

I S S N 1 8 8 0 - 0 1 1 4

国総研プロジェクト研究報告第45号

平成 26 年 6 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.45

June 2014

低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた  
都市システム技術の開発

Development of urban system technology to achieve a low-carbon society based on hydrogen energy systems

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

低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた都市システム技術の開発

西山功 (2009 年 4 月-2012 年 3 月) \*

向井昭義 (2012 年 4 月-2013 年 3 月) \*\*

Development of urban system technology to achieve a low-carbon society  
based on hydrogen energy systems

Isao Nishiyama (Apr. 2009-Mar. 2012)

Akiyoshi Mukai (Apr.2012-Mar. 2013)

概要

化石燃料に代わるエネルギー媒体として水素及び燃料電池技術を活用した都市エネルギーシステムの確立が国家的な課題とされている。都市全体として、経済性を考慮しつつ、CO<sub>2</sub> 排出量、化石燃料への依存度を低下させる方策が必要である。本研究では、①都市で水素を安全に利用するための配管敷設等の技術体系を整備し、②建築側のエネルギー需要を削減するための室内熱負荷削減、高効率機器の活用法を検討し、③都市エネルギーシステム評価プログラムによる CO<sub>2</sub> 排出量、化石燃料依存度、経済性の解析を行うことで、化石燃料に依存しないエネルギー媒体である水素を用いた都市エネルギーシステムの実現に向けた検討を実施した。

キーワード : 水素 低炭素 燃料電池 都市システム

## Synopsis

It is a national priority to develop urban energy systems based on hydrogen or fuel cell technologies, which are promising energy sources to replace fossil fuels. Entire cities must adopt policies which, while considering economic efficiency, reduce both CO<sub>2</sub> emissions and dependency on fossil fuels. This research examined urban energy systems using hydrogen, which is an energy source not dependent on fossil fuels, by (1) providing technological systems such as piping installations to safely use hydrogen in urban areas, (2) studying methods of reducing indoor heat loads and using high-efficiency equipment to reduce the energy consumed by buildings, and (3) analyzing CO<sub>2</sub> emissions, fossil fuel dependency, and economic efficiency using programs to evaluate urban energy systems.

Key Words : Hydrogen, Low Carbon, Fuel Cell, Urban System

---

*	前 建築研究部長	Former Director of Building Department
**	建築研究部長	Director of Building Department

## 担当研究者一覧

< >内は執筆担当を表す

### ◆プロジェクトリーダー

建築研究部長 西山功（平成 21.4～24.3）  
建築研究部長 向井昭義（平成 24.4～25.3）

### ◆プロジェクトメンバー

建築研究部防火基準研究室 室長 成瀬友宏（平成 21.4～25.3） <第 2 章>  
同室 主任研究官 仁井大策（平成 21.4～25.3） <第 2 章>  
建築研究部環境・設備基準研究室 室長 足永靖信（平成 21.4～25.3） <第 1,4,5 章>  
同室 主任研究官 秦良昌（平成 21.4～23.6）  
同室 主任研究官 久保田裕二（平成 23.7～25.3） <第 2 章>  
同室 主任研究官 西澤繁毅（平成 21.4～25.3） <第 3 章>  
住宅研究部住環境計画研究室 主任研究官 三木保弘（平成 21.4～25.3）  
同室 主任研究官 三浦尚志（平成 21.4～25.3）  
都市研究部長 山下浩一（平成 21.4～23.3）  
都市研究部長 柴田好之（平成 23.4～25.3）  
都市研究部都市開発研究室 主任研究官 鍵屋浩司（平成 21.4～25.3）

## 図一覧

- 図 1.1 低炭素・水素エネルギー活用社会のイメージ
- 図 1.2 検討実施体制
- 図 2.1 想定した外力に対する安全性を検討する建物部分等の概念図
- 図 2.2 パイプシャフト内の解析時の計算領域
- 図 2.3 廊下での解析時の計算領域
- 図 2.4 ガス濃度コンターのスケール
- 図 2.5(1) 管内圧力による水素拡散性状の違い (1/2)
- 図 2.5(2) 管内圧力による水素拡散性状の違い (2/2)
- 図 2.6(1) ガス種による拡散性状の違い (管内圧力 2500Pa) (1/2)
- 図 2.6(2) ガス種による拡散性状の違い (管内圧力 2500Pa) (2/2)
- 図 2.7(1) ガス種による拡散性状の違い (管内圧力 1307Pa) (1/2)
- 図 2.7(2) ガス種による拡散性状の違い (管内圧力 1307Pa) (2/2)
- 図 2.8(1) 等価熱量での拡散性状の違い(1/2)
- 図 2.8(2) 等価熱量での拡散性状の違い(2/2)
- 図 2.9 給湯器の有無による水素拡散性状の違い (管内圧力 2500Pa)
- 図 2.10 H<sub>2</sub>-2.5kPa での上部スリットからの漏出流量
- 図 2.11 H<sub>2</sub>-1.3kPa での上部スリットからの漏出流量
- 図 2.12 13A-2.5kPa(LH1.0)での上部スリットからの漏出流量
- 図 2.13 13A-1.3kPa(LH1.0)での上部スリットからの漏出流量
- 図 2.14 管内圧力による水素拡散性状の違い
- 図 2.15 ガス種による拡散性状の違い
- 図 2.16 水素-2.5kPa での 420 秒後の等値面図
- 図 2.17 解析に用いた計算対象空間
- 図 2.18 開口部条件
- 図 2.19 外部領域の設定
- 図 2.20 ドライエリアの設定
- 図 2.21 燃料電池設置箇所とピンホール位置
- 図 2.22 計算に使用した領域の概要
- 図 2.23 メッシュの分割状況
- 図 2.24 水素ジェットモデル化
- 図 2.25 解析ケース 3 (居室 B + 自然換気口、外部風無し) の水素濃度分布 (時系列)
- 図 2.26 解析ケース 3 (居室 B + 自然換気口、外部風無し) の流速ベクトル分布 (時系列)
- 図 2.27 計算対象領域の差異

- 図 2.28 開口部条件の差異
- 図 2.29 ドライエリアによる差異
- 図 2.30 外部風による差異（自然換気口の場合）
- 図 2.31 外部風による差異（全面開口の場合）
- 図 2.32 計算メッシュの分割
- 図 2.33 外部風による差異（バルコニーの場合）
- 図 2.34 試験ケースおよび模型地盤の概要
- 図 2.35 盛土の締固め方法
- 図 2.36 スウェーデン式サウンディングの概要
- 図 2.37 地盤試験結果
- 図 2.38 建築基礎
- 図 2.39 建築基礎配筋図
- 図 2.40(1) ガス配管図 仕様 1(1/6)
- 図 2.40(2) ガス配管図 仕様 1(2/6)
- 図 2.40(3) ガス配管図 仕様 1(3/6)
- 図 2.40(4) ガス配管図 仕様 2(4/6)
- 図 2.40(5) ガス配管図 仕様 2(5/6)
- 図 2.40(6) ガス配管図 仕様 2(6/6)
- 図 2.41(1) センサー配置図（断面図）仕様 1(1/4)
- 図 2.41(2) センサー配置図（平面図）仕様 1(2/4)
- 図 2.41(3) センサー配置図（断面図）仕様 2(3/4)
- 図 2.41(4) センサー配置図（平面図）仕様 2(4/4)
- 図 2.42 仕様 1 基礎近傍配管加速度（エルセントロ NS 波）
- 図 2.43 仕様 1 マイコンメータ加速度（エルセントロ NS 波）
- 図 2.44 仕様 2 基礎近傍配管加速度（エルセントロ NS 波）
- 図 2.45 仕様 2 基礎近傍配管歪み（エルセントロ NS 波）
- 図 2.46 試験区画および配管平面図
- 図 2.47 長手方向断面図
- 図 2.48 短手方向断面図
- 図 2.49(1) 配管配置断面図(1/2)
- 図 2.49(2) 配管配置断面図(2/2)
- 図 2.50 配管表面温度
- 図 2.51 配管内圧力
- 図 2.52 水素供給実験対象範囲
- 図 2.53 水素供給試験のシステム構成
- 図 2.54 水素漏洩検知システムと警報発信フロー

- 図 2.55 水素配管の気密性の検証に係る実験設備概要
- 図 2.56 気密性試験における圧力、温度計測データ
- 図 2.57 水素配管内のヘリウムの体積比率の推移（11日 19:30～12日 15:30）
- 図 2.58 気密性試験における圧力、温度計測データ（13日 12:20～12:50）
- 図 2.59 水素配管内の水素の体積比率の推移（13日 12:20～12:50）
- 図 2.60 外装管における通気性状検証の実験設備概要
- 図 2.61 外装管内風速・温度と外気温度計測データ（12日 9:00～17:00）
- 図 2.62 送風機運転時間の外装管内風速、外気風速（13日 9:29～9:37）
- 図 2.63 送風機運転時間の外装管内風速、外気風速（13日 11:32～11:37）
- 図 2.64 外装管内風速・温度と外気温度計測データ（18日 9:00～17:00）
- 図 2.65 吸込み口の風速計測箇所と計測結果（12月13日 11:35～11:39 外気温 16°C 湿度 30%）
- 図 2.66 燃焼限界濃度下限値までの水素混合空気排出、完全置換に要する時間
- 図 2.67 各区間の水素濃度変化（10m 間隔）
- 図 2.68 各区間の水素濃度変化（5m 間隔）
- 図 2.69 各区間の水素濃度変化（1m 間隔）
- 図 2.70 燃料電池使用時等の水素導通性状検証の実験設備概要
- 図 2.71 燃料電池間断使用時の水素流量、圧力計測データ（17日 13:00～16:00）
- 図 2.72 燃料電池発電量と水素送出流量、圧力計測データ（18日 10:00～13:00）
- 図 2.73 燃料電池間断使用時の水素流量、圧力計測データ（18日 13:00～16:00）
- 図 2.74 燃料電池発電量と水素送出流量、圧力計測データ（19日 10:00～13:00）
- 図 2.75 燃料電池間断使用時の水素流量、圧力計測データ（19日 13:00～16:00）
- 図 2.76 燃料電池出力変動時の水素流量、圧力（上：17日 14:20、下：17日 15:30）
- 図 2.77 燃料電池出力変動時の水素流量、圧力（上：18日 11:00、下 18日：11:40）
- 図 2.78 燃料電池出力変動時の水素流量、圧力（上：18日 13:43、下：18日 15:30）
- 図 2.79 水素の大容量放出～瞬時閉時の水素流量、圧力（14日 13:18～13:25）
- 図 2.80 水素パージ、窒素パージの安全性検証に係る実験設備概要
- 図 2.81 窒素置換（水素パージ）における流量、圧力計測データ（12日 16:05～16:35）
- 図 2.82 窒素置換（水素パージ）における流量、圧力（14日 16:23～16:33）
- 図 2.83 窒素置換（水素パージ）における流量、圧力（17日 16:14～16:24）
- 図 2.84 水素置換（窒素パージ）における流量、圧力（17日 9:52～10:02）
- 図 2.85 水素置換（窒素パージ）における流量、圧力（19日 9:20～9:30）
- 図 3.1 燃料電池排熱特性と建物用途別熱利用特性の組み合わせイメージ
- 図 3.2 エネルギーシミュレーションフロー
- 図 3.3 排熱利用形態毎の燃料電池発電効率の比較
- 図 3.4 排熱利用形態毎の燃料電池排熱利用効率の比較

- 図 3.5 用途別の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の比較
- 図 3.6 床面積別 CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の比較
- 図 3.7 熱電比と CO<sub>2</sub> 削減効果の比較
- 図 3.8 各建物用途の熱電比と CO<sub>2</sub> 削減率／削減量の比較（床面積 10,000m<sup>2</sup>）
- 図 3.9 冷温熱比と CO<sub>2</sub> 削減率の関係（基準ケース）
- 図 3.10 電力消費量の経時変化(業務用途(事務所), 8 月代表日（ケース A-3）
- 図 3.11 燃料電池発電量の経時変化(業務用途(事務所), 8 月代表日（ケース A-3）
- 図 3.12 買電量の経時変化(業務用途(事務所), 8 月代表日（ケース A-3）
- 図 3.13 買電量の差の経時変化(業務用途(事務所), 8 月代表日（ケース A-3）
- 図 3.14 電力消費量の経時変化(ホテル用途, 8 月代表日（ケース C-3）
- 図 3.15 燃料電池発電量の経時変化(ホテル用途), 8 月代表日（ケース C-3）
- 図 3.16 買電量の経時変化(ホテル用途, 8 月代表日（ケース C-3）
- 図 3.17 買電量の差の経時変化(ホテル用途), 8 月代表日（ケース C-3）
- 図 3.18 建物規模とピーク時の買電量の関係(業務用途(事務所))
- 図 3.19 建物規模とピーク時の買電量の関係(ホテル用途)
- 図 3.20 スマート水素ハウスのイメージ
- 図 3.21 スマート水素ハウスの概念と目的
- 図 3.22 スマート水素ハウスの周辺技術
- 図 3.23 エネルギーバッファの考え方
- 図 3.24 スマート水素ハウスの CO<sub>2</sub> 削減効果検証結果
- 図 3.25 各ケースの一日の電力需給イメージ
- 図 3.26 スマート水素ハウスパンフレット（表）
- 図 3.27 スマート水素ハウスパンフレット（裏）
- 図 3.28 事務所モデルの 1F 平面図
- 図 3.29 事務所モデルの 2F～7F 平面図
- 図 3.30 事務所モデルの断面概要
- 図 3.31 事務所モデルの室構成
- 図 3.32 事務所モデルの各種空調方式
- 図 3.33 事務所モデルのベース設備システムにおける一次エネルギー消費量の内訳
- 図 4.1 共用部用途別電力消費量の月別推移
- 図 4.2 戸あたり共用部用途別電力消費量の月別推移
- 図 4.3 共用部電力使用量の比較（上：既研究、下：本研究）
- 図 4.4 1 次メッシュコードの付け方
- 図 4.5 2 次メッシュコードの付け方
- 図 4.6 3 次メッシュコードの付け方
- 図 4.7 水平面全天日射量の年間総量カラーマップ図



- 図 4.8 平均風速（50m 高さ）のカラーマップ図
- 図 4.9 バイオマスデータ（未利用系資源：有効可能熱量）のカラーマップ図 3 次メッシュ単位データ
- 図 4.10 バイオマスデータ（廃棄物系資源：有効可能熱量）のカラーマップ図市町村単位データ
- 図 4.11 自然エネルギー賦存量データベース起動画面
- 図 4.12 電子国土ポータル画面イメージ
- 図 4.13 自然エネルギー地域賦存量データベース検索シート（3 次メッシュデータ検索）
- 図 4.14 太陽光データの入手イメージ
- 図 4.15 風力データの入手イメージ
- 図 4.16 自然エネルギー地域賦存量データベース検索シート（市町村データ検索）
- 図 4.17 バイオマス市町村単位データの入手イメージ
- 図 4.18 連成システムの概要
- 図 4.19 地物表面の熱収支に係わる緒元の概念
- 図 4.20 空調負荷に係わる緒元の概念図
- 図 4.21 CFD 計算格子による地物表面の面素分割
- 図 4.22 面素に付与される役割の概念図
- 図 4.23 表面 ID が管理する情報のイメージ
- 図 4.24 街区空調負荷モデルの概要及び計算フローチャート
- 図 4.25 街区大気モデルの概要及び計算フローチャート
- 図 4.26 CFD 計算格子と建物壁面の配置
- 図 4.27 放射熱伝達計算でのデータ通信概念図
- 図 4.28 中野地区の並列計算における領域分割
- 図 4.29 連成処理のフローチャート
- 図 4.30 プログラム情報、最適化前
- 図 4.31 プログラム情報、最適化後
- 図 4.32 ルーチン単位のベクトル計算性能、最適化前
- 図 4.33 ルーチン単位のベクトル計算性能、最適化後
- 図 4.34 データファイル関係図
- 図 4.35 都市エネルギーシステムの計画・評価と各種計算プログラムの全体構成フロー
- 図 4.36 太陽光発電設備による発電量算定方法
- 図 4.37 風力発電設備による発電量推計方法
- 図 4.38(1) 水素活用燃料電池・熱源システムのエネルギー消費量計算フロー（1/2）
- 図 4.38(2) 水素活用燃料電池・熱源システムのエネルギー消費量計算フロー（2/2）
- 図 4.39 燃料電池コージェネ・熱源プラントのシステム計画フロー
- 図 4.40 検討対象の燃料電池システムフロー

- 図 4.41 燃料電池廻りの電力収支フロー
- 図 4.42 貯湯タンク廻りの熱収支フロー
- 図 4.43 街区モデル 1（低容積地区：練馬区西：住宅中心）
- 図 4.44 街区モデル 2（九段南・三番町：小・中規模ビル＋住宅混在地域）
- 図 4.45 街区モデル 3（西池袋：中・大規模ビル中心、地域熱供給の導入地区）
- 図 4.46 現在から将来にかけての燃料電池・水素価格のシナリオ
- 図 4.47 検討対象地域における地域熱供給システムの概要図
- 図 4.48 価格変動シミュレーション結果グラフ

## 表一覧

表 2.1	ガス事故・トラブルの発生状況（2000～2010）
表 2.2(1)	既存建物における一般燃料ガス配管設置状況の調査 実例(1/2)
表 2.2(2)	既存建物における一般燃料ガス配管設置状況の調査 実例(2/2)
表 2.3	配管からの漏洩流量
表 2.4	計算条件
表 2.5	水素流動性状解析の解析ケース一覧
表 2.6	水素流動性状解析の境界条件
表 2.7	盛土施工に係わる調査・試験の内容
表 2.8	配管仕様
表 2.9	計測内容および計測項目
表 2.10	加振条件（仕様 1）
表 2.11	加振条件（仕様 2）
表 2.12	配管仕様
表 2.13	公開実験スケジュール
表 3.1	アンケート調査先概要（全 56 件中、34 件から回答を得た）
表 3.2	アンケート調査先区分と質問事項（○をつけた項目について調査）
表 3.3	建物熱需要向けに開発されている技術
表 3.4	ヒアリング調査項目
表 3.5	ヒアリング調査先一覧（回答が得られた 16 件について掲載）
表 3.6	海外における燃料電池技術の開発・実用化に関する動向
表 3.7	市販の家庭用 PEFC システムの機器性能
表 3.8	実証システムの機器性能
表 3.9	PEFC の開発目標
表 3.10	家庭用 SOFC システムの機器性能
表 3.11	SOFC の規模別開発目標
表 3.12	SOFC の技術開発上の課題
表 3.13	市販の業務用 PAFC の機器諸元
表 3.14	今後の技術開発の方向性
表 3.15	排熱利用型熱源機器の対応可能出力及び排熱温度
表 3.16	北九州水素タウン事業における実証項目
表 3.17	研究・開発が進められている水素貯蔵技術
表 3.18	水素ステーション配置に関するシナリオ

表 3.19	国の計画等における HEMS 及び BEMS の将来普及目標または想定
表 3.20	想定した建物用途及び規模
表 3.21	建物モデルの標準ケース
表 3.22	定置用燃料電池システムの種類、容量、機器性能
表 3.23	排熱利用型熱源機器の諸元
表 3.24	燃料電池排熱と建物用途の組み合わせリスト
表 3.25	用途別熱電比及び冷温熱比（用途別基本ケース）
表 3.26	各建物条件における熱量電池排熱利用効果の一覧
表 3.27	一般住宅とスマート水素ハウスの比較（メリット・デメリット）
表 3.28	HEMS の概要
表 3.29	自然エネルギー由来の水素製造技術
表 3.30	ZEEP24-2000 の仕様
表 3.31	水素貯蔵技術
表 3.32	スマート水素ハウスの効果検証結果（省エネ／環境性評価）
表 3.33	各室の計算対象（事務所モデル）
表 3.34	事務所モデルの外皮構成
表 3.35	事務所モデルの設備概要
表 3.36 (1)	事務所モデルの算出事例(1/2)
表 3.36 (2)	事務所モデルの算出事例(2/2)
表 3.37	事務所モデルの設備システム毎の原単位と省エネ効果率
表 4.1	調査対象データと既存知見の概要
表 4.2	業務施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ（IBEC データ）
表 4.3	商業施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ（IBEC データ）
表 4.4	宿泊施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ（IBEC データ）
表 4.5	医療施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ（IBEC データ）
表 4.6	屋根・屋上及び壁の構成
表 4.7	地表面の熱物性値
表 4.8	建築材の熱物性値
表 4.9	屋上・屋根や壁面、窓面の建材の仕様と厚さ
表 4.10	上空および側方境界条件
表 4.11	ルーチン詳細情報、最適化前
表 4.12	ルーチン詳細情報、最適化後
表 4.13	連成モードの入出力ファイル一覧
表 4.14	街区空調負荷モデル単独モードの入出力ファイル一覧
表 4.15	街区大気モデル単独モード入出力ファイル一覧
表 4.16(1)	街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目(1/5)

表 4.16(2)	街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目(2/5)
表 4.16(3)	街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目(3/5)
表 4.16(4)	街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目(4/5)
表 4.16(5)	街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目(5/5)
表 4.17(1)	街区空調負荷モデル・街区大気モデルの出力データ項目(1/2)
表 4.17(2)	街区空調負荷モデル・街区大気モデルの出力データ項目(2/2)
表 4.18	建物名称・用途 NO.・原単位リスト NO.と最大基本需要原単位の入力項目
表 4.19	最大需要原単位の補正係数・地域補正係数・省エネ係数の入力書式
表 4.20	最大エネルギー需要量の計算結果 [建物別]
表 4.21	最大エネルギー需要量の計算結果 [用途別]
表 4.22	建物名称・用途 NO.・原単位リスト NO.と年間基本需要原単位の入力書式
表 4.23	年間需要原単位の補正係数・地域補正係数・省エネ係数の入力書式
表 4.24	年間エネルギー需要量の計算結果 [建物別]
表 4.25	年間エネルギー需要量の計算結果 [用途別]
表 4.26	水平面全天日射量に関する時刻別変動パターン例 (1月)
表 4.27	水平面直達日射量に関する時刻別変動例 (1月)
表 4.28	水平面散乱日射量に関する時刻別変動例 (1月)
表 4.29	気温に関する時刻別変動例 (1月)
表 4.30	太陽位置及び直達・散乱日射比率の一覧
表 4.31	アレイ種別温度補正定数
表 4.32	風速パターン例 (1月)
表 4.33	発電特性 (パワーカーブ) 例
表 4.34	入出力サブルーチンの構成と主な内容
表 4.35	月別・時刻別エネルギー消費量計算結果の出力項目 (1-5)
表 4.36	月別・時刻別エネルギー消費量計算結果の出力項目 (6-11)
表 4.37	月別・時刻別エネルギー消費量計算結果の出力項目 (12-18)
表 4.38	燃料電池システムの機器仕様例
表 4.39	燃料電池・熱源システムエネルギー消費量計算結果の出力項目
表 4.40	一次エネルギー換算値、二酸化炭素排出係数
表 4.41	経済性計算の書式例
表 4.42	地域冷暖房システム建設費関連コスト原単位例
表 4.43	個別建物熱源設備建設費関連コスト原単位例
表 4.44	集合住宅熱源設備関連コスト原単位例
表 4.45	建物側省エネによるコスト増加費関連コスト原単位例
表 4.46	燃料電池・電力供給設備建設費関連コスト原単位例
表 4.47	水素供給設備建設費関連コスト原単位例

- 表 4.48 その他建設費関連コスト原単位例
- 表 4.49 街区モデル 1 の用途別床面積割合（低容積地区：練馬区西：住宅中心）
- 表 4.50 街区モデル 2 の用途別床面積割合（九段南・三番町：小・中規模ビル＋住宅）
- 表 4.51 街区モデル 3 の用途別床面積割合（西池袋：中・大規模ビル中心）
- 表 4.52 街区モデルのシミュレーションケース一覧
- 表 4.53 現在から将来にかけた燃料電池・水素価格のシナリオ
- 表 4.54 シミュレーション結果：低容積地区
- 表 4.55 床面積と冷水・冷温水機器の容量割合
- 表 4.56 シミュレーション結果：中容積地区
- 表 4.57 実際の地域熱供給システムの条件とシミュレーション条件
- 表 4.58 床面積と冷水・冷温水機器の容量割合
- 表 4.59 シミュレーション結果：高容積地区（SOFC 導入）
- 表 4.60 シミュレーション結果：高容積地区（PEFC 導入）
- 表 4.61 シミュレーション結果：大容積地区（PEFC 導入：容量抑制）
- 表 4.62 価格変動シミュレーション結果（低容積地区）

## 写真一覧

- 写真 2.1 試験体
- 写真 2.2 実験後の配管
- 写真 2.3 共同溝標準部直線区間の水素配管
- 写真 2.4 集塵管架台部の振れ取り
- 写真 2.5 特殊部曲り部の水素配管
- 写真 2.6 架台部中間部の振れ取り
- 写真 2.7 外気放出管(ステンレス製)の取付け状況(外径: 6.35mm/肉厚 1mm、延長: 1,800mm)
- 写真 2.8 外気放出管の分岐部(開放弁を開いて分岐)
- 写真 2.9 開放弁の操作状況(配管収容キャビネット)
- 写真 2.10 外気放出口(テフロン管に付け替え)における水素濃度の計測
- 写真 2.11 パージ作業の操作状況(ボンベ庫)

## 目次

第1章	はじめに .....	1
1.1	総プロの目的 .....	1
1.2	本研究の構成 .....	2
1.3	検討体制 .....	2
第2章	水素配管を敷設した建物等空間の安全性の検討 .....	3
2.1	目的 .....	3
2.2	水素配管を敷設した建物等空間の安全性についての検討 .....	4
2.2.1	水素配管を敷設した建物等空間の安全性に関する検討の前提条件・想定外力 .....	4
2.2.2	水素の安全性および水素配管敷設に関する基準等の調査 .....	6
2.2.3	水素漏出時の建物内および周辺での水素蓄積性状及び対策の検討 .....	30
2.2.4	建物内空間（居室等）で漏洩した水素の拡散性状 .....	62
2.2.5	屋外空間（バルコニー等）で漏洩した水素の拡散性状 .....	82
2.2.6	建築基礎を貫通するガス配管の耐震性能 .....	84
2.2.7	室内敷設配管の火災加熱による延焼防止性能 .....	109
2.2.8	都市内に水素を供給する際の安全性を確認するための実証実験 .....	120
2.3	安全対策に係る検討（設計・施工、漏洩検知等） .....	155
2.3.1	建物空間における安全対策 .....	155
2.3.2	共同溝における安全対策 .....	157
2.4	まとめ .....	160
第3章	燃料電池等による建物の低炭素化技術 .....	162
3.1	目的 .....	162
3.1.1	燃料電池を利活用する技術に関して .....	162
3.1.2	建物(需要側)の各種省エネ技術に関して .....	163
3.2	燃料電池の利活用技術 .....	164
3.2.1	燃料電池・排熱利用技術の技術開発動向調査 .....	164
3.2.2	燃料電池・排熱利用技術導入による省エネ効果の評価 .....	183
3.3	スマート水素ハウスの省エネ・CO <sub>2</sub> 削減効果の評価 .....	210
3.3.1	概念と先行事例の調査 .....	210



3.3.2	効果の検証 .....	223
3.3.3	一般向け情報発信の必要性.....	227
3.4	省エネ効果の体系化 .....	230
3.4.1	建物・設備モデル設定.....	230
3.4.2	省エネ効果の体系化 .....	236
3.5	まとめ.....	241
第4章	低炭素都市評価技術の開発 .....	243
4.1	目的 .....	243
4.2	地域エネルギー消費等実態調査.....	244
4.2.1	文献調査による建物エネルギー需要原単位の整備 .....	244
4.2.2	地域エネルギー消費の現地調査.....	250
4.2.3	自然エネルギー賦存量調査.....	256
4.3	低炭素都市評価システムの開発.....	270
4.3.1	システム概要 .....	270
4.3.2	街区空調負荷モデル .....	271
4.3.3	都市 CO <sub>2</sub> 計量評価モデル .....	318
4.3.4	街区モデルシミュレーション（水素導入シナリオ） .....	394
4.4	まとめ.....	417
第5章	総括.....	418
	参考文献.....	420
	関連論文一覧.....	421

## 第1章 はじめに

### 1.1 総プロの目的

建築・住宅からの二酸化炭素排出量は年々増加の傾向を示しており、1990年と比べて業務その他部門で50.9%、家庭部門で48.1%(2011年度)の増加となっている。建築・住宅における二酸化炭素発生量を大幅に削減するには、省エネ化の推進とともに抜本的なエネルギー需給のあり方を見直す必要がある。

国土交通省総合技術開発プロジェクト「低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた都市システム技術の開発(平成21~24年度)」は、都市域の二酸化炭素発生量削減に有効と思われる水素に着目し、国土交通省が管轄する建築物等の関連法令における水素導入の留意点を整理するための、様々な調査を実施するものである。

総プロの目的は以下の通りである。地球温暖化対策については、対策の一層の推進が急務であるため、エネルギー媒体としての水素の供給及び利用技術を、都市建築物のエネルギー効率向上及び再生エネルギー源等と組み合わせ、現状に比して二酸化炭素排出量50%削減を実現する都市システム技術を開発する。そのため、課題として残されている水素配管技術、業務建築エネルギーシステム技術、及び都市エネルギーシステム評価計画技術を開発する。低炭素・水素エネルギー活用社会のイメージを図1.1に示す。

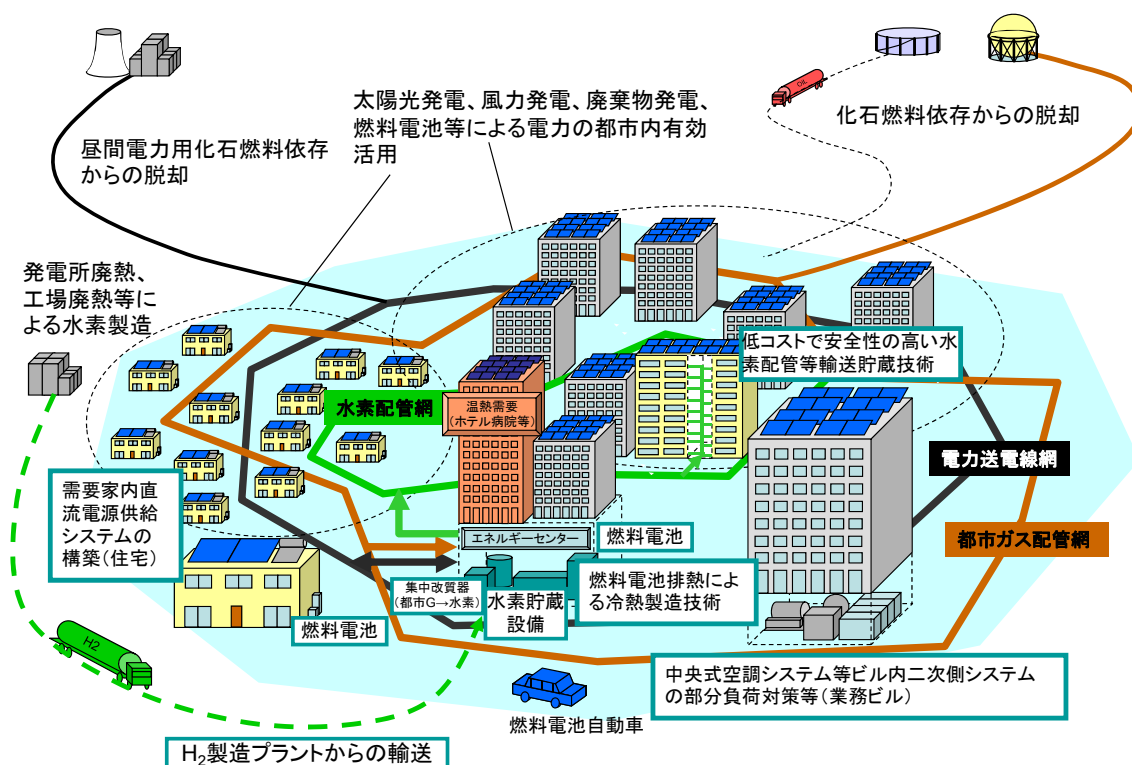


図 1.1 低炭素・水素エネルギー活用社会のイメージ

## 1.2 本研究の構成

第1章は、「低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた都市システム技術の開発」の研究目的である。

第2章では、水素配管を建築物に設置する際に、建築基準法との適合性を検討するため、水素配管の耐震・耐熱性、ガス拡散性について実験、数値解析等を実施した結果を述べる。

第3章は、建築単体の省エネ効果の検討であり、水素をモデル建物で使用する現地実験の概要や建築物における水素の省エネ効果に関する数値計算の結果について紹介する。

第4章においては、都市の低炭素評価に関するツール開発及びそれを用いたケーススタディーの結果から、都市域に水素を導入した際の環境経済性について言及する。

第5章は、総括である。

## 1.3 検討体制

検討実施体制を図1.2に示す。

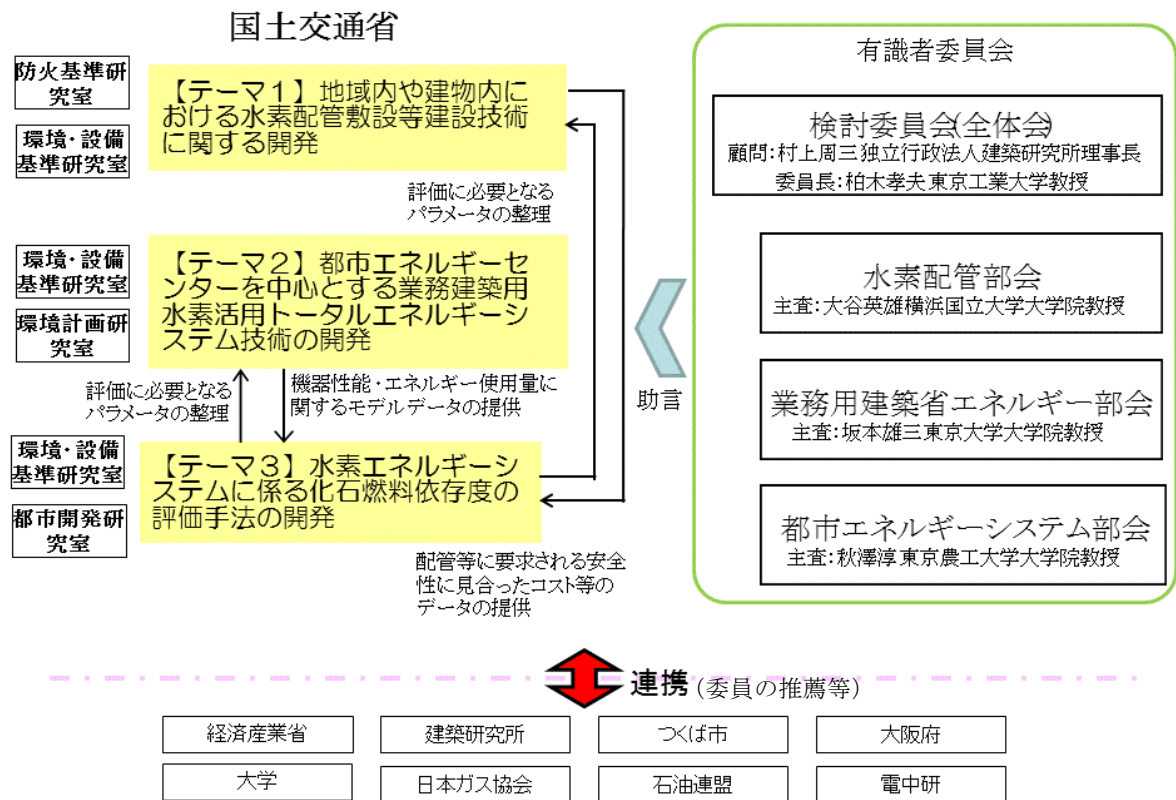


図 1.2 検討実施体制

## 第2章 水素配管を敷設した建物等空間の安全性の検討

### 2.1 目的

本章では、水素配管を敷設した建物等空間の安全性について検討を行い、水素配管を敷設した建物等空間の安全性を確保するために必要な事項(対策)を整理することを目的とする。また、国内における水素等配管等の材料・施工コストに関する情報を整理し、既存共同溝に水素配管を敷設して燃料電池に供給消費することで都市内に水素を供給する際の安全性を確認することを目的とする。

まず、水素を含む新エネルギー開発状況、事故事例、水素関連法令・基準、水素パイプライン・水素供給に関する研究開発・実証試験の動向、水素の貯蔵・搬送に係る建設・設備技術、国内における水素等配管等の材料・施工コスト等の調査を行い、水素配管を敷設した建物等空間の安全性を確保するために必要な事項(対策)を検討する上での前提条件を整理する。

次に、この前提条件に基づいて、建物に敷設された水素配管に及ぼす外力を想定し、数値計算、実験に基づく以下の検討を行い、水素配管を敷設した建物等空間の安全性を確保するために必要な事項(対策)を数値計算あるいは実験により整理する。

本章における検討内容は、以下の通りである。

- ・ 水素の安全性および水素配管敷設に関する基準等の調査
- ・ 建物内空間(パイプシャフト)で漏洩した水素の廊下での拡散性状
- ・ 建物内空間(居室等)で漏洩した水素の拡散性状
- ・ 屋外空間(バルコニー等)で漏洩した水素の拡散性状
- ・ 建築基礎を貫通するガス配管の耐震性能
- ・ 室内敷設配管の火災加熱による延焼防止性能
- ・ 都市内に水素を供給する際の安全性を確認するための実証実験
- ・ 建築空間、共同溝における水素供給の安全対策

## 2.2 水素配管を敷設した建物等空間の安全性についての検討

### 2.2.1 水素配管を敷設した建物等空間の安全性に関する検討の前提条件・想定外力

#### (1) 前提条件について

水素配管を敷設した建物等空間の安全性に関する検討を行うために、以下の項目を前提とした。

##### 1) 漏洩感知や緊急遮断等の安全対策

現在の都市ガス等と同様に、漏洩・長時間使用・地震・圧力不足に対する安全対策を備えた水素用マイコンメータが開発されることを想定する。

##### 2) 水素への付臭

都市ガス等と同様に、臭気による漏洩の検出を想定する。また、ガスが漏洩した場合には、付臭剤は水素中に均一に混合するものとする。

##### 3) 水素消費設備

水素消費設備には、家庭用又はオンサイト型コージェネレーションシステム用の燃料電池を想定する。水素を直接燃焼させる機器は、安全確保及び必要供給量の面を鑑みて、検討対象から除外する。

##### 4) 既存ガス配管を利用した水素ガスの供給(都市ガスから水素ガスへの置換)

新規の水素配管は屋外に設置することを原則とする。しかし、以下の理由から、既存の屋内ガス配管の利用や既存パイプシャフト内に配管の一部を設けて水素ガスを供給する場合は、必要な安全対策を行った上で、現在供給している燃料ガス(都市ガス等)から水素に完全に置き換わる場合を想定する。

- ・都市ガス等を改質すれば水素が生成できるため、新規水素配管の必要性がない
- ・燃料電池以外に水素を使用する設備が具体的に想定できない
- ・都市ガス等と水素を同一空間に配管する場合は、相互のリスク評価が容易でない

#### (2) 想定外力について

水素配管を敷設した建物等空間の安全性を検討するために、以下の外力を想定し、数値計算、実験による検討を行う。

- ・配管の腐食等
- ・建築基礎を貫通するガス配管の地震による変形
- ・建物内敷設配管の火災による加熱

共同溝については、既存共同溝に水素配管を敷設して燃料電池に水素供給することで都市内に水素を供給する際の安全性を確認する。これらの想定した外力に対する安全性を検

討する建物部分等の概念図を図2.1に示し、以下に検討項目を示す。

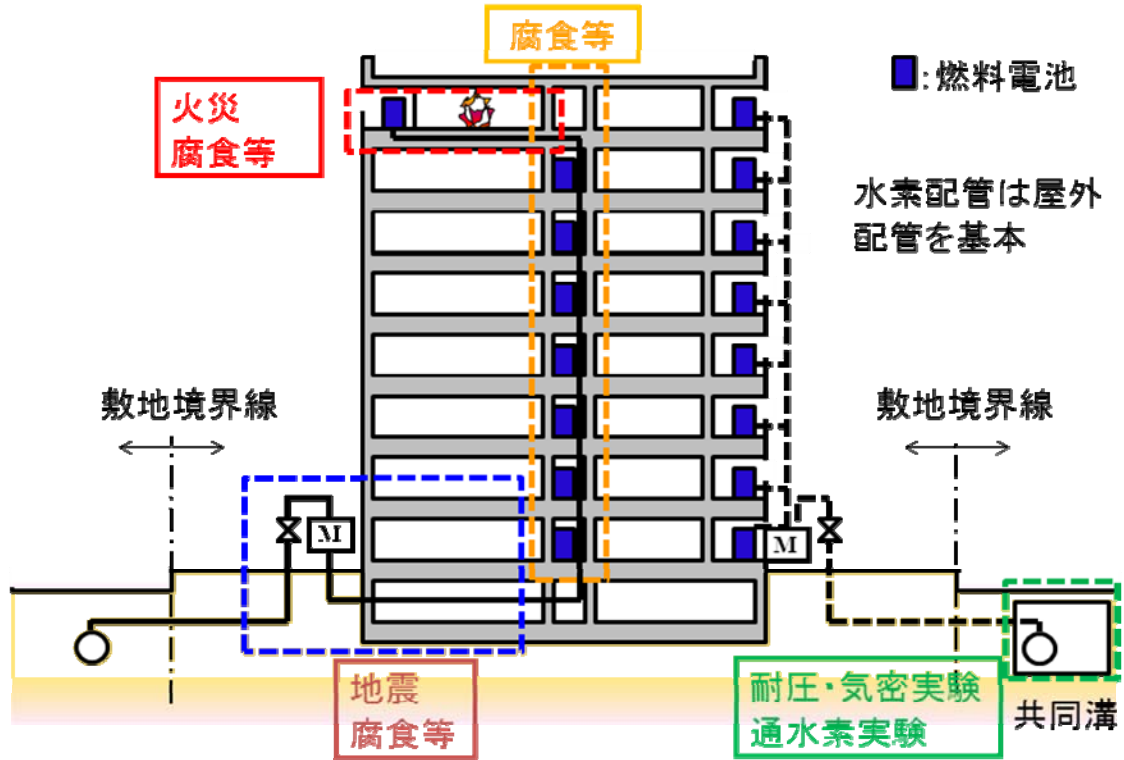


図 2.1 想定した外力に対する安全性を検討する建物部分等の概念図

## 2.2.2 水素の安全性および水素配管敷設に関する基準等の調査

水素の安全性および基準等に関する現状を把握し、水素配管を敷設した建物等空間の安全性を確保するために必要な事項(対策)を検討する上での前提条件を整理し、国内における水素等配管等の材料・施工コストに関する情報を整理するため、以下の調査を行う。

- (1) 一般燃料ガスの漏出事例及び漏出検知に関する調査
- (2) 水素配管敷設に関する基準等の調査
- (3) 国内における水素等配管等の材料・施工コスト

### (1) 一般燃料ガスの漏出事例及び漏出検知に関する調査

#### 1) 漏出事例の調査結果

既存建物の一般燃料ガス配管からのガス漏出事例等をもとに一般燃料ガスの漏出量、漏出箇所を調査するものとした。ガス漏出事例は原子力安全・保安院のホームページ等を参照し、建物内の一般燃料ガス配管におけるガス漏出の危険性が高い箇所を抽出するとともに、漏出性状の特徴について、漏出したガスの種類・漏出した器具、位置・配管敷設の経年等のデータ及び事故概要を読み込むことで、漏出の要因と特徴をまとめた。

原子力安全・保安院でまとめられているガス漏出の例として、以下のようなものがある。

- \* 一般集合住宅 ガス管近傍の排水管の接続部が外れ、ガス管が排水に浸けられる状態となり、管の腐食が進行。腐食孔が生じ漏出。1998 福岡
- \* 一般集合住宅 灯外内管の腐食孔からガス漏出。1999 千葉
- \* 一般業務用建物 他工事業者が灯外内管を損傷し、ガス漏出。2004 東京

ガス漏出事例は、以下の経済産業省原子力安全・保安院のホームページのガス消費機器に関する事故報告を調査した。ガス事故・トラブルの発生状況を、表 2.1 に示す。事故発生した位置(接続部 or 継ぎ手 or 配管)や漏れた要因(腐食・劣化等の自然発生するもの、施工不良等の人的なもの)により分類した。

#### 2) 漏出検知の調査結果

漏出検知についての調査は、一般燃料ガス配管設置に関する実務指針等を参考にしつつ、マイコンメータや付臭による漏出検知手法についてまとめるものとした。一般燃料ガスの配管供給における代表的な検知手段である付臭に関しては、市場に出回っている付臭剤の種類、特徴等の実態調査もあわせて推進するものとした。また、漏出時の対策について、ガス遮断装置やガス警報機、ガスメータに関する情報を収集するとともに、漏出開始から検知までの時間について調査した。

表2.1 ガス事故・トラブルの発生状況 (2000~2010)

	選 択 件 数	発生位置			要因		
		接続部	継手	配管	自然	人為	不明
2000	1	1				1	
2001	0						
2002	3	2		1		2	1
2003	5	4		1	1	4	
2004	2	2				2	
2005	1			1		1	
2006	9	8		1	1	6	2
2007	14	6		8	4	8	2
2008	8	6		2	1	6	1
2009	3	1		2	2	1	
2010	13	7	1	5	4	5	4
合計	59	37	1	21	13	36	10

漏出量を推定する方法としては、漏出開始から検知までの時間と、検知後の対応状況から供給量から推定を行うものとした。具体的には、以下についてまとめた。

- ・ マイコンメータが地震検知、供給量の急激な変動等をどのタイミングで検知し遮断を行うか、その仕様を調査することにより、漏出量推定の手掛かりが得られるものかどうかを調査する。
- ・ 付臭による検知により、どのようなプロセスで、遮断が行われるか。

調査は、ガス事業法令、通達、解釈例、その他関係法令、及び業界自主基準の内容の確認を行った。漏出検知の方法として考えられるマイコンメータ及び付臭剤を対象とした。

#### I)マイコンメータ

マイコンメータは、ガスメータ内にガス流量センサー、ガス遮断弁及び異常事態判断基準を記憶させたマイコン制御部を設け、これらの働きで常にガスの流れを監視し、ガスの流れが異常の時、ガスを遮断するものである。異常状態としては、流量オーバー・継続使用时间オーバー・感震・圧力低下・外部信号入力・電池電圧低下・内管漏洩検知がある。

マイコンメータについては、次の事項が確認されている。

- ・ ガス工作物技術基準の解釈例（漏洩検知装置の規格及びその設置方法）第 114 条



- i) 漏洩検知装置を設置した箇所からガス栓までの部分(以下「被検知部分」という)におけるガスの圧力の変化若しくは被検知部分へのガスの流入の状況によりガスの漏洩を有効に検知し、ガスの使用者若しくはその他の建物の関係者に音響若しくは表示により警報すること 又は被検知部分へのガスの供給を自動的に遮断すること。
- ii) 漏洩検知装置の検知可能な最小のガス漏洩量は  $0.005\text{m}^3/\text{h}$  を超えるものでないこと。

マイコンメータが異常を判定して動作する例として、使用最大流量が  $6\text{m}^3/\text{h}$ (家庭用最大値)のメータの場合は下記の通りである。

**①合計流量遮断：**

合計流量遮断値  $10.9[\text{m}^3/\text{h}]$ で設定されており、約1分以内に遮断される。この時の流量は  $181.67[\text{l}/\text{min}]$ となる。

**②圧力低下：**

ガス使用中に、供給圧力が  $0.3 [\text{kPa}]$  以下になった時に遮断される。都市ガスの場合  $2.5 \sim 1.0[\text{kPa}]$ で供給されている。

**③内部漏洩感知：**

計量体積が  $1.7[\text{l}]$ であり、30日間連続してガスの流れが認められ、メータがわずかでも動いている場合に警報が出される。

## II) 付臭剤

付臭については、付臭剤の種類とその特性を調べるとともに、臭気の確認下限値を確認した。以下のような特性を持った付臭剤を組み合わせたものをガスに添加し、臭覚でガスの漏洩を検知するものである。燃料用の付臭剤の例としては、以下のものがある。

**①ターシャリーブチルメルカプタン (TBM: tertiary-butylmercaptan)**

化学式「 $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}$ 」：有機硫黄化合物の一種で、臭気が強く、燃焼すると二酸化炭素、水、硫黄酸化物になる。タマネギが腐ったような臭い。

**②テトラヒドロチオフェン (THT:tetrahydro thiophene)**

化学式「 $\text{C}_4\text{H}_8\text{S}$ 」)：揮発性の無色透明の液体で、強い不快臭を持つ。ガス管および弁への腐食性が無い、嗅覚の習慣的非活性化を起こさない、喉や目への刺激および頭痛を引き起こさないなどの特徴を持つ。石炭ガスのような臭い。

**③ジメチルサルファイド (DMS:dimethyl sulfide)**

化学式「 $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$ 」：有機硫黄化合物の一種で、燃焼すると二酸化炭素、水、硫黄酸化物になる。悪臭防止法に特定されている物質。濃度が高いと危険性の高い物質であり、条例

で使用禁止を定めている都道府県もある。ニンニクのような臭い。

④エチルメルカプタン (ethylmercaptan)

化学式「 $C_2H_6S$ 」：有機硫黄化合物の一種で、燃焼すると二酸化炭素、水、硫黄酸化物になる。悪臭防止法に特定されている物質。強い刺激臭を持つ。極めて引火性が高く、また、体内に吸入すると有害である。

⑤シクロヘキセン (ethylmercaptan)

化学式「 $C_6H_{10}$ 」：硫黄を含まず、燃焼すると二酸化炭素と水になり、硫黄酸化物が発生しない。化審法の第3種監視化学物質※に指定されており、高蓄積性がなく比較的リスクの低い化学物質。石油に似た強い特有の悪臭を持つ。

燃料電池用の付臭剤の例としては、以下のものがある。

①上記燃料用の付臭剤に脱硫処理を施したもの

②5-エチリデンノルボルネンと2-アルキル-3-アルコキシピラジンの混合付臭剤

③ジエチルスルフィド

化学式「 $(CH_3)_2S$ 」：常温で液体、水に難溶の有機硫黄化合物。ジメチルエーテルの酸素を硫黄に置き換えた構造。キャベツが腐った臭い。

付臭剤については、含まれる硫黄成分を減らす目的で、下記のように付臭剤の成分を変更する動きがある。

i) 東京ガス株式会社の場合、

「これまでの付臭剤の成分は、「ターシャリーブチルメルカプタン(以下「TBM」)」と「ジメチルスルファイド(以下「DMS」)」を混合していましたが、今後は、TBM と「シクロヘキセン(以下「CH」)」を混合した成分に変更します。これにより、都市ガスに含まれている硫黄分を約半分に削減でき、環境性をより高めることができます。なお TBM と CH を混合した新しい付臭剤は、これまでの都市ガス特有の臭いと変わらず、都市ガスの付臭剤として必要な特徴を備えています。{ TBM+DMS → TBM+シクロヘキセン(CH) }」

東京ガス株式会社のプレスリリース<sup>1)</sup>：

<http://www.tokyo-gas.co.jp/Press/20090316-01.html>

ii) 宮崎ガス株式会社の場合、

「付臭剤に含まれている硫黄分を減らし環境性を高める目的で、付臭剤の成分を変更致します。」

{ THT → TBM+THM+シクロヘキセン(CH) } TBM : 8%, THM : 0.8%, CH : 91.2%

宮崎ガス株式会社のプレスリリース<sup>2)</sup>：

<http://www.miyazakigas.co.jp/info/osirase/20100428a.pdf>

臭気については、次の事項が確認されている。

i) ガス工作物の技術上の基準を定める省令（付臭措置）第 22 条

ガスの使用者及びガスを供給する事業を営む者に供給されるガス(ガスを供給する事業を営む者に供給されるものにあつては、低圧に供給されるものに限る。)は、容易に臭気によるガスの感知ができるように、付臭されていなければならない。

ii) ガス工作物技術基準の解釈例（臭気の確認）第 77 条

省令第 22 条に規定する「容易に臭気によるガスの感知ができる」及び「臭気の有無が感知できる」とは、次の各号のいずれかに掲げる方法及び頻度等で測定し、ガスの空気中の混合容積比率が容量で 1000 分の 1 でおおいが確認できることをいう。

- 一 パネル法においては、試料気体の調整法により希釈ガスを作成し、あらかじめ選定された正常なきゅう覚を有する臭気の判定者(パネル)4 名以上によるおいの有無を判定し、感知できた希釈倍数から各パネルの感知希釈倍数を求め、ガスの臭気濃度を求めること。ただし、各パネルの希釈倍数の相加平均値を求め、その相加平均値の 10 分の 1 以下又は 10 倍以上のデータがある場合は採用しない。
- 二 付臭剤濃度測定法においては、測定したガス中の付臭剤濃度(mg/m<sup>3</sup>を単位とする。)から、換算式を用いてガスの臭気濃度を求めること。この方法における臭気濃度の管理値は、2000 倍(ガスの空気中の混合容積比率が 2000 分の 1 でおおいが確認できること)以上とすること。

3) 漏出時の対策

ガス事業法令、通達、解釈例、その他関係法令、及び業界自主基準の内容の確認を行った。ガス遮断装置及びガス警報機を対象とした。

ガス遮断装置としては、使用目的により一般的には以下の 4 種類がある。

i) 引込管ガス遮断装置

引込管に設置（敷地境界近傍）し、緊急時に操作しガスの供給を遮断する。

ii) 緊急ガス遮断装置

建物への引込管の外壁貫通部付近に設置し、緊急時に防災センター等からの遠隔操作等により建物へのガスの供給を遮断する。

iii) 分岐バルブ

配管の分岐部付近に設置し、検査時・施行時及び長期不使用時等に操作しガスを遮断する。

iv) 業務用ガス遮断装置

業務用厨房等に設置し、手動又は都市ガス警報器からのガス漏れ信号等でガスの供給を遮断する。

ガス警報器等のシステムとしては、以下のようなものに分類される。

i) ガス漏れ警報設備

施行規則の規定に基づき、特定地下街等・特定地下室等で検知器を燃焼機器のある箇所、及び配管の外壁貫通部等に設置するとともに、その作動状況を中央管理室等で集中管理する設備であり、音声警報装置によりガス漏れの発生を知らせる。

ii) 都市ガス警報器（単体型）

都市ガス警報器を単体で燃焼機器のある箇所等に個別に設置する方式で、戸外ブザーと連動させることも可能である。

iii) 都市ガス警報器（集中監視型）

建物内の各箇所に設置されている都市ガス警報器と管理人室等に設置した監視盤を接続し、各警報機の作動状況を1箇所で見守るシステムである。

iv) 自動ガス遮断装置

ガスの流量、圧力等の異常、又はガスの漏えいを検知し、自動的にガスを遮断する機能を有する装置を言い、実用化されているものとしては「マイコンメータ」と「業務用ガス遮断装置（都市ガス警報器連動）」とがある。

4) 引込管ガス遮断装置

①引込管ガス遮断装置の選定

**[遵守事項]**

- i) 引込管ガス遮断装置は、ボールバルブ、プラグバルブ等のガスを速やかに確実に遮断することができる機能を有するものを選定する。**【遵守】**
- ii) 引込管ガス遮断装置の主要部の材料は、供給管・内管に用いる配管材料企画に適合するもの、又はこれと同等以上の機械的性質を有するものとする。**【遵守】**
- iii) 引込管ガス遮断装置は、使用中の荷重並びに最高使用温度及び最低使用温度における最高使用圧力に対し、設備の種類、規模に応じて適切な構造であるものを選定する。**【遵守】**

**[関連条項]**

- ・省令 第14条(材料)、第15条(構造等)、第49条(ガス遮断装置)第3項、第4項
- ・解釈例 第14条(導管等の材料)、第108条(引込管に設けるガス遮断装置)、第109条(地下室等のガス遮断装置)

## ②引込管ガス遮断装置の設置対象及び設置場所

### [遵守事項]

i) 引込管ガス遮断装置は、次の引込管に設置する。【遵守】

- (a) 特定地下街等への引込管
- (b) 特定地下室等への引込管
- (c) 超高層建物への引込管
- (d) 特定大規模建物への引込管
- (e) 高層建物への引込管
- (f) 内径が 70mm 以上の引込管
- (g) 地下室・地下街その他地下であってガスが充満するおそれのある場所への引込管
- (h) その他必要な建物への引込管

なお、ガスを使用する建物ごとの区分を定める件（昭和 60 通商産業省告示第 461 号第 1 条）より、「特定地下街等」は延べ面積が 1,000m<sup>2</sup>以上のもの、「特定地下室等」は地階で床面積が 1,000m<sup>2</sup>以上のもの、「超高層建物」は高さが 60m を超えるもの、「特定大規模建物」は劇場、映画館などでガスメータの号数が一定規模以上のもの、「高層建物」は高さが 31m を超えるものを指す。

ii) 設置場所は、危急時に地上から容易に操作でき維持管理しやすい場所とする。【遵守】

### [勧告事項及び推奨事項]

i) 土中埋設部に引込管ガス遮断装置を設置する場合は、プロテクタ等を設ける。【勧告】

ii) 露出部に引込管ガス遮断装置を設置する場合は、部外者によるいたずら等への防止策を講ずる。【推奨】

### [関連条項]

- ・省令 第 49 条(ガス遮断装置) 第 3 項、第 4 項
- ・解釈例 第 108 条(引込管に設けるガス遮断装置)、第 109 条(地下室等のガス遮断装置)
- ・昭和 60 年通産省告示 第 461 号(ガスを使用する建物ごとの区分を定める件)

## 5) 緊急ガス遮断装置

### ①緊急ガス遮断装置の選定

#### [遵守事項]

i) 緊急ガス遮断装置は、当該建物内におけるガス漏れ等の情報を把握できる適切な場所から直ちに遮断できる機能を有するものを選定する。【遵守】

ii) 緊急ガス遮断装置のバルブ本体は、ボールバルブ、プラグバルブ等のガスを速やか

に確実に遮断することができる機能を有するものを選定する。【遵守】

iii) 緊急ガス遮断装置の主要部の材料は、供給管・内管に用いる配管材料企画に適合するもの、又はこれと同等以上の機械的性質を有するものとする。【遵守】

iv) 緊急ガス遮断装置は、使用中の荷重並びに最高使用温度及び最低使用温度における最高使用圧力に対し、設備の種類、規模に応じて適切な構造であるものを選定する。

【遵守】

#### [関連条項]

- ・省令 第 14 条(材料)、第 15 条(構造等)、第 49 条(ガス遮断装置)第 5 項
- ・解釈例 第 14 条(導管等の材料)、第 110 条(緊急ガス遮断装置)

#### ②緊急ガス遮断装置の設置対象及び設置場所

##### [遵守事項]

i) 緊急ガス遮断装置は、次の建物の外壁を貫通する箇所の付近に設置する。【遵守】

- |            |             |
|------------|-------------|
| (a) 特定地下街等 | (b) 特定地下室等  |
| (c) 超高層建物  | (d) 特定大規模建物 |

ii) 緊急ガス遮断装置の操作器は、当該建物内におけるガス漏れ等の情報を把握できる適切な場所に設置する。【遵守】

##### [関連条項]

- ・省令 第 49 条 (ガス遮断装置) 第 5 項
- ・解釈例 第 110 条 (緊急ガス遮断装置)

#### 6) 分岐バルブ

##### ①分岐バルブの選定

##### [遵守事項]

i) 分岐バルブは、ボールバルブ、プラグバルブ等のガスを速やかに確実に遮断することができる機能を有するものを選定する。【遵守】

ii) 分岐バルブの主要部の材料は、供給管・内管に用いる配管材料企画に適合するもの、又はこれと同等以上の機械的性質を有するものとする。【遵守】

iii) 分岐バルブは、使用中の荷重並びに最高使用温度及び最低使用温度における最高使用圧力に対し、設備の種類、規模に応じて適切な構造であるものを選定する。【遵守】

##### ②分岐バルブの設置対象及び設置場所

##### [遵守事項]

i) 設置場所は、バルブの操作に支障のない場所とする【遵守】

##### [推奨事項]

- i) 分岐バルブは、次のような場所に設置する。【推奨】
  - (a) 集合住宅の共用配管の分岐部
  - (b) ビル内配管の各階・各区画の分岐部
  - (c) 用途の異なる使用場所、及び季節を限定して使用する場所への分岐部
- ii) 設置場所は、分岐部下流側付近とする。【推奨】

## 7) 業務用ガス遮断装置の選定

### ①業務用ガス遮断装置の選定

#### [遵守事項]

- i) 業務用ガス遮断装置は、手動又は都市ガス警報器のガス漏れ信号等でガスを速やかに確実に遮断することができる機能を有するものを選定する。【遵守】
- ii) 業務用ガス遮断装置は、(財)日本ガス機器検査境界の自主検査適合品を選定する。

#### 【遵守】

#### [関連条項]

- ・省令 第 52 条 (導管の設置場所) 第 2 項
- ・施行規則 第 108 条 (消費機器の技術上の基準) 第 10 号
- ・解釈例 第 118 条 (自動ガス遮断装置及びガス漏れ警報器)

### ②業務用ガス遮断装置の設置対象及び設置場所

#### [推奨事項]

- i) 業務用ガス遮断装置は、次のような場合に設置する。【推奨】
  - (a) フード等用簡易自動消化装置と連動してガス供給停止を行う場合
  - (b) 都市ガス警報器と連動してガス供給停止を行う場合
- ii) 業務用ガス遮断装置は、次の条件を満足する位置に設置する。【推奨】
  - (a) 作動状況を容易に識別できること
  - (b) 点検・操作が容易にできること
  - (c) ガスの使用場所ごと(店舗ごと等)にガスを遮断できること
- iii) ガスメータの下流側に設置する。【推奨】

#### [関連条項]

- ・省令 第 52 条(導管の設置場所)第 2 項
- ・施行規則 第 108 条(消費機器の技術上の基準)第 10 号
- ・解釈例 第 118 条(自動ガス遮断装置及びガス漏れ警報器)
- ・平成 12 年通産省告示 第 578 号(ガス漏れ警報器の規格及び設置方法を定める件)
- ・火災予防条例(例) 第 3 条の 2 (厨房設備)
- ・消防法施行規則 第 24 条の 2 の 3 (ガス漏れ火災警報設備に関する基準の細目)

## 8) 都市ガス警報器等

### [基本的な考え方]

ガス設備の安全対策は、ガスを漏洩させないことを基本としているが、同時に万一ガスの漏洩が発生した場合に、それを速やかに検知し事故を未然に防ぐ措置を講ずることが重要である。そのため法令に基づき、建物区分に応じた適切な都市ガス警報器等を適切な方法で設置する。ただし、法令上設置義務のない需要家にあっても、安全対策を推進することが望ましい。

### [関連条項]

- ・省令 第 52 条(導管の設置場所) 第 2 項
- ・施行規則 第 108 条(消費機器の技術上の基準) 第 8 号, 第 10 号
- ・昭和 56 年通産省告示 第 263 号(ガス漏れ警報設備の規格及びその設置方法を定める告示)
- ・平成 12 年通産省告示 第 578 号(ガス漏れ警報器の規格及びその設置方法を定める件)
- ・昭和 60 年通産省告示 第 461 号(ガスを使用する建物ごとの区分を定める件)
- ・消防法施行令 第 21 条の 2(ガス漏れ火災警報設備に関する基準)  
第 36 条の 2(消防設備士でなければ行ってはならない工事又は整備)
- ・消防法施行規則 第 24 条の 2 の 3(ガス漏れ火災警報設備に関する基準の細目)

### ①都市ガス警報器等の選定

#### [遵守事項]

- i) ガス漏れ警報設備のうち、検知器については、(財)日本ガス機器検査協会の自主検査認証品を、中継器、受信機については、日本消防検定境界の検定合格品を選定する。【遵守】
- ii) 都市ガス警報器は、(財)日本ガス機器検査協会の自主検査認証品を選定する。【遵守】
- iii) 自動ガス遮断装置は、(財)日本ガス機器検査協会の自主検査認証品を選定する。【遵守】

### [関連条項]

- ・省令 第 52 条(導管の設置場所) 第 2 項
- ・解釈例 第 117 条(ガス漏れ警報設備)、第 118 条(自動ガス遮断装置及びガス漏れ警報器)
- ・昭和 56 年通産省告示 第 263 号(ガス漏れ警報設備の規格及びその設置方法を定める告示)



- ・平成 12 年通産省告示 第 578 号(ガス漏れ警報器の規格及びその設置方法を定める件)
- ・消防法施行令 第 21 条の 2(ガス漏れ火災警報設備に関する基準)  
第 37 条(検定対象機械器具等の範囲)
- ・消防法施行規則 第 24 条の 2 の 3(ガス漏れ火災警報設備に関する基準の細目)

## ②都市ガス警報器等の設置対象及び設置場所

### [遵守事項]

- i) 特定地下街等、特定地下室等には、ガス漏れ警報設備を設置する。なお、検知器は導管が外壁を貫通する付近及び燃焼機器が設置されている箇所の所定の位置に設置する。【遵守】
- ii) 超高層建物及び特定大規模建物には、都市ガス警報器又は自動ガス遮断装置のいずれかを次に従い設置する。【遵守】
  - (a) 超高層建物に都市ガス警報器を設置する場合は、燃焼機器のある箇所の所定の位置に設置する。ただし、住居用の部分については調理室に設置する。
  - (b) 特定大規模建物に都市ガス警報器を設置する場合は、特定業務用とのために使用されている燃焼機器が設置されている箇所の所定の位置に設置する。
  - (c) 自動ガス遮断装置を設置する場合は、作動状況を識別でき、点検・操作が容易な場所で、かつガス使用箇所へのガス遮断が適切に行える場所に設置する。

### [関連条項]

- ・省令 第 52 条(導管の設置場所) 第 2 項
- ・施行規則 第 108 条(消費機器の技術上の基準) 第 8 号, 第 10 号
- ・解釈例 第 117 条(ガス漏れ警報設備)、第 118 条(自動ガス遮断装置及びガス漏れ警報器)
- ・昭和 56 年通産省告示 第 263 号(ガス漏れ警報設備の規格及びその設置方法を定める告示)
- ・平成 12 年通産省告示 第 578 号(ガス漏れ警報器の規格及びその設置方法を定める件)
- ・昭和 60 年通産省告示 第 461 号(ガスを使用する建物ごとの区分を定める件)
- ・消防法施行令 第 21 条の 2 (ガス漏れ火災警報設備に関する基準)、  
第 36 条の 2 (消防設備士でなければ行ってはならない工事又は整備)
- ・消防法施行規則 第 24 条の 2 の 3 (ガス漏れ火災警報設備)

## 9) まとめ

建物内における水素配管を安全に設置するための技術基準検討の基礎資料とするため、

建物内水素配管からの漏出事例及び検知についての資料収集整理を行った。

一般燃料ガスの漏出事例及び検知に関する調査は、業界実務指針、自主基準を把握し、それを踏まえて実施した。

2000年から2010年までのガス漏出事事故事例を調査した結果、事故発生箇所としては、ガス機器と配管（特に、可とう管・フレキ管）との接続部が多く、事故原因としては、施工中・工事中・点検中における人為的なミスによる配管等の損傷が最も多かった。他にも、腐食・劣化等の自然発生的な配管の損傷に起因する事故も少なからずあった。

ガス漏出検知対策として、マイコンメータと付臭剤について調査した。マイコンメータによりガス供給が遮断されるガス流量は約180 l/minであり、通常の家での使用量を大幅に超えないとガス供給が遮断されず、多量のガスが建物内に漏出する可能性がある。

付臭剤は、いくつかの化学物質が用いられているが、いずれのものもガスの空気中の混合容積比率が容量1000分の1で臭いが確認できるものと規定されている。また、ガス漏出時の対策として、建物近傍に設置が予想されるガス遮断装置の種別ごとに機能や設置基準等を整理した。

## (2) 水素配管敷設に関する基準等の調査

中層規模の建物での一般燃料ガス配管設置に関するガス事業法令、通達、解釈例、その他関係法令、及び業界自主基準である、一般財団法人日本ガス機器検査協会「ガス機器の設置基準及び実務指針（前編）・（後編）・（追補版）」、および、一般社団法人日本ガス協会「供給管・内管指針（設計編）・（工事編）・（中圧設計・工事編）」、「中低圧ガス導管耐震設計指針」の中から、以下の各項目について、基本的な考え方、遵守の必要性に応じた遵守・勧告・推奨のグレードを記入した。

- ・配管経路・位置      ・貫通部      ・電気配線との離隔距離      ・配管支持
- ・ガスメータ      ・ガス遮断装置

ここで、基本的な考え方、遵守の必要性に応じた遵守・勧告・推奨のグレード、関連条項の定義は以下のとおりである。

**基本的な考え方：**各項目において規定する内容について、法令の遵守・品質及び保安の確保を図る上で常に心がけるべき“基本的な考え方”を示す。

**遵守・勧告・推奨グレード：**上記“基本的な考え方”に沿った具体的な設計・施行方法について記述し、その遵守の必要性に応じて、以下のように分類する。

**遵守事項：**ガス事業法令、通達、解釈例、その他関係法令に規定されている事項、及び委員会が保安上必要であると判断された事項で、最低限守らなければならない絶対厳守事項。

**勧告事項：**ガス事業法令、通達、解釈例、その他関係法令に規定されていないが、委員会が保安上配慮を要すると判断した事項で、本来遵守事項として遵守義務を期待するものであるが、例外としてある程度の応用動作が認められても良い事項。

**推奨事項：**ガス事業法令、通達、解釈例、その他関係法令に規定されていないが、保安上、美観上、経済上、あるいはその他の観点から推奨する事項で、作業する場合に守ることが望ましい事項。

**関連条項：**「基本的な考え方」、及び「遵守事項」の内容の拠り所となるガス事業法令、通達、解釈例、その他関係法令、及び「勧告事項」、「推奨事項」の内容に関連性を有するガス事業法令、通達、解釈例、その他関係法令等を記述する。

## 1) 配管経路・位置

### [基本的な考え方]

配管経路・位置は、安全性、施工性、将来計画、建築設備との調和、経済性、及び維持管理の容易性等を考慮し決定する。

配管・位置については、以下の遵守・勧告・推奨事項が確認された。

配管をしてはならない場所【遵守】

配管を避ける場所【勧告】・【推奨】

## ①屋内配管

### [遵守事項]

- i) 他設備との間には必要な離隔距離を確保する。【遵守】
- ii) 建物の床下露出部に配管する場合は、塗覆装を講ずる。【遵守】
- iii) 被覆鋼管の場合、管材料の使用温度を超える熱の影響を受けるおそれのある場所に配管してはならない。【遵守】
- iv) 電線、電気開閉器、その他電気設備を施設しているパイプシャフト内又はピット内、その他漏れたガスが滞留するおそれのある場所に配管する場合は、換気口を設けるか、電気設備に防爆工事等の安全措置を講ずる。【遵守】

### [勧告事項及び推奨事項]

- i) 屋内配管をパイプシャフト内、ピット内、天井裏及び床下等隠ぺい部に配管する場合で、特別な維持管理が必要な箇所には、点検口を設ける。【勧告】
- ii) 漏れたガス等が滞留するおそれのあるパイプシャフト内、ピット内等の隠ぺい部に配管を行う場合は、点検口を設ける。【勧告】
- iii) フレキ管で配管する場合、管が釘打ち等によって損傷するおそれのある箇所には、防護板等により防護措置を講ずる。【勧告】
- iv) 建物の柱、梁等と平行に配管する。【推奨】
- v) 共用配管は、建物の共用部分に配管する。【推奨】

### [関連条項]

- ・省令 第 47 条(防食措置)
- ・解釈例 第 103 条(防食措置)
- ・火災予防条例(例) 第 3 条 (炉) 18 号の 3

## ②露出部における特殊箇所

- i) 建物のエキスパンションジョイント部を通過する配管【遵守】・【勧告】・【推奨】
- ii) 免震構造建物の免震層を通過する配管【遵守】・【勧告】・【推奨】
- iii) 高温の影響を受ける場所への配管【遵守】
- iv) 配管のたわみ性による吸収(ループ配管)【遵守】

## 2) 配管材料と接合方法

### [基本的な考え方]

材料及び接合方法は、設置環境、施工性、耐震性、維持管理及び経済性について十分考慮し決定する。

### [遵守事項]

- i) 配管材料は、最高使用温度及び最低使用温度において材料に及ぼす化学的及び物理的影響に対し、設備の種類、規模に応じて安全な器秋の性質を有するものでなければならない。【遵守】
- ii) 配管の接合部は、使用中の荷重並びに最高使用温度及び最低使用温度における最高使用圧力に対し、適切な構造でなければならない。【遵守】

### [関連条項]

- ・省令 第 14 条(材料)、第 15 条(構造等)、第 16 条(溶接部分)
- ・解釈例 第 12 条(材料)、第 14 条(導管等の材料)、第 18 条(構造)、  
第 41 条(導管の構造) 第 2 項、第 3 項、第 52 条(溶接一般)

## 3) 配管の分岐方法の種類と選定

### [基本的な考え方]

既設配管からの分岐取出しは、ガスを遮断して行うことを最優先とし、元管の管種・管径及び分岐管径に応じた適切な分岐方法を選定する。

#### ①配管の分岐方法

### [遵守事項]

- i) 供給管の分岐部は、使用中の荷重並びに最高使用温度及び最低使用温度における最高使用圧力に対し、適切な構造でなければならない。【遵守】

### [関連条項]

- ・省令 第 15 条 (構造等)、第 16 条 (溶接部分)
- ・解釈例 第 18 条 (構造)、第 41 条 (導管の構造)、第 52 条 (溶接一般)

#### ②内管の分岐

### [遵守事項]

- i) 内管の分岐部は、使用中の荷重並びに最高使用温度及び最低使用温度における最高使用圧力に対し、適切な構造でなければならない。【遵守】

### [勧告事項]

- i) 露出内管の場合は、プラグ止め等の箇所が適切な位置にあるときは当該場所から取り出すこととし、プラグ止め等の箇所が適切な箇所でない場合は、直管部から管種、

施工条件などを考慮して取り出すこと。【勧告】

**[関連条項]**

- ・省令 第 15 条(構造等)
- ・解釈例 第 18 条(構造)、第 41 条(導管の構造)

4) 貫通部

**[基本的な考え方]**

- i) 建物を貫通する配管は、建物構造物の耐力上支障を生じないように貫通するとともに、法令に定められた方法で確実に施工する。
- ii) 建物の外壁を貫通する配管は、地盤沈下や地震等の際に埋設管にかかる応力を屋内側配管に伝えないため、貫通部において建物に堅固に固定する。

**[遵守事項]**

- i) 貫通部の配管には、塗覆装を施す。【遵守】
- ii) 防火区画を貫通する場合には、その間隙をモルタル等の不燃材料で埋めるものとする。ただし、上記区画のうち、共住区画の貫通については、消防法で定められた工法で施工する。【遵守】
- iii) 消防法施行令第 8 条に規定する区画は、配管を貫通させてはならない。【遵守】

**[勧告事項及び推奨事項]**

- i) 建物外壁、梁等のコンクリート貫通部内には、配管の接合部を設けない。【勧告】
- ii) 防水処理を施す部分を貫通する場合には、建築関係者と協議する。【推奨】
- iii) コンクリート躯体貫通部には、コンクリート打設前にスリーブを挿入する。【推奨】

**[関連条項]**

- ・建築基準法施行令 第 112 条(防水区画)第 15 項、第 129 条の 2 の 5 (給水、排水その他の配管設備の設置及び構造)第 1 項第 7 号
- ・消防法施行令 第 8 条 (通則) 、第 29 条の 4 (必要とされる防火安全性能を有する消防の用に供する設備等に関する基準)
- ・総務省令 第 40 号 (特定共同住宅等における必要とされる防火安全性能を有する消防の用に供する設備等に関する省令)
- ・消防庁予防課通知 平成 7 年消防予第 53 号「令 8 区画及び共住区画の構造並びに当該区画を貫通する配管等の取扱いについて」
- ・消防庁告示 第 2 号「特定共同住宅等の位置、構造及び設備を定める件」、第 3 号「特定共同住宅等の構造類型を定める件」

なお、「特定共同住宅等における必要とされる防火安全性能を有する消防の用に供する設備等に関する省令」では、建物構造、二方向避難、開放性等の一定条件を満たす防火対象

物を「特定共同住宅等」と定めている。

#### 5) 配管支持

##### [基本的な考え方]

配管は自重、地震及び熱伸縮等の影響を考慮して、適切な箇所を支持材により支持しなければならない。

##### ①立て配管

##### [基本的な考え方]

立て配管の支持箇所は、建築物及び配管の状況に応じて、自重・地震荷重及び地震時の層間変位などを考慮し、決定する。

##### [勧告事項]

##### i) 立て配管の自重支持

立て配管の自重支持は、配管の自重を考慮した適切な場所に設置する。【勧告】

##### ii) 立て配管の地震支持

立て配管は、地震による管軸直角方向の過大な変形を抑制し、かつ建物の層間変位に追従するように耐震支持を行う。【勧告】

##### [関連条項]

- ・省令 第 15 条 (構造等)
- ・解釈例 第 46 条 (導管の支持) 第 2 項
- ・建築基準法 第 36 条 (この章の規定を実施し、又は補足するため必要な技術的基準)
- ・建築基準法施行令 第 129 条の 2 の 4 (建築設備の構造強度) 第 2 号、  
第 129 条の 2 の 5 (給水、排水その他配管設備の設置及び構造)
- ・平成 12 年建設省告示 第 1388 号 (建築設備の構造耐力上安全な構造方法を定める件)  
第 4 第 4 項

##### ②特定箇所

##### [勧告事項]

i) ガスメータ、バルブ等の重量物を設置する場合の支持箇所は、その重量や取替え作業を考慮して決定する。【勧告】

ii) ガスメータ、バルブ等を懸垂設置する場合には、ガスメータ及びバルブ近傍の配管を建物外壁等に支持する。【勧告】

##### [関連条項]

- ・省令 第 15 条 (構造等)
- ・解釈例 第 46 条 (導管の支持) 第 2 項
- ・建築基準法 第 36 条 (この章の規定を実施し、又は補足するため必要な技術的基準)
- ・建築基準法施行令 第 129 条の 2 の 4 (建築設備の構造強度) 第 2 号、

第 129 条の 2 の 5 (給水、排水その他配管設備の設置及び構造)

- ・平成 12 年建設省告示 第 1388 号 (建築設備の構造耐力上安全な構造方法を定める件)  
第 4 第 4 項

6) 電気配線

**[遵守事項]**

- i) 配管と電灯線、電気機器のアース及びその他電気工作物では、離隔距離が必要である(がいし引き工事: 10cm 以上(低圧・絶縁電線)、30cm 以上(低圧・裸電線)、15cm 以上(高圧・絶縁電線)、30cm 以上(高圧・裸電線)、ケーブル工事: 接触しないこと(低圧)、30cm 以上(高圧))。ただし、がいし引き工事又はケーブル工事において、やむを得ず規定の離隔距離が確保できない場合は配管に硬質ビニル管等により絶縁措置を施す。【遵守】

**[関連条項]**

- ・電気設備に関する技術基準を定める省令

第 29 条 (電線による他の工作物等への危険の防止)、

第 30 条 (地中電線等による他の電線及び工作物への危険の防止)、

第 59 条 (電気使用場所に施設する電気機械器具の感電、火災等の防止)、

第 62 条 (配線による他の配線等又は工作物への危険の防止) 第 2 項

- ・電気設備の技術基準の解釈

第 92 条、94 条、139 条、189 条、199 条、202 条、204 条、205 条、  
207 条、208 条、211 条、228 条、229 条、237 条

7) ガスメータ

**[基本的な考え方]**

ガスメータは、適正な計量を行うために、供給ガスの種類、圧力、流量及び使用形態に適合したものを選定し、適切な方法で設置しなければならない。

**①ガスメータの種類と選定**

**[遵守事項]**

- i) 取引用のガスメータは、計量法に定める計量器の検定検査に合格したものでなければならない。ただし、適用除外を受けたものはこの限りではない。【遵守】
- ii) 使用最大流量が 16m<sup>3</sup>/h 以下のガスメータ(4kPa 以下及び口径 250mm 以下のものに限る)は、省令に適合したマイコンメータを設置する。ただし、設置除外要件に該当する場合はこの限りではない。【遵守】
- iii) ガスメータは、設計流量を通過させ得る計量能力を有する最小の Q<sub>max</sub> のものを選



定する。【遵守】

**[勧告・推奨事項]**

- i) 膜式メータを並列設置する場合（ガスメータの2次側で配管が再度合流する設置方式）は同形式のガスメータを使用し、マイコンメータを用いない。【勧告】
- ii) 住宅用の小計量の計量には膜式メータ等を、工業用等の大流量の計量には回転子式メータ等を用いる。【推奨】

**[関連条項]**

- ・計量法 第2条(定義等)、第16条(使用の制限)、第18条(使用方法等の制限)、第71条(検定の合格条件)、第72条(検定認証)
- ・計量法施行令 第2条(特定計量器)、第5条(使用の制限の特定に係る特定計量器)、第18条(検定認証等の有効期間のある特定計量器)
- ・省令 第50条(ガス遮断機能を有するガスメータ)、第51条(漏洩検査)
- ・解釈例 第112条 (ガス遮断機能を有するガスメータの機能)、  
第113条 (漏洩検査等の方法)、  
第114条 (漏洩検知装置の規格及びその設置方法)、  
第118条 (自動ガス遮断装置及びガス漏れ警報器)

**②ガスメータの設置**

**[遵守事項]**

- i) ガスメータは、1需要家につき1個設置する。【遵守】
- ii) ガスメータは水平に設置する。【遵守】
- iii) ガスメータの設置場所は、検針、維持管理の容易な場所とする。【遵守】
- iv) ガスメータに悪影響を及ぼすおそれのある場所には設置しない。【遵守】
- v) 電気設備との離隔距離については、「電気設備に関する技術上の基準を定める省令」 「電気設備に関する技術基準の解釈」及び自治体の「火災予防条例」による。【遵守】
- vi) 電線、電気開閉器、その他の電気設備が施設してあるパイプシャフト内、又はピット内その他漏れたガスが滞留するおそれのある場所にガスメータを設置する場合は、換気口を設けるか、電気設備に防爆工事等の安全措置を講ずる。【遵守】

**[勧告事項]**

- i) 膜式メータを懸垂設置する場合は建物等に配管支持を行う。また、据置設置する場合は十分な強度の台上に設置する。【勧告】
- ii) 回転子式メータを設置する場合には、メータ本体に応力が加わらないよう前後の配管支持を確実にを行う。【勧告】
- iii) 積雪地及び寒冷地域では、雪や凍結に対する防護措置を講ずる。【勧告】

iv) 回転子メータは、器具ガバナを有しないボイラー等大流量燃焼機器の直前には設置しない。【勧告】

#### [関連条項]

- ・電気設備に関する技術基準を定める省令 第10条、11条、56条、57条、58条、59条、62条、63条、66条、67条、72条、73条
- ・電気設備に関する技術基準の解釈 第178条、187条
- ・建築基準法施行令（避難階段及び特別避難階段の構造）
- ・火災予防条例(例)（炉）14号のイ

パイプシャフト内に設置する場合の上部換気口及び下部換気口は、下記の条件を満たす必要がある。

上部換気口：有効開口面積 100cm<sup>2</sup>以上

下部換気口：有効開口面積 100cm<sup>2</sup>以上

鋼製の扉等：板厚 $\geq$ 0.8mm

地震対策上、以下のように規定している自治体もある。

- ・上下の開口部の面積は、各々パイプシャフト正面の面積の5%又は500cm<sup>2</sup>の大きいほうとする。
- ・パイプシャフト上部に排気だまり防止の通気口が必要となる場合がある。

#### ③ガスメータの付属設置

- i) メータガス栓は、ガスメータ上流側のガスメータ近傍で、操作しやすいところに取り付ける。【遵守】

#### 8) 検査

##### [基本的な考え方]

工事中の適切な時期及び工事完了後に、適切な検査を行い、関連法規、本指針、設計図書等との適合性を確認するとともに、検査が適正に行われたことを確認し、安全性と利便性を確保する。

#### 9) 気密試験

##### [遵守事項]

- i) ガスを通ずる部分は、最高使用圧力以上の圧力で圧力保持による気密試験を行い、漏洩がないことを確認する。ただし、取出部近傍の接合箇所等は、試験圧力を通ずるガスの圧力とすることができる。【遵守】

ii) 気密試験に合格したものでなければ、供給を開始してはならない。【遵守】

**[関連条項]**

- ・省令 第 15 条 (構造等) 第 3 項
- ・解釈例 第 51 条 (気密試験)

**①圧力保持による気密試験・試験方法**

**[遵守事項]**

i) 圧力保持による気密試験は、圧力測定器具、被試験部分の容積及び最高使用圧力に応じて規定された保持時間以上圧力を保持し、試験の始めと終わりの測定圧力差の有無を確認する方法により行う。【遵守】

**②圧力保持による気密試験・判定及び記録**

**[遵守事項]**

i) 気密試験の開始時と終了時の測定圧力差が圧力測定器具の許容誤差内にある場合、合格とする。【遵守】

ii) 気密試験に不合格となった場合は、不合格箇所を補修し、再度気密試験を行う。【遵守】

iii) 気密試験の結果を記録する。【遵守】

**③発泡液による気密試験・試験方法**

**[遵守事項]**

i) 発泡液による気密試験は、発泡液を継手部に塗布し、泡が認められるか否かを確認することにより行う。【遵守】

ii) 発泡液による気密試験は、露出している部分に限って行う。【遵守】

#### ④発泡液による気密試験・判定及び記録

##### [遵守事項]

- i) 発泡液による気密試験を行い、泡が認められない場合、合格とする。【遵守】
- ii) 気密試験に不合格となった場合は、不合格箇所を補修し、再度気密試験を行う。【遵守】
- iii) 気密試験の結果を記録する。【遵守】

#### ⑤ガス検知器による気密試験・試験方法

##### [遵守事項]

- i) ガス検知器による気密試験は、ガスの濃度が0.2%以下で作動するガス検知器を使用し、ガス検知器が作動しないことを確認することにより行う。【遵守】

#### ⑥ガス検知器による気密試験・判定及び記録

##### [遵守事項]

- i) ガス検知器が作動しない場合、合格とする。【遵守】
- ii) 埋設された供給管・内管にあつては、試験のためにガスを封入して12時間経過した後判定を行う。【遵守】
- iii) 気密試験に不合格となった場合は、不合格箇所を補修し、再度気密試験を行う。【遵守】
- iv) 気密試験の結果を記録する。【遵守】

## 10) まとめ

一般燃料ガス配管の設置基準を調査した結果、配管は、安全性、施工性、将来計画、建築設備との調和、経済性、及び維持管理の容易性等を考慮して、経路や材料選定等を決定するとともに、地震による応力を建物内管に伝達しないような支持を設けている。しかし、火災による熱に対しては、防火区画貫通時の埋め戻しや消防法施行令第8条に規定する区画の貫通禁止が示されているのみであり、熱による損傷に対する配慮は地震と比べて小さい。また、ガス漏洩に対する方策として、接合方法や材料選定の他に、ガスメータによる検知、気密試験による配管劣化の早期発見、電気設備の防爆処理等が実施されている。

### (3) 国内における水素等配管等の材料・施工コスト

国内における水素等配管及び配管付属品の材料・施工に係るコストについては、低圧は現在のガス管を設置する前提として配管等の材工コストを調査した結果を報告する。

#### 1) 調査方法

一般財団法人 建設物価調査会が調査し発行している価格情報掲載雑誌「建設物価（通称：物価本）」<sup>3)</sup>および同 Web 版の平成 23 年 2 月現在の掲載されているコスト、およびメーカーのカタログに記載の設計単価を調査した。

材料についてはメーカー設計単価もしくは東京における小口価格とし、施工コストについては、ガス会社が専門に業者に依頼する価格が単価にし辛い特殊な契約となっているため、類似の施工・検査を行う水道工事の価格を掲載することにより、今後の一般的な価格設定の参考とした。

#### 2) 材料コスト

材料コストは、ステンレスパイプの場合、樹脂（ポリエチレンパイプ）の場合、および鋼管の場合の材料コストをそれぞれ示した。調査対象は、直管の黒ガス管、白ガス管を対象にした。

例えば 25A の管径の配管を想定した場合、ステンレスパイプのフレキシブル管は 1m あたり 2073 円（税抜き）に対し、樹脂（ポリエチレンパイプ）のコイル管の場合は約 1/5（416 円）、直管の場合は約 2/11（379 円）、黒ガス管の直管は約 4/5（1643 円）、白ガス管の直管は約同価（2095 円）となっている。

#### 3) 施工コスト

施工コストは、建設物価調査会の「建設物価」平成 23 年 3 月号<sup>3)</sup>に記載のコスト、および大阪ガス株式会社が公表している木質系建物およびコンクリート系建物への施工単価表を参照してまとめた。ただし、施工コストについては、ガスの場合、専用契約となっており、建築物価調査会資料でもその旨特記されていることから汎用性がないため、類似の施工工程および検査を行う水道管を代替施工コストとしてまとめた。この点は現在実施例が少ないため、今後の標準コスト算定の場合に再査定を要する。

例えば、25A の管径の配管を想定した場合、鋼管（溶接接合）1 m あたり 2310 円に対して、鋼管（ネジ接合）は溶接接合の約 7/8（2020 円）、ポリ塩化ビニル管（冷間接着接合）は鋼管（溶接接合）の約 1/2（1210 円）となっている。

## 2.2.3 水素漏出時の建物内および周辺での水素蓄積性状及び対策の検討

### (1) 目的

建物のパイプシャフト内に敷設されたガス配管から水素ガスが漏洩した場合を想定し、隣接する廊下での拡散性状をもとにした漏洩検知対策を検討することを目的として、数値計算及び実験による検討を行う。検討を行う前に、既存建物のパイプシャフトの寸法や利用状況について調査を行い、検討の条件を整理する。

### (2) 検討項目

水素は濃度 4～75Vol%で爆発するが、爆発エネルギーは非常に大きく、爆発による被害の程度を建築物あるいは設備により制御することは困難である。そのため、早期検知による供給遮断及び火気使用制限が最も効果的な爆発防止策であるといえる。

本章では、水素の漏洩開始から検知までの時間を求めること、並びに検知方策に要求される仕様を決定することを目的とし、パイプシャフト内での水素漏洩時における水素の拡散性状について検討する。

### (3) 水素漏洩シナリオ

現在、建物内における水素需要に関しては、直接水素を燃焼させる機器の使用ではなく、燃料電池による発電が主用途として想定されている。燃料電池は屋外又はベランダ等の屋外と同等と見なせる空間に置かれることが予想されるので、燃料電池と水素配管との接続部から水素が漏洩したとしても、外気風等により拡散が早いこと、スラブ下等に蓄積したとしても着火源がないことから爆発の危険性は小さいと思われる。従って、爆発の危険が最も高いのは建物内を通る燃料電池までの配管からの漏洩であり、特に横引き配管との分岐があるパイプシャフト内であると推測される。

シャフト内で水素が漏洩する場合、過去の一般燃料ガスの事故事例の調査結果より、継ぎ手や分岐が脱落し、多量のガスが漏れることは想定しづらく、何かしらの原因で亀裂やピンホール等の微小な空隙から漏洩するものと考えられる。

建物内配管を通じた水素需要がある用途としては、所有区分ごとに燃料電池が設置され、ある程度の熱（温水）を使用するものが考えられ、事務所及び共同住宅が当てはまる。事務所での主な熱（温水）の利用はほとんど空調であり、事務所の電力需要に併せて発生する熱（温水）に比べて僅かであるため、熱の無駄が生じる。一方、共同住宅では熱（温水）は炊事や入浴にも効率的に利用され、事務所と比較して普及が早まることが予想される。

そこで、共同住宅における水素漏洩時の検知時間について検討するものとし、調査結果を受けて、漏洩開始からガス供給遮断に至るまでのシナリオとして以下のものが考えられる。

### 【配管からの漏洩】

配管からのガス漏洩事故事例をみると、接続部や継ぎ手に亀裂が発生することによる漏洩が大半を占める。配管そのものが脱落するような事故はなく、ピンホール等の微小な亀裂からの漏洩に対して何らかの方策を検討することが妥当である。実際に発生する亀裂の大きさは不明ではあるが、漏洩流量を大きく見積もるため、通常の亀裂よりも面積が大きい  $\phi 5\text{mm}$  の孔が縦配管に生じるものとしてシャフト内及びシャフトに面する廊下での水素拡散性状を検討する。

漏洩の可能性が比較的高い接続部はシャフト内のメータや機器の近くに設けられることが予想される。しかし、配管継ぎ手が設けられる箇所は予想しづらい。シャフト内及び外部空間での漏洩性状を把握することが目的であるので、シャフト外への水素の流出開始時間が最も長くなる条件として、床上 400mm の配管に孔を想定する（床レベルで吹き出すものとする、シャフト扉の下スリットから流出する可能性が高いため）。ただし、床上 400mm からの漏洩でも下スリットから廊下に漏出する場合には、床上 1000mm に漏出箇所を設定する。また、参考として、天井 400mm に孔が発生した場合の比較も行う。

一般建物内のガス配管内圧力は、ガス事業法により 1~2.5kPa と定められている。水素は都市ガスと比べ保有する熱量が低く、都市ガスが水素に置き換わった場合には電力による補完が必要ではあるが、現状のガス事業法の範囲内で運用されるという前提のもと、最大で 2.5kPa の管内圧力を想定した漏洩性状を検討する。

### 【覚知・供給遮断】

覚知から供給遮断に至るまでのシナリオとしては以下のものが考えられる。

#### 1) マイコンメータによる過剰流量（約 180 l/min）検知後、自動遮断

配管の接続部や継ぎ手においては大きな亀裂や脱落が考えにくく、また、マイコンメータにより早期に供給遮断されるため、このシナリオが発生する確率はごく小さいものと考えられる。従って、このシナリオの検討は除外する。

#### 2) 人による検知後、人による供給遮断

パイプシャフト内で漏洩したガスがスリットや隙間を通じて外部空間に漏れ出し、添加された付臭剤により人が検知するシナリオである。従って、パイプシャフト内での漏洩性状に加え、廊下等の外部空間でのガス流動性状を検討する必要がある。

#### 3) センサーによる検知後、人による供給遮断

パイプシャフト内での漏洩性状は上記 2) と同様である。しかし、付臭剤の水素への追従性が不明であること、水素はパイプシャフト内で検知することが望ましい。従って、パイプシャフト内のガス濃度から検知を判断し、人為的な供給遮断がなされるまでの時間で



の拡散性状を検討する。

#### (4) 検討方法

建物内での水素拡散性状を検討するため、非定常3次元流体数値解析を行う。計算条件には、一般燃料ガス・水素供給における事故事例調査の結果を反映し、既存建物における一般燃料ガス配管設置状況の調査を行って、時間ごとの水素の拡散範囲及び水素濃度を計算することにより、漏洩検知時間及び検知方策の妥当性の検討を行う。

##### 1) 既存建物における一般燃料ガス配管設置状況の調査

水素配管が将来敷設される可能性のあるシャフトやピット等の典型的な空間の形状及び配管の敷設方法を既存建物において調査するものとした。中層規模の共同住宅及びテナント型事務所ビルをそれぞれ5棟選定し調査を行った。建物の選定は、大阪ガス株式会社からの紹介により、築年数・階数・床面積に応じて、調査を行った。

調査にあたっては中層規模の建物での一般燃料ガス配管設置に関する実務指針等を確認した上で、配管シャフト等の形状や配管敷設の実態を調査した。

##### 【現地調査の項目】

- ・配管シャフト等の形状や配管敷設の実態
- ・内部にあるガス配管以外の配管（水道管・排水管等）の管径と配置
- ・その他障害物の有無
- ・換気の状態（換気口の配置、大きさ等）

共同住宅及びテナント型事務所ビルについて、以下に示す項目の現地調査を行った。

##### 【調査項目 一覧】

建物概要：所在地・階数・築年数・延べ床面積

シャフト：シャフト空間寸法（幅・高さ・奥行き）

換気の状態（開口の状態）

配管：管径・配置・種別

内容物：給湯器・ガスメータ・水道メータ・電力メータ etc

各部の写真

##### 【調査方法】

建物選択方法：共同住宅は、社宅の専有部4件及び分譲引渡し前の物件を、テナント型事務所ビルについては、大阪ガス株式会社の紹介による、京都・大阪の物件を調査した。

##### 【調査結果】

調査結果の概略を表2.2に示す。

テナント型事務所ビルの場合、ガス配管はシャフトの奥に位置していることが多かった。これは、敷設後は、ほとんどメンテナンスの必要が無いためのことであった。階によって管の分岐部・繋ぎ部が設けられていた。

シャフト内に強制換気の機構は無く、入口にも開口部(換気口)は設けられておらず、ほとんど無風状態であった。施設の設備に依存した給水・温水配管が多数設けられていた。

共同住宅の場合、ガス配管は、シャフト内の左右どちらかに位置しており、分岐部からメータガス栓・ガスメータへと繋がり、給湯器及び室内のガスコンロ・ガスコンセントに繋がる配管が設けられていた。点検扉の上部及び下部に開口部が設けられており、その面積は各々100cm<sup>2</sup>となっていた。内容物としては、給湯器・メータ類(ガス・水道・電気)・配管(ガス・水道・汚水)があった。

表 2.2(1) 既存建物における一般燃料ガス配管設置状況の調査 実例(1/2)

(事務所ビル)

No	所在地	階数	築年数	延床面積 [m <sup>2</sup> ]	外形 [m]			開口		換気 設備	内容物	給湯器	メータ ガス・水 道・電力
					幅	高さ	奥行	上部	下部				
1	大阪	15	15	不明	1.8	4.0	4.0	無し	無し	自然換 気口 100φ	温水管(170A) 高温水管(200A) 冷水管(270A) ガス配管(150A⇒100A)	無し	無し
2	大阪	8	44	不明	1.5	全階 通し	3.0	無し	無し	無し	水道管(80A) 下水道管(175A) 汚水通気管(120A) ガス配管(100A)	無し	無し
3	大阪	13	7	不明	4.0	3.9	0.7	無し	無し	無し	冷却水管(200A) 膨張管(150A) 冷水管(150A) 水道管(100A) ガス配管(80A)	無し	無し
4	京都	7	1	24,011	3.5	3.5	4.3	無し	無し	無し	給水管(160A) 排水管(120A) 通気管(100A) ガス配管(160A)	無し	無し
					1.6	3.5	2.8	無し	無し	無し	給水管(120A) 排水管(120A) 通気管(130A) ガス配管(150A)	無し	無し
5	京都	4	9	8,095	2.8	3.5	2.0	無し	無し	無し	給水管(120A) 汚水管(120A) 温水管(150A) 冷水管(240A) ガス配管(60A)	無し	無し

表 2.2 (2) 既存建物における一般燃料ガス配管設置状況の調査 実例 (2/2)

(共同住宅)

No	所在地	階数	築年数	延床面積 [m <sup>2</sup> ]	外形 [m]			開口 [cm <sup>2</sup> ]		内容物		給湯器	メータ ガス・水 道・電力
					幅	高さ	奥行	換気 設備	上部	下部	配管		
1	兵庫	5	3	2,941	1.7	1.9	0.4	無し	100	100	給水管(50A) 温水管(150A) ガス配管(30A)	PS 設置 前方排気型	有り
2	兵庫	20	6	不明	1.2	2.0	0.6	無し	200	200	給水管(55A) ガス配管(50A)	PS 設置 上方排気型	有り
3	兵庫	25	0	29,667	1.7	2.9	0.7	無し	120	120	給水管(100A) 汚水管(80A) ガス配管(50A)	無し ペラントダ設置	有り
4	京都	1	14	不明	0.7	1.8	0.7	無し	145	190	給水管(60A) 汚水管(65A) ガス配管(55A)	PS 設置 前方排気型	有り
5	大阪	5	不明	不明	0.6	1.9	0.8	無し	125	116	給水管(50A) ガス配管(50A)	PS 設置 上方排気型	有り

