

ISSN 1880-0114

国総研プロジェクト研究報告第25号

平成 21 年 2 月

# 国土技術政策総合研究所 プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.25

February 2009

住宅の省エネルギー性能向上支援技術に関する研究

Research on Promoting Technologies for Improving Energy Efficiency of Residential Buildings

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

住宅の省エネルギー性能向上支援技術に関する研究

澤地孝男 (2005.4 ~ 2008.3)

\*

Research on Promoting Technologies for Improving Energy Efficiency  
of Residential Buildings

TAKAO SAWACHI (2005.4 ~ 2008.3)

概要

既存住宅も含めた住宅の省エネルギー性能向上を図るため、断熱改修、省エネルギー設備計画に関する支援技術を開発するものである。改修手法の施工性・省エネルギー効果を改修実験により検証し、コストと省エネ効果の推計法を開発した。また、住宅設備の実働効率評価手法の構築を行った。

キーワード : 住宅の省エネルギー、改修、住宅設備

Synopsis

The support technologies for retrofitting and equipment planning is developed for improvement of energy conservation performance of residential building. Workability of insulation retrofitting is examined in the experimental building, and energy saving effect are evaluated. And the evaluation method of actual efficiency of housing equipment is developed.

Key Words : Energy Saving, Retrofitting, Housing Equipment

\*

建築研究部 建築新技術研究官

Research Coordinator for  
Advanced Building Technology,  
Building Department

## 執筆担当者

(敬称略、所属は平成20年度2月時点)

### 第1章

澤地孝男(独立行政法人建築研究所環境研究グループ長)  
(前・国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部建築新技術研究官)  
西澤繁毅(国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部環境・設備基準研究室主任研究官)

### 第2章

#### 2.1～2.3

桑澤保夫(独立行政法人建築研究所環境研究グループ上席研究員)

#### 2.4

田島昌樹(国土交通省国土技術政策総合研究所住宅研究部住環境計画研究室研究官)

### 第3章

#### 3.1, 3.3

桑澤保夫(独立行政法人建築研究所環境研究グループ上席研究員)

#### 3.2

齋藤宏昭(独立行政法人建築研究所環境研究グループ)

### 第4章

#### 4.1, 4.2

三浦尚志(独立行政法人建築研究所環境研究グループ研究員)

#### 4.3

前真之(東京大学大学院工学系研究科建築学専攻准教授)

#### 4.4

羽原宏美(独立行政法人建築研究所環境研究グループ)

### 第5章

#### 5.1

西澤繁毅(国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部環境・設備基準研究室主任研究官)

#### 5.2

三木保弘(国土交通省国土技術政策総合研究所住宅研究部住環境計画研究室主任研究官)

### 第6章

澤地孝男(独立行政法人建築研究所環境研究グループ長)  
(前・国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部建築新技術研究官)  
西澤繁毅(国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部環境・設備基準研究室主任研究官)

<本プロジェクト研究報告における著作権の取扱いについて>

- 本プロジェクト研究報告は執筆・編集に携わった関係者全員の共同著作物とします。
- 本プロジェクト研究報告の著作権は、各著作者(執筆時、国土技術政策総合研究所(以下「国総研」という)の職員であったものを除く)及び国総研が共有します。
- 国総研は、本プロジェクト研究報告の共有著作権を代表して行使します。
- ただし、各著作者が執筆した部分を自らの用途のために使用することを妨げません。

## 目次

### 第1章 全体概要

- 1.1 背景と目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
- 1.2 技術開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

### 第2章 躯体断熱及び設備改修技術の低コスト化・簡易化技術の開発

- 2.1 改修実験用試験体の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
- 2.2 断熱改修手法の施工性検証・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7
  - 2.2.1 実験概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7
  - 2.2.2 施工性検証実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7
  - 2.2.3 施工コストの試算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16
- 2.3 断熱改修による性能検証・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 17
  - 2.3.1 実験概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 17
  - 2.3.2 気密性能の検証・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 17
  - 2.3.3 断熱性能の検証・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20
- 2.4 設備改修事例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26
  - 2.4.1 換気設備改修・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26

### 第3章 省エネルギー改修支援技術の開発

- 3.1 省エネルギー性能診断手法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
  - 3.1.1 ヒアリングの実施・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
  - 3.1.2 建物の建設年代から推定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 32
  - 3.1.3 図面による判断・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 32
  - 3.1.4 実況見分・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33
- 3.2 部位毎断熱性能測定手法の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
  - 3.2.1 測定システムの概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
  - 3.2.2 熱貫流率の算出法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
  - 3.2.3 実験室における測定システムの精度検証・・・・・・・・・・・・ 37
  - 3.2.4 外部環境下での測定システムの精度検証・・・・・・・・・・・・ 39
  - 3.2.5 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 42
- 3.3 ケーススタディにおける省エネルギー効果の推計・・・・・・・・・・ 43
  - 3.3.1 ケーススタディの概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43
  - 3.3.2 ケーススタディの結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47

### 第4章 居住者のライフスタイルに応じた省エネルギー設備計画の最適化技術の開発

- 4.1 床暖房システムの実働効率予測法の開発・・・・・・・・・・・・・・ 51
  - 4.1.1 実験概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
  - 4.1.2 実験結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55

4.1.3	エネルギー消費量予測式の構築	6 0
4.1.4	まとめ	6 6
4.2	エアコンの実働効率予測法の開発	6 7
4.2.1	実験概要	6 7
4.2.2	結果と考察	6 9
4.2.3	計算方法作成の基礎的検討	7 3
4.2.4	まとめ	7 4
4.3	給湯設備の実働効率予測法の開発	7 6
4.3.1	実験概要	7 6
4.3.2	実験結果	8 6
4.3.3	予測手法	9 2
4.4	通風冷房行為が冷房消費エネルギーに及ぼす影響の検討	9 6
4.4.1	実験概要	9 6
4.4.2	実験結果	1 0 4
<b>第5章 住宅・建築のための新たな省エネルギー要素技術の開発</b>		
5.1	住宅地における通風駆動力データの整備	1 1 1
5.1.1	簡易評価に必要とされる風圧係数差データ	1 1 1
5.1.2	風洞実験概要	1 1 2
5.1.3	風圧係数差の分析	1 1 4
5.1.4	住宅の密集度、風向と風圧係数差の関係	1 1 8
5.1.5	まとめ	1 2 1
5.2	多灯分散照明の考え方と実空間におけるケーススタディ	1 2 2
5.2.1	多灯分散照明による光環境の質と省エネルギー性両立の考え方	1 2 2
5.2.2	多灯分散照明による明るさ評価と省エネ性に関するケーススタディ	1 2 2
5.2.3	まとめ	1 3 1
<b>第6章 総括</b>		
		1 3 2

## 第1章 全体概要

### 1.1 背景と目的

住宅でのエネルギー消費による二酸化炭素排出量は我が国の総排出量の約13%を占め、年々増加する傾向を示している。1990年に比べて2004年が31.5%増、2005年が36.7%増、2006年が30.0%増となっており、地球温暖化対策推進大綱での家庭部門での当初目標「2010年までに1990年比2%削減」は、2002年に「2010年までに1990年比6%増までの抑制」に改定されたものの、乖離が著しいのが現状である。住宅からのエネルギー消費に起因する二酸化炭素排出による地球温暖化（環境への負荷）が生活の安全安心の観点から看過できない問題となっている。

以上の対策として新築住宅(約110万戸/年)の断熱化が省エネルギー基準等の整備により促進されているが、一方で4千数百万戸の既築住宅を対象とした躯体断熱化及び省エネルギー設備の導入も極めて重要不可欠な課題となっている。住宅の省エネルギー基準は、昭和55年に創設され、その後、平成4年、11年と2回の改正がなされている。平成4年以降、断熱のメリットに関する知識が広まり、寒冷地の住宅、工業化住宅、枠組壁工法の住宅を中心に断熱が普及してきたが、それ以前の平成一桁以前の住宅には断熱が十分とは言えない住宅が少なくなく、またそれらの住宅ストックにおける断熱改修も普及するに至っていないのが現状である。

当研究所では、平成13年度から16年度にかけて行った、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形成のための建築・都市基盤整備技術の開発(通称：自立循環総プロ)」において、新築・温暖地域(住宅の省エネルギー基準のIV地域)・木造戸建の住宅を主な対象として技術開発を行い、住宅の省エネルギー性能向上に向けて取り組んできた。その成果は当研究所と独立行政法人建築研究所の監修による「自立循環型住宅への設計ガイドライン((財)建築環境・省エネルギー機構、2005年)」としてまとめられ、各地の講習会のテキストとして利用されている(約80カ所の講習会で約6,000人が受講)。

本研究課題「住宅の省エネルギー性能向上支援技術に関する研究」は、自立循環総プロの研究開発成果を受けて、住宅の省エネルギー性能向上の対象を新築から改修へと拡大するために、平成17年度から19年度にかけて省エネルギー技術の研究開発を行ったものである。研究は、以下の4点の研究開発を目標に進めてきた。

- ①既存住宅を対象とした躯体断熱及び設備改修技術の簡易化
- ②既存住宅を対象とした省エネルギー性能診断技術の開発
- ③居住者のライフスタイルに応じた省エネルギー設備計画の最適化技術の開発
- ④住宅・建築のための新たな省エネルギー要素技術の開発

省エネルギー改修に関しては、改修技術そのものの開発や、居住者のライフスタイル・ニーズを十分反映できる改修計画手法の開発が不十分であり、省エネ改修普及の障害になっている。その要因を明確化した上で、改修の普及を支援するための技術体系の開発整備に取り組んでいる。

また、住宅の省エネルギー性能を向上させるためには、建物外皮の断熱性能だけでなく設備システムも含めて実効性の高い省エネルギー技術を活用する必要がある。設備システムの最適な活用方法を検討するための実使用状況を考慮した設備機器の評価手法を構築した。

## 1.2 技術開発

本研究報告では、本研究課題の4点の目標に対応した構成としている。以下、各章の概要を記す。

### (1) 躯体断熱及び設備改修技術の低コスト化・簡易化技術の開発(2章)

断熱が普及する以前(概ね20年ほど前)の在来木造住宅を模した実験住宅を建設し、施工性検証実験(図1.2.1)、断熱改修による性能検証実験を行った結果について記した。実用性が期待できる種々の断熱改修方法を試験的に適用し、歩掛り、コスト等の観点から評価した。また、冬期夏期における改修前後の室内環境を比較して、断熱改修手法が省エネルギー・温熱環境に及ぼす効果を定量的に把握し、断熱改修の普及に向けて必要となるライフスタイルやニーズに合った改修計画・改修技術に関する情報を整備した。また、設備改修の事例として換気設備改修事例を取り上げ、換気設備改修における課題の抽出と効果の検証を行った。



図1.2.1 気流止め施工実験の状況

### (2) 省エネルギー改修支援技術の開発(3章)

既存住宅の省エネ性能診断法の進めるにあたり必要となる要件を整理し、ヒアリング、残存図面等資料、目視による実況見分(表1.2.1)等によって安価に躯体や開口部の現状を判断する方法の実施方針を整備した。また、比較的安価でかつ簡易に外皮の断熱性能を診断するために、熱流計、日射等の影響を加味した相当外気温度を測定するSAT計、温度計、データロガーを用いる部位別断熱性能測定手法の開発を行い、精度等の検証を行った。また、改修実験、数値計算の結果を用い、改修手法の選択に伴うコスト・省エネ効果(光熱費削減効果)の推計法を作成し、ケーススタディによる評価を行った。

表1.2.1 省エネ性能診断において実況見分を要する部位一覧

分類	部位	確認箇所
床	床	隙間の有無（和室は畳を剥がして取合い及び荒床を確認）
	床下	断熱材及び防湿層の有無 床下換気口の有無 木材の劣化・腐朽状況
	地盤	基礎形状（ベタ基礎か独立基礎） 地盤防湿等
壁	外壁	断熱材・防湿層の有無（床下及び階間空間より確認） 通気止めの有無（床下及び小屋裏空間より確認）
	間仕切壁	通気止めの有無（床下及び小屋裏空間より確認）
天井	階間	下屋取合いの断熱材・防湿層の有無（階間空間より確認）
	小屋裏	断熱材・防湿層の有無 木材の劣化・腐朽状況 小屋裏換気口の有無

(3) 居住者のライフスタイルに応じた省エネルギー設備計画の最適化技術の開発(4章)

暖冷房設備(床暖房・エアコン)・給湯設備(太陽熱給湯器、CO<sub>2</sub>ヒートポンプ式給湯器等)について、居住者のライフスタイルを再現した実証実験、機器毎の特性把握実験を行って実使用時の効率評価手法に関する検討を行った。また、夏期に窓を開けて通風を行うライフスタイルが冷房消費電力に及ぼす影響を実証実験を行って検討した。

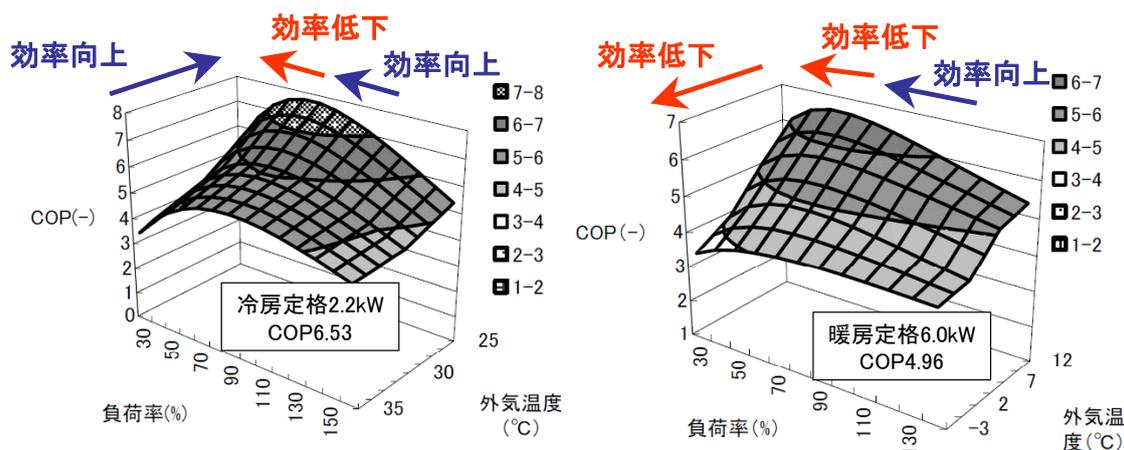
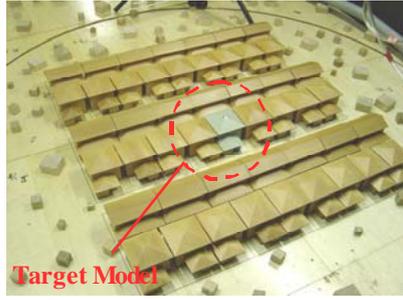


図1.2.2 エアコンの実働効率予測法の結果(左：冷房時、右：暖房時)

(4) 住宅・建築のための新たな省エネルギー要素技術の開発(5章)

新たな省エネルギー要素技術として、自然通風計画手法、照明計画手法に関する検討を行った。通風計画手法に関しては、風洞実験結果を用いて、住宅地において期待できる風圧変動を考慮した通風駆動力データの整備を行った。また、照明計画手法については、多灯分散照明導入時の明るさ評価と省エネルギー性に関する検討を行っている。



		想定した通風経路			
立地条件		開口位置と風向の関係			
		A. 1階隣角	B. 2階隣角	C. 1階対面	D. 2階対面
住宅地	開口部が風上側にある場合	0.1~0.14	0.08~0.21	0.08~0.15	0.08~0.23
	開口部が風上側でない場合	0.05~0.07	0.06~0.08	0.08~0.13	0.08~0.14
		設定にあたり採用した値→			
		<b>0.05</b>			
単独	開口部が風上側にある場合	0.55	0.77	0.62	0.78
	設定にあたり採用した値→		<b>0.5</b>		
	開口部が風上側でない場合	0.14	0.19	0.36	0.37
	設定にあたり採用した値→		<b>0.2</b>		

図1.2.3 風洞実験状況と簡易評価法に採用した風圧係数差

## 第2章 躯体断熱及び設備改修技術の低コスト化・簡易化技術の開発

既存住宅の断熱性能を強化することは、家庭から排出する二酸化炭素の削減に寄与し、その削減目標を達成する上で不可欠な手段の1つである。しかしながら、断熱改修を普及していくために必要な居住者のライフスタイルやニーズに合った改修計画や改修技術などの情報が、これまでに十分には整備されてこなかった。

本章では、(独)建築研究所敷地内に建設した在来木造住宅を模した実験住宅試験体を使用し、断熱改修手法の施工性検証と断熱改修による性能検証の検討結果を記した。実用性が期待できる種々の断熱改修方法を試験的に適用し、歩掛り、コスト等の観点から評価した。また、冬期夏期における改修前後の室内環境を比較して、断熱改修手法が省エネルギー・温熱環境に及ぼす効果を定量的に把握し、断熱改修の普及に向けて必要となるライフスタイルやニーズに合った改修計画・改修技術に関する実務的な情報を整備した。また、設備改修の事例として換気設備改修事例を取り上げ、換気設備改修における課題の抽出と効果の検証を行っている。

### 2.1 改修実験用試験体の概要

試験体は、在来軸組みの木造住宅を模したもので概ね20年ほど前の建物仕様（断熱性能、内外仕上げ、基礎形状）を想定し、設計・施工されている。ただし、内装については実験を前提とした状態（合板をビス止め、若しくは、内装下地のまま）であるため、それらを考慮し実際の現場との関係を見据えながら検証を行うものとした。

基礎は、土間コンクリートとまさ土の2種類とした(図2.1.6)。これは、基礎の違いによる施工性、温湿度性状の変化等について検証するためである。そのため基礎の人通口は、異なる基礎が接する部分で押出し法ポリスチレンフォームによって塞ぎそれぞれ区切られた状態とした。

表2.1.1 実験棟の基礎データ

所在地	茨城県つくば市建築研究所内（IV地域）	
建物規模	延床面積：134.98㎡（1階：80.33㎡、2階：54.65㎡）	
仕上げ	外装	屋根：和瓦（北側下屋根金）、外壁：ラスモルタル
	主な内装(LDK)	床：フローリング t=12mm 壁：ラワン合板 t=5.5mm 天井：ラワン合板 t=5.5mm (キッチンのみプラスチックボードt=9.5mm)
	基礎	土間コンクリート：LD西側、廊下、水廻り まさ土敷き：LD東側、和室、キッチン
断熱仕様	外壁：グラスウール10k t=50mm、 サッシ：アルミサッシ・シングルガラス(パッキン加工)	

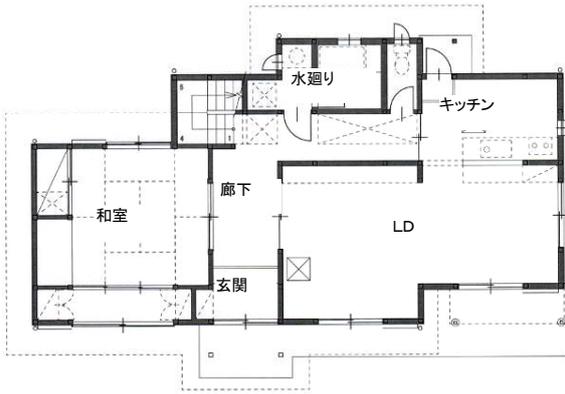


図2.1.1 1階平面図

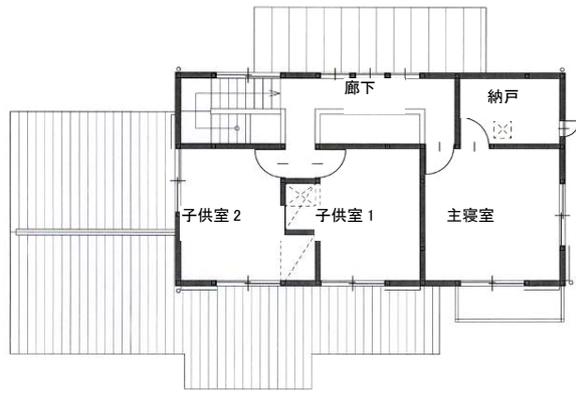


図2.1.2 2階平面図



図2.1.3 外観写真 (南・東面)



図2.1.4 外観写真 (北・西面)



図2.1.5 内観写真 (LD)

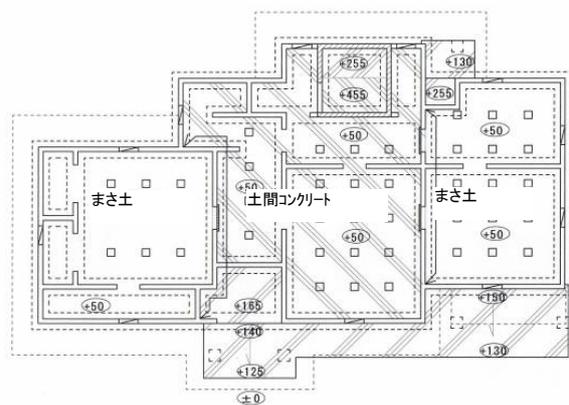


図2.1.6 基礎伏図

## 2.2 断熱改修手法の施工性検証

### 2.2.1 実験概要

#### (1) 施工性検証の視点

施工性検証では、部位毎に異なる改修手法によって断熱材を施工し、それぞれの特徴を把握することを目的とした。また、設計者や施工者がユーザーに対して最適な改修手法を提案するための情報を整理すると共に、性能検証の実施に向けて実験棟に適した手法を調査することとした。

#### (2) 施工性検証のポイント

実験における主な検証ポイントは、施工手間（作業性、断熱材の設置状況、作業時間と人数、その他）の実態把握と、そこから求められる歩掛りの検討、コスト試算である。

- ①施工手間の検証では、作業状況の確認（搬入の容易性、断熱材の切断や設置の容易性、ズレ・たるみ・隙間の有無、落下防止材・枠廻り材の設置状況など）、作業工程(各工種に要する時間と人工)、専門的な技術・資格等を要するか否かを確認した。
- ②歩掛りの検証では、施工実験における労務量や作業効率を元に各改修手法の参考歩掛りを試算する。また、使用した材料費、施工手間から算出した歩掛り、人工賃等から施工コスト（㎡単価）の試算を行うこととした。
- ③その他として、解体時の分別容易性（復旧する際に確認）、リサイクル性（リサイクル材、リサイクルできる材質、その他）、ノンフロン材、室内空気質関連の表示（F☆☆☆☆）を確認し、また現場の工事進捗に応じて起こる課題を記録した。

#### (3) 施工者の選択

確実な現場検証を実施するためには、事前に施工の流れや注意点について、ヒアリングによる確認が不可欠である。さらに、手本となる施工現場を収録するため経験が豊富な断熱専門業者による施工を原則とした。ただし、断熱専門業者の施工可能な範囲が限られるため、サッシの枠廻りや木下地などの木工事が発生する改修メニューは工務店による施工とし、現場での作業状況に差が生じないように、施工者は常に同様の業者とした。

#### (4) 施工時のチェックリスト

施工性検証実験を行う際に、監理者の視点に差異が無く前述の検証ポイントを監理し各手法毎に比較検討するため、チェックリストを作成し必要なデータを現場で記録した。

### 2.2.2 施工性検証実験

#### (1) 施工性検証実験のメニュー

施工性検証実験を実施する工法は、既往調査における断熱改修メニューの中から、実験棟で施工可能なメニューを絞り込んだ。その際、基本的な方針として、新築時と同様の施工状況となる改修工法は除外した。また、実務の現場で実績のある工法も考慮に入れ検討を行った。

上記検討により、実験棟での改修メニューを表2.2.1の通りとした。断熱専門業者により①②間仕切壁・外壁の上端部気流止め③床下断熱材充填⑥階間断熱材敷込み工事を、工務店により④外壁・間仕切壁の断熱材張付け⑤階間断熱材張上げを、サッシ業社により⑦開口部ガラス交換の施工

を行った。

施工箇所は、実験棟のLD、及びキッチンを対象とし部分断熱改修の実施とした。気流止めの施工については建物全体を対象とした実験を行った。(図2.2.1、図2.2.2)

表2.2.1 施工性検証実験のメニュー

部位	実験改修手法	使用した断熱材
間仕切壁、外壁 の上下端部 (小屋裏、床下)	①床下から気流止めを設置する。	①-1:グラスウール 10K 50mm サイズ 430×1370 壁用 →450mm 程度にカットし挿入
	②小屋裏から気流止めを設置する。	②-1:圧縮グラスウール 高性能 16K 150mm サイズ 390×430 →専用のビニル袋に入れて、掃除機で空気を抜き取り圧縮、挿入後にビニル袋を一部カットし膨張させる
床	③床はそのまま、床下から断熱材を充填する。	③-1:グラスウールボード 32K 80mm サイズ 263×910 切欠き 60mm →既製品サイズのまま挿入
		③-2:押出し法ポリスチレンフォーム 30mm(根太間)+30mm(大引間)、サイズ 914×1824 →根太、大引間寸法に現にてカットし設置
		③-3:押出し法ポリスチレンフォーム 30mm + 30mm/2枚重ね(大引間)、サイズ 914×1824/ →大引間寸法に現にてカットし、2枚張り合わせた状態で設置
外壁、間仕切壁	④内装材を下地として、その上から断熱材を張付ける。	④-1:押出し法ポリスチレンフォーム 20mm サイズ 914×1824 →壁の寸法(割付)に応じてカットし設置
階間	⑤天井材を下地として室内側から断熱材を張上げる。	⑤-1:押出し法ポリスチレンフォーム 20mm サイズ 914×1824 →天井の寸法(割付)に応じてカットし設置
	⑥天井に開口(450×450)を開け断熱材を挿入し、敷設する。	⑥-1:グラスウール 16K 100mm サイズ 430×1370 壁用 →既成品サイズのまま挿入
開口部	⑦既存ガラスをアタッチメント付きペアガラスに交換する。	⑦-1:アタッチメント付きペアガラス 3mm+A6mm+3mm

**外壁・間仕切壁上部:**小屋裏からの挿入

**浴室廻りの壁:**コンクリートの立上りがあるため、気流止めの必要なし

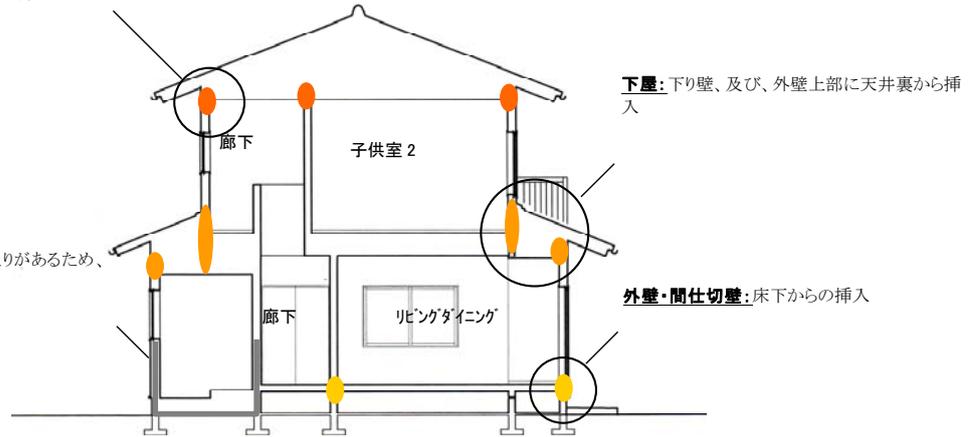


図2.2.1 気流止め施行箇所

**階間:**室内側からの断熱改修(天井張り上げ、及び、天井裏に充填)

**壁:**室内側からの断熱改修(壁張付け)

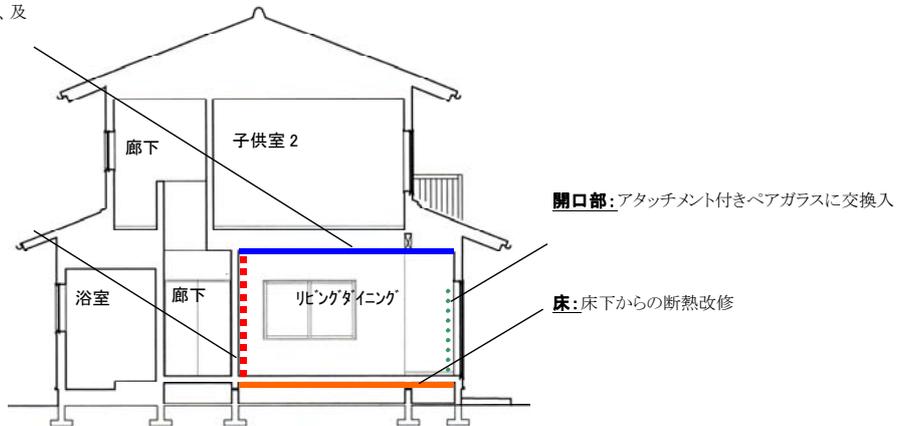


図2.2.2 床・壁・天井・開口部施行箇所

## (2) 気流止め施工実験

床下から外壁及び間仕切壁下部にグラスウール（以下GW）10K50mmを450mm程度の長さにカットして挿入した。土台と根太の隙間や根太間の隙間（約50mm）から挿入する際、間柱が障害となり挿入し難い部位があった。特に和室は、畳の厚さ分だけ根太の設置高さが一般のフローリングより下がるため、根太と土台が平行に設置されている壁際は、土台との隙間が15mm程しかなく挿入し難い状況であった。施工が困難な部位は見られたが、予定範囲は全て設置し、延べ人数9人の作業員で総延長69.1mを3時間55分で完了した。机上では予定していなかった施工部位として、和室の畳下地の荒板と敷居下端の隙間（約30mm）や階段の側板と壁の隙間があげられる。

小屋裏から外壁及び間仕切壁上部に挿入した気流止めは、現場製作の圧縮GWである。高性能GW16K150mm（395×430）をビニル袋に詰め、掃除機で袋の中の空気を吸引し作成する製品である。圧縮された状態で間柱間（約420mm）に挿入し、袋に傷を付けて再び膨張し固定される。設置にかかる手間は非常に少なく効率的であったが、一連の製作作業にかかる時間は、小屋裏で挿入する作業よりも手間となった。ただし、実務の現場では、間柱間隔が一定でない可能性があるため、現場で採寸しその場で製作できるメリット（隙間無く挿入できること）は重要であった。小屋裏での作業性は良く施工が困難な部位も無かったため、延べ人数9人の作業員で総延長79.7m

を3時間25分で完了した。

床下の気流止めを挿入する隙間は、根太の設置方向や、根太と間柱の位置関係によって変化するため、柔軟性のあるグラスウールを裁断して丸めた部材は、作業がしやすく、細かな隙間を塞ぐことができた。ただし、指が入らないほど狭い場所には、補助的に現場発泡ウレタン等を充填する必要がある。小屋裏に使用した圧縮GWは、床下よりも施工性が良く短時間で完了したが、製作にかかる時間の短縮が課題となった。

下屋廻りについても施工実験を行ったが、階間に通じる下がり壁部分の封鎖や外壁（桁下）への挿入など、作業空間が狭く非常に困難な施工部位であった。実務の現場では設置できない個所がでてくる可能性が高い。また、床下や小屋裏は、床下収納庫や押入の天井から進入することができるが、下屋廻りは天井に点検口等が無い場合、進入口を開ける必要があるため、断熱工事だけの単独工事ではなくなる。進入口の復旧やクロスの張替えなどが発生するため、水廻りの修繕などとの道連れ工事として実施される部位と考えられる。



図2.2.3 床下の気流止め



図2.2.4 階段の側板に挿入



図2.2.5 圧縮GWの製作



図2.2.6 小屋裏の気流止め

### (3) 床下断熱改修施工実験

床下からGWボードを充填する改修工法は、事例の多い工法である。断熱材の設置状況は、特に隙間等の問題も無く順調に施工することができた。GWボードは、根太間充填用に切欠き付きでプレカットされているため、定尺の部分は、現場での加工が無く、廃棄物の量は最小限に抑えられた。また、柔軟性のある材質のため、少々きつめでも根太間に押し込むことができ、かつ、狭小部や配管廻りなどでも隙間無く充填することが可能であった。

断熱材の支持方法は、新築時に床上から設置する金物を使用したため、現場で二次加工する必要があった。また、金物にビスを通し仰向けの状態で取り付ける作業に問題があり時間のロスに繋がった。そこで、作業時間の短縮と固定の簡略化を考慮して実験の途中から梱包用のPPバンドによる支持を試行した。PPバンドの場合は、タッカーを利用して留めつけるため、仰向けの状態でも作業性は良く一度に複数の根太下に固定することができ効率的であった。床下断熱改修は、延べ人数8人の作業員で総面積34.8㎡を5時間20分で完了した。

床下断熱改修の課題は、断熱材の固定方法であった。通常は支持金物の他、長ビスや釘、栈木を使用するが、今回試行したPPバンドは支持方法のひとつとして有効であることを確認できた。改修専用の部材として、バンド状の製品の検討も必要と考えられる。また、部屋の壁際などで根太の間隔が一定でない場合、床下での採寸と加工場への伝達が行われた。採寸、伝達、加工、搬入の一連の作業で伝達ミスによる寸法間違い等が発生し時間のロスを生じた。そこで、断熱材を設置する前に、作業員全員で床下のサイズを採寸した後、定尺部分を先行的に設置し、その間に

不定形部分の加工を進める手順の方が、より効率的な施工が可能になると考えられる。



図2.2.7 根太間への断熱材挿入



図2.2.8 PPバンドによる支持

#### (4) 開口部改修施工実験

アタッチメントによるペアガラス化は、通常ガラス交換と同等であるため、施工上の問題は特になかった。ただし、既存サッシの障子にはめ込む際に、溝に入り難い個所があった（採寸した寸法の問題）。また、アタッチメントガラス（FL3+A6+FL3）設置に伴う荷重増加によるサッシへの負荷についても、既存サッシが網入りガラス $t=6.8\text{mm}$ に対応できる製品であったため問題にはならなかった。また、実験ではパッキンの取替えは行わなかった。延べ人数2人の作業員で4ヶ所のガラス交換を2時間で完了した。

アタッチメントガラスを設置する場合、網戸との取り合いを確認する必要がある。実験ではアタッチメントと網戸が干渉しなかったため空気層を6mm取れたが、既存サッシに緩衝する場合は空気層を5mmに変更し設置する必要がある。また、アタッチメント部分によって、上下左右共に20mmほど有効開口面積が狭くなるのがデメリットであった。



図2.2.9 サッシ障子の分解



図2.2.10 施工後のサッシ

## 2.2.3 施工コストの試算

### (1) 歩掛りの検討

施工性検証実験の結果から手法毎の特徴を把握すると共に、実験における労務量や作業率を元に断熱改修工事の参考歩掛りを検討した(表2.2.2)。歩掛りは、実験の作業人数と労務量から導いた作業率を1日当たり(8時間)の作業量に換算し、その値を施工人数で割り1人当たりの1日の作業量を求め、各単位当たりの値を算出した。この係数を原単位として、施工者は改修工事の工程計画や見積りを行うことができる。例えば、手法毎の参考歩掛りに労務費を掛けることにより、工事単価を簡易的に算出することが可能である。ただし、断熱改修の場合は、根拠となる作業率が、工事の慣れなどによって異なる可能性がある。例えば、経験の少ない工務店が同じ作業をした場合、今回と同様の成果が得られないことは予測できる。また、床下の気流止め工事からも、作業人数の違いで外壁廻りの方が非効率であることが分かる。従って、今後の課題は、前提条件や係数などが、実務の現場と乖離が無いのか、来年度の実験結果も踏まえて、引き続き検証することが不可欠である。

表2.2.2 実験結果による参考歩掛り

	作業人数	延長面積	労務量 作業時間	作業率	参考歩掛り	備考
床下: 気流止め工事	6人	41.9m	2時間25分	17.3m/h	0.043	外壁廻り
	3人	27.2m	1時間30分	18.1m/h	0.021	間仕切壁廻り
小屋裏: 気流止め工事	6人	44.6m	1時間50分	24.3m/h	0.031	外壁廻り
	3人	35.1m	1時間35分	22.1m/h	0.017	間仕切壁廻り
床下: GWボード充填工事	4人	15.0m <sup>2</sup>	3時間20分	4.1m <sup>2</sup> /h	0.122	金物固定
	4人	19.8m <sup>2</sup>	2時間00分	10m <sup>2</sup> /h	0.050	PPバンド固定
開口部: アタッチメント工事	2人	4ヶ所	2時間00分	2ヶ所/h	0.125	掃出し2ヶ所, 窓台2ヶ所

## 2.3 断熱改修による性能検証

### 2.3.1 実験概要

夏季に初期性能を測定した後、中間期に施工性を検証する実験を実施してから一旦初期状態に復旧、冬季に再び初期性能を測定し、再度各部位の順に改修を行って、そのたびに性能を確認する手順とした。

対象とする改修手法としては、床下からの気流止め（全体）、小屋裏からの気流止め（全体）、床断熱（GW32K80mm（ボード状切欠き加工品）根太間：LDKのみ）、階間空間への断熱材敷設（LDKのみ）、開口部のガラス交換（LDK）と、間仕切り壁への発泡ビーズ吹き込み（LDKのみ）を性能検証のための改修手法として選択し、順に施工していく途中で気密性能、熱性能などについて測定した。また、気密性能に関しては施工性検証実験として実施した気流止め改修の合間にも測定を実施した。

### 2.3.2 気密性能の検証

#### (1) 測定方法

測定は、表2.3.1に示す改修段階において行った。また、測定部位としては、住宅全体のほか、LDK、和室等の部屋ごと、さらに壁と床もしくは天井の接合部などの個別部位も対象とした。なお、部屋ごとの気密性能測定の際には隣室等への開口部をシールして行い、個別部位の場合には対象部位だけを養生テープで覆って行った。測定では、内部の圧力を外気に対し-10~-50Paとなる様に送風機のファンの回転数をファン用インバーターにて制御し、その時の試験棟内外差圧と通気量等を記録した。測定した各差圧と通気量の対数プロットの最小二乗法により回帰直線を求め、総相当隙間面積 $\alpha A$  (cm<sup>2</sup>)と隙間特性値nを求めた。なお、住宅全体の場合には5回、部屋ごとの場合には3回の測定を行い、その平均値を測定値とした。なお、隙間特性値nは、いずれも1.5~1.7程度であった。

表 2.3.1 気密性能測定時期

改修段階	測定日
改修前（夏季初期状態）	2006.8.6 - 12
気流止め施工中および施工後	2006.8.22 - 25
復帰後（冬季初期状態）	2007.1.12 - 14
気流止め施工後	2007.1.19 - 22
LDKの床断熱・窓ガラス交換後	2007.3.7 - 9
LDKの間仕切り・天井断熱後	2007.3.10 - 15

#### (2) 測定結果および考察

##### 1) 性能検証実験時の気密性能の変化（部屋ごと）

図2.3.1に性能検証実験時の各改修段階における、部屋ごとの相当隙間面積の変化を示す。夏季初期状態と冬季初期状態を比較すると一気に相当隙間面積が増加しているが、これは巾木と床の隙間が夏季にはほとんど無かったものが、冬季には大きく広がっているなどの点から、使用され

ていた木材の乾燥による収縮が大きく影響していると考えられる。ほかには、その間に行われた改修施工実験により少しずつ隙間が広げられた可能性もある。

その後の改修では、通気止め実施後にはどの部屋でも相当隙間面積が減少した。特に和室での気密性の変化が大きく、和室の壁と床もしくは天井の接合部位などにすき間の大きかったことがうかがわれる。

床断熱とガラス交換の施工後には、LDKの相当隙間面積の増加がみられるが、これはガラス交換に伴い窓周辺の隙間が増加したことが大きな要因と考えられる。

## 2) 性能検証実験時の気密性能の変化 (LDKの部位ごと)

図2.3.2に性能検証実験時の各改修段階における、LDKの部位ごとの相当隙間面積の変化を示す。外壁および間仕切り壁の廻り縁と天井下地の隙間が特に大きい。床断熱とガラス交換の施工後には、窓の相当隙間面積が増加しており、LDKの相当隙間面積の増加の原因と考えられる。エアコンについては、その取り付けにあたって冷媒管を通すための開口をエアコンの背後の壁面に開けたが2箇所エアコンのどちらも15~20cm<sup>2</sup>程度の相当隙間面積であり、無視できない隙間のあることがわかった。

## (3) 施工性検証実験時の気密性能の効果

図2.3.3に施工性検証実験の気流止め施工の各段階における住宅全体の相当隙間面積の変化を示す。あらかじめ別に測定した開口部の相当隙間面積、2階の天井や1階和室の畳などの気流止めに影響されない躯体の相当隙間面積、壁目地などの壁仕上げを施すことによって気密化される相当隙間面積も同時に示す。また、床下換気口および土台と基礎の間にある隙間を目張りした結果も同時に示す。図から、気流止め施工の範囲を広げていくに従って、徐々に気密性の高まっていく様子がわかる。特に和室の妻部分への気流止めの効果が最も大きく、次には間仕切り壁への気流止めが効果を有していた。気流止め施工をすべて実施した後は、壁と天井や壁と床の接合部位やコンセントボックスなどの気流止めにより気密化されることが考えられる隙間は、残された相当隙間面積の半分以下となっているが、通常は壁紙などで仕上げられた際に気密化される壁目地などを除くと、残された隙間の中で、その比率はまだ大きい。

木造戸建て住宅の断熱改修を実験住宅で実際に実施し、その際の気密性能の変化を測定した。その結果床下と小屋裏からの気流止めによる気密性能向上への効果の度合いを示したほか、乾燥に伴う木材自身の収縮によるとみられる隙間の増大が大きいこと、廻り縁と天井下地の間の隙間が大きいこと、窓ガラスの交換により隙間の増大することがあるといった点などがわかった。

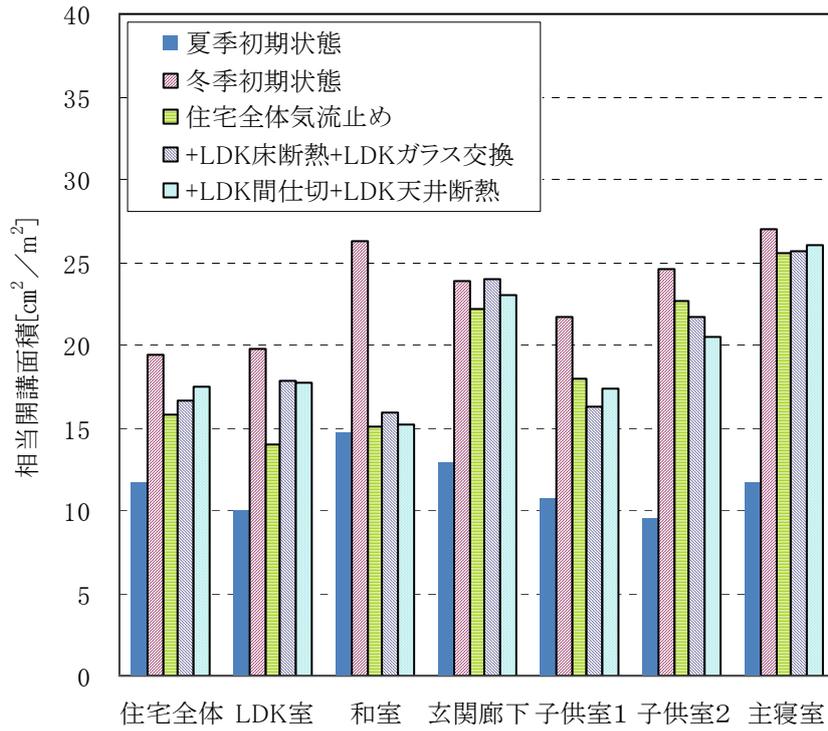


図2.3.1 性能検証実験時の相当隙間面積の変化 (部屋ごと)

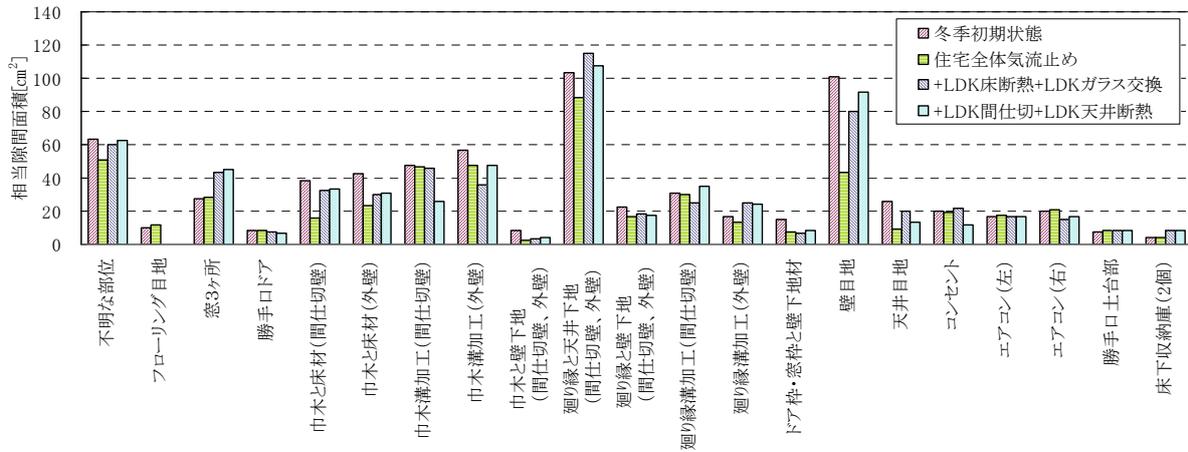


図2.3.2 性能検証実験時の相当隙間面積の変化(LDKの部位ごと)

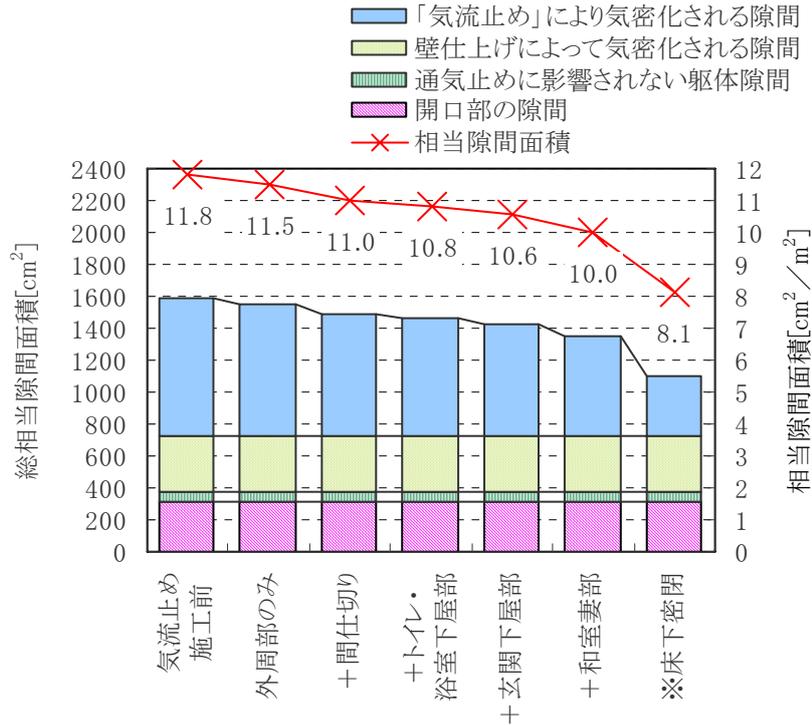


図2.3.3 施工検証実験時の相当隙間面積の変化

### 2.3.3 断熱性能の検証

#### (1) 測定対象とする改修手法

表2.2.1 に示した断熱改修手法のうち

- ①-1 (床下からの気流止め：全体)、
- ②-1 (小屋裏からの気流止め：全体)、
- ③-1 (床断熱、GWボード32k80mm根太間：LDKのみ)、
- ⑥-1 (階間空間への断熱材敷設：LDKのみ)、
- ⑦-1 (開口部のガラス交換：3-A6-3)：LDKのみ)

と、そのほかに

間仕切り壁への発泡ビーズ吹き込み (LDKのみ)

を断熱改修手法として選択し、順次施工しながら熱性能 (熱損失係数) について測定した。

#### (2) 測定概要

Q値の実測評価を表2.3.2に示す改修状況において実施した。本実測評価によるQ値の同定に必要な測定項目は、外気温、水平面SAT温度、室温 (グローブ温度)、消費電力の4項目である。室温は各室で測定し、それらを気積で加重平均し同定用の1個の室温とする。温度データの測定インターバルは10分間隔、消費電力データは1分間隔である。電気ヒーターにより一定熱量の内部発熱を測定期間中継続し、住宅内が均一な温度分布になるように同時にファンで室内空気の攪拌を実施した。なお、開口部のカーテンは閉じた状態である。測定状況を図2.3.4に示す。

表2.3.2 Q値測定時の断熱改修内容

測定No.	断熱改修内容	測定日
測定1	改修前（冬季初期状態）	2006.12/24 - 12/29
測定2	改修前（冬季初期状態）雨戸閉じ	2006.12/19 - 12/23
測定3	気流止め施工後	2006.1/27 - 1/31
測定4	LDK の床断熱	2006.2/6 - 2/10
測定5	LDKの窓ガラス交換後	2006.2/23 - 2/26
測定6	LDKの間仕切り壁・天井断熱施工後	2006.3/29 - 4/2
測定7	測定6の状態です雨戸閉じ	2006.3/25 - 3/28
測定8	測定7の状態です雨戸を断熱雨戸に交換	2006.4/3 - 4/9

