

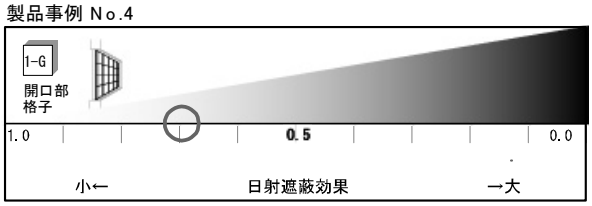


断面図
出典：旭硝子商品カタログ

パンチングメタルとガラスを ドッキングさせたガラス

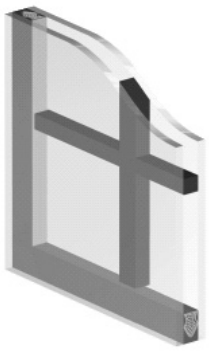
パンチングメタルを柔軟で強靭な2枚の中間膜に挟み込み、ガラスとガラスの間に加熱圧着した、新感覚の合わせガラス。パンチング径の大きさは直径3　　mmと6 mmの2種類。
用途に合わせて採光量を変えたり、視野の調整効果を選択できる。

製品事例 No.4



格子入複層ガラス

ペヤグラス格子入タイプ（旭硝子　　http://www.agc.co.jp/）
ペアマルチクロス（日本板硝子　　http://www.nsg.co.jp/）



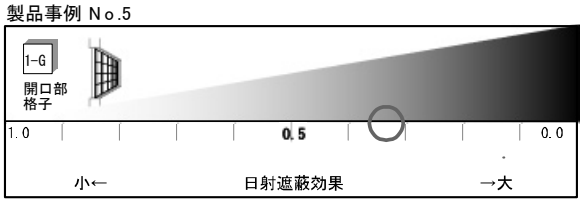
断面図
出典：日本板硝子商品カタログ

ガラスとガラスの間に 格子を組み込んだデザインの複層ガラス

2枚のガラスの間に格子を組み込んだデザインの複層ガラス。
格子の数・間隔・長さなどは好みに合わせたオーダーが可能。
中空層に格子が封入されているため、面倒な掃除は不要。

図 6.5.2　製品事例

製品事例 No.5



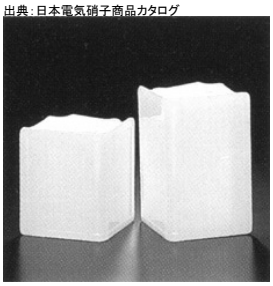
透光性乳白色ガラスブロック

オパリーン（日本電気硝子　http://www.neg.co.jp/）

出典:日本電気硝子商品カタログ



ブレーン
内外面ともなめらかに仕上げられており、
光はやわらかく全体に広がる

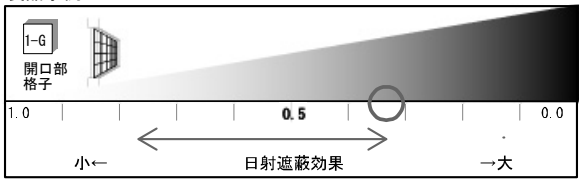


コーナーガラスブロック　α-90
コーナー部分も切れ目なく直角に曲げられる

乳白色のやわらかな光が空間をやさしく包む

透光性乳白色ガラスブロック　オパリーンは乳白色のやわらかな光で空間を包む。
外壁に使用した場合、窓板ガラスに比べ、紫外線の透過率は約　1/10と低いため、
室内の家具や物品の色あせが起こりにくくなる。
また、光の　入射角が変わっても、透過する光の量にあまり変化がない。

製品事例 No.6



コントローラー内蔵複層ガラス

ECOSS(フィグラ　http://www.figla.co.jp/)

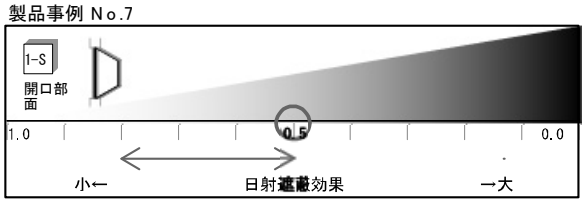


出典:フィグラ商品カタログ

コントローラー内蔵のガラスによって太陽の光を自由に設計する

ガラス内部にコントローラーを内蔵し、入射日光量及び透過日射量調整を行う。
透明コントローラーを内蔵した　ECOSS-T・W・Dは、建物の位置や方位などに応じて
太陽光の入射カロリーを算出し、コントローラーの設計角度を設定する。

製品事例 No.7



熱線吸収板ガラス

サンブルー（旭硝子　http://www.agc.co.jp/）ほか



サングリーン
出典:旭硝子商品カタログ

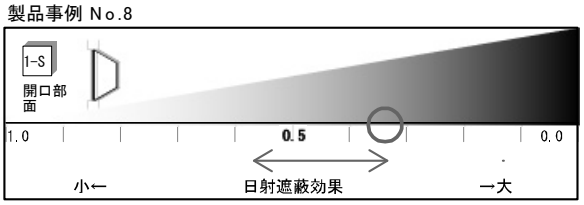


サンブルー

日射を吸収し快適な室内空間をつくる

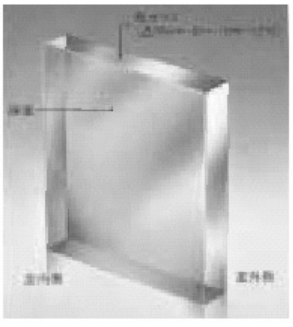
熱線吸収効板ガラスとは、通常のガラス原料に微量の鉄、ニッケル、コバルトなどの金属を
加え着色したガラスのこと。透明な板ガラスに比べ、より多くの太陽エネルギーを吸収し、
赤外線や可視光線、紫外線などの透過を適度におさえる性能がある。
そのため、冷房負荷を軽減することができる。

製品事例 No.8



熱線反射ガラス

スカイレックス(セントラル硝子　http://www.cgco.co.jp/)ほか



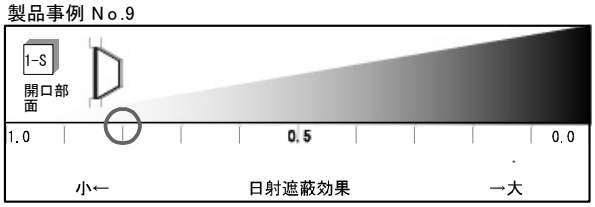
構成(高性能熱線反射ガラススカイクールの例)
出典:セントラル硝子商品カタログ

太陽熱を反射して冷房負荷を抑え周囲の風景を映し出して建物を彩る

板ガラスの表面に極薄の金属膜をコーティングし、太陽熱を反射して
冷房効果を高めると同時に、その鏡面効果により周囲の風景を鮮やかに映し出し、
建物の外装に様々な表情を与える。

図 6.5.3　製品事例

製品事例 No.9



複層ガラス

ペヤガラス(旭硝子　http://www.asahiglassplaza.co.jp/)

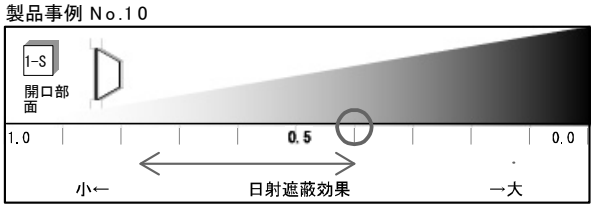


出典:旭硝子商品カタログ

冬温かく暮らせる
標準的な複層ガラス

2枚のガラスの間に乾燥中空層を挟み込んだ標準的な複層ガラス。
単板ガラスに比べ断熱性が大幅にアップし、
省エネや結露防止に優れた効果を発揮する。

製品事例 No.10



光拡散複層ガラス

ソフトペヤ (旭硝子　　http://www.agc.co.jp/)
ペアマルチソフト(日本板硝子　　http://www.nsg.co.jp/)



ソフトペヤ　不織布1枚タイプ
出典:旭硝子商品カタログ

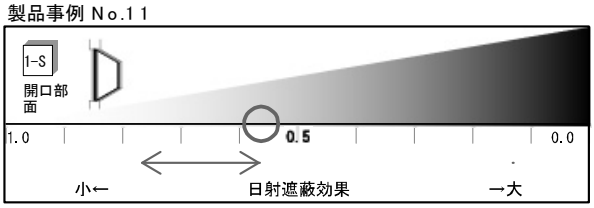


ソフトペヤ　不織布2枚タイプ

光をソフトに拡散し
心地よい室内環境をつくりだす

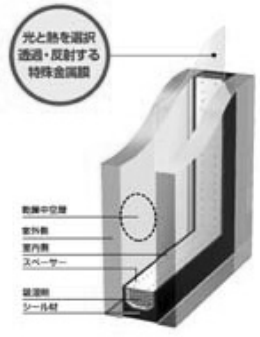
複層ガラスの中空層に、光を効果的に拡散する不織布やパネルを組み込んだガラス。
直達光をソフトに拡散させ　、まぶしさや暑さを和らげ、快適な光環境を作り出す。
また、外観は和紙のような風合いで、夜は内部の光が浮かび上がる演出を楽しめる。

製品事例 No.11



高断熱Low-E ガラス

サンレーヌ(旭硝子　http://www.asahiglassplaza.co.jp/)

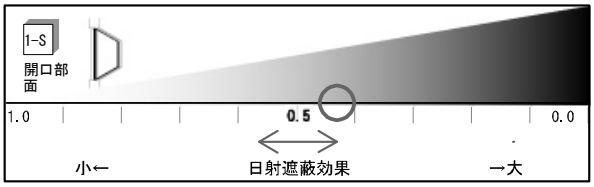


出典:旭硝子商品カタログ

太陽熱は受け入れ、
暖房熱は逃がさない保温窓ガラス

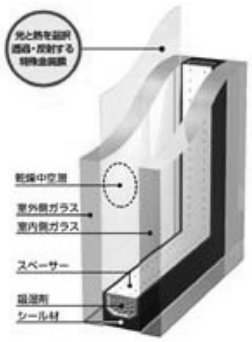
複層ガラスの室内側ガラスの中空層面に透明な特殊金属膜をコーティングした
高断熱Low-E複層ガラス。複層ガラス本来の高い断熱効果に特殊金属膜による採光・保温
機能が付加され、日射は受け入れるが、室内の暖房熱は外に逃がしにくくなっている。

製品事例 No.12



高遮熱断熱Low-E ガラス

サンバランス(旭硝子　http://www.asahiglassplaza.co.jp/)



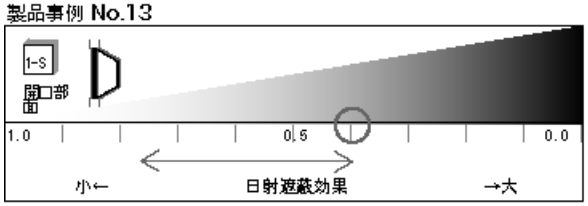
出典:旭硝子商品カタログ

四季を通じて
快適な室内環境をつくりだす

2枚の板ガラスの間に乾燥空気を封入し、室外側のガラス内面に特殊金属膜を
コーティングした高遮熱断熱　Low-E複層ガラス。
夏季には、適度な遮蔽効果をもつ特殊金属膜が日射を室外に反射し、
また冬季には室内の熱を外部に伝達しにくくする。

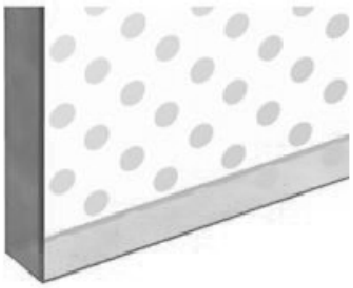
図 6.5.4　製品事例

製品事例 No.13



プリントガラス

セラブライト（旭硝子 http://www.asahiglassplaza.co.jp/）

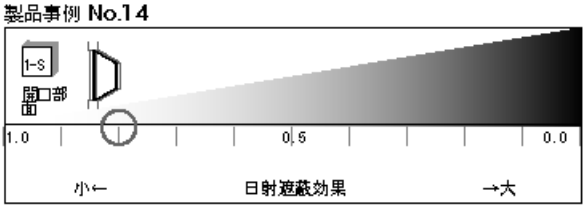


出典：旭硝子商品カタログ

自由なデザインで
ガラスに表情を与える

フロート板ガラスの表面にセラミックのインキをシルクスクリーン印刷し、
熱処理の過程で同時に焼き付けたもの。自由なデザインが可能なガラス。

製品事例 No.14



合わせガラス

ラミセーフ（旭硝子 http://www.asahiglassplaza.co.jp/）
合わせガラス（三菱樹脂株式会社http://www.sanshiba-g.co.jp/）

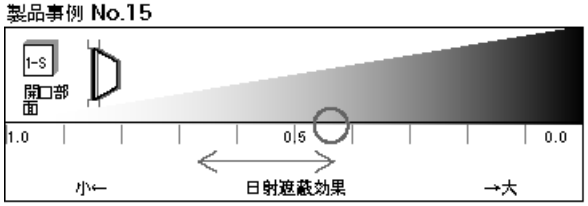


出典：旭硝子商品カタログ

飛散防止性、耐貫通性に優れた
防犯性の高いガラス

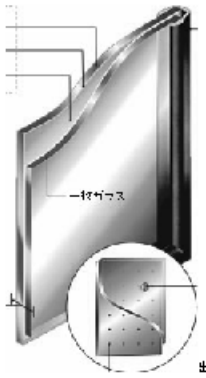
2枚の板ガラスの間に柔軟で強靭な中間膜を挟み、熱と圧力を加えて接着させたガラス。
万一割れた場合でも、ガラスは中間膜にしっかりと接着されているので、
破片が飛び散ることはほとんどない。また、中間膜が貫通しにくい性質もある。

製品事例 No.15



真空ガラス

スペーシア（日本板硝子 http://www.nsg.co.jp/gw/）

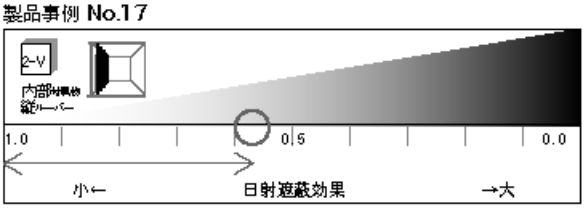


出典：日本板硝子商品カタログ

2枚のガラスの間に
真空層をつくり断熱性能を高める

2枚のガラスの間に真空層をつくり、断熱性能を高めたガラス。
スペーシアDXは、日射熱を吸収するソーラーコントロールガラスとLow-Eガラスが0.2ミリ
の真空層を封じ込んだ構成で、夏季の防暑性を高めている。
厚さが5ミリのため、既存の単板ガラス用のサッシを利用した取り付け交換も可能。

製品事例 No.17



木製縦型ブラインド

ウッドバーチカル（ナニックジャパン http://www.nanik.co.jp/）



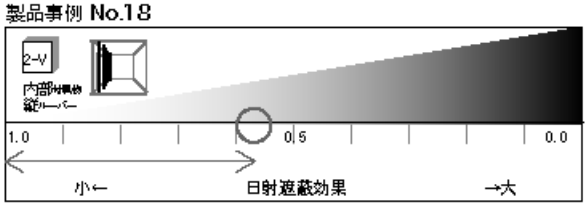
出典：ナニックジャパンホームページ

スラットが柔軟に動く
縦型の木製ブラインド

木目、色合いなど無垢のバスウッド（しなの木）の質感を生かした木製縦型ブラインド。
ルーバー（羽根）は、独自に開発したヒンジ式分割で、そり・ねじれの防止と傷等に対する保護が施されたブラインド。

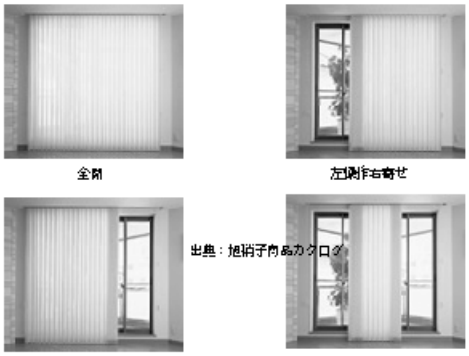
図 6.5.5 製品事例

製品事例 No.18



縦型カーテンブラインド

アルベジオ（横浜タイプ シングルスタイル（ニチベイ http://www.nichi-bei.co.jp/）



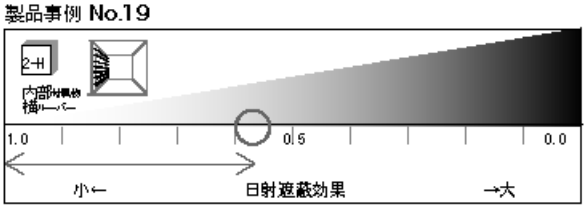
出典：旭硝子商品カタログ

出典：ニチベイ商品カタログ

大きな窓にも対応する
シンプルな縦型カーテンブラインド

幅4m、高さ3mまで制作可能で、大きな窓にも対応可能な縦型カーテンブラインド。
ワイドな空間に対応して、これまでにない眺望や採光、開放感が実現可能。

製品事例 No.19



木製ブラインド

シンプル（ナニックジャパン http://www.nenik.co.jp/）

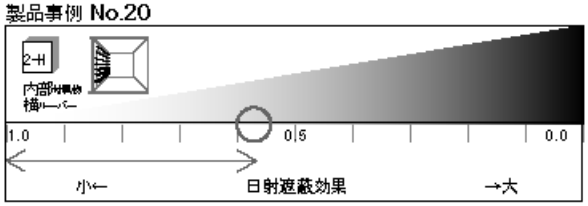


出典：ナニックジャパンホームページ

大面積を可能にした
昇降装置付きブラインド

新しい昇降装置により昇降と操作が軽くなり、
また最大W2438×H3658 の大面積を可能にした。
これにより、大型化する窓へも対応する。

製品事例 No.20



竹製ブラインド

エコール（井上スダレ http://www.sudare.co.jp/）

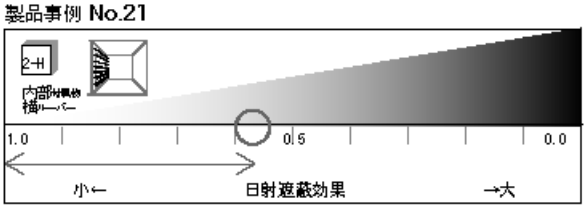


出典：井上スダレホームページ

竹を素材にした
エコロジーブラインド

成長が早く約5年で伐採できるエコロジカルな素材、竹で作られている。
スラットは厚くてソリッドなフォルムと8色のカラーバリエーションを持ち、
様々なインテリアと調和する。

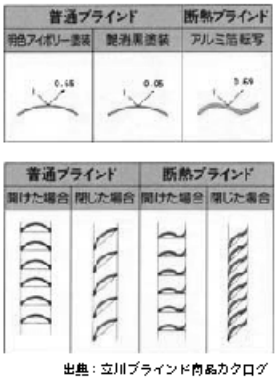
製品事例 No.21



アルミ製ブラインド

断熱ブラインド（立川ブラインド工業 http://www.blind.co.jp/）





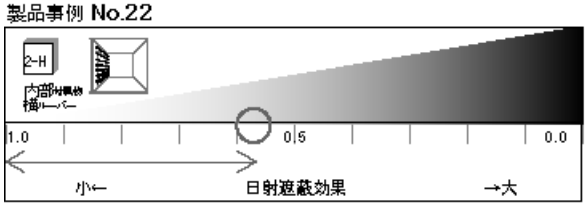
出典：立川ブラインド商品カタログ

樹脂製スラットで反射と
断熱性能を上げた

樹脂製スラットの表面をアルミ箔で覆い、日射の反射率を高めている。
さらにスラットの断面形状を遮蔽時の支持性が高いS字型にしているため、
断熱性にも優れている。省エネ効果も期待できる。

図 6.5.6 製品事例

製品事例 No.22



反射コーティングブラインド

ニューセラミー25遮熱スラット（トーソー http://www.toso.co.jp/）

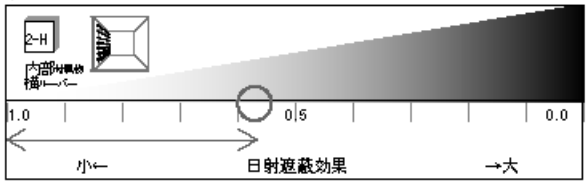


出典：トーソーホームページ

特殊コーティングで
赤外線をシャットアウト

スラット表面に太陽熱反射コーティングを施したブラインド。
これにより、室内への熱の侵入を低減する。

製品事例 No.23



木製ブラインド

ティンバーシェイド（アーバーカムレイド http://www.timbershades.com/）

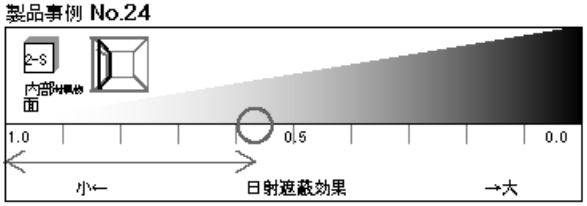


出典：アーバーカムレイドホームページ

屋外にも設置可能な
杉のブラインド

軽くて木目の美しい杉を使用した木製ブラインド。
独自の塗装により優れた耐久性と耐候性を持るため屋外で使用しても変形や変色が少ない。
スラット幅や仕上げ色の種類も豊富で特注にも対応する。

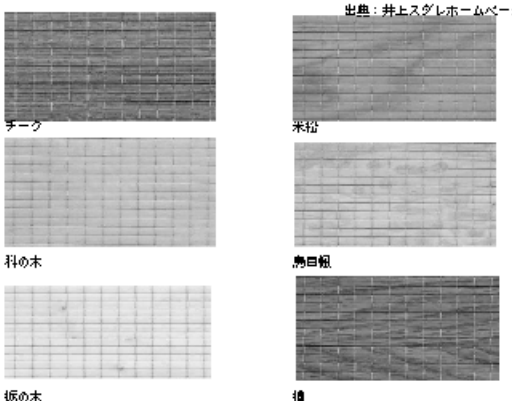
製品事例 No.24



木製スクリーン

フォレス（井上スダレ http://www.sudare.co.jp/）

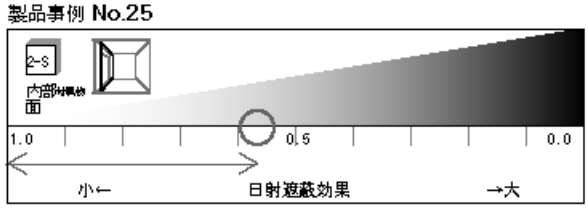
出典：井上スダレホームページ



淡い光を室内に運ぶ
木製のスクリーン

厚みを1mm以下とし、木のヒゴを使った繊細なデザインが特徴的。
ブラインドにはない光の透ける空間をつくり出す。

製品事例 No.25



ロールスクリーン

クールシェードヨコクタ調版 http://www.fullnes.ne.jp/）



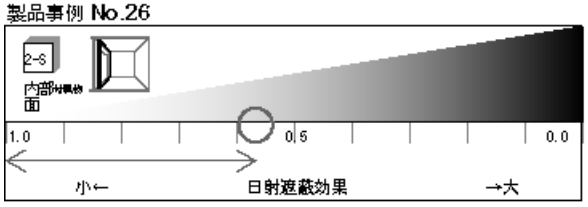
出典：ヨコクタ調版ホームページ

薄いアルミ膜が実現する
画期的な日射遮蔽効果

表面にアルミニウムを蒸着したポリエステルフィルムによる室内用ロールスクリーン。
細かな凹凸で光を乱反射させて日射遮蔽しながらも眺望が得られる。

図 6.5.7 製品事例

製品事例 No.26



プリーツスクリーン

デュエットシェード(日本ハンターダグラス http://www.hunterdouglas.co.jp/)

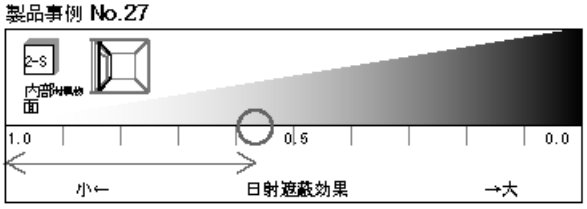


シェードを降ろすとハニカム・セル（蜂の巣状の筒）がふくらむ
出典：日本ハンターダグラスホームページ

ハニカム構造が
高い断熱性を発揮するスクリーン

スクリーンを降ろすとハニカム・セルがふくらみ、内部の空気が高い断熱、
保温性を発揮する。和洋どちらにも調和するデザイン。

製品事例 No.27



ロールスクリーン

ロールスクリーン　和紙タイプ(モルザ http://www.molza.co.jp/)

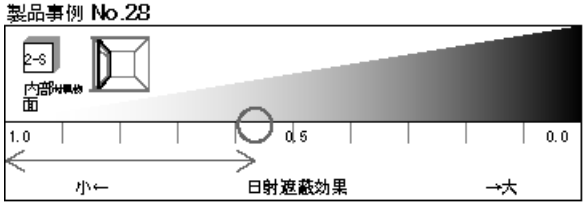


出典：モルザホームページ

和紙が醸し出す
情緒ある質感を楽しむスクリーン

日射を遮りながら和紙の豊かな表情を楽しめるロールスクリーン。
紙の種類も豊富。

製品事例 No.28



ロールスクリーン

ソフィーダブルタイプ(ニチベイ http://www.nichi-bei.co.jp/)

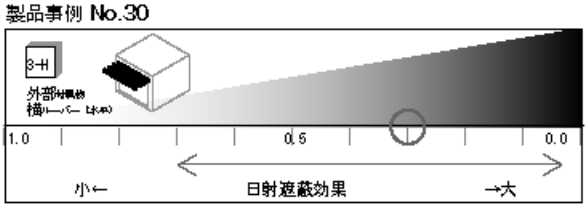


出典：ニチベイホームページ

1つの昇降機で
2枚のスクリーンをコントロール

2枚のスクリーンを1つの昇降機でコントロールするタイプ。
遮光性の高い生地の2枚使いで、日射遮蔽効果が倍増する。

製品事例 No.30

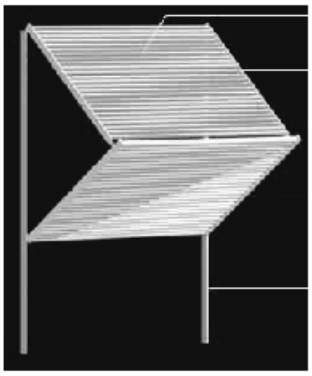


ルーバー庇

エコバイザー（オイレス工業 http://www.oiles.co.jp/)



出典：オイレス工業ホームページ

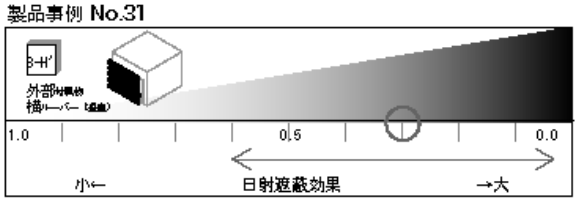


庇に姿を変える
1台2役のルーバー

ルーバーユニットが中折れして、全閉時には庇に、全開時にはブラインドになる
全自動ルーバー「エコバイザー」。
日除け、通風目隠しなどの多様な機能を備える。

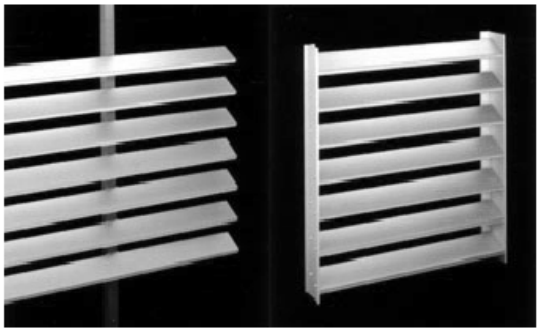
図 6.5.8　製品事例

製品事例 No.31



アルミ製ルーバー

インターバイザーLOVシリーズ (インターライト http://www.intelite.co.jp/)

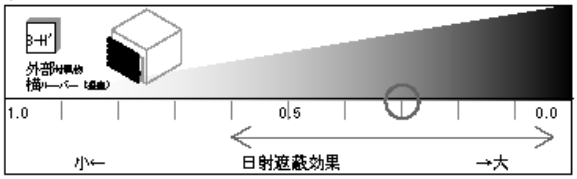


出典：インターライトホームページ

住まいに適した角度で
日射をカットするルーバー

フィンの取り付け角度を15度単位で選べるアルミ製のルーバー。
断面形状が豊富で、取り付け方法は片持ちタイプ、フレームタイプがある。

製品事例 No.32



網付可動ルーバー

網付可動ルーバー (YKK AP http://www.ykkap.co.jp/)



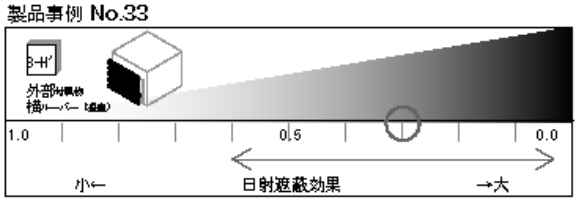


出典：YKK APホームページ

取り付け簡単な
網付き可動タイプのルーバー

既存サッシュ枠の網戸レールを利用して簡単に後付けできる。
ガラリ、雨戸、網戸の3役を兼ねる。

製品事例 No.33



通風雨戸

エコアマド (不二サッシ http://www.fujisash.co.jp/)

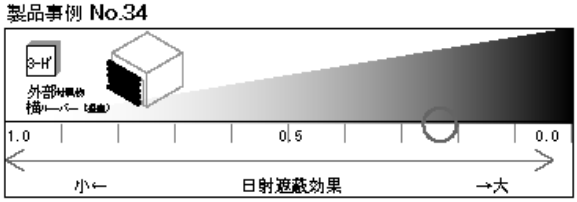


出典：不二サッシホームページ

日除け、通風
自由自在の雨戸

分割された開口部ごとに開閉できる雨戸で日除けや通風、眺望の確保が自由自在。
既存の雨戸との付け替えも可能。

製品事例 No.34



外ブラインド

コンホルト (立川ブラインド工業 http://www.blind.co.jp/)



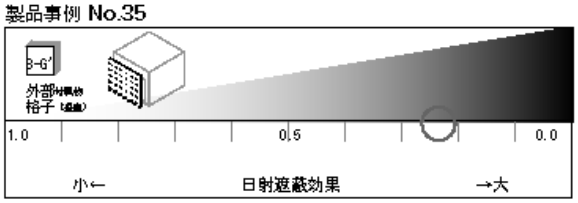
出典：立川ブラインド工業ホームページ

遮蔽効果抜群の
屋外用ブラインド

ガイドレールによって風であおられることを防いだ屋外専用ブラインド。
防錆性、耐久性、耐風力に優れている。
スラットの傾斜角度が45度の場合でも約8割の日射熱をカットする。

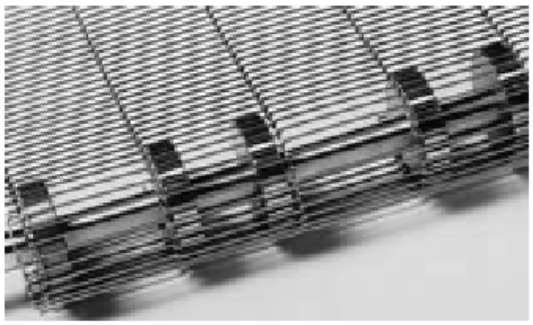
図 6.5.9 製品事例

製品事例 No.35



ステンレススクリーン

ユニコワイヤーベルト（ユニバーサル工業 http://www.unico-wb.co.jp/）

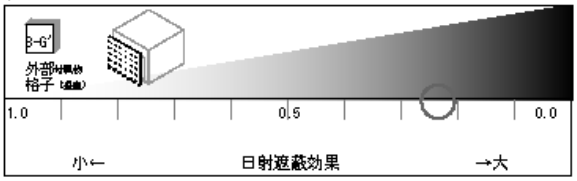


出典：ユニバーサル工業ホームページ

強度と耐候性が強みの
ステンレススクリーン

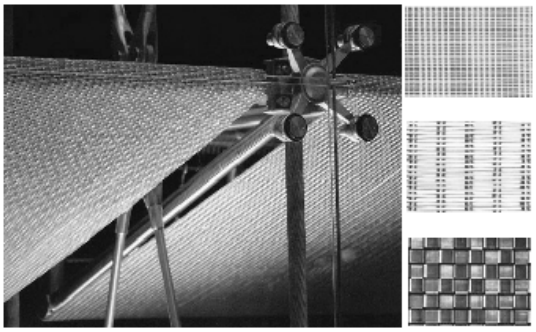
もともとベルトコンベア用に開発された製品。強度に優れ、網目の細隙も豊富だ。
素材のステンレスは高い耐食性に強く、屋外の使用にも適している。

製品事例 No.36



ステンレススクリーン

メッシュアートシステム　すだれシリーズ　（小岩金網 http://www.koiwa.co.jp/）

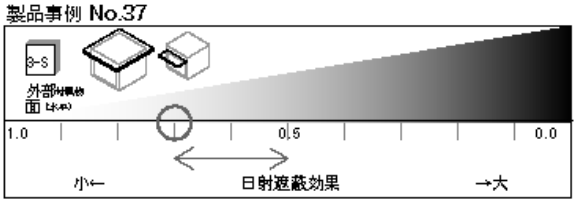


出典：小岩金網ホームページ

モダンな空間を演出する
すだれの新しいカタチ

ステンレスを用いて、すだれを現代風にアレンジしたもの。
9種類の網目によって建物をソフトにもハードにも演出する。

製品事例 No.37



アルミ製庇

ギトラアルミタイプ　（デバイス　http://www.device-inc.com/）

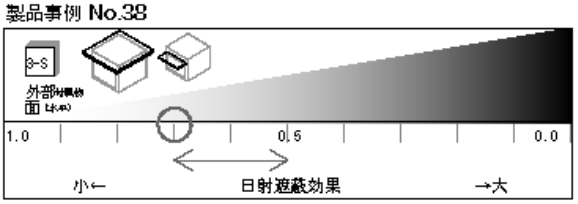


出典：デバイス商品カタログ

無駄を一切省いた
軽やかなアルミ製庇

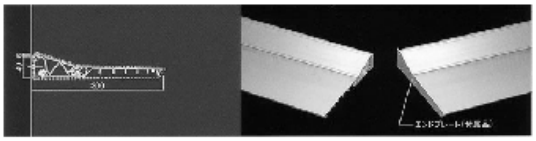
支持材、間材、特別材材料の3種の部材のみで構成されたシンプルなアルミ製庇。
ほとんどの加工、組み立てを工場で出荷するため、現場での施工が容易で、
既存建物への後付けも可能。D300×W1000mmの場合、￥40,000。

製品事例 No.38

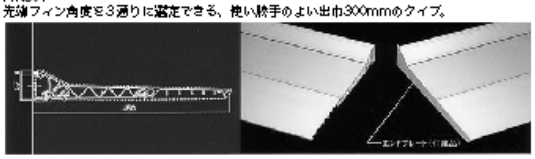


アルミ製庇

インターバイザー　アルミ形材製角度選定式庇　FINシリーズ（インターライト　http://www.intalite.co.jp/）



FIN301
先端フィン角度を3通りに選定できる、使い勝手のよい出巾300mmのタイプ。



FIN451
先端フィンは下から見上げたときのデザインにもこだわったシャープな形状を採用。

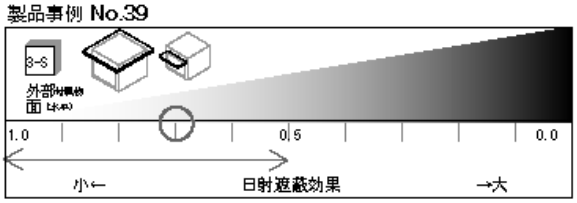
出典：インターライトホームページ

フィンの傾斜角度が選べる
アルミ形材製角度選定式庇

最大出巾が300mmと450mmの角度選定式アルミ庇。
接合部の選定角度が豊富なため、設置する地域の日射角度に対応した
最適な庇の傾きが得られる。
庇の傾斜をきつくすることで西日の遮光や輝雲を防ぐ効果も得られる。

図 6.5.10　製品事例

製品事例 No.39



オーニング

エルパティオ（テンパル http://www.tenpal.co.jp/）

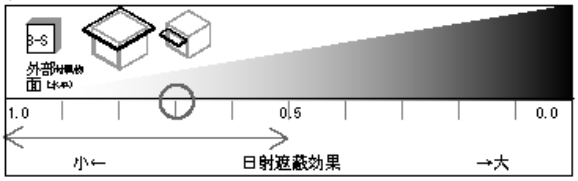


出典：テンパルホームページ

窓先空間にも涼感を与える
大型オーニング

最大で２０００ 伸ばせることで屋外にも快適な生活空間をつくり出せる。
出幅が大きいながらも小さく納まり、後付けしても違和感が少ない。
キャンバス地のカラーも豊富。

製品事例 No.40



オーニング

オーニングソラータイプ 宇部興産ハウジング http://www.ush.co.jp/）

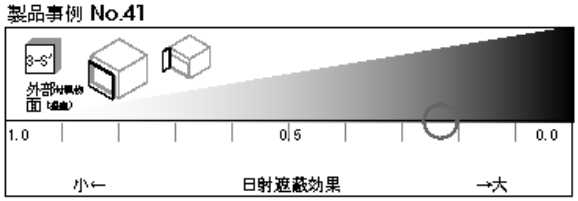


出典：宇部興産ハウジングホームページ

天候に合わせて
傾斜角度を変更可能

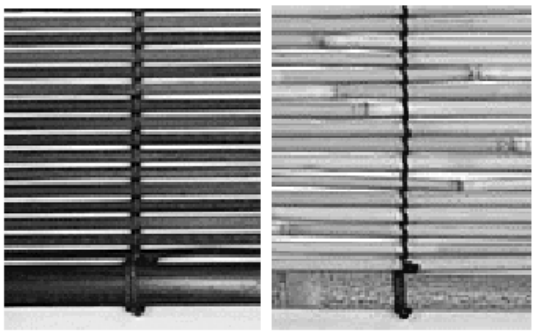
両脇の可動アームを上下することで、季節や天候に合わせて出幅と傾斜角度を
調節できるオーニング。

製品事例 No.41



すだれ

軒掛用京すだれ（京すだれ 川崎 http://www.kyo-sudare.com/）

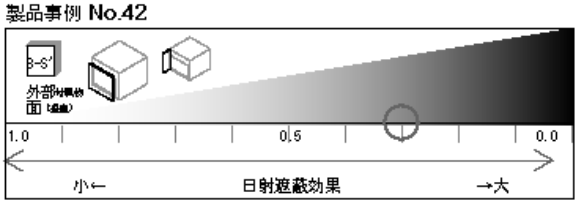


出典：京すだれ川崎ホームページ

日本のすだれは
今なお優秀な遮光部材

情緒漂う自然素材の風合いが魅力。
ベランダなどで活用できるあおり止め金具もある。

製品事例 No.42



アルミ製シャッター

アルラックス（黒崎鉄工 http://www.kurosaki.co.jp/）



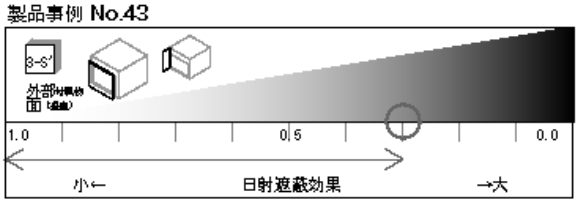
出典：黒崎鉄工ホームページ

断熱材を充填した
アルミシャッター

発砲ウレタンを充填してある製品で多重ラック焼き付け塗装により
優れた耐候性は、耐久性がある。

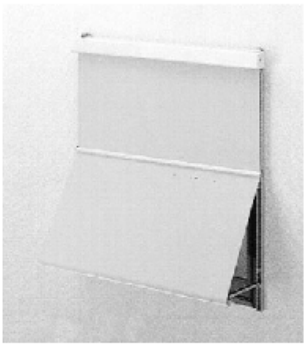
図 6.5.11 製品事例

製品事例 No.43



外付けロールスクリーン

ニューホームウィング（ヨコク興販　http://www.fullness.ne.jp/）

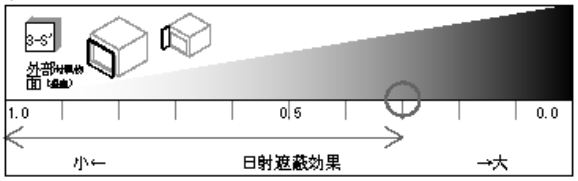


出典：ヨコク興販ホームページ

目隠しをしながら
通風を確保

下部を開くことができるので、スクリーンを下げながら窓を開けて通風を確保できる。

製品事例 No.44



外付けロールスクリーン

プレシェード（トステム　http://www.toetem.co.jp/）

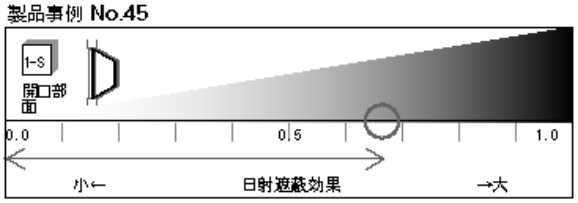


出典：トステム商品カタログ

現代版すだれ
屋外用ロールスクリーン

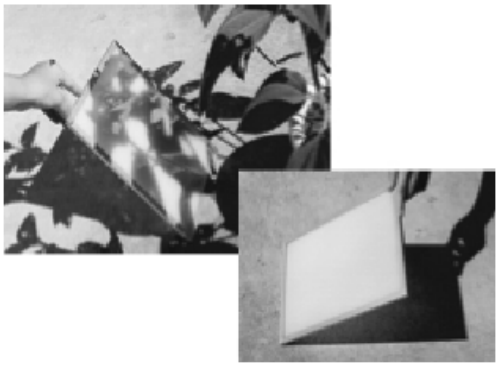
引き違いサッシュ専用の日除けスクリーン。
既存住宅への対応にも適した、開閉自在の外付けタイプ。

製品事例 No.45



自律応答型調光ガラス

自律応答型調光ガラス（アフィニティー　TEL03-5390-0911）



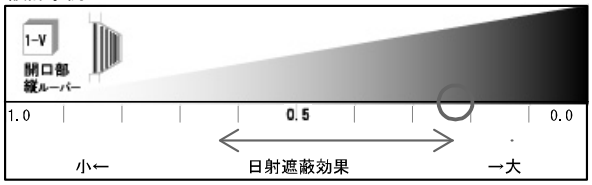
写真提供：アフィニティー

太陽エネルギーで自律的に可変する
「生きたガラス」

季節や天候などの自然環境に応じた日射のエネルギーで可変し、日射を自然に遮光する。
「生きたガラス」とも言える新しい概念の建築材料。

図 6.5.12　製品事例

設計事例 No.1



ダブルスキンの中に縦型ブラインド

松本市美術館/宮本忠長建築設計事務所
掲載誌例 新建築 2002年8月号

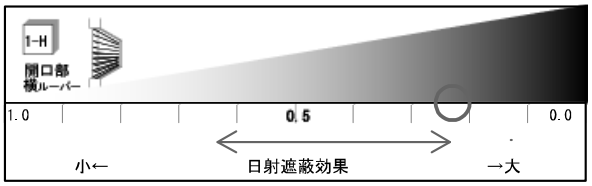


内観

セラミックプリントガラスのダブルスキンの間に縦型の電動ブラインド

吹き抜けのあるロビーの南面と北面開口部は、
外側をセラミックプリントを施した合わせガラス、内側を透明ガラスのダブルスキン。
ダブルスキンの中間層には、縦型の電動ブラインドが仕組まれている。

設計事例 No.7



角度を自動制御するブラインド

東京電力技術開発センター /第一工房
掲載誌例 日経アーキテクチュア 1997年5月19日

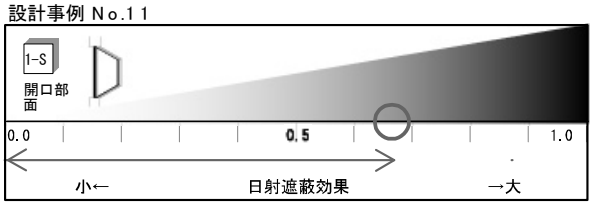


外観

ベンチレーション窓に内蔵されたブラインドは日射をもとに角度を自動制御

第一研究等の南側開口部にブラインド内蔵のベンチレーション窓を設置。
屋上に設置した日射計からのデータをもとに、3分ごとに角度を自動制御する。

設計事例 No.11



パンチングメタルのオーニング

新潟市民芸術文化会館/長谷川逸子・建築計画工房
掲載誌例 新建築 1999年1月号



外観

外観全景



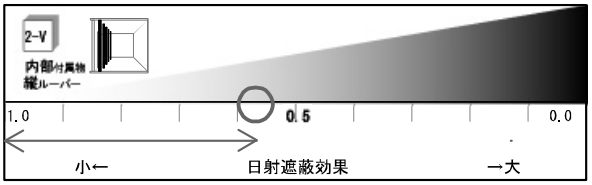


内観

DPG内部に設置されたオーニングで光と熱を制御する

オーニングを開放することで削減される照明エネルギーと、
空調エネルギーのトータルが最小となる開口状態を演算。
主に日中の日射による冷房負荷の増大、冬期夜間の冷輻射に対する効果を意図している。

設計事例 No.18



西面のカラフルな手動ブラインド

GSW管理本社 /ザウアーブルヒ&ヒュットン
掲載誌例 Glass & Architecture 2003年春号



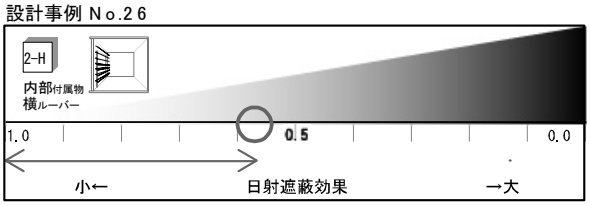
外観

ダブルスキンと手動ブラインドで窓まわりの熱負荷を抑える

ダブルスキンに西日よけのカラフルなブラインドを組み込んだ高層ビル。
ブラインドは手動になっていて、開閉のばらつきが建物に多様な表情を生む。

図 6.5.13 設計事例

設計事例 No.26



木製ブラインド

王子木材工業本社ビル／川村奈津子MDS一級建築士事務所＋森清敏
掲載誌例 新建築 2003年2月号

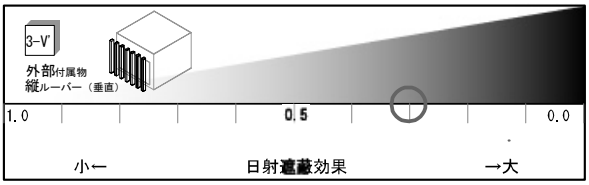


中庭側内観

中庭側の開口部に木製ブラインドを設置

ロの字型平面の事務所ビル。
中庭側の開口部には、角度調整可能な木製ブラインドを設置。
東側ファサードには、 FIXの複層ガラスの内側に上下にスライドする木製パネルを設置。