## 2) 計算モデル

水素の漏出箇所、漏出条件による影響を調べるため、数値計算を実施した。標準となる計算モデルについては、以下の解析条件を設定した。

### i) 空間形状・空間メッシュ

空間メッシュは 100 万程度を基本条件とし、計算精度確認のための細分化メッシュでの計算を数ケース実施した。

### ii) 配管経路・位置

### iii) 配管口径

### iv) ガス栓と接続具

### v) 接合方法

上記計算モデルを用いて、水素の漏出箇所、漏出条件を計算パラメータとする。シミュレーション結果の出力形式としては、特定断面での風速ベクトル分布および漏出ガス濃度コンターとする。

本解析においては、水素の局所的な非定常の濃度分布を求めることではなく、系全体での拡散状況を求めることを主目的としている。乱流の効果を、代表する量（乱流エネルギー  $k$  と乱流消失率  $\varepsilon$ ）を用いて表す標準  $k$ - $\varepsilon$ モデルは、適用例も多く、実用的な計算時間で解が得られることから、標準  $k$ - $\varepsilon$ モデルを使用するものとした。

解析に使用するソフトウェアは、汎用 3 次元流体解析ソフトウェア「STREAM」（株式会社ソフトウェアクレイドル製）とした。「STREAM」では乱流モデルに標準  $k$ - $\varepsilon$ モデルを採用し、流体質量の保存、流体運動量の保存、流体・固体のエネルギーの保存、並びに乱流エネルギーと乱流消失率の移流拡散・生成消滅に関する方程式を連立して解くことで、空間内の流体解析を行っている。

これらの方程式を次に示す。

$$\text{質量の保存式} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \rho u_i = 0 \quad (2.1)$$

$$\text{運動量の保存式} \quad \frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (2.2)$$

( $i=1\sim 3$ )

$$\text{エネルギーの保存式} \quad \frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho H}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u_i p}{\partial x_i} + \sigma_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} K \frac{\partial T}{\partial x_j} + \dot{q} \quad (2.3)$$

$$\text{乱流エネルギー} \quad \frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_s - G_{s1} - G_{s2} - G_{s3} - \rho \varepsilon \quad (2.4)$$

乱流消失率の式

$$\text{(k-}\varepsilon\text{方程式)} \quad \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} (G_s - G_{s1} - G_{s2} - G_{s3}) - C_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k} \quad (2.5)$$

$$G_s = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$G_{s1} = \frac{2}{3} \rho k D$$

$$G_{s2} = \frac{2}{3} \mu_t D^2$$

$$G_{s3} = \frac{1}{\rho^2} \frac{\mu_t}{P_{rt}} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \frac{\partial p}{\partial x_i}$$

$$D = \frac{\partial u_i}{\partial x_i}$$

拡散物質の保存式 
$$\frac{\partial \rho C}{\partial t} + \frac{\partial u_j \rho C}{\partial x_j} = - \frac{\partial}{\partial x_j} \rho D_m \frac{\partial C}{\partial x_j} + \rho \dot{d} \quad (2.6)$$

状態方程式 
$$p = \rho RT \quad (2.7)$$

これらの式に現れる変数の意味は以下のとおりである。なお、式中の添字には Einstein の総和規則が適用される。

$X_i$ : 位置座標	[m]	$k$ : 乱流エネルギー	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
$U_i$ : $X_i$ 方向の流体速度	[m/s]	$\varepsilon$ : 乱流消失率	[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]
$t$ : 時間	[s]	$C$ : 拡散物質の濃度	[-]
$\rho$ : 流体又は固体の密度	[kg/m <sup>3</sup> ]	$D_m$ : 拡散係数	[m <sup>2</sup> /s]
$p$ : 流体の圧力	[N/m <sup>2</sup> ]	(H <sub>2</sub> : 6.670 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s)	
$\mu$ : 粘性係数 (=1.853 × 10 <sup>-5</sup> )	[Pa · S]	(13A : 1.710 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s)	
$\sigma_{ij}$ : 応力テンソル	[Pa · S]	$\dot{d}$ : 拡散物質の発生項	[1/s]
	$= \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \left( p + \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \sigma_{ij}$	$R$ : ガス定数	[J/(kg · K)]
$H$ : 比エンタルピー	[J/kg]		
$g_i$ : 加速度	[m/s <sup>2</sup> ]		
$\beta$ : 体膨張率	[1/K]		
$T$ : 流体又は固体の温度	[K]		
$T_0$ : 流体の基準温度 (=298)	[K]		
$C_p$ : 定圧比熱 (=1007)	[J/(kg · K)]		
$K$ : 熱伝導率 (=0.02599)	[J/(m · s · K)]		
$\dot{q}$ : 発熱量	[J/(m <sup>3</sup> · s)]		

### 3) 計算条件

解析対象は集合住宅のパイプシャフトを想定した矩形空間及びパイプシャフトに隣接する廊下空間とした。パイプシャフト内については、1,200 (W) x 600 (D) x 3,000 (H)の空間とした。また、廊下は 20,000 (W) x 1,700 (D) x 2,500 (H)を想定したが、パイプシャフト内のみの解析時には計算時間短縮のため、奥行き 1m・幅 1.4m (シャフト扉と同じ幅)の領域のみを計算対象とした。

パイプシャフト内には給湯器、ガスメータ、水道メータ、ガス配管、水道配管を配置するものとした。これらの設備の表面温度は常温 (25℃) とし、それぞれの寸法は下記の通りである。

給湯器 : 470 (W) x 250 (D) x 600 (H)

ガスメータ : 195 (W) x 156 (D) x 324 (H)

水道メータ : 50(R) x 100(H)

水道管 : 50(φ)

ガス管 : 50(φ)

パイプシャフト内と外部との空気の出入りは、上部スリット・下部スリット (500 (W) x 20 (H)の開口が上下2つずつ) の2箇所とする。廊下における自然風の風速は 0.1m/s を設定するものとする。

パイプシャフト内の解析時の計算領域を図 2.2 に、廊下での解析時の計算領域を図 2.3 に示す。

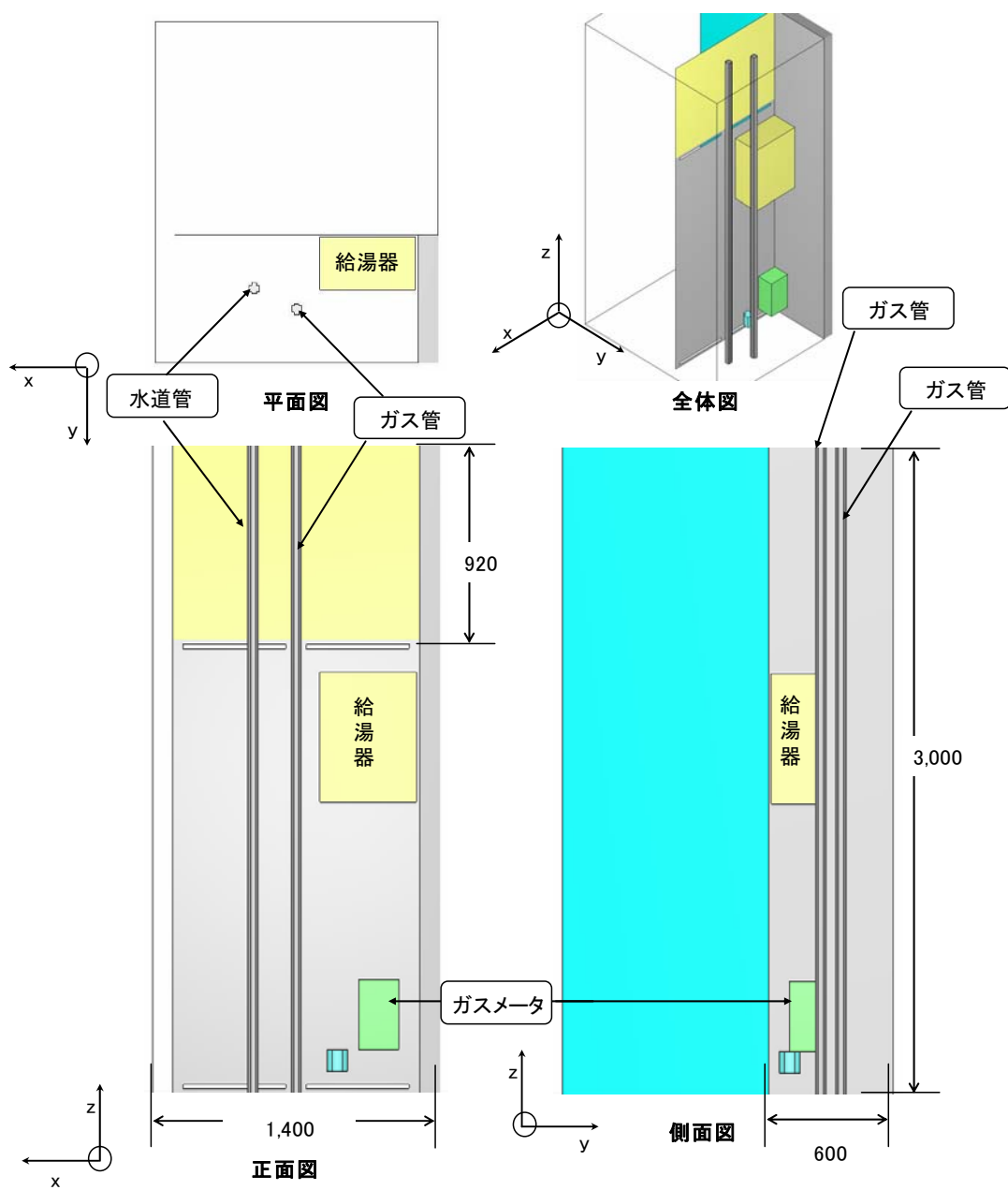


図 2.2 パイプシャフト内の解析時の計算領域



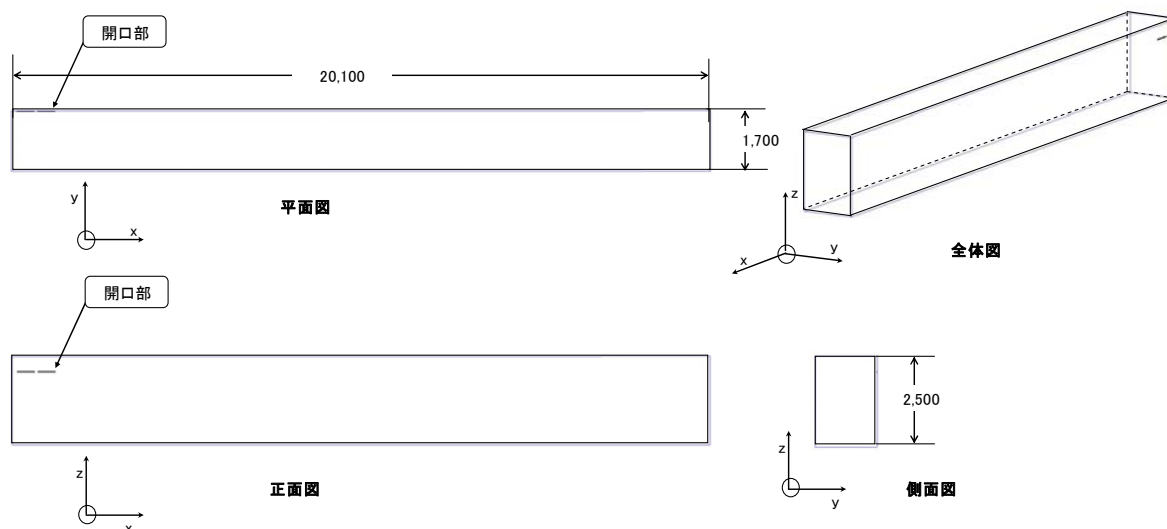


図 2.3 廊下での解析時の計算領域

空間メッシュについては、100万メッシュを基本とし、1.5倍、2.0倍のメッシュ数のモデルで比較検討を行った。

#### 4) 漏出条件

ガス漏洩位置は、パイプシャフト内のガス配管の床上400mmの高さを基本条件とし、下部スリットからの漏洩が認められる場合には床上1000mmに変更した。また、天井下400mmの高さで漏洩した場合のパイプシャフト内濃度の解析も比較のため行った。

漏洩するガス種は水素あるいは都市ガス(13A)とし、管内圧力はガス事業法で定められている低圧配管の圧力範囲内である2.5kPa、1.3kPaの2通りを設定した(参考として、ガス種:水素、管内圧力:143Paのケースも計算条件に加えた)。

上記の管内圧力における漏洩流量をオリフィスの流量計算に用いられる次式を用いて計算した。

$$Q = C \pi D^2 / 4 * \sqrt{2 / \rho * \Delta P} \quad (2.8)$$

ここで、 $C$ :オリフィスの流量係数(=0.64)[-]、 $D$ :オリフィス直径(孔径)[m]、 $\rho$ :流体密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $\Delta P$ :オリフィス前後での差圧[Pa]である。計算結果を表2.3に示す。

管内圧力が2.5kPaで水素が漏洩する場合(以降、「H2-2.5kPa」のようにガス種と管内圧力を合わせて表記する)、漏洩流量は、178.4l/minの漏洩量となり、流量区分で6となるマイコンメータが異常を検知して遮断する流量182l/minよりは僅かに少ない漏洩量となる。従って、仮に孔径が5mmφ以上であれば、漏洩流量はマイコンメータが異常検知する基準を超えるため、短時間で供給が遮断される。すなわち、孔径が5mmφの場合が最も長時間かつ多量のガスが漏洩する条件といえる。

13A-1.3kPa が漏洩する場合、その流量は 42.7ℓ/min となるが、熱量は H2-2.5kPa と等価となる。従って、これらの場合におけるガスの爆発の程度はほぼ等しいものと考えられる。

その他の条件も併せて計算実施条件を表 2.4 に示す。

表 2.3 配管からの漏洩流量

ガス種	2.5kPa	1.3kPa
水素 $\rho=0.0893\text{kg/m}^3$	178.4 (151.4)	129.0 (109.5)
都市ガス $\rho=0.815\text{kg/m}^3$	59.1 (50.1)	42.7 (36.2)

単位：（上段）ℓ/min、（下段）m/sec

表 2.4 計算実施条件

条件名	ガス種	管内圧力	漏出流量	漏出位置	給湯器	解析条件	
		[Pa]	[ℓ/min]	[m]		メッシュ数	時間刻み[s]
H2-2.5kPa	水素	2500	178.4	0.4	有	約 100 万	0.02
H2-2.5kPa(LH2.6)				2.6			
H2-2.5kPa(No Boiler)				0.4	無		
H2-2.5kPa_1.5M		有	約 150 万				
H2-2.5kPa_2.0M			約 200 万				
H2-1.3kPa		1307	129.0	0.4	無	約 100 万	
H2-1.3kPa(No Boiler)					有	約 150 万	
H2-1.3kPa_1.5M						約 100 万	
H2-0.14kPa		143	42.7				
13A-2.5kPa	都市ガス	2500	59.1	0.4	有	約 100 万	0.05
13A-1.3kPa		1307	42.7	0.4			
13A-1.3kPa(LH1.0)				1.0			
13A-1.3kPa_1.5M				0.4			

※漏出位置は床面からの高さ

## 数値計算条件

計算条件は以下のとおりとした。

数値スキーム：

圧力補正解法：SIMPLEC 法

移流項精度：3次精度 WENO 法

マトリックスソルバー：ILUCGS 法

物理モデル：

計算コントロール：非定常計算

流れ解析：圧縮性流体

乱流モデル：標準  $k-\epsilon$ モデル

境界条件：入口境界：流速固定

出口境界：圧力固定

壁面：ノースリップ 断熱

圧縮性流体として解析を行ったのは、モル質量の違いによる拡散物質への浮力項を考慮するためである。質量の違う拡散物質が混合した場合に、軽い方の拡散物質が浮力により上昇することを確認している。

## 5) 検討結果

### i) パイプシャフト内での濃度分布

本節では、パイプシャフト内での水素並びに都市ガスの拡散性状に関して検討するため、時系列に沿ったパイプシャフト内でのガス濃度に関する比較・考察を行う。

比較・考察にあたり、図 2.4 に示すように水素の爆発下限界である 4vol% (図中 0.04 mol/mol) を目安として濃度分布を表示し、パイプシャフト内の爆発可能状態にある範囲やセンサー取り付けが予想される天井直下の濃度に着目する。

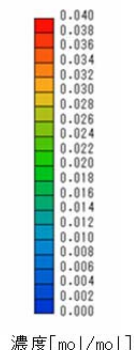


図 2.4 ガス濃度コンターのスケール

### 管内圧力による比較

図 2.5 にガス種が水素の場合の管内圧力によるパイプシャフト内濃度分布の差を示す。比較した計算条件名は H2-2.5kPa と H2-1.3kPa である。なお、コンター図の白色四角は、給湯器の位置にあたる。

H2-2.5kPa では、細孔から噴出された水素がパイプシャフト扉に衝突し、上方だけでなく下方にも床面付近まで拡散している。H2-1.3kPa では、水素は扉には衝突するが、床面まで下降せずに上昇に転じていることが見て取れる。

天井付近をみてみると、漏洩開始 60 秒後には管内圧力によらず、僅かに濃度が上昇し始めているが、時間の経過とともに、H2-2.5kPa の方が水素濃度は高まってゆく。仮に天井直下の水素濃度が 2vol% で反応するセンサーであれば、H2-2.5kPa は約 240 秒、H2-1.3kPa は約 300 秒で感知することになる。

### ガス種による比較

図 2.6 に管内圧力が 2500Pa の場合の水素及び都市ガスの拡散性状を示す。比較した計算条件名は H2-2.5kPa と 13A-2.5kPa である。

管内圧力が等しくても、水素は都市ガスの約 3 倍の流量であるとともに、ガスに働く浮力が大きく異なるため、拡散性状も異なっている。水素は前述の通り、パイプシャフト扉に衝突後、上方に拡散するのに対して、都市ガスは扉に衝突後はほぼ同心円状に拡散する。これらの図より、水素は爆発濃度内の範囲は都市ガスと比べて急速に拡大するが、それに伴いセンサー等での感知も早期に行えることが分かる。

図 2.7 は管内圧力 1307Pa での水素と都市ガスの漏洩性状である。漏洩流量が小さいため、拡散速度は 2500Pa の場合と比べて小さいが、拡散性状はほぼ同じ傾向を示す。

### 等価熱量での比較

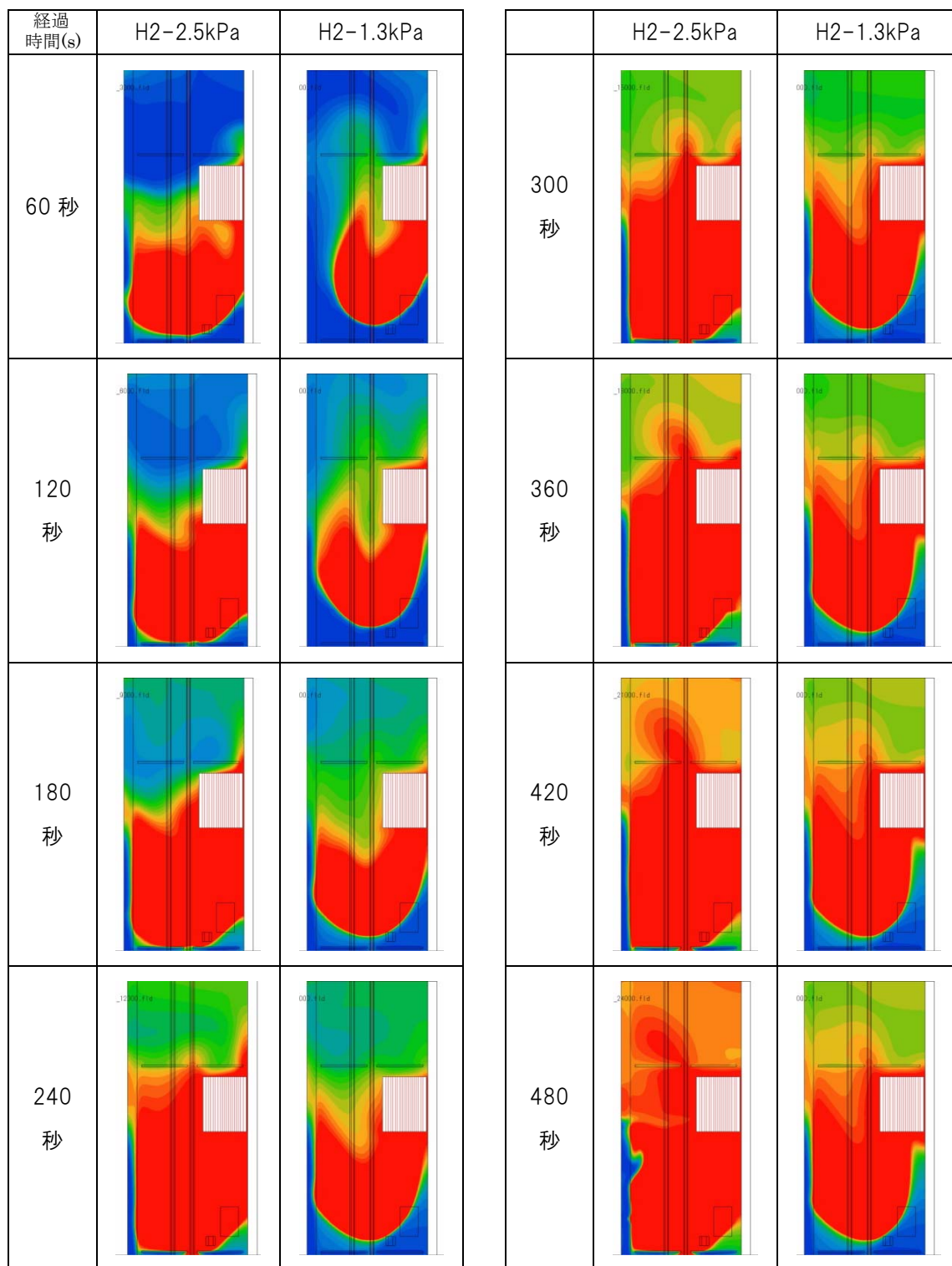
図 2.8 に熱量が等価の場合の水素及び都市ガスの拡散性状を示す。比較した計算条件名は H2-2.5kPa と 13A-1.3kPa である。

漏洩開始後から爆発濃度となる範囲が大きく異なり、480 秒後では水素はパイプシャフトの大部分となっているのに対して、都市ガスでは漏洩箇所の近傍にとどまっている。

### 給湯器の有無による比較

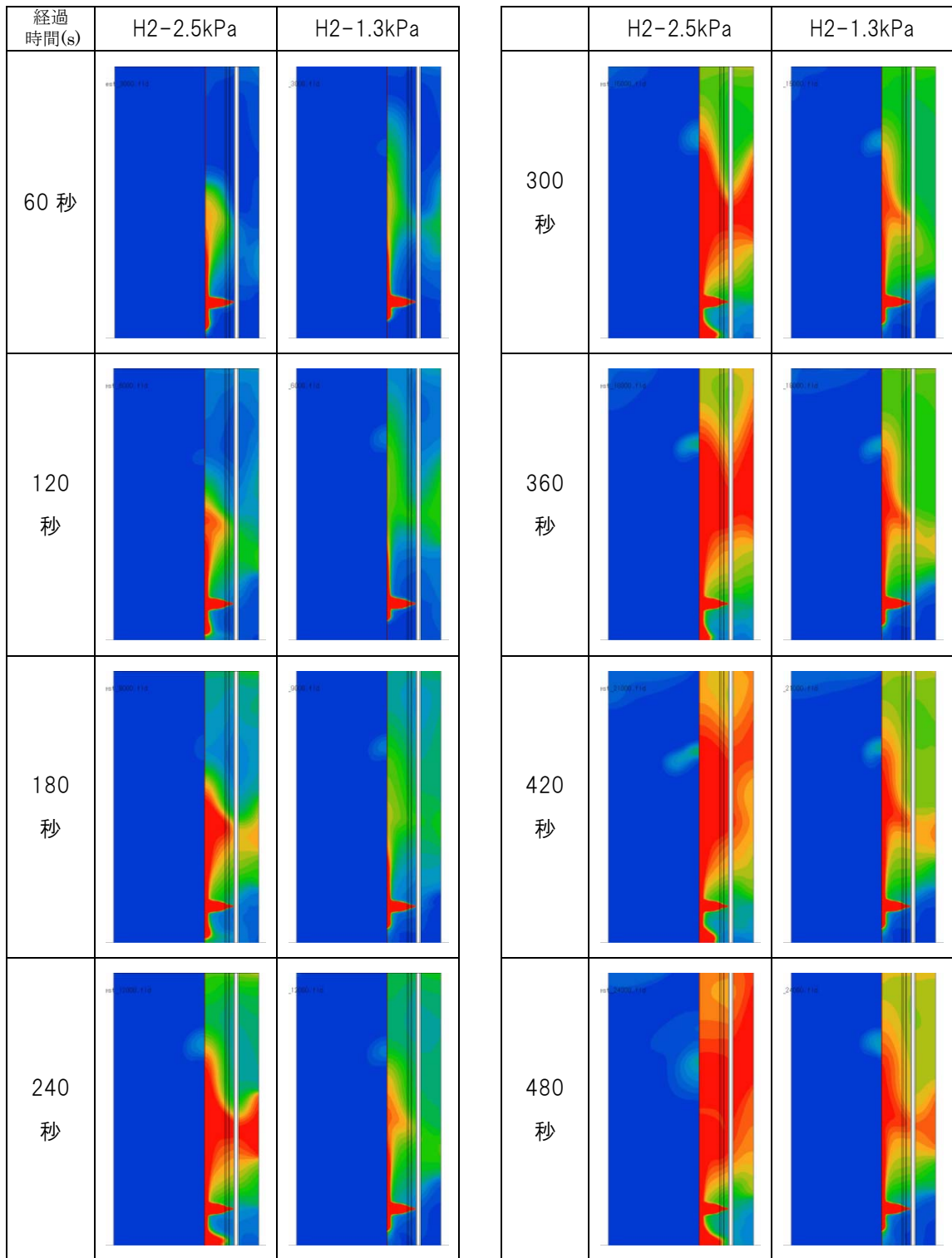
水素配管の場合、燃料電池による発電及び給湯が予想されるため、パイプシャフト内には本来給湯器は存在しない。これまでは比較を簡単にするため給湯器が置かれた場合を想定してきたが、給湯器の有無による拡散性状も検討が必要である。H2-2.5kPa での給湯器の有無による拡散性状を図 2.9 に示す。

漏洩開始 120 秒後までの計算結果であるが、両者とも大差ないことが分かる。給湯器のある側にガスが片寄るように見えるが、これは、廊下側での環境風の設定が、給湯器側から流れ込むように設定したことで、シャフト内部にも流れが生じたことによると思われる。従って、給湯器はパイプシャフト内での水素拡散性状にほとんど影響しないといえる。



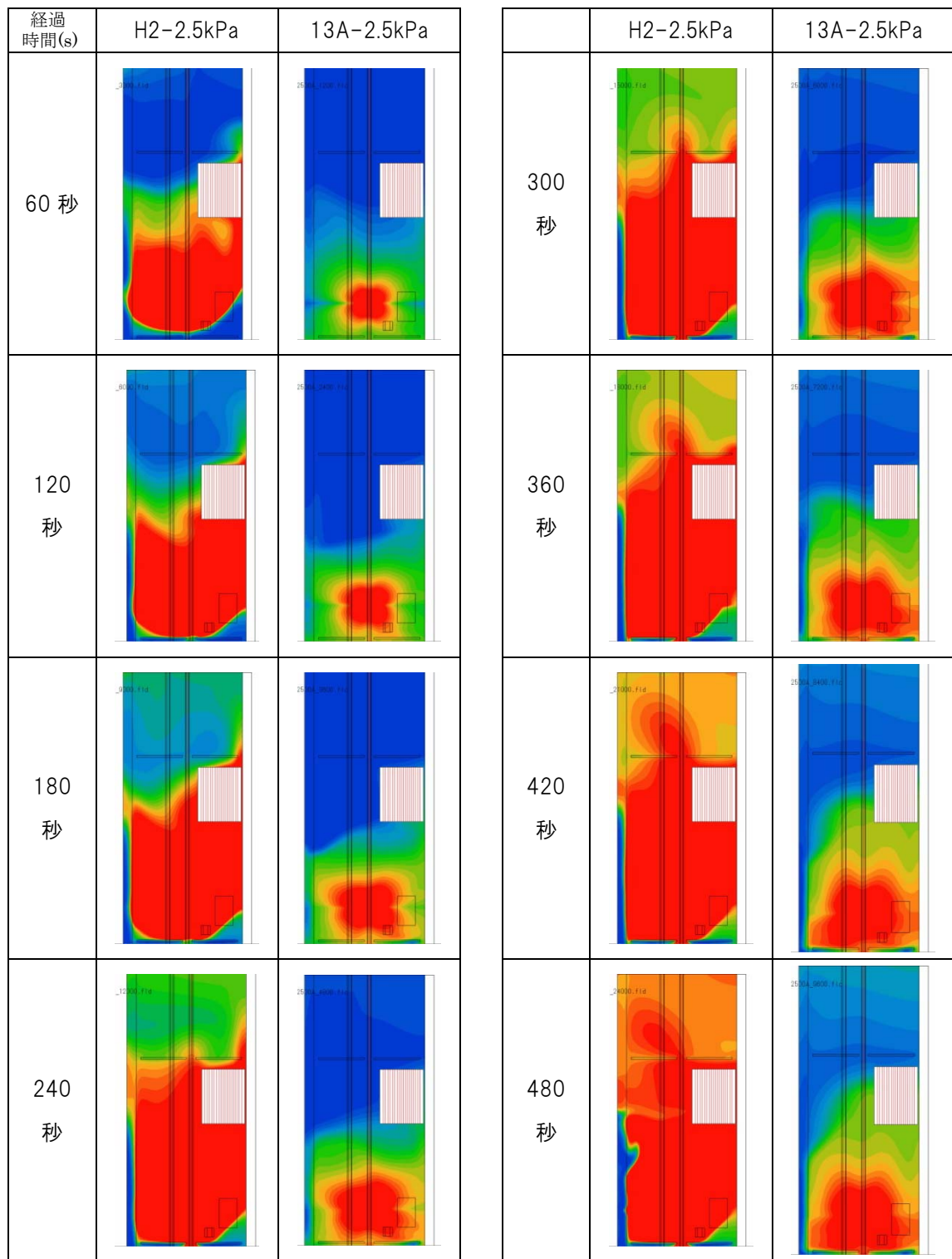
(X-Z 平面) (ガス濃度の凡例は図 2.4 を参照)

図 2.5(1) 管内圧力による水素拡散性状の違い(1/2)



(Y-Z 平面) (ガス濃度の凡例は図 2.4 を参照)

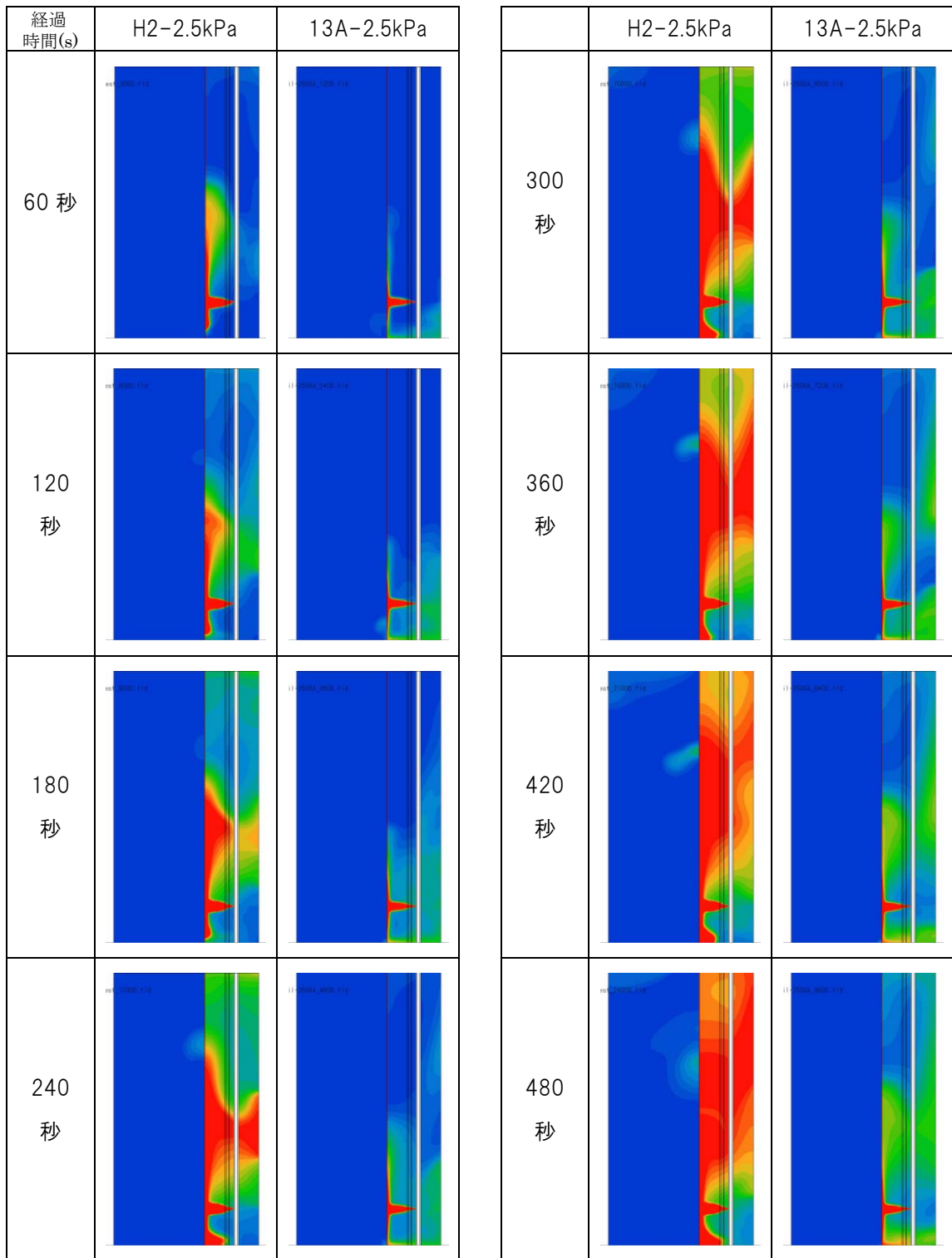
図 2.5(2) 管内圧力による水素拡散性状の違い(2/2)



(X-Z 平面) (ガス濃度の凡例は図 2.4 を参照)

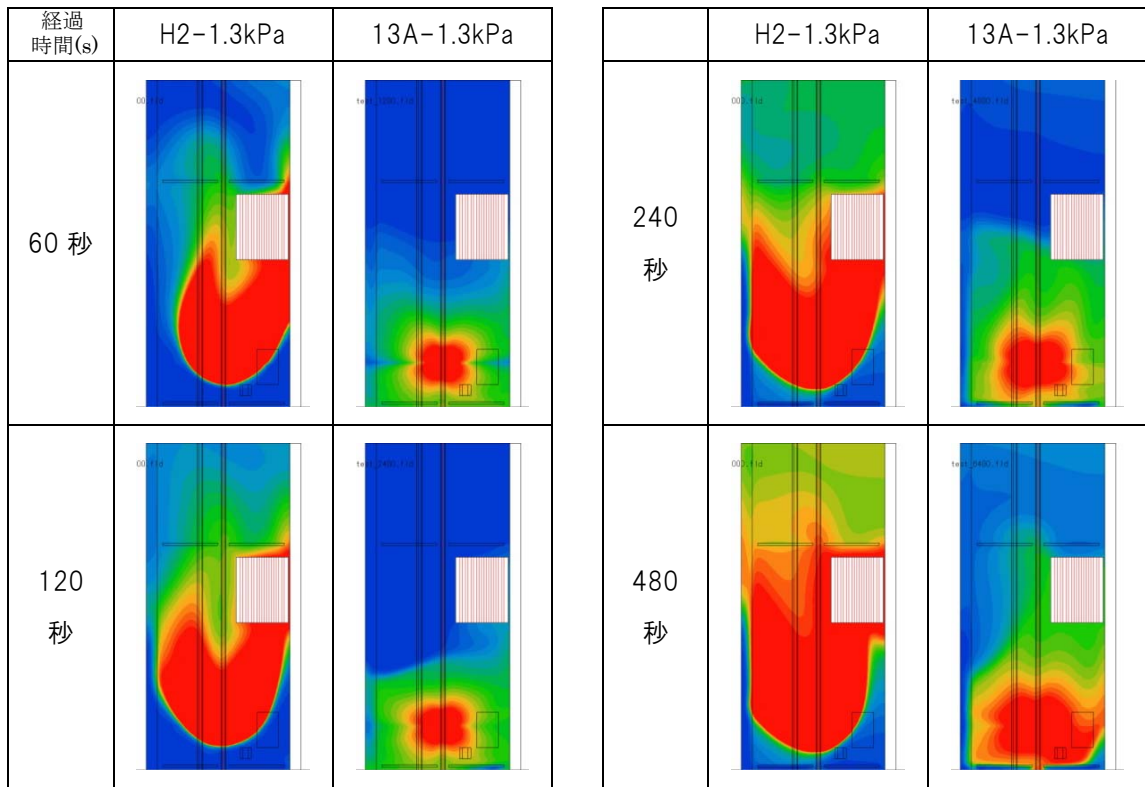
図 2.6(1) ガス種による拡散性状の違い (管内圧力 2500Pa) (1/2)





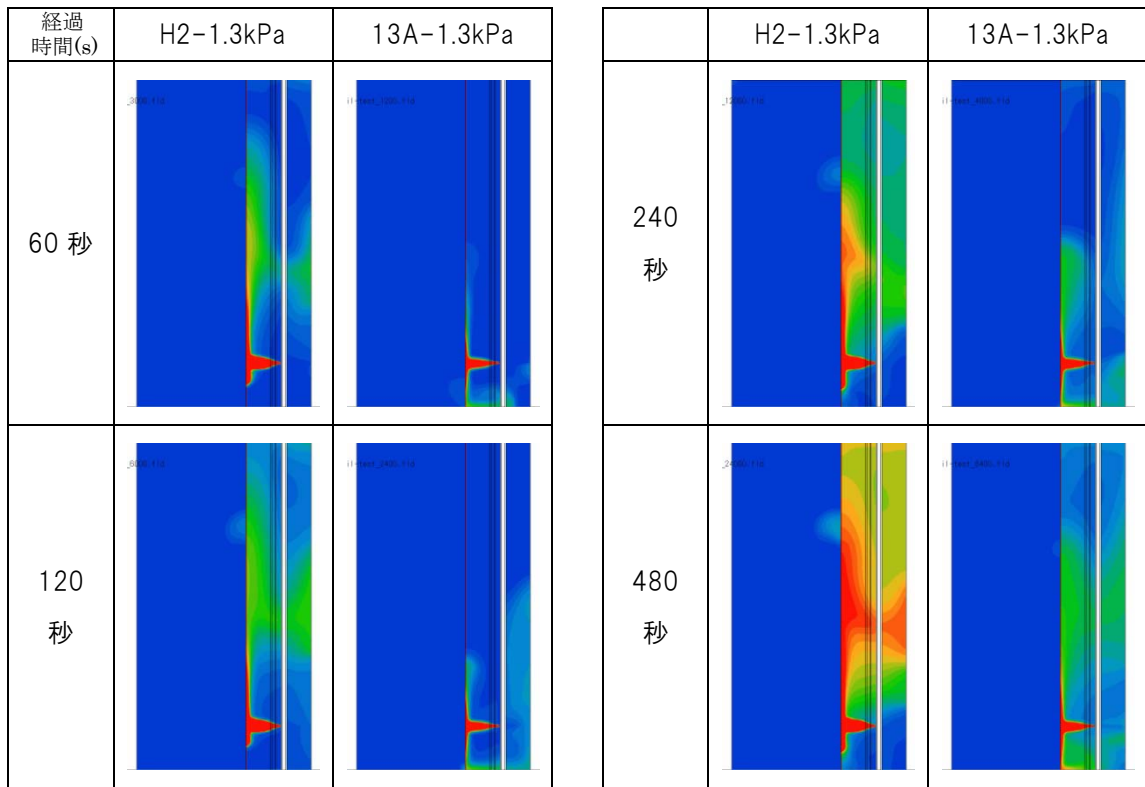
(Y-Z 平面) (ガス濃度の凡例は図 2.4 を参照)

図 2.6(2) ガス種による拡散性状の違い (管内圧力 2500Pa) (2/2)



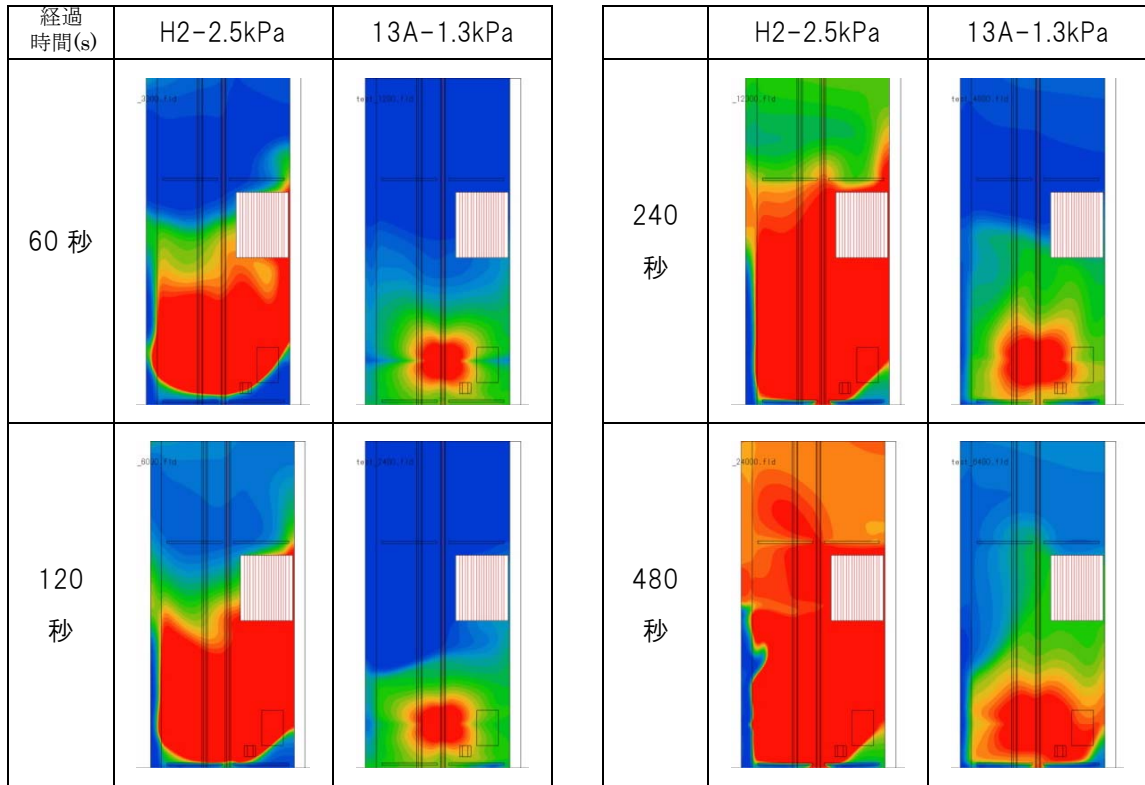
(X-Z 平面) (ガス濃度の凡例は図 2.4 を参照)

図 2.7(1) ガス種による拡散性状の違い (管内圧力 1307Pa) (1/2)



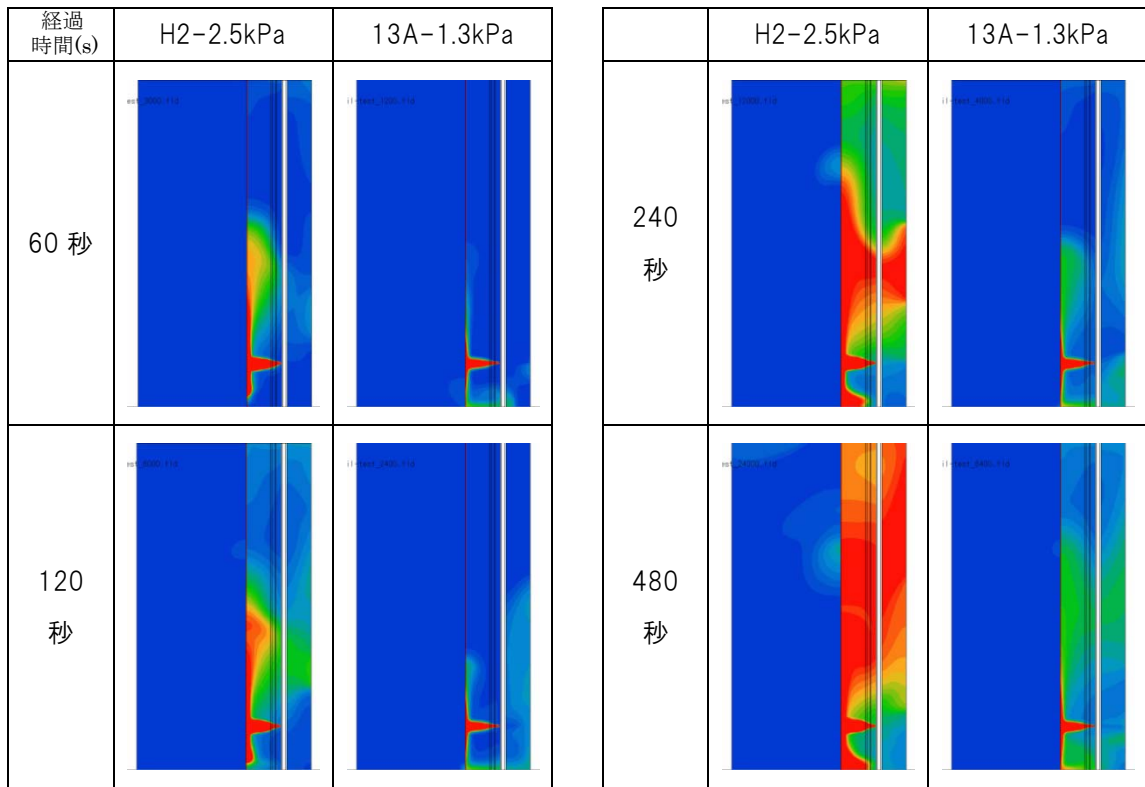
(Y-Z 平面) (ガス濃度の凡例は図 2.4 を参照)

図 2.7(2) ガス種による拡散性状の違い (管内圧力 1307Pa) (2/2)



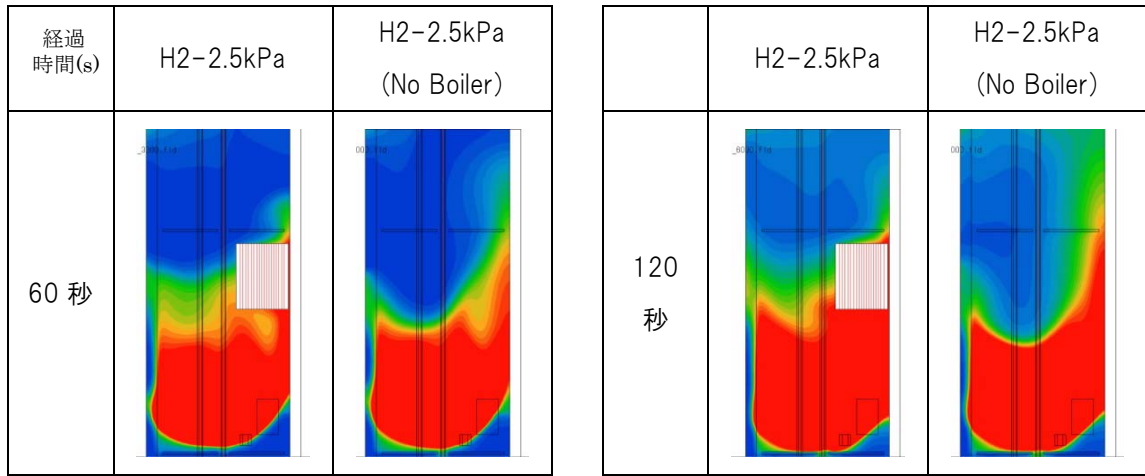
(X-Z 平面) (ガス濃度の凡例は図 2.4 を参照)

図 2.8(1) 等価熱量での拡散性状の違い(1/2)



(Y-Z 平面) (ガス濃度の凡例は図 2.4 を参照)

図 2.8(2) 等価熱量での拡散性状の違い(2/2)



(X-Z 平面)

(ガス濃度の凡例は図 2.4 を参照)

図 2.9 給湯器の有無による水素拡散性状の違い (管内圧力 2500Pa)

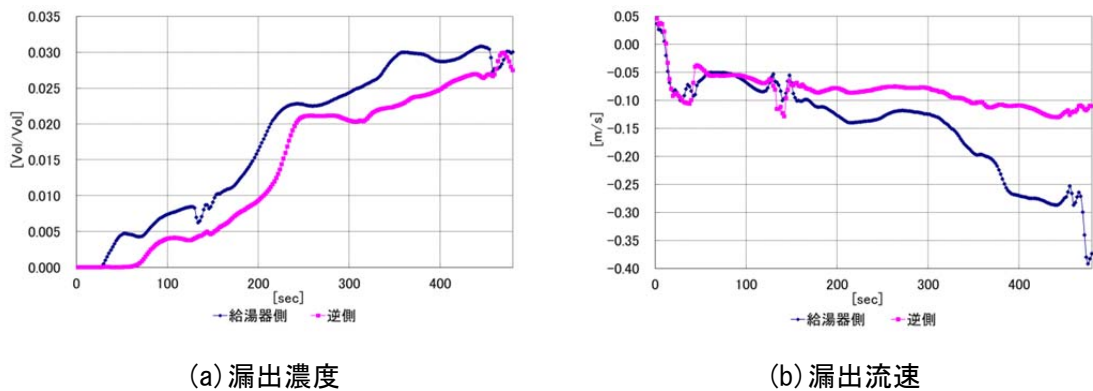
ii) 廊下での濃度分布

廊下への漏出水素

廊下での水素濃度分布を計算する際の入力条件として、パイプシャフト扉上部のスリットからの漏出流量を用い、廊下での流体解析を実施した。パイプシャフトから廊下へ漏出するガス濃度とスリット部での流速を図 2.10～図 2.13 に示す。なお、都市ガスのパイプシャフト内での漏洩箇所は、廊下への漏出が最も遅くなるように床上 1.0m とした。

各図に示すとおり、都市ガスと比較して、水素の方が多量に漏出する。これは、パイプシャフト内での漏洩流量が異なることで、パイプシャフト内全体の密度低下が水素の場合に大きくなり、換気が促された結果である。

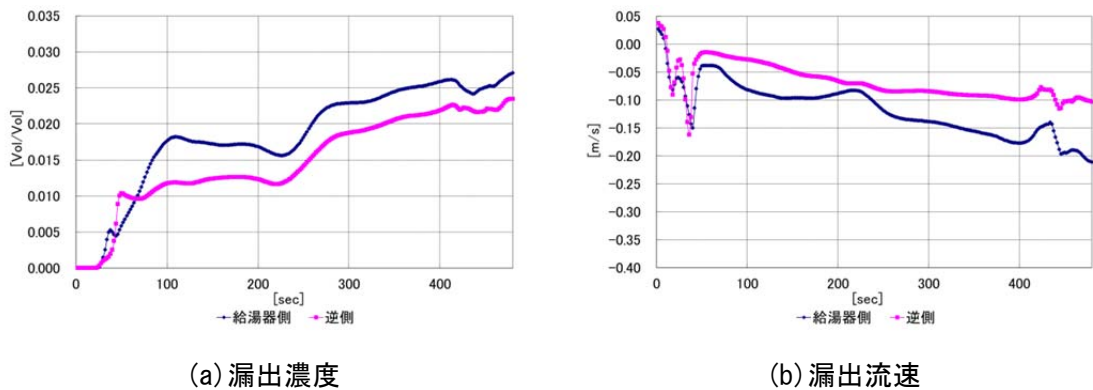
各図において、漏出流速が正（廊下からパイプシャフトへの流れ）となる時間が散見されるが、これはパイプシャフト内と廊下の圧力バランス及びスリット周辺に発生する渦によるものと思われる。この場合、廊下へのガスの漏出流速を 0 m/s に変換して計算を行った。



(a) 漏出濃度

(b) 漏出流速

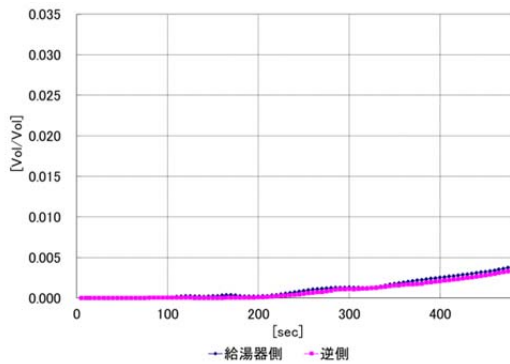
図 2.10 H2-2.5kPa での上部スリットからの漏出流量



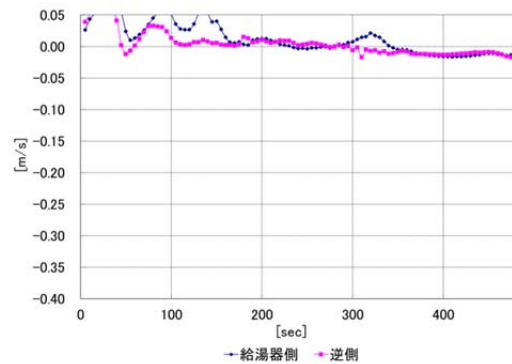
(a) 漏出濃度

(b) 漏出流速

図 2.11 H2-1.3kPa での上部スリットからの漏出流量

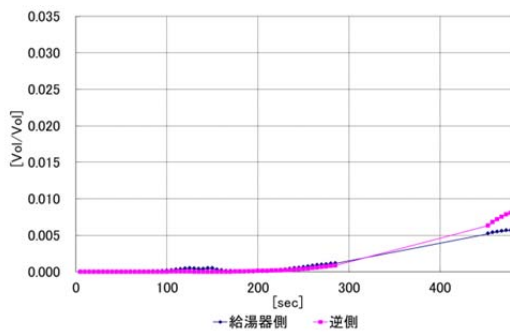


(a) 漏出濃度

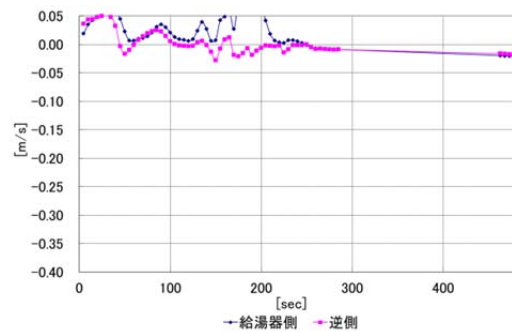


(b) 漏出流速

図 2.12 13A-2.5kPa (LH1.0) での上部スリットからの漏出流量



(a) 漏出濃度



(b) 漏出流速

図 2.13 13A-1.3kPa (LH1.0) での上部スリットからの漏出流量

### 廊下での流動性状

図 2.14 に管内圧力の差を比較するため、H2-2.5kPa と H2-1.3kPa の中央断面での濃度分布の時間変化を、図 2.15 にガス種による差を比較するための H2-2.5kPa と 13A-2.5kPa(LH1.0)の中央断面での濃度分布の時間変化を示す。

まず、図 2.14 では僅かに H2-2.5kPa のほうが廊下への漏出流量は大きいですが、一部では H2-1.3kPa の方が廊下での拡散が早いようにも見える。これは、図 2.16 に示す等濃度面からもわかるように、H2-2.5kPa ではパイプシャフトが設けられた壁面側に偏って廊下を流れているためである。

図 2.15 を見ると、水素と都市ガスでは流動性状は大きく異なる。水素は天井下に約 50～60cm 程度の厚みで 0.1vol%の水素の層が形成されているのに対して、都市ガスは天井面直下にごく薄い層が流れているのみである。このことより、仮に水素に添加された付臭剤が水素の挙動に追従するとすれば、都市ガスと比べて水素の方が臭いによる覚知は早くなる。



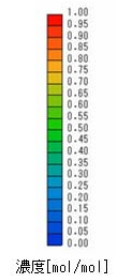
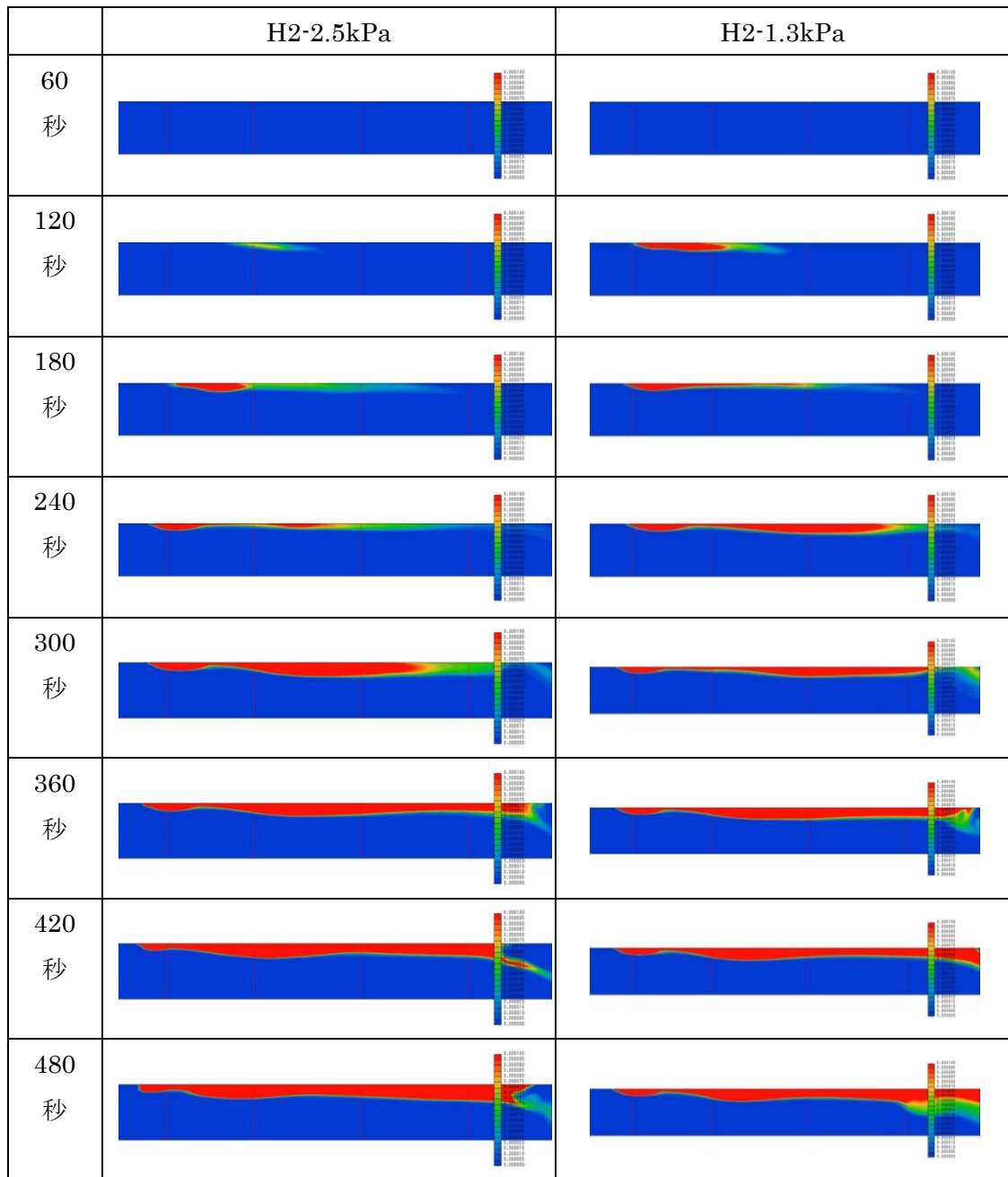


図 2.14 管内圧力による水素拡散性状の違い

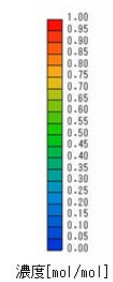
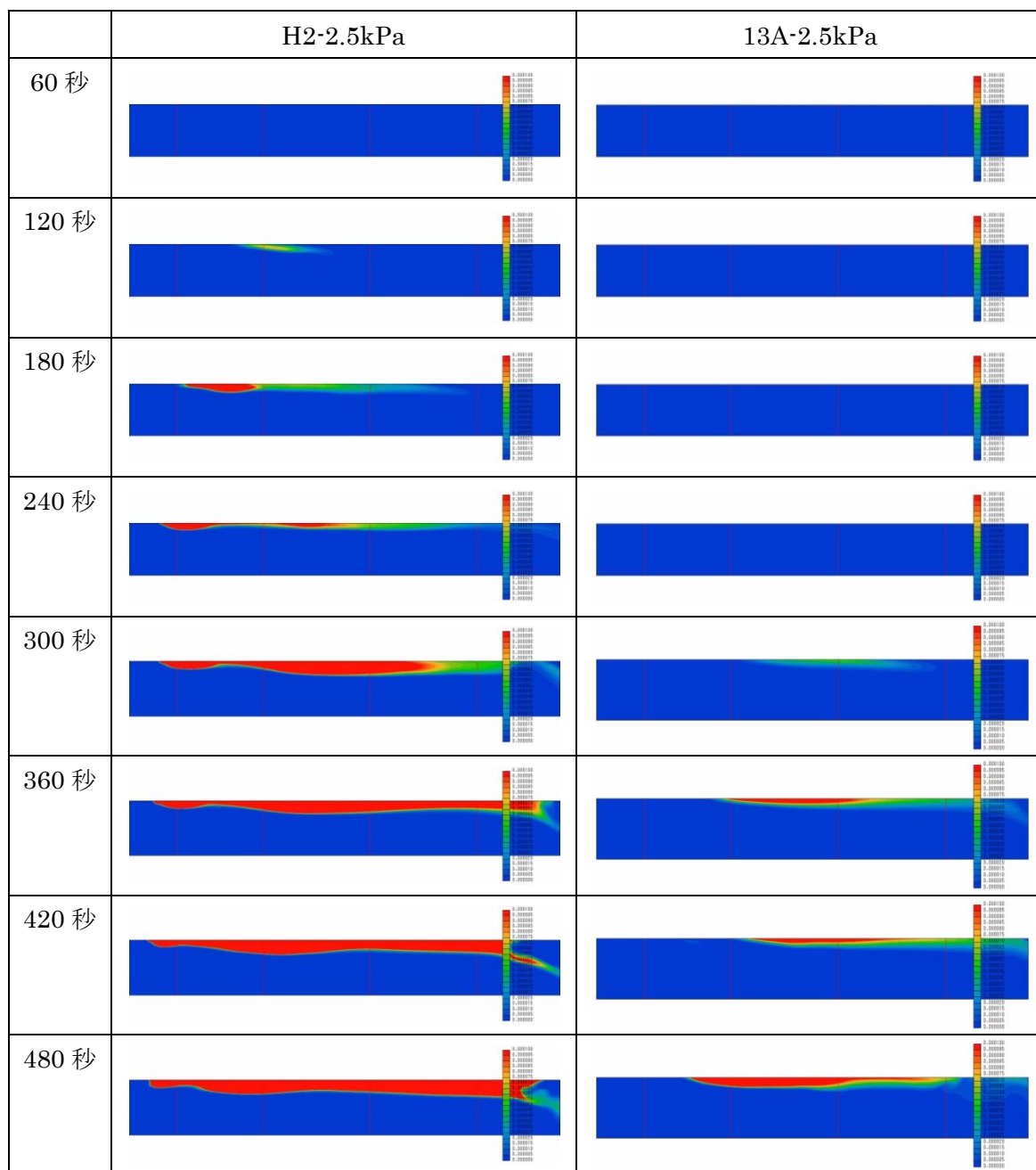


図 2.15 ガス種による拡散性状の違い

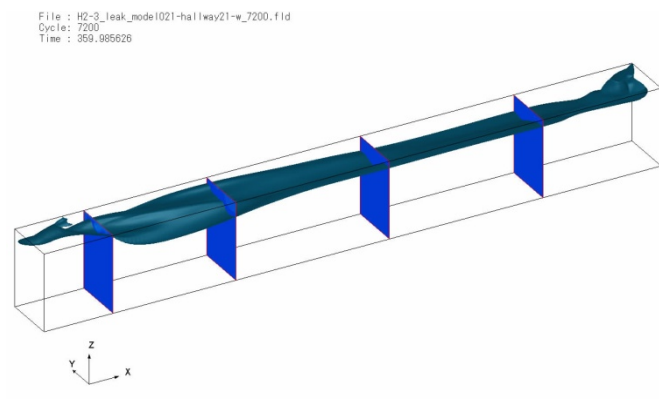


図 2.16 水素-2.5kPa での 420 秒後の等値面図

### iii) ガス漏洩検知に関する考察

マイコンメータにより検知される漏洩規模のものは、比較的早期に検知されること、検知後速やかにガス供給が停止されることから、爆発に至るリスクは小さい。一方、マイコンメータでは検知できない程度漏洩の場合、人の居住域あるいはセンサーの設置箇所までガスが拡散する間に漏洩する流量が問題となる。従って、ガス漏洩の検知を速やかにするための方策が必要であり、漏洩時のガス濃度分布を計算することにより、爆発の危険性を考察する。

床面付近で漏洩した場合、水素も都市ガスも漏洩箇所の近傍が濃度が高く、天井付近の濃度上昇は比較的遅い。しかし、ガス事業法の低圧ガス配管において許容される管内圧力の範囲（1～2.5kPa）では、ガス種が水素の場合の方が、漏洩量が多くなる。従って、パイプシャフト内および廊下での拡散も水素の方が短時間で広い範囲にわたる。爆発の観点から、水素と都市ガスの熱量が等しい条件では、拡散範囲の差が一層大きくなるため、都市ガスは局所的に激しい爆発をするのに対して、水素は広範囲に比較的緩やかな爆発をするといえる。

一方、漏洩検知の観点から見ると、都市ガスはマイコンメータで検知できない漏洩については臭いによる検知が現状では唯一の手段であり、水素より拡散の遅い都市ガスは検知にも時間がかかる。それに対して水素は、付臭剤が水素に追従するという仮定の下では、拡散範囲が都市ガスと同じになった時点で検知され、その時間は都市ガスと比べ短く、漏洩する熱量も小さくなるため、爆発による被害は小さくなる。しかし、付臭剤が水素に追従するという知見は現状では得られておらず、また、水素は一般の建物では馴染みが薄いガス種であることを考慮すると、都市ガスと比べて一層の安全対策を建築物に要求することが望ましいと思われる。

要求する安全対策の一例として、パイプシャフト内に水素検知センサーを設置する案が考えられる。パイプシャフト内のどこで漏洩するかは不明ではあるが、天井面あるいは天井直下に設けるのが妥当であろう。しかしながら、頻繁な換気がなされていれば、天井付近に水素が達する前に廊下へ漏出する可能性もあるので、換気量あるいは換気口の大きさに制限を加える等の規制が必要であるとともに、パイプシャフト内での他の機器にも防爆処理を施す等の着火源の抑制も必要である。

## 6) 今後の課題

今回の一連の解析では、廊下にある程度の換気がなされている条件下での結果を求めたため、人の居住域までガスが降下することはなかった。付臭による検知を詳細に検討するには、廊下でガスが蓄積する条件での解析を実施する必要がある。

また、水素検知センサーの設置場所を検討するのであれば、パイプシャフトと廊下との換気が大きい場合のパイプシャフト内での拡散性状についても検討する必要がある。

## 7) まとめ

建物内における水素配管を安全に設置するための技術基準を検討するための基礎資料とするため、建物内水素配管からの漏出性状について計算を行った。

既存の事務所建物及び共同住宅における一般燃料ガスの配管設置状況を調査し、事務所及び共同住宅におけるパイプシャフトの寸法、内容物については建物規模によらず用途ごとに概ね似通ったものになる傾向があった。

水素漏出時の建物内および周辺での水素蓄積性状及び対策の検討では、マイコンメータでは検知できない程度のガス漏洩の検知方策を検討するため、パイプシャフト内でガスが漏洩し、廊下に漏出した場合を想定して数値流体解析を実施した。

水素は都市ガスと比べて、拡散速度が速く、熱量が小さいことから、都市ガスは局所的に激しい爆発をするのに対して、水素は広範囲に比較的緩やかな爆発をするといえる。一方、漏洩検知の観点から見ると、水素漏洩時の臭いによる検知の時間は都市ガスと比べ短く、漏洩する熱量も小さくなるため、爆発による被害は小さくなる。しかし、付臭剤が水素に追従するという知見は現状では得られておらず、また、水素は一般の建物では馴染みが薄いガス種であることを考慮すると、都市ガスと比べて一層の安全対策を建築物に要求することが望ましいと思われる。

要求する安全対策の一例として、パイプシャフト内に水素検知センサーを設置する案が考えられる。パイプシャフト内のどこで漏洩するかは不明ではあるが、天井面あるいは天井直下に設けるのが妥当であろう。しかしながら、頻繁な換気がなされていれば、天井付近に水素が達する前に廊下へ漏出する可能性もあるので、換気量あるいは換気口の大きさが一定以上であれば、隣接空間での拡散性状を考慮して適切な位置にセンサーの設置が必要である。

## 2.2.4 建物内空間（居室等）で漏洩した水素の拡散性状

### (1) 目的

建築空間内における水素漏洩時の爆発危険性を低減するための換気条件の把握、及び早期漏洩覚知のための検知器設置条件の検討についての知見を得るため、建築空間内を想定し、漏洩した水素の流動性状についての数値流体解析を実施する。

燃料電池とガス栓の接続部に生じたピンホールからの水素の漏出を想定し、広さの異なる居室、地下空間の場合の漏出水素流動形状について数値流体解析を行う。対象とする空間の換気状況についても、開口の大きさや機械換気の有無、外部風の有無などの複数の解析条件を想定した解析を実施する。

### (2) 解析条件

燃料電池に接続されたガス管に生じたピンホールからの水素漏出を想定し、建築空間内における水素流動性状の解析を行った。計算対象空間は、間口、奥行きが異なる4ケースを想定すると共に、開口部条件や外気条件（外部風の有無など）および計算メッシュ数を変更して合計28ケースの解析を行った。

解析ケースは、計算対象空間と開口部条件、及び外気条件について複数の組み合わせを選択した。なお、以降のケースAはバルコニーを想定した空間であり、2.2.5で述べるべきものであるが、本節で述べる居室等の解析条件と比較するため、バルコニーの解析条件もここで示す。

#### ① 計算対象空間

計算対象空間として、図2.17に示すような間口及び奥行きが異なる4ケース（ケースA～D）を使用した。A～Cについては奥行きと梁の有無のみが異なっており、ケースDは、ケースCを水平方向に2スパン設けた場合に相当する。

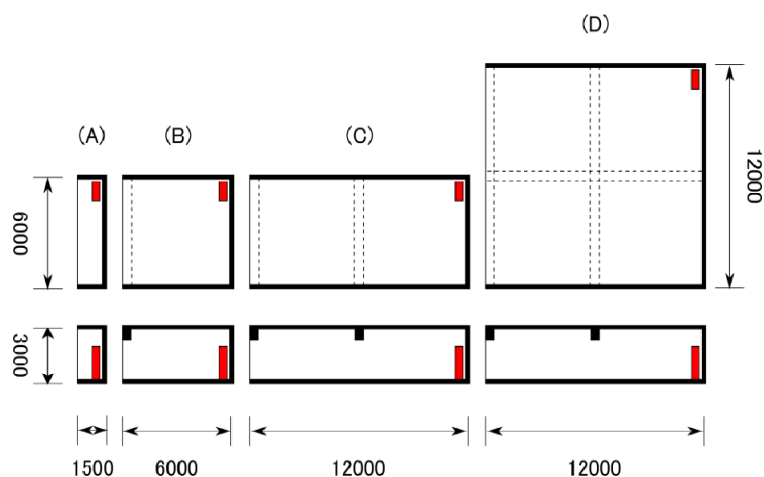


図 2.17 解析に用いた計算対象空間

図 2.17 は左から順にケース A、B、C、D を示した。上段に平面図を、下段に側面図を示している。図中の数値は全て外径であり、壁の厚さは 100[mm]とする。長さの単位は[mm]。赤で示した部分は燃料電池ユニットであり、角の壁面から 100[mm]ずつ離れた位置に設置されている。点線及び黒で示した部分には高さ 600[mm]、幅 500[mm]の梁が存在するものとした。各形状の左端は、図 2.18 に示した開口部条件のいずれかを適用した。

## ② 開口部条件

開口部条件はバルコニー、自然換気口、全面開口、機械換気の 4 つのパターンを計算対象とした。図 2.19 にこれらの形状を示す。バルコニー形状はケース A の場合、自然換気口・全面開口及び機械換気の形状はケース B・C について、自然換気口（2 スパン）、全面開口（2 スパン）、機械換気（2 スパン）の形状はケース D の場合についてそれぞれ使用した。ただし、計算ケースは表 2.5 に示す通りであり、全ての組み合わせを計算対象とするものではない。



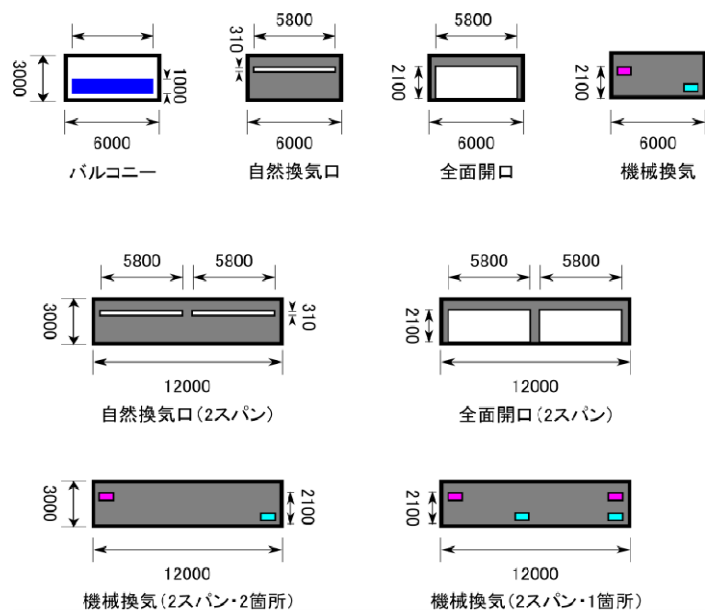


図 2.18 開口部条件

各計算対象領域の開口部に適用される開口部条件を列挙した。バルコニー形状は、厚さ無しの板としてモデル化し、周囲の壁面から 100[mm]の位置に存在する（本来は柵などで支えられているが、解析モデル上は柵などの微細な形状を再現せず、中空に存在するとした）。グレーで示した部分は壁面であり、全て壁面厚さを 100[mm]として設定した。機械換気の場合、マゼンタで示した部分が排気口、水色で示した部分が吸気口である。

### ③外気条件

外気条件については、以下の 2 つのパターンを想定した。

- 開放空間

外部開口形状の外側は完全に開放されているものとみなす。計算上は、境界条件を外部開口形状の位置に設定した場合に生ずる影響を回避するため、図 2.19 で模式的に示したように外部に広い空間を設定して解析を行った。外部風が存在する場合は、この領域に一様に外部風を流入・流出させた。

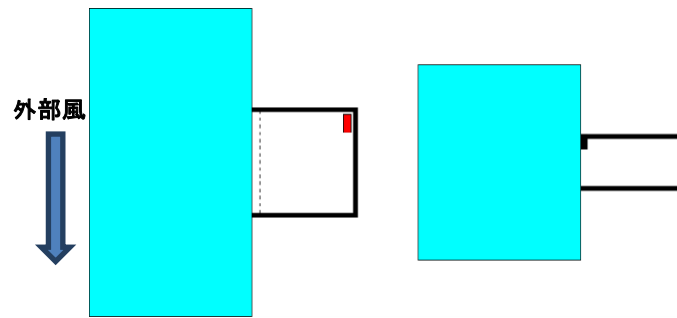


図 2.19 外部領域の設定

ここではケース B の場合を例に、左に平面図、右に側面図を示した。水色で示した領域が外部領域である。ただし、実際には十分広く設定している。外部風がある場合、矢印の向きに外部風を設定した。

- ・ ドライエリア

計算対象空間が地下空間であるとみなし、外部に図 2.20 で示すような幅 2[m]のドライエリアを設定した。この場合も、境界条件による影響を回避するため、ドライエリア上方に広い外部空間を設定して解析を行った。なお、計算対象空間上方には建築物が続いているものとみなし、壁面境界を設定している。外部風が存在する場合は、ドライエリア上方の外部空間に対して一様に外部風を流入・流出させている。

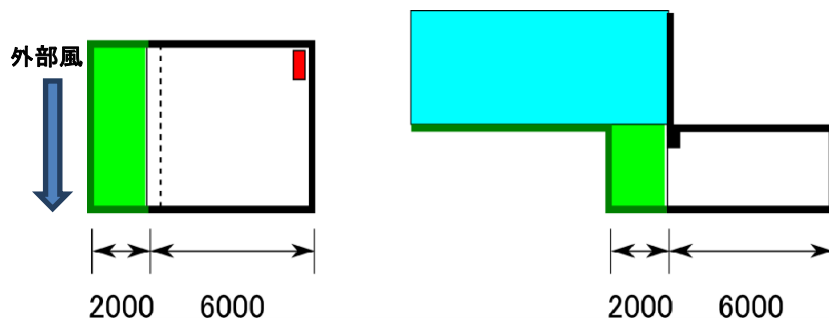


図 2.20 ドライエリアの設定

ここではケース B の場合を例に、左に平面図、右に側面図を示した。緑色で示した領域がドライエリアである。外部領域はドライエリア上方に設定する（平面図では図示していない）外部風がある場合、矢印の向きに外部風を設定する。

#### ④ 燃料電池と水素漏洩箇所

水素漏洩箇所としては、図 2.21 に示すような燃料電池とガス栓の接続部分に生じたピンホールを対象とした。燃料電池の大きさとしては、商品化されているユニットを想定して幅 1065[mm]×奥行き 430[mm]×高さ 1883[mm]と設定した。ガス管径は 50[mm]であり、ピンホールの直径を 5[mm]とした。

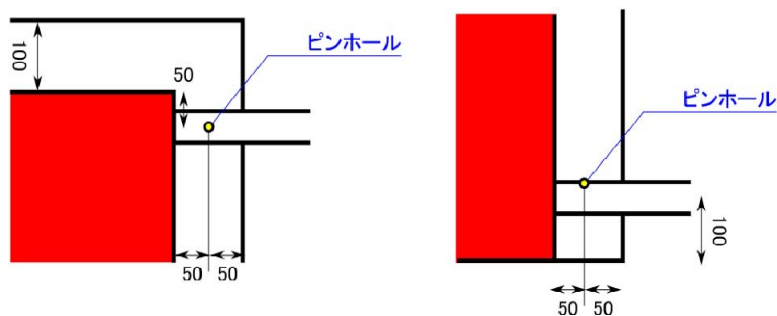


図 2.21 電池設置箇所とピンホール位置

左に平面図、右に側面図を示した。赤の領域が燃料電池であり、50[mm]径の水素ガス配管に接続されている。ピンホールは直径 5[mm]であり、燃料電池と壁面の中間に生じたものとした。

ガス配管内部の圧力としては 2.5[kPa]を想定し、オリフィス径と圧力に対する流量 $Q$ の関係式

$$Q = \frac{C\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2.9)$$

を用いて流入流量を算出し、計算条件として与えた。ここで、オリフィス流量係数  $C=0.64$  であり  $D$ :オリフィス直径 (5[mm])、 $\rho$ :流体密度、 $\Delta P$ :オリフィス前後の差圧 (2.5[kPa]) である。オリフィスの差圧は 1 気圧と比較して小さいため、流体密度 $\rho$ は水素 1 気圧の場合の値を用いた。このとき、漏洩流量は  $Q=178.4$  [L/min]であり、一様な流速に換算すると 151.4[m/s]となる。

#### ⑤解析手法

解析に用いた物理モデルは、2.2.3 と同様に気体の圧縮性を考慮した標準型  $k-\epsilon$ モデルを適用し、計算対象時間は水素漏出開始から 600 秒とした。

## ⑥解析ケースまとめ

解析対象としたケースを表 2.5 にまとめた。ここでは、計算メッシュ規模及び解析時の並列数も併せて示している。外気条件としては、特に記載が無い場合は開放空間であることを示す。

代表的な計算ケースについて、計算領域の概要（壁面として設定する面に関する計算領域の可視化）を図 2.22 に示した。

表 2.5 水素流動性状解析の解析ケース一覧

ケース番号	空間形状	開口部条件	外気条件	メッシュ規模	並列数
1	A	バルコニー	外部風無し	50万	16
2	A	バルコニー	外部風 3[m/s]	50万	16
3	B	自然換気口	外部風無し	100万	16
4	B	自然換気口	外部風 3[m/s]	100万	16
5	B	自然換気口	外部風 5[m/s]	100万	16
6	B	自然換気口	外部風無し	100万	16
7	B	自然換気口	ドライエリア 外部風 3[m/s]	100万	16
8	B	全面開口	ドライエリア 外部風無し	100万	16
9	B	全面開口	外部風 3[m/s]	100万	16
10	B	全面開口	外部風無し	100万	16
11	B	機械換気	ドライエリア 換気回数 10回	100万	16
12	B	機械換気	換気回数 20回	100万	16
13	B	自然換気口	外部風無し	200万	16
14	C	自然換気口	外部風無し	400万	16
15	C	自然換気口	外部風無し	200万	16
16	C	自然換気口	外部風 3[m/s]	200万	16
17	C	自然換気口	外部風無し	200万	16
18	C	全面開口	ドライエリア 外部風無し	200万	16
19	C	全面開口	外部風 3[m/s]	200万	16
20	C	機械換気	換気回数 10回	200万	16
21	C	機械換気	換気回数 20回	200万	16
22	C	全面開口	外部風無し	400万	32
23	C	全面開口	外部風 3[m/s]	400万	32
24	D	自然換気口 (2 スパン)	外部風無し	400万	32
25	D	全面開口 (2 スパン)	外部風無し	400万	32
26	D	機械換気 (2 スパン、1 箇所)	換気回数 10回	400万	32
27	D	機械換気 (2 スパン、1 箇所)	換気回数 20回	400万	32

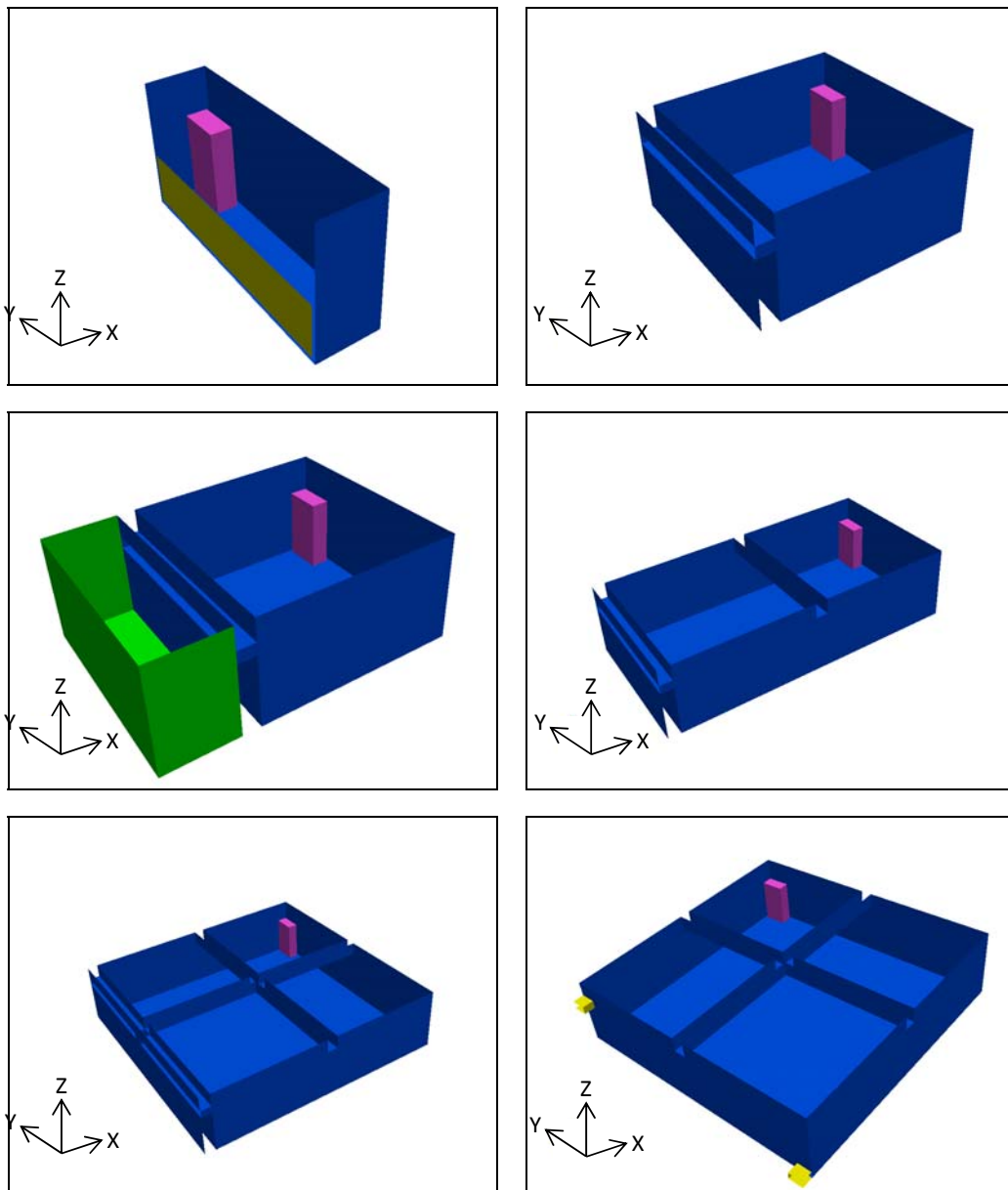


図 2.22 計算に使用した領域の概要

計算領域の壁面について可視化している。燃料電池はマゼンタで、ドライエリアは緑色で示した。

左上：ケース 1（形状ケース A+開口部バルコニー）、

右上：ケース 3（形状ケース B+開口部自然換気口）

左中：ケース 6（形状ケース B+開口部自然換気口+ドライエリア）

右中：ケース 15（形状ケース B+開口部自然換気口）

左下：ケース 17（形状ケース D+開口部自然換気口）

右下；ケース 26（形状ケース D+開口部機械換気）

### 【計算メッシュ】

計算メッシュは全て六面体の要素を用いて作成している。代表的なケースとして、解析ケース 3（形状ケース B+開口部自然換気口）の場合のメッシュの配置について、メッシュ分割の状況を図 2.23 に示す。燃料電池周辺など、水素ジェットからの拡散が重要な箇所ではメッシュを細かく分割している。要素サイズは、計算対象領域内で最小 5[mm]、最大 40[mm]とした。外部領域に関しては、精度の高い解析は必要としないため、遠方で最大 1[m]程度まで粗いメッシュを使用している。

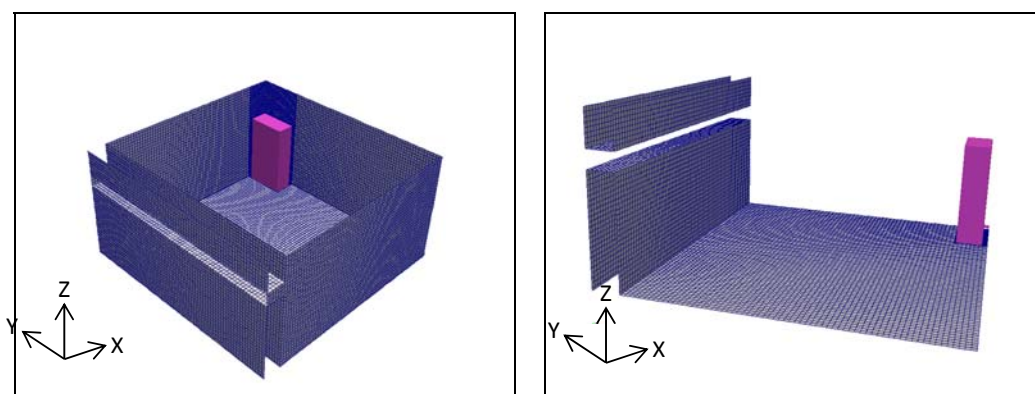


図 2.23 メッシュの分割状況

解析ケース 3 の場合を例に、メッシュ分割の様子を壁面について示している。

左：計算対象領域全体像、右：燃料電池周辺

燃料電池周辺に細かいメッシュを集中させている。

### 【境界条件】

解析にあたっての境界条件設定を表 2.6 に示す。なお、標準  $k-\epsilon$ モデルにおいて解析対象とする乱流エネルギー場  $k$  及び乱流散逸率場  $\epsilon$ については、壁面にて壁関数を適用している。

外部領域については、無風の場合は領域を広く取り、領域限界を全て壁面として設定した上で、出口における不均一を回避できるように遠方上方に流出口を設けている。

外部風有りの場合、計算対象空間をそのまま外部に広げた領域を作成し、図 2.22 に示したように燃料電池の設置側を上流として、上流に一様流速による外部風流入条件、下流側に圧力固定による外部風流出条件を設定した。

表 2.6 水素流動性状解析の境界条件

境界	境界条件
壁面	流速：ゼロ固定（滑り無し）
燃料電池境界	圧力：静水圧勾配のみ
ガス管	温度：断熱
外部領域境界	物質質量：勾配ゼロ（流速ゼロ）
出口	流速：自由流出（逆流時はゼロ固定）
外部風下流出口	圧力：静水圧考慮し値固定 温度：自由流出（逆流時は常温固定） 物質質量：自由流出（逆流時は空気を流入）
ピンホール	流速：流量固定（178.4[L/min]） 圧力：静水圧勾配のみ 温度：常温固定 物質質量：水素体積比 100%
外部風上流流入口	流速：流速（外部風流速） 圧力：静水圧勾配のみ 温度：常温固定 物質質量：空气体積比 100%
ジェット模擬	圧力：静水圧勾配のみ その他の物理量：準備計算から流量保存を考慮してマッピング

表 2.6 中のピンホールの流速固定条件は、ピンホールから漏出した水素ジェットをモデル化して境界条件として与えたことを示す。本解析の解析条件では、水素ジェットを正しく解像して解析を行うためには、ピンホール径である 5[mm]よりも細かいメッシュ分割間隔が必要となる。一方、ピンホール径とガス管内部圧力から見積もった流出速度は 100[m/s]のオーダーとなるため、安定に物質輸送を計算できる Courant 数条件を考慮すると、 $10^{-5}$ [sec]オーダーの極めて短い時間間隔で計算を行う必要があり、600 秒という解析対象時間は非現実的な長さとなってしまふ。

このような困難を回避するため、解析メッシュとしては【計算メッシュ】に示した比較的粗いメッシュを用い、ジェットは細かいメッシュで予め計算しておいた流れ場を境界条件としてマッピングする手法をとった。具体的な手順の模式図を図 2.24 に示す。まず、ジェット付近の流れを漏出開始から 1 秒時点まで 2.5[mm]程度のメッシュを用いて解析し、

安定した時間領域である 0.4 秒以降について平均場を計算した後、十分ジェットが拡散して流速が 5[m/s]程度まで減速した部分を含む直方体状の領域を抽出した。この領域界面における流速や熱及び各物質量フラックスを取得し、粗いメッシュにおける境界条件として与えることとした。ジェット付近の解析は、各解析ケースにおける全体の系のメッシュについて、ジェット付近のみを細かく分割して使用しており、外部風などの条件も粗いメッシュによる長時間の計算と同等に設定している。これは、計算領域形状や外部風によるジェット形状に対する影響を考慮するためである。

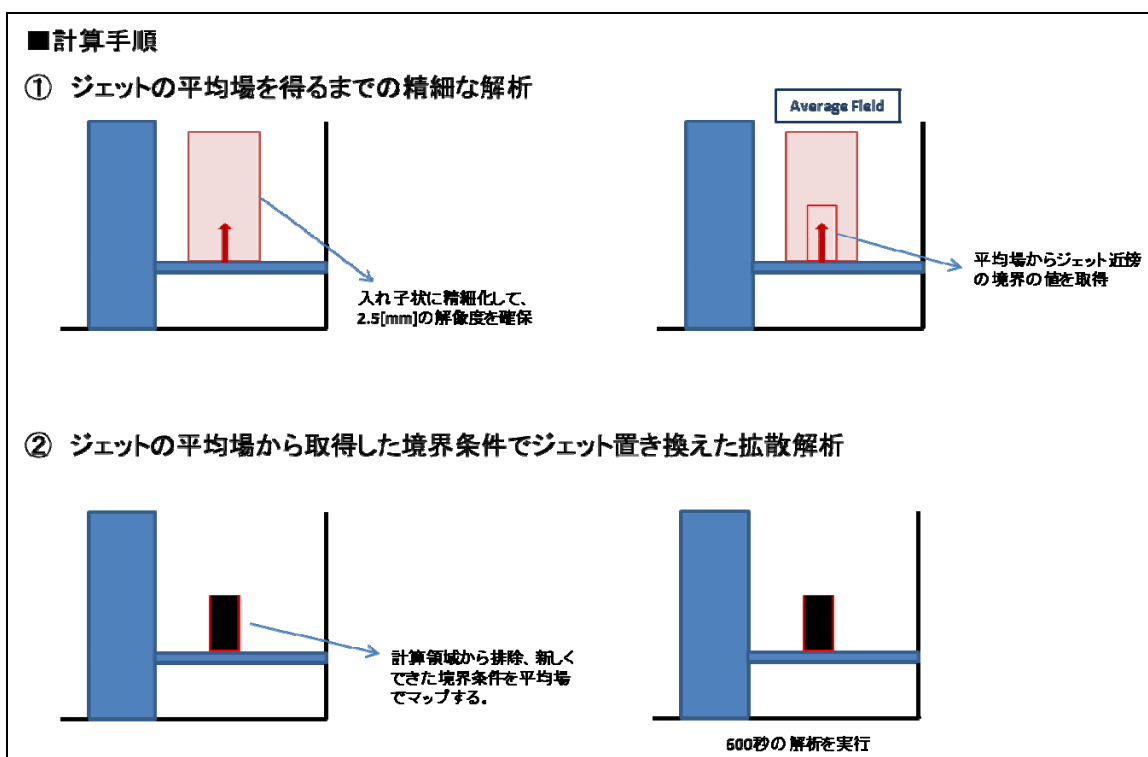


図 2.24 水素ジェットのモデル化



## 【計算結果】

主要な計算結果について、各ケースの差異に関する考察と関連させながら示す。

### (1) 時系列変化

図 2.25 及び図 2.26 に、解析ケース 3 の場合について、水素漏洩開始から 500 秒までの水素濃度及び流速ベクトルの時系列を示した。水素濃度については、漏洩から時間の経過に従って天井に水素が蓄積していき、出口換気口上部に存在する梁を超える高さまで水素が蓄積してから外部に流出を開始している。一方、流速ベクトルからは、100 秒の時点で漏洩水素の浮上に伴うと見られる居室内全域の緩やかな対流が確認できる。この流れ場は弱く、以降の時刻でも概ね安定しており、水素は浮力により居室上部に蓄積しながら拡散していくことがわかる。攪拌による濃度の広がりも弱いものと考えられる。

蓄積した水素は比較的拡散しやすく、水素が流出を開始した時点での居室上部の水素濃度分布は爆発下限界である 4%を超えていないため、この計算の条件下では爆発の危険性は少ないものと見られる。一方、計算結果は梁などの上部構造に従って容易に水素が蓄積しうることを示しており、水素漏出量などによっては爆発の危険性が生じる可能性も考えられる。また、このような危険を回避するには、居室上方の換気状態に注意する必要があることも示唆される。

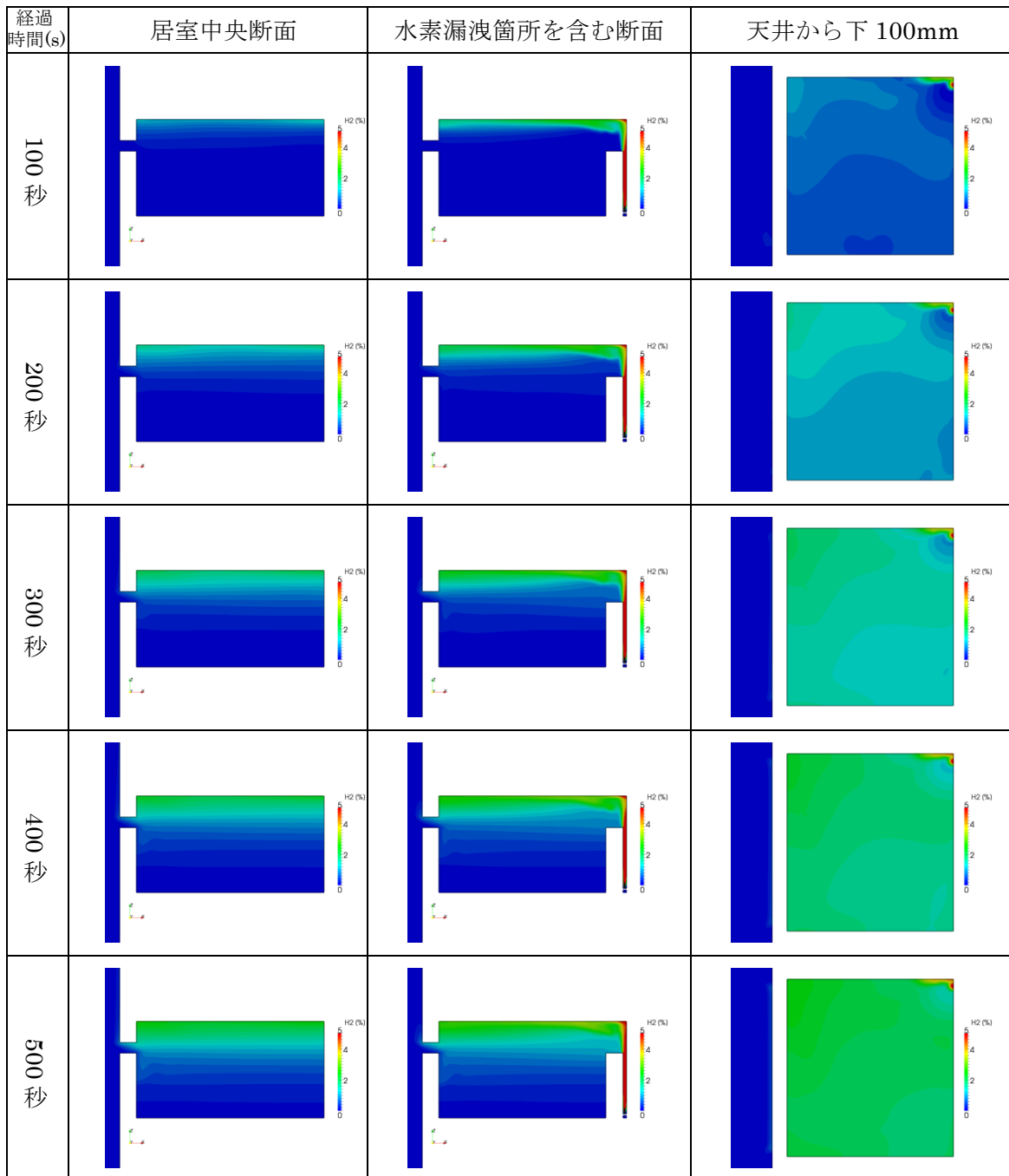


図 2.25 解析ケース 3 (居室 B + 自然換気口、外部風無し) の水素濃度分布 (時系列)