(3) Q値の同定方法

本実測で用いたQ値の同定方法は、松尾の濾波法<sup>1),2)</sup>である。この方法は、(1)式で与えられる予測室温と実測室温の平均誤差が最少になる様に、式中の未定係数を定める方法である。未定係数が定めれば、Q値は(2)式によって与えられる。本同定ではSATは水平面だけを用いたので、(1)式における方位数は1である。

$$\begin{aligned} \theta_{R,n} - r\theta_{R,o} = & \phi_o (\theta_{o,n} - r^n \theta) + \phi_1 \sum \theta_{o,n-j} r^{j-1} \\ & + \sum a_k \left\{ \phi_o (\Delta\theta_{k,n} - r^n \Delta\theta_{k,o}) + \phi_1 \sum \Delta\theta_{k,n-j} r^{j-1} \right\} \\ & + (b_o - br) H_n + br(1-r) \sum H_{n-j} r^{j-1} \end{aligned} \quad (1)$$

$$Q=1/(b_o \cdot S) \quad (2)$$

記号

$\theta_{Ri}$  : i 時の室温 (°C)

$r, a_k, b_o, b$  : 未定係数

$\theta_{oi}$  : i 時の外気温 (°C)

$\Delta\theta_{ki}$  : 時の(SAT)<sub>k</sub> -  $\theta_o$  (°C) (k が外面方向の場合)

Q : 熱損失係数 (W/m<sup>2</sup>K)

S : 延床面積 (m<sup>2</sup>)

$$\phi_o = 1 - \{1/\lambda \Delta t(1-r)\}$$

$$\phi_1 = 1/\lambda \Delta t(1-r)^2$$

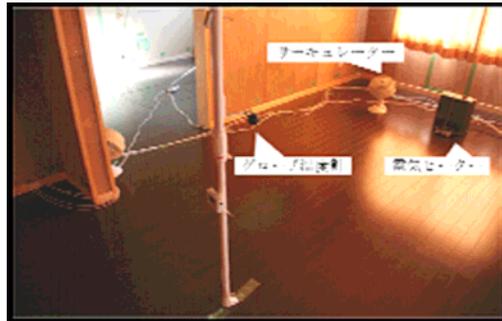


図2.3.4 熱損失係数の測定状況

#### (4) 測定結果および考察

表2.3.2に示した測定1の測定結果と同定状況を図2.3.5と図2.3.6に示す。図2.3.7と図2.3.8は測定3に対する同様な結果である。図2.3.6と図2.3.8において、 $\Delta Q$ は同定したQ値の信頼性に関わる指標であり<sup>3)</sup>、 $\Delta Q$ が小さいほど同定値の信頼性が高いことを示している。通気止め施工前冬季初期状態の測定では、 $\Delta Q$ は発熱開始後55時間後に最小値 ( $0.403\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ) を取るので、その時点のQ値 ( $3.491\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ) を同定値とした。同様に気流止め施工後の測定では $\Delta Q$ は発熱開始後32時間後に最小値 ( $0.004\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ) を取るので、その時点のQ値 ( $3.330\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ) を同定値とした。表2.3.3に全ての測定結果をまとめて示す。

上記測定1と測定3の結果から気流止めによる実験住宅の断熱性の向上はQ値で $0.16[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ 、5%向上した。測定1(冬季初期状態)での気密性能C値は19.4、住宅全体気流止め施工後の測定3時点ではC値15.8である。Q値改善量の $0.16[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ は気密性向上による漏気低減と、グラスウール断熱材内部の気流低減による断熱性向上の二つの点によると考えられる。金属製雨戸の効果については、雨戸を閉じた測定2は測定1と同値であり、また同様の測定比較となる測定6と測定7でもQ値の値は同等であった。これより金属製雨戸による断熱性能の向上は本実験のような戸建て住宅では効果が見られなかった。測定8の断熱雨戸は厚さ10mm・熱伝導率 $0.0020[\text{W}/\text{mK}]$ の真空断熱材を雨戸に張付けた断熱仕様の雨戸である。測定6と測定8のQ値同定結果から、断熱雨戸によるQ値低減効果は $0.47[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ であり、断熱性能の改善効果が大きい。断熱雨戸の導入は交換作業のみで可能であり、住宅に対する工事が不要なことから、断熱改修手法のひとつとして有効であると考えられる。

以上より、戸建て木造住宅の断熱改修を実験住宅で実際に施工し、各段階で熱損失係数の実測による評価を実施した。その結果確認した断熱改修の効果は

- ・気流止めにより実験住宅の熱的性能はQ値で $0.16[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ 改善される。
- ・金属製雨戸によるQ値の改善効果は認められなかった。
- ・真空断熱材を一体化した断熱雨戸を設置した場合にはQ値は $0.47[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ 低減し、断熱性能改善に有効であることがわかった。

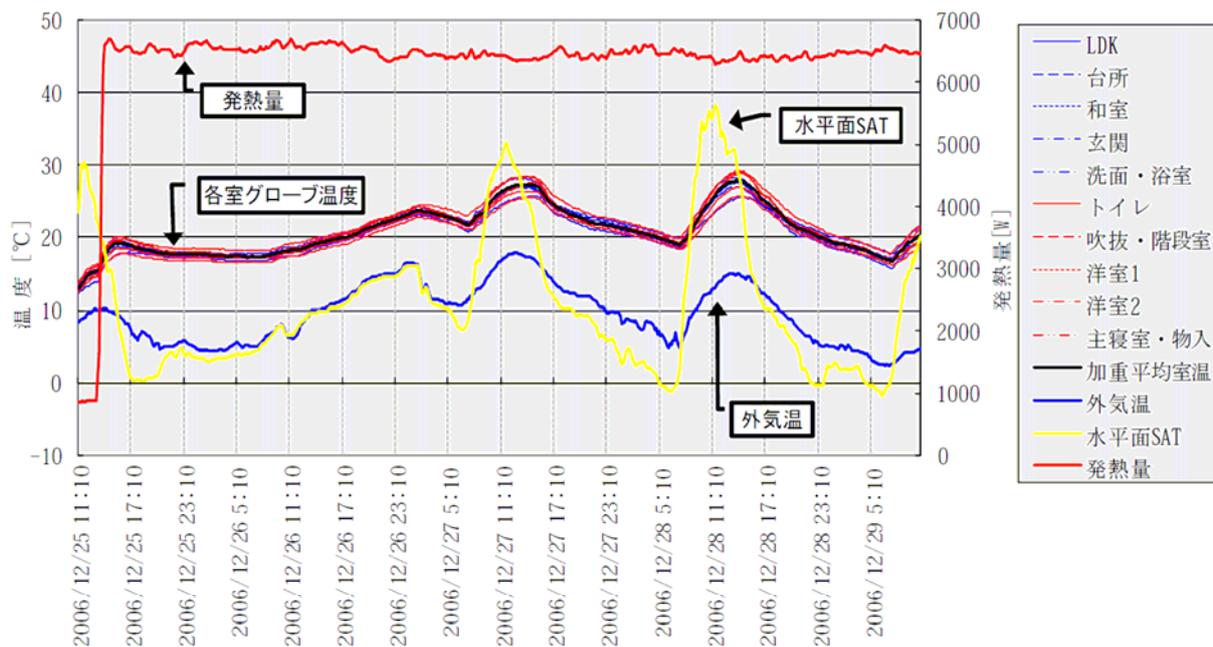


図2.3.5 測定1改修前の測定データ

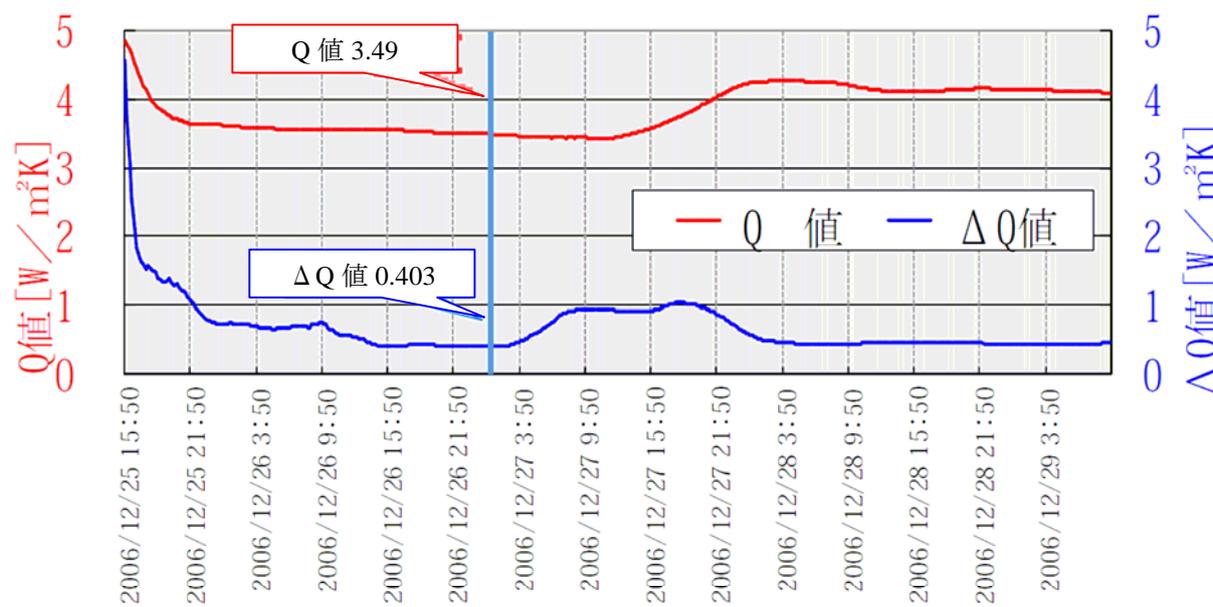


図2.3.6 時系列同定結果

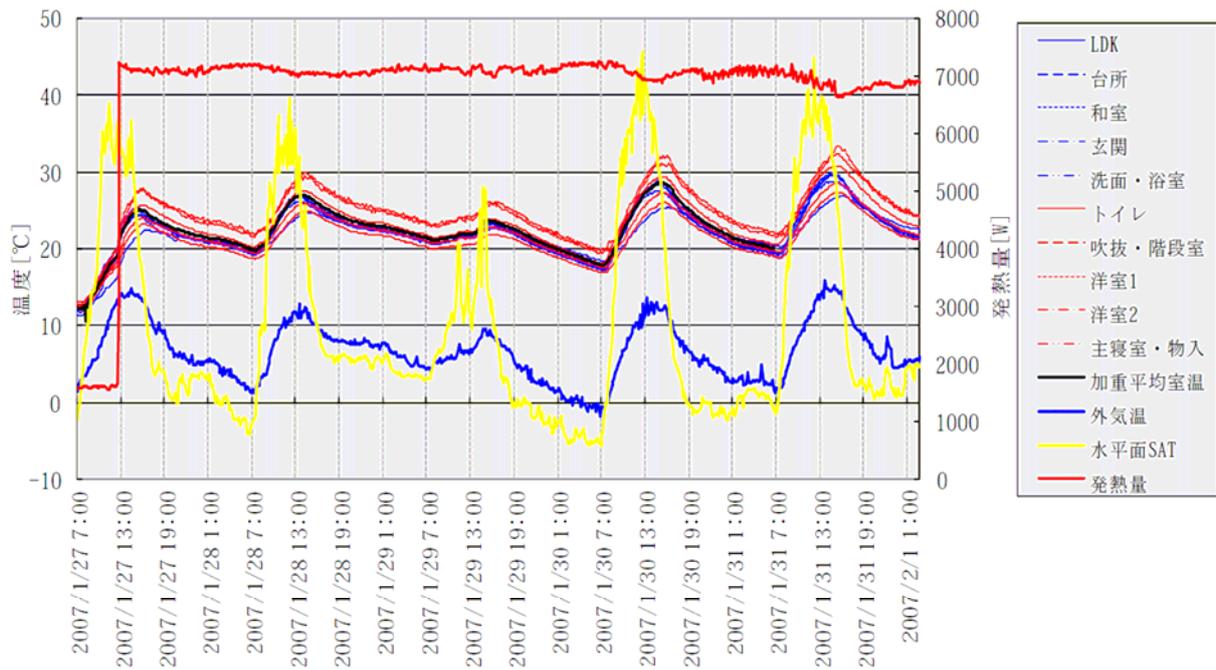


図2.3.7 測定3 気流止め施工後の測定データ

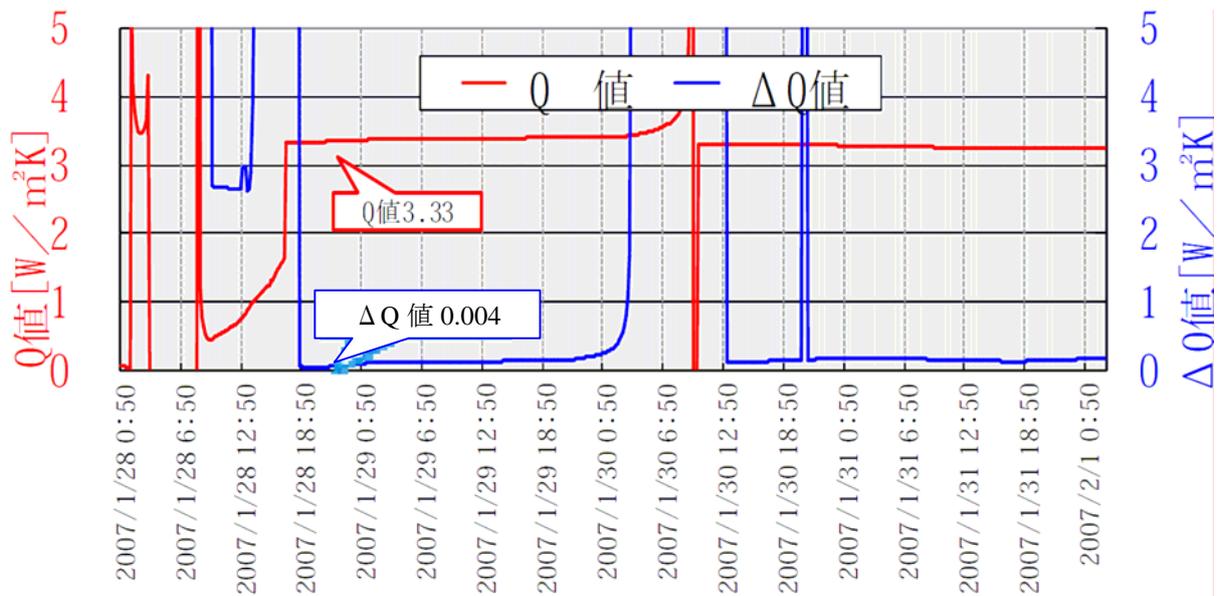


図2.3.8 時系列同定結果

表2.3.3 熱損失係数測定結果

測定No.	測定時の状態	熱損失係数測定値 [W/m <sup>2</sup> ・K]	ΔQ値 [W/m <sup>2</sup> ・K]
測定1	改修前（冬季初期状態）	3.49	0.403
測定2	改修前（冬季初期状態）雨戸閉	3.49	0.235
測定3	気流止め施工後	3.33	0.004
測定4	LDKの床断熱	3.30	0.546
測定5	LDKの窓ガラス交換後	3.24	0.149
測定6	LDKの間仕切壁・天井断熱施工後	3.12	0.507
測定7	測定6の状態です雨戸閉じ	3.16	0.174
測定8	測定7の雨戸を断熱雨戸に交換	2.65	0.089

参考文献

- 1) 松尾陽・斉藤平蔵：現場測定にもとづく住宅熱特性の推定、日本建築学会環境工学論文集、第3号、pp.13-18,1981
- 2) 永村一雄：熱的作用からみた建物躯体・人的生理の諸特性、東京理科大学博士学位論文、1988
- 3) 阿部尚史：現場実測による建物の熱損失係数の同定法に関する研究、東京大学博士学位論文、2003

## 2.4 設備改修事例

設備改修の事例として、既存住宅の居抜き工事で、断熱改修と共に換気設備の増設を行った事例を示す。

### 2.4.1 換気設備改修

#### (1) はじめに

快適性の向上と暖冷房にかかるエネルギー消費量の低減を目的とした「省エネ改修」では、改修後に住宅の気密性が高くなることが多く、内装に大きな変更がなかった場合においても局所換気設備の連続的稼働や、あらたな換気設備の導入による全般換気が望ましいと考えられる。しかしながら、既築住宅に新たな換気設備を設置することは、新築時に比べ難しく、かつ事例も多くはない。ここでは、省エネ改修の実施に併せて、ダクト式第三種換気システムの導入を行った事例にもとづいて、その施工手順や課題および施工後の風量検証について実施結果を示す。

#### (2) 改修概要

##### 1) 改修の概要

図2.4.1に省エネ改修を行った在来軸組工法による住宅の平面図を示す。当該住宅は、竣工後1年半の新しい住宅であったが、断熱性向上と施工性確認を目的として屋根の断熱強化（既存のグラスウールを撤去しセルロースファイバーの施工）と換気設備の新設（H18.8/17～18実施）および、1F床の断熱強化（既存のプラスチック系断熱材上にセルロースファイバーを付加施工）とUB部の通気止め改修（H19.1/12～13実施）を行った。改修前後の気密性の変化を表2.4.1に示す。屋根の断熱施工時点では気密性は殆ど変化がなく、1Fの断熱施工及びUB部の通気止め施工後に気密性の改善が見られた。しかしUBの気密処理では手の入らない部分が多く施工不可能な箇所は可能な限りの施工となった。UBの気密処理を後から行う事が難しい事と気密性に与える影響が大きい事がわかった。

##### 2) 全般換気設備新設の概要

新設換気設備の概要を表2.4.2に示す。このシステムは100mm径のフレキシブルダクトを用い、天井裏等に埋設するタイプで、本体ユニットが小型のものを選定した。新設した換気設備の施工手順とその工事区分を表2.4.3に示す。新築時の施工と異なり工数が多くなっているが、前述のように省エネ改修と同時に導入施工が出来たため、大工工事や電気工事など、もともと躯体の工事に従事している作業者が躯体側施工の合間に行うことが出来、効率的作業となった。また前述のように新設換気設備は、施工性の確認がひとつの目的であるが、既設の外壁設置型のパイプ用ファン（図2.4.1参照）は屋外フードに防虫網が設置され、かつ日常清掃が困難な位置に配置されていることから、風量低下に関しても確認することとした。

##### 3) ダクト式全般換気設備の新設にあたっての課題

新設換気設備は、フレキシブルダクトを用いることでその施工性が高く、屋外側へのダクト用貫通孔は1箇所済む。また清掃も本体ユニット一箇所で行えることから施工性、維持管理の点から優位性が認められる。しかし既築住宅への設置では、以下の課題が確認された。

- ①ダクトが梁下などを通過する場合は、ダクトが天井より下側に露出してしまい、ダクトを隠すための下がり天井などの工夫と施工が必要
- ②ダクト施工作业や確認のため、天井等に穴を空けることが必要になる場合がある
- ③他の施工と同時に行えない場合は、大工工事、電気工事などが特別に発生する

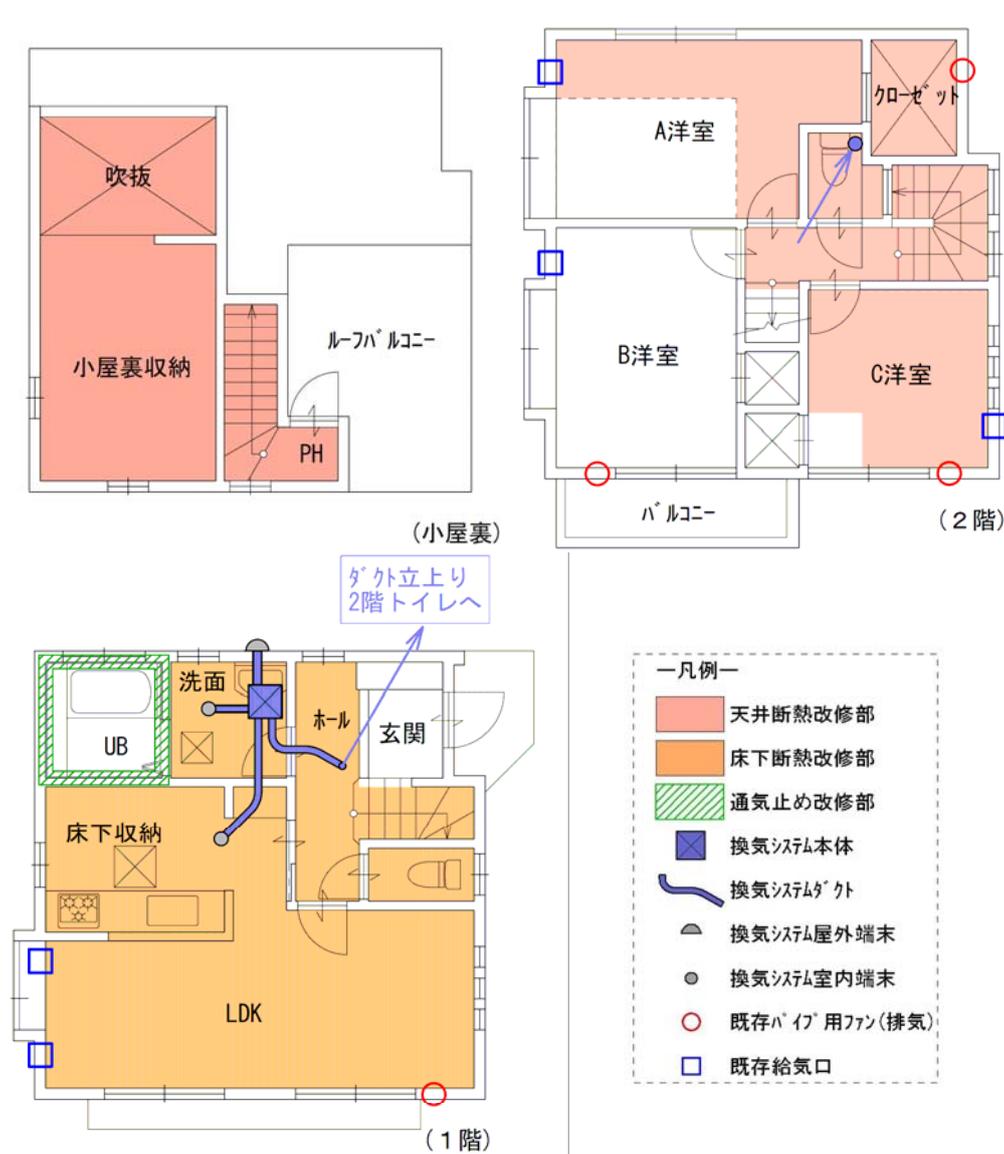


図2.4.1 改修実施住宅平面図

表2.4.1 改修施工前後の気密性

	$\alpha A$ [cm <sup>2</sup> ]	n値	C値 [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
施工前	464	1.77	5.5
屋根断熱/換気設備施工後	466	1.70	5.5
床断熱施工後	373	1.57	4.8

表2.4.2 新設換気設備の概要

整流モーター式排気型換気ユニット
最大換気量80m <sup>3</sup> /h (機外静圧80Pa時)
消費電力5～13W
大きさ390×390×176 (mm)

表2.4.3 ダクト式換気設備新設の施工手順

手順	施工内容	施工箇所	区分
①	換気システム設置用の天井開口作成	洗面所	大工
②*	換気システム本体位置決め	天井裏	換気
③	換気システム用電線の設置	天井裏	電気
④	屋外側ダクト用貫通孔開口	外壁	換気
⑤	屋外側ダクトおよび屋外端末設置	外壁/天井裏	換気
⑥	本体の設置	天井裏	換気
⑦	室内端末側フレキシブルダクトの設置	天井裏	換気
⑧	室内端末の位置決め及び天井開口	各室	換気
⑨*	室内ダクト梁下貫通孔施工	洗面所/ホール	換気
⑩*	ダクトおよび本体埋設用の下がり天井の木枠作成	洗面所	大工
⑪	1F→2Fへのダクト及び貫通孔施工	ホール/2FWC	換気
⑫	下がり天井のプラスターボード取り付け	洗面所	大工
⑬	ダクト長調整と室内端末部材設置	各室	換気
⑭	風量測定 (既存換気設備の清掃)	各室	換気
⑮+*	ダクト隠し用下がり天井施工	ホール	大工
⑯+	壁紙の施工	各室	クロス

\*は写真参照 +は断熱・換気設備施工の数日後に実施



写真2.4.1 ファン本体設置状況



写真2.4.2 ダクト外梁下通過部処理



写真2.4.3 本体埋設用下がり天井



写真2.4.4 ダクト隠し用下がり天井

### (3) 換気設備の清掃と風量測定

#### 1) 既設換気設備の清掃と風量測定

既設換気設備は、設置位置の問題等から入居後、一度も清掃が実施されておらず、室の使用頻度が高いLDKおよびB洋室は防虫網（写真2.4.5）を中心に目詰まりを起こしていた。本体は分解清掃等が容易な工夫がなされているが、屋外フードの防虫網は、掃除機を用いた程度の清掃では、蓄積された埃の除去は出来なかった。そのため工事用のエアコンプレッサーを用いて、その風圧により埃の除去を行った（写真2.4.6）。清掃前後の風量測定結果を図2.4.2に示す。使用頻度の高い室に設置されたファンの風量は減少していた結果となり、清掃後は住宅全体で、清掃前の倍以上の風量となった。なお風量測定はフード式風量計を使用し、風量測定マニュアル<sup>2)</sup>に従って実施した。



写真2.4.5 防虫網付外部フード



写真2.4.6 圧縮空気による掃除状況

#### 2) 新設換気設備の風量測定

新設換気設備も、施工後に室内端末において風量測定を行った（図2.4.2）。また既設換気設備の風量減少が認められたことから、居住者にお願ひし、新設、既設とも6ヶ月ほど同時に稼働させて風量低下の経過を一月ごとに測定した。測定結果を図2.4.3に示す。既設換気設備は毎月風量が減少し、5ヶ月ほどで図2.4.2に示した清掃前の風量と同程度となった。一方、新設換気設備は施工後一週間で若干風量が増加した後、大きな風量減少は起きていない結果となった。

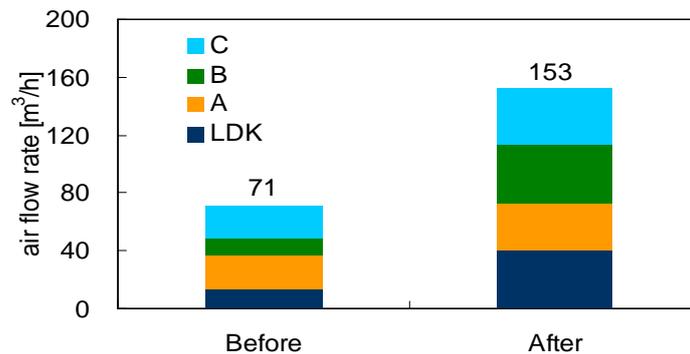


図2.4.2 既設換気設備（パイプ用ファン）清掃前後の風量

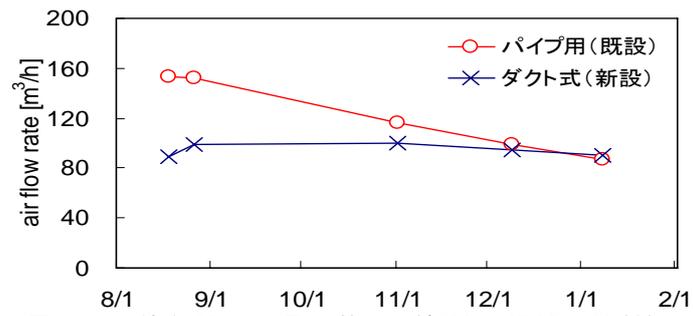


図2.4.3 換気設備の風量推移（新設と既設の比較）

(4) おわりに

本項では、既築住宅の省エネ改修時にダクト式第三種換気設備を新設する場合の施工手順やその課題および、清掃や風量測定の結果について記した。

参考文献

- 1) (財) 建築環境・省エネルギー機構：自立循環型住宅への設計ガイドライン, 2005.6
- 2) (財) 住宅リフォーム・紛争処理支援センター：住宅の現場における風量測定マニュアル,  
[http://www.chord.or.jp/shienc/houkoku/houkoku/h17\\_index.html](http://www.chord.or.jp/shienc/houkoku/houkoku/h17_index.html)

### 第3章 省エネルギー改修支援技術の開発

省エネルギー改修を行う際には、住宅の省エネルギー性能の現状に基づき適切な改修計画を立てる必要があり、そのためには既存の住宅に適用できる省エネルギー性能診断技術が欠かせない。その上で採用する省エネルギー改修手法が要するコストと改修により得られる効果が予測できないことには、断熱改修の普及はままならないと言える。

本章では、省エネルギー改修を支援する技術として、省エネルギー性能診断手法の実施方針の整備、部位毎断熱性能簡易測定法の開発検証、コストと省エネ効果の推計手法を用いたケーススタディ結果について述べる。既存住宅の省エネ性能診断法の進めるにあたり必要となる要件を整理し、ヒアリング、残存図面等資料、目視による実況見分等によって安価に躯体や開口部の現状を判断する方法の実施方針を整備した。また、比較的安価でかつ簡易に外皮の断熱性能を診断するために、熱流計、日射等の影響を加味した相当外気温度を測定するSAT計、温度計、データロガーを用いる部位別断熱性能測定手法の開発を行い、精度等の検証を行った。また、改修実験、数値計算の結果を用い、改修手法の選択に伴うコスト・省エネ効果(光熱費削減効果)の推計法を作成し、ケーススタディによる評価を行った。

#### 3.1 省エネルギー性能診断手法

##### 3.1.1 ヒアリングの実施

ヒアリングは、最も重要な事前確認のひとつと考えられる。この段階では、建て主の寒さ、暑さに関する日常生活の会話から、建物の問題点を特定することができる。例えば、ヒアリングで玄関が非常に寒いとの意見が有り、原因を確認したところ、上り框の下端が床下空間に直接つながっていたことがあった。これは、通常見えない部分であり建て主も気付かないことであるが、ヒアリングから特定できた改修のポイントであった。

また、日常生活において階段の上り下りで温度差を感じることや、夜間になっても2階が涼しくならないなど、様々な改修ポイントが明らかになる。さらに、生活のパターンなども話し合うことによって、部分改修が向いているか、全体改修が必要なのか、その方向性を確認することもできる。こうした情報は、後に見積を作成して減額案が必要になった際にも、改修メニューの優先順位を決定する重要な情報となる。

##### ■ヒアリング項目の例

###### ①家族構成

###### ②ライフステージ

- ・ 各部屋の使用状況（何年使うか等）
- ・ 子供達が家を出る時期

###### ③生活スタイル

- ・ 部屋ごとの在室時間
- ・ 暖冷房の使い方、機器の種類等
- ・ 洗濯物の部屋乾しの頻度

- ・ 換気扇の使用状況（浴室、トイレ、キッチン等）

#### ④温熱環境に対する感覚

- ・ 家族内での暑さ寒さに関する感覚
- ・ 暑さや寒さを感じる場所や時間帯
- ・ ヒートショック対策の必要性

#### ⑤省エネルギーに関する関心

- ・ エアコン、照明の消し忘れ
- ・ エアコンの設定温度

### 3.1.2 建物の建設年代から推定

建物の断熱性や気密性を把握する方法として、建設年代からその性能を推定することができる。建物の質や性能は、建設年代が新しいほど向上している。対象建物の建設された年代の平均的な性能は、技術や建材開発の発展によるものの他に、法規や金融の融資条件（住宅仕様）、建設される地域などに影響され異なっている。

表3.1.1は、その手がかりとなる既存住宅の断熱性能に関する実態調査を平成11年省エネルギー基準における地域区分でIV地域について実施した結果である。調査物件数は、多くないが部位ごとの仕様（仕上材と断熱材）の大まかな傾向をつかむことができた。例えば、こうした情報を参考に現在までに設計もしくは施工してきた建物の主な仕様について、再確認してみる方法もある。

この情報を基に本章では、ケーススタディを行い、断熱改修の効果の推計を行った。

表3.1.1 典型的な在来木造住宅モデルの仕様（IV地域） n=65

	1945～1981	1982～1991	1992～1998	1999～2003
屋根	和瓦	和瓦	コロニアル	洋瓦
天井	軟質繊維板	クロス	クロス	クロス
	GW10K t=25	GW10K t=50	GW10K t=100	GW16K t=160
外壁	ラスモルタル・リシン	ラスモルタル・リシン	サイディング	サイディング
	GW10K t=50	GW10K t=50	GW10K t=100	GW16K t=100
内壁	化粧合板	クロス	クロス	クロス
開口部	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ ペアガラス
床	フローリング	フローリング	フローリング	フローリング
	無断熱	XPS (1B) t=20	XPS (1B) t=50	XPS (3B) t=45

※ GW: グラスウール、XPS (1B/3B): 押出法ポリスチレンフォーム (1種/3種)

### 3.1.3 図面による判断

建物の現況を調査する前に、図面などでその設計内容を確認することが重要である。図面として残されているものは、建物が古くなればなるほど少なくなるが、例えば、確認申請図書や見積図面（契約図面）などがある場合がある。事前に建て主に用意してもらい、仕上表や矩計図（棒矩）をみて断熱材の有無と種類、サッシとガラスの種類などを確認する。その図面から得られた

情報を基に、建物全体の断熱性能を判断することができる。実際には、現場と図面と異なる場合があるため、あくまでも小屋裏や床下などの実況見分を省略することはできないが、事前に建物の性能を推定・診断する手法のひとつである。

また、調査で分かった断熱材の仕様を用いて、住宅の保温性能を示す熱損失係数（Q値）を計算することができる。その結果から改修前の建物性能を推定することができる。

#### 3.1.4 実況見分

改修手法を選択するにあたっては、設計図書のみでは情報が不十分なため、実況見分による状況の把握が重要である。本来、躯体の省エネ性能は適切な施工が為されることを前提として得られるものであるが、本テキストで扱う改修物件が建築された当時の温暖地は断熱・防露施工に対する認識が薄く、表3.1.2に示す壁と床の取合いなどの施工状況を確認する必要がある。

床周りに関しては断熱材及び防湿層の有無に加え、壁との取合い部の隙間の有無を確認します。特に和室では畳を剥がすことによって取合いだけでなく、和室の畳下地板（荒板）の隙間の程度も確認することが出来ます（図3.1.1右）。和室以外でも在来軸組工法の床では根太の乾燥収縮等によって巾木と床の取合いに隙間が生じており、これらの隙間を把握することは気密性能を向上させるうえで重要である。また、小屋裏や床下換気口の面積が住宅金融支援機構の仕様を満たしているか、地盤防湿は適切に行われているか等も、断熱改修後の耐久性を維持するうえで不可欠である。

壁に関しては、階間や小屋裏から断熱材の施工状況を確認することを勧めます。写真（図3.1.1左）のように防湿欠損がある場合は、改修後に暖房機器の買い替えや換気の励行など内部結露防止のための対策が必要である。

階間については、断熱区画内である階間空間と下屋との取合いの処理を確認することが重要である。また、屋根の小屋裏換気口の有無は床下換気口と同様に住宅金融支援機構の仕様を目安とすると良い。

また、後から設置されたエアコンの配管工事の際に断熱材を巻き込んだり、施工不良による断熱材の垂れや欠落等、部分的に断熱材が欠損していたりすることがある。断熱材が使用され始めたころは、居室に設置するといった考えから、押入れ上部や廊下、トイレなど居室以外の部分には、充填されていない場合もあるので、そのような点にも注意して確認する必要がある。

表3.1.2 実況見分が必要な部位の一覧

分類	部位	確認箇所
床	床	隙間の有無（和室は畳を剥がして取合い及び荒床を確認）
	床下	断熱材及び防湿層の有無 床下換気口の有無 木材の劣化・腐朽状況
	地盤	基礎形状（ベタ基礎か独立基礎） 地盤防湿等
壁	外壁	断熱材・防湿層の有無（床下及び階間空間より確認） 通気止めの有無（床下及び小屋裏空間より確認）
	間仕切壁	通気止めの有無（床下及び小屋裏空間より確認）
天井	階間	下屋取合いの断熱材・防湿層の有無（階間空間より確認）
	小屋裏	断熱材・防湿層の有無 木材の劣化・腐朽状況 小屋裏換気口の有無

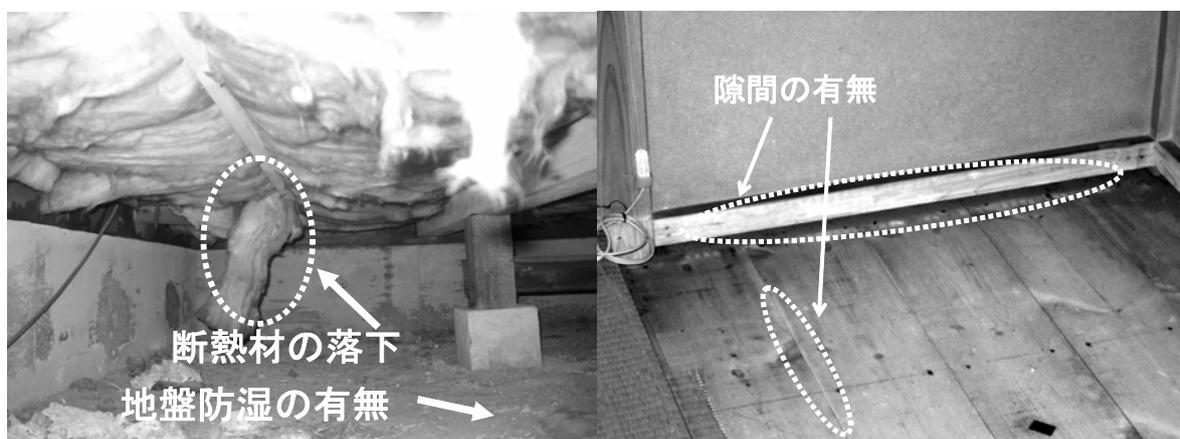


図3.1.1 床周りの実況見分の事例



図3.1.2 壁の実況見分の事例



図3.1.3 エアコン設置工事の際に生じた断熱欠損の例



図3.1.4 押入れ上部の断熱欠損の例

### 3.2 部位毎断熱性能測定手法の開発

設計資料や目視によって改修前の省エネルギー性能を把握できない場合、温度や熱流などの計測結果より、部位の断熱性能を把握することが望ましい。近年、住戸全体の熱損失係数の測定やサーモビュアを用いた部位の熱貫流率測定に関する研究があるが、これらは計測機器が高額なうえ専門的な知識が必要なため、建設実務者自身が行うことは難しいと思われる。そこで、より簡易に外皮の断熱性能を診断する手法を開発するため、熱流計と温度センサーによる熱貫流率測定手法の開発を試みた。

#### 3.2.1 測定システムの概要

本節で開発を検討する熱貫流率(以下K値とする)の測定システムは、図3.2.1のように、熱流計、SAT計、温度センサーで構成される。近年はデータロガー機能付きの温度センサーが販売されているため、機器費用は熱流計を含めて20万円程度のコストで構築が可能である。SAT計は日射など外壁表面の放射成分を加味した相当外気温度を測定するものであり、これら外乱に対する貫流応答を熱流計により把握することによって計測部位の熱貫流率を求める。

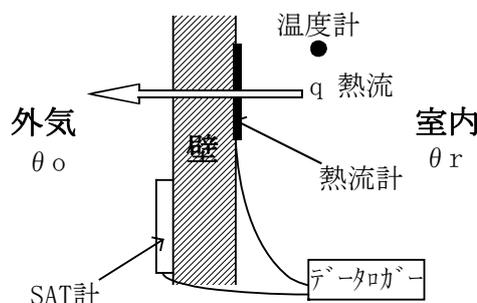


図3.2.1 測定システムの概要

#### 3.2.2 熱貫流率の算出法

本研究では、上述した計測システムによって測定されたデータから熱貫流率を求める手法として、以下の2種類の方法を検討した。

##### ①定常状態を想定した手法

夜間など外気の温度変動が小さい時間帯の熱流及び内外温度差を用い、(1)式によって熱貫流率を算出する手法。本手法は非常に簡便であるが、定常状態を仮定しているため、夜間でも温度変動の影響を受け誤差が生じるデメリットがある。

##### ②非定常条件下での応答係数を用いた同定法

SAT計で計測される外乱に対する熱流の測定結果より、応答係数を推定して熱貫流率を同定する手法。非定常法は、温度が大きく変動する環境下でも適用できる手法であり、居住者の生活スケジュールの変更を伴わずに結果を得られる可能性がある。この手法は、壁体の貫流応答 $\phi$ 及び吸熱応答 $\varphi$ を(2)、(3)式のように指数関数1項で近似し、測定された外壁室内側の熱流 $q(n)$ が(4)式で表されると仮定して、未定係数 $K, A_1, A_2, \lambda, \mu$ を非線形最小二乗法によって同定するものである。

$$K = \left| \frac{q}{\theta_r - \theta_{SAT}} \right| \quad (1)$$

$$q(n) = \sum_{j=0}^{\infty} \phi \theta_{SAT}^{n-j} - \sum_{j=0}^{\infty} \varphi \theta_r^{n-j} \quad (2)$$

$$\phi(t) = K + A_1(1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

$$\varphi(t) = K + A_2(1 - e^{-\mu t}) \quad (4)$$

ここに  $K$  : 熱貫流率 (W/m<sup>2</sup> K)

$q$  : 熱流 (W/m<sup>2</sup>)

$\theta$  : 温度 (°C)

$\phi$  : 外気側温度励振に対する貫流応答

$\varphi$  : 室内側温度励振に対する吸熱応答

$t$  : 時間 (h)

### 3.2.3 実験室における測定システムの精度検証

#### (1) 実験概要

本研究では外壁室内側表面熱流の測定結果より熱貫流率を算出するが、測定対象の断熱性能が高い場合、外乱による貫流熱が小さくなるためノイズの占める割合が大きくなる。これは、一般の室内環境下では熱流計近傍を流れる気流速度及び温度が微妙に変化するため、貫流熱が少ない場合、室内気流による影響が相対的に大きくなることに起因すると考えられている。はじめに、これらの影響を把握するため、定常条件下における測定手法の精度を検証する。

試験体は熱伝導率既知の材料で構成され、断熱性や熱容量などが異なる図3.2.2の仕様とした。図中の $K$ は各試験体の熱貫流率の設計値であり、それぞれの材料に対してJIS A 1412に規定する熱流計法により別途測定された熱伝導率から算出した値である。実験は、試験体の室内側表面に熱流計を密着させ、図3.2.3の2つの恒温室の界壁に取り付け（写真3.2.1参照）、内外の温度差が一定となるよう制御した。内外温度差は、冬季の室温を考慮し15°Cとした。また、前述した室内気流による熱流計のノイズを除去する目的から、図3.2.4のように熱流計表面へ厚さ5mmのポリスチレンシートを貼付し、誤差低減に及ぼす影響についても検討した。

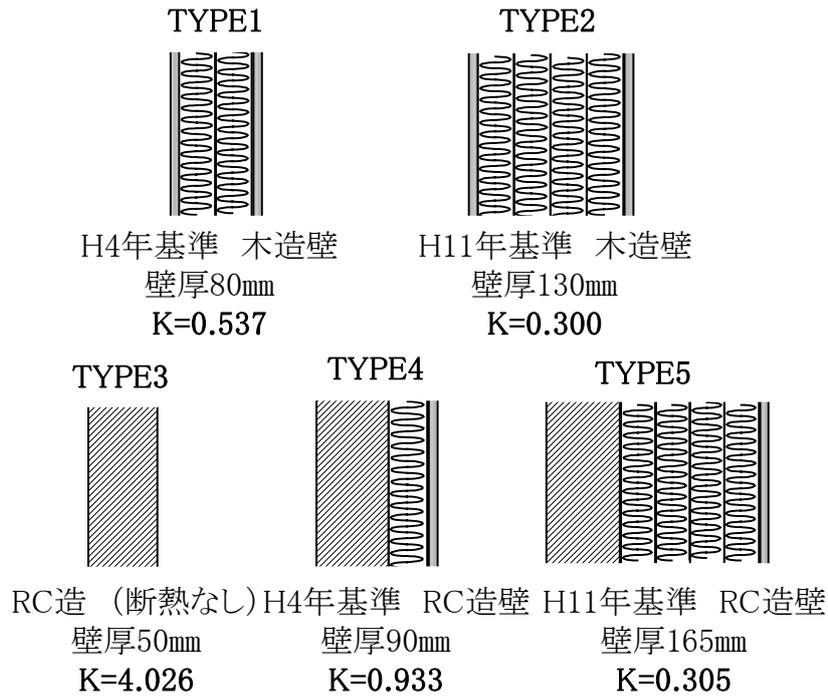


図3.2.2 試験体の断面仕様 (図中のKは設計値)

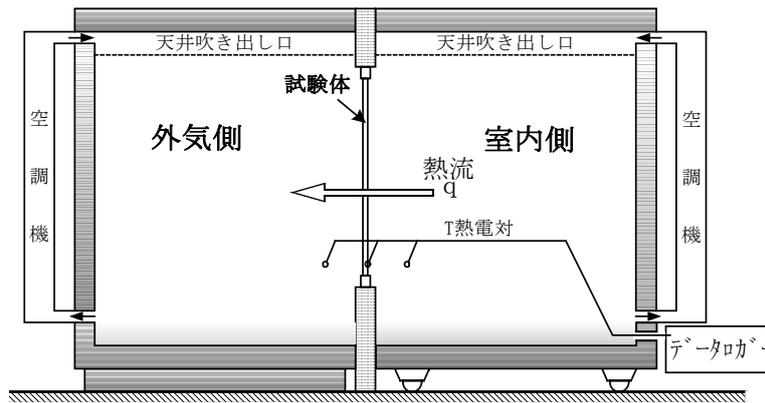


図3.2.3 試験装置の概要

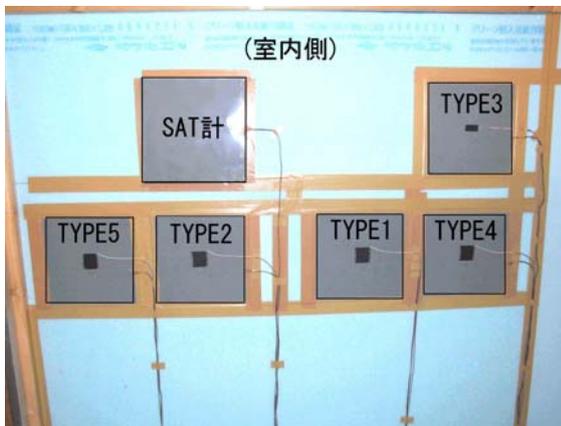


写真3.2.1 試験体設置状況

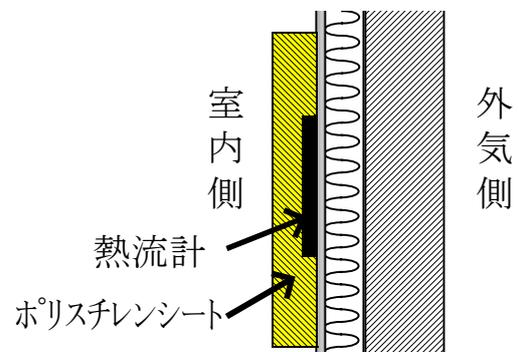


図3.2.4 熱流計表面へのポリスチレンシートの貼付

## (2) 結果・考察

手法①に対する熱貫流率の測定結果と設計値に対する誤差を図3.2.5に示す。以降、本節における誤差は(5)式で算出される値を指すものとする。凡例の貼付あり・なしは、熱流計表面へのポリスチレンシートの有無を意味し、貼付ありについてはポリスチレンシートの熱抵抗を補正した値より誤差を算出している。ポリスチレンシートを貼付しない場合、熱貫流率が低くなるほど、測定結果と設計値の誤差が大きくなっており20%にも達している。これは先に述べたように、断熱性の高い試験体では熱流が小さく、流体の微小な温度変動の影響を受けているためと考えられる。一方、熱流計にポリスチレンシートを貼付したものは、10%の誤差に収まっている。

$$\varepsilon = \frac{K_m - K_d}{K_d} \times 100 \quad (5)$$

ここに、 $\varepsilon$  : 誤差 (%)

$K_m$  : 熱貫流率の測定値 (W/m<sup>2</sup> K)

$K_d$  : 熱貫流率の設計値 (W/m<sup>2</sup> K)

ポリスチレンシートの貼付によって表面の熱流応答は本来のものと若干異なると予想されるが、用途を外壁など比較的断熱性能の高い試験体の測定に限定すれば、気流によるノイズを除去するための材料を貼付することが有用であることが示された。結果として本測定システムでは、熱流計表面へ5mm程度のポリスチレンシートを貼付することにより、定常状態では10%程度の誤差範囲で熱貫流率が測定できることを確認した。

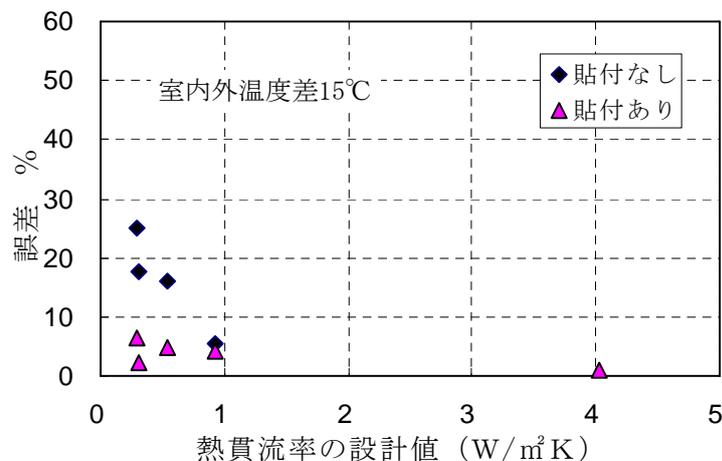


図3.2.5 定常条件下における熱貫流率の設計値に対する測定結果の誤差

### 3.2.4 外部環境下での測定システムの精度検証

#### (1) 実験概要

ここでは、前節で用いた5種類の試験体を屋外環境に面した部位に設置し、実際の住宅で想定される条件下での測定手法の精度検証を目的とする。熱貫流率の算出法は「①定常状態を想定した手法」と「②非定常条件下での応答係数を用いた同定法」の双方について検討する。

試験体は外乱の影響が大きくなるよう、実際の建物の南側開口部に取り付けた(写真3.2.2)、室内空間は温風ヒーターで加熱し内外温度差が生じるようにした。測定期間は2006年12月11日～13日とした。