設計事例 No.40



木製縦ルーバー

地球環境戦略研究機関／日建設計
掲載誌例 新建築 2002年9月号



内観

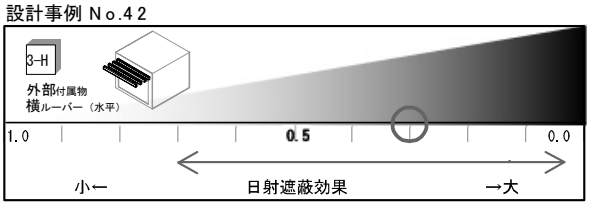


外観

西向きの恵まれた眺望を楽しみながら 快適な光だけを室内に取り込む

眺望の良い西側に面する研究スペースにライトシェルフと縦ルーバーを設置、
不快な西日はブラインドなしで遮られる。ライトシェルフに反射した光は、
欄間部の乳白ガラスから柔らかな拡散光として取り入れられる。

設計事例 No.42



アルミ製可動ルーバー

君津市保健福祉センターふれあい館 /坂倉建築研究所東京事務所
掲載誌例 新建築1999年4月号

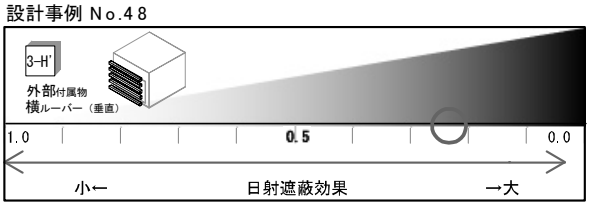


外観

太陽高度に合わせて調節可能な電動ルーバー

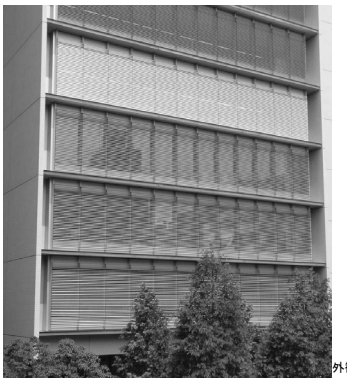
1スパン 9.45メートルの間に、電動式の稼働ルーバーを3セットずつ設置。
1～3セットを組み合わせ、部屋単位で連動し、開閉する。

設計事例 No.48



アルミ押し出し成形の電動ブラインド

日建設計東京ビル／日建設計
掲載誌例 新建築 2003年8月号



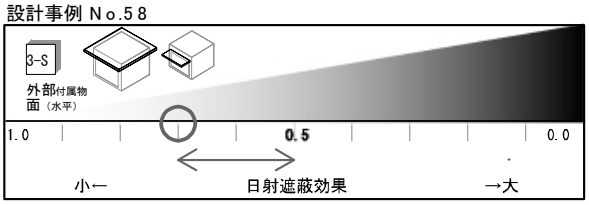
外観

太陽高度に応じて外ブラインドの角度を制御

ダブルスキンに西日よけのカラフルなブラインドを組み込んだ高層ビル。
ブラインドは手動になっていて、開閉のばらつきが建物に多様な表情を生む。

図 6.5.14 設計事例

設計事例 No.58



金属折板による屋根庇

高知・本山町の家 / 小玉祐一郎＋エステック計画研究所
掲載誌例 新建築住宅特集 2003年11月号

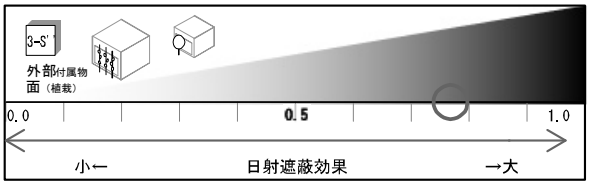

外観


内観

夏の日射遮蔽と冬の日射導入のバランスを考慮した屋根庇

南面大開口部の上部には、ガルバリウム鋼板の屋根庇がのびる。
庇の長さは、夏の日射遮蔽と冬の日射導入のバランスをシミュレーションにより検討し、屋外テラスの使い勝手なども考慮した上で決定している。

設計事例 No.64



夏の日射しを遮蔽するノウゼンカズラ

筑波の家/小玉祐一郎
掲載誌例 新建築住宅特集2001年12月号

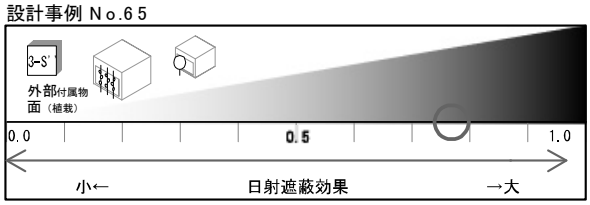

外観


内観

トレリスをつたうノウゼンカズラを自動の日射制御装置として利用

南側大開口の外側にトレリスを設置し、落葉の蔓性植物ノウゼンカズラをはわせている。
夏は繁茂し、冬は落葉する落葉樹の性質を、自動の日射制御装置として活用している。

設計事例 No.65



サンルームを覆う緑のスクリーン

近藤部/村田靖夫建築研究室
掲載誌例 住宅建築 2001年12月号

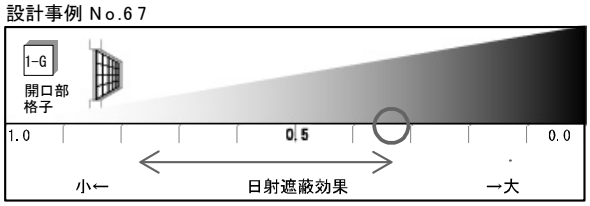

外観


内観　外観

サンルームの外側にトレリスを設置し、植物をはわせて緑のスクリーンに設えた

リビング南側に設けた2層吹き抜けのサンルームの窓外にトレリスを設置。
ノウゼンカズラやツキヌキニンドウ、ウキツリボクなどをはわせ、
色とりどりの植物をスクリーンとして設えた。

設計事例 No.67



デイライトグリッドシステム

ハノーバーメッセ 26号棟展示場/トーマス・ヘルツォーク
掲載誌例 THOMAS HERZOG ARCHITECTURE & TECHNOLOGY


内観

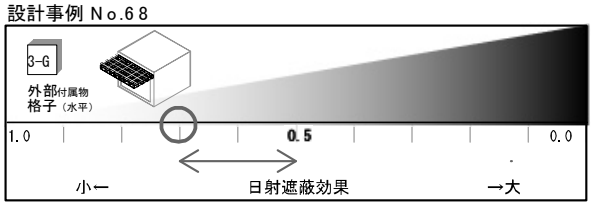

内観詳細

アルミでコーティングされたグリッドシステムで直射光を遮蔽

2枚のガラスの間にプラスチックのフィンを挟み込み、直射光はフィンで反射させ、
拡散光のみを室内に取り入れる。

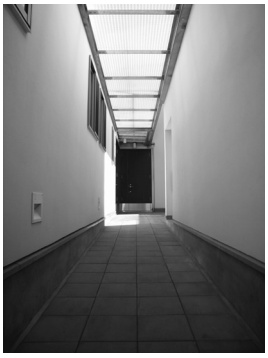
図 6.5.15　設計事例

設計事例 No.68



FRP製グレーチングの庇

日傘の家/大沢良二＋エステック計画研究所
掲載誌例　住宅建築2005年4月号



1階外観

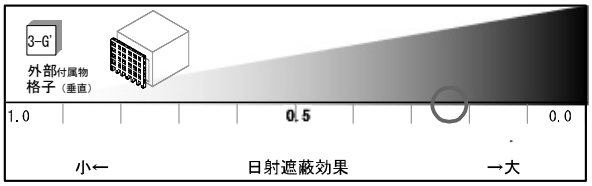


2階外観

アウトドアデッキへのブリッジも兼ねた FRP製グレーチングの庇

1階寝室の窓外に設けたアプローチ通路の上部には、
FRP製のグレーチングが架かり、格子の隙間からやわらかな光を落とす。
2階レベルでは、庇は居間からデッキへ渡るブリッジの床になっている。

設計事例 No.69



遮光発電ルーバー

糸満市庁舎/日本設計
掲載誌例　日本建築学会総合論文誌第1号

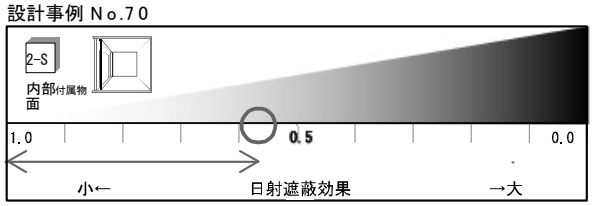


外観

遮光発電ルーバーで建物を覆い、巨大な軒下空間をつくる

遮光ルーバーによる巨大な軒下空間は、沖縄の伝統的な建築形式アマハジ（雨端）に由来。
方位ごとに形状の異なるルーバーを設置して亜熱帯の強烈な日射を遮蔽しながら、
太陽光発電によるアクティブな創エネ手法も加味している。

設計事例 No.70



不織布のスクリーン

相模原の住宅/野沢正光建築工房
掲載誌例　新建築住宅特集 1993年7月号

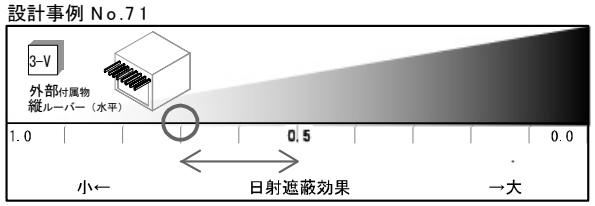


内観

冬期の冷輻射防止を考慮した不織布のスクリーン

木製サッシュ複層ガラスの大開口の内側に不織布のスクリーンを設置。
内部の空気層が断熱効果を発揮し、冬期の窓面からの冷輻射を抑える。

設計事例 No.71



コンクリートのルーバー庇

名護市庁舎/象設計集団＋アトリエモビル
掲載誌例　建築文化 1993年10月号



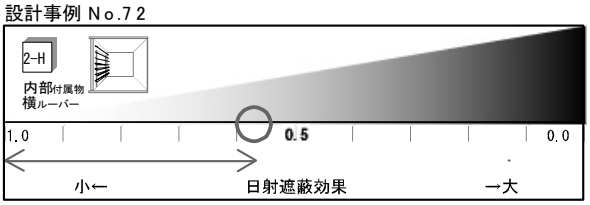
外観

アサギテラスに影を落とし風を通すルーバー庇

人々の憩いの場であるアサギテラスと呼ばれる屋外空間には、
コンクリートのルーバーが架けられており、亜熱帯気候の強い日射しを遮る。

図 6.5.16　設計事例

設計事例 No.72



アルミ製ブラインド

水戸八幡町の家/小玉祐一郎＋エステック計画研究所
掲載誌例 新建築住宅特集 2000年6月号



外観

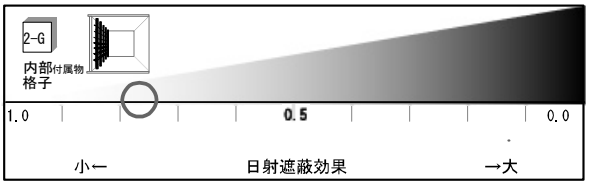


外観

吹き抜けの高窓に設けたブラインド

密集した市街地という敷地条件ゆえ、
1階のリビングの吹き抜けに設けた大きな高窓を設主要な採光面としている。
高窓の内側にはアルミ製のブラインドが設けてあり、キャットウォークから操作する。

設計事例 No.73



引込み格子網戸

親綠住居/村田靖夫建築研究室
掲載誌例 新建築住宅特集2001年12月号



外観

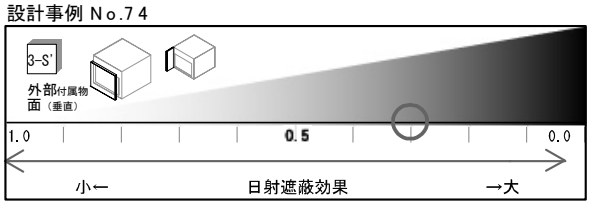


外観

網戸も付いた防犯用の引込み格子戸

アルミサッシの内側に設けた木製の格子戸。通風換気用に網戸が付いている。
格子は防犯の役も担い、夜間でも外側のサッシを開放できる仕組み。

設計事例 No.74



ウインドウシャッター

野川エコヴィレッジ /エステック計画研究所
掲載誌例 建築知識 ・2004年9月号



外観



外観

採光・換気を自在に操るシャッター

塀のないオープンな外構とした戸建て住宅の1階に、防犯性も兼ねて設置したシャッター。
スラット間に通気孔（スリット）が設けてあり、シャッターを降ろした状態で
も採光や換気が思いのままに操れる。

図 6.5.17 設計事例

図版カラー再掲

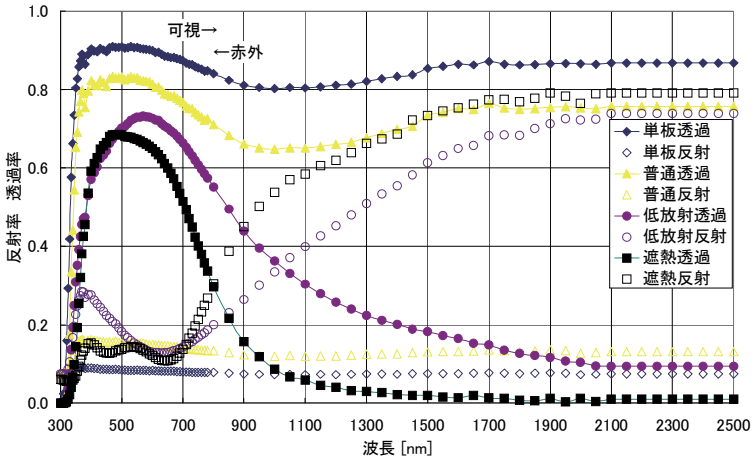


図 6.1.2 各種ガラスの分光特性（p.449）

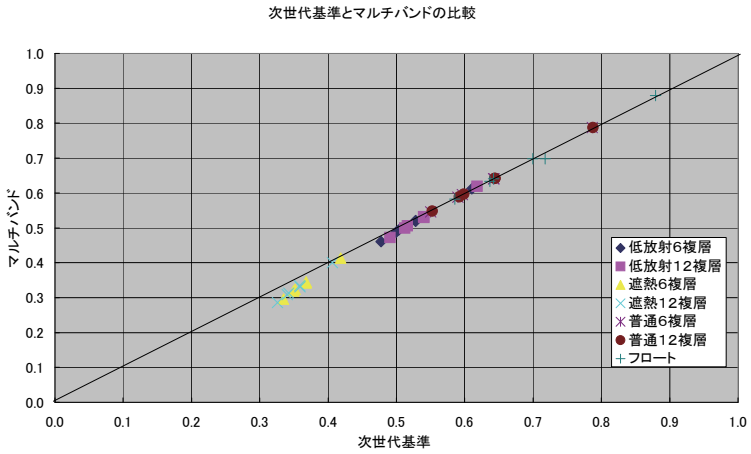


図 6.1.3 分光と波長平均での比較（p.449）

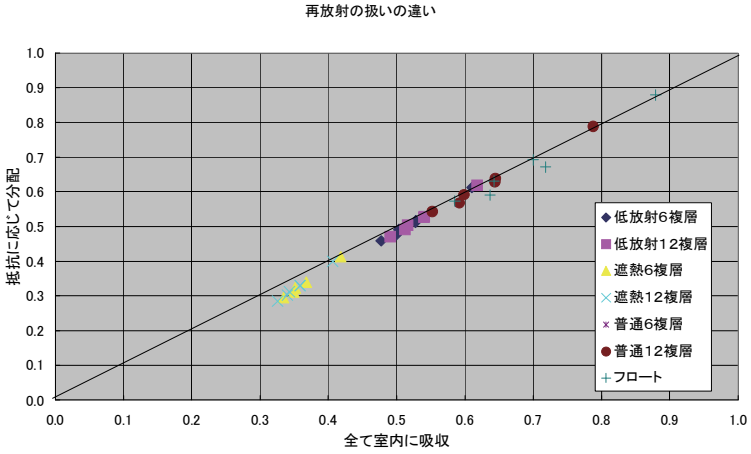


図 6.1.4 再放射等の扱いによる比較（p.449）

第7章 資源循環システム（Ａ９）

7.1 はじめに

7.1.1 研究目的

本研究は、環境負荷削減型住宅の計画・設計に寄与できる水・ごみ系の要素技術を、一般にいわれる 3R(Reduce ,Reuse ,Recycle)の観点から提案し、それらの技術的な有効性と評価方法の検討を行うことを目的としたものである。図 7.1.1 に戸建て住宅を対象とした水・ごみ系での負荷削減技術の研究に関する概念図を示す。研究対照した内容は、(1)節水型機器・生ごみ処理機器の負荷削減と経済効果の検討、(2)水資源を有効利用した屋上緑化に関する検討、(3)浄化槽利用による資源循環システムの開発検討、以上の 3 テーマとする。テーマごとに WG を発足させ研究を実施した。それらの検討概要を以下に述べる。

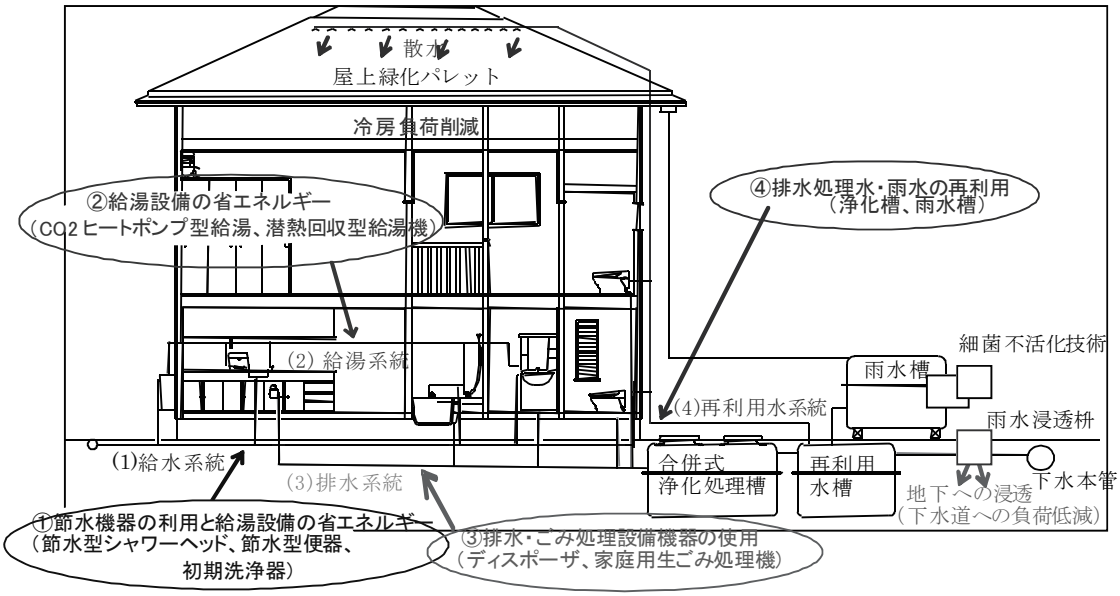


図7.1.1 水・ごみ資源循環システムの要素技術概念図

1) 研究テーマ別検討内容の概要

(1) 節水型機器・生ごみ処理機器の負荷削減と経済効果の検討

a 節水型機器

節水型機器の性能評価に関しては、2000 年度を目安に一般に普及されていた水まわりの衛生機器をベースとし、2004 年度での最新型の節水・省エネルギー型機器の仕様に取り替えることによる環境負荷削減効果、経済効果について検討する。

そのためには、機器本体の水消費原単位、生活者の水使用行為と機器使用頻度、使用回数などのデータを収集する必要がある。

用回数などのデータを収集する必要がある。そこで過去に東京都水道局の実施した水使用調査の結果をベースに、空気調和衛生工学会、建築学会などの既往論文で報告されている数値データ、メーカー提供データなども加味し、水使用量、消費電力量、ガス使用量、CO_2、コストなどの削減効果を試算し定量的に把握する。対象家族の構成は、大人２名、子供２名の４人家族とした。実際に、検討した衛生機器は、トイレでは便器、温水洗浄便座、浴室ではシャワー、水栓、台所では食器洗浄機、ユーティリティーでは洗濯機などでの水消費に関する検討を行った。また、住宅での消費エンルギーの 3～4 割を占める給湯機器に関しては、その性能が大きく左右に影響するため従来型に加え、熱効率の高い潜熱回収型を採用した場合でも試算した。上記、調査を実施した中で、特に生活行為による影響を受けやすく、また、用途別水量使用の中でも占める割合も高い台所での水供用に注目し、食器洗いによる水消費を食器洗い乾燥機に替えた場合の節水効果を比較するために実在住戸での使用水量調査も実施した。

b 生ごみ処理機器

都心部で下水道整備がなされている地域に建つ住宅での家庭用ごみの処理方法には、図 7.1.2 のように①従来のごみ処理収集車による回収と、その後の焼却を行う従来のごみ処理方式（以下従来処理方式）を基準に、②コンポスト、③家庭用生ゴミ処理機、④ディスポーザ排水処理システムなその処理方式が考えられる。各処理方式でのコスト及びCO_2排出量を、既往研究より得られている原単位データを用い算出して結果を感度分析した。その結果、各方式の特徴や各方式の適用地域などについて検討をする。

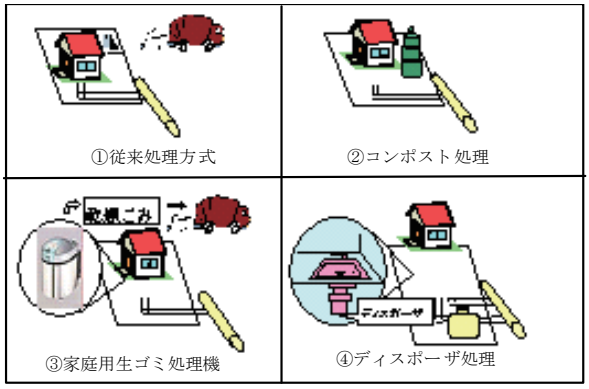


図7.1.2 家庭用生ごみの処理方法
（下水道整備地域）

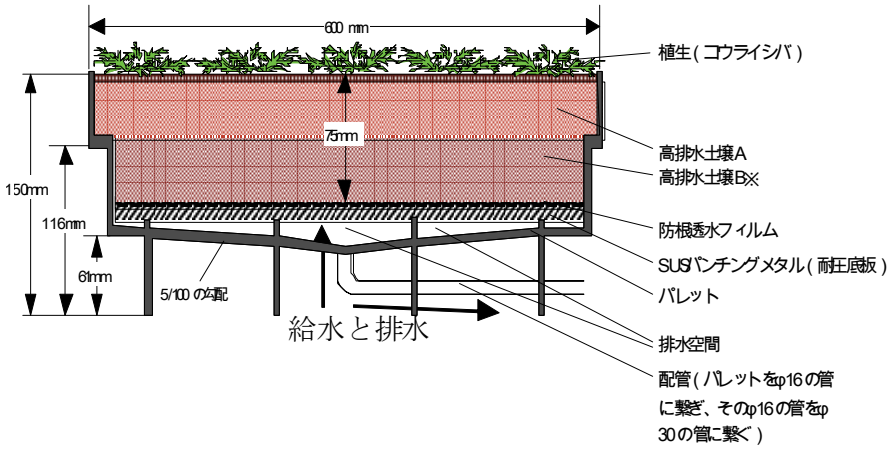


図7.1.3 底面潅水式緑化パレット断面

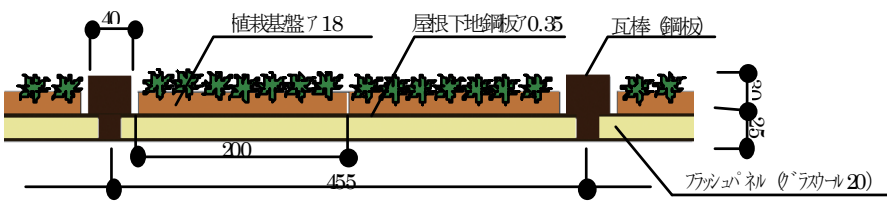


図7.1.4 平面パネル式緑化パレット断面

(2) 水資源を有効利用した屋上緑化に関する検討

雨水や浄化槽処理水などの住宅で取得できる水資源の他用途、リサイクル率は20％程度が限界と見なされる。ここでは、その知見を踏まえ、水資源を多用途にも使用しリサイクル率を高める検討を実施した。その一つに、屋上緑化への利用がある。

今回は、一例として図 7.1.3、図 7.1.4 に

示す屋根緑化パレットを用い、それに雨水、浄化槽処理水の散水し、建物内の冷房負荷削減を行うこと、都市のヒートアイランド抑制を行うこと、膜処理浄化槽処理を併用することによる窒素･リン富栄養化問題の改善効果を確認することなどを目標として以下の内容について実施した。

a 屋上緑化利用水の安全性評価

雨水や再利用水を屋根に散水する上で問題になるのは水質の安全性で、それらの水質調査を行った。特に、一般細菌、大腸菌群、設備系の人工水(循環水)で増殖しやすいレジオネラ属菌、従属栄養細菌について、その発生要因と抑制手法について調査検討した。中でも給湯水や空調用冷却水での発生が危険視されているレジオネラ属菌について、緑化利用の中での増殖原因とその抑制方法について、塩素殺菌、紫外線照射、フィルター型の除菌装置を用いてその効果を検討した。



図7.1.5 除菌装置によるレジオネラ属菌の抑制

b 浄化槽処理水利用に関する水質・衛生学的評価

排水の衛生評価とその利用という観点から処理性能の高い膜処理浄化槽に注目し、ディスポーザ排水の膜利用浄化槽処理の可能性、処理水の屋上散水による水源確保とリサイクル率の向上、緑化植物への含栄養化問題の改善、細菌学的手法を用いた衛生評価、膜処理浄化槽と緑化システムの水収支算定などの項目について検討した。

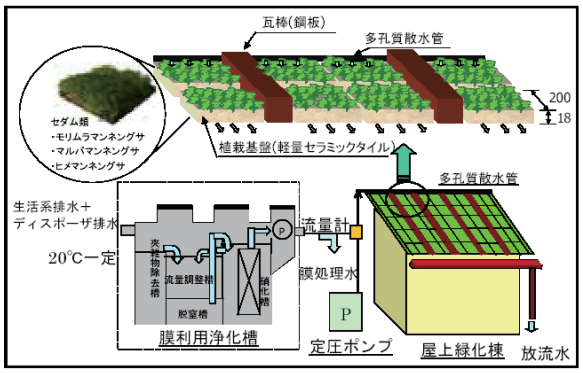


図7.1.6 浄化水処理水利用による緑化

c 屋上緑化における冷暖削減効果の検討評価

2 種類の屋上緑化パレットについて、日射を受けた緑化材から蒸発潜熱の効果によってどれだけの水分蒸発が期待できるかが冷房時の負荷削減の大小を決定する要因となる。

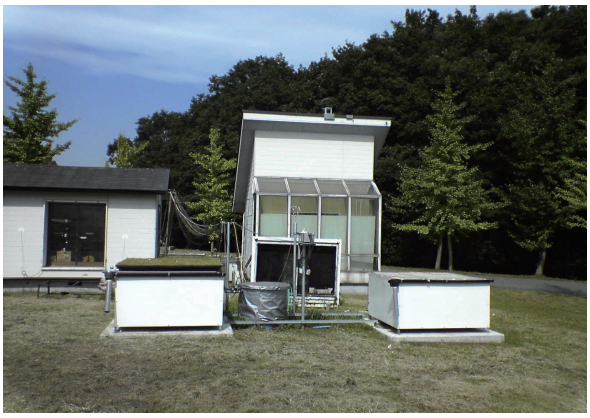


図7.1.7 底面潅水式緑化パレット設置状況

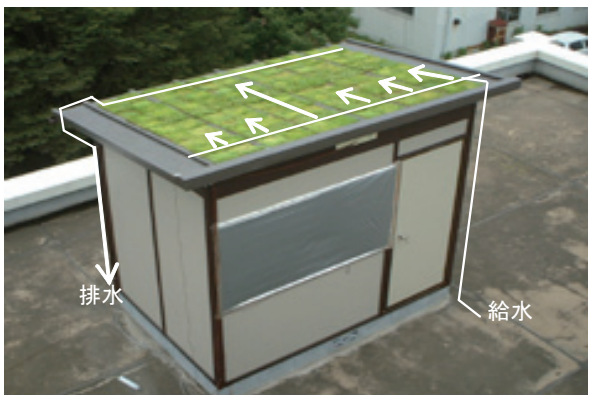


図7.1.8 平面パネル式緑化パレット設置状況

本研究では、そのファクターの一つとして物質移動係数を定義し、それと日射量との

関係を明確にし、空調負荷計算用の気象データともリンクさせることができ、実際のモデル住宅を用いて熱負荷シミュレーションができるものとした。その結果を用い熱負荷削減量を試算した。

(3) 浄化槽利用による資源循環システム

以上、(1)～(2)の検討の結果に基づき、実際の住戸に浄化槽を利用した資源循環型システムを設置し、約6ヶ月間に渡る実測調査を行った。特に、ディスポーザ対応型浄化槽の水質、使用水量とリサイクル率、リサイクル水の水質、生ごみ発生量と汚泥(スカム)の処理(堆肥化まで)などに関して調べた。

(大塚　雅之)

参考文献

1)山海敏弘他:資源循環型住宅システムの開発について一浄化槽地域の資源循環の可能性と評価(日本建築学会大会学術梗概集 p489～490、2002.8
2)梅原　他:同上一浄化槽地域の資源循環の可能性と評価(日本建築学会大会学術梗概集 p495～496(2003.9)
3)例えば東京都水道局:一般家庭水使用目的別実態調査、1997
4)節水等による水の有効利用、空気調和・衛生工学会シンポジウムテキスト、2001.1
5)同上 4).P.Ⅱ-62～64
6)宮道智嗣:パッシブクーリングに関する研究　屋上緑化の熱的検証と物質移動係数の算出、日本建築学会大会学術梗概集、2004.9
7)岡田誠之:節水住宅の開発と節水型トイレの普及と課題、第18回全国トイレシンポジウム トイレ・水循環シンポジウム、2002.11
8)豊貞佳奈子他、集合住宅用ディスポーザシステムの環境影響評価その 1. LCCO2,LCE 分析用原単位の設定、日本建築学会計画系論文集、第574号、2003
9)中村伸也他:資源循環型住宅システムの開発研究 その 6 雨水・再利用水の水質評価日本建築学会大会学術講演便概集 2004.8 P.525～526

7.2 節水機器・生ごみ処理機の負荷削減効果に関する研究（節水 WG）

7.2.1 水まわり、節水型機器の負荷削減、経済効果の検討

1) 整理解析法

節水、省エネ機器の環境負荷低減効果を算出するにあたっては、試算条件の設定が必要である。今回は日本全体に及ぼす効果を大枠で把握する為、メーカーの使っている試算条件をもとに、平均的な試算条件の設定に努めた。

試算条件の信頼性の確認については、東京都水道局調査をはじめ、関連する研究やガイドライン等をもとに検証を行った。

試算条件と検証結果については表 7.2.1、表 7.2.2 に示す。検証結果から、今回の試算条件設定の妥当性が確認できた。但しまだ湯水の使われ方で不明な部分が多く、試算条件をより確かなものにする為の調査が引き続き必要である。

表7.2.1 試算条件と検証結果1

■→設定値

☆→MAX値　△→MIN値
★→設定値　●→その他

	従来品	節水品	試算条件	関連する研究やガイドライン等をもとにした検証結果
大器器	■洗浄水量 13L ～99の主な便器洗浄水量:T社ﾃﾞｰﾀ HASS *4 20～12L 柳村他 *2 15L	■洗浄水量 大8L／小6L	<用便回数>■大1回／日 小3回／日 （外で3回とする） 紀谷 *1 大1.1回／日、小4.9回／日 柳村 *2 大1.3回／日 小5.43回／日(男) 大＋小6.49回／日(女) 夜～朝 大1.12／日 小2.97／日(男) 大＋小4.14／日(女) 泌尿科ﾃﾞｰﾀ:成人男性小便回数 Max6回／日	<使用水量> 大便 ☆ 1.3回／一 ● 1.1回／日 ★△ **1.0回／日** 小便 ☆ 6.0回／日 ● 5.43回／日 △ 4.9回／日 外出先で3回とすると ★☆ **3回／日** △ 1.9回／日 ※WLの洗浄水量は、影響が小さいので考慮しない。
シャワー	一般シャワー	手元スイッチ付節水シャワー サーモ水栓 <手元ｽｲｯﾁの効果> 節水率20% <節水ｼｬﾜｰの効果> 節水率15%	<ｼｬﾜｰ回数> ■毎日1回 紀谷 *1 夏:男5.1／5.7 女5.3／5.7 冬:男1.1／5.5 女1.2／5.5 （シャワーのみ／入浴回数） BL *10 入浴日数(シャワーのみ＋風呂):7.5回／週 <ｼｬﾜｰ時間> ■手元ｽｲｯﾁなし 5分／人・日 手元ｽｲｯﾁ付 4分／人・日(20%削減) BL *10、1／3の人がｼｬﾜｰの出しっぱなし 近藤他 *5 22.2%～35.6%節水(手元ｽｲｯﾁの効果) <ｼｬﾜｰ流量> ■一般10L／min 節水8.5L／min(15%削減) 近藤他 *5:節水8.2～9.2 一般10.7～11.9L／min 給湯設備の基礎知識 *8 8.5～8L／min <ｼｬﾜｰ使用湯量>（確認用） 紀谷 *1 25L／日 柳村 *2 40L／回 HASS *4 20～60L／回 羽田野 *7 ｼｬﾜｰ53.3L／回 風呂有りの時39.8L／回 BL *10 47.3L／日 （ｼｬﾜｰ53.3L 風呂4.9L） <湯温> ■42℃(オールシーズン) 夏 冬 HASS *4 37～40℃ 39～42℃ 給湯設備の基礎知識 *8 40.5℃	<ｼｬﾜｰ回数> ☆ 7.5回／週 ★ **7回／週** △ 5.7(夏)、5.5(冬)回／週 ←入浴回数＝ｼｬﾜｰ回数とした <ｼｬﾜｰ使用湯量>＊ｼｬﾜｰ時間×流量で算定 従来★5分×10L／min＝50L ↓ ×10.7～11.9＝53.5～59.5L 節水★4分×8.5L／min＝34L (3.89分～3.22分)×(8～9.2)＝25.8～35.8L 従来品 ☆ 59.5L／回 ● 53.5L／回 ★△ **50L／回** 節水品 ☆ 35.8L／回 ★ **34L／回** △ 25.8L／ <湯温> 42℃ 40℃ HASS冬 HASS夏 39℃ ●40.5℃ 37℃ ★☆ **42℃** △ 37℃

表7.2.2 試算条件と検証結果2

■→設定値

☆→MAX値　△→MIN値
★→設定値　●→その他

	従来品	節水品	試算条件	関連する研究やガイドライン等をもとにした検証結果
風呂	定量止水無し バス水栓	定量止水付 バス水栓 <定量止水の効果> 定量止水機能なし 捨て水4.5m3/年 (T社調べ) が削減される	<湯量> ■150L(満水200Lの80%弱と設定) 紀谷 *1 200L 柳村 *2 130L HASS *4 100L～160L BL *10 8分目までお湯はり→81% 半分くらいお湯はり→16% <お湯はり日数>■365日 紀谷 *1 夏:男5.7(0.6)／週 女:5.7(6.4)／週 冬:男5.5(4.4)／週 女5.5(4.3)／週 <湯温> ■42℃(オールシーズン) 夏 冬 HASS *4 39～41℃ 41～43℃ 給湯設備の基礎知識 *8 40.5℃ <お湯の取り替え頻度> (参考) BL *10 毎回50%、2回に1回33%、それ以下17%	<湯量> ● 200L 160L HASS ● 130L 100L ☆ 200L ★ 150L △ 100L <お湯はり日数> ★ 365日／年 △ 292日／年 浴回数 平均5.6日／週より <湯温> 43℃ HASS冬 41℃ 41℃ HASS夏 39℃ ☆ 43℃ ★ 42℃ △ 39℃
キッチン	手洗い(食器洗い) 東京都水ﾃﾞｰﾀ 200L／日 →66.67L／回 日本電気工業会 自主基準 ■66L／回 (4人、食器24点) 近藤 *12 33L(4人)	食器洗い乾燥機 ■10L／回 T社 EUD500	<使用条件> ■1日3回使用 <湯温> ■40℃ HASS *4:36～41℃	<使用水量> 手洗い ☆★ 66L／回 △ 33L／回 食洗機 △ ★ ☆ 10L／回 <湯温> ☆ 41℃ ★ 40℃ △ 36℃

2) 各種衛生機器での効果検討

効果の検討にあたっては一般家庭(4 人家族)をモデルに、水まわりの衛生機器や温水洗浄便座、水栓金具、洗濯機などを、2000 年度の一般的な水まわりの器具をベースとして、2004 年度の最新型の節水、省エネ型の器具に取り替え、更に食器洗い乾燥機を導入することで得られる環境負荷低減効果及び、経済効果について試算した。

試算値の信頼性を確認する為、関連するさまざまな研究報告などに基づく計算値の最大値、最小値と、今回の計算結果を表 7.2.3～表 7.2.7 に示した。結果、今回の計算値は他の研究報告などによる計算値とほぼ近似しており、信頼性は高いといえる。(用いた原単位は表 7.2.8 参照)

しかし、食器洗い乾燥機の節水・省エネについては、更に台所におけるさまざまな行為を正確に分析しないと正確な数値は出すことが出来ない。今回の計算結果では、食器洗いに関する効果が CO_2削減効果において約 40%を占めており、水まわりトータルの環境負荷低減効果を考える為、更なる調査・分析が必要と考える。

(1) トイレ

便器の節水効果により、大幅な節水が可能。また、温水洗浄便座による節電効果により大幅な節電が可能。以上を合わせて年間 110kg-CO_2 の削減、15465 円のランニングコスト低減に寄与することがわかった。

(2) 浴室

シャワーを節水タイプにし、定量止水機能によりお湯はり時の無駄水を防ぐことで、節水だけでなく、給湯負荷の低減により大幅な省エネ

表7.2.3 効果検討結果（トイレ）　（■MAX値、▲MIN値）

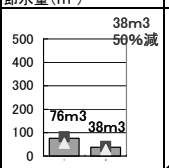
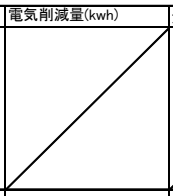
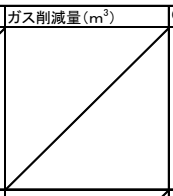
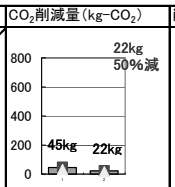
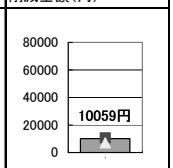
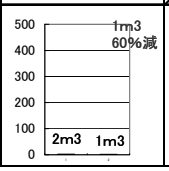
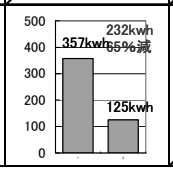
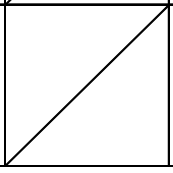
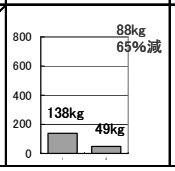
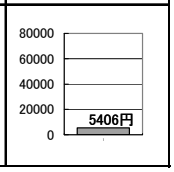
	使用器具		年間削減量、削減金額				
	従来型	節水器具	節水量(m^3)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m^3)	CO_2削減量(kg-CO_2)	削減金額(円)
便器 	洗浄水量13L/回 ※グラフの 左側:BEFORE 右側:AFTER	洗浄水量 大‥‥‥ 8L/回 小‥‥‥ 6L/回 ※大小洗浄 切替機能付					
温水洗浄便座 	洗浄水量 おしり0.4L/回 ビデ0.5L/回 消費電力0.978kwh/日	洗浄水量 おしり、ビデ 0.175L/回 消費電力 0.343kwh/日 ※節水・節電機能					

表7.2.4 効果検討結果（浴室）　（■MAX値、▲MIN値）

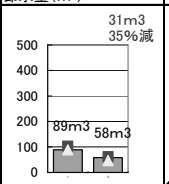
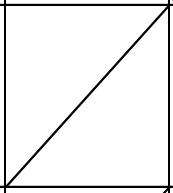
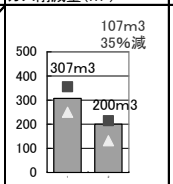
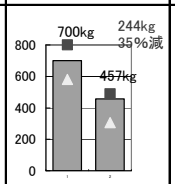
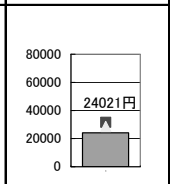
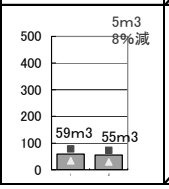
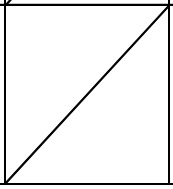
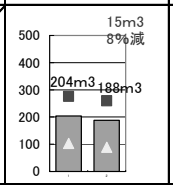
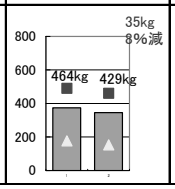
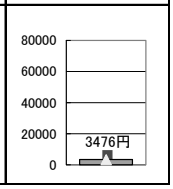
	使用器具		年間削減量、削減金額				
	従来型	節水器具	節水量(m^3)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m^3)	CO_2削減量(kg-CO_2)	削減金額(円)
シャワー  	一般シャワー手元ー時止水なし2ハンドル水栓 ※グラフの 左側:BEFORE 右側:AFTER	節水シャワー 手元スイッチ付 サーモスタット水栓 節水シャワーの効果 節水率15% 手元スイッチ付 シャワーの効果 節水率20%					
浴槽 	定量止水機能なし 捨て水4.5m^3/年 浴槽水　150L	定量止水機能付 捨て水0 浴槽水　150L					

表7.2.5 効果検討結果（食器洗い）　（■MAX値、▲MIN値）

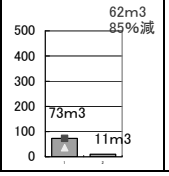
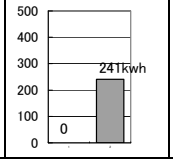
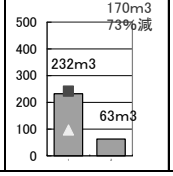
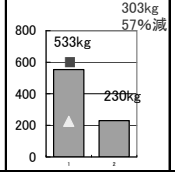
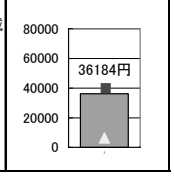
	使用器具		年間削減量、削減金額				
	従来型	節水器具	節水量(m^3)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m^3)	CO_2削減量(kg-CO_2)	削減金額(円)
食器洗い乾燥機 	洗浄水量(手洗い) 103L/回 ※グラフの 左側:BEFORE 右側:AFTER	洗浄水量(食洗機) 使用水量　10L/回 消費電力　0.22kwh/回					

表7.2.6 効果検討結果（洗濯）

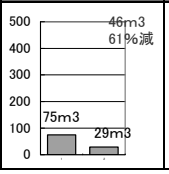
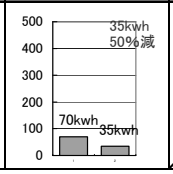
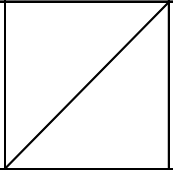
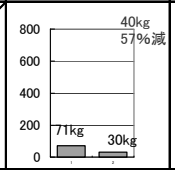
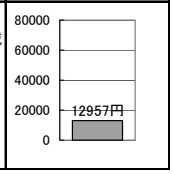
	使用器具		年間削減量、削減金額				
	従来型	節水器具	節水量(m^3)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m^3)	CO_2削減量(kg-CO_2)	削減金額(円)
洗濯機 	水使用量206L/回 消費電力70kwh/年 ※グラフの 左側:BEFORE 右側:AFTER	水使用量80L/回 消費電力35kwh/年					

表7.2.7 効果検討結果（合計）　（■MAX値、▲MIN値）

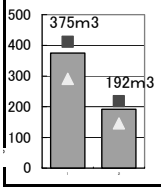
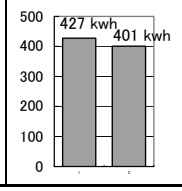
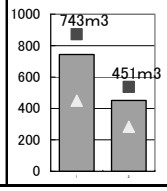
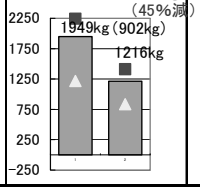
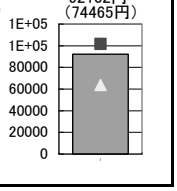
年間削減量、削減金額				
節水量(m^3)	電気削減量(kwh)	ガス削減量(m^3)	CO_2削減量(kg-CO_2)	削減金額(円)
※グラフの 左側:BEFORE 右側:AFTER 183m3 49%減	26 kwh 6%減	292m3 39%減	※(カッコ)内は 潜熱回収給湯 器の場合 733kg 38%減 (883kg) (45%減)	※(カッコ)内は 大阪の場合 92102円 (74465円)
				

表7.2.8 原単位一覧

・料金の原単位： 水道265円/m^3(大阪は180円/m^3)　ガス148円/m^3　電気22円/kWh
・CO2原単位： 水0.59kg-CO_2/m^3　ガス2.1084kg-CO_2/m^3　電気0.378kg-CO_2/kWh
・ガス給湯機は一般的な熱効率80％程度のタイプとした　潜熱回収給湯器の熱効率は95％とした

（ガスなどの燃焼の削減）になり、水とガスを合わせて年間 279 kg-CO_2 の削減、27497 円のランニングコスト低減に寄与することがわかった。

(3) 食器洗い

手洗いは多くの湯を使っていることが確認できた。食器洗い乾燥機を使えば、少ない水を循環させて効率的に食器を洗うため大幅な節水と省エネ（ガスなどの燃焼の削減）になり、水とガスを合わせて年間 303 kg-CO_2 の削減、36184 円のランニングコスト低減に寄与することがわかった。

(4) 洗濯

最新の洗濯機は、節電化も進んでおり、また、少ない水で効率的に洗うことができるので、節水が可能である。水と電気を合わせて年間 40 kg-CO_2 の削減、12957 円のランニングコスト低減に寄与することがわかった。

(5) 合計

以上の結果をトータルすると、家庭内の水まわり器具を節水型に替えるだけで、家1軒あたり年間使用水量を 183m^3 削減（49％削減）、給湯のためのガス消費を 292m^3 削減（39％削減）、CO_2排出量を 733kg- CO_2削減（水まわりから排出される CO_2を 38％削減）できることがわかる。また、同時に水道代、ガス代、電気代合わせて約 9 万 2 千円（東京）、約 7 万 4 千円（大阪）の節約になる。地域により節約金額が異なるのは、水道代の地域差によるものである。

節水器具に加えて、潜熱回収型の高効率給湯器を組み合わせることで、更なる省エネ効果が見込める（CO_2排出の削減効果が更に約 7 ポイント向上する）。

以上から、節水する事は水だけでなく給湯によるエネルギー消費についても同時に削減することができる為、大きな環境負荷の低減、ランニングコストの低減を実現することができるといえる。

3) まとめ

現在、最も問題視されている環境問題の 1 つに『地球温暖化』が挙げられる。地球温暖化の主な原因は、CO_2 の排出によるといわれている。水や湯を消費することで多くの CO_2 が排出されている。

一般的な4人家族の家庭についてみてみると、家庭から排出されるすべての CO_2 のうち水まわりの占める割合は実に約 40％になる。

現在日本全体で排出されているCO_2は年間 12.3 億tだが、その中で住宅からの排出は約 13％といわれている。つまり国内の CO_2 排出量の約 5％（13％中の約 40％が水まわりより）が住宅の水まわりから排出されていることになる。