居室中央及び水素漏洩箇所を含む鉛直断面と、天井から 100mm の水平断面について、漏洩開始から 500 秒まで 100 秒おきに示した。

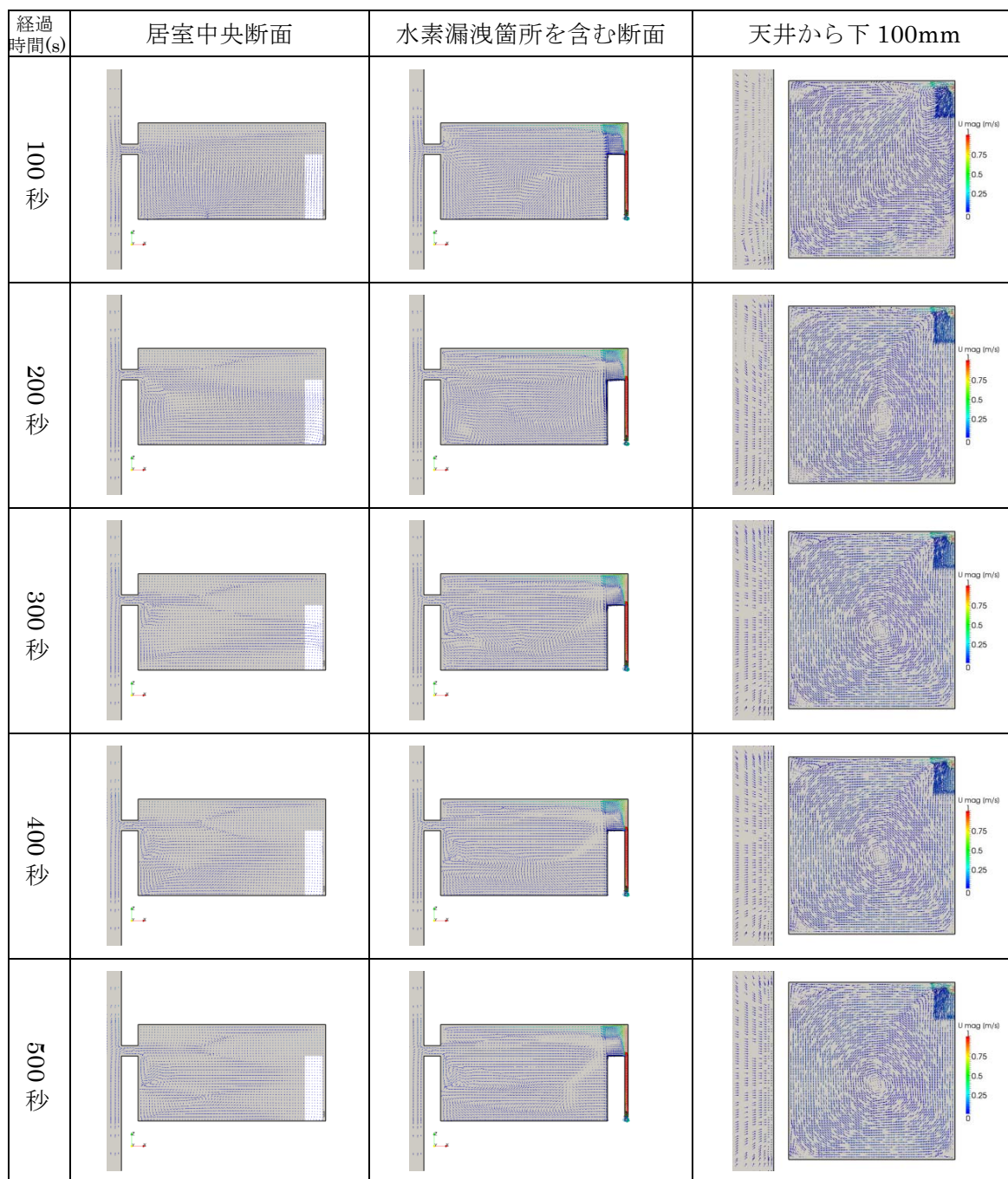


図 2.26 解析ケース 3 (居室 B + 自然換気口、外部風無し) の流速ベクトル分布 (時系列)

居室中央及び水素漏洩箇所を含む鉛直断面と、天井から 100mm の水平断面について、漏洩開始から 500 秒まで 100 秒おきに示した。

(2) 計算対象領域の差異

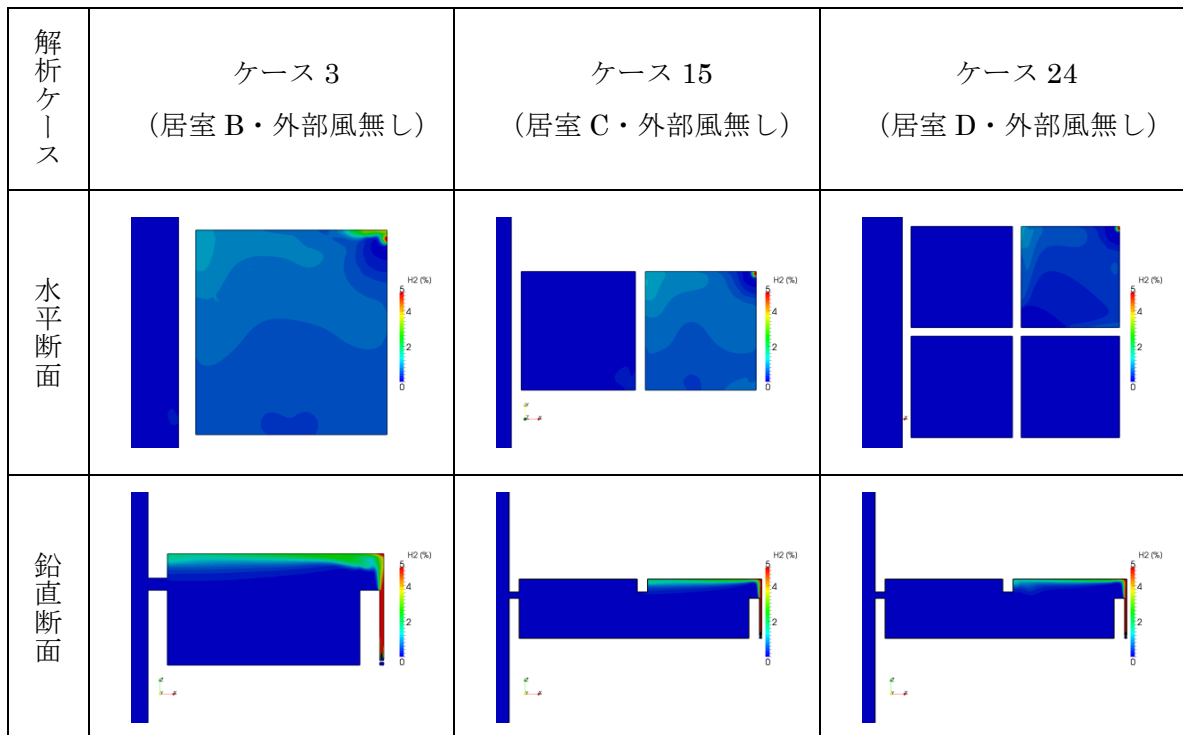


図 2.27 計算対象領域の差異

水平断面：天井下 100mm 鉛直断面：ピンホールを含む断面  
100 秒経過時点での濃度分布を示す。

計算対象領域による差異を確認するために、

- ・ ケース 3 (居室 B + 自然換気口、外部風無し)
- ・ ケース 15 (居室 C + 自然換気口、外部風無し)
- ・ ケース 24 (居室 D + 自然換気口、外部風無し)

を比較した (図 2.27)。この場合、無風であるために拡散状況そのものは同様であり、梁の存在によって水素の移動が阻害される影響が大きい。実際、形状ケース C の場合は水平断面で見て右側の空間に、形状ケース D の場合は右上の空間に水素が蓄積されている。従って、梁で区切られた区画のうち水素漏洩箇所に近い部分へまず水素が溜まり、梁を超える高さまで水素が蓄積してはじめて外部へ流出することが可能となるものと考えられる。外部風などが存在する場合は異なった影響が考えられるため、該当する項目で引き続き議論する。

(3) 開口部条件

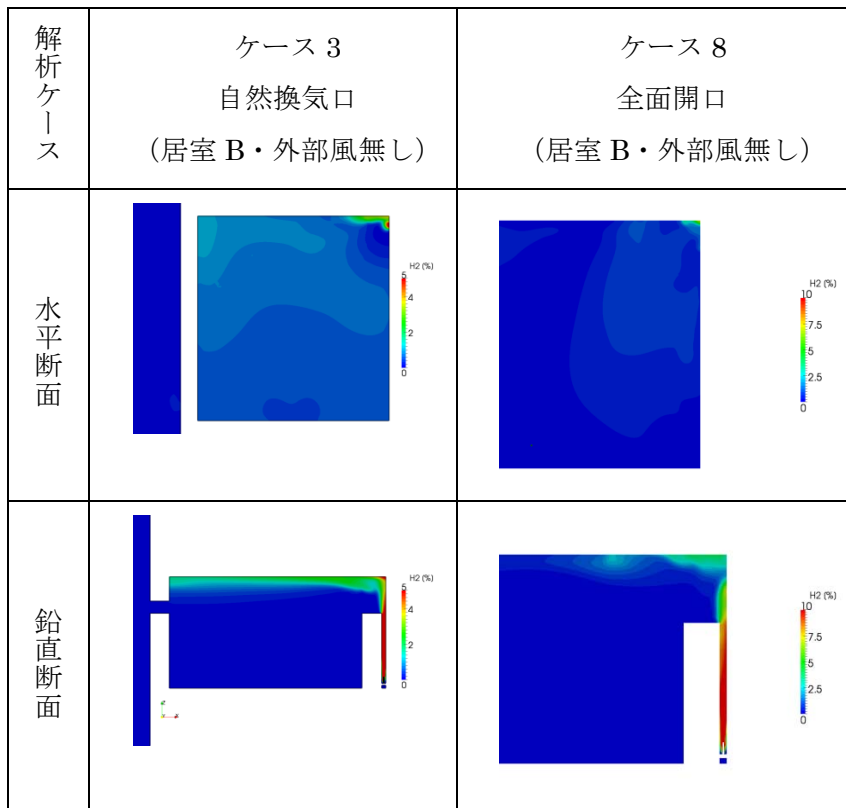


図 2.28 開口部条件の差異

水平断面：天井下 100mm 鉛直断面：ピンホールを含む断面  
100 秒経過時点での濃度分布を示す。

開口部条件による差異を確認するために、

- ・ ケース 3 (居室 B + 自然換気口、外部風無し)
- ・ ケース 8 (居室 B + 全面開口、外部風無し)

を比較した (図 2.28)。水素は浮力により居室内上方に蓄積しており、梁によって流出を妨げられている。外部風が存在せず、開口による居室内の流れ場に対する影響は限定的であり、開口条件による水素濃度分布への影響は小さいものと見られる。

(4) ドライエリア

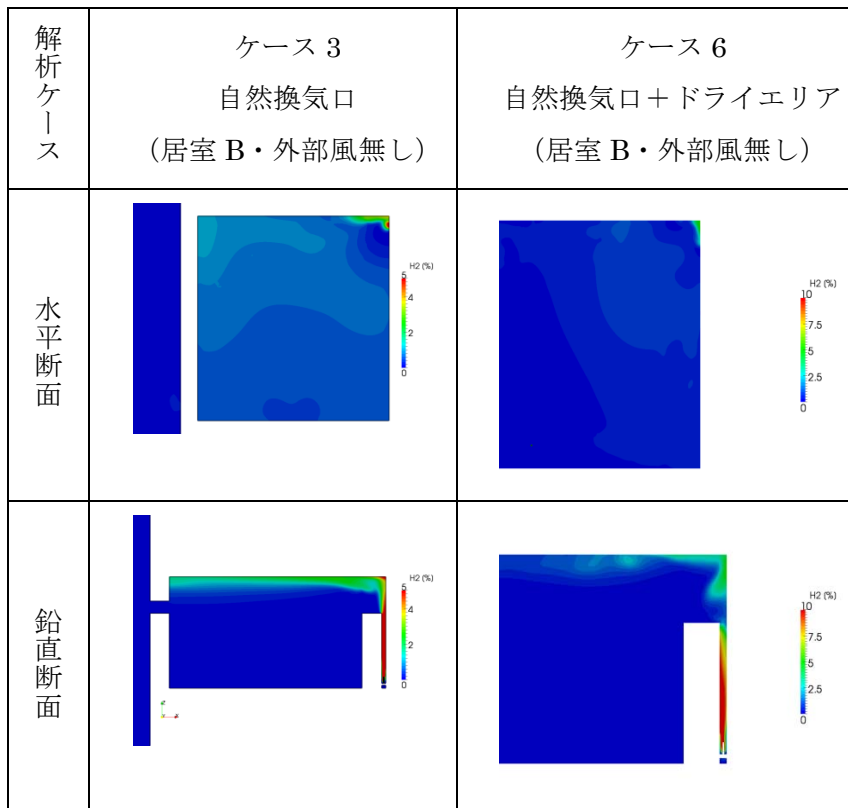


図 2.29 ドライエリアによる差異

水平断面：天井下 100mm 鉛直断面：ピンホールを含む断面  
100 秒経過時点での濃度分布を示す。

ドライエリアによる差異を確認するために、

- ・ ケース 3 (居室 B + 自然換気口、外部風無し)
- ・ ケース 6 (居室 B + 自然換気口 + ドライエリア、外部風無し)

を比較した (図 2.29)。ドライエリアの方が外部への流出による気流が弱く、一様であり、水素の輸送は主に拡散によって行われる。

(5) 外部風の有無

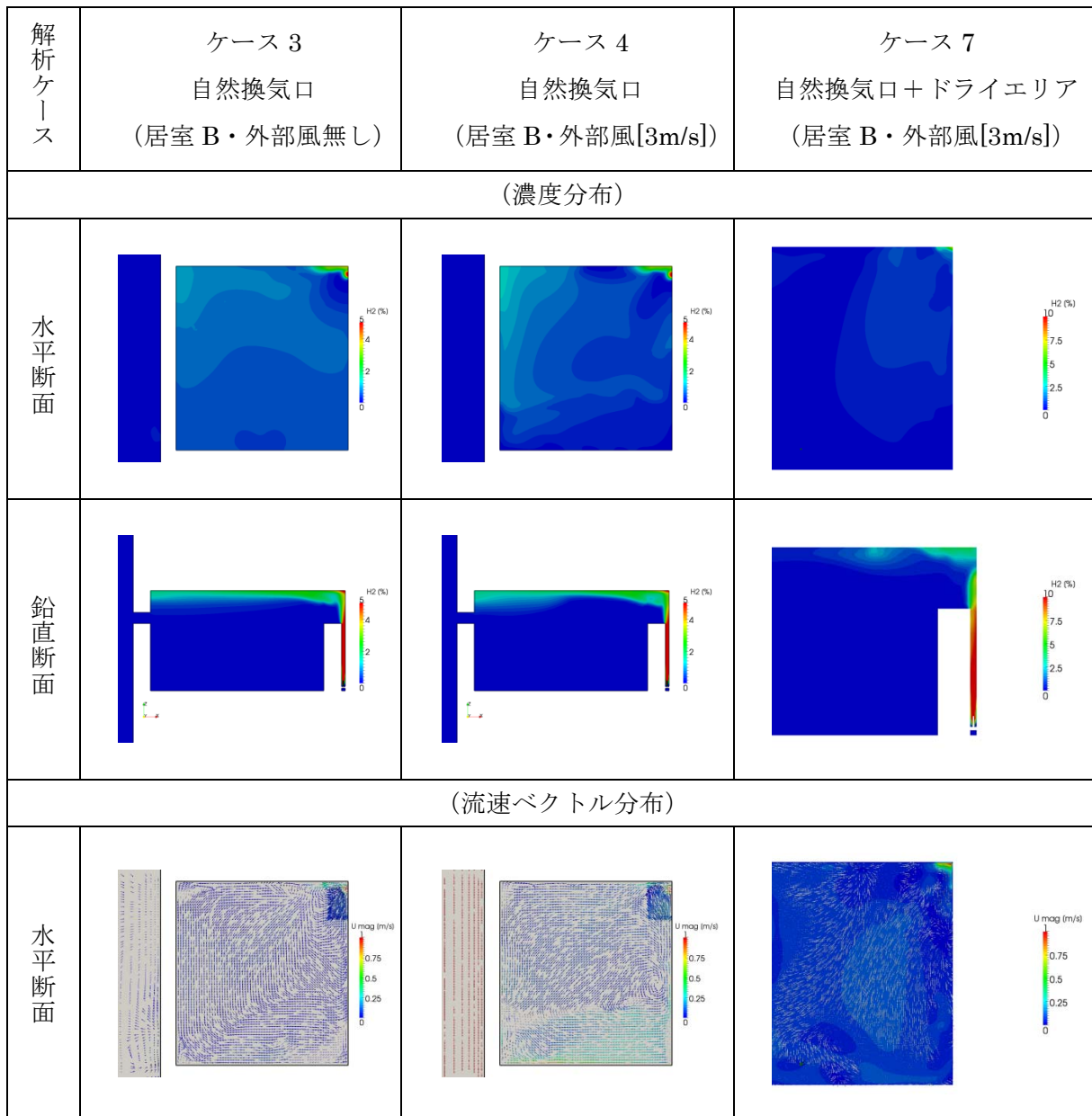


図 2.30 外部風による差異（自然換気口の場合）

水平断面：天井下 100mm 鉛直断面：ピンホールを含む断面

100 秒経過時点での濃度分布と流速ベクトル分布を示す。

外部風による差異を確認するために、

- ・ ケース 3（居室 B + 自然換気口、外部風無し）
- ・ ケース 4（居室 B + 自然換気口、外部風 3[m/s]）
- ・ ケース 7（居室 B + 自然換気口 + ドライエリア、外部風 3[m/s]）

を比較した（図 2.30）。外部風が存在する場合、計算領域内を循環するような流れが生じており、これに従って水素が壁に沿う形で輸送されている。無風の場合と比較した居室内の水素の分布としては、僅かに壁付近で濃くなる傾向が見られるものの、梁によって外部への流出が阻害され、居室上方に水素が蓄積する点では顕著な差は見られない。一方、ドラリエリアが存在する場合、外部風による影響は限定的である。

図 2.31 に示すように、全面開口の場合は外部風の影響が特に顕著であり、ケース 9 では大きく空間内を循環する渦が生成されていることが確認できる。

この流れによって、水素は燃料電池と壁の間を流れる気流によって輸送されており、燃料電池の開口部側側面へ回り込むような流れも見られる。このため、天井へ到達することなく外部へ流出している。一部は内部へ再循環する部分も確認できる。



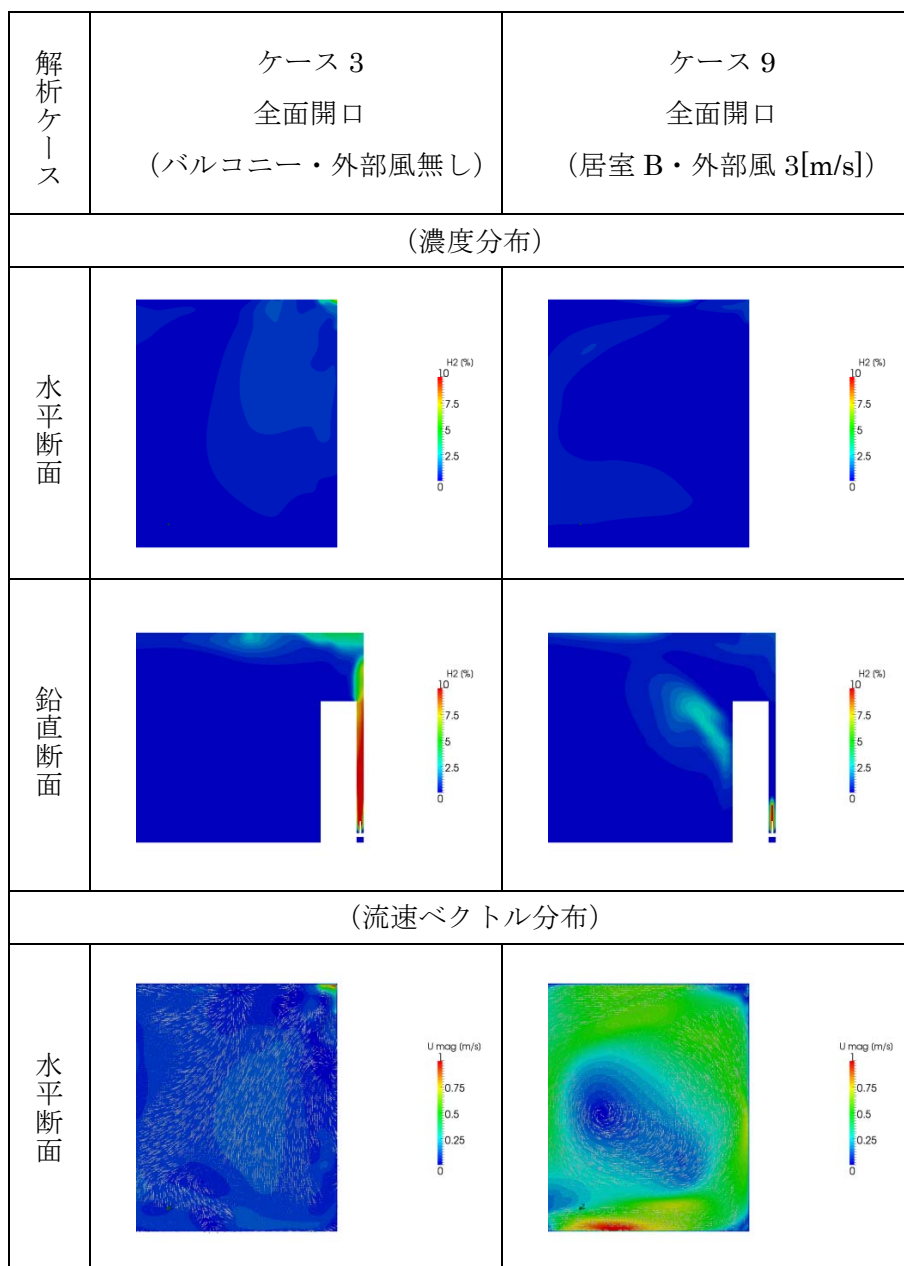


図 2.31 外部風による差異（全面開口の場合）

水平断面：天井下 100mm 鉛直断面：ピンホールを含む断面

100 秒経過時点での濃度分布と流速ベクトル分布を示す。

【既往の水素爆発実験からみた考察】

過去に行われた代表的な水素爆発実験に関する文献調査を実施し、9 つの実験（調査した文献全 17 件には同じ実験に関するものが含まれる）から水素爆発時の被害想定に関する知見を得た。

いずれも屋外での水素爆発を対象としており、水素空気の混合気体積、水素濃度等をパラメータとした実験を行っており、爆風圧や火炎寸法等を爆発の程度として表す指標としており、これらの指標が建材や建具、人体へ与える影響を把握するための比較資料となる。

ここで選定した9つの実験では、水素濃度は30%を代表値とするものが多いため、本解析で求められた結果とは直接比較することはできないが、水素が蓄積すれば起こりうる爆発であると推測される。

一例として、混合気の水素濃度を30%とし、混合気体積を9.4m<sup>3</sup>、75m<sup>3</sup>、200m<sup>3</sup>とした爆発実験（産総研）では、過圧力は最大で15kPa程度になっており、これ以上の圧力では構造上重大な被害となることが記されている。

低濃度での爆発実験に関する論文等の文献は見あたらなかったが、閉空間では距離によらず過圧力は減衰しにくいとのトンネルでの実験結果もあるため、居室内や廊下等で水素が爆発する場合にも同程度の過圧力がかかるものと推測される。一般に1kPa程度でガラスが破損するとされており、高濃度の水素が蓄積する前に漏洩検知、供給遮断がやはり有効な対策となると考えられる。

なお、爆風圧が建築物の構造体、建具、設備等に与える影響として平成6年石油コンビナートの防災アセスメント策定指針（消防庁特殊災害室）<sup>4)</sup>からの一部抜粋を次に示す。

影響	爆風圧[kPa]
一般的にガラスが破損	1.03
構造上の小被害が限定的に発生する	2.70
家屋の一部が破壊され、居住に不適當となる	6.90
鉄筋の入っていないコンクリートや軽量ブロックの壁が壊れる	13.8～20.7
これ以上の圧力では重大な構造上の被害を生ずる	15.9
家屋がほぼ完全に崩壊する	34.5～48.2

## 2.2.5 屋外空間（バルコニー等）で漏洩した水素の拡散性状

### (1) 目的

建物バルコニー等の屋外空間に敷設されたガス配管から水素ガスが漏洩した場合を想定し、水素ガスの拡散性状をもとにした漏洩検知対策を検討することを目的として、数値計算による検討を行う。

### (2) 解析手法

解析手法は2.2.4に示したものと同様であり、解析対象空間は2.2.4に示したとおりである。計算メッシュは図2.32に示すように燃料電池周辺を細かくしている。

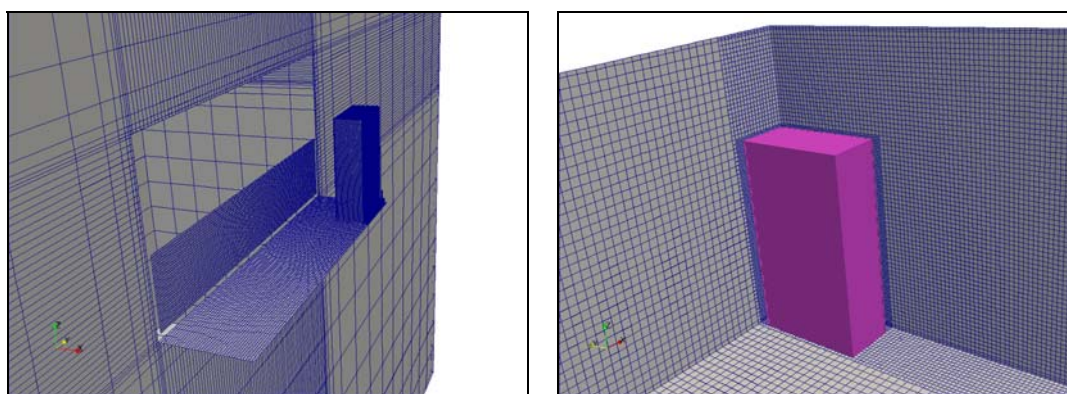


図 2.32 計算メッシュの分割

### (3) 解析結果

図2.33はバルコニーでの水素漏洩時における水素漏洩部を含む鉛直断面の水素濃度分布と爆発下限界である4%濃度となる等値面を外部風の有無で比較したものである。

外部風がない場合、ピンホールからの水素ジェットはその間欠性により水素拡散性状は非定常性をもちながらも、天井面に衝突後外部へと流出している。外部風がある場合はキャビティ流れにより上流側壁面に押しつけられつつも天井面下に薄い水素の層を形成している。いずれにせよ、天井面下にごく薄い水素の層を形成するのみで外部へ流出するためバルコニーでの水素漏洩時の危険性は小さいものと考えられる。

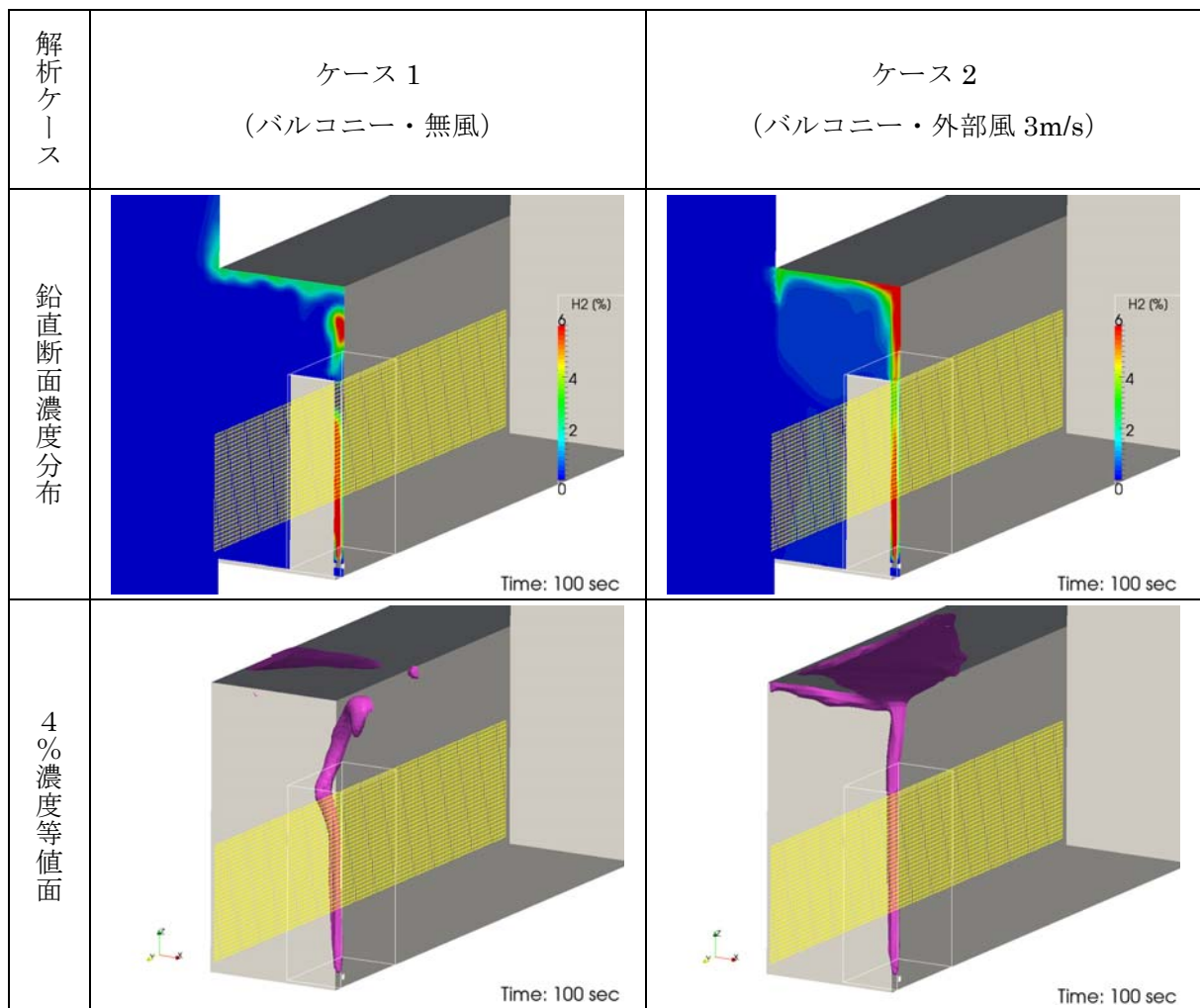


図 2.33 外部風による差異 (バルコニーの場合)

鉛直断面：ピンホールを含む断面

## 2.2.6 建築基礎を貫通するガス配管の耐震性能

### (1) 実験の目的

低層及び中層建物を想定した基礎及びガス配管を対象に、地盤と基礎の揺れによる挙動の差異が配管に及ぼす影響を把握し配管への要求事項を検討することを目的として、地中埋設ガス管が建物基礎部分を貫通する部分の加震実験を実施した。

特に、本実験では、実物大規模に近い試験体を構築し、振動実験によってガス配管の有意性について実験的に検証を行ったものである。本実験に関する主な検討項目は以下の通りであった。

※ガス（水素）配管の動的挙動

- ①配管口径の違いによる確認
- ②配管経路の違いによる確認
- ③配管深度の違いによる確認
- ④戸建用配管および集合住宅用配管の上記①～③における確認

### (2) 実験方法

#### 1) 実験装置

実験装置は、独立行政法人建築研究所 建築基礎・地盤実験棟屋内ピットに常設されている。本装置は、せん断土槽（17段）、油圧アクチュエータ、土砂自動搬送装置および計測システムからなり、せん断フレーム内に長さ10m、深さ5m、幅3.6mの地盤を作製し、地震時の地盤の振動を再現することができる。

#### 2) 試験体

##### I) 試験ケースおよび模型地盤の概要

試験ケース（仕様1、2）および模型地盤の概要を図2.34に示す。

##### II) 盛土材料

盛土材料は、栃木県産の日光珪砂6号を用いた。本材料は、比較的粒径のそろった材料である。

##### III) 試験体の作製

#### ① 地盤の作成

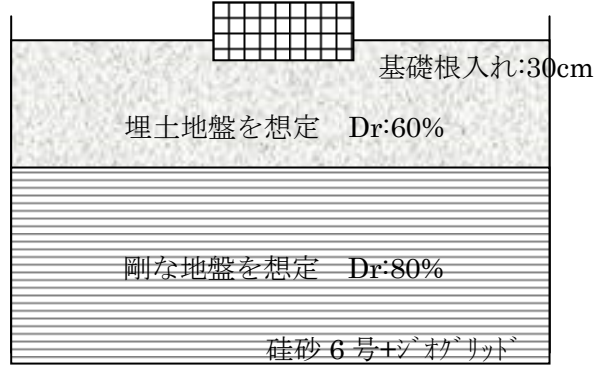
乾燥砂の撒き出し厚さを25cm程度として均一に敷き均し、プレートタンパーにより締固めた（図2.35）。盛土施工時の土の締固め程度は転圧回数8回、相対密度80%程度（0～3.3m:深度方向50cmピッチ各層全面にジオグリッドを敷設）および転圧回数6回、60%程度（3.3～4.8m）とし、コアカッター法等により各層毎に密度測定を実施した。また、併せて盛土地盤の均一性を確認した。さらに、盛土終了後に盛土地盤の地盤強度を確認す

るためにスウェーデン式サウンディングにより試験を行った。

盛土施工に係わる調査・試験の内容を表 2.7 に、試験方法の概要を図 2.36 に試験結果を図 2.37 に示す。

仕様 1：戸建用ガス配管

基礎模型 (建物荷重  $2t/m^2$ )



仕様 2：集合住宅用ガス配管

基礎模型 (建物荷重  $6t/m^2$ )

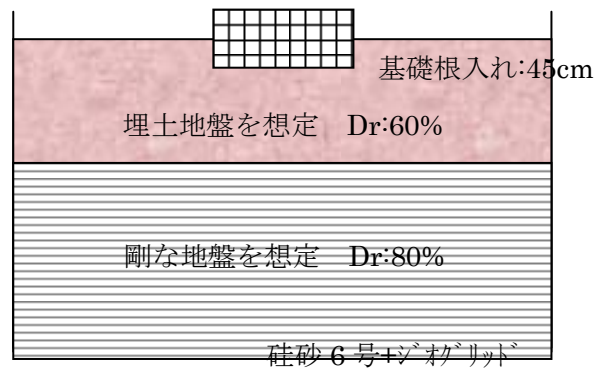


図 2.34 試験ケースおよび模型地盤の概要

表 2.7 盛土施工に係わる調査・試験の内容

項目	目的	数量	備考
密度測定	盛土地盤の密度を確認し、作製地盤の締固め度とばらつきを把握する。	3点×3層 (@0.5m)	コアカッター法
スウェーデン式サウンディング	作製した盛土地盤の地盤強度 ( $N_{sw}, N_c$ 値)に関する情報を収集する。	1点	—

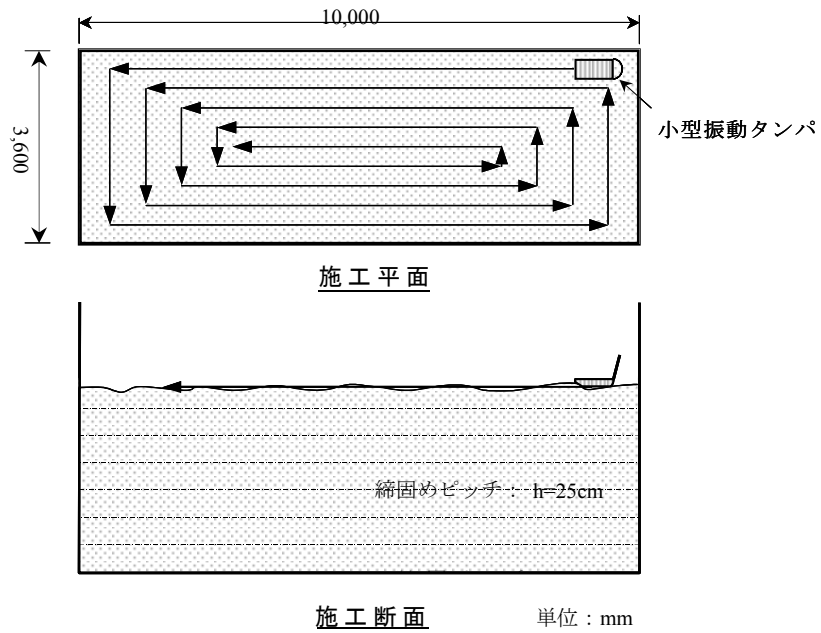


図 2.35 盛土の締固め方法

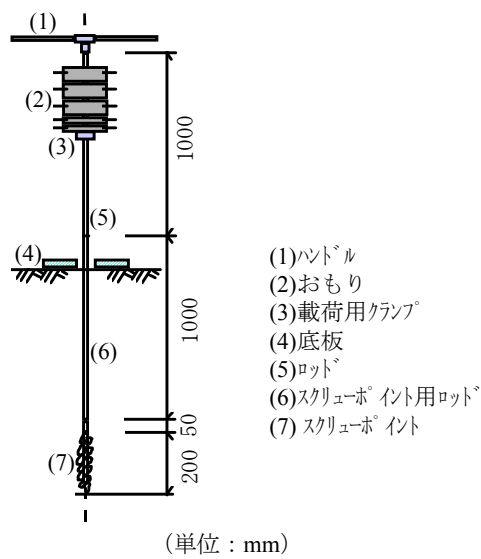
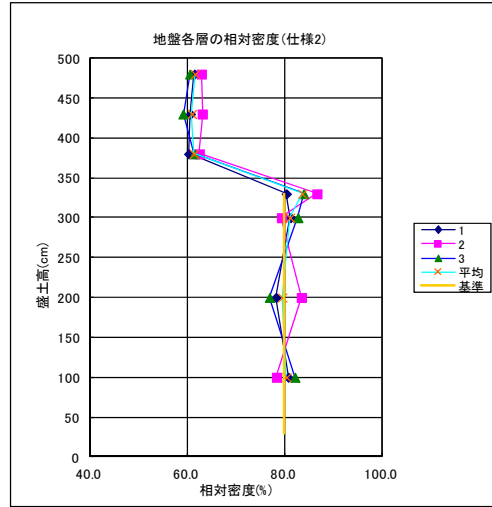
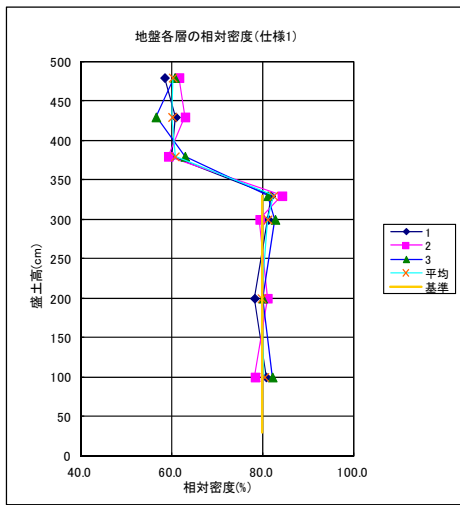
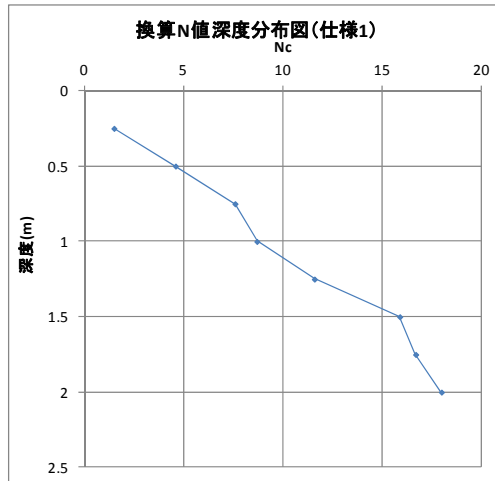
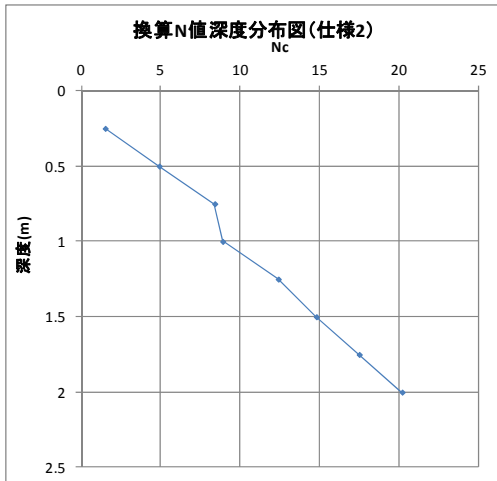


図 2.36 スウェーデン式サウンディングの概要



地盤各層の相対密度



スウェーデン式サウンディング試験結果

図 2.37 地盤試験結果

## ② 建築基礎模型の製作

建築基礎は仕様1、仕様2ともにべた基礎を模擬した図2.38に示す寸法および形状のものとした。また、基礎模型上部の中央部にH型鋼フレームを固定し、仕様1では2ton/m<sup>2</sup>、仕様2では6ton/m<sup>2</sup>の錘を積載させ、加振時に建築基礎との位相のずれがないようPC鋼棒で緊結した。図2.39に示すように配筋し、配管貫通部に設けたスリーブ位置には配筋しないものとした。また、仕様1においては、マイコンメータを固定するためのアングルフレーム及び鉄板をアンカーボルトにて建築基礎に固定した。なお、建築基礎模型は底面を仕様1では30cm、仕様2では45cmの深さまで地盤に根入れし、大型せん断土槽の中央に配置・設置した。



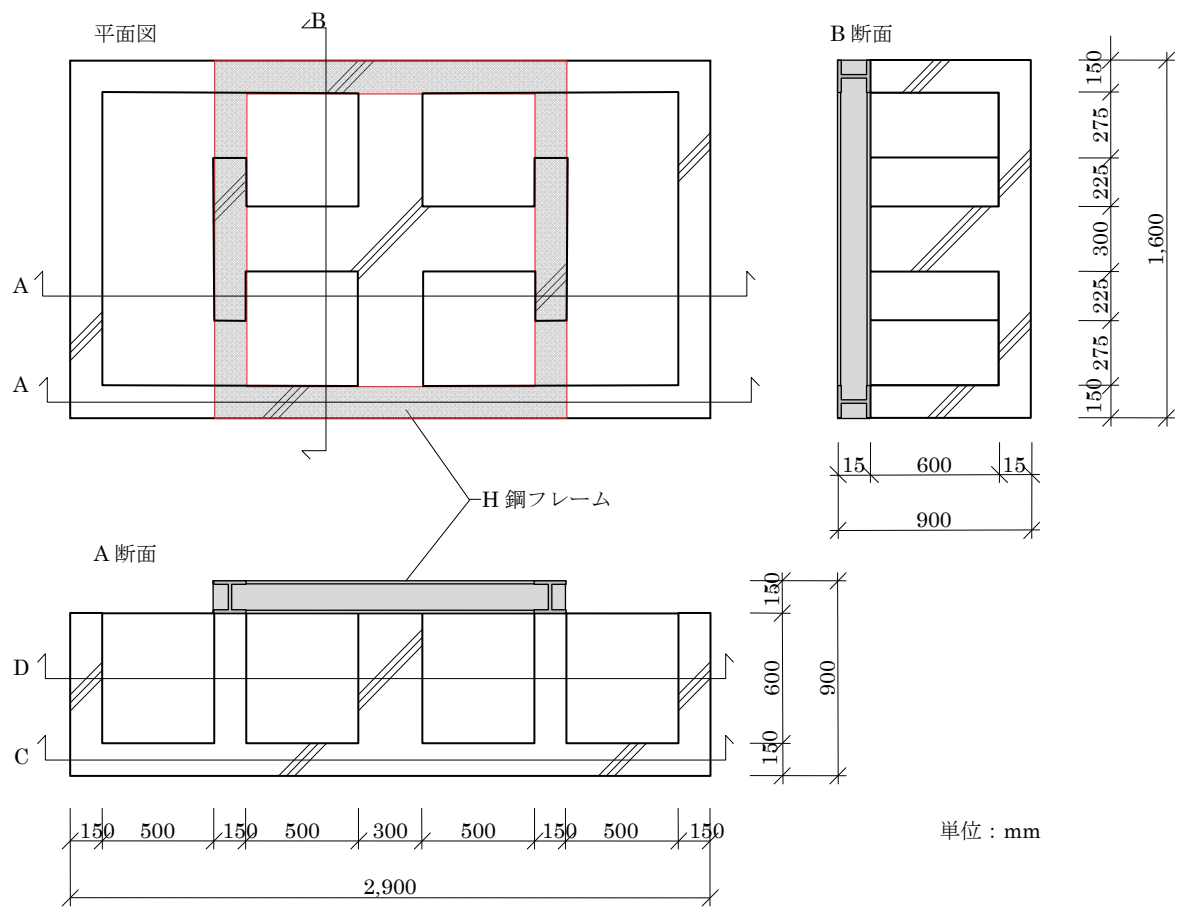
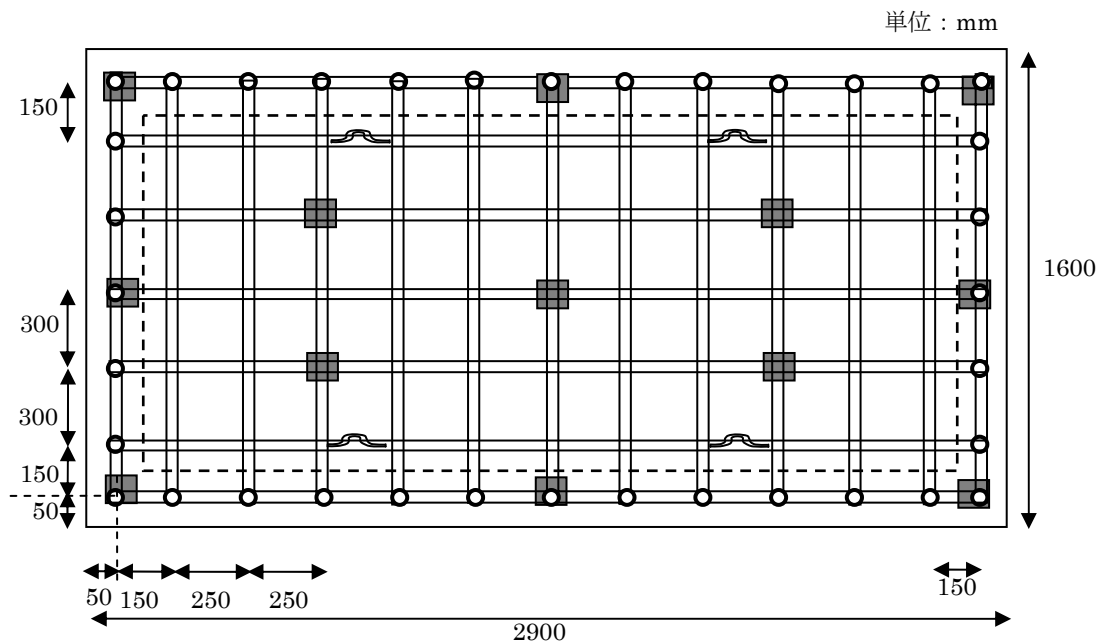


図 2.38 建築基礎



仕様 1, 2 共通 基礎配筋図（上面）

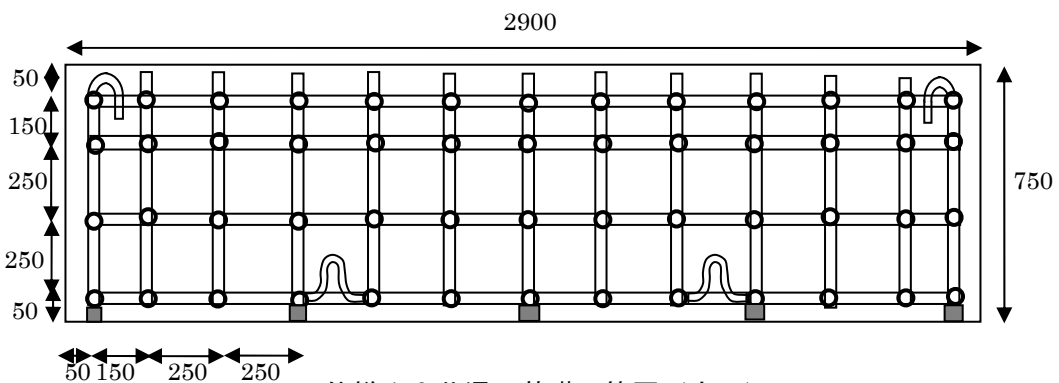


図 2.39 建築基礎配筋図

### ③ ガス配管

図2.40にガス配管図を示す。ガス配管は仕様1、仕様2ともに10系統とし、表2.8に示す通りの材質、径のものを使用した。ガス配管の地中側端部は閉塞し深さ1200mm（8系統）および1800mm（2系統）を地盤外周部に設けたアングルフレームに緊結し、地上部に吐出する配管は建築基礎に設けたスリーブに貫通させ、地上部の貫通部はモルタル、埋設部の貫通部には防水エポキシ樹脂にて埋め戻した。各配管基礎側終端部には圧力計（管内圧力測定のため）を取り付け、各配管系統にはエアを2kPaの圧力で充填し、バルブを閉じた状態

として加振した。

仕様1では、建築基礎を貫通する8系統に最大流量 $2.5\text{m}^3/\text{h}$ の膜式マイコンメータ（あるいは寸法及び重量が等しい工作物）を接続し、そのうち4系統は地中にて基礎貫通、4系統は配管をアングルフレームに留め付けた鉄板に固定した上で地上にて基礎貫通させるものとした。なお、ガス配管のエルボ、マイコンメータ、その他に関する詳細な仕様は「供給管・内管指針（設計編）」（一般社団法人 日本ガス協会編）<sup>5)</sup>によった。

表 2.8 配管仕様

仕様 1

	埋設深さ (mm)	埋設部	地上部	マイコンメータ 取り付け方法
配管(1)(2)	1200	25A PE 管	25A 亜鉛メッキ鋼管	自立式
配管(3)(4)	1200	15A 亜鉛メッキ鋼管	15A 亜鉛メッキ鋼管	自立式
配管(5)(6)	1200	25A PE 管	25A 亜鉛メッキ鋼管	壁に固定
配管(7)(8)	1200	15A 亜鉛メッキ鋼管	15A 亜鉛メッキ鋼管	壁に固定
配管(9)	1800	25A PE 管	-	-
配管(10)	1800	15A 亜鉛メッキ鋼管	-	-

仕様 2

	埋設深さ (mm)	埋設部	地上部
配管(1)(2)	1200	75A PE 管	80A 亜鉛メッキ鋼管
配管(3)(4)	1200	50A PE 管	50A 亜鉛メッキ鋼管
配管(5)(6)	1200	75A PE 管	80A 亜鉛メッキ鋼管
配管(7)(8)	1200	15A 亜鉛メッキ鋼管	15A 亜鉛メッキ鋼管
配管(9)	1800	25A 亜鉛メッキ鋼管	-
配管(10)	1800	50A 亜鉛メッキ鋼管	-

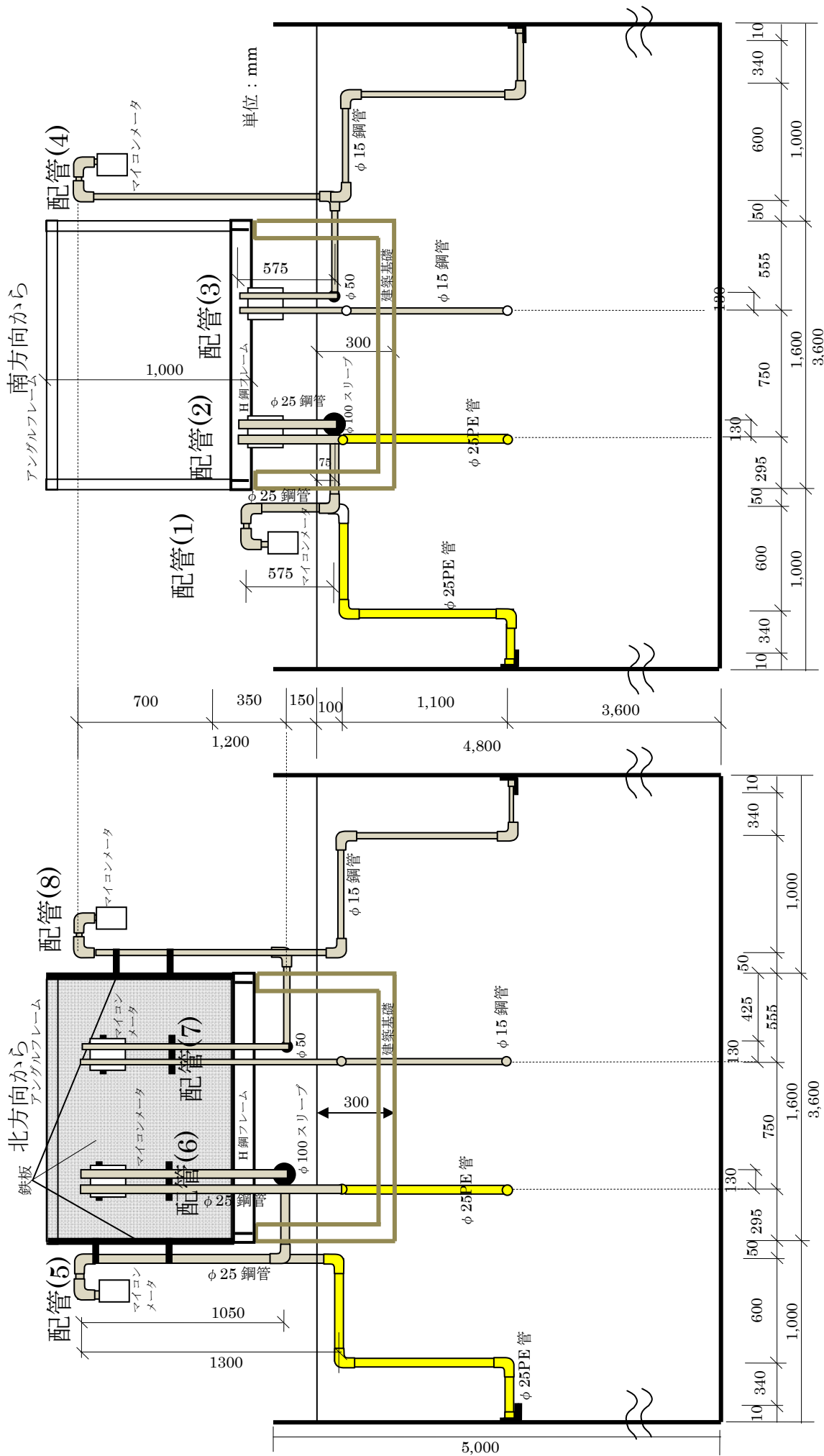


図 2.40(1) ガス配管図 仕様 1(1/6)

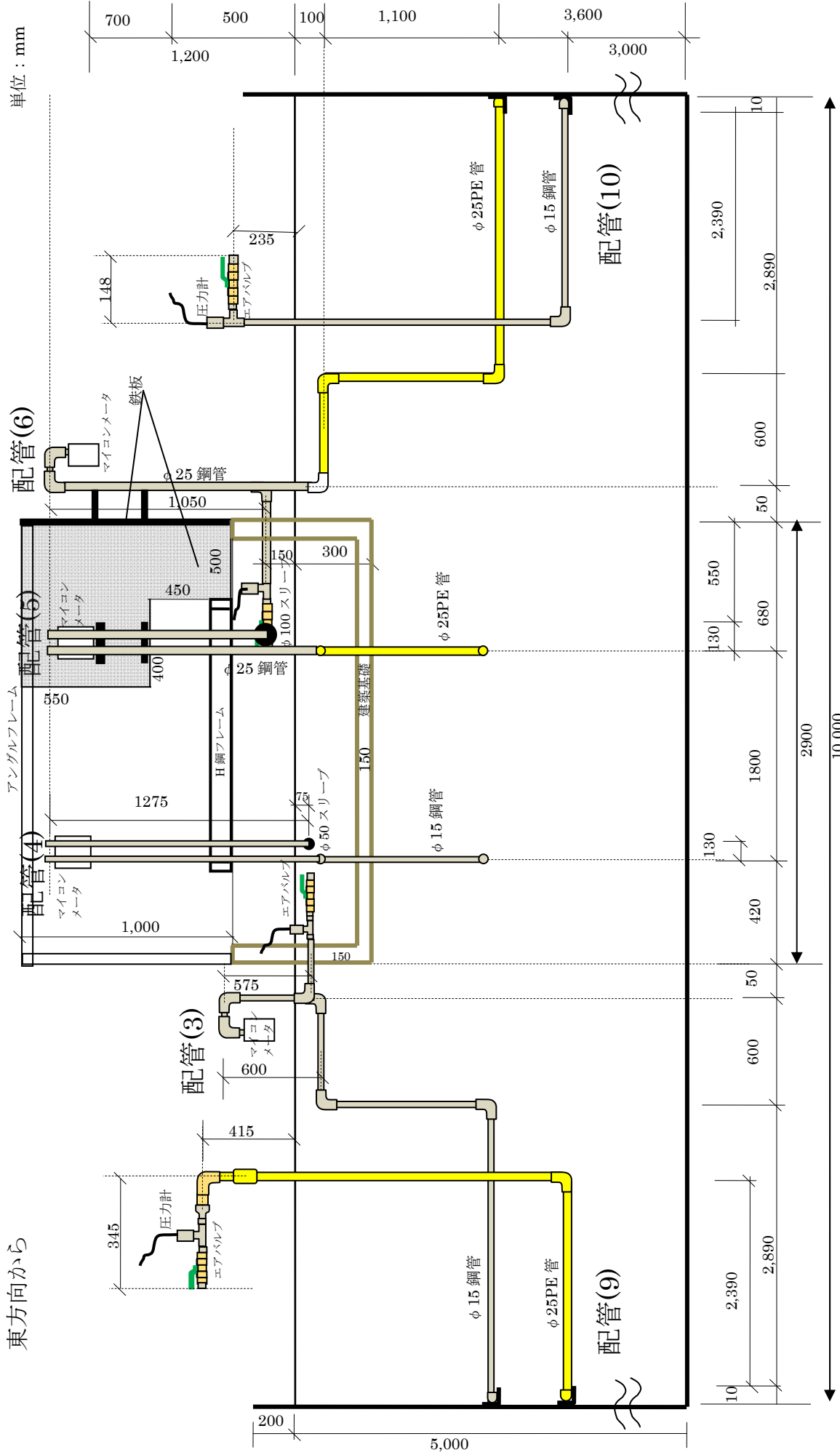


図 2.40(2) ガス配管図 仕様 1(2/6)

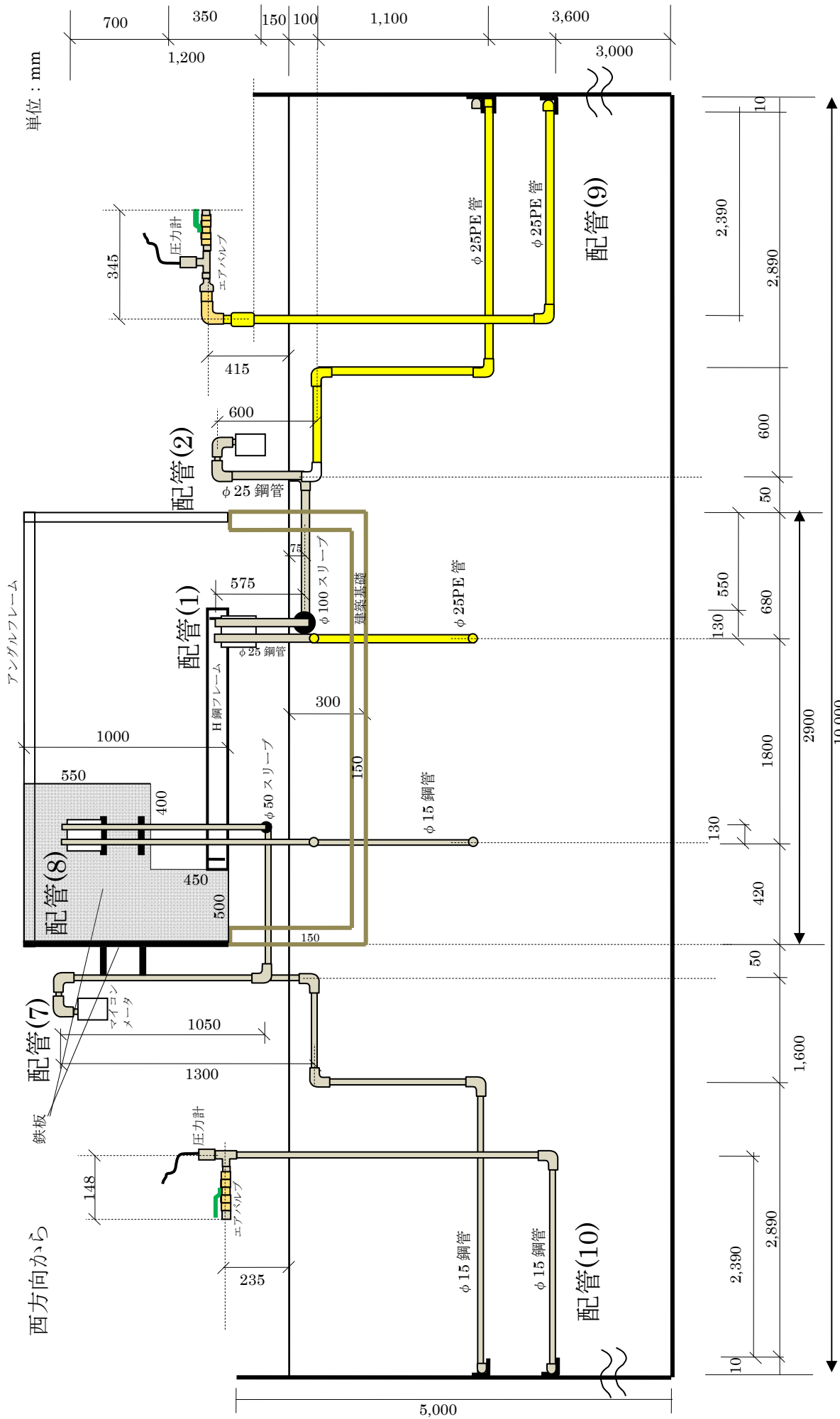


図 2.40 (3) ガス配管図 仕様 1 (3/6)

北方向から

南方向から

単位：mm

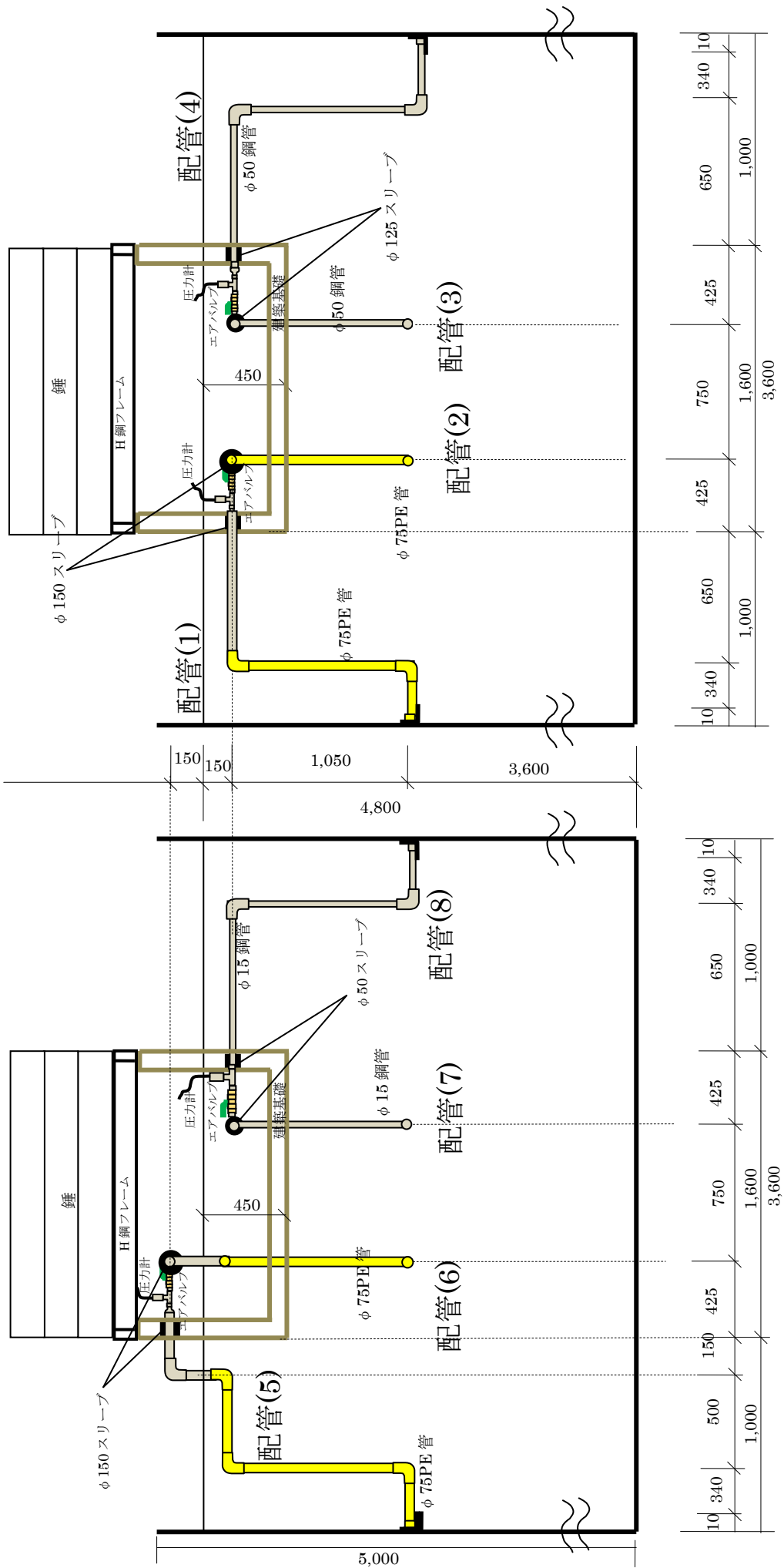


図 2.40(4) ガス配管図 仕様 2(4/6)

東方向から

単位：mm

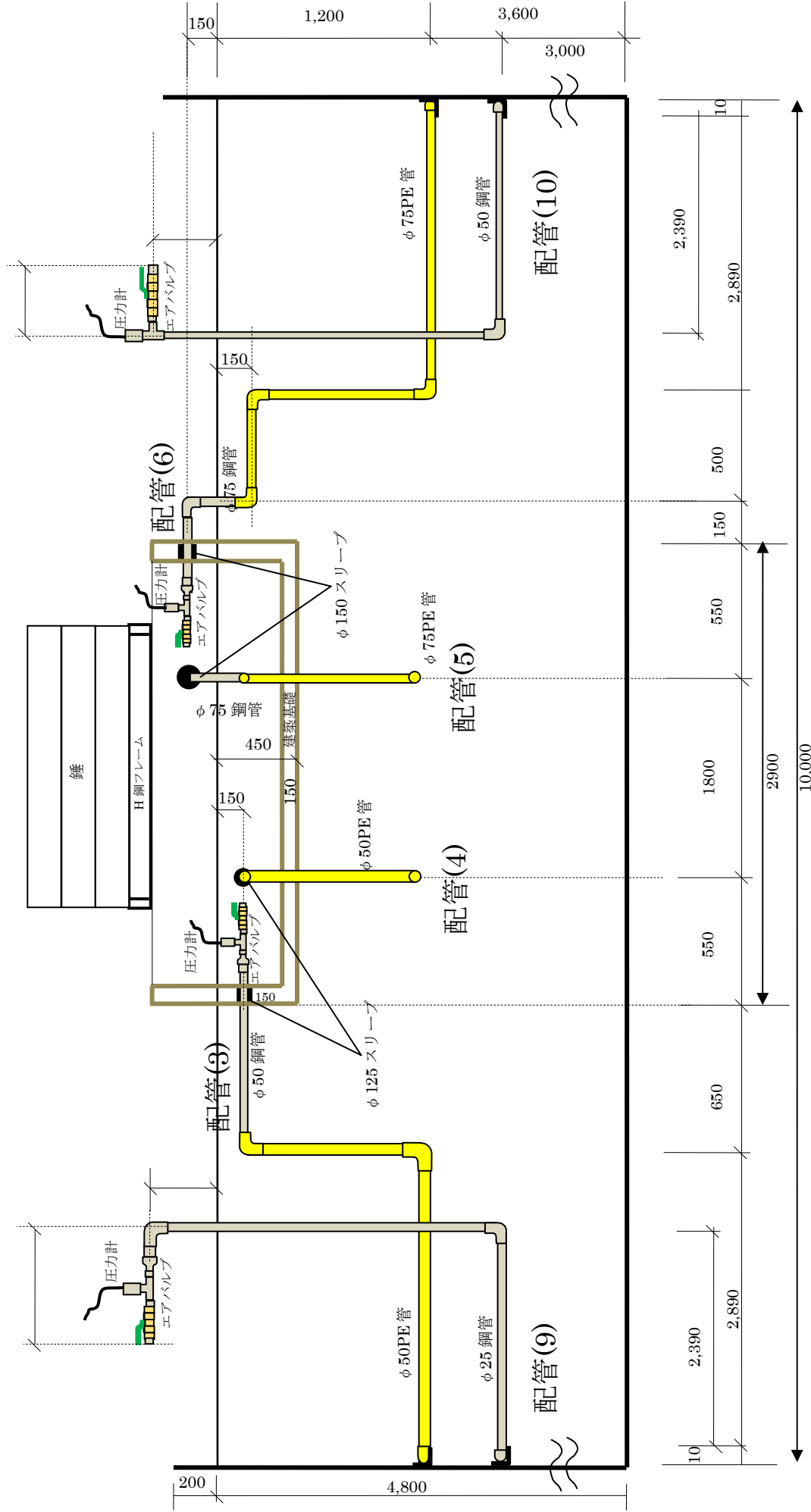


図 2.40 (5) ガス配管図 仕様 2 (5/6)



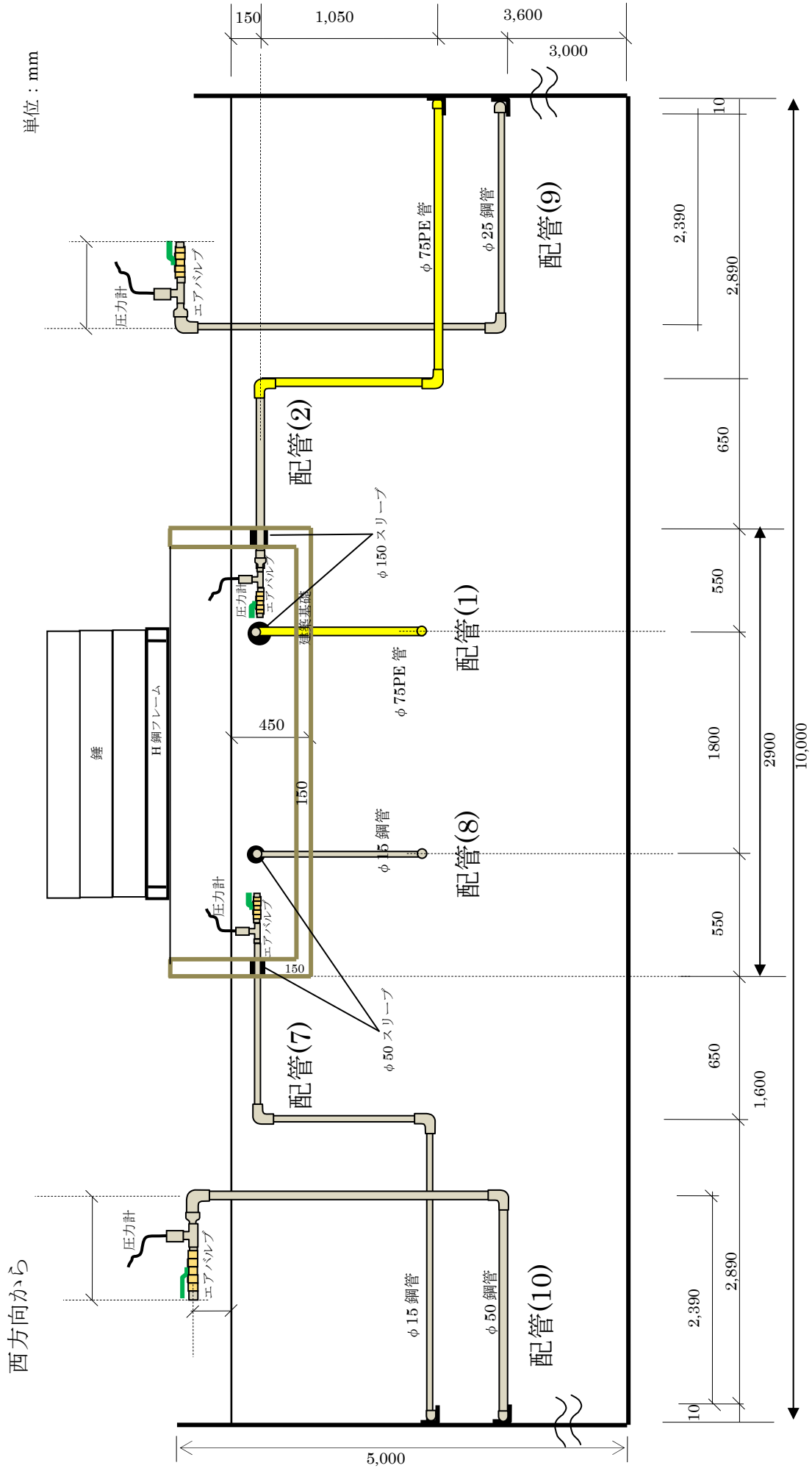


図 2.40 (6) ガス配管図 仕様 2 (6/6)

### (3) 計測方法

#### 1) 計測内容および計測項目

計測内容および計測項目を表 2.9 に示す。

表 2.9 計測内容および計測項目

計測内容	計測方法	数 量	目 的
各深度の応答加速度	加速度計	仕様 1 : 44 仕様 2 : 36	各深度（概ね 1 m 間隔）における応答加速度の大きさを確認する。 併せて、基礎・錘・ガス管・マイコンメーターに対する入力の大きさも確認する。 （土槽全体の挙動確認含む）
各深度の作用土圧	土圧計	7	各深度の作用土圧を確認する。 （鉛直土圧：5 水平土圧：2）
ガス管のひずみ量	ひずみゲージ	仕様 1 : 46 仕様 2 : 36	荷重によるガス管のひずみ量を直接測定する。
配管内圧力	圧力計	10	予め加圧した配管の密閉性の加振前後での変化を確認する。
加振テーブル・せん断土槽・ 地盤・基礎模型の変位量	糸巻変位計 レーザー変位計	6 8	加振時の作用力・地盤のせん断ひずみの大きさを確認する。

#### 2) 計測器の設置方法

##### I) 加速度計

地盤中：アクリル板と釘を用いて所定の深度・位置に固定した。

基礎・錘・ガス管・マイコンメーター：エポキシ接着剤で所定の位置に接着した。

##### II) 土圧計

所定の深度・位置に埋設した。E-6,E-7 については、エポキシ接着剤で基礎側面の所定の位置に接着した。

##### III) ひずみゲージ

亜鉛メッキ鋼管：所定の貼付位置をグラインダー・サンドペーパーで研磨しアセトンで埃・油等を除去した後に、CN 接着剤で接着し、VM テープ・ビニルテープで養生した。

PE 管：所定の貼付け位置を細目のサンドペーパーで研磨し、アセトンで埃・油等を除去した後に、CN-Y 接着剤で接着し、VM テープ・ビニルテープで養生した。

#### IV) 圧力計

ガス管に接続をした T 字に、防水テープで外径調節したセンサーを挿入し、接合部にエポキシ接着剤を塗布して密閉した。

#### 3) 計測器の設置位置

計測器の設置位置を図 2.41 に示す。

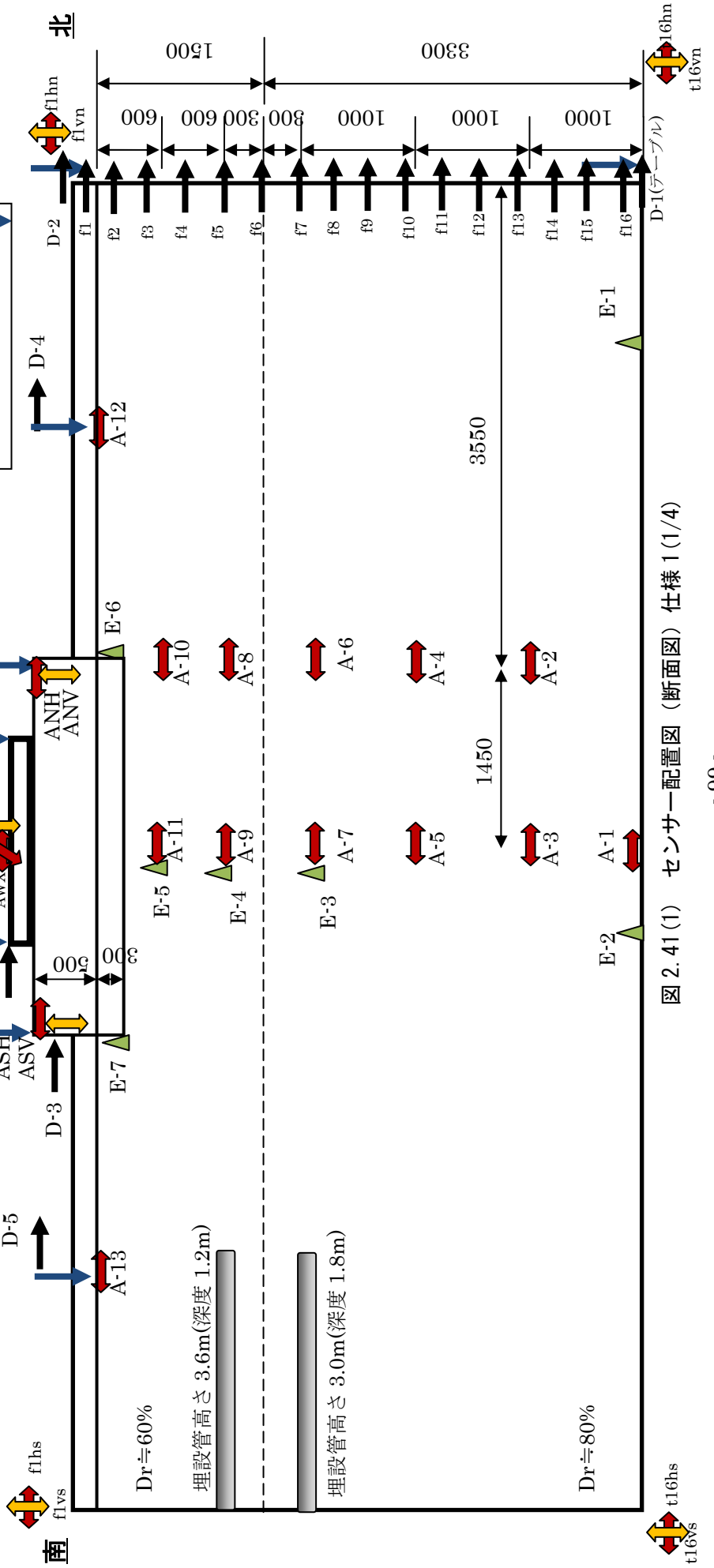
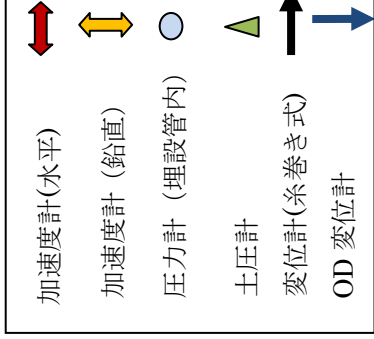
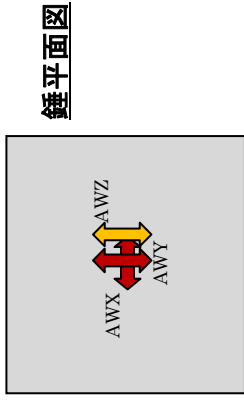


図 2.41 (1) センサー配置図 (断面図) 仕様 1 (1/4)

- 加速度計(水平)
- 加速度計(鉛直)
- 圧力計(埋設管内)
- 土圧計
- 変位計(糸巻き式)
- OD 変位計

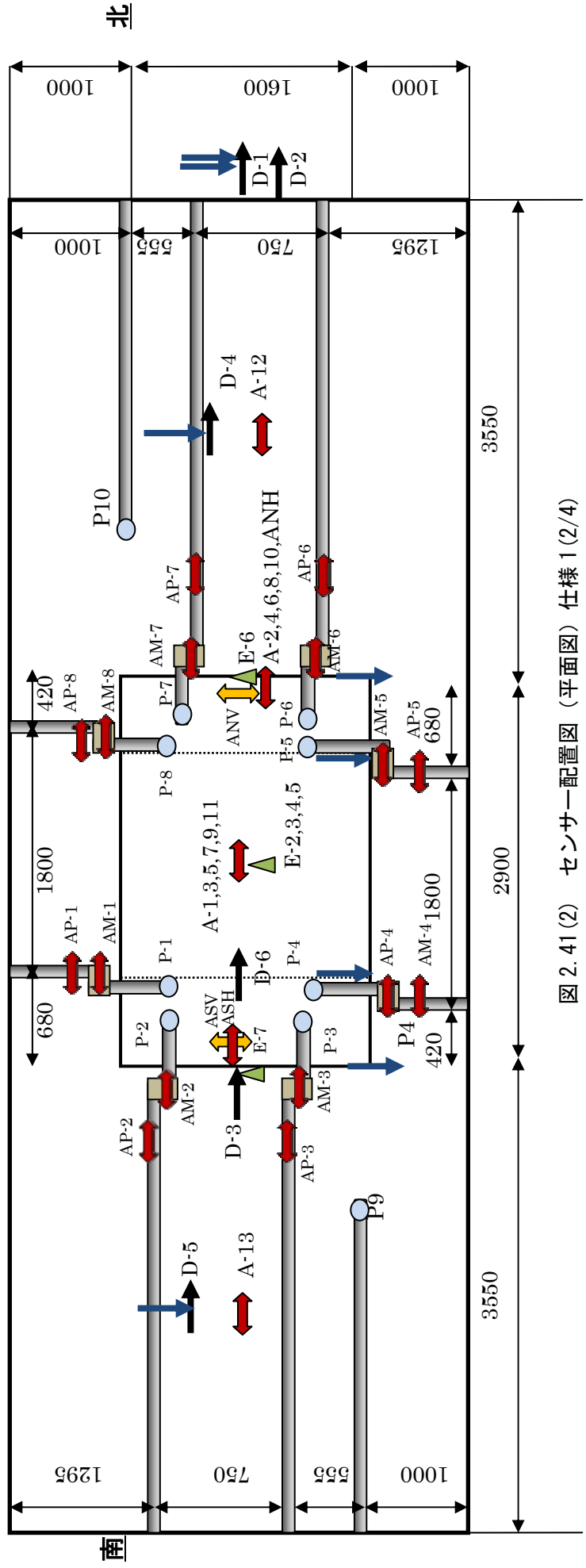


図 2.41(2) センサー配置図 (平面図) 仕様 1(2/4)

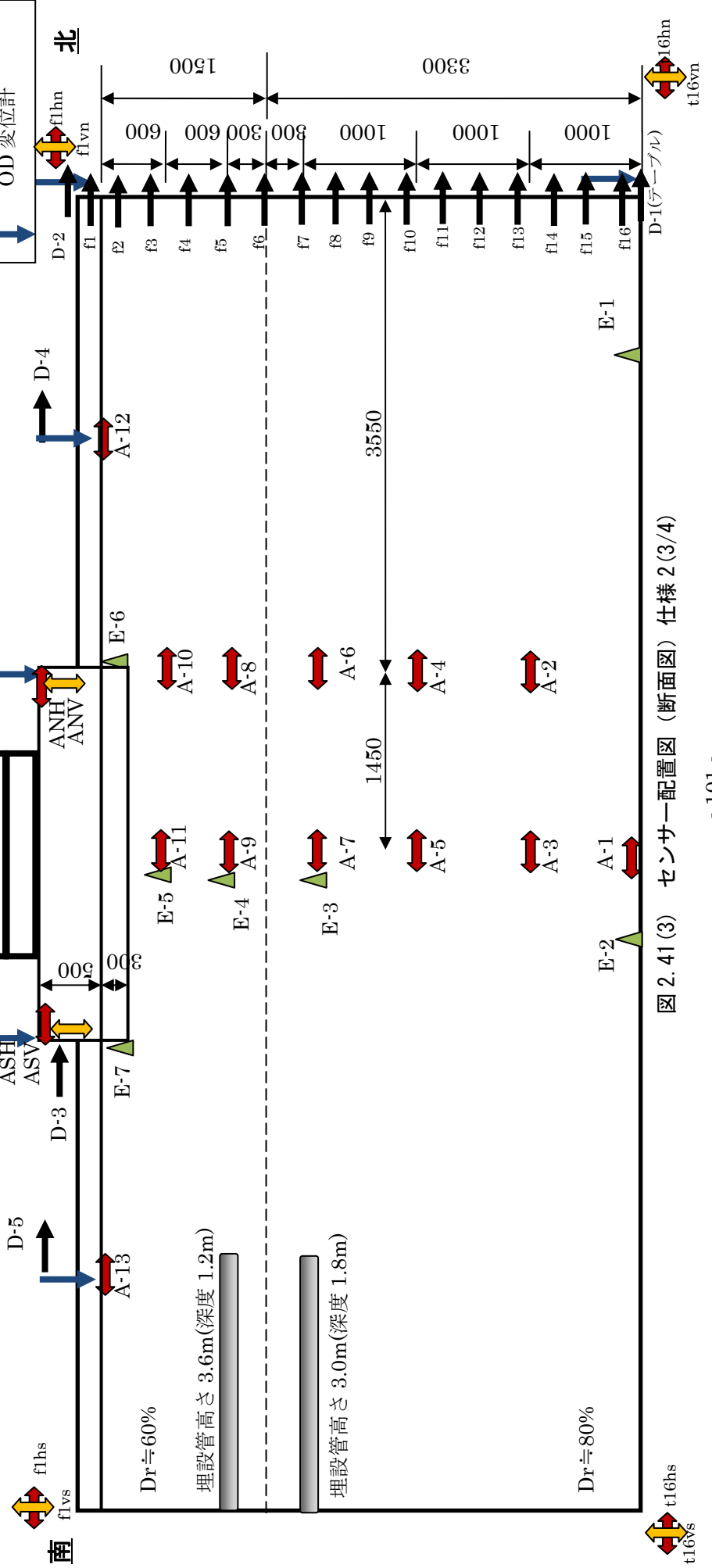
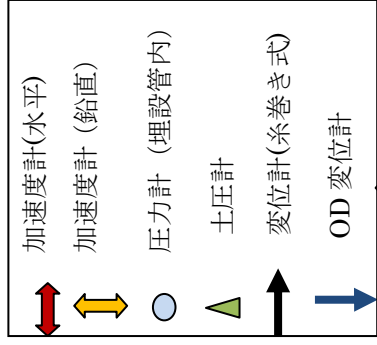
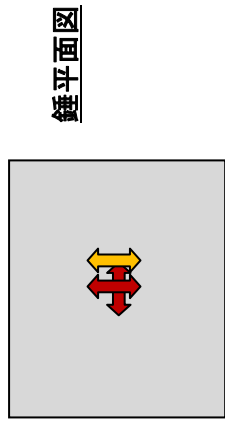


図 2.41 (3) センサー配置図 (断面図) 仕様 2 (3/4)

- 加速度計(水平)
- 圧力計(埋設管内)
- 土圧計
- 変位計(糸巻き式)
- OD 変位計

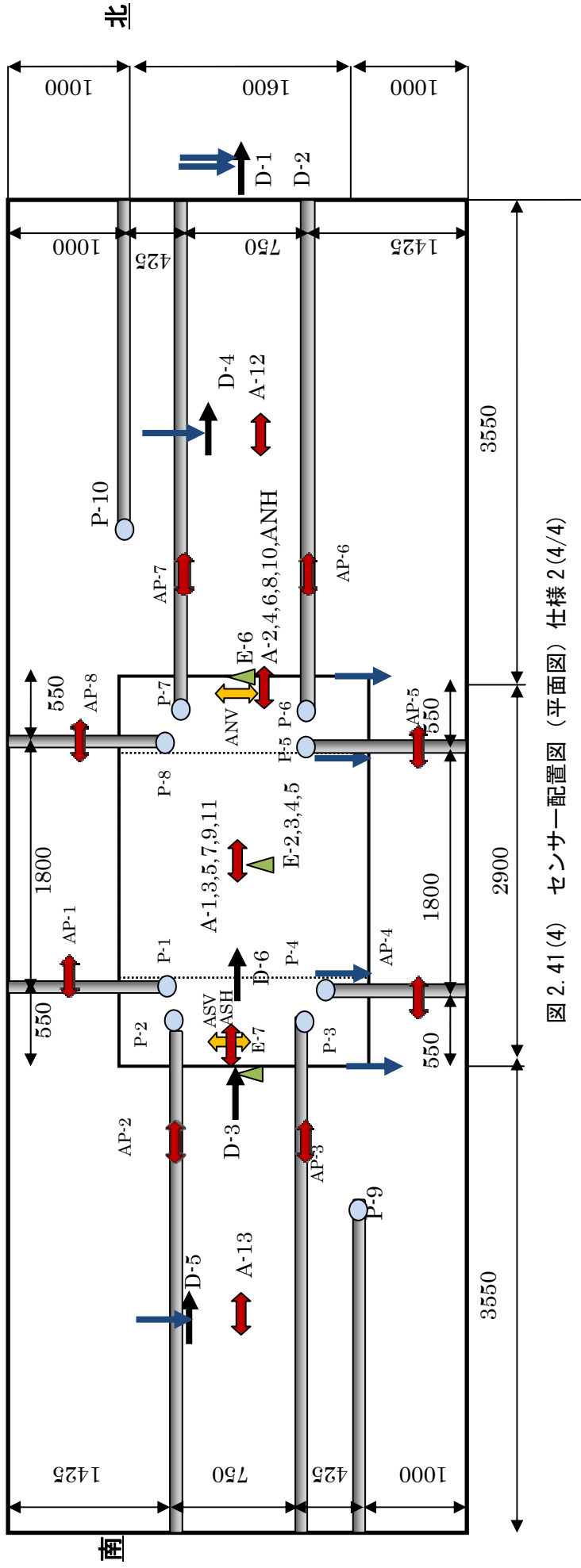


図 2.41 (4) センサー配置図 (平面図) 仕様 2 (4/4)

#### (4) 加振条件

加振条件を表 2.10～2.11 に示す。

加振は、スイープ加振・正弦波（ステップ加振）および地震波加振（エルセントロ NS 波および神戸 NS 波）を行った。スイープ加振は、試験体の共振振動数を求めるため、10gal 程度の振幅一定の正弦波を 0.1Hz～10Hz に変化させて基盤に入力し、応答加速度を確認した。また、ステップ加振は、入力加速度振幅の大きさを増加させる段階加振とし、入力波形は正弦波 2Hz とした。

表 2.10 加振条件（仕様 1）

回数		周波数	入力加速度
1	スイープ加振	0.1～10Hz	10gal
2	正弦波	2Hz	75gal
3	エルセントロ NS 波	-	360gal
4	Kobe NS 波	-	400gal
5	正弦波	2Hz	150gal
6	スイープ 40	0.1～10Hz	10gal
7	スイープ 40	0.1～10Hz	20gal
8	スイープ 40	0.1～10Hz	30gal
9	スイープ 40	0.1～10Hz	40gal
10	エルセントロ NS 波	-	360gal

表 2.11 加振条件（仕様 2）

回数	内容	周波数	入力加速度
1	スイープ加振	0.1～10Hz	10gal
2	正弦波	2Hz	75gal
3	エルセントロ NS 波	-	360gal
4	Kobe NS 波	-	400gal
5	正弦波 2Hz	2Hz	150gal
6	スイープ加振	0.1～10Hz	10gal
7	スイープ加振	0.1～10Hz	40gal



## (5) 実験結果と考察

実験結果を図 2.42～図 2.45 に示す。

→ピーク値拡大

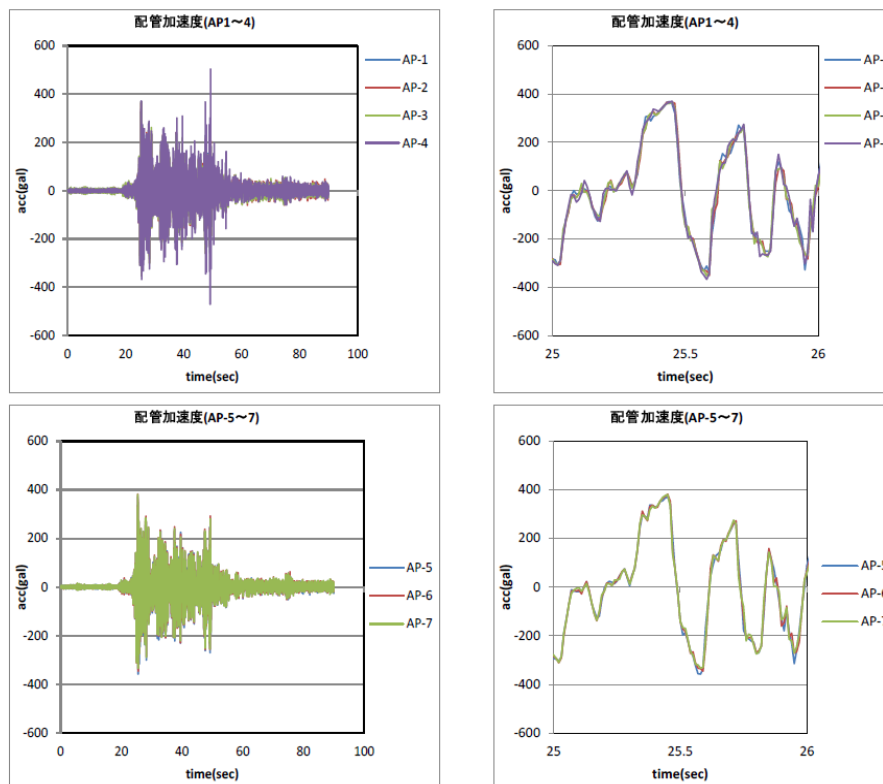


図 2.42 仕様 1 基礎近傍配管加速度 (エルセントロ NS 波)

※ノイズのため AP-8 は除外

→ピーク値拡大

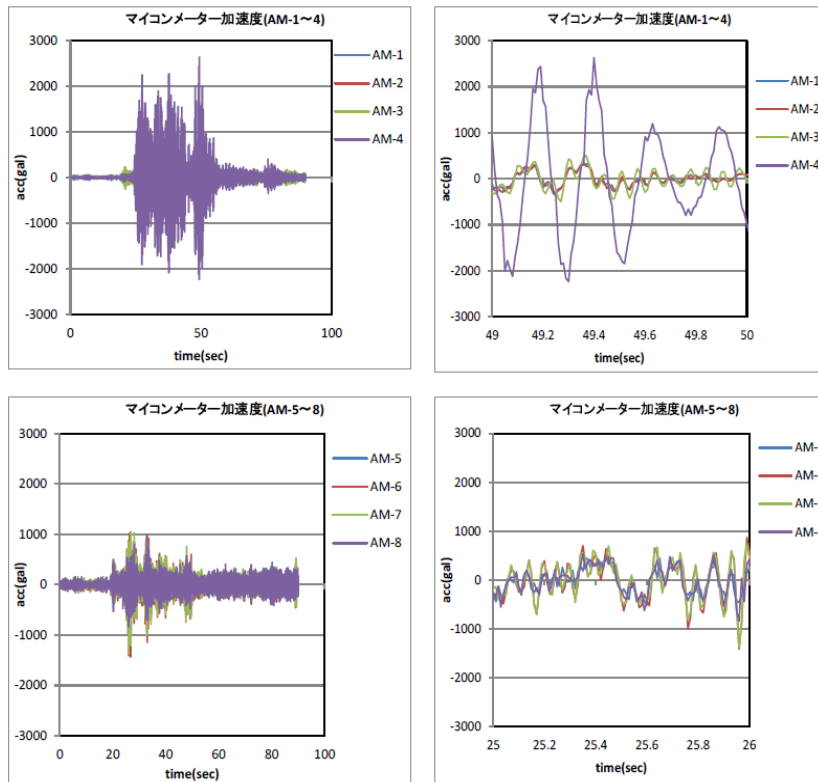


図 2.43 仕様 1 マイコンメータ加速度 (エルセントロ NS 波)

→ピーク値拡大

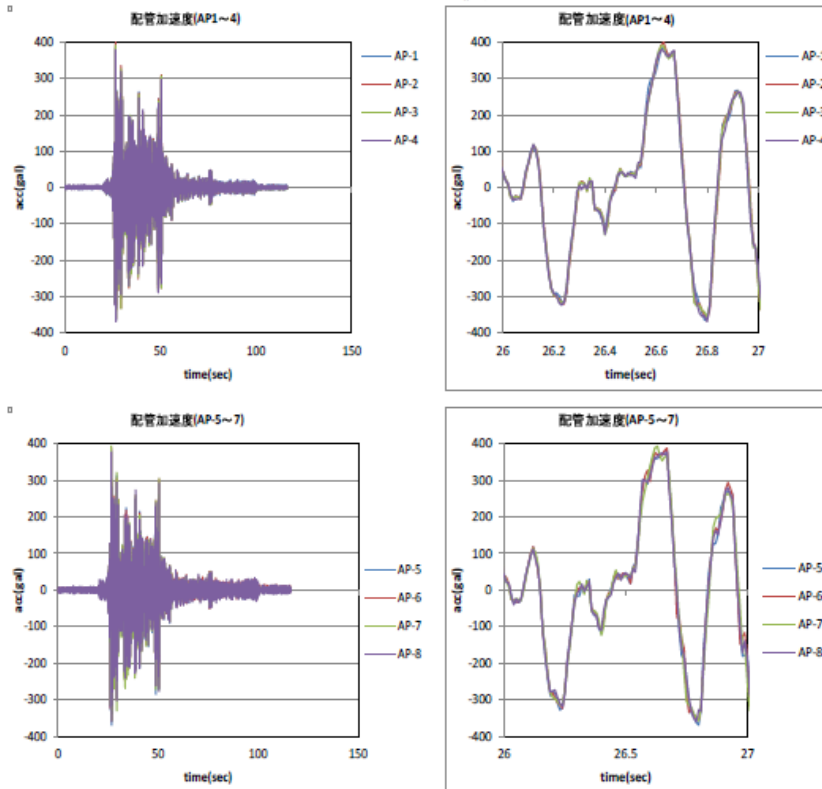


図 2.44 仕様 2 基礎近傍配管加速度 (エルセントロ NS 波)

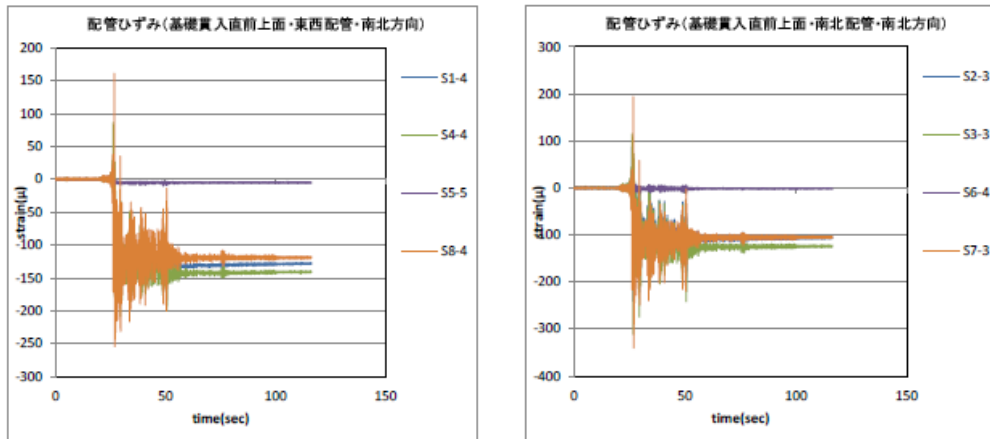


図 2.45 仕様 2 基礎近傍配管歪み (エルセントロ NS 波)