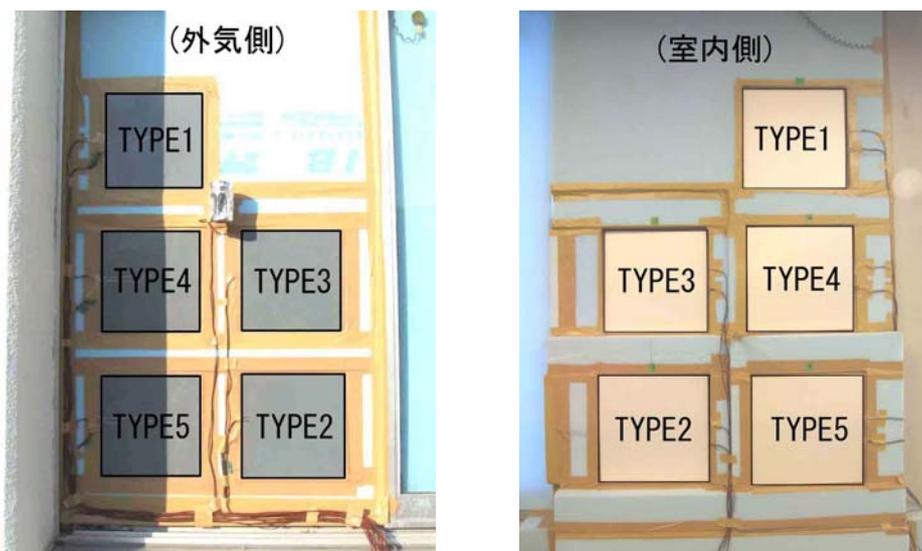


写真3.2.2 試験体設置状況（左：外気側、右：室内側）

## (2) 結果・考察

定常状態を想定した手法①では、図3.2.6に示すように外気が安定する0時～5時のデータを平均して用い、②の応答係数を用いた同定法では3日間全ての時系列データを使用し、熱貫流率を算出した。

測定結果と設計値との誤差関係を図3.2.7及び図3.2.8に示す。12/13の手法①の結果については、実験室実験の結果（図3.2.5）に比べて精度が若干落ちるものの、TYPE3を除けば誤差15%以内に収まった。また、手法②ではTYPE2、TYPE3の誤差が大きくなっているが、他は15%程度の誤差範囲に収まった。

図3.2.9は定常状態を想定した手法①について、12/8から12/12までの5日間の熱流計測定値（0から5時）の標準偏差と熱貫流率の誤差の関係を示したものである。図3.2.9からは熱流のバラツキが熱貫流率の誤差に大きく影響していることが読み取れ、木造については熱流の標準偏差が0.5以下ならば20%以内の誤差範囲に納まっている。しかし、熱容量が大きいコンクリート造では標準偏差が大きく、誤差もこれに伴い増加している。

一方、手法②では、TYPE2で26%の誤差が生じていた。これは、手法②が非線形の最小二乗法を用いているため、初期値の設定により同定値が変わるなど、解析上の問題点があるためと思われる。

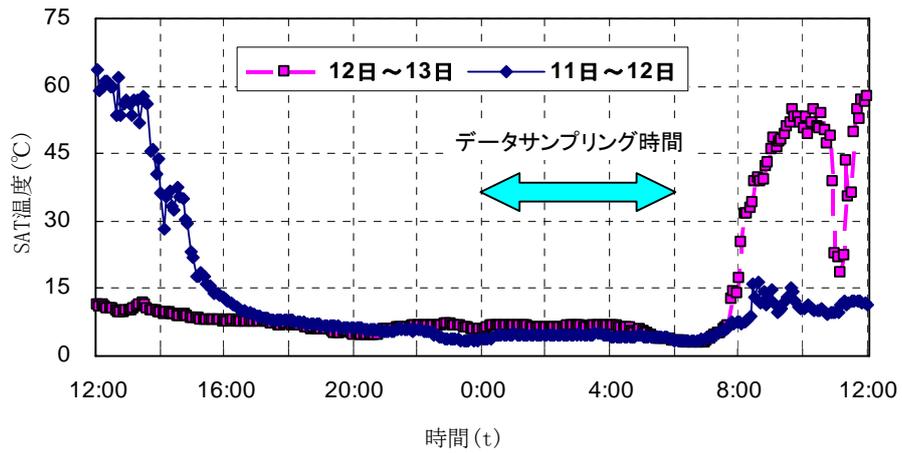


図3.2.6 SAT温度の変化と手法①のデータサンプリング時間

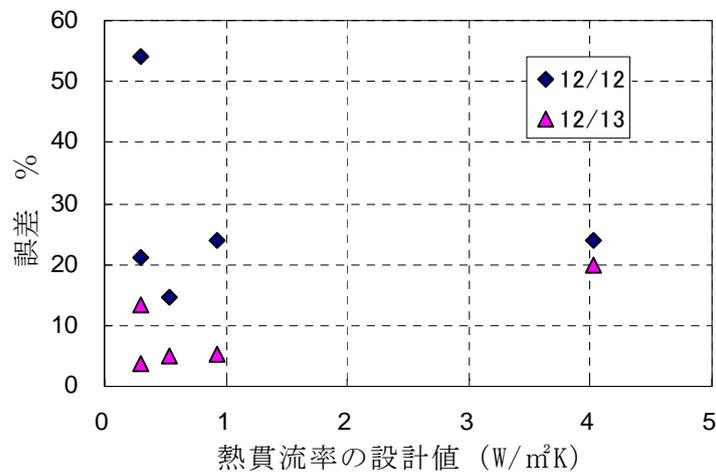


図3.2.7 外部環境下における熱貫流率推定値の誤差 (手法①：定常法)

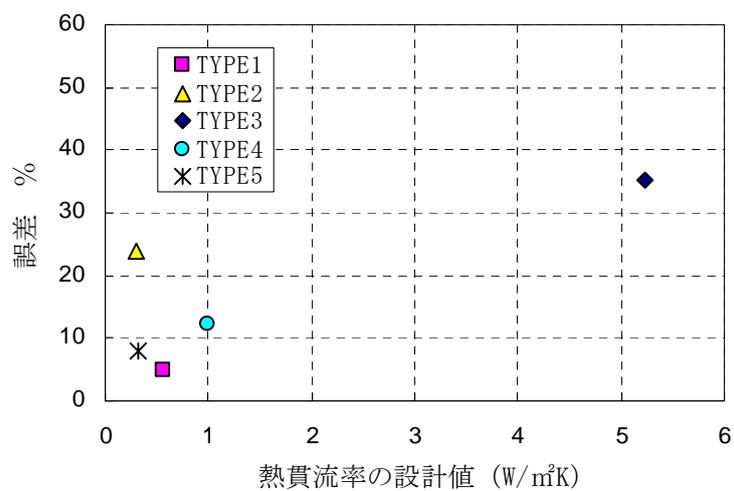


図3.2.8 外部環境下における熱貫流率推定値の誤差 (手法②：非定常法)

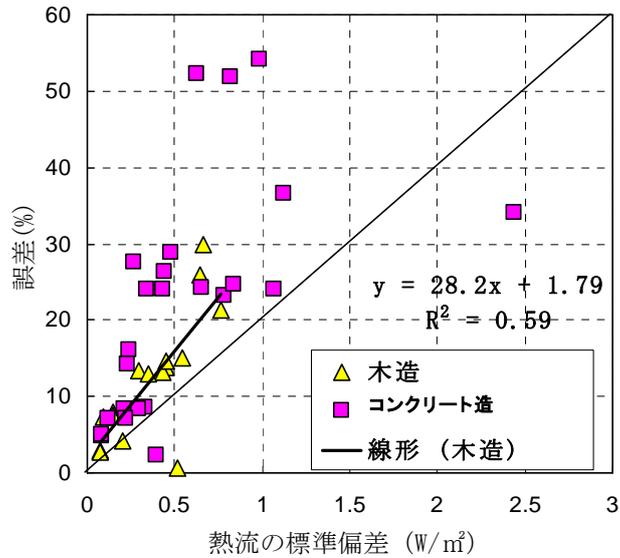


図3.2.9 手法①における熱流の標準偏差と熱貫流率推定値の誤差の関係（外部環境下）

### 3.2.5 まとめ

省エネルギー改修支援技術として、部位毎の断熱性能測定のためのシステムを提案し、熱貫流率の算出法とその精度に関する検討を行った。内外温度差の大きい冬季ならば、温暖地の一般的な木造外壁を想定した場合、手法①、手法②ともに誤差15%程度で熱貫流率を求められる可能性のあることを確認した。本手法は、現段階でも木造住宅を改修するにあたってはどの省エネルギー基準に該当するかといった程度の判断には適用できるといえるが、より精緻な測定を行うのは難しい。今後、断熱性能測定手法としての精緻化、測定対象毎の適用条件の明確化を図るとともに、現場に適用する際の運用方法の検討と現場測定時の精度確認を行い、測定手法を確立していく必要がある。

### 3.3 ケーススタディにおける省エネルギー効果の推計

#### 3.3.1 ケーススタディの概要

##### (1) 既存住宅の断熱性能に関する実態調査

###### 1) 既存住宅の実態調査

現在の住宅ストックは4,500万戸に上ると言われているが、その性能実態に関する情報は一部を除いて決定的に不足していた。そこで、改修の手がかりとなる既存住宅の断熱性能に関する実態調査（2002～2004年）を実施したところ、省エネルギー基準の地域区分によるⅠ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ地域において、大まかな傾向をつかむことができた。そして、その成果をもとにそれぞれの地域で典型的な住宅を選び取ることによって、地域特性に応じた改修手法を検討した。

###### 2) Ⅳ地域における住宅の断熱性能の特徴

実態調査は、工務店および設計事務所の実務者へのアンケートと現地調査により行った。図3.3.1に示すように、Ⅳ地域では外壁の性能が高く、平成4年基準相当以上の断熱水準を達成している住宅が80%近い割合を占めている。一方、最下階床は、昭和55年基準以下の住宅が約60%で最も性能が低い部位である。また、最下階床を除く部位ではいずれも、昭和55年基準に満たない水準が10%以下の割合であり、調査した地域の中では、最も寒冷地であるⅠ地域に次いで、Ⅳ地域の断熱水準が高いことが確認された。

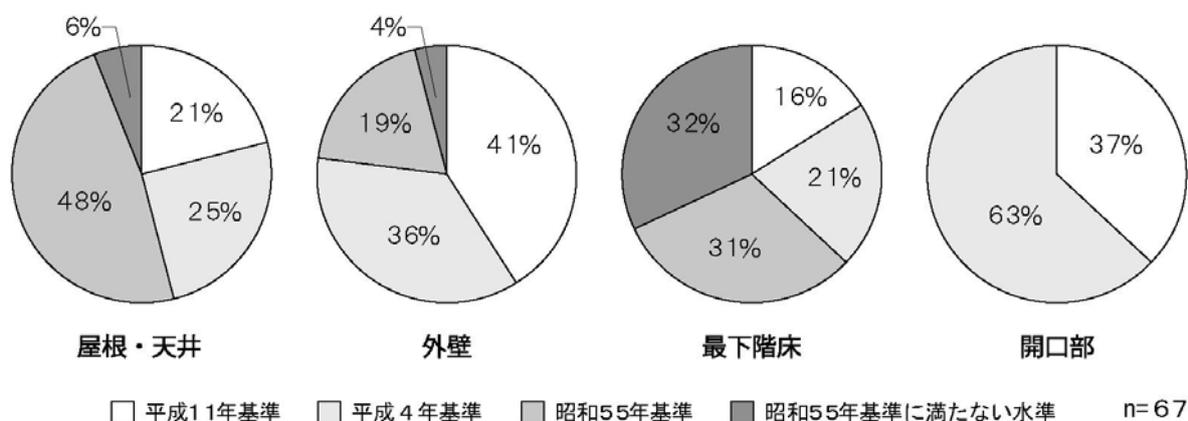


図3.3.1 各部位における断熱水準の達成状況（Ⅳ地域）

図3.3.2は、住宅の年代区分による部位ごとの断熱水準の推移状況を示したもので、以下の傾向が確認された。図中の年代区分は、省エネルギー基準が制定・改定された年を参考に、1945～1981年、1982～1991年、1992～1998年、1999～2003年の4つの区分を設定した。

- ・屋根・天井と外壁については1980年以降 $1.00\text{m}^2\text{K/W}$ 以上の性能であり、とくに屋根・天井は、1999年以降には1945～1981年と比べると4倍近い性能向上が見られる。
- ・開口部は、1982～1991年以前はすべて単層ガラスのアルミ製サッシで、性能向上が見られないが、1999～2003年では複層ガラスが増え、平均熱抵抗値は $0.25\text{m}^2\text{K/W}$ に向上している。

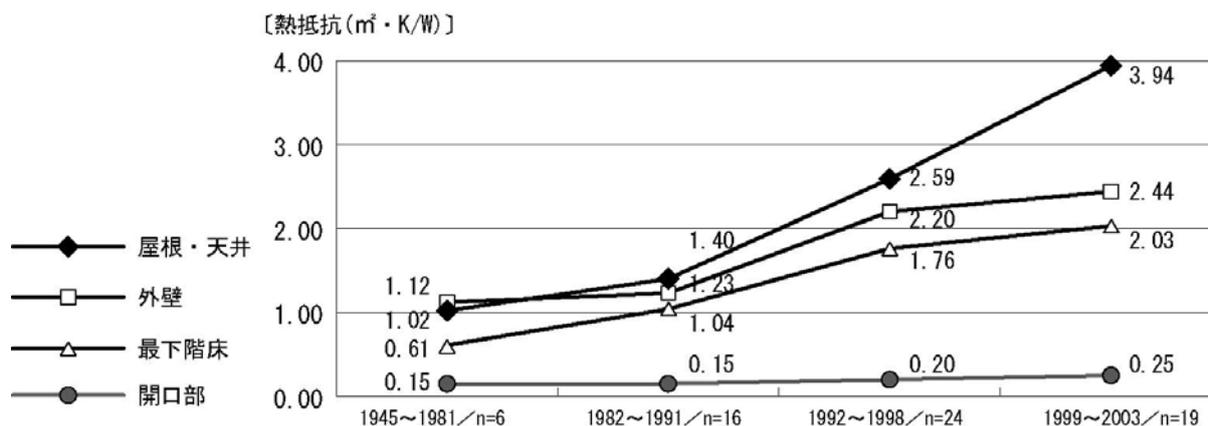


図3.3.2 年代区別にみた各部位における断熱水準の推移の状況 (IV地域)

## (2) 断熱改修による省エネルギー効果のケーススタディ

### 1) ケーススタディの条件

実態調査の結果から各年代区分の住宅仕様を分析し、部位ごとにその典型的な仕上材や断熱材の仕様を抽出した。その中から、調査物件の多くを占めたIV地域（関東地区）を選択し、年代ごとの仕様を表3.3.1のように設定した。

ここでは、性能と地区年数から最も改修のターゲットとなることが予想される1945～1981年の年代区分の住宅（築25～30年の住宅）仕様を用いケーススタディを実施した。

表3.3.1 典型的な在来木造住宅モデルの仕様 (IV地域) n=65

部位	1945~1981	1982~1991	1992~1998	1999~2003
屋根	和瓦	和瓦	彩色スレート	洋瓦
天井	軟質繊維板 GW10K t=25	クロス GW10K t=50	クロス GW10K t=100	クロス GW16K t=160
外壁	ラスモタル・リシン GW10K t=50	ラスモタル・リシン GW10K t=50	サイディング GW10K t=100	サイディング GW16K t=100
内壁	化粧合板	クロス	クロス	クロス
開口部	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ ペアガラス
床	フローリング 無断熱	フローリング XPS (1B) t=20	フローリング XPS (1B) t=50	フローリング XPS (3B) t=45

GW:グラスウール XPS(1B/3B):押出法ポリスチレンフォーム(1種/3種)

検証した住宅モデルは、図3.3.3、4に示すとおり、2章で紹介したものを使用した。この住宅モデルに表3.3.1の1945～1981年の仕様をあてはめると、改修前の住宅モデルの熱損失係数は、4.95W/m<sup>2</sup>K(昭和55年基準相当)となる。

建物外皮の断熱改修の工法は、表3.3.2のとおりである。部位ごとの改修効果をより明確にするために、対象住宅の構造的な問題点、改修ニーズ等は条件として勘案せずに、各部位の仕様が平成11年基準相当以上の断熱水準を満たすように目標像を設定した。なお、改修の範囲は、部位ごとに全体改修とした。

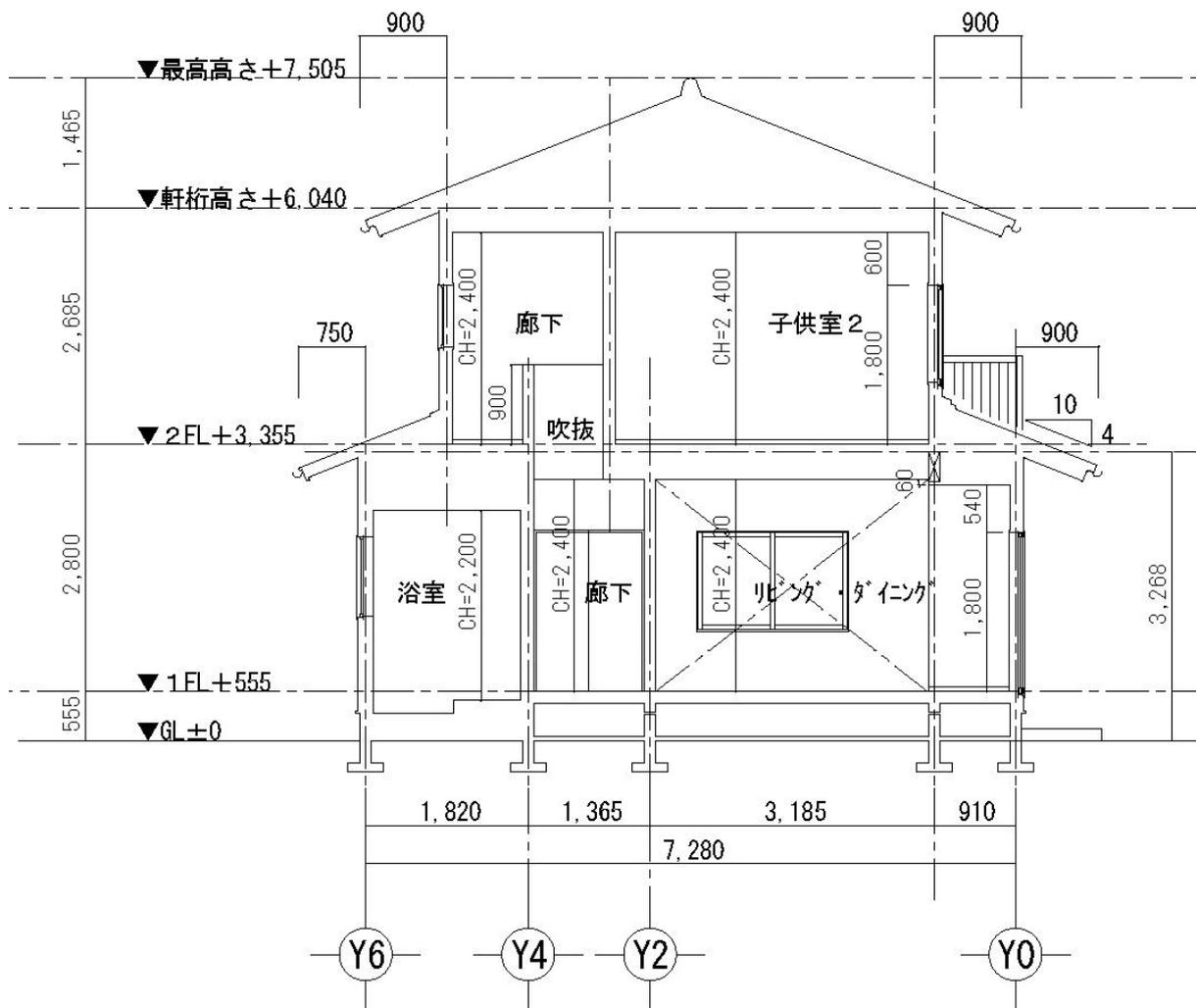
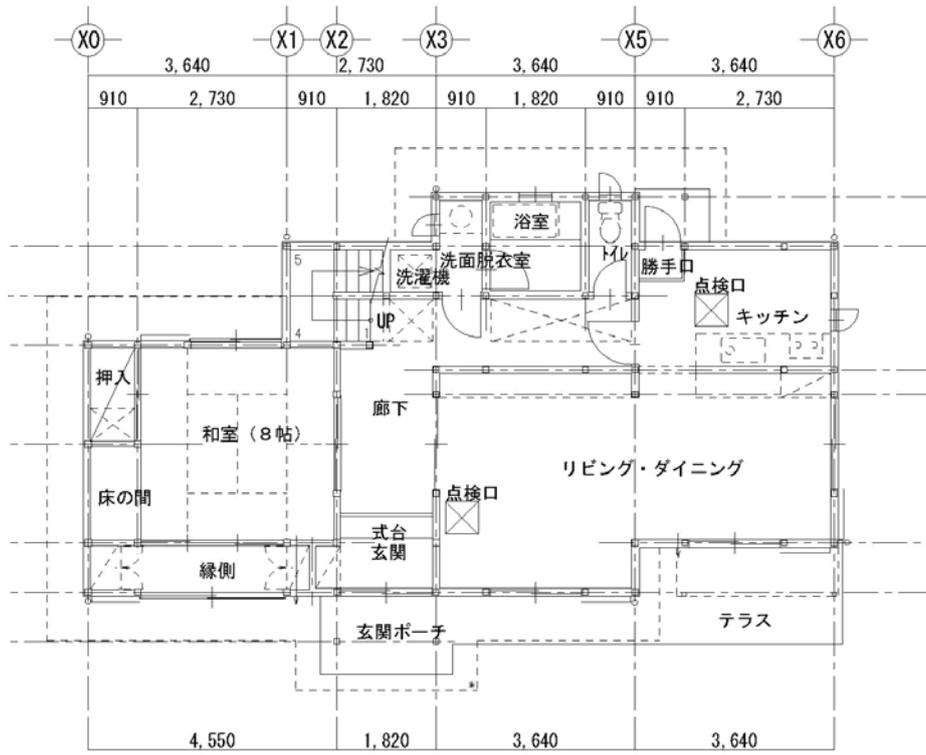
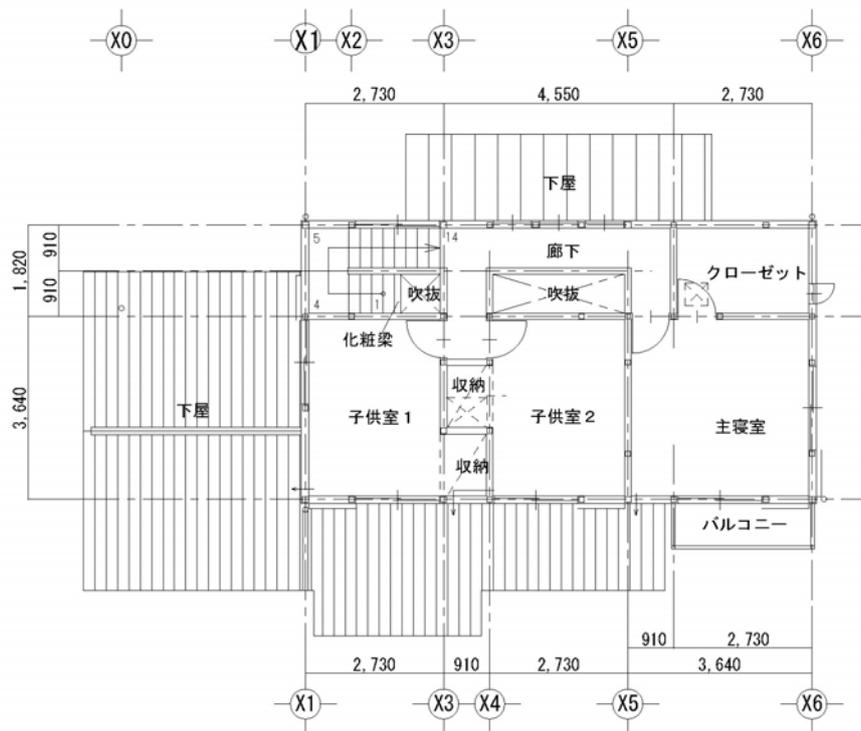


図3.3.3 住宅モデルの概要 断面図



1階平面図



2階平面図

図3.3.4 住宅モデルの概要 平面図

表3.3.2 改修内容

改修部位	改修内容・断熱材
①:天井(手法 4)	小屋裏から断熱材を吹き込む:フローリング GW-2 t=200mm
②:外壁(手法 9)	外壁に断熱材を付加(既存の断熱材を活用): FP(3B) t=50mm
③:開口部(手法 14)	全ての開口部の二重サッシ化:既存アルミ・シングル+樹脂サッシ・シングル
④:最下階床(手法 10)	床下から断熱材を設置:GW 32K t=80mm

### 3.3.2 ケーススタディの結果

#### (1) イニシャルコスト

表3.3.3は断熱改修工事に要した概算工事費、改修後の熱損失係数（Q値）および改修前後の熱損失係数の改善値（ $\Delta Q$ 値）の一覧である。

IV地域を想定した住宅モデルの場合、最も高額な部位は仕上材の更新をとともう外壁工事で、また最も安価な部位は、床の改修工事でした。床や天井の工事は、仕上材は残して裏側（小屋裏や床下）から行うため、作業空間を確保できれば安価に行うことが可能である。また、床については改修前後の熱損失係数の改善値も他の単独改修に比べて大きくなった。一方、すべての部位の改修を行った場合は、概算工事費は約635万円になった。この場合は、大掛かりな修繕工事を想定しているが、熱損失係数は $2.34\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 、改善値は2.61で平成11年基準が達成された。

表3.3.3 断熱改修に要した概算費用、及び改修後のQ値とその改善値（ $\Delta Q$ 値）

部位改修	概算費用	Q値( $\Delta Q$ 値)
① 天井(手法 4)	345 千円	$4.21 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$ (0.74)
② 外壁(手法 9)	3,161 千円	$4.53 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$ (0.42)
③ 開口部(手法 14)	1,956 千円	$4.14 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$ (0.81)
④ 最下階床(手法 10)	906 千円	$4.16 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$ (0.79)
⑤ ③+④	2,862 千円	$3.53 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$ (1.60)
⑥ ①+③+④	3,208 千円	$2.87 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$ (2.08)
⑦ ①+②+③+④	6,369 千円	$2.34 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}$ (2.61)

#### (2) エネルギー消費量

建物外皮の断熱改修による暖冷房負荷の削減率をもとに、年間のエネルギー消費削減量の試算を行った結果、おおむね以下のような傾向となった（図3.3.5）。

IV地域では、断熱改修による暖冷房負荷軽減効果が最も高い改修部位は開口部、次いで天井という結果となり、年間のエネルギー消費削減割合は、それぞれ約15%、9%であった。

特に開口部の改修は、省エネルギー効果が高いと同時に、居住しながら工事が行えるため改修の障害になりがちな施工性という観点からも優れており、省エネルギー改修における有効な部位であると考えられる。

一方、最下階床の改修は、熱損失係数で比較した場合に比べてエネルギー削減量が低く、改修の効果が得られにくい部位だが、工事費は20万円程度で他の部位に比べて安価であり、費用対効果でみるとその割合は高くなり選択肢の一つとして考慮すべき対策と言える。

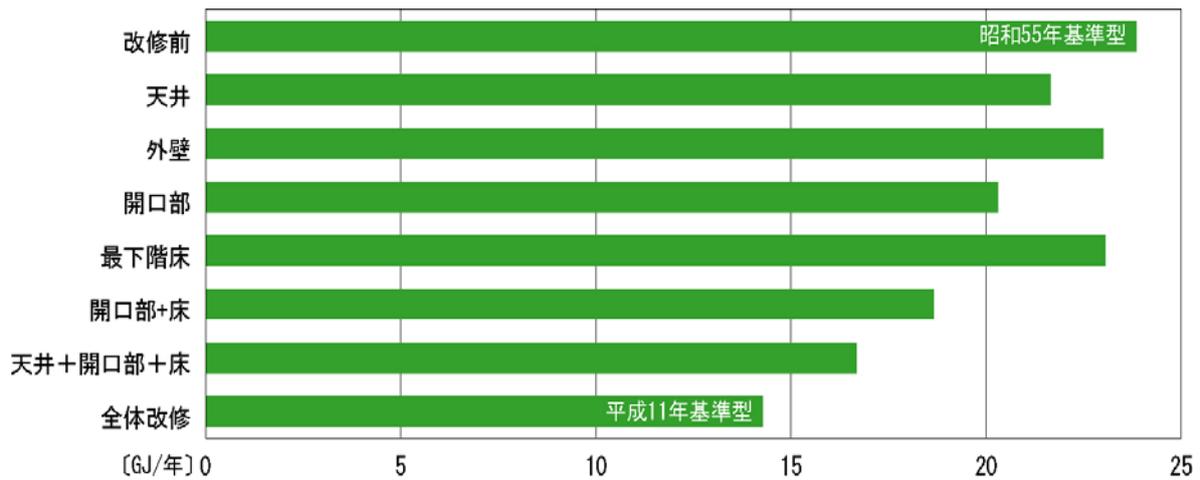


図3.3.5 年間の戸当たりエネルギー消費量と削減率

### (3) IV地域で有効な省エネルギー改修のポイント

実態調査およびケーススタディの結果から、省エネルギー改修技術の有効性と今後の課題は、以下のような内容が見えてきた。

- IV地域（主として関東地区の場合）における在来木造住宅の場合、建物外皮の断熱改修によるエネルギー削減効果が最も大きい部位は開口部であった。
- 全ての部位の改修を行った場合には修繕を対象とした一般的な改修費用よりも高コストになるが、最大約40%のエネルギー削減効果が得られた。
- 屋根・最上階天井および最下階床の改修は、省エネルギー効果はあまり高くないが、比較的安価に実施でき、夏季の天井からの放射熱を遮断する効果や冬季における床面に近い足元の温度分布を改善する効果があり、住まいの快適性や質を向上する重要な部位の改修と言える。
- 暖冷房機器に係わる設備更新は、一連の研究結果からエネルギー削減効果が明らかにされており、建物外皮の断熱改修と同時に実施することにより、さらに効果を高めることが期待できる。省エネルギー改修の際には暖冷房機器等の設備更新を同時に実施することが望まれる。

●既存住宅断熱改修シート・1（改修前）

IV地域 築25年程度経過した典型的な住宅

〈BEFORE〉



図1 外観および特徴  
縁側・続き間の平面構成をもつ。雨戸、大型の掃きだし窓、乾式のバルコニーなども築25年程度を経過した住宅の特徴である。また、IV地域の築25年以降の住宅は外壁に断熱材が施工されていることが多い。ただし、最下階床は無断熱である。

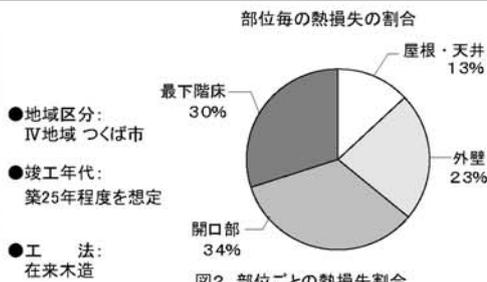


図2 部位ごとの熱損失割合  
IV地域の築25年程度を経過した住宅における部位ごとの熱損失の割合を示している。開口部及び最下階床からの損失割合が大きいため、その部位の断熱改修を行うことは有効である。

建築部位	仕様	熱貫流率 [W/m <sup>2</sup> K] (旧基準)	
屋根	屋根仕上げ材	和瓦 t=15mm	1.11 (0.92)
	下地材1	アスファルトルーフィング	
	下地材2	野地板 t=12mm	
	断熱材	—	
	備考		
最上階天井	天井仕上げ材	軟質繊維板 t=9mm	0.84 (1.29)
	下地材	木下地	
	断熱材	グラスウール 10K t=25mm	
	備考		
	備考		
外壁	外壁仕上げ材	リシン吹付け	6.51 (6.98)
	外壁下地材1	ラスモルタル t=20mm	
	外壁下地材2		
	外壁下地材3		
	断熱材	グラスウール 10K 50mm	
開口部	内装下地材		2.44 (1.26)
	内装仕上げ材	化粧合板 t=4.5mm	
	備考		
	枠材	アルミサッシ	
	ガラス	シングルガラス	
最下階床	備考		2.44 (1.26)
	床仕上げ材	フローリング t=12mm	
	下地材1		
	断熱材	なし	
備考			

● 既存住宅断熱改修シート・2(改修後)

IV地域 断熱改修モデル 昭和55年基準型⇒平成11年基準型 <AFTER>

改修前後の熱抵抗の変化

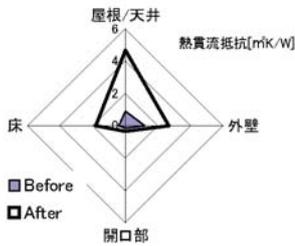


図3 改修前後の熱貫流抵抗の変更  
改修後は、下表の通り、すべての部位を平成11年基準仕様に変更した場合である。

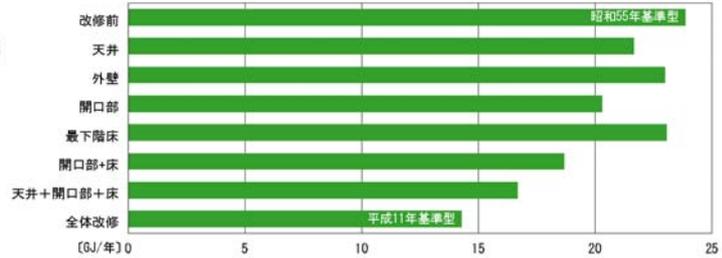


図4 断熱改修による年間のエネルギー消費量の試算結果(1戸当たり)  
改修前の1年間のエネルギー消費量と、改修後のエネルギー消費量及び消費量削減率を示した。全部位改修を行った場合には、40%近くの削減効果が見込まれる。  
(図4はAE-CADシミュレーションにより作成)

建築部位	仕様	熱貫流率 [W/mK]	改修費用 [円/m <sup>2</sup> ]	年間光熱費削減量 [円]
	屋根仕上げ材	0.21	4,300~	4,000
	下地材1			
	下地材2			
	断熱材			
	備考			
	天井仕上げ材	0.38	18,000~	1,500
	下地材			
	断熱材			
	備考			
	新規外壁仕上げ材			
外壁下地材1				
新規断熱材				
外壁下地材3				
既存断熱材				
開口部	内装下地材	0.55	12,000~	1,700
	内装仕上げ材			
	備考			
	枠材			
	ガラス			
最下階床	備考	0.55	12,000~	1,700
	床仕上げ材			
	下地材1			
	断熱材			
備考				

## 第4章 居住者のライフスタイルに応じた省エネルギー設備計画の最適化技術の開発

建物外皮の断熱性能とともに、住宅に導入される給湯、換気、暖冷房、照明設備等の設備機器の性能の良否は住宅のエネルギー消費量を大きく左右する。また、居住者のライフスタイル・設備システムの使われ方によっても大きな影響を受ける。設備システムが消費するエネルギー量を評価するためには、機器の仕様とともに使用実態を反映した評価法が必要であるが、居住者のライフスタイル・設備の使用実態には個々のばらつきが大きいこともあり、実態に即した評価法の構築は難しい状況にあった。

平成13年度から16年度にかけて実施した自立循環総プロでは、居住者の生活行動を模擬し住戸内で消費するエネルギー量を計測できる実証実験設備を作成して住宅設備の省エネルギー性能の評価を行ってきたが、本研究では実験設備を拡充して、実稼働条件下における消費エネルギー量とシステム効率の計測を、人工気候室内における詳細な挙動計測とあわせて行い、種々の生活条件や気象条件下における評価手法構築に向けた検討を行っている。

本章では、暖冷房設備(床暖房・エアコン)・給湯設備(太陽熱給湯器、CO<sub>2</sub>ヒートポンプ式給湯器等)について、居住者のライフスタイルを再現した実証実験、機器毎の特性把握実験を行って実使用時の効率評価手法を検討した結果について述べる。また、夏期に窓を開けて通風を行うライフスタイルが冷房消費電力に及ぼす影響を実証実験により検討した結果について記している。

### 4.1 床暖房システムの実働効率予測法の開発

#### 4.1.1 実験概要

人工気候室内に建つ木造2階建て住宅（以下、実験住宅）の1階部に、温水床暖房パネルを設置して実験を行った。実験条件として、暖房システム（熱源機の種類・温水配管の種類・床断熱材厚さ）と暖房負荷（人工気候室温度・実大住宅の換気量）を変化させた。

##### (1) 実験住宅の概要

実験住宅の平面図および各室の床面積・パネル面積を図4.1.1に、立面図を図4.1.2に示す。図4.1.1に床暖房の熱源機と温水配管の設置位置も併せて示す。換気はセントラル換気システムにより行われ、各室の給排気量を調節することができる。壁・床の断熱材厚さも調節可能である。窓は樹脂サッシLow-e複層ガラスである。床下には67cm×49.5cmの大きさの床下換気口が2カ所と41cm×20cmの大きさの床下換気口が4カ所設けられている。

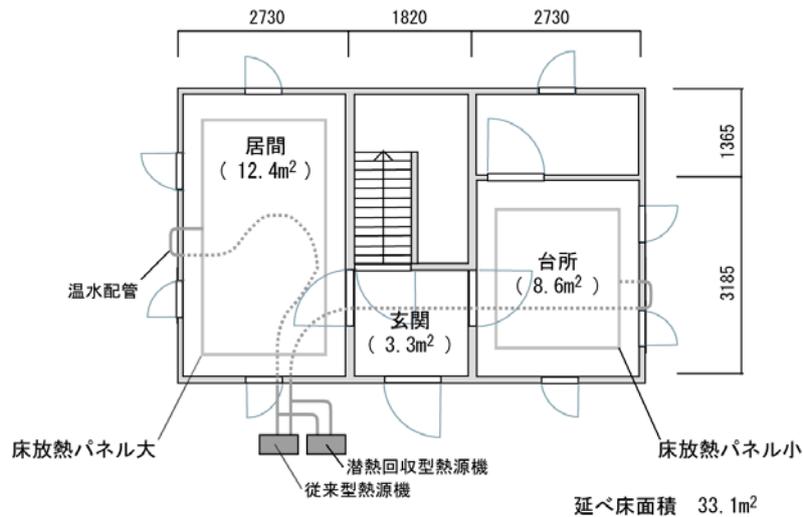


図4.1.1 実験住宅1階の平面図

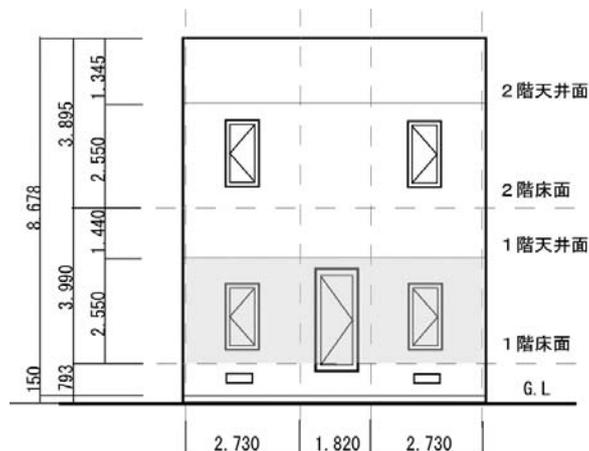


図4.1.2 実験住宅の立面図

## (2) 床暖房システムの概要

### 1) 熱源機

従来型と潜熱回収型の給湯・暖房併用のガス熱源機を2種類用意して実験した。従来型熱源機の暖房用供給温水温度は $60^{\circ}\text{C}$ 前後である。一方、潜熱回収型熱源機の供給温水温度は高温（約 $60^{\circ}\text{C}$ ）と低温（約 $40^{\circ}\text{C}$ ）に切替え可能である。給湯機の暖房能力は従来型、潜熱回収型ともに $2.56\sim 14.0[\text{kW}]$ である。

### 2) 床放熱パネル

床放熱パネルは根太上に設置するタイプを施工した。床放熱パネル周りの断面図を図4.1.3に示す。床の断熱材は押出法発泡ポリスチレンフォーム保温板（I種b）を用い、断熱材厚さを $40\text{mm}$ 、 $90\text{mm}$ の2パターンで実験した。床放熱パネルの敷設率は約70%とした。

### 3) 温水配管

温水配管には温水の行きと還りの配管を2つに束ねたペアチューブを用い、ポリエチレン塩化ビニル製のサヤ管、および厚さ約 $8\text{mm}$ の断熱材を巻いたもの（以下、断熱管）の2種類を用意して実験した。温水温度と配管周りの空気温度の差が $1^{\circ}\text{C}$ のときの単位長さあたりの熱損失（以下、熱損

失係数)はそれぞれ0.21 (W/mK)、0.15 (W/mK)である。温水配管の敷設経路は図4.1.1に示すとおりであり、パネル大・パネル小ともに、温水配管長は熱源機からパネルまで、ペアチューブの長さで10mである。なお、配管は床下側から放熱パネルに接続されるが、実験室の床は気密構造であるため、配管を一旦外気側に出し外気側から壁面の実験用換気口を通して室内側の放熱パネルに接続した。そのため、通常の施工方法よりも配管は長い。

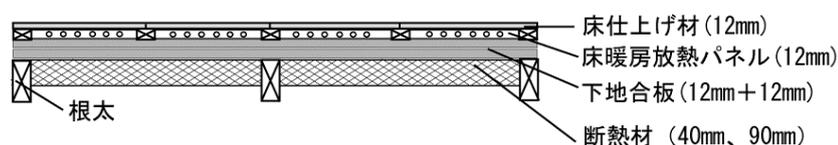


図4.1.3 放熱パネル断面図

### (3) 実験パラメータ

実験では、1) 熱源機の種類および供給温水温度設定、2) 温水配管の種類、3) 人工気候室内温度、4) 部屋の断熱性能(床の断熱材厚さと換気量)の4パラメータを変えた。これらのパラメータを図4.1.4に示すように組み合わせ、40条件で実験を行った。

#### <実験パラメータの補足説明>

(※1) 熱源機の種類：前述したとおり潜熱回収型給湯機は供給温水温度を約60℃と約40℃の2パターンに変更可能である。一方、従来型の給湯機は供給温水温度の変更ができない。従って、下記の3パターンで実験を行った。

- ・従来型給湯機(以下、従来型)
- ・潜熱回収型給湯機高温(約60℃)設定(以下、潜熱回収型)
- ・潜熱回収型給湯機低温(約40℃)設定(以下、潜熱回収低温型)

ただし、潜熱回収低温型はある程度暖房負荷が小さくならないと供給温水温度が低温(40℃)制御に移行しないため、暖房負荷によっては実験をしなかった。

(※2) 人工気候室内の温湿度設定：人工気候室内の温度は、-5、0、5、10℃の4パターンとした。湿度はいずれの条件も50%とした。ただし低負荷時の機器特性を調べるため、実大住宅の断熱性能が高い条件でのみ、人工気候室内温度が15℃の実験を行った。

(※3) 実大住宅の断熱性能：実大住宅の断熱性能は、「断熱レベル高」、「断熱レベル低」の2パターンとした。「断熱レベル高」を建築省エネルギー基準における次世代省エネレベル(Q値2.7 W/m<sup>2</sup>K)相当、「断熱レベル低」を新省エネレベル(Q値4.2 W/m<sup>2</sup>K)相当とし、各部位の断熱性能を定めた。床断熱材に押出法ポリスチレンフォームI種bを用い、「断熱レベル高」では90 mmの厚さに、「断熱レベル低」では40 mmの厚さに設定した。壁の断熱材にはフォームポリスチレン保温板3種を用い、厚さを両パターンとも簡単のため50 mm一定とし、断熱性能の違いは換気量を変えることで実現させた。壁、天井および床の貫流による熱損失を勘案した結果、換気量は「断熱レベル高」で17.5m<sup>3</sup>/h、「断熱レベル低」で63 m<sup>3</sup>/hとした。換気は第3種換気を行い、各壁に空けられた換気口(シリンダー)を通じて人工気候室空気が実大住宅室内に流入するようにした。

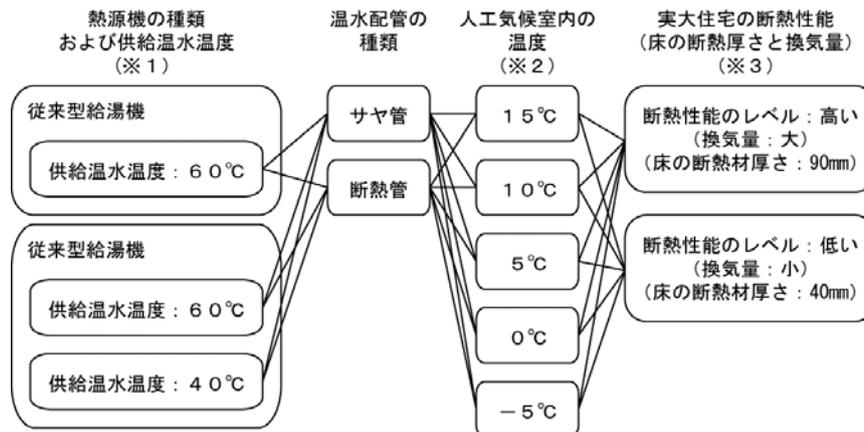


図4.1.4 実験パラメータの組み合わせ

(4) 測定方法

測定の概要を表4.1.1に示す。T型熱電対および熱流計のデータ収集はマルチロガー（江藤電気製）で行った。

表4.1.1 測定項目

測定項目	測定点数	用いた器具	データ収集時間間隔
天井表面温度 居室の空気温度分布 ・床+120cm	各室9点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	1分
居室の空気温度分布 ・天井-50cm ・床+180cm ・床+60cm ・床+30cm	各室1点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	
壁表面温度	各壁中央1点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	
床表面温度 床放熱パネル上温度 床放熱パネル下温度	各室13点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	
床合板下温度 床下側表面温度	各室5点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	
床表面熱流 床裏表面の熱流	各室1点		
グローブ温度	各室1点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	
居室室温度	各室1点	電気抵抗式小型温湿度計 (ロガー付き、T&D社製TR-72)	
人工気候室内温度	1点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	
床下空気温度	各室床下1点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	
地盤表面温度	各室床下1点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	
配管表面温度	各配管1点	T型熱電対 (0.2mmφ、ビニール被覆)	
温水流量	各配管熱源機の 出口部分に1点	流量計 (愛知時計電気社製 ND05-N ATAAC)	
温水温度 ・給湯機行き・還り ・パネル入口・出口	各配管ごとに計4点	シース型T型熱電対	
ガス流量	1点	ガス流量計 (金門製作所社製 ロータリーエンコーダ発信器RS型3線)	
給湯機消費電力	1点	クランプ電力計 (HIOKI社製 3168 クランプオンパワーハイテスタ)	1秒

## (5) 測定方法

実験スケジュールを図4.1.5に示す。計測を床暖房運転開始1時間前から開始した。床暖房のパネルおよび床の温度分布がほぼ定常状態に達するように床暖房を6～11時間運転した。定常状態の判定は床表面温度で行い、1時間の床表面温度の変動が約0.5℃以内である場合を定常状態と判断した。ただし、熱源機の制御によっては床表面温度が1～2℃程度周期的に上下する場合も見受けられたため、全てがこの限りではない。床暖房停止後の温度の変化を測定するため、運転を停止してから3時間データを収集した。

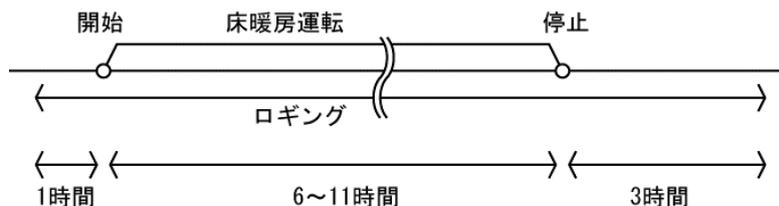


図4.1.5 実験スケジュール

## 4.1.2 実験結果

### (1) 各部の温度と流量の推移

図4.1.4に示す40条件で行った実験のうち、従来型熱源機の実験結果について、暖房負荷が大・中・小の3パターンを図4.1.6に示す。潜熱回収低温型熱源機については、暖房負荷が大きい場合、低温制御に移行しなかったため、従来型熱源機とほぼ同じ挙動を示したので図は割愛し、暖房負荷が小さいときの実験結果のみ、低温制御ありとなしの2パターンを図4.1.7に示す。各々の実験条件は表4.1.2に示す通りである。

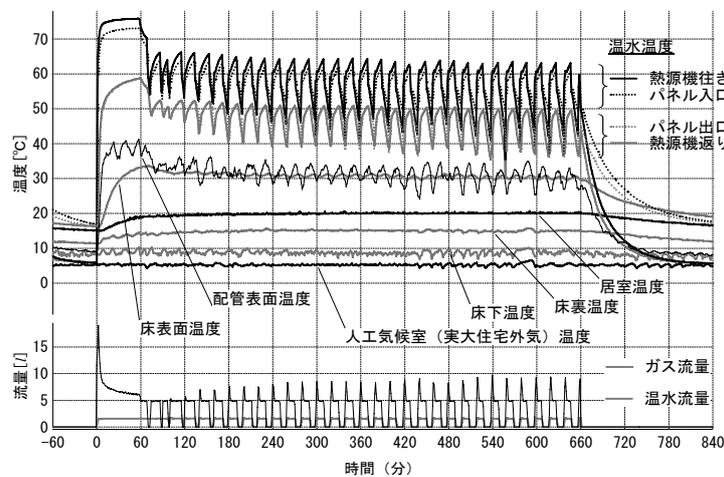
表4.1.2 実験例の実験条件と図中の記号

実験条件			対応する図中番号および実験例の記号		
実験住宅の断熱性能	外気温度	温水配管の種類	従来型熱源機	潜熱回収型熱源機	潜熱回収低温型熱源機
暖房負荷が中程度のときの 実験結果例			図7(i) (実験例A)	/	
高い	5℃	サヤ管			
暖房負荷が大きいときの 実験結果例			図7(ii) (実験例B)	/	
低い	-5℃	サヤ管			
暖房負荷が小さいときの 実験結果例			図7(iii) (実験例C)	図8(i) (実験例D)	図8(ii) (実験例E)
高い	15℃	断熱管			