今回の試算結果から、家庭の水まわりにおける節水化は、ひとつひとつの力は小さくても、水まわりトータルで節水器具を組み合わせることで、更に、広く普及させることで、水需要の大幅な抑制を可能にするだけでなく、同時に地球温暖化の主な原因であるCO_2の排出も低減する、より広範囲な環境保全効果のあるエコロジーな手段であることが確認できた。

今後、熱源の効率化にとどまらず、節水、省エネ機器の普及による環境負荷の低減に努めることで、大幅なCO_2排出低減の可能性があるといえる。

（山内　大助）

参考文献

*1)ミニマム水量に関する検討と提案/紀谷文樹
*2)器具の時系列的使用解析に基づく給水・給湯負荷計算方法の開発/村上三郎
*3)給水使用量の新しい計算方法の提案/柳村暁他
*4)HASS206-2000
*5)シャワーヘッド散水板の設計方法に関する研究/近藤武士他
*6)湯節約器具による省エネ効果の把握 進捗報告/近藤武士
*7)住宅用給湯設備の設計・評価方法に関する研究/羽多野由紀他
*8)給湯設備の基礎知識
*9)住宅の浴室からの廃熱利用に関する実態調査/菅原幸他
*10)住宅用給湯設備の設計・評価方法に関する研究 報告書 H13 年度版/ベターリビング
*11)住宅用給湯設備の設計・評価方法に関する研究 報告書 H14 年度版/ベターリビング
*12)食器洗いにおける省エネ効果把握実験/近藤武士

7.2.2 台所、流し周りでの節水効果（実住戸での使用水量調査）

1) 研究目的

近年、食器洗い乾燥機は住宅の高機能・多機能化のニーズに伴い、家事負担を軽減させる水まわり設備として普及が促進している。また、各食器洗い乾燥機メーカーもカタログ等において、食器洗い乾燥機の使用により、台所における水の使用量が大幅に削減されるとしてきた。しかし、これらは、手洗いのみの場合と、食器洗い乾燥機のみの場合の使用水量を比較したものであり、食器を食器洗い乾燥機にセットする前の段階での予備的な食器洗い(以下「予洗」という。)も含めた評価を行なっていない。また、一日に台所で食器洗いに使用する水量や、調理に使用する水量などの文献値は、その値の変動が大きく、定量に把握した知見は乏しい状態である。このため、本調査では、食器洗い乾燥機を有する家庭において、予洗が台所における水使用量全体に対して、どの程度の割合を占めるか把握すること、また、食器洗い乾燥機の使用回数について実測することを目的とした。

2) 文献調査

台所での一日使用水量や、食器洗いに関する既往研究の結果、及び各種メーカーによる食器洗い乾燥機の使用水量に関する文献調査をまとめ、それぞれ表 7.2.9～表 7.2.11 に示した。

表 7.2.9 より、台所全体での使用水量は文献値によりバラツキが見られるが、平均で39.2[L/人・日]程度である。本研究では４人家

表7.2.9 台所全体使用水量

文献No	使用水量[L/人・日]		
	平均	最小	最大
	文献値	—	—
1	52	—	—
2	39.8	—	—
3	13	9	17
4	51.9	—	—

表7.2.10 台所での食器洗いの使用水量

文献No	洗い条件	洗い方	使用水量[L/回]		
			平均	最小	最大
5	食器4人分(44点)	—	33.6	16.1	57.7
6	食器4人分(27点、箸含む)	—	22.4	—	—
	食器2人分(15点、箸含む)	—	16.9	—	—
7	食器35点	※1(流し洗い)	24.21	—	—
	食器40点		43.41	—	—
	食器35点	※2(溜め洗い)	20.34	—	—
	食器40点		22.53	—	—
8	食器4人分(44点)	—	33.6	—	—
		センサー止水	30.8	—	—
		足踏み止水	30.5	—	—
		シャワー吐水	20.2	—	—
		泡沫吐水	31.2	—	—
		冬季標準吐水	31.2	—	—
	食器6人分(66点)		47.6	—	—

・1.5 Lの湯に洗剤を入れ食器を洗った後、流水ですすいだ場合
・2.5 Lの湯に食器を3分間放置した後、湯を止めたなまま洗い、流水ですすいだ場合

族を対象としたため、一日の台所での使用水量は 156.8[L/戸・日]が目安となる。

表 7.2.10 より、従来の人による食器洗いに使用する水量は、食器洗いの数によりバラツキが生じるが、平均値で 29.2[L/回]程度、最大で 57.7[L/回]、最小で 16.9[L/回]となった。

表 7.2.11 に示した食器洗い乾燥機の 1 回あたりの使用水量は、洗浄モードによって異なるが、メーカー値、文献値の平均値が概ね 12.3[L/回]程度であることがわかる。よって、予洗いを考慮せず、食器洗い乾燥機のみで節水を考えた場合には平均値で 16.9[L]の削減になっていることがわかる。

しかし、実際には予洗いの水量が加算されるため、本研究では以降で予洗いの使用水量について調査した。

表7.2.11 食器洗い洗浄機の使用水量

機種 文献No.	食器洗いの条件 食器数[1回当たり]	使用水量[L/回]	引用
A社	55	11	各社カタログ
B社	50	12	
C社	52	10	
D社	60	10	
E社	60	11	
6	—	12.1	既往文献値
	—	12.9	
7	40点	13.6	
	35点	13.6	
	40点	16	
8	44点	12.5	
		11.6	
		12.0	
	66点	12.0	
		11.8	
		14.5	

3) 実測調査方法

(1) 調査住戸概要

調査住戸は 2 住戸とし、その概要と調査期間を表 7.2.12 に示す。

表7.2.12 調査住戸概要及び調査期間

対象住戸	住戸タイプ	所在地	家族構成	調査期間
A住戸	集合住宅	横浜市	4人 大人2名 子供2名	2004.9.4～10.3 （30日間）
B住戸	戸建て住宅	鎌倉市	4人 大人4名	2004.9.12～9.30 （19日間）

(2) 測定項目及び測定方法

測定項目は以下の5点とし、図 7.2.1 に計測システム及び測定点を示す。また、設置状況を図 7.2.2 の 1)～6)に示した。

a 測定項目

①水使用水量:流量計 FL-1 を設置し、台所流し(食器洗い乾燥機系統以外)における給水の使用水量を測定する。

②給湯使用量:流量計 FL-2 を設置し、台所流し(食器洗い乾燥機系統以外)における使用給湯量を測定する

③食器洗い乾燥機の使用水量:流量計 FL-3 を設置し、食器洗い乾燥機の使用水量と、使用回数を算出する。

④温度:流し台トラップ近傍に温度センサを設置し、排水温度の測定を行ない、給水・給湯の使用状況を把握する。また、外気温を測定するため、シンク外側にセンサを設置した。

⑤流し台における作業状況把握:USB カメラ設置を台所シンク上部に設置し、使用行為の判別及び使用時間などを確認する。

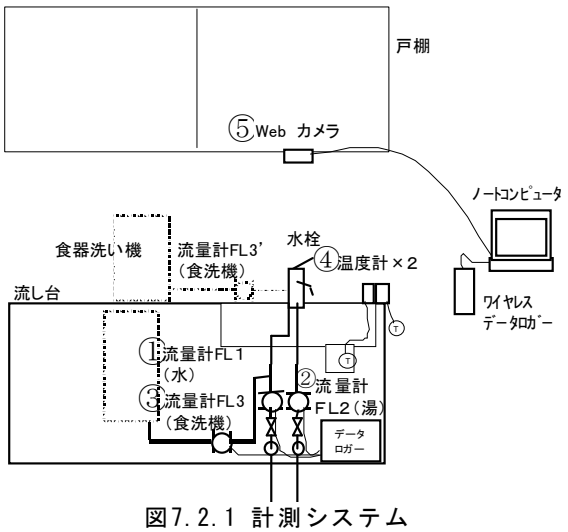


図7.2.1 計測システム

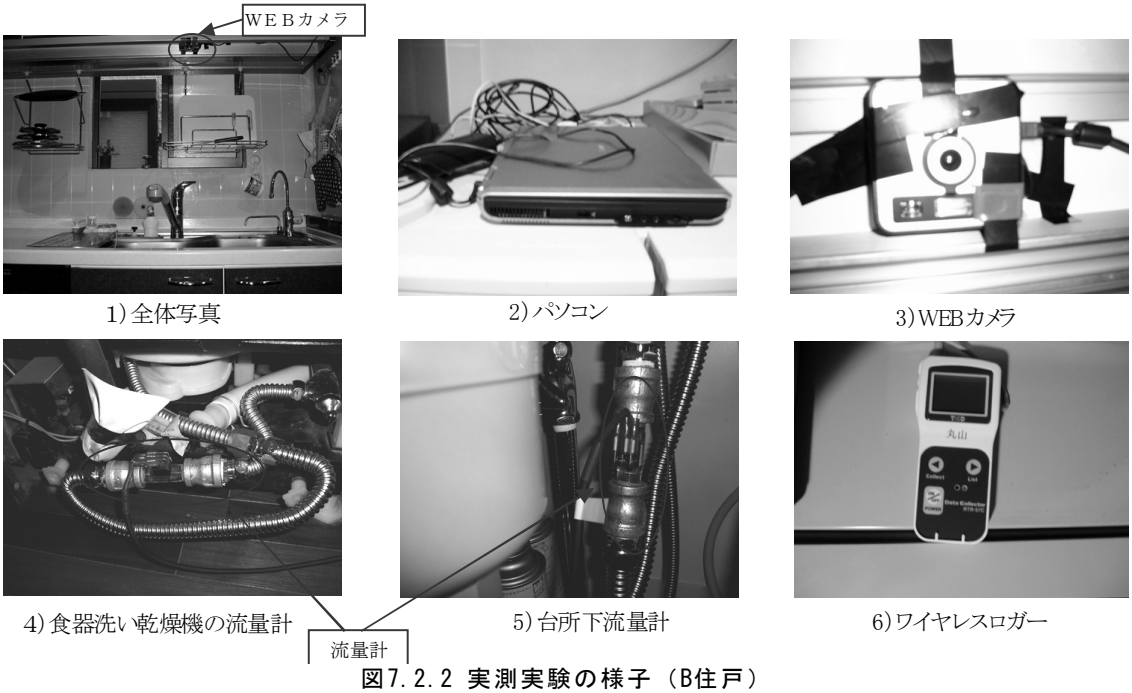


図7.2.2 実測実験の様子（B住戸）

4) 実験結果及び考察

(1) 台所流しにおける冷水使用量（食器洗い乾燥機系統以外）

図 7.2.3 に A 住戸における一日の給水(冷水)の使用変動を示した。また、B 住戸では、センサの故障により、データが検出出来なかった。同図より、一日の給水の使用パターンがわかり、ここでは朝、夜に集中して使用し、一日のトータル量は 32.1[L]となった。

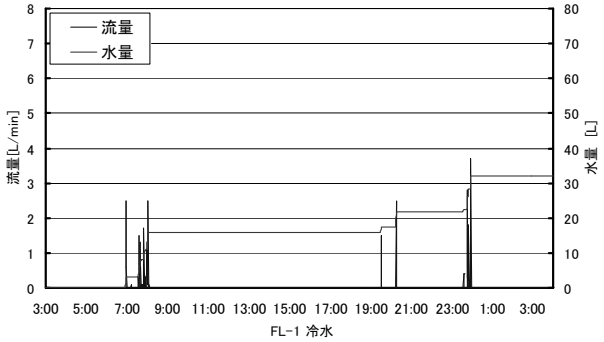


図7.2.3 冷水の使用変動例

次に、図 7.2.4 に測定期間中における一日の冷水使用量を示した。冷水を使用しない日を除いた平均では 38.8 [L/日](n＝21)を使用していることがわかる。但し、季節ごとの変動も影響すると思われるが、標準偏差が 17.6[L]程度もあり、変動が大きいことも確認できた。

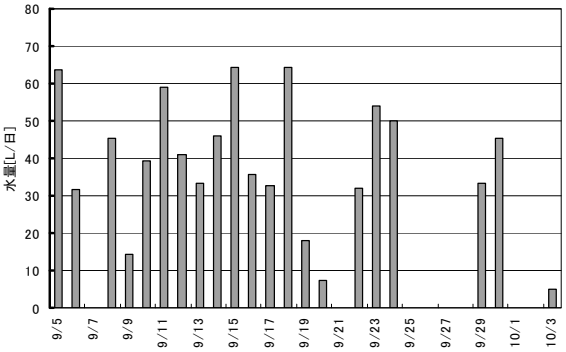


図7.2.4 冷水の一日使用量

(2) 台所流しにおける温水使用量（食器洗い乾燥機系統以外）

図 7.2.5 に A 住戸における一日の温水の使用変動を示した。同図より、測定実施日が夏季の為、一日の温水使用量も少なく、この時の一日の温水使用量は 2.8 [L]となった。

次に、図 7.2.6 に測定期間中での一日の温水使用量を示した。温水を使用しない日を除いた平均で 6.7[L/日](n＝18)となり、標準偏差は 6.28[L]程度となった。

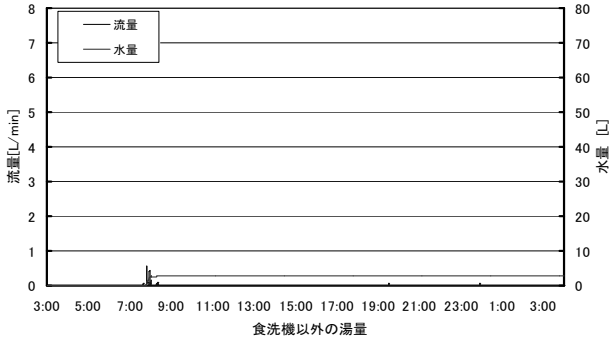


図7.2.5 温水の使用変動例

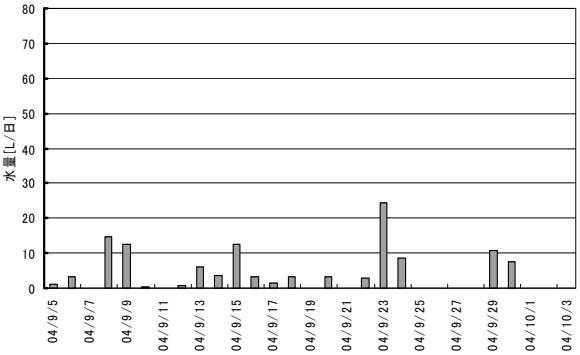


図7.2.6 温水の一日使用量

(3) 食器洗い乾燥機の使用水量及び使用回数

図 7.2.7 にA住戸における一日の食器洗い乾燥機の水量変動を示した。同図より、1 回の使用であれば概ね 12.9 [L/回]であることがわかる。上記の表 7.2.11 よりメーカーカタログ値等も 10～13[L/回]程度を標準値としているため、実測値の妥当性が確認できる。

次に、図 7.2.8 に測定期間中での一日の食器洗い乾燥機の使用量を示した。同図より、1日 1 回使用した日と2 回使用した日がわかる。期間中の一日平均は、1.5[回/日](n＝20)となった。

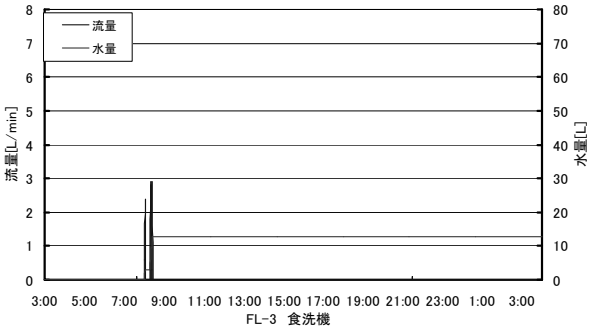


図7.2.7 食器洗い乾燥機使用変動例

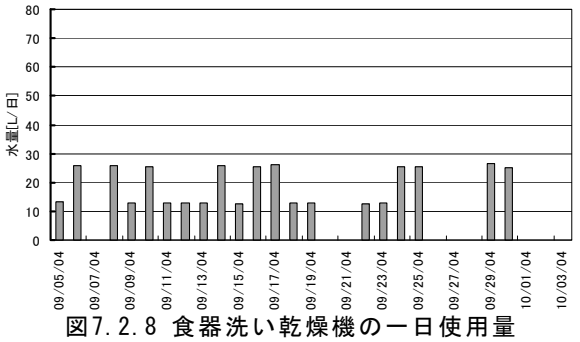


図7.2.8 食器洗い乾燥機の一日使用量

5) 予洗い使用水量の算出

以上の 1)～4)の結果より、食器洗いの予洗いに使用した水量を算出する。A住戸は、台所上部に設置した Web カメラから予洗いしている時間を読み取り、その時の水量を冷水及び温水の流量計のデータより算出した。

B 住戸は、冷水のデータが取れていないため、カメラから予洗いに使用した時間を読み取り、使用した時間に給水流量 6[L/min]を掛けて算出した。

(参考文献 [5]では、従来の台所での食器洗いの調査で、標準的な水栓を用いた場合の給水流量が 6.4[L/min]と報告されているため、今回は 6[L/min]とした)

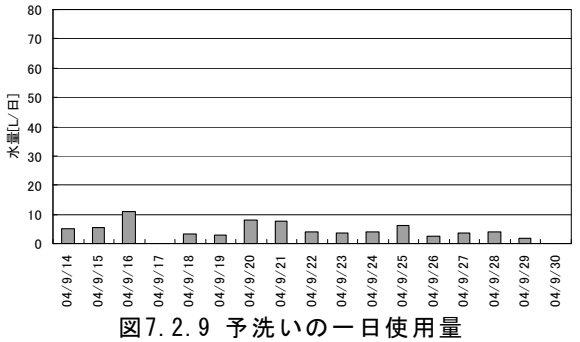


図7.2.9 予洗いの一日使用量

図 7.2.9 にB住戸における予洗いの一日使用水量を示した。同図より、予洗いをしなかった日を除く平均では 4.9[L/日]、A 住戸における予洗いの一日使用水量の平均(予洗いをしなかった日を除く)は 8.6[L/日]となった。A、B

住戸の予洗い平均は 6.8[L/日]となり、表 7.2.9 に示した文献値の台所で 1 日に使用する総使用水量の 6%程度であることがわかった。

また、表 7.2.10 の従来の食器洗いの使用水量と、実測における予洗い及び食器洗い乾燥機の使用水量の合計は、平均値で比較すれば後者の方が 9.5[L/回]程度節水されることがわかる。

6) まとめ

既往文献の調査より、従来の人による食器洗いの使用水量と、食器洗い乾燥機の使用水量を整理した。また、1 住戸の結果ではあるが、実住戸での冷水、温水、食器洗い乾燥機の使用水量を把握し、1 日の台所における冷水の使用水量は 38.8[L/戸・日]、温水は 6.7[L/戸・日]、食器洗い乾燥機は 12.9[L/回]、使用回数は平均で 1.5[回/日]となり、総使用水量は平均値で 64.9[L/戸・日]であることがわかった。

(関東学院大学 大塚研究室)

参考文献

1)財団法人 日本建築設備・昇降機センター;建築設備検査資格者講習テキスト 平成 16 年度版, p.p.571
2)財団法人 ベターリビング;平成 8 年度 節水型機器の評価手法に関する調査研究(その 2)報告書, p.p.48, (1997.3)
3)空気調和・衛生工学会編;空気調和衛生工学便覧 Ⅲ給排水・衛生篇 改訂第九版, Ⅲ-54
4)空気調和・衛生工学会編;給排水・衛生設備設計計画の実務の知識, p.p.34
5)布野裕子, 近藤武士, 他;節水・節湯器具の評価に関する研究その 2 手元止水機能付シャワーヘッドによる効果, p.p.469, 2003 年, D-1 分冊
6)社団法人 空気調和・衛生工学会給排水衛生設備委員会資料調査小委員会;節水等による水の有効利用, p.p.Ⅲ20～28, (2003、1)
7)羽田野由起;食器洗い乾燥機の現状～家事負担以外に利点はあるのか～, 給排水設備研究 Vol.20.No.2 技術レポート, p.p.46～50, (2003.7)
8)自立循環型住宅開発委員会[A2]暖冷房・給湯システム小委員会 2004 年度報告書掲載

7.2.3 各種生ごみ削減方法における試算

1) 研究目的

人間が社会生活を営む過程で廃棄するごみの問題が顕在化しており、わが国では、平成 12 年度で 5,236 万 t/年の一般廃棄物が発生している。その中で、家庭から発生する生ごみは、家庭ごみ 1 kg中に 330g 含まれており、生ごみに起因する悪臭や液だれなど衛生面の課題があることからその削減、減容化が急務になっている。

そこで、一般的なごみ収集方法と今後普及する各種の生ごみ削減方法についてそれぞれの利点や課題を抽出し、生ごみ処理にかかる家庭負担費用と排出 CO_2 量の試算・比較を行った。

2) 試算方法

試算方法は、補足-1 の設定原単位および文献値 [1)~10)]をものに、都市型住宅(下水道地域)と郊外型住宅(浄化槽地域)に区分して試算を行った。

3) 試算結果

都市型住宅(下水道地域)と郊外型住宅(浄化槽地域)それぞれについてごみ収集車による回収後、焼却する従来法を基準に 3 種類の生ごみ処理法の増減分を(図 7.2.10、図 7.2.11)に示した。

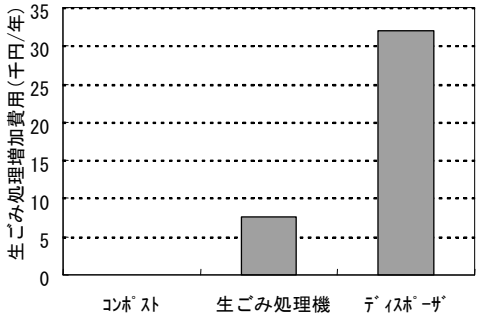


図7.2.10 生ゴミ処理増加分金額（下水道地域）

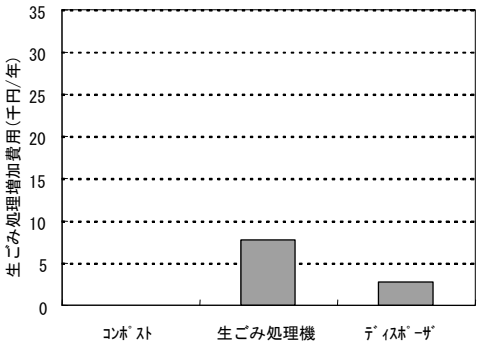


図7.2.11 生ゴミ処理増加分金額（浄化槽地域）

都市型住宅(下水道地域)では、従来法とコンポストでは、同等の費用のため新たな生活者負担はなかった。

コンポストでは、動力を必要としないため新たな費用負担はないもののしかし、生ごみ処理機では、電力を消費するためその費用負担が発生した。また、ディスポーザを設置するにあたっては、下水道地域でも専用の排水処理槽が必要となり、その動力や維持管理費、清掃費用が発生するため他の処理方法と比較して費用負担額が多くなっている。次に、郊外型住宅(浄化槽地域)では、生ごみ処理機は、都市型住宅と同一金額であり、ディスポーザは、電気料金、水道料金および汚泥引き抜き量の増加分で 3 千円/年程度であった。

各方法の CO_2 量の算定結果を図 7.2.12、図 7.2.13 に示す(図 7.2.12、図 7.2.13 のデータの幅は原単位のばらつきによる幅を示している)。

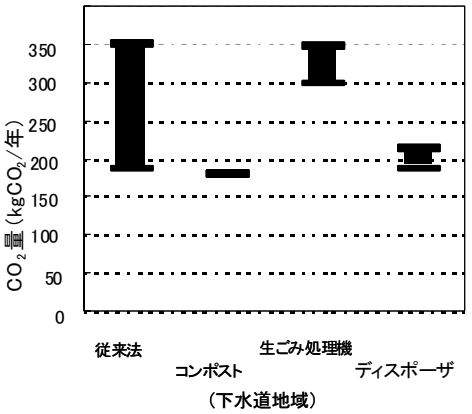


図7.2.12 従来法との比較（下水道地域）

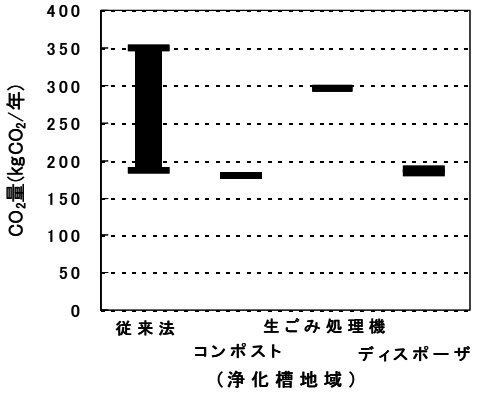


図7.2.13 従来法との比較（浄化槽地域）

ごみの回収、焼却から焼却灰埋立など発生 CO_2 量の算定に必要な数値は、各種文献をもとに生ごみ処理によって発生する CO_2 量を算定した。従来法では、187.6～350.4 kg CO_2/年とCO_2発生量に幅がある。コンポスト、生ごみ処理機、ディスポーザ(専用排水処理槽含む)のCO_2量を算定した結果は、どの方法とも従来法の感度分析範囲内に入っていた。3 種類の比較では動力を必要としないコンポストが最も CO_2 発生量が少なく、ディスポーザ、生ごみ処理機と高くなっていた。このことは、生ごみ処理機は、乾燥加熱しており電力量の消費がその他の方法よりも多いことに起因している。

次に、郊外型住宅(下水道地域)でも同様な

傾向がある。特に、コンポストとディスポーザの CO_2 発生量が低く、ディスポーザは、対応浄化槽の容量が合併処理場化槽とほぼ同一であるため新たな環境負荷が少ないことが判った。

4) 試算条件の設定と検証

生ごみの削減効果を明らかにする上での試算条件を表 7.2.13 に示す。

表7.2.13 前提条件

構成人員	4人家族
生ごみ発生量	250g/人・日

検討方法は、コンポスト、生ごみ処理機、ディスポーザの 3 種類の生ごみ処理方法を都市型住宅(下水道地域)と郊外型住宅(浄化槽地域)とに層別し、それぞれの方法について利点および課題を表 7.2.14 に示した。これに基づき生ごみを処理する過程で発生する費用と CO_2 量を算定した。なお、都市型住宅に生ごみ処理機を設置した場合、乾燥ごみは、ごみ収集車にて回収後、焼却処理を行うとし、郊外型住宅に生ごみ処理機を設置した場合は、敷地内で自家処理を行うとして算定を行った。また、ディスポーザ対応浄化槽を設置した場合、生ごみだけではなく、汚水や雑排水も同時に処理するが、合併処理浄化槽の容量増加分から汚泥量などを算定し生ごみに起因する費用および量として便宜上試算した。

5) まとめ

本報告は、ごみ収集車によって回収した後に焼却処分する従来法との比較を行った。しかし、生ごみ量などの原単位は、250g/人・日と原単位の変化は考慮していない。また、ディスポーザ対応浄化槽の処理水を再利用したときの家庭負担費用の削減等について検討・実験を行っていない。以上のことから今後の課題を下記に整理した。

①原単位変化による負担費用や発生 CO_2 量の変化の検討
②ディスポーザ対応浄化槽の処理水再利用効果の検証

生ごみを処理する 3 種類の方法を従来法の収集後に焼却する方法と比較を行った。その結果、コスト面では、コンポストが従来法と同様に新たな費用発生は認められなかった。しかし、利便性や衛生性の観点から考えると都市型住宅(下水道地域)では、生ごみ処理機が効果的であり、郊外型住宅(浄化槽地域)では、ディスポーザ対応浄化槽が便益を得る上で有効であった。

更に、地球環境に影響を及ぼす発生 CO_2 量は、コンポスト、ディスポーザのエネルギー消費量が少ないため従来法の下限値と同等であった。一方で、生ごみ処理機は、熱源を多く使用することから電気量に起因する CO_2 量が多いが、従来法の上限値以内に押さえられていた。

6) 課題

今回の試算は日本全体に及ぼす効果を大枠で把握することを目的としており、平均的な試算条件(シナリオ)を設定して試算を行った。このシナリオは、使用する人間や地域、その他さまざまな条件により大きく異なることが考えられるため、地域差はどの考慮する必要がある。

ランニングコストの試算においては、今回は水道代は東京都のものを、また、電気代、ガス

代は一般的なものを用いて試算した。これらの原単位は地域によって大きく異なるものがあるので注意が必要である。

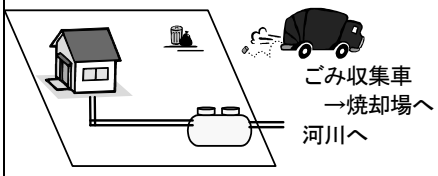
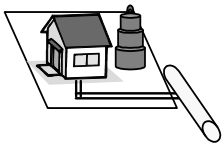
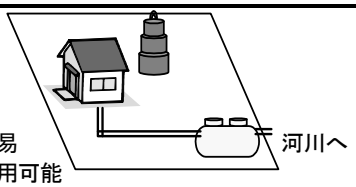
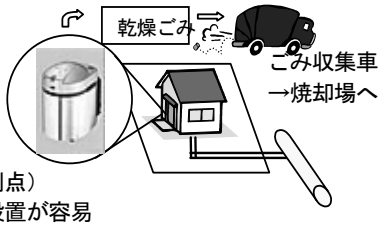
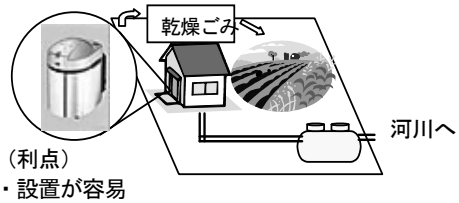
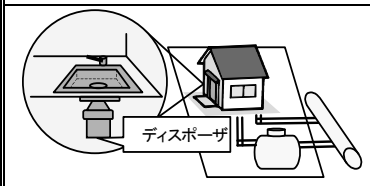
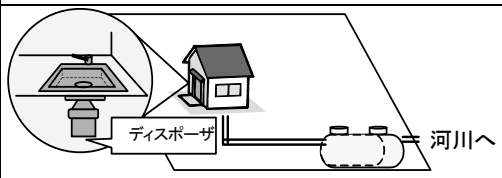
例:水道料金(20A、30m^3)福岡市 334 円、大阪市166円

生ごみの削減方法における試算については、たとえば生ごみの収集、焼却、焼却灰運搬、埋立工程といった一連の工程で排出する CO_2 量は、0.514～0.960 kg CO_2/kgなどの設定条件のばらつきにより結果に大きな影響が生じているため、試算条件は、精査して CO_2量の試算を検証するといった課題が残されている。

参考文献

1:東京都水道局 平成 9 年度一般家庭水使用目的別実態調査、平成 12 年度生活用水実態調査(http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/life/g_jouzu.htm)
2:岩淵善美ら、一般廃棄物の広域化処理に関する環境負荷評価、空気調和・衛生工学会論文集、No.88、p13-23、2003
3:松本亨ら:都市インフラ設備の LCA、クリーンエネルギー、p37-45、1998
4:北海道大学大学院工学研究科 廃棄物資源工学講座廃棄物処理工学分野:都市ごみの総合管理を支援する評価計算システムの開発に関する研究、1998
5:(社)空気調和・衛生工学会 地球環境委員会:建築設備と地球環境に関する研究、1999
6:霧巻峰夫ら:LCA における多項目環境負荷の定量化に関する研究、環境システム研究、Vol.25、p217-227、1997
7:霧巻峰夫ら:LCA 手法を用いた排水処理の評価手法に関する研究、土木学会論文集、No.643/Ⅶ-14、p11-20、2000
8:東京大学大学院工学系研究科:排水処理システムのライフサイクルアセスメント、第 15 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス公演論文集、1991
9:豊貞佳奈子ら:集合住宅用ディスポーザシステムの環境影響評価、日本建築学会誌、第 574 号、p43－50、2003
10:松本亨ら:都市の有機物資源循環システムの評価指標の開発、環境システム研究論文集、Vol.28、p21－32、2000

表7.2.14 都市型および郊外型住宅における生ごみ処理方法の利点と課題

住宅区分	都市型住宅	郊外型住宅
地域区分	都市部	地方部
排水処理区分	下水道地域	浄化槽地域 (非下水道地域)
＜従来方法＞ ゴミ収集車による 回収、焼却	 下水道放流	 合併処理浄化槽放流
＜環境配慮方法＞ ①コンポスト	 (利点) ・設置が容易 (課題) ・設置場所が乏しい ・堆肥の処理が困難 ・屋外移動の煩わしさあり ・臭気や害虫の発生懸念 ・減容速度が遅いため移し変え必要	 (利点) ・設置が容易 ・堆肥の利用可能 (課題) ・比較的広い庭が必要 ・屋外移動の煩わしさあり ・臭気や害虫の発生懸念 ・減容速度が遅いため移し変えが必要
②生ごみ処理機	 (利点) ・設置が容易 ・減容速度が比較的速い (課題) ・乾燥ごみをごみ出し廃棄する必要あり ・臭気や害虫の発生懸念 (特にコンポストタイプ)	 (利点) ・設置が容易 ・減容速度が比較的速い (課題) ・再度の発酵(1 次 or2 次)必要あり ・臭気や害虫の発生懸念 (特にコンポストタイプ)
③ディスポーザ (対応浄化槽含む)	 専用排水処理槽 (利点) ・台所の動線内で瞬時に処理が可能なため利便性高い ・戸内の生ごみが瞬時になくなるため衛生性高い (課題) ・設置住宅が限定される ・隣戸への騒音・臭気の問題が懸念される ・下水道への二重処理となりコスト負担大 ・処理槽の管理費、汚泥処分費必要 ・行政申請必要のため手続きが煩雑	 ディスポーザ対応浄化槽 (利点) ・台所の動線内で瞬時に処理が可能なため利便性高い ・戸内の生ごみが瞬時になくなるため衛生性高い (課題) ・水の使用量の増加(計算上) ・浄化槽の設置スペース必要 ・浄化槽の管理費、汚泥処分費必要 ・行政申請必要のため手続きが煩雑

(竹崎　義則)

補足-1 設定原単位の詳細

①使用人員　：　4人（大人:2名、子供:2名）
②生ごみ発生量　：250g/人・日
③台所排水量　：　30L/人・日
④ディスポーザ排水量：　5L/人・日
⑤厨芥＋台所排水量：　35L/人・日
⑥台所排水濃度：　BOD:　600mg/L　SS:　400mg/L　n-Hex:　70mg/L
⑦ディスポーザ排水濃度：BOD:5,500mg/L　SS:7,000mg/L　n-Hex:　700mg/L
⑧厨芥＋台所排水濃度：BOD:1,300mg/L　SS:1,340mg/L　n-Hex:　160mg/L
（日本建築センター、ディスポーザによる生ごみリサイクルシステムの開発、1999年）
⑨生ごみの含水率　：69.6%
（厚生省生活衛生局水道環境部、LCAに係る環境基本計画推進調査報告、1998）
⑩金額換算原単位
上下水道　:263円/m3（東京都、20A、30m3）、
上水道のみ　:150円/m3(東京都、20A、30m3)
下水道のみ　:113円/m3（東京都、20A、30m3）
電気　：23円/kWh(家庭電気製品公正取引協議会の申し合わせ参考)
ガス　:157円/m3（ガス機器工業会など）
⑪CO2換算原単位
上下水道　:0.59kgCO2/m3(環境省)
下水道のみ　:0.312kgCO2/ m3（豊貞佳奈子ら、日本建築学会誌、第574号、p43-50、2003)
電気　:0.348kgCO2/ kWh（環境省）
ガス　:1.9914kgCO2/m3環境省）
生ごみ　:0.514～0.960kgCO2/kg(収集、焼却(燃料含む)、焼却灰運搬、埋立工程含む)
（豊貞佳奈子ら、日本建築学会誌、第574号、p43-50、2003）（岩淵善美ら、空気調和・衛生工学会論文集、No.88、p13-23、2003）ほか2報
0.495kgCO2/kg(バイオマス換算)
（豊貞佳奈子ら、日本建築学会誌、第574号、p43-50、2003）
乾燥ごみ　:0.019～0.465kgCO2/kg
(収集、焼却(バイオマス換算分除く)、焼却灰運搬、埋立工程含む)
発生汚泥　:2.50～33.4kgCO2/m3(収集、排水処理工程含む)
（松本亮ら、環境システム研究論文集、Vol.28、p21-32、2000）（社団法人空気調和・衛生工学会　地球環境委員会、委員会成果報告書、1999)ほか
⑫合併処理浄化槽仕様（A社　カタログより）
槽容量　:2.11 m3（汚泥引き抜き量:1.95 m3）
ブロワ定格　:0.075kW
ブロワ稼働時間 :24hr
⑬ディスポーザ単独排水処理槽仕様（B社　カタログより）
槽容量　:0.844 m3（汚泥引き抜き量:0.844 m3）
ブロワ定格　:0.051kW
ブロワ稼働時間 :24hr
⑭ディスポーザ対応浄化槽仕様（構造基準標準:5人槽相当、今後の研究開発動向を考慮）
槽容量　:2.8 m3(汚泥引き抜き量:2.1 m3)
ブロワ定格　:0.075 kW
ブロワ稼働時間 :24hr
⑮汚泥処分（一般廃棄物）（地域によってまちまちのため東京都の費用にて試算）
処分費用　:10,000円/m3
⑯維持管理費(地域によってまちまちのため東京近郊都市の相場で試算)
合併処理浄化槽、ディスポーザ対応浄化槽　:25,000円(薬品代含む、3回/年)
ディスポーザ専用排水処理槽　:20,000円(薬品代含まず、3回/年)
⑰ディスポーザ仕様(各種メーカー平均値)
:400W

補足-2 区分別に基づく生ごみの環境配慮方法の比較

住宅区分		都市型住宅			郊外型住宅		
排水処理区分		下水道地域			浄化槽地域(非下水道地域		
地域区分		都市部			地方部		
＜従来方法＞ゴミ収集車による回収、焼却 前提条件 ・生ごみ及び汚泥のCO_2量は、運用段階のみ		量(単位/年)	金額(円/年)	CO_2(kg CO_2/年)	量(単位/年)	金額(円/年)	CO_2(kg CO_2/年)
	水				－	－	－
	電気	－	－	－	－	－	－
	汚泥処分	－	－	－	－	－	－
	生ごみ	365kg	－	187.6～350.4	365kg	－	187.6～350.4
	合計		－	187.6～350.4		－	187.6～350.4
	計算過程	＜生ごみ＞ 250g/人・日×４人×365日		＜生ごみ＞ 365 kg×（0.514～0.960)kg CO_2/kg	＜生ごみ＞ 250g/人・日×4人×365日		＜生ごみ＞ 365 kg×（0.514～0.960)kg CO_2/kg
＜環境配慮方法＞ ①コンポスト 前提条件 ・生ごみは、最終的にCO_2まで分解すると仮定		量(単位/年)	金額(円/年)	CO_2(kg CO_2/年)	量(単位/年)	金額(円/年)	CO_2(kg CO_2/年)
	水	－	－	－	－	－	－
	電気	－	－	－	－	－	－
	汚泥処分	－	－	－	－	－	－
	生ごみ	365kg	－	180.7	365kg	－	180.7
	全合計		－	180.7		－	180.7
	計算過程	＜生ごみ＞ 250g/人・日×4人×365日		＜生ごみ＞ 365 kg×0.495 kg CO_2/kg	＜生ごみ＞ 250g/人・日×4人×365日		＜生ごみ＞ 365 kg×0.495 kg CO_2/kg
②生ごみ処理機 前提条件 ・生ごみのCO_2量は、バイオマス換算 ・乾燥ごみのCO_2量は、バイオマス換算を除く ・下水道地域の乾燥ごみは、ごみ収集車によっての処分と仮定 ・浄化槽地域の乾燥ごみは、敷地内での自家処理と仮定		量(単位/年)	金額(円/年)	CO_2(kg CO_2/年)	量(単位/年)	金額(円/年)	CO_2(kg CO_2/年)
	水	－	－	－	－	－	－
	電気	334 kWh	7,682	116.3	334 kWh	7,682	116.3
	汚泥処分	－	－	－	－	－	－
	生ごみ	365kg	－	180.7	365kg	－	180.7
	乾燥ごみ	111kg	－	2.11～51.6	111kg	－	－
	全合計		7,682	299.1～348.6		7,682	297.0
	計算過程	＜電気＞ 700g/日→1 kg/日換算 234Kwh/0.7 ＜生ごみ＞ 250g/人・日×４人×365日 ＜乾燥ごみ＞ 365 kg×（1-0.696）	＜電気＞ 334kWh×23 円/kWh	＜電気＞ 334kWh×0.348 kg CO_2/kwh ＜生ごみ＞ 365 kg×0.495 kg CO_2/kg ＜乾燥ごみ＞ 111 kg×（0.019～0.465)kg CO_2/kg	＜電気＞ ・生ごみ処理機 700g/日→1 kg/日換算 234Kwh/0.7 ＜生ごみ＞ 250g/人・日×4人×365日 ＜乾燥ごみ＞ 365kg×(1-0.696)	＜電気＞ 334kWh×23 円/ kWh	＜電気＞ 334kWh×0.348 kg CO_2/kwh ＜生ごみ＞ 365 kg×0.495 kg CO_2/kg ＜乾燥ごみ＞ 自家処理であり、生ごみの中に含まれる
③ディスポーザ(対応浄化槽含む) 前提条件 ・水はディスポーザによる増加分のみ ・都市型住宅の水費用は、上下水道料金で算定 ・郊外型住宅の水費用は、上水道料金で算定 ・都市型住宅では、ディスポーザを設置するに当たり専用排水処理槽設置 ・郊外型住宅の汚泥処分は、合併処理浄化槽と比較した場合の増加容量から算定 ・郊外型住宅の場合の維持管理費は、合併処理場化槽と同等と仮定し、費用増加分が無いため負担零		量(単位/年)	金額(円/年)	CO_2(kg CO_2/年)	量(単位/年)	金額(円/年)	CO_2(kg CO_2/年)
	水(増加分)	7.3 ㎥	1,920	4.31	7.3 ㎥	1,095	2.03
	電気	451.6 kwh	10,369	157.2	4.9kwh	112	1.69
	汚泥処分	0.844 ㎥	30,000	2.11～28.2	0.15㎥	1,500	0.38～5.01
	生ごみ	365kg	－	180.7	365kg	－	180.7
	全合計		42,289	344.3～370.1		2,707	184.8～189.
	計算過程	＜水＞ ・増加分 5L/人・日×4 人×365日 ＜電気＞ ・ﾃﾞｨｽﾎﾟｰｻﾞ 0.4kw×2 分/60分×365日 ・処理槽 0.051Kw×24h×365日 ＜汚泥処分＞ 槽内汚泥引き抜き量分 ＜生ごみ＞ 250g/人・日×４人×365日	＜水＞ ・増加分 7.3㎥×263 円/㎥ ＜電気＞ 451.6kWh×23 円/ kWh ＜汚泥処分＞ ・汚泥処分費 1㎥ まで一律10,000円 ・維持管理費 20,000円/3回・年	＜水＞ ・増加分 7.3㎥×0.59 kg CO_2/㎥ ＜電気＞ 451.6 kwh×0.348 kg CO_2/kwh ＜汚泥処分＞ 0.844 ㎥×(2.50～33.4)kg CO_2/ ㎥ ＜生ごみ＞ 365 kg×0.495 kg CO_2/kg	＜水＞ 5L/人・日×4 人×365日 ＜電気＞ ・ﾃﾞｨｽﾎﾟｰｻﾞ 0.4kw×2 分/60 分×365日 ＜汚泥処分＞ 合併処理浄化槽と比較しての槽増加分を槽内汚泥引き抜き量分とした ＜生ごみ＞ 250g/人・日×4人×365日	＜水＞ 7.3㎥×150円/ ㎥ ＜電気＞ 4.9kWh×23 円/ kWh ＜汚泥処分＞ ・汚泥処分費 0.15㎥ × 10,000 円/㎥	＜水＞ 7.3㎥ × (0.59-0.312) kg CO_2/ ㎥ ＜電気＞ 661.9 kWh×0.348kg CO_2/kwh ＜汚泥処分＞ 0.15㎥ × (2.50 ～33.4)kg CO_2/ ㎥ ＜生ごみ＞ 365 kg×0.495 kg CO_2/kg

7.3 水資源を有効利用した屋上緑化に関する研究(実験 WG)

7.3.1 緑化パレットのシステム概要

1) 試験パレットの設定

ヒートアイランド現象緩和を意図した水資源の有効活用の技術として屋上緑化パレットの検証を行なった。設定したシステムは以下の 2 種である。

①底面潅水式緑化パレット
②平面パネル式緑化パレット

2) 試験パレットの概要

試験パレットの概要を表 7.3.1、表 7.3.2 に示す。また、外観を図 7.3.1、図 7.3.2 に示す。

表7.3.1 底面潅水式緑化パレットのシステムの概要

	底面潅水式緑化パレット
使用水	上水に加え雨水利用が主、中水も可。
給水方式	タンクよりポンプでパレット下部に所定時間給水し土壌の毛細管現象で潅水後、タンクへ戻す。雨水をパレット面で回収し、不足時は上水(中水)を補給する。
特長	・軽量土壌に用いた基盤で、耐圧性や景観性を有する。 ・芝生が最適の植生であり、維持管理に手間を必要とする。

表7.3.2 平面パネル式緑化パレットのシステムの概要

	平面パネル式緑化パレット
使用水	中水利用が主、上水及び雨水も可。
給水方式	傾斜屋根に設置し、棟部の染み出しホースより潅水し、軒先まで浸透した余剰水は雨樋より回収する。
特長	・セラミックを用いた基盤で、薄型軽量のため建築への負荷が少ない。 ・セダム類の植生であり、根くされ・雑草生育が殆ど無いなど、維持管理に手間がかからない。

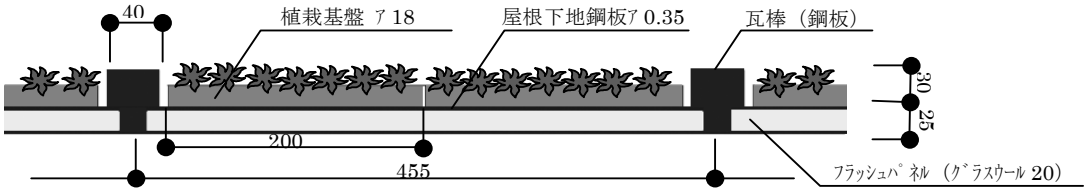
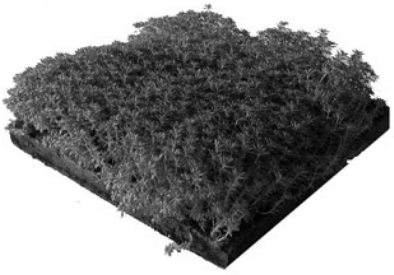


図 7.3.1 底面潅水式緑化パレットの外観



植栽基盤 (軽量ｾﾗﾐｯｸﾀｲﾙ)

植栽基盤	軽量セラミックタイル(200角)
緑化基盤厚さ	タイル17mm+植物10mm程度
植栽植物	セダム類
屋根下地	金属製瓦棒葺き屋根
潅水方法	しみ出しホースによる自動潅水
重量	30kg/m^2(湿潤時)

図7.3.2 平面パネル式緑化パレットの外観

(中島 古史郎、小栗 健)