## (6) 考察

本実験における加振結果に対する考察は以下のとおりである。

### 1) 試験体の共振

- ①仕様1 地盤の共振振動数：概ね 6.7Hz 程度  
錘の共振振動数：概ね 6.6Hz 程度
- ②仕様2 地盤の共振振動数：概ね 6.7Hz 程度  
錘の共振振動数：概ね 6.5Hz 程度

### 2) 地盤・基礎・錘の加振方向応答加速度の特性

土槽底盤～地盤中央～基礎・錘の応答加速度の波形には位相がみられ、また、応答加速度の大きさは増加傾向にある。なお、基礎・錘との関係において位相はみられなかった。

(錘の加振直角方向：横、東西方向の応答加速度は大きな挙動がみられず、加振方向に対して横ずれ等の現象は少なかったと考えられる)

### 3) 基礎の鉛直方向応答加速度の特性

基礎の加振方向(南北側)両端に設置された鉛直方向応答加速度の波形から位相が 180° 逆転した波形がみられ、これは、基礎が加振中にロッキングをおこしていたと推測される。

### 4) 配管の加振方向応答加速度の特性

各配管の応答加速度の波形には位相がみられず、配管の材質・径に関係なく配管の挙動に顕著な傾向はみられなかった。

### 5) マイコンメータの加振方向応答加速度の特性 (仕様1のみ)

自立式マイコンメータにおいて、地表からの設置位置が高いほど応答加速度が大きく顕著な傾向がみられた。壁固定式マイコンメータにおいて、加振方向に設置したマイコンメータの応答加速度が大きくみられ設置方法の違いにより顕著な傾向がみられた。

### 6) 地盤の鉛直土圧および基礎の水平土圧の応答特性

地盤の鉛直土圧は深度方向に対して増加傾向にあり、深度依存の影響がみられた。また、仕様1と仕様2では上載荷重が違い、上載荷重の大きい仕様2で特に顕著な傾向がみられた。

基礎の水平土圧は、基礎の加振方向(南北側)両端に設置された水平土圧に大きな差異はなく、加振により基礎に働く土圧として大きくなかった。また、仕様1と仕様2では上載荷重が違い、上載荷重の大きい仕様2のほうが大きな土圧となった。

#### 7) 配管に貼付したひずみ量の応答特性

配管の材質では、鋼管より PE 管、配管の径では、より小さい径の配管ほど発生するひずみは大きくなった。地盤の剛性の違いが配管に与える影響度合いについて、顕著な傾向はみられなかった。

#### 8) 配管内圧力の応答特性

10 系統全ての配管内圧力について、圧力の大きさはセンサーの許容誤差範囲内にあり加振中に配管内のエアが漏れていないことがわかる。よって、配管に亀裂等が生じなかったと推測される。

#### 9) レーザー変位計による試験体の応答特性

加振方向に対して位相・変化量ともに大きな差異はなく、一体に挙動していたと思われる。鉛直方向に対しては、入力波の最大値付近で概ね 1mm 程度の沈下が見られた。

## 2.2.7 室内敷設配管の火災加熱による延焼防止性能

### (1) 目的

室内ガス配管が火災時に加熱された場合を想定し、配管の損傷や継ぎ手部分のガス漏洩等により、火災区画以外で配管が損傷してガスが漏洩し、蓄積後に着火して爆発して、延焼しないよう配管への要求事項を検討することを目的として、室内敷設配管の火災加熱実験を実施した。

### (2) 実験概要

本実験では、独立行政法人建築研究所防耐火実験棟の水平炉内にガス配管を貫通させた区画を作成し、区画内を加熱することにより区画外での配管継ぎ手の損傷を調査することとした。

#### 1) 試験区画

試験区画として、100mm厚のALCパネルにより、図2.46～48に示す区画1体を製作した。試験区画内側のALCパネルには25mm厚のセラミックファイバブランケットを貼り付け、ALCパネルの取り合い部は加熱時の炎、熱、その他のガスが流出しないよう耐火ボンド等で嚴重にシールした。この区画には、次に示すガス配管を貫通させるためのスリーブ及び配管支持材を通す孔（以下、「スリーブ等」という。）を設けている。

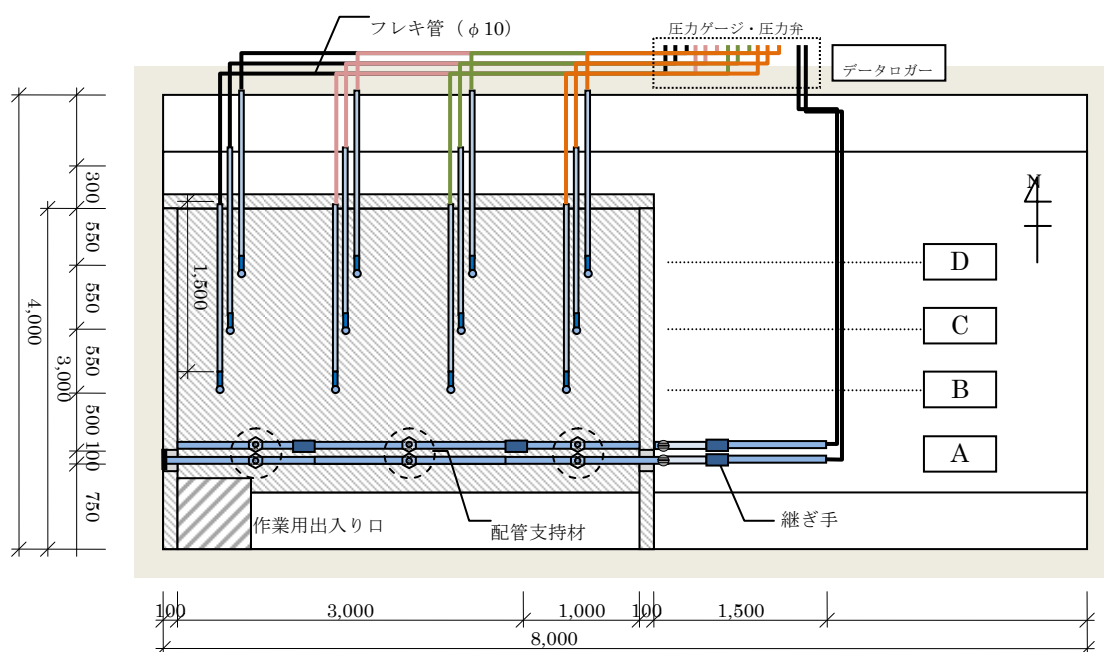


図 2.46 試験区画および配管平面図

単位：mm

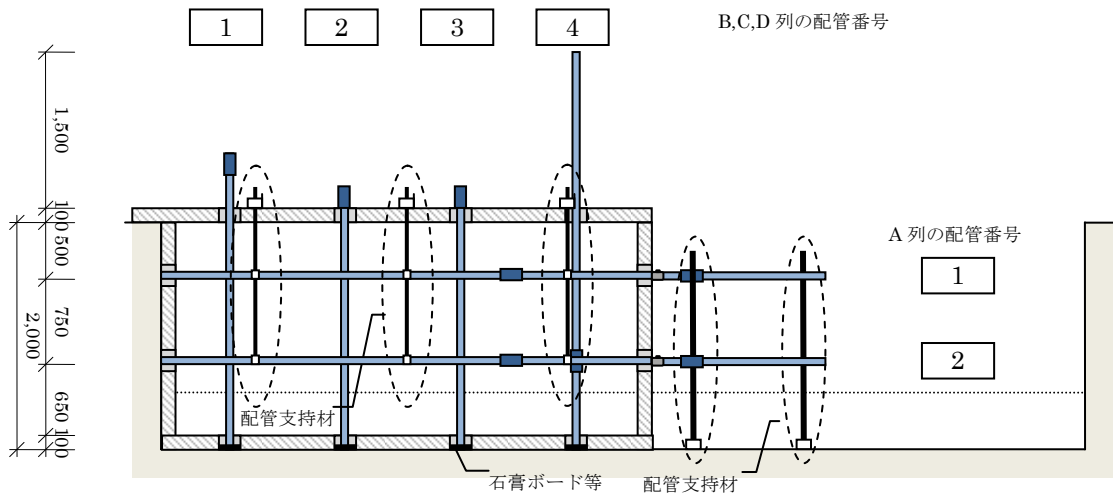


図 2.47 長手方向断面図

単位：mm

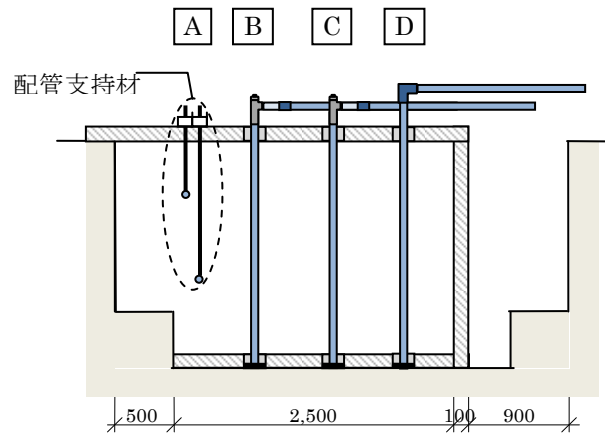


図 2.48 短手方向断面図

単位：mm

## 2) ガス配管の設置

ガス配管は表2.12に示す径、長さ及び材質のものを試験区画に取り付けた。ガス配管の試験区画貫通部は防火モルタルで埋め戻し、その他の仕様は一般社団法人日本ガス協会発行のガス配管設置基準に従うものとした。各配管はたわみ防止のために、金具等で支持した。

ガス配管表面には図2.49に示すようにガラス被覆されたK型熱電対（ $\phi 0.65$ ）を設置し、配管の表面温度と継ぎ手部の損傷状況を比較することとした。

炉外のガス配管端部からフレキ鋼管（ $\phi 10\text{mm}$ ）を接続し、フレキ鋼管端部に圧力ゲージを設置することで加熱時の気密性維持状態を確認するとともに、過度な管内圧力上昇を防止するため手動で管内圧力を低減可能な弁を設けた。

表2.12 配管仕様

配管 番号	仕様			熱電対（計35点）
	配管材料	管径	区画外配管仕様	
A-1	亜鉛メッキ鋼管	25A	ねじガス栓 +強化ゴムホース	3点（ガス栓前後、強化ゴムホース端部）
A-2	亜鉛メッキ鋼管	25A	可とう管ガス栓	3点（ガス栓前後、可とう管端部）
B-1	亜鉛メッキ鋼管	25A	メータ接続キット (L=250mm) +マイコンメータ	2点（区画貫通部炉外表面、メータ接続キット 炉側）
B-2	亜鉛メッキ鋼管	25A	ねじガス栓 +強化ゴムホース	3点（ガス栓前後、強化ゴムホース端部）
B-3	亜鉛メッキ鋼管	25A	可とう管ガス栓	3点（ガス栓前後、可とう管端部）
B-4	亜鉛メッキ鋼管	25A	継ぎ手無し	4点（下図B-4仕様参照）
C-1	亜鉛メッキ鋼管	25A	メータ接続キット (L=500mm) +マイコンメータ	2点（区画貫通部炉外表面、メータ接続キット 炉側）
C-2	亜鉛メッキ鋼管	50A	分岐ガス栓	2点（ガス栓前後）
C-3	亜鉛メッキ鋼管	15A	ねじガス栓 +強化ゴムホース	3点（ガス栓前後、強化ゴムホース端部）
C-4	プラスチック被 覆鋼管	25A	ねじガス栓	2点（ガス栓前後）
D-1	フレキ管	10A	ねじガス栓+貫通 部さや管	2点（ガス栓前後）
D-2	フレキ管	10A	ねじガス栓	2点（ガス栓前後）
D-3	フレキ管	10A	台座付きエルボ +強化ゴムホース	2点（ガス栓前後）
D-4	フレキ管	20A	ねじガス栓	2点（ガス栓前後）



図2.46及び図2.48に示すA～D列の配管の設置位置についての詳細は図2.49のとおりである。スリーブ径は50Aの管径に対しては100mm、その他の管径のものに対しては65mmとした。詳細は一般社団法人日本ガス協会発行のガス配管設置基準に従うものとした。

また、写真 2.1 に加熱前の試験体の様子を示す。

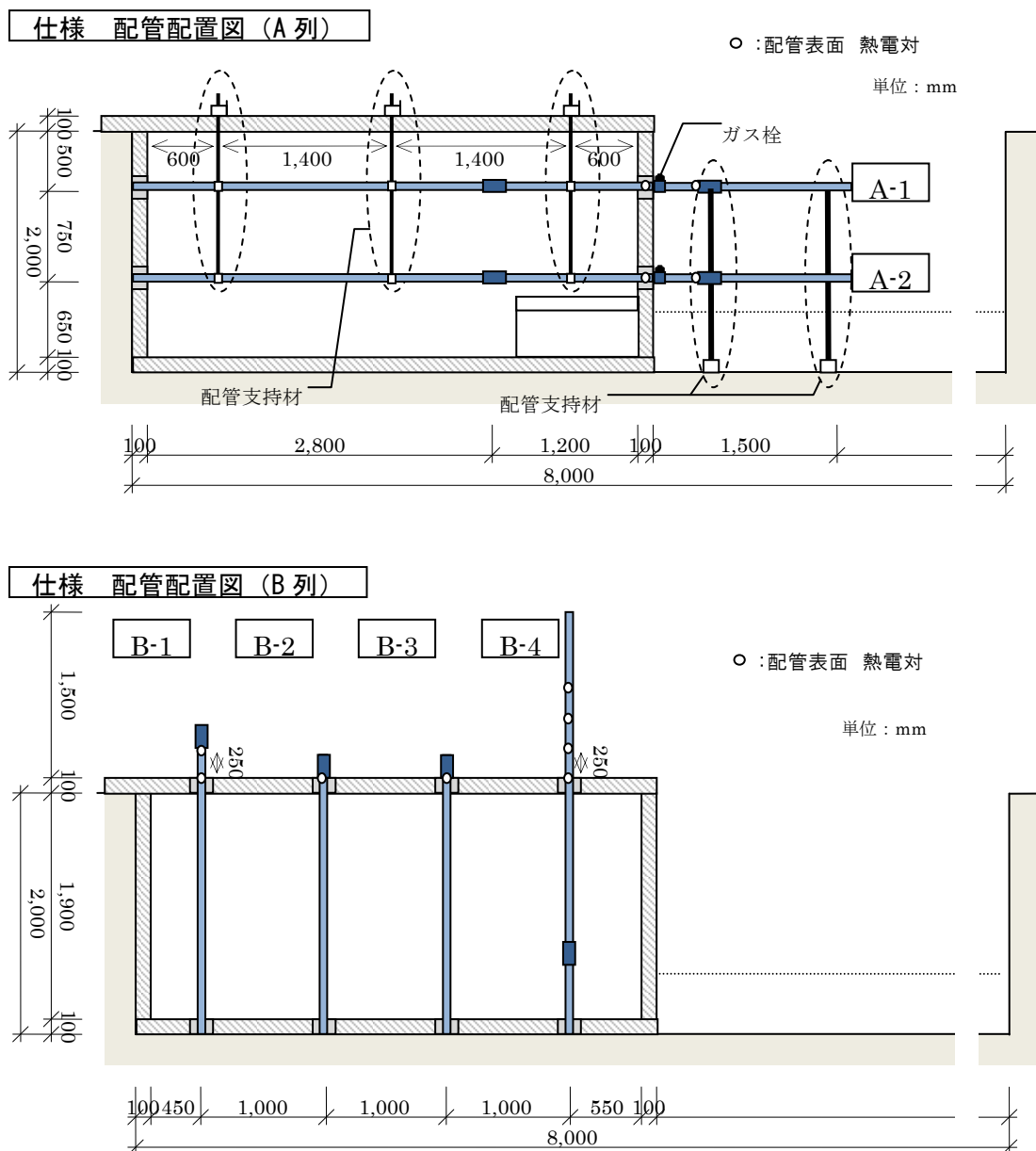
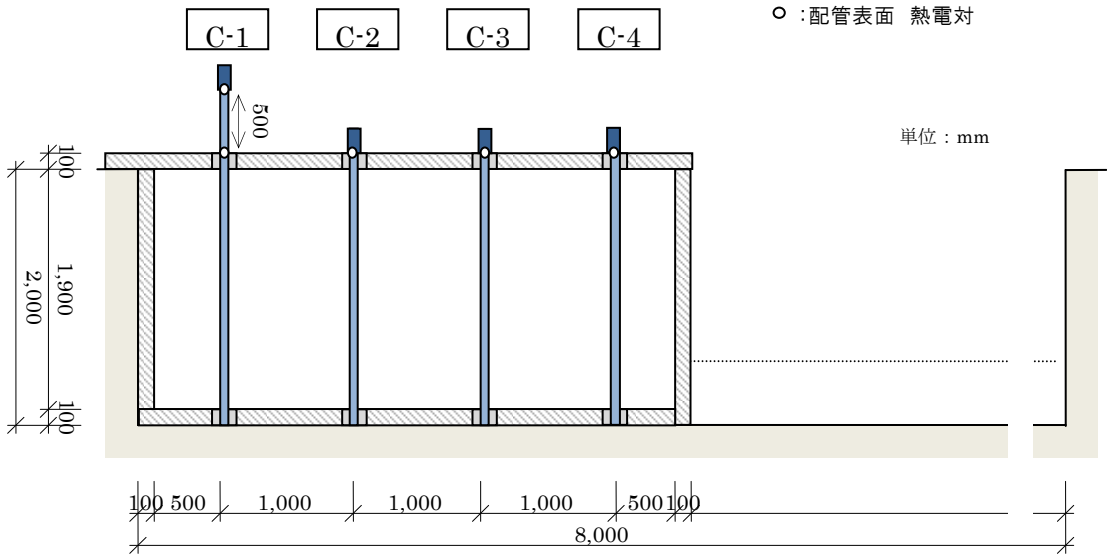


図2.49(1) 配管配置断面図(1/2)

仕様 配管配置図 (C列)



仕様 配管配置図 (D列)

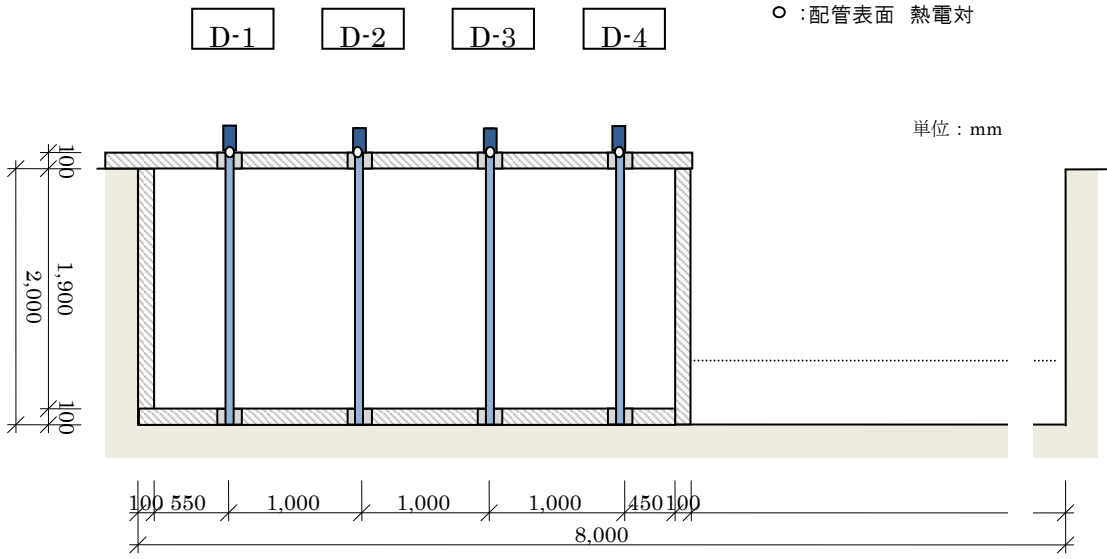


図2.49(2) 配管配置断面図(2/2)



試験体外観



区画外でのガス栓



試験体内部



管内圧力ゲージ

写真2.1 試験体

### 3) 測定項目

本実験では、配管継ぎ手部が区画内からの熱伝導により加熱されることで、シール材が融解・燃焼し、配管内の気体が漏洩するほどの隙間・ピンホールが形成されるかを確認するため、

- ・ 配管表面温度
- ・ 配管内圧力
- ・ 継ぎ手部の目視観察

を測定項目とした。

配管表面温度のみでは、配管からの漏洩を調査することはできないが、配管内圧力が上昇しないあるいは低下する場合には何らかの理由で配管から空気が漏れていることを示しており、配管表面温度並びに実験終了後の継ぎ手部の状況とを比較することで、配管の熱による亀裂、隙間の発生を推定するものとした。また、継ぎ手部の損傷状況は実験中の状態変化を目視により観察することともに、実験終了後継ぎ手部を詳細に観察・分解することで配管の損傷の程度を把握することとした。

配管内圧力は5分ごとに圧力を記録するとともに、ゲージ圧が10kPaに達した時点で圧力弁を開放し、0kPaに圧力を下げた時刻を記録した。

#### 4) 実験条件

実験では、試験炉での加熱をISO834 (Fire-resistance tests -- Elements of building construction) に示される標準加熱 (以下、ISO834 標準加熱という) となるよう制御し、加熱時間は1時間とした。

### (3) 実験結果

#### 1) 温度

図 2.50 に配管表面温度の測定結果を示す。各図には炉内温度及び ISO834 標準加熱の温度も併せて示す。

全ての温度測定点において最高温度を示したのは C-2 配管の区画貫通部の約 200℃であった。継ぎ手部の温度は高いものでも 100℃に達しておらず、継ぎ手部のシール材が熔融する温度には至らなかった。

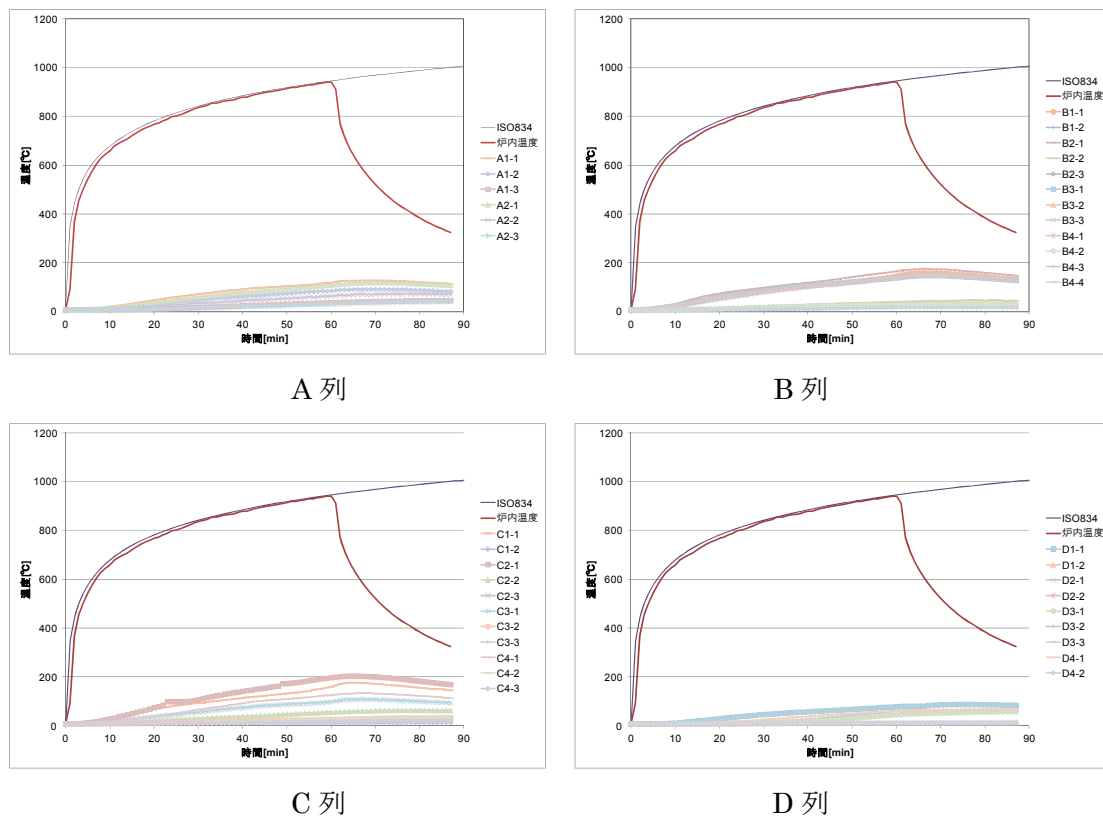


図 2.50 配管表面温度

## 2) 配管内圧力

図 2.51 に配管内圧力の測定結果を示す。

A,B,C 列は点火直後から約 30 分は圧力が頻繁に上下しており、これは加熱直後の配管内の空気が急激に膨張したためであり、30 分以降も圧力の上昇速度は小さくなるものの定期的に圧力弁を開放する 10kPa に到達している。

一方、D 列は加熱直後に 1, 2 度 10kPa に到達したものの、以降は 40 分まで緩慢な圧力上昇となっている。この後、40 分で D-4 配管が、55~60 分で D-1 配管及び D-2 配管が複数回圧力が急激に上昇する現象がみられた。このため、配管に何らかの亀裂や損傷が発生したと推測される。しかし、配管温度の上昇は小さく、実験後の観察でも区画外での損傷は見受けられなかったことから、区画内で配管が損傷したと推測される。この一因として、D 列はフレキ管であるため、区画内側の端部を既製のキャップにより封していたことが考えられる。このキャップが ALC 厚よりも長いため、モルタルにより周囲を固定していたが、比較的熱の影響を受けやすく、シール材が損傷したものと推測される。なお、シール材が熱により変質していることは実験後の観察でも確かめられている。

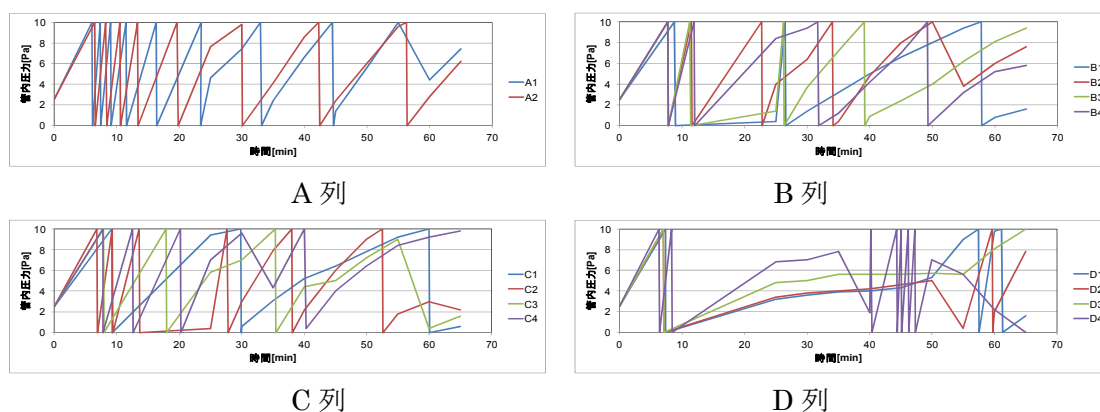


図 2.51 配管内圧力

### 3) 目視観察

実験中は配管の変化や異音は観察できず、写真 2.2 に示すように配管が膨張することにより試験区画貫通部において埋め戻しに使用したモルタルが区画外側へずれるという現象がみられた。これは試験炉の都合上、配管長さが限定されること、配管他端が壁又は床により固定されていることから発生するものであり、通常の建築空間であれば配管長はより長い場合火災区画内で座屈、変形することにより埋め戻し部の突出は起こりにくくなると考えられる。

実験後の配管については、鋼管は試験区画内でも大きな座屈等は見受けられず、目視で確認できる損傷もなかった。フレキ管は被覆材が燃え落ち、座屈しているものの配管そのものに損傷はなかった。前述のように、配管端部のキャップに多少の損傷は認められたものの、これは通常の建築空間では使用されないものであり、建築空間内にフレキ管を使用することに対して問題になるとは言えない。また、フレキ管の区画内外での状態は写真にも示すとおり区画貫通部を境に被覆材の残存の有無が明確に別れており、これからも区画貫通部での熱伝導の影響は小さいことがわかる。



区画貫通部のずれ



実験後の区画内



実験後の鋼管



実験後の継ぎ手



実験後のフレキ管

写真 2.2 実験後の配管

#### (4) 考察

区画貫通した配管を試験炉で加熱した結果、ISO834 標準加熱に従う限り区画外での配管には大きな損傷は発生しないことが確かめられた。また、シール材等も溶融・変質するほどの温度には至っておらず、これは配管材料内の熱伝導よりも区画貫通部での区画材や埋め戻し材への熱損失が大きかったことが要因だと考えられる。



## 2.2.8 都市内に水素を供給する際の安全性を確認するための実証実験

### (1) 実証実験の概要

#### 1) 実験対象範囲、実験設備の概要

既成市街地における水素の専用配管の建設コストが過大であると、水素ガス普及の支障となる可能性が考えられたため、既存の共同溝を活用して大幅にコスト低減を図る方針を追求することにした。

茨城県つくば市内の既存共同溝（延長約250m）を実験対象範囲とし、既存共同溝内に水素配管を敷設して、一方の地上部に水素ポンペを設置して水素を供給し、他方の地上部に燃料電池を設置してオンラインで水素供給を行うための技術を実証した（図2.52）。

なお、実証実験に当たっては、共同溝利用者協議会において、水素ガスの安全性等について説明を行い、共同溝利用者協議会の了解を得た。

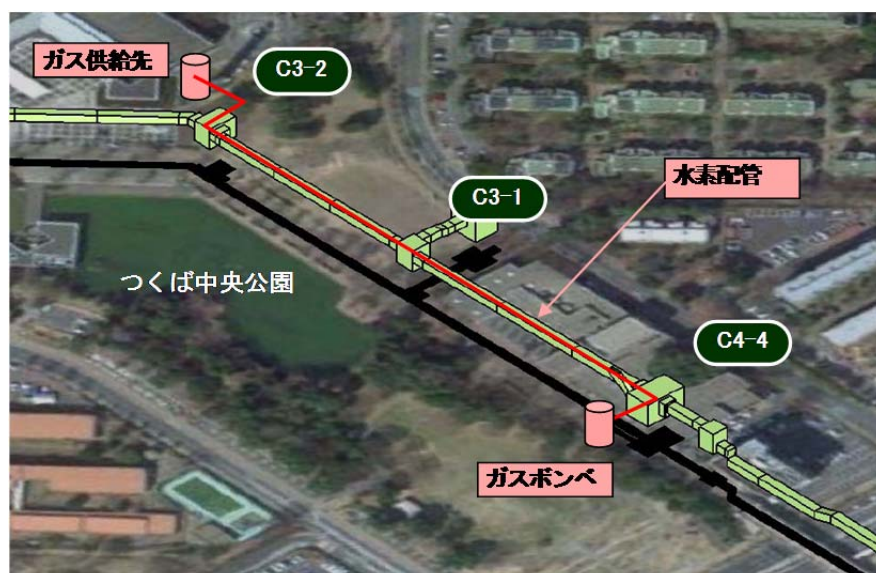


図 2.52 水素供給実験対象範囲

水素ポンペを設置する「水素送出部」、共同溝内に水素供給配管を設置する「水素供給部」、燃料電池を設置する「水素消費部」により実験設備を構成する。水素消費部にはユニットハウスを設置し、燃料電池で発電した電力を消費する家電製品等を配置した（図2.53）。

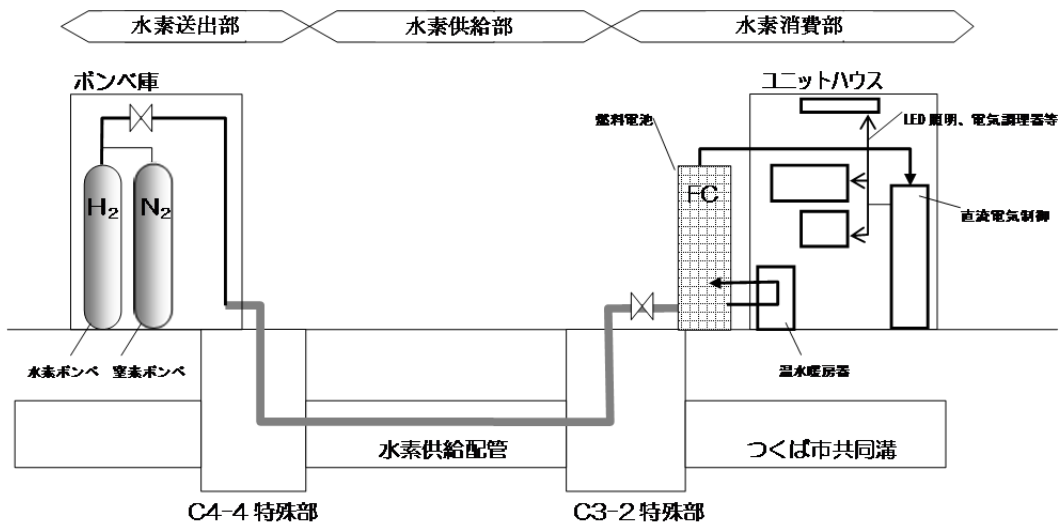


図 2.53 水素供給試験のシステム構成

## 2) 水素供給配管の敷設状況

平成17年から平成19年にかけて経産省で行われた「水素供給システム安全性技術調査事業」を参考にポリエチレン管（以下PE管）を採用した。配管の接続方法についても同調査報告の方法を採用した。外装管には軽量で施工性が高く耐久性に優れる硬質塩化ビニル管を採用し、ポリエチレン管（内管）と塩化ビニル管（外管）の二重管を整備した。外装管の両端部は地上部で外気に開放し、内管からの水素漏洩時に管内圧力の上昇を回避するとともに、外気解放部に送風機を設置し外装管内の空気を放出する手段を整備した。共同溝内では、既設の集塵管に1m間隔で帯鉄状バンドを取り付け、水素供給配管を吊り下げるとともに、振れ取りのために集塵管の架台（最大10m間隔）にもアングルで結束することにより水素供給配管を施工した（写真2.3-写真2.6）。

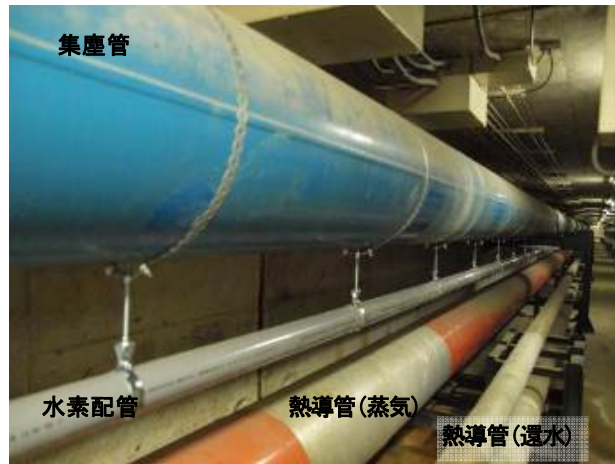


写真 2.3 共同溝標準部直線区間の水素配管

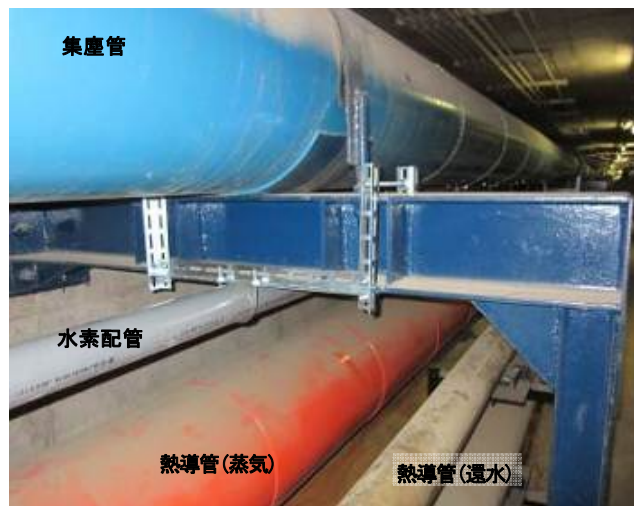


写真 2.4 集塵管架台部の振れ取り



写真 2.5 特殊部曲り部の水素配管

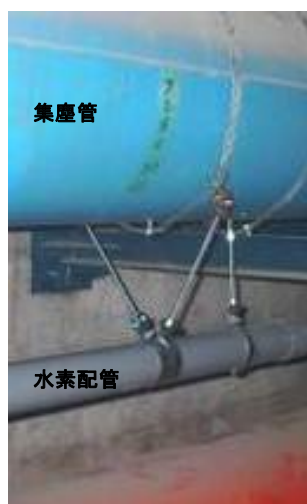


写真 2.6 架台部中間部の振れ取り

### 3) 水素漏洩検知警報システムの設置状況

ライフラインの基幹となっている共同溝の機能維持を図るために、水素圧力検知システム、水素濃度検知システム、音速変化検知システムの3つの水素漏洩検知システムを導入し、多重的な監視体制を構築することにより水素供給の安全性の確保を図る。

漏洩検知システムの計測データ及び異常データ計測時の警報は、水素送出部（ボンベ庫）及び水素受入部（燃料電池庫）の2箇所において同時に表示・発報できる通信基盤を形成し、水素漏洩時の供給停止、使用停止、水素パージ作業等の応急対策を同時にできる体制を構築した（図2.54）。

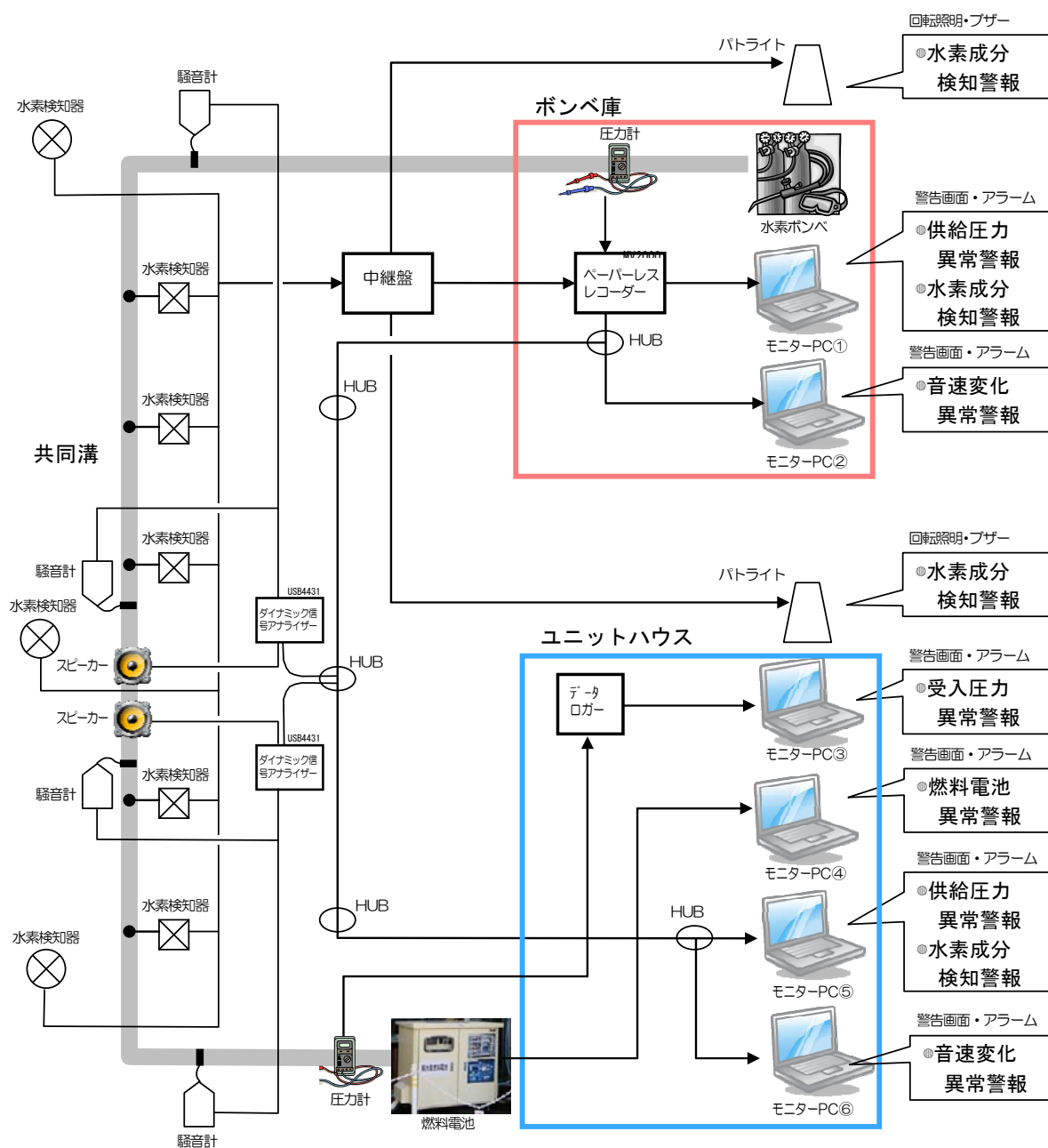


図2.54 水素漏洩検知システムと警報発信フロー

#### 4) 実証実験の実施経過

水素供給実験の安全確保に万全を期する観点から、ヘリウムを使用した点検、水素を使用した点検の二段階の事前設備点検を実施し、水素配管の気密性、水素検知システムの性能、燃料電池の制御方法等を検証し、水素供給実験の全工程を事前に実施した。

その後、事前実験で実験設備の安全性、作業方法が検証された水素供給実験を報道機関、視察希望者、市民サポーターに公開して実施した。公開実験の実施期間は2012年12月17～19日の3日間である（表2.13）。

表2.13 公開実験スケジュール

実施状況	試験・実験内容	機能検証	データ記録
12月7日（金）	水素濃度検知器、警報システムの性能試験	○	—
12月10日（月） ～11日（火） 設備点検・試験	ヘリウムを使用した内管の耐圧試験	○	—
	ヘリウムを使用した内管の気密性試験	○	—
	外装管内伝達音波の検知試験	○	—
	ヘリウム注入時の音速変化の検知試験	○	—
	水素濃度検知、音速検知モニターの運用試験	○	—
12月12日（水） ～14日（金） 設備点検・試験	水素を使用した内管の気密性試験	○	○
	定量水素送出時の圧力、流量の計測	○	○
	水素を使用した燃料電池の立ち上げ・運転試験	○	○
	強制排出時における外装管内通気量の計測	○	○
	通常時の外装管内通気量の計測	○	○
	電力負荷変動時の燃料電池出力変動の計測	○	○
	太陽光発電出力変動時の燃料電池出力変動の計測	○	○
	太陽光発電、燃料電池の電力供給量の計測	○	○
	燃料電池の中断使用時の管内圧力、流量の計測	○	○
	水素置換（窒素パージ）時の管内圧力、流量の計測	○	○
	開放弁の瞬時開閉時の管内圧力、流量の計測	○	○
12月17日（月） ～19日（水） 水素供給実験	電力負荷変動時の燃料電池出力変動の計測	—	○
	太陽光発電出力変動時の燃料電池出力変動の計測	—	○
	太陽光発電、燃料電池の電力供給量の計測	—	○
	燃料電池の中断使用時の管内圧力、流量の計測	—	○
	水素置換（窒素パージ）時の管内圧力、流量の計測	—	○
	開放弁の瞬時開閉時の管内圧力、流量の計測	—	○
	窒素置換（水素パージ）時の管内圧力、流量の計測	—	○

## (2) 水素配管の気密性の検証

### 1) 実験の目的

共同溝内に敷設した水素供給用配管が所定の機能を保持し、ガスの供給設備として支障がないことを確認するために、気密性試験を実施する。二重管の内管に使用したポリエチレン管は、単体では水素供給用配管としての機能が実証されていることから、本試験は配管ネットワーク全体の機能性の保持、特に接合部やセンサー取付継手における施工信頼性を確認することが主な目的となる。

水素供給実験の安全確保に万全を期する観点から、ヘリウムを使用した気密性試験、水素を使用した気密性試験を実施し、二段階の事前設備点検により水素配管の気密性を十分に検証した上で、燃料電池の運転を含めた連続的な水素供給実験を行うものとした。

### 2) 実験設備及び実験方法

#### ① 気密性試験における圧力、温度の計測ポイント

二重管の内管にヘリウムまたは水素を充填し、ボンベ庫内の水素供給配管に設置した圧力計、温度計で充填したガスの圧力、温度の推移を計測する。また二重管周囲の環境を把握するために、共同溝内の入口側、出口側の2カ所に温度計を設置し、共同溝内の温度の推移を計測する（図2.55）。

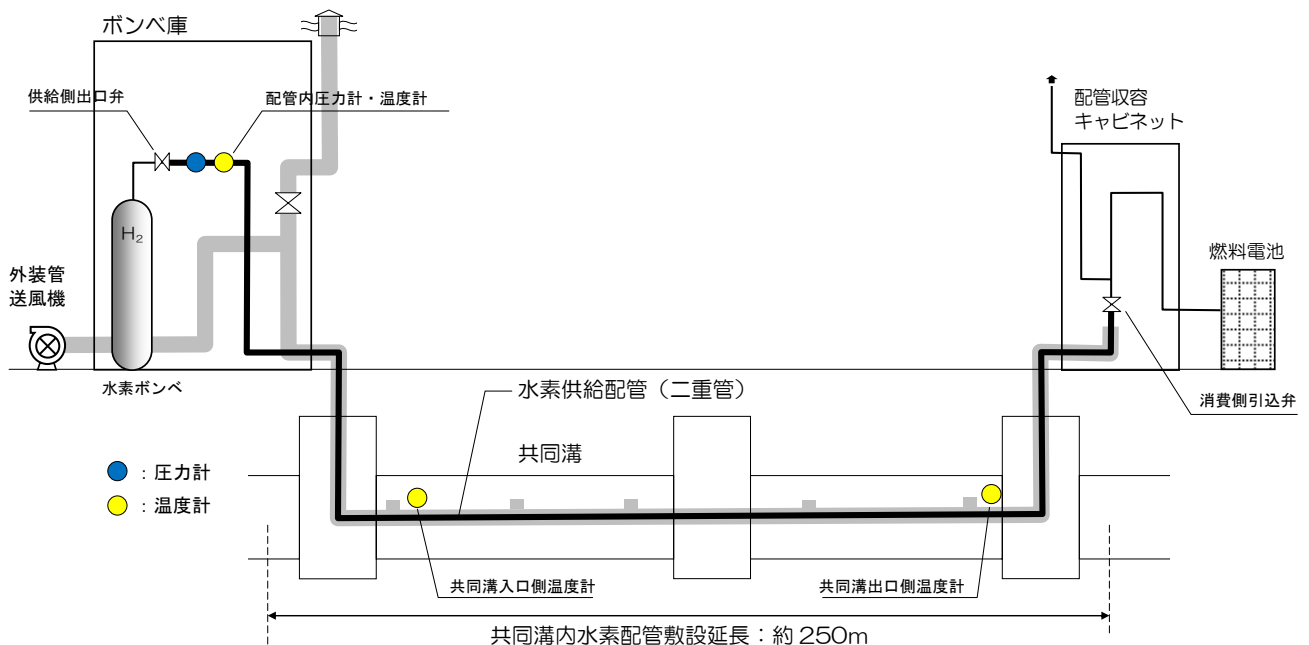
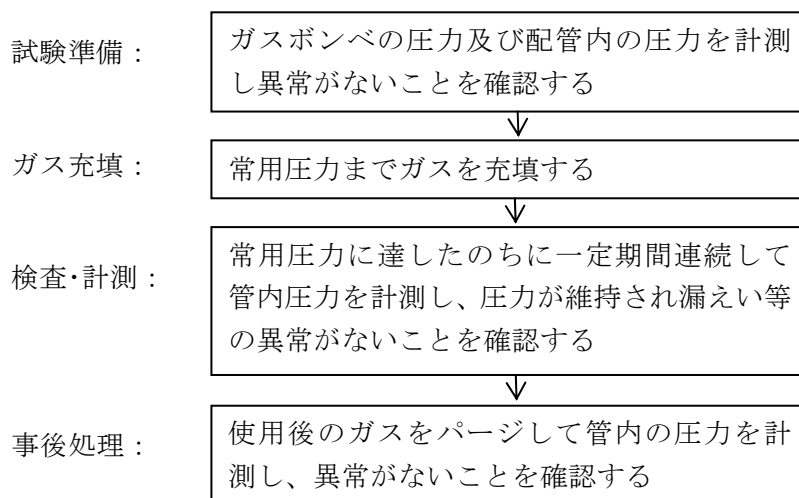


図 2.55 水素配管の気密性の検証に係る実験設備概要

## ② 実験方法

ヘリウムを使用した気密性試験は、平成23年度に実施した気密性試験と整合をとるために、供給圧力を20kPa程度とする想定を継承し、試験圧力は供給圧力の1.1倍である22 kPaとする。水素を使用した気密性試験は、平成24年度の水素供給実験における供給圧力を最大15 kPaと設定していることから、供給圧力の1.1倍である16.5 kPaとする。

ガスを充填した後は、配管の両端にある供給側出口弁、消費側受入弁を閉鎖し、供給側ではガスボンベとの間の開放弁を開いて、気密性試験対象区間を切り離すことに留意する。



ヘリウムを使用した気密性試験は、夕方にガスを充填した後に夜間を含めて連続20時間に渡って実施した。水素を使用した気密性試験は、作業員が配置されている昼間の時間帯に約30分に渡って実施した。

## 3) 実験結果

### ① 計測データの集計方法

管内圧力、温度、共同溝内温度の計測間隔を調整するために、以下のようにデータを集計し整理した。

- ・ 供給側配管内圧力計：1秒毎計測データを1分間平均値に集計
- ・ 供給側配管内温度計：1秒毎計測データを1分間平均値に集計
- ・ 共同溝入口側温度計：5分毎計測データを補完し1分間データに集計
- ・ 共同溝出口側温度計：5分毎計測データを補完し1分間データに集計

また、管内圧力は温度変化による膨張、収縮により、漏洩が無くても変動することから、計測された圧力と温度に基づき水素配管に充填されたガスの体積換算を行い、連続



的な体積の推移をみることにより水素配管の気密性を評価する。

試験開始時の圧力、温度条件における体積を $V_0$ とし、各時間におけるヘリウム、水素の体積 $V_t$ を $V_0$ に対する比率 $V_R$ で表す。体積比率 $V_R$ は、以下の式より算出する。

$$V_R = \frac{V_t}{V_0} = \frac{P_0}{P_t} \cdot \frac{T_t}{T_0} \quad (2.10)$$

$P_0$  : 試験開始時のヘリウム、水素の絶対圧[kPa]

( $P_0 = He_{p0} + 101.325$ 、 $He_{p0}$  : 試験開始時のガス圧力[kPa(G)])、

$T_0$  : 試験開始時のヘリウム、水素の絶対温度[K]

( $T_0 = He_{t0} + 273.15$ 、 $He_{t0}$  : 試験開始時のガス温度[°C])

$P_t$  : t 時のヘリウム、水素の絶対圧[kPa]

$T_t$  : t 時のヘリウム、水素の絶対温度[K]

## ②ヘリウムを使用した気密性試験結果

19 : 30から翌日の15 : 30まで20時間にわたって気密性試験を行い、管内圧力、温度、及び共同溝内の温度を連続的に計測した。

管内圧力は、試験の前半では25~26kPa、試験の終わりには26~27kPaを記録しており、わずかに増加する傾向が捉えられる。外気温の影響を受けやすい管内温度計（ボンベ庫内に設置）では、朝方の-2°Cから昼間の11°Cまで大きく変動する温度が計測されているのに対して、共同溝の入口側温度計では20°C程度、共同溝の出口側温度計では26°C程度で安定している温度が計測されている（図2.56）。

地上部及び共同溝内の水素配管の異なる環境を反映するために、配管延長250mのうち5%を管内温度、45%を共同溝入口側温度、50%を共同溝出口側温度に按分して体積比率を見積もると、試験開始時点からわずかに元の体積を下回るものの、20時間にわたって体積比率が安定していることが確認された（図2.57）。26kPaの圧力をかけた状態においても長期間にわたって体積変動が発生していないことから、ヘリウム漏洩が生じていないことが気密性試験により確認された。

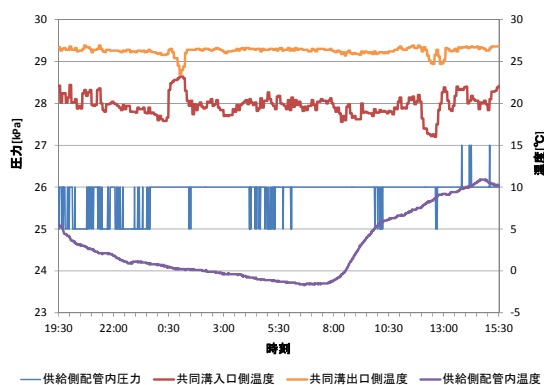


図 2.56 気密性試験における圧力、温度計測データ

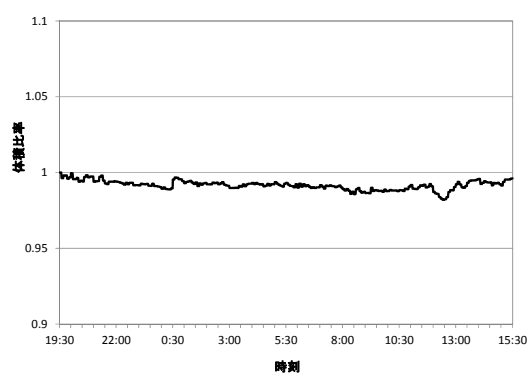


図 2.57 水素配管内のヘリウムの体積比率の推移 (11日 19:30~12日 15:30)

### ③ 水素を使用した気密性試験結果

ヘリウム試験と同様に水素による気密性試験を行い計測されたデータから体積比率を算定した(共同溝入口側温度は外部要因による例外値として除いた)(図2.58、図2.59)。30分間にわたって体積比率が安定しており、水素漏洩が生じていないことが確認された。

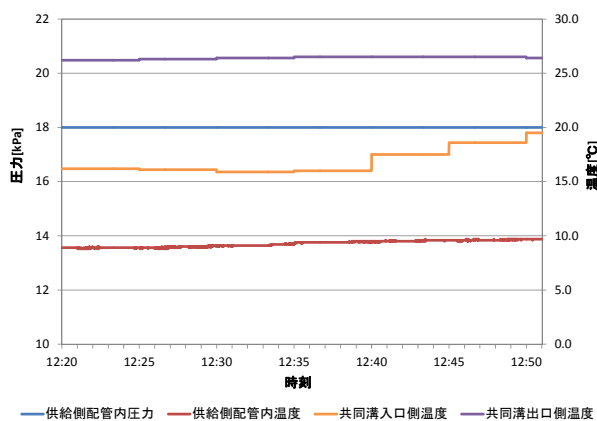


図 2.58 気密性試験における圧力、温度計測データ (13日 12:20~12:50)

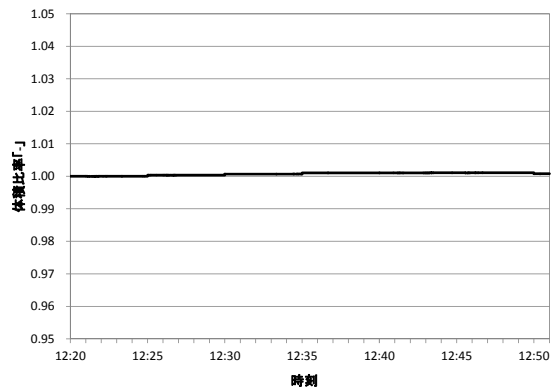


図 2.59 水素配管内の水素の体積比率の推移 (13日 12:20~12:50)

### (3) 外装管内の通気性状の検証

#### 1) 実験の目的

ポリエチレン管内の水素が共同溝内に漏洩することを回避するために、本実験では外装管により漏洩した水素をブロックする二重管を整備することとしている。

二重管の内管が破断し、水素の送出と消費を停止した後に配管内に滞留する水素が外装管内に漏洩すると、外装管内の漏洩箇所付近で水素割合が非常に高い状態となることが想定される。また仮にポリエチレン管が破損し外装管内に水素が全量漏洩する状態で、水素供給が継続された場合には、全区間が爆ごう下限の割合を上回ることが想定される。

共同溝内の着火源となる設備とは外装管でブロックされているため、内管から水素が漏洩しても直ちに水素の燃焼、爆ごうが生じるものではない。しかし、外装管内に爆ごう下限を上回る水素が滞留し、同時に外装管が破損することにより水素混合空気が共同溝内に漏洩した場合には、共同溝内の発火源が爆ごうを引き起こし共同溝内の他の占用物件に被害を及ぼす危険性がある。このようなリスクを回避するためには、外装管内に外気を引込み、管内に漏洩した水素を希釈する必要がある。

したがって、本実験では外装管内空気の流速を連続的に計測し、送風機を使用しない状況で両端で外気開放している外装管の通気性状を把握する。さらに、1分以内で外装管内の空気を排出する能力のある送風機を選定・装備し、この送風機を実際に運転して排出口、吸引口の風速を計測することにより、水素漏洩発生後も外装管内の水素割合を爆ごう下限を下回る水準に抑制することが可能であるかどうかを検証した。

## 2) 実験設備及び実験方法

### ① 装管通気性の計測ポイント

実験の対象となる二重管の外装管は、水素送出部のボンベ庫外で外気開放及び送風機に接続しており、ポリエチレン管と接合する共同溝内区間を介して、水素消費部の配管収容キャビネット内で外気開放している。ボンベ庫内に敷設した外装管立ち上げ管内部には、温湿度計、風速計を設置し、外装管通風吹き出し口にも風速計を設置した(図2.60)。

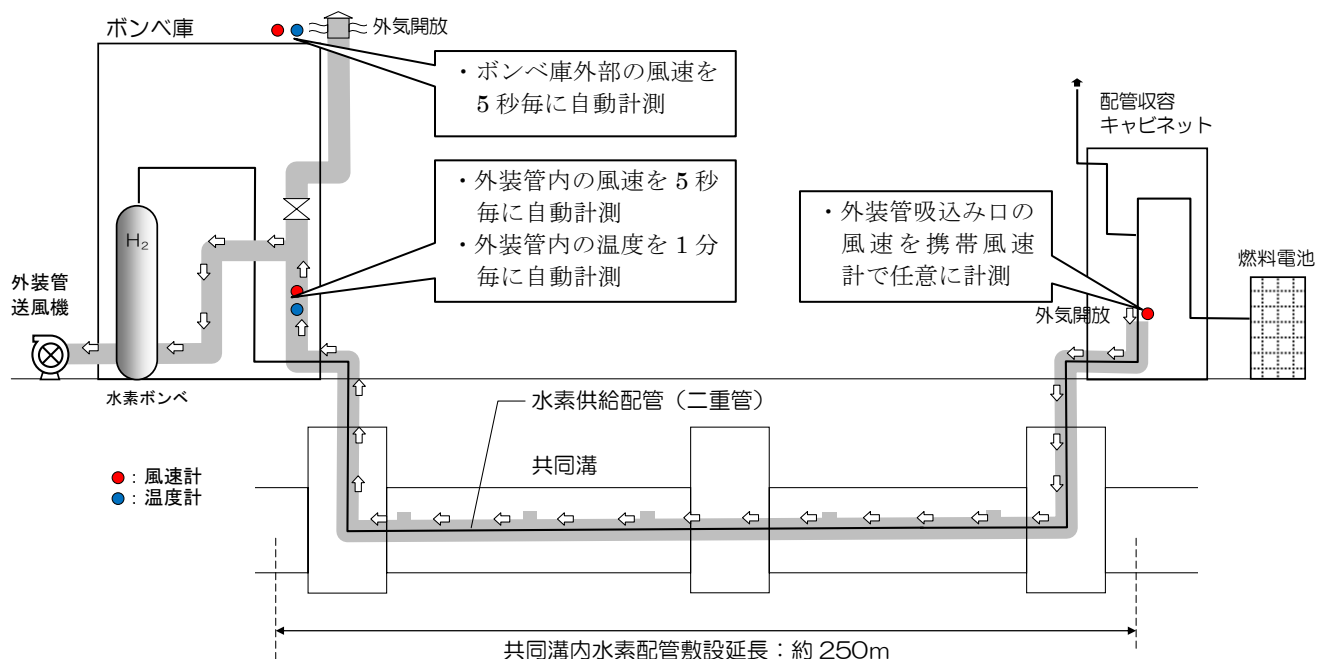


図 2.60 外装管における通気性状検証の実験設備概要

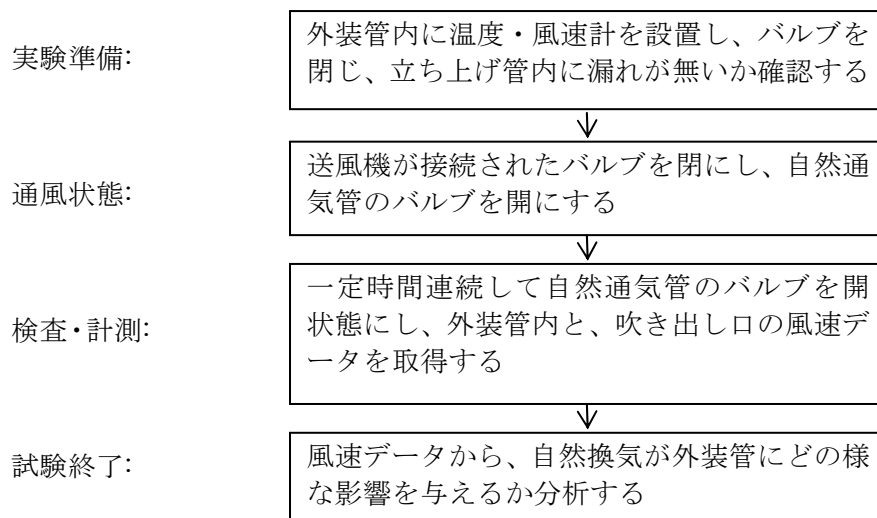
### ② 送風機の仕様選定

共同溝内に敷設した延長250mの二重管において、内管の専有空間を除く外装管内の容積は、直管部、曲りBOXを合わせて1.18m<sup>3</sup>と想定される。水素消費部(燃料電池側)の空気吸込口から水素送出部(ボンベ庫側)の空気排出口までの静圧を二重管のアイソメ図から算定した結果、単位抵抗を1.0Pa/mとした場合は0.92kPa、単位抵抗を1.5Pa/mとした場合は1.09kPaと想定される。

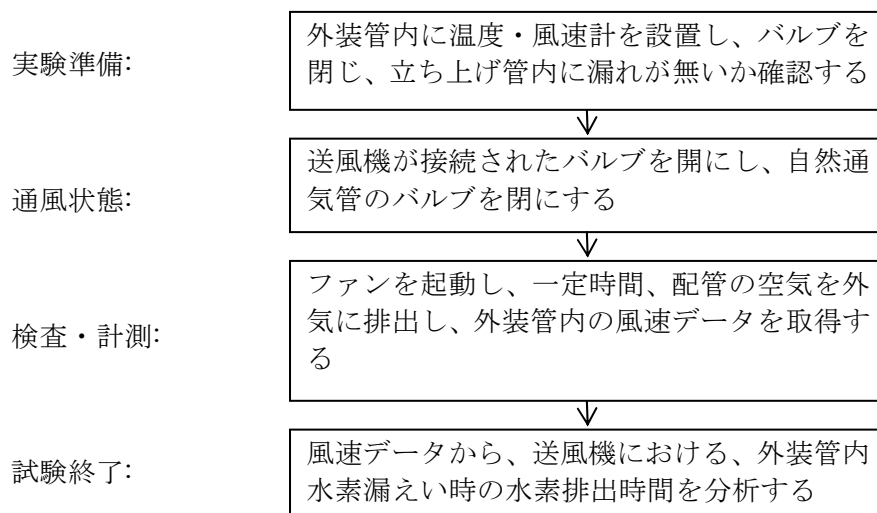
したがって、静圧1.09kPa以上かつ排気量1.18m<sup>3</sup>/分以上の送風機を選定した。

### ③実験方法

自然状態における通気性状の検査・計測過程では、外装管立ち上げ管の風速センサーで管内の風速、気温を記録し、ボンベ庫外の風速センサーで吹き出し口の風速を記録する。



適宜ボンベ庫外に設置された送風機を運転し、外装管内の空気をパージする試験を行う。また、実測で得た送風量データを基に、外装管内の空気の排出時間等を算出する。



### 3) 実験結果

#### ① ボンベ庫側排出口の計測データ

外装管内風速の時刻別変動を図2.61に示す。ボンベ庫外部では日中は2m/s程度の風速が観測されたのに対して、自然換気による外装管内の風速は最大0.162m/sであり、無風の時間帯も多い。外装管内には通常時に通風がないため、水素センサーまでの距離が長い場合は、検知に時間がかかると考えられる。

送風機を運転した時には、外装管内に5.0m/s程度の風速が計測された。

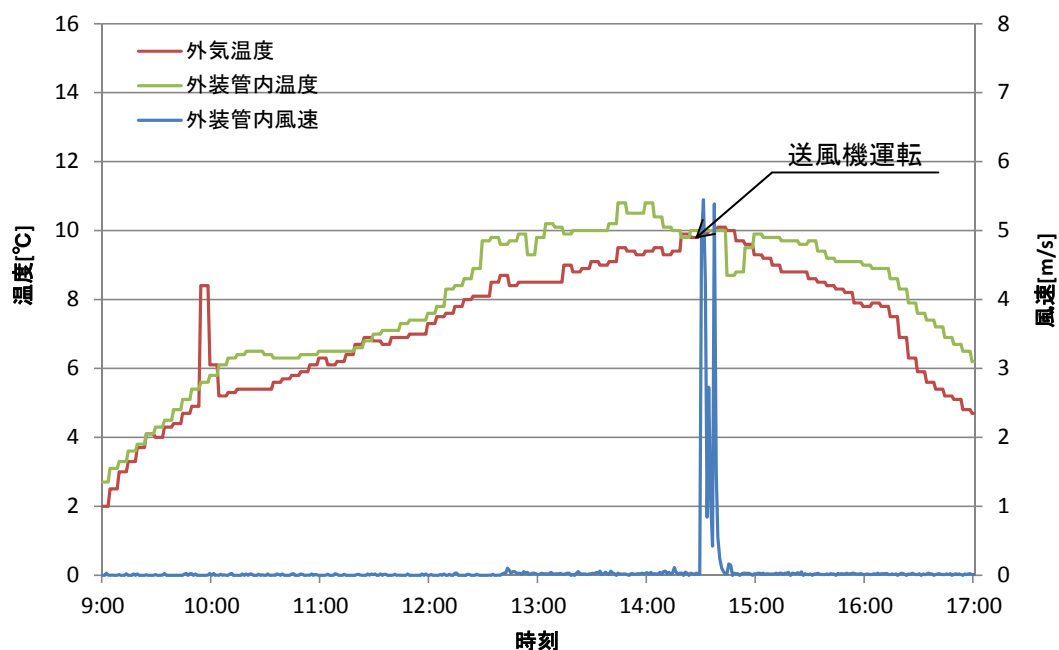


図 2.61 外装管内風速・温度と外気温度計測データ (12日9:00~17:00)

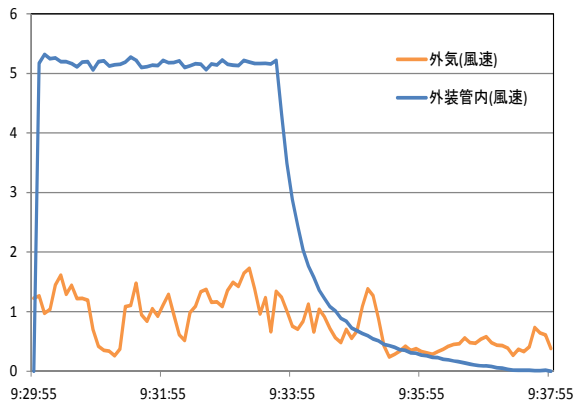


図2.62 送風機運転時間の外装管内風速、外気風速 (13日9:29~9:37)

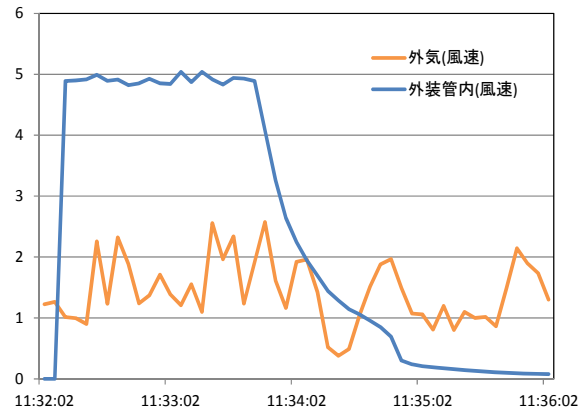


図2.63 送風機運転時間の外装管内風速、外気風速 (13日11:32~11:37)

12月17日~19日の公開実験期間中においても何回か送風機の起動実験を行い、外気温、外装管内温度と合わせて外装管内の風速の変動を記録した。公開実験中送風機を起動した時には、3~5m/s程度の風速が記録されている(図2.62-2.64)。

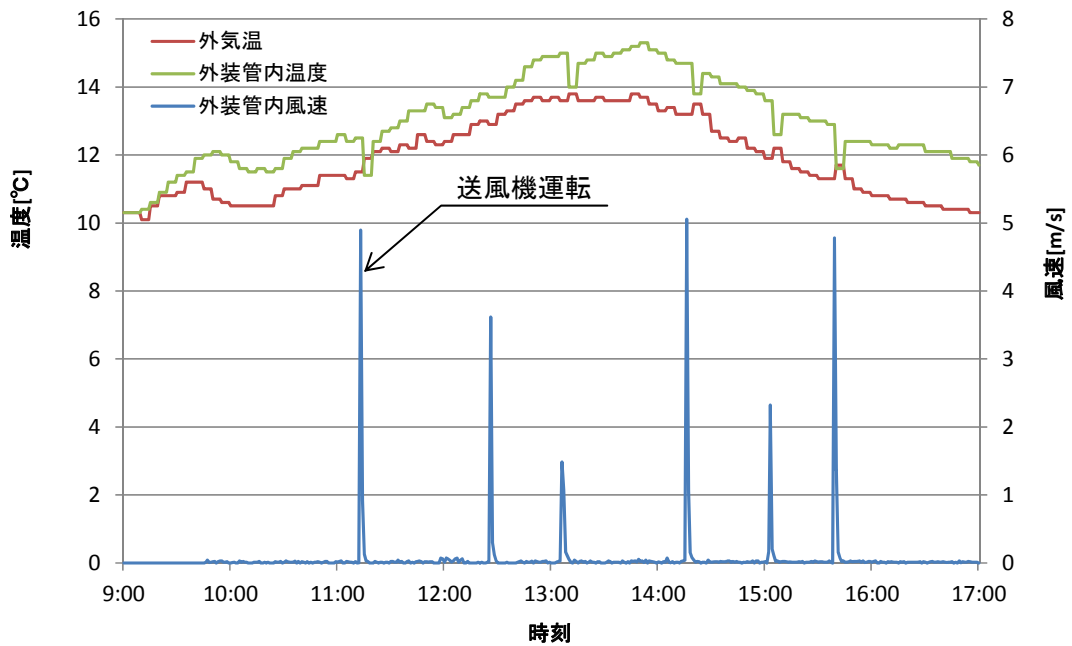


図 2.64 外装管内風速・温度と外気温度計測データ (18日9:00~17:00)

## ②吸込み口の計測データ

送風機の運転時にユニットハウスの吸込み口で携帯型の風速計で風速を計測した結果を見ると、開口部の計測ポイントでばらつきがあるものの、計測値は4.68～5.46m/sとなっており、排出口で計測した5.0m/sに近い風速が計測された（図2.65）。

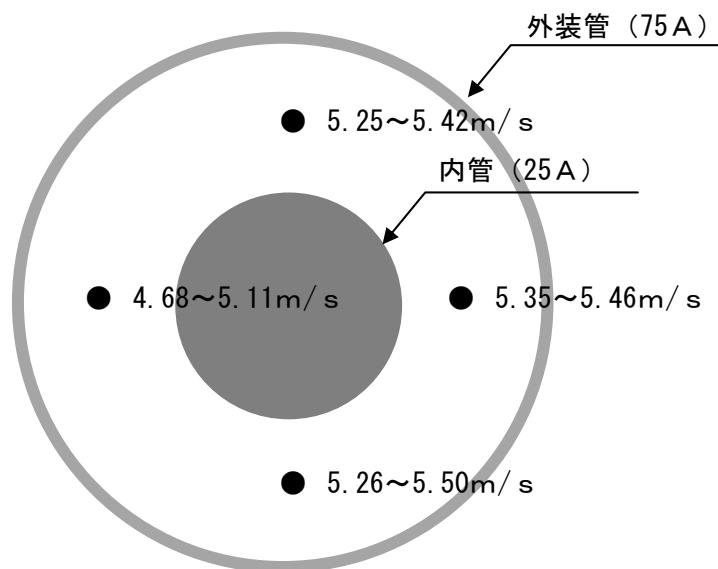


図 2.65 吸込み口の風速計測箇所と計測結果

(12月13日 11:35~11:39 外気温 16°C 湿度 30%)



#### 4) 水素漏洩時における管内空気排出の有効性

##### ①外装管内の水素排出(完全混合時)と完全置換に掛かる時間

下記の式を用いて、送風機を運転して内管から外装管に漏洩した水素(完全混合時)を排出するまでに掛かる時間を算出した。内管の水素ガスが外装管に漏えいした際に、外管全体に完全混合すると想定し、送風機を運転した際に記録した風速により混合空気が外気に放出され、徐々にガス濃度が減衰すると考える。

$$p - p_0 = (p_1 - p_0)e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (2.11)$$

$p$  : 内管水素ガス濃度[kg/m<sup>3</sup>]、 $p_0$ :外気水素ガス濃度[kg/m<sup>3</sup>]、 $p_1$ :管内の初期水素濃度[kg/m<sup>3</sup>]、

$Q$ :風量[m<sup>3</sup>/s]、 $t$  : 時間[s]、 $V$ :配管の体積[m<sup>3</sup>]

外気の水素濃度は無いと考えるので、 $p_0 = 0$ である。従って、以下の計算式で、送風機の換気による外装管内水素ガス排出濃度を算出できる。

$$p = (p_1)e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (2.12)$$

漏えい時に外装管内で完全混合した水素の濃度は13%程度となり、送風機の運転による希釈により徐々に減衰する。水素濃度が燃焼限界濃度の4%を下回る時間は、送風機の運転開始後52秒となる(図2.66左)。

次に、外装管内の空気を総入れ替え(完全置換)する際に要する時間を算出する。外装管の気積は、約1,214m<sup>3</sup>であり、積算換気量がこの値を超える時間を確認すると44秒となり、積算換気量を上回る結果となる(図2.66右)。

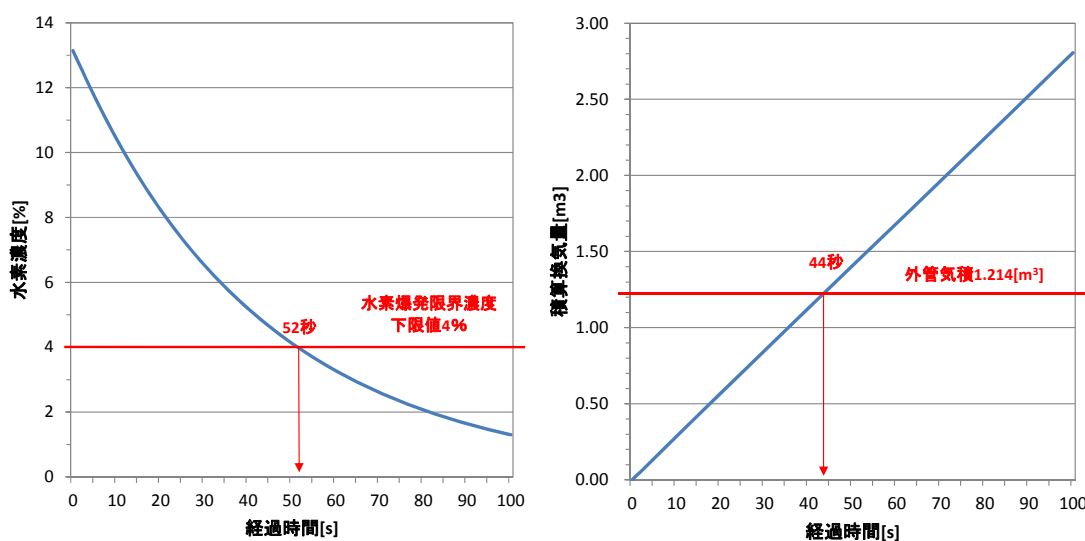


図 2.66 燃焼限界濃度下限値までの水素混合空気排出、完全置換に要する時間

## ② 送風機による外装管の水素排出に掛かる時間

内管の水素が外装管内に全量瞬時に漏えいした場合を想定し、送風機により水素の排出に要する時間を算出した。送風機から最も遠い水素消費部（ユニットハウス側）において水素漏洩が生じる場合を考える。

水素混合のプロセスを計算するために一定間隔で外装管（250m）を区切り、区間ごとに外装管内水素量の変化を求め、物質収支式より全区間の水素濃度を順次算出する。外装管を区切る間隔によって計算値の相違が予想されたため、ここでは外装管を区切る間隔を3ケース（10m, 5m, 1m）設定し、配管内全区間が水素燃焼限界濃度下限値（4%）までに要する時間を算出した。その結果、10m間隔で区切った場合は64秒、5m間隔で区切った場合は63秒、1m間隔で区切った場合は61秒となった（図2.67-2.69）。

本実験で選定した送風機によれば、1分程度で外装管内の漏洩水素を排出する能力があることが示された。

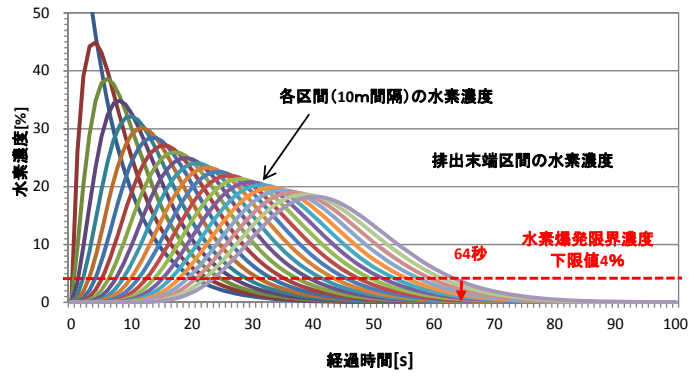


図 2.67 各区間の水素濃度変化 (10m 間隔)

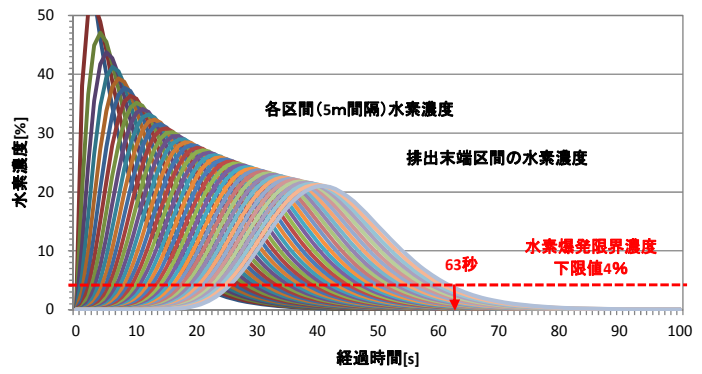


図 2.68 各区間の水素濃度変化 (5m 間隔)

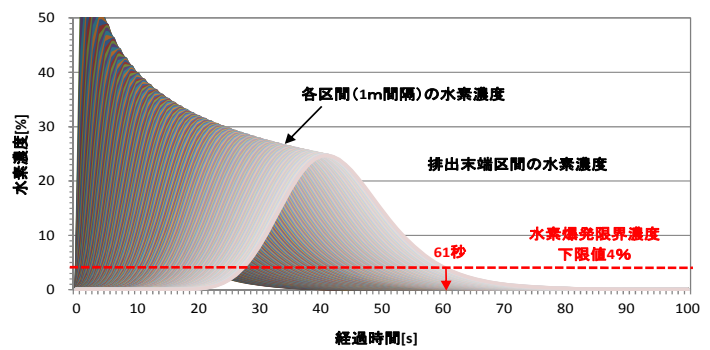


図 2.69 各区間の水素濃度変化 (1m 間隔)

#### (4) 燃料電池使用時等の水素導通性状の検証

##### 1) 実験の目的

都市内では主に燃料電池の動力源として水素を供給することが想定されるため、燃料電池の運用特性を考慮して水素供給インフラを構築することが求められる。

燃料電池は、天候により太陽電池の出力が変動する場合や、商用電力系統が停電した場合にバックアップ電源として活用することが期待されており、一定地域の燃料電池群が同時に運転・停止する事態が起り得る。このように広範囲かつ同時に需要が大きく変動するのは、都市ガスの供給には見られない水素供給の特性であり、水素供給の流量、圧力の変動が配管設備等のインフラにどのような影響を与えるかを把握し、必要となる安全対策を講じることが重要となる。

したがって、本実験では家庭用途に製作された発電出力1kWの純水素燃料電池と共同溝内に敷設した延長約250mの水素配管を接続して、燃料電池に水素を供給することにより、燃料電池の発電出力と水素の流量・圧力を連続的に計測する。これにより太陽電池等と連携して燃料電池が運転される場合の出力変動の状況や水素送出側に及ぼす影響について明らかにする。

さらに、水素圧力、流量を一定にして燃料電池を定格運転した後に急停止した際の水素圧力、流量の変動を計測や、水素を大容量で大気放出時に、開放弁を瞬時に閉鎖、及び開放した際の管内水素の流量、圧力の変動の計測を行い、太陽電池の出力変動を調整する燃料電池群が一斉に運転・停止する場合の水素配管への影響を検証する。

## 2) 実験設備及び実験方法

### ① 水素通気性状に係る供給流量、圧力の計測ポイント

水素供給実験では、水素配管の端部を純水素型燃料電池に接続し、燃料電池が消費する分の水素を水素ボンベから供給する。水素送出部ではボンベ庫内の水素配管に流量計、圧力計を設置し、水素消費部ではキャビネット内の水素配管に圧力計を設置する（図 2.70）。本実験では流量データ、圧力データを1秒毎に記録して使用する。

※キャビネット内の水素圧力データは、データロガーの不調により全データ欠損

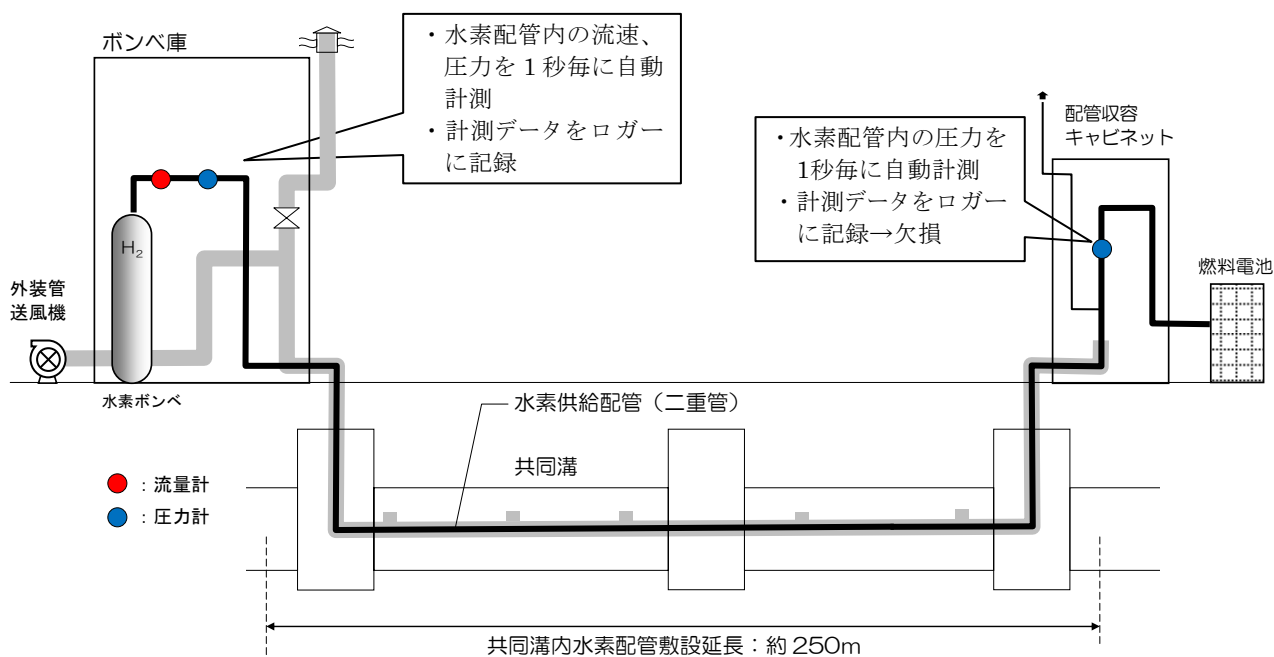


図 2.70 燃料電池使用時等の水素導通性状検証の実験設備概

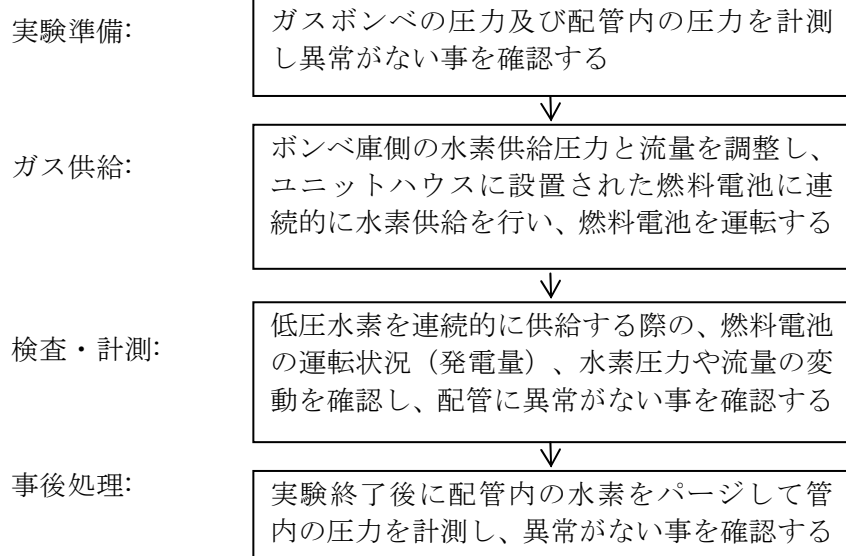
### ② 燃料電池の仕様と計測ポイント

つくば市が所有する家庭対象規模の純水素固体高分子型燃料電池を借用して、水素供給実験で水素を消費する燃料電池として運用する。燃料電池内で運転状況を示す各種データが計測されており、本実験ではその中で発電量データを1秒毎に記録して使用する。

### ③実験方法

共同溝内に敷設した水素配管を介してポンベ庫から燃料電池に水素を供給し、燃料電池を運転している期間の水素供給流量、圧力、及び燃料電池発電量を計測する。燃料電池の多様な運転状況を再現し、水素の供給流量・圧力のデータを収集するために、ユニットハウス内の電力負荷を瞬時に遮断、接続する実験や、燃料電池を定格運転した後に急停止する実験を行う。実証実験における最大水素供給圧力は、燃料電池仕様書に記載された水素使用条件である15kPaに設定する。

計測したデータに基づき燃料電池の運転状況に応じて水素流量・圧力の変動と配管に与える影響について検討する。



また、燃料電池運転実験を行う前に配管内の窒素パージ（水素置換）のために水素を大容量で大気放出する際に、開放弁を瞬時に閉鎖、及び開放することにより、燃料電池群の水素消費の瞬時変動を想定した管内水素の流量、圧力の変動を計測する。

### 3) 実験結果

#### ① 計測データの概要

12月14日の実験準備、17日の公開実験において、水素供給及び燃料電池の運転・停止実験を行った13時～16時の燃料電池発電量、水素流量、水素供給圧力の時刻別変動データが記録され、発電量と水素流量に相関性があることと、出力変動時に供給圧力が増減することが捉えられた（図2.71）。

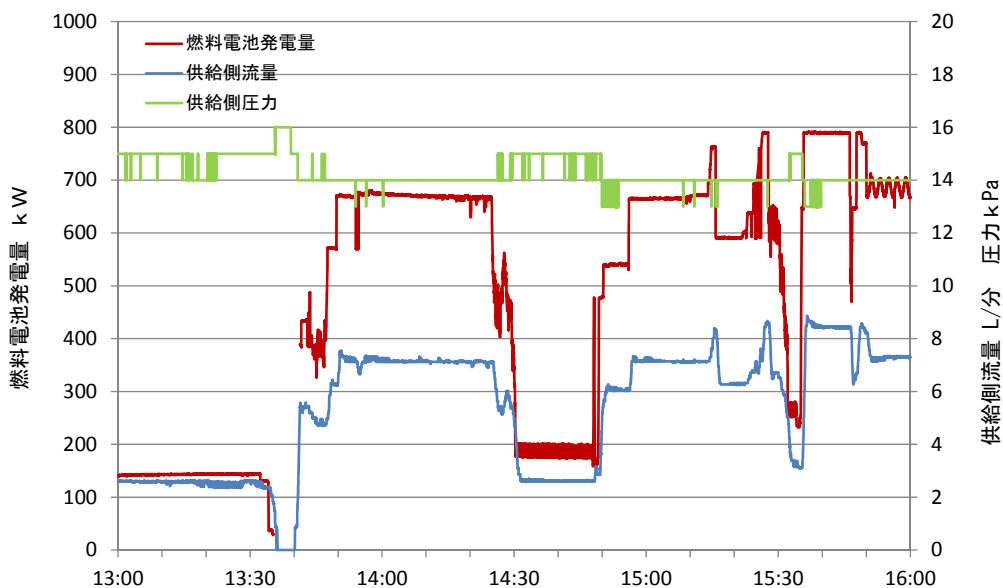


図 2.71 燃料電池間断使用時の水素流量、圧力計測データ（17日13:00～16:00）

12月18日の公開実験においては、一部欠損があるものの、水素の立ち上げ準備を行った10時～13時の燃料電池発電量、水素流量、水素供給圧力の時刻別変動データ、及び水素供給及び燃料電池の運転・停止実験を行った13時～16時の燃料電池発電量、水素流量、水素供給圧力の時刻別変動データが記録され、発電量と水素流量に相関性があることと、出力変動時に供給圧力が増減することが捉えられた（図2.72, 図2.73）。

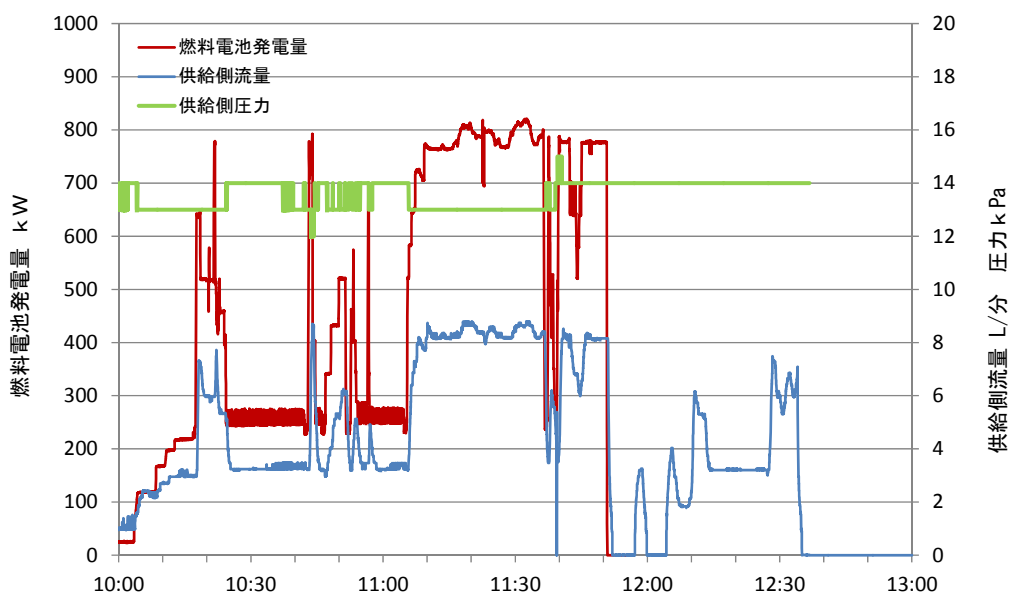


図 2.72 燃料電池発電量と水素送出流量、圧力計測データ（18日10:00～13:00）

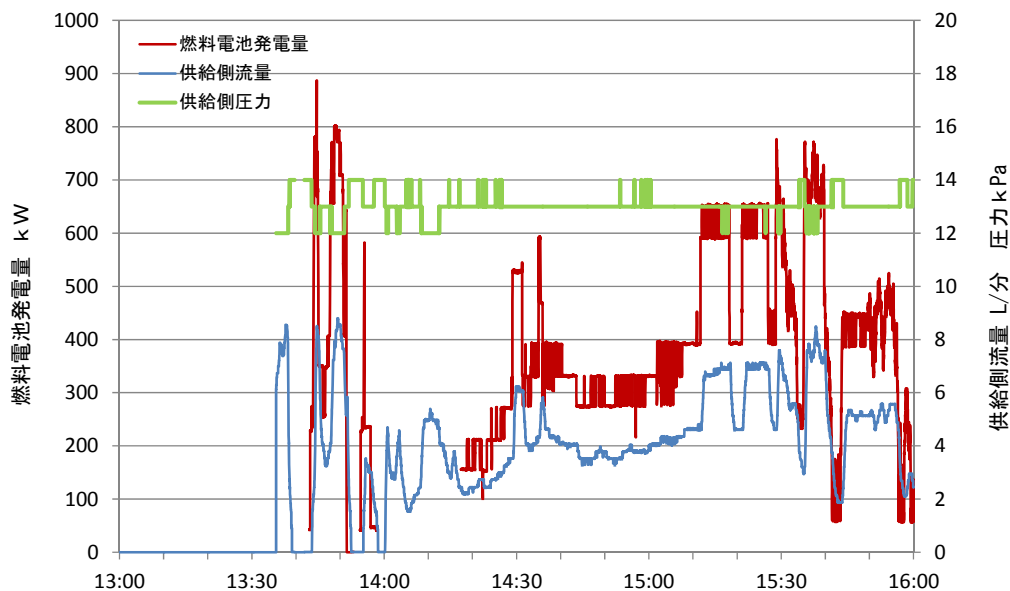


図 2.73 燃料電池間断使用時の水素流量、圧力計測データ（18日13:00～16:00）



12月19日の公開実験においては一部欠損があるものの、水素の立ち上げ準備を行った10時～13時の燃料電池発電量、水素流量、水素供給圧力の時刻別変動データが記録され（図2.74）、水素供給及び燃料電池の運転・停止実験を行った13時～16時については燃料電池発電量の欠損が生じたものの、水素流量、水素供給圧力の時刻別変動が記録され、データ発電量と水素流量に相関性があることと、出力変動時に供給圧力が増減することが部分的に捉えられた（図2.75）。

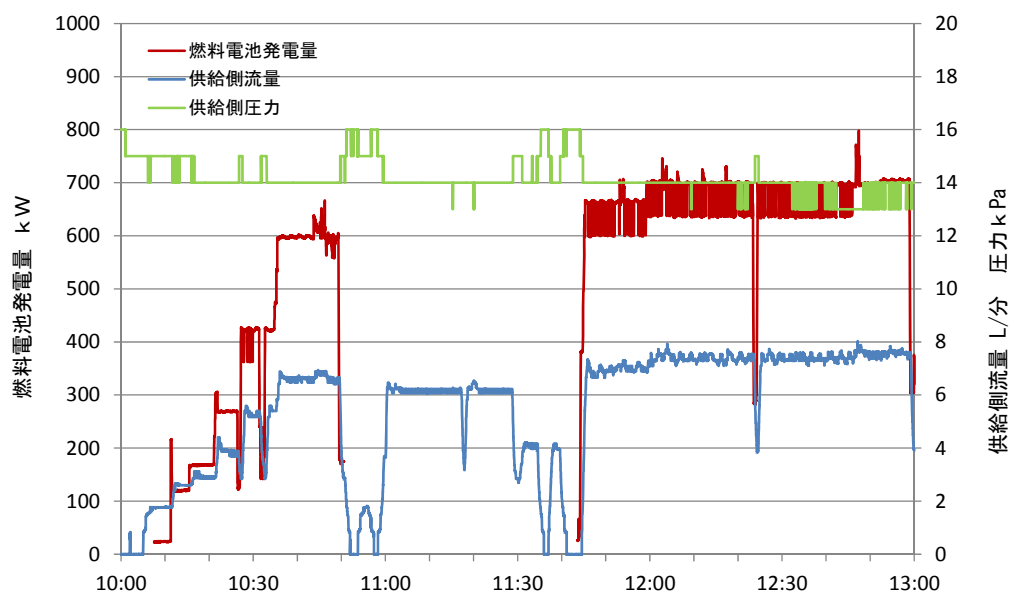


図 2.74 燃料電池発電量と水素送出流量、圧力計測データ（19日10:00～13:00）

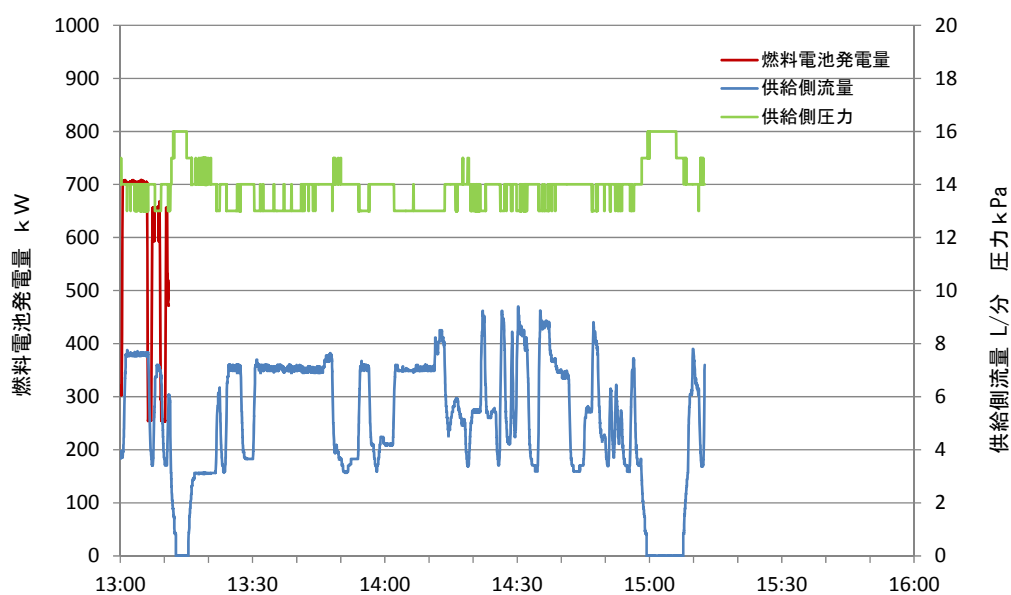


図 2.75 燃料電池間断使用時の水素流量、圧力計測データ（19日13:00～16:00）

## ②燃料電池間断使用時の水素配管への影響

12月17日において、燃料電池の発電出力が680Wから200Wに低下した場合には、水素の流量が7L/分から2.5L/分に減少するが、流量の減少による供給圧力の変動は1kPa程度の増加にとどまっており、配管への影響は軽微と想定される（図2.76上）。