従来型熱源機の実験例A～C(図4.1.6)を見ると、運転開始60分間は熱源機行き温水温度が約75℃に保たれている。これは、運転開始後の床表面温度を早く上昇させるために高温で60分間温水供給する制御が入ったためである。

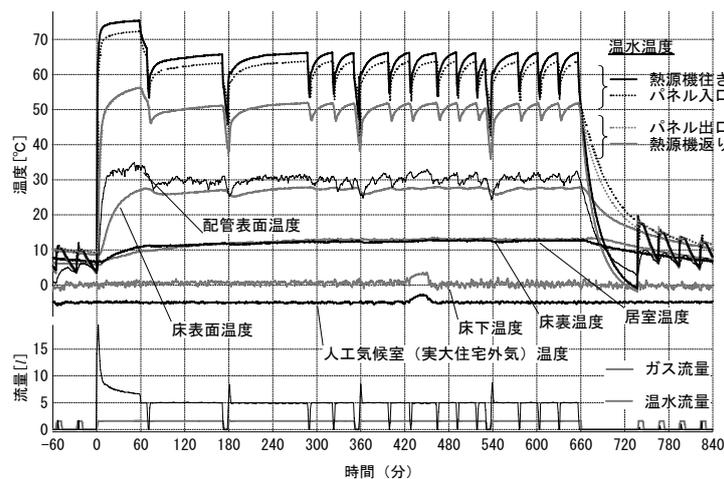
実験例Aは熱負荷が中程度の場合の結果である。熱源機行き温水温度は約60℃で断続的に供給

されていた。実験開始60分以降、熱源機のバーナーの燃焼が発停するのに対応して、ガスは断続的に消費されていた。120分から180分の間では、熱源機バーナーの燃焼発停と同時に温水供給の発停も行われており、この期間の発停は15分稼働し5分停止する20分サイクルであった。室温が20°C近くに達した170分あたりから徐々に稼働時間が短くなり、例えば600分あたりでは10分稼働し10分停止するサイクルであった。温水供給停止後、再稼働する際に、供給温水温度を60°Cに制御するためにガス消費量が多くなっていた。床表面温度は温水供給の発停により多少上下するものの、概ね31°Cで一定していた。熱源機行き温水温度に比してパネル入口温度は3°C程度低く、行き温水について温度低下が見られた。一方、パネル出口温度と給湯機還り温度はほぼ等しく温度低下は見られなかった。これは、行きと還りをペアにしたペアチューブを配管に使っていることから、行き温水から還り温水へ熱の授与が生じたためと思われる。



(i) 暖房負荷が中程度のとき

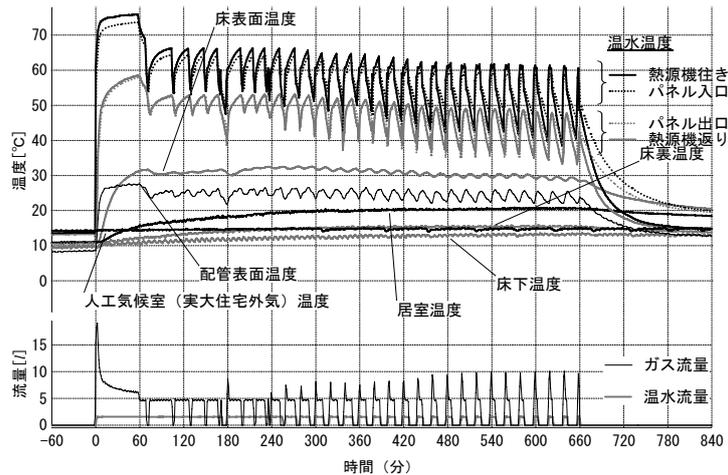
(実験例A：断熱性能「高い」 外気温度5°C 温水配管の種類「サヤ管」)



(ii) 暖房負荷が大きいとき

(実験例B：断熱性能「低い」 外気温度-5°C 温水配管の種類「サヤ管」)

図4.1.6 (1) 熱源機に従来型給湯機を用いた場合の各温度・流量の推移



(実験例C：断熱性能「高い」 外気温度15°C 温水配管の種類「断熱管」)

図4.1.6 (2) 熱源機に従来型給湯機を用いた場合の各温度・流量の推移

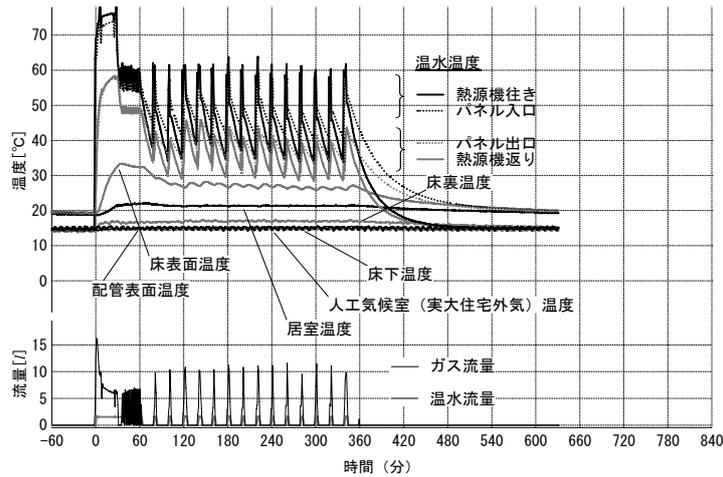
実験例Bは暖房負荷が大きい場合の結果である。床暖房の処理能力を超えるように暖房負荷を設定したため、室温は20°Cに達しなかった。また、温水の供給は連続して行われていた。ただし、180分ごとに温水供給が停止した。これは連続してガスを使用し続けると安全のためガスメーターにおいて使用時間遮断が働くようになっており、これを防ぐためである。床暖房の運転停止後(660分以降)、断続的にガスの消費が行われ、それに合わせて温水ポンプが作動していた。これは外気温度が低いために凍結防止装置が働いたためである。

実験例Cは暖房負荷が小さい場合の結果である。実験開始後約270分で室温は20°C近くに達し、それ以降温水供給の発停時間は減少した。実験開始後600分から660分の間では、温水供給は5分稼働し15分停止するサイクルであった。

潜熱回収型熱源機について、低温制御を行わない場合(実験例D)と低温制御を行う場合(実験例E)について図4.1.7に示す。

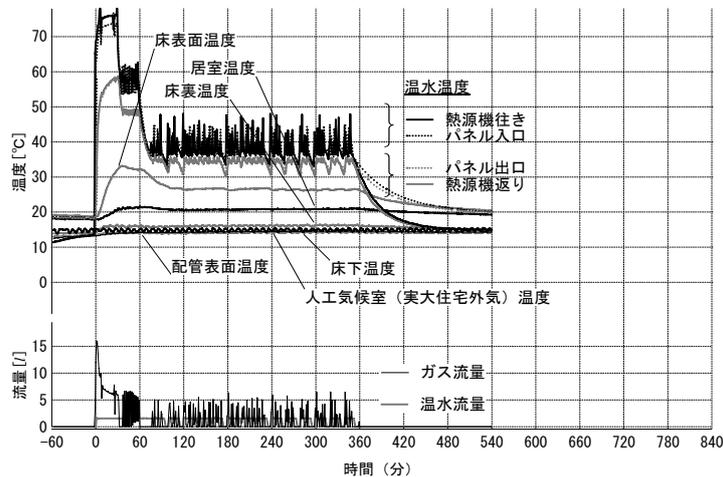
実験例Dは暖房負荷が小さく、供給温水の低温制御を行わない場合の結果である。なお、定常状態に達するのが早かったため、他の実験と異なり運転時間は6時間である。負荷が非常に小さいため、温水供給運転時間は短く、4分稼働し16分停止するサイクルであった。室温は20°Cを超えており、熱負荷が小さいため床パネルからの放熱も少なく、床表面温度は約27°Cと他の実験に比べて低かった。

実験例Eは暖房負荷が実験例Dと同様に小さく、供給温水の低温制御を行った場合の結果である。低温制御なしの場合(実験例D)と同様に定常状態に達するのが早かったため、床暖房の運転時間は6時間である。温水供給は14分稼働し6分停止するサイクルであった。暖房負荷は実験例Fとほぼ同じであったが、供給温水温度が約40°Cと低いため、稼働時間は実験例Fよりも長かった。



(i) 暖房負荷が小さいとき (低温制御なし)

(実験例D: 断熱性能「高い」 外気温度15°C 温水配管の種類「断熱管」)



(ii) 暖房負荷が小さいとき (低温制御あり)

(実験例E: 断熱性能「高い」 外気温度15°C 温水配管の種類「断熱管」)

図4.1.7 熱源機に潜熱回収型給湯機を用いた場合の各温度・流量の推移

(2) 熱供給量および熱損失量

実験結果より、パネル熱供給量、パネル熱損失量、配管熱損失量および熱源機熱損失量を計算する。各熱供給・損失量の定義を表4.1.3に、概念図を図4.1.8に示す。

表4.1.3 各熱供給／熱損失の定義

名称	意味
居室への熱供給	床に敷設された放熱パネルから居室側(床上側)へ放熱される熱量。
床パネル熱損失	床に敷設された放熱パネルから床下側へ放熱される熱量。
配管熱損失	熱源機と床放熱パネルをつなぐ温水配管から放熱される熱量。
熱源機熱損失	熱源機でロスされる熱量。熱源機出力から入力を減じた量。

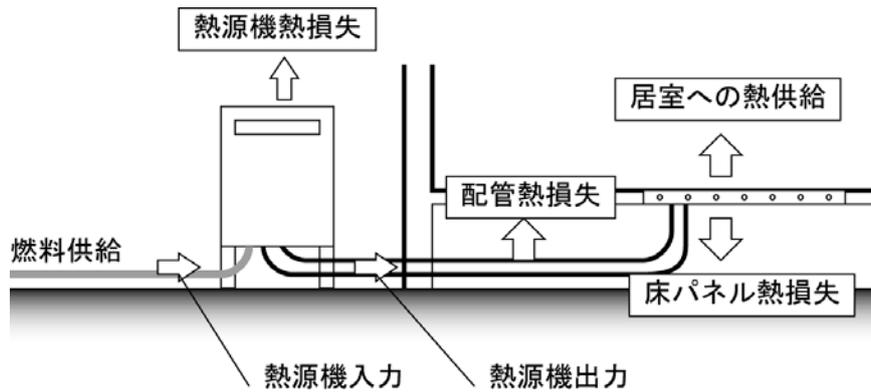


図4.1.8 熱供給・熱損失の概念図

床パネルに供給される熱 $q_{pnl}$ は、パネル入口温水温度 $T_{pnl,in}$ とパネル出口温水温度 $T_{pnl,out}$ の差に温水流量 $w$ を乗じて式(1)により与えられる。この値を居室側と床下側の床表面に取り付けた熱流計で計測した熱流 $h_{room}$ 、 $h_{crawl}$ に振り分け、居室への熱供給 $q_{pnl,spy}$ と床パネル熱損失 $q_{pnl,loss}$ を式(2a)および(2b)により求めた。

$$q_{pnl} = (T_{pnl,in} - T_{pnl,out}) \times w \times C \quad (1)$$

$$q_{pnl,spy} = q_{pnl} \times \frac{h_{room}}{h_{room} + h_{crawl}} \quad (2a)$$

$$q_{pnl,loss} = q_{pnl} \times \frac{h_{crawl}}{h_{room} + h_{crawl}} \quad (2b)$$

配管熱損失 $q_{pipe}$ は、熱源機行き温水温度 $T_{hs,spy}$ 、熱源機戻り温水温度 $T_{hs,rtn}$ より求まる熱源機出力 $q_{hs,out}$ から床パネルに供給される熱量 $q_{pnl}$ を減じて次式により求めた。

$$\begin{aligned} q_{pipe} &= q_{hs,out} - q_{pnl} \\ &= \left\{ (T_{hs,spy} - T_{pnl,in}) + (T_{pnl,out} - T_{hs,rtn}) \right\} \times w \times C \end{aligned} \quad (3)$$

熱源機の熱損失は、ガス消費量 $g$ から求まるエネルギー消費量（熱源機の入力） $E$ から出力 $q_{hs,out}$ を減じて、次式により求めた。

$$\begin{aligned} q_{hs,loss} &= E - q_{hs,out} \\ &= gH - (T_{hs,spy} - T_{hs,rtn}) \times w \times C \end{aligned} \quad (4)$$

各熱供給量・熱損失量の算出結果を図4.1.9に示す。外気温度が低くなるにつれて居室への供給熱量が大きくなっており、外気温度 $-5^{\circ}\text{C}$ の場合にパネル熱供給量 $1500\sim 2000[\text{W}]$ 、外気温度 $15^{\circ}\text{C}$ の場合 $300\sim 700[\text{W}]$ となった。配管熱損失も外気温度が低くなるにつれて大きくなり、外気温度 $-5^{\circ}\text{C}$ の場合に約 $500[\text{W}]$ 、外気温度 $15^{\circ}\text{C}$ の場合に $100[\text{W}]$ 以下となっている。一方、熱源機熱損失は外気温度やパネル熱供給量にあまり依存しておらず、従来型で $480\sim 890[\text{W}]$ 、潜熱回収型で $370\sim 750[\text{W}]$ 、潜熱回収低温型で $210\sim 320[\text{W}]$ となった。



$$q_{pnl} = \frac{T_{pnl} - T_{room}}{R_u} + \frac{T_{pnl} - T_{crawl}}{R_d} \quad (8)$$

式(7a)と式(8)より床パネル放熱面平均温度 $T_{pnl}$ を消去すると、

$$\begin{aligned} q_{pnl} &= q_{pnl,spy} + \frac{1}{R_d} (q_{pnl,spy} \times R_u + T_{room} - T_{crawl}) \\ &= \frac{R_u + R_d}{R_d} \left( q_{pnl,spy} + \frac{T_{room} - T_{crawl}}{R_u + R_d} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

となる。なお、式(9)を $q_{pnl,spy}$ について解き、式(10)のように変形すると、右辺第一項は居室温度と床下温度に差がないときのパネルから居室への熱供給量、右辺第二項は床暖房を運転していない時の居室から床下への熱損失を表し、これらの重ね合わせで床パネルから居室への熱供給量が求まることがわかる。

$$q_{pnl,spy} = q_{pnl} \times \frac{R_d}{R_u + R_d} - \frac{T_{room} - T_{crawl}}{R_u + R_d} \quad (10)$$

また、式(9)の右辺括弧内の第一項は床放熱パネルから室内側に供給される熱量を表し、第二項は床暖房を運転していない時の床放熱パネルを通した居室から床下への熱損失を表す。床放熱パネルから室内側に供給された熱は、最終的に床放熱パネル以外の外皮から外気へ流出すると考えると、第一項と第二項の和は熱負荷計算等で求まる暖房負荷 $L$ と等しくなることがわかる。

$$\begin{aligned} q_{pnl} &= \frac{R_u + R_d}{R_d} (L_{env} + L_{pnl}) \\ &= \frac{R_u + R_d}{R_d} \times L \end{aligned} \quad (11)$$

床放熱パネルの供給熱量に関して、式(11)を用いて計算した結果と実験で得られた結果とを比較した(図4.1.10)。その際、パネルから居室および床下までの熱抵抗 $R_u$ 、 $R_d$ は表4.1.4に示す値を用いた。なお、床放熱パネルの熱抵抗は貼付されている断熱材の熱抵抗に等しいとし、パネル配管の熱抵抗や配管内側の熱伝達抵抗等は無視した。

熱負荷 $L$ のうち、 $L_{env}$ は床パネルから居室への供給熱量 $q_{pnl,spy}$ に等しいとし、 $L_{pnl}$ は居室と床下の空気温度差と床の熱抵抗から算出した。その際、居室と床下の空気温度は実測値を用い、床の熱抵抗は表4.1.4の値を用いた。

床パネルから上下への放熱は水平温度分布が生じるなど、実際の性状は複雑であるが、図4.1.10の計算結果を見ると、熱抵抗 $R_u$ 、 $R_d$ を用いた単純な計算でも床パネル投入熱量を推定できるといえる。

表4.1.4 計算で用いた床放熱パネルの熱抵抗

断熱材厚40mmの実験			
床上側熱抵抗Ru			
	厚さ[mm]	熱伝導率[W/mK]	熱抵抗[m <sup>2</sup> K/W]
熱伝達抵抗(室内側)			0.14
+) 合板	12	0.16	0.075
床上側熱抵抗			0.215
床下側熱抵抗Rd			
床暖房パネル	12	0.045	0.27
合板	24	0.16	0.15
木材(8.4%)	40	0.12	0.33
断熱材(91.6%)	40	0.04	1.00
+) 熱伝達抵抗(室外側)			0.56
床下側熱抵抗			1.92
断熱材厚90mmの実験			
床上側熱抵抗Ru			
	厚さ[mm]	熱伝導率[W/mK]	熱抵抗[m <sup>2</sup> K/W]
熱伝達抵抗(室内側)			0.14
+) 合板	12	0.16	0.075
床上側熱抵抗			0.215
床下側熱抵抗Rd			
床暖房パネル	12	0.045	0.27
合板	24	0.16	0.15
木材(8.4%)	90	0.12	0.75
断熱材(91.6%)	90	0.04	2.25
+) 熱伝達抵抗(室外側)			0.56
床下側熱抵抗			3.10

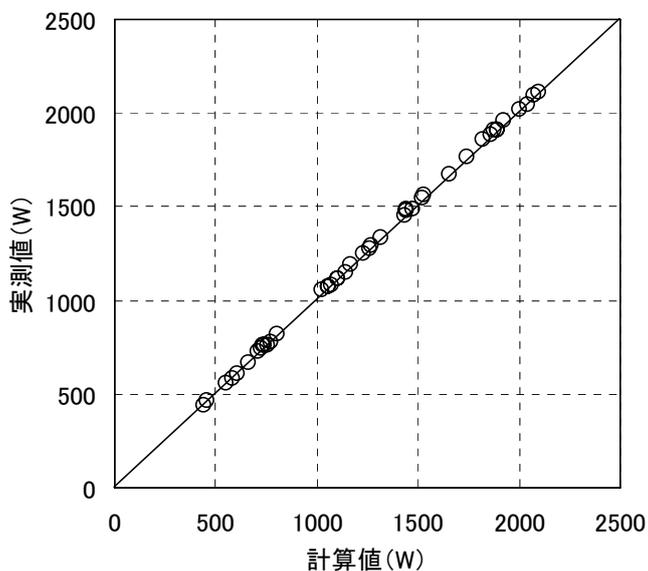


図4.1.10 床放熱パネル供給熱量に関する計算値と測定値の比較

2) 配管熱損失 ( $q_{pipe}$ )

配管熱損失は単位長さあたりの配管熱損失 $C_{pipe}$ と配管長さ $l_{pipe}$ により次式で表される。

$$q_{pipe} = C_{pipe} \times l_{pipe} \tag{12}$$

単位長さあたりの配管熱損失 $C_{pipe}$ は、熱源機の供給温水温度 $T_{water,ctrl}$ と床下温度 $T_{crawl}$ との差、配

管の熱損失係数 $K_{pipe}$ 、温度低下係数 $d$ を用いて、次式により与えられる。

$$C_{pipe} = K_{pipe} \times (T_{water,ctrl} - T_{crawl}) \times d \quad (13)$$

ここで温度低下係数 $d$ とは、温水の供給を停止した時に配管内の温水が放熱により温度低下し、放熱量が少なくなる影響を表した係数であり、配管の熱容量 $c$ 、温水供給の発停サイクル $h$ とそのサイクル内で温水供給を行っている時間の割合を表す係数である温水供給運転率 $r$ を用いて、次式により与えられる。なお、温水供給の発停サイクル $h$ は熱源機の仕様により定まっている。メーカーへのヒアリングや実験結果から、運転開始時以外は20分サイクルで制御が行われていたため、 $h$ を20分とした。

$$d = r + \frac{1 - e^{-(K_{pipe}h(1-r)/c)}}{K_{pipe}h/c} \quad (14)$$

なお、本来であれば $T_{water,ctrl}$ を連続通湯時の配管内温水温度の行きと還りの平均値を用いるべきである。しかし、温水温度は配管と床パネルの放熱に伴い徐々に低下すること、ペアチューブでは行きと還りの温水での熱の授受があることから、配管内の温水温度を計算で求めるのは難しい。そのため、ここでは簡易的に熱源機の供給温水温度を用いた。

温水供給運転率 $r$ は熱源機の制御により定まる値であるため、この値を求めるには正確には制御ロジックを定める必要がある。ただし制御ロジックは熱源機により多様であるため、 $r$ の推定方法を熱源機ごとに定めるのは望ましい方法とはいえない。そこで、温水供給運転率 $r$ を説明する変数として床暖房パネル投入熱量 $q_{pm}$ に着目した。両者の関係を図4.1.11に示す。本研究では簡単のため、両者は比例関係にあるとした。

次に配管熱損失に関して計算値と測定値を比較した（図4.1.12）。相関係数は0.48であり、良い一致を示しているとはいえない。これについては、今後、配管の熱容量や配管内の温水の上流から下流に至る温度分布などを考慮したより詳細な検討が必要と思われる。

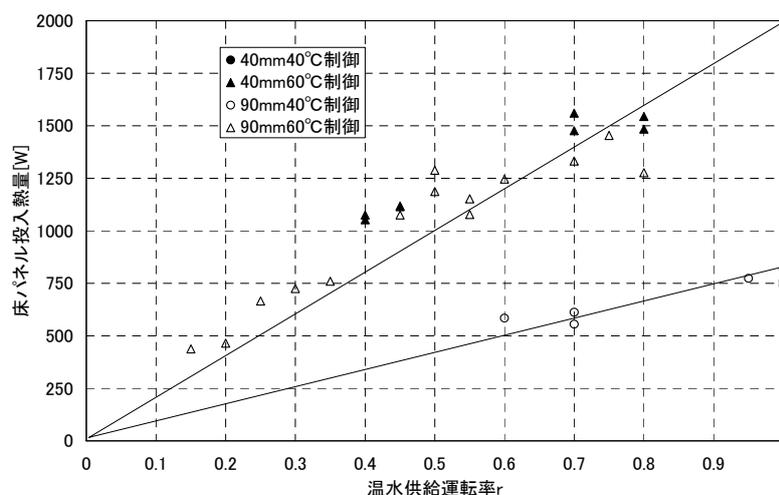


図4.1.11 温水供給運転率に対するパネル投入熱量

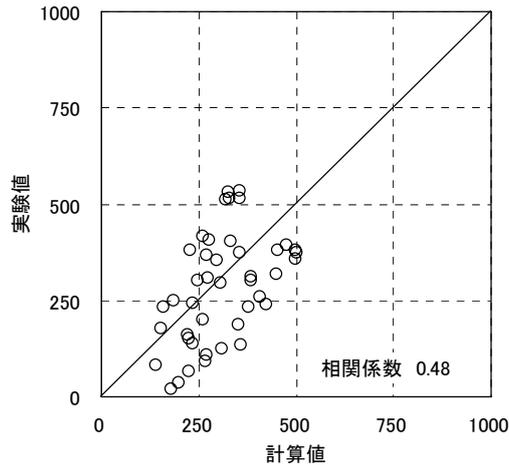


図4.1.12 配管熱損失に関する計算値と測定値の比較

### 3) 熱源機効率 ( $e_{hs}$ )

実験から得られた熱源機の出力と熱源機効率の関係を図4.1.13に示す。熱源機出力の下限値 (2.56kW) 以上では効率の低下はほとんど見られなかった。一方、この下限値を下回りバーナーの発停が行われる出力帯では熱源機効率の低下が見られた。熱源機はバーナーの発停や温水供給の発停を伴った複雑な挙動を示すため、効率の低下要因を検討するのは容易ではなく今後の課題である。ここでは、実験結果から、熱源機出力が熱源機出力の下限値の場合における熱源機効率を定格効率の0.9倍とし、負荷が熱源機の定格出力と熱源機出力の下限値との間の熱源機効率を直線で近似し (式15a)、負荷が熱源機出力の下限値を下回りバーナーの発停を伴う場合、熱源機熱損失を一定と仮定した (式15b)。

$$e_{hs} = e_{rated} \left( \frac{0.9q_{hs,rated} + 0.1q_{hs,out} - q_{hs,lower}}{q_{hs,rated} - q_{hs,lower}} \right) \quad (q_{hs,lower} < q_{hs}) \quad (15a)$$

$$e_{hs} = \frac{q_{hs,out}}{q_{hs,out} + q_{hs,loss}} \quad (q_{hs} < q_{hs,lower}) \quad (15b)$$

上式から $q_{hs,loss}$ を計算した結果、従来型で853[W]、潜熱回収型で640[W]、潜熱回収型低温制御で320[W]とした。

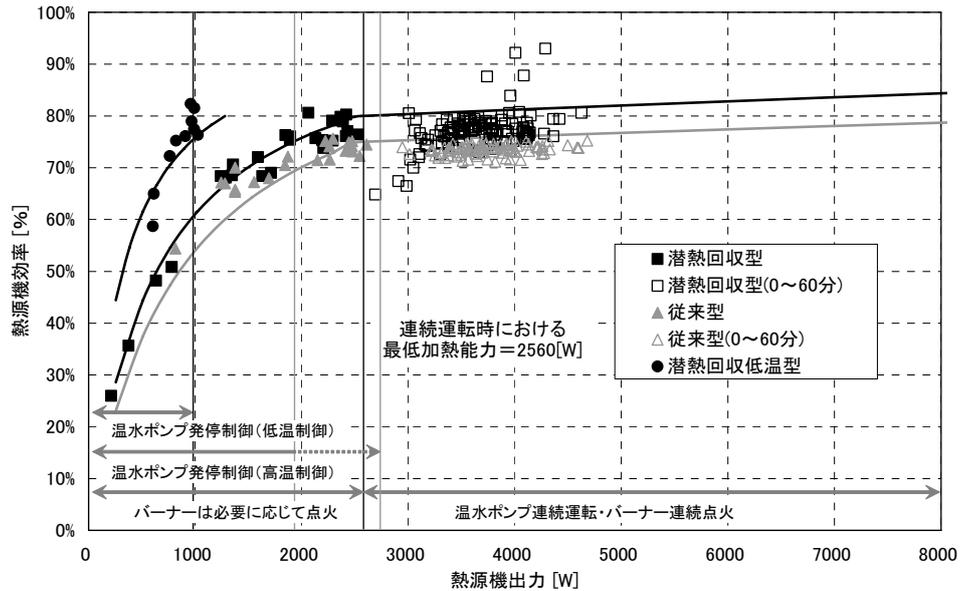


図4.1.13 熱源機出力に対する熱源機効率

4) 低温制御移行の判断

熱負荷から必要な床パネル供給熱量を式(11)により求めることができる。この値が低温制御（本実験では40℃制御）で連続運転（温水供給率 $r$ が1）した場合のパネル投入熱量を上回る場合、40℃制御で連続運転しても必要な熱負荷を補うことができないと考え60℃制御で運転するものとし、この値を下回る場合は40℃制御に移行すると仮定した。

5) 計算フロー

各入力パラメータから一次エネルギー消費量を求める計算手順を図4.1.14に示す。

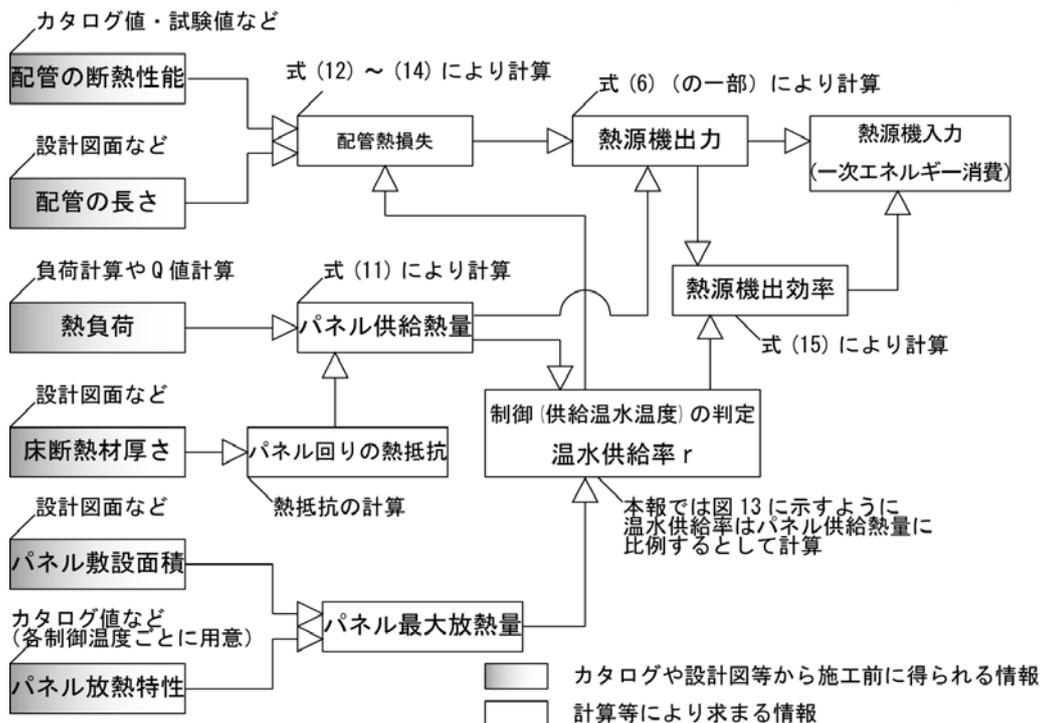


図4.1.14 本推定法の計算フロー

#### 6) 実験結果との比較

ここまで、床パネル供給熱量 $q_{pnl}$ 、配管熱損失 $q_{pipe}$ 、熱源機効率 $e_{hs}$ の定め方について示した。この値と式(6)から一次エネルギー消費量を計算し、計算結果と実験値とを比較した(図4.1.15)。両結果は概ね一致しており、本推定方法によりエネルギー消費量を十分に予測することができると言える。

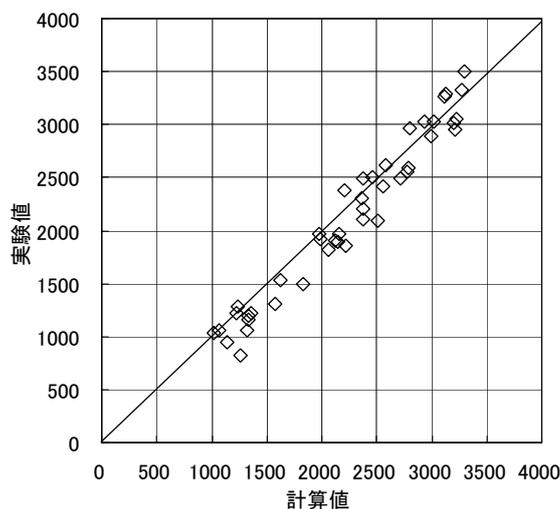


図4.1.15 推定結果と実験結果との比較

#### 4.1.4 まとめ

温水床暖房のシステムと暖房負荷を変化させた実験を行い、実験結果からエネルギー消費量推定法を構築した。推定法の入力パラメータは設計図面や機器のカタログ値等とし、設計段階においてエネルギー消費量を推定できるように留意した。床パネルの投入熱量は、熱抵抗 $R_u$ 、 $R_d$ を用いた計算により十分推定することができることを示した。配管熱損失については計算値と実測値とであまり良い一致が得られなかった。今後、配管の熱容量や配管内の温水の上流から下流に至る温度分布などを考慮したより詳細な検討が必要と思われる。上記、床パネル供給熱量および配管熱損失の予測方法と熱源機効率曲線を用いて、一次エネルギー消費量の推定法を構築し、本推定法によって得られた結果と実験値とを比較し、両者は概ね一致していることを確認した。

## 4.2 エアコンの実働効率予測法の開発

これまで暖冷房機器性能はJIS等の規格で定められる定格状態で評価されるのが一般的であり、エアコンの場合、JIS8605-1<sup>1)</sup>にその測定方法が規定されており、測定されたエネルギー効率 $\text{COP}$ として表現されている。

一方で、エアコンの効率は、外気や室内の温湿度、暖冷房負荷、運転モードなどにより変動することが知られており<sup>2)~7)</sup>、文献6)、7)では、これらの運転状況が機器効率に与える影響について明らかにされている。住宅の暖冷房負荷計算結果から、暖冷房期間中ほとんどが部分負荷運転である<sup>8)</sup>ことを考えると、期間エネルギー消費量を推定するには、定格能力以外の効率について明らかにすることが不可欠であるといえる。

建物の躯体性能に加え、そこに導入されるエアコンの機器効率も勘案し、暖冷房の期間一次エネルギー消費量により躯体と機器を併せて省エネ性能を評価すること<sup>注1)</sup>を最終の目的とし、種々の運転状況がエアコンの機器効率に与える影響を把握するための実験を行った。

### 4.2.1 実験概要

人工気候室内に建つ木造住宅にエアコンを設置し、人工気候室内の温湿度、木造住宅の換気量および室内発熱量を変動させて、室内機および室外機まわりの温湿度、処理熱量（暖冷房負荷）を制御した。以下本論文では、木造住宅内を室内側、人工気候室内で木造住宅に対し外側を室外側と呼ぶ。

実験で用いたエアコンの仕様を表4.2.1に、測定項目を表4.2.2に示す。エアコンの処理熱量は室内機の吸い込みと吹き出しのエンタルピー差に吹き出し風量を乗じて算出した。吹き出し風量の計測は、室内機ファンの回転数を計測し、別途作成した回転数と風量との関係式を用いて求めた<sup>注2)</sup>。

表4.2.1 実験に用いたエアコンの仕様

		冷房	暖房
COP		6.38	6.67
能力	定格[kW]	2.2	2.8
	最小[kW]	0.6	0.6
	最大[kW]	3.3	5.9
消費電力	定格[W]	345	420
	最小[W]	75	75
	最大[W]	690	1300

表4.2.2 測定項目

測定項目		測定点数	測定器の種類	測定間隔	
エアコン	室内機	吹き出し温度	3	T型熱電対	1分
		吹き出し湿度	1	静電容量型湿度計	1分
		吸い込み温度	1	T型熱電対	1分
		吸い込み湿度	1	静電容量型湿度計	1分
		回転数	1	フォロマイクロセンサ	1分
	室外機	吹き出し温度	1	T型熱電対	1分
吸い込み温度		1	T型熱電対	1分	
消費電力		1	電力計	1分	
室内側	温度	1	サーミスタ	1分	
	湿度	1	抵抗変化型湿度計	1分	
室外側	温度	1	サーミスタ	1分	
	湿度	1	抵抗変化型湿度計	1分	

実験条件を表4.2.3に示す。屋外温湿度と室内温度は、JISで示される定格条件をもとに作成し、その条件を基準として外気温度を5°C刻みに、外気相対湿度を概ね20%刻みに変動させた。室内湿度は成り行きとし、エアコンの設定温度を冷房の場合24,27,30°C、暖房の場合20,22,24°Cとし、通常の冷房運転に加え、除湿モードも実施した。また、第三種換気により換気量を調節することで、暖冷房負荷を変動させた。ただし、設備上、換気量に上限があったため、冷房実験のみ室内をヒーターにより加熱することで負荷を調節した。換気量およびヒーター発熱量の設定値を表4.2.4に示す。表4.2.3に示す実験ごとに、設定1から設定7（冷房）あるいは設定4（暖房）まで変えた。各条件および各設定において、消費電力・暖冷房負荷を計測した。その際、エアコンの挙動が十分定常となったところを計測するために、少なくとも1設定に3時間以上の時間をかけた。

表4.2.3 実験条件

空調条件	検討項目	屋外条件		エアコン設定
		温度 [°C]	湿度 [%]	温度 [°C]
冷房	屋外温度	35	40	27
		30	40	27
		25	40	27
	屋外湿度	35	80	27
		35	60	27
	室内温度	35	40	30
		35	40	24
除湿	35	40	27	
暖房	屋外温度	-3	87	20
		2	87	20
		7	87	20
		12	87	20
	屋外湿度	7	70	20
		7	50	20
	室内温度	7	87	22
		7	87	24

表4.2.4 換気量およびヒーター発熱

	冷房実験		暖房実験
	換気量	ヒーター発熱量	
設定1	150m <sup>3</sup> /h	1500W	150m <sup>3</sup> /h
設定2	150m <sup>3</sup> /h	1000W	100m <sup>3</sup> /h
設定3	150m <sup>3</sup> /h	500W	50m <sup>3</sup> /h
設定4	150m <sup>3</sup> /h	0W	0m <sup>3</sup> /h
設定5	100m <sup>3</sup> /h	0W	/
設定6	50m <sup>3</sup> /h	0W	
設定7	0m <sup>3</sup> /h	0W	

## 4.2.2 結果と考察

### (1) 測定結果

冷房実験結果の例を図4.2.1に示す。上段は室内機吸い込み空気と吹き出し空気の温湿度、下段は消費電力と潜熱と顕熱を合わせた処理熱量（以下、全熱処理熱量）、潜熱処理熱量、および機器効率（処理熱量を消費電力で除した値）である。例として、立ち上がり時の負荷が大きい場合（設定1）と、最も負荷が小さい場合を示す（設定7）。負荷が大きい場合（1）、立ち上がり直後30分間は消費電力と処理熱量ともに大きい。その後、運転開始後1時間半あたりから定常運転となる。吸い込み空気の絶対湿度と吹き出し空気の絶対湿度の差はわずかであり、処理熱量（潜熱）はほとんどなかった。機器効率は4～5であった。負荷が小さい場合（2）、発停を繰り返しており、運転中の吹き出し温度は16～17℃であり、停止中は吸い込み温度に近づいていく。運転中の絶対湿度は吸い込み吹き出しともに10.5～11.0(g/kg)であり、ほとんど処理熱量（潜熱）はなかった。停止中に吹き出し空気の絶対湿度が上昇するのは、温度センサと湿度センサの時定数の違いが原因と考えられる。

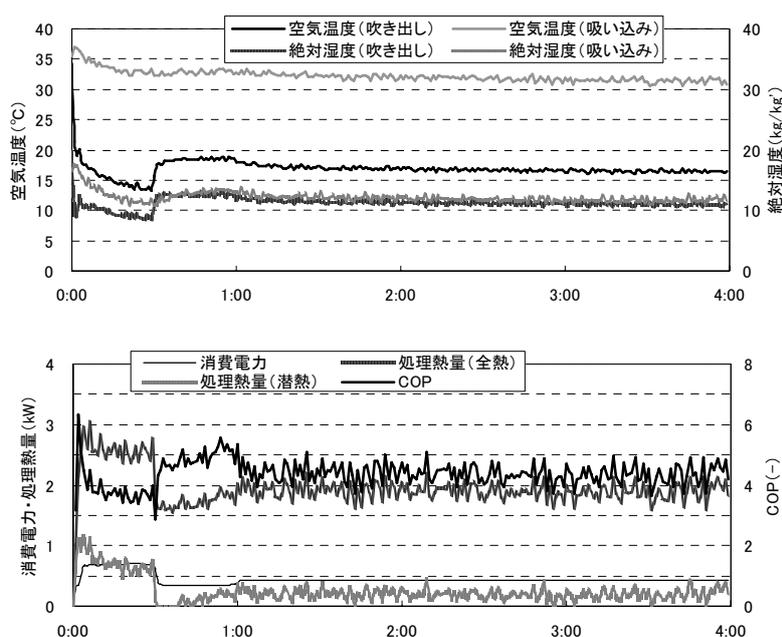


図4.2.1 (1) 冷房実験の結果（屋外条件35℃40%・設定温度27℃）：設定1

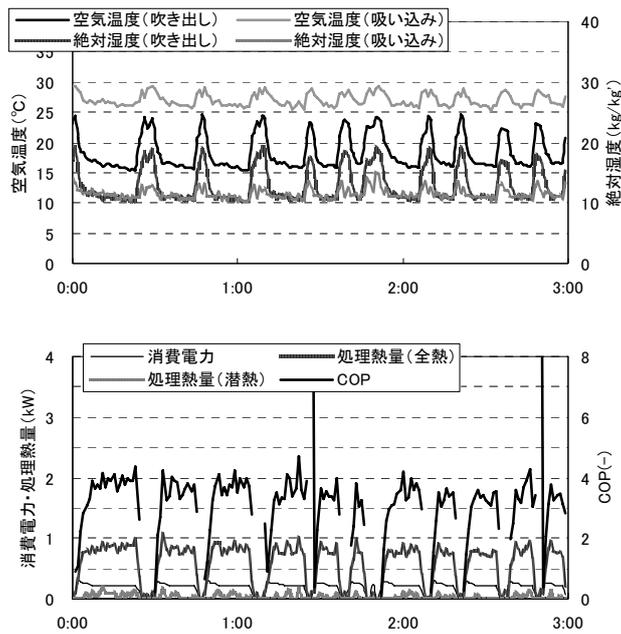


図4.2.1 (2) 冷房実験の結果 (屋外条件35°C40%・設定温度27°C) : 設定7

図4.2.2は暖房実験結果の例を示したものであり、図4.2.1同様、運転開始直後の負荷が大きい場合 (設定1) と負荷が小さい場合 (設定4) を示す。運転開始後1時間で挙動は安定し、機器効率は3.7~4.2となった。負荷が小さい場合、発停を繰り返していた。消費電力は運転再開直後、250 (W) 程度を示すが、10分ほどで200~220 (W) に落ち着く。処理熱量は消費電力ほどすぐには上昇せず、650 (W) 程度まで上昇するのに10分ほど時間を要する。その後、消費電力の減少とともに処理熱量も減少するが、再び徐々に上昇し、運転停止直前では670 (W) 程度まで上昇する。

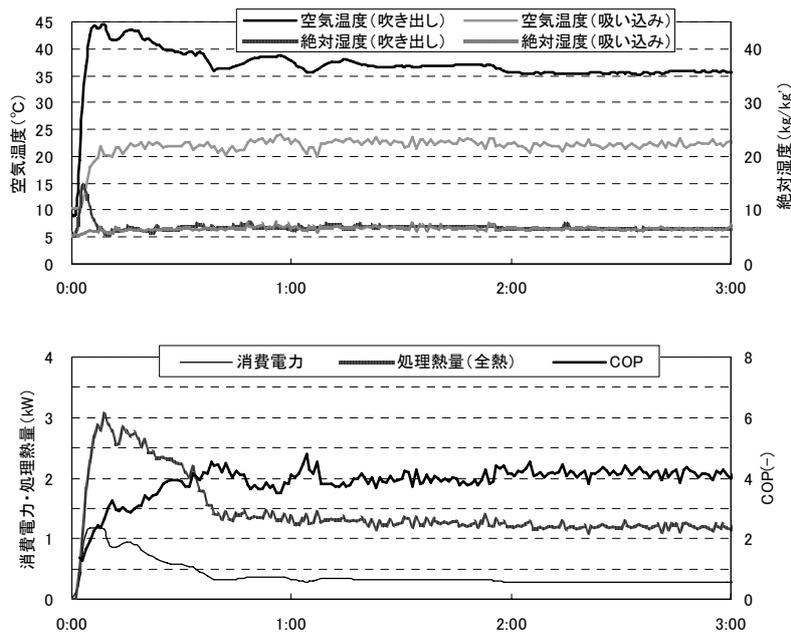


図4.2.2 (1) 暖房実験の結果 (屋外条件7°C87%・設定温度20°C) : 設定1

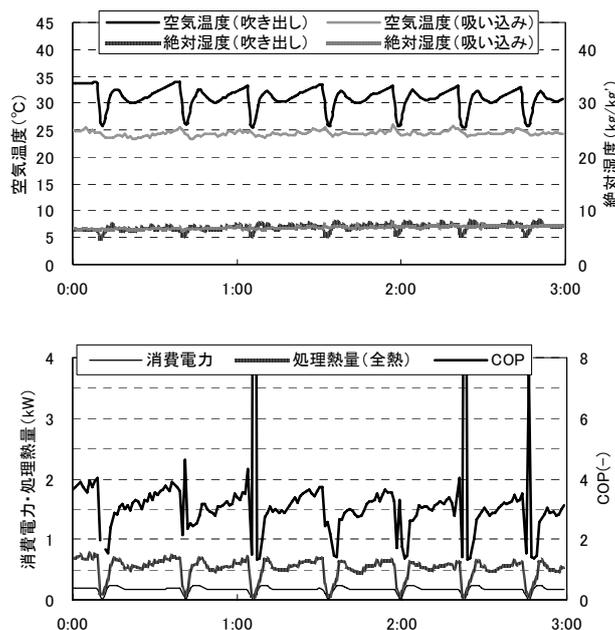


図4.2.2 (2) 暖房実験の結果（屋外条件7°C87%・設定温度20°C）：設定4

図4.2.1、図4.2.2は今回実施した実験の一部であり、他の結果も含め、次節以降で室内外の温湿度や処理熱量が機器効率に与える影響を検討する。その際、各値に2時間以上の平均値を用い、同時に時系列データから十分に挙動が安定していることを確認した。

## (2) 運転条件が処理熱量に及ぼす影響

冷房時の消費電力と顕熱処理熱量の関係を図4.2.3に示す。凡例は室外温度を27.5°C未満、27.5°C以上32.5°C未満、32.5°C以上のカテゴリに分け、それぞれ25°C、30°C、35°Cと示し、同様に室内相対湿度も40%、50%、60%に分けた。消費電力が140~250(W)以下の領域では断続運転となった。室内湿度が40%の時の処理熱量を比較すると（図中、A、B、C）、室外温度が低いと顕熱処理熱量が大きい。一方、室外温度35°Cの時の処理熱量を比較すると（図中、あ、い、う）、相対湿度が高いと、顕熱処理熱量が小さい。これは、相対湿度が高いと潜熱処理熱量が増え、冷媒の凝縮温度が処理熱量の増加分だけ下がることが要因である。ただし、その差はわずかであることから、今後、冷房時に顕熱処理熱量のみから電力消費量を推定する方法も考えられる。

冷房時の消費電力と潜熱処理熱量の関係を図4.2.4に示す。室外温度35°Cの時の処理熱量を比較すると（図中、あ、い、う）、室内相対湿度が潜熱処理熱量に与える影響が大きいことがわかる。一方で、断続運転が行われている低負荷時の潜熱処理熱量は小さい。これは低負荷運転では凝縮温度が上昇し、吸い込み空気の露点温度に近く、あるいはそれ以上になるため、潜熱処理熱量が低くなるものと推測される。

暖房時の消費電力と処理熱量の関係を図4.2.5に示す。室外相対湿度90%の時の処理熱量を比較すると（図中、あ、い、う、え）、室外温度が高いと処理熱量も大きい。一方、室外相対湿度が処理熱量に及ぼす影響は実験結果が少ないことからあまりよく分からなかった。ただし全体的に絶対湿度が低いことからあまり影響はないものと推測される。また、冷房運転と同様、消費電力が150~200(W)未満の領域で断続運転がみられた。デフロスト運転の有無は、外気温湿度が-3°Cおよ

び2℃かつ、暖房負荷が大きい（設定1～2）ときに発生した。暖房負荷が大きいときにデフロスト  
 運転がおきやすいのは凝縮温度が低下するためと推測される。

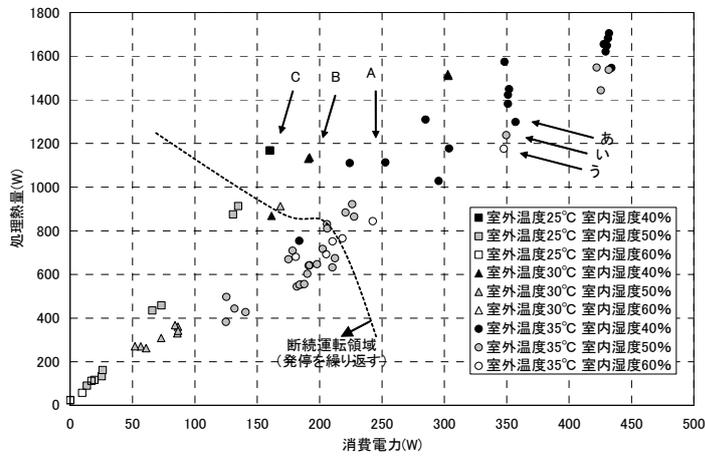


図4.2.3 消費電力と顕熱処理熱量（冷房運転時）

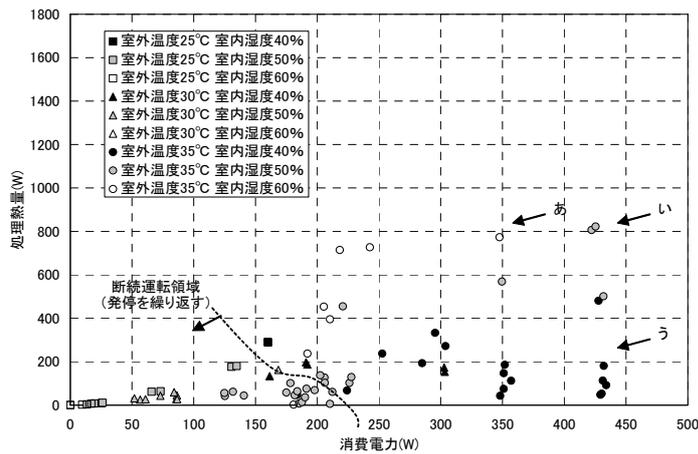


図4.2.4 消費電力と潜熱処理熱量（冷房運転時）

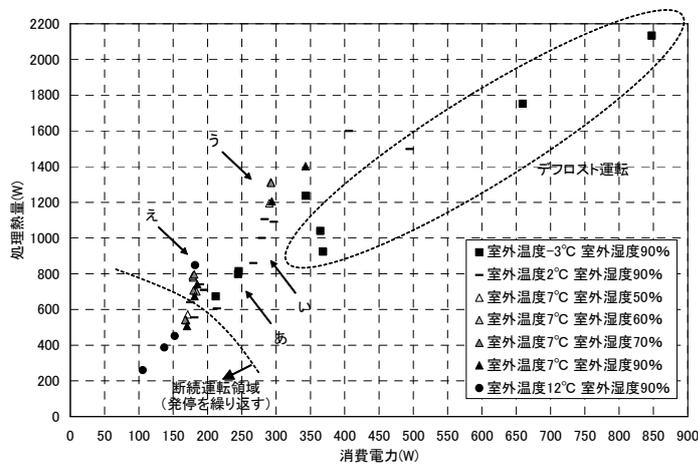


図4.2.5 消費電力と処理熱量（暖房運転時）

### 4.2.3 計算方法作成の基礎的検討

実験結果から、処理熱量の大小は、室内外の温湿度に大きく影響をうけていることが確認できた。文献2), 6), 7)では、室内外の温度が電力消費量や処理熱量に及ぼす影響についてまとめられている。ここでは、文献3)を参考に、表4.2.5に示す補正係数を用いて、冷房時は外気温度35℃、室内温度27℃、暖房時は外気温度7℃、室内温度20℃に修正した。修正結果を図4.2.6および図4.2.7に示す。なお、室内外の湿度が電力消費や暖冷房能力に与える影響は不明な点が多いため、プロットを室内湿度（冷房時）又は室外湿度（暖房時）ごとに分類した。図4.2.6、図4.2.7を見ると、概ね電力消費量と処理熱量に近似曲線（負荷曲線）がひけると考えられる。機種や容量が異なる機器においても、ここで示したような補正方法が適用できることが示されれば、次に、任意の機器における負荷曲線の定め方が必要となってくる<sup>注3)</sup>。