7.3.2 屋上緑化利用水の安全性評価

1) はじめに

都市環境問題の一つとして、ヒートアイランド現象がとり挙げられている。その対応策として、都市空間全体を冷却し、ヒートアイランド現象を緩和する屋上緑化システムが注目されている。しかし、緑化植物の維持に必須である水源まで含めたシステムの提案と、そのための技術開発は未だ不十分な状況にある。一方では、図に示すような浄化槽処理水や雨水などを再利用することを考慮した資源循環型社会の構築に基づき、未利用資源である雑用水の利用用途として、前述の屋上緑化システムへの散水などの二次利用が考えられる。[1)]しかし、雑用水を利用する場合には、細菌感染症によるリスクなどを考慮したうえで慎重に進められるべきであり、衛生学的に安全な水質を供給するには、屋上緑化利用水(以下利用水とする)の水質管理の必要性が重要となってくる。

これら建築設備で利用する循環系人工水に増殖しやすい細菌としてはレジオネラ属菌が挙げられる。レジオネラ属菌感染症を予防するために必要な措置に関する技術指針が厚生労働省から平成15年7月に出され、開設者や管理者が行うべき具体的なレジオネラ症発生防止対策について、基本的な考え方や措置を明示している。本指針では、レジオネラ感染症は自然感染を除き、エアロゾルを発生しやすい施設での適切な衛生管理により防止できる感染症であるとして、建築物所有者・管理者の役割としてレジオネラ症防止指針に沿った建築物とその維持管理が実現できるようそれぞれの役割を果たすことを求めている。本指針には法的な拘束力はないものの、公衆浴場法や旅館業法の対象となる施設の営業者については、法的な拘束力のある自治体が定める施行条例などで規制を受けることになる[2)]。

以上の背景から、本項ではまず屋上緑化システム利用水の実態調査を行い、利用水の水質劣化を確認した上で、その防止策として、①藻類の発生抑制対策、②システム内における除菌装置の付設、③利用水中におけるレジオネラ属菌の各種消毒方法を用いた不活化実験を試み、本システムに最適な消毒方法について検索した。

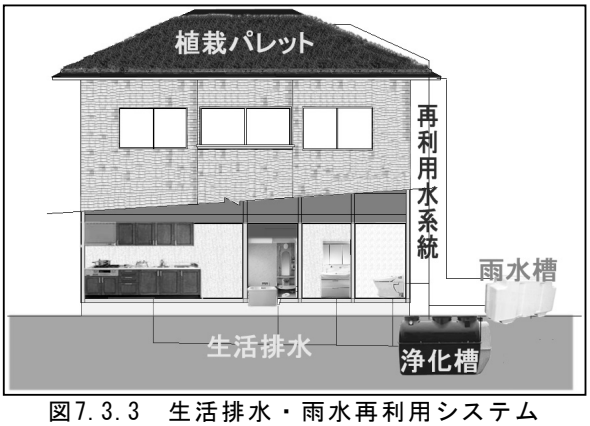


図7.3.3　生活排水・雨水再利用システム

2) 再利用水の水質基準

排水再利用水は、旧建設省と旧厚生省の通達より便所洗浄水以外は使用できなかったが、旧建設省の排水再利用マニュアル(排水再利用・雨水利用システム設計基準)で雨水利用が取り入れられてから、修景・散水用水や親水用水への適用も可能となり、適用領域は拡大されている。

しかし、汚水を含む原水を処理した水が、水質的には飲料水の基準を満たしていても、飲料水にまで適用するかどうかは技術的問題だけでなく、社会的、生物的かつ医学的問題として見直しが必要である。また浄水目的として使用する場合に限らず、使用用途別によっても

水質基準が設けられており、浄化槽処理水・雨水等の再利用目的の水についても再利用できる可能性の枠が定められている。

表 7.3.3 に各利用途別に定められ、指標とされた水質基準を示す。順に、①衛生面の安全性、②人間感覚への影響、③機器への影響、特に海水を利用する際には、塩素イオンによる機器類の腐食に配慮が必要とされている。

供給水質のレベルは、水の使用用途により決定されるが、水源の水質レベルに応じて、最も効率的処理方法を採用し、要求される水質にして供給することが合理的である。すなわち、水の使い分けが必要となる。使用用途と水質レベルの分類を表 7.3.4 に示す。この表より、原水の水質をみて安全性に配慮し、用途に応じた使用を行う必要がある。

表7.3.3 用途別水質基準

		指標となる水質基準
水洗トイレ用水	①	大腸菌群数:10CFU/ml以下 残留塩素:中水(保持されていること)
	②	臭気・外観:不快でないこと
	③	BOD:20ml/l以下 濁度:施設的対応として、中水では砂ろ過程度の処理を行い、雨水利用では巻上防止をするよう施設的に配慮する必要がある。
冷却塔補給水	① ②	大腸菌群数:10CFU/ml以下 臭気・外観:不快でないこと
洗車用水 散水用水 消火用水 清掃用水	①	残留塩素:中水(保持されていること) 大腸菌群数:中水(検出されないこと) 雨水(10CFU/ml以下)
	②	臭気・外観:不快でないこと
	③	BOD:20ml/l以下 濁度:ー
修景用水	①	大腸菌群数:中水(検出されないこと) 雨水(10CFU/ml以下)
	②	臭気・外観:不快でないこと
	③	BOD:20ml/l以下 濁度:10以下
風呂用水 掃除・洗濯用水		公衆浴場浴槽水の水質基準、遊泳用プールの水質基準を参考にする
非常用飲料水		水道水水質基準、機器への影響

表7.3.4 使用用途水水質ランク

使用用途	水質レベル	留意点	上水	雨水	工業用水		排水再利用水	
					下水処理	河川水系	広域循環方式	地区・個別循環方
飲用	AA	絶対安全	○	×	×	×	×	×
調理用水	AA	同上	○	×	×	×	×	×
厨房	A	同上	○	×	×	×	×	×
洗濯（洗水）	B	清澄	○	×	×	×	×	×
洗濯（すすぎ）	B	同上	○	×	×	×	×	×
洗面手洗	B	同上	○	×	×	×	×	×
プール	B	同上	○	×	×	×	×	×
風呂	B	同上	○	△	×	×	×	×
冷却塔	C	機能重視	○	○	△	○	△	△
親水用水	C	同上	○	○	△	○	△	△
修景用水	D	同上	○	○	○	○	○	○
散水用水	D	同上	○	○	○	○	○	○
便所用水	E	同上	○	○	○	○	○	○

3) 循環利用水の細菌によるリスク評価

本調査では、水の細菌汚染度を知るために、水道水の水質基準に設定されている一般細菌および大腸菌群または、設備系の人工水(循環水)に増殖しやすいといわれているレジオネラ属菌や、上水等の比較的有機物質が低濃度な環境下においても増殖可能な従属栄養細菌についても調査した。

一般細菌は、直接病原菌との関連性はないが、多数検出される水については糞便による病原菌に汚染されていることを疑わせる。地下水では一般細菌数の急増は汚染を意味するが、表流水は水温の変化や降雨により著しく影響を受けるので、経時的に菌数が多い値を示したからといって必ずしも新たな糞便による汚染を示しているとはいえない。

一方、大腸菌群も(2003 年より大腸菌が指標)1932 年から水が糞便性の病原菌を含む汚水などによって汚染されている疑いを示す指標として利用されてきた。理想的な消化器系病原菌を示す指標として次の事項が挙げられる。

①病原菌が存在するときには必ず存在する。
②水界で顕著に増殖しない。
③病原菌よりも多数存在する。
④病原菌よりも消毒剤と水界に対して耐性である。
⑤比較的簡単な培地で容易に増殖し、菌群の同定が明確にできる反応を示す。
⑥検査すべき試料中にランダムに分布している。
⑦人工培地に接種したとき、他の細菌が存在しないことによって著しく増殖が抑制されない。

これらの条件に合致するため、大腸菌群は消化器系病原菌による汚染の指標菌として広く利用されている。

また、レジオネラ属菌は呼吸器系感染症の起因菌であり、自然界にも普通に生息している好気性グラム陰性桿菌である。本菌種は、水中で藻類や原生動物などと共生関係にあり、これらの代謝産物を栄養源に増殖するといわれている。特に冷却塔や冷却水中には偏在的多数生息している。理由としては、循環冷却方式であるために冷却塔の補給量が少ないこと、空気中から塵埃等を取り込んで濃縮され、水質が悪化し、これに伴って細菌類、藻類および原生動物等の増殖を促していることが考えられる。多くの建築物の屋上に設置されている冷却塔からの飛沫が近くの飲料水用高置水槽を汚染する可能性が高いとされている。これまでの調査結果によると、空調用冷却塔の 40～70%からレジオネラ属菌が検出されており、8400CFU/100mLが最高菌数との報告がある。

従属栄養細菌は、低有機栄養環境下で生息しているため、水道原水中においても一般細菌よりも著しく多く存在するため、浄水処理過程や消毒過程での細菌の不活化を評価するには優れている。また、保存水や配給水システム内における塩素の消失や滞留に伴い従属栄養細菌が増加するので、清浄な状態にあるか判断することができる。本研究では細菌汚染調査の試験項目に含めた。

4) 屋上緑化利用水の水質評価

(1) 水質試験項目および実験方法

水質試験は外観、臭気、pH、電気伝導率、TOC(DOC)、COD、T-N、SS、一般細菌、従属栄養細菌、大腸菌群、レジオネラ属菌の測定項目を上水試験法(日本水道協会)に基づいて行った。

a 底面潅水式緑化パネル散水実験

7.3 で示した底面潅水式緑化パネルに散水した試料を対象とした。

概要として、500L の貯留水槽内に全体 80%が水道水、20%の雨水を貯留し、設置してある植栽パレットに散水し、散水後の水は貯留水槽に返送される。すなわち循環系となっている。水質試験期間は、7/28～8/28(第 1 回～第 3 回)、さらに換水後の調査として 8/28～9/29(第 4 回～第 6 回)について行った。

b 平面潅水式緑化パネル散水実験

7.3 で示した平面パネル式緑化パレットに水道水を散水する。散水後は屋根面を流れ、雨水槽貯留される。水の採取は貯留水槽から行った。

水質試験期間は、9/18 の午前 9 時と午後 4 時、10/10 の午前 9 時と午後 4 時の計 4 回、測定項目は細菌試験について行った。

(2) 結果および考察

a 底面潅水式緑化パネル散水実験

東京理科大学散水施設利用水について、7/28～8/28(第 1 回～第 2 回)の水質調査さらに換水後の調査として 8/28～9/29(第 4 回～6 回)について行った。水質試験結果を表 7.3.5 に示す。各測定項目について評価すると次のとおりである。

表7.3.5 底面潅水式緑化パレットの水質試験結果

水質試験項目		2003.07.28	2003.0806	2003.0818	2003.0827	2003.0908	2003.09.29
外観	（色）	微緑黄色	微緑黄色	弱緑黄色	無色透明	微黄色	微黄色
透視度	（度）	41.6	32.5	30.9	50以上	50以上	50以上
pH	（－）	9.2	7.6	7.0	7.0	7.3	7.2
電気伝導率	（μS/cm）	196	146	93	155	163	123
臭気		弱藻臭	弱藻臭	弱藻臭	微土臭	微藻臭	微藻臭
TOC(DOC)	(mg/l)	8.13	8.84	13.3	3.3	4.45	7.14
COD	(mg/l)	9.69	9.38	11.4	5.2	7.59	12.22
T－N	(mg/l)	0.64	0.91	0.62	1.96	1.11	0.81
SS	(mg/l)	17.0	13.0	14.4	0.41	0.89	1.51
一般細菌	(CFU/ml)	1.2×10^3	－	－	1.6×10^3	2.3×10^3	2.3×10^3
大腸菌群	(CFU/ml)	不検出	5.0×10	5.8×10	2.8×10^2	1.8×10^2	6.6×10
レジオネラ	(CFU/100ml)	3.5×10	7.0×10	2.7×10^2	4.4×10^2	6.0×10^2	23.2×10^2
従属栄養細菌	(CFU/ml)	－	－	－	3.2×10^4	1.5×10^5	2.7×10^4

①外観，臭気

第 1～3 回における試料の外観は微緑黄色～弱黄色を呈し、水を交換する前では、日数が経過するにつれ、弱緑黄色に推移した。これは貯留槽に藻類が増殖したことによると考えられた。一方、第 4～6 回の試料は、無色透明から微黄色に推移した。

一般に外観とは水の呈している濁り、色調、浮遊物質、泡立ち等の状態をいい、外観を測定することにより、河川や湖沼などの汚濁や富栄養化の程度を知ることができる。同様に第 1 回～6 回の試料の臭気は、藻の臭いがあり、藻類に起因するものであることが明瞭であった。

②透視度

透視度は比較的高濁度の試料を測定するのに有効な方法であり、透視度計（50cm）に試料を入れて、上方から水層を透視したとき、底部の標識板の二重十字がはじめて明らかに認められた水層の高さをいい、当然のことながら、数値の高い方が清澄な水質である。

第 1 回～3 回の透視度は 30.9～41.6 度を示し、貯留槽換水後における透視度は 50 度以上を示した。

③pH値

pH 値は水源の違いにより広い範囲の値を示す。藻類が繁殖した場合、かなり強いアルカリ性を示すことがある。また特に夏季には水温が上昇し日光のある昼間に藻類の活動が盛んになるため、値の変動が大きくなる。

また、藻類では暗反応および明反応があり、夜（暗反応）では CO_2 を放出するためpH値が低下する。一方、昼（明反応）では水中の CO_2 を消費するため値が上昇する。

以上より、本試料のpH値は第 1 回目が 9.2、第 2 回目以降は 7.0 付近の中性を示した。これらの理由として、例えばサンプリング時が日光の少ない早朝であったり、天候が曇った時間帯に行い、藻類の光合成が活発でなかったためにpH値が上昇しなかったなどが考えられた。また、換水後（第 4～6 回）のpH値が中性を示した。理由は、藻類の増殖が小さいためであると考えられた。

pH値は、水源の違いにより広範囲の値を示す。藻類が大量に繁殖した場合、強いアルカリ性を示すことがある。また、特に夏季には水温が上昇し、日光のある昼間に藻類の活動が盛んになるため値の変動が大きくなる。藻類では、次に示すように炭酸ガスが消費され OH イオンが生成されるので pH 値が上昇する。

$$HCO_3^- \rightleftarrows CO_2 + OH^-$$

④有機汚濁物質(DOC、COD)

第 1～3 回における DOC 値は 8.13～13.3mg/L の範囲にあり、COD は 9.38～11.4mg/L を示した。両者とも試料中の有機汚濁物質の指標となる項目である。たとえば河川水等に照らし合わせてみると、COD 値で 10mg/L 以下の水質であれば、比較的有機汚濁物質の近い状態にあり、10mg/L 以上を示すような水質は有機汚濁の進行した河川水であると判断できるものである。

これらのことから、本試料は汚濁の進行した河川水程度の水質に近似しつつあることがわかる。

なお、DOC はろ過をして藻類を除去してから測定していることから、藻類を除いても有機汚濁物質は蓄積していることがわかる。次に第 4～5 回の TOC および DOC の値をみると、3.3～4.45mg/L および 5.2～7.6mg/L と低い値になり、水交換による効果は顕著であった。

⑤浮遊物質(SS)

SS は試料に懸濁している不溶性物質であり、孔径 1μm のろ過材上に残留する物質であり、第 1～3 回の SS 値は、17～14.4mg/L で藻類由来と考えられる。また、第 4～6 回では、0.41～1.51mg/L と低い結果が示され、この時点における藻類の増殖は小さいことがわかる。

⑥一般細菌、大腸菌群、従属栄養細菌およびレジオネラ属菌

一般細菌は従属栄養細菌のうち、温血動物の体温前後で比較的短時間に集落(細菌のかたまり)を形成する細菌であり、一般細菌として検出される細菌の多くは直接病原菌の関連性はないが一般細菌が多数検出される水は糞便による病原菌に汚染されることを疑わせる。

一般細菌は大腸菌群よりはるかに多く存在するため、塩素消毒の効果を確認するのに有効である。本試料中では、第 1 回の試料中からは 1200 個/mL検出された。しかし、2 回目以降は水中に増殖している水カビ(真菌類)により、測定不能となった。

すなわち、細菌より真菌類の方の増殖が早くサイズも大きいために細菌のコロニー(集落)のカウントができなくなってしまうためである。なお、換水後(4～6 回)の一般細菌数は 10^3CFU/mL オーダで検出され、従属栄養細菌は 10^4～10^5CFU/mL オーダを示した。また、大腸菌群は換水後においても検出され、50～280CFU/mL を示した。

また、レジオネラ属菌は 100mL 当り 35～600CFU 検出されている。レジオネラ属菌は感染症第 4 類に指定される肺炎などの症状を引き起こすレジオネラ症の原因菌であるため、レジオネラ属菌を含む水の飛散は防止しなければならないと考えられる。

b 平面潅水式緑化パネル散水実験

つくば建築研究所実験利用水の水質調査結果は次の傾向を示した。細菌試験結果は表 7.3.6 に示すとおりである。

試験水の細菌汚染については、以下の傾向がみられた。一般細菌が 10^2CFU/mL オーダで検出され、従属栄養細菌は 10^3～10^4 CFU/mL を示した。大腸菌群は 15～23CFU/mL の検出が確認された。さらにレジオネラ属菌は 30～110 CFU/100mL が検出され、試験水中のレジオネラ属菌の存在が確認された。

表 7.3.6 平面パネル式緑化パレットの水質結果

水質試験項目	2003.0918		2003.10.01	
	AM9時	PM4時	AM9時	PM4時
一般細菌(CFU/ml)	11.3×10^2	14.6×10^2	95×10^2	49×10^2
従属栄養細菌(CFU/ml)	99.6×10^3	55.3×10^4	27×10^4	31×10^4
大腸菌群(CFU/ml)	23	33	15	15
レジオネラ(CFU/100ml)	110	70	65	30

(3) まとめ

本調査では 2 種類の供試緑化材を用いて屋根散水設備水における貯留水槽内の水質試験を行った。得られた知見をまとめると次のとおりである。

1. 底面潅水式緑化パネル散水実験については 2003.7.28～9.29 の約 2 ヶ月間の調査を行った。夏期の調査であったため、貯留水槽内における藻類の増殖が顕著であった。藻類の影響については前述のとおり外観、臭気、透視度、pH を測定することで判断された。

水中の有機汚濁物質の指標としての CODおよびDOCから評価した。CODは藻類を除去せずに測定した結果、9.5 ㎎/L(中央値, n＝6)を示し、DOC(藻類を除去)は 8.5 ㎎/L になった。

水中の細菌試験結果からは次の傾向が示された。換水前(7/28～8/18)の水中には真菌類の増殖があり、一般細菌および従属栄養細菌の検出が不能となった。本試料中におけるレジオネラ属菌は 35～270CFU/mL が検出された。

換水後(8/27～9/29)における細菌類は、一般細菌数は 10^3CFU/mL のオーダで検出され、従属栄養細菌は 10^4～10^5CFU/mL を示した。レジオネラ属菌は 440～6000CFU/100mL が検出された。また、調査期間における大腸菌群は 50～280CFU/mL 示した。

2. 平面パネル式緑化パレット実験においては、9/18 および 10/1 に調査を行った。水中の細菌試験結果より、次の傾向が示された。底面潅水式緑化パネルと比較して水の系統は循環型の形態をとっていないにも関わらず、一般細菌数は 10^2CFU/mL オーダで検出され、従属栄養細菌は 10^3～10^4CFU/mL を示した。レジオネラ属菌については 30～110CFU/100mL 検出された。また、糞便性指標菌である大腸菌群は 15～33CFU/mL を示し、すべての細菌の検出が確認された。

3. 以上の水質調査結果より、

表 7.3.3 および表 7.3.4 に示す用途別水質基準、使用用途水水質ランクに基づき、本試料のランクづけを行うとEランクに位置することが考えられ、修景用水としては使用可能ではあるが、屋上散水として利用することを考えた場合、レジオネラ等による飛沫感染に注意する必要があると考えられる。

5) 屋上緑化利用水の衛生学的安全性の評価

(1) 実験方法

a 貯留槽内における水質調査

本実験は、屋上緑化パレットに使用する貯留槽内利用水の水質調査を行った。緑化システムは図 7.3.4 に示す S 社製底面潅水式緑化パレット緑化材を用いた。水質項目は外観、臭気、pH、電気伝導率、TOC、COD、一般細菌、従属栄養細菌、レジオネラ属菌とし、測定方法は上水試験方法 [2]に基づいた。

各試験パレットの概要を表 7.3.7 に示す。

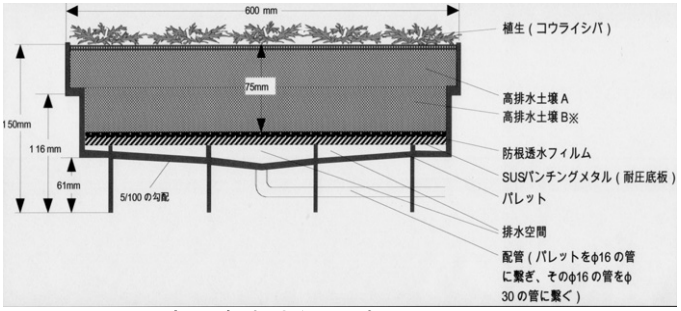


図7.3.4 底面潅水式緑化パレットの断面

また、底面潅水式緑化システムの外観について図 7.3.5 に示す。まず、実験始動時に 300L の貯留槽に水道水を滞留させ、本緑化システムに散水する。貯留槽内に返送された滞留水を対象試料とした。なお、実験

表7.3.7 底面潅水式緑化パレットの概要

底面潅水式緑化パレット	
使用水	・上水に加え雨水利用が主。中水も使用可能。
給水方式	・タンクよりポンプでパレット下部に所定時間給水し、土壌の毛細管現象で潅水後、タンクへ返送する循環系となっている。雨水をパレット面で回収し、不足時は上水(中水)を補給する。一日朝夕2回、自動制御によりポンプを稼動し給水を行う。
特徴	・軽量土壌に用いた基盤で、耐圧性や景観性を有する。 ・芝生が最適の植生であり、維持管理に手間を必要とする。

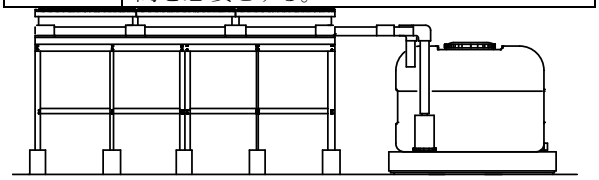


図7.3.5 底面潅水方式の外観

期間内に降雨した雨水も緑化パネルにより本貯留槽内に滞留する条件で行った。貯留槽は非遮光性の塩化ビニル材質であり、昨年の実験により、光による藻類の増殖および水質劣化が顕著であったことから遮光被覆による措置を施している(図 7.3.6、図 7.3.7)。

b 緑化システムの概要

屋上緑化システムを関東学院大学(以下本学とする)6号館屋上に図 7.3.8 に示すように配置し、2004.10/22～11/11 の約 3 週間の期間で屋上緑化システムに散水し、貯留槽内へ返送された滞留水を対象試料として水質試験および細菌試験を行った。

c 貯留槽における滞留水の水質劣化試験概要

前述のとおり、レジオネラ症はエアロゾルを発生しやすい施設の適切な管理により防止できる感染症であるとされている。すなわち、レジオネラ属菌あるいは真菌類をできるだけ増殖させない環境下での利用水の設置方法について検討することが求められる。そこで、本実験では水質の劣化に直接的影響を与えると考えられる日射を遮光し、そのことが水質劣化へどの程度寄与するかについて検討した。すなわち、遮光の有無による水質劣化の差異について測定した。



図7.3.6 貯留槽の外観



図7.3.7 遮光措置後の貯留水槽

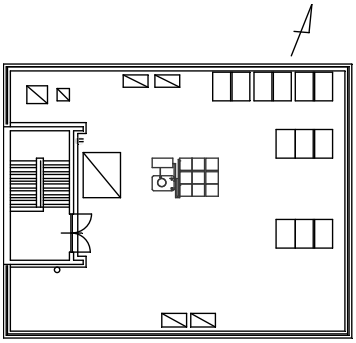


図7.3.8 底面潅水屋上緑化システムの配置図

d 遮光シートの有無による水質劣化試験

①水道水の水質変化(RUN1)

20Lポリタンク容器(一方に遮光シートを被覆)に水道水を貯留し密栓する。このポリタンクを本学設備工学研究所屋上に設置し、2004.7/30～9/24 の約 2 ヶ月間を 1 週間毎にポリタンク内の試料を採取し、遮光有および遮光無の条件下で水質変化を追った。表 7.3.8 に実験の概要を示す。

表7.3.8 遮光シート有無による水道水の水質劣化試験の概要

ポリタンク	No1	No2
期間	7/30～9/24	
開始試料	水道水	
条件	遮光有	遮光無
写真		

②.利用水の水質変化（RUN2）

水道水の水質変化実験と同様に屋上緑化に利用した水を20Lポリタンク容器に密栓し、遮光の有無による水質の経時変化を追った。概要を表 7.3.9 に示す。

表7.3.9 遮光シート有無による屋上緑化利用水の水質劣化試験の概要

ポリタンク	No1	No2
期間	10/18～11/22	
開始試料	屋上緑化利用水	
条件	遮光有	遮光無
写真		

e 雨水貯留槽除菌装置による検討

①装置概要

実験に使用した除菌装置は、Pm 社製であり、循環浴槽システムの除菌装置として塩素消毒法と併用して利用されている。浴場施設における仕様は、3m^3 の浴槽容量に対し、90L/min の循環水量で使用されている。本装置の原理は、非溶出性有機化学物質複合剤を樹脂に混合し成形したフィルターに循環水を接触させる。この接触で細菌の細胞膜を破壊し、蛋白質や DNA の合成を阻害することによって除菌するというものである。本装置の断面図を図 7.3.9 に示し、屋上緑化システムに設置した外観を図 7.3.10 に示した。さらに除菌装置内部の様子を図 7.3.11 に示し、屋上緑化システムに設置した状況を図 7.3.12 に示す。

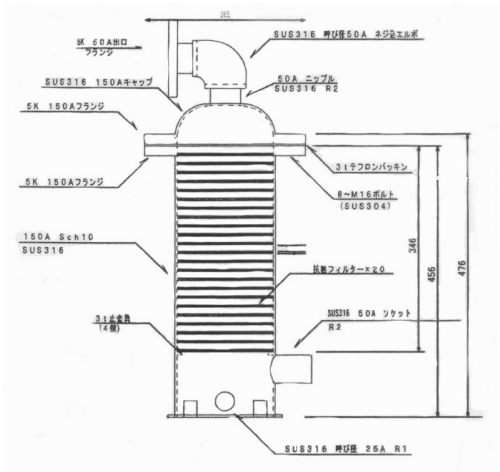


図7.3.9 除菌装置断面図

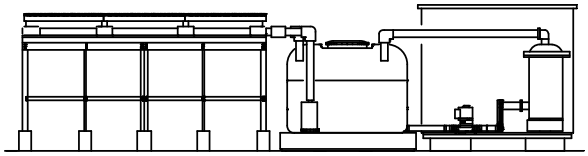


図7.3.10 除菌装置敷設時の外観

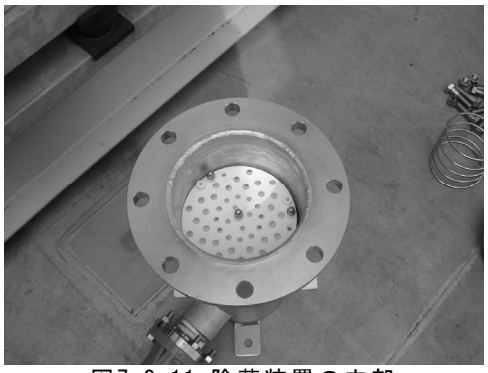


図7.3.11 除菌装置の内部



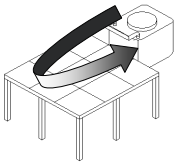
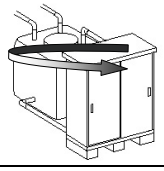
図7.3.12 除菌装置設置後の緑化システム

②実験条件

屋上緑化システムに除菌装置を設置し、貯留槽内における水質について経時的に測定した。表 7.3.10 に除菌装置による実験条件を示す。なお、本実験は本学設備工学研究所屋上（2004.7/27～9/25）および本学

6 号館屋上(2004.12/2～12/20)に設置した。

表7.3.10 屋上緑化利用水の除菌装置による処理方法の条件

	植栽パレットとの循環(有・無)	除菌装置への流入水量(L/min)
条件		
RUN1	○	20
RUN2	×	20
RUN3	×	10

本学設備工学研究所屋上に設置した屋上緑化システムの配置図を図 7.3.13 に示す。

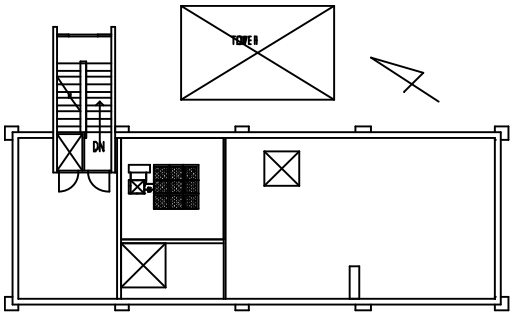


図7.3.13 設備工学研究所における平面屋上緑化システム配置図

f 塩素消毒による細菌類の不活化

①概要

塩素消毒は、我が国において水道水の消毒に、法的に義務付けられている唯一の方法である。排水の消毒は、特に塩素でなければならないと決められているわけではないが、塩素消毒が大半を占める。塩素消毒法の特徴を表 7.3.11 に示す。

本実験では、レジオネラ属菌が大量増殖した場合を想定し、利用水中のレジオネラ属菌を継代培養し、本菌を 10^5～10^6CFU/mL の高濃度で屋上緑化利用水中に添加し塩素消毒によるレジオネラ属菌の不活化について検討を行った。

表 7.3.11 塩素消毒法の特徴

長所	短所
・消毒効果が、標的とすべき微生物の種類に対し、広範囲に期待できる。 ・多量な水に対する取り扱いと定量注入が容易。 ・消毒効果が、残留する。 ・存在の確認と濃度の定量が容易。 ・緊急時の使用に最適。 ・価格が安い。 ・維持が容易。	・副生成物の生成 ・刺激臭を有し、水の味を損なう。 ・特定の物質と反応し、臭気を強める。 ・アルカリ側で効果が急減する。 ・窒素化合物と反応すると効果が減じる。 ・クロラミンが目を刺激することがある。

②試験手順

【レジオネラ属菌の継代培養およびレジオネラ属菌調製液の作成】

1.屋上緑化利用水 1000mL を孔径 0.22μm のろ紙でろ過滅菌し、試料中のレジオネラ属菌を捕集する。
2.捕集したろ紙を直ちに滅菌精製水入り三角フラスコに入れ、試験管ミキサーを用いて約 1 分間激しく振盪する。
3.2 に 0.2mol/L 塩酸・塩化カリウム溶液 5mL を加え、再び 1 分間激しく振盪したのち、室温で撹拌しながら 15～20 分間作用させる。
4.3 についてWYOα寒天培地に 0.1 mL ずつ採り、コンラージ棒を用いて塗布平板とする。これを 36±1℃で 5～7 日間培養し、コロニー形成したレジオネラ属菌を継代培養する。
5.継代培養したレジオネラ属菌のコロニー2 白菌耳を滅菌精製水で 10mL とし、これをレジオネラ属菌調製液とする。

【消毒方法】

1.500mL 試料ビンに利用水 500mL を入れる。
2.試料ビンにレジオネラ調製液 1mL を入れ、マグネティックスターラーで撹拌する。
3.試料ビンに次亜塩素酸ナトリウムを遊離残留塩素濃度で 0.5 mg/L 程度になるように添加する。
4.次亜塩素酸ナトリウムの接触時間は、60 分間を 15 分間隔の計 5 回とし、各々の試料を採取した。

g 紫外線照射法によるレジオネラ属菌の不活化

①.概要

紫外線照射法は、主として 253.7nm の紫外線ランプを用いて消毒する方法であり、細菌およびウイルスに対して有効に作用するといわれている。この方法は主に空気、食品などの消毒、皮膚病治療など様々な分野において用いられている。紫外線照射法による消毒方法の特徴を表 7.3.12 に示す。

表7.3.12 紫外線照射による消毒方法の特徴

長所	短所
・簡単に適用が可能 ・維持管理が容易 ・物質を添加しない ・副生成物が存在しない ・短時間での消毒が可能 ・薬剤のような害はない	・Giardia Lamblia のような原虫シフトに対する不活化力が弱い ・SS、濁度、色度および溶存有機物濃度の高い水には不向き ・紫外線照射量を正確に求めることが難しい ・残留効果がない ・エネルギー消費が多く、ランニングコストに問題 ・光による再活化(光回復)

②.試験手順

【消毒方法】

1.深皿シャーレに滅菌済精製水 500mL を入れる。
2.深皿シャーレ内にレジオネラ属菌調製液 1mL を入れ、マグネティックスターラーで撹拌する。
3.深皿シャーレ上部にハンディ型紫外線照射計(UVP 社製 UVGL－58 型)を用いて紫外線ランプ強度 0.3～0.4mW/cm2 となるように照射する。
4.紫外線照射時間は、1 分間を 10 秒間隔の計 6 回とし、各試料を採取した。
5.試料を孔径 0.22μm のメンブランフィルターを用いてろ過操作し、レジオネラ属菌を捕集する。
6.捕集したろ紙を直ちに滅菌精製水入り三角フラスコに入れ、試験管ミキサーを用いて約 1 分間激しく振盪する。これに 0.2moL/L 塩酸・塩化カリウム溶液 5mL を加え、再び 1 分間激しく振盪する。
7.室温で撹拌しながら 15～20 分間作用させ、これを検液とする。
8.検液についてWYOα寒天培地に0.1mL ずつ採り、コンラージ棒を用いて塗布平板とする。
9.倒置して恒温器に収め、36±1℃で5～7 日間培養する。培養後、平板上に形成された湿潤性の青白色集落をレジオネラ属菌と判定し、菌数を算出する。レジオネラ属菌の菌数の算定式(1)を以下に示す。
10.得られた結果については紫外線照射時間と生残率の関係について次式より評価する。

$$N_t/N0 = e^{-kt} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

N_t:t時間後の微生物濃度(CFU/mL)
N_0:初期(t=0)の微生物濃度(CFU/mL)
K:速度定数(l/S)、 t:時間(S)

(2) 結果および考察

a 貯留槽の水質調査評価

本調査は2004.10/22～11/11 の間の約 3 週間に行った。得られた結果を表 7.3.13 に示す。

表 7.3.13 に示すとおり、電気伝導率は 94～134μS/cm(中央値:94.5μS/cm,n=7)を示し、pH 値は 7.2～7.6(中央値:7.4,n=7)となり、TOC(有機炭素)は 3.48～3.86mg/L(中央値:3.56mg/L,n=4)を示した。また細菌汚染の観点からレジオネラ属菌の増殖状況をみると 10～15CFU/100mL(中央値:30CFU/100mL)が検出された。

表7.3.13 貯留槽内の水質変化

月日	電気伝導率(μS/cm)	PH (-)	TOC (mg/L)	レジオネラ属菌 (CFU/100mL)
10/22	134	7.4	3.86	ND
10/25	124.1	7.19	3.63	30
10/28	118.4	7.2	3.48	50
11/1	94.5	7.47	3.47	40
11/4	94.5	7.45	-	-
11/8	92.6	7.39	-	15
11/11	94.2	7.36	-	10

以上の結果より、貯留槽内に約 3 週間滞留し、緑化システムを循環する系における水質は有機汚濁物質の増加はみられなかった。

この理由として、調査期間が 10 月末から 11 月上旬であり、日射による藻類の増殖が夏期ほど高くはないことが考えられた。

一方、レジオネラ属菌は貯留水 100mL 当り 30 CFU(中央値)程度は検出されており、浴場施設における検出されないこと(1 CFU /100mL 未満)より上回る結果が示された。

b 光シート被覆の有無による水質劣化

①.水道水の水質変化

レジオネラ症はエアロゾルを発生しやすい施設の適切な衛生管理により防止できる感染症であるとされている。

すなわち、水質を劣化させないことがレジオネラ属菌あるいは真菌類の発生抑制になると考えられる。そこで本実験では遮光の有無における水質劣化試験を行った。

まず、図 7.3.14 に示す結果は密栓した水道水を屋上に設置し、遮光有および遮光無の条件下で水質変化を追った。

本実験は 2004.7 月～9 月の夏期中に行った。結果をみると試料ビンを密栓したこともあり、両者に大きな差異は認められないものの、実験の後半になると従属栄養細菌の増殖に遮光有の方が数値に若干変動がみられた。表 7.3.14 に同条件における水質変化を示す。水質からみて特徴的な点として pH の時間に伴う推移が挙げられる。たとえば遮光なしの条件では初期値が 7.7 を示し、1 週間経過すると 7.8 となり時間の経過するにつれアルカリ性を示し、最終値は 8.6 になった。一方、遮光を行った条件下においてもpH値は同様にアルカリ側に推移する傾向にあり、両者に大きな差異は認められなかった。

この理由として、本実験は夏期に行ったものであり、水質劣化する要因として水温の上昇も大きいと考えられ、遮光の有無のみでは両者を比較することはできなかった。すなわち、夏期の高温時の水質を遮光のみでは水質劣化を防止することはできないことがわかった。

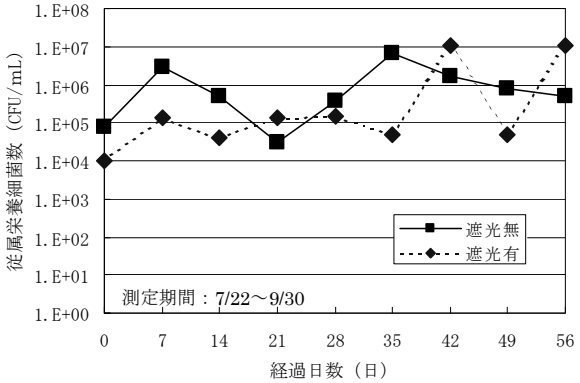


図7.3.14 遮光の有無による水質変化

①.利用水の水質変化

表 7.3.15 に遮光シート被覆の有無による利用水の水質変化を示す。本実験は 6 号館屋上に設置した緑化システムの植栽通過後の試料について行った。表に示すとおり、水温は12～22℃を示し両者に大きな相違はなかった。pH 値をみると遮光を行った条件は 7.0(初期値)～7.4(約 1ヶ月)と時間に伴う大きな推移は認められなかった。

表7.3.14 遮光シート被覆有無による水道水の水質劣化試験

	遮光無					遮光有				
日付	レジオネラ属菌(CFU/100mL)	pH (-)	TOC (mg/L)	EC (μS/m)	従属栄養細菌(CFU/mL)	レジオネラ属菌(CFU/100mL)	pH (-)	TOC (mg/L)	EC (μS/m)	従属栄養細菌(CFU/mL)
7/30(0日)	ND	7.7	4.12	171.4	8×10^4	ND	7.7	3.39	170.4	1×10^4
8/6(7日)	ND	7.8	3.95	170.9	3×10^6	ND	8.2	4.27	176.8	1.4×10^5
8/13(14日)	14	7.9	4.29	170.5	5×10^5	1	8.1	4.19	170.9	4×10^4
8/20(21日)	17	8.1	3.84	173	3×10^4	ND	7.9	3.94	171.6	1.3×10^5
8/27(28日)	ND	8.4	3.86	169.6	-	ND	8.6	3.92	175.5	1.5×10^5
9/3(35日)	ND	8.7	4	171	7×10^6	ND	8.4	4.13	170.9	5×10^4
9/10(42日)	ND	8.6	4.22	169.1	1.7×10^6	ND	8.4	3.77	171.8	1.1×10^7
9/17(49日)	ND	8.5	4.54	169.5	8×10^5	ND	8.5	4.09	170.5	5×10^4
9/24(56日)	ND	8.6	3.96	166.8	5×10^5	2	8.5	3.53	168.6	1.1×10^7

表7.3.15 遮光シート被覆有無による屋上緑化利用水の水質劣化試験

採取日	10月18日	10月25日	11月1日	11月8日	11月15日	11月22日
遮光有						
水温(℃)	17.5	19.8	12.7	22.5	13.3	16.5
pH	7.07	6.96	7.71	7.6	7.78	7.43
EC(μS/cm)	114.7	118.3	118	117	119	112.6
COD	5.24	5.63	3.46	—	3.64	4.86
TOC(mg/L)	3.83	3.03	3.25	—	—	—
レジオネラ属菌(CFU/100mL)	180	70		195	40	240
一般細菌(CFU/mL)	2000	4000	1000	—	—	—
遮光無						
水温(℃)	17.5	20.8	12	21.6	12.2	20.1
pH	7.07	7.74	9.08	9.96	10.4	10.7
EC(μS/cm)	114.7	121.3	118.2	119.5	136	132.4
COD	5.24	4.23	6.64	7.19	8.61	7.48
TOC(mg/L)	3.83	4	5.17	—	—	—
レジオネラ属菌(CFU/100mL)	180	—	—	325	120	86
一般細菌(CFU/mL)	2000	4000	9000	—	—	—

一方、遮光をしない条件下のpH値は7.0から10.7と大きく変動し、アルカリ性を示す結果となった。pH値が9.0を示したのは約10日後であった。

さらに有機物の増加傾向をCOD値からみると遮光しない条件では5.2(初期値)から7.5mg/Lまで高くなる結果となり、遮光すると5.2～4.9と大きく変動することはなかった。

これら水質中における一般細菌の増殖挙動をみると、遮光しない条件下では、初期値(2000CFU/mL)は2週間経過すると約5倍量まで増殖する結果が示された。

以上の結果より、水温が約20℃前後の水質では日射を遮ることで、水質劣化を若干遅らせることは可能であると考えられた。

c 除菌装置による雨水の水質特性

①.RUN1(植栽パレット～貯留槽間循環＋除菌装置流入水量20L/min)

本実験は2004.7/27～9/11の期間に本学設備工学実験棟屋上で行った。

表7.3.16および図7.3.15に除菌装置取り付け後の屋上緑化利用水の経時変化について示す。またTOCの経時変化を図7.3.16に、レジオネラ属菌選択培地上におけるレジオネラ属菌および真菌類の培養写真を図7.3.17に示す。写真に示すとおりレジオネラ属菌用選択培地には時間の経過に伴う真菌類の増殖が顕著となった。

表7.3.16 除菌装置取り付け後の屋上緑化利用水の経時変化

経過日数(日) / 測定項目	0 (7/27)	3 (7/30)	6 (8/2)	9 (8/5)	12 (8/8)	15 (8/11)
レジオネラ属菌(CFU/100mL)	1	27	81	16	23	73
真菌類(CFU/mL)	ND	12	3002	300	100	10^2<
pH(-)	7.81	8.04	7.69	8.04	8.04	8.19
TOC(mg/L)	4.15	14.8	18.5	19	19.7	20.3
電気伝導率(μS/cm)	173	204	212	209	211	222

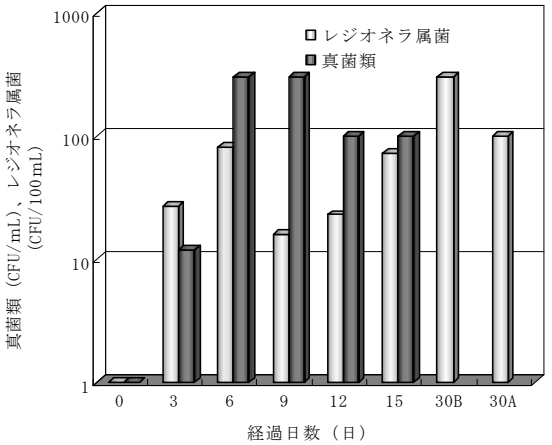


図7.3.15 除菌装置設置後の各細菌数の経時変化

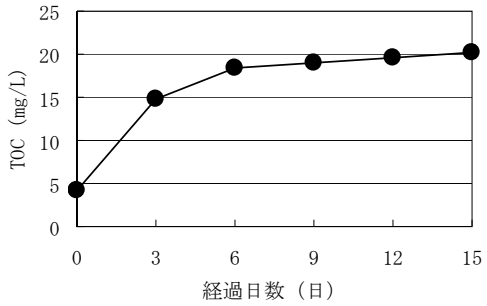


図7.3.16 TOCの経時変化

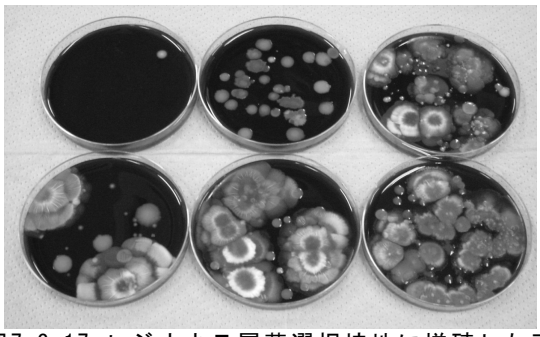


図7.3.17 レジオネラ属菌選択培地に増殖した真菌類（左上から経過日数0日,3日,6日,左下から9日,12日,15日）

②.RUN2（植栽パレット～貯留槽間循環停止＋流入水量 20L/min）

2004.9.25 に本学設備工学研究所屋上において除菌装置に流入する前後の試料を比較し水質変化について考察した。実験結果を表 7.3.17 に示す。表よりレジオネラ属菌およびその他の項目において特に大きな変動は見られなかった。

表7.3.17 除菌装置通過前後の水質変化

期日	9 月 25 日	9 月 25 日
試料名	不活化装置通過前	不活化装置通過後
水温	25.5	25.3
pH	7.3	7.39
電気伝導率（μS/cm）	273	279
TOC（mg/L）	—	—
レジオネラ属菌（CFU/100mL）	3×102	1×102

以上の結果より、本除菌装置により、利用水中に増殖する細菌類を不活化することはできなかった。

d 塩素消毒によるレジオネラ属菌の不活化

塩素消毒におけるレジオネラ属菌の不活化実験結果をレジオネラ属菌の生残率と接触時間についてまとめたものを図 7.3.18 に示す。図より、次亜塩素酸ナトリウムを遊離残留塩素として 0.5mg/L になるように添加し、15 分間接触させると 99.9999%の不活化率が認められた。

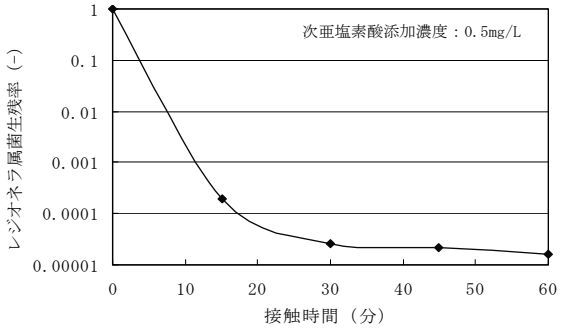


図7.3.18 レジオネラ属菌の生残率と塩素の接触時間の関係

e 外線照射によるレジオネラ属菌の不活化

平成 15 年度の利用水実態調査結果においてレジオネラ属菌が検出された。前述のとおり現状の利用水は、循環利用していることで、本菌の増殖しやすい環境がつくられる。そこで本項では塩素消毒実験と同様の観点から増殖したレジオネラ属菌に対する紫外線照射実験を行った。本実験条件としてはレジオネラ属菌を 10^4～10^5CFU/mL になるように添加した。図 7.3.19 に紫外線照射法による不活化実験結果を示す。