12月17日において、燃料電池の発電出力が250Wから800Wに増加した場合には、水素の流量が瞬時に3L/分から8.5L/分に増加する。このとき供給圧力は15kPaから13 kPaに減少しているが、5分後には14 kPaに戻り安定しており、配管への影響は軽微と想定される（図2.76下）。

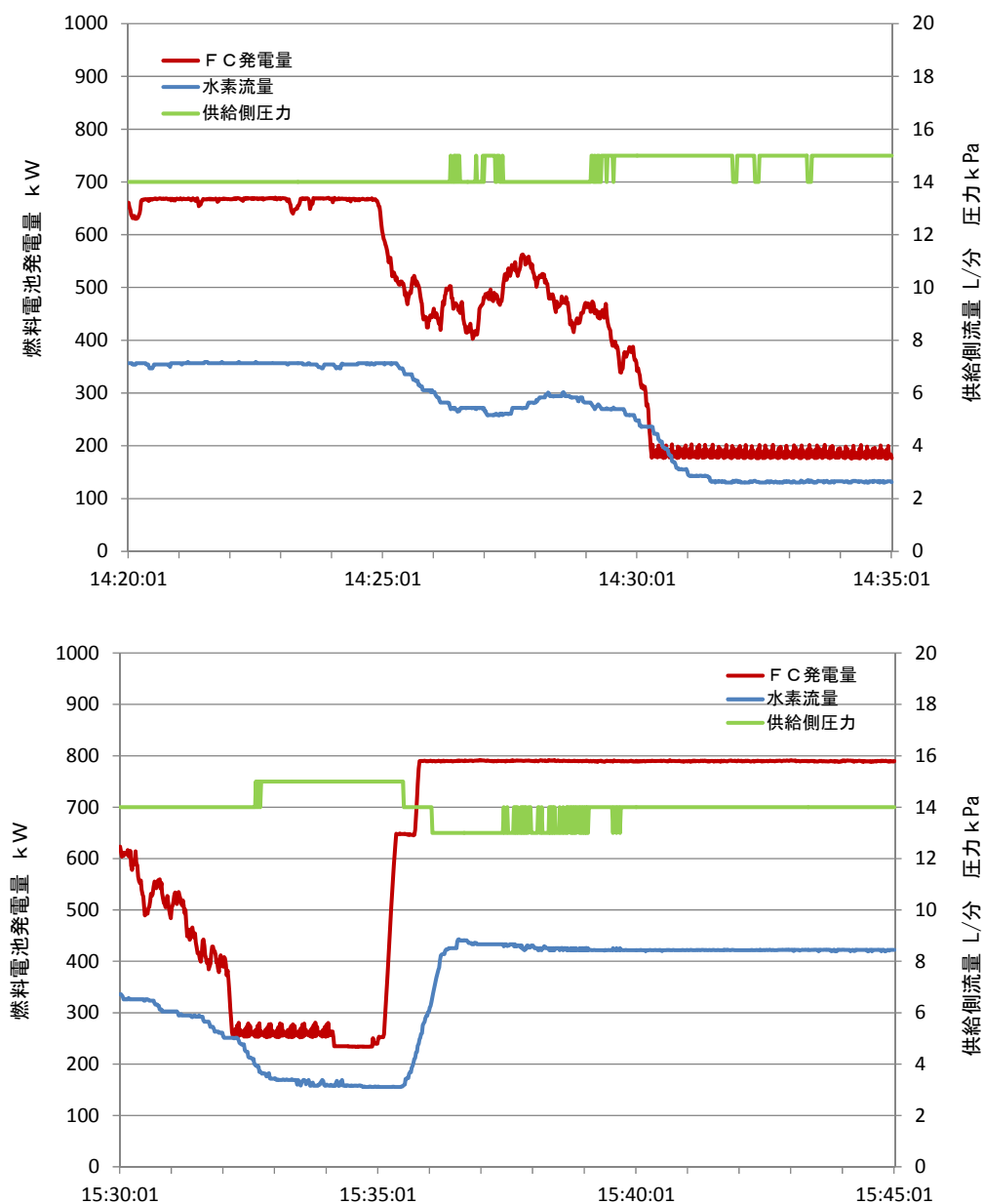


図 2.76 燃料電池出力変動時の水素流量、圧力（上：17日14：20、下：17日15：30）

12月18日において、燃料電池の発電出力が250Wから750Wに増加した場合には、水素の流量が瞬時に3L/分から8L/分に増加するが、流量の増加による供給圧力の変動は1kPa程度の低下にとどまっております、配管への影響は軽微と想定される（図2.77上）。

12月18日において、燃料電池の瞬時停止（発電出力760W→0W）した場合には、水素流量が8L/分から0L/分に減少するが、ポンペ庫側では流量が漸次減少する状況が捉えられている。このとき供給圧力は14 kPaで安定しており、配管への影響は軽微と想定される（図2.77下）。

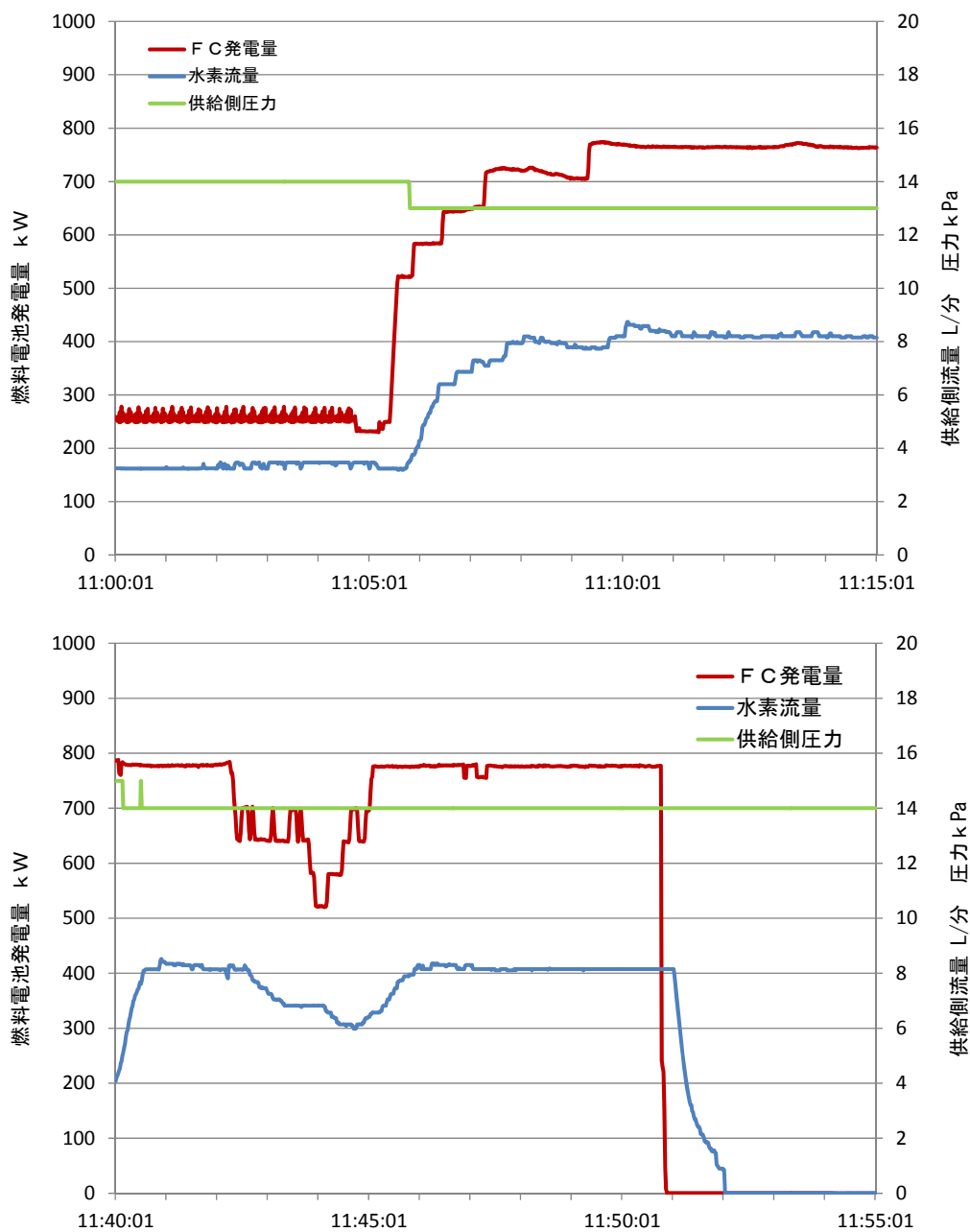


図 2.77 燃料電池出力変動時の水素流量、圧力（上：18日11：00、下18日：11：40）

燃料電池が0Wから800Wまでの間で短時間に大きく出力変動する場合には、水素供給流量も0L/分から8.5L/分までの間で大きく変動するが、流量は漸次変動する傾向が捉えられている。このとき供給圧力は12 kPa から14 kPaの間で変動しているが、漸次変動する供給流量がクッションとなって急激な圧力変動は計測されていない。したがって燃料電池が大幅に出力変動を繰り返す場合であっても、配管への影響は軽微と想定される（図 2.78）。

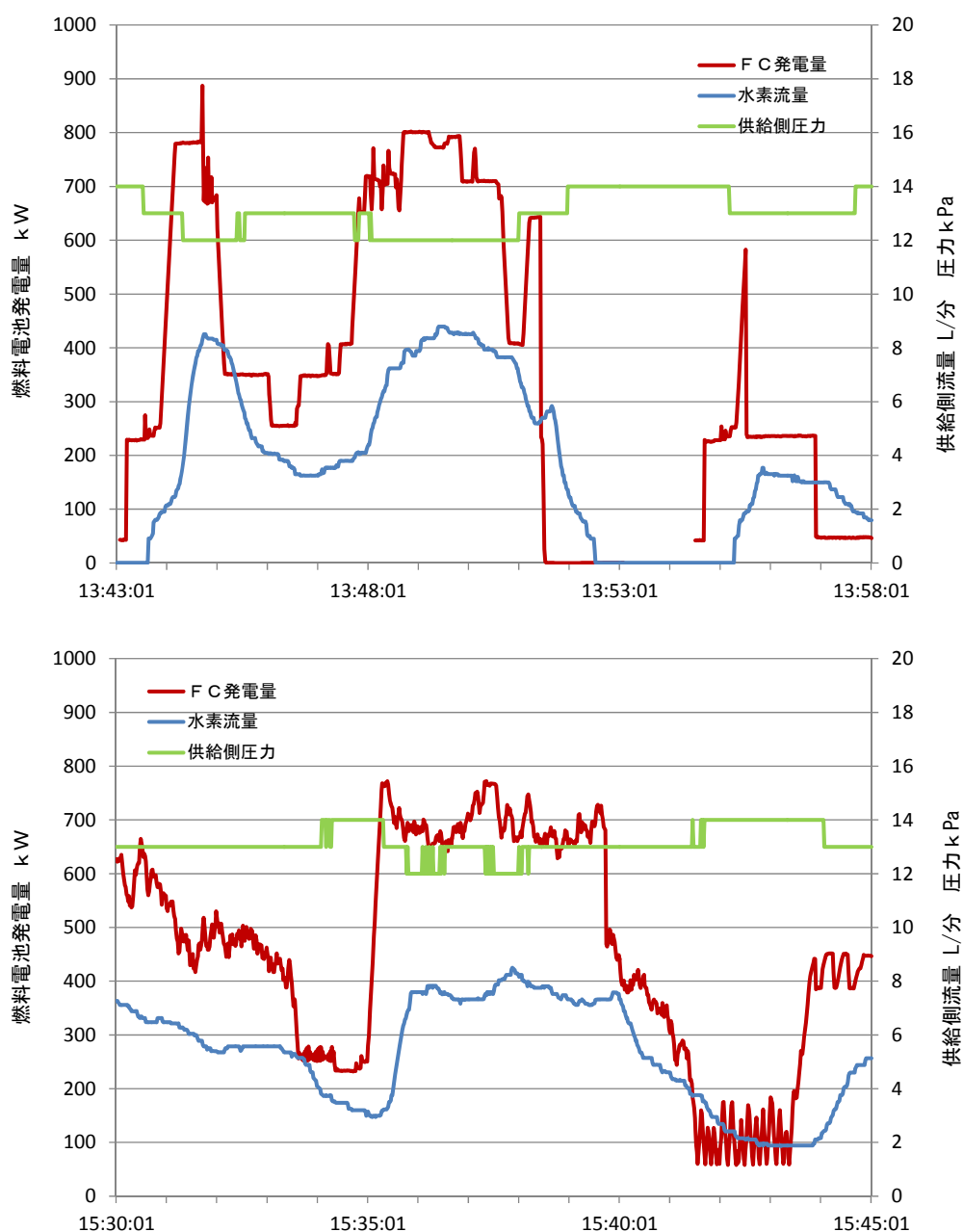


図 2.78 燃料電池出力変動時の水素流量、圧力（上：18日13:43、下：18日15:30）

#### 4) 燃料電池群の一斉遮断時の水素配管への影響

水素の大容量放出、瞬時閉時の水素流量、圧力の時間変化を図2.79に示す。

水素消費部の配管キャビネット内の解放弁を開き、ボンベ庫から圧力を13kPaに調整した水素を供給してキャビネットの放出管から外気中に自由放出した場合には、放出管の摩擦抵抗により水素流量は72L/分で安定する。

このとき、キャビネット内の開放弁を瞬時に閉じた際には、ボンベ庫の送出側で水素流量が漸次減少するとともに、水素圧力が13kPaから19 kPaまで6 kPa程度増加することが計測データより明らかとなった。

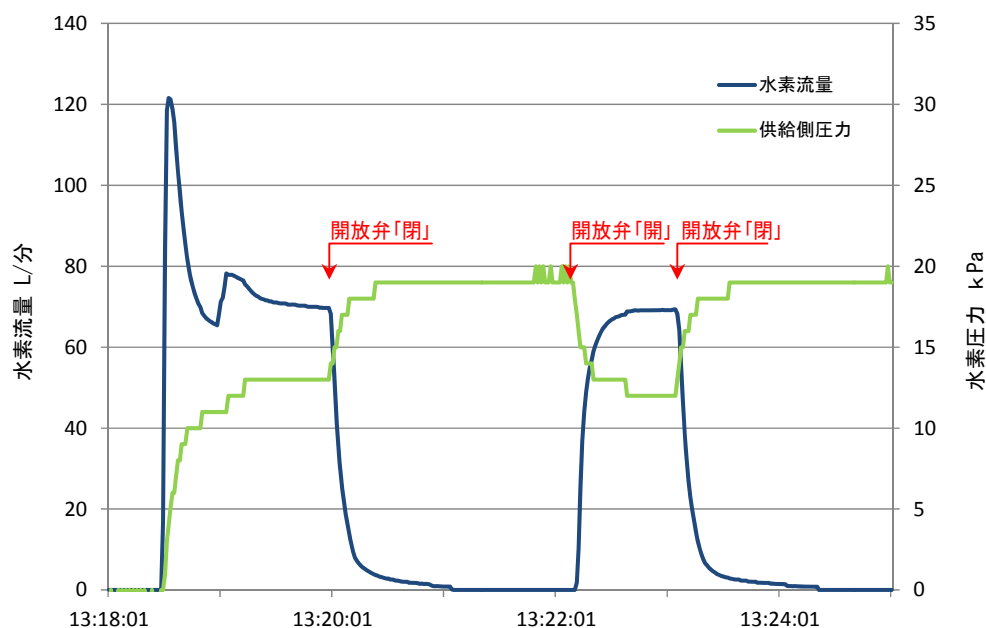


図 2.79 水素の大容量放出～瞬時閉時の水素流量、圧力（14日13:18～13:25）

72L/分の水素流量は、実験で使用した燃料電池が800W発電時の水素流量（8L/分）の9基分に相当する。すなわち、家庭用燃料電池1基が瞬時停止した場合の圧力増加が1～2kPaであったのに対して、家庭用燃料電池9基が同時に停止する場合は、6kPa程度圧力が増加することが想定される。

ポリエチレン管は中圧ガス（300kPa）の供給にも耐えうる性能が保証されており、本実験と同様に15kPa程度の低圧で水素を供給する場合は、燃料電池群の同時停止による圧力増加が配管に及ぼす影響は比較的軽いものと考えられる。

その一方で、圧力増加の水準が燃料電池の機能に支障が生じる30kPaを上回ることが想定されるため、水素流量変動による圧力増加を燃料電池側に及ぼさない仕組みを検討することが必要である。

## (5) 水素パーズ、窒素パーズの安全性の検証

### 1) 実験の目的

共同溝内で水素漏洩が発生した場合には、これを確実に検知し直ちに水素遮断等の対策を実施するために、本実験では水素を供給する際には必ず人が立ち会うことを原則としている。そのため夜間は水素ポンペをガス会社が持ち帰り、各日の実験終了後には配管内の水素をパーズすることとしている。

また、水素供給実験中に共同溝内の占用物件に障害が発生した場合は、作業員が共同溝内に入り、障害物件の点検、修理ができるように、可能な限り速やかに配管内の水素をパーズし、作業の安全性を確保することが必要である。

水素パーズを窒素置換により行う場合には、共同溝内に敷設した250mの水素配管に窒素送入を開始した後で、水素パーズが完了し、配管の全区間で安全が確保されるタイミングを見極めることが重要となる。

一方、窒素置換をした翌日に再度水素置換を行い、燃料電池に水素を供給する際には、窒素が混入して燃料電池を傷めることがないように、配管内から窒素を確実にパーズされ、水素置換が完了したタイミングを見極めることが必要である。

したがって本実験では、水素供給と燃料電池の運転を連続的に行う公開実験に先立って、水素パーズのタイミングを見極めることを目的とする事前実験を行い、パーズ実施中の窒素供給圧力、流量、送出時間と放出口における水素濃度を計測し、水素パーズの性状と目安時間を把握した。同様に窒素パーズの事前実験を行い、パーズ実施中の水素供給圧力、流量、送出時間を計測し、窒素パーズの性状と目安時間を把握した。

事前実験により設定したパーズの目安時間を適用して、公開実験中の水素パーズ、窒素パーズを行うことにより、水素供給及び燃料電池運転実験に係る安全性を検証するデータをさらに収集・整理した。

## 2) 実験設備及び実験方法

### ① 水素パーズ、窒素パーズに係る供給流量、圧力の計測ポイント

キャビネット内の開放弁を経由して、水素配管の端部を延長1.8mの外気放出管に接続し、置換用の窒素、水素をボンベ庫から供給する。水素送出部ではボンベ庫内の水素配管に流量計、圧力計を設置し、流量データ、圧力データを1秒毎に記録して使用する（図 2.80）。水素パーズ中の水素濃度を計測する際には、外気放出管をテフロンチューブに交換し、携帯濃度計のセンサーを排出口に近づけて排出空気中の水素濃度を計測した。

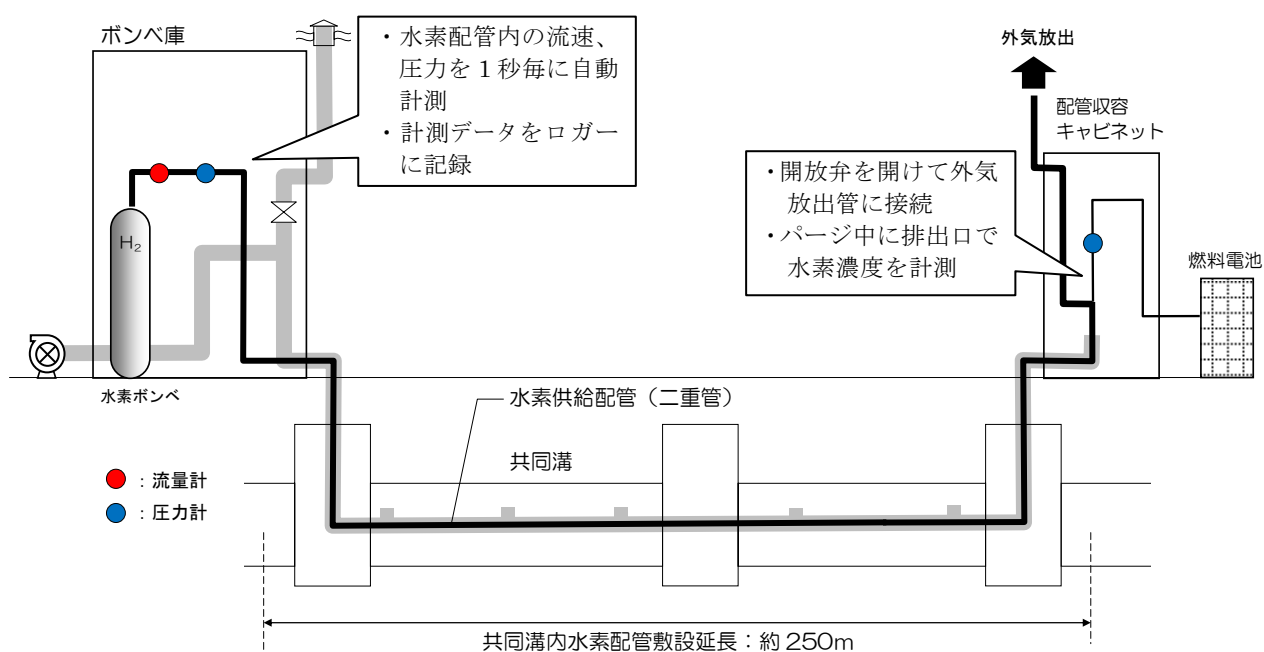
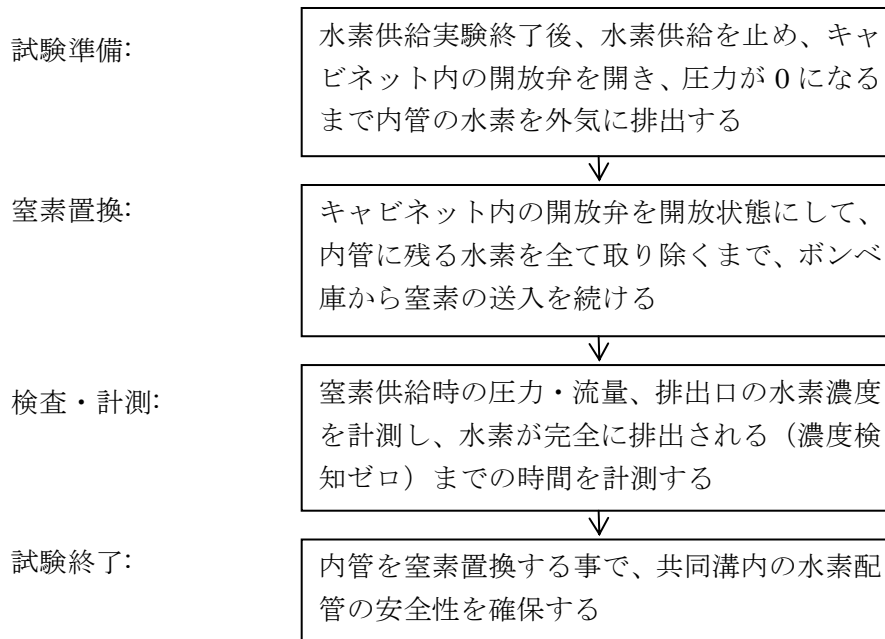


図 2.80 水素パーズ、窒素パーズの安全性検証に係る実験設備概要

## ② 実験方法

水素供給実験終了後に、水素供給を止め、開放弁を開いて内管に残る水素を外気に排出する。さらに管内に残った水素をパージするために窒素を送入し、排出口で水素濃度を計測して水素濃度を検知できなくなるまでにかかる時間と、パージ中の圧力、流量を計測する。外気放出管の状況を写真2.7、写真2.8に示す。



水素供給実験終了前に、管内に残った窒素をパージするために水素を送入し、窒素が排出されるまでにかかる時間と、パージ中の圧力、流量を計測する。実験の様子を写真2.9-2.11に示す。

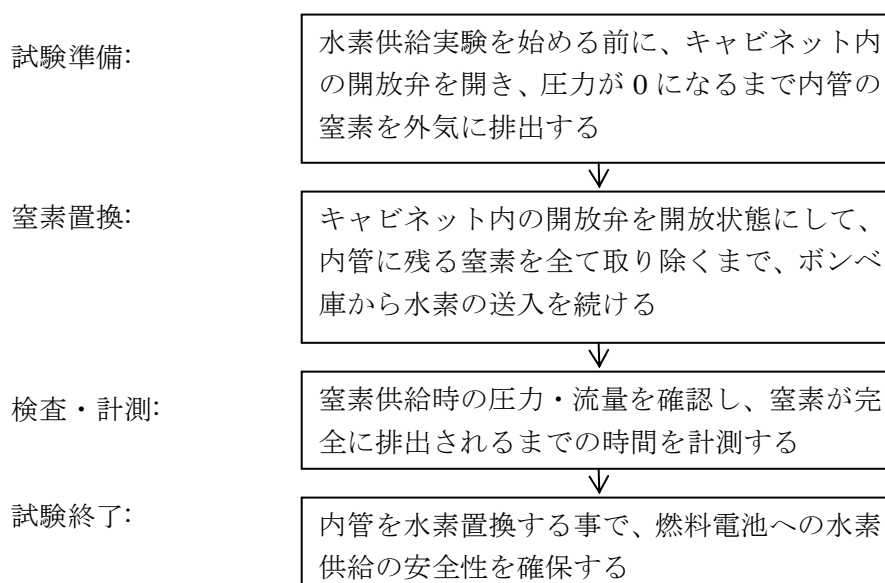






写真 2.7 外気放出管(ステンレス製)の取付け状況  
(外径 : 6.35mm/肉厚 1mm、延長 : 1,800mm)

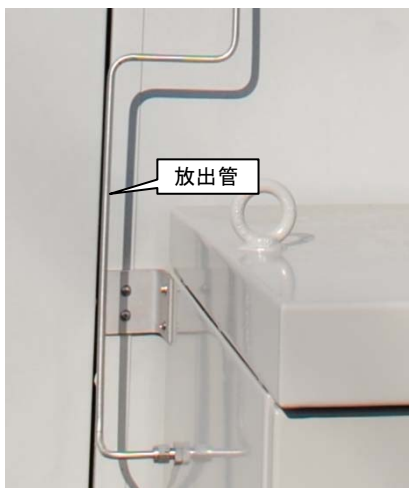


写真 2.8 外気放出管の分岐部  
(開放弁を開いて分岐)



写真 2.9 開放弁の操作状況  
(配管収容キャビネット)



写真 2.10 外気放出口(テフロン管に付け替え)における水素濃度の計測



写真 2.11 パージ作業の操作状況  
(ボンベ庫)

### 3) 実験結果

#### ①水素パージの目安時間

水素供給実験後に管内水素を窒素で置換する際の窒素供給圧力、流量を計測した（図2.81-図2.83）。窒素送出時に供給圧力が増加した後で、水素が外気放出管を通過する際の抵抗により送入する窒素流量及び圧力が安定する期間があり、窒素置換完了後には窒素が外気放出管を通過する際の抵抗が増加して、窒素流量が減少し圧力が増加する。

放出管出口で水素濃度を計測したが、濃度は瞬時に低下しパージのタイミングを計測することは困難であった。窒素流量減少及び圧力増加が安定化した後も200ppmの水素濃度が検知されたが、燃焼限界を大きく下回っているため、安定化後10秒の段階で水素パージが完了するものと設定し、公開実験の際に適用した。窒素置換後には水素放出時には聞かれなかった放出管抵抗による摩擦音が発生することを確認した。

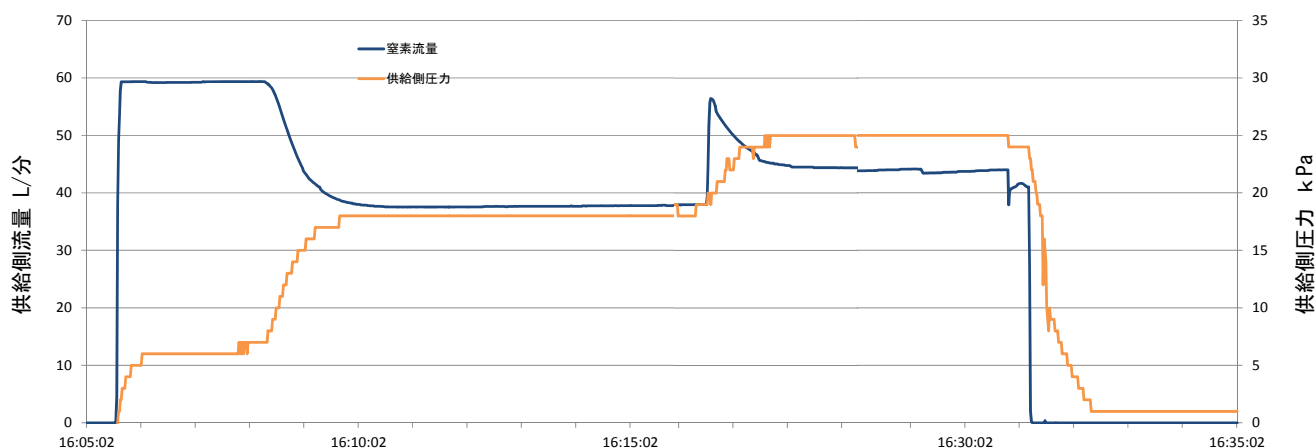


図 2.81 窒素置換（水素パージ）における流量、圧力計測データ（12日16:05～16:35）

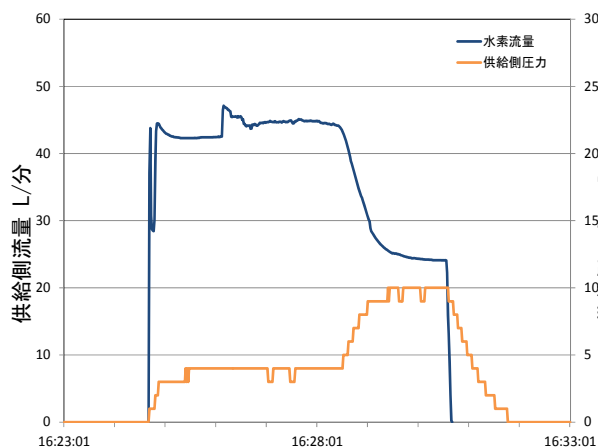


図2.82 窒素置換（水素パージ）における流量、圧力（14日16:23～16:33）

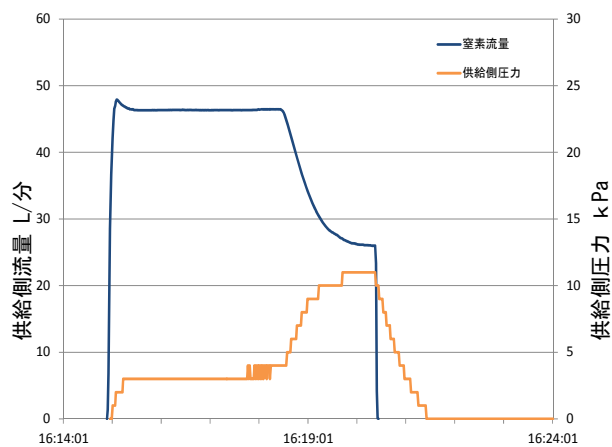


図2.83 窒素置換（水素パージ）における流量、圧力（17日16:14～16:24）

## ②窒素パージの目安時間

水素供給実験前に管内窒素を水素で置換する際の水素供給圧力、流量を計測した（図2.84、図2.85）。

送入圧力が安定まで水素流量が増加～減少した後、窒素が外気放出管を通過する際の抵抗により送入する水素の流量及び圧力が安定する期間があり、水素置換完了後には水素が外気放出管を通過する際の抵抗が減少することによる水素流量の増加及び圧力の低下が捉えられた。

水素パージにおける知見を応用し、水素流量増加及び圧力減少が安定化した後10秒の段階で窒素パージが完了するものと設定し、公開実験の際に適用した。

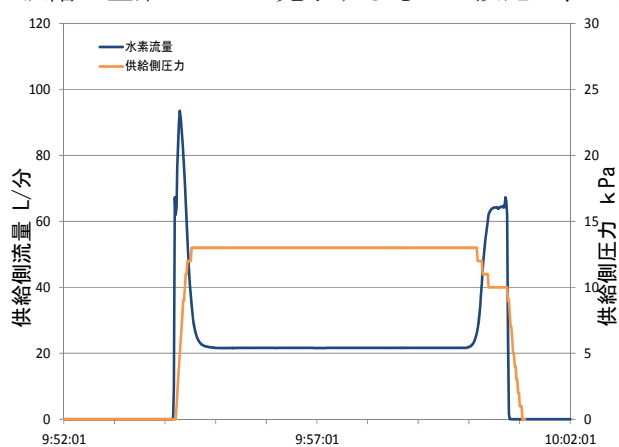


図2.84 水素置換（窒素パージ）における流量、圧力（17日9：52～10：02）

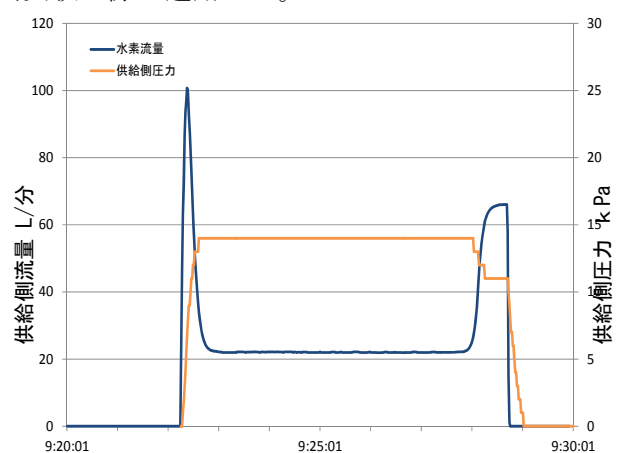


図2.85 水素置換（窒素パージ）における流量、圧力（19日9：20～9：30）

## 2.3 安全対策に係る検討（設計・施工、漏洩検知等）

2.2 で述べた水素の漏洩に関する数値計算、配管の耐震性能に関する実験、配管の炎症防止性能に関する実験の調査結果を踏まえ、建築空間における安全対策について以下の点について整理した。

### 2.3.1 建物空間における安全対策

#### (1) 水素配管の建物の屋外敷設の原則

水素が燃焼する際は無色であるため、配管から水素が漏洩して燃焼した場合、外観により水素の漏洩を判断することは容易でない。そのため、水素配管は建物の屋外に敷設することを原則とする。

戸建て住宅では、燃料電池は屋外に設置することから、既存の建物も含めて水素配管は屋外に敷設する。

他用途の場合でも、新築の建物では屋外配管を原則とするが、既存建物や建物の用途、例えば、低層部が物販店舗で上層部が共同住宅の場合等では、屋内配管とする必要がある場合もあるが、その場合も極力屋外に施設するよう計画する。

なお、配管した部分が屋外と見なせるための条件は、

- ・水素ガスが自由空間で拡散できだけの空気量があること
- ・漏洩した水素ガスで、燃焼範囲にある水素ガスが屋外で想定される以上に蓄積することがないこと

である。そのため、配管を敷設したシャフト内が十分換気されるよう計画する。

#### (2) 既存建物における安全対策

配管からガスが漏洩した場合、マイコンメータにより検知される漏洩規模のものは、比較的早期に検知されること、検知後速やかにガス供給が停止されることから、爆発に至るリスクは小さい。一方、マイコンメータでは検知できない程度の漏洩の場合、検知や供給遮断が遅れ広範囲に水素が拡散するため、爆発の被害も大きくなる。従って、空間特性に応じた安全対策が望まれる。

##### 1) パイプシャフト及び廊下での安全対策

標準的な規模のパイプシャフト床面付近で漏洩した場合、水素も都市ガスも漏洩箇所の近傍が濃度が高く、パイプシャフト天井付近の濃度上昇は比較的遅い。しかし、ガス事業法の低圧ガス配管において許容される管内圧力の範囲（1～2.5kPa）では、ガス種が水素の場合の方が漏洩量が多く、パイプシャフト内の濃度上昇は都市ガスに比べ早く、廊下での拡散も水素の方が短時間で広い範囲にわたる。熱量が等しい水素と都市ガスがそれぞれ漏洩した場合を比較すると、拡散範囲の差が一層大きくなるため、都市ガスは局所的に爆

発をするのに対して、水素は広範囲に爆発の被害が及ぶといえる。

一方、漏洩検知の観点から見ると、都市ガスはマイコンメータで検知できない漏洩については臭いによる検知が現状では唯一の手段であり、水素より拡散の遅い都市ガスは検知にも時間がかかる。それに対して水素は、付臭剤が水素に追従するという仮定の下では、臭いによる検知が可能となる範囲まで水素が拡散する時間は小さく、この傾向は気密性が高く換気量が小さい廊下で顕著になる。しかし、付臭剤が水素に追従するという知見は現状では得られておらず、また、水素は一般の建物では馴染みが薄いガス種であること、臭いによる検知から何らかの対策を実施するまでの時間に拡散範囲はさらに増大することを考慮すると、都市ガスと比べて一層の安全対策を建築物に要求することが望ましい。

要求する安全対策の一例として、パイプシャフト内に水素検知センサーを設置する案が考えられる。パイプシャフト内のどこで漏洩するかは不明ではあるが、天井面あるいは天井直下に設けるのが妥当であろう。センサーが水素を検知する以前に廊下へ水素が漏出する場合もあり得るが、ごく低濃度の水素の漏出であり、廊下の空気と混合するため爆発のリスクは小さい。一方、水素センサーが水素漏洩を検知時点ではパイプシャフト内あるいは廊下へ漏出する水素濃度は爆発範囲に達していることも予想されるため、速やかに供給遮断する方策を併せて施す必要がある。また、水素拡散を抑制する観点からパイプシャフトには常閉の扉が設けることは有効な対策であり、給湯器等の燃焼機器は設置されないことを前提にすれば扉の換気スリットは不要と考えられる。

## 2)居室及び屋外（バルコニー等）での安全対策

バルコニーのように奥行きが浅く、外気に広く面している空間では水素は天井面下に薄い層を形成し外気へと流出するので、屋外と同等と見なせる。同様に、居室でも天井に梁等の突起物がなく、壁面が全面開放されている場合は、水素の蓄積は少なく、水素が蓄積することによる爆発の危険性は小さいと考えられる。

一方、床面積の 1/20 程度の換気口が外壁の梁下に設けられる場合や居室内に梁等の突起物がある場合には、梁せいの分だけの水素溜まりが存在することになり、高濃度の水素がある程度の時間漏洩し続ければ、爆発範囲内の濃度となる空気と水素の混合気が溜まることになる。この部分で電気的な火花等の着火エネルギーを与えるものがあれば、水素は容易に爆発し、建物の構造体や建具、さらには人体への悪影響は免れない。

燃料電池が置かれる空間が通常は人がいない機械室等であれば、臭いによる覚知は想定しづらいため、水素検知センサーによる機械的な漏洩検知対策が必須である。

従って、居室に燃料電池を設置する場合、一つ以上の壁面が全面開放であり、天井に突起物がない空間以外は燃料電池及び水素配管が設置されるスパン全てに水素検知センサーの設置が望ましい。

### 2.3.2 共同溝における安全対策

2.2 で述べた共同溝を用いた実証実験の調査結果を踏まえ、共同溝における安全対策について以下の点について整理した。

#### (1) 配管材料

平成17年から平成19年にかけて経済産業省で行われた「水素供給システム安全性技術調査事業」を参考にポリエチレン管（以下「PE管」）を採用した。配管の接続方法についても同調査報告の方法を採用した。

#### (2) 防爆

共同溝全体を防爆処理することも検討したが、コストが大幅に跳ね上がるため本実験においては不採用とした。

本実験では、低圧（水素に関しては15kpa）での実験であるため、防爆に相当する仕様としてガス管にPE管（25φ）、それを包む外装管として塩ビ管（75φ）を用いた二重巻方式を採用した。なお、外装管については供給側需要側共に地上部までシームレスに施工し、大気開放することで管内圧力が上昇することを抑えつつ共同溝内に漏れるガスを極小とする方針で設計を行った。

#### (3) ガス漏れ検知

ガス漏れ検知対策に関しては、以下の3つの方法を用意した。なお、漏れ検知と同時にガス遮断を自動で行う装置を探したが実機がないため、水素実験期間中は常時担当者が待機し手動による遮断とした。

- ①濃度を直接測る方法
- ②ガス圧の急低下をモニターする方法
- ③音速の変化によって検知する方法

①は市販されている水素検知器を塩ビ管内に5箇所、共同溝内の高所に3箇所の計8箇所設置し、常時モニターする方法をとった。なお、通常の水素漏れ検知はLEL（Lower Explosion Limit）25%が法で定められているが、費用は変わらないとのことで、今回はLEL10%で検知し、常時モニターしている場所でパトライトを光らせてガス停止操作を行うこととした。

②は実験データ取得のために設置していた圧力計をリアルタイムでモニターすることによりPE管破断等、急速低下が予想される管内圧力変化によって検知する方法である。①と同じ画面上に表示し、水素を供給している期間中は常時担当者がモニターする方法とし

た。

③については、塩ビ管内に音源とマイクロフォン2箇所を設置し、各マイクロフォンに音が到達する時間差を計測することにより塩ビ管内に漏れた水素ガスを検知する方法である。音速は空気中に比べて水素雰囲気の中では3倍以上となる。ピンホール等によって漏れ出る水素については①よりも早期に音速に影響が出ることで期待されるため、全体区間を2セットの音速変化計測によって漏れ検知装置とした。

#### (4) 排気

水素が漏出した場合、排気が有効である。共同溝全体を排気する方法は現実的ではないため、塩ビ管内の気体をファンによって排気する方法をとした。

本実験では、供給ガス圧を15kpaとし漏出量を極小とする計画であったものの、配管延長が長い外装管が健全なままPE管が破断した場合には約20リッターの水素ガスが外装管内に漏出する。外装管内には「火種」は無いものの緊急に外装管内の空気を入れ替えることにより爆発等の可能性を最小限とするため、2.2kwの遠心ファンによって排気することとした。吸い込み口において風速を実測した結果、約5.5m/sであった。別途流速計でも計測したが、ほぼ同じ数字となっている。全長は約250mなので、1分以内に外装管内の空気を入れ替える能力である。

なお、断面形状がPE管の部分が欠損した形となるため、狭隘な部分の風速は小さくなり、自然拡散と通風による希釈が必要と想定し、運転時間は5分と設定した。

#### (5) その他

当初の計画では、ガス漏れ検知と同時にメールの一斉配信装置を用意していた。しかしLAN環境での機能は確認されていたがWi-Fi環境で機能しなかったため、安全対策からは外した。

共同溝内の配管に水素を残したまま放置することについて、確立された安全対策が無かったことから、毎日の実験終了後に窒素による水素パージ（水素の追い出し）を行い、「人が監視していない状態では水素を共同溝内には一切残さない」こととした。

今回は、塩ビ管を外装管とすること、及び実験で利用する総水素量が小さかったため、共同溝内の防爆対策までは行わなかったが、一般的な共同溝においてはガスが漏れた場合の対策（ガスの排出対策、着火源の排除等）が必要である。なお、国土交通省関東地方整備局東京第二営繕事務所から平成19年に発行された「施設整備・管理のための天然ガス対策ガイドブック」<sup>6)</sup>によれば、千葉県九十九里平野や東京都東南部低地あたりについては天然ガスが湧出する地域とされている。特に地下鉄等が多く通っている都心部においてはガス管を通していない共同溝であってもガス漏れ検知装置の導入を検討すべきと考えら

れる。

共同溝の安全対策とは直接的には関係ないものの、系統電力網からの離脱実験（停電を想定した実験）を行ったとき、運転をセーブしている燃料電池が数秒以内にフル稼働する状況が確認された。一つの配管系統に数百台の燃料電池が繋がっていて系統電力網との連携運転をしている場合、停電時において一斉に水素燃料消費量が上昇することを意味する。これは、従来のガス供給事業においてはありえない現象である。配管設計における配管径や供給ガス圧の設定において留意する必要があると考えられる。



## 2.4 まとめ

第2章では、水素配管を敷設した建物等空間の安全性について検討を行い、以下の知見を得た。

1)水素配管を敷設した建物等空間の安全性に関する検討を行うための前提条件を整理し、水素配管を敷設した建物等空間の安全性を数値計算、実験により検討するために、外力を想定した。また、水素配管を敷設した建物等空間の安全性を確保するために必要な事項(対策)を検討する上での前提条件を整理し、国内における水素等配管等の材料・施工コストに関する情報を整理するため、建物内の既存一般燃料ガス配管からの漏出事故事例及び検知並びに一般燃料ガスの設置基準についてのガス事業関連法令及び業界実務指針、自主基準等の資料収集並びに整理を行った。また、施工コストについては関連雑誌、カタログ及びガス事業者の公表値を整理した。

2)水素漏洩時の爆発危険性を検討するため、既存建物のパイプシャフトの現況調査を実施し、この結果をもとに数値流体解析によりパイプシャフト及び廊下での水素拡散性状を検討した。その結果、既存建物の調査では、事務所及び共同住宅におけるパイプシャフトの寸法、内容物については建物規模によらず用途毎に概ね似通ったものになる傾向が明らかとなった。また、数値流体解析による水素拡散性状の検討では、配管内圧力、廊下での換気量によるパイプシャフト内及び廊下での水素拡散性状の違いを明らかにするとともに、都市ガスの拡散性状との比較を行った。

3)建物居室等の空間内に敷設されたガス配管から水素ガスが漏洩した場合を想定し、水素ガスの拡散性状をもとにした漏洩検知対策を検討することを目的として、数値計算による検討を行った。その結果、水素は天井付近に蓄積しつつ徐々に下方へ拡散するが、梁等の障害物が存在することで局所的に水素濃度が高くなることが明らかになった。自然換気の場合、外部風があれば室内に対流が生じることにより水素は室外へ排出されやすくなるが、無風時であれば換気の影響は少なく天井付近に高濃度の領域が存在することになる。このため、水素爆発の危険性を低減するためには、天井付近に蓄積する水素濃度が爆発下限界を上回るまでに漏洩を止める必要があり、水素検知のためのセンサーが設置されることが望ましいことを指摘した。また、機械換気の場合、換気回数を5回程度にすれば天井付近への蓄積を防止することができることが分かった。

4)建物バルコニー等の屋外空間に敷設されたガス配管から水素ガスが漏洩した場合を想定し、水素ガスの拡散性状をもとにした漏洩検知対策を検討することを目的として、数値計

算を行った。その結果、バルコニー上部で水素の拡散を阻害する要因がなければ、外部風の有無によらずバルコニーで水素が蓄積することはないことが示された。したがって、バルコニーについては水素漏洩に関する特段の措置は必要ないものと思われる。

5)低層及び中層建物を想定した基礎及びガス配管を対象として、神戸 NS 波、エルセントロ NS 波、正弦波（+スweep加振）を想定地震波として加震実験を実施した。その結果、地盤の隆起・陥没、液状化等では損傷の恐れはあるものの、一般的な宅地地盤（相対密度60%）におけるガス配管は揺れだけでは損傷しないことが明らかとなった。

6)室内ガス配管が火災時に加熱された場合を想定し、配管の損傷や継ぎ手部分のガス漏洩等により、火災区画以外で配管が損傷してガスが漏洩し、蓄積後に着火して爆発して、延焼しないよう配管への要求事項を検討することを目的として、室内敷設配管の火災加熱実験を実施した。その結果、通常の1時間程度の火災であれば、火災区画外での水素配管（亜鉛メッキ鋼管またはフレキ管）および継ぎ手部に熱による損傷はなく、火災に起因する水素漏洩に関する特段の措置は必要ないものと考えられる。ただし、配管が長時間加熱を受ける場合や消火後等の事故防止のため、火災覚知と同時に水素供給が停止される仕組みは必須であるといえる。

7)水素供給実験の安全確保に万全を期する観点から、ヘリウムを使用した点検、水素を使用した点検の二段階の事前設備点検を実施した。現地において水素配管の耐圧気密性を確認するとともに、共同溝内の水素配管を經由して燃料電池に水素を供給する実験より、水素供給時における水素配管の圧力変動などの実証データを得た。

8)水素配管を敷設した建物等空間の安全性を確保するために必要な安全対策を整理した。また、既存共同溝において都市内に水素を供給する際のガス漏れ等の対策を確認するための実証実験を通じて得られた安全対策を整理した。

## 第3章 燃料電池等による建物の低炭素化技術

### 3.1 目的

都市全体の低炭素化を進めていくためには、都市を構成する様々な用途・規模の建物のそれぞれについて、エネルギー利用効率の向上と需要側のエネルギー消費削減の双方が求められる。第3章では、建築物に必要とされる低炭素化・省エネ化技術のうち、燃料電池を利活用する技術と建物(需要側)の各種省エネ技術について、以下の見地から検討を行い、技術的資料としてとりまとめる。

#### 3.1.1 燃料電池を利活用する技術に関して

燃料電池は、純水素型では稼働時に二酸化炭素を全く排出しないことから、また化石燃料を使用するタイプでも発電効率や排熱も含めての総合効率が高く二酸化炭素の排出を減少させることができることから低炭素化技術の一つとして開発が進められており、これまでに、化石燃料を使用するタイプの100kW級の業務用りん酸形燃料電池や家庭用燃料電池(1kW級)が市販される状況になっている。燃料電池は、排熱も有効に利用することでエネルギー利用効率を格段に向上させることができるが、コージェネレーションシステムとして使用する際に供給側(燃料電池)と需要側(建物)の電力と熱の量的、時間的なギャップ(需給ギャップ)が生じることで想定した効果を見込めない事態も生じうる。建築物の電力・熱の需要は用途や規模に応じて様々であり、一般にはホテルや病院用途の建物では湯が大量に消費されるが、その他の建物用途では電力需要の方が給湯・暖房用の熱需要に比べてはるかに大きい。一方、冷熱需要が大きい建物用途では、排熱利用熱源機で冷熱を取り出すことで効果的に熱を使用することも考えられる。いずれにしても、燃料電池を導入する際には、その建物の電力・熱需要に対応した計画が必要となるが、建物への適切な導入手法に対する検討はなされていない。

住宅用の燃料電池は2011年度までに約2万台が販売され、2012年度は普及にさらに弾みがついている状況にある。これは、東日本大震災を受けての反応とも言われており、太陽光発電の導入とともに住宅のエネルギー事情を大きく変化させてきている。他にも、電気自動車や燃料電池自動車との連携、負荷平準化や需給ギャップ解消のための蓄電池、低損失となる直流給電、それらを連携させ系統連携や自立制御を行うスマート化技術等の導入により、さらに大きな変化も予想されている。

次節「3.2 燃料電池の利活用技術」では、以上のような燃料電池を中心としたエネルギー利用技術の現状を「3.2.1 燃料電池・排熱利用技術の技術開発動向調査」の中で整理している。技術開発動向の文献調査を行うとともに、燃料電池と排熱利用技術の開発に携わっている技術者、研究者等にアンケートと聞き取り調査を行い、建物への燃料電池導入と

排熱利用技術の課題を確認している。

また、「3.2.2 燃料電池・排熱利用技術導入による省エネ効果の評価」では、建築物の用途・規模毎に燃料電池と排熱利用設備を簡易設計システムシミュレーションを行うことで、導入効果の高い燃料電池と排熱利用技術をあきらかにしている。

「3.3 スマート水素ハウスの省エネ・CO<sub>2</sub>削減効果の評価」では、戸建住宅を対象に、燃料電池をはじめ、各種の低炭素化・省エネ化技術について導入時の課題を検討し、燃料電池を導入したスマート住宅のモデルケースについて低炭素化、省エネ化の効果を検証している。

### 3.1.2 建物(需要側)の各種省エネ技術に関して

建物の省エネ化は、最初に省エネ基準が施行された 1980 年を一つの端緒として長年にわたり取り組まれているものの、現時点でも大きな課題であることに変わりはない。建物には各種の省エネ手法が導入されるが、省エネ手法の導入効果を適切に評価しながら設計を進めていくことは依然として難しい。その上、空調、換気、照明、給湯、昇降機等の各種設備もあわせて建物全体について総合的に省エネ手法の導入効果を適切に評価することは、対応できるシミュレーションツールが少ないこともあり、より難しいと言わざるをえない。

第4章で詳述する都市全体のエネルギー消費量、二酸化炭素排出量等の評価を可能とする「都市 CO<sub>2</sub> 計量評価ツール」の中では、都市を構成する建物群のエネルギー需要が大きなパラメータの一つとなる。既往の建物のエネルギー消費量調査から得られている原単位を使用した検討は可能であるが、調査建物の諸元が詳細まで明確になっていないデータが大半であり、建物に省エネ手法を導入する際の効果を個別に分析することは不可能である。

「3.4 省エネ効果の体系化」では、独立行政法人建築研究所が開発した一次エネルギー消費量算定プログラムを用いて、事務所建物について、空調、換気、照明、給湯、昇降機に関する省エネ手法を導入した際の一次および二次エネルギー消費量を算定し、建物全体のエネルギー消費量削減に及ぼす各種省エネ手法の効果を都市 CO<sub>2</sub> 計量ツールで使用できるパラメータ(省エネ係数)としてまとめている。

各種省エネ手法の効果は、対象とした建物、設備の設計方法により大きく変わることから、「3.4.1 建物・設備モデル設定」で、本節で検討対象とした建物プランと設備仕様を明示し、そのモデルにおいて適用される各種省エネ手法の効果を「3.4.2 省エネ効果の体系化」でとりまとめている。

## 3.2 燃料電池の利活用技術

### 3.2.1 燃料電池・排熱利用技術の技術開発動向調査

国の施策動向のほか、燃料電池及び排熱利用機器メーカーやエネルギー事業者、研究機関、需要家等へのアンケート及びヒアリング調査結果をもとに整理を行った。

#### (1) 燃料電池システム開発に関する計画等の整理

これまでに研究開発及び商品化が行われてきた燃料電池は、PEFC（固体高分子形）、SOFC（固体酸化物形）、PAFC（リン酸形）、MCFC（熔融炭酸塩形）の4種類であり、現在は、主にPEFCとSOFCの2方式について研究開発が進められている。

##### ① 省エネルギー技術戦略2011（経済産業省）

PEFC及びSOFCの2種類について、2030年頃を目途とした技術開発目標（コスト面、性能面）について整理を行っている。

##### ② 燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010（NEDO）

PEFC（定置用）とSOFC（定置用、複合システム）の2種類について記述されており、PEFCについては、スタックだけでなく、周辺機器も含めて総合的なコスト低減が必要であるとの整理を行っている。

一方、SOFCについては、適用先によって4段階の規模を想定しており、初期導入目標を2020年または2025年頃、それから2030年までを普及期間と想定している。

##### ③ Cool Earth－エネルギー革新技術計画（2009、経済産業省）

重点的に取り組むべきエネルギー革新技術21件の一つとして、「定置用燃料電池」が含まれている（民生部門の技術として分類）。前述した燃料電池4種類のうち、以前より商品化されているPAFCについては記載が見られず、残り3種類の燃料電池について、現状の課題及び今後の技術開発目標が整理されている。

##### ④ 再生可能エネルギー技術白書（2010、NEDO）

「スマートコミュニティ」の章で燃料電池システムについて言及されており、住宅、ビル等における利用の将来像について整理されている。

## (2) 燃料電池及び排熱利用システムに関するアンケート調査

### ① 調査対象の検討・絞り込み

燃料電池本体や排熱回収・利用技術に加えて、燃料電池システム全体や建物側での利用技術など、建物におけるエネルギー利用全般に関連する分野の抽出を通じて、調査対象の検討・絞り込みを行った。調査先の概要を表 3.1 に示す。

表 3.1 アンケート調査先概要（全 56 件中、34 件から回答を得た）

区分		調査先
大学		7カ所に依頼。6カ所より回答を得た。
関係団体(3件全てから回答)		3団体に依頼。3団体より回答を得た。
エネルギー関連会社		10社に依頼。6社より回答を得た。
民間会社	(燃料電池本体)	19社に依頼。6社より回答を得た。
	(排熱利用機器)	
	(計装システム)	
需要家		8カ所に依頼。4カ所より回答を得た。
ゼネコン、サブコン		7社に依頼。7社より回答を得た。
自治体		2自治体に依頼。1自治体より回答を得た。

## ② アンケート調査項目

調査先の特性に応じて、アンケート調査項目を表 3.2 のように設定した。

表 3.2 アンケート調査先区分と質問事項（○をつけた項目について調査）

	大学	団体	エネルギー 関連会社	民間会社	需要家	サブコン ゼネコン	自治体等
1) 研究開発中の燃料電池の有無	○	○	○	○	—	—	—
2) 建物熱需要向けの技術開発の有無	○	○	○	○	—	○	—
3) 燃料電池及び排熱利用に関する プロジェクト参画経験の有無	○	○	○	○	○	○	○
4) 燃料電池の生産・販売	—	—	○	○	—	—	—
5) 建物熱需要向けの熱源機器	—	—	○	○	—	○	—
6) 燃料電池使用の有無	—	—	—	—	○	—	○
7) 導入拡大に向けた課題	○	○	○	○	○	○	○
8) 今後の方向性、期待、国への要望等	○	○	○	○	○	○	○

## ③ アンケート調査結果概要

質問項目別に、回答結果の概要を示す。

### (a) 研究開発中の燃料電池

- PEFC については、現在、家庭用に導入されている 1(kW)クラスの高性能化に加え、やや規模の大きい 10(kW)クラスについても、開発が進められている。
- SOFC については、1(kW)クラスの外、業務用建築に適用可能な数百(kW)クラスの機種についても開発が進められている。
- この他、SOFC 稼働時に発生する高温蒸気を PEFC 用の水素改質に利用し、システム全体のエネルギー効率状況を高める研究や、アニオン伝導無機層状酸化物型燃料電池の開発が進められている。

(b) 建物熱需要向けの技術開発の有無

- 自然エネルギー(地中熱)や未利用エネルギー(太陽熱)との組み合わせなど、以下のような技術開発が進められている(表 3.3)。

表 3.3 建物熱需要向けに開発されている技術

技術名称	研究・開発主体	概要
地中熱ヒートポンプ	大学	排熱媒体は市水(冷水 4℃、温水 70℃)、FC 排熱を地中熱 HP へ輸送する配管を設計中。完成後、FC 排熱利用による COP 改善効果を検証予定。
水素吸蔵合金タンク	大学	排熱媒体は市水、温水 70℃。水素吸蔵合金の水素吸蔵・放出は吸熱反応のため、合金の温度管理に FC 排熱を利用。現在、配管及び熱設計などについて検討中。
家庭用デシカント排熱利用	エネルギー関連会社	利用可能温度の下限拡大、床暖房も含めた排熱利用モード搭載について開発中。
太陽熱利用型 冷暖房給湯システム	民間会社	集熱器で温水をつくり、温水焚吸収冷温水機と組み合わせて冷暖房に利用する技術を実証試験中。
簡易移送型 潜熱蓄熱装置	民間会社	「地球温暖化対策技術開発事業(環境省)」に採択され、2011～2013 年度(予定)の期間で開発を進めている。排熱媒体は、排ガス、高温空気、蒸気、温排水等を想定。

(c) 燃料電池及びその排熱利用に関するプロジェクト参画経験の有無

- PEFC については、家庭用システムの大規模実証の他、業務用の 10(kW)クラスの機器についても実証が行われている。
- SOFC については、家庭用の数 kW クラスのものから、業務用に活用可能な数十 kW クラスのものまで、実証が行われている。また、コプロダクションやコンバインドシステム等、他の機器との組み合わせによる高効率化が進められている。
- PAFC については、適用範囲の拡大を目的に、寒冷地での実証が行われている。

(d) 燃料電池の生産・販売

- PEFC、SOFC とともに、家庭用の 1(kW)クラスが生産・販売されている。いずれも都市ガス型と LP ガス型があり、PEFC の場合、発電効率、排熱利用効率ともに LP ガス型の方がやや性能が高い(SOFC においては、差はなし)。
- PAFC については、以前から実用化されている 100(kW)のものが生産・販売されている。家庭用の PEFC、SOFC と異なり、排熱を給湯以外にも利用可能なため、燃料電池本体のみの販売となっている。



(e) 建物熱需要向けの熱源機器

- 排熱投入型吸収冷温水機(ジェネリンク)については、多くの機種があり、メーカーによっては三重効用の機器も存在する。ただし、三重効用の機器は、他の機種に比べると、機器単体の容量が小さくなっている。
- 排熱は単効用、追い焚き分をガス二重効用(都市ガス)で賄うことにより、機器全体の冷熱製造時における効率向上を図っている。

(f) 燃料電池システムの使用状況

- アンケート回答が得られた需要家4件のうち、3件はPAFC、1件はPEFCを利用。現在も稼働しているのは、一需要家のシステムのみ(PAFC)であった。
- 現在停止中の施設は、故障や部品交換費用が高価であることが原因である。
- 病院(一需要家)、上下水道施設(一需要家)では、施設内の電力・熱需要ともに大きいと、常時稼働している(していた)。

(g) 燃料電池システムの導入拡大に向けた課題

- 製造コスト(販売単価)、長寿命・メンテナンスコスト・耐久性を課題として挙げている回答が多く、これらの課題については、調査先の区分関係なく課題として認識されていることが伺える。また、「挙げた選択肢全てが課題」との記述も見られた。
- 発電効率やメンテナンスコストについては、ガスエンジン等、同種の機械との比較を前提に、普及のために達成が必要と考えられる水準について、具体的な提示も見られた。



- ✚ 製造コスト(販売単価)及びメンテナンスコスト低減、長寿命化、耐久性向上の観点からの研究開発が進むことで、燃料電池の適用先拡大が期待される。
- ✚ 他のコージェネとの競合も考えると、性能、コスト面でも、既存のガスエンジン等と比較して上回る必要がある。

(h) 今後の方向性、期待、国への要望等

- 前項で課題として挙げられていた事項に関する意見(コストダウン、長寿命化等)が多く出された。また、業務用建築に適用可能な機種自体が少ないことを指摘する意見もあった。
- 国からの導入支援として、補助金等が必要という意見が多く見られた。
- 燃料電池システムの特性を考慮した評価方法を採用すべきとの意見も見られた。



- ✚ 業務用建築への燃料電池システム導入拡大のためにも、数十～数百(kW)クラスのシステムの早期実用化、商品化が期待される。
- ✚ 排熱を複数建物で利用する場合の配管敷設に関する補助など、燃料電池本体だけでなく、その周辺インフラ整備に対しても、補助金等の活用が可能となることが望ましい。

### (3) ヒアリングによる詳細調査

上記のアンケート調査結果を踏まえ、将来の機器開発動向や目標とする性能等に関するより詳細な情報、業務用建築及び都市において燃料電池システムを導入していく上で必要となる要素について、表 3.4 に示す項目のヒアリング調査を行った。また、ヒアリング調査先は、アンケート回答が得られた調査先から計 21 件を選定し、このうち表 3.5 に示す 16 件より回答を得た。

表 3.4 ヒアリング調査項目

(a) 定置用燃料電池普及の現実性	<p>(具体的な項目の例)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 民生用建物における燃料電池普及の現実性と課題               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 燃料電池が活用される建築条件、用途条件</li> <li>➢ 業務用燃料電池（数十～数百(kW)クラス以上）の開発状況</li> <li>➢ ガスエンジン、ガスタービン、ディーゼルエンジン等に対する優位性</li> <li>➢ モノジェネとしての活用の可能性</li> </ul> </li> <li>◆ 需要家側の燃料電池システムに対するニーズ</li> </ul>
(b) 燃料電池が都市及び建物のエネルギーシステムとして定着するための条件として考えられる事項	<p>(具体的な項目の例)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 今後の技術開発において重視すべき事項、解決すべき課題</li> <li>◆ 都市内に水素配管が整備されると仮定した場合の適用先拡大の可能性</li> </ul>
(c) 都市システムとして燃料電池を活用する上でのあり方、可能性	<p>(具体的な項目の例)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 燃料電池を建物単体で保有するか、都市・地域ネットワークとして保有するか</li> <li>◆ 都市・地域ネットワークで保有する場合に想定される（必要となる）規模、エンジン発電機に比べて優位となるための条件</li> <li>◆ 都市・地域ネットワークで燃料電池を持つ場合の排熱有効利用方法</li> </ul>
(d) 水素、燃料電池活用時における利用者視点での安全面の課題及びその対策	
(e) 定置用燃料電池の海外展開	<p>(具体的な項目の例)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 海外における燃料電池活用の動向</li> <li>◆ 電力ネットワークが十分でない国、地域における動向</li> </ul>

表 3.5 ヒアリング調査先一覧（回答が得られた 16 件について掲載）

区分		調査先
大学		2カ所から回答を得た
関係団体		1 団体から回答を得た
エネルギー関連会社		5社から回答を得た(うち3社はメール調査による回答)
民間会社	(燃料電池本体)	2社から回答を得た
	(排熱利用機器)	2社から回答を得た
	(計装システム)	1社から回答を得た
需要家		1カ所から回答を得た
ゼネコン、サブコン		2社から回答を得た

(a) 定置用燃料電池普及の現実性

PEFC、SOFC とともに部分負荷運転は可能であるが、出力を下げた状態では、主に排熱利用効率の低下により、総合効率が低下する。このため、電力、熱負荷変動の比較的少ない用途もしくはベース負荷を賄う形での導入が望ましい。また、逆潮流可能かつ等価買取りに近い条件で稼働させることができれば、特に、比較的発電効率の高い SOFC については、発電能力を最大限に活用することが可能になる。その場合、排熱が余ることも想定されるため、蓄熱も考慮したシステムを考える必要がある。

また、燃料電池システムのメリットは、小規模でも機器（発電）効率が低下しない点にあり、大容量化で排熱利用面では有利となるが、内部の部品点数が増加するため、コスト及びメンテナンスの点では、必ずしも有利になるとは限らない。

排熱利用も含む高効率な利用を行うためには、蓄熱システムの活用もしくは温熱需要自体が大きい寒冷地での導入を中心に検討するのも一つの方法である。

なお、モノジェネとしての利用可能性については、発電効率で概ね 60%以上の水準まで上がれば可能と考えられる。

(b) 燃料電池が都市及び建物のエネルギーシステムとして定着するための条件として考えられる事項

PEFC の場合、都市内に水素配管が通れば、現行の都市ガス等の燃料改質方式に比べて発電効率の大幅な改善（10%程度）が期待でき、機器自体の小型化、低価格化が可能になる。ただし、都市域では、すでに電気と都市ガスのネットワークが整備されており、さらに水素配管が整備されるとすれば、燃料電池自動車、水素ステーションの普及を見込んでのことではないか、との意見も出された。

SOFC の場合は、水素利用により改質時に消費する熱が不要となるため、排熱回収温度

を高く取る（蒸気、300℃程度）ことが可能となる。これにより、排温水を利用する場合と比べて、効率的に冷熱を製造、利用することが期待される。

#### (c) 都市システムとして燃料電池を活用する上でのあり方、可能性

小型でも発電効率が低下しにくい特性を活かすためには、建物単位やフロア毎に1台ずつ配置するといった、できるだけ分散させて設置することが有効である。中・大規模ネットワークを構成する場合には、コスト及び機器効率ともに、ガスエンジンシステムの方が事業性は高いと考えられる。

#### (d) 水素、燃料電池活用時における利用者視点での安全面の課題と対策

現在主流である家庭用燃料電池の場合は、一般的に屋外への設置であり、また、改質装置内で製造した水素はすぐに本体へ供給される。このため、仮に水素が漏れることがあったとしても、すぐに上空へ放散するため、安全上の問題は少ないと考えられる。ただし、今後、前述のような水素配管が整備されるような場合には、付臭処理や検知器の設置、漏洩ガスの滞留防止等の対策を十分行うことが望ましい。

また、数十～数百(kW)以上の燃料電池システムを業務用建築へ導入する場合、他の熱源機器とともに機械室内へ格納されると考えられるため、排熱が室内へ溜まらないよう、機械換気が必要となる。

#### (e) 定置用燃料電池の海外展開

将来的に展開を予定している製造事業者もあり、現在は事前調査段階との回答であった。現状、国内では取り扱いがない MCFC についても、国外では実証等が進められている。燃料電池種類別に、開発・実用化状況の概要を表 3.6 に示す。

なお、海外では、中・大規模の燃料電池は屋外で使用されることが多い。設置スペースに余裕があること、及び室内に設置する場合に、大規模な吸排気設備を併設する必要があることが、その理由である。

表 3.6 海外における燃料電池技術の開発・実用化に関する動向

種 類	開発・実用化の概況
PEFC	日本と韓国が中心である。欧米では定置用の導入は断念しており、純水素を利用した車両用の補助電源として使用されている。
SOFC	国内の他に、海外でもドイツ、アメリカで開発が進められている。実証レベルで発電効率 55%を達成している機種もあるが、基本はモノジェネでの利用が中心である。
PAFC	排熱(湯)の利用方法や使用する燃料種類の関係で、海外でも屋内に設置されている。アメリカで 400(kW)クラスが製造されている。
MCFC	韓国で実証が進められている(ただし機器はアメリカ製)。耐久性と価格面でのメリットを得るのが容易でなく、現在、日本国内では取り扱われていない。

#### (4) 燃料電池排熱の建物利用に関する技術動向のまとめ

今回の調査結果及び既存資料をもとに、燃料電池及びその排熱利用システムについて、技術別、分野別に整理を行った。なお、アンケート及びヒアリング調査においては、燃料電池本体及び排熱利用機器に関する技術動向、今後の展望等を中心に情報収集を行ったが、都市域における燃料電池システム普及の観点から、以下の2項目について、新たに整理を行った。

- 都市域への水素インフラ整備
- HEMS、BEMS 等エネルギーマネジメントシステム

##### ① PEFC (固体高分子形燃料電池)

###### 【現在の開発状況】

戸建住宅への導入を前提とする 1(kW)級について、平成 20 年度までに大規模な実証が行われ、現在は、家庭用(発電出力 0.7kW)が複数のメーカーより販売されている。都市ガス型と LP ガス型で、性能に若干の差が見られる(表 3.7)。

一方、業務用への導入を想定した 10(kW)級のシステムについては、平成 14 年度より実証が行われており、平成 18 年度から 19 年度にかけて、灯油型の業務用燃料電池システム(発電出力 8kW)の実証試験運転が実施されている<sup>7)</sup>。実証機の機器性能は表 3.8 のとお

表 3.7 市販の家庭用 PEFC システムの機器性能

PEFC(0.7kW)	都市ガス型	LPガス型
発電効率	35~40%	38%
排熱回収効率	45~50%	50%
排熱利用形態	温水(60℃)	温水(60℃)
貯湯槽容量	200(L)	200(L)

表 3.8 実証システムの機器性能

PEFC (8kW)	灯油型
発電効率	36%
排熱回収効率	45%
排熱利用形態	温水(60℃)
貯湯槽容量	200(L)

りであり、現在、筑波大学等で同規模のシステムに関する研究が引き続き行われている。

**【将来目標】**

燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010 (NEDO) において、2015年までを普及初期、2020年までを本格普及に向けた開発期、2020年以降を本格普及期と想定、それぞれの時期における機器効率等の達成目標について、表 3.9 に示すとおり設定している。1(kW)級と10(kW)級で、発電効率やシステム価格等に関する目標は共通である。

**表 3.9 PEFC の開発目標**

目標項目	～2015年	～2020年	2020年～
発電効率	37%	37%	40%以上
総合効率	—	—	85%以上
耐久性	6万時間 (起動停止10年)	9万時間	9万時間
システム価格	50～70万円/kW	40～50万円/kW	40万円/kW未満

**【目標達成に向けた課題】**

事業者へのアンケート及びヒアリング、前述のロードマップでの整理を踏まえると、以下のとおりである。

- 低コスト化のための抜本的システム簡素化
- 高温低加湿(80～100℃程度) 運転対応システムの構築
- 低環境温度への対応技術 (現行システムは、寒冷地仕様で-10℃まで)
- 不純物影響低減技術・性能回復技術
- 高効率、高信頼性システムに向けた材料開発、その性能のセル・スタックレベルでの実証

**【都市域への水素インフラ整備を想定した場合の可能性】**

将来的な都市域への水素配管敷設、またはボンベ等で貯蔵し、燃料として純水素が使用可能となるケースを仮定すると、現行システムに比べて、発電効率で10%程度の改善が期待される。これにより、現行機であっても、発電効率が45～50%近くまで向上することが見込まれ、これに排熱利用分も考慮すると、他のエネルギーシステムに対して遜色ない水準となることが期待される。

## ② SOFC（固体酸化物形燃料電池）

### 【現在の開発状況】

民生用建物等への導入を目指し、以前から比較的容量の大きな機種の開発、実証が行われる一方、平成 23 年 10 月より、家庭用の定格 0.7(kW)の機器が市販されている(表 3. 10)。

表 3. 10 家庭用 SOFC システムの機器性能

SOFC (0.7kW)	都市ガス型、LPガス型
発電効率	45%
排熱回収効率	42%
排熱利用形態	温水(65℃)
貯湯槽容量	90(L)

PEFC と同様、都市ガス型と LP ガス型があるが、発電効率等に差はない。機器の価格についても、PEFC の同規模機器と同様、本体の小売価格は 250 万円前後であり、補助金の活用を仮定すると、機器容量あたり単価は約 200～250 万円/kW となる。

民生用建物への導入に関しては、マイクロガスタービンとのコンバインドシステムの研究開発が進められており、200(kW)級のもので最大出力 229(kW)、発電効率 52.1% (LHV 基準、送電端) を達成している<sup>8)</sup>。現在、同形式で 1,000(kW)級の機種についても開発が進められている。なお、現在の開発レベルにおける本システムの導入コストは、概ね 250 万円/kW である。

他に、大型のガスタービン及び蒸気タービンとのトリプルコンバインドシステム（数万～40 万 kW 級）についても開発が行われている。



【将来目標】

規模により本格普及の時期等も異なると想定されており、普及期においては、いずれも耐久性9万時間（常時稼働で10年を想定）以上、システム価格についても、現状の家庭用燃料電池の10分の1以下の水準を目指している。なお、業務用ハイブリッド型と大容量（発電用）型については、いずれも排熱利用を想定せず、発電効率の向上に主眼を置いた仕組みであることから、発電効率のみを記載した（表3.11）。

表 3.11 SOFC の規模別開発目標

段階	項目	1～数(kW) 家庭用	数～数百(kW) 業務用	数百～数千(kW) 業務用ハイブリッド*	数千～数十万(kW) 大容量(発電用)
初期導入	時期	～2020年	2015年以降	2017年～	2018年～
	発電効率	45%	45%	55%	65%
	総合効率	82%	89%	—	—
	耐久性	4万時間 (5年以上)	4万時間 (5年以上)	4万時間 (5年以上)	9万時間 (10年以上)
	システム 価格	kWあたり 50～100万円以下	kWあたり 100万円以下	—	kWあたり 数十～100万円
普及期	時期	2020年～	2025年～	2022年～	2022年～
	発電効率	55%	55%	60%	70%
	総合効率	89%	89%	—	—
	耐久性	9万時間 (10年以上)	9万時間 (10年以上)	9万時間 (10年以上)	9万時間 (10年以上)
	システム 価格	20万円/kW以下	20万円/kW以下	15万円/kW以下	15万円/kW以下

【目標達成に向けた課題】

システム規模別に示す（表3.12）。

表 3.12 SOFC の技術開発上の課題

課題	1～数百(kW)級 (家庭用、業務用)	数百～数十万(kW)級 (業務用ハイブリッド、発電用)
共通	■ 低コスト化、コンパクト化	
規模別	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 起動停止特性、負荷追従性の向上</li> <li>■ 部分負荷運転制御性の向上</li> <li>■ システム評価手法の確立</li> <li>■ メンテナンス方法の確立</li> <li>□ 電気・熱出力最適化と運用効率向上 (業務用: 数～数百(kW)級のみ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ガスタービンとのハイブリッド技術のシステム化・制御技術・実証</li> <li>■ 燃料多様化</li> <li>■ 不純物耐久性の把握、対策</li> <li>■ 高圧力下での劣化挙動解析</li> <li>■ 高温排熱の高度利用</li> <li>□ 高圧力稼働用スタック検証、高圧力運転技術、複合発電システムの制御技術 (SOFCとGTの動的依存性の把握、起動停止、負荷変動制御、負荷追従方法) (発電用: 数千～数十万(kW)のみ)</li> </ul>

【都市域への水素インフラ整備を想定した場合の可能性】

SOFC においては、都市ガスまたは LP ガスを改質して使用する場合と、純水素を利用する場合とで、発電効率に大きな差は現れない。ただし、改質工程が不要となる分、高い温度での排熱回収が可能となる。このため、排熱を利用して冷房需要を賄うことが可能になり、より高効率な排熱利用が期待される。

③ PAFC（リン酸形燃料電池）

【現在の開発・導入状況】

燃料電池の中では最も早くから商用化されており、国内では業務用の 100 (kW) 級の製品が販売されている。表 3.13 に示した機種においては、排熱の利用形態に合わせて高温または中温のいずれかを選択可能である。海外では、やや規模の大きい 400 (kW) 級の製品も販売されている<sup>9)</sup>。

表 3.13 市販の業務用 PAFC の機器諸元

PAFC(100kW)	都市ガス型
発電効率	42% (消化ガス使用時:40%)
排熱回収効率	20% (高温:90℃取り出し) 49% (中温:60℃取り出し)
排熱利用形態	高温水または中温水

【将来目標】

ここでは、国内で市販を行っている会社の技術資料をもとに整理した。以前の機種に比べ、現行機は、設置面積の縮小や低温環境下への対応、耐震性の向上等に対応しており、さらなる展開として、表 3.14 に示す 3 点が提示されている。なお、発電効率、熱回収効率等のシステム効率に関連する改善目標などは、提示されていない。

表 3.14 今後の技術開発の方向性

項目	詳細
純水素、副生水素利用	燃料電池から出てきた排水素を本体入口に戻して再利用、高い水素利用率を実現
災害対応機能	都市ガスの供給停止時にも稼働できるよう、LPガスを備蓄し、災害時等に切り替えて発電を実施
水素供給機能	電力需要が小さくなる夜間に発電出力を下げ、余っている水素製造能力により水素ガスを取り出し、水素ステーションや高圧圧縮器内へ貯蔵

#### ④ 燃料電池の排熱利用

##### 【技術概要及び現在の利用状況】

市販されている家庭用燃料電池においては、温水（PEFCは約60℃、SOFCは約70℃）の形でタンクに貯めている。

また、業務用燃料電池（PAFC：100(kW)）の場合は、排熱の利用先に応じて、高温（約90℃）または中温（約60℃）のいずれかの形態で回収でき、高温回収の場合、排熱投入型の熱源機器（ジェネリンク）を使用した冷熱製造にも対応可能である。

ジェネリンクの場合、機種による差はあるが、定格容量の20～50%相当分を排温水のみで稼働させることが可能であり、定格稼働時においても、燃料を全て都市ガスで賄う場合と比較して、15～30%のガス使用量削減が可能である。

##### 【排熱利用に関する課題】

市販されている排熱利用型の熱源機器は、一般的にガスエンジンまたはガスタービンからの排熱利用を想

表 3.15 排熱利用型熱源機器の対応可能出力及び排熱温度

機器種類	対応可能出力	利用可能な排温水温度
排熱投入型吸収冷温水機(ジェネリンク)	141(kW)～2,813(kW)	90℃
一重二重効用冷温水機	158(kW)～2,215(kW)	70～95℃
温水吸収冷凍機・冷温水機	35.2(kW)～1,846(kW)	88℃

定して製造されており、容量の小さい機器でも数十(kW)級、大きなものでは1,000(kW)を超える（表3.15を参照）。PEFC及びSOFCの排熱を現行の排熱利用型熱源機器で使用するためには、燃料電池自体の大規模化が必要である。また、複数台の燃料電池排熱をまとめて活用する、ガスエンジンなど他の熱源システムからの排熱も併せて回収、利用するといった対応が必要である。

また、年間を通じて排熱を有効利用できるよう、冷熱、温熱いずれの需要にも排熱の有効利用が可能な形が望ましい。

なお、排熱からの冷熱製造を行う場合の機器効率（COP）は、ジェネリンク（三重効用）で約1.6、温水吸収型冷凍機・冷温水機で約0.7であり、ジェネリンク使用の場合は、機器効率を維持するために、出力が定格に近づくにつれて、排熱の受入れ可能量が減少する点に留意が必要である。

温水吸収型の機器で冷熱需要を賄う場合は、機器効率がほぼ1である暖房、給湯需要を優先し、余剰分は冷熱需要を賄うために利用することが望ましい。

## 【今後の展望】

純水素型の燃料電池の場合、反応温度が高い SOFC (700~1,000℃) であれば、燃料電池内部での水素改質が不要となり、その分、高温(蒸気)での排熱回収が可能となる。排熱蒸気(圧力 8k と仮定)からの冷熱製造時の機器効率は 1.3~1.5 であり、夏期においても高効率な排熱利用が期待できる。

今後、民生用建物に適用可能な容量の燃料電池が実用化され、かつ都市内の水素インフラが整備されれば、まとまった量の高温排熱が確保でき、より効率的な冷熱供給を行える可能性がある。

また、水素貯蔵用の吸蔵合金の反応が吸熱反応であることを踏まえ、定置用燃料電池の排熱を利用した水素吸蔵システムの研究が進められている。純水素型の燃料電池システムの導入拡大に加え、需要家の近くに水素吸蔵タンクを設置することで、燃料電池システムの適用可能なエリア自体を拡大する効果も期待される。

## ⑤ 水素供給インフラ

### 【技術概要】

水素貯蔵技術と水素製造・輸送・供給技術に区分される。いずれも、燃料電池自動車の普及を進める上で必須といえる水素ステーションへの適用技術を中心に考えられているが、定置用燃料電池の効率的な活用の面からも、当該技術は重要な役割を果たす。

### 【現在の開発状況】

水素製造・輸送・供給技術については、福岡水素エネルギー戦略会議において、3件のモデル事業が進められている。

#### (モデル事業1：福岡水素タウン)

福岡県前原市の南風台団地・美咲が丘団地内の 150 世帯を対象に、大型ボンベから各戸へ LP ガスを供給、これを改質して燃料電池を稼働させて省エネ効果を検証している。

#### (モデル事業2：水素ハイウェイ)

北九州市(東田地区)及び福岡市(九州大学)の2カ所に水素ステーションを整備し、北九州～福岡間に「水素ハイウェイ」を構築する計画を進行中である。

平成 21 年 9 月より事業を開始し、2015 年の普及開始及び 2030 年頃の本格商用を目指している<sup>10)</sup>。

九州大学水素ステーションは水電解方式の水素ステーションであり、稼働時に二酸化炭素を全く発生しない日本初の次世代型ステーションを目指している。また、太陽光発電を利用した水素製造の研究開発も並行して進行中である。

一方、北九州水素ステーションは、製鉄所から発生する副生水素をパイプライン供給する次世代型水素ステーションであり、水素をパイプライン供給する点、地方自治体が主導、

整備する点において、我が国で初の事例である。

**(モデル事業3：北九州水素タウン)**

北九州市八幡東田地区において、工場から発生する副生水素をパイプラインで市街地（水素タウン）へ供給し、家庭や公共施設においては、燃料電池を使用して水素から発電、給湯を行う（表 3.16）。また、燃料電池を搭載したフォークリフトやアシスト自転車も運用する。2011年度から2013年度の3年間で実証を行う計画である<sup>11)</sup>。

**表 3.16 北九州水素タウン事業における実証項目**

実証項目	概要
水素パイプラインによる水素供給技術の実証	水素ステーションから約1.2kmのパイプラインを配管し、水素の安定供給などに関する運用面での課題抽出を行う。
純水素型燃料電池の運転実証	1(kW)級12台、3(kW)級及び100(kW)級を各1台の計14台を集合住宅や商業施設、公共施設などに設置し、機器システムの評価や管理システム等周辺技術の検証を実施する。
水素を燃料とする小型移動体の実証	燃料電池フォークリフトや燃料電池アシスト自転車等、燃料電池で稼動する小型移動体の実証を行う。

一方、水素貯蔵技術に関しては、表 3.17 に示す3方式の研究・開発が進行中である。

**表 3.17 研究・開発が進められている水素貯蔵技術**

貯蔵方法	概要	課題
高圧水素タンク	現時点で、燃料電池自動車用水素貯蔵技術として最も一般的。水素圧力は350気圧と700気圧の2種類、材質についてもアルミ合金ライナー(Type3)と高密度ポリエチレンライナー(Type4)の2種類がある。	現在は、350気圧容器コストの65%、700気圧容器コストの80%が炭素繊維コスト。使用量の大幅な低減や安価な炭素繊維材料の利用等によるコスト低減が期待される。また、強度や水素脆化耐性などの点での広範なライナー材の検討が必要である。
水素吸蔵合金	30気圧と350気圧の2種類、後者は高圧部分と水素吸蔵合金部分で半分ずつ水素貯蔵を分担する「ハイブリッド容器」。コンパクトなため、車載時に有望とされている。水素貯蔵量4mass%以上の水素吸蔵合金が開発されれば、システム重量の点でも、700気圧級複合容器に対して競争性を持つようになる。	最大の課題は水素吸蔵合金のコスト。また、複合容器に匹敵する耐久性と安全性だけでなく、高圧容器内に熱交換器を設置することから、その安全・振動対策、熱交換器の性能向上(特に熱交換流路の改善)、さらに、衝突・落下時の耐久性確保や火災暴露時の安全性確保も課題である。
液体水素タンク	水素を液化することにより、5kgの水素の体積は80Lほどになり、既存のガソリン容器に近い体積となる。このコンパクトさが液体水素貯蔵の最大の利点である。ただし、現時点では、国内外において積極的に採用する動きは少ない。	極低温(-253℃)で水素を貯蔵するため、積層真空断熱などの効率的な断熱技術が必要となる。 また、液体水素の気化速度は現状で3~6%/日であり、停車時でも30時間程度で、ボイルオフガスを排出しなくてはならない。このガス量を低減する必要があり、2020年頃に0.5~1%までの低減が望まれる。 この他、車載に適した扁平型液体水素容器の開発も課題である。

**【今後の展望】**

平成24年2月に、同戦略会議より「北部九州燃料電池自動車普及促進構想」が発表された。この中で、2015年及び2020年までの水素ステーション配置シナリオとして、以下のとおり提示されている。「燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010」(NEDO)によれば、

純水素型燃料電池の普及拡大は2020年以降と見込まれていることから、これらの構想及びロードマップに従えば、水素インフラが一定程度整備された後に、定置型の純水素型燃料電池システムが普及することになる（表3.18）。

表3.18 水素ステーション配置に関するシナリオ

目標年	水素ステーション配置シナリオ
～2015年	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ FCVユーザーの「出発地」となる地点に配置</li> <li>■ 高速道路の主要パーキングエリアに配置</li> <li>■ 広域的に移動する際の「目的地」として特に重要な地点に配置</li> </ul>
～2020年	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 広域的に移動する際の「目的地」となる地点に配置</li> <li>■ 都市間幹線道路の「出発地」と「目的地」との中間地点に配置</li> <li>■ 主要なバス営業拠点に配置</li> </ul>

## ⑥ HEMS、BEMS 等によるエネルギーマネジメント

### 【技術の概要】

電力、ガスなどのエネルギー使用状況を適切に把握・管理し、削減につなげるシステムである。HEMS の場合は、家電製品や照明、太陽光発電、EV、燃料電池システムなどが組み込まれ、BEMS の場合は、空調や照明、OA 機器などが組み込まれる。エネルギーの使用量を表示する「見える化」により、利用者の自主的な省エネ行動を促すものから、不在時に自動的に照明をオフにするといった制御機能を持つものまで、様々な形態がある。

### 【現在の開発・実証状況】

HEMS、BEMS ともに導入レベルは様々である。機器別のエネルギー使用量を計測、専用モニタやパソコン等で確認する「見える化」のレベルに留まるものから、省エネに関する注意喚起を行うもの、不在時に照明や空調等を自動でオフにするといった制御を行うものまで存在する。

これまでの「見える化」等の情報をもとにしたユーザ側の取り組み中心の省エネから、今後はHEMS、BEMS システム側からのエネルギー使用量制御や、建物単位から地域単位への制御といった段階へ移行していくことが予想される。

なお、HEMS に関しては、宅内にある各家電製品等のエネルギー使用量及び創出量（燃料電池、太陽光発電等による）をネットワーク化して管理するための標準規格として、2012年2月に「エコネットライト」が認定されている。

### 【普及に向けた課題】

HEMS、BEMS ともに、新築建物への導入が増えつつあるものの、既築の建物への導入が遅れている。ただし、国のロードマップ等においても、ZEH（net Zero Energy House）やZEB（net Zero Energy Building）のような環境配慮型の建築物に関する目標設定については、「新築建物全体での達成」といった形をとっており、費用対効果の面からも、古い建築物に対しては、建て替え等のタイミングでシステムを導入する方法が現実的である。

ユーザ（住宅やビル等の利用者）にとっては、HEMS 及び BEMS 導入により、エネルギー使用量及び使用料金の削減効果が得られるものの、特に住宅の場合は、一軒あたり数百円～千円/月程度の削減効果に留まるケースが多いと想定される。設備導入（初期コスト）及びエネルギーマネジメントサービス（ランニング）の費用回収に長い期間が必要となり、事業性の面で困難である。

サービス提供側は、機器導入時に負担したコストを、毎月の EMS サービス料として回収する形となるが、上記の理由から、エネルギー料金の削減効果以上の負担を求めることは難しく、やはり費用回収までに長期間を要する懸念がある。いずれの立場にとっても。機器類の導入コスト削減が重要となる。

HEMS 及び BEMS は、スマートグリッドを構築する上での要素の一つであり、基本的には、電力使用量の最適化に主眼が置かれている。このため、ガス給湯器や灯油ストーブ等は、通常、管理システムの中には組み込まれない。平成 22 年度より進められている「次世代エネルギー・社会システム実証」においては、一部の実証地域で熱利用も含めた最適化に関する実証が計画されており、この実証結果の活用が期待される。

**【将来展望】**

エコネットライトの普及促進に関しては、2020 年を目処に広く社会に行き渡ることを想定したロードマップの策定が行われている。

また、平成 22 年 6 月策定のエネルギー基本計画及び平成 22 年 3 月策定の地球温暖化対策に係る中長期ロードマップにおいては、HEMS 及び BEMS の将来普及目標について、表 3. 19 のように示されている。

**表 3. 19 国の計画等における HEMS 及び BEMS の将来普及目標または想定**

計画等	HEMS、BEMS等に関する目標または想定
エネルギー基本計画 （平成22年6月）	<b>【住宅】</b> 2030年までに新築住宅の平均でZEHを達成、家庭部門のエネルギー由来CO <sub>2</sub> 半減を目指す。 <b>【ビル等】</b> 2020年までに新築公共建築物等でZEBを達成、2030年までに新築建築物の平均でZEBを達成。これにより、エネルギー由来CO <sub>2</sub> の大幅削減を目指す。
地球温暖化対策に係る 中長期ロードマップ （平成22年3月）	2020年までの普及率想定として、以下のとおり定めている。 <b>【HEMS】</b> 住宅ストックの80% → 520万トンのCO <sub>2</sub> 削減効果を見込む <b>【BEMS】</b> 建築ストックの40% → 1,250万トンのCO <sub>2</sub> 削減効果を見込む

我が国の平成 22 年度における温室効果ガス排出量は、全体で 12 億 5,800 万トン、このうち家庭部門は 1 億 7,180 億トン（全体の 14.4%）、業務その他部門は 2 億 1,670 億トン（同 18.2%）となっている。仮に両部門からの CO<sub>2</sub> 排出量を半減できれば、国全体の排出量を約 15%削減することにつながり、大きなポテンシャルを有する。

### 3.2.2 燃料電池・排熱利用技術導入による省エネ効果の評価

#### (1) 建築物の用途・規模に応じた条件設定

建物用途及び規模について複数ケースを設定し、各ケースにおいて想定される電力需要及び熱需要をもとに、効率的な稼働が期待される規模の燃料電池を導入した場合の省エネ効果について試算を行った。また、一部の用途については、熱電比を複数ケース設定し、燃料電池の導入効果への影響についても併せて検討を行った。

#### ① 建築物の用途・規模の条件

想定した建物用途及び規模を表 3.20、建物モデルの標準ケースを表 3.21 に示す。

表 3.20 想定した建物用途及び規模

項目	設定方法
建物用途	業務、商業、ホテル、医療・福祉、教育、住宅（集合住宅）の6種類とした。
建物規模（床面積）	【非住宅】最小を特定建築物下限(2,000m <sup>2</sup> )、最大を業務系第1種エネルギー管理指定工場下限(50,000m <sup>2</sup> 程度)と想定し、その間に5,000m <sup>2</sup> 、10,000m <sup>2</sup> 、30,000m <sup>2</sup> の3段階で設定した。 【住宅】一般的な広さとして80m <sup>2</sup> /戸を想定した。
変動要素（追加検討）	熱電比
	任意の建物用途・規模を対象として、追加検討として実施。既存文献等における需要原単位データを基準とし、電力需要を固定。年間熱需要を年間熱電比（冷熱・温熱別）±50%程度の振れ幅を持たせた熱需要モデルを作成した（±25%単位で変動）。

表 3.21 建物モデルの標準ケース

用途 床面積	業務	商業	ホテル	医療・福祉	教育
2,000(m <sup>2</sup> )	A-1	B-1	C-1	D-1	E-1
5,000(m <sup>2</sup> )	A-2	B-2	C-2	D-2	E-2
10,000(m <sup>2</sup> )	A-3	B-3	C-3	D-3	E-3
30,000(m <sup>2</sup> )	A-4	B-4	C-4	D-4	E-4
50,000(m <sup>2</sup> )	A-5	B-5	C-5	D-5	E-5

※ 住宅については、小規模（F-1：10戸）、中規模（F-2：50戸）、大規模（F-3：300戸）の3ケースを想定した。



② ケース毎の燃料電池・排熱利用システム想定

(a) 燃料電池および排熱利用システムのイメージ

燃料電池および排熱利用技術の中から、高い総合効率が見込めると想定されるシステムにより、各建物ケースにおける排熱利用システムを想定した（図 3.1）。

＜建物用途別熱利用特性＞

＜燃料電池排熱特性＞

- ① 蒸気排熱型燃料電池（SOFC、MCFC）
- ② 温水（80℃レベル）排熱型燃料電池（SOFC、MCFC）
- ③ 温水（60℃レベル）排熱型燃料電池（PEFC、PAFC）



給湯	冷暖房	暖房	概要
○	—	—	<u>I 給湯需要に供給</u> ※年間を通じて給湯需要がある施設 ホテル／医療・福祉施設
—	○	—	<u>II 冷暖房需要に供給</u> ※年間を通じて冷暖房需要がある施設 業務／商業／教育施設
○	○	—	<u>III 冷暖房・給湯需要に供給</u> ※年間を通じて冷暖房・給湯需要がある施設 業務／商業／ホテル／医療・福祉（大規模）
○	—	○	<u>IV 給湯・暖房需要に供給</u> ※年間を通じて給湯需要がある施設 住宅

図 3.1 燃料電池排熱特性と建物用途別熱利用特性の組み合わせイメージ

(b) 定置用燃料電池／排熱利用熱源機器の条件

燃料電池および排熱利用熱源機器の設定について表 3.22、表 3.23 に示す。

表 3.22 定置用燃料電池システムの種類、容量、機器性能

燃料電池種別	排熱種別	規模/台あたり	発電効率	排熱回収効率
SOFC	蒸気	100kW～1,000kW	55%(LHV)	25%(LHV)
SOFC	高温水(80℃レベル)	1kW～500kW	50%(LHV)	30%(LHV)
PEFC	低温水(60℃レベル)	1kW～500kW	50%(LHV)	35%(LHV)

※台数分割等により2台まで設置を想定した。

表 3.23 排熱利用型熱源機器の諸元

排熱種別	熱源機器	製造熱媒	規模	COP-c	備考
蒸気	蒸気吸収三重効用冷凍機	冷水	527kW (150RT)~	1.6	排熱蒸気量 310kW 以上で導入可能
	蒸気吸収冷凍機(小型)	冷水	105kW (30RT)~	1.2	排熱蒸気量 75kW 以上で導入可能
高温水 (80℃ レベル)	排熱投入型三重効用 吸収冷温水機(ジェネリンク)	冷水、 (温水)	527kW (150RT)~	1.6	燃料削減率 25%、 排熱単独運転 40%
	排熱投入型温水吸収 冷温水機(ジェネリンク)	冷水、 (温水)	281kW (80RT)~	1.4	燃料削減率 25%、 排熱単独運転 50%
	温水吸収冷凍機	冷水	35kW (10RT)~	0.7	排熱温水 44kW 以 上
低温水 (60℃ レベル)	-(低温水利用の冷熱源機器なし)				

### ③ 熱源システムの選定

各ケースの電力・熱需要を踏まえ、以下の方針で燃料電池を含む熱源システムを想定した。組み合わせリストを表 3.24 に示す。

<熱源システムの選定方針（各ケース共通）>

- 燃料電池容量は最大電力の1/3程度を導入  
→ これまでのコージェネの導入実績や検討結果等の知見を踏まえ、燃料電池の容量は最大電力の1/3程度とする。ただし、低温水排熱の燃料電池に関しては、この条件に加え、給湯需要を上回らない容量とする。
- 従来型冷熱源機器は、ガス方式：電気方式を1：1とおく  
→ 従来方式を含め、排熱利用機器を除く冷熱源機器は、ガス方式(吸収冷温水機)と電気方式(電動冷凍機)の割合を1：1として計算する。
- 温熱需要に対してはボイラで供給する  
→ 従来方式を含め、温熱需要に対してはボイラ(+吸収冷温水機)によるガス方式で供給する。

表3.24 燃料電池排熱と建物用途の組み合わせリスト

熱需要先 燃料電池 排熱種別	給湯需要に供給 ※年間を通じて給湯需要がある施設 ホテル／医療福祉	冷暖房需要に供給 ※年間を通じて冷暖房需要がある施設 業務／商業／教育施設	冷暖房・給湯需要に供給 ※年間を通じて冷暖房・給湯需要がある 業務／商業／ホテル／医療福祉（大規模）	給湯・暖房需要に供給 ※年間を通じて給湯需要がある 住宅
<p>① 蒸気排熱型燃料電池 ※SOFC、MCFC</p>				
<p>② 高温水（80度レベル）排熱型燃料電池 ※SOFC、MCFC</p>				
<p>③ 低温水（60度レベル）排熱型燃料電池 ※PEFC</p>				

## (2) 省エネ・CO<sub>2</sub>削減効果の評価

### ① エネルギーシミュレーションおよび省エネ・CO<sub>2</sub>削減効果の算定

計算の流れを図 3.2 に示す。業務施設、商業施設、ホテル、医療・福祉、教育、住宅について各種燃料電池の省エネ・CO<sub>2</sub>削減効果を算出した。計算結果から得られた建物用途ごとの特徴について次頁以降に示す。