表4.2.5 室内外温度が電力消費量と暖冷房能力に与える影響

	暖房運転時		冷房運転時	
	室内温度	室外温度	室内温度	室外温度
電力消費変化割合(%/℃)	1.4%	1.3%	1.3%	1.4%
暖冷房能力変化割合(%/℃)	-1.3%	2.6%	2.6%	-1.3%

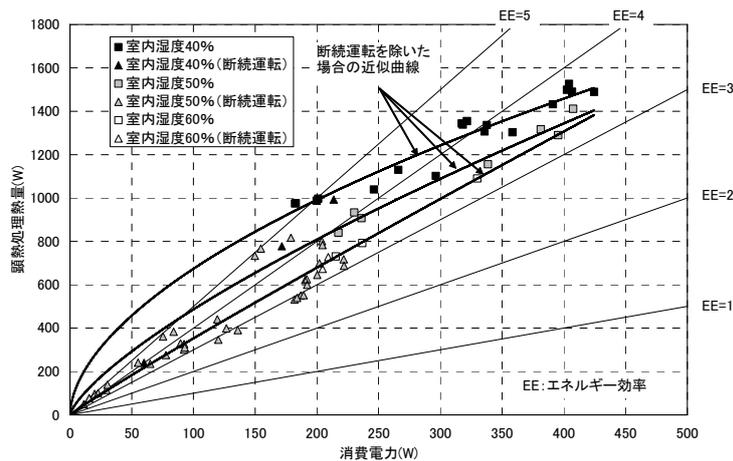


図4.2.6 補正後の消費電力と顕熱処理熱量（冷房運転時）

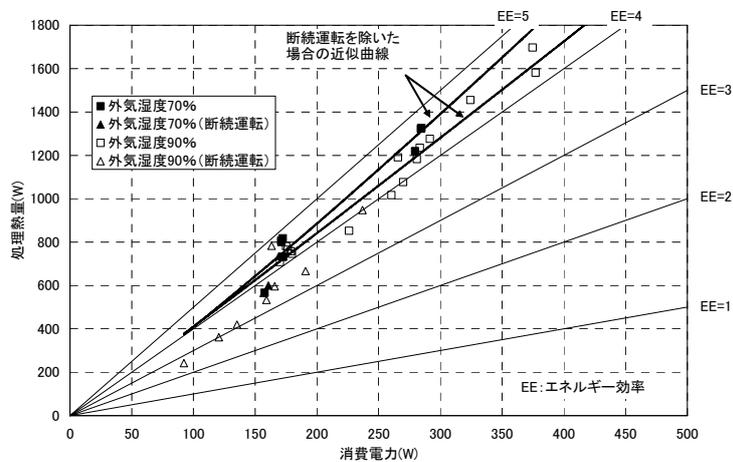


図4.2.7 補正後の消費電力と処理熱量（暖房運転時）

#### 4.2.4 まとめ

室内外温湿度や運転モードが処理熱量と電力消費量の関係に及ぼす影響を検討し、以下のことを明らかにした。

- (1) 試験機では、暖冷房運転ともに消費電力が140~250(W)以下の領域で断続運転となった。
- (2) 暖冷房時の室外外温度が顕熱処理熱量に与える影響について検討した。
- (3) 冷房時、室内相対湿度が高いと、顕熱処理熱量がわずかに小さくなる。
- (4) 冷房時、室内相対湿度が潜熱処理熱量に与える影響は大きい。一方で、断続運転が行われている低負荷時の潜熱処理熱量は小さく、室内相対湿度の影響はほとんどみられなかった。
- (5) 暖房時、デフロスト運転は、外気温湿度が-3℃および2℃かつ、暖房負荷が大きい（設定1~2）ときに発生した。
- (6) 室内外温度が処理熱量に与える影響について検討し、文献3)を参考に補正係数を導入した。その結果、概ね電力消費量と処理熱量に近似曲線がひけた。

#### 注釈

- 1) エアコンの省エネ性能の評価は従来のCOPによる評価から、外気温や暖冷房負荷を勘案し期間エネルギー消費で評価するAPF評価に移行しつつある。APF評価では簡易的に暖冷房負荷が外気温度に比例するとしている。エアコン同士の省エネ性能比較では問題ないが、他の暖房方式との比較などを目的とした場合、これは大胆な仮定であり、熱負荷計算を実施することが不可欠である。特に間欠運転を行う際の負荷分布は大きく異なる。
- 2) エアコン室内機の吹き出し風量は吹き出し口にフードを取り付け、その先に風量計（2台）を設置して計測した。測定は暖房と冷房でそれぞれ行った。
- 3) 個別の機器についてはあるが、細井らは蒸発温度と凝縮温度の実験値から理論COPを算出しそれに補正をすることで負荷曲線を作成している。また、細川はコンプレッサー周波数等を説明変数とし、処理熱量と電力消費の実験値から負荷曲線を作成している。

#### 参考文献

- 1) JIS B 8605-1 (1999)
- 2) 下田吉之ら:家庭用ルームエアコンディショナーの期間成績係数評価手法に関する研究, 第18回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.167~172, 2002.1
- 3) JIS C 9612 (2005)
- 4) 赤林伸一ら:家庭用エアコンCOP簡易測定法の開発, 日本建築学会技術報告集, 第22号, 2005.12
- 5) 浅間英樹ら:家庭用エアコンの実使用時における成績係数に関する研究 独立戸建住宅13棟に設置されたエアコンの測定結果, 日本建築学会環境系論文集, 第613号, pp.35~40, 2007.3
- 6) 細川隆行ら:家庭用ルームエアコンディショナーの冷房能力特性に関する実験, 日本建築学会環境系論文集, 第620号, pp.51~58, 2007.10
- 7) 細井ら:人工気候室における測定結果に基づく冷暖房COPの部分負荷特性 ルームエアコンディショナーの冷暖房COPおよびエネルギー消費量に関する研究 その1, 日本建築学会環境系論文集, 第621号, 2007.11

- 8) 坂本雄三ら : 住宅のエアコン暖冷房における消費エネルギー計算の標準化に関する研究 (その  
1:暖冷房負荷の標準化に関する検討) , 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1105~1106,  
2006.9

## 4.3 給湯設備の実働効率予測法の開発

### 4.3.1 実験概要

#### (1) 目的

住宅全体に占める給湯の消費エネルギーの割合は大きく、特に暖房負荷が小さい温暖地においては最大の用途の一つである。そのため住宅の省エネ化において、給湯における対策は極めて重要である。給湯の省エネ措置は主に、燃料を用いて給水を加熱する熱源の熱効率の向上（熱源の高効率化）と、消費される湯量の削減（給湯負荷の低減）の2つに分類される。

熱源については、燃料もガス・石油・電力と多様であり、地域ごとにその普及状況には特色がある。近年になり、熱源の高効率化の重要性が認知されるに従い、潜熱回収やヒートポンプを用いて高効率を達成している機種が登場、本格的な普及段階に入っている。

また、湯消費量については負荷の削減としては、従来より太陽熱温水器が用いられてきたが、最近では節湯型シャワーヘッドや水栓を用いたものも登場してきている。

一方で、そうした熱源や負荷低減の手法の効果については、特定の試験条件における評価が一般的であり、実使用に基づいた評価とはなっていない。また、機種ごとの形式ごとに異なった試験による効率がカタログ等に記載されており、機種間での横並びの評価を困難としていた。

本研究においては、こうした状況にかんがみ、以下の目的について検討を行ったものである。

- ・実住宅における実使用に基づいた給湯消費エネルギーの試験方法の開発
- ・開発された試験方法に基づき、日本における主要な形式の熱源機器や太陽熱温水器について網羅的に試験を実施し、その実効率を詳細に把握する
- ・試験結果を元に、地域の外気・給水温度から年間の消費エネルギーを算出する評価方法を構築する

## (2) 評価対象機器

日本においては地域ごとに気候が大きく異なっており、給湯機の燃料や形式も地域ごとに多様である。従来は、温暖地の都市圏では都市ガス・郊外ではプロパンガス、寒冷地では安価であった灯油が一般的であった。近年では、ヒートポンプ式の電気温水器が急速に普及してきている。また、温暖で晴天に恵まれる東海・中国・四国・九州では、太陽熱温水器の普及が進んでいる。

本研究においては、こうした全国の多様な給湯機に対応するため、図4.3.1に示すようにガス・灯油・電気の全ての燃料の試験対象機を、実証実験用集合住宅に設置した。この中には、高効率とされる潜熱回収型・ヒートポンプ式も含まれる。各試験機は、実証実験用集合住宅の4室にそれぞれ設置した。

また、太陽熱温水器については、安価で広く普及している自然循環式を主な対象とする一方で、不凍液を循環させて集熱させるソーラーシステムも最新のものを含めて試験対象としている(図4.3.2)。



図4.3.1 試験対象給湯機（熱源）



自然循環式太陽熱温水器



真空貯湯式



ソーラーシステム集熱部（真空管式）



ソーラーシステム貯湯部



ソーラーシステム集熱部（平板式）



ソーラーシステム貯湯部（右）

図4.3.2 試験対象 太陽熱温水器



(4) 実使用を反映させた給湯消費モードの設定

1) 給湯消費のマクロ特性とマイクロ特性

実使用時の熱源等の効率を機種間で比較するためには、実使用を標準化した給湯消費モードが不可欠である。以下では、熱源機器の効率特性を考慮しながら試験モード策定の根拠を示す。なお文中では、季節や地域による給水温度変化の影響を避けるため湯消費量をすべて湯量40℃換算の値で表現する。

住宅における湯消費は、空調・照明・家電機器とくらべて、ごく短時間の出湯に代表されるように断続的であり、またランダム性が強く日々消費量が大きく変動する傾向がある。そのため、ある時間間隔（時・日・月・年）における量ベースでの特性をマクロ特性、1つ1つの水栓の開け閉めを「消費行為」と定義し、「消費行為」ベースでの特性をマイクロ特性と呼ぶ（図4.3.4）。

- 消費行為: 1回の水栓開閉に伴う、時間的に連続した消費

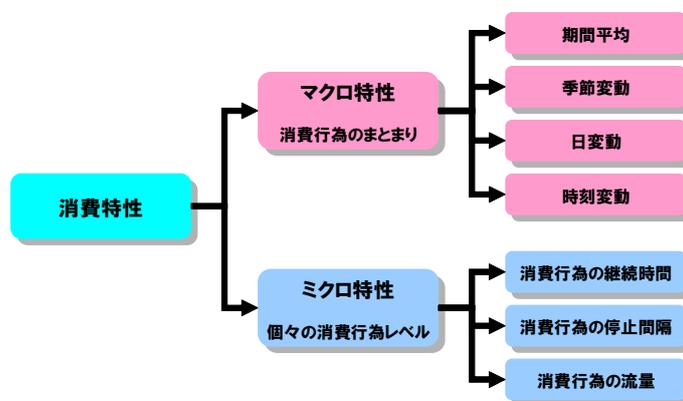


図4.3.4 給湯消費のマクロ特性とマイクロ特性

2) 給湯消費のマクロ特性と機器効率

貯湯式などの機種によっては、給湯消費の履歴が効率に大きな影響を与える場合がある。これは、翌日の沸上量を決定する際に、前日までの湯消費履歴を判断の根拠とする場合があるためである。沸上量が多すぎると、熱ロスが増加し省エネ性が低下する一方、沸上量を絞ると省エネ性が向上するが湯切れのリスクが高まる（図4.3.5）。そのため、こうした学習・予測制御には独自の工夫が凝らされており、住戸の湯消費特性を学習しながら、沸上量の調整をおこなっていく。そのため、消費の平均・変動等のマクロ特性は効率に大きな影響を及ぼす。

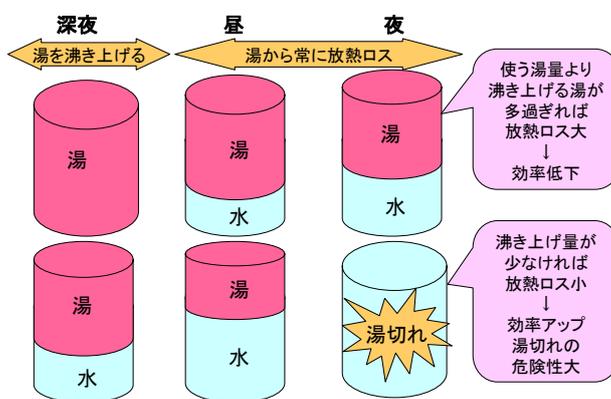


図4.3.5 貯湯式の効率特性

日消費量に対して、平均や変動の定義を図4.3.6に示す。また、実測結果より、世帯人数別の消費量の期間平均を図4.3.7に、各住戸の期間平均と短期変動（月標準偏差）の分布をに示す。

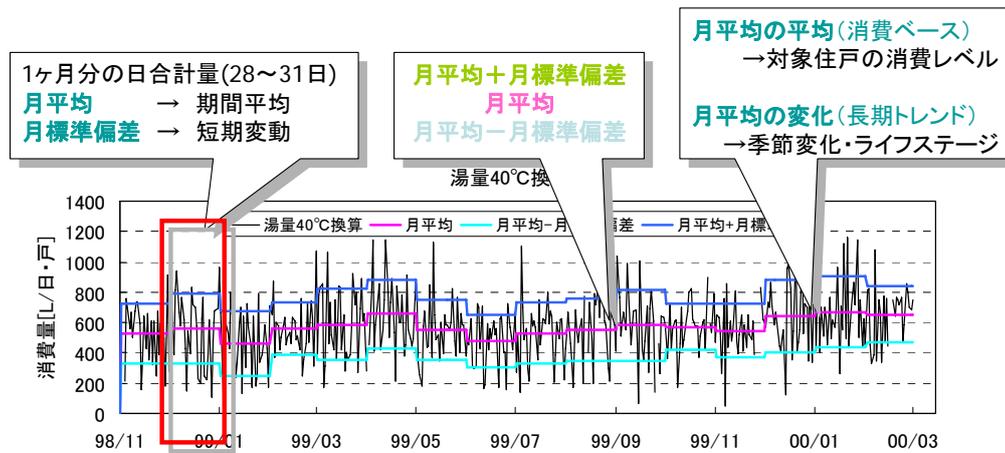


図4.3.6 消費のマクロ特性（平均・変動）の定義

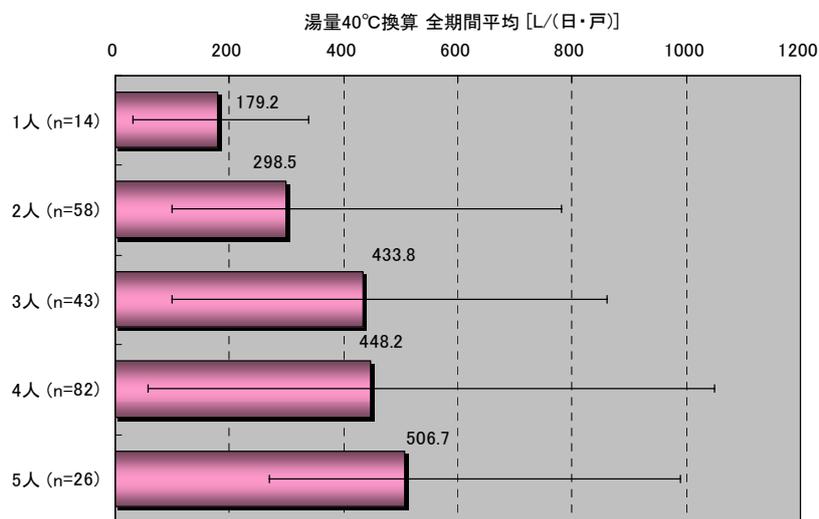


図4.3.7 世帯人数別の平均湯消費量（湯量40°C換算値）

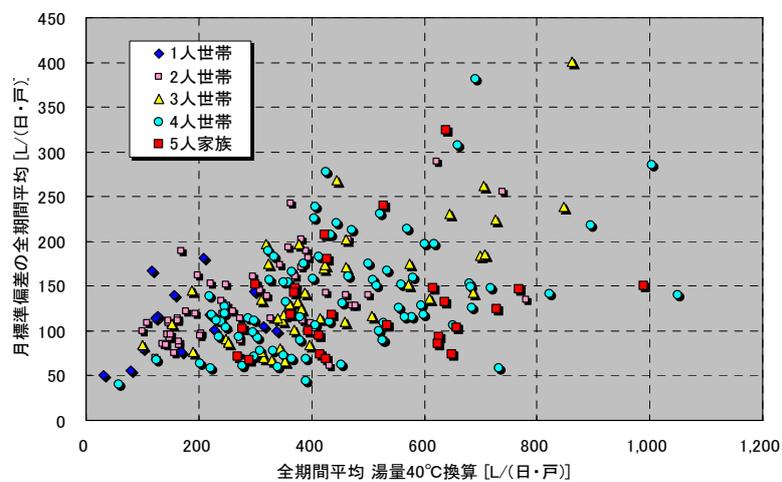


図4.3.8 世帯人数別 日消費量の平均と標準偏差（湯量40°C換算値）

世帯人数別の期間平均では、1人世帯で約180[L/日]、4人世帯で約450[L/日]である。ただし、住戸間のばらつきは大きい。また、月標準偏差は日々の消費量の変動を意味し、この値が小さい住戸では日々安定して湯を消費していること、大きい住戸では日ごとにランダム的な面が大きいことを示す。

### 3) 給湯消費のマイクロ特性と機器効率

マイクロ特性は、マクロ特性に並び、湯消費の重要な特性である。

マイクロ特性の重要な特性は、継続時間（1回に水栓を開放していた時間）と停止間隔（直前の出湯からの経過時間）である。実住戸における継続時間の分布例を、図4.3.9に示す。継続時間一般に考えられているより短い場合が多く、行為回数の割合では30秒以下の出湯が50～70%程度を占めている(図4.3.10)。実住宅においては、断続的な消費が行為回数としてはかなり多いことを示している。

給湯消費がどのように断続的に行われるかは、出湯の都度過熱を行う瞬間式給湯機においては、効率に大きな影響を与える。一般に、瞬間式においては継続時間が長い・停止間隔が短いほど、効率が高くなる傾向がある。逆に、継続時間が短く・停止間隔が長いと効率が低下するが、実測結果はこうした瞬間式の低効率の領域での消費が少なくないことを示している。

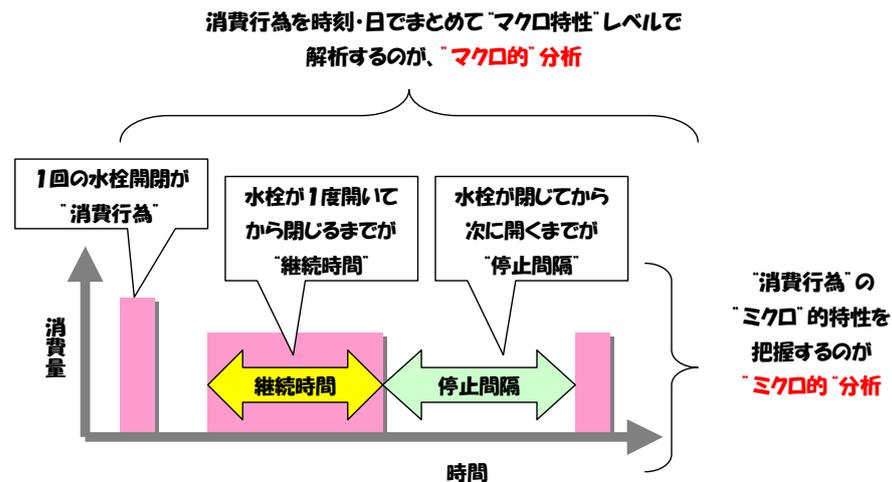


図4.3.9 給湯消費のマイクロ特性

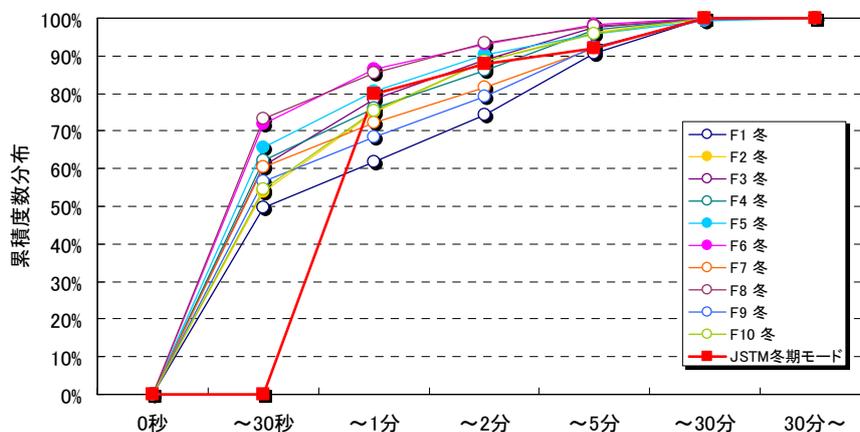


図4.3.10 実住戸における継続時間の実測例

#### 4) 修正M1モードの設定

「修正M1モード」の検討においては、前述の分析結果に基づき、給湯消費の平均値・短期変動・消費行為の継続時間等を総合的に考慮しつつ、まずS/M1/M2/Lモードを制定した。特に重視されたのは、平均と短期変動であり、図4.3.11に示す4人世帯の実測結果から、典型的な平均と短期変動（月標準偏差）を選定したものである。Sモードは小消費（250[L/日]）、Lモードは多消費（750[L/日]）である。標準的な平均値であるMモード（平均550[L/日]）については、同じ平均でも日変動が異なる場合を再現するため、変動が比較的小さい住戸をM1（標準偏差100[L/日]）、大きい住戸をM2（標準偏差200[L/日]）と区別して設定した。

その後、当時の実測データでは洗濯に湯消費を使用している住戸が多く見られたこと、実測データが充実する中で、4人家族の平均的な湯消費は450[L/日]程度であることが明らかになった。このため、M1モードから洗濯の湯消費を除いたものを、「修正M1モード」とした。「修正M1」とは、「標準的な平均・標準～若干少なめの日変動」を意味する。

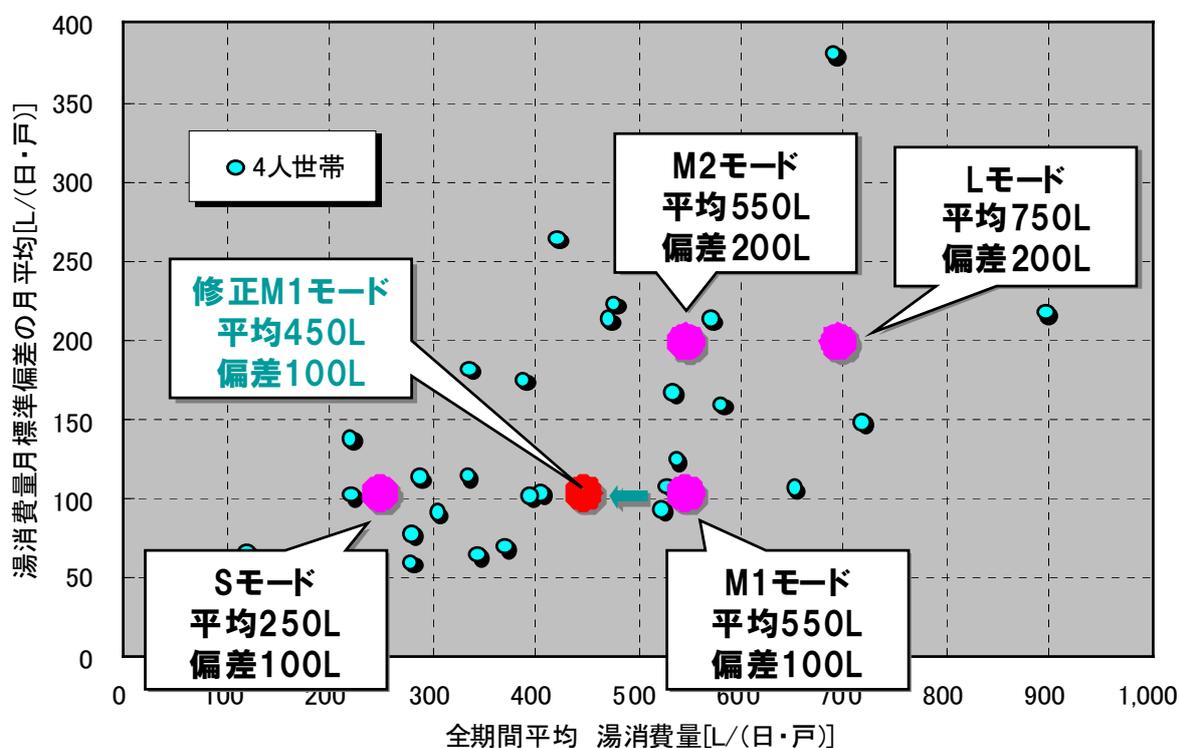


図4.3.11 修正M1モードの設定位置(4人世帯を想定)

生活スケジュール「平日」「休日在宅」「休日外出」の3つに対して、それぞれ「大・小」を設けることで、代表6日からなる複数日モードになっている(図4.3.12、表4.3.1)。最大の消費量となるのは「休日在宅(大)」の650[L/日]、最小は「休日在宅(小)」となっており、それぞれ概ね平均 $\mu \pm 2 \times$ 標準偏差( $2\sigma$ )になっている。休日は、在宅が大きめ、外出が少なめとなっており、特異な消費を代表している。とりわけ、「休日在宅(大)」の650[L/日]は、貯湯式においては湯切れリスクが高くなることから学習機能に影響を与えるものと考えられる。

ただし、これらは月に2～3日程度しか発生しない特異な日であり、多くは「平日（大）」470[L/日]と「平日（小）」380[L/日]と比較的安定した消費となっている。

代表6日における消費行為の分布を、表4.3.2に示す。前述のマイクロ特性を考慮し、消費量が2～3[L]程度とごく少ない洗面行為から、150[L]と大きい浴槽湯はりまで、多様で多くの行為数が展開されている。平日は比較的1日の中に分散して給湯消費が行われ、行為数も多めである。「休日在宅」は比較的特定の時間に湯消費が集中し、行為数は中程度である。「休日外出」は、日中に全く消費がなく、行為数もごく少ない。「休日外出（小）」は、6日の中で唯一浴槽湯はりがない。

給湯箇所（台所・浴槽・シャワー・洗面）の一部に、風呂釜・小型湯沸器による局所給湯方式が採用される場合もありうる。その場合には、一部用途を大型熱源以外の熱源が分担することになるが、これらを個別に扱うことは煩雑であり、また新築でこうした方式を採用することはごく少ないと考えられることから、本評価では局所給湯の用途についても、仮想的に大型熱源が分担しているものとして扱っている。また、最近の住宅では洗濯用途に給湯が利用できる場合もあるが、実態調査等から必ずしも洗濯用途への給湯使用は一般的でないことから、修正M1モードでは洗濯における給湯消費は考慮しない。

各行為の流量を表4.3.3に示す。ガス・石油を燃料とする瞬間式給湯機においては、流量の違いが瞬時の負荷を決定するため、効率に影響を与える。そのため、用途ごとに異なった流量を想定している。試験においては、3つの系統別を用意し、あらかじめ手動弁等で流量を調整した上で出湯を行うことになる。貯湯式においては、あらかじめ貯めた湯を使うために流量の多少は効率にほとんど影響を及ぼさない。このため、流量は適宜でよいが、8～10[L/min]程度が適当と思われる。

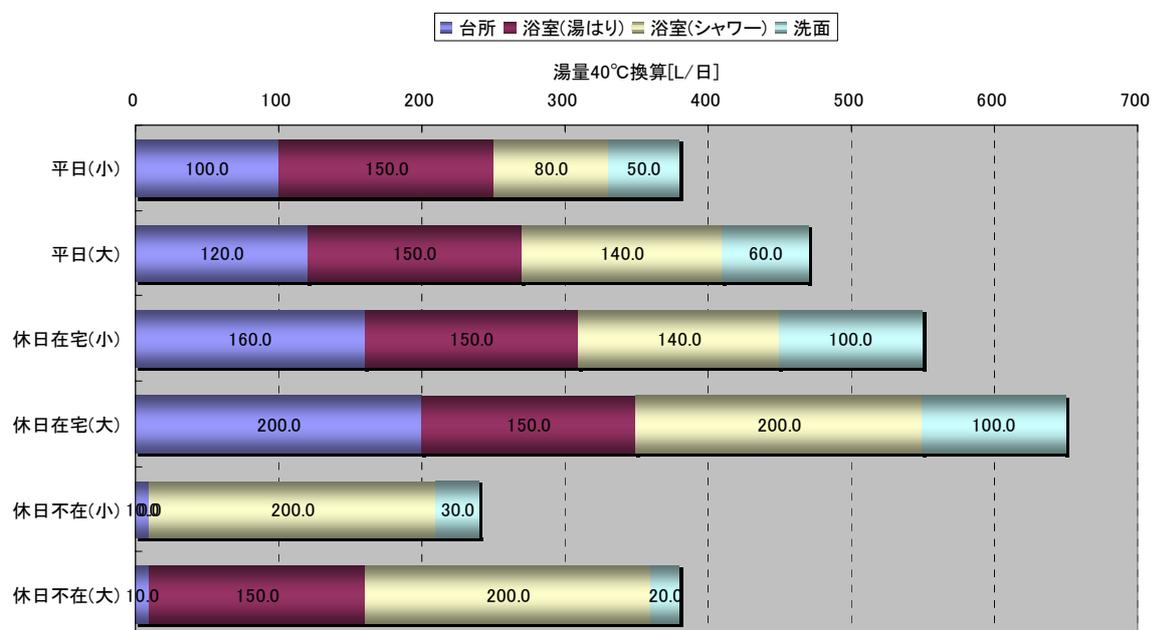


図4.3.12 代表6日間の基準給湯量

表4.3.1 代表6日の設定条件

代表日	30日内の日数	台所				洗濯	合計
		浴室 (湯はり)	浴室 (シャワー)	洗面	洗濯		
休日在宅(大)	3日	200	150	200	100	$\mu + 2\sigma$	650
休日在宅(小)	2日	160	150	140	100	$\mu + \sigma$	550
平日(大)	11日	120	150	140	60	$\mu$	470
平日(小)	9日	100	150	80	50	$\mu - \sigma$	380
休日不在(大)	3日	10	150	200	20	$\mu - \sigma$	380
休日不在(小)	2日	10		200	30	$\mu - 2\sigma$	240

表4.3.2 代表6日の毎時時刻分布

1日目「平日(小)」	2日目「平日(大)」	3日目「休日外出(大)」	4日目「休日在宅(小)」	5日目「休日在宅(大)」	6日目「休日外出(小)」
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 行為数 38 回	合計 470 L 行為数 38 回	合計 380 L 行為数 18 回	合計 550 L 行為数 32 回	合計 650 L 行為数 32 回	合計 240 L 行為数 17 回

表4.3.3 行為種別ごとの流量

行為の用途	瞬間式給湯機の流量	貯湯式給湯機の流量
洗面・台所	5[L/min]	8~10[L/min]
シャワー	10[L/min]	8~10[L/min]
浴槽湯はり	15[L/min]	8~10[L/min]

### 4.3.2 実験結果

以下では、本研究で実施された実験の中で、主な給湯機別に代表的な日（主に平日大 470[L/日]、熱負荷の大きい冬期条件）における挙動について示す。本実験は主に、「修正M1(4人世帯)・浴槽水栓落とし込み・保温なし」とした。

#### (1) 従来型ガス瞬間式(図4.3.13)

従来型ガス瞬間式は、現状において最も広く普及している形式である。本試験機のJISにおける定格効率は83%であるが、本試験におけるガスのみの効率は78.1%程度で5%程度低下している。また、電力(2次)を含めたエネルギー効率は77.1%程度とさらに低下する。これは、修正M1モードにおいては短時間の出湯など、瞬間式の効率が低下する領域の消費が再現されているためと考えられる。

#### (2) 潜熱回収型ガス瞬間式(図4.3.14)

潜熱回収型ガス瞬間式は、近年になって普及が本格化している形式である。本試験機のJISにおける定格効率は95%であるが、本試験におけるガスのみの効率は93.3%、電力を含めると92.4%である。従来型に比べると15%程度の改善になっており、ほぼ定格効率と同様の効率向上が確認された。

#### (3) 潜熱回収型石油瞬間式(図4.3.15)

潜熱回収型石油瞬間式は、2005年になって導入された比較的新しい機器である。本試験機のJISにおける定格効率は95%であるが、本試験における石油のみの効率は90.0%、電力を含めると89.0%である。石油についても従来型に対して効率の向上が確認された。

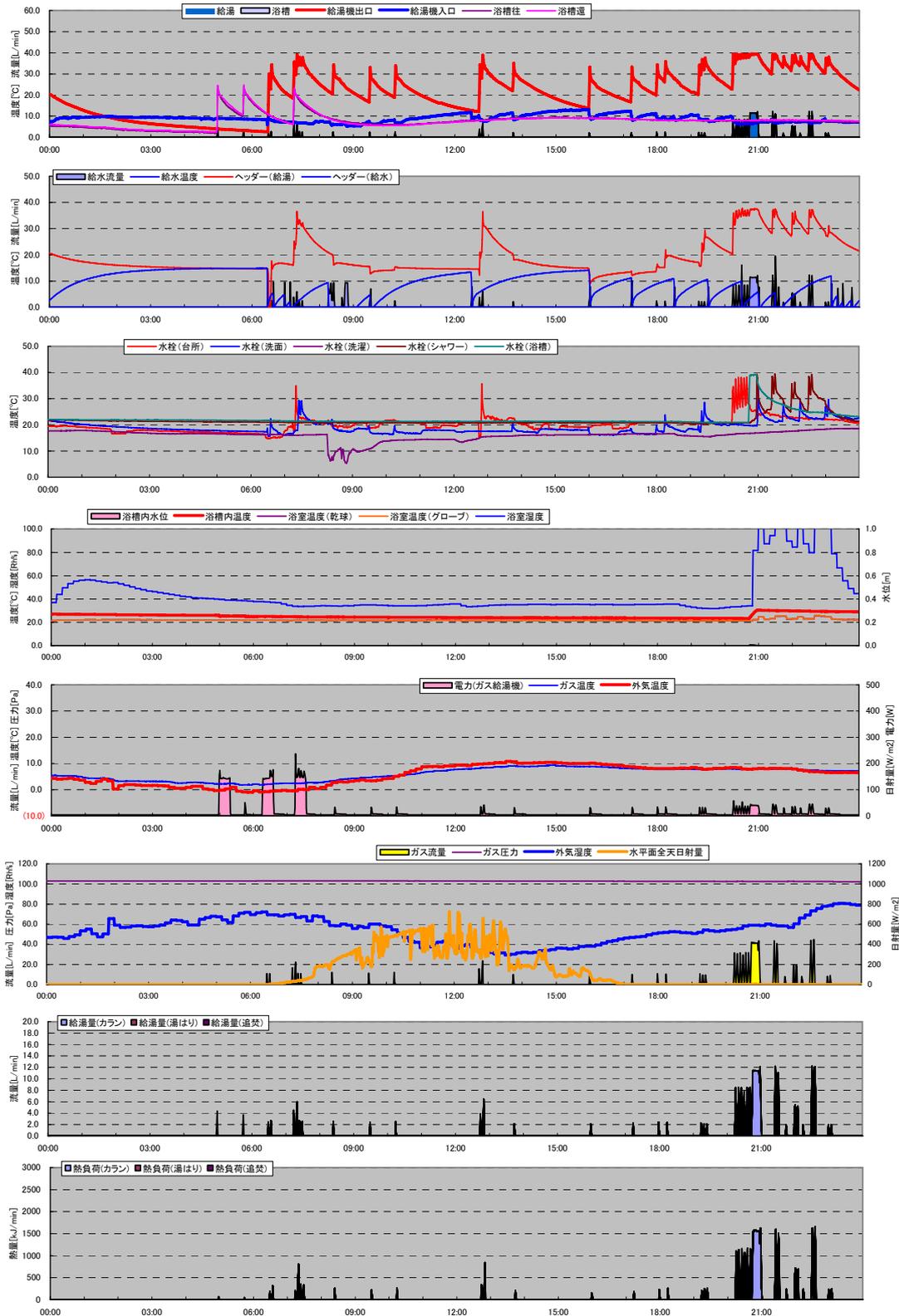
#### (4) ヒートポンプ式電気温水器(A社05年度 住戸103) (図4.3.16)

空気集熱のヒートポンプにとっても最も条件が厳しい冬期においても、ヒートポンプと貯湯槽を含めたシステム効率で、2次換算で264%、1次エネルギー換算でも101%と高い効率が出ることを確認した。なお、ヒートポンプ式では、沸上温度と沸上量が効率に大きな影響を与えることが判明したため、複数の制御モードによる試験を行うこととした。

#### (5) 太陽熱温水器（平板型自然循環式）(図4.3.17)

冬期においても、天候の良い日においては貯湯時の熱ロスを含めても集熱効率は40%程度となっており、通年で有効に集熱できていることを確認した。

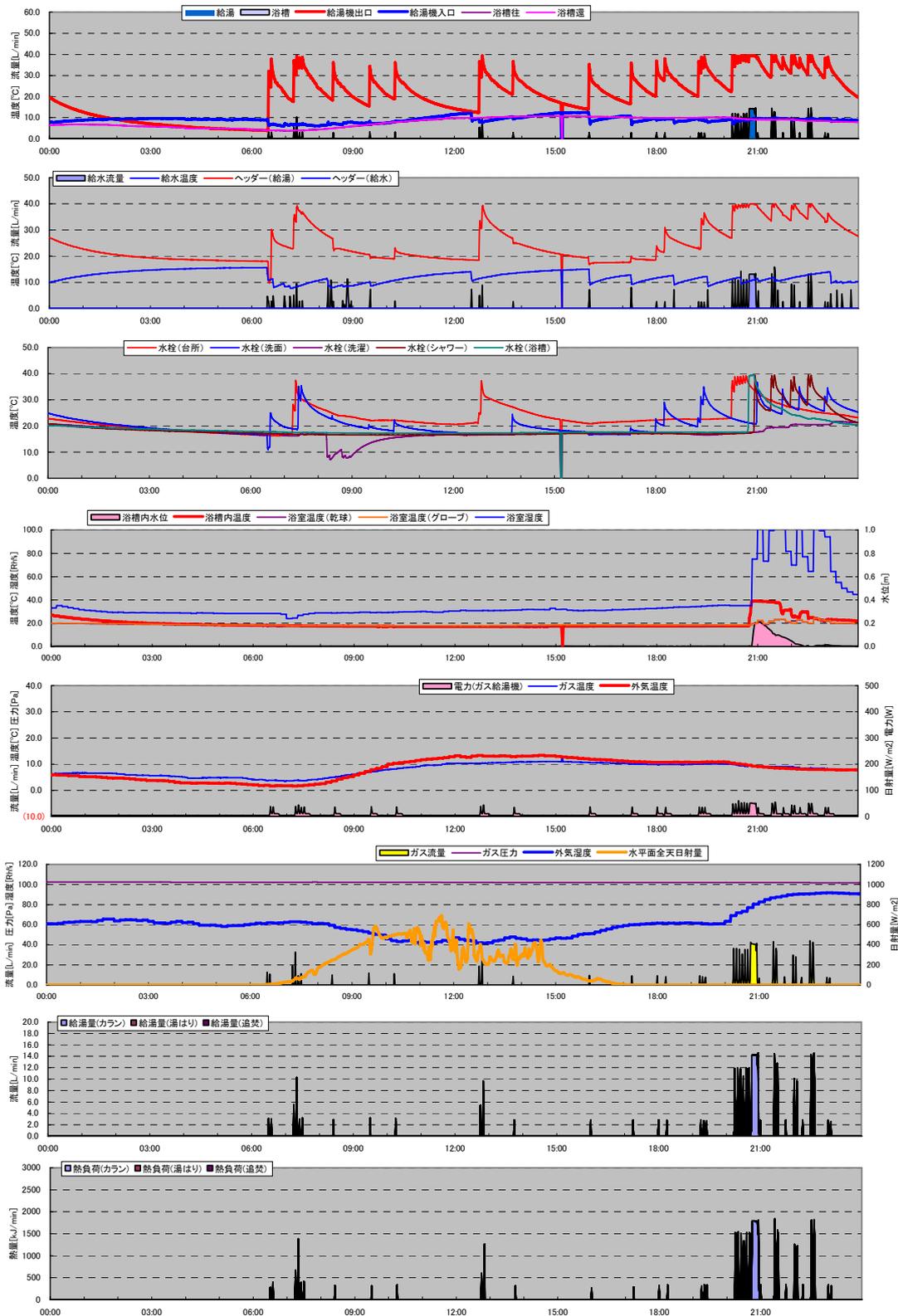
給湯共通項目十ガス瞬間式給湯機  
対象住戸 303 従来型 対象日 07/01/26 金



平均温度	外気	給湯量	給水	水栓	浴槽	熱負荷	水栓	浴槽	追焚	合計	エネルギー	ガス	電気(2次)	効率	ガス	ガス+電気
5.6	7.1	471.2	5.2	61.9	0.3	0.2	62.4	79.9	1.1	78.1%	77.1%					

図4.3.13 従来型ガス瞬間式の試験例

給湯共通項目十ガス瞬間式給湯機  
 対象住戸 103 潜熱回収型 対象日 07/02/09 金



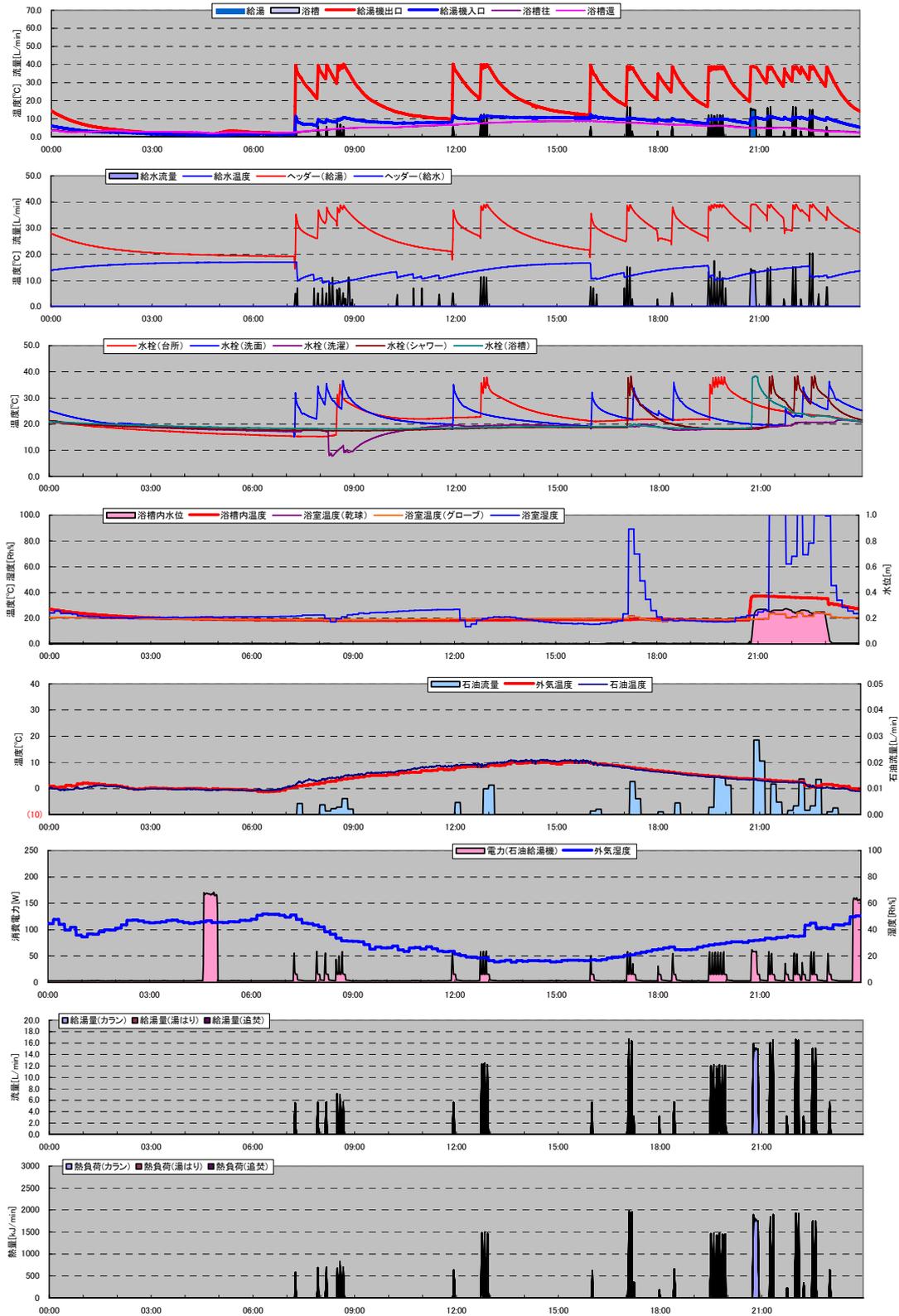
平均温度	外気	給湯量	給水	給湯量	水栓	浴槽	熱負荷	水栓	浴槽	追焚	合計	エネルギー	ガス	電気(2次)	効率	ガス	ガス+電気
8.0	8.7	486.7	0.0	60.2	0.0	0.0	60.2	64.5	0.7	93.3%	92.4%						

図4.3.14 潜熱回収型ガス瞬間式の試験例

給湯共通項目+石油給湯機

対象給湯機 潜熱回収型

対象日 07/03/18 日



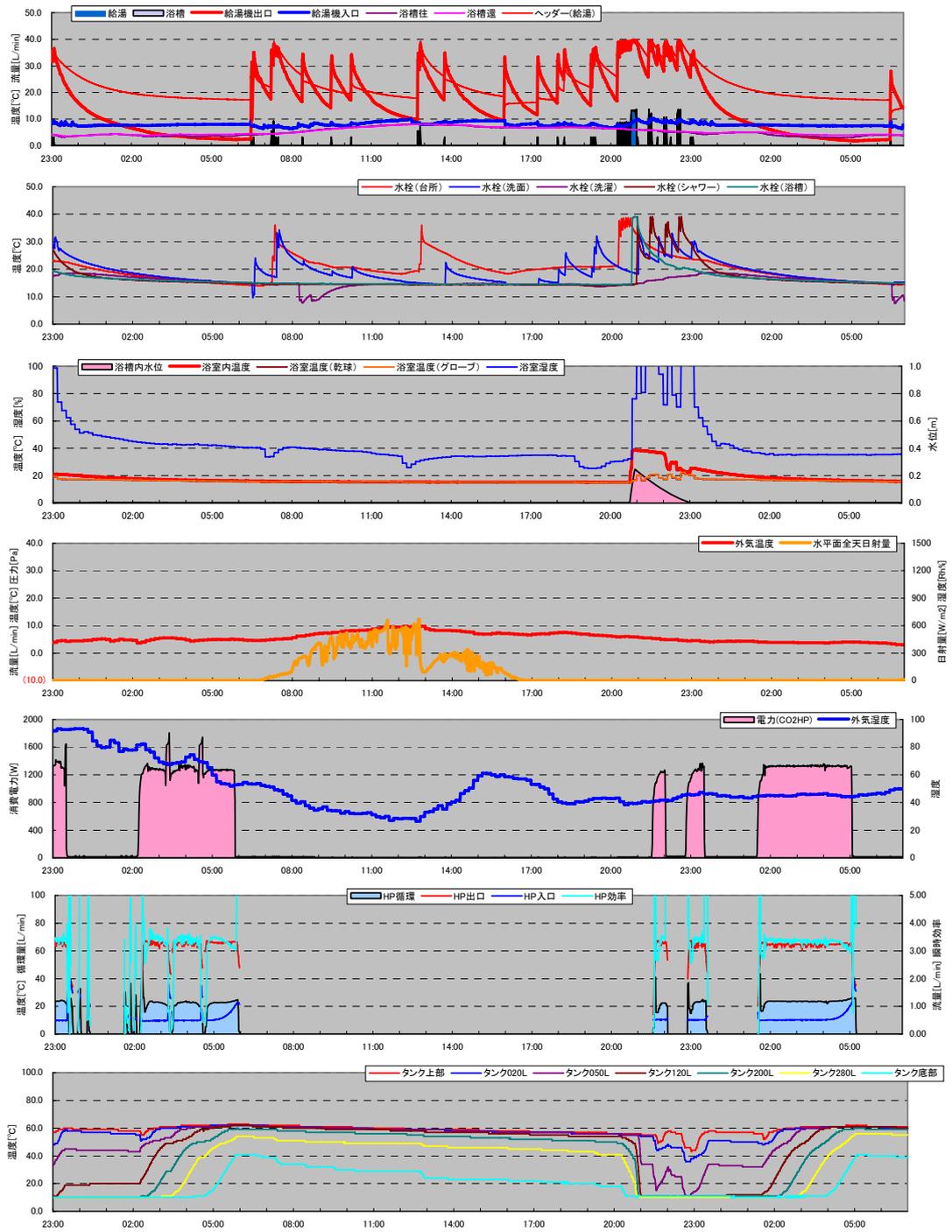
平均温度	外気	給湯量	給水	水栓	浴槽	熱負荷	水栓	浴槽	追焚	合計	エネルギー	石油	電気(2次)	効率	石油	石油+電気
4.1	9.6	667.6	0.0	74.6	0.0	0.0	74.6	82.9	1.0	90.0%	89.0%					