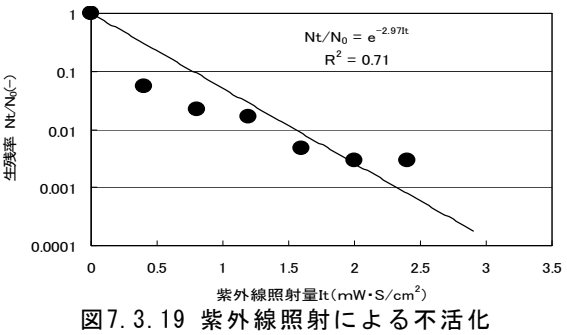


図7.3.19 紫外線照射による不活化

レジオネラ属菌を対象とした近似式 $N_t/N_0 = e^{-2.97It}$ よりレジオネラ属菌を90%不活化するための紫外線量を求めると 0.75mW・S/cm^2 となり、さらに 99%不活化するには 2 倍量の 1.5 mW・S/cm^2 の紫外線量が必要で

ある。なお、紫外線照射法による不活化方法は光回復現象(日射による細菌の再活化)があることから、貯留槽を屋上に設置する場合にはこの現象を考慮する必要がある。

(3) 総括

本研究では、屋上緑化システムに設置した貯留槽内の水質劣化防止策として、藻類の発生抑制およびレジオネラ属菌等の除菌・不活化実験を行い有効な消毒方法について検討した。実験の経緯および得られた知見をまとめると次のとおりである。

1.実験期間は 2004.7/27～2004.12/20 の間とし、屋上緑化システムは本学建築設備工学研究所屋上(2004.7/27～9/11)および本学6 号館屋上(2004.12/2～12/20)に設置した。

2.貯留槽内に発生する藻類の増殖特性を知る目的から、①水道水を原水とした条件、②貯留槽水を原水として遮光の有無について検討した。①の条件は夏期に行ったことから、水温上昇の影響があり、遮光の有無による相違を明らかにすることはできなかった。なお、①、②とも 14 日間で従属栄養細菌は 10^4CFU/mL まで増殖することが示された。②の条件は 2004.11 月に実施した。その結果、貯留槽水を遮光しないことで pH は 10.7 とアルカリ性を示し、藻類の発生が考えられた。さらに TOC(有機物)も時間の経過に伴い 8.61mg/L まで高くなり、水中における炭酸同化作用による TOC の増加が測定された。一方、遮光した条件下では、初期値は大きく変動することはなかった。以上のことから利用水の水質を劣化させないためには、高温にしないことや遮光することなどの重要性が示唆された。

3.市販除菌装置による利用水中に増殖する細菌類の除菌効果について検討した。2004.7/27～12/20 日間の実験期間において明らかなレジオネラ属菌に対する除菌効果は得られなかった。なお、真菌類が増殖したことによりレジオネラ属菌用選択培地においてレジオネラ属菌を検出することはできなかった。

4.利用水中におけるレジオネラ属菌の塩素消毒および紫外線照射法による不活化実験を行った結果、レジオネラ属菌の99%不活化するのに必要な Ct 値(mg・min/L)は 4 mg・min/L であり、紫外線照射法では、紫外線量 It 値は 1.6 mW・S/cm^2 となった。

参考文献

1)光岡俊成:レジオネラ症を予防するために必要な措置に関する技術上の指針(厚生労働大臣告示)の制定について、空気調和・衛生工学、78-2(2004),pp.63～69
2)日本下水道協会(2001):上水試験方法
3)(財)ビル管理教育センター:新版レジオネラ症防止指針
4)梅原敏正,山海敏弘 他:エネルギー・資源の自立循環型住宅・都市基盤整備支援システムの開発＜自立循環型住宅開発委員会＞平成 14 年度報告書
5)山田賢次:建物内における上質水,pp.20,25
6)山本大輔:暮らしの水・建築設備の水利用 pp.25
7)金子光美:水の消毒(1997)
8)椎野晃明,野知啓子,大塚雅之他 2 名:屋上緑化システムに利用可能な雑用水の水質調査,2003 年度日本建築学会関東支部研究報告集
9)椎野晃明,中村伸也,野知啓子,大塚雅之:屋上緑化および利用可能な雑用水の水質調査,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,2004,pp.723
10)大塚雅之,山海敏弘:資源循環型システムの開発研究 その 3 要素技術と性能評価の概要,日本建築学会学術講演梗概集,2004,pp519
11)中村伸也,野知啓子,大塚雅之他 5 名:資源循環型システムの開発研究 その 6 雨水・再利用水の水質評価, 日本建築学会学術講演梗概集,2004,pp525

(野知啓子,中村伸也,大塚雅之)

7.3.3 浄化槽処理水利用に関する水質・衛生学的評価

1) はじめに

近年、台所、トイレなどの水周りや居間などの生活空間の改善により住宅を取り巻く環境は、年々向上しているが、社会資本に影響を与えかねないごみ問題やヒートアイランド現象、水の有効利用など資源循環型社会を構築する上で、まだ、多くの課題が残されている。これらの課題は、自立循環型住宅の開発においても重要であり、個々の課題において解決するための手段も提案されている。

その一つが、台所から発生する野菜くずや残飯などの生ごみを処理するディスポーザである。ディスポーザは、生ごみの悪臭、害虫発生、ごみ袋からの液だれなどの問題を改善する方法として利便性向上、衛生面の改善、生ごみ削減効果向上、環境負荷低減などの利点であり、わが国では、ディスポーザ排水処理システムとして排水処理槽と一体で設置が認められている。

また、都市の住宅環境問題としてヒートアイランド現象がクローズアップされており、それを緩和する技術の一つとして屋上緑化システムが注目されている。しかし、緑化植物の維持に必要な水源確保の課題が残されていている。

一方、一般家庭から発生する排水は、下水道地域では直接、下水暗渠へ放流し、また、浄化槽地域では、合併処理浄化槽で処理された後に側溝や河川に放流しているに過ぎず、一部、トイレ洗浄水として中水利用されているがその用途は限定的である。更に、排水の高度処理化の進展により窒素やリン低減技術が導入され、富栄養化問題は改善されてきているが更なる除去・低減の必要がある。

以上、ディスポーザ、屋上緑化システム及び中水再利用とも水・資源に関わる技術であるがこれらを統合した水資源効率化技術についての研究・開発の検討が必要である。

平成 14 年度までは、ディスポーザ対応合併処理浄化槽を用いて未利用資源(浄化槽処理水、雨水、浄化槽余剰汚泥)の利用技術について実証実験を実施した。

そこで平成 15・16 年度は、最も処理性能が高い膜利用浄化槽に着目し、①ディスポーザ排水の膜利用浄化槽処理可能性②膜利用浄化槽の処理水(以下膜処理水と呼ぶ)の屋上緑化散水による水源確保と水のリサイクル率の向上③膜処理水の屋上散水による緑化植物への含有栄養塩類供給による窒素・リン富栄養化問題の改善④膜処理水および屋上緑化放流水の細菌学的手法を用いた衛生学的評価と水理工学評価⑤膜利用浄化槽・緑化システムの水収支算定を目的とした。

2) 実験方法

(1) 実験装置概要

実験に使用した装置の概要を図 7.3.20 に、実験概要を表 7.3.18 に示す。

実証実験装置は、独立行政法人建築研究所内の 20℃一定の恒温室に設置した 5 人用膜利用浄化槽と野外に設置した屋上緑化棟から構成されている。世帯 4 人(大人:2 人、子供:2 人)を想定して生活系実排水と標準生ごみを粉砕したディスポーザ排水を流入させた 5 人槽膜利用浄化槽で浄化処理した後、膜処理水は、屋上緑化棟の屋根面に定圧ポンプと流量計を用いて一定流量で供給し、多孔質散水管から屋根面に滴下散水した。屋根面には、マンネングサ系のセダム類が植栽された平面パネル式屋上緑化パレットの植栽基盤(200 ㎜

角)120 枚を敷設した。

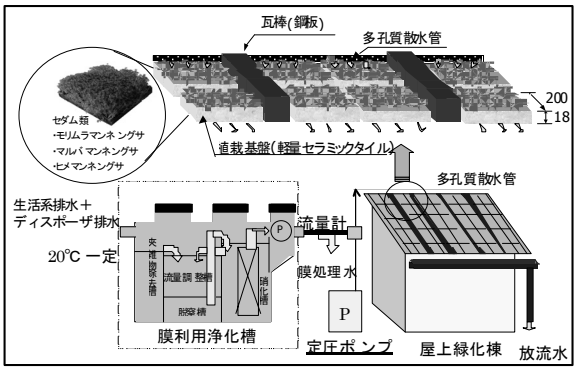


図7.3.20 実験装置概要

表7.3.18 実験概要

実験開始	H16.5.25～
標準生ごみ粉砕開始	H16.6.8～
使用人員(人)	4
5人用膜浄化槽容量(m^3)	3.24
流入排水量(m^3・日$^{-1}$)	0.8
標準生ごみ(kg・日$^{-1}$)	1.0
ディスポーザ排水量(m^3・日$^{-1}$)	0.02
屋上緑化面積(m^2)	4.8
緑化散水量(m^3・日$^{-1}$)	0.12
植栽基盤寸法(縦㎜×横㎜)	200角
植栽基盤個数(枚)	120

実験に用いた標準生ごみは、表 7.3.19 の組成に基づき作成したものを使用した。また、生活系排水の流入は、浄化槽の性能評価試験で用いられている図 7.3.21 の流入パターンで実験を行い、生ごみは、排水が流入する時間帯に 4 人分をディスポーザで粉砕しながら 5L・人$^{-1}$・日$^{-1}$の水道水で搬送した。

表 7.3.19 標準生ごみ組成

組成		湿潤重量 (g・人$^{-1}$・日$^{-1}$)
野菜類	人参	45
	キャベツ	45
果物類	バナナの皮	25
	リンゴ	25
	グレープフルーツの皮	25
肉・魚介類	魚	25
	鳥骨	20
米飯		25
茶殻		10
卵殻		5
合計		250

実験期間は、H16.5.25 から H16.12.13 の約 6 ヶ月間行い、生活系排水、膜処理水、屋上緑化放流水の水質分析を行った。水質分析は、pH、BOD,COD,SS,T-N、T-P、一般細菌群数、大腸菌群数, MLSS,VSS を下水試験法に準拠して行い、レジオネラ属菌数は、上水試験法に基づいて行った。

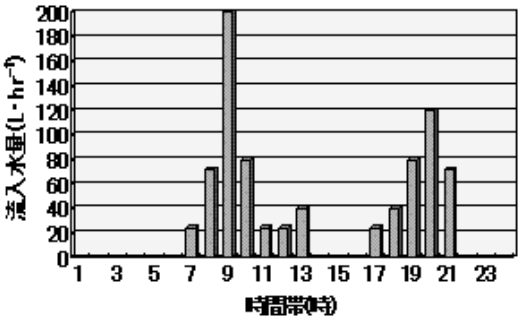


図7.3.21 生活系排水の流入パターン

3) 結果および考察

(1) 膜利用浄化槽の処理性能評価

膜利用浄化槽へ流入する排水の平均性状を表 7.3.20 に示す。

生活系排水は、目標濃度を BOD:200 ㎎・L^{-1}、SS:200 ㎎・L^{-1} としたが、実験期間中の平均で BOD:224 ㎎・L^{-1}、SS:244 ㎎・L^{-1}と目標濃度よりやや高い水質であった。ディスポーザ排水は、標準生ごみを使用していることから文献値[1)]の原単位を基準とした。その結果、生活系排水とディスポーザ排水を含む流入排水は、

表7.3.20 流入排水性状(6ヶ月平均)

	生活系排水	ディスポーザ排水[1)]	流入排水
水量(m^3・日$^{-1}$)	0.80	0.02	0.82
pH(-)	7.22	-	-
BOD(㎎・L^{-1})	224	5,500	352
COD(㎎・L^{-1})	122	5,000	241
SS(㎎・L^{-1})	244	7,000	409
T-N(㎎・L^{-1})	31.2	280	37.3
T-P(㎎・L^{-1})	3.04	50	4.19
一般細菌(cfu・ml^{-1})	1.8×10^6	-	-
大腸菌(cfu・ml^{-1})	6.5×10^4	-	-

BOD:352 mg･L^{-1}、SS:409 mg･L^{-1}、T-N:37.3 mg･L^{-1}、T-P:4.19mg･L^{-1} であり、これを原水として膜利用浄化槽に供給した。なお、生活系排水の菌体は、一般細菌群数:1.8×10^{8}cfu･ml^{-1}、大腸菌群数:6.5×10^{4} cfu･ml^{-1} と多くの菌体数を検出した。

a 有機汚濁指標(COD,BOD、SS)

膜処理水の COD,BOD,SS の各月平均を図 7.3.22 に示す。COD は、4～7 mg･L^{-1} 程度と良好な水質で実験期間中推移していた。

一般に湖沼の場合、1～8 mg･L^{-1} が環境基準値であることからも良好な水質と判断できる。BOD は、実験期間中で 5 mg･L^{-1} 以下であり安定した処理性能を有していた。また、SS は、膜によってろ過させていることから 1 mg･L^{-1} 以下であった。このことから、ディスポーザ排水が流入することでの影響は確認させず、良好な処理性能を有していた。

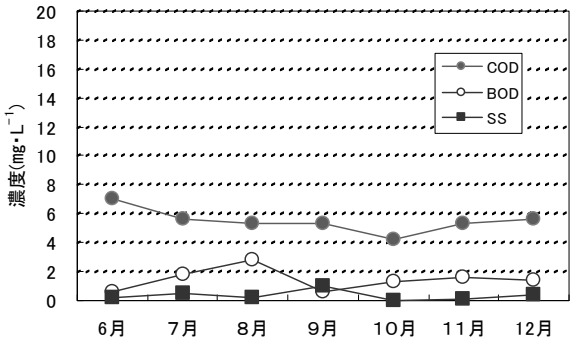


図7.3.22 有機汚濁指標の推移

b 窒素、リン

膜処理水の T-N、NH_4-N、NO_X-N,T-P の各月平均を図 7.3.23 に示す。実験開始直後の 6 月の T-N は、8.5 mg･L^{-1} と 5 mg･L^{-1} を超えていた。これは、硝化反応は十分に進んでいるが脱窒反応が不十分であるためであった。しかし、2ヶ月目からは脱窒反応が進行し、各月とも 5 mg･L^{-1} 以下であり、良好な窒素除去性能を有していた。生活系排水のみを処理する膜利用浄化槽は、使用開始から3ヶ月程度は窒素の除去性能が悪く、また、T-N:5 mg･L^{-1} まで除去は難しいのが一般的である。しかし、本実験では、ディスポーザ排水が流入することで脱窒槽への有機物量が多く、脱窒反応に寄与していることが要因と考えられる。

T-P は、平均流入排水濃度:4.19mg･L^{-1} に対して 0.5～3mg･L^{-1} 程度であり、微生物菌体内に取り込まれた分が消費させていると推測する。

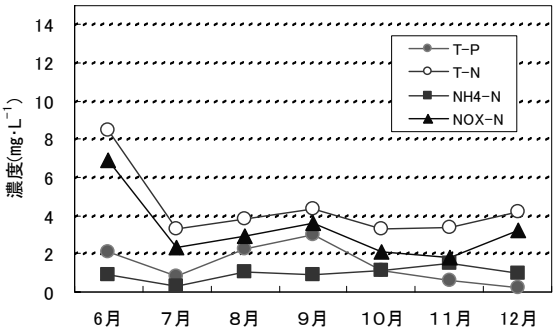


図7.3.23 窒素、リンの推移

c 一般細菌群数、大腸菌群数、レジオネラ属菌数

膜処理水は、活性汚泥を有機膜によってろ過した処理水のため一般細菌群数は、月平均で 30cfu･ml^{-1} 以下であった。一般細菌群数の測定では、不検出のときもあることから採水および分析時の外部汚染の影響と考えている。また、大腸菌群数は、実験期間中ほぼ不検出であり、検出されても 10cfu･ml^{-1} 未満であった。また、レジオネラ属菌数に至っては、実験期間中すべて不検出であり衛生面の影響は皆無と考えられる(図 7.3.24)。

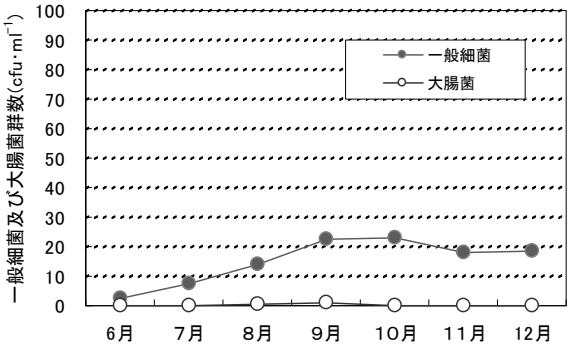


図7.3.24 一般細菌、大腸菌群数の推移

d ランゲリア指数

ランゲリア指数は、金属などの腐食の度合いを表す指標であり、-1 よりも小さいと金属腐食が進む水と言われている。pH、カルシウム硬度、アルカリ度、水中の溶解成分濃度（蒸発残留物）に関係しており、(1)式、(2)式で求めることができる。

SI=pH－pHs・・・・・・・・・・・・(1)

pHs=(9.3+A+B)-(C+D)・・・(2)

SI:ランゲリア指数　A:蒸発残留物係数　B:温度係数
C:カルシウム硬度係数　D:アルカリ度係数

膜処理水のランゲリア指数を図 7.3.25 に示す。

1992 年の厚生省生活衛生局水道環境部の“水道水質に関する基準制定について”ランゲリア指数の目標値を「-1 程度以上とし、極力 0 に近づける」との通知が出ている。よって、実験期間中ランゲリア指数は-1 よりも大きく腐食性の少ない処理水であった。このことから屋上緑化に散水することで金属面を腐食させる可能性は少ないと考える。

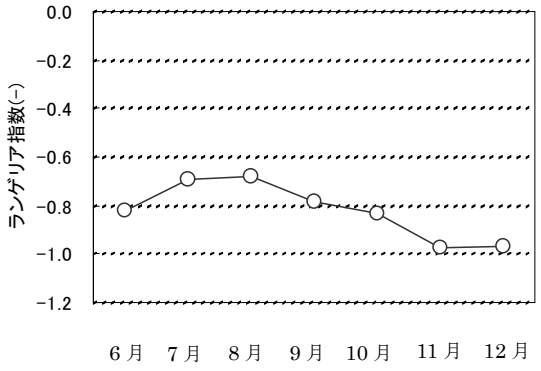


図7.3.25 ランゲリア指数の推移

e 槽内汚泥濃度

実験終了時に各槽内の汚泥量を調査し、その結果を表 7.3.21 に示す。

表7.3.21 膜利用浄化槽内の汚泥量（乾燥重量）

	性状	汚泥量(kg)
夾雑物除去槽	スカム	4.1
	汚泥	5.2
	沈殿物	7.5
脱窒槽	汚泥	9.6
硝化槽	汚泥	9.2
合計		35.5

夾雑物除去槽は、上部にスカムが堆積し、湿潤重量で 32.0 ㎏、乾燥重量で 4.1kgであった。内容物を目視観察するとトイレットペーパー、バナナの皮や茶殻など比較的比重が軽い繊維質が多く含まれていた。また、底部に堆積している沈殿物を、流速 2.4L・m^{-2}・min^{-1} の水で 15 分間洗浄し、組成調査した結果を表 7.3.22 に示す。実験期間中（実験開始から 204 日、生ごみ投入から 184 日）に投入した卵殻は、3.7 ㎏、鳥骨は、14.8 ㎏であった。夾雑物除去槽の卵殻、鳥骨、魚骨やその他（ご飯、繊維質、茶殻などの有機物）が沈殿しているが特に鳥骨が多く堆積し乾燥重量で全体の 68%を占めていた。

表7.3.22 夾雑物除去槽沈殿物の組成

	投入量（湿潤㎏）	沈殿物量（kg）		割合（%）
		湿潤	乾燥	
卵殻	3.7	1.7	1.3	17
鳥骨	14.8	11.1	5.1	68
魚骨	－	1.9	0.8	11
その他	-	0.8	0.3	4
合計		15.5	7.5	100

また、投入量に対して卵殻、鳥骨とも減少が見られたが、微細化による後段槽へ移流や有機酸生成(夾雑物除去槽の底部pH:3～5 で推移)によるカルシウム分の溶解によって減少したのではないかと推測した。スカムの発生や沈殿物の堆積による槽内閉塞は認められなかったことからディスポーザ排水を含む生活系排水を 6 ヶ月間処理する場合は問題がないと思われる。なお、夾雑物除去槽の沈殿物を除く全槽の汚泥量の BOD 汚泥転換率は、63%であった。なお、硝化槽の最終 MLSS, MLVSS は、それぞれ 17,500 ㎎・L^{-1}、14,500 ㎎・L^{-1} であった。

(2) 屋上緑化の性能評価

屋上緑化実験は、植栽基盤を敷設した屋上緑化棟に多孔質散気管を用いて流量 5L・hr^{-1} で滴下散水を行った。植栽基盤を流れ落ちた放流水は、計量器で水量測定を行うとともに全量を取水し、水質分析を行った。なお、採水条件として降雨のない日が 3 日間連続した日

の最終日の朝10時に24時間全量集水したサンプルから採水した。

a 水量

屋上緑化棟への散水量および緑化放流水量を図 7.3.26 に示す。6月の散水量は、設定が上手くいかず設定水量5L・hr^{-1}(0.12m^3・日$^{-1}$)を下回ったが、7月以降は設定通りであった。

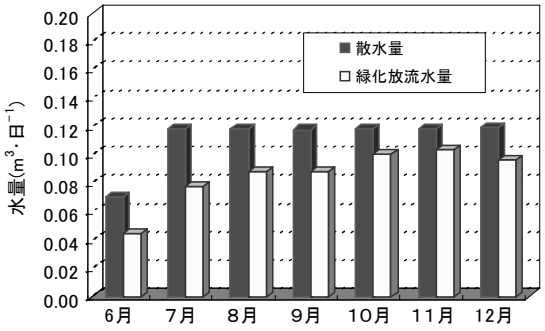


図7.3.26 散水量と緑化放流水量の推移

b 緑化放流水量

緑化放流水量は、夏期において散水量の 30～40%が蒸発により大気放散し減少するため 0.07～0.09 m^3・日$^{-1}$であった。蒸発量分が蒸発潜熱として冷却に寄与している。しかし、気温の低下、日射量の減少とともに秋期から冬期にかけて蒸発量は低下していた。

c 有機汚濁指標 (COD, BOD, SS)

緑化放流水の COD,BOD,SS の推移を図 7.3.27 に示す。6 月は植栽基盤に付着していた土壌などの固形物が放流水に混入したことから SS が高くなり、そのため COD も高くなった。

しかし、BOD はさほど高くなっていないことから土壌の混入により一時的に高くなったものと考えられる。7 月以降は、COD:10 mg・L^{-1}以下、SS:5 mg・L^{-1}以下であり、BOD は、実験期間中 5 mg・L^{-1}以下と安定していた。このことから膜処理水を植栽基盤に散水することで有機汚濁指標が高くなるといった問題はなかった。このことは、緑化放流水を更にトイレ洗浄水や雨水浸透ますによって地下源として再利用することも可能である。

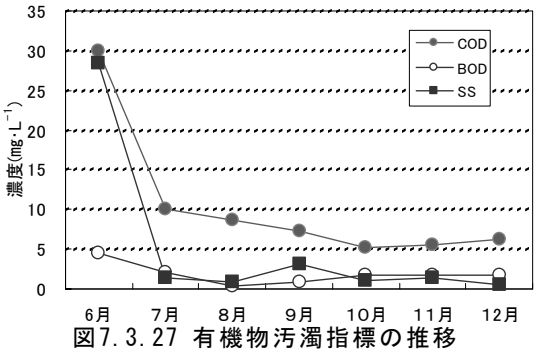


図7.3.27 有機物汚濁指標の推移

d 窒素、リン

窒素およびリンは、植栽基盤の植物により栄養塩類として植物内に取り込まれると推測できることから量的な変化についてまとめた。

窒素量の推移を図 7.3.28 に、リン量の推移を図 7.3.29 に示す。

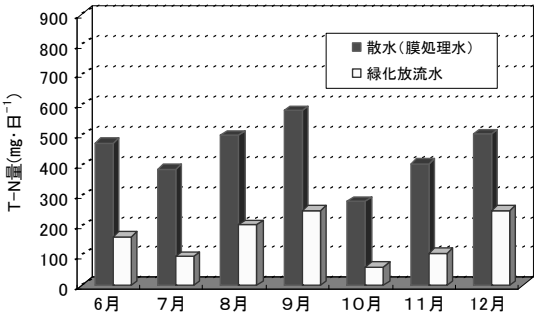


図7.3.28 T-N量の推移

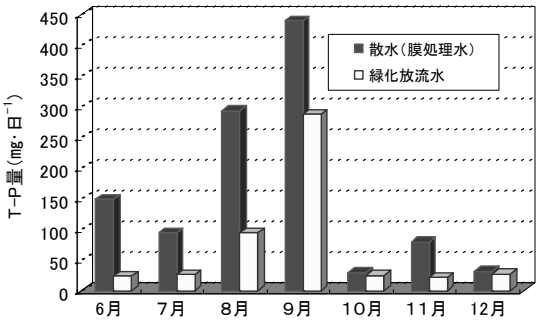


図7.3.29 T-P量の推移

また、窒素、リンの一日における植栽基盤 1m^2 あたりの除去量と植栽基盤における除去率の推移を表 7.3.23 に示した。

窒素は、各月とも除去量で 44.9～69.1 mg・m^{-2}・日$^{-1}$(加重平均:59.4 mg・m^{-2}・日$^{-1}$)で

表 7.3.23　T-N，T-Pの除去量、除去率

		6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	加重平均
T-N	除去量(mg･m^{-2}･日$^{-1}$)	64.8	60.3	61.8	69.1	44.9	61.8	52.8	59.4
	除去率(%)	66	74	60	50	78	72	48	66
T-P	除去量(mg･m^{-2}･日$^{-1}$)	25.9	14.2	41.3	31.8	2.38	12.0	0.92	17.6
	除去率(%)	89	60	67	45	74	59	14	55

あり、また、除去率で 48～78%(加重平均:66%)と安定した除去性能であった。なお、膜処理水中には、硝酸態窒素が含まれているが、硝酸態窒素による植物成長の阻害があると言われているが本実験の濃度ではその影響は無かった。リンの除去量は、0.92～41.3 mg･m^{-2}･日$^{-1}$(加重平均:17.6 mg･m^{-2}･日$^{-1}$)とばらつきが大きく、除去率も 14～89%(加重平均:55%)であった。このようにばらつきが大きい原因は、散水した膜処理水のリン量のばらつきが大きいことに起因している。リンも窒素と同様に植物の栄養塩類として必須であり、膜処理水を散水することで植物の成長を促していることが繁殖状況からも明らかである。

e pH

散水した膜処理水と緑化放流水のpH の推移を図 7.3.30 に示した。

膜処理水のpH は、7.4～7.7 付近であるのに対し、緑化放流水のpH は、8.0～8.6 とより高いアルカリ性を示した。これは、植物によって水中の炭酸ガスが消費され水酸化イオンが形成されたことが原因であると推測する。一般に雨水は、酸性を有しており、近年、酸性雨問題も懸念されているため緑化放流水のアルカリ化は酸性雨対策にも貢献すると考える。

f 一般細菌群数、大腸菌群数、レジオネラ属菌数

散水した膜処理水と緑化放流水の一般細菌群数、大腸菌群数をそれぞれ図 7.3.31、図 7.3.32 に示す。一般細菌群数は、膜処理水が 10^2cfu･ml^{-1} 以下で推移しているのに対し緑化放流水は、10^3～10^5cfu･ml^{-1} と高い値であった。これは、植物が繁殖した植栽基盤を流れでているため植物や植栽基盤中で生息した細菌類が混入していると思われる。

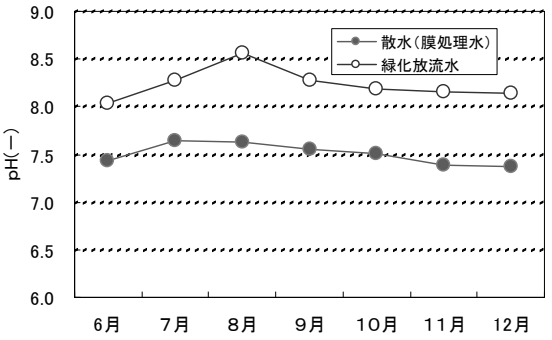


図7.3.30 ｐHの推移

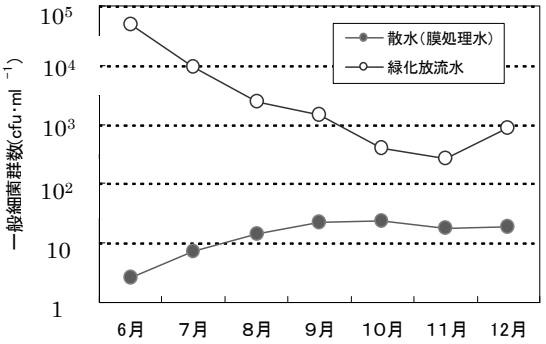


図7.3.31 一般細菌群数の推移

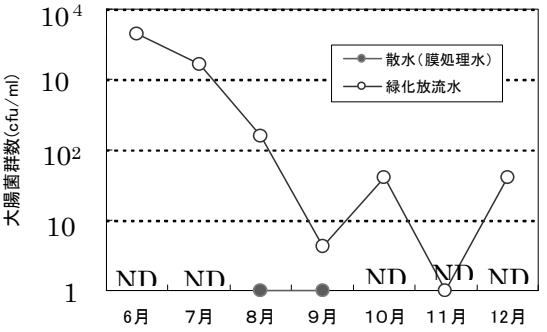


図7.3.32 大腸菌群数の推移

また、大腸菌群数は、膜処理水ではほとんど不検出であったのに対し、6 月の緑化放流水は、10^3cfu･ml^{-1} 以上と高かった。しかし、本実験が進むにつれて緑化放流水中に生息する大腸菌群数は減少していた。これは、実験開始時、植栽基盤や植物の根等に付

着していた大腸菌が流出し、高い値を示したが、その後、緑化放流水のpHが高く、この影響によって大腸菌や一般細菌の繁殖を阻害するpH 域となったことから次第に流出する菌数が減少したと推測した。

なお、レジオネラ属菌数は、実験期間中ほとんど不検出でありレジオネラ属菌対策の優先度は低いと考える。

g ランゲリア指数

膜処理水と緑化放流水のランゲリア指数の推移を図 7.3.33 に示す。緑化放流水のランゲリア指数は、-0.8～-0.2 であった。これは、膜処理水のランゲリア指数と比較すると高く、この要因は、緑化放流水のpH が膜処理水よりも高いアルカリ性を示していることに起因している。このことから膜処理水より更に金属腐食の度合いが低く、緑化放流水の更なる有効利用が期待できる。

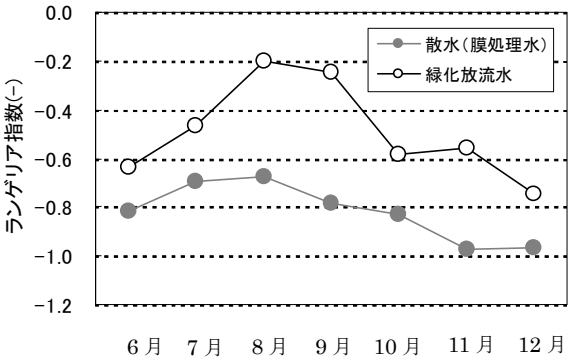


図7.3.33 ランゲリア指数の推移

h 植栽基盤のセダム類繁殖状況

植栽基盤の状況を樋側から撮影した定点観測を行い、植物の繁殖状況を目視観察した。撮影は 2 ヶ月置きに行い、それぞれ図 7.3.34 から図 7.3.37 に示す。

6 月の時点では、まだ、多孔質散気管や鋼板製の瓦棒が確認できたが 8 月では、ほとんど確認できず、特に、多孔質散気管付近は、セダム類が盛り上がるように繁殖しており、セダム類の繁殖力は旺盛であった。一方、樋側に近い下流側では、繁殖に変化が見られず、植栽基盤の軽量セラミックタイルが剥き出しの状態であった。このことから多

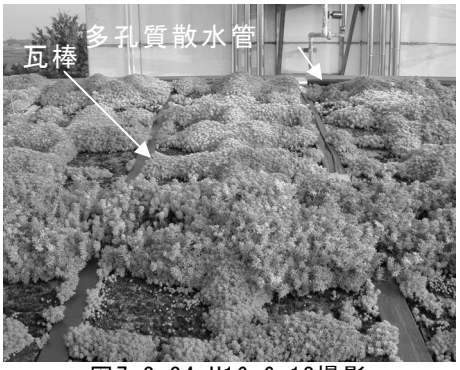


図7.3.34 H16.6.18撮影

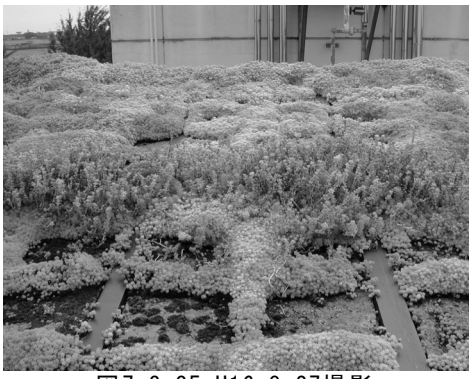


図7.3.35 H16.8.27撮影

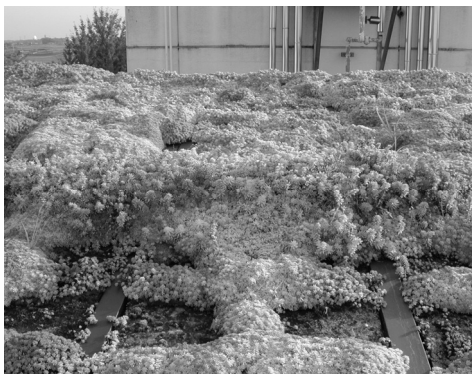


図7.3.36 H16.10.18　撮影

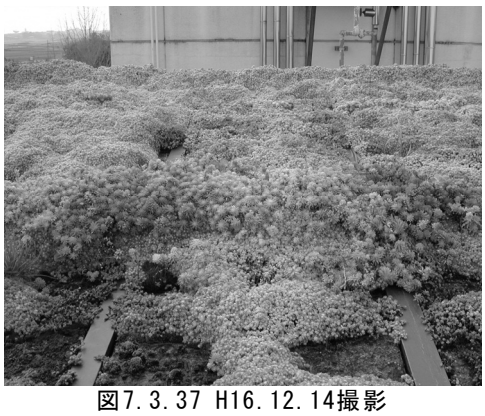


図7.3.37 H16.12.14撮影

孔質散気管のある上流側は、膜処理水に含まれる窒素やリンがセダム類の繁殖に寄与しているが、一方、下流側は、窒素やリン

が十分に行き届かずセダム類の繁殖にムラが生じていた。この結果から散水する場合は、屋根面の中間あたりに散水管を増設する必要がある。なお、12 月は、気温低下により全体に褐色を示し始めた。

i 夏期終日調査

夏期の日射による蒸発や植物への水の吸収による水量変化、水質変化を把握するため 8 月 10 日 AM6:00 から 11 日 AM6:00 の 24 時間について緑化放流水を1時間ごとに全量取水し、放流水量および緑化放流水の水質分析を行った。その時の膜処理水性状を表 7.3.24 に示す。散水した処理水量および緑化放流水の水量変化を図 7.3.38 に示す。日中は、太陽光照射により水の蒸発が盛んであり、13:00 に散水量の 2/3 が蒸発していた。また、夜間でも 10%程度の蒸発が確認された。

表7.3.24 膜処理水の性状

平均散水量(L・hr^{-1})	4.9
pH(−)	7.55
COD(mg・L^{-1})	5.5
BOD(mg・L^{-1})	1.3
SS(mg・L^{-1})	0.0
T-N(mg・L^{-1})	5.0
T-P(mg・L^{-1})	2.17

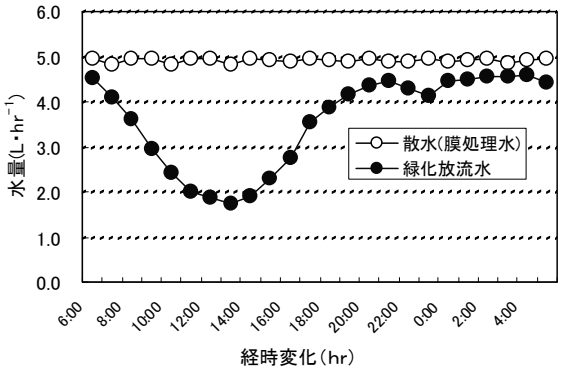


図7.3.38 散水および放流水量の推移

次に、緑化放流水のpH の推移を図 7.3.39 に示す。散水した膜処理水のpH が、7.55 に対して緑化放流水のpH は、日中の 12:00～14:00 でpH9.5 まで高くなった。この原因は、日中光合成によって水中の炭酸ガスが消費され水酸化イオンが形成されたことに起因すると推測する。よって、日没後は、光合成の低下とともにpH が回復基調にあった。

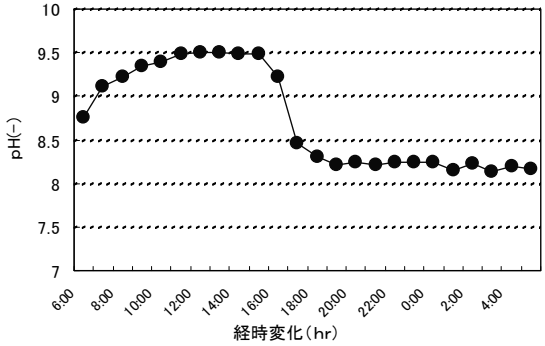


図7.3.39 緑化放流水pHの推移

次に緑化放流水の有機汚濁指標(COD,BOD,SS)の推移を図 7.3.40 に示す。

有機汚濁指標のうち COD,BOD は、夜間よりも日中の方が高く、水量の減少に伴い濃縮により増加したと思われる。ただ、それでも COD で 10 mg・L^{-1} 程度、BOD でも 4.0 mg・L^{-1} 未満と問題の生じる水質ではなかった。更に、SS は、2 mg・L^{-1} を超える時間帯も見られたが大きな変化は認められず良好な水質であった。

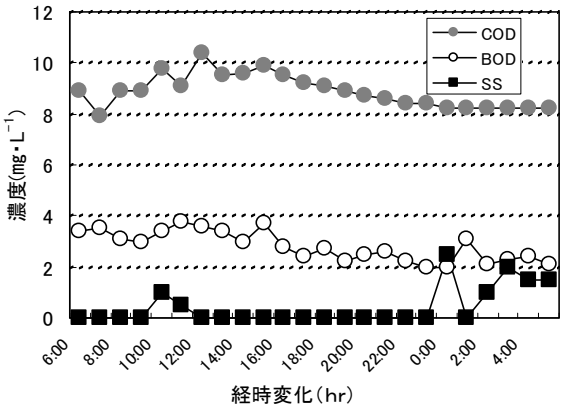


図7.3.40 緑化放流水の有機汚濁指標の推移

次に、緑化放流水の T-N 量、T-P 量の推移を図 7.3.41、図 7.3.42 に示す。T-N、T-P とも夜間に比べ日中に方が減少しており、この原因は植栽基盤の植物によって日中の光合成が盛んなときに栄養塩類として吸収されたことに起因する。特に、T-N の挙動は、その傾向が顕著であった。なお、T-N 量、T-P 量の一日当りの除去率は、89%、63%であった。

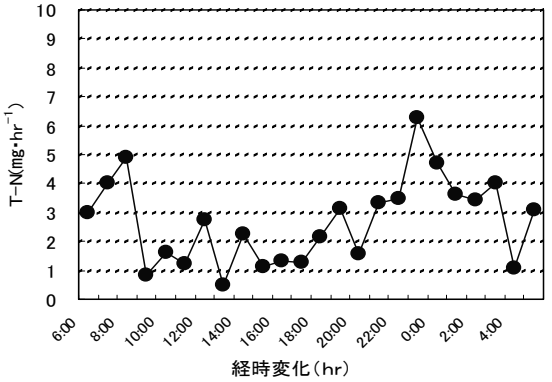


図7.3.41 緑化放流水のT-N量の推移

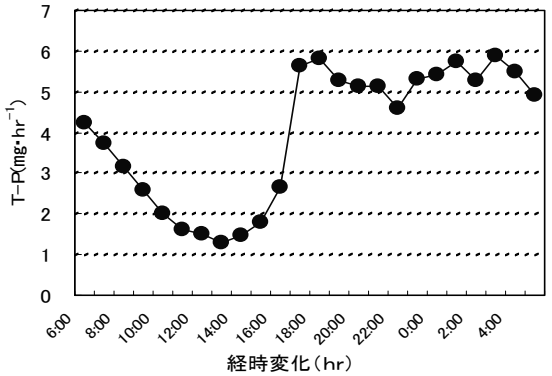


図7.3.42 緑化放流水のT-P量の推移

(3) 膜利用浄化槽を用いた屋上緑化システム導入による水収支

膜処理水を屋上に設置した植栽基盤に散水する本緑化システムについて一戸建てモデル住宅を対象とし、水収支の算定を試みた。算定にあたり表 7.3.25 の前提条件で算定した。

表7.3.25 水収支算定の前提条件（共通）

使用人員(人)		4
流入排水量(m^3･日$^{-1}$)		0.8
標準生ごみ(kg･日$^{-1}$)		1.0
ディスポーザ排水量(m^3･日$^{-1}$)		0.02
植栽基盤寸法(縦㎜×横㎜)		200角
1F平面寸法(mm×mm)		7,280×10,920
2F平面寸法(mm×mm)		7,280×7,280
トイレ洗浄水量 (L･回$^{-1}$)	大	8
	小	6
トイレ使用回数 (回･人$^{-1}$･日$^{-1}$)	大	1
	小	3

表 7.3.26 に示すように屋根面の半分を緑化し、24 時間常時散水するケース1と屋根面全面を緑化し、日中の 12 時間のみを散水するケース 2 に大別した。また、算定した結果を図 7.3.43、図 7.3.44 に示した。

表7.3.26 算定条件

	ケース1	ケース2
植栽基盤設置場所	2F屋根半面	2F屋根全面
屋上緑化面積(m^2)	25.2	50.4
緑化散水量 (m^3･m^{-2}･日$^{-1}$)	0.025	0.025
植栽基盤個数(枚)	630	1260
散水方法	24時間 一定流入	7:00～19:00のみ散水、その他の時間帯は停止

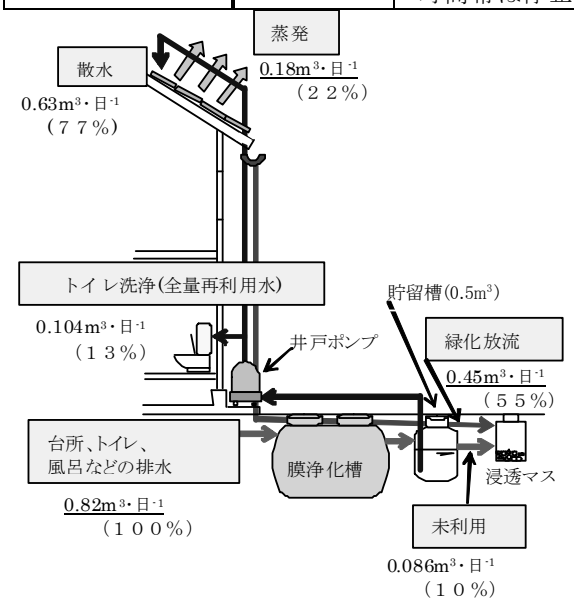


図7.3.43 水収支算定結果（ケース1）
（2F屋根半面に24時間一定散水）

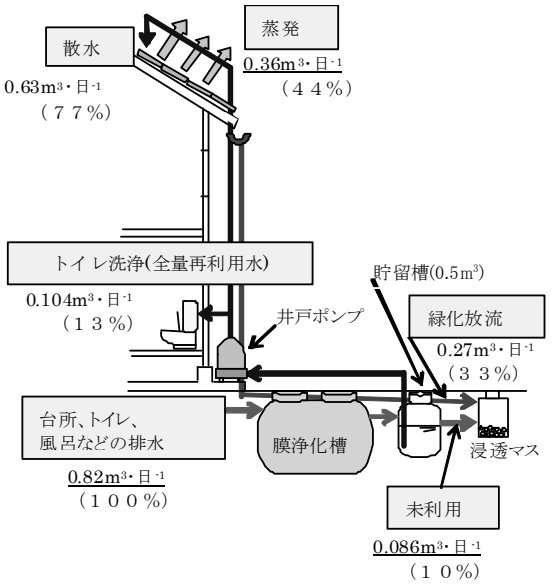


図7.3.44 水収支算定結果（ケース2）
（2F屋根全面に12時間散水）

ケース 1、ケース 2 とも屋根面に散水した水の蒸発率は、8 月 10 日～11 日に行った終日調査結果の29%をもとに算定した。水収支は、

生ごみを含む台所、風呂、トイレなどの生活系排水:0.82m^3・日$^{-1}$が膜利用浄化槽に流入した後、トイレ排水として 0.104m^3・日$^{-1}$(13%)、屋上緑化の散水として 0.63m^3・日$^{-1}$(77%)が再利用される。この時、ケース1では、屋根面の半分を屋上緑化として使用し、24 時間散水しているがケース 2 では、屋根全面を使用する代わりに夜間は散水を停止(19:00～7:00 の 12 時間)することでケース1、ケース2とも散水量が同じである。また、再利用で余った 0.086m^3・日$^{-1}$ (10%)が未利用で放流される。次に、屋上緑化に散水した水は、ケース 1 では、全量の 22%が、ケース 2 では、44%が蒸発して大気へ放出され、残りが緑化放流水として浸透マスへ放流される。以上のことから未利用分と緑化放流水分の合計 0.365 m^3・日$^{-1}$(44%)～0.536 m^3・日$^{-1}$ (65%)が、雨水マスにより地下浸透することが可能である。

4) まとめ

本年度は、膜利用浄化槽に着目し、生ごみを粉砕したディスポーザ排水を含む生活系排水の処理を行うとともに、その膜処理水を植栽基盤に散水して膜処理水および緑化放流水の水理学的性能評価を行った。また、植栽基盤に植えられたセダムの繁殖状況を定点観測した。更に、これらの実証実験の結果をもとに膜利用浄化槽を用いた屋上緑化システムの水収支を検討した。

ディスポーザ排水を含む生活系排水を膜利用浄化槽で処理した後の膜処理水は、COD:10 mg・L^{-1}以下,BOD,SS:5 mg・L^{-1}以下と良好な処理性能を有していた。

窒素の除去性能はディスポーザ排水が流入水中の窒素濃度が実験開始後 1 ヶ月程度ですることから脱窒槽での有機物負荷が高くなり、脱窒菌による脱窒反応が進行し易く、膜放流 5 mg・L^{-1}以下で良好に安定した。