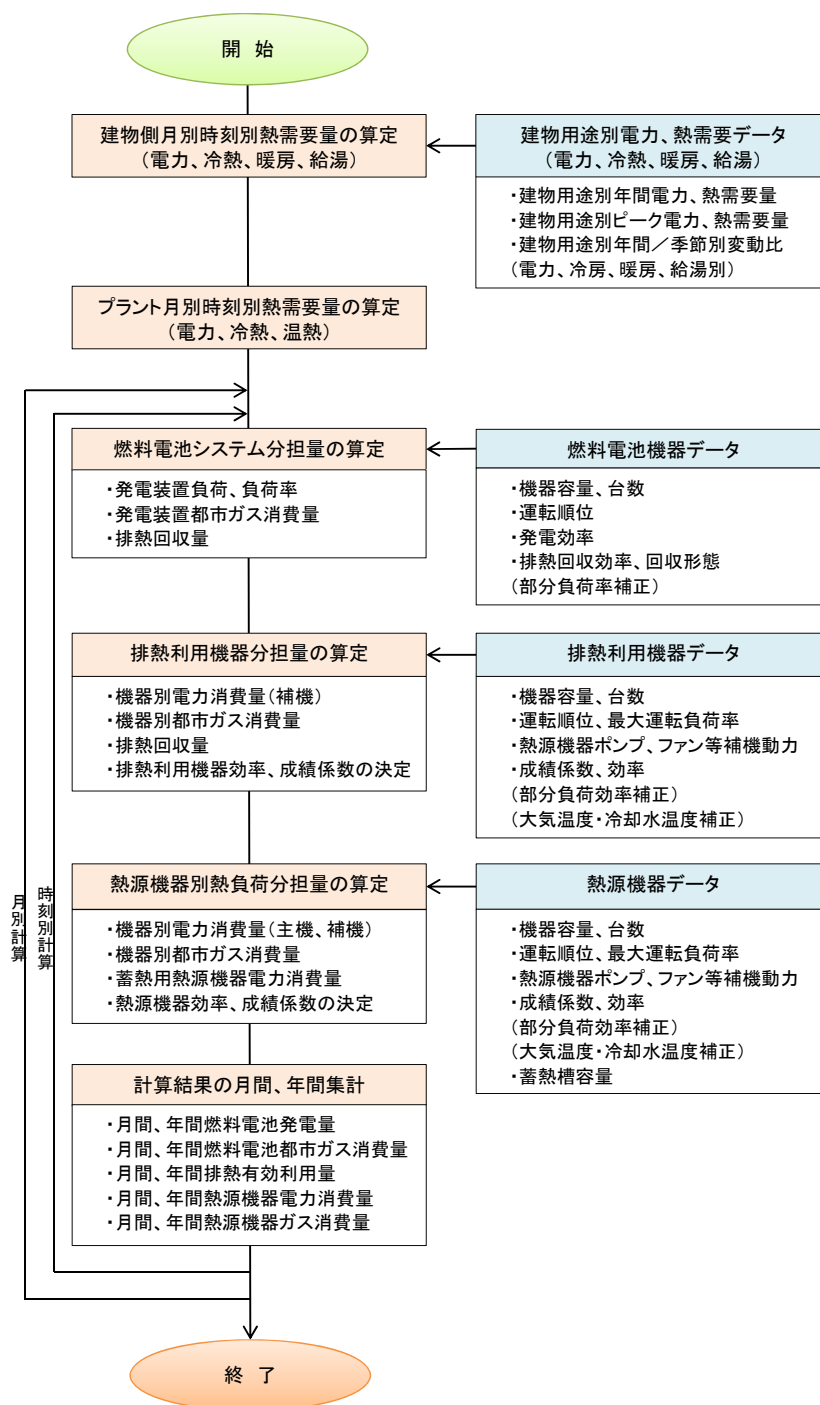


図 3.2 エネルギーシミュレーションフロー

各ケースのシステム効率、省エネ率、CO2排出量削減率

■ケースA

業務施設

	A-1 (床面積)		A-2 (床面積)		A-3 (床面積)		A-4 (床面積)		A-5 (床面積)	
	(電力) 90kW	(冷熱) 139kW	(電力) 225kW	(冷熱) 465kW	(電力) 450kW	(冷熱) 931kW	(電力) 1,350kW	(冷熱) 2,792kW	(電力) 2,550kW	(冷熱) 4,653kW
(需要想定)	200MWh	252GJ	500MWh	1,340GJ	1,000MWh	2,690GJ	3,000MWh	8,040GJ	5,000MWh	13,400GJ
最大需要	2.761GJ		6.903GJ		13.805GJ		41.415GJ		69.025GJ	
年間買電量	307 MWh/年		733 MWh/年		1,461 MWh/年		4,226 MWh/年		7,019 MWh/年	
年間燃料消費量	10.4 千Nm <sup>3</sup> /年		26.5 千Nm <sup>3</sup> /年		50.4 千Nm <sup>3</sup> /年		158.4 千Nm <sup>3</sup> /年		266.6 千Nm <sup>3</sup> /年	
一次エネルギー量	3,464 GJ/年		8,347 GJ/年		16,527 GJ/年		48,374 GJ/年		80,502 GJ/年	
CO2排出量	195.4 t-CO2/年		470.4 t-CO2/年		932.1 t-CO2/年		2,725.1 t-CO2/年		4,534.1 t-CO2/年	
熱源システム効率	0.80		0.83		0.84		0.86		0.86	
省エネ率										
CO2排出削減率										
FC・熱源システム効率										
省エネ率										
CO2排出削減率										
年間買電量	199 MWh/年		347 MWh/年		500 MWh/年		1,794 MWh/年		2,667 MWh/年	
年間燃料消費量	28.4 千Nm <sup>3</sup> /年		87.2 千Nm <sup>3</sup> /年		186.8 千Nm <sup>3</sup> /年		491.0 千Nm <sup>3</sup> /年		864.4 千Nm <sup>3</sup> /年	
一次エネルギー量	3,220 GJ/年		7,308 GJ/年		13,286 GJ/年		39,604 GJ/年		64,928 GJ/年	
省エネ率	245 GJ/年		1,038 GJ/年		3,241 GJ/年		8,789 GJ/年		15,575 GJ/年	
CO2排出量	176.3 t-CO2/年		393.5 t-CO2/年		707.3 t-CO2/年		2,127.2 t-CO2/年		3,470.3 t-CO2/年	
CO2削減率	19.2 t-CO2/年		76.9 t-CO2/年		224.8 t-CO2/年		597.8 t-CO2/年		1,063.8 t-CO2/年	
熱源システム効率	0.86		0.84		0.84		0.86		0.86	
省エネ率	7.1%		12.4%		19.6%		18.1%		19.3%	
CO2排出削減率	9.8%		16.3%		24.1%		21.9%		23.5%	
FC・熱源システム効率										
省エネ率										
CO2排出削減率										
年間買電量	259 MWh/年		652 MWh/年		1,275 MWh/年		3,719 MWh/年		6,249 MWh/年	
年間燃料消費量	17.2 千Nm <sup>3</sup> /年		40.6 千Nm <sup>3</sup> /年		78.2 千Nm <sup>3</sup> /年		229.6 千Nm <sup>3</sup> /年		374.7 千Nm <sup>3</sup> /年	
一次エネルギー量	3,302 GJ/年		8,191 GJ/年		15,963 GJ/年		46,629 GJ/年		77,852 GJ/年	
省エネ率	162 GJ/年		156 GJ/年		564 GJ/年		1,744 GJ/年		2,851 GJ/年	
CO2排出量	184.2 t-CO2/年		457.4 t-CO2/年		891.8 t-CO2/年		2,604.7 t-CO2/年		4,351.3 t-CO2/年	
CO2削減率	11.3 t-CO2/年		130 t-CO2/年		40.3 t-CO2/年		120.4 t-CO2/年		182.9 t-CO2/年	
熱源システム効率	0.84		0.84		0.86		0.89		0.89	
省エネ率	4.7%		1.9%		3.4%		3.3%		3.3%	
CO2排出削減率	5.8%		2.8%		4.3%		4.4%		4.0%	
FC・熱源システム効率										
省エネ率										
CO2排出削減率										

<備考> ■エネルギー需要原単位 業務施設  
 (電力) (冷熱) (給湯)  
 最大需要 45W/㎡ 93kW 5.8kW  
 年間需要 100kWh/㎡ 268MJ/㎡ 10.5MJ/㎡

\*一次エネルギー換算値  
 電力: 0.559 kg-CO2/kWh (平成22年度代替値)  
 都市ガス: 4.50 MJ/Nm<sup>3</sup>  
 都市ガス: 2.29 kg-CO2/Nm<sup>3</sup>

\*CO2排出換算値  
 電力: 0.559 kg-CO2/kWh (平成22年度代替値)  
 都市ガス: 2.29 kg-CO2/Nm<sup>3</sup>

○全体の省エネ率は数%~30%程度まで幅広く分布。  
 ○蒸気排熱利用型の燃料電池の省エネ率が高く、25%前後が期待。一方、低温排熱型は燃料電池の容量も小さいため、効果は低い。  
 ○高温水排熱型は、ジェネリックのスケールメリットを受けて、規模が大きいにほど省エネ効果が上昇する傾向を示す。

各ケースのシステム効率、省エネ率、CO2排出量削減率

■ケースB 商業施設

	B-1 (床面積) 2,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 160kW 279kW 139kW 23kW 420MWh 1,004GJ 150GJ 42GJ 計 5,295 GJ	B-2 (床面積) 5,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 400kW 697kW 349kW 58kW 1,050MWh 2,510GJ 375GJ 105GJ 計 13,238 GJ	B-3 (床面積) 10,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 800kW 1,394kW 697kW 117kW 2,100MWh 5,020GJ 750GJ 210GJ 計 26,476 GJ	B-4 (床面積) 30,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 2,400kW 4,183kW 2,092kW 350kW 6,300MWh 15,060GJ 2,250GJ 630GJ 計 79,428 GJ	B-5 (床面積) 50,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 4,000kW 6,972kW 3,486kW 583kW 10,500MWh 25,100GJ 3,750GJ 1,050GJ 計 132,380 GJ
O. 従来方式	年間買電量 548.0 MWh/年 年間燃料消費量 11.2 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 5,852 GJ/年 CO2排出量 332.0 t-CO <sub>2</sub> /年 熱源システム効率 0.90	1,343 MWh/年 28.1 千Nm <sup>3</sup> /年 14,372 GJ/年 815.1 t-CO <sub>2</sub> /年 熱源システム効率 0.92	2,660 MWh/年 52.6 千Nm <sup>3</sup> /年 28,329 GJ/年 1607.4 t-CO <sub>2</sub> /年 熱源システム効率 0.93	7,928 MWh/年 157.7 千Nm <sup>3</sup> /年 84,474 GJ/年 4792.9 t-CO <sub>2</sub> /年 熱源システム効率 0.94	13,184 MWh/年 262.8 千Nm <sup>3</sup> /年 140,502 GJ/年 7971.7 t-CO <sub>2</sub> /年 熱源システム効率 0.94
I. 蒸気排熱型燃料電池	燃料電池規模 年間買電量 MMWh/年 年間燃料消費量 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 GJ/年 省エネルギー量 GJ/年 CO2排出量 t-CO <sub>2</sub> /年 CO2削減率 % FC・熱源システム効率 % 省エネ率 % CO2排出削減率 %	150kW SOFC燃料電池 722 MWh/年 109.5 千Nm <sup>3</sup> /年 11,974 GJ/年 2,398 GJ/年 654.4 t-CO <sub>2</sub> /年 160.7 t-CO <sub>2</sub> /年 1.11 16.7 19.7	250kW SOFC燃料電池 1,607 MWh/年 189.9 千Nm <sup>3</sup> /年 24,230 GJ/年 4,099 GJ/年 1332.2 t-CO <sub>2</sub> /年 274.2 t-CO <sub>2</sub> /年 1.09 14.5 17.1	800kW SOFC燃料電池 4,389 MWh/年 600.1 千Nm <sup>3</sup> /年 69,841 GJ/年 14,633 GJ/年 3827.7 t-CO <sub>2</sub> /年 985.2 t-CO <sub>2</sub> /年 1.14 17.3 20.1	1,300kW SOFC燃料電池 7,418 MWh/年 982.6 千Nm <sup>3</sup> /年 116,617 GJ/年 23,885 GJ/年 6396.8 t-CO <sub>2</sub> /年 1574.9 t-CO <sub>2</sub> /年 1.14 17.0 19.8
II. 高温水排熱燃料電池 (60℃レベル)	燃料電池規模 年間買電量 427 MWh/年 年間燃料消費量 31.7 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 5,594 GJ/年 省エネルギー量 258 GJ/年 CO2排出量 311.3 t-CO <sub>2</sub> /年 CO2削減率 20.7 t-CO <sub>2</sub> /年 0.95 4.4 6.2	150kW SOFC燃料電池 669 MWh/年 145.3 千Nm <sup>3</sup> /年 13,068 GJ/年 1,304 GJ/年 706.7 t-CO <sub>2</sub> /年 108.4 t-CO <sub>2</sub> /年 1.01 9.1 13.3	250kW SOFC燃料電池 1,511 MWh/年 237.8 千Nm <sup>3</sup> /年 25,448 GJ/年 2,880 GJ/年 1389.2 t-CO <sub>2</sub> /年 218.2 t-CO <sub>2</sub> /年 1.04 10.2 13.6	800kW SOFC燃料電池 4,231 MWh/年 734.7 千Nm <sup>3</sup> /年 74,356 GJ/年 10,118 GJ/年 4047.6 t-CO <sub>2</sub> /年 745.3 t-CO <sub>2</sub> /年 1.07 12.0 15.5	1,300kW SOFC燃料電池 7,165 MWh/年 1,194.7 千Nm <sup>3</sup> /年 123,692 GJ/年 16,810 GJ/年 6741.1 t-CO <sub>2</sub> /年 1230.6 t-CO <sub>2</sub> /年 1.07 12.0 15.4
III. 低温水排熱燃料電池 (60℃レベル)	燃料電池規模 年間買電量 464 MWh/年 年間燃料消費量 23.9 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 5,604 GJ/年 省エネルギー量 248 GJ/年 CO2排出量 314.1 t-CO <sub>2</sub> /年 CO2削減率 17.9 t-CO <sub>2</sub> /年 0.94 4.2 5.4	50kW PFC燃料電池 1,134 MWh/年 61.5 千Nm <sup>3</sup> /年 13,835 GJ/年 537 GJ/年 774.7 t-CO <sub>2</sub> /年 40.3 t-CO <sub>2</sub> /年 0.96 3.7 4.9	100kW PFC燃料電池 2,217 MWh/年 119.6 千Nm <sup>3</sup> /年 27,020 GJ/年 1,309 GJ/年 1513.2 t-CO <sub>2</sub> /年 94.2 t-CO <sub>2</sub> /年 0.98 4.8 5.9	300kW PFC燃料電池 6,546 MWh/年 359.9 千Nm <sup>3</sup> /年 80,084 GJ/年 4,389 GJ/年 4483.4 t-CO <sub>2</sub> /年 309.5 t-CO <sub>2</sub> /年 0.99 5.2 6.5	500kW PFC燃料電池 10,863 MWh/年 600.2 千Nm <sup>3</sup> /年 133,032 GJ/年 7,470 GJ/年 7446.9 t-CO <sub>2</sub> /年 524.8 t-CO <sub>2</sub> /年 1.00 5.3 6.6

■エネルギー需要原単位 商業施設  
(電力) (冷熱) (温熱) (給湯)  
80W/㎡ 139kW 69.7kW 11.7kW  
210kWh/㎡ 502MJ/㎡ 75MJ/㎡ 21.0MJ/㎡

\*一次エネルギー換算  
電力: 0.559 kg-CO<sub>2</sub>/kWh (平成22年度代替値)  
都市ガス: 2.29 kg-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>

○全体の省エネ率は5%~17%程度。  
○蒸気排熱利用型の燃料電池の省エネ率が高く、20%前後。一方、低温排熱型は燃料電池の容量も小さいため、効果は低い。  
○高温水排熱型は、ジェネリックのスケールメリットを受けて、規模が大きいほど省エネ効果が上昇する傾向を示す。

各ケースのシステム効率、省エネ率、CO2排出量削減率

■ケースC

ホテル

	C-1 (床面積) (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 5,000㎡ 100kW 174kW 156kW 232kW 400MWh 8366GJ 6706GJ 6706GJ 計 6,080 GJ	C-2 (床面積) (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 5,000㎡ 250kW 436kW 399kW 581kW 1,000MWh 2,090GJ 1,675GJ 1,675GJ 計 15,200 GJ	C-3 (床面積) (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 10,000㎡ 500kW 872kW 778kW 1,161kW 2,000MWh 4,180GJ 3,350GJ 3,350GJ 計 30,400 GJ	C-4 (床面積) (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 30,000㎡ 1,500kW 2,617kW 2,333kW 3,483kW 6,000MWh 12,540GJ 10,050GJ 16,750GJ 計 91,200 GJ	C-5 (床面積) (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 50,000㎡ 2,500kW 4,361kW 3,889kW 5,806kW 10,000MWh 20,900GJ 16,750GJ 16,750GJ 計 152,000 GJ
O. 従来方式	年間買電量 535.0 MWh/年 年間燃料消費量 42.7 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 7,143 GJ/年 CO2排出量 396.8 t-CO2/年 熱源システム効率 0.85	年間買電量 1,324 MWh/年 年間燃料消費量 102.5 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 17,535 GJ/年 CO2排出量 974.8 t-CO2/年 熱源システム効率 0.87	年間買電量 2,592 MWh/年 年間燃料消費量 210.9 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 34,788 GJ/年 CO2排出量 1931.9 t-CO2/年 熱源システム効率 0.87	年間買電量 4,477 MWh/年 年間燃料消費量 971.5 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 87,413 GJ/年 CO2排出量 16,268 GJ/年 CO2削減量 1035.3 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.04 省エネ率 15.7% CO2排出削減率 18.0%	年間買電量 7,145 MWh/年 年間燃料消費量 1,671.1 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 144,935 GJ/年 CO2排出量 28,429 GJ/年 CO2削減量 1816.7 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.05 省エネ率 16.4% CO2排出削減率 18.8%
I. 蒸気排熱型燃料電池	燃料電池規模 30kW 年間買電量 303 MWh/年 年間燃料消費量 84.2 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 6,746 GJ/年 省エネ率 397 GJ/年 CO2排出量 362.2 t-CO2/年 CO2削減量 34.7 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 0.90 省エネ率 5.6% CO2排出削減率 8.7%	燃料電池規模 80kW 年間買電量 679 MWh/年 年間燃料消費量 168.2 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 14,196 GJ/年 省エネ率 3,339 GJ/年 CO2排出量 764.7 t-CO2/年 CO2削減量 210.1 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.07 省エネ率 19.0% CO2排出削減率 21.6%	燃料電池規模 150kW 年間買電量 1,383 MWh/年 年間燃料消費量 342.0 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 28,888 GJ/年 省エネ率 5,900 GJ/年 CO2排出量 1556.3 t-CO2/年 CO2削減量 375.6 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.09 省エネ率 17.0% CO2排出削減率 19.4%	燃料電池規模 400kW 年間買電量 4,477 MWh/年 年間燃料消費量 971.5 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 87,413 GJ/年 省エネ率 16,268 GJ/年 CO2排出量 28,429 GJ/年 CO2削減量 1035.3 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.04 省エネ率 15.7% CO2排出削減率 18.0%	燃料電池規模 700kW 年間買電量 7,145 MWh/年 年間燃料消費量 1,671.1 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 144,935 GJ/年 省エネ率 28,429 GJ/年 CO2排出量 7820.9 t-CO2/年 CO2削減量 1816.7 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.05 省エネ率 16.4% CO2排出削減率 18.8%
II. 高温水排熱燃料電池 (60℃レベル)	燃料電池規模 30kW 年間買電量 303 MWh/年 年間燃料消費量 84.2 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 6,746 GJ/年 省エネ率 397 GJ/年 CO2排出量 362.2 t-CO2/年 CO2削減量 34.7 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 0.90 省エネ率 5.6% CO2排出削減率 8.7%	燃料電池規模 80kW 年間買電量 704 MWh/年 年間燃料消費量 204.6 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 16,078 GJ/年 省エネ率 1,457 GJ/年 CO2排出量 862.1 t-CO2/年 CO2削減量 112.8 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 0.95 省エネ率 8.3% CO2排出削減率 11.6%	燃料電池規模 150kW 年間買電量 1,316 MWh/年 年間燃料消費量 429.8 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 32,185 GJ/年 省エネ率 2,603 GJ/年 CO2排出量 1719.9 t-CO2/年 CO2削減量 212.0 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 0.94 省エネ率 7.5% CO2排出削減率 11.0%	燃料電池規模 400kW 年間買電量 4,017 MWh/年 年間燃料消費量 1,216.0 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 93,926 GJ/年 省エネ率 9,755 GJ/年 CO2排出量 5030.1 t-CO2/年 CO2削減量 732.5 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 0.97 省エネ率 9.4% CO2排出削減率 12.7%	燃料電池規模 700kW 年間買電量 6,339 MWh/年 年間燃料消費量 2,034.7 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 153,430 GJ/年 省エネ率 19,933 GJ/年 CO2排出量 8203.0 t-CO2/年 CO2削減量 1434.6 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 0.99 省エネ率 11.5% CO2排出削減率 14.9%
III. 低温水排熱燃料電池 (60℃レベル)	燃料電池規模 30kW 年間買電量 289 MWh/年 年間燃料消費量 71.6 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 6,043 GJ/年 省エネ率 1,100 GJ/年 CO2排出量 325.5 t-CO2/年 CO2削減量 71.3 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.01 省エネ率 15.4% CO2排出削減率 18.0%	燃料電池規模 80kW 年間買電量 702 MWh/年 年間燃料消費量 181.1 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 15,001 GJ/年 省エネ率 2,534 GJ/年 CO2排出量 807.1 t-CO2/年 CO2削減量 167.7 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.01 省エネ率 14.4% CO2排出削減率 17.2%	燃料電池規模 150kW 年間買電量 1,357 MWh/年 年間燃料消費量 358.7 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 29,386 GJ/年 省エネ率 5,403 GJ/年 CO2排出量 1580.0 t-CO2/年 CO2削減量 351.9 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.03 省エネ率 15.5% CO2排出削減率 18.2%	燃料電池規模 400kW 年間買電量 4,411 MWh/年 年間燃料消費量 1,002.6 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 88,168 GJ/年 省エネ率 15,512 GJ/年 CO2排出量 4761.7 t-CO2/年 CO2削減量 1000.9 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.03 省エネ率 15.0% CO2排出削減率 17.4%	燃料電池規模 700kW 年間買電量 7,073 MWh/年 年間燃料消費量 1,703.6 千Nm <sup>3</sup> /年 一次エネルギー量 145,694 GJ/年 省エネ率 27,669 GJ/年 CO2排出量 7855.1 t-CO2/年 CO2削減量 1782.5 t-CO2/年 FC・熱源システム効率 1.04 省エネ率 16.0% CO2排出削減率 18.5%

<備考> ■エネルギー需要原単位  
ホテル (電力) (冷熱) (温熱) (給湯)  
50W/㎡ 87kW 116.1kW 116.1kW  
200kWh/㎡ 418MJ/㎡ 335MJ/㎡ 335MJ/㎡

\*一次エネルギー換算値  
電力: 9.760 kJ/kWh  
都市ガス: 45.0 MJ/Nm<sup>3</sup>

\*CO2排出換算値  
電力: 0.559 kg-CO2/kWh (平成22年度代替値)  
都市ガス: 2.29 kg-CO2/Nm<sup>3</sup>

○全体の省エネ率は5%~20%程度で最も導入効果が高い、これは24時間運転したことが影響していると考えられる。  
○蒸気排熱型および低温水排熱型の燃料電池の省エネ率が高く、ともに15~20%程度が期待できる。  
○高温水排熱型は、ジェネラタのスケールメリットを受けて、規模が大きいたまに省エネ効果が上昇する傾向を示す。

各ケースのシステム効率、省エネ率、CO2排出量削減率

■ケースD

医療・福祉

需要想定	D-1 (床面積)		D-2 (床面積)		D-3 (床面積)		D-4 (床面積)		D-5 (床面積)							
	(電力)	(冷熱) (温熱) (給湯)	(電力)	(冷熱) (温熱) (給湯)	(電力)	(冷熱) (温熱) (給湯)	(電力)	(冷熱) (温熱) (給湯)	(電力)	(冷熱) (温熱) (給湯)						
最大需要	100kW	233kW	302kW	209kW	500kW	1,164kW	1,511kW	1,047kW	1,500kW	3,492kW	4,533kW	3,142kW	2,500kW	5,819kW	5,236kW	
年間需要	180MWh	418GJ	838GJ	1,506GJ	450MWh	1,045GJ	2,095GJ	3,765GJ	900MWh	2,090GJ	4,190GJ	7,530GJ	2,700MWh	6,270GJ	22,590GJ	
エネルギー需要量	計	4,519 GJ	計	11,297 GJ	計	22,594 GJ	計	67,782 GJ	計	112,970 GJ	計	112,970 GJ	計	112,970 GJ	計	
0. 従来方式	年間買電量	319.0 MWh/年	年間燃料消費量	67.3 千Nm <sup>3</sup> /年	年間燃料消費量	168.3 千Nm <sup>3</sup> /年	年間燃料消費量	336.5 千Nm <sup>3</sup> /年	年間燃料消費量	4.618 MWh/年	年間燃料消費量	1,009.6 千Nm <sup>3</sup> /年	年間燃料消費量	1,862.7 千Nm <sup>3</sup> /年	年間燃料消費量	7.661 MWh/年
	一次エネルギー量	6,142 GJ/年	CO2排出量	332.4 t-CO2/年	一次エネルギー量	15,235 GJ/年	CO2排出量	30,007 GJ/年	一次エネルギー量	90,504 GJ/年	CO2排出量	90,504 GJ/年	一次エネルギー量	150,493 GJ/年	CO2排出量	150,493 GJ/年
	熱源システム効率	0.74	熱源システム効率	0.74	熱源システム効率	0.74	熱源システム効率	0.75	熱源システム効率	0.75	熱源システム効率	0.75	熱源システム効率	0.75	熱源システム効率	0.75
I. 蒸気排熱型燃料電池	年間買電量	MMWh/年	年間燃料消費量	千Nm <sup>3</sup> /年	年間買電量	422 MWh/年	年間燃料消費量	816 MWh/年	年間買電量	695 MWh/年	年間燃料消費量	1,343.9 千Nm <sup>3</sup> /年	年間買電量	2,218.1 千Nm <sup>3</sup> /年	年間燃料消費量	4,700 MWh/年
	一次エネルギー量	GJ/年	CO2排出量	t-CO2/年	一次エネルギー量	12,984 GJ/年	CO2排出量	26,477 GJ/年	一次エネルギー量	463.9 千Nm <sup>3</sup> /年	CO2排出量	27,659 GJ/年	一次エネルギー量	81,941 GJ/年	CO2排出量	2,064.5 千Nm <sup>3</sup> /年
	FC・熱源システム効率	0.87	省エネ率	14.8%	FC・熱源システム効率	0.87	省エネ率	14.8%	FC・熱源システム効率	0.82	省エネ率	9.5%	FC・熱源システム効率	0.83	省エネ率	7.8%
	CO2排出削減率	4.7%	CO2排出削減率	16.6%	CO2排出削減率	10.0%	CO2排出削減率	10.5%	CO2排出削減率	12.0%	CO2排出削減率	10.5%	CO2排出削減率	11.5%	CO2排出削減率	9.0%
II. 高温水排熱燃料電池 (80℃レベル)	年間買電量	212 MWh/年	年間燃料消費量	86.6 千Nm <sup>3</sup> /年	年間買電量	223.9 千Nm <sup>3</sup> /年	年間燃料消費量	411.4 千Nm <sup>3</sup> /年	年間買電量	685 MWh/年	年間燃料消費量	1,343.9 千Nm <sup>3</sup> /年	年間買電量	2,218.1 千Nm <sup>3</sup> /年	年間燃料消費量	4,700 MWh/年
	一次エネルギー量	176 GJ/年	CO2排出量	318.8 t-CO2/年	一次エネルギー量	14,077 GJ/年	CO2排出量	27,659 GJ/年	一次エネルギー量	463.9 千Nm <sup>3</sup> /年	CO2排出量	27,659 GJ/年	一次エネルギー量	81,941 GJ/年	CO2排出量	138,775 GJ/年
	FC・熱源システム効率	0.76	省エネ率	2.9%	FC・熱源システム効率	0.80	省エネ率	7.6%	FC・熱源システム効率	0.82	省エネ率	7.8%	FC・熱源システム効率	0.83	省エネ率	7.8%
	CO2排出削減率	4.7%	CO2排出削減率	4.7%	CO2排出削減率	10.0%	CO2排出削減率	10.5%	CO2排出削減率	10.5%	CO2排出削減率	10.5%	CO2排出削減率	11.5%	CO2排出削減率	9.0%
III. 低温水排熱燃料電池 (60℃レベル)	年間買電量	195 MWh/年	年間燃料消費量	83.9 千Nm <sup>3</sup> /年	年間買電量	464 MWh/年	年間燃料消費量	908 MWh/年	年間買電量	908 MWh/年	年間燃料消費量	1,820 MWh/年	年間買電量	2,820 MWh/年	年間燃料消費量	5,543 MWh/年
	一次エネルギー量	463 GJ/年	CO2排出量	301.1 t-CO2/年	一次エネルギー量	14,091 GJ/年	CO2排出量	27,717 GJ/年	一次エネルギー量	419.0 千Nm <sup>3</sup> /年	CO2排出量	2,290 GJ/年	一次エネルギー量	7,414 GJ/年	CO2排出量	12,850 GJ/年
	FC・熱源システム効率	0.80	省エネ率	7.5%	FC・熱源システム効率	0.80	省エネ率	7.6%	FC・熱源システム効率	0.82	省エネ率	8.2%	FC・熱源システム効率	0.82	省エネ率	8.5%
	CO2排出削減率	9.4%	CO2排出削減率	9.4%	CO2排出削減率	9.5%	CO2排出削減率	9.5%	CO2排出削減率	9.5%	CO2排出削減率	10.0%	CO2排出削減率	10.4%	CO2排出削減率	10.4%

<備考> ■エネルギー需要原単位 医療・福祉 (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) \*一次エネルギー換算値 \*CO2排出換算値  
 最大需要 50W/m<sup>2</sup> 116kW 151.1kW 104.7kW 電力:0.559 kg-CO2/kWh(平成22年度代替値)  
 年間需要 90kWh/m<sup>2</sup> 209MJ/m<sup>2</sup> 419MJ/m<sup>2</sup> 753MJ/m<sup>2</sup> 都市ガス:45.0 MJ/Nm<sup>3</sup> 都市ガス:2.29 kg-CO2/Nm<sup>3</sup>

○全体の省エネ性は数%~15%程度。  
 ○蒸気排熱利用型は効果が10%を越えるが、その他は10%以下の省エネ効果になっている。  
 ○どの燃料電池でも一定の効果が期待できるが、ホテルほどの大きな効果にはなっていない。



各ケースのシステム効率、省エネ率、CO2排出量削減率

■ケースE

教育

	E-1 (床面積) 2,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 90kW 170kW 12kW 200MWh 1266J 4026J 216J 計 2,501 GJ	E-2 (床面積) 5,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 225kW 122kW 425kW 29kW 500MWh 3156J 1,0056J 536J 計 6,253 GJ	E-3 (床面積) 10,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 450kW 244kW 850kW 58kW 1,000MWh 6306J 2,0106J 1056J 計 12,505 GJ	E-4 (床面積) 30,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 1,350kW 733kW 2,550kW 175kW 3,000MWh 1,8906J 6,0306J 3156J 計 37,515 GJ	E-5 (床面積) 50,000㎡ (電力) (冷熱) (温熱) (給湯) 2,250kW 1,222kW 4,250kW 292kW 5,000MWh 3,1506J 10,0506J 5256J 計 62,525 GJ
<b>O. 従来方式</b>	年間買電量 年間燃料消費量 一次エネルギー量 CO2排出量 熱源システム効率 0.81	617 MWh/年 31.9 千Nm <sup>3</sup> /年 7,457 GJ/年 418.0 t-CO <sub>2</sub> /年 熱源システム効率 0.84	1,195 MWh/年 65.0 千Nm <sup>3</sup> /年 14,588 GJ/年 818.9 t-CO <sub>2</sub> /年 熱源システム効率 0.86	3,620 MWh/年 195.7 千Nm <sup>3</sup> /年 44,138 GJ/年 2471.7 t-CO <sub>2</sub> /年 熱源システム効率 0.85	5,886 MWh/年 325.0 千Nm <sup>3</sup> /年 72,072 GJ/年 4034.5 t-CO <sub>2</sub> /年 熱源システム効率 0.87
<b>I. 蒸気排熱型燃料電池</b>	燃料電池規模 年間買電量 年間燃料消費量 一次エネルギー量 省エネルギー量 CO2削減率 FC・熱源システム効率 省エネ率 CO2排出削減率	100kW SOFC燃料電池 231 MWh/年 78.7 千Nm <sup>3</sup> /年 5,796 GJ/年 1,661 GJ/年 309.4 t-CO <sub>2</sub> /年 108.6 t-CO <sub>2</sub> /年 1.08 22.3% 26.0%	200kW SOFC燃料電池 575 MWh/年 136.9 千Nm <sup>3</sup> /年 11,773 GJ/年 2,816 GJ/年 634.9 t-CO <sub>2</sub> /年 181.9 t-CO <sub>2</sub> /年 1.08 19.3% 22.3%	500kW SOFC燃料電池 1,620 MWh/年 423.6 千Nm <sup>3</sup> /年 34,873 GJ/年 9,265 GJ/年 1875.6 t-CO <sub>2</sub> /年 596.1 t-CO <sub>2</sub> /年 1.08 21.0% 24.1%	800kW SOFC燃料電池 2,607 MWh/年 637.5 千Nm <sup>3</sup> /年 54,132 GJ/年 17,941 GJ/年 2917.2 t-CO <sub>2</sub> /年 1117.3 t-CO <sub>2</sub> /年 1.16 24.9% 27.7%
<b>II. 高温水排熱燃料電池 (80℃レベル)</b>	燃料電池規模 年間買電量 年間燃料消費量 一次エネルギー量 省エネルギー量 CO2削減率 FC・熱源システム効率 省エネ率 CO2排出削減率	30kW SOFC燃料電池 154 MWh/年 31.9 千Nm <sup>3</sup> /年 2,939 GJ/年 153 GJ/年 159.1 t-CO <sub>2</sub> /年 14.5 t-CO <sub>2</sub> /年 0.85 5.0% 8.3%	200kW SOFC燃料電池 617 MWh/年 161.4 千Nm <sup>3</sup> /年 13,285 GJ/年 1,303 GJ/年 714.7 t-CO <sub>2</sub> /年 102.3 t-CO <sub>2</sub> /年 0.94 8.9% 12.5%	500kW SOFC燃料電池 1,676 MWh/年 485.0 千Nm <sup>3</sup> /年 38,183 GJ/年 5,955 GJ/年 2047.5 t-CO <sub>2</sub> /年 424.2 t-CO <sub>2</sub> /年 0.98 13.5% 17.2%	800kW SOFC燃料電池 3,048 MWh/年 809.1 千Nm <sup>3</sup> /年 66,158 GJ/年 5,914 GJ/年 3956.7 t-CO <sub>2</sub> /年 477.9 t-CO <sub>2</sub> /年 0.95 8.2% 11.8%
<b>III. 低温水排熱燃料電池 (60℃レベル)</b>	燃料電池規模 年間買電量 年間燃料消費量 一次エネルギー量 省エネルギー量 CO2削減率 FC・熱源システム効率 省エネ率 CO2排出削減率	80kW PEMFC燃料電池 216 MWh/年 18.3 千Nm <sup>3</sup> /年 2,932 GJ/年 160 GJ/年 162.7 t-CO <sub>2</sub> /年 11.0 t-CO <sub>2</sub> /年 0.85 5.2% 6.3%	150kW PEMFC燃料電池 1,043 MWh/年 89.9 千Nm <sup>3</sup> /年 14,225 GJ/年 363 GJ/年 788.9 t-CO <sub>2</sub> /年 27.9 t-CO <sub>2</sub> /年 0.88 2.5% 3.4%	450kW PEMFC燃料電池 3,137 MWh/年 258.0 千Nm <sup>3</sup> /年 42,227 GJ/年 1,911 GJ/年 2344.4 t-CO <sub>2</sub> /年 127.3 t-CO <sub>2</sub> /年 0.89 4.3% 5.2%	800kW PEMFC燃料電池 5,224 MWh/年 418.5 千Nm <sup>3</sup> /年 69,819 GJ/年 2,254 GJ/年 3878.6 t-CO <sub>2</sub> /年 155.9 t-CO <sub>2</sub> /年 0.90 3.1% 3.9%

<備考>

■エネルギー需要原単位  
(電力) (冷熱) (給湯)  
最大需要 45W/㎡ 24kW 85.0kW 5.8kW  
年間需要 100kWh/㎡ 63MJ/㎡ 201MJ/㎡ 11MJ/㎡

教育施設  
\*一次エネルギー換算値  
電力: 9760 kJ/kWh  
都市ガス: 45.0 MJ/Nm<sup>3</sup>

\*CO2排出換算値  
電力: 0.559 kg-CO<sub>2</sub>/kWh (平成22年度代替値)  
都市ガス: 2.29 kg-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>

○全体の省エネ性は数%~25%程度。  
○蒸気排熱利用型は効率が20%を超える結果となった。一方、低温排熱型は効率は数%程度と低い。  
○規模による大きな違いはない。

各ケースのシステム効率、省エネ率、CO2排出量削減率

■ケースF

住宅

需要想定	F-1 (規模)		F-2 (床面積)		F-3 (床面積)	
	10戸 (小規模)	50戸 (中規模)	300戸 (大規模)	(冷熱)	(冷熱)	(冷熱)
最大需要	12kW	47kW	60kW	233kW	360kW	360kW
年間需要	28MWh	33GJ	140MWh	167GJ	840MWh	840MWh
エネルギー需要量	516 GJ	147GJ	3146GJ	7336GJ	1.8946GJ	4.3986GJ
年間買電量	33.2 MWh/年	166.2 MWh/年	997.0 MWh/年	166.2 MWh/年	997.0 MWh/年	997.0 MWh/年
年間燃料消費量	5.2 千Nm <sup>3</sup> /年	25.8 千Nm <sup>3</sup> /年	154.7 千Nm <sup>3</sup> /年	25.8 千Nm <sup>3</sup> /年	154.7 千Nm <sup>3</sup> /年	154.7 千Nm <sup>3</sup> /年
一次エネルギー量	556 GJ/年	2,782 GJ/年	16,694 GJ/年	2,782 GJ/年	16,694 GJ/年	16,694 GJ/年
CO2排出量	30.4 t-CO2/年	151.9 t-CO2/年	911.7 t-CO2/年	151.9 t-CO2/年	911.7 t-CO2/年	911.7 t-CO2/年
熱源システム効率	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
省エネ率						
CO2削減率						
FC・熱源システム効率						
省エネ率						
CO2排出削減率						
年間買電量	11 MWh/年	61 MWh/年	435 MWh/年	61 MWh/年	435 MWh/年	435 MWh/年
年間燃料消費量	8.1 千Nm <sup>3</sup> /年	39.7 千Nm <sup>3</sup> /年	227.9 千Nm <sup>3</sup> /年	39.7 千Nm <sup>3</sup> /年	227.9 千Nm <sup>3</sup> /年	227.9 千Nm <sup>3</sup> /年
一次エネルギー量	474 GJ/年	2,380 GJ/年	14,503 GJ/年	2,380 GJ/年	14,503 GJ/年	14,503 GJ/年
省エネ率	82 GJ/年	403 GJ/年	2,191 GJ/年	403 GJ/年	2,191 GJ/年	2,191 GJ/年
CO2排出量	24.9 t-CO2/年	124.9 t-CO2/年	785.1 t-CO2/年	124.9 t-CO2/年	785.1 t-CO2/年	785.1 t-CO2/年
CO2削減率	5.5 t-CO2/年	27.0 t-CO2/年	146.5 t-CO2/年	27.0 t-CO2/年	146.5 t-CO2/年	146.5 t-CO2/年
FC・熱源システム効率	1.09	1.08	1.07	1.08	1.07	1.07
省エネ率	14.7%	14.5%	13.1%	14.5%	13.1%	13.1%
CO2排出削減率	18.2%	17.8%	16.1%	17.8%	16.1%	16.1%
年間買電量	11 MWh/年	61 MWh/年	435 MWh/年	61 MWh/年	435 MWh/年	435 MWh/年
年間燃料消費量	7.9 千Nm <sup>3</sup> /年	38.7 千Nm <sup>3</sup> /年	222.7 千Nm <sup>3</sup> /年	38.7 千Nm <sup>3</sup> /年	222.7 千Nm <sup>3</sup> /年	222.7 千Nm <sup>3</sup> /年
一次エネルギー量	465 GJ/年	2,335 GJ/年	14,265 GJ/年	2,335 GJ/年	14,265 GJ/年	14,265 GJ/年
省エネ率	91 GJ/年	447 GJ/年	2,429 GJ/年	447 GJ/年	2,429 GJ/年	2,429 GJ/年
CO2排出量	24.4 t-CO2/年	122.6 t-CO2/年	753.0 t-CO2/年	122.6 t-CO2/年	753.0 t-CO2/年	753.0 t-CO2/年
CO2削減率	6.0 t-CO2/年	29.3 t-CO2/年	158.6 t-CO2/年	29.3 t-CO2/年	158.6 t-CO2/年	158.6 t-CO2/年
FC・熱源システム効率	1.11	1.11	1.09	1.11	1.09	1.09
省エネ率	16.4%	16.1%	14.6%	16.1%	14.6%	14.6%
CO2排出削減率	19.3%	19.3%	17.4%	19.3%	17.4%	17.4%

＜備考＞  
 ■エネルギー必要原単位  
 (電力) (冷熱) (暖房) (給湯)  
 最大需要 1.200W/戸 4.651kW/戸 3.488kW/戸  
 年間需要 2.800kWh/戸 3.349MJ/戸 6.279MJ/戸 14.661MJ/戸

\*一次エネルギー換算値  
 電力: 9.760 kJ/kWh  
 都市ガス: 45.0 MJ/Nm<sup>3</sup>

\*CO2排出換算値  
 電力: 0.559 kg-CO2/kWh (平成22年度代替値)  
 都市ガス: 2.29 kg-CO2/Nm<sup>3</sup>

○全体の省エネ性は13%～16%程度。  
 ○排熱量の大きい低温水排熱燃料電池ほど、省エネ性が高くなる傾向を示す。  
 ○小規模でも大規模と同等以上の効率となっており、規模による差は見られない。

## ② 算定結果に関する考察

### (a) 発電効率の比較

建物用途別、想定した燃料電池種類別の発電効率を整理し、図 3.3 の結果が得られた。

最も発電効率が低かった教育施設 (2,000m<sup>2</sup>) においても、定格発電効率 50%に対して 48.3%の発電効率が得られており、用途と規模の組み合わせによっては、発電効率が 49.5%を超えるケースも見られた。今回設定した燃料電池の規模 (最大電力需要(kW)の約 1/3) 及び稼働時間条件 (9 時~21 時の DSS 運転、ただしホテルについては 24 時間運転) については、十分に効果的であると考えられる。また、若干ではあるが、建物規模が大きくなるにつれて発電効率が改善する傾向が見られた。

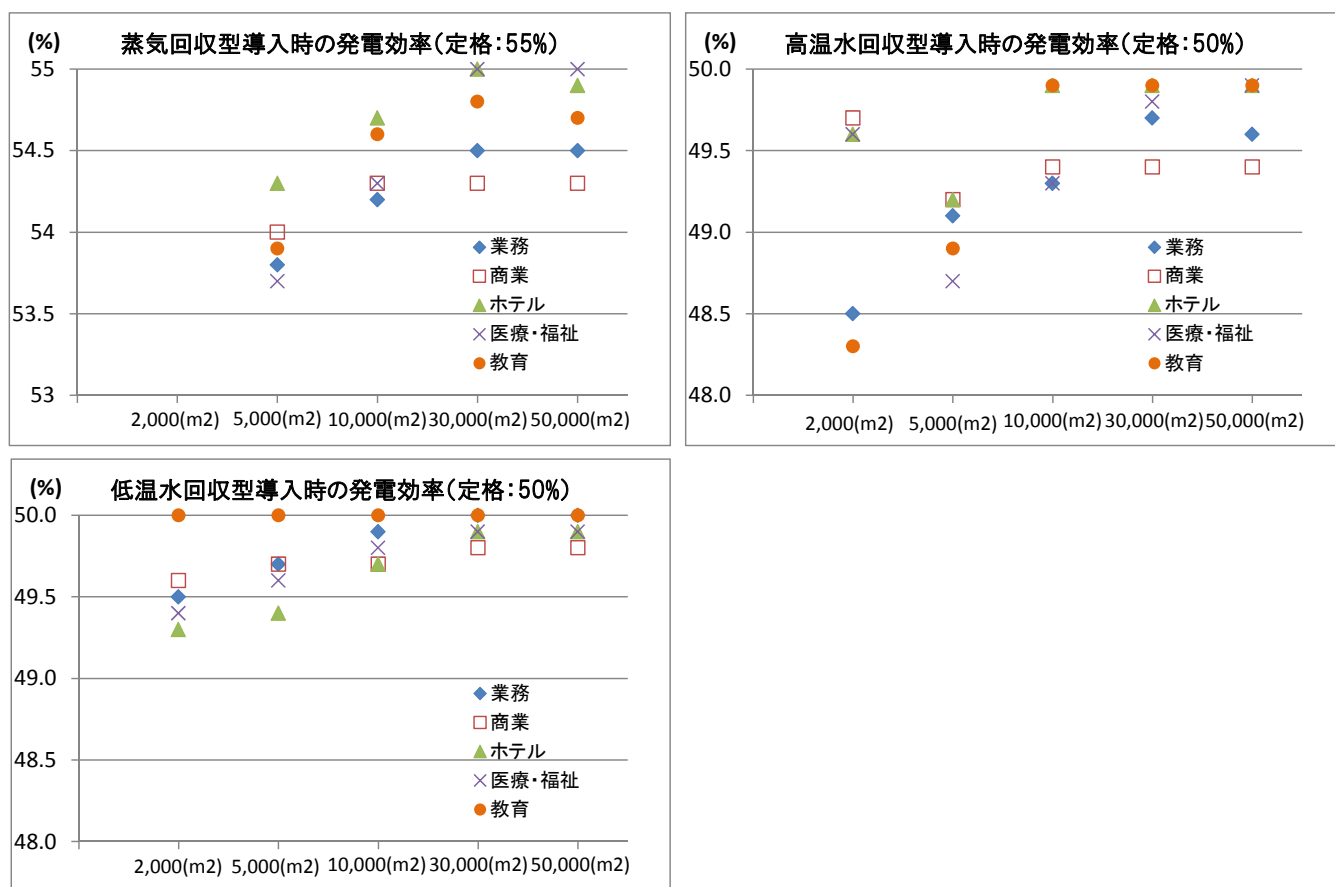


図 3.3 排熱利用形態毎の燃料電池発電効率の比較

(b) 排熱利用効率の比較

排熱利用効率については、図 3.4 に示すように、用途及び回収温度によって差が現れる結果となった。特に温熱需要が大きいホテル、医療・福祉施設においては、高温水、低温水ともに、建物規模にかかわらず高い排熱利用効率を達成している。一方、低温水の場合は、冷熱への利用が行えないため、最も温熱需要が小さい商業施設については、低温水の利用率が 15%前後と低くなっている。

排熱回収温度との関係について見てみると、低温水の場合は、建物規模に関係なく用途毎に概ね一定の回収効率を示しているが、蒸気及び高温水については、建物規模の増大に伴い、逆に回収効率の下がる傾向を示す用途も見られた（業務、教育施設など）。また、低温水及び高温水での回収時には、比較的温熱需要の大きい用途（ホテル、医療・福祉）と小さい用途（業務、商業、教育施設）で、傾向が分かれる結果となった。蒸気、高温水、低温水と回収温度が下がるにつれて、用途間の排熱回収効率の差がより大きくなる傾向が見られた。

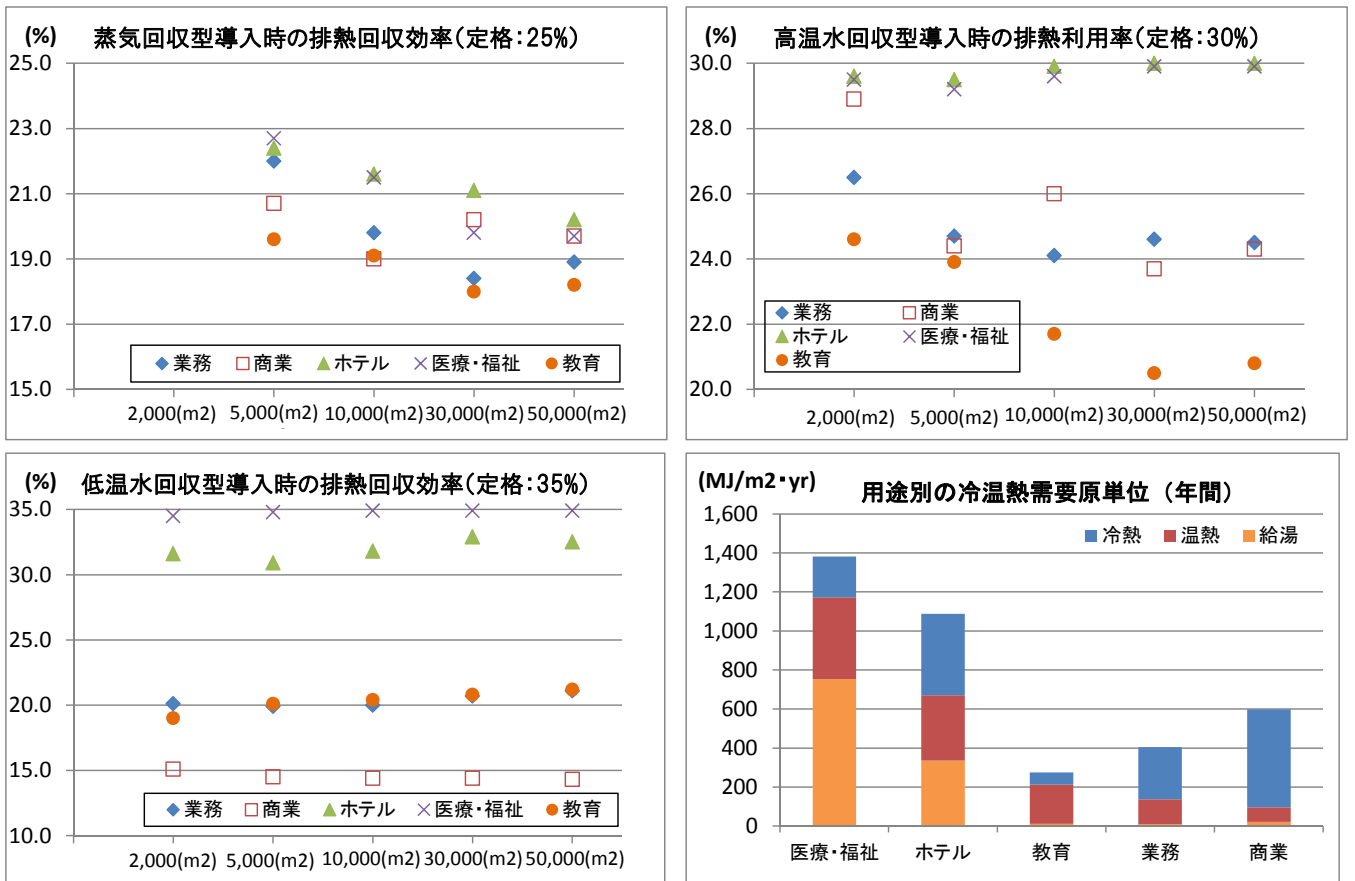


図 3.4 排熱利用形態毎の燃料電池排熱利用効率の比較

(c) 用途と排熱利用形態の違いによる CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の比較

用途別、床面積別に CO<sub>2</sub> 排出量削減効果をグラフ化したものを図 3.5 に示す。

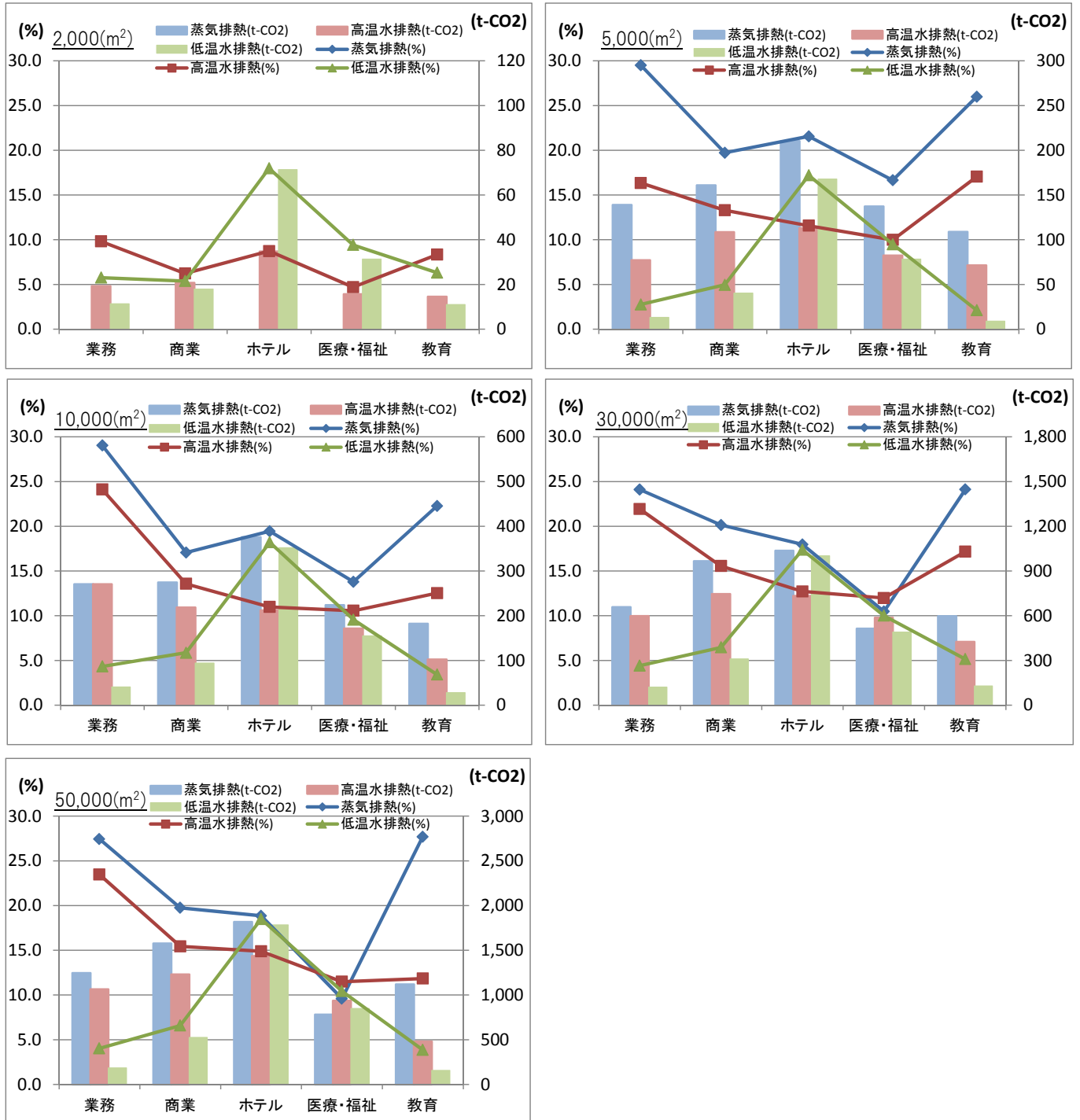


図 3.5 用途別の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の比較

◇ 用途の違いについて

CO<sub>2</sub>削減量で評価すると、ホテルの削減量が最も大きい。続いて、商業施設、業務施設、医療福祉施設の順に削減量が多い傾向を示している。一方、CO<sub>2</sub>削減率については、冷熱需要の比較的大きい業務施設・教育施設及び商業施設において、蒸気排熱利用および高温水排熱利用による冷房利用の効果が大きく反映されている。

◇ 排熱利用形態の違いについて

ホテルを除く施設では、蒸気排熱型が最も効果が高く、続いて高温水利用型、低温水利用型の順になる。一方、ホテルについては、低温水排熱利用型の効果も蒸気利用型と同程度に大きいことが明らかとなった。

<まとめ>

燃料電池の排熱利用形態と、施設用途については、導入適合性が見られる。

具体的には、蒸気排熱型および高温水排熱利用型の燃料電池は、どの施設用途についても一定のマッチングを見せるが、特に冷熱需要の割合が大きい施設（商業施設・業務施設・教育施設）では効果が高い。

一方、低温水排熱利用型は、ホテル、医療福祉施設など、給湯需要の期待できる施設では効果が見込めるが、給湯需要の少ない施設での導入効果は低い。なお、総合効率は最も高いため、給湯需要が十分ある施設における導入効果は期待できる。

燃料電池	業務	商業	ホテル	医療・福祉	教育
蒸気排熱型	◎	◎	◎	◎	◎
高温水排熱	○	○	○	○	○
低温水排熱	△	△	◎	○	△

(d) 建物規模（スケールメリット）による効果（CO<sub>2</sub> 排出量）

用途毎に、床面積別の CO<sub>2</sub> 排出量を比較した結果を図 3.6 に示す。

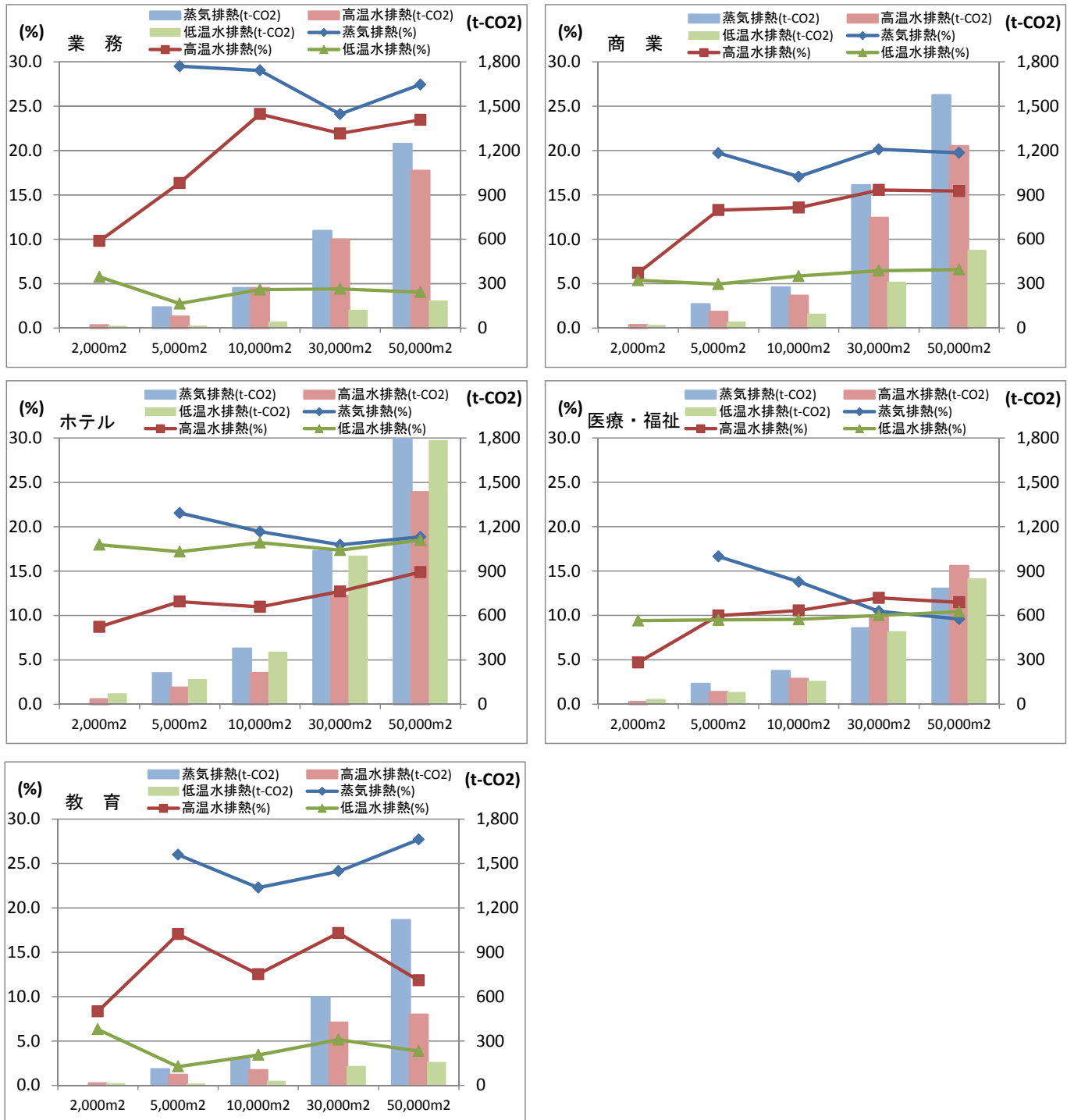


図 3.6 床面積別 CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の比較

各用途とも、規模の増大に伴って CO<sub>2</sub> 削減量が増加する傾向を示す。一方、CO<sub>2</sub> 削減率に関しては、高温水排熱利用において 5,000m<sup>2</sup> 以下で効率が低下する傾向を示すものの、その他ではスケールメリットは認められない。

なお、高温水排熱利用で上記のスケールメリットが現れたのは、規模が小さい施設の場合は、効率の高い冷熱源機器が入れられないためと考えられる。すなわち、冷熱源機器に関しては、規模が大きいほど効率が上がるスケールメリットを有しており、これが燃料電池の排熱利用の効率に影響を与えている。

#### (e) 熱電比及び排熱回収形態による CO<sub>2</sub> 削減量の関係

本検討において想定した各建物用途の熱電比及び冷温熱比を表 3.25 に示す。熱電比については、もっとも大きい医療・福祉施設 (=4.26) と教育施設 (=0.76) で約 6 倍の差があるが、医療・福祉施設を除いた 4 用途に限れば、約 2 倍の範囲に収まる。一方、冷温熱比については、最も小さい医療・福祉施設で 0.18、最も大きい商業施設は 5.23 であり、30 倍近い差がある。商業施設を除いた 4 用途で考えても、その差は約 10 倍と大きい。

表 3.25 用途別熱電比及び冷温熱比 (用途別基本ケース)

用途区分	電力 kWh/m <sup>2</sup> /y	冷熱 MJ/m <sup>2</sup> /y	温熱 MJ/m <sup>2</sup> /y	給湯 MJ/m <sup>2</sup> /y	熱電比	冷温熱比
業務	100	268	126	10.5	1.12	1.96
商業	210	502	75	21	0.79	5.23
ホテル	200	418	335	335	1.51	0.62
医療・福祉	90	209	419	753	4.26	0.18
教育	100	63	201	10.5	0.76	0.3

※ 熱電比 = (冷熱+温熱+給湯)÷電力

※ 冷温熱比 = 冷熱÷(温熱+給湯)

#### ◇ 熱電比の比較

熱電比と CO<sub>2</sub> 削減の関係を図 3.7、図 3.8 に示す。熱電比に近い業務施設と教育施設については、排熱回収形態による CO<sub>2</sub> 削減率の分布が類似している。一般的にはコージェネの導入は熱電比が高い方が有利と言われているが、今回の検討においては、熱電比の違いと CO<sub>2</sub> 削減率については大きな相関性は見られない。また、CO<sub>2</sub> 削減量についても、ある程度 (ホテル) までは熱電比が高い方が良い傾向を示すが、一定以上を超えると量が減少する傾向を示す。

すなわち、燃料電池の導入については、熱電比の上昇による CO<sub>2</sub> 削減効果の上昇には限界があり、一定比率を超える場合は、効果がむしろ減少する可能性がある。



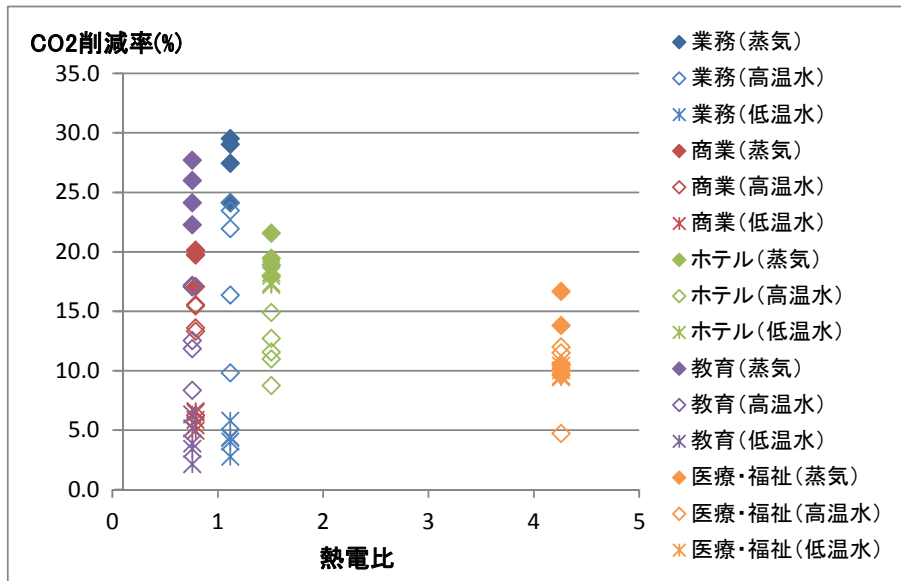


図 3.7 熱電比と CO<sub>2</sub> 削減効果の比較

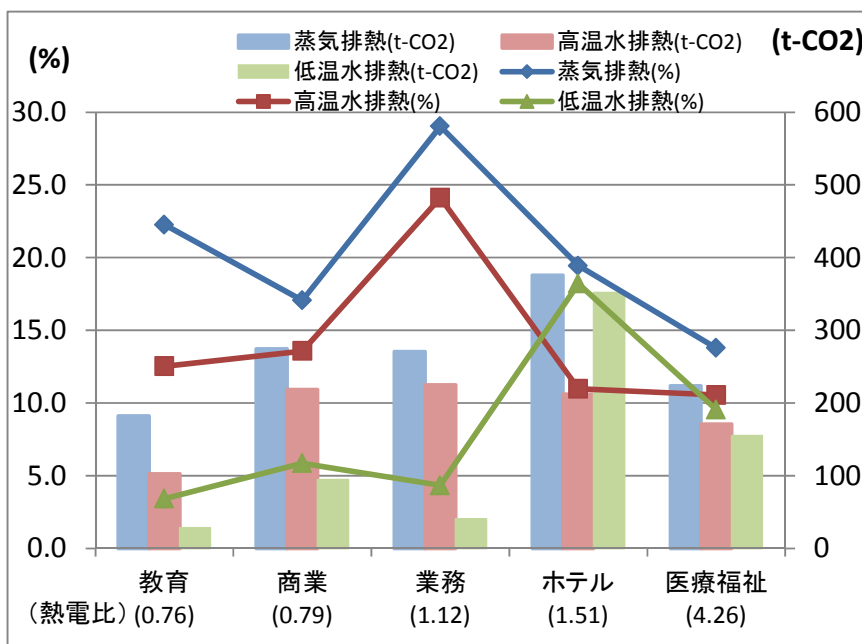


図 3.8 各建物用途の熱電比と CO<sub>2</sub> 削減率／削減量の比較 (床面積 10,000m<sup>2</sup>)

(f) 冷温熱比の影響について

冷温熱比に近いホテルと医療・福祉施設については、排熱回収形態によるCO<sub>2</sub>削減効果の分布が類似している（図 3.9）。なお、今回の検討においては、冷温熱比が上昇することによる燃料電池の導入効果に大きな相関性は見られない。

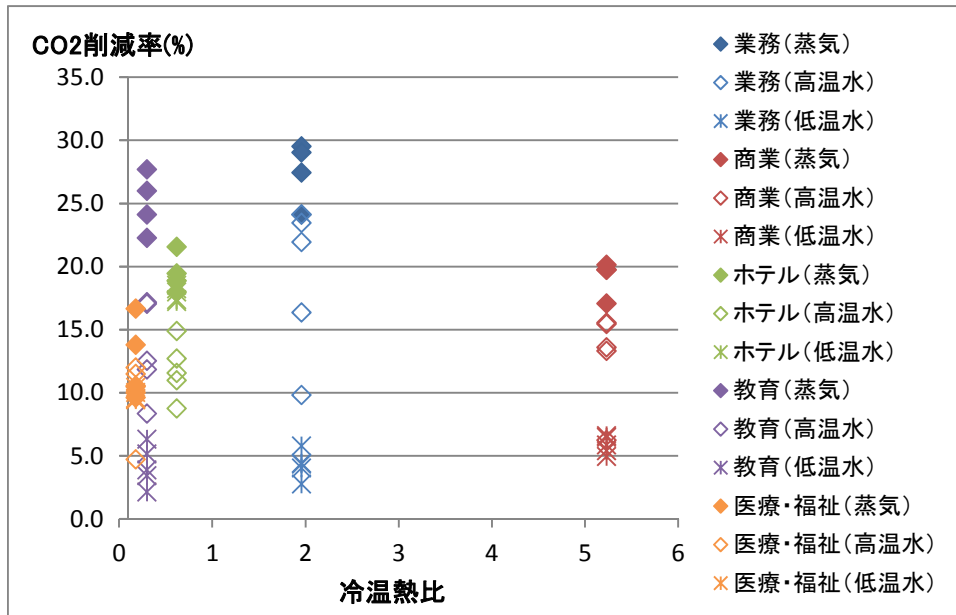


図 3.9 冷温熱比と CO<sub>2</sub> 削減率の関係（基準ケース）

(g) 民生用建物への燃料電池導入の適合性（まとめ）

・燃料電池の排熱利用形態と、施設用途については、導入適合性が見られる（表 3.26）。

蒸気排熱型および高温水排熱利用型の燃料電池は、どの施設用途についても一定の効果が期待できるが、特に冷熱需要の割合が大きい施設（商業施設・業務施設・教育施設）での効果が高い。

また、低温水排熱利用型は、ホテル、医療福祉施設など、給湯需要の期待できる施設では効果が見込めるが、給湯需要の少ない施設での導入効果は低い。なお、総合効率は最も高いため、給湯需要が十分ある施設における導入効果は期待できる。

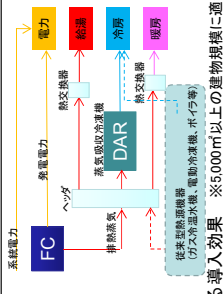
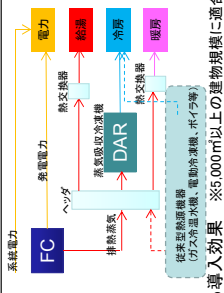
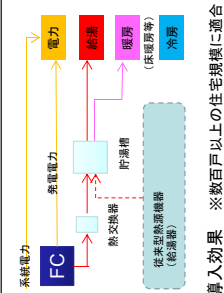
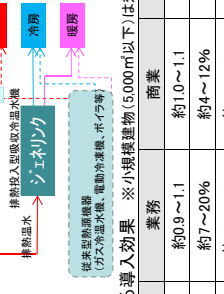
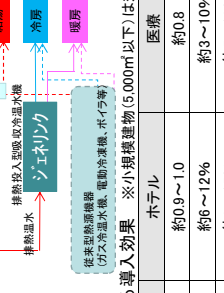
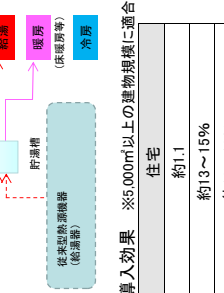
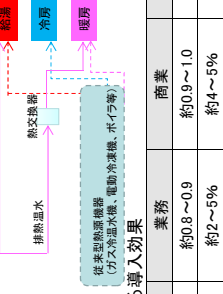
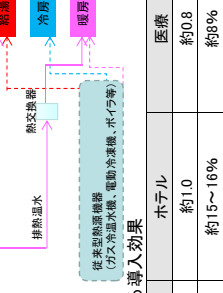
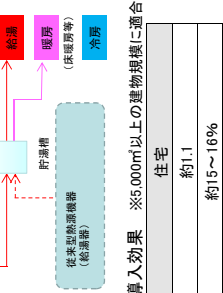
燃料電池	業務	商業	ホテル	医療・福祉	教育
蒸気排熱型	◎	◎	◎	◎	◎
高温水排熱型	○	○	○	○	○
低温水排熱型	△	△	◎	○	△

・燃料電池の排熱利用形態と、施設用途規模の関連性については、一部冷熱源機器が有するスケールメリットの影響を受けることから、5,000m<sup>2</sup>以下の規模の小さな冷熱需要が多い施設においては、導入効果が低下する傾向を示す。

一方、その他の施設では、燃料電池の排熱利用によるCO<sub>2</sub>削減効果と施設規模については大きな関連はなく、建物規模に燃料電池の効果は影響されない。

・一般的にはコージェネの導入は熱電比が高い方が有利とされているが、燃料電池に関しては、熱電比と導入効果の関係は限りがあり、熱電比の低い建物においても、高い発電効率によって効果的な導入は可能である。

表 3.26 各建物条件における燃料電池排熱利用効果の一覧

<p>建物特性に適する燃料電池導入の考え方</p>	<p>冷暖房需要中心に供給 ※冷暖房需要がある施設(給湯需要は少ない) 業務/商業/教育施設</p>	<p>給湯・冷暖房需要に供給 ※給湯・冷暖房需要がある施設 ホテル/医療施設</p>	<p>給湯需要に供給 ※給湯需要がある施設 集合住宅</p>																																																												
<p>① 蒸気排熱型燃料電池 ※SOFC、MCFC</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>排熱は蒸気→冷暖房・給湯に利用可能</li> <li>規模は100kW以上</li> <li>発電効率は最も高い(想定5.5%)</li> <li>排熱回収率は低い(想定2.5%)</li> </ul>	<p>冷暖房需要の割合が大きい施設に対しては、蒸気排熱型および高温水排熱型燃料電池による効果が期待できるが、燃料電池に規模条件(100kW以上)があり、ある程度(5,000m<sup>2</sup>)以上の建物規模が必要。</p> <p>適合性:◎</p>  <p>■期待される導入効果 ※5,000m<sup>2</sup>以上の建物規模に適合</p> <table border="1"> <tr><td>業務</td><td>約1.2</td><td>約11</td><td>約19~25%</td></tr> <tr><td>商業</td><td>約1.1</td><td>約17%</td><td>約22~28%</td></tr> <tr><td>教育</td><td>約1.1</td><td>約25%</td><td></td></tr> <tr><td>システム効率</td><td>約21</td><td>約16~17%</td><td>約17~20%</td></tr> <tr><td>省エネ率</td><td>約21</td><td>約26%</td><td>約22~28%</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub>削減率</td><td>約24~30%</td><td>約17~20%</td><td>約22~28%</td></tr> </table>	業務	約1.2	約11	約19~25%	商業	約1.1	約17%	約22~28%	教育	約1.1	約25%		システム効率	約21	約16~17%	約17~20%	省エネ率	約21	約26%	約22~28%	CO <sub>2</sub> 削減率	約24~30%	約17~20%	約22~28%	<p>年間を通じて給湯需要がある施設には、蒸気排熱型・高温水排熱型・低温水排熱型と全ての燃料電池利による効果が期待できる。</p> <p>適合性:◎</p>  <p>■期待される導入効果 ※5,000m<sup>2</sup>以上の建物規模に適合</p> <table border="1"> <tr><td>ホテル</td><td>約1.0~1.1</td><td>約0.8~0.9</td><td>約10~15%</td></tr> <tr><td>医療</td><td>約1.1</td><td>約0.8</td><td>約10~15%</td></tr> <tr><td>システム効率</td><td>約10</td><td>約16~19%</td><td>約18~22%</td></tr> <tr><td>省エネ率</td><td>約16</td><td>約15%</td><td>約10~17%</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub>削減率</td><td>約18</td><td>約15%</td><td>約10~17%</td></tr> </table>	ホテル	約1.0~1.1	約0.8~0.9	約10~15%	医療	約1.1	約0.8	約10~15%	システム効率	約10	約16~19%	約18~22%	省エネ率	約16	約15%	約10~17%	CO <sub>2</sub> 削減率	約18	約15%	約10~17%	<p>給湯需要のみで供給する場合、全ての燃料電池による効果が期待できる。特に、低温排熱型燃料電池との相性が良い。</p> <p>適合性:○</p>  <p>■期待される導入効果 ※数百以上の住宅規模に適合</p> <table border="1"> <tr><td>住宅</td><td>約1.1</td><td>約14%</td><td>約17%</td></tr> <tr><td>システム効率</td><td>約1.1</td><td>約14%</td><td>約17%</td></tr> <tr><td>省エネ率</td><td>約1.1</td><td>約14%</td><td>約17%</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub>削減率</td><td>約1.1</td><td>約14%</td><td>約17%</td></tr> </table>	住宅	約1.1	約14%	約17%	システム効率	約1.1	約14%	約17%	省エネ率	約1.1	約14%	約17%	CO <sub>2</sub> 削減率	約1.1	約14%	約17%
業務	約1.2	約11	約19~25%																																																												
商業	約1.1	約17%	約22~28%																																																												
教育	約1.1	約25%																																																													
システム効率	約21	約16~17%	約17~20%																																																												
省エネ率	約21	約26%	約22~28%																																																												
CO <sub>2</sub> 削減率	約24~30%	約17~20%	約22~28%																																																												
ホテル	約1.0~1.1	約0.8~0.9	約10~15%																																																												
医療	約1.1	約0.8	約10~15%																																																												
システム効率	約10	約16~19%	約18~22%																																																												
省エネ率	約16	約15%	約10~17%																																																												
CO <sub>2</sub> 削減率	約18	約15%	約10~17%																																																												
住宅	約1.1	約14%	約17%																																																												
システム効率	約1.1	約14%	約17%																																																												
省エネ率	約1.1	約14%	約17%																																																												
CO <sub>2</sub> 削減率	約1.1	約14%	約17%																																																												
<p>② 高温水排熱燃料電池 ※SOFC、MCFC</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>排熱は高温水(80℃レベル)→冷暖房・給湯に利用可能</li> <li>規模は1kW以上</li> <li>発電効率は高い(想定5.0%)</li> <li>排熱回収率は高い(想定3.0%)</li> </ul>	<p>冷暖房需要の割合が大きい施設に対しては、蒸気排熱型および高温水排熱型燃料電池による効果が期待できるが、燃料電池に規模条件(100kW以上)があり、ある程度(5,000m<sup>2</sup>)以上の建物規模が必要。</p> <p>適合性:○</p>  <p>■期待される導入効果 ※5,000m<sup>2</sup>以下の効率低下</p> <table border="1"> <tr><td>業務</td><td>約0.9</td><td>約1.1</td><td>約0.9~1.0</td></tr> <tr><td>商業</td><td>約1.0</td><td>約1.1</td><td>約0.9~1.0</td></tr> <tr><td>教育</td><td>約0.9</td><td>約1.1</td><td>約0.9~1.0</td></tr> <tr><td>システム効率</td><td>約0.9</td><td>約1.0</td><td>約0.8</td></tr> <tr><td>省エネ率</td><td>約7</td><td>約12%</td><td>約5~14%</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub>削減率</td><td>約10~24%</td><td>約6~15%</td><td>約8~17%</td></tr> </table>	業務	約0.9	約1.1	約0.9~1.0	商業	約1.0	約1.1	約0.9~1.0	教育	約0.9	約1.1	約0.9~1.0	システム効率	約0.9	約1.0	約0.8	省エネ率	約7	約12%	約5~14%	CO <sub>2</sub> 削減率	約10~24%	約6~15%	約8~17%	<p>年間を通じて給湯需要がある施設には、蒸気排熱型・高温水排熱型・低温水排熱型と全ての燃料電池利による効果が期待できる。</p> <p>適合性:○</p>  <p>■期待される導入効果 ※5,000m<sup>2</sup>以下の効率低下</p> <table border="1"> <tr><td>ホテル</td><td>約0.9</td><td>約1.0</td><td>約0.8</td></tr> <tr><td>医療</td><td>約1.0</td><td>約1.1</td><td>約0.8</td></tr> <tr><td>システム効率</td><td>約0.9</td><td>約1.0</td><td>約0.8</td></tr> <tr><td>省エネ率</td><td>約6</td><td>約12%</td><td>約3~10%</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub>削減率</td><td>約9</td><td>約15%</td><td>約5~12%</td></tr> </table>	ホテル	約0.9	約1.0	約0.8	医療	約1.0	約1.1	約0.8	システム効率	約0.9	約1.0	約0.8	省エネ率	約6	約12%	約3~10%	CO <sub>2</sub> 削減率	約9	約15%	約5~12%	<p>給湯需要のみで供給する場合、全ての燃料電池による効果が期待できる。特に、低温排熱型燃料電池との相性が良い。</p> <p>適合性:◎</p>  <p>■期待される導入効果 ※5,000m<sup>2</sup>以上の建物規模に適合</p> <table border="1"> <tr><td>住宅</td><td>約1.1</td><td>約13~15%</td><td>約16~18%</td></tr> <tr><td>システム効率</td><td>約1.1</td><td>約13~15%</td><td>約16~18%</td></tr> <tr><td>省エネ率</td><td>約1.1</td><td>約13~15%</td><td>約16~18%</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub>削減率</td><td>約1.1</td><td>約13~15%</td><td>約16~18%</td></tr> </table>	住宅	約1.1	約13~15%	約16~18%	システム効率	約1.1	約13~15%	約16~18%	省エネ率	約1.1	約13~15%	約16~18%	CO <sub>2</sub> 削減率	約1.1	約13~15%	約16~18%
業務	約0.9	約1.1	約0.9~1.0																																																												
商業	約1.0	約1.1	約0.9~1.0																																																												
教育	約0.9	約1.1	約0.9~1.0																																																												
システム効率	約0.9	約1.0	約0.8																																																												
省エネ率	約7	約12%	約5~14%																																																												
CO <sub>2</sub> 削減率	約10~24%	約6~15%	約8~17%																																																												
ホテル	約0.9	約1.0	約0.8																																																												
医療	約1.0	約1.1	約0.8																																																												
システム効率	約0.9	約1.0	約0.8																																																												
省エネ率	約6	約12%	約3~10%																																																												
CO <sub>2</sub> 削減率	約9	約15%	約5~12%																																																												
住宅	約1.1	約13~15%	約16~18%																																																												
システム効率	約1.1	約13~15%	約16~18%																																																												
省エネ率	約1.1	約13~15%	約16~18%																																																												
CO <sub>2</sub> 削減率	約1.1	約13~15%	約16~18%																																																												
<p>③ 低温水排熱燃料電池 ※PEFC</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>排熱は低温水(60℃レベル)→暖房・給湯に利用可能</li> <li>規模は1kW以上</li> <li>発電効率は高い(想定5.0%)</li> <li>排熱回収率は最も高い(想定3.5%)</li> </ul>	<p>冷暖房需要の割合が大きい施設に対しては、蒸気排熱型および高温水排熱型燃料電池による効果が期待できるが、燃料電池に規模条件(100kW以上)があり、ある程度(5,000m<sup>2</sup>)以上の建物規模が必要。</p> <p>適合性:△</p>  <p>■期待される導入効果</p> <table border="1"> <tr><td>業務</td><td>約0.8</td><td>約0.9</td><td>約0.9</td></tr> <tr><td>商業</td><td>約0.9</td><td>約1.0</td><td>約0.9</td></tr> <tr><td>教育</td><td>約0.8</td><td>約0.9</td><td>約0.9</td></tr> <tr><td>システム効率</td><td>約0.8</td><td>約0.9</td><td>約0.8</td></tr> <tr><td>省エネ率</td><td>約2</td><td>約5%</td><td>約1~5%</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub>削減率</td><td>約3</td><td>約6%</td><td>約2~6%</td></tr> </table>	業務	約0.8	約0.9	約0.9	商業	約0.9	約1.0	約0.9	教育	約0.8	約0.9	約0.9	システム効率	約0.8	約0.9	約0.8	省エネ率	約2	約5%	約1~5%	CO <sub>2</sub> 削減率	約3	約6%	約2~6%	<p>年間を通じて給湯需要がある施設には、蒸気排熱型・高温水排熱型・低温水排熱型と全ての燃料電池利による効果が期待できる。</p> <p>適合性:◎</p>  <p>■期待される導入効果</p> <table border="1"> <tr><td>ホテル</td><td>約1.0</td><td>約1.1</td><td>約0.8</td></tr> <tr><td>医療</td><td>約1.1</td><td>約1.2</td><td>約0.8</td></tr> <tr><td>システム効率</td><td>約1.0</td><td>約1.1</td><td>約0.8</td></tr> <tr><td>省エネ率</td><td>約15</td><td>約16%</td><td>約9~10%</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub>削減率</td><td>約17</td><td>約19%</td><td>約9~10%</td></tr> </table>	ホテル	約1.0	約1.1	約0.8	医療	約1.1	約1.2	約0.8	システム効率	約1.0	約1.1	約0.8	省エネ率	約15	約16%	約9~10%	CO <sub>2</sub> 削減率	約17	約19%	約9~10%	<p>給湯需要のみで供給する場合、全ての燃料電池による効果が期待できる。特に、低温排熱型燃料電池との相性が良い。</p> <p>適合性:◎</p>  <p>■期待される導入効果 ※5,000m<sup>2</sup>以上の建物規模に適合</p> <table border="1"> <tr><td>住宅</td><td>約1.1</td><td>約15~16%</td><td>約17~20%</td></tr> <tr><td>システム効率</td><td>約1.1</td><td>約15~16%</td><td>約17~20%</td></tr> <tr><td>省エネ率</td><td>約1.1</td><td>約15~16%</td><td>約17~20%</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub>削減率</td><td>約1.1</td><td>約15~16%</td><td>約17~20%</td></tr> </table>	住宅	約1.1	約15~16%	約17~20%	システム効率	約1.1	約15~16%	約17~20%	省エネ率	約1.1	約15~16%	約17~20%	CO <sub>2</sub> 削減率	約1.1	約15~16%	約17~20%
業務	約0.8	約0.9	約0.9																																																												
商業	約0.9	約1.0	約0.9																																																												
教育	約0.8	約0.9	約0.9																																																												
システム効率	約0.8	約0.9	約0.8																																																												
省エネ率	約2	約5%	約1~5%																																																												
CO <sub>2</sub> 削減率	約3	約6%	約2~6%																																																												
ホテル	約1.0	約1.1	約0.8																																																												
医療	約1.1	約1.2	約0.8																																																												
システム効率	約1.0	約1.1	約0.8																																																												
省エネ率	約15	約16%	約9~10%																																																												
CO <sub>2</sub> 削減率	約17	約19%	約9~10%																																																												
住宅	約1.1	約15~16%	約17~20%																																																												
システム効率	約1.1	約15~16%	約17~20%																																																												
省エネ率	約1.1	約15~16%	約17~20%																																																												
CO <sub>2</sub> 削減率	約1.1	約15~16%	約17~20%																																																												

### ③ 燃料電池利用による系統電力に与えるインパクト削減について

燃料電池および排熱利用技術を導入することによって、系統電力に及ぼす影響を時系列で分析し、燃料電池導入による節電効果の検討を実施した。

前項までに実施したシミュレーションデータから、エネルギー消費の時系列データの分析を実施した。ここでの分析は、10,000m<sup>2</sup>規模の建物のうち、温熱需要の乏しい事務所と温熱需要の豊富なホテルについて実施した。

#### (a) 前提条件

##### ■ケースA-3：業務用途（事務所）の場合

【対象建物】 10,000 m<sup>2</sup>の事務所用途（ケースA-3）

【対象ケース設定概要】

- ・ A-3-0：燃料電池なし、系統電力の利用
- ・ A-3-I：蒸気排熱型（SOFC）+蒸気吸収冷温水機
- ・ A-3-II：高温水排熱型（80℃レベル、SOFC）+排熱投入型三重効用冷温水機
- ・ A-3-III：低温水排熱型（60℃レベル、PEFC）+給湯・暖房利用

##### ■ケースC-3：ホテル用途の場合

【対象建物】 10,000 m<sup>2</sup>のホテル（ケースC-3）

【対象ケース設定概要】

- ・ C-3-0：燃料電池なし、系統電力の利用
- ・ C-3-I：蒸気排熱型（SOFC）+蒸気吸収冷温水機
- ・ C-3-II：高温水排熱型（80℃レベル、SOFC）+排熱投入型三重効用冷温水機
- ・ C-3-III：低温水排熱型（60℃レベル、PEFC）+給湯・暖房利用

#### (b) 系統電力への影響評価（ケースA-3、業務用途（事務所））

図 3.10～13 にケースA-3業務用途（事務所）について、電力消費量、燃料電池発電量、買電量A-3-0との買電量の差（=節電効果）を経時的に示す。

- ・ 系統のみのA-3-0では、日中の電力消費量は11～17時の間400kW程度で推移する。
- ・ SOFCの容量の大きい燃料電池（100kW×2台）のあるA-3-I、A-3-IIでは、日中フル稼働し、蒸気、高温水の排熱は冷熱に転換されて利用される。電力消費量の差分もあわせると200kW以上の削減となり、電力需要の高い日中に5割以上の削減を図ることができる。
- ・ PEFC40kWのA-3-IIIでは、排熱利用の制限から容量が小さく設定されているため、節電効果はほぼ40kWのみで、日中の1割程度の抑制を図ることができる。

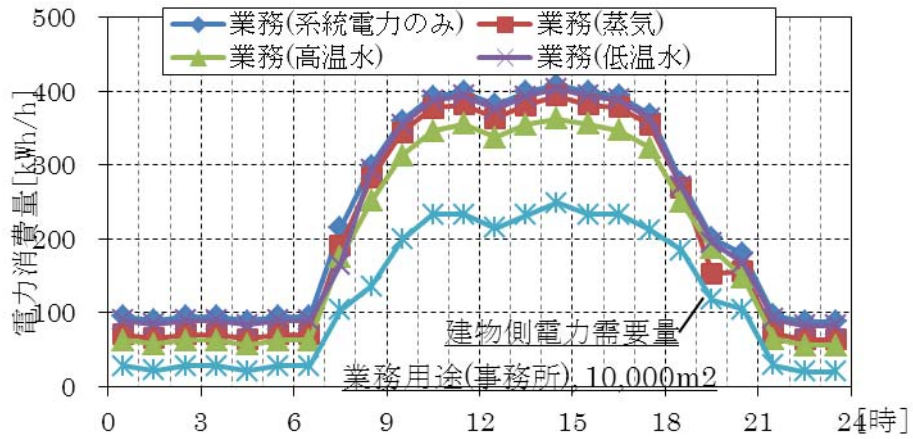


図 3.10 電力消費量の経時変化(業務用途(事務所), 8月代表日(ケースA-3))

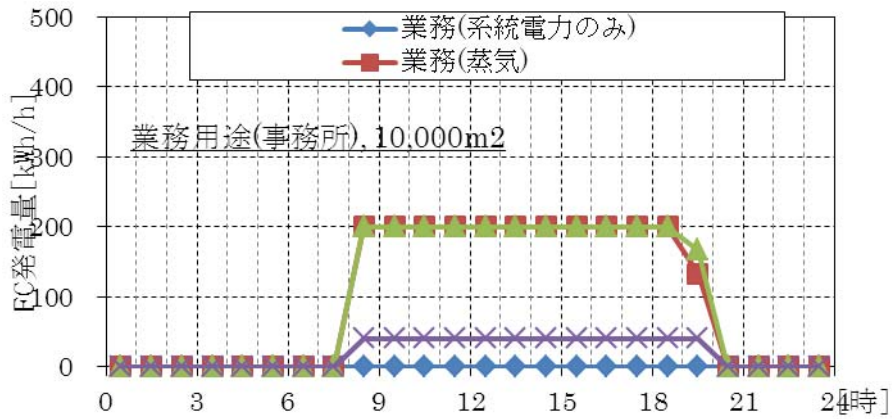


図 3.11 燃料電池発電量の経時変化(業務用途(事務所), 8月代表日(ケースA-3))

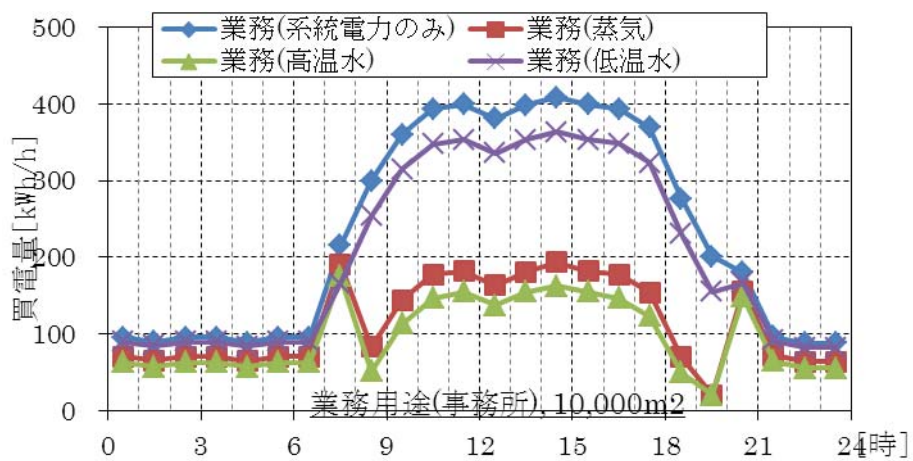


図 3.12 買電量の経時変化(業務用途(事務所), 8月代表日(ケースA-3))

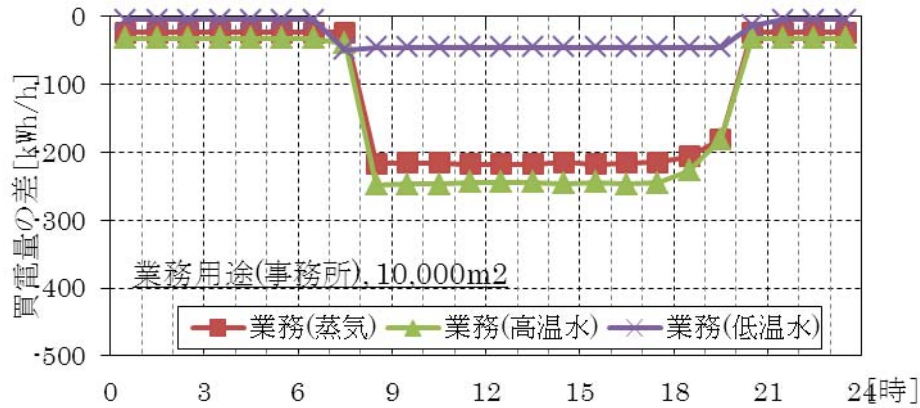


図 3.13 買電量の差の経時変化(業務用途(事務所), 8月代表日(ケースA-3))

(c) 系統電力への影響評価(ケースC-3、ホテル)

図 3.14~17 にケースC-3ホテル用途について、電力消費量、燃料電池発電量、買電量、C-3-0との買電量の差(=節電効果)を経時的に示す。

- ・系統のみのC-3-0では、14時に518kWのピークを迎え、12時~19時の間で500kW前後で推移する。
- ・燃料電池のあるケースでは、燃料電池の発電能力にあたる150kWの発電が24時間継続して行われている。そのため、日中ピーク時の系統電力からの買電量の抑制幅の150kW程度となり、ピーク時に3割弱の削減を図れる結果となっている。

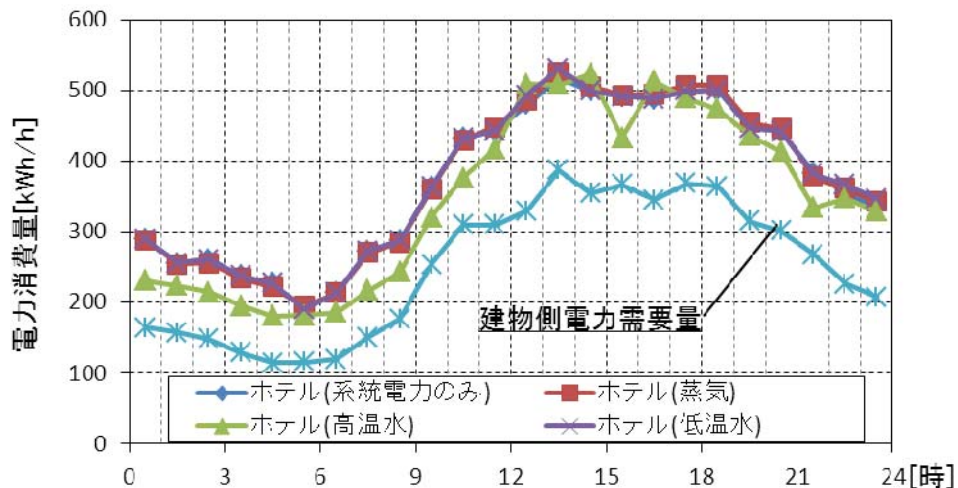


図 3.14 電力消費量の経時変化(ホテル用途, 8月代表日(ケースC-3))

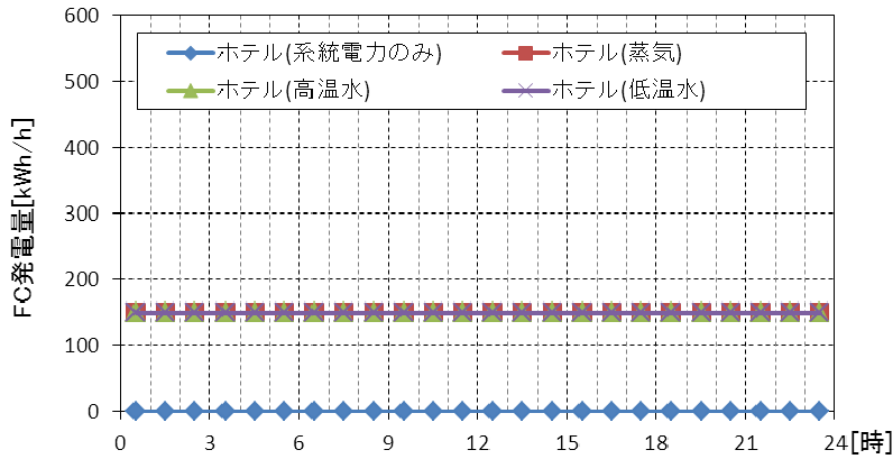


図 3.15 燃料電池発電量の経時変化(ホテル用途), 8月代表日(ケースC-3)

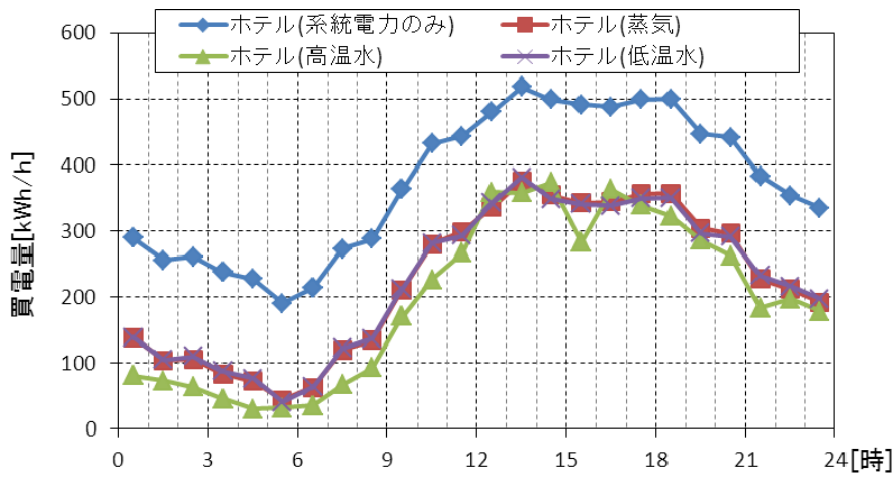


図 3.16 買電量の経時変化(ホテル用途), 8月代表日(ケースC-3)