図4.3.15 潜熱回収型石油瞬間式の試験例

給湯共通項目+CO2HP

対象給湯器 C社05年

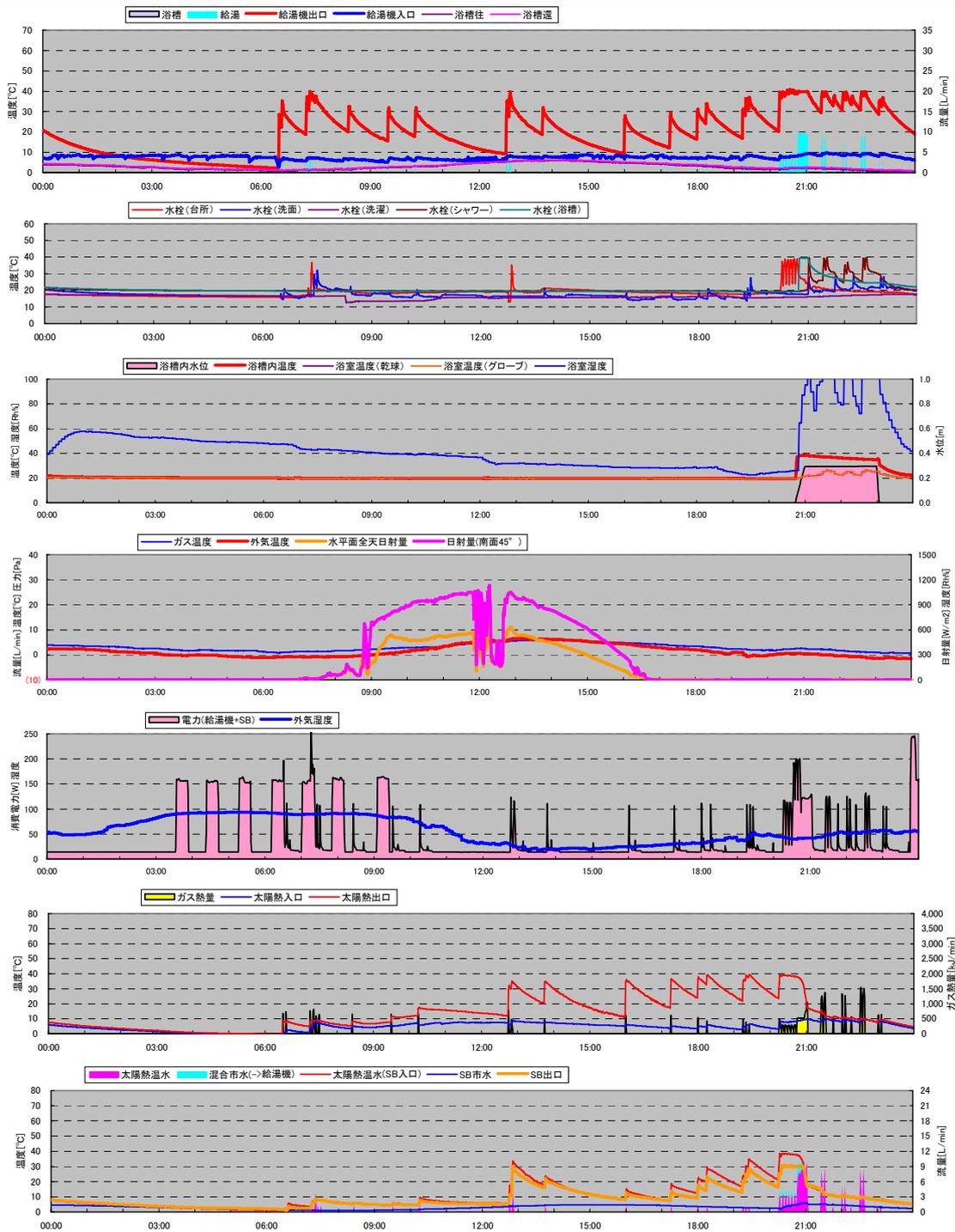
対象日 07/01/07 日



平均温度 [°C]	給湯量 [L/min]	熱負荷 [MJ/日]		電力[MJ/日]				前23-当23 電力[MJ/日]				当07-翌07	
外気	給水	水栓	浴槽	水栓	浴槽	追焚	合計	(2次)	(1次)	(2次)	(1次)	(2次)	(1次)
6.3	8.8	487.1	0.0	59.0	0.0	0.0	59.0	22.7	59.0	22.3	58.2		

HP関係	熱量	当07-翌07	平均温度	効率	当07-翌07	システム	前23-当23	システム	当07-翌07		
沸上量[L]	出湯	入水	沸上	HP単体	タンク	(2次)	(1次)	(2次)	(1次)		
343.1	90.7	16.9	73.8	63.1	11.7	330.4%	79.9%	260%	100%	264%	101%

図4.3.16 ヒートポンプA社05年の試験例



※ADMAG ※ND				※SB電力込 ※9760kJ/kWh			
平均温度 [°C]	給湯量 [L/min]	熱負荷 [MJ/日]		エネルギー [MJ/日]		効率(従来ガス+太陽熱)	
外気	給水	①水栓	②浴槽	ガス	電気(2次)	電気(1次)	ガス熱効率 電気込(1次)
1.5	8.0	472.5	0.0	54.67	3.31	8.99	109.6% 94.1%
※集熱面積 3.84m <sup>2</sup>				給湯量との残差 (1)+(2)-(3)-(4) 29.6 [L] ガス量補正 105.4%			
日射量 [MJ/(m <sup>2</sup> ・日)]	[MJ/日]	供給熱量 [MJ/日]	給水温度基準	太陽熱 分担率	供給量 [L/日]	効率(従来ガス単体)	
水平面	南面45°	温水器	配管ロス	SB出口	ガス給湯器	③太陽熱	④混合市水
11.3	20.7	79.6	30.9	4.6	26.3	33.6	44.0%
						404.0	38.9
						61.4% 52.8%	
※集熱効率 38.9%		※システム効率 85.1%		※熱負荷残差 0.0 [MJ/日]		※要知時計ND10Iによる計測	
※有効タンク容量210L							

図4.3.17 自然循環式太陽熱温水器の試験例

### 4.3.3 予測手法

#### (1) 給湯設備一次エネルギー消費量・一次エネルギー消費係数の計算フロー

前述の熱源や太陽熱温水器の試験結果を元に、地域別の給湯における年間消費エネルギーの計算手法を開発した。計算フローは、熱負荷（左列）と機器効率（右列）に大別される（図4.3.18）。

「基準給湯量」は、本手法が対象とする4人家族における標準的な湯消費を想定した「修正M1モード」における湯消費である。ついで、節湯型機器・太陽熱温水器の有無を考慮して「補正給湯熱負荷」を算出する。

本手法においては、熱源の効率はずべて「修正M1モード」の消費下で、3季節（冬期・中間期・夏期）における実機の実証実験から得られた値を採用している。実証試験から得られた効率を「試験時熱源機器効率」とよぶが、これは「修正M1を構成する代表6日」ごとに3季節分あるため、6日×3季節＝18日分の効率となる。それを試験時と計算地域の気象条件の差異を外気温度により補正したものが「補正熱源機器効率」である。

計算地域の外気条件には月平均値を採用しているため、「補正熱負荷」と「補正熱源機器効率」は月ごとに異なる。「補正熱負荷」を「補正熱源機器効率」で除して代表6日の発生頻度で積算したものが「各月の1次消費エネルギー」であり、これを年間で積算したものが「Ew：給湯設備の一次エネルギー消費量」となる。

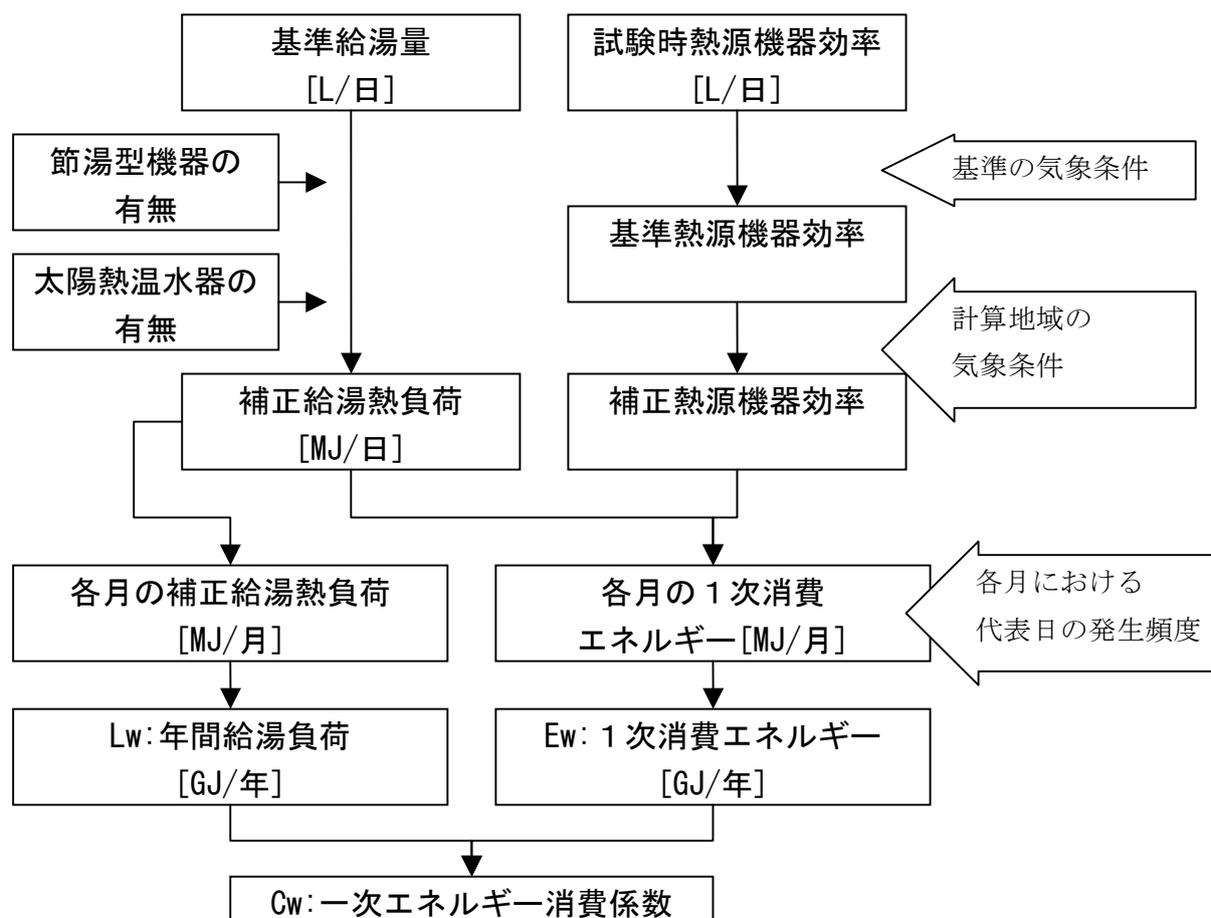


図4.3.18 年間給湯消費エネルギーの計算フロー

(2) 給湯負荷の計算方法

以下では、節湯・太陽熱を考慮した給湯熱負荷の計算方法について記述する。給湯熱負荷の計算フローを図4.3.19に示す。前述の通り、基準給湯量は、各種実測調査の結果を元に4人家族を想定して作成された「修正M1モード」に基づき、平均で1日あたり40℃の湯を約450[L]使うものとして標準化している。

節湯機器を導入した場合は、台所やシャワーでの湯消費が削減されるものとして、「基準給湯量」から削減分が除かれて「補正給湯量」となる。当然、節湯型機器を利用しない場合は、この450[L/日]の消費量分がそのまま「補正給湯量」になる。

「補正給湯量」から、地域ごとの給水温度から40℃に昇温させるのに必要な「熱負荷」を算出する。節湯や太陽熱利用を考慮しない基準給湯量分の熱負荷を「基準給湯熱負荷」、考慮した補正給湯量分の熱負荷を「補正給湯熱負荷」と呼ぶ。両者の差が、節湯と太陽熱による熱負荷の削減量となる。

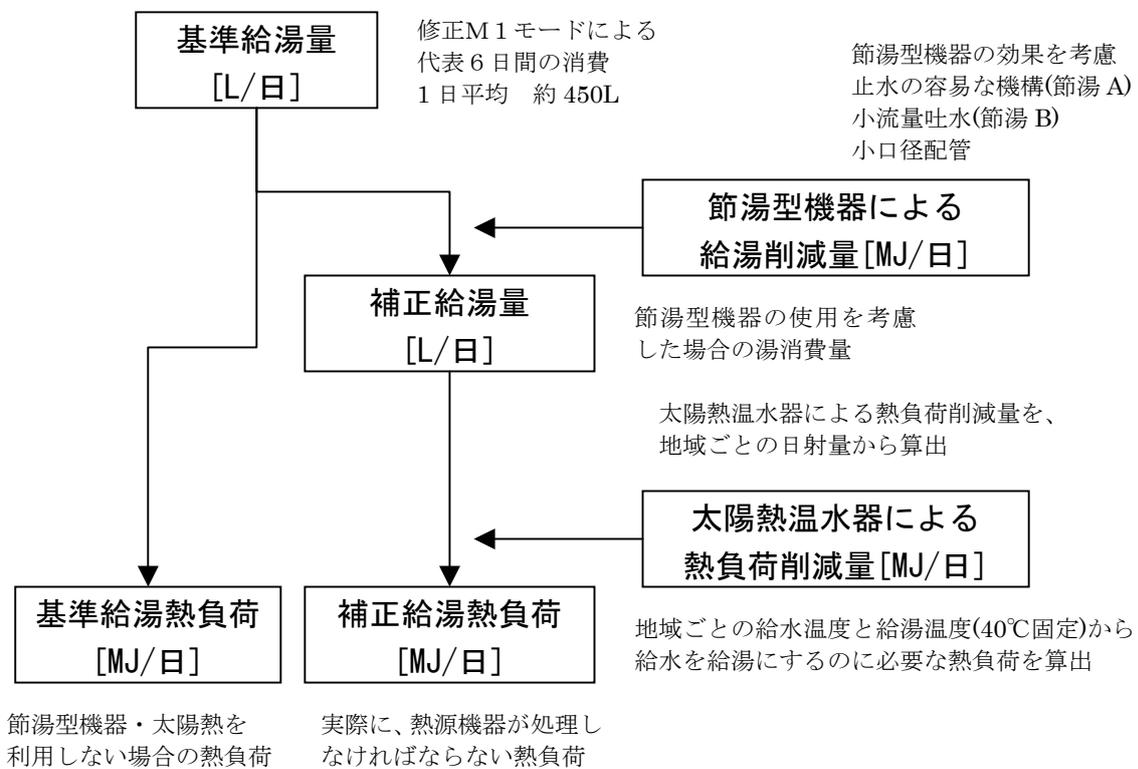


図4.3.19 給湯熱負荷の計算フロー

### (3) 熱源機器効率の算出

熱源機器の効率については、本研究における試験が屋外試験であることから、まず試験時の外気温度から基準気象条件（表4.3.4）への補正を行う。この補正された効率が「基準熱源機器効率」である。

ついで該当地域における各月の熱源機器効率である「補正熱源機器効率」を算出する。月ごとの平均外気温度に合わせて、4点の基準熱源機器効率から推定を行う。このとき、各月の平均外気温度については、空気を熱源としない機器については単純日平均とするが、空気を熱源とする機器（ヒートポンプ式など）については集熱時間帯を考慮した温度を採用する。

表4.3.4 標準気象条件

	外気条件（乾球）	給水温度
夏期	25℃	24℃
中間期	16℃	17℃
冬期	7℃	9℃
厳寒期	-7℃	5℃

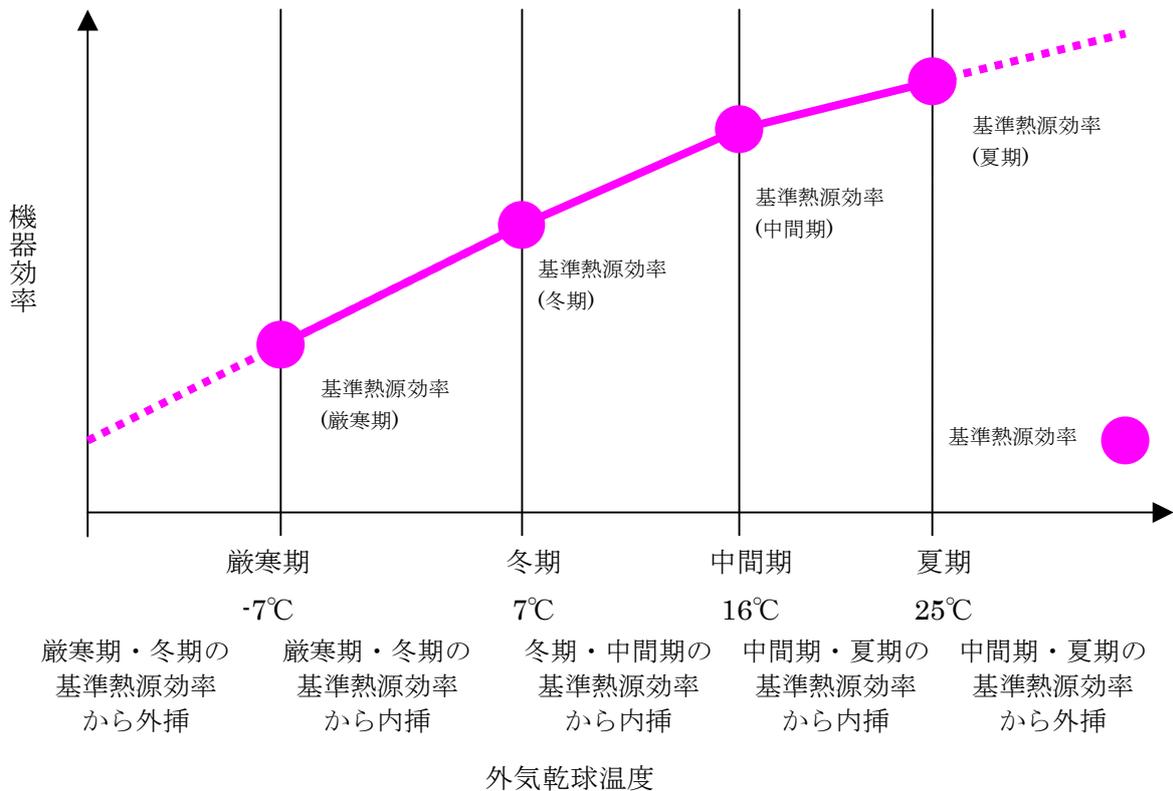


図4.3.20 熱源機器効率の補正

(4) 計算結果

計算した結果について、2次エネルギー換算の値を図4.3.21に、1次エネルギー換算の値を図4.3.22に示す。いずれも実試験を行った結果より推定したものである。太陽熱温水器については複数機種の実験を行ったが、ここでは最も一般的な平板型自然循環式（集熱面積 3.84m<sup>2</sup>、貯湯容量 210L）のみ扱っている。

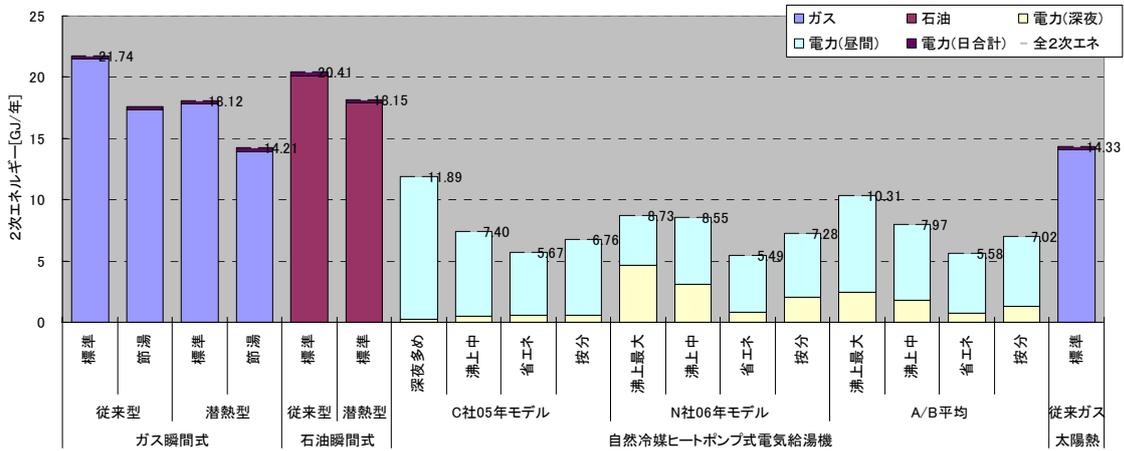


図4.3.21 給湯の2次エネルギー消費量 計算例 (東京)

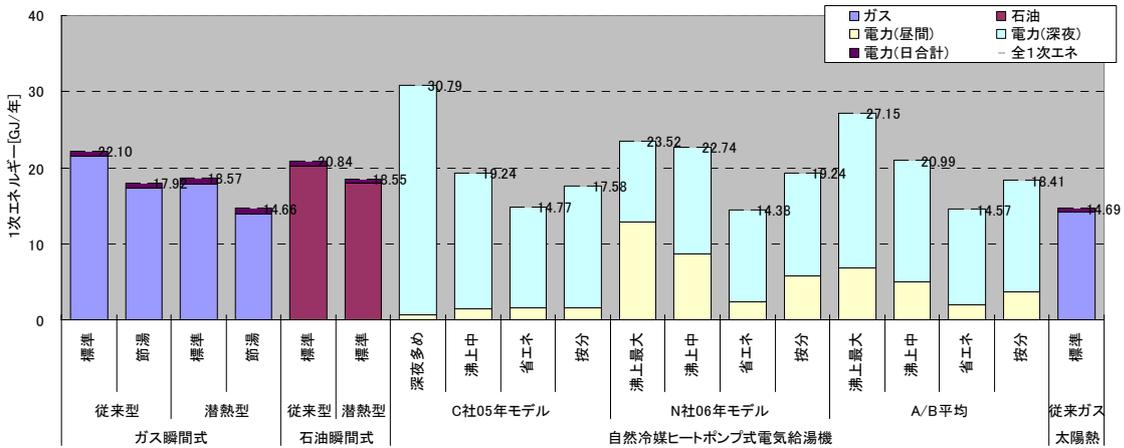


図4.3.22 給湯の1次エネルギー消費量 計算例 (東京)

## 4.4 通風冷房行為が冷房消費エネルギーに及ぼす影響の検討

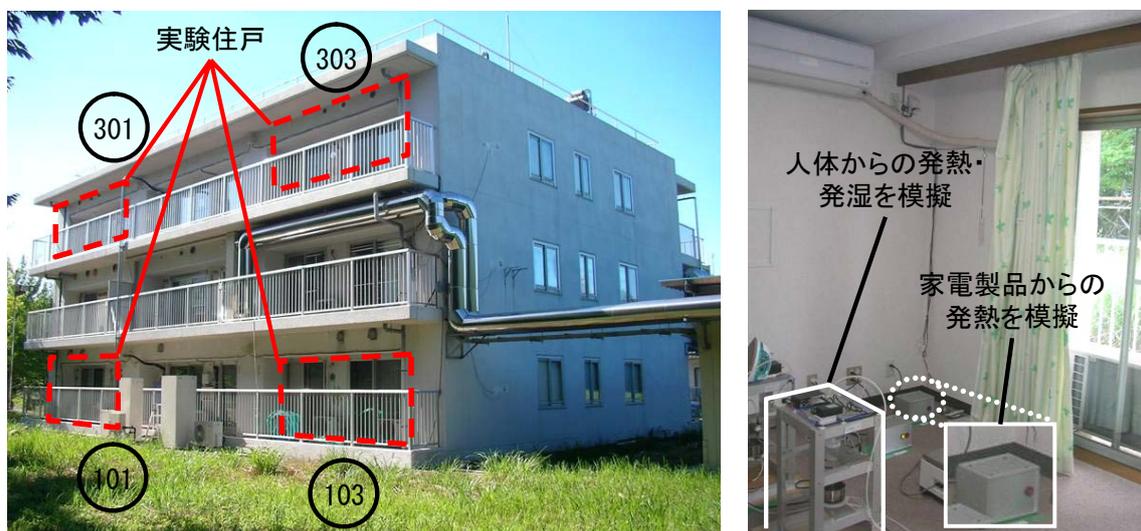
### 4.4.1 実験概要

#### (1) 実験住戸の概要

実験住戸は、RC造3階建ての集合住宅の1階および3階の妻側に位置する4住戸（101号室、103号室、301号室、303号室）である。101号室、103号室および301号室は省エネ型の住戸を、303号室は従来型の住戸を想定して住宅設備や家電機器が導入されている。集合住宅の外観と住戸内部（居間）の様子を図4.4.1に示す。なお、実験住宅の周辺には建物や樹木が存在するものの、実験住宅からは十分に離れており、それらが外部風に与える影響は小さい。

住宅の断熱性能は、平成11年省エネルギー基準（地域区分Ⅳ）を満たしている。各住戸は東西反転の同一プランであり、4つの居室（居間、和室、洋室1、洋室2）を有する。各居室には外気に接する開口1つとエアコン1台が備え付けられている。開口の形状およびエアコンの仕様を表4.4.1および表4.4.2に示す。なお、表4.4.1は窓・室内開口のうち通風時に実際に開放される部分の形状を示している。また、全ての窓には網戸が設置されている。全居室ではレースカーテンおよび厚手カーテンにより日射遮蔽を行っており、レースカーテンは常に閉じ、厚手カーテンは在室時に屋外の日射量が $10\text{W}/\text{m}^2$ 以上の場合に開くこととした。

家族構成は4人世帯（専業主婦、勤め人夫、高校女子、中学男子）を想定している。内部発熱については、NHK生活時間調査を参考に生活スケジュールを作成した上で、発熱発湿模擬装置（調理・人体）、家電機器、照明の動作スケジュールを設定して与えた。なお、生活スケジュールは平日パターン（以下、平日と記す）、休日に外出するパターン（以下、外出と記す）、休日に在宅するパターン（以下、在宅と記す）の計3種類を作成した。なお、発熱量・発湿量および生活スケジュールについては参考文献<sup>1)</sup>に詳しい。



(a) 集合住宅の外観（南東から撮影）

(b) 居間の様子

図4.4.1 実験用集合住宅の外観と住戸室内（居間）の様子

表4.4.1 窓および室内開口の形状

		幅 [m]	高さ [m]	開口面積 [m <sup>2</sup> ]	
窓	居間	掃き出し窓	0.617	1.860	1.148
	和室	掃き出し窓	0.580	1.860	1.079
	洋室1	腰窓	0.462	1.060	0.490
	洋室2	腰窓	0.345	1.065	0.367
室内開口	居間-廊下	開き戸	0.850	2.000	1.70
	居間-和室	ふすま	1.223	2.000	2.445
	洋室1-廊下	開き戸	0.800	2.000	1.60
	洋室2-廊下	開き戸	0.800	2.000	1.60

表4.4.2 エアコンの機器能力および定格COP

住戸	室名	能力			COP		
		定格 [kW]	最大 [kW]	最小 [kW]	定格 [-]	最大 [-]	最小 [-]
101/103	居間/和室/洋室1/洋室2	2.2	3.3	0.6	6.4	4.8	8.0
301	居間	2.8	3.7	0.6	5.8	4.1	8.0
	和室/洋室1/洋室2	2.2	3.3	0.6	6.0	4.8	8.0
303	居間	3.2	3.7	0.9	2.7	2.5	4.7
	和室/洋室1/洋室2	2.2	2.6	1.2	2.5	2.5	2.8

(2) 通風冷房行為再現装置の概要

通風行為は、窓および室内開口の自動開閉装置を作成して再現した。窓および室内開口の開閉装置を図4.4.2に示す。窓の開閉は、上部に取り付けたモーターによりワイヤーを巻き伸ばしすることで行った。室内開口の開閉は、市販の開閉装置を外部からの信号により制御できるように改造して行った。ただし、窓の開閉装置については全居室に設置したが、室内開口の開閉装置については居間-廊下間の開き戸、洋室1-廊下間の開き戸、居間-和室間のふすまの3箇所だけに設置した。

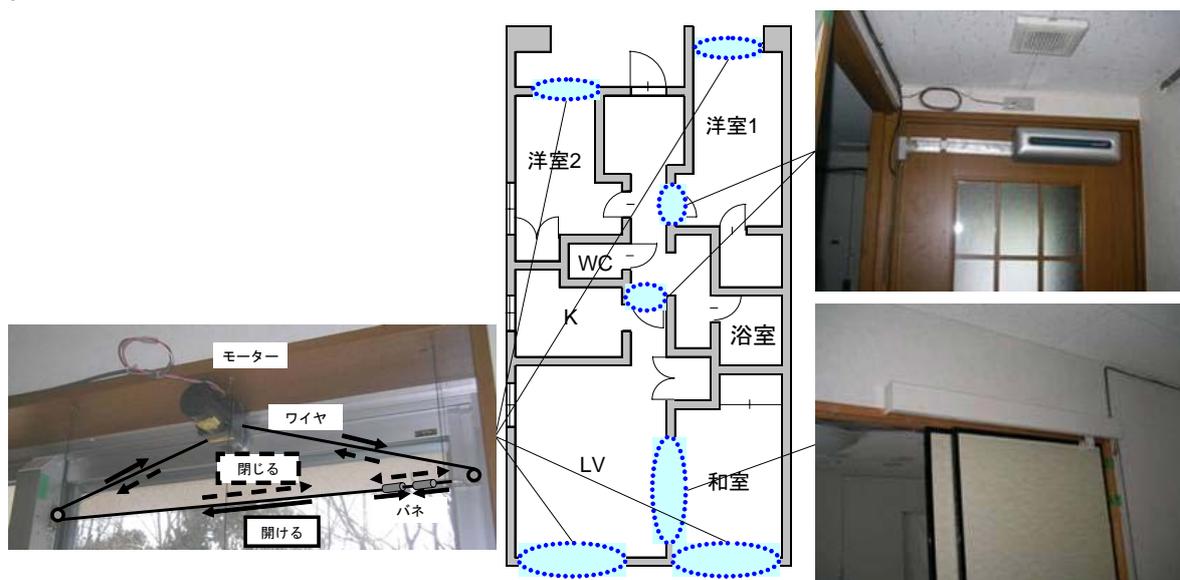


図4.4.2 窓および室内開口の開閉装置

冷房行為は、学習リモコンユニットから赤外信号をエアコン室内ユニットの送受信部に直付けされたIRアダプターを通じて送信し、エアコンの発停を行うことで再現した。エアコン発停装置を図4.4.3に示す。ここで、学習リモコンユニットは、実際のリモコンから送信される信号情報を学習させることが可能であり、様々なモードでエアコンを運転させることができる。

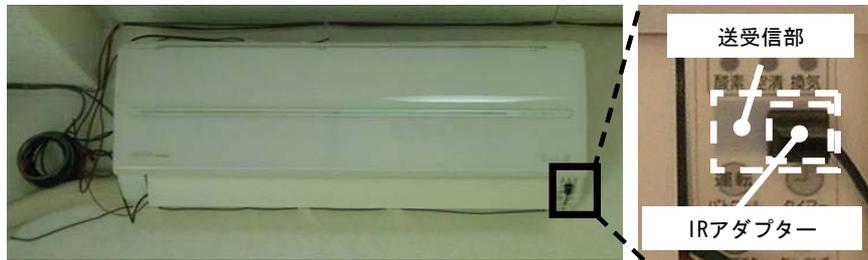


図4.4.3 エアコンの発停装置

### (3) 実験概要

#### 1) 実験条件

居住者の通風冷房行為による室内温熱環境および冷房消費電力量への影響について検討をするため、2007年7月～同年10月の期間において5つの異なる通風冷房行為を想定した実験を行った。通風冷房行為のうち2つは通風利用を想定し、窓と室内開口を開放することで昼間は居間と洋室1、夜間は和室と洋室1との間で2面開口による通風を行うパターン（以下、「通風南北」と記す）、窓のみを開放して単一開口による通風を行うパターン（以下、「通風片面」と記す）とした。一方、残りの3パターンは通風を利用せずにエアコンのみで対処することを想定し、冷房時のリモコン設定温度を24℃、26℃、28℃とした（以下、それぞれ、「冷房24℃」、「冷房26℃」、「冷房28℃」と記す）。また、内部発熱および発湿が室内環境に与える影響を検討するために、冷房を行わずかつ窓および室内開口を常時閉じたパターン（以下、「空調なし」と記す）での実験を行った。

各住戸の実験スケジュールを表4.4.3に示す。101号室と301号室では通風利用による影響を、103号室と303号室ではリモコン設定温度による影響を検討することを目的とした。

なお、実験期間中は、対象住戸の隣戸である102号室、201号室、203号室、302号室ではエアコンによりリモコン設定温度26℃で冷房を行い、室温を一定に保つようにした。

表4.4.3 実験スケジュール

実験期間	101号室	103号室	301号室	303号室
7/4 - 7/9	通風南北	冷房24°C	通風南北	冷房24°C
7/11 - 7/16	通風片面	冷房28°C	通風片面	冷房28°C
7/18 - 7/23	冷房26°C	冷房26°C	冷房26°C	冷房26°C
7/25 - 7/30	通風南北	通風南北	通風南北	通風南北
8/1 - 8/6	通風南北	冷房24°C	通風南北	冷房24°C
8/8 - 8/13	通風片面	冷房28°C	通風片面	冷房28°C
8/15 - 8/20	冷房26°C	冷房26°C	冷房26°C	冷房26°C
8/22 - 8/27	冷房26°C	冷房26°C	冷房26°C	冷房26°C
8/29 - 9/3	通風南北	冷房24°C	通風南北	冷房24°C
9/5 - 9/10	通風片面	冷房28°C	通風片面	冷房28°C
9/12 - 9/17	冷房26°C	冷房26°C	冷房26°C	冷房26°C
9/19 - 9/24	通風南北	通風南北	通風南北	通風南北
9/26 - 10/1	通風片面	冷房24°C	通風片面	冷房24°C
10/3 - 10/8	通風南北	冷房28°C	通風南北	冷房28°C
10/10 - 10/15	空調なし	空調なし	空調なし	空調なし
10/17 - 10/22	通風南北	通風南北	通風南北	通風南北

## 2) 通風冷房行為の制御条件

通風冷房行為や行為に伴うエアコン・窓・室内開口の操作は睡眠時には1時間毎に、その他の時間帯は5分毎に在室状況と室内温熱環境に応じて居室毎に決定した。ここで、室内温熱環境は室温、湿度、風速、壁表面温度など様々な要素から成り立つが、本実験では検討の第一段階として室温（室内中央床上900mmの空気温度）のみを判断に用いた。本実験で用いた通風冷房行為の決定条件を表4.4.4に、行為に対応するエアコン・窓・室内開口の操作を表4.4.5に示す。また、各実験条件で使用する通風冷房行為の決定条件とエアコン・窓・室内開口の操作を整理して表4.4.6に示す。なお、在室スケジュールは図4.4.4に示すように在室者が不在（不在）、在室者の行為が睡眠以外（在室）、在室者の行為が睡眠（睡眠）に区分して、5分間隔で与えた。

"通風南北"および"通風片面"は、表4.4.4- (a) により通風冷房行為を決定した。通風利用を行うこれらの実験条件では、より積極的な通風利用を想定して入室直後の5分間は必ず通風を行うものとした。入室後5分以降については、既往研究<sup>2), 3)</sup>を参考に通風を利用する室温範囲を20°C以上28°C未満とし、20°C未満は閉鎖に移行、28°C以上で冷房を開始することとした。冷房時にはエアコンのリモコン設定温度は26°Cとした。また、台風の際に実験機材を保護することを目的に、通風時に外部風が10m/sを上回った場合には強風と判断して開口を閉じた。閉鎖時には、室温が26°C以上である場合に冷房を開始した。エアコン・窓・室内開口の操作は、表4.4.4- (a) で決定される通風冷房行為を基に"通風南北"については表4.4.5- (a)、表4.4.5- (b)、表4.4.5- (c)、表4.4.5- (d) により、"通風片面"については表4.4.5- (d) により決定した。

"冷房24°C"、"冷房26°C"および"冷房28°C"では、表4.4.4- (b) により通風冷房行為を決定した。冷房のみで対処するこれらの実験条件では、室温がエアコンのリモコン設定温度以上の場合に冷房を開始した。エアコン・窓・室内開口の操作は、表4.4.4- (b) で決定される通風冷房行為を基に表4.4.5- (d) により決定した。

なお、冷房の停止条件については、既往研究において屋外温熱環境との関連性は弱いこと<sup>3)</sup>や、生活行為により大きく影響を受けること<sup>4)</sup>が報告されている。本研究では、これらの結果を参考に、全ての実験条件において、冷房は一旦開始されると次に不在となるまで利用され続ける

とした。

表4.4.4 通風冷房行為の決定条件

(a) "通風南北"・"通風片面"

与条件				当該時刻の行為	備考	
当該時刻の在室スケジュール	一時刻前の行為	環境条件		当該の居室		
		外部風速	室温			
在室 または 睡眠	不在	10m/s以上	26°C以上	冷房	入室直後の行為を決定	
			26°C未満	閉鎖		
	10m/s未満	-	通風			
	通風	10m/s以上	26°C以上	26°C以上	冷房	入室後5分以降の行為を決定
				26°C未満	閉鎖	
		10m/s未満	28°C以上	28°C以上	冷房	
				20°C以上28°C未満	通風	
	閉鎖	-	26°C以上	20°C未満	閉鎖	
26未満				閉鎖		
冷房	-	-	-	冷房		
不在	-	-	-	不在		

(a) "通風南北"・"通風片面"

与条件			当該時刻の行為	備考
当該時刻の在室スケジュール	一時刻前の行為	環境条件	当該の居室	
		室温		
在室 または 睡眠	閉鎖また不在	Ta°C以上	冷房	Taはリモコン設定温度で、 24/26/28のいずれか
		Ta°C未満	閉鎖	
	冷房	-	冷房	
不在	-	-	不在	

表4.4.5 エアコン・窓・室内開口の操作決定

(a) "通風南北"の居間に対する操作

当該時刻の行為		操作		
居間	和室	居間		
		エアコン	窓	開き戸
冷房	-	オン	閉	閉
通風	-	オフ	開	開
閉鎖または不在	通風	オフ	閉	開
閉鎖または不在	通風以外	オフ	閉	閉

(b) "通風南北"の和室に対する操作

当該時刻の行為		操作		
和室	居間	和室		
		エアコン	窓	ふすま
冷房	-	オン	閉	閉
通風	冷房以外	オフ	開	開
通風	冷房	オフ	開	閉
閉鎖または不在	-	オフ	閉	閉

(c) "通風南北"の洋室1に対する操作

当該時刻の行為			操作		
洋室1	居間	和室	洋室1		
			エアコン	窓	開き戸
冷房	-	-	オン	閉	閉
通風	-	-	オフ	開	開
閉鎖	-	-	オフ	閉	閉
不在	冷房	-	オフ	閉	閉
不在	通風	-	オフ	開	開
不在	閉鎖または不在	通風	オフ	開	開
不在	閉鎖または不在	通風以外	オフ	閉	閉

(d) "通風南北"の洋室2および"通風片面"・"冷房24℃"・"冷房26℃"・"冷房28℃"の全居室に対する操作

当該時刻の行為	操作		
当該の居室	当該の居室		
	エアコン	窓	開き戸
冷房	オン	閉	閉
通風	オフ	開	閉
閉鎖または不在	オフ	閉	閉

表4.4.6 各実験条件において通風冷房行為およびエアコン・窓・室内開口の操作決定に用いる条件表

実験条件の名称	通風冷房行為決定 各居室	エアコン・窓・室内開口の 操作決定			
		居間	和室	洋室1	洋室2
通風南北	表4.4.4-(a)	表4.4.5-(a)	表4.4.5-(b)	表4.4.5-(c)	表4.4.5-(d)
通風片面	表4.4.4-(a)	表4.4.5-(d)			
冷房24℃	表4.4.4-(b)	表4.4.5-(d)			
冷房26℃					
冷房28℃					

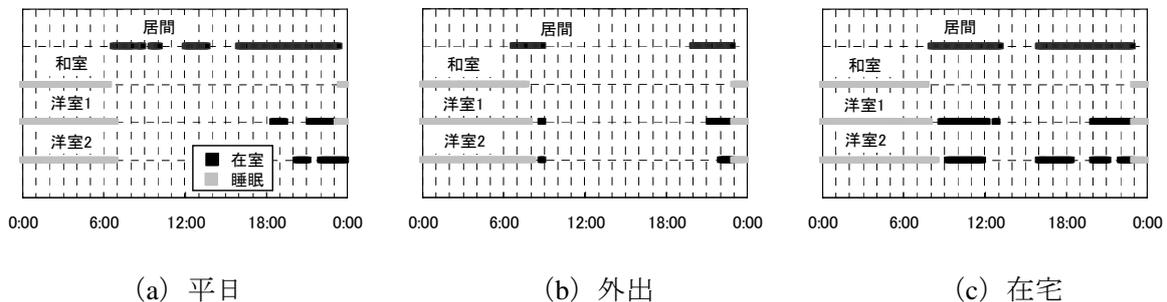


図4.4.4 各居室の在室スケジュール

### 3) 計測項目および計測方法

計測は、屋外環境、室内環境、隣戸環境、電力消費量、エアコン、通風量について行った。計測の概要を表4.4.7に示す。また、室内の計測項目については計測位置を図4.4.5に示す。

屋外環境としては、気温、相対湿度、日射量、風向・風速、雨量を実験用集合住宅の屋上で計

測した。気温については、抵抗温度計（HMP45A；VAISALA社）を用い、計測間隔を5分とした。湿度については、高分子抵抗式湿度計（HMP45A；VAISALA）を用い、計測間隔を5分とした。日射量については、全天日射計（MS-42；英弘精機株式会社）を用い、計測間隔を5秒とした。風向・風速計については、超音波風速計（ANEMO METER SAT-550；カイジョーソニック）を用い、計測間隔を5秒とした。雨量については、転倒ます式雨量計（NW-010；英弘精機株式会社）を用い、計測間隔を5分とした。

室内環境としては、空気温度、相対湿度、グローブ温度、壁表面温度、風速を計測した。空気温度については、T型熱電対（JIS）を用い、室中央床上50mm（1階のみ）、床上900mm、床上1200mm、床上1800mm（1階のみ）、天井-50mm（1階のみ）において計測間隔5分で計測した。相対湿度については、静電容量式湿度計（3階居間：HMP45；VAISALA社、左記以外：CHS-MSS；TDK社）を用い、室中央床上900mmにおいて計測間隔5分で計測した。グローブ温度については、T型熱電対（JIS）に黒色塗料を塗布した球を組み合わせた簡易のグローブ温度計を用い、室中央床上900mmにおいて計測間隔5分で計測した。壁表面温度については、T型熱電対（JIS）を用い、床面中央、天井面中央および東西南北面中央の6点を計測間隔5分で計測した。

隣戸環境については、実験住戸に隣接する地下ピット、102号室、201号室、203号室、302号室の中央で空気温度と相対湿度を計測した。空気温度については、T型熱電対（JIS）を用い、計測間隔5分で計測した。相対湿度については、静電容量式湿度計（CHS-MSS；TDK）を用い、計測間隔5分で計測した。

消費電力については、クランプオンセンサ（9695-02；HIOKI）を用い、家電機器、照明器具ごとに計測間隔1分で計測した。

エアコンについては、室内機の吹き出し・吸い込みの空気温度および相対湿度、送風ファン回転数を計測した。吹き出し・吸い込みの空気温度については、T型熱電対（JIS）を用い、1点を計測間隔5秒で計測した。吹き出し・吸い込みの相対湿度については、静電容量式湿度計（居間：HMP50；VAISALA、左記以外：CHS-MSS；TDK）を用い、1点を計測間隔5秒で計測した。送風ファン回転数については、フォト・マイクロセンサ（EE-SY672；OMURON）を用いて、計測間隔5秒で計測した。

通風量については、301号室のみを対象として窓面の通過風速を計測し、開口面積を乗じて算出した。通過風速の計測は、超音波風速計（ANEMO METER SAT-550；カイジョーソニック）を用いて、居間・和室・洋室1では5点（開口面を縦2×横2に分割した断面の中央4点と開口面中央1点）、洋室2では4点（開口面を縦2×横2に分割した断面の中央4点）において計測間隔0.1秒で行った。

表4.4.7 計測の概要

計測項目	計測器	測定点数	計測間隔	
屋外環境	気温	抵抗温度計	1点	5分
	相対湿度	高分子抵抗式湿度計	1点	5分
	日射量	全天日射計	1点	5秒
	風向	超音波風速計	1点	5秒
	風速	超音波風速計	1点	5秒
	雨量	転倒ます式雨量計	1点	5分
室内環境	空気温度	T型熱電対	1階:各室5点 3階:各室2点	5分
		相対湿度	静電容量	
	グローブ温度	T型熱電対	各室1点	5分
	壁表面温度	T型熱電対	各室6点	5分
	風速	熱線風速計	各室1点	5分
隣戸環境	空気温度	T型熱電対	各住戸1点	5分
	相対湿度	静電容量	各住戸1点	5分
消費電力	電力	クランプセンサー	各機器1点	1分
エアコン	吹き出し空気温度	T型熱電対	各1点	5秒
	吹き出し相対湿度	静電容量	各1点	5秒
	吸い込み空気温度	T型熱電対	各1点	5秒
	吸い込み相対湿度	静電容量	各1点	5秒
	送風ファン回転数	フォト・マイクロセンサー	各室2点(居間・洋室1)	5秒
通風量	断面通過風速	超音波風速計	計19点(301号室のみ)	0.1秒

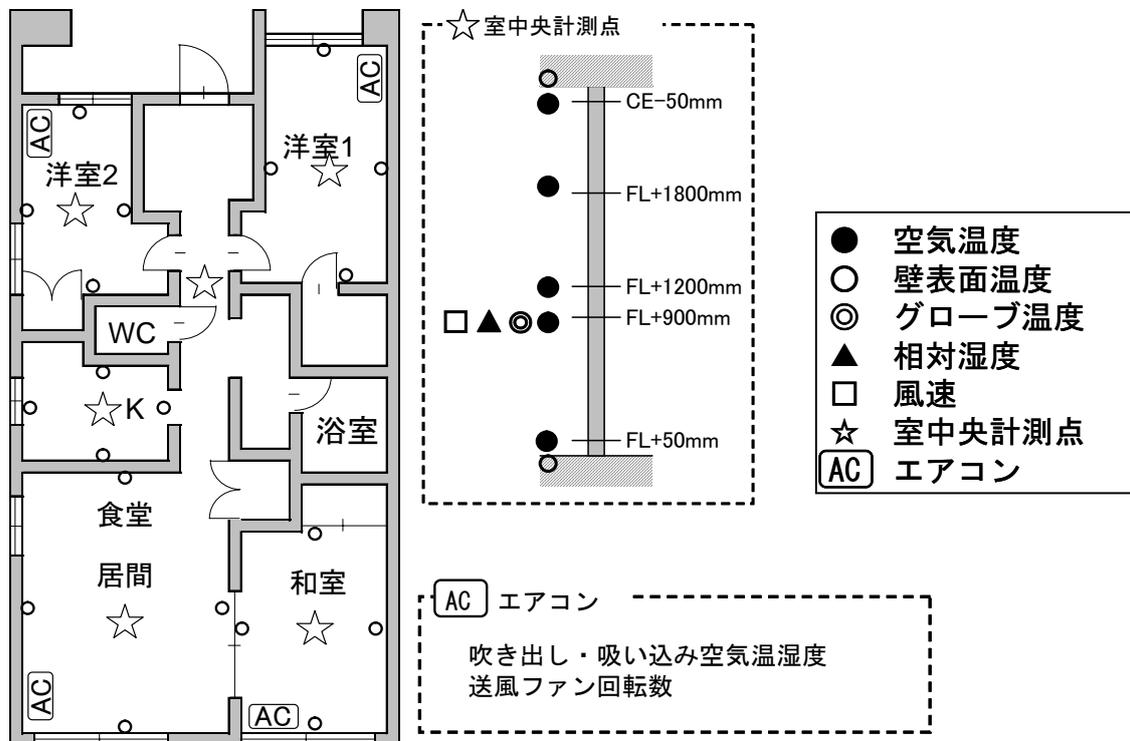


図4.4.5 室内における計測項目の計測位置

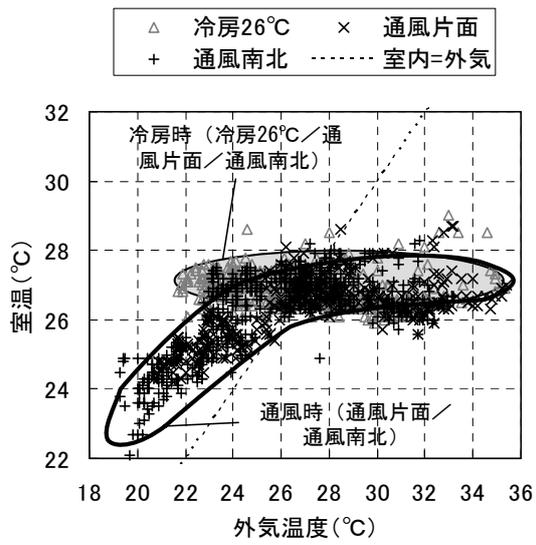
#### 4.4.2 実験結果

##### (1) 通風冷房行為による室内温熱環境への影響

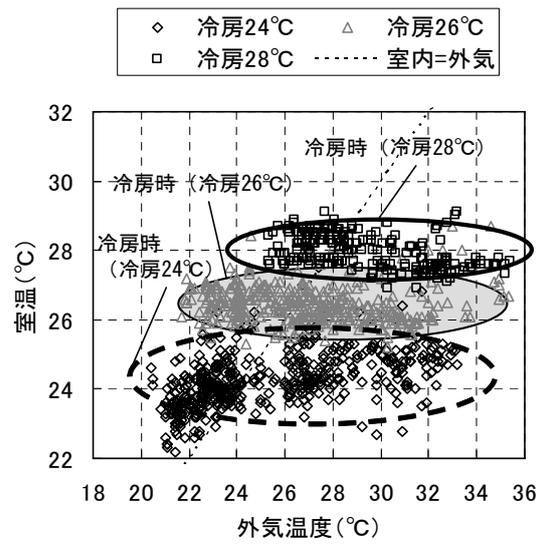
"通風南北"、"通風片面"、"冷房24℃"、"冷房26℃"、"冷房28℃"について、在室時の居間の空気温度（床上900mm）および絶対湿度（床上900mm）と外気との相関を15分ごとの瞬時データにより整理した結果を住戸別に図4.4.6および図4.4.7に示す。なお、図中の"冷房時"とは"通風南北"、"通風片面"、"冷房24℃"、"冷房26℃"、"冷房28℃"において冷房が使用されている時の室温範囲、"通風時"とは"通風南北"、"通風片面"において通風が使用されている時の室温範囲を示す。