膜処理水は、一般細菌群数、大腸菌群数、レジオネラ属菌数ともわずかの検出か不検出であり微生物による汚染は無かった。

また、膜処理水のランゲリア指数は-1 よりも大きく金属腐食の影響は少ないことが判った。

以上の結果から使用人員 4 人の世帯で 5 人槽膜利用浄化槽を使用した場合、6 ヶ月間良好な処理性能を有することが明らかになった。

膜処理水を屋上植栽基盤に散水し、緑化放流水の水質分析を行った結果、有機汚濁指標(COD,BOD,SS)への影響はなく、膜処理水と変わらない水質であった。

窒素・リンは、植物によって栄養塩類として吸収され、除去量は、窒素で平均 31.8 mg・m^{-2}・日$^{-1}$、リンで平均 17.5 mg・m^{-2}・日$^{-1}$であった。一方、除去率は、窒素で66%、リンで55%と高い除去性能を有していた。

また、緑化放流水の一般細菌群数、大腸菌群数は、実験期間が経過するにつれて減少傾向にあり、半年後では一般細菌群数 1×103cfu・ml^{-1}、大腸菌群 40cfu・ml^{-1}であった。なお、レジオネラ属菌数は、実験期間中ほとんど不検出であった。

更に、ランゲリア指数は、植物が膜処理水中の炭酸ガスを吸収することから緑化放流水中のpH が高くなり、その結果、ランゲリア指数も高くなった。このことは、緑化放流水の金属腐食度合いが低く、緑化放流水の更なる再利用が可能であることを示唆している。

セダムの繁殖状況を確認するため 2 ヶ月に一度定点観測を行った結果、繁殖は旺盛であり、膜処理水の窒素、リンなど栄養塩類の影響であることが示唆された。

緑化システム導入による水収支は、使用人員 4 人の家庭を対象に算定した結果、膜処理水の 77%を屋上緑化の散水に、13%をトイレ洗浄水として再利用が可能であった。

(竹崎 義則)

参考文献

1)山海ら、廃棄物学会誌、12(5),p312-321,2001

7.3.4 屋上緑化による熱的効果に関する検討と評価

1) 底面潅水式緑化パレットの熱的性能に関する検討

(1) 緑化パレットの性能評価

本項では、自然冷房の手法として、

1.蒸発冷却

2.放射冷却

の2点の手法を用いて、「緑化パレット」における熱貫流低減の効果と自然冷房の効果を実験による検討を行い、このシステムの室内温熱環境調整効果や、屋根面での放射性能などを明らかにし、夏季の室内温熱環境調整における有効性を検証していく。

(2) 実験装置概要

a 実験場所

東京理科大学野田キャンパス内実験棟

b 実測期間と内容

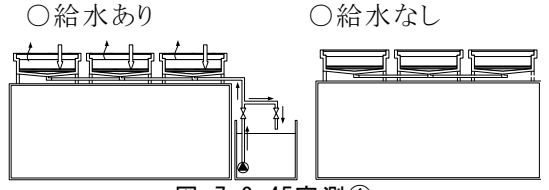


図 7.3.45実測①

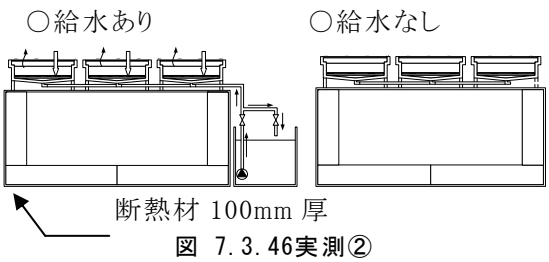


図 7.3.46実測②

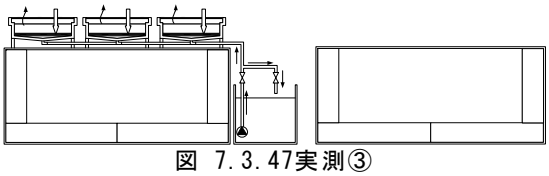


図 7.3.47実測③

実測① 8月1日から8月4日まで(図 7.3.45)

実測②:8月7日から9月18日まで(図 7.3.46)

実測③:9月20日から9月30日まで(図 7.3.47)

(3) 実測点

a パレット各部温度

実測データから、給水ありとなしでは、どれだけの温度差が見られるのかを把握する。

b 熱流（貫流熱）

実測データから、給水することによって、最大どれだけの熱流を防いでいるのかを検討する。

c 日射量

蒸発量と日射量の相関関係、また、絶対湿度基準物質移動係数と日積算日射量の相関関係を調べる。

(4) 実測装置設置状況

a 放射熱収支量

計算により、大気放射量、実効放射量を求め、緑化パレットにおける表面熱流を求める。

b 外気温度・湿度

水蒸気圧、絶対湿度を計算により求める。また、パレット各部温度と当日の気温との比較をする。

c 風向風速

風が蒸発、各部温度低下に与える影響を考える。なお、今回の実測では、風速の値は小さく、その他のデータには考慮していない。

d 水位（蒸発量）

水位変動により、1 日の蒸発量を求める。今回、絶対湿度基準物質移動係数を求めるために必要となるが、蒸発は絶対湿度差によるものと考え、1 日の蒸発量から、1 秒あたりの蒸発量を求めた。また、これにより、蒸発による潜熱変換量を求めることができる。

(5) 緑化パレット実測結果

各々の実測について、日射等の良好な条件を得られた連続3日間のデータについて、その結果を以下に記す。



図 7.3.48緑化パレット



図 7.3.49 設置場所

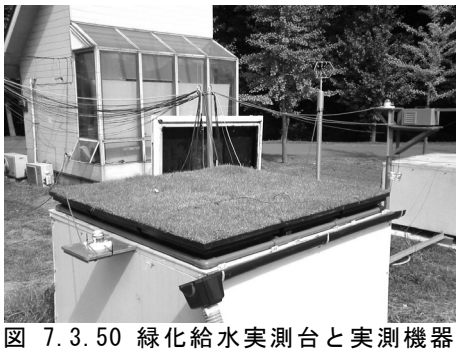


図 7.3.50 緑化給水実測台と実測機器

表 7.3.27実測内容

	実測と解析内容
実測①	散水有無による熱的性能比較(下部に空間なし)
実測②	散水有無による各点温度検証と空間温度比較(断熱材あり)
実測③	緑化が建物躯体に与える影響と空間温度比較(断熱材あり、給水なしパレット取り除く)

実測① 2003年8月2日～4日

実測台に給水ありの緑化パレットと、給水なしの緑化パレット(芝は枯れている)を乗せた。

実測台の下部に空間は設けず、断熱もしていない。これは、緑化パレットの熱的性能を検証するために行った。

表 7.3.28 測定チャンネル

ch番号	計測項目	センサー	測定点点数
1～3	給水あり－素材表面温度	CC熱電対	3
4～6	給水あり－素材裏面温度	〃	3
7～9	給水あり－パレット裏面温度	〃	3
10～12	給水あり－コンパネ裏面温度	〃	3
13～15	給水なし－素材表面温度	〃	3
16～18	給水なし－素材裏面温度	〃	3
19～21	給水なし－パレット裏面温度	〃	3
22～24	給水なし－コンパネ裏面温度	〃	3
25、26	外気温度	〃	2
27	放射収支計温度	〃	1
28、29	給水あり－空間温度	〃	2
30、31	給水なし－空間温度	〃	2
32	タンク水温	〃	
33-40	予備		
41	水平面日射量	日射計	1
43	水平面放射熱収支量	放射収支計	1
44	熱流(給水あり)	熱流計	1
45	熱流(給水なし)	〃	1
46、47	外気相対湿度	相対湿度計	2
48	風向	風向・風速計	1
49	風速	〃	1
50	水位	水位計	1
51-60	予備		

素材表面温度は給水あり、なしともに 50℃くらいまで達する。日射量に大きく影響されていることも分かる。また、各部温度比較であるが、パレット下部に空間がないためか、差は見られなかった。素材裏面温度において、日中、数℃の差が見られる程度である。

各部温度では差が見られなかったが、熱流を比較すると、日中、給水なしの方が大きいことが分かる。よって、熱的な効果があるといえる。

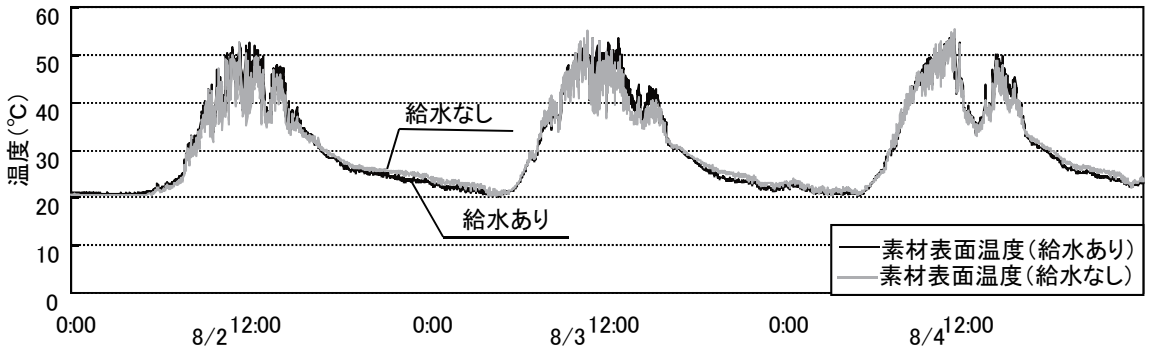


図 7.3.51 実測①素材表面温度比較

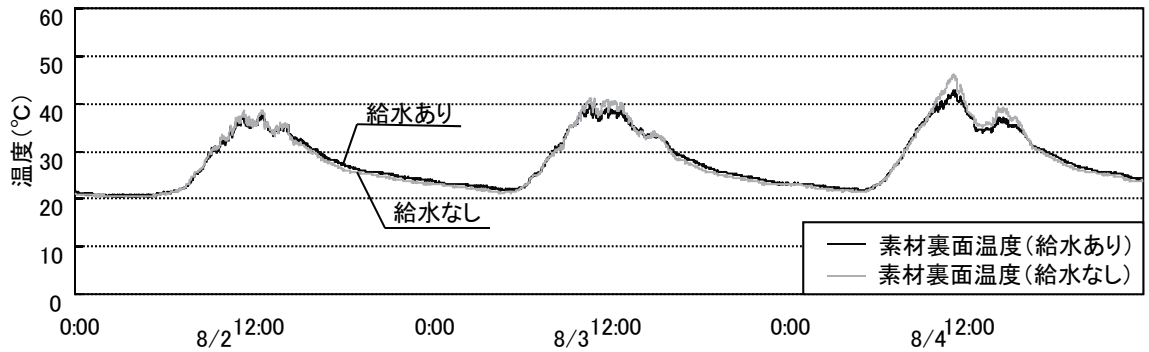


図 7.3.52 実測①素材裏面温度比較

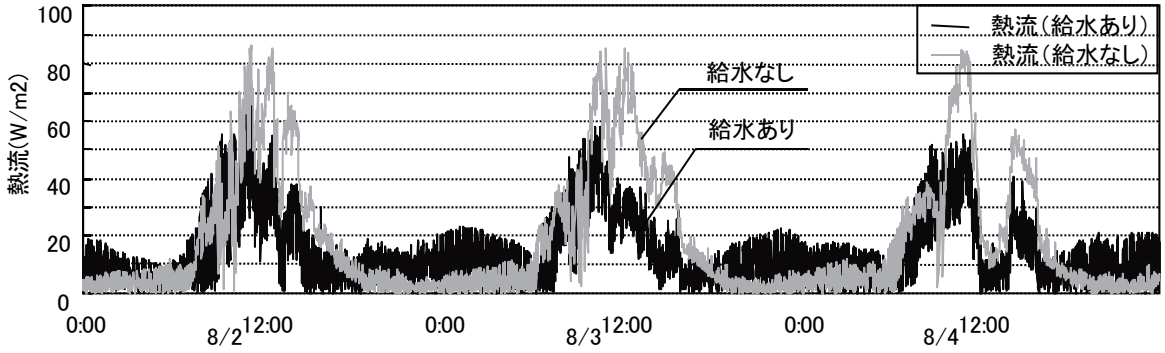


図 7.3.53 実測①熱流比較

実測②　2003 年 9 月 15 日～17 日

実測台の下部を 100mm 厚の断熱材で囲い、空間を作った。実測①と同じく、散水ありの緑化パレットと、給水なしの緑化パレット(芝は枯れている)を乗せた。これは、給水ありとなしの場合の各点温度差を検証するために行った。

素材表面温度は給水ありの最大 50℃程度に比べ、給水なしの方は 60℃付近まで達している日もある。また、素材裏面においてははっきりとした差が表れ、10℃程度も差がみられる。空間温度差であるが、1℃程度の僅かな差が出るにとどまった。

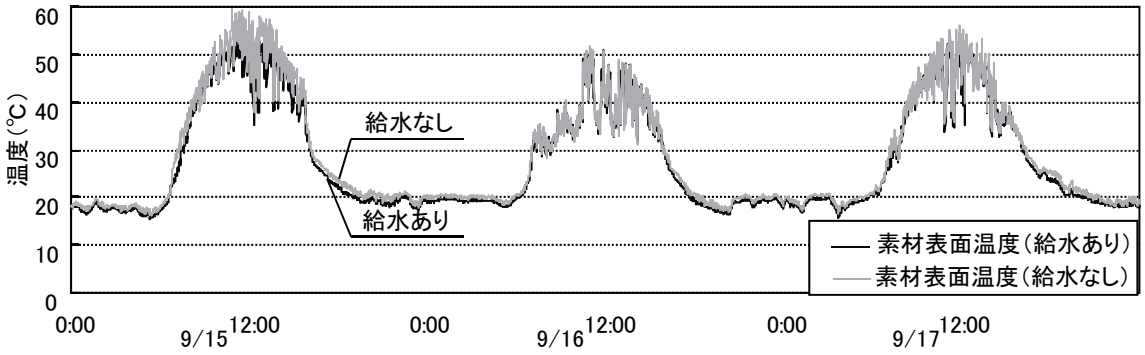


図 7.3.54 実測②素材表面温度比較

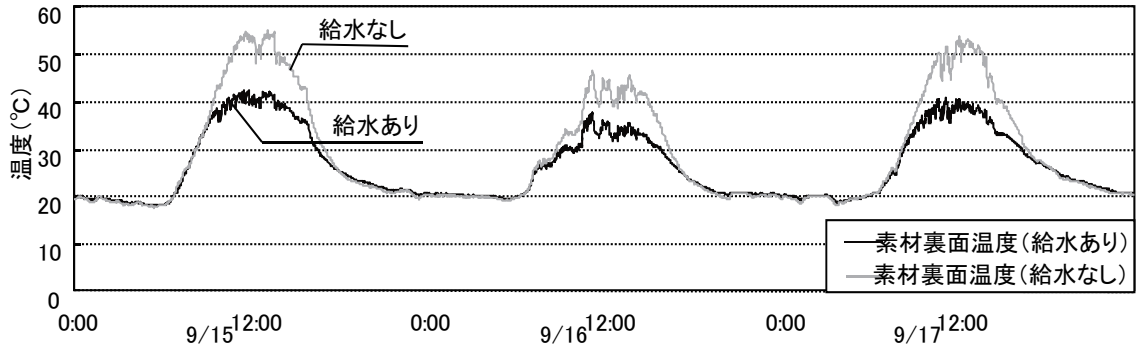


図 7.3.55 実測②素材裏面温度比較

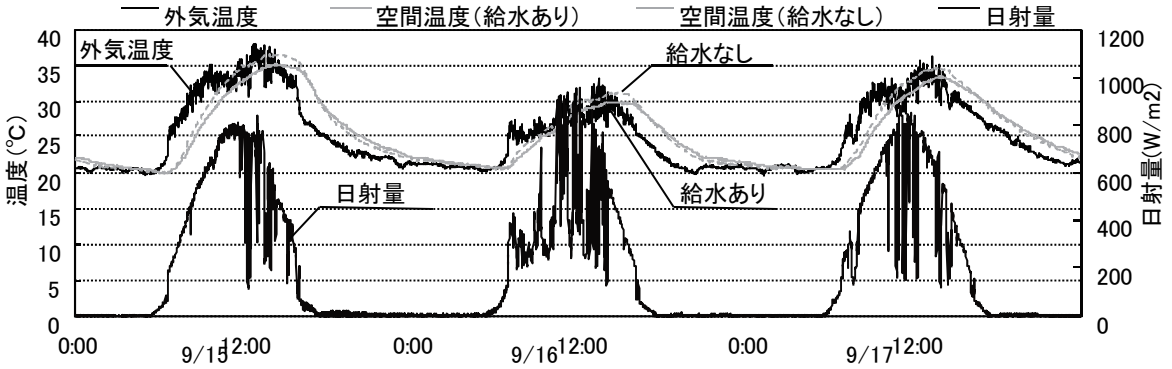


図 7.3.56 実測②熱流比較

実測③ 2003 年 9 月 28 日～30 日

給水ありのみ緑化パレットを実測台に乗せ、100mm 厚の断熱材で囲った実測台単体を建物と仮定した。これは、緑化パレットが建物に与える影響の検証するために行った。

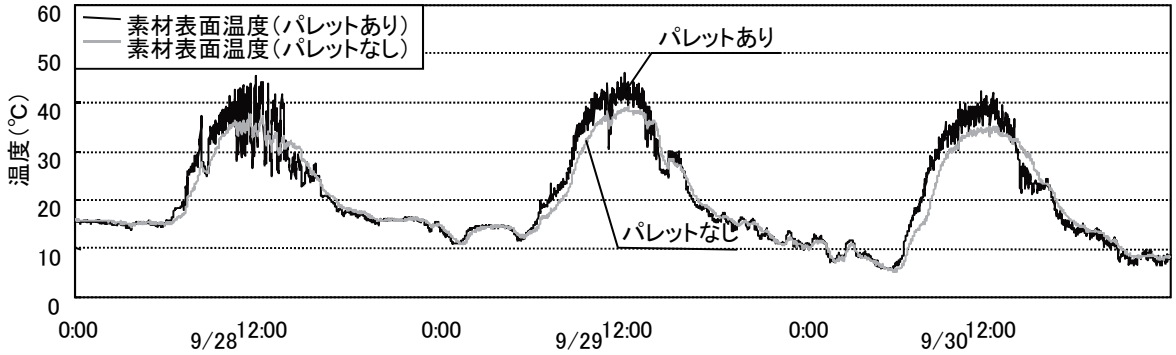


図 7.3.57 実測③素材表面温度比較

コンパネ裏面温度(空間内天井温度)を見ると、最大 15℃程度の差が見られた。これは、建物外皮にかかる熱負荷を軽減できるということである。また、空間温度においても、最大 12℃程度の差が見られた。緑化のあり、なしが空間温度に与える影響は大きく、冷房負荷軽減にも寄与するものと思われる。

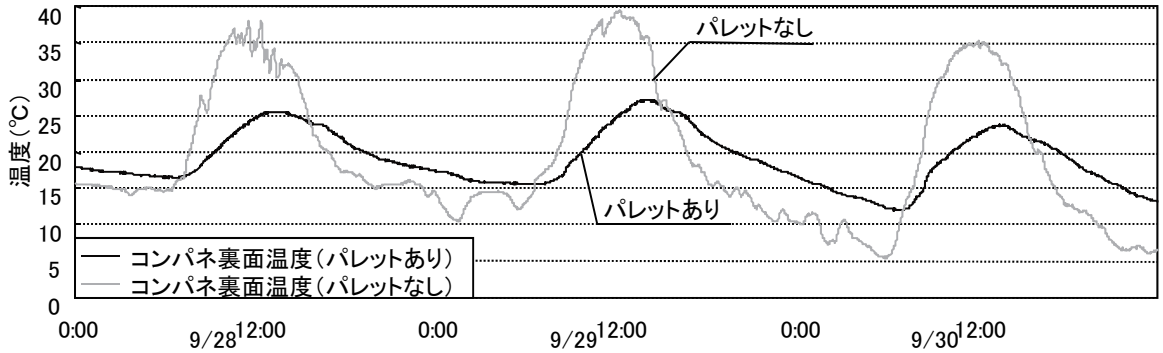


図 7.3.58 実測③コンパネ裏面温度比較

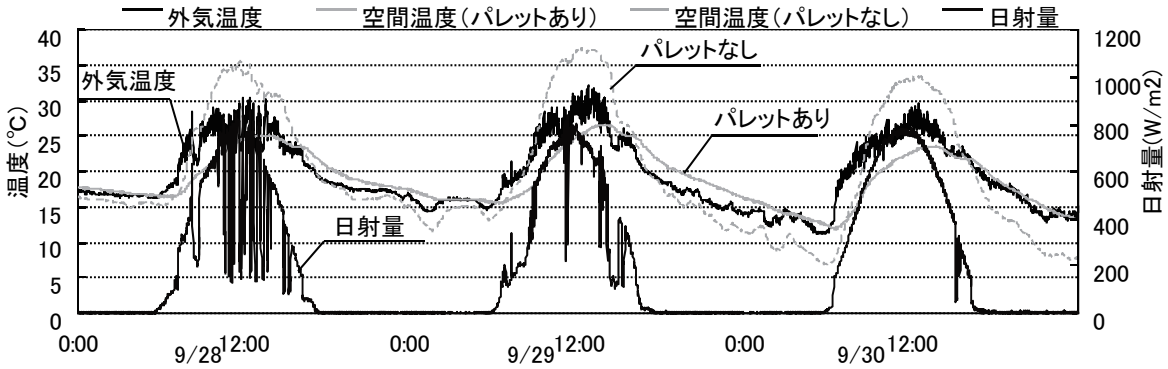


図 7.3.59 実測③外気温度、空間温度比較と日射量

(6) 蒸発潜熱と表面熱流

これまでのデータを用いて、蒸発潜熱を求め、グラフにしたものを図 7.3.60 に示す。これは、断熱(空間)ありの実測台で、給水あり、なしのパレットを比較した 9 月 15 日～17 日のデータをもとにしている。グラフからも分かるとおり、潜熱変換量は 300W/㎡程度見込めることが分かる。これを考慮した上で、熱平衡式より、給水ありと、給水なしの表面熱流を求め、比較すると、図 7.3.61 から、素材表面上で給水ありの方が、給水なしの場合に比べ、日中、約 100W/㎡程度侵入熱を軽減していることが分かる。

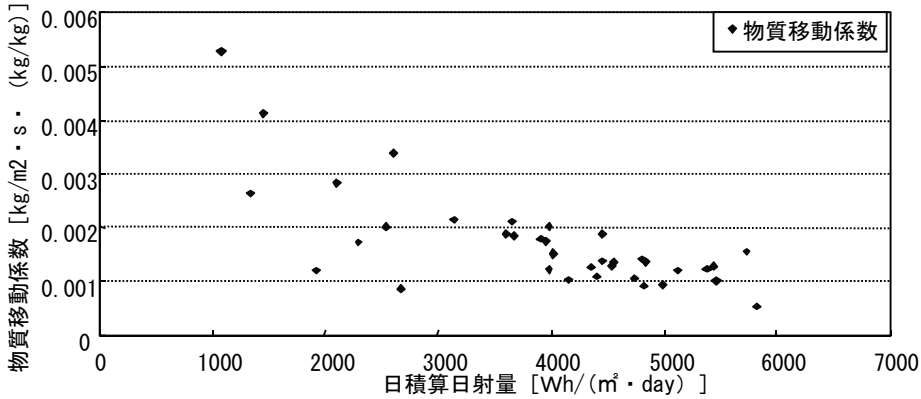


図 7.3.60 蒸発冷却 (潜熱変換量)

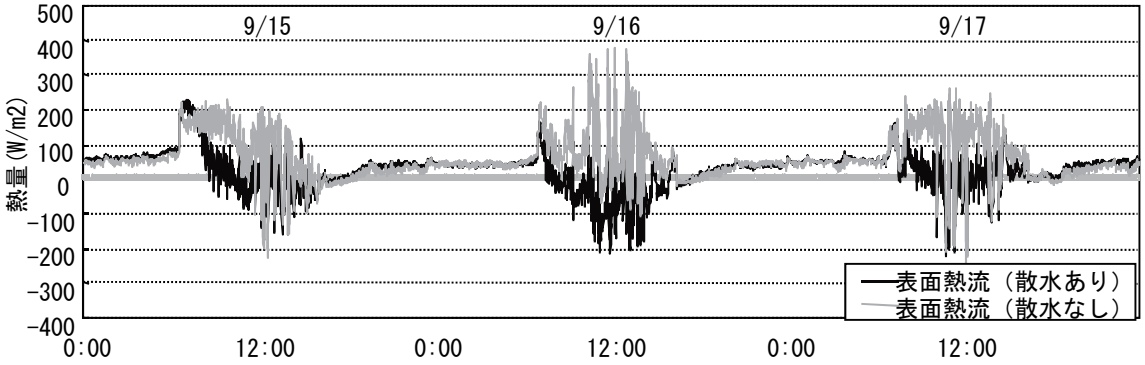


図 7.3.61 表面熱流比較

(7) まとめ

・実測①から、緑化パレットによる熱的効果が期待できる。熱流比較から日中の日射が強い時間帯に、断熱効果があることが分かる。しかし、各点温度比較においては、大きな差が表れなかった。これは、パレット単体であったため、上下から外部の影響を受けてしまったためと思われる。

・実測②では、素材裏面では大きな温度差が見られるが、その他各点、特に、空間温度は期待したほどではなかった。給水なしのパレット(芝は枯れている)も空気層が断熱材としての役割をしてしまったからであろう。しかし、「(6)蒸発潜熱と表面熱流」からも分かるとおり、蒸発による潜熱変換から、熱的な効果はでているものと思われる。

・実測③では、実建物に近い形で、緑化のあり、なしの比較を行った。この実測からは、パレットの存在が実建物の躯体に与える影響を軽減できることも分かった。躯体が保持する熱を減らすことで、居住空間も快適に保たれると考えられる。さらには、ヒートアイランド現象抑制にも寄与するものと思われる。また、空間温度を比較してもその結果が表れており、快適環境創造とともに、省エネルギー効果も期待できる。

本年度の実測を行った結果、次の問題点が明らかになった。

1 空気層の影響

パレット裏面－コンパネ(建物)間の空気層が断熱材として、働いているのではないか。

その結果として、パレット裏面、コンパネ裏面の温度比較をすると、温度差が表れていない。パレットあり、なしでは大きな温度差が出るのは当然だが、両方パレットを置いた状態で、給水ありとなしの比較実験(実測②)から、給水の効果は期待できるものの、僅かにとどまった。より大きな効果を得るためには、緑化パレットと建物を密着して設置する方が望ましい。

2 パレット表面上での熱的効果と居住空間への影響

実測②における各部温度比較、潜熱変換量、表面熱流比較、また、実測結果からも、熱のやりとりが表面上だけで終わってしまっていると思われる。①でも述べたとおり、緑化面と居住空間の熱の流れから、構成や素材について再考の必要がある。

3 蒸発量

蒸発量は思っていたほど大きくはない。土壌の保水性等考えられる。このために、給水ありとなしのパレット各部温度にあまり差が見られなかったのではないかと推定される。冷却の効果をさらに得るためには、芝の含水率を保つなど更なる検討を要する。

2) 平面パネル式緑化パレットの熱的性能に関する検討

(1) 実験方法及び装置

実験は茨城県つくば市にある建築研究所 RC 造 2 階建て建築物の屋上にて行った。実験期間は 2003 年 9 月 17 日～2003 年 10 月 10 日である。

実験装置は、市販のユニットハウスの屋根に緑化屋根パネルシステムを組み入れ、単なる屋根の部材評価ではなく、空間として評価することとした。また、比較対照として同仕様のユニットハウスを隣設し、当該システムの熱的特性について把握することとした。実験風景を図 7.3.62、緑化棟を図 7.3.63、ユニットハウスの仕様を表 7.3.29 に示す。



図 7.3.62 実験風景



図 7.3.63 緑化棟

表 7.3.29 実験棟の仕様

基礎		コンクリートブロック 1 段積み
壁	外装	硬質繊維板 ｱ3.5 断熱材(ｸﾞﾗｽｳｰﾙ ｱ25)
	内装	プリント合板 ｱ2.5
床		化粧フローリング ｱ12 断熱材(ｸﾞﾗｽｳｰﾙ ｱ50)
天井		カラー合板 ｱ2.5 断熱材(ｸﾞﾗｽｳｰﾙ ｱ20)
屋根		瓦棒葺き（カラー鋼板）
建具		窓：アルミサッシ ドア：フラッシュパネル

植栽基盤材の熱的特性を把握するためには屋根部の熱流に着目する必要があり、壁、窓、床からの熱流の影響を小さくしなければならない。そこで、既設断熱（表 7.3.29 参照）に加え、スタイロフォーム 50mm を用いて室内側から天井面以外を断熱処理した。さらに、窓についてはスラブからの熱放射を考慮して、反射フィルム（銀シート）を貼った。

以上の処理により、2 棟の位置の違いによる熱的な差がでないよう配慮した。なお、2 棟のユニットハウス間には熱的な差がないことを、予備実験により確認した。

表 7.3.30、図 7.3.64 に測定項目及び測定位置を示す。本年度実験では、源水として上水を使用し、33.3ml/m^2・分に相当する 9l/h を終日に亘り給水して実施した。

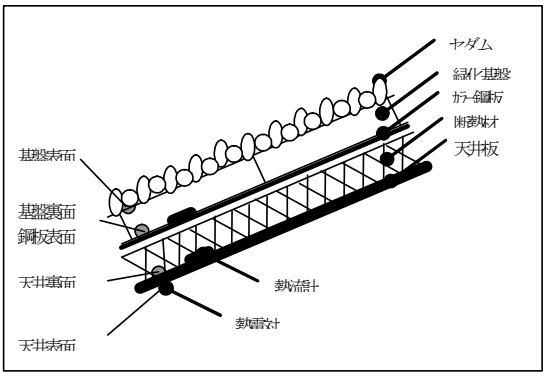


図 7.3.64 測定位置（断面図）

(2) 実験結果

a 各部温度

日射等の良好な条件が得られた 2003.10.3～10.5 の連続 3 日間のデータを用いて、測定結果及び考察を以下に記す。

b 屋根及び室内温度

図 7.3.65 に屋根及び室内温度と日射量を示す。対照棟（無植栽）屋根の表面温度は 60℃程度に達しているが、緑化棟屋根の表面温度は 30℃程度と大きな差が生じている。また、対照棟天井の表面温度は 40℃程度、緑化棟天井の表面温度は 30℃程度である。従って、緑化棟では屋根面からの熱侵入が抑制されていることが分かる。一方、室

表 7.3.30　測定項目一覧

測定項目			測定点	測定機器
全天日射量			実験施設周辺１点	全天日射計（英弘製）
温度	外部		外部気温１点	熱電対（T型）
	緑化棟	屋根	植栽基盤表面温度３点 植栽基盤裏面温度３点 天井裏温度３点 天井表面温度３点	
		壁	外壁表面温度　南面、北面各１点（ｽﾗﾌﾞ上 1.2m） 内壁表面温度　南面、北面各１点（床上 1m）	
		床	表面温度１点	
		室内	室温（高さ 200,1000,1800mm）各１点	
		水	流入水温１点 流出水温１点	
	対照棟	屋根	カラー鋼板屋根表面温度３点 天井裏温度３点 天井表面温度３点	
		壁	外壁表面温度　南面、北面各１点（ｽﾗﾌﾞ上 1.2m） 内壁表面温度　南面、北面各１点（床上 1m）	
		床	表面温度１点	
		室内	室温（高さ 200,1000,1800mm）各１点	
熱流量	緑化棟		植栽基盤裏面１点 天井裏面１点	熱流計（英弘製）
	対照棟		屋根表面１点 天井裏面１点	
外部湿度・風速			実験施設周辺１点	ｳｪｻﾞｰｽﾃｰｼｮﾝ（ｻﾞ ﾌｧｰ社）
蒸発量			流入水量１点、流出水量１点	パルス計

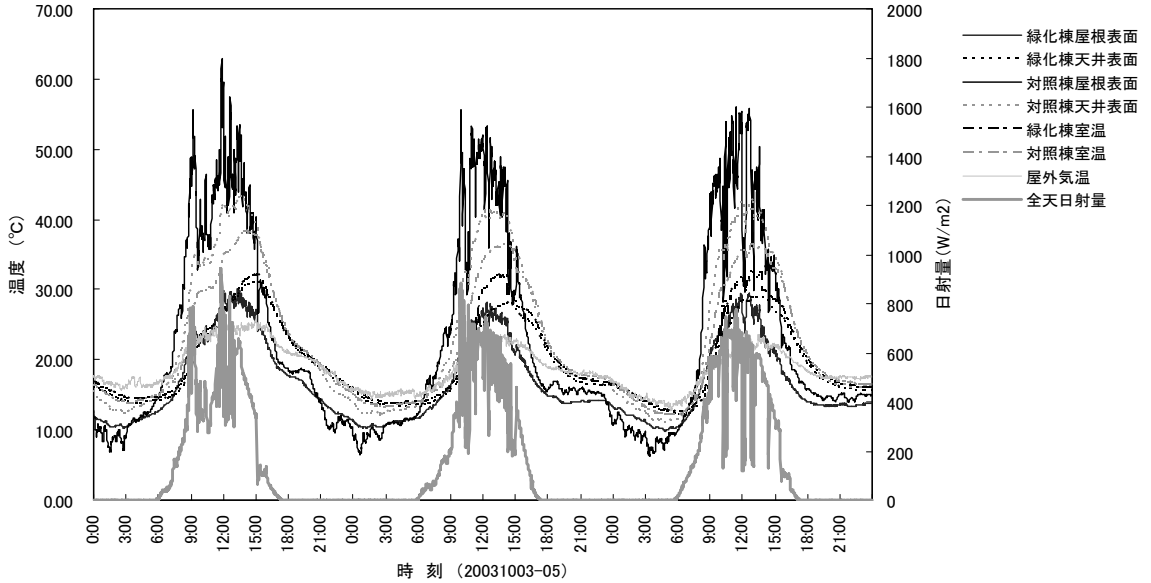


図 7.3.65 屋根及び室内温度と日射量

内温度は、対照棟が 37℃程度、緑化棟が33℃程度であり、4℃程度の差となっている。緑化棟では天井表面温度より室内温度が高くなっており、屋根以外からの熱侵入の影響が大きいものと推察される。

c 壁部温度

図 7.3.66 に南面壁面温度と室内温度を示す。実験棟の設置状況から南面スラブの影響が大きく、主に壁からの熱侵入が考えられる。従って、南面壁温度に着目して評価した。対照棟、緑化棟ともに室温温度と内壁表面温度がほぼ等しく、外壁表面温度は内壁表面温度より10℃程度高くなっている。緑化棟では、内壁表面温度が天井表面温度より高く、壁からの熱侵入が認められる。直達日射に加え、スラブからの照り返しの影響が大きい。

断熱処理として、スタイロフォーム 50mm＋ｳﾚﾀﾝﾌｫｰﾑ 25mm を行ったが、十分な断熱性能が得られなかったものと考えられる。

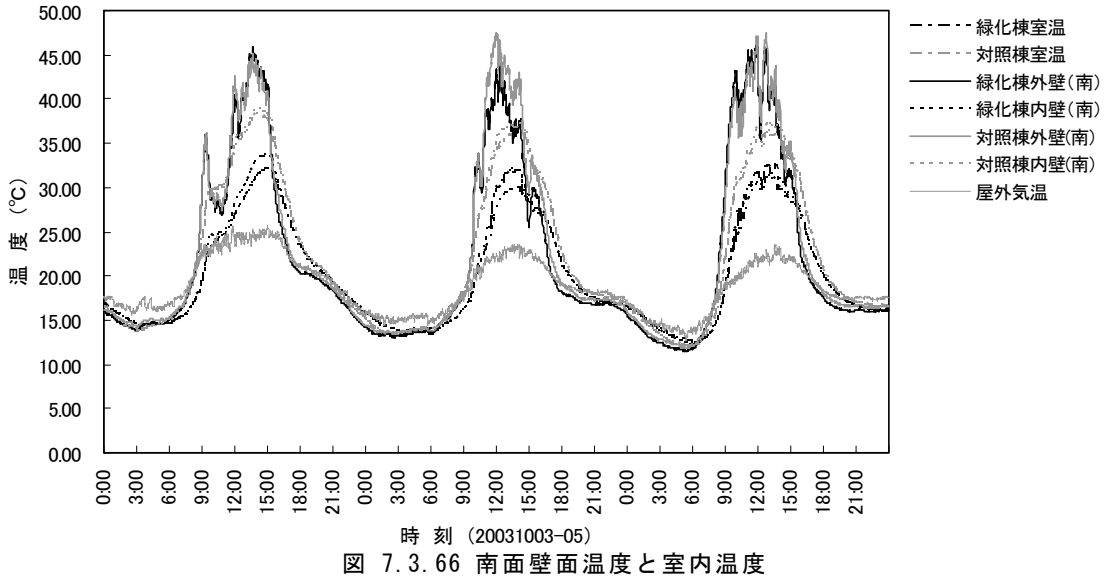


図 7.3.66 南面壁面温度と室内温度

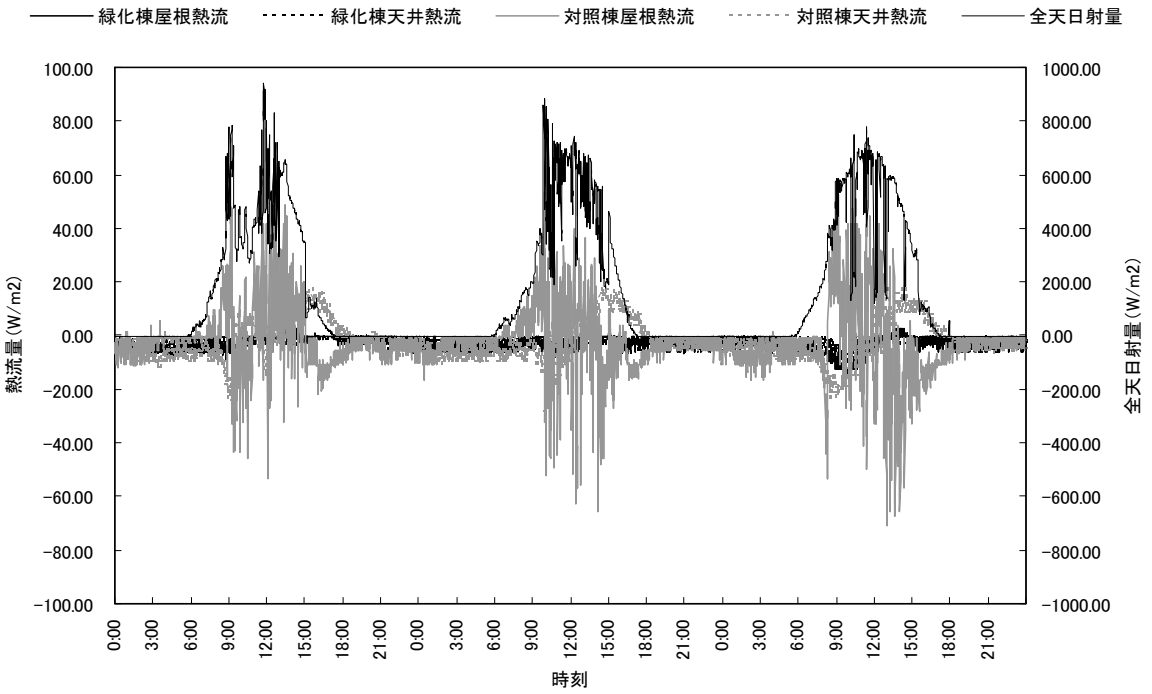


図 7.3.67 屋根部熱流量及び日射量

d 熱流

図 7.3.67 に屋根部熱流量及び日射量を示す。対照棟屋根面の熱流は40W/m^{2}程度、対照棟天井面で 20W/m^2 程度となっている。また、対照棟天井面の熱流ピークが 15 時程度と屋根面に比べて遅れていることが分かる。これは天井に断熱材(ウレタンフォーム 25mm)が入っているものの、時間の経過にともなって屋根から熱が侵入していることを示している。一方、緑化棟では屋根面及び天井面の熱流がほとんど無く、僅かながら放熱現象も見られることから、緑化屋根により最大 20W/m^2 程度の熱負荷を低減していることが分かる。

しかし、熱流計が不安定で精度が十分でないことから、本結果を緑化屋根の特性として扱うには更なる検討を要する。

e 蒸発量

実測期間中において、雨天による影響がない 10 日間(2003.9.19、9.27～30、10.3～5、10.7、10.9)を解析対象とした。図 7.3.68 は流入出量(パルス値)の相関である。ここで、流出水パルス値が 0 を示している場合が見られるが、これは給水量が少ないために流量計センサー部で一時的に目詰まりが生じた影響と思われる。ただし、これらのデータはが 1 分あたりの流量に占める影響は非常に小さいため、排除しないものとした。

各日の蒸発量変化を図 7.3.69 に示す。

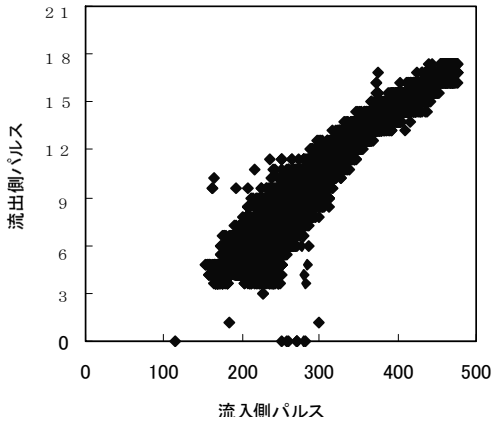


図 7.3.68 流入水量の相関

各日とも類似した変化を示しており、日中最大で 50ml/分程度、夜間最小で 20ml/分程度となっている。

ここで、直達日射による理論蒸発量は以下の通りとなる。

・東京の水平面日射量(秋季)＝
600kcal/m^2・h(P=0.7)= 698W/m^2
・水の蒸発潜熱 ＝669W・h/kg [at40℃]
・蒸発効率 ＝100%
理論蒸発量＝698／669 = 1.04kg/m^2・h
= 1040ml/m^2・h =17ml/m^2・分

緑化棟屋根面積は 4.96m^2 であることから、60ml/分は約 10ml/m^2・分となる。同様に夜間は約 4ml/m^2・分の蒸発が生じているが、日射のない夜間でこの程度の蒸発が生じる要因として、流入出水ともに気温より温度が高いこと等が考えられる。

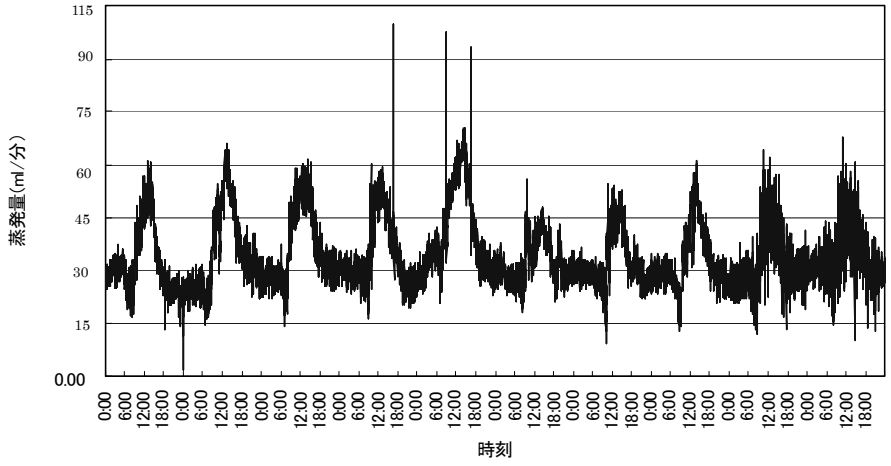


図 7.3.69 各日の蒸発量変化

(3) まとめ

緑化屋根による温熱環境改善効果を評価するため、市販のミニハウスを用いた検証実験を行った。得られた結果を以下に示す。

金属製瓦棒葺き屋根であるミニハウス(対照棟)の室内温熱環境と、同仕様の屋根に「緑化屋根パネルシステム」を適用したミニハウス(緑化棟)の室内温熱環境を実測した結果、金属屋根の表面温度 60℃に対し、緑化屋根では 30℃であった。従って、建築外部環境への熱的な影響(照り返し)を大幅に抑制する効果が確認できた。

屋根部における熱流実測、蒸発量実測による潜熱変換量を計算により求めた。これらの結果から、緑化屋根により室内側への熱侵入を抑制し、冷房負荷の低減に寄与する可能性が高いことを明らかにした。

3) 屋上緑化による省エネルギー効果の試算

(1) はじめに

近年、地球温暖化、都市部におけるヒートアイランド現象などの熱的環境問題が深刻になってきており、これを解決する手段として、屋上緑化、屋根散水が注目されている。屋上緑化は国や地方自治体からの義務化、補助金制度の発足もあいまって、オフィスビルのみならず、戸建住宅にも普及しつつあるが、その冷房負荷削減効果、ヒートアイランド現象緩和効果についてはまだ解明されていない部分が多い。

そこで本研究では、戸建住宅を対象として、前項の緑化パレットに関する実験結果と多数室非定常熱負荷計算プログラム LESCOM を用いたシミュレーションを行い、屋上緑化、屋根散水が夏期の冷房負荷削減にどれほどの効果をもたらすのか、試算することとした。

(2) 基礎事項

a 絶対湿度基準物質移動係数

絶対湿度基準物質移動係数(以下物質移動係数)とは緑化面表面の蒸発効率を示す指標である。物質移動量を、水蒸気の絶対湿度の差に比例するものとし、その比例係数として、水蒸気の絶対湿度基準の物質移動係数を用いて表すと、

$$M = k_x\left(x_s - x_a\right)$$

となる。ここで、

M ：物質移動量［$kg/m^2 \cdot s$］
k_x ：絶対湿度基準物質移動係数［$kg/m^2 \cdot s \cdot (kg/kg)$］
x_s ：素材表面飽和絶対湿度［kg/kg］
x_a ：外気絶対湿度［kg/kg］

b 蒸発冷却（潜熱変換量）

蒸発冷却による潜熱変換量は、

$$q_{潜熱} = rk_x\left(x_s - x_a\right)$$

で表される。

c 蒸発冷却・放射冷却を考慮した熱平衡式

以上の式から

$$q = \alpha_c\left(t_a - t_s\right) + aJ - \varphi\left(\varepsilon\sigma T_s^4 - J_a\right) - rk_x\left(x_s - x_a\right)$$

を求めることができる。ここで、

q : 表面熱流［W/m^2］
α_c : 対流熱伝達率［$W/m^2 \cdot ℃$、$\alpha_o = 17.4$］
t_a : 外気温度［℃］
t_s : 物体の表面温度［℃］
a : 日射吸収率［－、$a = 0.7$］
J : 面に当たる日射量［W/m^2］
φ : 形態係数［－、水平面$\varphi = 1.0$］
ε : 物体の放射率［－、$\varepsilon = 0.9$］
σ : $Stefan-Bolzmann$定数　5.67×10^{-8}　［$W/m^2 \cdot K^4$］
T_s : 物体の絶対温度　$273.15+t_s$　［K］
J_a : 大気放射量　［W/m^2］
r : 蒸発潜熱2501.1　［kJ/kg］$= 694.8$　［$W \cdot h/kg$］

d 物質移動係数の算出

本研究では積水化学社(以下 S 社)緑化パレット、INAX 社(以下 I 社)緑化セラミック基盤の２種類を屋根面に設置したものとしてシミュレーションを行う。シミュレーションに用いる物質移動係数はそれぞれの実測データより算出した。