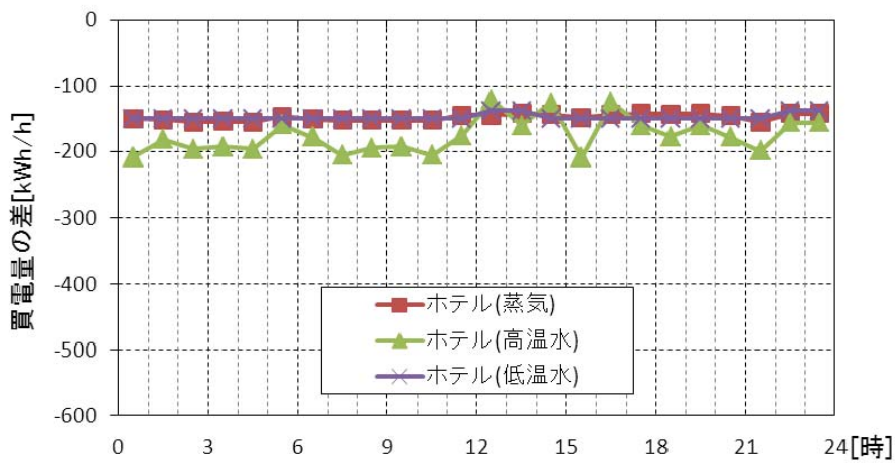


図 3.17 買電量の差の経時変化(ホテル用途), 8月代表日(ケースC-3)



#### (d) 建物規模とピーク時買電量・比率の関係

図 3.18 は、業務用途(事務所)に関して、建物規模別に消費電力のピークがくる可能性が高いと考えられる 8 月の 13 時~16 時の平均消費電力を示したものである。同様に、ホテル用途に関して図 3.19 に示す。

燃料電池および排熱利用技術導入によるピーク時の節電効果(電力購入量の削減効果)は、業務用途(事務所)であっても、ホテル用途であっても、規模による影響をそれほど受けないことが示されている(業務用途では、小さい建物規模で使用できる冷凍機の効率の低さの影響を受けて買電の占める比率が高くなる傾向はみられる)。

夏期の温熱需要が特に小さい業務用途(事務所)では、低温水排熱の利用が制限される PEFC でもととの発電容量が小さいこともあって節電効果が特に低く 1 割程度にとどまる結果となっている。一方、SOFC を導入し高温水や蒸気を冷熱に変換して使用するケースでは、買電量を 4~6 割程度に抑えることが可能となっている。

一方、夏期でも給湯用に一定の熱需要があるホテルでは、燃料電池と排熱利用技術のタイプや建物規模によらず、7 割前後を系統電力が占めている結果となっている。これは、温熱需要が期待できることから PEFC も SOFC と同程度の発電能力のものを導入できるとして設計していることから、ピーク時の発電量にも差が現れなかったことによる。

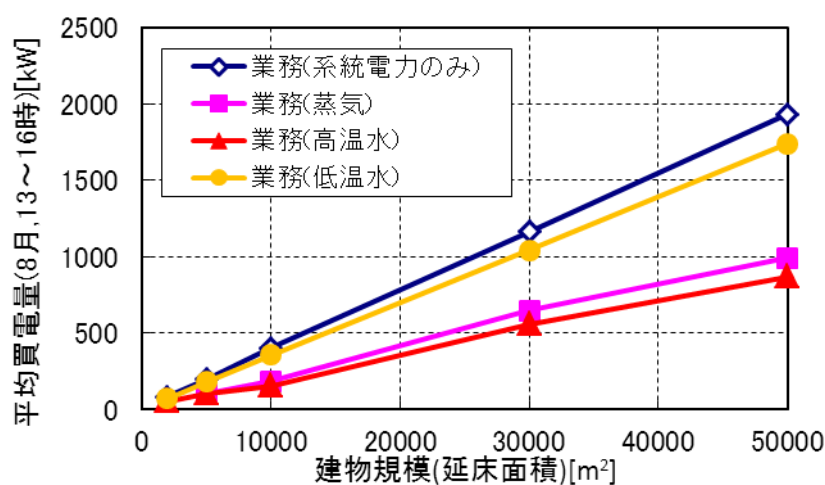


図 3.18 建物規模とピーク時の買電量の関係(業務用途(事務所))

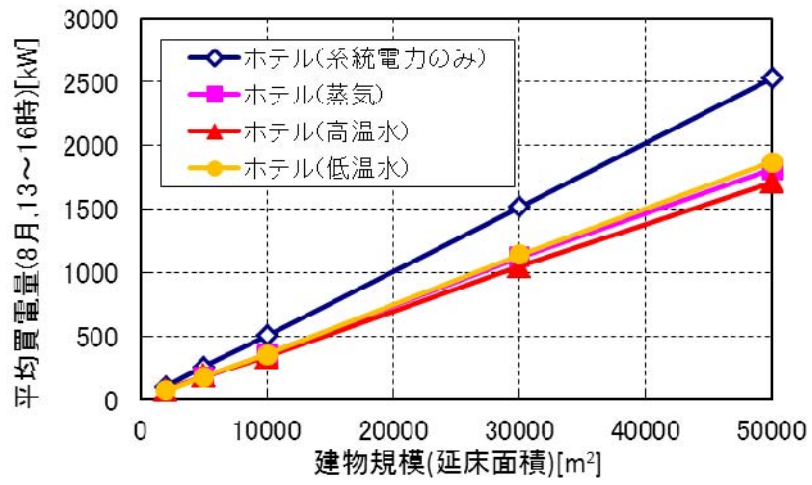


図 3.19 建物規模とピーク時の買電量の関係(ホテル用途)

### 3.3 スマート水素ハウスの省エネ・CO<sub>2</sub>削減効果の評価

#### 3.3.1 概念と先行事例の調査

##### (1) スマート水素ハウスの概念

水素パイプラインが都市内に構築された近未来を想定し、水素を利用した燃料電池を中心に、水素製造技術、貯蔵技術等を活用し、これらを HEMS（ホームエネルギーマネジメントシステム）により最適に制御することによって、低炭素で環境に優しく、負荷平準化とエネルギー自立による安全・安心、高い利便性と快適性を実現した住宅を「スマート水素ハウス」とする（図 3.20、図 3.21）。

##### (2) スマート水素ハウスのメリット・デメリットと特徴

スマート水素ハウスと一般の住宅（スマートハウスを含む）の比較について表 3.27 に示す。スマート水素ハウスが特徴的な点は、「水素は炭素を含まず限りなくゼロカーボン化が期待できること」「エネルギーの高効率利用が可能なこと」「水素をエネルギーバッファーとして、住宅内での負荷変動抑制・負荷平準化に貢献できること」「住宅のエネルギー自立が可能で防災型住宅として期待できること」などが挙げられる。

一方で、安全対策や設置面積、コストなどの課題が挙げられる。

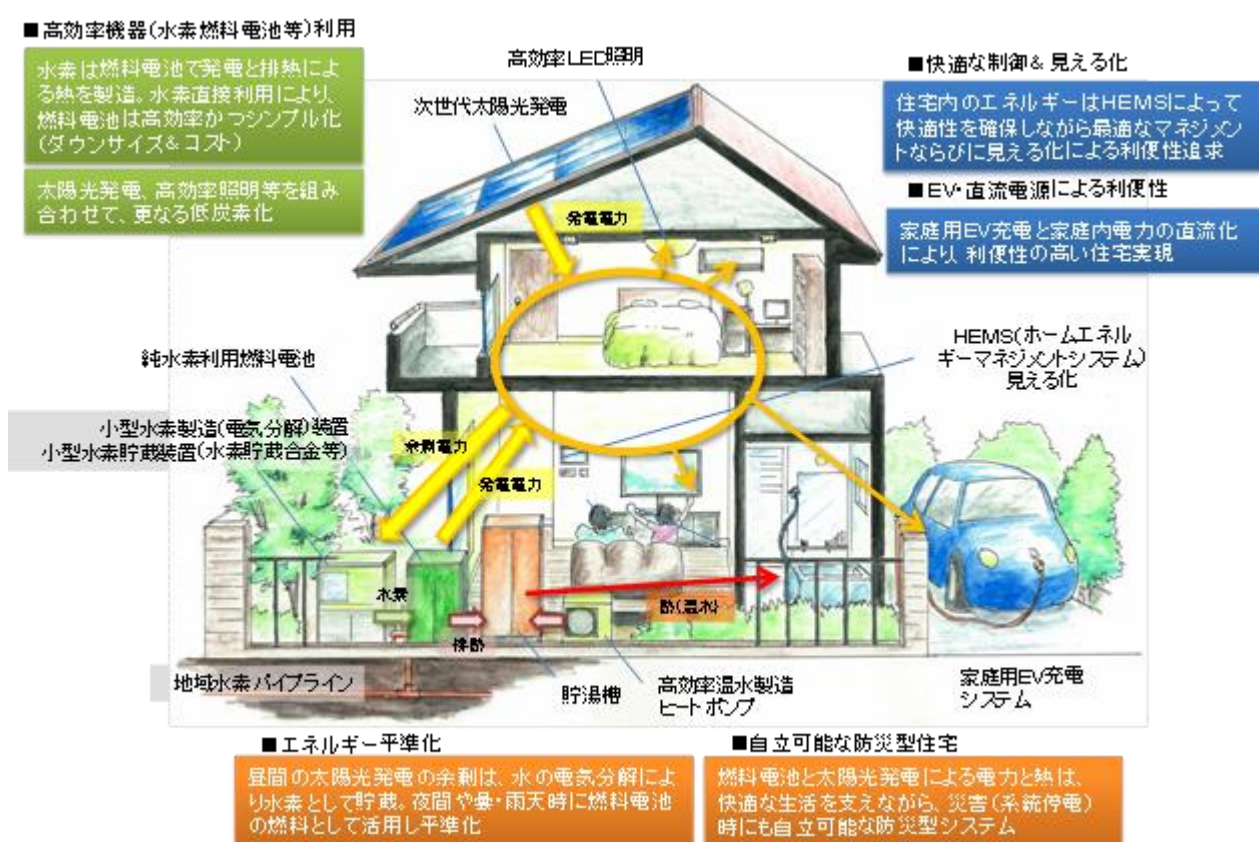


図 3.20 スマート水素ハウスのイメージ

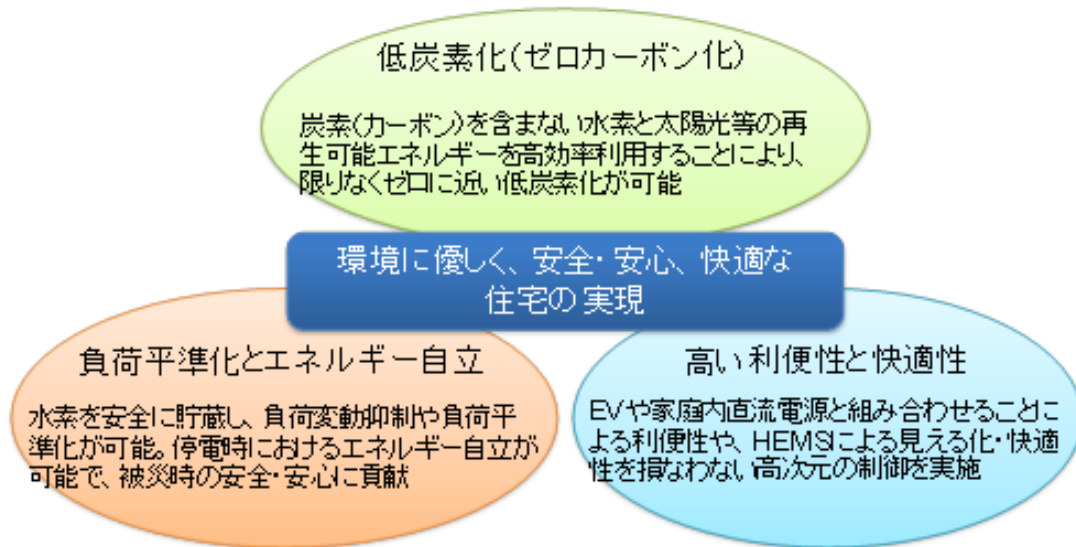


図 3.21 スマート水素ハウスの概念と目的

表 3.27 一般住宅とスマート水素ハウスの比較 (メリット・デメリット)

		一般住宅		スマート水素住宅	
エネルギー源		住宅のエネルギー源として、電気、都市ガスを利用。場合によっては、オール電化住宅もある。		原則として、水素エネルギーで全てのエネルギーを賅うことが可能だが、電力の供給も受ける。	
エネルギー高効率利用	燃料電池利用	○	都市ガスを燃料としたPEFC等の燃料電池を導入可能。発電効率は40~45%程度	◎	純水素を燃料とすることで、更なる効率向上と機器のシンプル化・低コスト化が可能。発電効率は50~55%程度と期待。
	総合利用	○	HEMSと組み合わせて、効率的なエネルギーマネジメントが可能	○	HEMSと組み合わせて効率的なエネルギーマネジメントが可能(HEMSの組合せが前提)
エネルギー変動抑制・平準化	太陽光発電利用	○	昼間の電力逆潮を前提に設置。負荷変動により電力系統に悪影響。蓄電池と組み合わせることにより変動抑制・負荷平準化	◎	昼間の余剰太陽光発電電力は水素として貯め、夜間など住宅に電力が必要な時に燃料電池で供給。負荷変動抑制、負荷平準化に貢献
	蓄エネルギー	△	家庭用蓄電池に貯めることが可能だが、エネルギーロスを伴う。	△	水素に変換し燃料として貯めることが可能だが、エネルギーロスを伴う。
自立運転(防災性)		△	家庭用蓄電池によるバックアップが可能だが、容量に制限があり、限られた範囲での自立。	○	水素に変換し貯め、燃料電池による自立運転可能。電気だけでなく、お湯も製造。
安全性		◎○	都市ガスの導入は実績があり、十分な安全・地震対策が可能。また、オール電化住宅であれば火元は住宅内に無い。	○	水素は敷地内の屋外機置き場までであり、住宅内には引き込まれていない。屋外の水素は十分な安全対策を取ることが必要。
機器設置スペースの制約		○△	都市ガス機器はコンパクト。燃料電池、エコキュートは貯湯槽を含めスペースが必要。	△	燃調電池はコンパクト化が可能だが、貯湯槽、水素製造・貯蔵装置も設置スペースが必要。
費用対効果		○	都市ガス利用燃料電池、太陽光発電、オール電化などはそれぞれ費用対効果が期待。	-	設置コストは最も必要。一方、水素の供給単価が定まっておらず、評価不能。

スマート水素ハウスの特徴

- 水素は炭素を含まず限りなくゼロカーボン化が期待。
- 純水素燃料の燃料電池を中心に、エネルギーの高効率利用。
- 太陽光発電と組合せた際は、水素や燃料電池をバッファーに負荷変動抑制・負荷平準化に貢献。
- 住宅のエネルギー自立が可能で防災型住宅が可能。
- △屋外の水素に関しては、十分な安全対策が必要。
- △機器設置にスペースを要し、敷地条件に制約を受ける。
- △費用対効果は定まっておらず、評価できない。設置コストは高く、安価な水素供給が求められる。

### (3) スマート水素ハウスの要素・周辺技術

将来の水素社会実現の際に想定されるスマート水素住宅の目的・考え方を、「ゼロカーボン（低炭素化）」「負荷変動抑制・平準化に寄与」「エネルギー自立による防災対応」「高い利便性・快適性の実現」と想定し、これを実現する要素・周辺システムに関連する技術開発動向や技術事例等を整理する（図 3.22）。

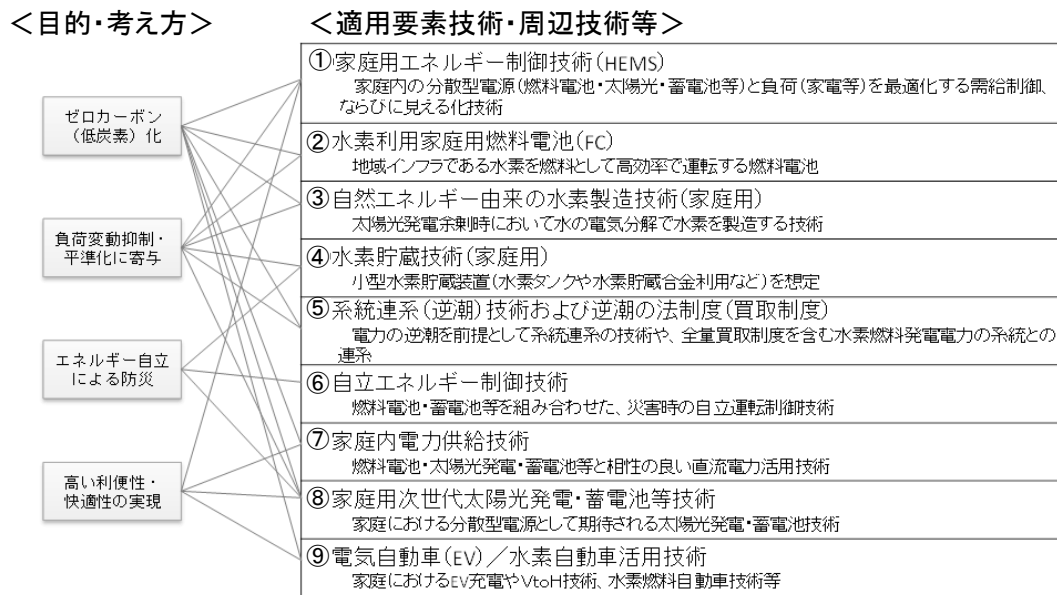


図 3.22 スマート水素ハウスの周辺技術

## ①家庭用エネルギー制御技術 (HEMS)

HEMS の概要について表 3.28 に示す。

表 3.28 HEMS の概要

技術	家庭内分散型電源と負荷の最適制御		見える化技術～見える化を活用したサービス
特徴	<b>【創蓄システム連携技術】</b> →自立エネルギー制御技術 ・ 平常時のエネルギー最適利用(太陽光発電や燃料電池の発電電力やEV等に蓄電された電力の有効活用) ・ 非常時(停電時)における電氣的な自立(太陽光発電や燃料電池の電力を充電し、HEMSにより充放電制御)	<b>【機器の自動制御】</b> ・ HEMSにより宅内機器(ECONETLite対応機器)の運転モード、運転能力、運転時間を最適に自動制御	<b>【見える化技術】</b> ・ 電気、ガス等のエネルギー使用量の表示 ・ エネルギー使用量データに基づく省エネアドバイスの表示 ・ 街区全体でのエネルギー消費量や他組織との比較情報等を表示  <b>【見える化活用サービス】</b> ・ 集合住宅では一括受電時の調達コストを抑えるためデマンドレスポンスを実施(対応者にはポイント付与)
現状	実証段階(一部商品化)	商品化済み	商品化、サービス化済み
今後	・ 各家庭をクラウド化したエネルギーマネジメントで統合し街区へ展開	・ 対応機器の拡大	・ スマートメーターと連携し、電力消費量や電力料金等の情報をリアルタイムに取得

## ②水素利用家庭用燃料電池 (FC)

北九州水素タウンでは、実証段階としての取り組みを行っている。地域の工場で発生する副生水素をパイプラインで水素タウンへ供給し、タウン内の住宅や公共施設等に設置する燃料電池や燃料電池を搭載した小型移動体の運用を実施している。

【実施主体】 水素供給・利用技術研究組合 (HySUT)、福岡水素エネルギー戦略会議

【実証研究項目】

- 水素パイプラインによる水素供給技術の実証
- 純水素型燃料電池等の多用途・複数台運転実証
- 小型移動体への水素充電実証

出典: JX日鉱日石エネルギープレスリリース資料、HySUTホームページ

周南市水素タウンでは、ソーダ工場で発生する副生水素を一般家庭に設置した非改質タイプ固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステム(以下「水素供給燃料電池」)にパイプラインで供給し、発電・給湯を行うモデル事業を実施している。

【実施主体】 周南市温暖化対策地域協議会(水素タウンモデル事業推進部会)

【事業概要】

- 水素パイプラインの敷設(トクヤマ徳山製造所、山口合同ガス)
- 一般家庭2世帯に0.7kW水素供給燃料電池を設置(東芝燃料電池システム)
- 水素供給燃料電池の基本性能(発電量、熱回収量等)を測定し、一次エネルギー削減効果や二酸化炭素削減効果等を評価

【実証結果】

- 水素供給燃料電池の特性(優位性)として、高い CO<sub>2</sub> 削減効果や、起動時間の早さ、優れた負荷追従性等が確認された。
- 湯溜まりによる発電停止等を効率よく防ぐことにより、更なる運転効率の向上が期待される。
- 燃料電池機器そのものの耐久性及び信頼性の向上を進めるとともに、本体価格の大幅なコストダウンが必要。
- 安価で安定供給可能な高純度の副生水素の確保、水素供給配管に関する安全基準等の法的整備、また、水素供給基盤整備のための資材の大幅なコストダウン等が必要。

出典:周南市温暖化対策地域協議会 水素タウンモデル事業推進部会「水素タウンモデル事業報告書」

### ③自然エネルギー由来の水素製造技術（家庭用）

自然エネルギー由来の水素製造技術を表 3. 29 に示す。完全自給タイプの水素エネルギーシステムの事例とソーラー水素ステーションの事例を以下に示す。

表 3. 29 自然エネルギー由来の水素製造技術

原料	製造技術	概要	長所	短所
水	光触媒反応	半導体光触媒を用いて、紫外線、可視光などを照射して水を分解して水素を製造する技術。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ クリーンで無尽蔵なエネルギー供給源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究開発中</li> <li>・ 安定的で効率的な光触媒の開発</li> </ul>
	アルカリ電気分解法	水酸化カリウム(KOH)などのアルカリ水溶液を電解質として用いる電気分解によって、水を分解して水素を製造する技術。早くから実用化された技術で、エネルギー効率が70～80%と高い。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 商業化済みで実績のある技術(アルカリ電気分解法)</li> <li>・ 高濃度の水素製造が可能</li> <li>・ 再生可能電力からの水素製造に最適</li> <li>・ 断続的な再生可能エネルギーを水素で貯蔵することにより補償が可能</li> <li>・ 装置のコンパクト化が可能(固体高分子電解質分解法)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アルカリ水溶液を用いる場合は腐食の心配がある(アルカリ電気分解法)</li> <li>・ 総合エネルギー効率</li> <li>・ 再生可能電力を直接電力として利用する場合との優位性の問題</li> </ul>
	固体高分子電解質分解法	固体高分子電解質を用いた水電解法で水素を製造する技術。電解質膜に直接電極が取り付けられるので高密度の電解構造が可能であり、電解質の補充の必要がなく、作動温度が低いため部品材質や起動停止特性の面で有利であるなどの特徴がある。		
	高温水蒸気電解法	セラミックスなどの高温電解質を利用し水蒸気を電気分解し水素を製造する技術。		
バイオマス	嫌気性発酵法、光合成細菌法	生ゴミ、家畜排泄物、木材チップなどのバイオマスから水素を製造する試みが行われており、その多くは燃料電池との組み合わせを想定している。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固体燃料、液体燃料の利用が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究開発中</li> <li>・ ガスの安定的生成や不純物除去(精製)などの技術的課題</li> </ul>

出典:「平成17年度 特許流通支援チャート 水素製造」独立行政法人 工業所有権情報・研修館、「水素・燃料電池社会に向けた欧米諸国の政策と将来展望」第14回研究報告・討論会資料、その他資料をもとに作成

## ■ Z E E P 2 4

【開発】株式会社 FC-R&D

【システムの特徴】(表 3. 30)

- 24 時間自立発電システム
- 昼間は太陽光発電による電力供給

- 余剰電力を水の電気分解によりエネルギー密度の高い水素にして貯蔵
- 夜間は貯蔵した水素による燃料電池発電

表 3.30 ZEEP24-2000 の仕様

太陽光発電	2kW
燃料電池発電	2kW
水素貯蔵量	4kNL(10kWh 相当)
水素発生量	200 L /h

出典：FC-R&D ホームページ

■ ソーラー水素ステーション（埼玉県庁）

太陽電池で電力を得て、水から水素を発生させる燃料電池車用水素製造・供給ステーションの実証実験を開始。将来は家庭用水素供給装置としての普及を目指し、水素エネルギーの効率的な管理と有効活用の可能性を検証。（※2012年3月より実証実験）

【実施主体】

埼玉県、本田技研工業株式会社、株式会社ホンダ技術研究所、岩谷産業株式会社

【システムの特徴】

- 太陽光発電 10kW を設置
- 高圧水電解システムにより水素の製造と圧縮を一体化することで、コンプレッサーが不要となり、小型・低騒音化を実現
- 24 時間で 1.5kg の水素を製造。燃料電池電気自動車 FCX クラリティが約 150km 走行できる量
- 高圧水素タンクの水素貯蔵能力は 800 L（350 気圧）

出典：環境省 地球温暖化対策技術開発・実証研究事業資料



#### ④水素貯蔵技術（家庭用）

水素貯蔵技術について表 3.31 に示す。また、水素吸蔵合金のタンクの採用事例を以下に示す。

表 3.31 水素貯蔵技術

状態	貯蔵技術	概要
気体	圧縮水素	水素を高圧化により体積を圧縮し、容積あたりのエネルギー密度を高める方法。車載の実用化段階に入っている。350～700気圧の高圧容器が必要。
液体	液体水素	沸騰を避けるため、約-250度に保つ必要があり、ガス状の場合よりもエネルギー密度ははるかに高いものの、水素を液化・低温保存するためには大量のエネルギーを必要とする。
	有機ハイドライド	ガソリンの主要成分であるトルエンに水素を化学的に固定する水素化反応によって、水素ガスを1/500の体積の液体化学品（メチルシクロヘキサン）として、常温・常圧のまま、ガソリンと同様に貯蔵する。
	ギ酸触媒	水素を二酸化炭素と反応させてギ酸を生成し、ギ酸を分解させて燃料電池に適した高圧水素を取り出す。
固体	水素吸蔵合金	マグネシウム、アルミニウム、希土類金属などを基にした合金の表面に水素が吸着し、それが金属内部に拡散することで高い貯蔵密度が得られる。

出典：「水素・燃料電池社会に向けた欧米諸国の政策と将来展望」第 14 回  
研究報告・討論会資料、その他資料をもとに作成

#### ■ 水素吸蔵合金タンクの採用例

＜オーストラリア、ブリスベンのグリフィス大学サー・サミュエル・グリフィスセンター＞

（※2013 年完成予定）

##### 【実施主体】

グリフィス大学、COX Rayner 建設、クイーンズランド州政府、ブリスベン市役所

##### 【特徴】

- 送電線を利用せず自立発電
- 屋根と窓の太陽電池により発電される電力の 15%で電気分解して水素を生成

出典：Griffith University ホームページ

## ⑤系統連系（逆潮）技術および逆潮の法制度（買取制度）

燃料電池の逆潮流による分散型電源としての有効活用について、以下に示す。

- 燃料電池による系統電源への逆潮流により、効率的な定格連続運転が可能になり、燃料電池の発電量や排熱利用量が增大。試算によると、一次エネルギー削減率の大幅な向上（約 2.1 倍）が期待
- 逆潮流により系統の電力負荷をダイレクトに軽減。また、スマートグリッドとの連携時も安定的な電源として一定程度の電力供給を見込むことが可能

出典：第3回電力システム改革専門委員会配布資料(JX 日鉱日石エネルギー)

## ■ 逆潮に関する法制度

### 【現状】

- 燃料電池の逆潮流に関しては、電力事業者と燃料電池設置者との民間事業者間による取り決めによる  
→ほとんどの契約が逆潮流不可（一部の電気事業者が工場等の自家発電設備の買取価格と同等の価格で買取）

### 【全量買取制度】

- 太陽光発電とのダブル発電の場合、燃料電池による太陽光発電の売電量の押し上げ効果があるため、ダブル発電価格（平成 24 年度は 34 円/kWh）を適用
- 一部のガス会社では、ダブル発電による余剰買取に対する支援策を実施（ダブル発電住宅の太陽光発電余剰電力量に 8 円/kWh 乗じた金額をキャッシュバック）

## ⑥自立エネルギー制御技術

自立エネルギー制御技術の事例を以下に示す。

## ■ 燃料電池・太陽光発電・蓄電池の組合せによる自立エネルギーシステム（※商品化済み）

### 【平常時】

- 家庭内電力需要と蓄電池の充電量に応じて充放電を制御

### 【非常時（停電時）】

- 蓄電池の充電電力を自動的に放電し、燃料電池の継続運転を実施
- 蓄電池からの放電と燃料電池の発電により、照明、冷蔵庫など、最低限必要となる電気を長時間供給可能
- 太陽光発電の非常用コンセントから蓄電池への充電も可能

出典：東京ガスホームページ

■ 太陽光発電・EV・HEMS の組合せによる自立エネルギーシステム（※実証段階）

【平常時】

- ▶ PV の発電電力やオフピーク時に EV に蓄電された電力を、HEMS による充放電や家電の制御により有効利用

【非常時（停電時）】

- ▶ 大容量の EV の蓄電池を活かして、昼間は PV の余剰電力を充電
- ▶ 天候等による PV の発電量や家庭内電力需要にあわせて EV の蓄電池の充放電を実施（発電量や蓄電量によって HEMS が家電の機能を制限）  
→ 1 週間以上の停電時にも電氣的な自立を実現
- ▶ コンセントを差し替えずにそのまま EV の蓄電池の電力が利用可能

⑦家庭内電力供給技術（直流電力活用技術）

家庭内直流供給の事例を以下に示す。

■ 次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業（平成 21～22 年度）

太陽光発電や燃料電池、蓄電池等の直流設備や直流駆動機器の普及に伴い、将来的に直流配線が既存の交流配線と併用される場合に備え、直流システムの技術開発を実施。

<直流のメリット>

- ▶ 交流→直流変換のムダを省くため省エネ
- ▶ AC アダプタが不要なため配線がすっきり
- ▶ 停電時のバックアップが容易

【実施主体】

パナソニック 電工株式会社、シャープ株式会社

【実証研究項目】

- (a) 住宅内交流・直流併用システムの実証
- (b) 住宅内直流システム・情報ネットワーク融合可能性



<(a)の成果>

- ▶ 低電圧（48V 以下）直流配線と従来の交流配線を組み合わせたシステムを構築
- ▶ AC アダプタ対象機器の直流化により 10%以上の省エネを確認
- ▶ 創蓄システム連携制御により、一般住宅と比較して高い省エネ効果を確認
- ▶ 高圧直流（300V 以上）時の安全等の実運用に関わる技術課題を抽出

< (b) の成果 >

- ▶ 本直流システム運転状態の見える化技術を開発
- ▶ 直流配線と情報ネットワークの融合により、電力無駄 off 制御等の省エネ制御技術を開発

出典:「次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業」成果報告会資料

#### ■ AC/DC ハイブリッド配線システム

エアコンや冷蔵庫など従来の AC 電源で動作する機器と、将来的に増えてくる DC 電源で動作する機器への電源供給を一元化できる次世代住宅内インフラ。並行して、LED 照明や換気扇、火災報知機など、DC 化に適した機器の開発を進め、家庭内エネルギー供給と需要の効率を高めていく。

直流分電盤から供給する電圧は未定であるが、12、24、48V の 3 つを候補にしている。これらは自動車の電装品やパソコンなどの電源アダプターなどで既に使われている電圧で、汎用性が高い。

##### 【開発・販売】

パナソニック 電工株式会社

##### 【実証実験 (CO<sub>2</sub>±0 (ゼロ) 住宅)】

滋賀県東近江市 (パナホーム株式会社 本社工場内) にて、東京大学、株式会社 日建設計、海法主建築設計事務所との産学共同研究を行っている。

< 実証内容 >

- ▶ 創エネ: ソーラー発電システム、エネファーム
- ▶ 蓄エネ: バックアップ蓄電機能付 DC 分電盤、リチウムイオン蓄電池
- ▶ 繋エネ: ライフニティ E C O マネシステム
- ▶ 省エネ: 真空断熱材、AC / DC ハイブリッド配線システム、LED 照明、エコキュート、エコアイデア家電、エコライフ換気システム
- ▶ 活エネ: ダイレクトゲイン、ソーラー集熱と蓄熱、熱融通

出典:「次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業」成果報告会資料

#### ⑧ 家庭用次世代太陽光発電・蓄電池等技術

家庭用次世代太陽光発電・蓄電池等技術について以下に示す。

#### ■ 定置用リチウムイオン蓄電

容量 0.3kWh で価格が 15 万円という低容量低価格なものもあるが、1~2kWh 程度の容量で 100~200 万円程度の価格帯のものが多い。

出典: 経済産業省 省エネルギー・新エネルギー部「蓄電池・水素について」平成 24 年 7 月 5 日

- 3 電池（太陽光発電システム＋固体酸化物型燃料電池（SOFC）＋家庭用リチウムイオン蓄電池）スマートエネルギーハウスの国内初の長期居住実験（※実験中）

3 電池（燃料電池・太陽電池・蓄電池）の最適制御の導入により、通年（平成 23 年 7 月 1 日～平成 24 年 6 月 30 日）で▲88%の節電効果、▲103%の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果、▲31 万円の光熱費削減効果が得られることを実居住環境下で実証した。

**【実施主体】**

大阪ガス株式会社、積水ハウス株式会社

出典：大阪ガス、積水ハウスホームページ

**⑨電気自動車（EV）／水素自動車（FCV）活用技術**

水素を燃料とした燃料電池自動車（FCV）は次のような特長を有する。

- 既存のガソリン自動車と比較し、一次エネルギー投入量は 1/3 削減
- 既存のガソリン自動車と比較し、CO<sub>2</sub> 排出量は 1/2 削減
- 騒音が少ない
- 大気汚染の原因となる NO<sub>x</sub>、一酸化炭素（CO）、浮遊粒子状物質の排出がない
- 航続距離が既存ガソリン車並みの 500～600km 超

電気自動車（EV）は次のような特長を有する。

- 走行時の CO<sub>2</sub> 排出量は 0
- 騒音が少ない
- 大気汚染の原因となる NO<sub>x</sub>、一酸化炭素（CO）、浮遊粒子状物質の排出がない
- 航続距離はバッテリー容量に依存し、近距離での使用に適している。

- EV 車から住宅に電力を供給するシステム（VtoH）＜日産 LEAF to Home＞

電気自動車（EV 車）の急速充電口とつないだ電力制御装置から住宅の分電盤に電力を送り、最大 6kW（200V で周波数 50/60Hz）、停電時に 2 日分（24kWh）を供給できる。住宅の分電盤に接続された電力制御装置を介し、電気自動車（EV 車）の急速充電コネクタから電力の供給が行われる。

**【開発・販売】**

日産自動車株式会社

**⑩スマート水素ハウスに関する類似事例（ベンチマーク）**

スマート水素ハウスの検討に参考になる先行事例の概要を以下に示す。

- 豊田市実証スマートハウス

「次世代エネルギー・社会システム実証地域」の一つである豊田市において、スマートハウスの構築及び家と家をつなぎ地域全体のエネルギーを最適利用する取り組みを実施。

【実施主体】 トヨタホーム

＜スマートハウスの特徴＞

- 太陽光発電や燃料電池等の創エネ機器、PHV 等の蓄エネ機器、及び省エネ機器を導入
- HEMS により各機器をつなぎ、エネルギーの見える化、家庭内エネルギーの流れを最適制御
- 家電は HEMS と連動するコントローラにより省エネ制御
- 蓄電池には太陽光発電の余剰電力を蓄電し、非常時の電力源としても活用
- PHV には HEMS と連携して太陽光発電で得られた電力を充電。蓄積した電気は家での電力として使うことも可能（V2H）
- 地域全体のエネルギーの需給バランスを予測・管理し、地域内でのエネルギーの地産地消を実現する EDMS を導入
- 予測に基づき住民へのエネルギー消費行動アドバイスを実施し、アドバイスに沿った行動にはポイントを付与
- 人感センサ、温湿度センサの情報から各家庭のエネルギー消費を予測し、行動アドバイスを提供

出典：トヨタすまいるライフホームページ

## ■ 磯子スマートハウス実証事業

「次世代エネルギー・社会システム実証地域」の一つである横浜市において、集合住宅版スマートハウス（24 戸）の実証試験を実施。

【実施主体】 東京ガス

【実証項目】

- 再生可能エネルギー、燃料電池等を活用した熱と電気の管理手法の確立
- 住まい手の行動変化を促す手法等の確立

＜スマートハウスの特徴＞

- 燃料電池（エネファーム）、太陽熱利用ガス温水システム（SOLAMO）、太陽光発電等の分散型エネルギーを最大限に設置
- システムが生み出す熱や電気のエネルギーを「統合制御システム」で管理し、住棟内で融通
  - 太陽光発電と燃料電池で創られる電気は、合わせて棟全体に供給
  - 4 住戸あたり 2 台のエネファームで創るお湯を当該 4 住戸に供給

- SOLAMO で創られるお湯は 4 住戸の給湯や暖房の予熱に利用
- 「統合制御システム」によりエネルギーセキュリティを向上
  - 燃料電池と蓄電池を統合制御し、停電時でも各住戸の最低限必要な設備への電力供給を継続
  - 地域エネルギーマネジメントシステム (CEMS) と連携し、地域電力のピークカットに貢献
- 各住戸におけるエネルギーの見える化、省エネアドバイスの提供、インセンティブを伴った省エネ行動を提案

出典：東京ガスホームページ

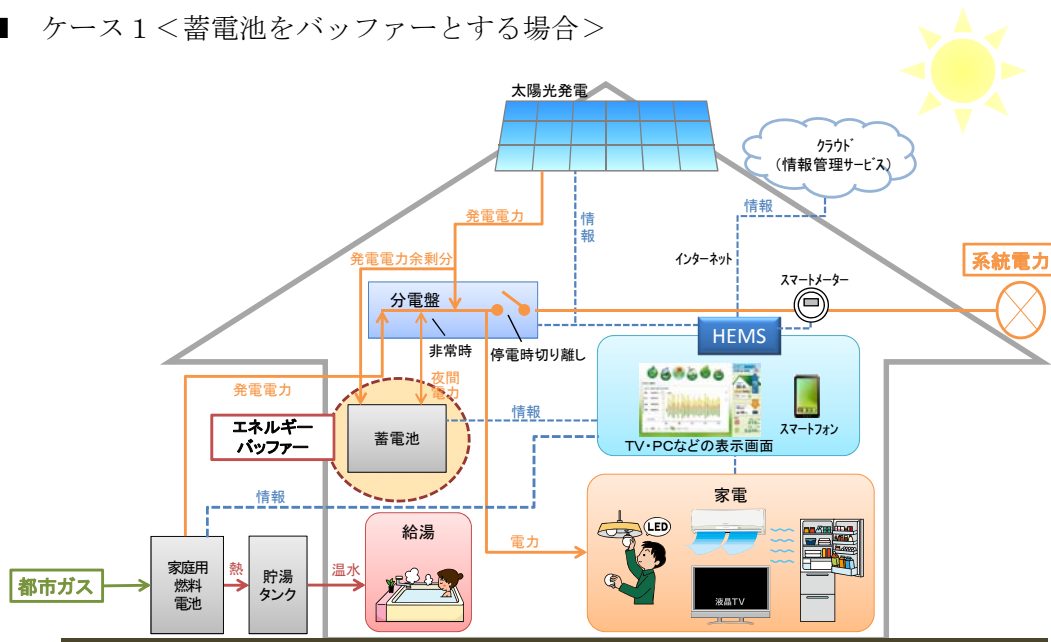
### 3.3.2 効果の検証

#### (1) エネルギーバッファの考え方 (図 3.23)

通常時における負荷平準化、および停電時の自立運転を行う為には、住宅内にバッファとなるエネルギー貯蔵装置が必要となる。従来のスマートハウスでは蓄電池にこの機能を持たせている。(ケース1)

スマート水素ハウスの場合、従来どおりに蓄電池をバッファとして想定する場合のほか、水電気分解による水素製造・貯蔵装置による水素をバッファとして活用する場合(ケース2)が想定され、停電時に燃料電池を有効活用出来る。

#### ■ ケース1 <蓄電池をバッファとする場合>



#### ■ ケース2 <水素をバッファとする場合>

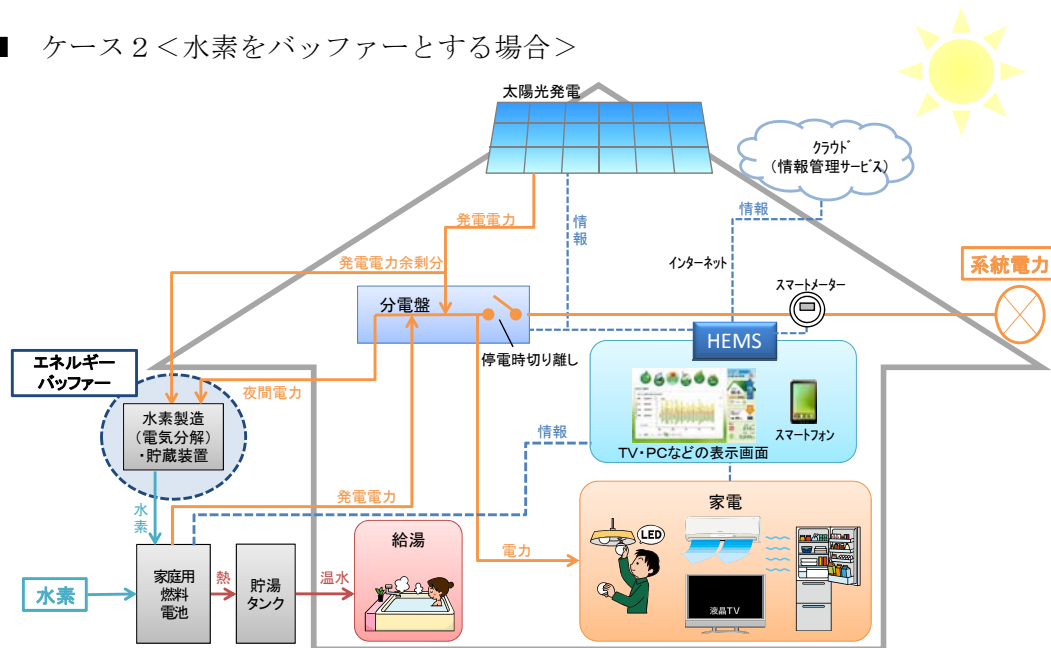
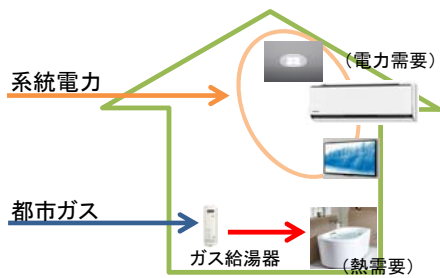
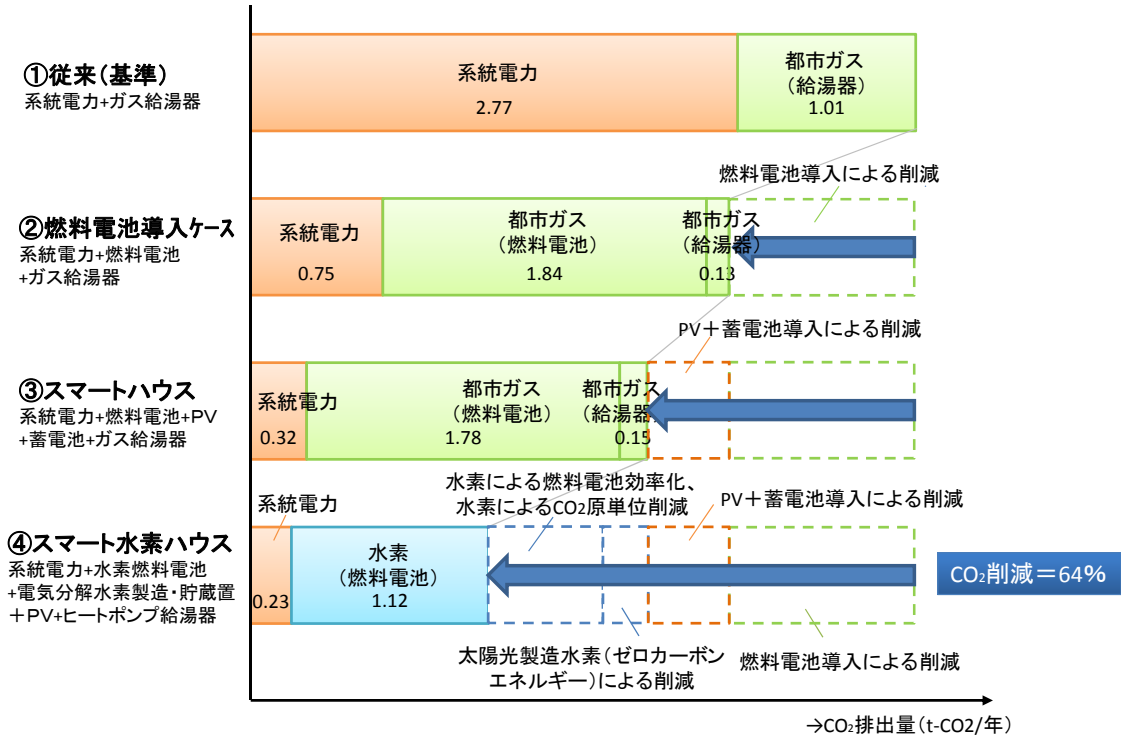


図 3.23 エネルギーバッファの考え方

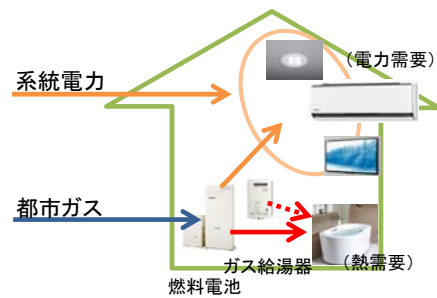


(2) 効果

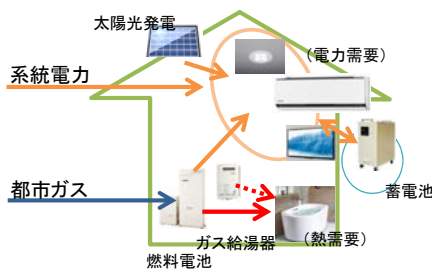
スマート水素ハウスの効果として、CO<sub>2</sub>削減効果を検証し、従来と比較して64%程度のCO<sub>2</sub>削減効果が期待できることが明らかとなった(図3.24, 図3.25, 表3.32)。



①従来(基準) ケース



②燃料電池導入ケース



③スマートハウス (ケース1)



④スマート水素ハウス (ケース2)

図 3.24 スマート水素ハウスの CO<sub>2</sub> 削減効果検証結果

表 3.32 スマート水素ハウスの効果検証結果（省エネ／環境性評価）

項目		単位	①従来（基準） ガス給湯器	②燃料電池導入 FC (0.7kW) ガス給湯器	③スマートハウス FC (0.7kW) PV (1kW) 蓄電池 ガス給湯器	④スマート水素ハウス 水素FC (0.7kW) PV (1kW) 蓄エネ HP給湯器
住宅消費エネルギー内訳（シミュレーション）						
需要	電力負荷	kWh/年	4,952	4,952	4,952	4,952
	給湯負荷	MJ/年	15,192	15,192	15,192	15,192
エネルギー 消費	太陽光発電発電量	kWh/年	—	—	1,003	1,003
	エネファーム(FC)発電量	kWh/年	—	3,608	3,492	3,990
	蓄電池ロス電力量	kWh/年	—	—	112	116
	ヒートポンプ給湯消費電力(バックアップ)	kWh/年	—	—	—	341
	買電量	kWh/年	4,952	1,344	569	416
	燃料電池都市ガス消費量	Nm3/年	—	800	774	—
	給湯器都市ガス消費量(バックアップ)	Nm3/年	440	55	67	—
	都市ガス消費計	千Nm3/年	440	855	841	—
	燃料電池水素消費量	Nm3/年	—	—	—	2,984
	水素消費量計	千Nm3/年	—	—	—	2,984

■省エネルギー効果

エネルギー消費量	電力（系統購入分）	kWh/年	4,952	1,344	569	416
	都市ガス	Nm3/年	440	855	841	—
	水素	Nm3/年	—	—	—	2,984
一次エネルギー消費量	電力	MJ/年	48,332	13,117	5,553	4,060
	都市ガス	MJ/年	19,800	38,475	37,845	—
	水素	MJ/年	—	—	—	38,136
	計	MJ/年	68,132	51,592	43,398	42,196
省エネルギー量		MJ/年	—	16,539	24,733	25,936
省エネルギー効果		%	—	24.3	36.3	38.1

備 考

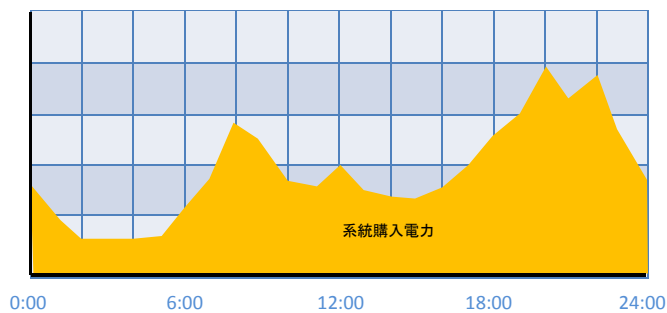
- \*電力需要/給湯需要は、IBEC調査「住宅用燃料電池の導入に関する技術検討報告会資料(平成18年)」の戸建住宅4人世帯の平均値
- \*一次エネルギー換算値  
電力:9,760 kJ/kWh（「省エネ法」より）  
都市ガス:45 MJ/Nm3      水素:12.78MJ/Nm3
- \*省エネルギー量(GJ/年)  
＝比較基準年間1次エネルギー使用量－各検討ケースの年間1次エネルギー使用量
- \*省エネルギー率(%)＝(省エネルギー量/比較基準年間1次エネルギー使用量)×100

■CO2排出削減効果

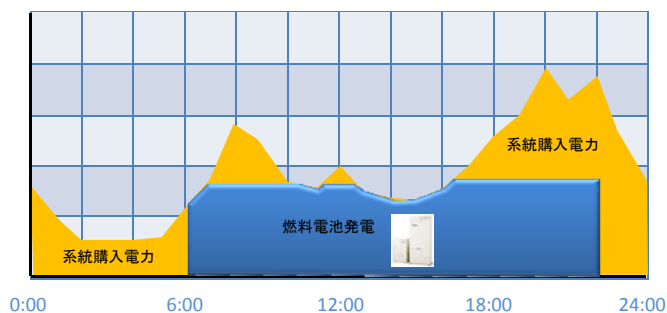
エネルギー消費量	電力（系統購入分）	kWh/年	4,952	1,344	569	416
	都市ガス	Nm3/年	440	855	841	—
	水素	Nm3/年	—	—	—	2,984
CO2排出量	電力	t-CO2/年	2.77	0.75	0.32	0.23
	都市ガス	t-CO2/年	1.01	1.97	1.93	—
	水素	t-CO2/年	—	—	—	1.12
	計		3.78	2.72	2.25	1.35
CO2排出削減量		t-CO2/年	—	1.06	1.53	2.43
各ケースの省CO2効果		%	—	28.1	40.4	64.2

備 考

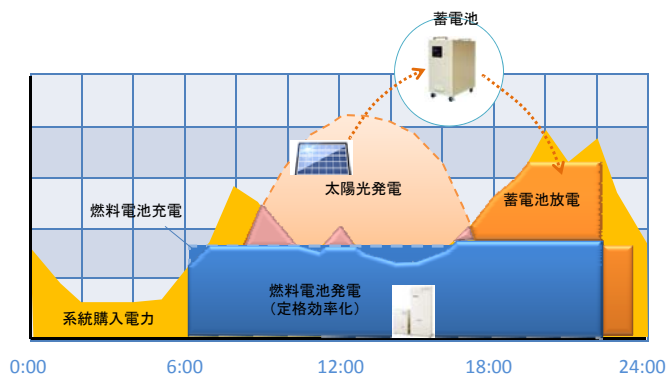
- \*CO2排出原単位  
電力:0.559kg-CO2/kWh（温対法 代替値 2011年度実績、環境省）  
都市ガス:2.29 kg-CO2/Nm3      水素:0.375kg-CO2/Nm3（太陽光2%、バイオマス30%、都市ガス改質40%、副生水素28%由来）
- \*CO2排出削減量(t/年)＝比較基準年間CO2排出量－各検討ケースの年間CO2排出量
- \*CO2排出削減率(%)＝(CO2排出削減量/比較基準年間CO2排出量)×100



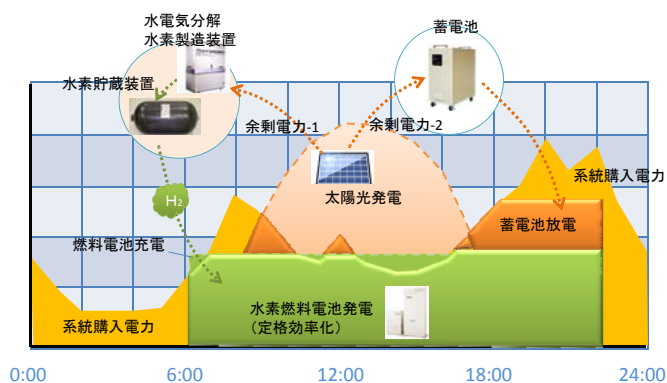
①従来(基準)  
系統電力+ガス給湯器



②燃料電池導入ケース  
系統電力+燃料電池+ガス給湯器



③スマートハウス  
系統電力+燃料電池+PV+蓄電池+ガス給湯器



④スマート水素ハウス  
系統電力+水素燃料電池+水素製造・貯蔵装置+PV+HP給湯器

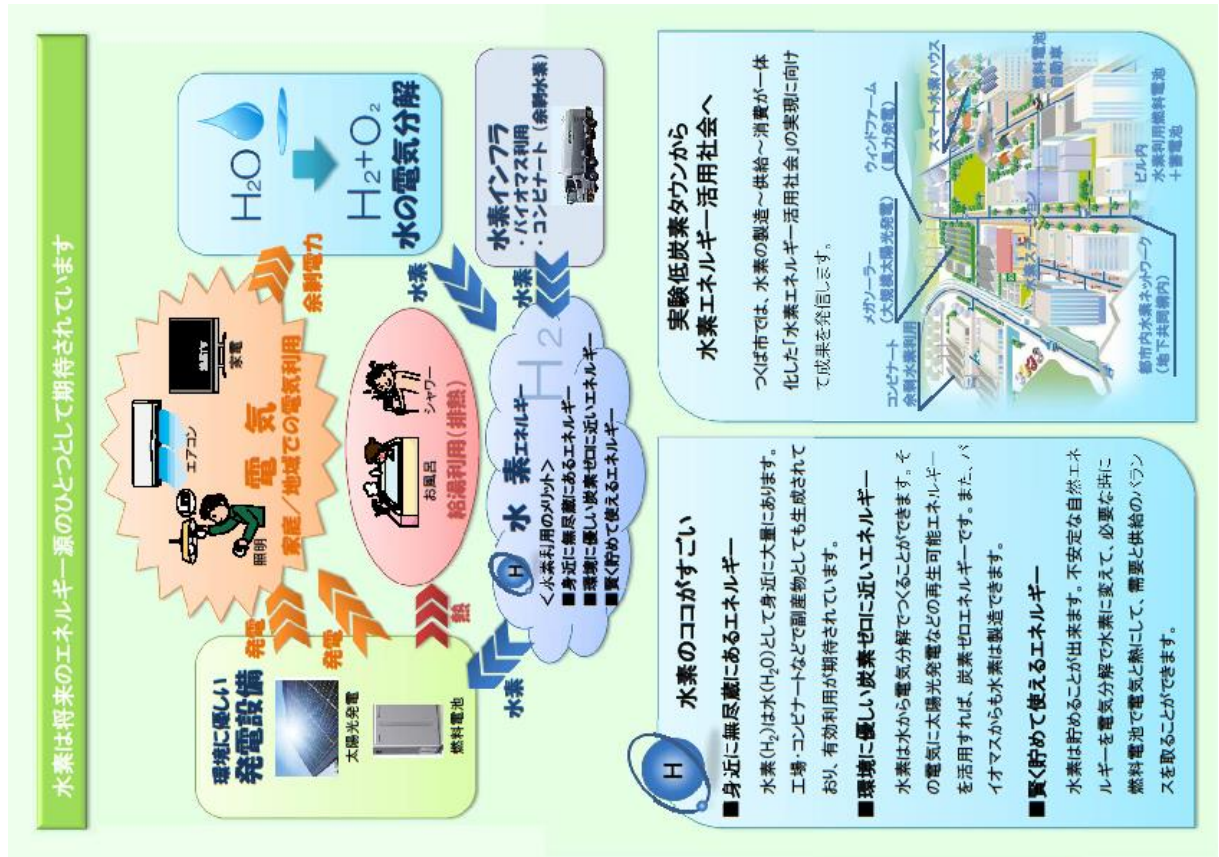
図 3.25 各ケースの一日の電力需給イメージ

### 3.3.3 一般向け情報発信の必要性

一般的な居住者や市民を対象として、水素や水素利用に関する情報提供や、スマート水素ハウスの啓蒙資料を作成し、今後の水素利用社会に向けた理解を促す。

パンフレットのテーマは、「水素を利用した燃料電池とくらし～スマート水素ハウスによる豊かなくらし～」とし、平成 24 年度に実施したつくば市における水素供給実験についてのプロジェクト紹介も併せて行っている。

パンフレットのイメージを図 3.26、図 3.27 に示す。



## 水素を利用した燃料電池とくらし ～スマート水素ハウスによる豊かな暮らし～

### スマート水素ハウスとは・・・

水素を利用した燃料電池を中心に、水素製造技術、貯蔵技術等を活用し、これらをHEMS(ホームエネルギーマネジメントシステム)により最適に制御することによって、環境に優しく、安全・安心、快適な生活を実現します。

エネルギーを自宅でつくるので、いざというとき安心です

### 燃料電池とは・・・

水素と空気中の酸素によって電気をつくと同時に、発電時に発生した熱でお湯をつくることのできる、地球環境にやさしいシステムです。

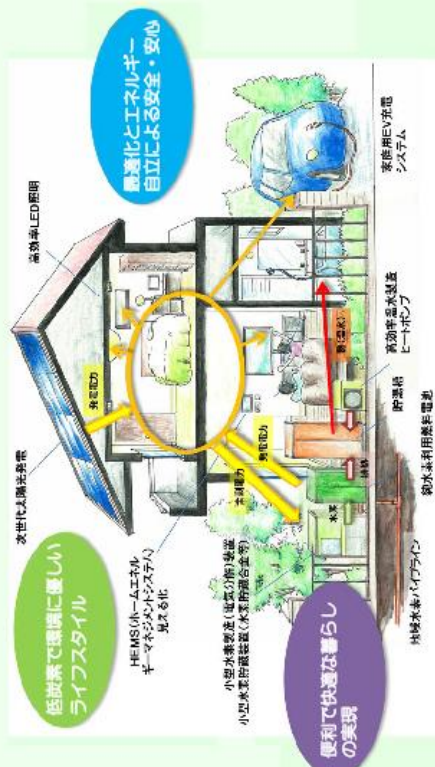
快適性とエコを両立します

国土交通省 国土技術政策総合研究所

図 3.26 スマート水素ハウスパンフレット (表)

スマート水素ハウスによって、豊かなくらいが実現できます

近い将来、地域のエネルギー源として地域水素パイプラインが整備されると、水素を利用した環境に優しく、安全・安心、快適を兼ね備える「スマート水素ハウス」により、豊かなくらいが実現します。



スマート水素ハウスなら、毎日の暮らしにこんな「ゆとり」が生まれます

- **快適性** 便利で快適な暮らし
  - ・燃料電池を利用して、効率よく電気とお湯を使うことができます。
  - ・HEMS(ホームエネルギーマネジメントシステム)によって、つくった電気や蓄えた電気をコントロールしてお得に使えます。
  - ・電気自動車・燃料電池自動車の充電ができます。
- **環境性** 低炭素で環境に優しいライフスタイル
  - ・炭素(カーボン)を含まない水素と太陽光発電を利用することによって限りなくゼロカーボンに近い環境に優しいシステムとなります。
- **安全性** 最適化とエネルギー自立による安全・安心
  - ・災害時や停電時など、いざというときに、エネルギーを確保でき、安心です。
  - ・水素を貯めて、パワースをしながら燃料電池で発電することにより、エネルギーを効率よくつくります。



つくば環境スタイル「実験低炭素タウン構想」プロジェクト  
平成24年度 水素供給実験について

つくば市の共同溝を利用した将来の水素エネルギー供給と、水素を活用した未来の暮らしについて検証しています。

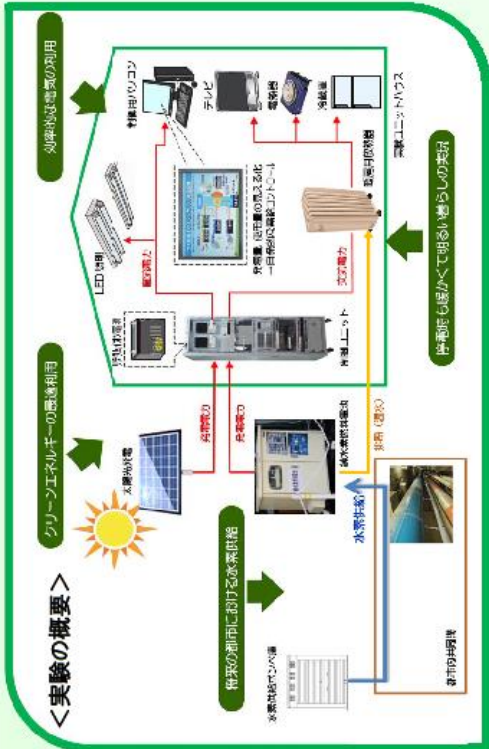


図 3.27 スマート水素ハウスパンフレット (裏)

### 3.4 省エネ効果の体系化

本節では、事務所建物について、独立行政法人建築研究所が開発した一次エネルギー消費量算定プログラム(平成 24 年 12 月より低炭素建築物の認定基準の運用に使用されている)を用いて、各建物用途に空調、換気、照明、給湯、昇降機に関する省エネ手法を導入した際の一次および二次エネルギー消費量を算定し、建物全体のエネルギー消費量削減に及ぼす各種省エネ手法の効果を、東京地域を対象に系統的に整理して都市 CO<sub>2</sub> 計量評価ツールで使用できるパラメータ(省エネ係数)としてまとめる。

#### 3.4.1 建物・設備モデル設定

各種省エネ手法の効果は、対象とした建物、設備の設計方法により大きく変わりうる。各種省エネ手法の効果を定量的に評価する際には、建物、設備のモデル設定の考え方は重要であり、各用途について汎用性が高い建物モデルで検討を行うことが望まれる。本節では、一次エネルギー消費量算定プログラムで検討した事務所について、建物・設備モデルを示す。

一次エネルギー消費量算定プログラムで検討した建物モデルはすべて仮想的なものである。設計資料集成等の設計資料から、建物用途ごとに複数の建物の分析を行い、標準的な室構成比率(床面積の割合)を割り出し、その室構成比率を参考に、都市部およびその近郊に立地することを想定して、建物モデルの設計を行っている。

## 事務所モデル

### ① 建物概要

- ・ 構造：S+RC造 建物階数：地上7階 建設地：東京
- ・ 延床面積：10,358.3㎡ (1F：1,459.16㎡、2～7F：1,472.60㎡、RF：63.50㎡)
- ・ 事務所用途の建物で各階に2区画の貸事務室スペースがある

### ② 図面

平面図および断面概要を図3.28～3.30に示す。



図 3.28 事務所モデルの1F 平面図



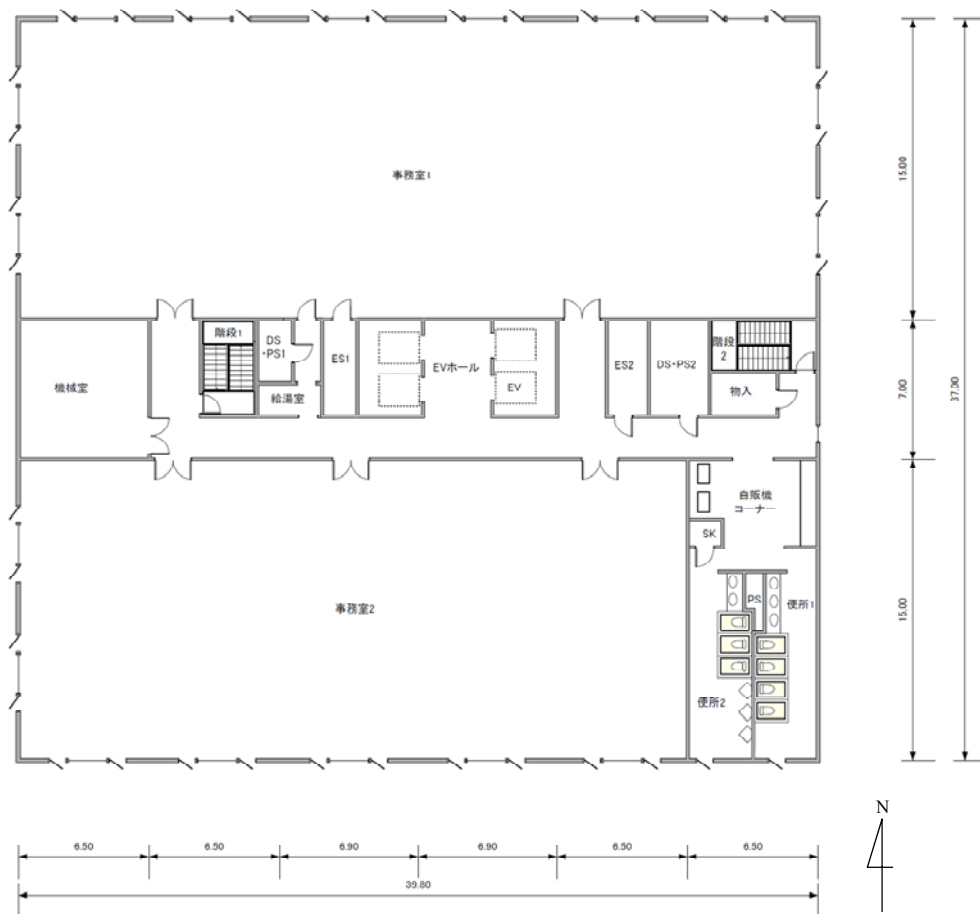


図 3.29 事務所モデルの2F~7F 平面図

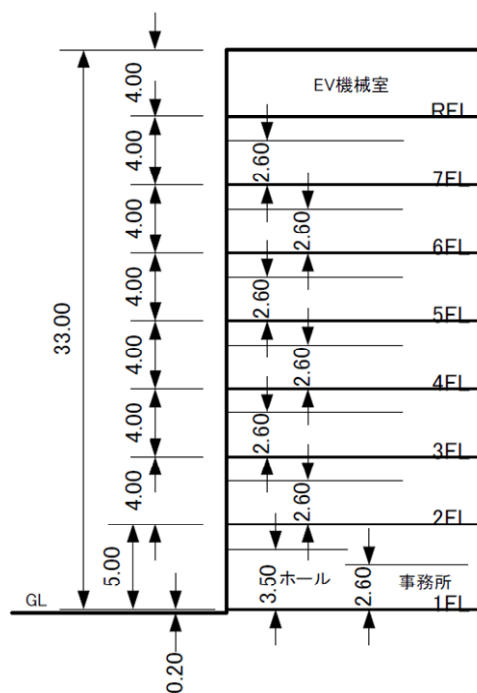


図 3.30 事務所モデルの断面概要

### ③ 室構成

室構成を図3.31に示す。表3.33に各室の計算対象を示す。

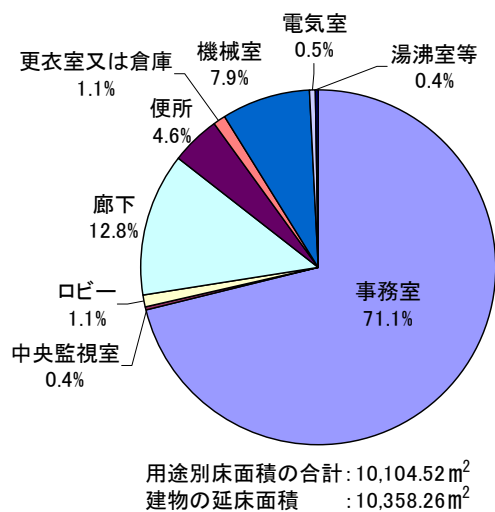


図 3.31 事務所モデルの室構成

表 3.33 各室の計算対象（事務所モデル）

	延床面積[m <sup>2</sup> ]	比率	空調計算対象	換気計算対象	照明計算対象	給湯計算対象
事務室	7,183.50	71.1%	■		■	■
中央監視室	39.00	0.4%	■		■	■
ロビー	114.12	1.1%	■		■	
廊下	1,298.34	12.8%	□		■	
便所	469.35	4.6%		■	■	
更衣室又は倉庫	111.64	1.1%	□	□	■	□
機械室	801.61	7.9%		□	■	
電気室	50.00	0.5%		■	■	
湯沸室等	36.96	0.4%		■	■	
用途別床面積の合計	10,104.52					
建物の延床面積	10,358.26					

■はすべて、□は一部を計算対象と設定

### ④ 外皮性能

外皮構成を表 3.34 に示す。

表 3.34 事務所モデルの外皮構成

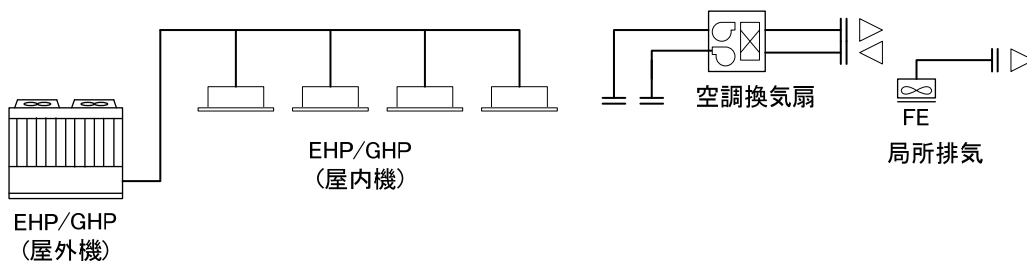
主たる部位	U 値	断熱仕様	備考
外壁	1.0	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種	25mm
内壁	1.96		
屋根	0.53	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種	50mm
接地壁	0.81		
ガラス	(4.15)		透明シングル 6mm

## ⑤ 設備概要

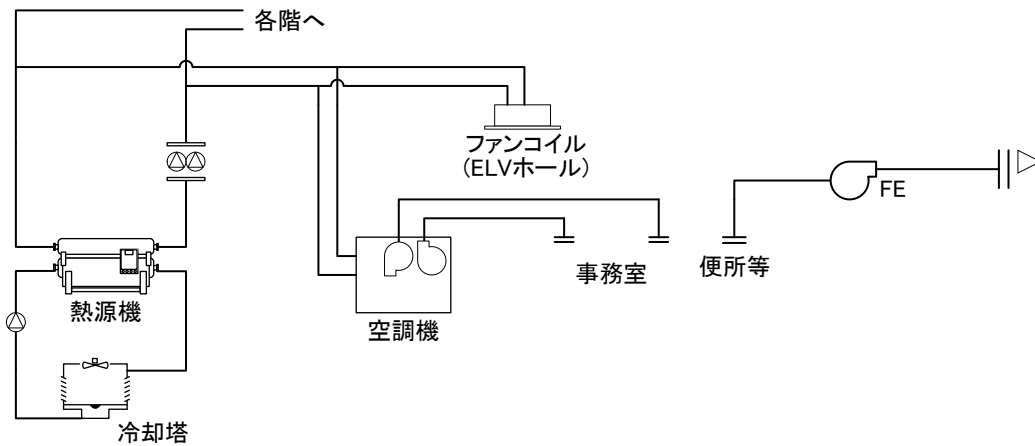
- ・現時点での新築事務所ビルを想定し、一般に用いられるであろうと考えられる設備構成を検討して設定した（表3.35、図3.32）。

表 3.35 事務所モデルの設備概要

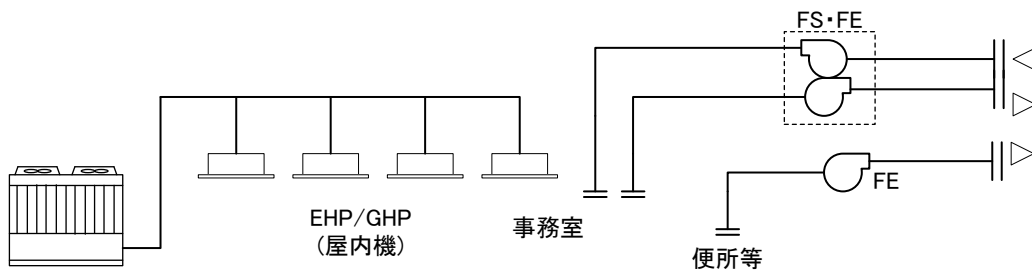
設備	概要
空調	<p>熱源方式は以下の方式とする。なお、熱源は冷暖切替式とする。</p> <p>①中央熱源式－直だき吸収冷温水機            ②中央熱源式－空冷ヒートポンプチラー            ③個別熱源式－EHP            ④個別熱源式－GHP</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱源機、熱源補機(冷却塔、ポンプ)等は屋上に設置</li> <li>・事務室系統外気処理の全熱交換器の有無による空調容量の変動を考慮</li> <li>・中央管理室、更衣室等バック系統は個別熱源(電気式)を設置し、全熱交換器の設置を考慮</li> <li>・中央熱源式の場合は、下記の通りとする。               <ul style="list-style-type: none"> <li>・二次側：ポンプ系統は1系統2ポンプ方式</li> <li>・熱源機は2台以上</li> <li>・各階空調機方式＋ホール部はファンコイル方式</li> </ul> </li> <li>・個別熱源式の場合は、下記の通りとする               <ul style="list-style-type: none"> <li>・フロアごとに区分</li> <li>・屋内機は天井カセット型</li> <li>・外気導入は事務室区画ごとに設置(個別方式)</li> </ul> </li> </ul>
換気	<p>各室個別換気方式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・1kW以上のファンは以下の2方式に変更</li> </ul> <p>①一般モータ、②高効率モータ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・換気制御は、機械室のみ温度制御を設定する</li> </ul>
照明	<p>事務室：Hf型蛍光灯</p> <p>バック系統：Hf型蛍光灯ダウンライト式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ダウンライト式照明器具を以下の2方式に変更</li> </ul> <p>①Hf型ダウンライト、②LED型ダウンライト</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・照明制御は事務室、便所、給湯室等に在室検知、初期照度補正制御、昼光連動制御を設定</li> </ul>
給湯	<p>便所の洗面器用途に個別給湯機(電気式)を設置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・節水器具は自動給湯栓(洗面器用)</li> <li>・保温仕様は保温2(普通断熱)、もしくは保温1(高断熱)</li> </ul>
昇降機	<p>機械室レス型</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・制御方式を以下の2方式を設定</li> </ul> <p>①交流帰還制御方式            ②VVVF(電力回生あり、ギアレス)</p>



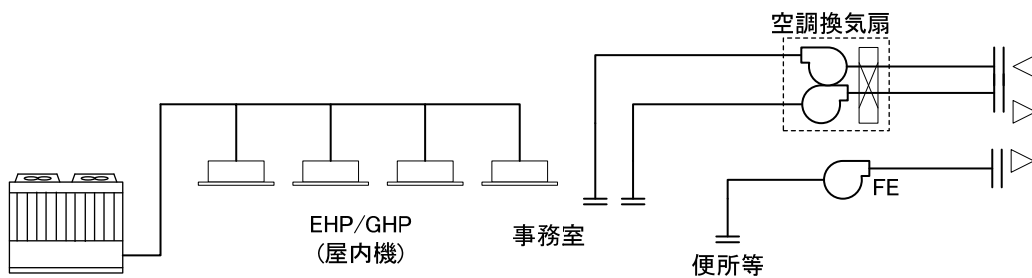
標準システム(バックヤード系統)



標準システム(中央式熱源-基準階)



標準システム(個別熱源[EHP/GHP](全熱交換器なし))



標準システム(個別熱源[EHP/GHP](全熱交換器あり))

図 3.32 事務所モデルの各種空調方式

### 3.4.2 省エネ効果の体系化

#### (1) 一次エネルギー消費量算定プログラムによるエネルギー消費量の算定

一次エネルギー消費量算定プログラム(<http://www.kenken.go.jp/becc/index.html>)を使用して、事務所モデルのエネルギー消費量を算出した(表 3.36)。

表 3.36(1) 事務所モデルの算出事例(1/2)

○ 空調システム

延べ床面積： 10,358.3 m<sup>2</sup>  
 空調面積： 7,509.4 m<sup>2</sup>

検討NO.	1 case_01	2 case_02	3 case_03	4 case_04	5 case_05	6 case_06	7 case_07	8 case_08
熱源種別 (中央) (個別)	冷温水発生機 EHP	冷温水発生機 EHP	冷温水発生機 EHP	冷温水発生機 EHP	冷温水発生機 EHP	冷温水発生機 EHP	冷温水発生機 EHP	冷温水発生機 EHP
台数	2	2	2	2	2	2	2	2
COP (中央)	1.1/0.84	1.1/0.84	1.1/0.84	1.1/0.84	1.1/0.84	1.3/0.87	1.3/0.87	1.1/0.84
熱源容量(冷) [W]	1,424	1,424	1,424	1,424	1,424	1,284	1,284	1,144
[W/ACm <sup>2</sup> ]	190	190	190	190	190	171	171	152
熱源容量(暖) [W]	1,196	1,196	1,196	1,196	1,196	868	868	952
[W/ACm <sup>2</sup> ]	159	159	159	159	159	116	116	128
二次側P 送水温度差	5℃差送水 台数(2)	7℃差送水 台数(2)	7℃差送水 台数+INV制御	10℃差送水 台数+INV制御	7℃差送水 台数+INV制御	7℃差送水 台数(2)	10℃差送水 台数+INV制御	7℃差送水 台数+INV制御
空調方式	空調機+FCU 定風量方式	空調機+FCU 定風量方式	空調機+FCU 定風量方式	空調機+FCU 定風量方式	空調機+FCU 定風量方式	空調機+FCU 定風量方式	空調機+FCU 定風量方式	空調機+FCU 定風量方式
全熱交換器	主要室系 なし	なし	なし	なし	なし	なし	外気CUT, 外気冷 房	全熱交換器 外気CUT, 外気冷 房
個室系	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇
一次エネルギー消費量 [MJ/ACm <sup>2</sup> ]	1.125	1.124	1.098	1.094	1.046	1.036	969	1.027
[MJ/延m <sup>2</sup> ]	815	815	796	793	759	751	703	745
**基準値比	100%	100%	98%	97%	93%	92%	86%	91%
一次エネルギー消費量(内訳)								
電力 全熱交換器 [MJ]	0	0	0	0	0	0	0	92,205
空調ファン [MJ]	3,387,385	3,387,385	3,387,385	3,387,385	3,387,385	3,387,385	3,387,385	4,325,897
二次ポンプ [MJ]	287,969	286,944	120,609	88,514	86,320	287,969	86,320	78,034
熱源主機 [MJ]	43,990	43,990	43,990	43,990	43,990	43,990	43,990	43,990
熱源補機 [MJ]	81,224	81,224	80,294	80,515	76,975	70,189	68,223	60,530
一次ポンプ [MJ]	256,200	256,200	256,200	257,225	249,026	267,473	264,398	152,559
冷却塔ファン [MJ]	184,027	184,027	182,004	182,004	177,960	195,149	193,127	130,764
冷却水ポンプ [MJ]	373,027	373,027	368,928	368,928	360,730	290,087	287,081	261,529
ガス 熱源主機 [MJ]	3,830,533	3,830,533	3,806,177	3,809,710	3,474,951	3,240,929	2,946,529	2,567,963
合計 [MJ]	8,444,354	8,443,330	8,245,587	8,218,271	7,857,336	7,783,170	7,277,052	7,713,470
[MJ/ACm <sup>2</sup> ]	1,125	1,124	1,098	1,094	1,046	1,036	969	1,027
年間空調負荷 (冷) [MJ/年m <sup>2</sup> ]	395.19	395.15	390.22	389.19	318.58	395.19	318.58	275.56
(暖) [MJ/年m <sup>2</sup> ]	60.98	60.98	62.84	63.13	53.71	60.98	53.71	2.54
ピーク負荷 (冷) [W/m <sup>2</sup> ]	111	111	111	111	107	111	107	85
(暖) [W/m <sup>2</sup> ]	52	52	53	53	48	52	48	11
全負荷相当運転時間 (冷) [時間]	2,084	2,084	2,058	2,053	1,680	2,311	1,863	1,809
(暖) [時間]	383	383	395	396	337	528	465	20

検討NO.	9 case_09	10 case_10	11 case_11	12 case_12	13 case_13	16 case_16	17 case_17	18 case_18
熱源種別 (中央) (個別)	冷温水発生機 EHP	冷温水発生機 EHP	冷温水発生機 EHP	空冷HP EHP	空冷HP(圧縮機 台数制御) EHP	EHP	EHP	GHP
台数	2	2	2	3	2	20	20	27
COP (中央)	1.3/0.87	1.3/0.87	1.3/0.87	3.5/3.0	3.6/3.8	3.1/3.8	3.2/3.8	1.3/1.6
熱源容量(冷) [W]	1,072	1,072	1,072	963	1,038	1,222	1,114	1,223
[W/ACm <sup>2</sup> ]	143	143	143	128	138	163	148	163
熱源容量(暖) [W]	726	726	726	1,085	1,100	1,369	1,248	1,375
[W/ACm <sup>2</sup> ]	97	97	97	144	146	182	166	183
二次側P 送水温度差	7℃差送水 台数+INV制御	7℃差送水 台数+INV制御	10℃差送水 台数+INV制御	7℃差送水 台数+INV制御	7℃差送水 台数+INV制御	—	—	—
空調方式	空調機+FCU 定風量方式	空調機+FCU VAV方式	空調機+FCU VAV方式	空調機+FCU 定風量方式	空調機+FCU 定風量方式	屋内機	屋内機	屋内機
全熱交換器	主要室系 全熱交換器 外気CUT, 外気冷 房	全熱交換器 外気CUT, 外気冷 房	全熱交換器 外気CUT, 外気冷 房	全熱交換器 外気CUT, 外気冷 房	全熱交換器 外気CUT, 外気冷 房	なし	全熱交換器	全熱交換器
個室系	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇	空調換気扇
一次エネルギー消費量 [MJ/ACm <sup>2</sup> ]	976	562	559	889	858	563	502	520
[MJ/延m <sup>2</sup> ]	708	408	405	645	622	408	364	377
**基準値比	87%	50%	50%	79%	76%	50%	45%	46%
一次エネルギー消費量(内訳)								
電力 全熱交換器 [MJ]	92,205	92,205	92,205	92,205	92,205	0	0	0
空調ファン [MJ]	4,325,897	1,382,075	1,382,075	4,325,897	4,325,897	734,407	1,034,072	1,034,072
二次ポンプ [MJ]	78,034	84,242	56,373	78,034	78,034	0	0	0
熱源主機 [MJ]	43,990	43,990	43,990	1,973,974	1,723,220	3,492,043	2,736,929	43,990
熱源補機 [MJ]	53,544	49,488	49,644	0	0	0	0	191,238
一次ポンプ [MJ]	161,577	181,116	181,868	206,668	226,481	0	0	0
冷却塔ファン [MJ]	139,783	124,001	124,001	0	0	0	0	0
冷却水ポンプ [MJ]	279,565	248,002	248,002	0	0	0	0	0
ガス 熱源主機 [MJ]	2,156,456	2,018,076	2,020,123	0	0	0	0	2,633,116
合計 [MJ]	7,331,050	4,223,195	4,198,280	6,676,777	6,445,836	4,226,450	3,771,001	3,902,416
[MJ/ACm <sup>2</sup> ]	976	562	559	889	858	563	502	520
年間空調負荷 (冷) [MJ/年m <sup>2</sup> ]	275.56	235.77	234.90	275.56	275.56	312.07	285.44	285.44
(暖) [MJ/年m <sup>2</sup> ]	2.54	14.51	14.79	2.54	2.54	104.82	27.75	27.75
ピーク負荷 (冷) [W/m <sup>2</sup> ]	85	76	76	85	85	99	73	73
(暖) [W/m <sup>2</sup> ]	11	21	21	11	11	64	28	28
全負荷相当運転時間 (冷) [時間]	1,930	1,652	1,646	2,149	1,994	1,917	1,924	1,753
(暖) [時間]	26	150	153	18	17	575	167	152

表 3.36(2) 事務所モデルの算出事例(2/2)

○ 換気システム

延べ床面積： 10,358.3 m<sup>2</sup>  
換気面積： 1,171.5 m<sup>2</sup>

検討NO.	1 case_01 **	2 case_02
容量 SFP	0.09	0.09
換気総風量 [m <sup>3</sup> /h]	36,700	36,700
換気ファン容量 [kW]	3.23	3.23
制御	標準モータ 制御なし	標準モータ 温度制御(一部)
一次エネルギー消費量 [MJ/㎡]	219	167
[MJ/延㎡]	25	19
**基準値比	100%	76%
エネルギー使用量 電力[MWh]	26	20

○ 照明システム

延べ床面積： 10,358.3 m<sup>2</sup>  
照明面積： 10,104.5 m<sup>2</sup>

検討NO.	1 case_01 **	2 case_02
容量 [W/㎡]	11	11
照明器具 [W]	116,084	116,084
照明制御	制御なし	在室検知制御 (便所等) 初期照度補正/ 昼光利用(事務 室等)
一次エネルギー消費量 [MJ/㎡]	326	241
[MJ/延㎡]	318	235
**基準値比	100%	74%
エネルギー使用量 電力[MWh]	338	249

○ 給湯システム

延べ床面積： 10,358.3 m<sup>2</sup>  
給湯面積： 7,251.8 m<sup>2</sup>

検討NO.	1 case_01 **	2 case_02	3 case_03	4 case_04
熱源機	中央給湯 COP(1次)	—	—	—
個別給湯 COP(1次)	小型電気温水機 0.37	小型電気温水機 0.37	小型電気温水機 0.37	小型電気温水機 0.37
節水 保温	なし 保温2	自動給湯栓 保温2	なし 保温1	自動給湯栓 保温1
一次エネルギー消費量 [MJ/HWh]	38	29	37	29
[MJ/延㎡]	26	21	26	20
**基準値比	100%	78%	99%	77%
エネルギー使用量 電力[MWh]	28.04	21.87	21.59	16.57
都市ガス[m <sup>3</sup> ]	—	—	—	—
年間給湯負荷 [GJ/年]	101	79	78	60

○ 昇降機システム

延べ床面積： 10,358.3 m<sup>2</sup>

検討NO.	1 case_01 **	2 case_02	3 case_03
台数	4	4	4
制御方式	交流掃選制御	VVVF(電力回生 なし)	VVVF(電力回生 あり)
一次エネルギー消費量 [MJ]	170,668	85,334	75,853
[MJ/延㎡]	16	8	7
**基準値比	100%	50%	44%
エネルギー使用量 電力[MWh]	17.5	8.7	7.8

空調システムについては、年間一次エネルギー消費量の他に、各機器別の内訳(エネルギー種別毎)や暖冷房負荷積算値(熱源機が処理した熱量)の算出が行われる。またピーク負荷も算出されるが、現行の一次エネルギー消費量算定プログラムは日単位の処理をベースに行っているため、時間ピーク値ではなく日積算負荷が最大となる日の時間平均負荷である点に注意する必要がある。

## (2) 省エネ手法の効果の体系化

一次エネルギー消費量算定プログラムによる各建物モデルのエネルギー消費量計算結果を、設備システム毎にベースシステムの一次エネルギー消費量、負荷、ピーク値(それぞれ設備システム毎の原単位に相当)と省エネ効果率に整理する。ここでの省エネ効果率は各省エネ手法を採択した際に原単位にかけ合わせていくことで、省エネ手法採択時の省エネ効果(エネルギー消費量や負荷等の削減効果)を算定できる比率として整理している。すなわち、100%未満で比率が小さいほど採択効果が高いとみなせる数値となる。

事務所モデルについて、整理した結果を示す。

## 事務所モデル

事務所モデルのベース設備システムにおける延床面積あたりの一次エネルギー消費量 1,556MJ/(年 m<sup>2</sup>)の内訳を図 3.33 に示す。空調が過半を占め、次いで照明とその他設備(コンセント接続機器類)が大きく、換気(便所、機械室等を対象とした空調を伴わない換気)や、給湯、昇降機は割合としては小さい結果となっている。過半を占める空調システムのうち、熱源主機と空調機(空気系搬送システム)が占める割合がほぼ同じで大きく、ベースシステムでは冷温水発生機を熱源機としていることから、ガスが一次エネルギー消費量に占める比率は熱源主機が使用するエネルギー量の大半にあたる 1/4 程度となっている。

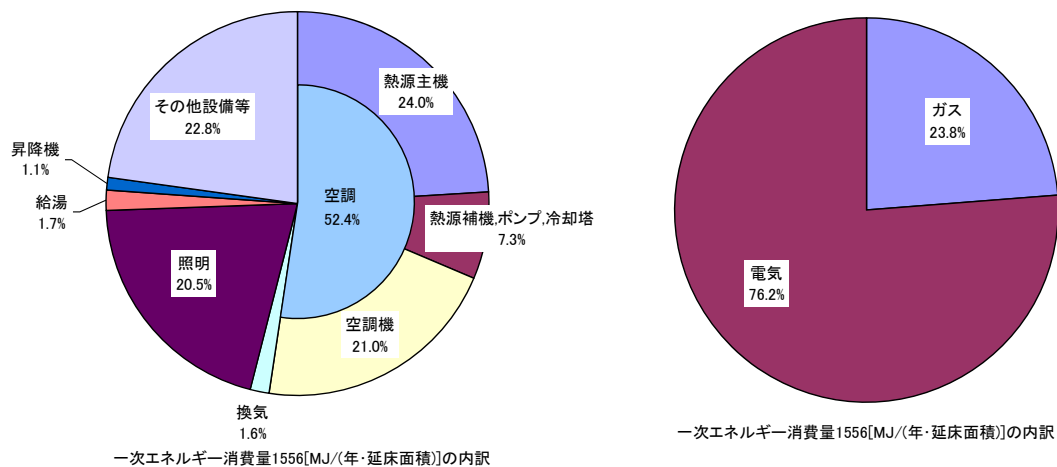


図 3.33 事務所モデルのベース設備システムにおける一次エネルギー消費量の内訳

以上の事務所モデルのベースシステムの設備毎の各原単位と、それに乗じる省エネ手法採択時の省エネ効果率を表 3.37 に示す。

事務所モデルの一次エネルギー消費の過半を占める空調システムにおいては、中央式では、VAV の導入が最も一次エネルギー消費量の削減に寄与する結果となっている。ファン動力自体の低減とともにファンからの発熱量の低減が空調負荷の多くを占める冷房負荷を削減につながり、空調一次エネルギー消費量を 4 割程度削減する結果となっている。全熱交換器の導入は、空調負荷、特に暖房負荷を著しく削減し、ガス消費量の 1/4 削減につながるが、ファン動力の増大により相殺され、年間一次エネルギー消費量としては 2%の削減にとどまっている。また、外気カットや外気冷房の導入は空調負荷を削減することでガス消費量の削減につながり、4%程度の年間一次エネルギー消費量削減につながる結果となっている。

一方、熱源機の高効率化については、冷温水発生機の高効率化(1.1/0.84 から 1.3/0.87 への COP のアップ)は 8%程度、空冷 HP の採用で 13~17%程度の一次エネルギー消費量削減につながる結果となっている。また、二次側ポンプの大温度差送水やインバータ制御の

導入は効果がほとんど評価されない結果となった。

中央式から個別式への変更は、EHP、GHPともに5割程度一次エネルギー消費量を削減する結果となっており、全熱交換器の導入によりさらに10%程度の削減が可能となっている。ただし、中央式のポンプなどが担っていた発熱分がなくなるため、その分を暖房負荷として処理する必要性が生じ暖房負荷自体は7割ほど増加する結果となっている(逆に冷房負荷自体は2割程度削減されている)。

照明に関しては、在室検知制御や初期照度補正、昼行利用などを適切に導入することで照明一次エネルギー消費量の1/4が削減される結果となっている。

また、原単位が小さい換気、給湯、昇降機システムについても、それぞれ省エネ手法を適用することで、2~5割程度の削減が見込まれる結果となった。



表 3.37 事務所モデルの設備システム毎の原単位と省エネ効果率

○建物全体の原単位

	一次エネルギー消費量[MJ/延㎡]			空調負荷[MJ/年㎡]		日負荷ピーク値[W/㎡]		給湯負荷[MJ/年㎡]
	うち電力	うちガス	うちガス	冷房	暖房	冷房	暖房	
ベースシステム	1556	1186	370	395	61	111	52	10

○空調システム

	一次エネルギー消費量[MJ/延㎡]			空調負荷[MJ/年㎡]		日負荷ピーク値[W/㎡]	
	うち電力	うちガス	うちガス	冷房	暖房	冷房	暖房
ベースシステム:中央式(熱源:冷温水発生器(台数制御)、二次側ポンプ:定流量(5℃差送水、台数制御)、空調方式:空調機+FCU(定風量)、全熱交換器なし)。補助的にEHPを併用	815	445	370	395	61	111	52

×

【省エネ手法毎の掛け率(100%以上で増大、未満で削減)】

中央式	熱源	削減手法	削減率		削減率		削減率		削減率	
			電力	ガス	電力	ガス	電力	ガス	電力	ガス
中央式	熱源	冷温水発生器の高効率化	92%	98%	85%	100%	100%	100%	100%	100%
		空冷HP採用	87%	130%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
		空冷HP(圧縮機台数制御)採用	84%	125%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
	二次側P	5℃差送水→7℃差送水	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		5℃差送水→10℃差送水	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		INV制御導入	98%	96%	99%	99%	103%	99%	101%	101%
	空調方式	CAV→VAV	58%	43%	94%	86%	571%*	89%	186%	186%
		全熱交換器導入	98%	117%	74%	86%	5%	80%	23%	23%
		外気CUT、外気冷房導入	96%	99%	91%	82%	85%	97%	92%	92%
		EHPの採用	50%	92%	0%	79%	172%	89%	124%	124%
個別式への変更	GHPの採用	52%	31%	77%	79%	172%	89%	124%	124%	
	全熱交換器導入	89%	89%	89%	91%	26%	74%	43%	43%	

\*全熱交換器導入の極端な削減と関連して算出された数字であり、全熱交換器導入と同時に進まない場合の蓋然性は保証されない。

○換気システム

	一次エネルギー消費量[MJ/延㎡]
ベースシステム:標準モータ,制御なし	電力 25

×

【省エネ手法毎の掛け率(100%以上で増大、未満で削減)】

温度制御導入(一部機械室)	76%
---------------	-----

○照明システム

	一次エネルギー消費量[MJ/延㎡]
ベースシステム:H型蛍光灯(事務室等), Hf型蛍光灯ダウンライト式(バック系統),制御なし	電力 318

×

【省エネ手法毎の掛け率(100%以上で増大、未満で削減)】

在室検知制御(便所等), 初期照度補正/昼光利用(事務室等)	74%
--------------------------------	-----

○給湯システム

	一次エネルギー消費量[MJ/延㎡]	給湯負荷[MJ/年㎡]
ベースシステム:便所の洗面器用途に個別給湯機(電気式)を設置, 節水なし, 保温2	電力 26	10

×

【省エネ手法毎の掛け率(100%以上で増大、未満で削減)】

保温2→保温1	99%	99%
自動給湯栓導入	78%	78%

○昇降機システム

	一次エネルギー消費量[MJ/延㎡]
ベースシステム:交流帰還制御	電力 16

×

【省エネ手法毎の掛け率(100%以上で増大、未満で削減)】

VVVF(電力回生なし)	50%
--------------	-----

○その他設備等

	一次エネルギー消費量[MJ/延㎡]
コンセント接続機器等の消費エネルギー(共通)	355

### 3.5 まとめ

第3章では、燃料電池を利活用する技術と建物物(需要側)の各種省エネ技術について、検討を行い、以下の知見を得た。

- 1) 燃料電池および排熱利用技術の技術開発動向について調査を行い、現状の把握と課題の整理を行った。燃料電池の低コスト化、耐久性向上が普及に対しての最大の課題となるが、燃料電池のさらなる技術開発の進展や水素ハイウェイ構想等の水素供給体制の構築により、高効率なコージェネレーションシステムとしての活用が期待できる。
- 2) 建築物の用途・規模毎に燃料電池と排熱利用設備を簡易設計システムシミュレーションを行った結果、燃料電池の排熱利用形態と建物用途について導入適合性が確認された。蒸気排熱型および高温水排熱利用型の燃料電池(SOFC)は、どの建物用途についても一定の効果が期待でき、特に冷熱需要の割合が大きい施設(商業施設・業務施設・教育施設)での効果が高くなった。一方で、低温水排熱利用型(PEFC)は、ホテル、医療福祉施設など、給湯需要の期待できる施設では効果が見込めるが、給湯需要の少ない施設での導入効果は低い結果となった。また、建物規模との関係については、一部の冷熱源機器の性能が規模の影響を受けることから小規模かつ冷熱需要の多い建物では導入効果が小さくなる傾向を示すものの、それ以外の建物では導入効果は規模に左右されない結果となった。
- 3) 燃料電池を備えたスマートハウス(スマート水素ハウス)については、通常時の負荷平準化と停電時の自立運転を可能とするためのシステムとして、都市ガス供給による場合(太陽光発電と燃料電池による余剰電力のバッファに蓄電池を用いる)と純水素供給(水素をエネルギーバッファとする)場合の2ケースを想定し、二酸化炭素排出量を算定したところ、純水素供給と水素貯蔵を可能とすることで6割超の二酸化炭素排出量削減が期待できることが示された。
- 4) 事務所用途について建物モデルを作成し、一次エネルギー消費量算定プログラムを用いて、空調、換気、照明、給湯、昇降機に関する省エネ手法を導入した際のエネルギー消費量を算定した。算定結果は、都市CO<sub>2</sub>計量ツールで使用できるパラメータとして、一次エネルギー消費量(エネルギー別含む)や暖冷房給湯負荷の原単位(ベースシステム)および各種省エネ手法の効果を原単位に対する比率(省エネ係数)の形で整理し、建物全体のエネルギー消費量削減に及ぼす効果を系統的にとりまとめた。

今後の課題としては、燃料電池および排熱利用技術を中心に建築の低炭素化・省エネ化

技術の今後の開発動向を確認し、低炭素化・省エネ化を検討する建築設計実務者や利用者に、継続的に定量的な検討の裏付けのある情報提供を続けていくことが必要となってくる。これは、都市全体の低炭素化を推進していくために必須であり、今後も対応を続けていく必要がある。

## 第4章 低炭素都市評価技術の開発

### 4.1 目的

水素等技術を都市に導入した場合の二酸化炭素削減等の効果を知るには、対象地域の建物の用途・設備構成（機器効率等を含む）、各建物の電力、熱等の需要、都市エネルギーシステムのエネルギー計算、初期・運用時の経済性について一連の評価を行うための技術開発が必要である。また、社会普及が見込まれる水素等技術の価格設定や機器効率等について将来予測を含めた幅広い考察が望まれる。第4章の目的は、都市エネルギーシステムの評価プログラムを作成し、様々な都市が最適解としての水素社会に段階的に移行する際の経済性、環境性について定量的に検討を行うことである。

本章で取り組む内容について以下に概要を示す。

#### (1) 地域エネルギー消費等実態調査

建物のエネルギー消費等の実態把握のため、電気・熱需要量の既往調査の整理等を実施するとともに、水素エネルギーの将来の生成源とも目される自然エネルギーの地域賦存量データベースを構築する。

#### (2) 低炭素都市評価システムの開発

都市エネルギーシステムの評価を行う「低炭素都市評価システム」は2つのモデル（街区空調負荷モデル、都市CO<sub>2</sub>計量評価モデル）から構成される。街区空調負荷モデルは各建物の冷暖房需要を伝熱解析から求めるものであり、都市CO<sub>2</sub>計量評価モデルは水素等技術による二酸化炭素削減効果等をシステム解析で定量化するものである。各モデルの説明を行うとともに、水素シナリオを適用した計算事例を紹介する。

## 4.2 地域エネルギー消費等実態調査

都市エネルギーシステムの評価にあたっては、その基本条件となる地域における様々な建物のエネルギー需要量を把握することが重要である。また、再生可能エネルギーを利用することを想定した場合には、再生可能エネルギーの源となる自然エネルギーの賦存量を把握することが重要である。