"通風南北"と"通風片面"について、通風時の室内の空気温度は外気温に比べて2～3℃程度高かった。また、1階よりも3階の方が室内の空気温度は高くなる傾向があった。通風時の室内の絶対湿度は、外気に比べて1～2g/kg(DA)程度高かった。しかし、"通風南北"と"通風片面"の間では空気温度や絶対湿度に明確な差は生じなかった。このことは、"通風片面"は"通風南北"に比べて通風量は小さいものの、同程度の排熱・排湿効果を有していることを示唆している。

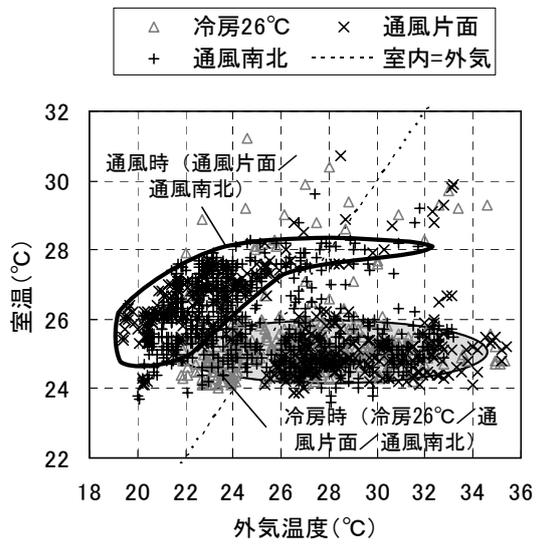
一方で、冷房時の室内の空気温度は、101号室と103号室ではほぼリモコン設定温度となったが、301号室では1℃程度低め、303号室では1度程度高めとなる傾向があった。住戸によりエアコンの機種が異なるため、風向や風量の制御に違いがある。他の住戸に比べて、301号室は室中央の計測点においてエアコンの風が当たりやすい。一方で、303号室は左右方向のルーバーにスイング機能がなく、向きが中央に固定されているため、空気が攪拌されにくい。以上の要因により、住戸により室内の空気温度に差が生じたと考えられる。また、103号室および303号室では、実現される室内の空気温度はリモコン設定温度に応じて上下した。冷房時の室内の絶対湿度は外気に比べて低く、エアコンによる除湿の効果が現れた。また、リモコン設定温度を下げるとそれに伴って絶対湿度は低くなった。一般的にエアコンは湿度を制御しないが、設定温度が下がることで増加する処理熱量に対処するために蒸発温度が下がることから、結果的に除湿量が増加したと考えられる。



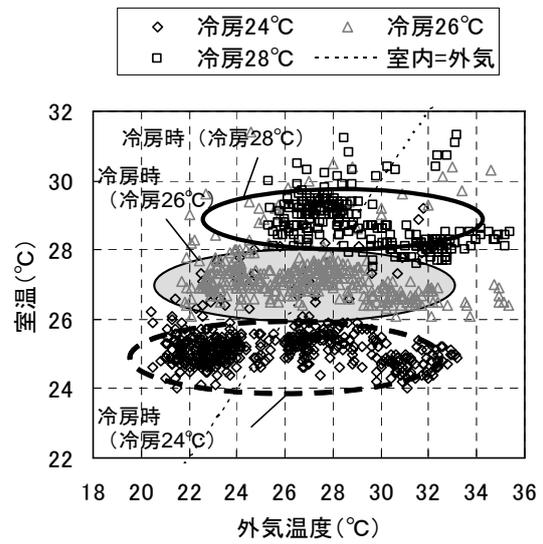
(a) 101号室



(b) 103号室



(c) 301号室



(d) 303号室

図4.4.6 居間における在室時の室内空気温度 (床上900mm) と外気温との関係

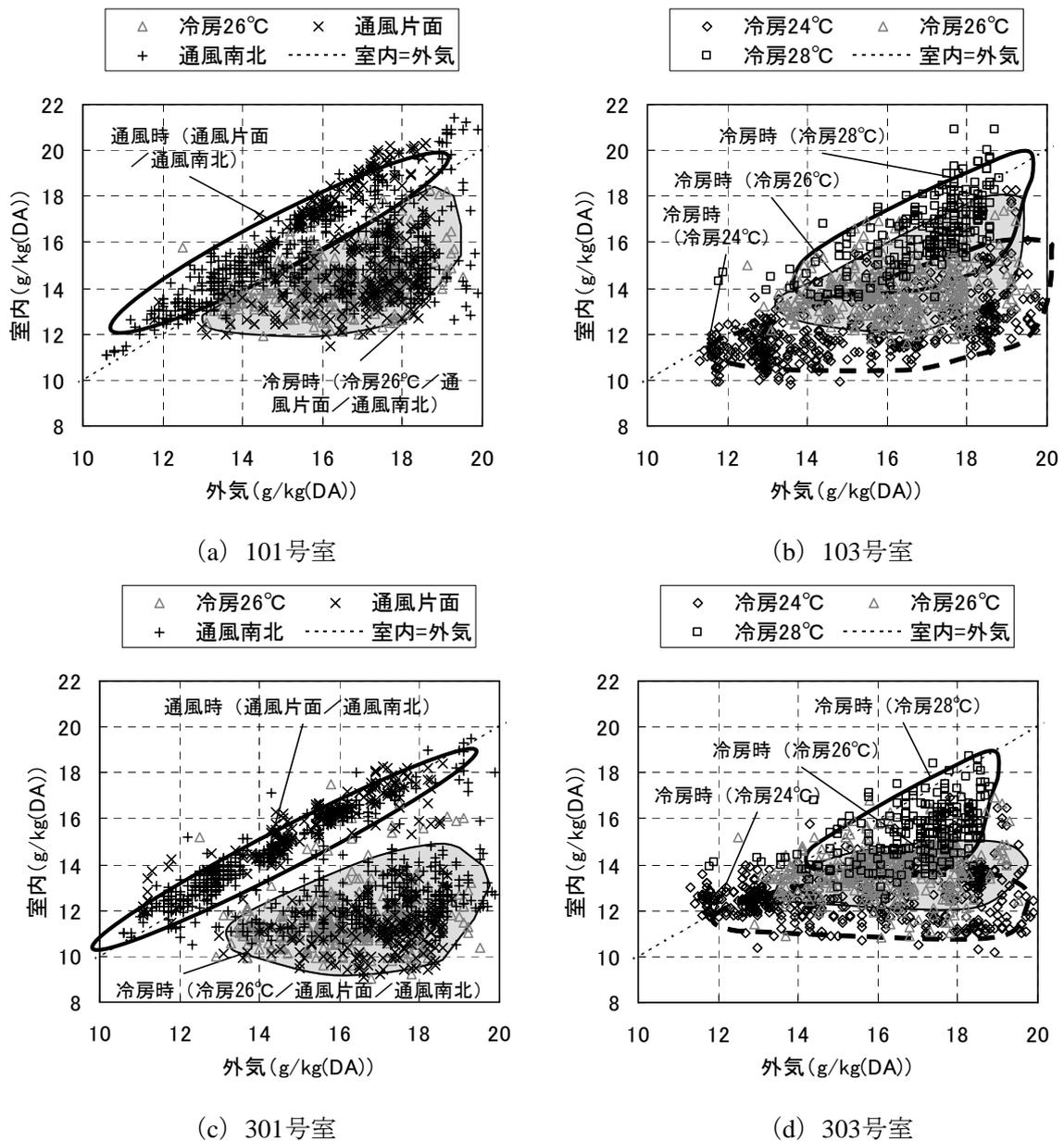
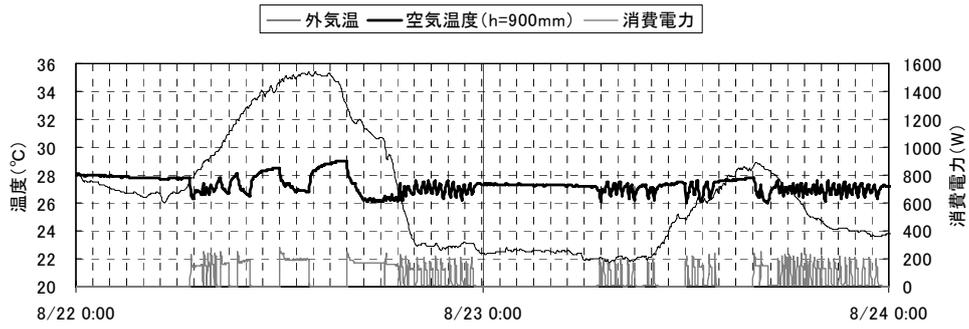


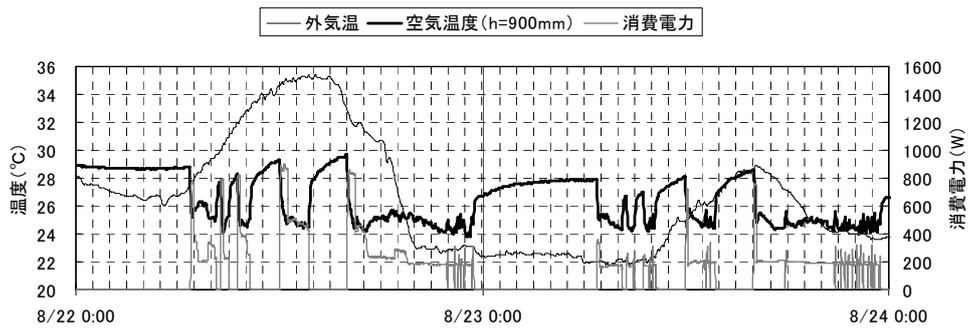
図4.4.7 居間における在室時の室内絶対湿度（床上900mm）と外気の絶対湿度との関係

(2) 通風冷房行為による消費電力量および冷房時間への影響

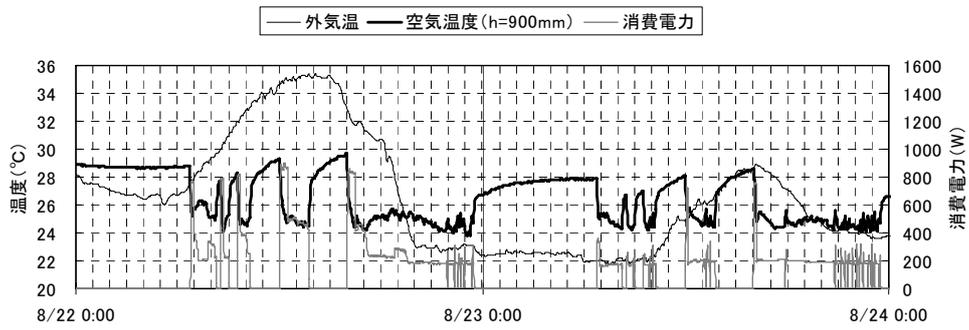
"冷房26°C"について、8月22日（生活スケジュール：平日）と8月23日（生活スケジュール：平日）の居間における室内空気温度（床上900mm）およびエアコンの消費電力の日変化を図4.4.8に示す。なお、8月22日は"冷房26°C"の実験の中で最も気温が高かった日であった。図4.4.8のように、1階の2住戸ではほとんどの時間で消費電力200W程度の運転であり、その大半が断続運転であった。一方、3階の2住戸では連続運転の割合も多く、また外気温の高かった8月22日には日中の起ち上がり時にはカタログに記載されている最大消費電力を示す運転も見られた。



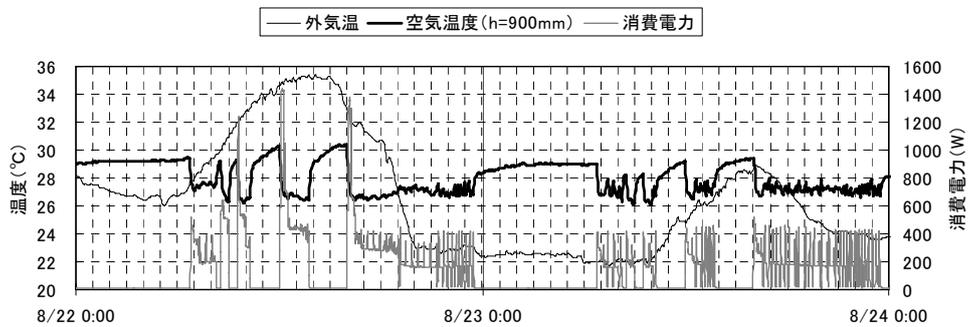
(a) 101号室



(b) 103号室



(c) 301号室



(d) 303号室

図4.4.8 居間における空気温度 (床上900mm) とエアコンの消費電力量の日変化 ("冷房26°C")

"通風南北"、"通風片面"、"冷房24℃"、"冷房26℃"、"冷房28℃"について、居間の日積算消費電力量および日積算冷房時間を日平均外気温で整理した結果を図4.4.9および図4.4.10に示す。"通風南北"および"通風片面"は"冷房26℃"に比べて、平均外気温が低い領域では冷房使用が抑制され、消費電力量も小さくなるが、28℃付近を境にその差はなくなる傾向にあった。これは、外気温が高い場合には"通風南北"や"通風片面"において通風では十分な快適性が得られず、エアコンがほぼ終日使用されるようになるため、"冷房26℃"と差がなくなることに起因している。"冷房24℃"、"冷房26℃"、"冷房28℃"については、リモコン設定温度が高いほどエアコンの消費電力量は小さかった。また、日積算冷房時間については、"冷房28℃"のみ日平均外気温による変動が見られたが、"冷房24℃"と"冷房26℃"では日平均外気温によらず終日冷房が行われた。一方、1階と3階を比較すると、日積算消費電力量については3階が1階の2倍程度となった。また、日積算冷房時間については通風の有無やリモコン設定温度の変更による影響は、3階に比べて1階の方が強く現れる傾向が見られた。表4.4.7に示すように1階と3階では日射や内部発熱(303号室のみ)に相違があり、1階に比べて3階の方が室温が高くなるのが、3階の冷房負荷や冷房時間を増加させる原因として挙げられる。さらに、冷房負荷の差異に加えて表4.4.7のように住戸によりエアコンの機器容量やCOPが異なることが、消費電力量に差が生じる要因となっている。

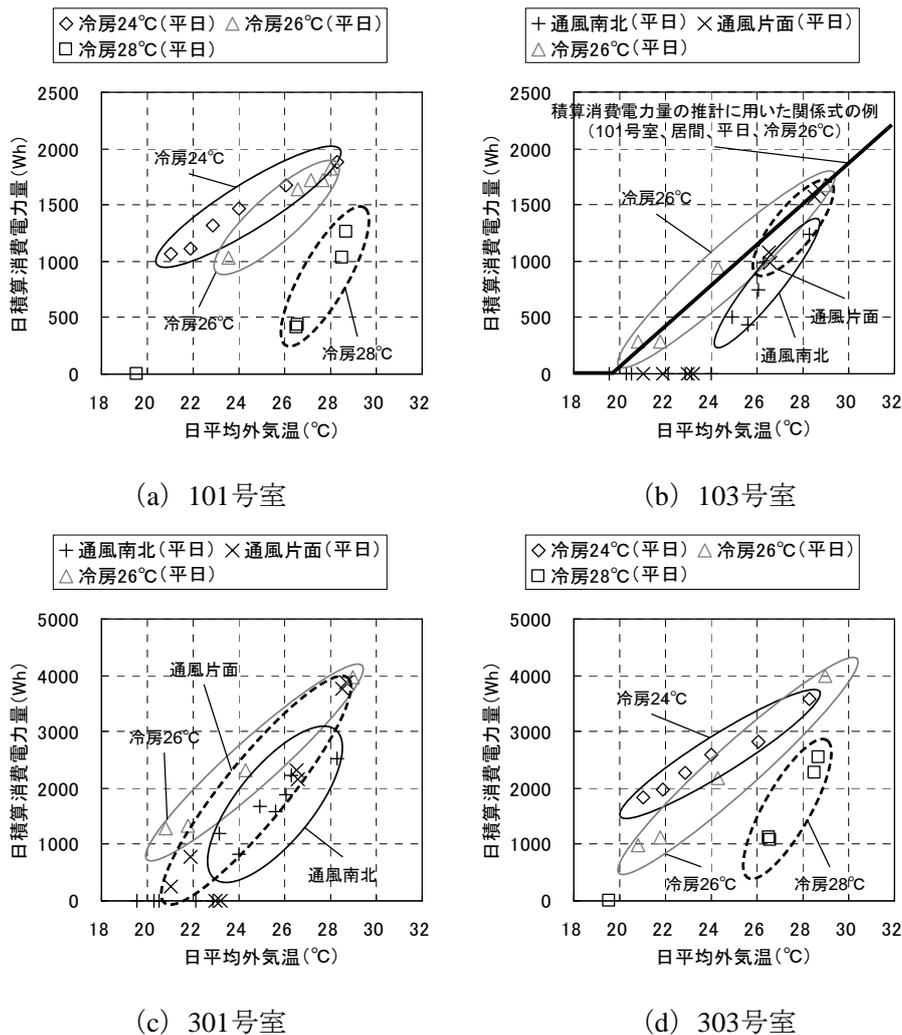


図4.4.9 居間の日積算消費電力量と日平均外気温との関係

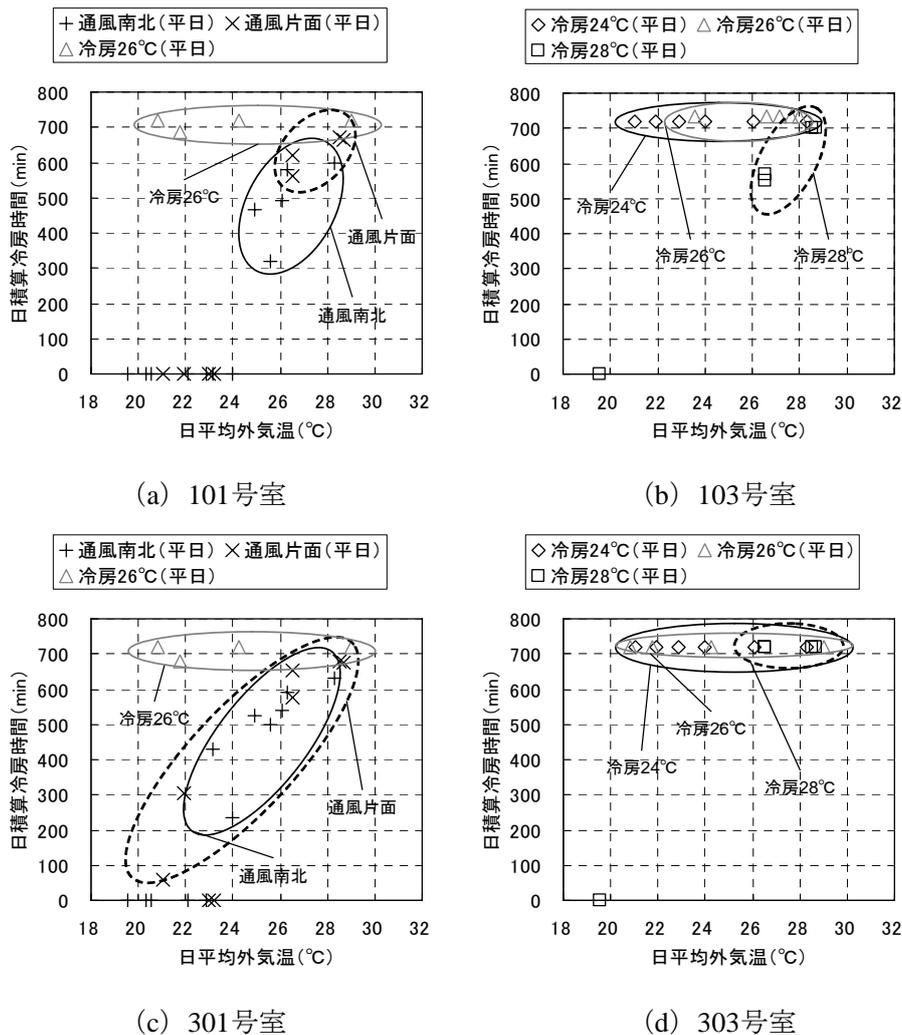


図4.4.10 居間の日積算冷房時間と日平均外気温との関係

表4.4.7 冷房消費電力に影響する主要素に関する住戸間の相対比較

住戸	エアコン			内部発熱	日射 (窓および躯体からの侵)
	機器容量		COP		
	居間	居間以外			
101	小	全て同じ	高	小	小
103	中		中		
301	大		低	大	

実験用集合住宅において、7月から9月までの期間を通して各実験条件 ("通風南北", "通風片面", "冷房24°C", "冷房26°C", "冷房28°C"のいずれか) で通風冷房行為が起こったと想定した場合の期間積算消費電力量を実験結果に基づき推計した。推計結果により、通風利用およびエアコン設定温度の変更による期間積算消費電力への影響について検討した。7月から9月までの各住戸における期間積算冷房消費電力量を各実験条件に対して推計した結果を図4.4.11に示す。ここで、推計は、図4.4.9に示す実験結果より日積算消費電力量と日平均外気温との関係式を直線近似で導出し (一例を図4.4.9- (a) 中に示す)、実験用集合住宅の屋上で計測した外気温の日平均値を用いて行った。なお、各実験条件に対する関係式は生活スケジュールごと (平日、外出、在宅)、居室

ごと（居間、和室、洋室1、洋室2）ごとに導出しており、推定値は日曜祭日を在宅、土曜を外出、その他を平日として各居室ごとに算定した値の総和とした。通風冷房行為による違いについて、各住戸における"冷房26℃"の推計結果を基準にすると、通風利用については101号室では"通風片面"で34%の減少、"通風南北"で58%の減少、301号室では"通風片面"で41%の減少、"通風南北"で56%の減少となった。また、月別に比較すると、7月や9月には削減効果が現れたが、8月は"冷房26℃"との差はほとんど生じなかった。これは、前述のように外気温が高い場合には、通風利用による削減効果を得ることができないことに起因している。一方で、リモコン設定温度の変更については103号室では"冷房24℃"で75%の増加、"冷房28℃"で63%の減少、303号室では"冷房24℃"で27%の増加、"冷房28℃"で65%の減少となった。

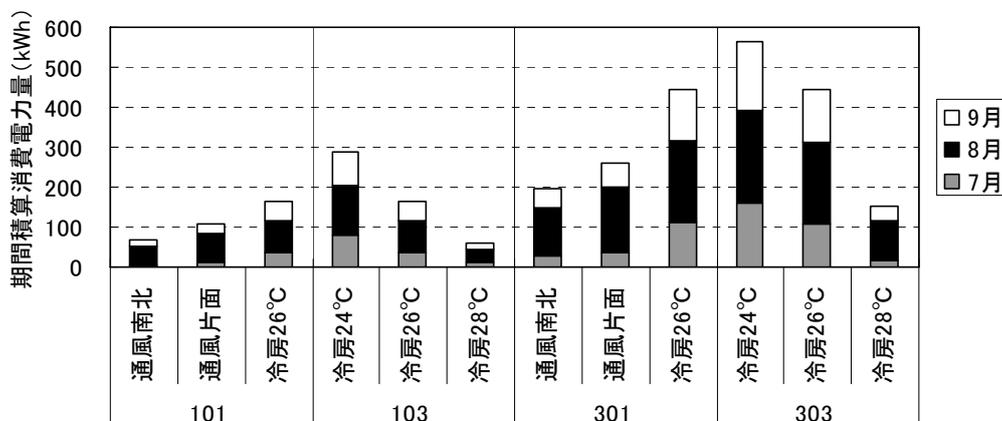


図4.4.11 各住戸の期間積算冷房消費電力量の推計結果

#### 参考文献

- 1) 澤地孝男、堀祐治、細井昭憲、前真之、秋元孝之、桑沢保夫、三浦尚志、三木保弘、田島昌樹、齋藤宏昭、戸倉三和子、西澤繁毅、羽原宏美、青木正諭、宇梶正明：省エネルギー効果検証を目的とした生活模擬手法を含む実験手法の提案：住宅のための省エネルギー手法の実験的研究に関する研究その1、日本建築学会環境系論文集、第621号、pp.69-76、2007.11
- 2) 澤地孝男、松尾陽、羽田野健、福島弘幸：暖冷房行為生起の決定要因と許容室温範囲に関する検討 住宅の室内気候形成に寄与する居住者の行動に関する研究 その1、日本建築学会計画系論文報告集、第382号、pp.48-59、1987.12
- 3) 羽原宏美、鳴海大典、下田吉之、水野稔：一般住戸を対象とした実態調査に基づく冷房発停の生起要因に関する検討、日本建築学会環境系論文集、第589号、pp.83-90、2005.3
- 4) 谷本潤、萩島理、片山忠久：冷房発停にマルコフモデルを適用した場合の熱負荷特性に関する基礎的検討 第3報-実測に基づく冷房発停状態の遷移特性に関する考察、空気調和・衛生工学会論文集、No.82、pp.59-66、2001.7

## 第5章 住宅・建築のための新たな省エネルギー要素技術の開発

住宅・建築のための新たな省エネルギー要素技術として、自然通風計画手法、照明計画手法に関する検討を行った。通風計画手法に関しては、住宅地において期待できる風圧係数差データの整備を中心に検討した。また、照明計画手法については、多灯分散照明導入時の明るさ評価と省エネルギー性に関する検討を行った。

### 5.1 住宅地における通風駆動力データの整備

通風による冷房エネルギー消費削減効果を定量的に評価することは難しいのが現状である。通風によって室内に導入される空気の量(通風量)は、主に、外部風向・風速、内外温度差、対象住宅周辺の状況(周辺の密集度、隣接住戸との距離、植栽や外構等)、対象住宅の形状・プラン、開口部の位置と種類・面積等に左右される。また、通風により移動する熱量は通風量と共に内外温度差によって決定され、通風時に形成される室内環境は、外皮の断熱性状、開口部の日射遮蔽性能によっても大きく影響を受ける。また、居住者の温熱感には、気流速、空気温湿度、表面温度等が影響を及ぼすことになる。さらに、居住者が開口部の開閉・冷房の利用についてどのような行動をとるかによっても、通風による省エネルギー効果は大きな影響を受ける。通風時の温熱環境は気象条件から居住者の行動まで広範な要因が複雑に影響を及ぼして形成されることが定量的な評価を難しくしている所以である。

なかでも対象とする住宅の形状・プランとその周辺の状況が通風の駆動力(風圧)にどのような影響を及ぼすかを定量的に予測することは非常に難しいのが現状である。ある特定の住宅(と周辺状況)を対象とした風圧の検討は風洞実験や数値流体力学(CFD)によって可能であるが、風圧に及ぼす影響を住宅形状や周辺状況を変更しつつ計画・設計に取り入れることは容易でなく、現実的とはいえない。

本節では、通風による冷房エネルギー消費削減効果を簡易に検討する際に必要となる、通風の駆動力となる風圧係数差を検討した結果を示す。密集住宅地を模したモデル群を使用した風洞実験で風圧の測定を行い、風圧係数差に住宅地の密集度、風向が及ぼす影響を、風圧変動を考慮して定量的に検討した。

#### 5.1.1 簡易評価に必要とされる風圧係数差データ

通風計画時に設計実務者が最も必要とする情報は、適切な通風環境を実現するための開口部の位置と面積であると考えられるが、一般的に想定される室内の網目状(ネットワーク状)の通風経路で評価を行うと換気回路網計算が必要となり、室内圧と経路上流量が各経路上の抵抗(面積と流量係数)のバランスにより決定されるため、開口部の位置と面積の直截的な評価を行うのは困難となる。また、外部境界条件としての風圧係数分布が経路上の流量・流れの向きに大きく影響するため周辺の状況を反映した対象住宅の適切な風圧係数分布が得られていることは、換気回路網計算による計算では前提となる。

しかし、換気回路網を使わずに簡単な計算から開口条件が適切かどうかを判断する方法を求められることも(特に設計実務者から)多く、そのためには正確度は劣っても妥当といえる風圧係数データが境界条件として必要とされる。

ここでは、簡易評価法として、通風量の計算にあたり、分岐のない(直列の)通風経路を想定するモデル化を行っている(図5.1.1)。一般的に想定される網目状(ネットワーク状)の通風空間と異なり、直列の通風経路を選択することで、換気回路網の計算を行わずに必要な通風量から開口部面積を簡単に同定することが可能となる。このモデル化により同定された開口部面積が網目状の経路で換気回路網を繰り返し計算し同定した面積と同等(もしくは安全側)とは一概には言えないものの、代表的な通風経路を選択することで開口部面積に求められる要件を検討可能だと考えている。

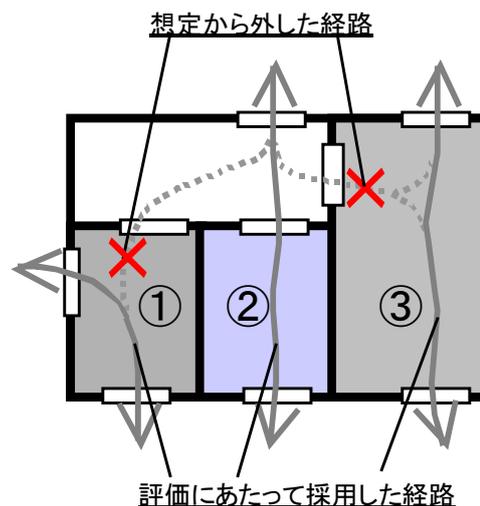


図5.1.1 通風経路の想定例

直列の通風経路においては、両端にあたる二開口部間に作用する風圧係数差が境界条件として必要となるが、風圧係数差には対象住宅周辺の状況や風向が及ぼす影響が反映されている必要がある。また、密集住宅地においては風圧係数差が非常に小さくなるため、経時的な風圧変動によって室内に流入する風量の影響も無視できないと考える。本節では、対象住宅周辺の状況を簡単にグロス建蔽率で代表させ、グロス建蔽率と風向が風圧係数差に及ぼす影響を、風圧変動を考慮して定量的に検討している。

### 5.1.2 風洞実験概要

風洞実験は地表面粗度区分IV( $\alpha=0.27$ )の速度プロファイルにあわせた境界層風洞(高さ1.8m、幅2.2m)に、1/83の住宅群モデルを導入して行った。実験時の境界層外の風速は25m/sに設定している。

測定対象モデルは都市域の2階建戸建住宅を想定して作成(図5.1.2)し、表面に216点(壁面に121点、屋根面に95点)の圧力測定タップを設けている(図5.1.3)。測定モデルを取り囲むように、測定モデルと同型ならびに切妻屋根の2階建戸建住宅を配置し密集住宅地を再現しており、住宅の配置は、建物間距離を表5.1.1、図5.1.4のように変更して12ケース設定し、それぞれのケースで16風向、1風向につき5回の実験を行っている。1回の実験の時間は29.5sであり、555.6Hzで同時サンプリングを行っている。

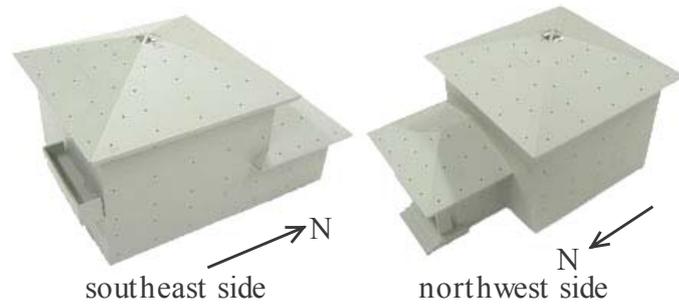


図5.1.2 測定対象模型

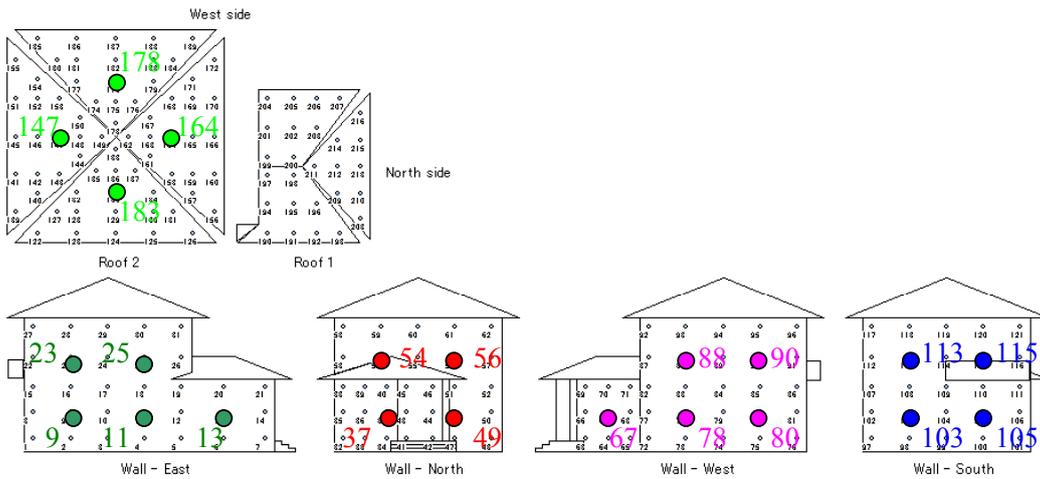


図5.1.3 圧力測定タップ配置

表5.1.1 住宅地の設定

ケース	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	グロス建蔽率	
1	—	—	—	(3.6%)	単独(参照用)
2	1 m	4 m	0 m	42.5%	最過密条件
3		6 m		41.0%	
4		7.5 m		39.2%	
5		4 m	4 m	40.6%	
6		6 m	6 m	37.7%	
7		2 m	4 m	0 m	
8	4 m	33.3%			
9	8 m	25.3%			
10	2 m	4 m		37.3%	
11	4 m			31.9%	
12	8 m			24.1%	

\*L<sub>1</sub>: 東西方向建物間距離, L<sub>2</sub>: 北面道路幅, L<sub>3</sub>: 南北方向距離の最過密条件からの増分

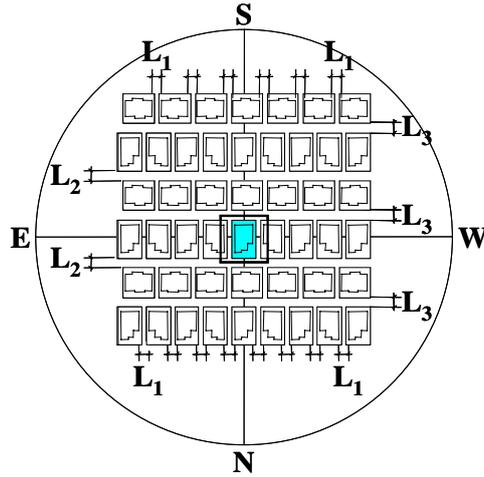


図5.1.4 住宅配置

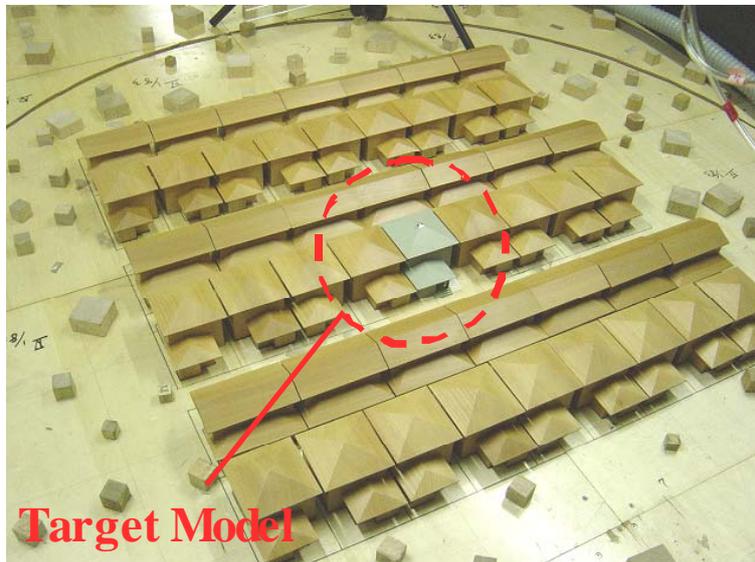


図5.1.5 風洞実験の実施状況(最過密条件)

### 5.1.3 風圧係数差の分析

#### (1) 分析方法

通風用開口部が設置されると想定した測定点(図5.1.3で大書した番号位置)の組合せにより、5グループの通風経路を想定し、グループ毎に風圧係数差の分析を行った(図5.1.6)。

グループA、Bは1階、2階で直角に曲がった通風経路(図5.1.1中の経路①)であり、一居室に二面の開口がある場合を想定したグループである。また、グループC、Dは、大きな居室を横切る経路(図5.1.1中の経路③)、もしくは、居室から内部開口部を介して隣接空間につながる経路(図5.1.1中の経路②)を想定している。グループEは2階壁面の開口部と屋根面の天窓を結ぶ経路を想定したグループである。

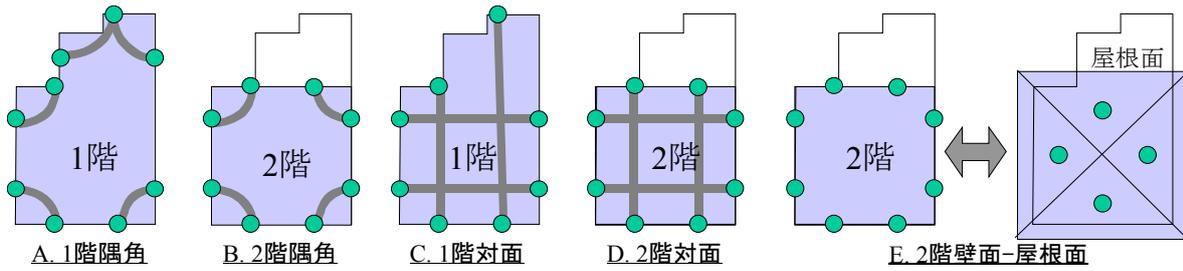


図5.1.6 分析で想定した開口部位置の組み合わせ

以上のグループで開口部間の風圧係数差の検討を行ったが、風圧係数差を評価するにあたり、一般に用いられる平均風圧係数差(本節では $\Delta C_{p0}$ )の他に、別に定義した $\Delta C_{p1}$ 、 $\Delta C_{p2}$ 、 $\Delta C_{p3}$ を導入し検討を行っている(図5.1.7)。

$\Delta C_{p0}$ は、点a、bの瞬時の風圧係数 $C_{pa}$ 、 $C_{pb}$ の差の時間平均値であり、平均風圧係数 $\bar{C}_{pa}$ 、 $\bar{C}_{pb}$ から式1で求まる。

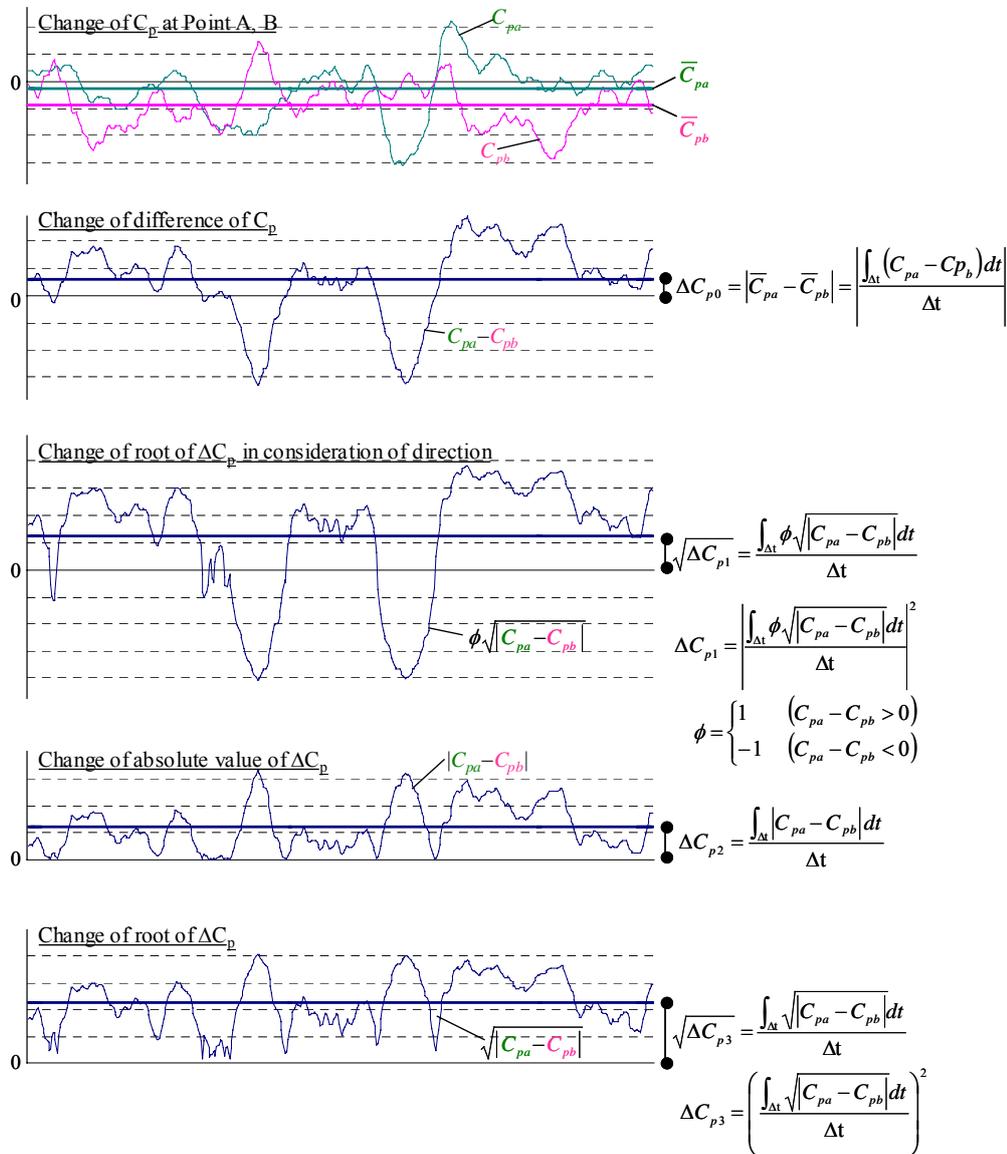


図5.1.7 風圧係数差の定義

$$\Delta C_{p0} = \left| \int_{\Delta t} (C_{pa} - C_{pb}) dt \right| / \Delta t = \left| \bar{C}_{pa} - \bar{C}_{pb} \right| \quad (1)$$

$\Delta C_{p1}$ は、オリフィス式(式2)により平均通過風量を適切に計算するために式3で定義した平均風圧係数差となる。

$$\bar{Q} = \int_{\Delta t} Q dt / \Delta t = C_d V_{ref} \int_{\Delta t} \phi |C_{pa} - C_{pb}|^{0.5} dt / \Delta t \quad (2)$$

$$\Delta C_{p1} = \left( \int_{\Delta t} \phi |C_{pa} - C_{pb}|^{0.5} dt / \Delta t \right)^2 \quad (3)$$

オリフィス式では、風圧係数差の0.5乗に風量が比例するため、 $\Delta C_{p0}$ を風圧係数差として計算した風量 $Q$ は式2の風量平均値とは一致しないことになる。この齟齬を修正し、適切な風量を計算するために定義した平均風圧係数差が $\Delta C_{p1}$ であり、瞬時の風圧係数差を積分する際にルートをとって積分することとしている( $\phi$ は2点の風圧の大小によって決まる流れの向きを表す係数。図5.1.7参照)。

一方、 $\Delta C_{p0}$ 、 $\Delta C_{p1}$ から求めた風量は、ある時間間隔内の一方向への風量平均値の意味を持つ。これは、ある平均時間間隔内に風圧係数差の正負が逆転する場合では、 $\Delta C_{p0}$ 、 $\Delta C_{p1}$ から求めた風量は相殺した値で算出されることを意味し、風圧変動による風量の脈動が評価されていないことになる。大きな平均風圧係数差が得られる状況では、風圧差の正負(流れの向き)の逆転が生じることが相対的に小さくなるためそれほど問題にならないが、風圧係数差が小さくなる密集住宅地では、風圧差の変動により室内に導入される風量は無視できなくなる。風圧変動により室内に導入される風量を評価できるように定義した平均風圧係数差を $\Delta C_{p2}$ 、 $\Delta C_{p3}$ としている。

$$\Delta C_{p2} = \int_{\Delta t} |C_{pa} - C_{pb}| dt / \Delta t \quad (4)$$

$$\Delta C_{p3} = \left( \int_{\Delta t} |C_{pa} - C_{pb}|^{0.5} dt / \Delta t \right)^2 \quad (5)$$

$\Delta C_{p2}$ は、積算時に風圧係数差の絶対値をとることで( $\Delta C_{p0}$ (式1)の積分内で絶対値をとるように変更している)、二開口のどちらから流入した風量も正值としてカウントすることで風圧変動の効果を組み入れている。 $\Delta C_{p3}$ (式5)は、 $\Delta C_{p1}$ に風圧変動の効果を組み入れた式となっており、 $\Delta C_{p3}$ を風圧係数差としてオリフィス式で風量を計算することで、風圧変動も加味して室内に流入する風量を算定することができることになる。

## (2) 導入した風圧係数差の関係性の検討

前項で導入した4種類の風圧係数差の性状について検討した。

図5.1.8に、通常用いられる風圧係数差 $\Delta C_{p0}$ と $\Delta C_{p1}$ 、 $\Delta C_{p2}$ 、 $\Delta C_{p3}$ の関係を、ケース1(単独条件)とケース2(最過密条件)、グループAとグループEについて示す。

オリフィス式により平均風量を正確に求めるために導入した $\Delta C_{p1}$ は、常に $\Delta C_{p0}$ を下回る結果となった。これは $\Delta C_{p0}$ を用いると一方向流れの平均風量は常に過大評価されることを意味する。この傾向は、 $\Delta C_{p0}$ が小さい範囲で顕著である。

一方、風圧変動の効果を平均風圧係数差に取り込むために導入した $\Delta C_{p2}$ 、 $\Delta C_{p3}$ については、

$\Delta C_{p0}$ が0に近づいても、 $\Delta C_{p2} > 0$ 、 $\Delta C_{p3} > 0$ であることが分かる。 $\Delta C_{p3}$ の最小値は、グループAで0.03程度となっている。また、最過密条件であるケース2のグループEにいたっては、 $\Delta C_{p0}$ が0であっても $\Delta C_{p3}$ では0.2程度確保できる結果となっている。これは、風圧変動により通風経路の両端の開口から室内に流入する風量が如実に増大していることを意味する。

また、風圧変動による二方向流れの通過風量を正確に求める際に使用する $\Delta C_{p3}$ は、 $\Delta C_{p0}$ が小さい範囲で $\Delta C_{p3} > \Delta C_{p0}$ と、 $\Delta C_{p3}$ が大きくなると $\Delta C_{p3} < \Delta C_{p0}$ となる傾向を示す。これは、一般に使用される風圧係数差 $\Delta C_{p0}$ を用いて計算すると、風圧変動を考慮して室内に流入する風量にくらべ、風圧係数差が小さいレンジで過少に、風圧係数差が大きい範囲で過大に評価することを意味している。