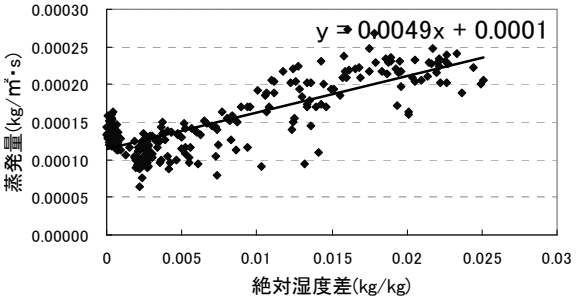


図7.3.70 物質移動係数 （9月19日）

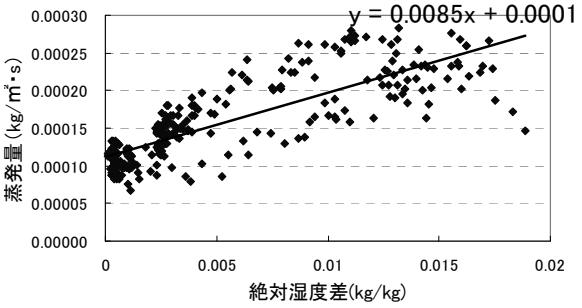


図7.3.71 物質移動係数 （9月27日）

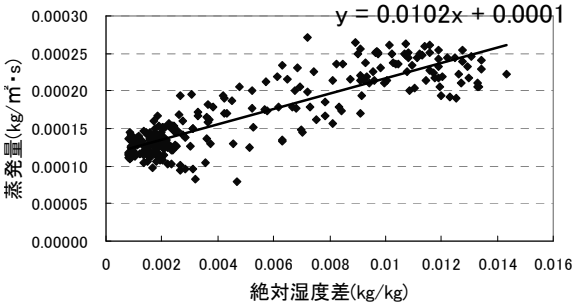


図7.3.72 物質移動係数 （9月28日）

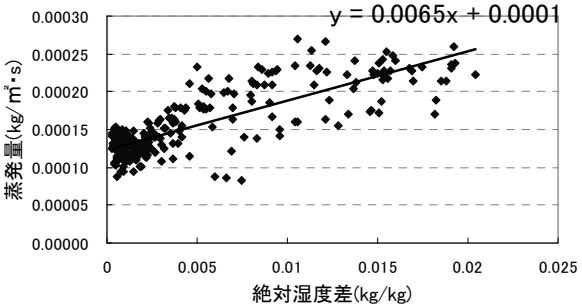


図7.3.73 物質移動係数 （9月29日）

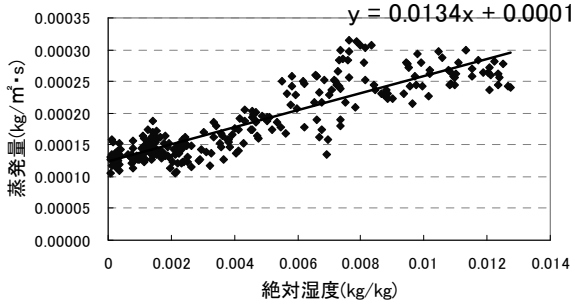


図7.3.74 物質移動係数 （9月30日）

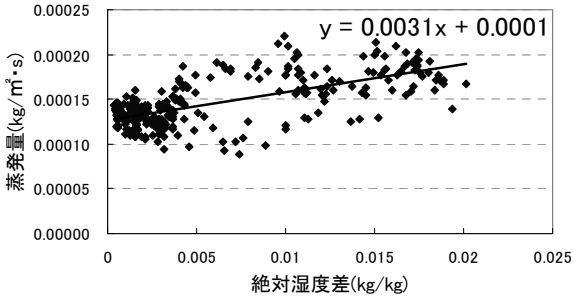


図7.3.75 物質移動係数 （10月3日）

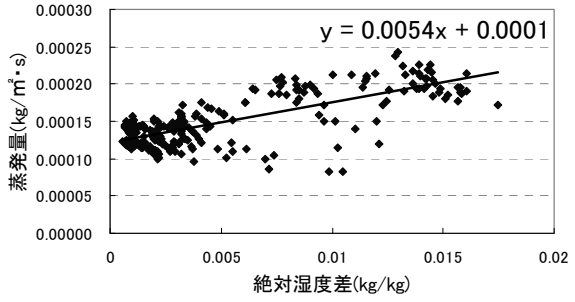


図7.3.76 物質移動係数 （10月4日）

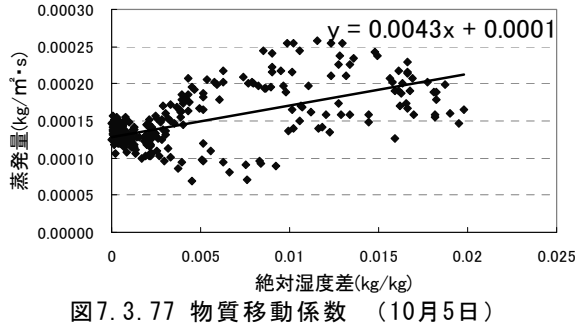


図7.3.77 物質移動係数 （10月5日）

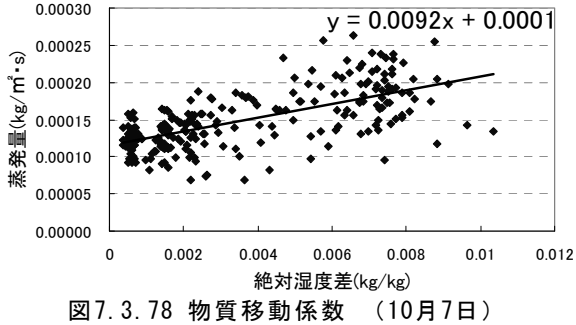


図7.3.78 物質移動係数 （10月7日）

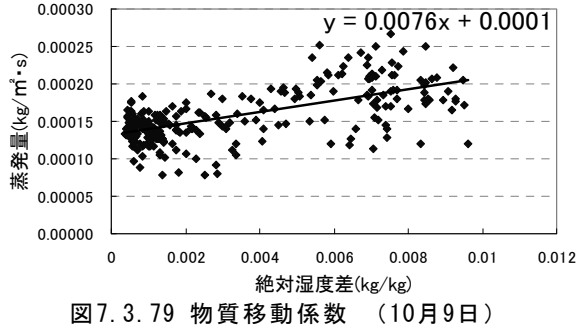


図7.3.79 物質移動係数 （10月9日）

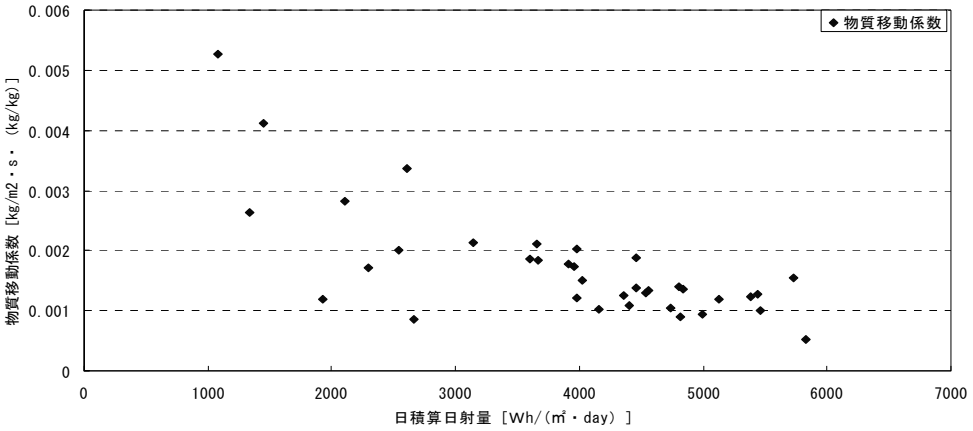


図7.3.80 S社緑化パレット物質移動係数

(3) S社緑化パレット

物質移動係数を正確に求めるためには、ある瞬間どれだけの水が蒸発したのかというデータが必要となる。今回のパレット給水は、1日に一度、タンクから水を送る方式のため、物質移動係数を求めることは、困難である。そのため、蒸発にかかると思われる絶対湿度差に着目し、その和に対する1分データの絶対湿度差をその日の蒸発量に乗じたものをその瞬間の蒸発量とした。

図 7.3.80 は 2003 年 8 月 1 日から 9 月 18 日までの物質移動係数を上記の方法で求め、日積算日射量との相関をグラフにしたものである。日積算日射量が大きくなるほど、数値に安定感が表れるが、今回は実測の中心期間である 9 月の東京近傍日積算日射量平均が 4000Wh/(㎡・day)程度となることと、グラフから見てもばらつきが収まる 4000Wh/(㎡・day)以上となるときの物質移動係数の平均をとって、0.00122[kg/㎡・s・(kg/kg)]とした。本来であれば、常に一定となることが望ましいが、これは外気に直接触れる部分が芝(植物)であることや、パレット内部の土壌の保水性、湿度・風速の影響、降雨による影響などの要因が考えられるため、難しいと思われる。

(4) I社緑化セラミック基盤

2003 年 9 月 19 日、27～30 日、10 月 3～5 日、7 日、9 日の蒸発量、絶対湿度差を算出し、それぞれ y 軸、x 軸にプロットした。すなわち、この近似直線の傾きが物質移動係数となる。(図 7.3.70～図 7.3.79)

このうち、比較的妥当である 9 月 27 日、28 日、30 日、10 月 7 日、9 日の 5 日間の値を採用した。5 日間の平均値は 0.00978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕である。

4) 熱負荷シミュレーション

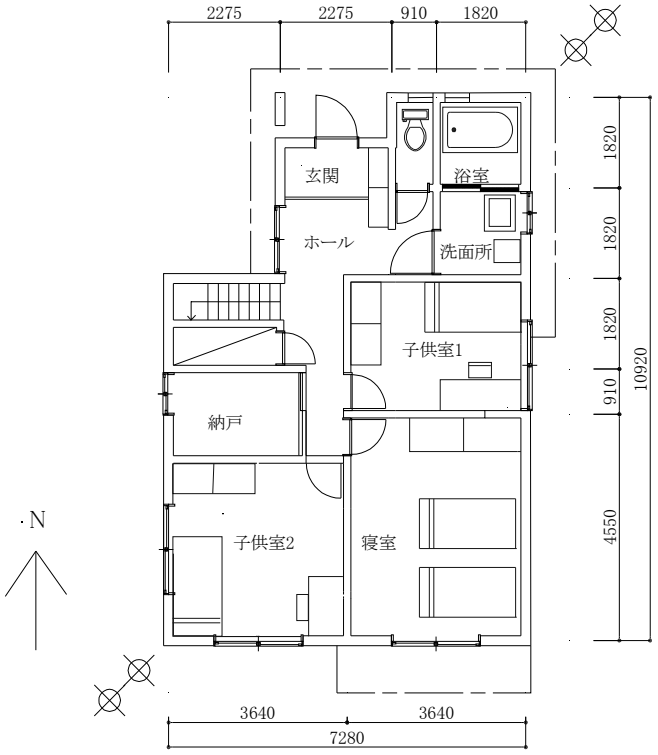
(1) 概要

a シミュレーション対象建物

戸建住宅(家族構成:夫婦＋子供 2 人)においてシミュレーションを行い、夏期の冷房負荷を算出する。平面図、立面図は以下のとおりである。(図 7.3.81、図 7.3.82、図 7.3.83)

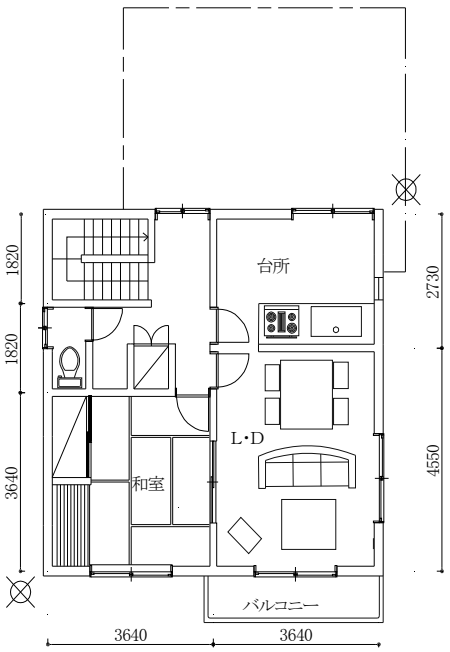
冷房期間は 7 月 1 日～9 月 30 日、設定温湿度はそれぞれ 26℃、50%とする。また、シミュレーションの際に行うスペース分けを表 7.3.31、平日、週末の室内発熱、在室人数、冷房運転スケジュールを図 7.3.84、図 7.3.85 に示す。

屋上緑化については、S 社緑化パレット、I 社緑化セラミック基盤の 2 種類を屋根面に設置するものとする。それぞれの物質移動係数は実測データより算出した。



■1階平面図

図7.3.81 対象建物1階平面図



■2階平面図

図7.3.82 対象建物2階平面図

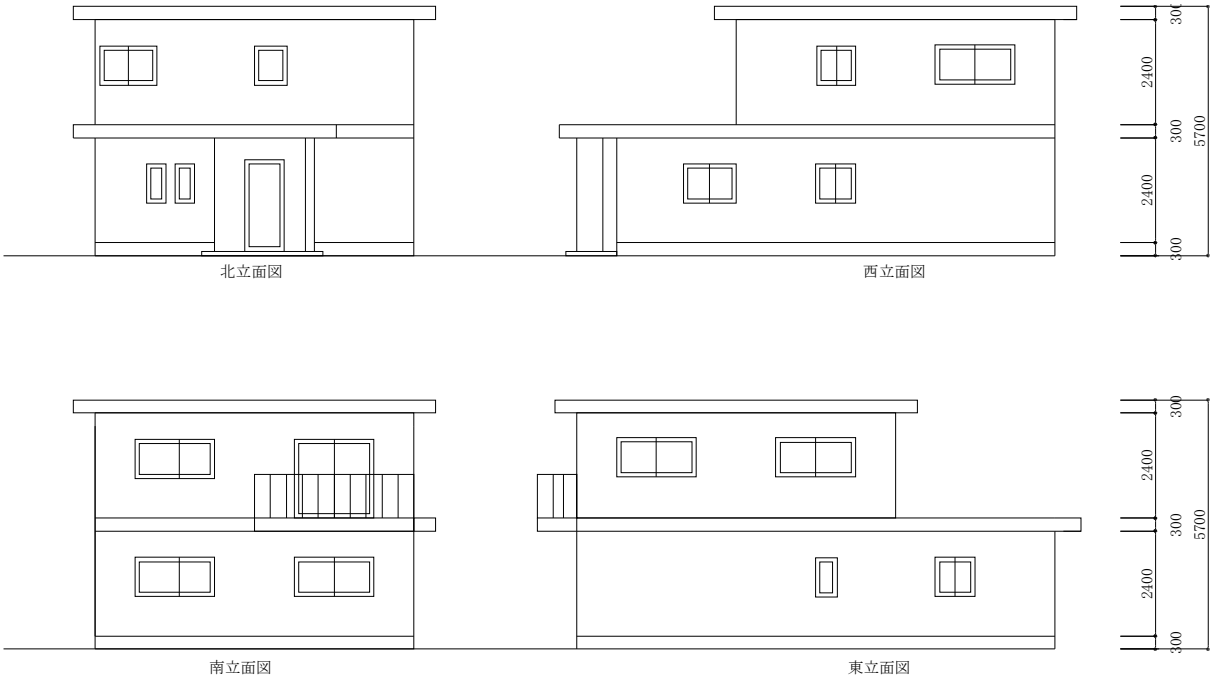


図7.3.83 対象建物立面図

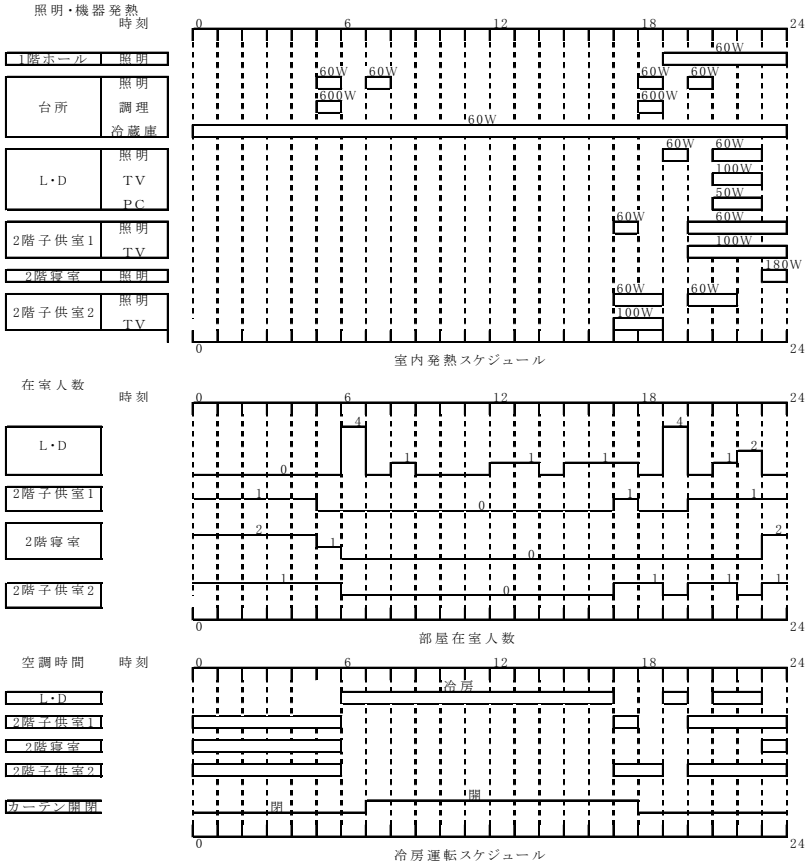


図7.3.84 平日スケジュール

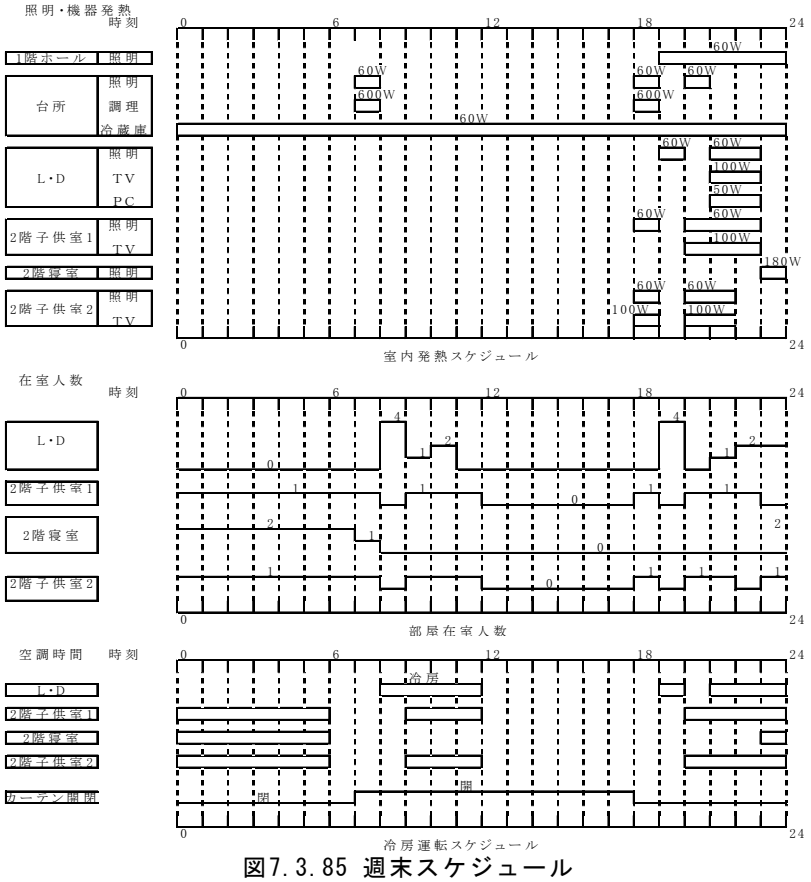


図7.3.85 週末スケジュール

それぞれの詳細を表 7.3.32、断面図を図 7.3.87、図 7.3.89 に示す。

表 7.3.31 スペース分け

スペース番号	スペース名	面積(㎡)	冷暖房の有無
1	1階ホール、浴室、洗面	24.422	無
2	2階台所	9.937	無
3	2階和室	13.25	無
4	2階L・D	16.562	有
5	納戸	4.9682	無
6	1階子供室1	9.937	有
7	1階寝室	16.652	有
8	1階子供室2	13.25	有
9	2階ホール、トイレ	13.241	無
10	1階玄下	-----	-----
延床面積		122.13	
冷暖房延床面積		56.3(46.0%)	

表 7.3.32 緑化部分詳細

	緑化セラミック基盤(I社)	緑化パレット(S社)
散水システム	必要最小限の水を常時送水	1日に1回送水
素材(植物)	セダム	芝
高さ(厚さ)	3～4cm(緑化セラミック基盤)	15cm(高排水土壌+空気層)
物質移動係数	0.00978〔kg/m²・s・(kg/kg)〕	0.00122〔kg/m²・s・(kg/kg)〕)
熱貫流率(屋根部分を含む)	0.71889(W/m²・K)	0.64175(W/m²・K)



図7.3.86 S社緑化パレット外観

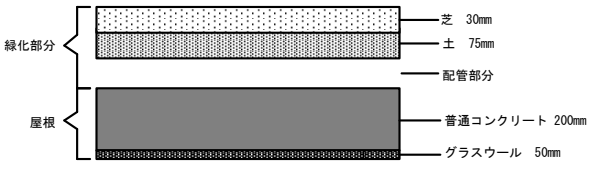


図7.3.87 S社緑化パレット断面図

b シミュレーション対象地域

札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡、鹿児島、那覇の全国 8 都市において、気象庁より配布されている SDP データにより作成した標準気象データを用いてシミュレーションを行う。



図7.3.88 I社緑化セラミック基盤外観

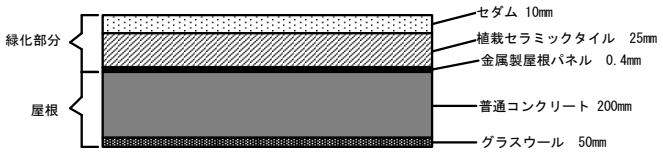


図7.3.89 I社緑化セラミック基盤断面図

気象庁では 1991 年以後、全国 157 気象官署で、主要気象要素は 1 日 24 回の定時観測を行うようになった。このうち日射の観測は 67 地点で行われている。これらの観測データをコンピュータファイル化したものを地上気象観測時日別値ファイル、SDP データ(Surface Daily Data Observation Point)と称している。

標準気象データとは、10 年程度の気象データから毎月の熱負荷が最も平均的な月になるように、毎時データを月毎に選定し、人為的に継ぎ合わせて作成した 1 年間分の毎時気象データをいう。

東京は 1990 年～1999 年、その他の地点は 1991 年～2000 年までの期間で標準気象データを作成した。

c シミュレーションケース

屋上緑化なし、S 社緑化パレット(散水あり・なし)、I 社緑化セラミック基盤(散水あり・なし)の 5 ケースでシミュレーションを行う。

なお、I 社緑化セラミック基盤の物質移動係数については実験によって得られた 0.00978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕と、0.000978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の 2 種類を使用して計算を行った。

0.000978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕という値は、

三毛らが大阪において熱負荷計算プログラム HASP/ACLD/YH を用いて、屋上緑化による冷房負荷削減効果の検討を行った結果約 10%の効果がみられたという報告 [2)]に基づき算出したものであり、今回の実験が一般の緑化と異なり、常時一定量の水を与え続けるという条件下で行ったものであることから、一般的な緑化を行った場合と推定できる値と対照することを意図したものである。

(2) 結果および考察

a 一戸全体での冷房負荷計算

図 7.3.90、図 7.3.91 は一戸全体での冷房負荷量をそれぞれ比較したものである。また、図 7.3.92、図 7.3.93 は冷房負荷の減少割合を比較したものである。ここでいう冷房負荷の減少割合とは屋上緑化を行わない場合と、各社でそれぞれの条件で行った場合とを比較して、冷房負荷がどの程度削減されたかを示す指標である。

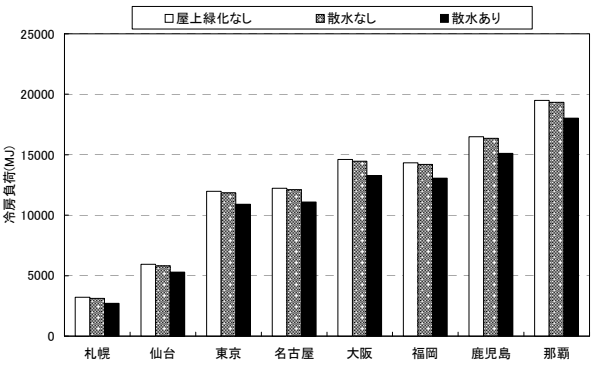


図7.3.90 一戸全体冷房負荷 (S社)

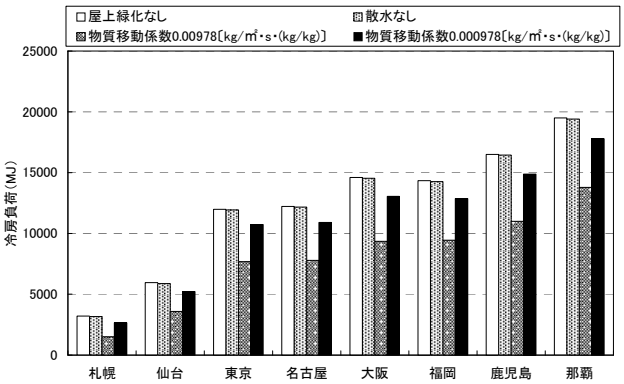


図7.3.91 一戸全体冷房負荷 (I社)

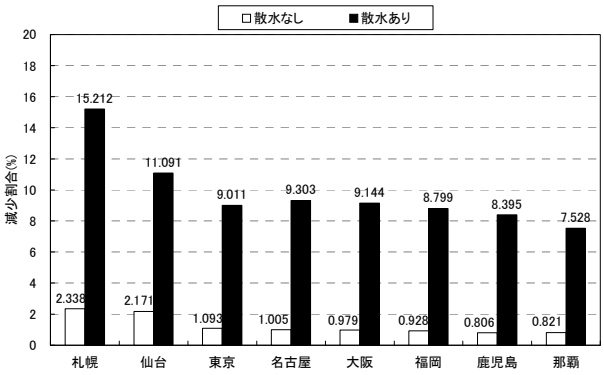


図7.3.92 冷房負荷減少割合 (S社)

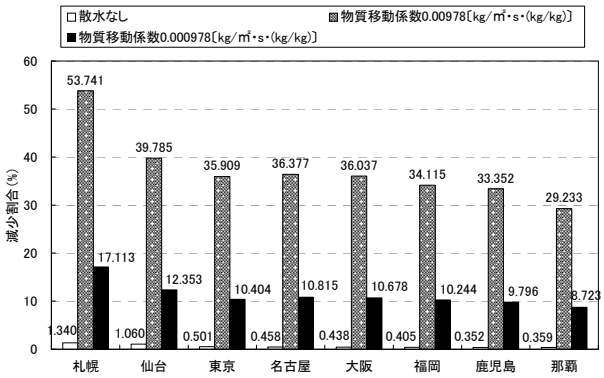


図7.3.93 冷房負荷減少割合 (I社).

①散水なし

S 社緑化パレットは 0.8%～2.3%程度、I 社緑化セラミック基盤は 0.3～1.3%程度の冷房負荷削減効果がみられた。S 社緑化パレットは 15cm、I 社緑化セラミック基盤は 3～4cm の厚さがあり、この日射遮蔽効果により冷房負荷が削減されたと考えられるが、効果は微々たるものである。(表 7.3.33)

表 7.3.33 一戸全体冷房負荷計算結果

		S社緑化パレット		I社緑化セラミック基盤		
		散水なし	散水あり	散水なし	散水あり	
物質移動係数〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕			0.00122		0.00978	0.000978
屋上緑化なしに対する減少割合(%)	札幌	2.3	15.2	1.3	53.7	17.1
	仙台	2.2	11.1	1.1	39.8	12.4
	東京	1.1	9.0	0.5	35.9	10.4
	名古屋	1.0	9.3	0.5	36.4	10.8
	大阪	1.0	9.1	0.4	36.0	10.7
	福岡	0.9	8.8	0.4	34.1	10.2
	鹿児島	0.8	8.4	0.4	33.4	9.8
	那覇	0.8	7.5	0.4	29.2	8.7

②.散水あり

S 社緑化パレットは 7.5%～15.2%程度、I 社緑化セラミック基盤は物質移動係数 0.00978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、29.2～53.7%程度、物質移動係数 0.000978

〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、8.7～17.1%程度の冷房負荷削減効果がみられた。

散水なしの場合と比較すると、S 社緑化パレットは 6.7%～12.9%程度(約 6.5～9.2 倍)、I 社緑化セラミック基盤は物質移動係数 0.00978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、28.9～52.4%(約 40.1 倍～94.8 倍)程度、物質移動係数 0.000978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、8.4～15.8%程度(約 11.7 倍～27.8 倍)の効果の増大がみられた。散水を行うことにより、飛躍的に冷房負荷が削減されるということがわかる。(表 7.3.33)

b 地点別

気候が比較的寒冷である札幌、仙台の 2 地点では効果が大きく、温暖である那覇では効果がやや小さいことが分かる。札幌、仙台では夏期でも冷房を必要としない日が何日もあり、冷房負荷は小さい。これに対して、ほぼ毎日冷房を必要とする那覇では、冷房負荷が非常に大きい。このため負荷の減少割合が全体に占める割合が大きくなってしまったと考えられる。(表 7.3.33)

c スペース別冷房負荷計算

図 7.3.94、図 7.3.95 は、東京において屋上緑化を行った場合におけるスペース別冷房負荷の減少割合である。

①.散水なし

1 階において S 社緑化パレットは 0.2～0.8%程度、I 社緑化セラミック基盤は 0.1～0.3%程度の冷暖房負荷削減効果がみられた。2 階 L･D においては、S 社緑化パレットは 1.7%程度、I 社緑化セラミック基盤は 0.8%程度である。1 階部分よりも緑化部分の直下にある 2 階部分の効果が大きいが、両者の差はほとんどない。(表 7.3.34)

②.散水あり

1 階部分において S 社緑化パレットは 1.8%～6.8%程度、I 社緑化セラミック基盤は物質移動係数 0.00978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、7.7～29.4%程度、物質移動係数 0.000978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、2.1～8.0%程度の冷房負荷削減効果がみられた。2 階 L･D においては、S 社緑化パレットは 13.7%程度、I 社緑化セラミック基盤は物質移動係数 0.00978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合 52.9%程度、物質移動係数 0.000978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、15.6%程度である。

散水なしの場合と比較すると、1 階部分において、S 社緑化パレットは 1.6～6.0%程度(約 7.5 倍～9.2 倍)、I 社緑化セラミック基盤は物質移動係数 0.00978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、7.6～29.0%(約 66.7 倍～182.2 倍)程度、物質移動係数 0.000978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、2.0～7.7%程度(約 3.6 倍～3.7 倍)の効果の増大がみられた。2 階 L･D においては、S 社緑化パレットは 12.0%程度(約 8.2 倍)、I 社緑化セラミック

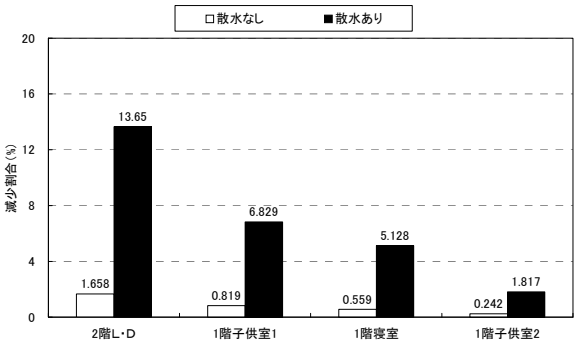


図7.3.94 スペース別減少割合 (S社)

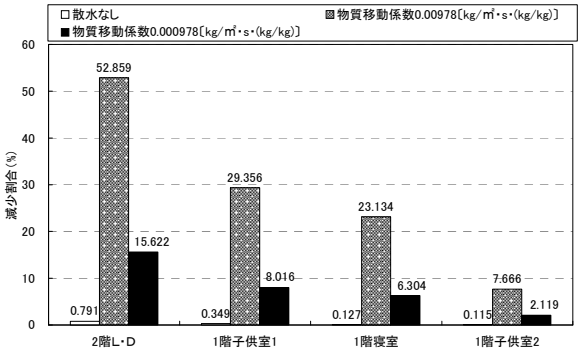


図7.3.95 スペース別減少割合 (I社)

表 7.3.34 スペース別冷房負荷計算結果

		S社緑化パレット		I社緑化セラミック基盤		
		散水なし	散水あり	散水なし	散水あり	
物質移動係数〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕			0.00122		0.00978	0.000978
屋上緑化なしに対する減少割合(%)	2階L･D	1.7	13.7	0.8	52.9	15.6
	1階子供室1	0.8	6.8	0.3	29.4	8.0
	1階寝室	0.6	5.1	0.1	23.1	6.3
	1階子供室2	0.2	1.8	0.1	7.7	2.1

基盤は物質移動係数 0.00978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合 52.1%程度(66.8 倍)、物質移動係数 0.000978〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕の場合、14.8%程度(約 19.7 倍)である。散水を行うことにより、1、2 階ともに飛躍的に冷房負荷が削減されている。(表 7.3.34)

d 屋根表面温度

図 7.3.97 はそれぞれ 8 月 1 日～8 月 7 日までの東京における S 社緑化パレット、I 社緑化セラミック基盤の屋根表面温度と蒸発量の比較である。

①.S 社緑化パレット

日中において屋根面に当たる日射量は大きくなり、蒸発量が増加する。シミュレーション日の気象条件により多少の例外はあるものの、日中の蒸発量は、0.15～0.2(kg/h)程度、早朝、夜間は 0.02～0.04(kg/h)程度であり、約 5～7 倍である。

また、蒸発量が増加すると散水により冷却される温度は大きくなる。日中においての屋根表面温度は概ね 40～45℃程度、早朝、夜間においては 25～30℃程度であり、その差は約 20℃である。(表 7.3.35)

②.I 社緑化セラミック基盤

物質移動係数 0.00978 の場合、日中においての蒸発量は 0.5～0.6(kg/h)程度、早朝、夜間では 0.1～0.15(kg/h)程度である。物質移動係数 0.000978 の場合、日中においては 0.15～0.2(kg/h)程度、早朝、夜間では約 0.02(kg/h)である。屋根表面温度に関しては両者の差は日中で 10～15℃程度、早朝、夜間で 2～3℃程度ある。(表 7.3.35)

表7.3.35 屋根表面温度と蒸発量

	S社緑化パレット		I社緑化セラミック基盤			
物質移動係数〔kg/㎡・s・(kg/kg)〕	0.00122		0.00978		0.000978	
	日中	早朝・夜間	日中	早朝・夜間	日中	早朝・夜間
屋根表面温度(℃)	40～45	25～30	30～35	約25	40～45	25～30
蒸発量(kg/h)	0.15～0.2	0.02～0.04	0.5～0.6	0.1～0.15	0.15～0.2	約0.02
外気温(℃)	日中30～35　早朝・夜間25～30					

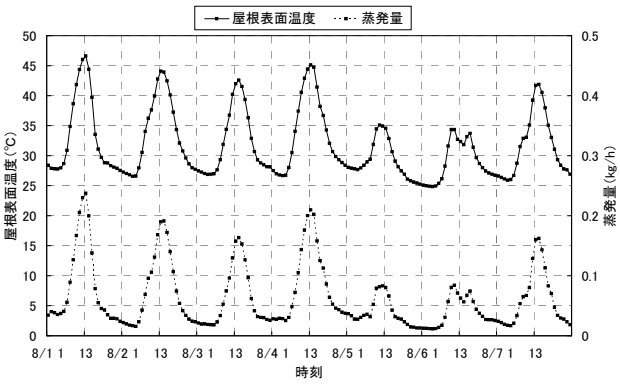


図7.3.96 屋根表面温度と蒸発量（S社）

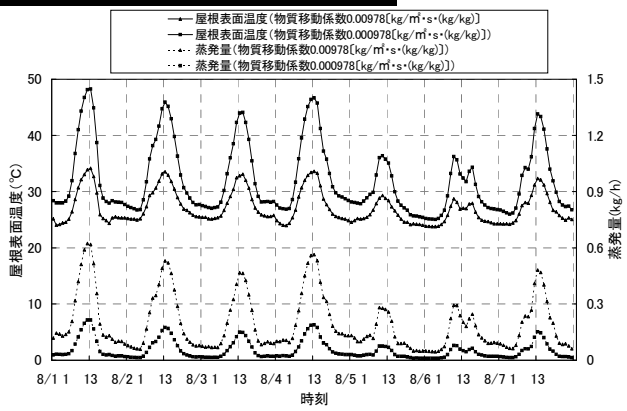


図7.3.97 屋根表面温度と蒸発量（I社）

(3) まとめ

戸建住宅において多数室非定常熱負荷計算プログラム LESCOM を用いた全国的なシミュレーションを行い、S 社緑化パレット、I 社緑化セラミック基盤を屋上緑化、屋根散水に用いた場合、夏期の冷房負荷削減にどれほどの効果をもたらすのかを検証した。

a 一戸全体での冷房負荷計算

全国 8 地点において、7 月 1 日～9 月 30 日まで、一戸全体での冷房負荷計算を行った。

散水することにより、全国どの地点でも冷房負荷削減効果が得られることがわかる。また、散水を行わず緑化部材を設置しただけ状態では、ほとんど効果は得られない。

b スペース別冷房負荷計算

東京において、スペース別冷房負荷計算結果を行った。1 階部分に比べて、緑化部分の直下にある 2 階部分の効果が大きい。また散水を行うことにより、1、2 階とも飛躍的に効果が大きくなることがわかる。

c 屋根表面温度

東京において、散水を行った場合の屋根表面温度、蒸発量を算出した。日中において屋根面に当たる日射量は大きくなり、蒸発量が増加し、散水により冷却される温度は大きくなる。夜間、早朝においては日射量が当たらないので、蒸発による冷却は期待できない。

本研究では、屋上緑化、屋根散水を行った場合の省エネ効果について試算を行ったが、実験に用いたような屋上緑化に夜場合、冷房負荷が削減され、地球温暖化、都市部のヒートアイランド現象の緩和に有効であるということが示唆されたが屋上緑化の活用は、地点別、緑化部材別の冷暖房負荷削減効果を検討してから、実施するのが妥当である。

シミュレーションにより、屋上緑化の有効性に関して一定の評価が可能と考えられるが、シミュレーションと実測データと比較・検討が今後の課題である。

（東京理科大学理工学部建築学科
武田研究室）

参考文献

1)宮道智嗣、武田仁、大塚雅之、山海敏弘:パッシブクーリングシステムに関する研究　屋上緑化の熱的検証と物質移動係数の算出、日本建築学会学術講演梗概集 D-2　環境工学Ⅱ、p347～348、2004
2)三毛正仁、西岡真稔、鍋島美奈子:実測による屋上緑化の熱物性の推定と熱負荷計算　日本建築学会学術講演梗概集　D-2　環境工学Ⅱ、p238～239、2004

7.4 浄化槽利用による資源循環システムの開発研究

7.4.1 はじめに

これまでの物質消費社会から物質循環社会への移行に伴い、未利用資源の活用が見直されてきた。ここでいう未利用資源とは下水の処理水、汚泥、土壌、地下水などのローテクノロジーを指し、本テーマはこれら未利用資源の処理・循環・再利用の要素技術と評価手法の確立を目的に自立循環型住宅開発プロジェクトの中で“資源循環システム”として取り上げられた。

ここでいう評価手法とは、例えば生ごみ処理の場合①従来は市町村による収集－焼却－埋め立てといった一連の処理が行われていたが、他方②ディスポーザによる生ごみ破砕－搬送－水処理－汚泥処理－焼却－埋め立て③ディスポーザによる生ごみ破砕－水処理－汚泥処理－焼却－埋め立て④ディスポーザによる生ごみ破砕－水処理－汚泥処理－堆肥化処理といった方式が考えられ、これらの方式を(1)環境負荷(2)経済コスト(イニシャル、ランニングコスト)(3)利便性などの指標で評価する方法である。

評価手法確立にあたって、要素技術確立のため、未利用資源の活用が大いに期待できる下水道地域外を想定し、生ごみをわずかな量の水とともに砕く生ごみ処理機(以下ﾃﾞｨｽﾎﾟｰｻﾞと称す)とこれに対応した高度処理浄化槽を組込んだ住宅で実証実験を開始した。

ここでの未利用資源とは①高度処理浄化槽処理水②雨水③高度処理浄化槽からの余剰汚泥を指し、本報告ではこれらの処理・循環・再利用について実証実験結果とともに今後の課題を明確にした。

7.4.2 実験方法

図 7.4.1 に示す実験設備を 2002 年 6 月に茨城県某氏宅(大人二人、子供一人計三人)に設置し、実験を開始した。本設備は①ディスポーザ②ディスポーザ対応浄化槽③余剰汚泥堆肥化装置④リサイクルシステムから構成されている。但し、①、②、③の設備については 2000 年 10 月に設置済である。

また、①ディスポーザ②ディスポーザ対応浄化槽は図 7.4.2 に示す。住居から排出されるディスポーザ排水を含む汚水は図に示すディスポーザ対応浄化槽で BOD,SS,T-N それぞれ 10mg/L 以下に処理された後、消毒筒に充填されたタブレット状の次亜塩素酸ナトリウムと接触、消毒槽に流入し、消毒され、図 7.4.1 に示す浄化槽処理水タンクに貯留され、浄化槽処理水ポンプにより混合タンクに移送される。

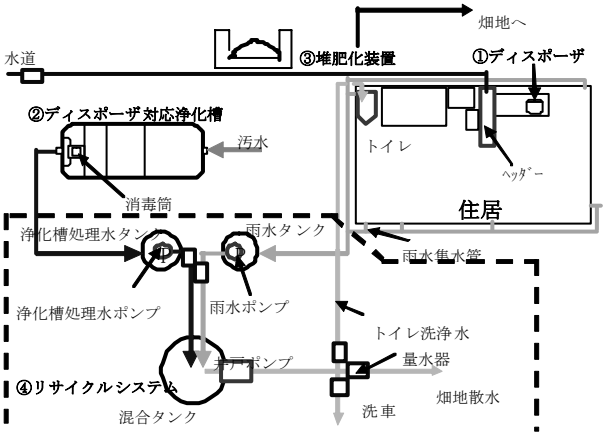


図7.4.1 実験設備

尚、ディスポーザ対応浄化槽で発生する余剰汚泥は浄化槽の第一嫌気濾床槽の上部に浮上するスカムを取りだし、図 7.4.1 堆肥化装置で堆

肥化することにより処理される。尚、堆肥化装置底部には散気管が取りつけられている。

一方、住居の雨樋から集水管によって集められた雨水は雨水タンクに貯留され、雨水ポンプで混合タンクに移送される。この混合タンクに貯留された混合水は地上設置された井戸ポンプによりトイレ洗浄水、車洗浄、庭や畑地へ散水として再利用される。

それぞれの使用水量は量水器からパソコン、電話回線を通じ、建築研究所事務所に繋がり、自動算出される。さらに、図 7.4.2 に示すようにディスポーザはシステムキッチンのシンクに底部に取り付けられ、キッチン専用排水管を通じ、インバートマスからディスポーザ対応浄化槽に通じている。ディスポーザ、ディスポーザ対応浄化槽、堆肥化装置及びリサイクルシステムの仕様をそれぞれ表 7.4.1、表 7.4.2、表 7.4.3 及び表 7.4.4 に示す。

ディスポーザの消費電力は 420W と高いが、使用時間は 10～25 秒、1 日の使用頻度は 2～4 回と消費電力量は 0.35kWh/月で微々たるものである。

ディスポーザ対応浄化槽は表 7.4.2 に示す各槽から構成され、第一嫌気濾床槽、第二嫌気濾床槽は汚水中の固形物の除去、特に第一嫌気濾床槽には二段ｴｱﾘﾌﾄﾎﾟﾝﾌﾟが取り付けられ、流入量のピークをカットしている。また、処理水の第一嫌気濾床槽への循環により、窒素除去が行われている。

生物濾過槽は上段が反応部、下段が濾過部に区切られ、それぞれ、1mm 角の担体が充填され、上段底部には散気管が取り付けられ、常時ばっ気が行われ、担体に付着した微生物により酸化分解が行われ、下段では上段で剥離した SS を濾過している。また、濾過部底部には逆洗管が取り付けられ、1 日に数十分逆洗が行われ、逆洗水は第一嫌気濾床槽に戻される。

濾過された処理水は消毒筒を通過し、タブレット状の次亜塩素酸ナトリウムと接触しながら、消毒槽に流れ込み、消毒され、リサイクル水として再利用される。流入、流出水の仕様を表 7.4.5 に示す。

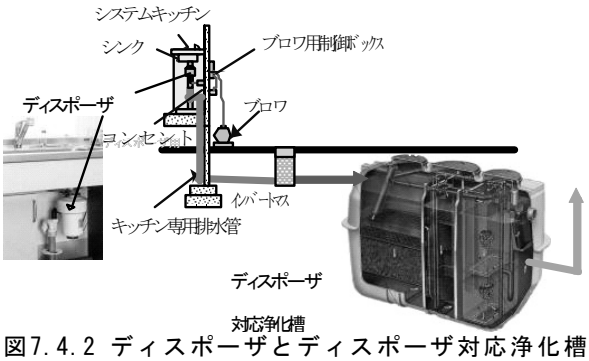


図7.4.2 ディスポーザとディスポーザ対応浄化槽

表7.4.1 ディスポーザ仕様

電源	AC 100V
消費電力量	420W
外形寸法	φ220×420H
破砕室容量	1L(生ごみ約500g)

表7.4.2 ディスポーザ対応浄化槽の仕様

第一嫌気濾床槽	1.703m^3
第二嫌気濾床槽	0.848m^3
生物濾過槽	0.522m^3
処理水槽	0.850m^3
消毒槽	0.026m^3
ブロワ2台	105L/分×105W

表7.4.3 堆肥化装置仕様

寸法	1200W×1000L×500H
ブロワ	40mL×10W

表7.4.4 リサイクルシステム

浄化槽処理水タンク	φ500×400H、50L
浄化槽処理水ポンプ	30L/分×50W
雨水タンク	φ500×50L
雨水ポンプ	30L/分×50W
井戸ポンプ	18L/分-10m,125W
量水器	20mm、0.2～1.6m3/h

表7.4.5 流入、流出水の仕様

項 目	単位	流入水	流出水
水量	m3/日	1.25	1.25
pH	-	5.8～8.6	5.8～8.6
BOD	mg/L	250	10以下
T-N	mg/L	50	10以下
SS	mg/L	250	10以下

水質は月に1回、浄化槽処理水(消毒前後)、雨水、トイレ洗浄水をサンプリングし、pH,BOD, COD などの水質項目以外に大腸菌、一般細菌、及びリサイクルに当っての必要項目であるカルシウム硬度、アルカリ度などを分析した。また、浄化槽消毒後からトイレ洗浄水として使用するまでの残留塩素、一般細菌、大腸菌を測定し、微生物の消長を調査した。一方、雨水については毎月のサンプリングによる分析以外に雨の降り始めか