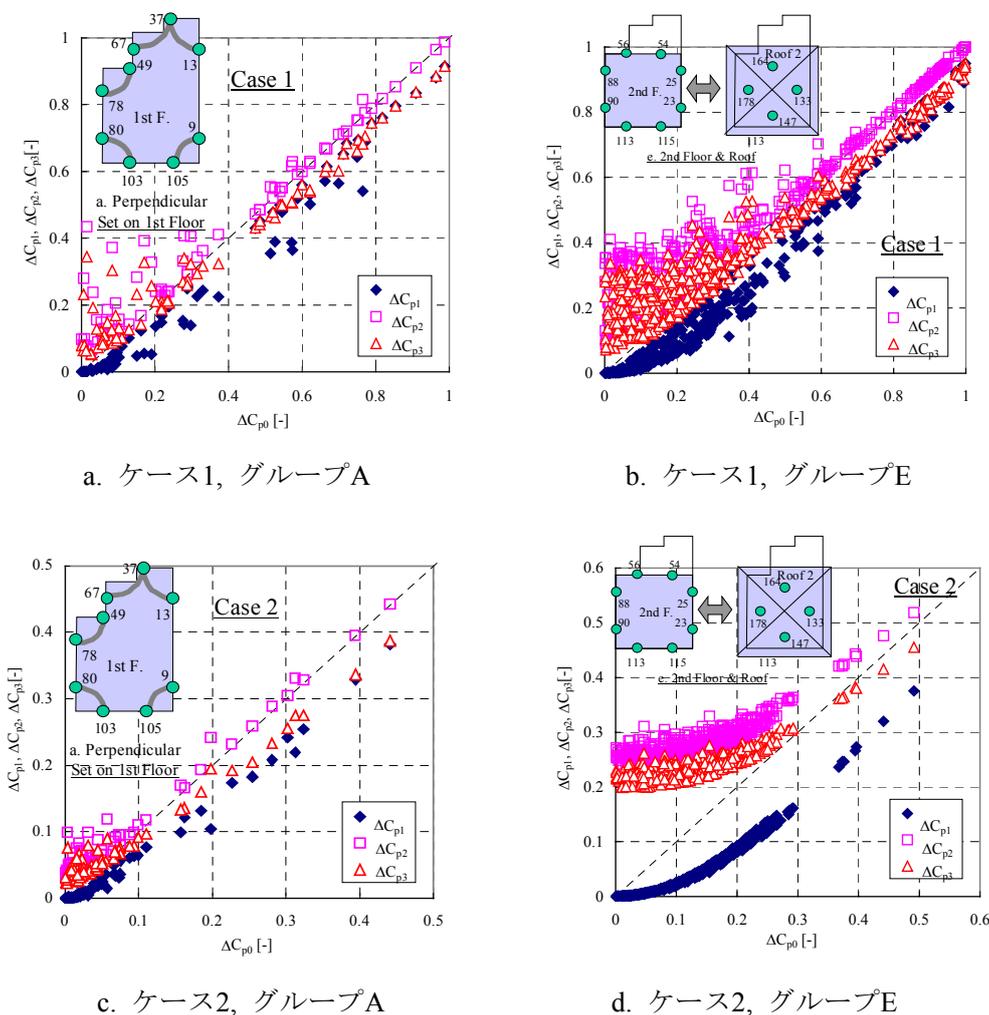


図5.1.8 風圧係数差の関係

また、本節で定義した $\Delta C_{p1}$ 、 $\Delta C_{p2}$ 、 $\Delta C_{p3}$ は、変動成分を表す指標として風圧差の標準偏差 $\sigma_{\Delta C_p}$ とあわせて通常使用される風圧係数差 $\Delta C_{p0}$ と近似的に関連づけることができる。図5.1.9は、 $\Delta C_{p3}$ と $\Delta C_{p0}$ の比と風圧差変動の強度( $\sigma_{\Delta C_p} / \Delta C_{p0}$ )の関係を全ケース、全グループ、全風向について示したものである。 $\Delta C_{p3} / \Delta C_{p0}$ と $\sigma_{\Delta C_p} / \Delta C_{p0}$ の間には強い関係性がうかがわれ、図中の式で関係を近似することができた。 $\Delta C_{p1}$ 、 $\Delta C_{p2}$ についても同様に風圧差変動の強度( $\sigma_{\Delta C_p} / \Delta C_{p0}$ )で整理

することができ、以下の関係式を得られている。

$$\begin{aligned} \Delta C_{p1} &= \text{Min}[1.22 \Delta C_{p0} \cdot \exp(-0.5 \sigma_{\Delta C_p} / \Delta C_{p0}), \Delta C_{p0}] \\ \Delta C_{p2} &= \text{Max}[0.2 \Delta C_{p0} + 0.7 \sigma_{\Delta C_p}, \Delta C_{p0}] \\ \Delta C_{p3} &= \text{Max}[\Delta C_{p0} - 0.1 \sigma_{\Delta C_p}, 0.3 \Delta C_{p0} + 0.6 \sigma_{\Delta C_p}] \end{aligned} \quad (6)$$

一方、二点間の風圧係数差の標準偏差( $\sigma_{\Delta C_p}$ )は、二点の風圧係数の標準偏差 $\sigma_{C_{pa}}$ 、 $\sigma_{C_{pb}}$ の和と関係づけることができる(図5.1.10)。多少のばらつきがあるものの、式7で近似できた。

$$\sigma_{\Delta C_p} = 1.24 (\sigma_{C_{pa}} + \sigma_{C_{pb}}) - 0.42 \quad (7)$$

式6と式7を用いることで、通風経路の両端に位置する開口での平均風圧係数 $C_{pa}$ 、 $C_{pb}$ と風圧係数の標準偏差 $\sigma_{C_{pa}}$ 、 $\sigma_{C_{pb}}$ から、 $\Delta C_{p1}$ 、 $\Delta C_{p2}$ 、 $\Delta C_{p3}$ を近似的に求めることが可能となった。一般に、風圧係数分布のデータベースは平均風圧係数の他には風圧係数の標準偏差を備えているかどうかであり、二点間の風圧係数差の標準偏差( $\sigma_{\Delta C_p}$ )は、二つの開口部として想定される無数の測定点から二点を特定する必要がある、また風圧データの経時変化を保持している必要があることから、データベースとして保持することは実際的には不可能である。式7で二点の風圧係数の標準偏差から $\sigma_{\Delta C_p}$ を近似的に求めることが可能となったため、既存のデータベースを活用して風圧変動の効果を加味した平均風圧係数差を算定する道筋が開けたと言える。

図5.1.11は、実験で得られた経時変化から直接算出した $\Delta C_{p3}$ (実験値)と式6、7を使って算出した $\Delta C_{p3}$ (予測値)の関係を示した図である。風圧係数差が小さい領域でばらつきが大きくなっているが、実用上大きな問題はないと考えている。

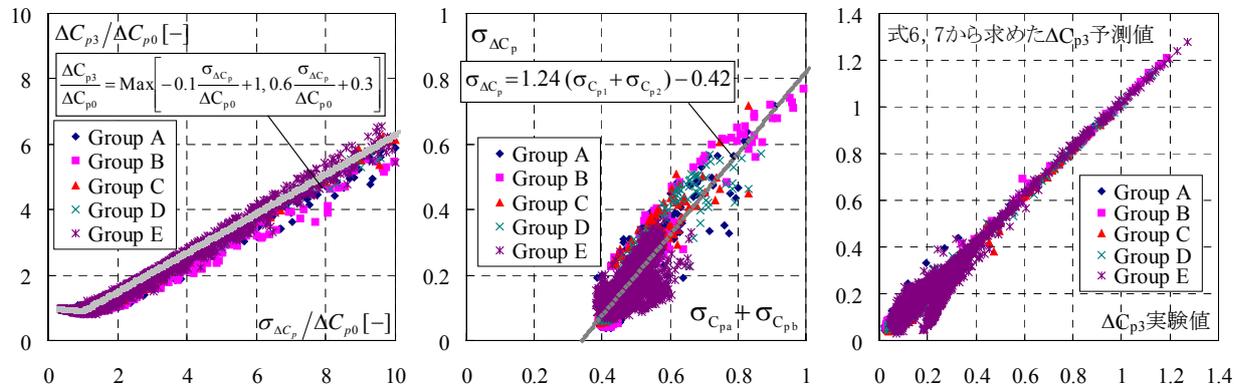


図5.1.9  $\sigma_{\Delta C_p} / \Delta C_{p0}$ と $\Delta C_{p3} / \Delta C_{p0}$

図5.1.10  $\sigma_{C_p}$ と $\sigma_{\Delta C_p}$

図5.1.11 実験値と予測値

#### 5.1.4 住宅の密集度、風向と風圧係数差の関係

図5.1.13に、想定した通風経路のグループ毎に、住宅地の密集度(グロス建蔽率)と風圧係数差 $\Delta C_{p0}$ 、 $\Delta C_{p3}$ の関係を示す。図5.1.13には各ケース(グロス建蔽率)の全風向のデータが反映されており、平均、最大、最小値の他にパーセンタイル値(P\*\*:\*\*パーセンタイル値)を示している。また、風向の影響を検討するために、グループA~Dでは、「風上側」に面した開口を含む経路と含まない経路に二分しそれぞれの平均値を示している。ここでは、「風上側」とは開口面が風向に45°以内で面する場合としている(図5.1.12)。また、2階壁面の開口部と屋根面の天窓を結ぶ経路を想定したグループEについては、「風上側」壁面開口+「風下側」天窓と、「風上側」を除く壁面開口+「風下側」天窓の風圧係数差の平均値をあわせて図示している。

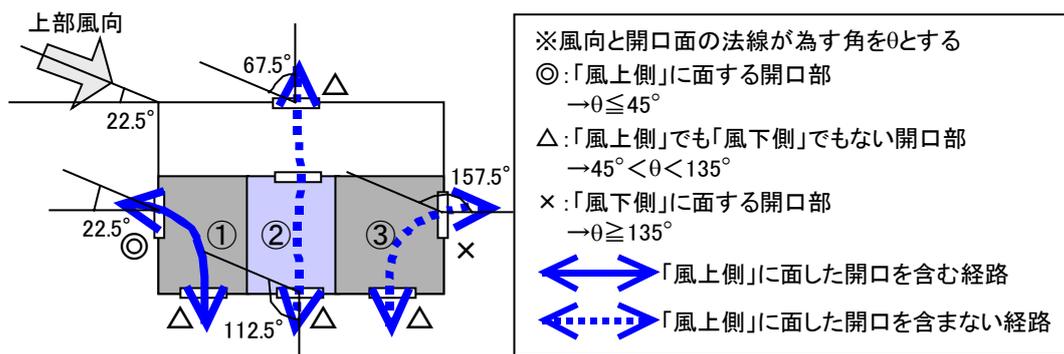


図5.1.12 風向と開口部の位置関係

図5.1.13からは、一般的に使用される平均風圧係数差 $\Delta C_{p0}$ と本節で導入した $\Delta C_{p3}$ の間には、グロス建蔽率との関係においてそれほどの違いはなく、 $\Delta C_{p0}$ 、 $\Delta C_{p3}$ とともに、グロス建蔽率が大きくなるにつれ風圧係数差が低下する傾向にある。違いがある点としては、 $\Delta C_{p0}$ の最小値がほぼ0となるのに対し、 $\Delta C_{p3}$ の最小値が0.05程度となることである。これは、一般的な平均風圧係数差 $\Delta C_{p0}$ を使用すると、風圧係数差が小さいレンジでは、風圧変動の効果を評価していないことから、室内に流入する風量を過少に評価してしまうことを意味している。逆に言えば、風圧変動の効果を考えれば、平均風圧係数差で0.05程度の導入風量は最低限確保できることになる。

グロス建蔽率が3割を超えると、期待できる風圧係数差は大きく変化せずほぼ横ばいとなり、グロス建蔽率が25%程度のケース9、12においても、3割以上とくらべて若干大きくなる程度である。これら住宅地模型群(ケース2~12)における風圧係数差の結果は、測定対象模型を単独で配置し周辺模型を排除した単独条件(ケース1)で平均的に得られる $\Delta C_{p3}$ が0.4~0.6程度との結果とかけ離れている。住宅地のグロス建蔽率が20%~40%程度であることを考えると、住宅地内の住宅は、密集度の多少の違いにかかわらず、全般的に通風駆動力を得るには不利な状態と言える。

また、風向の影響についても、単独条件(ケース1)では風向を意識した開口配置(風上側に開口部を配置等)をとることで大きな風圧係数差を確保することが可能であるが、一方でグロス建蔽率3割以上のケースでは、風向を意識した開口配置をとっても得られる通風駆動力に際だった違いは生じない。以上から、住宅地においては全般的に通風の駆動力は小さく、風向による影響も小さいため、通風計画においては開口配置計画より開口面積の確保を重視する必要があると言える。

以上の検討から、5.1.1で記した簡易評価法の境界条件として採用した風圧係数差を表5.1.2に示す。風圧変動の効果を加味した平均風圧係数差 $\Delta C_{p3}$ について、想定した通風経路のグループ、住宅の密集度(住宅地と単独)、風向の影響で整理し、簡易評価法に用いる妥当な平均風圧係数差を設定した。住宅地においては風向と開口配置の関係によらずに0.05とし、卓越風の風下側に天窓等の高窓を使用する場合には0.15を使えるものとした。また、単独条件に近い状況にある住宅については、卓越風向側に開口が面しているときに0.5、面していないときには0.2とし、卓越風の風下側に天窓を使用する場合には0.5を使えるものとしている。

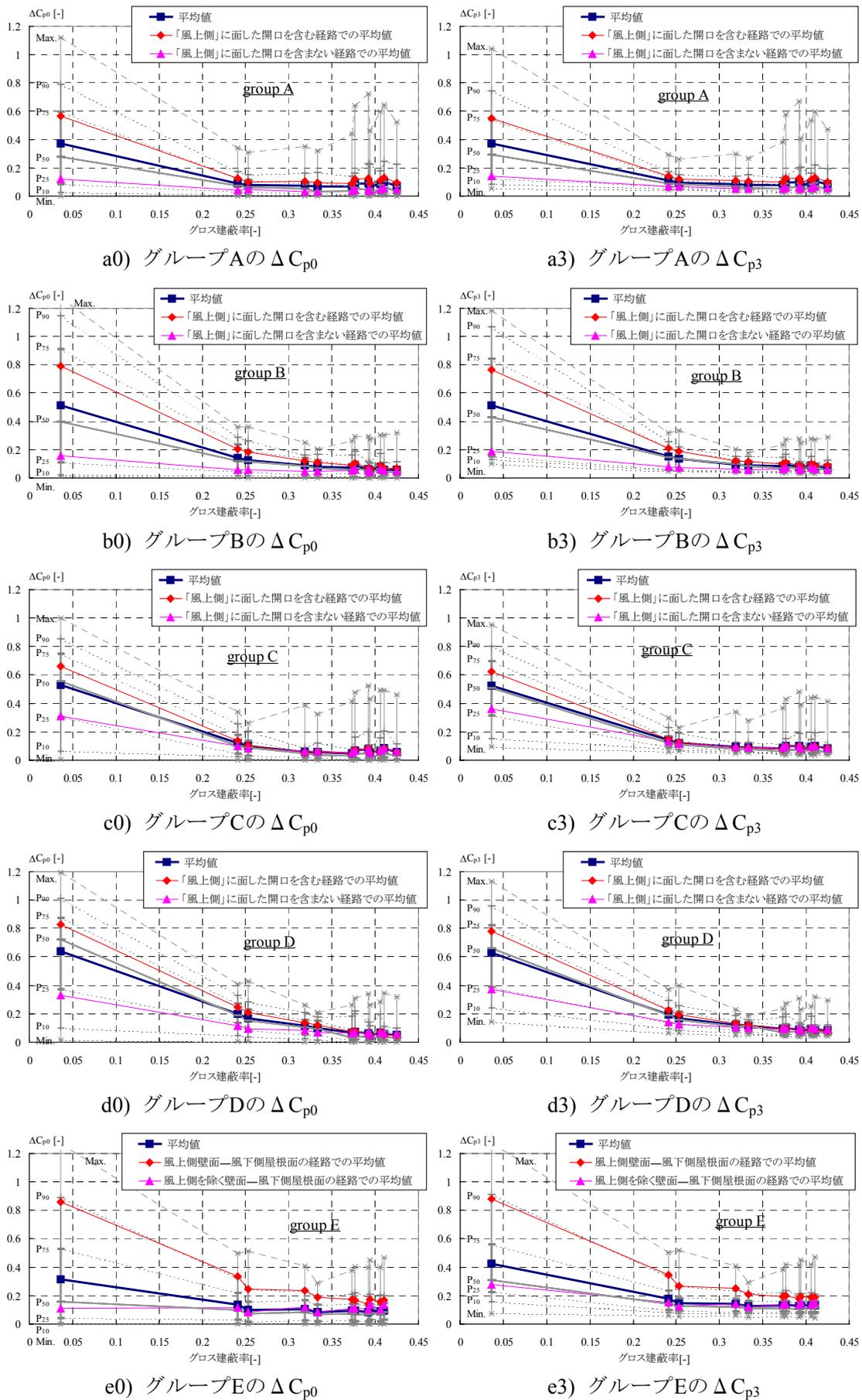


図5.1.13 グロス建蔽率と風圧係数差の関係

表5.1.2 簡易評価法に採用した風圧係数差

想定した通風経路		開口位置と風向の関係				開口位置と風向の関係	
立地条件		A. 1階隅角	B. 2階隅角	C. 1階対面	D. 2階対面	E. 2階壁面-屋根面	
住宅地	開口部が風上側にある場合	0.1~0.14	0.08~0.21	0.08~0.15	0.08~0.23	天窓が風下側屋根面にある場合	0.15~0.22
	開口部が風上側でない場合	0.05~0.07	0.06~0.08	0.08~0.13	0.08~0.14		
		設定にあたり採用した値→				採用値→	<b>0.15</b>
単独	開口部が風上側にある場合	0.55	0.77	0.62	0.78	天窓が風下側屋根面にある場合	0.49
	設定にあたり採用した値→	<b>0.5</b>					
	開口部が風上側でない場合	0.14	0.19	0.36	0.37		
	設定にあたり採用した値→	<b>0.2</b>					

### 5.1.5 まとめ

開口位置と面積から通風による冷房エネルギー消費削減効果を検討するための簡易評価手法を作成するにあたり必要となる通風空間の簡易モデルを概説した。境界条件となる風圧係数差に求められる要件を整理し、対象住宅周辺の状況を表すグロス建蔽率と風向の及ぼす影響を、風圧変動を考慮して風洞実験結果から検討した結果、住宅地においては全般的に通風の駆動力は小さく風向による影響も小さいため通風計画においては開口配置計画より開口面積の確保を重視する必要があることを確認した。また、簡易評価法でのパラメータとして妥当な平均風圧係数差を設定している。ここでの検討結果は、平成21年4月1日施行予定の住宅事業建築主の判断の基準の中で、通風の冷房負荷削減量算定に反映される見込みである。

### 参考文献

- 1) S. Nishizawa, et al., "Evaluation of effect of the wind pressure fluctuation for cross ventilation in the residential district", Proceedings of AIVC 2008, Vol.2, pp.367-362, 2008.10

## 5.2 多灯分散照明の考え方と実空間におけるケーススタディ

### 5.2.1 多灯分散照明による光環境の質と省エネルギー性両立の考え方

住宅の照明エネルギー消費量は、実は住戸全体の消費量のかなりの部分を占めており、機器の効率化にもかかわらず増加し続けている。また、住宅の照明は、室内の雰囲気形成など、質的な観点での役割も有している。

したがって、機器の効率だけではない、使い方という観点から省エネルギーを図りつつ光環境の質を向上させる新たな方法が求められている。

多灯分散照明方式は、そのような背景のもと、三木ら<sup>1)</sup>によって提案された手法である。一室多灯照明方式（一つの部屋に複数の照明設備を配置する照明方式）に省エネルギーの考え方を付加した新しい照明方式であり、設計時に複数の照明設備の合計W数を制限し、運用時に照明設備の点灯パターンをコントロールすることで光環境の向上と照明の省エネルギーを両立するというものである。

設置された設備のW数の単純な合計を考えると、複数の照明機器による照明よりも、一室一灯（一つの空間に一つの照明機器を設置する照明方式）による照明の方が効率は高いと通常みなされやすいが、リビングルームのようにある程度広く様々な生活行為が求められる場所では、生活行為や求める雰囲気によっては室全体を万遍なく照らす必要はなく、複数の機器の点灯の設定によって必要な箇所だけ照明することで、光環境の質を向上させつつ省エネルギー性を確保できる可能性が高い。ただし、設計時のW数の制限がなければ居住者の使用状況に依存する部分が大きくなり、必要に応じた照明の点灯を行っても消費量が逆に増加してしまうというリスクがあることから、設計時のW数の制限が非常に重要となる。

多灯分散照明方式は、理論的には、複数の行為を行う居室全てで考えることが可能であるが、光環境の質と省エネルギーの観点から、なされる生活行為の種類が多く、かつ在室時間が長いリビングルームやダイニングルームを主な対象とするのが有効と考えられる。

住宅照明で省エネルギーを重視すると、間接照明のような比較的効率の低い照明を使わないで光環境の質を犠牲にするという傾向が強くなるが、多灯分散照明方式は複数の照明器具の組み合わせで様々な光環境を創り出す照明方式であることから、間接照明を採用しても運用次第で省エネルギーを実現することが可能となる。

### 5.2.2 多灯分散照明による明るさ評価と省エネ性に関するケーススタディ

#### (1) はじめに

既往研究<sup>1)</sup>では、多灯分散照明の考え方に基づき、27個の照明パターンについて評価実験を行い、生活行為・雰囲気への対応といった光環境の質と、一室一灯よりも少ない消費電力の両立が可能であることを示したが、空間の明るさ評価については未検討であった。

そこで、本実験は、集合住宅のリビング・ダイニング室で典型的な一日の生活パターンが進められることを想定し、多灯分散照明が用いられた場合に生ずる光環境の明るさ評価と省エネルギー性に関する基礎的検討を行うことを主たる目的としている。具体的には、(独)建築研究所に設置された実験用集合住宅において、一日の標準的な生活パターンに基づいた昼光の利用状況、多灯分散照明の点灯・消灯状況を再現し、その光環境の輝度画像を測定するとともに、あわせて局所的・空間的な明るさに関する被験者評価を行う。さらに、得られた輝度画像から、輝度-明るさ

変換システムを用いて明るさ画像を得る。このようにして得られた輝度画像・明るさ画像および被験者評価を分析し、各光環境がもつ問題点を把握するとともに、各光環境を構成する照明器具の点灯W数を勘案することで、住宅における多灯分散照明における明るさ評価と省エネルギー性に関する基礎的知見を得る。

## (2) 研究方法

### 1) 測定対象

自立循環型住宅総プロ（平成13～平成16年度）で設定された標準的な生活パターンにおいて、昼光の状況、点灯照明器具の違いなどを考慮して、表5.2.1に示すような11の生活シーンを設定した。

そしてその生活シーンの光環境を、(独)建築研究所に設置された実験用集合住宅において図5.2.1の照明配置により再現し、その輝度分布を測定した。

表5.2.1 選択された11の生活シーンと照明パターン

シーン番号	時間帯	場所/生活行為	点灯照明器具	合計W数
1	平日6:45～7:15	ダイニング/新聞・朝食	P3, P4	24W
2	平日7:30～8:15	リビング/テレビ	P2	12W
3	平日8:30～9:00	リビング/掃除	D6,D7,D8	36W
4	平日12:15～12:45	ダイニング/昼食	P3	12W
5	平日16:00～16:30	リビング/テレビ	P2, D7	24W
6	平日17:00～17:15	リビング/家事、趣味、お茶	P2, D7, B2, T3	40W
7	平日17:15～18:30	リビング/家事、趣味、お茶、テレビ	P2, D7, B2, T3, P3	52W
8	平日18:30～19:30	リビング/テレビ	P2, D7	24W
9	平日19:30～20:15	ダイニング/夕食	B2, P3, P4	32W
10	平日22:30～23:15	ダイニング/パソコン	P3, P4	24W
11	平日23:15～23:30	リビング/テレビ、ダイニング/パソコン	P2, D7, P3, P4	48W

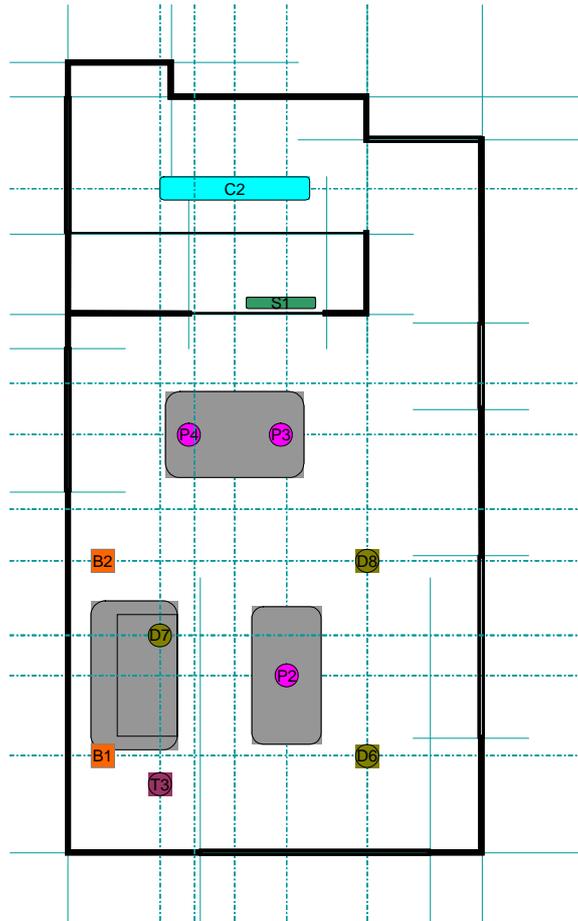


図5.2.1 照明器具配置（リビング側が南）

## 2) 測定方法

輝度画像の測定は、LD室の入り口の部分から、①正面の窓方向、②南西隅方向という、二つの方向について行った。測定画角は、横方向 $57.4^\circ$ 、垂直方向 $44.3^\circ$ である。図5.2.2に、輝度画像の測定事例（方向①と方向②）に測定された輝度画像の例を示す。

輝度画像の測定と同時に、輝度画像の変換により導かれる明るさ画像（後述）の検証のため、被験者5名にて、図5.2.3に示す測定ポイントと評価シートのようにあらかじめ設定した13ポイントについて局所的な明るさに問題ないかどうかを判定し、さらに部屋全体の明るさ感を評定した。

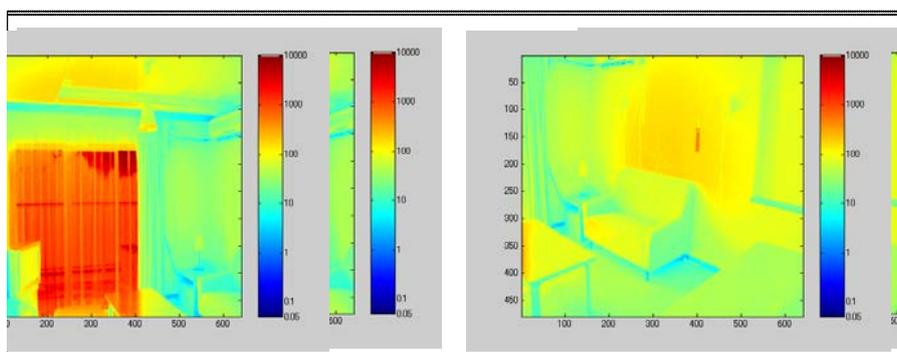


図5.2.2 輝度画像の測定事例（方向①と方向②）

氏名: \_\_\_\_\_

評価用紙



- ① センターテーブル面
- ② ダイニングテーブル面
- ③ ソファ座面
- ④ ブラケットの間
- ⑤ 南側ブラケットの下
- ⑥ 北側ブラケットの下
- ⑦ 南西隅天井近くの壁面
- ⑧ 南側天井の下がった部分の側面
- ⑨ テレビ背面の東側の壁面
- ⑩ ソファ北側の床面
- ⑪ 西側壁面の奥まったところの側面
- ⑫ 窓の外のベランダ
- ⑬ センターテーブル上のペンダントの下端

	明るすぎる	問題ない	暗すぎる		明るすぎる	問題ない	暗すぎる
①				⑦			
②				⑧			
③				⑨			
④				⑩			
⑤				⑪			
⑥				⑫			
				⑬			

室全体の明るさ感

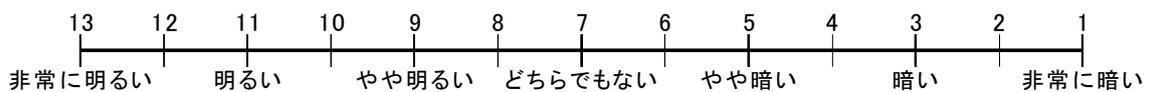


図5.2.3 測定ポイントと評価シート

### (3) 結果と考察

#### 1) 明るさに関する結果と考察

前述の11シーンのそれぞれについて、測定された2枚の輝度画像を変換し、2枚の明るさ画像が作成された。図5.2.4に例としてシーン1の輝度画像及び変換された明るさ画像を示す。なお、輝度画像から明るさ画像への変換は、文献<sup>2)</sup>に示された方法を採用した。

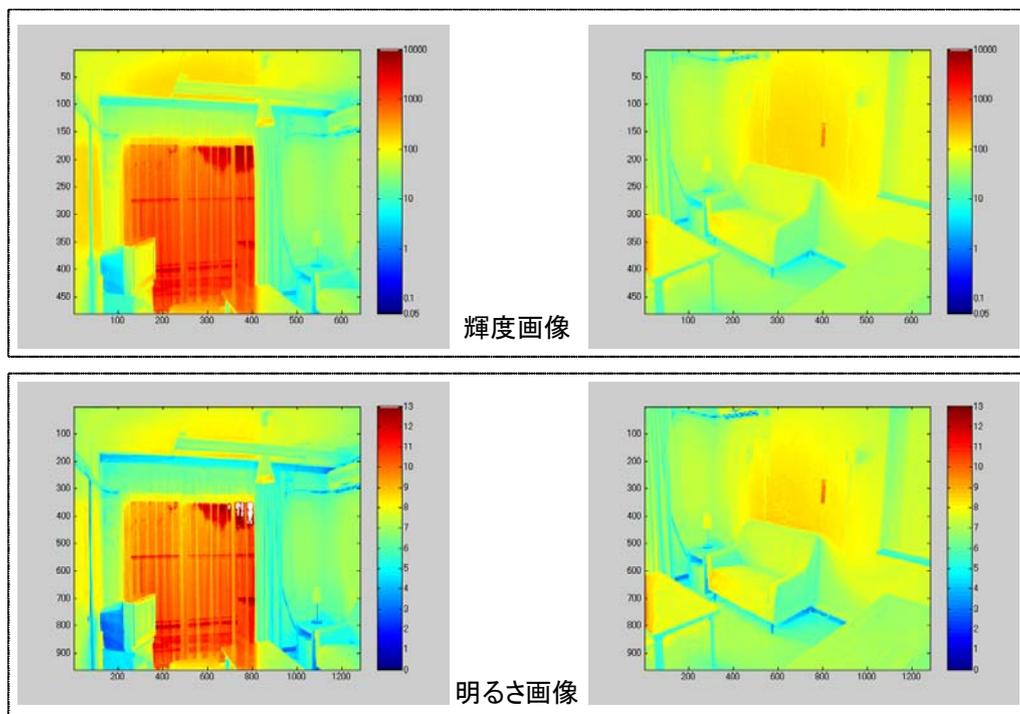


図5.2.4 シーン1の測定画像

まず、得られた輝度画像および明るさ画像より、明るさに問題があるかどうかを判定した部位について、視角2度程度の領域と仮定し、その部分の輝度および明るさ尺度値の平均を求めた。その結果を表5.2.2および表5.2.3に示す。なお、明るさ尺度値の数値と明るさを表現する形容詞の関係は、図5.2.5に示すようなものである。

表5.2.2 各部位の輝度（平均）

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
シーン1	80.24	39.95	59.59	150.43	95.50	101.58	40.71	63.13	32.83	15.58	45.02	707.74	128.61
シーン2	71.04	18.06	39.07	78.42	61.97	66.32	32.37	51.70	38.32	5.90	24.03	754.99	1984.60
シーン3	70.58	19.67	43.48	95.61	72.36	75.30	38.69	59.83	47.53	6.42	30.02	951.48	150.71
シーン4	53.03	19.98	40.25	80.57	54.88	58.34	28.00	49.90	46.57	6.15	24.30	828.37	138.97
シーン5	7.20	2.37	8.12	15.72	6.51	8.23	5.13	5.40	3.56	1.93	2.53	33.87	1710.00
シーン6	9.66	4.34	10.25	20.38	18.84	538.64	19.49	8.55	4.07	1.06	3.81	38.42	2558.50
シーン7	9.91	8.35	10.42	19.85	15.53	594.43	10.01	8.22	4.55	3.28	5.61	7.26	2167.40
シーン8	5.27	2.10	5.26	13.19	9.59	8.73	3.52	5.17	2.16	0.19	1.22	4.01	2486.70
シーン9	2.54	11.43	2.43	3.24	2.53	534.00	2.73	3.86	1.39	5.84	9.89	2.37	3.91
シーン10	2.62	9.58	2.29	2.70	1.87	4.33	2.35	2.57	1.07	2.48	10.05	1.44	2.69
シーン11	8.33	10.74	8.42	16.79	6.58	11.35	5.55	6.93	4.07	2.64	11.02	3.16	2013.70

表5.2.3 各部位の明るさ尺度値（平均）

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
シーン1	7.76	6.86	7.18	8.39	7.84	7.84	7.02	6.85	5.98	5.37	6.83	10.13	8.53
シーン2	6.13	6.22	6.93	7.86	7.52	7.58	6.58	6.83	6.33	4.20	6.44	9.98	12.37
シーン3	7.86	6.38	7.15	8.09	7.70	7.72	6.99	7.07	5.88	4.98	6.64	10.71	8.55
シーン4	7.45	6.33	7.09	7.96	7.40	7.45	6.57	6.91	6.34	4.51	6.38	10.74	8.57
シーン5	5.04	4.94	6.30	7.21	5.60	6.26	5.60	5.70	5.51	3.07	4.69	8.09	13.71
シーン6	6.38	5.51	6.46	7.29	6.94	11.79	6.37	6.06	5.86	4.84	4.99	8.00	13.86
シーン7	6.41	6.01	6.33	7.16	6.61	12.06	6.53	6.33	5.70	4.74	5.31	5.63	13.97
シーン8	6.30	5.15	6.20	7.21	5.57	6.72	5.54	6.22	5.53	3.24	4.31	5.89	15.36
シーン9	5.57	6.67	5.21	5.53	5.19	11.84	5.51	6.08	4.40	5.32	6.35	5.30	5.94
シーン10	5.77	6.59	5.19	5.35	5.15	5.79	5.53	5.81	5.07	5.06	6.42	5.13	5.74
シーン11	6.59	6.28	7.09	5.45	6.42	6.20	5.75	6.51	6.04	4.67	6.46	6.05	14.92



図5.2.5 明るさ尺度値と形容詞の対応

一方、それぞれの部位に対する明るさに問題があるかどうかの判定は、表5.2.4のようになった。表にある数値は表5.2.5に示すような意味を持っている。なお、表の評価値は各被験者の平均値である。

表5.2.4 明るさに問題があるかどうかの被験者による判定結果

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
シーン1	4.4	5.2	4	5	5	5	5	4	4.6	5	3.8	4.6	5.8
シーン2	4	3.8	5	4.4	5	5	5	3.8	5	5.2	3	4.2	4.6
シーン3	5	4.4	5	5.2	5	5	5	5	5	5.2	4.4	4.8	6.4
シーン4	5	4.6	5	4.4	4.2	5	3.6	4.2	4.2	5.2	4.4	4.8	6
シーン5	5.4	4.2	5.4	5.2	4.4	4.8	4	4.4	4.4	5.2	4.2	3.4	4.2
シーン6	5.2	4.4	5.8	4.8	4.6	6	5.2	4.4	5	4.6	4.6	2.8	5.2
シーン7	5	4.8	6	5	5	6	4.8	4.2	4.2	5.2	5.2	4.4	4.8
シーン8	5.8	4	5.2	5.2	3.8	4	4.4	4.2	4.8	3	3.4	4.5	7.8
シーン9	3.8	5.2	4	3	3.8	5.4	4.6	4.4	4.4	5.2	5	4	4
シーン10	4	6.2	4	3.8	3	4.8	4	5	4	5.6	5.4	4	4.25
シーン11	4.8	6.2	5.8	5	4.4	5.6	3.8	5	4.8	4.8	5	4.8	6.8

表5.2.5 問題判定値の意味

評価	暗すぎる	問題ない	明るすぎる
得点	1-2-3	4-5-6	7-8-9

表5.2.5よりわかるように、暗くて明るさに問題がある場合は評価値が3以下、明るくて問題がある場合は評価値が7以上となる。このような数値の意味を参考に表5.2.4の数値を見てみると、基本

的に大きく問題となる部分はないが、シーン2とシーン8では⑩(ソファ北面の床面)が、シーン9では④(ブラケットの間)が、シーン10では⑤(南側ブラケットの下)が、評価値3と「暗くてやや問題がある」と判断されている。一方、シーン8の⑬(中央の照明器具)は、評価値7.8と「明るくてやや問題」と判断されている。そこで、これらの問題の明るさ尺度値を表5.2.3より読み取ると表5.2.6のようになった。

表5.2.6 明るさに問題がややあると判断された部分の評価値と明るさ尺度値

	評価値	明るさ尺度値
シーン2 ⑩	3	4.20
シーン8 ⑩	3	3.24
シーン9 ④	3	5.53
シーン10 ⑤	3	5.15
シーン8 ⑬	7.8	15.36

既往文献<sup>3)</sup>によると、視野内の大きな領域に対し、明るさ尺度値が5以下となるような暗い部分を作らない、また明るさ尺度値10以上となるような部分を作らないとされているが、暗いと判断された4つの部位は領域としては比較的狭いことから、あまり大きな問題とはならないと考えられる。一方、明るい⑬の部分も、領域として狭いことから大きな問題であるとは言えないが、明るさ尺度値が13の「非常に明るい」を超えていることから、グレアを発生させてしまっていることは明らかである。⑬の領域のシーンごとの明るさ尺度値の推移を見ると、この程度の大きさの光源の場合、明るさ尺度値が13を越えた辺りから問題が発生していることが分かる。次に、部屋全体の明るさ感の評定を見てみる。各被験者の明るさ感の評定結果の平均値は表5.2.7のようになった。また、表には文献<sup>2)</sup>の方法を基に算出した部屋の明るさ感予測値と画像平均輝度(対数)も示してある。まず、明るさ感の評定結果を見ると、評価のシーン毎のばらつきが、6.2(どちらでもないやや暗いの中点)から10.4(やや明るいと明るいの中点)と、問題のない範囲にばらついていることが分かる。居住者に好みを聞くとおそらく7以上の明るさ感を要求するとは考えられるが、客観的にいえば、住宅室内の明るさとしては大きな問題といえるだろう。

表5.2.7 明るさ感と予測値の関係

	評定値	予測値	輝度(対数)
シーン1	9	13.75	2.49
シーン2	6.2	12.89	2.43
シーン3	8.4	13.47	2.53
シーン4	7.8	13.00	2.49
シーン5	6.8	8.44	1.23
シーン6	9.2	9.58	1.33
シーン7	10.4	8.79	1.06
シーン8	6.8	6.99	0.73
シーン9	7	6.86	0.27
シーン10	6.4	6.53	0.15
シーン11	10	8.25	0.82

次に、得られた2枚の明るさ画像より、文献<sup>3)</sup>の方法で部屋全体の明るさ感を予測してみる。ただし、文献<sup>4)</sup>では、視野角約60度の範囲内で明るさ尺度値の画像平均を求め、それを用いた予測式を提案しているが、ここでは、視野角60度では部屋全体をカバーできないことから、得られた2枚の明るさ画像の全領域の平均値を求め、この値を用いて明るさ感を予測している。なお、明るさ感の予測式は次のような式である。

$$B = 0.2203 \times B_{av}^{2.0617} \quad (1)$$

ここで、 $B$  は明るさ感、 $B_{av}$  は明るさ尺度値の平均値を表す。

表5.2.6をもとに、明るさ感評定値と明るさ予測値の関係を図示すると図5.2.6のように、明るさ感評定値と平均輝度の対数値との関係を図示すると図5.2.7のようになった。

二つの図より分かるように、平均輝度の対数に比べて、明るさ感予測値は明るさ感評定値と対応が高いことが分かるが、全体として見るとうまく予測できていない。三つのグループ、すなわちシーン番号1から4のグループと、シーン番号5と6のグループ、そしてシーン番号7から11グループに分かれてしまっている。これらのグループは、窓外の輝度が高い場合(シーン番号1から4)、輝度が低い場合(シーン番号5と6)、窓がカーテンで覆われている場合(シーン番号7から11)である。グループ相互の関係を見ると、昼間の窓面輝度が低い場合と夜間の場合が大きくは一つと考えられ、昼間(窓面輝度が高い)場合が特異なグループとして独立していると考えられる。この理由は、一つは、輝度-明るさ変換を視野角60度程度の画像を用いたことによって、大きな輝度対比が考慮されていないことだと推察される。これを解決するには、広角で輝度画像を撮影して作成する必要があると考えられる。もう一つの理由は、部屋の明るさ感評定では、昼間の高輝度の窓は評価の際に除外されて判断されることだと推察される。つまり、部屋の明るさ感を判断するとき、窓の外の明るさをカウントして答えることはせず、主に壁面の明るさを見て判断する、ということである。窓面の輝度が低い場合や夜間の場合は、窓面部分も含めて全体として判断される傾向が強いと考えられる。昼光利用による省エネ照明制御を考える上で、この空間的な明るさ感の判断システム(窓面の評価からの除外等の考慮、認識プロセス)の解明が必要と考えられる。

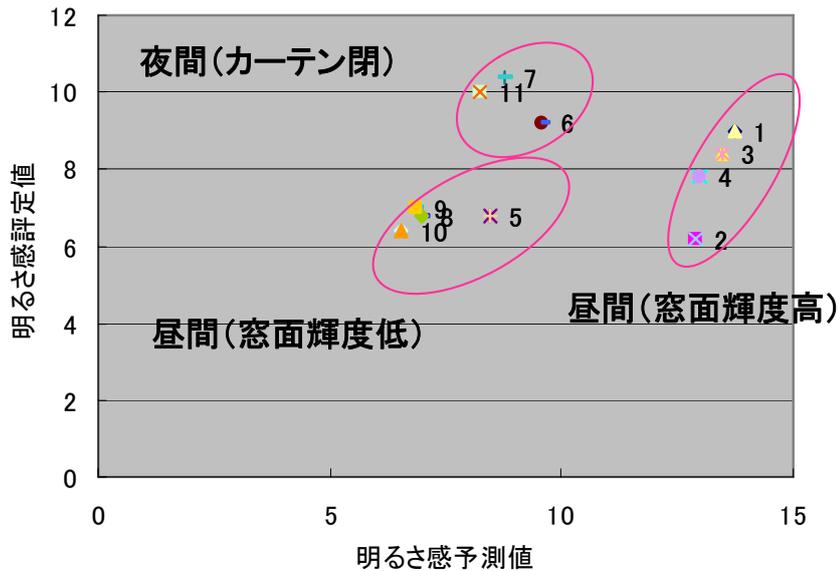


図5.2.6 明るさ感予測値と明るさ感評定値の関係

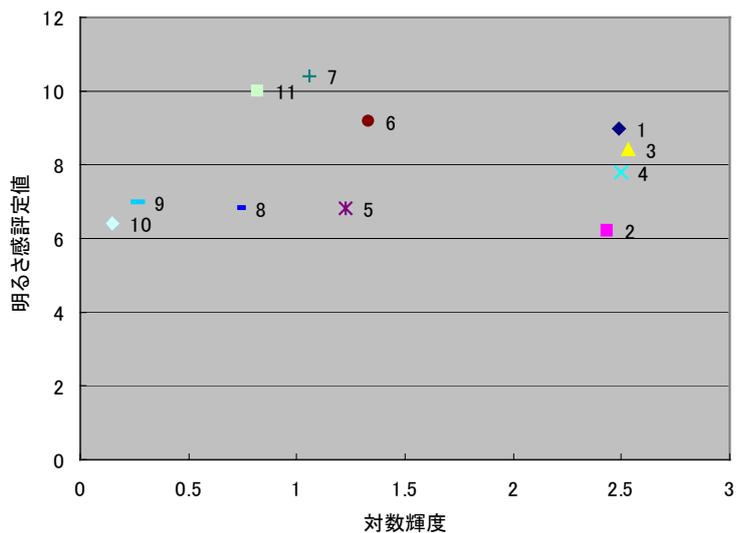


図5.2.7 対数輝度と明るさ感評定の関係

## 2) 明るさ評価と省エネルギー性に係る考察

局所的な明るさ知覚については、前述の通り、明るさ尺度を用いてかなり適切に評価できるから、各シーンの点灯W数と暗すぎる・明るすぎる部分の有無の関係の考察が可能である(表5.2.8)。設定されている多灯分散の11シーンは、夜間(⑦~⑪)においてもリビング・ダイニングにおける蛍光灯の一室一灯の標準的の点灯W数92W(70W+22W)より低いW数となっているが、暗すぎる部分は少なく、しかも狭い領域のみであった。したがって、多灯分散照明によって、生活行為に応じた各シーンの点灯W数が低Wであっても、問題ないレベルであることがわかる

空間全体の明るさ感評価については、前述の通り、昼間においては明るさ感の評価が現段階の知見では困難であり、適切な明るさ感評価と対応させないと、過剰な点灯をしてしまう可能性が残っている。夜間においては、総点灯W数が低い場合(例えば24W)であっても、図5.2.6、図5.2.7の被験者評定値および明るさ感予測値より、空間全体が「非常に暗い」または「暗い」というパ

ターンはないことが分かり、多灯分散照明により低W数で空間の明るさ感確保の可能性があると分かる。

表5.2.8 各シーンの点灯W数と暗すぎる・明るすぎる部分の有無

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
24W	12W	36W	12W	24W	40W	52W	24W	32W	24W	48W
	暗すぎる部分あり (1箇所)						暗すぎる・明るすぎる部分あり(各1箇所)	暗すぎる部分あり (1箇所)	暗すぎる部分あり (1箇所)	

### 5.2.3 まとめ

本実験では、集合住宅のリビング・ダイニング室で典型的な一日の生活パターンが進められることを想定し、多灯分散照明が用いられた場合に生ずる光環境の明るさ評価と省エネルギー性に関する基礎的検討を行った結果、以下の知見が得られた。

- ①局所的な明るさ知覚と多灯分散照明の関係については、昼間から夜間を通じて、適切に評価ができ、省エネルギー性の高い低W数の照明であっても部分的に暗すぎると評価される箇所は少なく、かつ領域も狭い場合であるため問題ないことが分かった。
- ②空間的な明るさ感と多灯分散照明の関係については、昼光・人工照明併用時の場合は、高輝度な窓面の影響が大きく評価が困難であった。窓面と周辺の壁面の評価のプロセスに組み込むことが適切な評価に繋がると推察される。窓面輝度が低い場合や夜間の場合は、多灯分散照明の明るさ感評価は可能であり、きめ細かな光環境の調節が、空間の明るさ感を保ちつつ省エネルギー性を高める可能性が示された。

本研究で明らかになった点を、具体的な照明計画技術に落とし込んでいくことが今後の主要な課題である。

### 参考文献

- 1) 三木保弘, 戸倉三和子, 浅田秀男, 松下進: 小型高効率ランプを用いた多灯分散照明の提案とリビング・ダイニングにおける被験者評価及び省エネルギー性評価 住宅における多灯分散照明による光環境の質と省エネルギー性の両立に関する研究その1, 日本建築学会:環境系論文集, NO.603, pp.9-14, 2006
- 2) 中村芳樹: ウェーブレットを用いた輝度画像と明るさ画像の双方向変換—輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その3)—;照明学会誌, Vo.90, No.2 pp.97-101, 2006
- 3) 照明学会編:住宅照明設計技術指針, 2007
- 4) 藤野雅史, 中村芳樹, 井上修作, 岩井彌: 照明設計ツールとしての輝度—明るさ変換システムの構築;日本建築学会環境系論文集, No.597, pp.13-17, 2005

## 第6章 総括

本研究課題では、平成17年から19年にわたる3年間にかけて、住宅の省エネルギー性能を向上する技術の研究開発に取り組み、省エネルギー改修技術、設備システムに関して多くの知見を蓄積することができた。本研究の成果のうち、定量的な評価にもとづく断熱改修の効果や省エネ性能診断技術に関する知見は、平成20年4月に設けられた戸建住宅を主に対象とした断熱改修促進のための税控除制度関連告示の策定に活用され、解説書等に反映されている。また、外皮性能の検証結果や設備の実使用時の効率にもとづく省エネルギー性能評価手法は、平成21年4月に予定されている住宅の省エネルギー基準の改正・強化の中で、外皮省エネルギー基準の規定の簡略化、建売住宅事業者対象の設備込みトプランナー関連告示に反映されている。

また、自立循環総プロの成果を受けて作成された「自立循環型住宅への設計ガイドライン」を拡張する形で、蒸暑地域版(住宅の省エネルギー基準のⅤⅥ地域向け)、準寒冷地版(ⅡⅢ地域向け)、省エネ改修版の省エネ設計施工ガイドラインとして、本研究課題の成果を設計実務者向けにまとめつつあり、今後、住宅設計・施工実務者向け講習会に活用していく見込みである。

今後の取り組みに関しては、優遇税制の創設を契機に断熱改修が促進されることが期待でき、より確実な技術情報が得られることと思われる。現場から得られる情報を収集分析するとともに、本研究で整備した手法を活用することで、より実用性が高く、経済性の面でも優れた断熱改修手法や材料に関する研究を進めていくことが重要である。また、設備の省エネルギー性能の評価についても、より広範な種類の設備、新規開発される設備を対象とした実験評価の取り組みを継続して行う必要がある。

## 謝辞

本プロジェクト研究課題は、数多くの学識経験者、企業・団体の皆様とともに議論・検討を行って進めさせていただきました。多大なるご助言をいただいた皆様方に謝意を表します。

-----  
国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of N I L I M

№. 25

February, 2009

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

-----  
本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL.029-864-2675