ら降り終わりまでをサンプリングし、有機物及び微生物等の増減を調査した。汚泥については、まず生ごみの発生量を押さえるとともに、スカムの引き抜き量も測定した。余剰汚泥としては生ごみと、微生物により酸化分解され、発生した汚泥が第一嫌気濾床槽で貯留、分解され、スカムとして浮上する。図 7.4.3 に第一嫌気濾床槽に浮上しているスカムを示す。

このうち毎月 10kgをスカムとして取り出し、堆肥化装置に投入、混合し、堆肥化した。図 7.4.4 に取り出しスカムを示す。堆肥化装置は底部に散気管が取りつけられ、常時 40mL/分の空気が送られている。

毎月処理されるスカムの10%が固形物、このうち 75%が有機物で、堆肥化反応の過程で、この有機物が微生物により分解されるとともに反応熱により、水分が蒸発し、減量する。図 7.4.5 に生成した堆肥を示す。

生成した堆肥は肥料分析及び施肥試験により、有害金属の確認と作物への影響を調査した。図 7.4.6 に実証実験施設の全景を示す。



図7.4.3 第一嫌気濾床槽ｽｶﾑ



図7.4.4取り出しスカム



図7.4.5生成堆肥

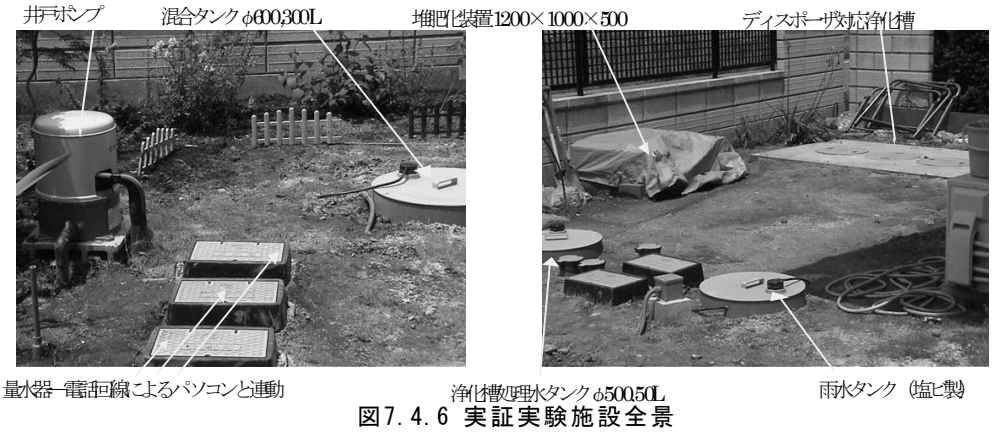


図7.4.6 実証実験施設全景

7.4.3 実験結果と考察

1) ディスポーザ対応浄化槽の水質

ディスポーザ対応浄化槽の水質を表 7.4.6 に示す。

表 7.4.6 に示すように、性能保証値 BOD,SS,T-N 10mg/L 以下についてはすべて達成し、リサイクル水の基準である中水基準はもちろん、一般細菌数を除いて水道水基準並の水である。従って、飲料水としての利用の可能性も考えられるが、日本人の心理からして、原水にし尿が混入していることから、飲料水としての利用は難しいであろう。図 7.4.6 に水道水使用量、リサイクル率及び降水量を示す。また、表 7.4.7 に用途別の使用水量を示す。

水道水使用量は月当り平均 40m^3 から一人当りの水使用量は 440L/日となり、一般的に言われている水使用量は 200～250L/人・日に対して、1.8～2.2 倍となっている。この原因は風

表 7.4.6 ディスポーザ対応浄化槽の水質　　単位：大腸菌、一般細菌(cfu/mL)

分析項目	中水基準[1)]	水道水基準[2)]	雨水	性能	6月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
水温(℃)	—	—	—	10～35	24	24	24	22	19	18	17
pH(-)	5.8～8.6	5.8～8.6	5.7	5.88.6	7.5	7.4	7.5	7.5	7.5	7.4	7.3
COD(mg/L)	30以下	10以下	3.0	—	6.7	6.2	6.4	7.6	7.6	7.3	9.1
BOD(mg/L)	—	—	<1	10以下	3.1	2.7	<1	<1	3.5	3.9	4.5
SS(mg/L)	—	—	Tr	10以下	2.0	0.5	1.0	2.0	3.0	Tr	1.5
T-N(mg/L)	—	—	1.1	10以下	4.7	6.5	5.6	5.5	5.4	4.9	5.4
NH4-N(mg/L)	—	—	0.5	—	0.4	0.4	0.1	0.5	0.7	0.8	1.0
NO3-N(mg/L)	—	10以下(NO_2-N含)	0.3	—	4.0	5.6	4.6	3.5	4.3	4.0	3.8
TDS(mg/L)	—	500 以下	45	—	280	330	320	360	330	300	280
大腸菌	10以下	ND	7.0	3000以下	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
一般細菌	—	100以下	500	—	2.0	450	420	420	460	320	390

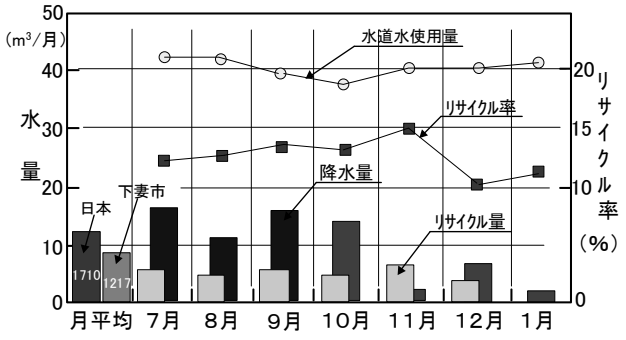


図7.4.7 水道水使用量、リサイクル率及び降水量

表 7.4.7 用途別使用水量

用途先	一般(5人家族)	実測値(3人家族)
風呂	320	625
洗濯	220	475
トイレ	180	165
台所	230	110
その他	50	20
合計	1000	1395

呂及び洗濯水使用量が一般家庭の約2倍になっているためである。また、リサイクル率は主な用途はトイレ洗浄水で10～15%であった。

2) タブレット状次亜塩素酸ソーダ消毒によるリサイクル水中微生物の消長

浄化槽の処理水はタブレット状の固形次亜塩素酸ソーダが充填され、下部に孔の開いた消毒筒を通過し、この次亜塩素酸ソーダと接触、溶解し、消毒槽で反応、消毒される。

リサイクル水はこの消毒後の浄化槽処理水と雨水とが混合し、トイレ洗浄水として使用される。このときの一般細菌と大腸菌の消長を表7.4.8に示す。

次亜塩素酸ソーダによる消毒は一般細菌、大腸菌に有効である。また、雨水中には土壌からの微生物混入があり、利用するには再度何らかの消毒が必要である。

表 7.4.8 タブレット状次亜塩素酸ソーダ消毒によるリサイクル水中微生物の消長

分析項目 ＼ サンプリング箇所	9月18日				11月14日			
	消毒前	消毒後	雨水	トイレ洗浄水	消毒前	消毒後	雨水	トイレ洗浄水
残留塩素(mg/L)	ゼロ	0.6	ゼロ	0.3	ゼロ	0.9	ゼロ	0.2
一般細菌(cfu/mL)	620	420	500	500	5600	460	1100	68000
大腸菌(cfu/mL)	22	ND	16	3	610	ND	1	ND

3) 生ごみ排出量と汚泥(スカム)処分量

生ごみはディスポーザで破砕され、水とともに浄化槽の第一嫌気濾床槽に流入する。また、生物濾過槽の濾過部で発生する汚泥も生物濾過槽の逆洗により第一嫌気濾床槽に毎日1回、移流し、貯留される。この第一嫌気濾床槽ではこれら生ごみと汚泥は嫌気分解するとともに、ここでは窒素除去が行われ、それぞれメタンガス、窒素ガスが放出される。このため、貯留されている固形物はガスとともに浮上し、スカムとして槽上部に移動する。この固形物を取出さ

ず、貯留しておくと固形物が順次次槽に移動し処理が悪化していく。従って、安定した処理を行うには定期的にこの固形物を取出す必要がある。ここでは、スカムを毎月 10kg 取りだし、堆肥化装置で堆肥化を行っている。図 7.4.8 に生ごみ排出量と汚泥(スカム)処分量を示す。生ごみ排出量は一人当り 1788g/日で文献値とほぼ近い値であった。[4)]

月当りのスカム処分量は生ごみ排出量の70%でﾊﾞﾗﾝｽされていた。

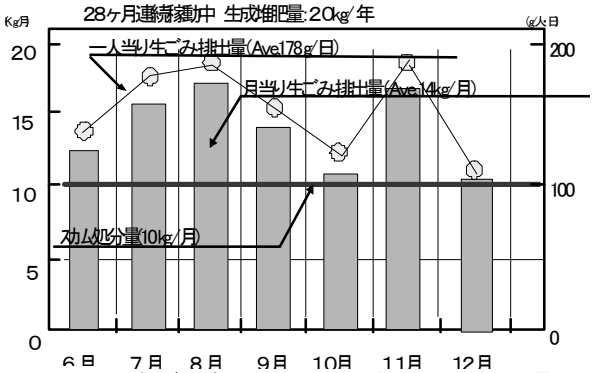


図7.4.8生ごみ排出量と汚泥(スカム)処分量

4) 余剰汚泥(スカム)の性状と生成堆肥の成分

第一嫌気濾床槽に浮上した余剰汚泥(スカム)の性状と余剰汚泥の 18ヶ月後、堆肥として生成した肥料の成分について表 7.4.9 に示す。

まず、有害金属である水銀、ｶﾄﾞﾐｳﾑ、砒素は規制値に対して十分満足していた。また、肥料の三大成分である窒素、りん、カリウムはそれぞれ 2.3、0.8、0.69%となり、汚泥中のカリウム成分からみても、カリウム成分は窒素、りん成分に比較すると少ないことが分かった[5)]。

表 7.4.9 余剰汚泥 (スカム) の性状と生成堆肥の成分

分析項目＼対象月	4月		9月	10月	11月	12月
	堆肥	汚泥	汚泥	汚泥	汚泥	汚泥
水分(%)	40	91	91	91	90	89
pH(－)	7.5	6.1	7.5	6.9	6.9	6.3
強熱減量(%)	82.3	75.2	77	73.8	74.4	75.7
T—N(%)	2.3	4.2	4.5	4.4	5.6	4
T-P(%)	0.8	1.3	1.1	1.1	1.7	1.3
K(%)	0.69	0.12	0.16	0.14	0.15	0.13
Hg(mg/kg)<2規制値	0.02	0.05	0.09	0.05	0.09	0.08
Cd(mg/kg)<5規制値	<0.1	<0.1	0.2	0.2	0.9	0.9
As(mg/kg)<50規制値	1.2	<0.1	2.5	3.3	3.4	3.4

5) 施肥試験結果

トウモロコシを対象に堆肥化を開始して 18ヶ月後の堆肥を使用し、施肥試験を実施した。

図 7.4.9 は施肥後のトウモロコシの成長の過程である。

表 7.4.10 に堆肥区、対照区に施肥した堆肥及び肥料の量、窒素、りん、カリウムの比を示す。

これに対して、収穫量と成分比較を表 7.4.11 及び表 7.4.12 に示す。

表 7.4.11 に示すように、堆肥区の方が対照区に比較して、収穫量が約 50%と低いが、表 7.4.12 の成分を比較すると逆に、全項目とも堆肥区の方が高くなっている。

この理由は窒素、りんに比較してカリウム含有量が堆肥の方が小さいが、食物はカリウムが含有しているところまでは必死に他の栄養分を吸収するためではないかと推定される。

来年は不足分のカリウムを添加して化成肥料との比較を実施する予定である。



図7.4.9トウモロコシの成長過程

表 7.4.10　堆肥区、対照区の施肥実績

	堆肥区	対照区堆
4/21	堆肥18kg	化成肥料500g 豚糞堆肥500g
5/5		化成肥料200g(10g/苗)
5/20		化成肥料200g(10g/苗)
総堆肥/肥料の施肥量(g)	窒素221 りん125 カリウム66	窒素118 りん83 カリウム115
N:P:K比	1.0:0.57:0.3	1.0:0.70:1.0

表 7.4.11　収穫量

肥　区	対　照　区
4350g	9050g
174g/個	201g/個

表 7.4.12　成分比較

比較項目	単位	文献値[6)]	堆肥区	対照区
ﾀﾝﾊﾟｸ質	g/100g	3.6	4.1	3.5
炭水化物	g/100g	16.8	19.5	16.4
鉄	g/100g	0.8	0.6	0.5
食物繊維	g/100g	3	8.2	5.5

6) リサイクル水の水質

トイレ洗浄水にリサイクルしている水の水質(腐食、スケール傾向)を表 7.4.13 に示す。

ランゲリア飽和指数は(1)式、(2)式で求めることができる。

$$SI=pH-pHs \quad (1)$$

$$PHs=(9.3+A+B)-(C+D) \quad (2)$$

ここで、

A:蒸発残留物係数　　B:温度係数

C:カルシウム硬度係数　D:アルカリ係数

1992 年に厚生省生活衛生局水道環境部より、次のような通知が出ている。水道水質に関する基準の制定ついてランゲリア指数の目標値を「－1 程度以上とし、極力 0 に近づける」従って、リサイクル水はトイレ洗浄水として全く問題はない。

また、便器への汚れについてトイレが1階と2階にあったため、1階はリサイクル水、2階は水道水を使用し、6ヶ月間観察した結果、有意差はなかった。

表 7.4.13　リサイクル水の水質

日時 / サンプル名 / 分析項目	9/18			11/14			12/17			冷却水7)水質基準
	トイレ洗浄水	雨水	水道水	トイレ洗浄水	雨水	水道水	トイレ洗浄水	雨水	水道水	
温度(℃)	21	20	22	19	14	15	11	10	13	—
pH(－)	7.5	4.5	7.4	7.7	6	7.8	7.4	6.9	7.6	6.5～8.2
TDS(mg/L)	290	320	190	320	180	180	200	31	200	—
カルシウム硬度(mg/L)	53	11	41	54	75	42	33	10	45	150以下
アルカリ度(mg/L)	100	<2.5	80	120	5.5	82	130	20	81	—
SI=ランゲリア飽和指数	−0.67	−5.6	−0.86	−0.45	−3.6	−0.45	−1.07	−2.81	−0.93	マイナス
腐食傾向 スケール傾向	すべて腐食傾向にある									

7) 雨水の水質

表 7.4.14 に毎月 1 回のサンプリング時における雨水の水質を示す。

表 7.4.14 に示すように、雨水水質は pH4.5～6.9 の酸性、COD は 2.9～7.1、ｱﾝﾓﾆｱ性窒素は 0.53～1.29、窒素 1.05～6.85 と若干有機物が混入し、一般細菌 5×10^{2}～10^{5}、大腸菌 1～2×10^{2} となり、微生物は土壌からの由来と考えられ、混合タンク内で有機物を栄養源にさらに増殖していくため、無視できない値であった。

従って、雨水を利用する場合は何らかの消毒が必要であることが分かった。

また、表 7.4.15 に雨の降り始めから降り終わりまでの水質及び微生物量について示す。

降り始めの方がどの項目とも高い傾向にあり、この原因は雨樋に溜まった雨水が流出してくるものと推定される。また、水道水と比較するとカルシウム硬度、アルカリ度、TDS とも低いため、スケールになり難いことから、スケール除去洗浄水に利用できる。

表 7.4.14 雨水水質

分析項目	8/20	9/18	10/17	11/14	12/17	範囲
pH(-)	5.7	4.5	6.6	6	6.9	4.5～6.9
COD(mg/L)	3	2.9	4.4	7.1	4.1	2.9～7.1
BOD(mg/)	<1	<1	<1	1.8	3.7	
SS(mg/L)	0	0	1	4	0	
NH4-N(mg/L)	0.53	0.84	0.78	1.13	1.29	0.53～1.29
NO3-N(mg/L)	0.28	1.53	0.61	4.72	0.61	
NO2-N(mg/L)	0.02	0.05	0.04	0.54	0.16	
T-N(mg/L)	1.05	2.58	1.8	6.85	1.45	1.05～6.85
T-P(mg/L)	0.1	0.07	0.2	0.13	0.27	
Cl-(mg/L)	4.5	9	12.3	10.5	13.2	
SO42-(mg/L)	10	20	5	5	6.4	
TDS(mg/L)	45	320	40	68	31	
一般細菌(cfu/mL)	500	500	1×105	1.1×103	3.4×103	500～105
大腸菌(cfu/mL)	7	3	200	1	160	1～200

表7.4.15 雨の降り始めから降り終わりまでの水質及び微生物量（02.11.25実施）

時刻 / 分析項目	13:30 降り始め	14:00	15:00	16:00	18:00	20:00 降り終わり	水道水
pH(-)	6.7	6.8	6.9	6.9	6.7	6.8	7.5
COD(mg/L)	9.6	3.1	3	3.4	6.3	2.3	1.5
NH4-N(mg/L)	1.2	0.34	0.39	0.43	0.45	0.23	0.03
NO3-N(mg/L)	0.28	0.07	0.06	0.06	0.1	0.07	0.08
カルシウム硬度(mg/L)	13	<1	2.4	3.2	5	2.2	40
アルカリ度(mg/L)	7.5	11	11	11	10	9.5	80
SO42-(mg/L)	9	2	2	2	2.9	1.1	8.5
TDS(mg/L)	74	24	26	24	31	21	190
一般細菌 (cfu/mL)	7700	8600	5700	6600	33000	25000	ゼロ
大腸菌(cfu/mL)	670	250	200	730	650	460	ゼロ

7.4.4 結論

ディスポーザ対応浄化槽は長期間安定した性能を発揮し、処理水質は水道水基準並であった。また、住宅へのリサイクル率は 10～15％であった。

住宅への水のリサイクルは浄化槽の処理水で十分であり、雨水をリサイクルする場合は再度、消毒処理が必要であることが分かった。

次亜塩素酸ソーダによる消毒は一般細菌、大腸菌に対して有効であることがわかった。

毎月の余剰汚泥（スカム）の取出しは生ごみ処分量の 0.7 倍程度が適切で堆肥化により安定した性能を得ることができた。

生成した堆肥は有害金属が規制値以下で肥料としてはカリウム含有量が少ないが、カリウム添加により、通常の化成肥料と同等の肥料効果を発揮するであろうと推測できた。

リサイクル水は腐食傾向にあり、ランゲリア飽和指数もゼロに近く、水質的には何ら問題がないことがわかった。

雨水は酸性側でCODが2.9～7.1mg/Lと高度処理された水と同等であるが、土壌由来の微生物が多く含まれるため、リサイクルするには何らかの消毒処理を施す必要がある。

（梅原　敏正）

参考文献

1)排水再利用の配管設備取り扱い、国土交通省、1981
2)水道水水質基準、厚生労働省、1999
3)降水量、気象庁、2002
4)ディスポーザによる生ごみリサイクルシステムの開発、建設省建築研究所、1999
5)し尿系汚泥のコンポスト化における安全性の評価、山本康次、1998
6)食品栄養学、江川とみ、1990
7)冷却水水質基準、日本冷凍空調工業会、1990

7.5 総括

本研究の結果、次の成果が得られた。

(1)節水型機器による負荷削減効果、経済効果

(2)台所、流し廻りでの節水効果

(3)各種生ごみ処理方法による負荷削減効果

(4)水資源を有効活用した屋上緑化による負荷削減効果

(5)浄化槽を利用した資源循環システムの有効性評価

これらの成果は、住宅を「自立循環型」のものとするために必要な技術であり、これらのうち一般的で普及型の技術については、自立巡検型住宅のガイドラインにも反映されている。

なお、住宅をより自立・循環型のものとするためには、次の技術についても検討が必要と考えたが、今回の研究においては、時間的、経済的制約から研究を進めることができなかった。

①地下水の高度利用技術

・再生可能な熱源としての活用技術(井戸、鋼管杭等による地下水との熱交換、空冷熱源への散布による省エネ技術等)

・低品位な地下水の雑用水としての利用技術

・地下水・湧水の共同管理技術

②浄化槽処理水の高度利用技術

・浄化槽処理水の熱源としての活用技術(空冷熱源への散布による省エネ技術、温熱源としての活用技術等)

③排水等の土壌処理・浸透技術

・低濃度生活排水の土壌による処理・浸透技術

④水の節水型制御技術

これら技術の多くは、現段階では技術的なハードルが高かったり、コスト的な収支が良くないため民間による研究開発も必ずしも活発ではない。

しかし、住宅・建築物における環境負荷(二酸化炭素、エネルギー、水、廃棄物)を低減し、併せて建築物の自立性を高め、都市の基盤的設備と単体建築物・建築物群との最良の組み合わせを実現し、都市・建築物における環境負荷を総合的に制御するためには、今後この種の環境に対する親和性の高い技術に関して優先的に取り組むとともに、様々な支援施策の可能性・有効性等についても併せて検討し、有効な行政施策を講ずる上で必要なデータの蓄積等も図る必要があると思われる。

口　委　員　名　簿（平成 17 年 3 月現在）

全体委員会

区　分	氏　名	所　属
委員長	三井所清典	芝浦工業大学
委　員	秋元　孝之	関東学院大学
委　員	井上　　隆	東京理科大学
委　員	岩村　和夫	武蔵工業大学
委　員	岩本　静男	神奈川大学
委　員	上谷　芳昭	京都大学大学院
委　員	大倉　靖彦	アルセッド建築研究所
委　員	大塚　雅之	関東学院大学
委　員	柏木　孝夫	東京農工大学大学院
委　員	鎌田　元康	東京大学大学院
委　員	倉渕　　隆	東京理科大学
委　員	小玉祐一郎	神戸芸術工科大学
委　員	坂本　雄三	東京大学大学院
委　員	鈴木　大隆	北方建築総合研究所 [1]
委　員	須永　修通	東京都立大学大学院
委　員	坂本　　努	国土交通省
		住宅局住宅生産課
委　員	坂田　昌平	国土交通省
		大臣官房技術調査課
委　員	小野田吉純	秋田県
委　員	松川　隆行	住宅金融公庫
委　員	伊藤　　功	都市基盤整備公団
委　員	川本　俊明	国土技術政策総合研究所 [2]
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 [2]
委　員	豊原　寛明	国土技術政策総合研究所 [2]
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 [2]
委　員	倉山　千春	国土技術政策総合研究所 [2]
委　員	三木　保弘	国土技術政策総合研究所 [2]
委　員	田島　昌樹	国土技術政策総合研究所 [2]
委　員	坊垣　和明	建築研究所
委　員	大澤　元毅	建築研究所
委　員	岩田　　司	建築研究所
委　員	山海　敏弘	建築研究所
委　員	瀬戸　裕直	建築研究所
委　員	西澤　繁毅	建築研究所
委　員	堀　　祐治	建築研究所
委　員	竹崎　義則	建築研究所
委　員	戸倉三和子	建築研究所
委　員	細井　昭憲	建築研究所
委　員	齋藤　宏昭	建築研究所
委　員	石川　優美	建築研究所
委　員	佐藤　健一	建築研究所
委　員	高橋　泰雄	建築研究所

区　分	氏　名	所　属
委　員	山岸　秀之	旭化成ホームズ
委　員	布井　洋二	旭ファイバーグラス
委　員	岩岡　重樹	ｱﾄﾑ建築環境工学研究所
委　員	古澤　　信	一条工務店
委　員	小栗　　健	ＩＮＡＸ
委　員	駒野　清治	オーエムソーラー協会
委　員	遠座　俊明	大阪ガス
委　員	川崎　幸男	関西電力
委　員	足立　義彦	コロナ
委　員	仁木　康介	サンポット
委　員	式地　千明	三洋ｴｱｺﾝﾃﾞｨｼｮﾅｰｽﾞ
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	多川　　哲	四国電力
委　員	奥山　博康	清水建設
委　員	中山　正樹	新コスモス電機
委　員	白鳥　和彦	積水化学工業
委　員	小山　正豪	積水化成品工業
委　員	梅野　徹也	積水ハウス
委　員	松岡　　章	大建工業
委　員	山本　康二	大和ハウス工業
委　員	秋山　茂俊	高木産業
委　員	太田　正芳	中部電力
委　員	工藤　政利	土屋ツーバイホーム
委　員	小野口　剛	電源開発
委　員	百瀬　忠幸	デンソー
委　員	植野　修一	東急建設
委　員	佐瀬　　毅	東京ガス
委　員	草刈　和俊	東京電力
委　員	山内　大助	東陶機器
委　員	木寺　　康	トステム
委　員	宇出　輝満	トヨタ自動車
委　員	佐藤　健一	独立行政法人　建築研究所
委　員	山口　憲一	ノーリツ
委　員	吉田　繁夫	パナホーム
委　員	田中　幸彦	フジタ
委　員	中根　邦憲	富士ハウス
委　員	水田　和彦	ブリヂストン
委　員	清水　則夫	ベターリビング
委　員	松岡　大介	ポラス暮し科学研究所
委　員	落海　和宏	松下電器産業
委　員	菊池　宣明	松下電工
委　員	栗原　潤一	ミサワホーム
委　員	川本　聖一	三菱地所ホーム
委　員	佐藤　　務	三菱電機

略称

[1] 北方建築総合研究所：
　　北海道立北方建築総合研究所

[2] 国土技術政策総合研究所：
　　国土交通省　国土技術政策総合研究所

（企業は連絡担当者を記載）

全体委員会（続）

区　分	氏　名	所　属
委　員	石川　善弘	リンナイ
委　員	水島　和彦	ＹＫＫＡＰ
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	宇梶　正明	宇梶環境研究所
事務局	十亀　　彬	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	沖村　恒雄	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	千本　敬子	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	柴田　敦士	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	長野　みのり	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

幹事会

区　分	氏　名	所　属
委員長	三井所清典	芝浦工業大学
委　員	秋元　孝之	関東学院大学
委　員	井上　　隆	東京理科大学
委　員	岩村　和夫	武蔵工業大学
委　員	岩本　静男	神奈川大学
委　員	上谷　芳昭	京都大学大学院
委　員	大倉　靖彦	アルセッド建築研究所
委　員	大塚　雅之	関東学院大学
委　員	柏木　孝夫	東京農工大学大学院
委　員	鎌田　元康	東京大学大学院
委　員	倉渕　　隆	東京理科大学
委　員	小玉祐一郎	神戸芸術工科大学
委　員	坂本　雄三	東京大学大学院
委　員	鈴木　大隆	北方建築総合研究所 1)
委　員	須永　修通	東京都立大学大学院
委　員	坂田　昌平	国土交通省 大臣官房技術調査課
委　員	小野田吉純	秋田県
委　員	松川　隆行	住宅金融公庫
委　員	伊藤　　功	都市基盤整備公団
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	豊原　寛明	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	倉山　千春	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	三木　保弘	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	田島　昌樹	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	坊垣　和明	建築研究所
委　員	大澤　元毅	建築研究所
委　員	岩田　　司	建築研究所
委　員	山海　敏弘	建築研究所
委　員	瀬戸　裕直	建築研究所
委　員	西澤　繁毅	建築研究所
委　員	堀　　祐治	建築研究所
委　員	竹崎　義則	建築研究所
委　員	戸倉三和子	建築研究所
委　員	細井　昭憲	建築研究所
委　員	齋藤　宏昭	建築研究所
委　員	石川　優美	建築研究所
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	宇梶　正明	宇梶環境研究所
事務局	沖村　恒雄	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

断熱外皮委員会(A1)

区　分	氏　名	所　属
委員長	鈴木　大隆	北方建築総合研究所 1)
委　員	岩前　　篤	近畿大学
委　員	菅原　正則	宮城教育大学
委　員	永井　久也	三重大学
委　員	本間　義規	岩手県立大学盛岡短大
委　員	黒木　勝一	建材試験センター
委　員	小南　和也	日本建築総合試験所
委　員	柴　　和宏	富山県林業技術センター
委　員	鈴木憲太郎	森林総合研究所
委　員	水沼　　信	山口県産業技術センター
委　委	北谷　幸恵	北方建築総合研究所 1)
委　員	伊庭千恵美	北方建築総合研究所 1)
委　員	新井　政広	アライ
委　員	山村　孝志	住宅金融公庫
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 2
委　員	大澤　元毅	建築研究所
委　員	瀬戸　裕直	建築研究所
委　員	齋藤　宏昭	建築研究所
委　員	布井　洋二	旭ファイバーグラス
委　員	岩岡　重樹	アトム建築環境工学研究所
委　員	古澤　　信	一条工務店
委　員	小栗　　健	ＩＮＡＸ
委　員	荏原　幸久	オーエムソーラー協会
委　員	澤田　拙二	関西電力
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	奥山　博康	清水建設
委　員	堤　正一郎	積水化学工業
委　員	小山　正豪	積水化成品工業
委　員	梅野　徹也	積水ハウス
委　員	松岡　　章	大建工業
委　員	太田　正芳	中部電力
委　員	植野　修一	東急建設
委　員	加藤　充彦	東京電力

断熱外皮委員会(A1)（続）

区　分	氏　名	所　属
委　員	木寺　　康	トステム
委　員	宇出　輝満	トヨタ自動車
委　員	加藤　晴康	富士ハウス
委　員	水田　和彦	ブリヂストン
委　員	清水　則夫	ベターリビング
委　員	松岡　大介	ポラス暮し科学研究所
委　員	君島　　穣	松下電工
委　員	栗原　潤一	ミサワホーム
委　員	川本　聖一	三菱地所ホーム
WG 主査	坂本　雄三	東京大学大学院
WG 委員	福島　　明	北海道建設部
WG 委員	八木　一彰	旭ファイバーグラス
WG 委員	富田　健司	東急建設
WG 協力委員	服部　哲幸	東京大学大学院
WG 協力委員	石井　　宏	建築技術支援協会
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	砂川　雅彦	山内設計室
WG ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	金　　榮卓	山内設計室
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	千本　敬子	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

暖冷房換気・給湯・通風研究委員会(A2A3)

区　分	氏　名	所　属
委員長	鎌田　元康	東京大学大学院
委　員	岩本　靜男	神奈川大学
委　員	倉渕　　隆	東京理科大学
委　員	林　　基哉	宮城学院女子大学
委　員	丸田　榮藏	日本大学
委　員	近藤　武士	神奈川大学
委　員	長井　達夫	大阪市立大学大学院
委　員	福島　　明	北海道建設部
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	倉山　千春	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	田島　昌樹	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	山海　敏弘	建築研究所
委　員	瀬戸　裕直	建築研究所
委　員	西澤　繁毅	建築研究所
委　員	堀　　祐治	建築研究所
委　員	前　　真之	東京大学大学院
委　員	細井　昭憲	建築研究所
委　員	石川　優美	建築研究所
委　員	佐藤　健一	建築研究所
委　員	高橋　泰雄	建築研究所
委　員	山岸　秀之	旭化成ホームズ
委　員	山崎　　尚	ｱﾄﾑ建築環境工学研究所
委　員	古澤　　信	一条工務店
委　員	駒野　清治	オーエムソーラー協会
委　員	西尾　雄彦	大阪ガス
委　員	辻井　浩一	関西電力
委　員	足立　義彦	コロナ
委　員	仁木　康介	サンポット
委　員	式地　千明	三洋ｴｱｺﾝﾃﾞｨｼｮﾅｰｽﾞ
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	多川　　哲	四国電力
委　員	奥山　博康	清水建設
委　員	中山　正樹	新コスモス電機
委　員	吉田　元紀	積水ハウス
委　員	松岡　　章	大建工業
委　員	七岡　　寛	大和ハウス工業
委　員	太田　正芳	中部電力
委　員	小野口　剛	電源開発
委　員	百瀬　忠幸	デンソー
委　員	中村　　聡	東急建設
委　員	佐瀬　　毅	東京ガス
委　員	草刈　和俊	東京電力
委　員	福永　充保	トステム
委　員	宇出　輝満	トヨタ自動車
委　員	山口　憲一	ノーリツ
委　員	中川　　浩	パナホーム
委　員	加藤　晴康	富士ハウス
委　員	清水　則夫	ベターリビング
委　員	西出　慎吾	ポラス暮し科学研究所
委　員	尾本　英晴	松下電器産業
委　員	岡田　直樹	松下電工
委　員	太田　　勇	ミサワホーム
委　員	川本　聖一	三菱地所ホーム
委　員	佐藤　　務	三菱電機
委　員	石川　善弘	リンナイ
委　員	佐藤　昌幸	ＹＫＫＡＰ
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	柴田　敦士	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

暖冷房換気・給湯・通風研究委員会(A2A3)

-A2 暖冷房・給湯ｼｽﾃﾑ小委員会

区　分	氏　名	所　属
委員長	岩本　靜男	神奈川大学
委　員	近藤　武士	神奈川大学
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	倉山　千春	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	山海　敏弘	建築研究所
委　員	瀬戸　裕直	建築研究所
委　員	堀　　祐治	建築研究所
委　員	前　　真之	東京大学大学院

暖冷房換気・給湯・通風研究委員会(A2A3)

-A2 暖冷房・給湯ｼｽﾃﾑ小委員会 （続）

区　分	氏　名	所　属
委　員	山岸　秀之	旭化成ホームズ
委　員	池山　博文	大阪ガス
委　員	辻井　浩一	関西電力
委　員	足立　義彦	コロナ
委　員	式地　千明	三洋ｴｱｺﾝﾃﾞｨｼｮﾅｰｽﾞ
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	多川　　哲	四国電力
委　員	奥山　博康	清水建設
委　員	吉田　元紀	積水ハウス
委　員	太田　正芳	中部電力
委　員	小野口　剛	電源開発
委　員	百瀬　忠幸	デンソー
委　員	中村　　聡	東急建設
委　員	佐瀬　　毅	東京ガス
委　員	草刈　和俊	東京電力
委　員	山口　憲一	ノーリツ
委　員	清水　則夫	ベターリビング
委　員	落海　和宏	松下電器産業
委　員	浦野　雅司	松下電工
委　員	佐藤　　務	三菱電機
委　員	石川　善弘	リンナイ
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

暖冷房換気・給湯・通風研究委員会(A2A3)

-A3 換気・通風ｼｽﾃﾑ小委員会

区　分	氏　名	所　属
委員長	倉渕　　隆	東京理科大学
委　員	福島　　明	北海道建設部
委　員	丸田　榮藏	日本大学
委　員	林　　基哉	宮城学院女子大学
委　員	長井　達夫	大阪市立大学大学院
委　員	近藤　武士	神奈川大学
委　員	遠藤　智行	東京理科大学
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	田島　昌樹	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	瀬戸　裕直	建築研究所
委　員	西澤　繁毅	建築研究所
委　員	細井　昭憲	建築研究所
委　員	石川　優美	建築研究所
委　員	佐藤　健一	建築研究所
委　員	高橋　泰雄	建築研究所
委　員	山崎　　尚	アトム建築環境工学研究所
委　員	古澤　　信	一条工務店
委　員	駒野　清治	オーエムソーラー協会
委　員	三浦　光城	関西電力

区　分	氏　名	所　属
委　員	仁木　康介	サンポット
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	奥山　博康	清水建設
委　員	中山　正樹	新コスモス電機
委　員	松岡　　章	大建工業
委　員	七岡　　寛	大和ハウス工業
委　員	佐瀬　　毅	東京ガス
委　員	福永　充保	トステム
委　員	宇出　輝満	トヨタ自動車
委　員	中川　　浩	パナホーム
委　員	加藤　晴康	富士ハウス
委　員	清水　則夫	ベターリビング
委　員	西出　慎吾	ポラス暮し科学研究所
委　員	尾本　英晴	松下電器産業
委　員	岡田　直樹	松下電工
委　員	太田　　勇	ミサワホーム
委　員	川本　聖一	三菱地所ホーム
委　員	大西　茂樹	三菱電機
委　員	佐藤　昌幸	ＹＫＫＡＰ
WG 委員	菅原　正則	宮城教育大学
WG 委員	鳥海　吉弘	千葉職業能力開発短期大学校
WG 委員	飯野由香利	中央看護専門学校
WG 委員	吉田　元紀	積水ハウス
WG 委員	辻　　正雄	パナホーム
WG 委員	大嶋　兼芳	三菱電機
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	柴田　敦士	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

昼光利用・照明ｼｽﾃﾑ委員会(A5)

区　分	氏　名	所　属
委員長	上谷　芳昭	京都大学大学院
委員長代理	三木　保弘	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	鈴木　広隆	大阪市立大学大学院
委　員	淺田　秀男	東京理科大学
委　員	北谷　幸恵	北方建築総合研究所 1)
委　員	松下　　進	松下進建築・照明設計室
委　員	原　　直也	関西大学
委　員	倉山　千春	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	戸倉三和子	建築研究所
委　員	判田　　保	関西電力
委　員	登石久美子	清水建設
委　員	平井　希一	積水化学工業
委　員	後藤　浩一	積水ハウス
委　員	金本亜希子	大和ハウス工業
委　員	木寺　　康	トステム
委　員	松村　研一	富士ハウス
委　員	阪口　敏彦	松下電工
委　員	岩井　　彌	松下電工
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	長野みのり	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

開口部日射遮蔽計画委員会（A6）

区　分	氏　名	所　属
委員長	井上　　隆	東京理科大学
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	倉山　千春	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	三木　保弘	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	戸倉三和子	建築研究所
委　員	澤田　拙二	関西電力
委　員	奥山　博康	清水建設
委　員	朝桐　大介	積水化学工業
委　員	石積　広行	トステム
委　員	君付　政春	トヨタ自動車
委　員	加藤　晴康	富士ハウス
委　員	清水　則夫	ベターリビング
委　員	松本　泰輔	ポラス暮し科学研究所
委　員	伊藤　春雄	ＹＫＫＡＰ
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	村田　　涼	エステック計画研究所
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

資源循環システム委員会（A9）

区　分	氏　名	所　属
委員長	大塚　雅之	関東学院大学
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	山海　敏弘	建築研究所
委　員	竹崎　義則	建築研究所
委　員	小栗　　健	ＩＮＡＸ
委　員	塚本　吉宣	OM研究センター
委　員	大草真知子	関西電力
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	中島古史郎	積水化学工業
委　員	伊沢　　輝	東急建設
委　員	加藤　充彦	東京電力
委　員	山内　大助	東陶機器
委　員	君付　政春	トヨタ自動車
委　員	加藤　晴康	富士ハウス
委　員	西出　慎吾	ポラス暮し科学研究所
委　員	落海　和宏	松下電器産業
委　員	福濱　雄二	松下電工
A9WG	武田　　仁	東京理科大学
WG 委員	近藤　武士	神奈川大学
WG 委員	野知　啓子	関東学院大学
A9WG	南　　裕介	関東学院大学大学院
A9WG	磯崎恭一郎	関東学院大学
A9WG	井上　賢治	東京理科大学
A9WG	中村　伸也	関東学院大学
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	柴田　敦士	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

住宅システム計画・実証実験委員会（B1B2）

区　分	氏　名	所　属
委員長	秋元　孝之	関東学院大学
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	三木　保弘	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	田島　昌樹	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	山海　敏弘	建築研究所
委　員	瀬戸　裕直	建築研究所
委　員	堀　　祐治	建築研究所
委　員	前　　真之	東京大学大学院
委　員	細井　昭憲	建築研究所
委　員	石川　優美	建築研究所
委　員	佐々木　隆	アトム建築環境工学研究所
委　員	西尾　雄彦	大阪ガス
委　員	辻井　浩一	関西電力
委　員	広川　敏雄	コロナ
委　員	式地　千明	三洋ｴｱｺﾝﾃﾞｨｼｮﾅｰｽﾞ
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	小原　博之	四国電力
委　員	芦塚　良介	積水化学工業
委　員	松岡　　章	大建工業
委　員	秋山　茂俊	高木産業
委　員	太田　正芳	中部電力
委　員	小野口　剛	電源開発
委　員	百瀬　忠幸	デンソー
委　員	伊沢　　輝	東急建設
委　員	佐瀬　　毅	東京ガス
委　員	草刈　和俊	東京電力
委　員	木寺　　康	トステム
委　員	山口　憲一	ノーリツ
委　員	加藤　晴康	富士ハウス
委　員	吉富　浩介	ブリヂストン
委　員	清水　則夫	ベターリビング
委　員	落海　和宏	松下電器産業
委　員	太田　　勇	ミサワホーム
委　員	川本　聖一	三菱地所ホーム
委　員	石川　善弘	リンナイ
協　力	中島　市治	日本電気硝子
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	宇梶　正明	宇梶環境研究所
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	高橋　一成	宇梶環境研究所
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

エネルギー消費調査委員会（B3）

区　分	氏　名	所　属
委員長	坊垣　和明	建築研究所
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	堀　　祐治	建築研究所
委　員	西尾　雄彦	大阪ガス
委　員	三村　英二	関西電力
委　員	足立　義彦	コロナ
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	中森　勇一	積水化学工業
委　員	佐瀬　　毅	東京ガス
委　員	大越　和行	ノハラプラスト
委　員	松本　泰輔	ポラス暮し科学研究所
委　員	栗原　潤一	ミサワホーム
委　員	石川　善弘	リンナイ
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	村越　千春	住環境計画研究所
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	田中　昭雄	住環境計画研究所
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	増田　貴司	住環境計画研究所
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

設計支援システム委員会（C1）

区　分	氏　名	所　属
委員長	坂本　雄三	東京大学大学院
委　員	鈴木　広隆	大阪市立大学大学院
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	三木　保弘	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	山崎　　尚	ｱﾄﾑ建築環境工学研究所
委　員	中村　健児	ＯＭ研究センター
委　員	三村　英二	関西電力
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	奥山　博康	清水建設
委　員	堤　正一郎	積水化学工業
委　員	梅野　徹也	積水ハウス
委　員	加藤　充彦	東京電力
委　員	野中　俊宏	トステム
委　員	宇出　輝満	トヨタ自動車
委　員	小野　幹治	フジタ
委　員	加藤　晴康	富士ハウス
委　員	尾本　英晴	松下エコシステムズ
委　員	佐藤　　務	三菱電機
委　員	斎藤孝一郎	ＹＫＫＡＰ
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	瓦口　泰一	山内設計室
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	宮島　賢一	山内設計室
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	柴田　敦士	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

LCA 評価手法開発委員会（C2）

区　分	氏　名	所　属
委員長	小玉祐一郎	神戸芸術工科大学
委　員	岡　　建雄	宇都宮大学
委　員	井上　　隆	東京理科大学
委　員	槌屋　治紀	システム技術研究所
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	中島　史郎	建築研究所
委　員	戸倉三和子	建築研究所
委　員	布井　洋二	旭ファイバーグラス
委　員	駒野　清治	ＯＭ研究センター
委　員	嶋田　宣広	関西電力
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	松元　建三	積水化学工業
委　員	近田　智也	積水ハウス
委　員	福永　充保	トステム
委　員	水田　和彦	ブリヂストン
委　員	栗原　潤一	ミサワホーム
委　員	伊藤　春雄	ＹＫＫＡＰ
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	村田　　涼	エステック計画研究所
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	長野みのり	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

教育・情報提供システム委員会（C3）

区　分	氏　名	所　属
委員長	三井所清典	芝浦工業大学
委　員	岩村　和夫	武蔵工業大学
委　員	小玉祐一郎	神戸芸術工科大学
委　員	嘉藤　　鋭	住宅金融公庫
委　員	大倉　靖彦	アルセッド建築研究所
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	豊原　寛明	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	三木　保弘	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	堀　　祐治	建築研究所
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	山口　克己	アルセッド建築研究所
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	宇梶　正明	宇梶環境研究所
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	村田　　涼	エステック計画研究所
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

ストック改修戦略委員会（D1）

区　分	氏　名	所　属
委員長	岩村　和夫	武蔵工業大学
委　員	鈴木　大隆	北方建築総合研究所 1)
委　員	中林　由行	綜建築研究所
委　員	有我　　敦	住宅金融公庫
委　員	井関　和朗	都市基盤整備公団
委　員	畑中　　聡	都市基盤整備公団
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	岩田　　司	建築研究所
委　員	布井　洋二	旭ファイバーグラス
委　員	平野　泰章	オーエムソーラー協会
委　員	澤田　拙二	関西電力
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	小野口　剛	電源開発
委　員	福永　充保	トステム
委　員	小林　修一	西松建設
委　員	加藤　晴康	富士ハウス
委　員	吉富　浩介	ブリヂストン
委　員	川本　聖一	三菱地所ホーム
委　員	萩倉　要二	ＹＫＫＡＰ
協力委員	那須　洋平	武蔵工業大学
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	石崎　竜一	岩村アトリエ
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	吉澤　伸記	岩村アトリエ
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	柴田　敦士	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

地域連携委員会（D2）

区　分	氏　名	所　属
委員長	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	鈴木　大隆	北方建築総合研究所 1)
委　員	岩前　　篤	近畿大学
委　員	小南　和也	日本建築総合試験所
委　員	岩田　　司	建築研究所
協力委員	新井　政広	アライ
協力委員	早津　和之	静岡県
協力委員	望月　　昭	望月工務店
協力委員	田村　　衛	滋賀県
協力委員	田中　敬三	徳島県
協力委員	近藤　哲也	徳島県
協力委員	網田　克明	徳島県立農林水産総合技術センター
協力委員	水沼　　信	山口県産業技術センター
事務局	千本　敬子	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

断熱改修ー望まれる基準規格委員会（D3）

区　分	氏　名	所　属
委員長	坂本　雄三	東京大学大学院
委　員	鈴木　大隆	北方建築総合研究所 1)
委　員	嘉藤　　鋭	住宅金融公庫
委　員	大澤　元毅	建築研究所
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	桑沢　保夫	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	田島　昌樹	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	齋藤　宏昭	建築研究所
委　員	布井　洋二	旭ファイバーグラス
委　員	小浦　孝次	ＪＳＰ
委　員	小山　正豪	積水化成品工業
委　員	梅野　徹也	積水ハウス
委　員	工藤　隆一	大和ハウス工業
委　員	内田健一朗	東急建設
委　員	木寺　　康	トステム
委　員	大越　和行	野原産業
委　員	水田　和彦	ブリヂストン
委　員	松岡　大介	ポラス暮し科学研究所
委　員	栗原　潤一	ミサワホーム
委　員	藤井　文雄	ＹＫＫＡＰ
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	砂川　雅彦	山内設計室
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	小坂　信二	山内設計室
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	佐瀬　　毅	東京ガス
ｺﾝｻﾙﾀﾝﾄ	石崎　竜一	岩村アトリエ
事務局	由本　達雄	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	大橋　　宏	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	永岡　洋二	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構

モデル事業実施検討委員会（D4）

区　分	氏　名	所　属
委員長	伊志嶺敏子	伊志嶺敏子一級建築士事務所
委　員	鈴木　大隆	北方建築総合研究所 1)
委　員	清水耕一郎	アルセッド建築研究所
委　員	岩田　　司	建築研究所
委　員	澤地　孝男	国土技術政策総合研究所 2)
委　員	瀬戸　裕直	建築研究所
委　員	堀　　祐治	建築研究所
協力委員	山田　芳徳	上五島町役場
協力委員	太田尾幸正	上五島町役場
協力委員	法村　栄三	上五島町役場
協力委員	松岡　　貢	上五島町役場
事務局	青木　正諭	建築環境・省ｴﾈﾙｷﾞｰ機構