ここでは、既往研究による建物エネルギーの需要量調査、エネルギー使用実態が十分に把握されていない集合住宅の共用部のエネルギー消費に関する調査および地域別の自然エネルギーの賦存量調査を実施した。

### 4.2.1 文献調査による建物エネルギー需要原単位の整備

#### (1) 建物エネルギー需要原単位の整備

ここでは、既往調査で行われた用途別建物の電力・冷房・給湯需要に関する床面積あたりの最大需要原単位と年間需要原単位ならびに月別・時刻別需要変動パターンの実態を調査整理し、建物エネルギー消費の実態を把握した。

表 4.1 に調査対象データと既存知見の概要を示す。

本プロジェクトで開発する CO<sub>2</sub> 計量プログラムには、調査期間が長く、多くの建物用途別に電力・冷房・暖房・給湯に関するデータが需要原単位、月別変動、時刻別変動が整理されているリスト No1 の一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構（以下、「IBEC」）により実施された調査によって収集整理されたデータを実装することとした。本調査結果は、「コンパクトエネルギーシステム開発研究」（1983～1984 年）ならびに「都市再開発コージェネシステム研究」（1986～1991 年）において収集整理されたデータであり、元々地域熱供給システムの計画用としてまとめられたものである。電力需要原単位には、電動ターボ冷凍機や電動ヒートポンプなどの冷暖房用熱原動力が除かれているところに特徴がある。

表 4.2～4.5 に CO<sub>2</sub> 計量プログラムに実装した IBEC データによる業務施設、商業施設、宿泊施設、医療施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンを示す。

表 4.1 調査対象データと既存知見の概要

リストNO.	既存知見概要	建物用途	整理データ種別		
			需要原単位	月別需要変動	時刻別需要変動
NO.1	IBEC(建築環境・省エネルギー機構)データ (1983~1984、1986~1991)	業務、商業、宿泊、医療、集合住宅	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.2	NIRA(総合研究開発機構)データ (1985)	業務、商業、宿泊、医療	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、給湯
NO.3	JGA-1(日本ガス協会)データ (1990)	業務、商業、宿泊、医療	冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.4	東京都データ (1991)	業務、商業、宿泊、医療、文化、教育、地下鉄	冷房、暖房、給湯	冷房、暖房(一部)、給湯(一部)	冷房、暖房(一部)、給湯(一部)
NO.5	SHASE-1(空地調和・衛生工学会)データ (1994)	業務、商業、宿泊、医療	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.6	SHASE-2(空地調和・衛生工学会)データ (2005)	医療	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.7	JGA-2(日本ガス協会)データ (2008、2009)	業務テナント、業務自社庁舎、商業百貨店、商業センター、宿泊シティホテル、宿泊ビジネスホテル、医療	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.8	国総研(国土技術政策総合研究所)データ (2005~2007)	業務(平/休日)、業 業物販、商業スー パー、宿泊(平/休 日)、医療(平/休 日)	電力、給湯	電力、給湯	電力、給湯

表 4.2 業務施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ (IBEC データ)

1)業務施設

①需要原単位

	最大	年間
冷房	335 kJ/m <sup>2</sup> ・h	268 MJ/m <sup>2</sup> ・年
暖房	251 kJ/m <sup>2</sup> ・h	126 MJ/m <sup>2</sup> ・年
給湯	21 kJ/m <sup>2</sup> ・h	10.5 MJ/m <sup>2</sup> ・年
電力	45 W/m <sup>2</sup>	100 kWh/m <sup>2</sup> ・年

②月別需要変動パターン

月	冷房	暖房	給湯	電力
1	0	100	100	89
2	0	90	99	84
3	0	61	93	96
4	0	29	82	93
5	33	0	74	84
6	82	0	72	100
7	95	0	65	98
8	100	0	54	100
9	65	0	59	89
10	0	0	73	91
11	0	39	86	90
12	0	80	95	90
計	375	399	952	1104

③季節別時刻別需要変動パターン

時間	冷房			暖房			給湯			電力		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
1	5	10	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
2	5	10	25	25	10	5	25	10	5	9	9	9
3	5	10	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
4	5	10	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
5	5	10	25	25	10	5	25	10	5	9	9	9
6	5	10	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
7	5	24	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
8	45	60	80	50	50	50	50	50	50	41	41	41
9	95	95	95	100	100	100	100	100	100	54	54	54
10	90	90	90	99	99	99	99	99	99	80	80	80
11	90	90	90	99	99	99	99	99	99	93	93	93
12	100	100	100	89	89	89	89	89	89	93	93	93
13	100	100	100	95	95	95	95	95	95	86	86	86
14	100	100	100	73	73	73	73	73	73	93	93	93
15	90	90	90	73	73	73	73	73	73	100	100	100
16	100	100	100	73	73	73	73	73	73	93	93	93
17	91	91	91	68	68	68	68	68	68	93	93	93
18	84	84	84	71	71	71	71	71	71	86	86	86
19	24	30	50	48	48	48	48	48	48	74	74	74
20	18	19	42	28	28	28	28	28	28	47	47	47
21	11	10	33	25	10	29	25	10	29	42	42	42
22	5	10	25	25	10	5	25	10	5	12	12	12
23	5	10	25	25	10	5	25	10	5	8	8	8
24	5	10	25	25	10	5	25	10	5	8	8	8
計	1088	1173	1395	1241	1076	1045	1241	1076	1045	1176	1176	1176

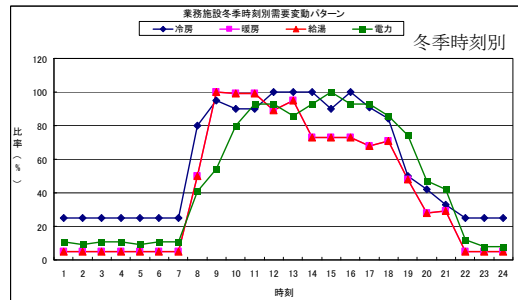
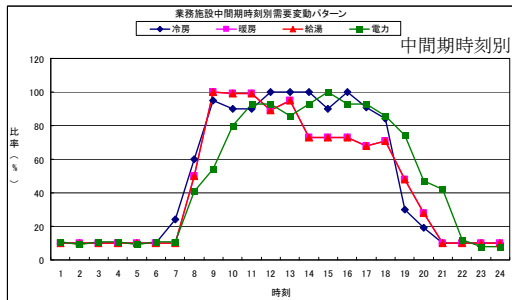
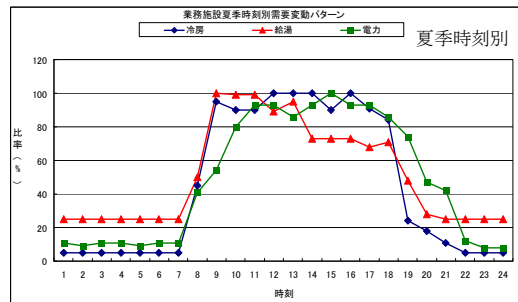
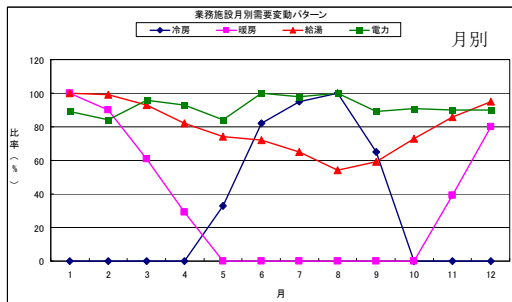


表 4.3 商業施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ (IBEC データ)

2)商業施設

①需要原単位

	最大	年間
冷房	502 kJ/m <sup>2</sup> ・h	502 MJ/m <sup>2</sup> ・年
暖房	251 kJ/m <sup>2</sup> ・h	75 MJ/m <sup>2</sup> ・年
給湯	42 kJ/m <sup>2</sup> ・h	21 MJ/m <sup>2</sup> ・年
電力	80 W/m <sup>2</sup>	210 kWh/m <sup>2</sup> ・年

②月別需要変動パターン

月	冷房	暖房	給湯	電力
1	0	100	98	89
2	0	76	100	72
3	0	27	76	78
4	11	0	67	79
5	32	0	54	87
6	61	0	62	91
7	98	0	51	100
8	100	0	50	96
9	75	0	48	95
10	36	0	51	91
11	11	0	67	81
12	0	48	100	73
計	424	251	824	1032

③季節別時刻別需要変動パターン

時間	冷房			暖房			給湯			電力		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
9	0	0	0	8	8	8	0	0	0	14	14	14
10	22	22	22	87	87	87	100	100	100	40	40	40
11	100	100	100	100	100	100	29	29	29	98	98	98
12	82	82	82	90	90	90	31	31	31	82	82	82
13	74	74	74	81	81	81	39	39	39	79	79	79
14	85	85	85	63	63	63	44	44	44	88	88	88
15	78	78	78	64	64	64	50	50	50	98	98	98
16	85	85	85	62	62	62	25	25	25	96	96	96
17	67	67	67	54	54	54	25	25	25	96	96	96
18	82	82	82	59	59	59	21	21	21	100	100	100
19	45	45	45	57	57	57	36	36	36	71	71	71
20	41	41	41	16	16	16	32	32	32	52	52	52
21	26	26	26	11	11	11	35	35	35	42	42	42
22	0	0	0	0	0	0	2	2	2	21	21	21
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
計	787	787	787	752	752	752	469	469	469	1047	1047	1047

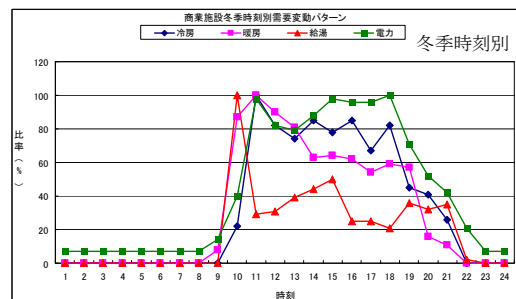
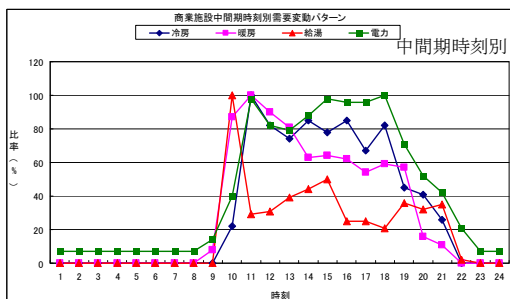
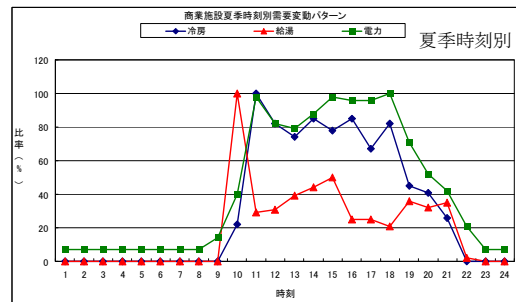
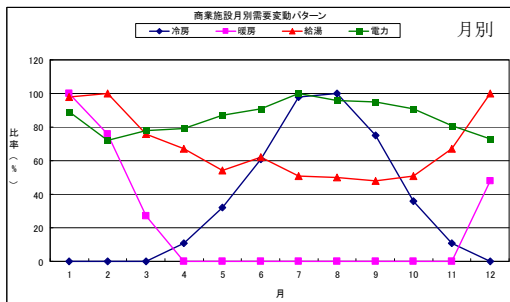




表 4.4 宿泊施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ (IBEC データ)

3) 宿泊施設

① 需要原単位

	最大	年間
冷房	251 kJ/m <sup>2</sup> ・h	251 MJ/m <sup>2</sup> ・年
暖房	335 kJ/m <sup>2</sup> ・h	402 MJ/m <sup>2</sup> ・年
給湯	105 kJ/m <sup>2</sup> ・h	52 MJ/m <sup>2</sup> ・年
電力	45 W/m <sup>2</sup>	135 kWh/m <sup>2</sup> ・年

② 月別需要変動パターン

月	冷房	暖房	給湯	電力
1	0	98	100	89
2	0	100	99	72
3	0	42	93	78
4	11	28	82	79
5	36	0	83	87
6	56	0	66	91
7	79	0	61	100
8	100	0	61	96
9	67	0	60	95
10	28	0	69	91
11	0	26	86	81
12	0	79	95	73
計	377	373	955	1032

③ 季節別時刻別需要変動パターン

時間	冷房			暖房			給湯			電力		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
1	57	58	0	56	56	56	56	56	56	42	42	42
2	33	33	0	56	56	56	56	56	56	40	40	40
3	42	42	0	57	57	57	57	57	57	38	38	38
4	40	40	0	57	57	57	57	57	57	34	34	34
5	42	42	0	57	57	57	57	57	57	29	29	29
6	18	18	0	57	57	57	57	57	57	29	29	29
7	30	30	0	57	57	57	57	57	57	31	31	31
8	51	51	0	57	57	57	57	57	57	38	38	38
9	42	42	0	89	89	89	89	89	89	45	45	45
10	40	40	0	89	89	89	89	89	89	65	65	65
11	51	51	0	70	70	70	70	70	70	80	80	80
12	78	78	0	70	70	70	70	70	70	80	80	80
13	100	100	0	100	100	100	100	100	100	85	85	85
14	66	66	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
15	88	88	0	89	89	89	89	89	89	91	91	91
16	55	55	0	89	89	89	89	89	89	95	95	95
17	85	85	0	91	91	91	91	91	91	89	89	89
18	66	66	0	91	91	91	91	91	91	95	95	95
19	75	75	0	95	95	95	95	95	95	94	94	94
20	66	66	0	95	95	95	95	95	95	82	82	82
21	81	81	0	69	69	69	69	69	69	78	78	78
22	45	45	0	69	69	69	69	69	69	69	69	69
23	60	60	0	98	98	98	98	98	98	58	58	58
24	60	60	0	98	98	98	98	98	98	54	54	54
計	1371	1372	0	1856	1856	1856	1856	1856	1856	1541	1541	1541

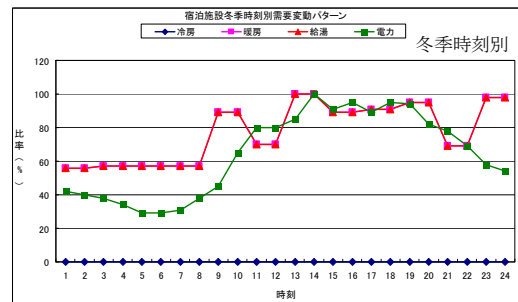
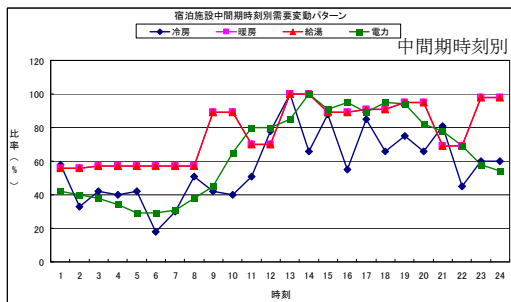
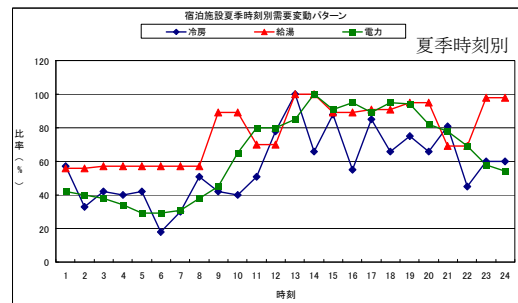
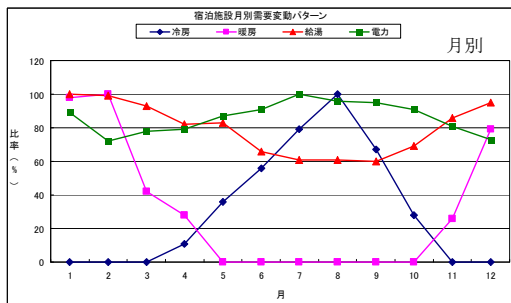


表 4.5 医療施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ (IBEC データ)

4)医療施設

①需要原単位

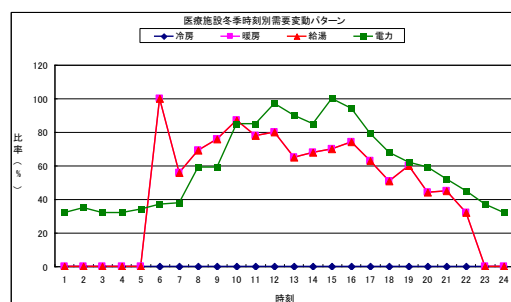
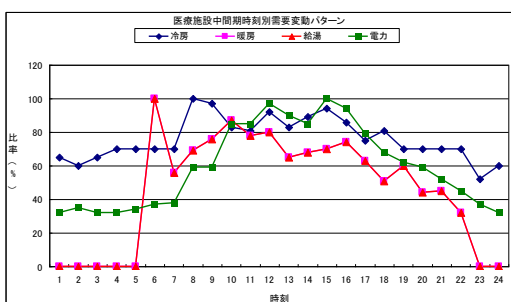
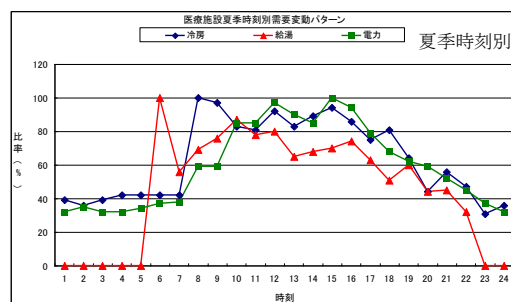
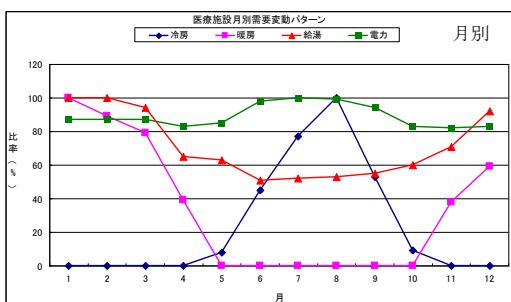
	最大	年間
冷房	419 kJ/m <sup>2</sup> ・h	209 MJ/m <sup>2</sup> ・年
暖房	544 kJ/m <sup>2</sup> ・h	419 MJ/m <sup>2</sup> ・年
給湯	377 kJ/m <sup>2</sup> ・h	753 MJ/m <sup>2</sup> ・年
電力	50 W/m <sup>2</sup>	90 kWh/m <sup>2</sup> ・年

②月別需要変動パターン

月	冷房	暖房	給湯	電力
1	0	100	100	87
2	0	89	100	87
3	0	79	94	87
4	0	39	65	83
5	8	0	63	85
6	45	0	51	98
7	77	0	52	100
8	100	0	53	99
9	53	0	55	94
10	9	0	60	83
11	0	38	71	82
12	0	59	92	83
計	292	404	856	1068

③季節別時刻別需要変動パターン

時間	冷房			暖房			給湯			電力		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
1	39	65	0	0	0	0	0	0	0	32	32	32
2	36	60	0	0	0	0	0	0	0	35	35	35
3	39	65	0	0	0	0	0	0	0	32	32	32
4	42	70	0	0	0	0	0	0	0	32	32	32
5	42	70	0	0	0	0	0	0	0	34	34	34
6	42	70	0	0	100	100	100	100	100	37	37	37
7	42	70	0	0	56	56	56	56	56	38	38	38
8	100	100	0	0	69	69	69	69	69	59	59	59
9	97	97	0	0	76	76	76	76	76	59	59	59
10	83	83	0	0	87	87	87	87	87	85	85	85
11	81	81	0	0	78	78	78	78	78	85	85	85
12	92	92	0	0	80	80	80	80	80	97	97	97
13	83	83	0	0	65	65	65	65	65	90	90	90
14	89	89	0	0	68	68	68	68	68	85	85	85
15	94	94	0	0	70	70	70	70	70	100	100	100
16	86	86	0	0	74	74	74	74	74	94	94	94
17	75	75	0	0	63	63	63	63	63	79	79	79
18	81	81	0	0	51	51	51	51	51	68	68	68
19	64	70	0	0	60	60	60	60	60	62	62	62
20	44	70	0	0	44	44	44	44	44	59	59	59
21	56	70	0	0	45	45	45	45	45	52	52	52
22	47	70	0	0	32	32	32	32	32	45	45	45
23	31	52	0	0	0	0	0	0	0	37	37	37
24	36	60	0	0	0	0	0	0	0	32	32	32
計	1521	1823	0	0	1118	1118	1118	1118	1118	1428	1428	1428



## (2) 住戸電力・給湯需要データに関する知見の整理

IBEC では、平成 14 年度から 17 年度にかけて「住宅用燃料電池の実用化に関する総合研究」を実施しており、住宅用燃料電池の実用化に向けて、導入効果の評価方法の確立、効果的な適用条件や適用方法の把握、法規制や設計・施工法など実際の導入における課題と対応策の検討を行っている（「住宅用燃料電池の導入に関する技術研究成果報告会資料」、平成 18 年 3 月、建築環境・省エネルギー機構）。この研究の中では、実際の住宅にモデル機を設置して、生活上のエネルギー需要に対する運転データの収集及び分析と、多様な家族形態、ライフスタイルに応じたエネルギー需要のデータ収集を併せて行っており、今後のシステム検討の基礎資料を整理している。この研究で実測した「住戸電力・給湯需要量」は、全国 24 箇所（箇所）のデータとして整理されている。本プロジェクトにて開発を行っている CO<sub>2</sub> 計量プログラムには、ここで整理されている 24 箇所（箇所）のデータについて実装した。ここでの実測データとしては、同じ家族人数であっても、電力・給湯需要には大きな違いが見られ、電力・給湯需要バランスも世帯による違いが大きく、全般的に給湯需要より電力需要が大きいサイトが多く、熱電比（給湯需要÷電力需要）が 1 を超えるサイトは 4 サイトのみであり、多くは 0.5～1 に分布している。

## 4.2.2 地域エネルギー消費の現地調査

### (1) 調査目的と調査対象

平成 18 年 4 月のエネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）の改正に伴い、2,000m<sup>2</sup> 以上の集合住宅においても省エネルギー計画の届出が義務付けられるようになったが、専用部と比べ共用部のエネルギー使用実態は必ずしも十分には把握されていないのが当時の状況であった。

国総研を中心としたこれまでの研究では、共用部の電力使用実態をおおまかに把握することができたが、使用量の非常に多い超高層住宅の共用部電力消費実態までは把握できていない状況である。

本プロジェクトにおいては、以上のような経緯を踏まえて、超高層住宅の共用部電力消費の詳細調査を行うことにより、大都市区域モデル超高層住宅のエネルギー使用量に関する基礎的な情報収集を目的に調査を実施した。

調査の方法としては、東京都の東池袋に立地する 38 階建て超高層住宅 A 棟（414 戸）を対象に、共用部用途別に測定点を選定し、メモリー付きクランプログャーにて 5 分間平均値を連続測定する。データは約 1 ヶ月に 1 回収する。

電力実測の調査項目は、共用部用途別に 23 ヶ所の測定点を選定する。

## (2) 共用部の用途別電力消費実態調査結果

平成 20 年（2008 年）12 月期より平成 21 年（2009 年）11 月期までの 1 年間の実測結果<sup>12)</sup>を踏まえて、超高層住宅 A 棟共用部の用途別電力消費量の実測調査結果を以下にまとめる。

### ① 電灯系電力消費量

- ・ 月別共用灯電力消費量は 588～612kWh/日であり、年間平均 598kWh/日で構成比は 18.0%となっている。
- ・ 月別保安灯電力消費量は 1,190～1,262kWh/日であり、年間平均 1,239kWh/日で構成比は 37.3%となっている。
- ・ 共用灯と保安灯を合わせた電灯系電力消費量は、年間平均 1,836kWh/日で構成比は 55.4%と過半数を占めている。

### ② 空調機電力消費量

- ・ 空調機電力消費量は季節変動が大きく、中間期（5 月）の 113kWh/日を最小として、最大は夏期（8 月）の 734kWh/日にまで変動しており、年間平均 421kWh/日、構成比は 12.7%となっている。

### ③ エレベータ電力消費量

- ・ エレベータ電力消費量の季節変動はあまりなく、月別にみると 319～344kWh/日であり、年間平均 335kWh/日、構成比は 10.1%となっている。

### ④ 給水ポンプ電力消費量

- ・ 給水ポンプ電力消費量も季節変動はあまりなく、月別にみると 158～167kWh/日であり、年間平均 163kWh/日、構成比は 4.9%となっている。

### ⑤ 駐車場排風機電力消費量

- ・ 駐車場排風機電力消費量も季節変動はなく、月別にみると 206～221kWh/日であり、年間平均 214kWh/日、構成比は 6.5%となっている。

### ⑥ 動力系電力消費量

- ・ 電灯以外の動力系電力消費量は、月別にみると 1,014kWh/日（5 月期）～1,939kWh/日（8 月期）で変動しており、年間平均 1,481kWh/日、構成比は 44.6%となっている。

### ⑦ 住棟全体の共用部電力消費量

- ・ 住棟全体の月別共用部電力量は 2,885kWh/日（5 月期）～3,736kWh/日（8 月期）で、年間平均は 3,317kWh/日となっている。これより年間電力消費量を推定すると 1,210,914kWh/年となる。これは住戸数 414 戸で割り戻すと、1 戸あたり 2,925kWh/年・戸に相当する。また、共用部延床面積（17,940 m<sup>2</sup>）で割り戻すと、1 m<sup>2</sup>あたり 67.5kWh/年・m<sup>2</sup>に相当する。

図 4.1 に共用部用途別電力消費量の月別推移、図 4.2 に図 4.1 の結果を戸あたりに換算した共用部用途別電力消費量の月別推移を示す。

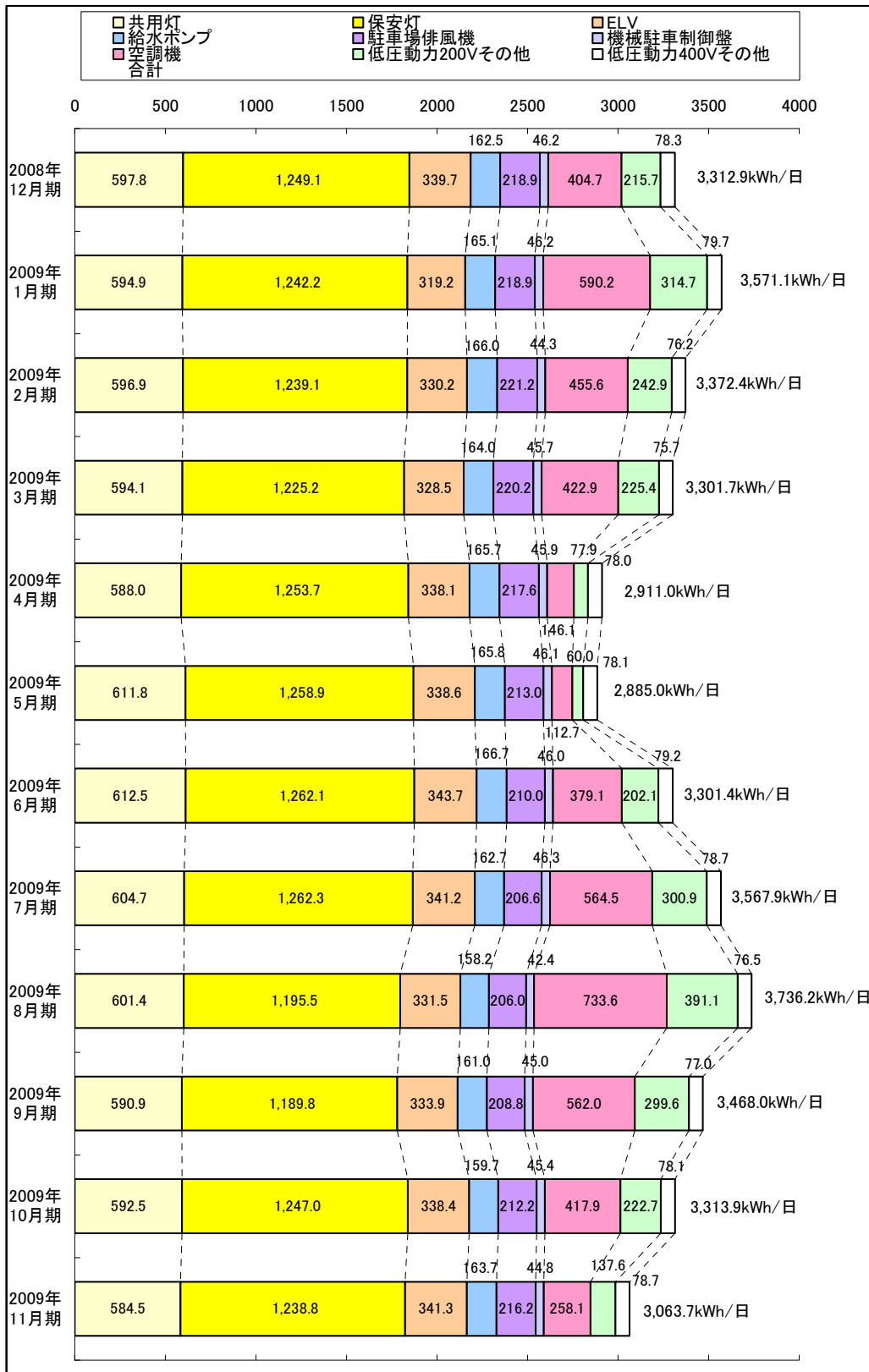


図 4.1 共用部用途別電力消費量の月別推移

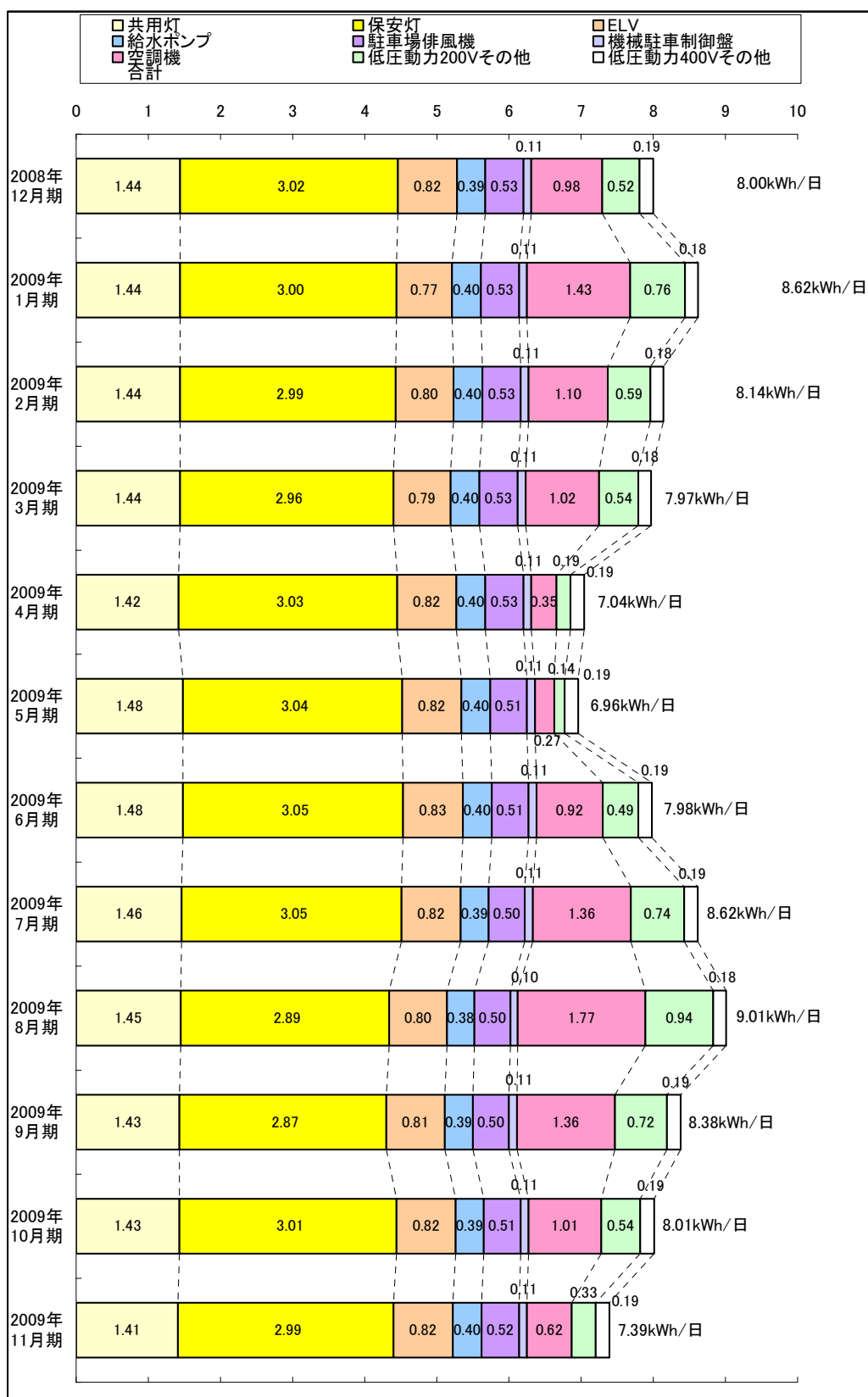


図 4.2 戸あたり共用部用途別電力消費量の月別推移

### (3) 集合住宅共用部における電力使用量の比較

本プロジェクトで行った調査結果である超高層住宅A棟と都内に立地する他の高層住宅(B~F棟とする)の共用部における電力使用量、さらに既往研究<sup>13)</sup>における集合住宅共用部の電力使用量を比較する。

既研究対象住宅のうち、超高層の平均電力使用量は1,654kWh/年・戸であり、F棟とほぼ同等である。既研究対象住棟では、1970年代以降、2000年以前に管理が開始されたものが多いのに対してA棟~F棟はすべて2000年以降に管理が開始されており、近年に建設されている超高層住宅の共用部電力使用量が、増加傾向にあることが分かる。

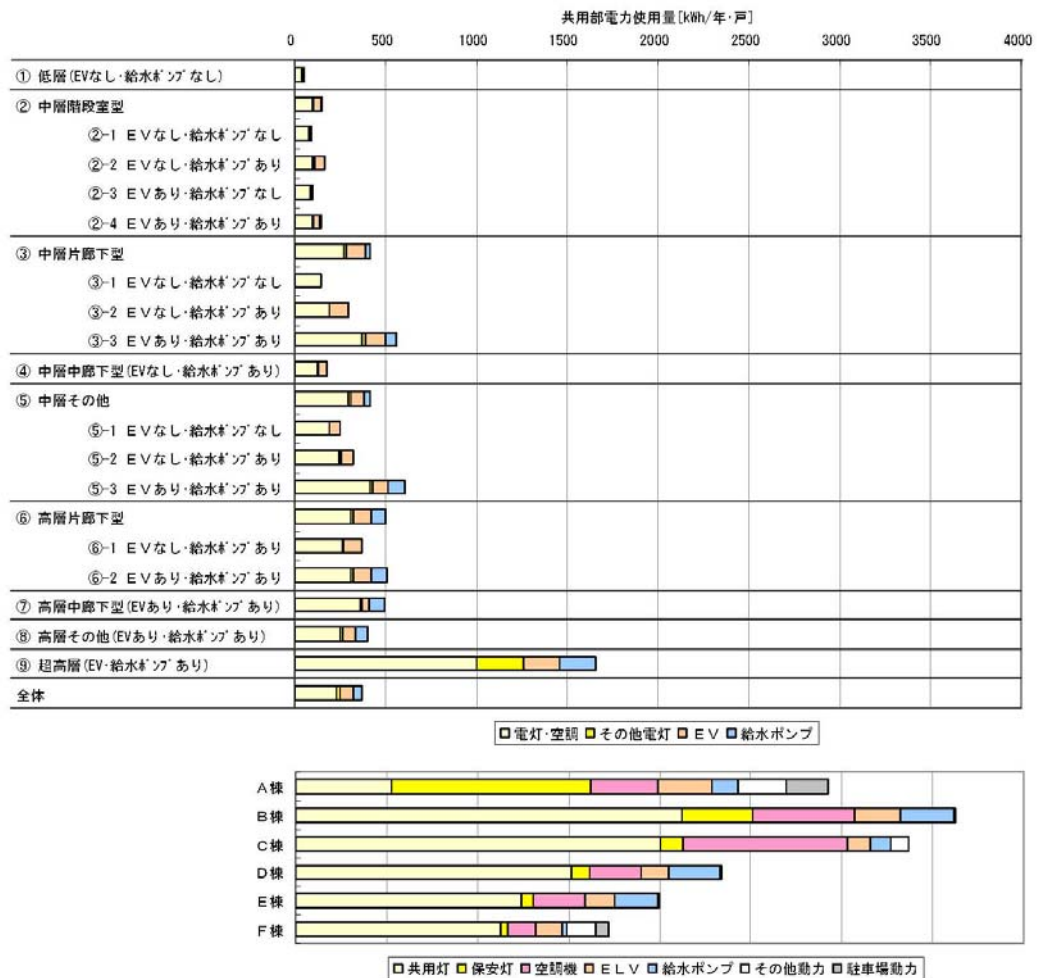


図 4.3 共用部電力使用量の比較 (上：既研究、下：本研究)



### 4.2.3 自然エネルギー賦存量調査

#### (1) 調査対象と目的

水素活用の基になる、自然エネルギーの賦存量について、太陽光、風力、バイオマスのデータベースを作成する。ここで作成するデータベースは、国総研のホームページよりダウンロードが可能であり、CO<sub>2</sub>計量プログラムにおける再生可能エネルギーモジュールを活用することにより、自然エネルギー賦存量より太陽光発電による発電量、風力発電による発電量を計算することが可能となる。

データベースの整備地域については、2015年より大都市圏を中心に燃料電池自動車のための水素ステーションが整備されることから、比較的早期に水素ネットワークが整備されることが想定される以下の地域について整備することとする。

- ・ 札幌地域：北海道石狩振興局内
- ・ 関東地域：茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県
- ・ 中部地域：岐阜県、愛知県、三重県
- ・ 関西地域：滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県
- ・ 北九州地域：福岡県

#### (2) データベースの整備方針

本データベースの整備にあたっては、GISへの展開可能なデータであること、今後のデータ更新が可能であることを睨み、以下の仕様とする。

- ・ 標準地域メッシュにおける3次メッシュコード（約1km四方のメッシュ）に対応したデータとする。
- ・ メッシュ単位での整備が適当ではないバイオマスデータ（生ごみ等）については、市区町村に対応したデータとする。

ここで、標準地域メッシュとは、国土地理院にて整備を行っている国土数値情報に対応したデータであり、緯度40分、経度1度に相当する1次メッシュ（約80km四方：日本全国）に対し、8分割された2次メッシュ（約10km四方）をさらに10分割されたメッシュであり、約1km四方のメッシュデータとなっている。

また各メッシュにはメッシュコードが割り当てられており、1次メッシュで4桁のコード、2次メッシュで6桁のコード、3次メッシュで8桁のコードが割り当てられている。

1次メッシュの4桁のコードは、以下のルールにより設定されており、コードに応じて緯度経度が算出可能となっている。図4.4～4.6にメッシュコードの付け方を示す。

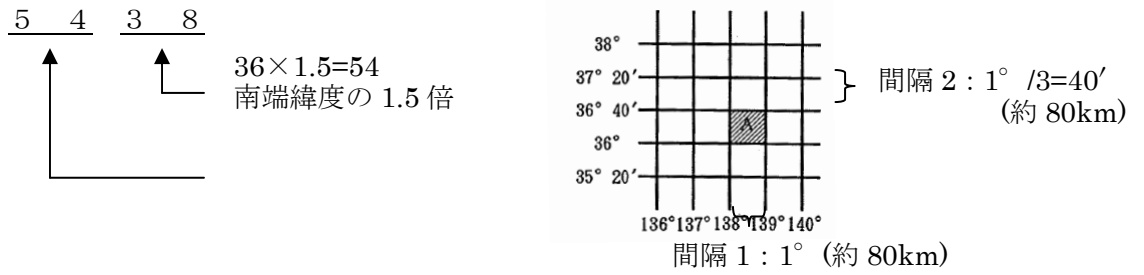


図 4.4 1次メッシュコードの付け方

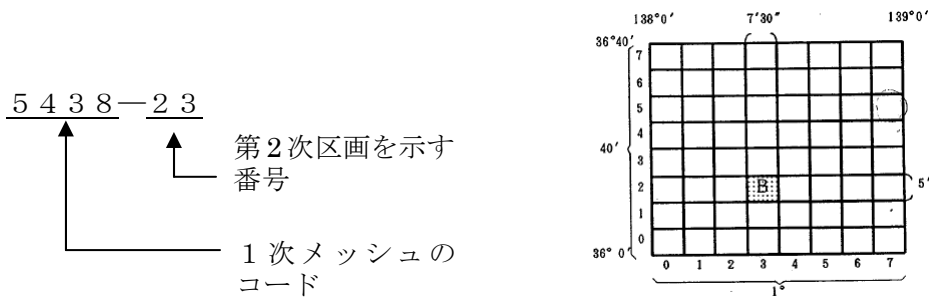


図 4.5 2次メッシュコードの付け方

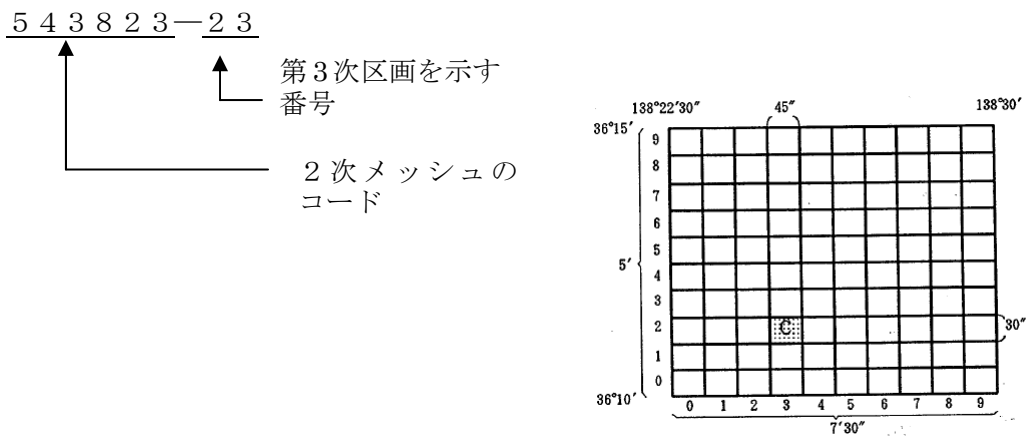


図 4.6 3次メッシュコードの付け方

### (3) 太陽光活用データの収集・整備

#### (a) 太陽光日射量データの概要

本プロジェクトにて開発を行う CO<sub>2</sub> 計量プログラムにおいて太陽光のデータとしてエネルギー換算に必要なデータとしては、以下のデータであり、これらのデータを用い各地点における太陽光発電量の算定に用いる。

- ・ 水平面全天日射量の月別、時刻別パターン (24 時間×365 日データ)
- ・ 水平面直達日射量の月別・時刻別パターン (24 時間×365 日データ)
- ・ 水平面天空散乱日射量の月別・時刻別パターン (24 時間×365 日データ)
- ・ 気温の月別・時刻別パターン (24 時間×365 日データ)

#### (b) 太陽光日射量データの入手

太陽光発電量の検討に必要なとなる地点別日射量の基礎データとしては、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (以下、「NEDO」。) が調査、取りまとめたデータを用いる。

このデータは、以下の URL より標準気象・日射データや全国日射量平均値データマップのアプリケーションとして公開されており、特に制限なく入手可能なデータである。

URL : <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>

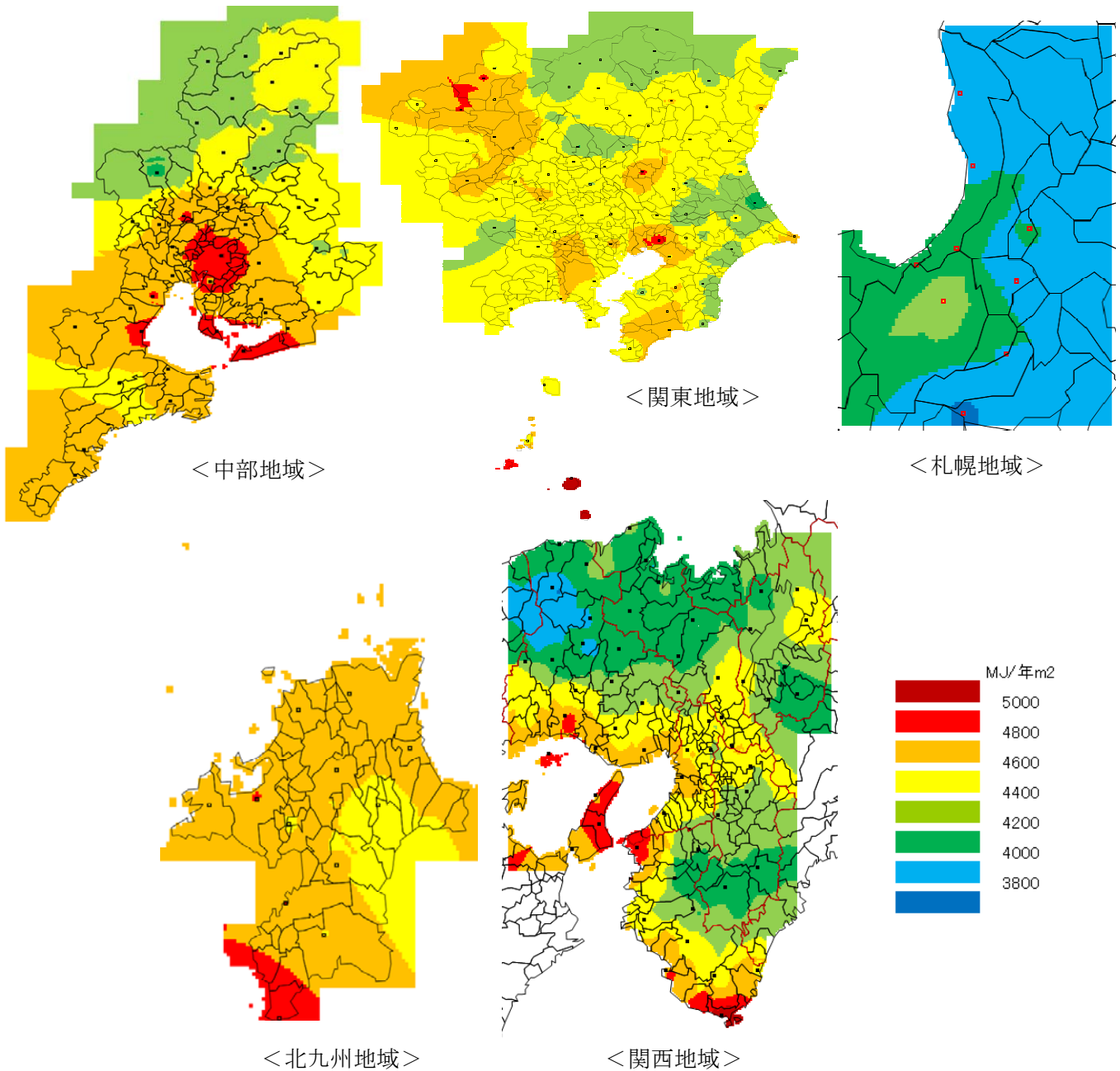
本データは、国内 836 地点・14 年間 (1990～2003 年) の標準気象・日射量データから、各地点における任意の方位及び傾斜角の日射量 (MJ/m<sup>2</sup>) を、1 ヶ月又 1 日単位でデータを有するソフトウェアであり、本ソフトウェアのデータで得られる日射量から任意の月・日における太陽電池の発電量を推定することに活用できるものである。

本データベースにおいては、NEDO で整備された札幌地域、関東地域、中部地域、関西地域、北九州地域におけるアメダスの観測所における上記の 4 つのデータ (それぞれ 24 時間×365 日分のデータ) を用い、距離による補間を行い 3 次メッシュに展開してデータベース化を行った。

距離による補間方法としては、対象となる 3 次メッシュの代表緯度経度に最も近接する 3 地点での観測データを検索し、その 3 地点との観測データと距離に応じた加重平均することにより求めることとした。

### (c) 太陽光データの整備

本プロジェクトにて開発を行うデータベースにおいては、365日×24時間単位のデータの入手が可能となるが、ここでは3次メッシュ単位における太陽光データの例として、各地域における水平面日射量の年間総量のカラーマップを図4.7に示す。



※図中に示す□や■は、アメダスの観測点を示す。

図 4.7 水平面全天日射量の年間総量カラーマップ図

#### (4) 風力活用データの収集・整備

##### (a) 風力データの概要

本プロジェクトにて開発を行う CO<sub>2</sub> 計量プログラムにおいて風力のデータとしてエネルギー換算に必要なデータとしては、以下のデータであり、これらのデータを用い各地点における風力発電量の算定に用いる。

- ・ 年間平均風速
- ・ 風況の月別・時刻別パターン

##### (b) 平均風力データの入手と整備

平均風況マップは、NEDO によって取りまとめられたデータが、平成 18 年度版のモデルとして、以下の URL より公開されている。

URL : <http://app2.infoc.nedo.go.jp/nedo/top/top.html>

本データは、気象庁から収集した風況データと、全国を対象に気象予測数値解析モデル (LAWEPS) によって 500m メッシュで解析した結果を基に作成された「風況マップ (地上高 30・50・70m、平均風速)」に整理されたものである。この解析結果のデータとしては、平均風速のほか、ワイブル K、ワイブル C のデータがとりまとめられており、500m メッシュ単位での入手が可能となっている。

本 DB としては、これら入手可能である 30m 位置、50m 位置、70m 位置の風速についてデータの入手を行い、1km メッシュに再整理を行うこととする。500m メッシュから 1km メッシュへの整理については、1km メッシュの代表緯度経度 (南東端) と最も近接する箇所のデータを割り当てることとした。

また、将来的に洋上風力発電の開発が行われることを想定し、海域についても可能な限りデータの整理を行う。

##### (c) 風況の月別・時刻別パターンの入手と整備

風況の月別・時刻別データは、NEDO によって実施された「風力発電フィールドテスト風況精査」によって観測されたデータを活用し、取りまとめることとする。

「風力発電フィールドテスト風況精査」は平成 7 年度から平成 20 年度まで約 580 箇所の地点で実施されており、観測データが取りまとめられている。これらのデータより本プロジェクトでの整備対象である 18 都道府県の代表データ (365 日×24 時間の風況パターンデータ) を決定し、整備を行った。

#### (d) 風力データの整備

本プロジェクトにて開発を行うデータベースにおいては、(b)にて整備を行う3次メッシュ単位の平均風速データに、(c)にて整備を行う風況パターンを乗じることにより、365日×24時間単位のデータとして整備を行った。ここでは3次メッシュ単位における平均風速の例として、各地域における年間平均風速（地上高さ50m）のカラーマップを図4.8に示す。

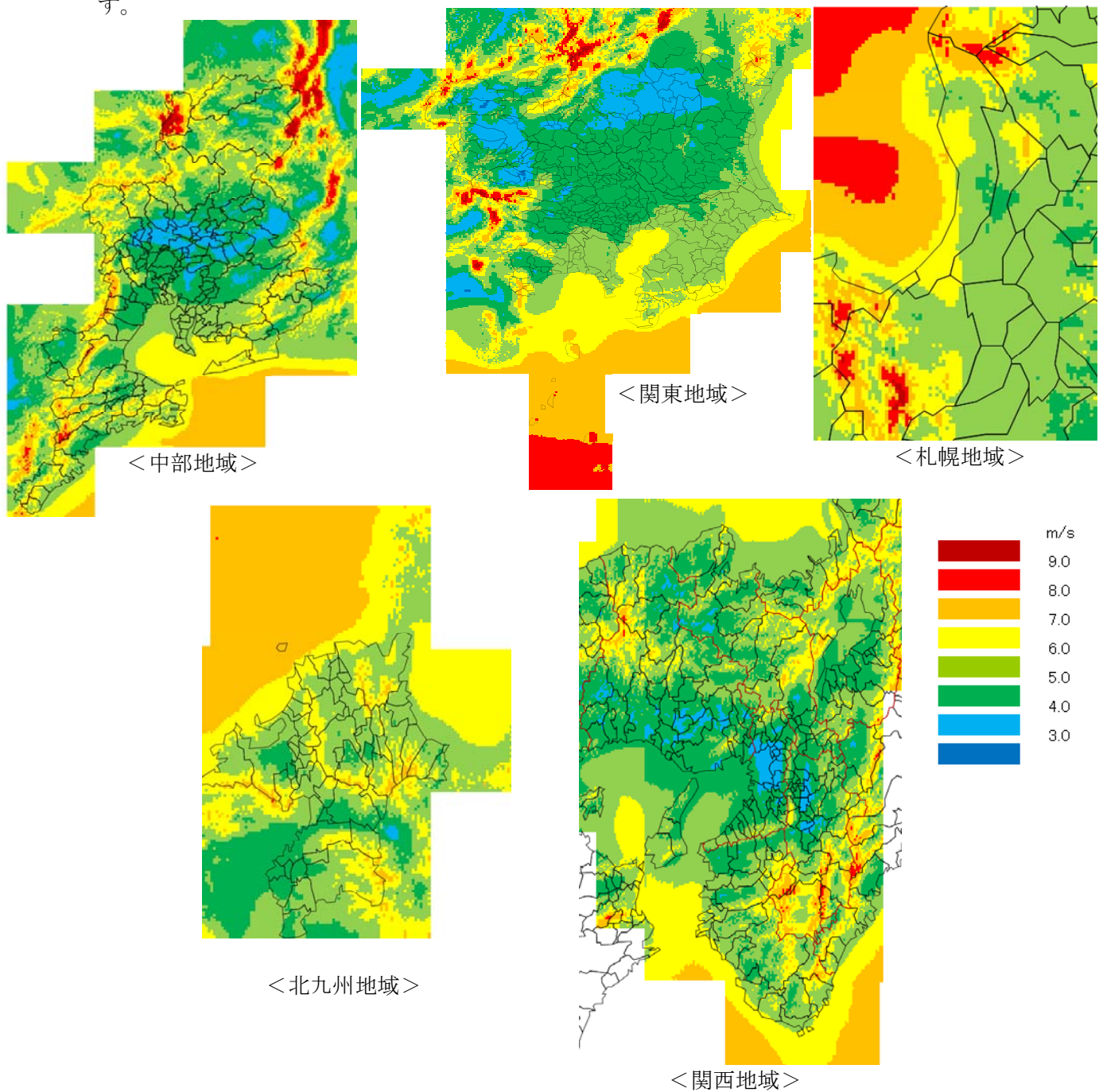


図 4.8 平均風速（50m 高さ）のカラーマップ図

## (5) バイオマスデータの整理

### (a) バイオマスデータの概要

バイオマスエネルギーの検討に必要な資源廃棄物等のデータは、NEDOにおいて資源別に詳細に整備されており、このデータを活用することとする。またここでのデータは有効可能熱量としてまとめられており、直接エネルギー換算が可能となる。

### (b) バイオマスデータの入手

バイオマス賦存量および有効利用可能量は、NEDOによって取りまとめられたデータがホームページ上の以下の URL で公開されている。

URL : <http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/>

本データは各市町村レベル（未利用資源・廃棄物系資源）、各 1km メッシュレベル（未利用系資源のみ）で取りまとめられており、活用することが可能である。

また、本データに関しては、以下のバイオマスデータが網羅されている。

- ・ 未利用系資源
  - 木質系バイオマス：林地残材、切捨間伐材、果樹剪定枝、タケ
  - 農業残渣：稲わら、もみ殻、麦わら、その他の農業残渣
  - 草本系バイオマス：ススキ、ササ
- ・ 廃棄物系資源
  - 木質系バイオマス：国産材製材廃材、外材製材廃材、建築解体、新・増築廃材、公園剪定枝
  - 畜産ふん尿、汚泥：乳用牛、肉用牛、豚、採卵鶏、ブロイラー、下水汚泥(濃縮汚泥)、し尿・浄化槽余剰汚泥、集落排水汚泥
  - 食品系バイオマス：食品加工廃棄物、家庭系厨芥類、事業系厨芥類

### (c) バイオマスデータの整備

バイオマスのデータは、有効可能重量と有効可能熱量の両方により整備されており、本データベースでは、このどちらの値も活用できるように整備を行った。また、整備にあたっては、未利用系資源については、木質系バイオマス、農業残渣、草本系バイオマスの合算値、廃棄物系資源については、木質系バイオマス、畜産ふん尿・汚泥、食品系バイオマスの合算値として整備を行った。

また NEDO で整備されたデータは、未利用系資源について 3 次メッシュ単位、市町村単位で整備されており、廃棄物系資源に関しては市町村単位で整備されている。本データベースにおいても NEDO において整備されたデータの単位で整備することとする。3 次メッシュ単位、市町村単位のカラーマップをそれぞれ図 4.9、図 4.10 に示す。

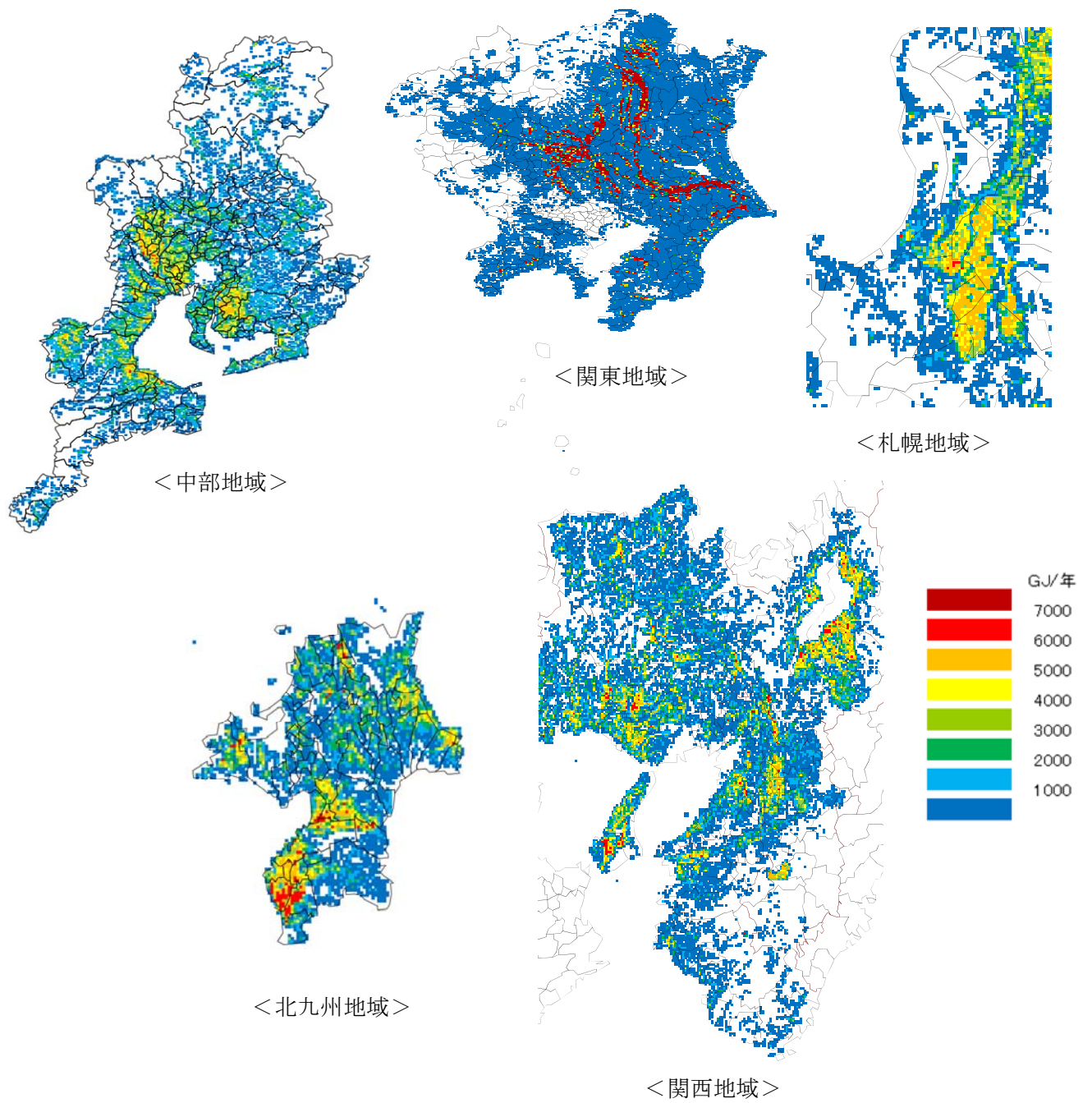


図 4.9 バイオマスデータ（未利用系資源：有効可能熱量）のカラーマップ図  
3次メッシュ単位データ



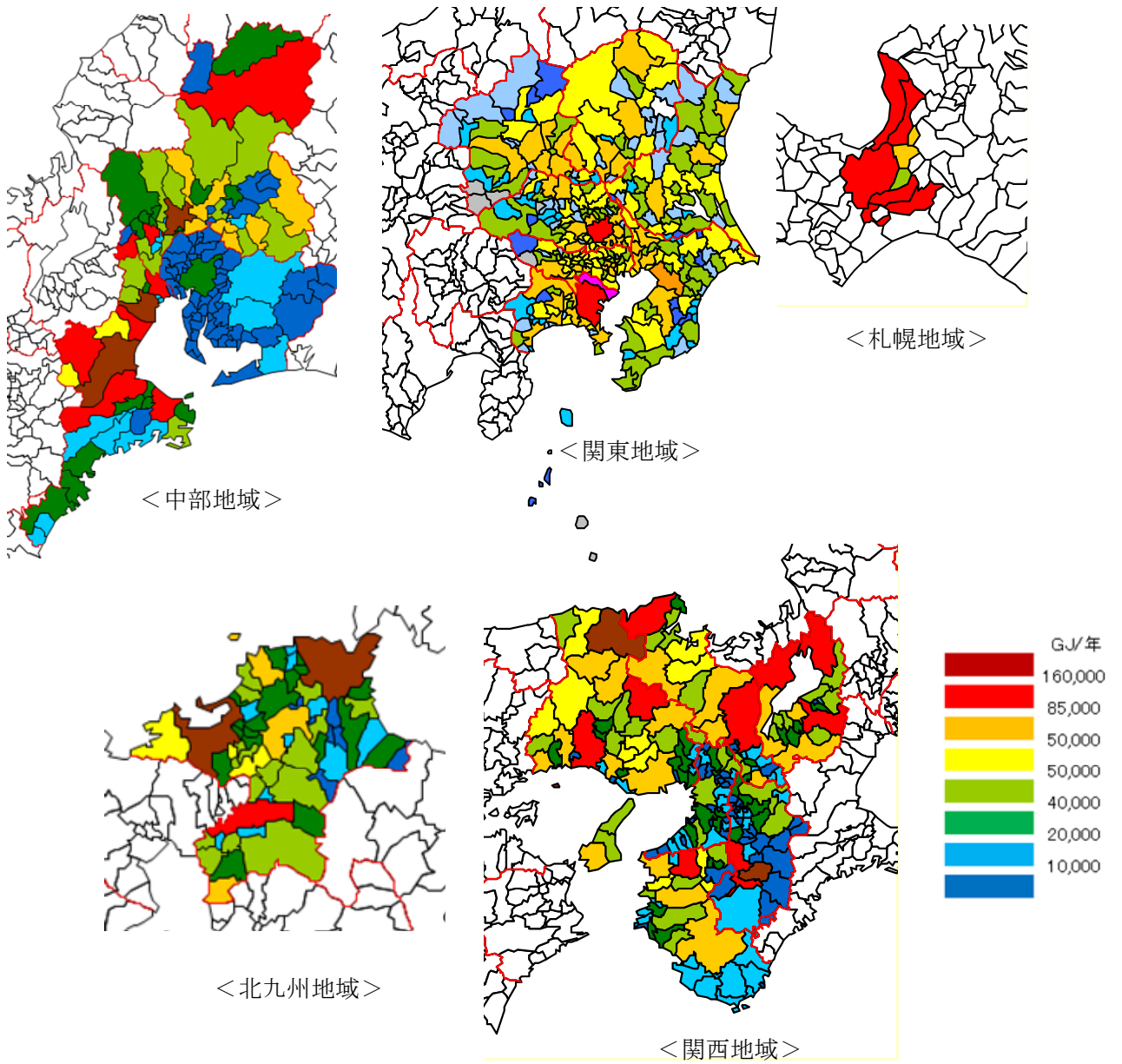


図 4.10 バイオマスデータ（廃棄物系資源：有効可能熱量）のカラーマップ図  
市町村単位データ

## (6) 電子国土ポータルを活用した可視化とデータの入手

本プロジェクトにおいては、ここで整備したデータベースを国土技術政策総合研究所のHPよりダウンロードが可能であり、また一部のデータに関しては電子国土ポータルを活用し、カラーマップとして確認することが可能である。

データの入手に関して、以下の手順により入手することが可能である。

- ① 国総研のHPにアクセスし、データベースをダウンロードし、各ユーザーのパソコンに保存
- ② 起動画面となるエクセルファイルを開く（図 4.11 参照）
- ③ 入手したいデータ種別（太陽光、風力、バイオマス）を選択  
「地図ボタン」をクリックして電子国土ポータルを立ち上げる（※地図上をクリックすることにより、緯度・経度の情報の入手が可能）
- ④ 図 4.12 参照)  
入手したい地域をサーチし、緯度・経度データを入手（※地図上をクリックすることにより、緯度・経度の情報の入手が可能）
- ⑤ 図 4.12 参照)  
「メッシュコードで検索」もしくは「市町村で検索」をクリックして、データを入手することが可能となる。（※メッシュコード検索ボタンをクリックすることにより3次メッシュ単位データの入手が可能）
- ⑥ 図 4.13～図 4.17 参照)

自然エネルギー地域賦存量データベース 検索シート (β版)

**データ種別**

<p><input checked="" type="radio"/> <b>太陽光</b></p> <p>&lt;検索対象データ&gt; 指定メッシュの年間時別 ・水平面全天日射量 ・水平面直達日射量 ・水平面天空散乱日射量 ・気温</p> <p>※日射量データベースMETPV-11 (NEDO)を利用して整備</p>	<p><input type="radio"/> <b>風力</b></p> <p>&lt;検索対象データ&gt; 指定メッシュの年間時別 ・平均風速 (地上高さ30,50,70m)</p> <p>※局所風況マップ(NEDO)データを利用して整備</p>	<p><input type="radio"/> <b>バイオマス</b></p> <p>&lt;検索対象データ&gt; 指定メッシュまたは市町村の有効利用可能量および有効利用熱量 (メッシュは◎のバイオマス種のみ)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・未利用系資源             <ul style="list-style-type: none"> <li>木質系バイオマス</li> <li>農業残渣 ◎</li> <li>草木系バイオマス ◎</li> </ul> </li> <li>・廃棄物系資源             <ul style="list-style-type: none"> <li>木質系バイオマス</li> <li>畜畜ふん尿汚泥</li> <li>食品系バイオマス</li> </ul> </li> </ul> <p>※バイオマス賦存量及び有効利用可能量の推計(NEDO)データを利用して整備</p>
---	---	---

**3次メッシュデータ検索**

3次メッシュコード  ←  ←  ←  ←

↑ 直接入力可

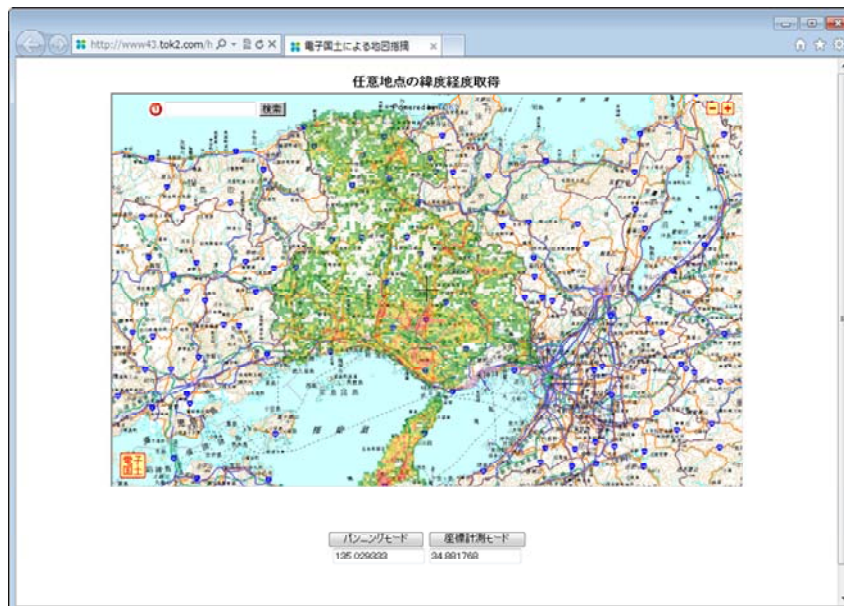
※要インターネット接続 (Internet Explorerが起動します)

**市町村データ検索 (バイオマスのみ)**

都道府県  市町村

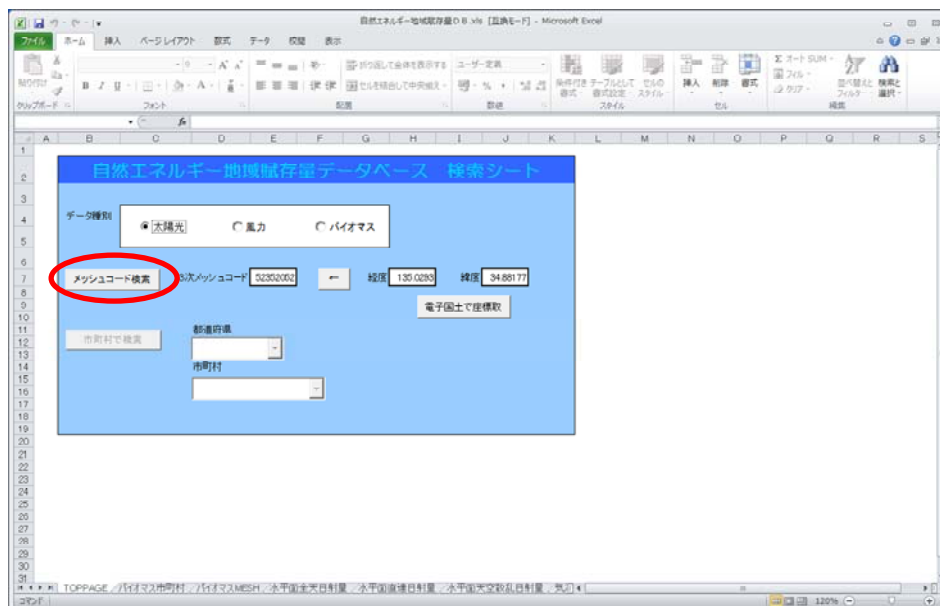


図 4.11 自然エネルギー賦存量データベース起動画面



※地図上をクリックすることにより、緯度・経度の情報の入手が可能

図 4.12 電子国土ポータル画面イメージ



※メッシュコード検索ボタンをクリックすることにより 3 次メッシュ単位データの入手が可能

図 4.13 自然エネルギー地域賦存量データベース検索シート (3 次メッシュデータ検索)

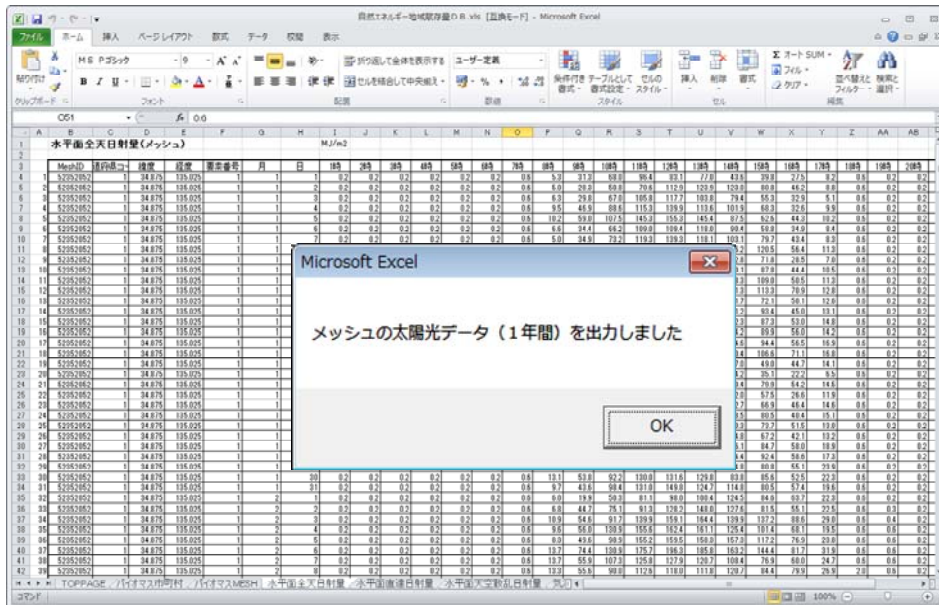


図 4.14 太陽光データの入手イメージ

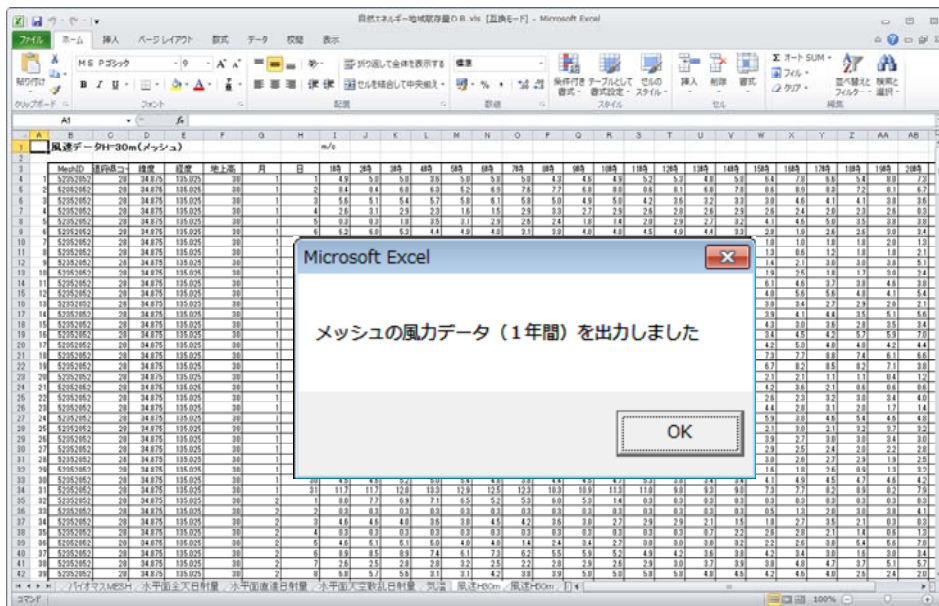
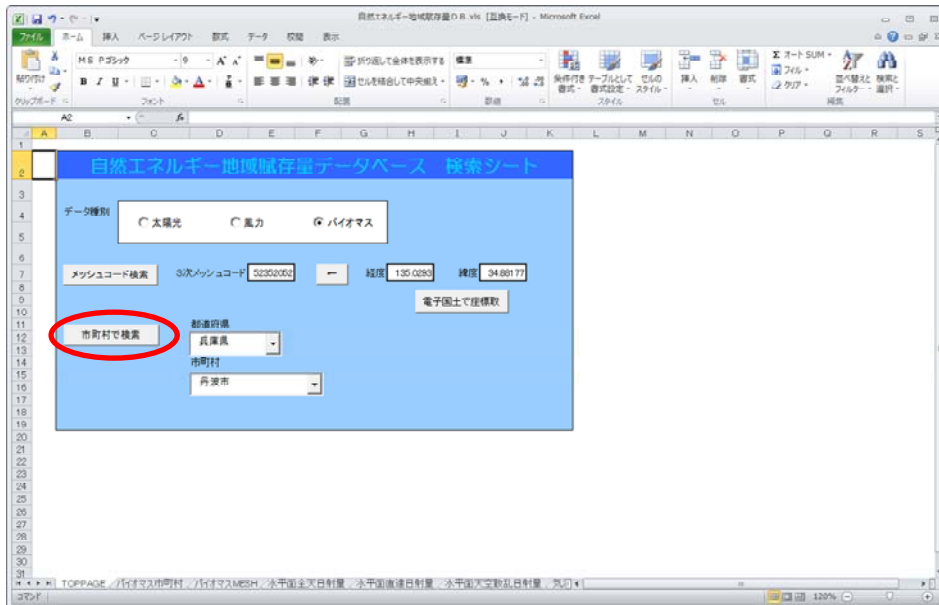


図 4.15 風力データの入手イメージ



※市町村データ検索ボタンをクリックすることによりバイオマスの市町村単位データの入手が可能

図 4.16 自然エネルギー地域賦存量データベース検索シート（市町村データ検索）

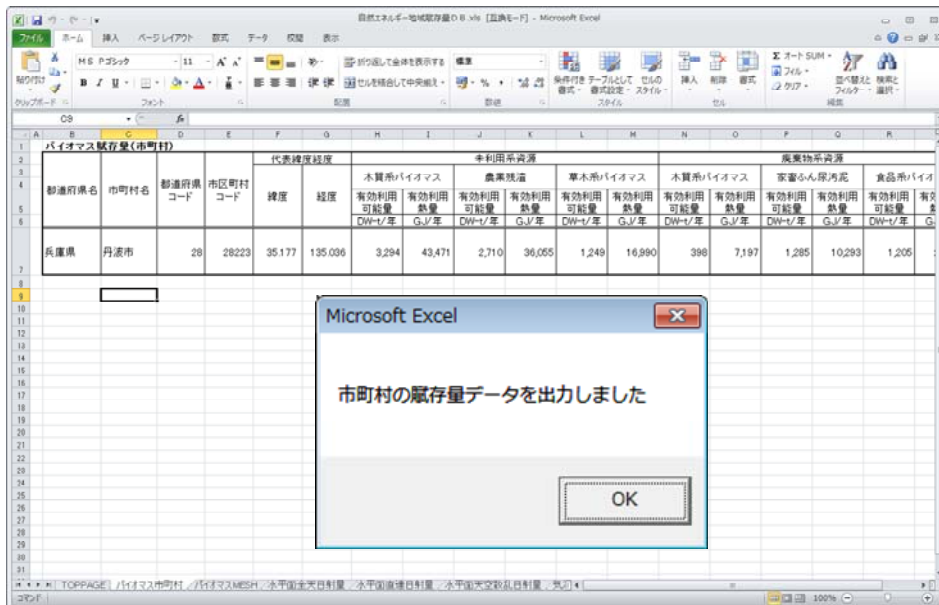


図 4.17 バイオマス市町村単位データの入手イメージ

## 4.3 低炭素都市評価システムの開発

### 4.3.1 システム概要

低炭素都市評価システムとして大きく分けて以下の2つのシステムの開発を行った。また本システムは単独で活用することも可能である、連成しそれぞれのアウトプットを他のシステムの入力として活用することが可能なシステムである（図 4.18）。

- ・ 街区空調負荷モデル
- ・ CO<sub>2</sub>計量モデル

街区空調負荷モデルの詳細は 4.3.2 に示すが、ある街区領域を対象に気象変化（温度・風）に応じた建物空調負荷を算定することが可能なシステムである。CO<sub>2</sub>計量プログラムは、詳細は 4.3.3 に示すが、単独の建物もしくは街区に存在する複数の建物を対象に、それぞれの建物単位でのエネルギー負荷、CO<sub>2</sub>排出量、経済性を評価することができるシステムである。CO<sub>2</sub>計量プログラムの入力となる建物冷暖房需要に関しては、4.2.1 にて整備した IBEC データ等の既存研究成果を活用することも可能であるが、街区空調負荷モデルによる計算結果を利用し、より詳細に街区気象の影響を反映したシミュレーションが実施することが可能である。また CO<sub>2</sub>計量プログラムのアウトプットとしては、CO<sub>2</sub>排出量と同時に建物排熱が出力される。この建物排熱に関しては、街区空調負荷モデルの入力条件として、街区気象データに追加することが可能であり、それぞれのプログラム結果を連成し、都市ヒートアイランド効果および都市エネルギーシステム評価が同時に行うことができるシステムである。

本プロジェクトでは、このシステムを研究者レベルではなく都市設計技術者が利用できるよう Windows ベースのパソコンで利用できるシステムを開発した。本章においては、これらシミュレーションモデルの概要を説明すると同時に、本システムを用いて将来の水素ネットワーク社会を睨んだ街区シミュレーションを実施し、CO<sub>2</sub>削減効果や削減コストの評価を実施した。

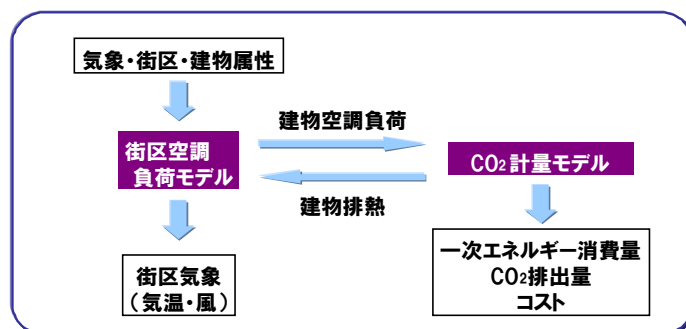


図 4.18 連成システムの概要

### 4.3.2 街区空調負荷モデル

#### (1) 数理モデルの構成要素

街区空調負荷の数理モデルは大きく分けて次の二つの要素から成る。

- ・ 地表面・建物表面の熱収支
- ・ 空調負荷

地表面・建物表面(以下、地物表面)の熱収支に係わる緒元は次のようになる (図 4.19)。

- (i) 太陽からの短波放射 (直達・散乱)
- (ii) 大気からの長波放射
- (iii) 地物表面間の放射熱伝達
- (iv) 周辺大気との顕熱・潜熱輸送
- (v) 室内空気との顕熱輸送
- (vi) 建物壁内部の熱伝導

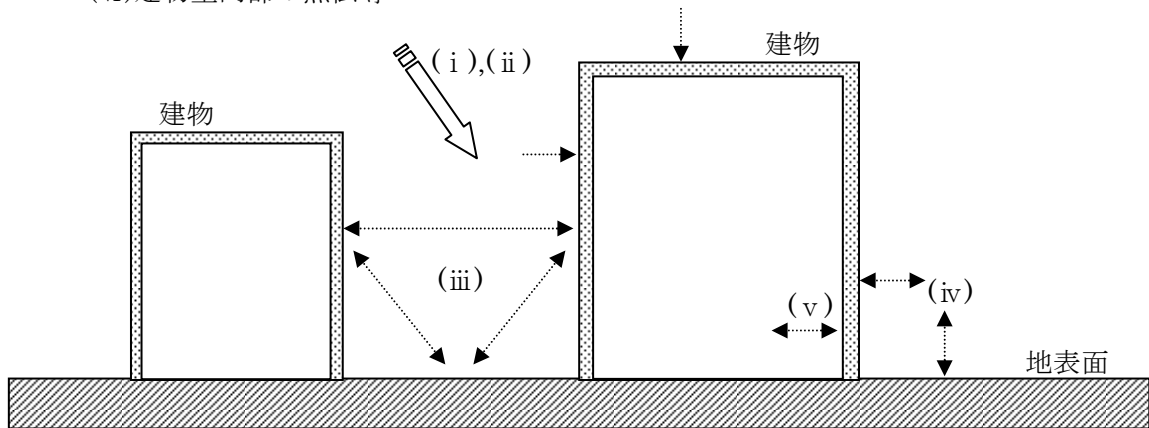


図 4.19 地物表面の熱収支に係わる緒元概念

空調負荷に係わる緒元は次のようになる (図 4.20)。

- (vii) 貫流熱
- (viii) 日射熱
- (ix) 内部発生熱(顕熱・潜熱)
- (x) 換気(顕熱・潜熱)



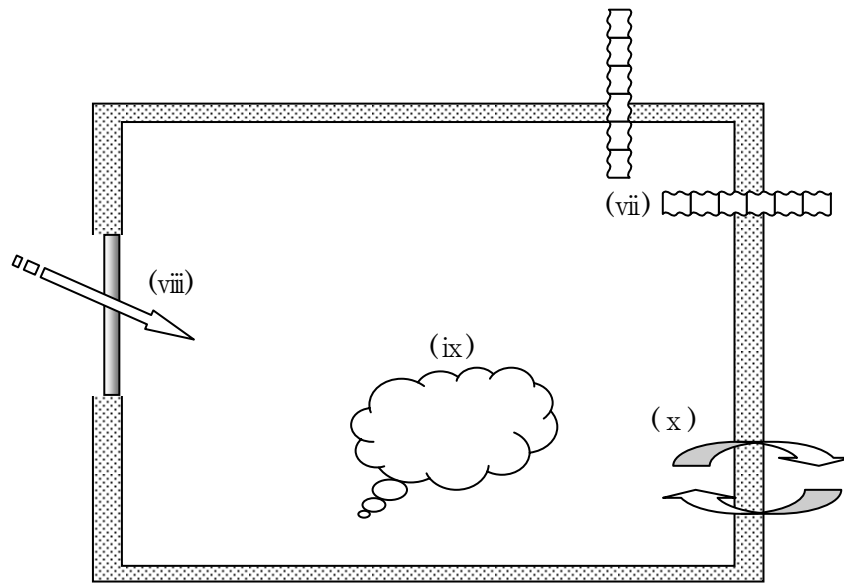


図 4.20 空調負荷に係わる緒元の概念図

(a) 表面熱収支式

街区空調負荷を算出するには、街区の表面熱収支を解く必要がある。表面熱収支式は次のように表される。

$$S_n + L_a + R_L + R_s + H + E + G = 0 \quad (4.1)$$

各項の意味と内容は次のようになる。

(b) 正味全天日射量

正味全天日射量  $S_n$  [W/m<sup>2</sup>] は地表面に吸収される正味の全天日射量で、地表面アルベト(反射率)  $\alpha$  を用いて次のように表される。

$$S_n = (1 - \alpha) S_g \quad (4.2)$$

ここで、 $S_g$  は全天日射量[W/m<sup>2</sup>] で、直達日射量  $S_d$  [W/m<sup>2</sup>] と天空(散乱)日射量  $S_s$  [W/m<sup>2</sup>] との和である。

$$S_g = \omega_d S_d + \omega_s S_s = \omega_d S_{d\perp} \cos \psi + \omega_s S_s \quad (4.3)$$

ただし、 $S_{d\perp}$  : 法線面直達日射量[W/m<sup>2</sup>]、 $\psi$  : 直達光と表面との成す角[rad.]である。また、 $\omega_d$  : 日向率、 $\omega_s$  : 天空率である。観測値がない場合などでは、法線面直達日射量  $S_{d\perp}$  および天空日射量  $S_s$  はそれぞれ Bouguer 式および Berlage 式で評価されることが多い。

Bouguer 式 :

$$S_{d\perp} = I_0 P^{1/\sin h} \quad (4.4)$$

Berlage 式 :

$$S_s = 0.5 I_0 \sin h \frac{1 - P^{1/\sin h}}{1 - 1.4 \cdot \log P} \quad (4.5)$$

ここで、 $I_0$  : 太陽定数[W/m<sup>2</sup>]、 $P$  : 大気透過率、 $h$  : 太陽高度[rad.]である。

太陽方位ベクトル( $S_x, S_y, S_z$ )は次のように表される。

$$\begin{aligned} S_x &= -\cos \delta \sin \gamma \\ S_y &= \cos \phi \sin \delta - \sin \phi \cos \delta \cos \gamma \\ S_z &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \gamma \end{aligned} \quad (4.6)$$

ここで、 $\phi$  : 緯度[rad.]、 $\delta$  : 赤緯[rad.]、 $\gamma$  : 時角[rad.]である。したがって、水平な地表面の場合、

$$\cos \psi = S_z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \gamma \quad (4.7)$$

となる。

### (c) 大気放射量

大気放射量  $L_a$  [W/m<sup>2</sup>]は Brunt の式で評価する。

Brunt 式 :

$$L_a = \omega_s (0.526 + 0.076 \sqrt{e}) \epsilon \sigma T_a^4 \quad (4.8)$$

ここで、 $e$  : 水蒸気圧[mmHg]、 $T_a$  : 大気温度[K]、 $\sigma$  : Stefan-Boltzmann 定数[W/(m<sup>2</sup> · K<sup>4</sup>)]である。ただし、上式では天空率  $\omega_s$  を考慮している。

### (d) 正味長波放射量

大気放射量を除いた正味の長波放射量  $R_L$  は周囲の面  $i$  からの射度  $G_{L,i}$  および面  $i$  の形態係数  $F_i$  を用いて次のように表される。

$$R_L = \epsilon \sum_i G_{L,i} F_i - \epsilon \sigma T_G^4 \quad (4.9)$$

ここで、射度  $G_{L,i}$  は次式で定義される。

$$G_{L,i} = \varepsilon_i \sigma T_{G,i}^4 + (1 - \varepsilon_i) \sum_j G_{L,j} F_{ji} \quad (4.10)$$

(e) 正味短波放射量

壁面での反射を繰り返し吸収される正味の短波放射量  $R_S$  は周囲の面  $i$  からの射度  $G_{S,i}$  および面  $i$  の形態係数  $F_i$  を用いて次のように表される。

$$R_S = (1 - \alpha) \sum_i G_{S,i} F_i \quad (4.11)$$

ここで、射度  $G_{S,i}$  は次式で定義される。

$$G_{S,i} = \alpha \sum_j G_{S,j} F_{ji} \quad (4.12)$$

(f) 顕熱輸送量

顕熱輸送量  $H$  [W/m<sup>2</sup>] は熱伝達係数  $h$  [W/(m<sup>2</sup> · K)] を用いて次のように定式化される。

$$H = h(T_a - T_G) \quad (4.13)$$

(g) 潜熱輸送量

潜熱輸送量  $E$  [W/m<sup>2</sup>] は蒸発効率  $\beta$  を考慮して次のように定式化される。

$$E = L\beta h_q (q_a - q_G) \quad (4.14)$$

ここで、 $L$  : 蒸発潜熱[J/kg]、 $h_q$  : 物質輸送係数[kg/(m<sup>2</sup> · s)]、 $q_a$  : 大気中の比湿[kg/kg] である。また、 $q_G$  は地表面飽和比湿[kg/kg] で、地表面温度  $T_G$  に対する飽和蒸気圧  $e_G$  [Pa] から次のように計算できる。

$$q_G = \frac{\varepsilon(e_G/p_a)}{1 - (1 - \varepsilon)(e_G/p_a)} \quad (\varepsilon = M_v/M_d \approx 0.622) \quad (4.15)$$

$$e_G = 6.11 \times 10^2 \cdot \exp \left[ \frac{M_v L}{273 R_o} \left( 1 - \frac{273}{T_G} \right) \right] \quad (\text{Clausius-Clapeyron式}) \quad (4.16)$$

ただし、 $p_a$  : 大気圧[Pa]、 $M_d$  : 乾燥空気の分子量[kg/mol]、 $M_v$  : 水蒸気の分子量[kg/mol]、 $R_o$  : 普遍気体定数[J/(mol · K)] である。

(h) 固体内熱伝導量

固体内への熱伝導量  $G$  [W/m<sup>2</sup>]は、表面  $z = 0$  における固体温度  $T_g$  の勾配を用いて、

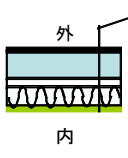
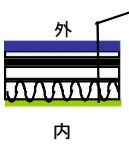
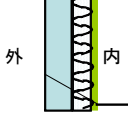

$$G = k_g \left( \frac{\partial T_g}{\partial z} \right)_{z=0} \quad (4.17)$$

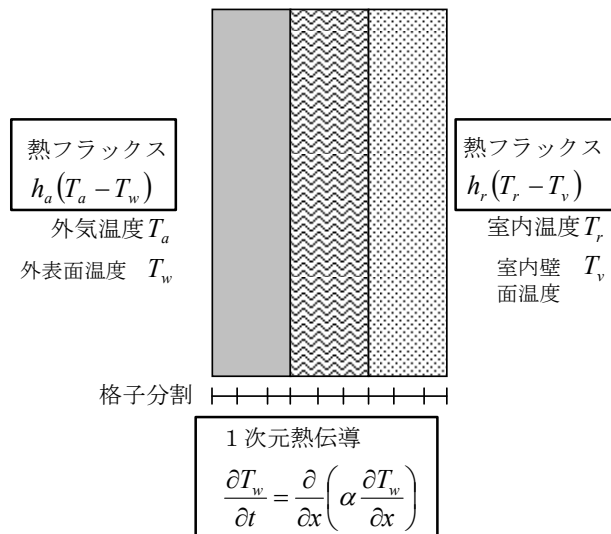
と表される。ここで、 $k_g$  は固体の熱伝導係数[W/(m・K)]である。また、地物面法線座標  $z$  は内向きを正にとる。固体内への熱伝導量  $G$  を評価するため、1次元熱伝導方程式を考える。

$$\rho_g C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( k_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right) \quad (4.18)$$

壁面内の熱伝導は、表 4.6 に示すように層状の材質構成を考慮して、1次元熱伝導方程式から算定する。

表 4.6 屋根・屋上及び壁の構成

	RC造	木造
屋根・屋上	 外 アスファルト10 コンクリート120 空気10 グラスウール50 石膏ボード10 内	 外 瓦30 木板10 アスファルト10 空気50 グラスウール50 石膏ボード10 内
壁	 外 コンクリート100 グラスウール60 石膏ボード10 内	 外 ブライウッド20 空気10 グラスウール50 石膏ボード10 内



## (2) 表面熱収支式の計算要領

固体内（地中内または建物壁面内）への熱伝導量  $G$  を評価するため、表面法線方向の 1 次元熱伝導方程式を考える。

$$\rho_g C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( k_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right) \quad (4.19)$$

ここで、 $\rho_g$  : 固体の密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $C_g$  : 固体の比熱[J/kg/K]である。不易層深さ  $z_B$  [m] まで計算領域をとると、固体表面  $z = 0$  および固体底面  $z = z_B$  における境界条件はそれぞれ次のように与えられる。

$$\text{固体表面} : \quad (T_g)_{z=0} = T_G \quad (4.20)$$

$$\text{固体底面} : \quad \left( \frac{\partial T_g}{\partial z} \right)_{z=z_B} = 0 \quad (\text{断熱}) \quad (4.21)$$

十分な深さを取らない場合、固体底面  $z = z_B$  における境界条件は次のように与えられる。

$$\text{固体底面} : \quad \left( k_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right)_{z=z_B} = h_B (T_B - T_{g,z=z_B}) \quad (4.22)$$

ここで、 $h_B$  は固体底面での対流熱伝達係数[W/ (m<sup>2</sup>・K)]である。固体底面で温度固定とする場合は  $h_B$  を十分大きな値(例えば  $1 \times 10^{20}$ )とすればよい。

式(4.19)は差分法により離散化する。時間刻みおよび格子幅をそれぞれ  $\Delta t$  および  $\Delta z_k$  とし、熱伝導項を 2 次中心差分、時間項を Euler 陰解法で離散化すると、

$$\frac{\rho_{g,k} C_{g,k}}{\Delta t} (T_{g,k}^{n+1} - T_{g,k}^n) = \frac{2}{\Delta z_k} \left( k_{g,k+1/2} \frac{T_{g,k+1}^{n+1} - T_{g,k}^{n+1}}{\Delta z_k + \Delta z_{k+1}} - k_{g,k-1/2} \frac{T_{g,k}^{n+1} - T_{g,k-1}^{n+1}}{\Delta z_k + \Delta z_{k-1}} \right) \quad (4.23)$$

となる。ここで、セル界面の熱伝導係数  $k_{g,k+1/2}$  は調和平均により内挿する。

$$k_{g,k+1/2} = \frac{k_{g,k} k_{g,k+1} (\Delta z_k + \Delta z_{k+1})}{k_{g,k} \Delta z_{k+1} + k_{g,k+1} \Delta z_k} \quad (4.24)$$

式(4.23)の係数行列は三重対角行列となるため TDMA 法により解くことができる。

## 時間積分法

手順1：固体表面温度  $T_G$  の計算

$n$  時刻レベルの固体温度分布  $T_{g,k}^n$  が与えられているとき、固体内への熱伝導量  $G$  は次のように計算できる。

$$G = k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} \quad (4.25)$$

このとき、表面熱収支式は、 $n$  時刻レベルの固体表面温度  $T_G^n$  を未知数とした次のような非線形方程式になる。

$$S_{n\downarrow} + L_{a\downarrow} - \varepsilon\sigma(T_G^n)^4 + h(T_a - T_G^n) + L\beta h_q [q_a - q_G(T_G^n)] + k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} = 0 \quad (4.26)$$

式(4.26)はNewton法により解く。

$$\left[ 4\varepsilon\sigma(T_G^n)^3 + h + L\beta h_q \frac{\partial q_G}{\partial T_G} + \frac{2k_g}{\Delta z} \right] \Delta T_G^n = S_{n\downarrow} + L_{a\downarrow} - \varepsilon\sigma(T_G^n)^4 + h(T_a - T_G^n) + L\beta h_q [q_a - q_G(T_G^n)] + k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} \quad (4.27)$$

手順2：固体温度分布  $T_{g,k}$  の計算

式(4.26)から計算される固体表面温度  $T_G^n$  を用いて、境界条件式(4.20)および式(4.21)または式(4.22)のもと、式(4.23)を解くと、 $(n+1)$ 時刻レベルの固体温度分布  $T_{g,k}^{n+1}$  が与えられる。

### (3) 空調システム

#### 室内熱負荷

室内熱負荷は以下の式で建物ごとに総和をとる。

$$\text{熱負荷 (顕熱)} = \text{日射熱} + \text{貫流熱} + \text{内部発生顕熱} + \text{換気 (顕熱)} \quad (4.28)$$

$$\text{熱負荷 (潜熱)} = \text{内部発生潜熱} + \text{換気 (潜熱)} \quad (4.29)$$

$$\text{室内熱負荷} = \text{熱負荷 (顕熱)} + \text{熱負荷 (潜熱)} \quad (4.30)$$

#### ①日射熱：

四周の窓面から室内に入射する日射熱を建物全体で総和。

#### ②貫流熱：

四周の壁面(窓含む)と屋根・屋上面から室内に入射する貫流熱を熱伝導方程式から、建物全体で総和を取る。

#### ③換気：

換気に伴う空気交換による熱負荷は次式で与える。

$$\begin{aligned} H_{vs} &= \beta C_{pa} \rho_a V (T_a - T_r) \\ H_{vl} &= \beta L \rho_a V (q_a - q_r) \end{aligned} \quad (4.31)$$

ここで、 $H_{vs}$ ：換気による顕熱[W]、 $H_{vk}$ ：換気による潜熱[W]、 $\beta$ ：換気効率[-]、 $C_{pa}$ ：空気の定圧比熱[J/(kg・K)]、 $\rho_a$ ：外気の密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $V$ ：換気量[m<sup>3</sup>/s]、 $L$ ：蒸発潜熱[J/kg]、 $T_a$ ：外気の温度[K]、 $T_r$ ：室内の気温[K]、 $q_a$ ：外気の比湿[kg/kg]、 $q_r$ ：室内の比湿[kg/kg]である。

④単位時間当たりの換気回数および建物容積：入力データより与える。

⑤内部発生顕熱、内部発生潜熱：入力データより与える。

#### 屋外への放熱

屋外への放熱量は次のように評価する。

$$\text{顕熱} = \text{SHF} * (\text{室内熱負荷} + \text{室内熱負荷} / \text{COP}) - \text{換気 (顕熱)} \quad (4.32)$$

$$\text{潜熱} = (1 - \text{SHF}) * (\text{室内熱負荷} + \text{室内熱負荷} / \text{COP}) - \text{換気 (潜熱)} \quad (4.33)$$

ここで、SHFは顕熱比、COPは空調システム効率である。放熱位置については、住宅(戸建、集合)は壁面から均一に放熱することとし、住宅以外は屋上面から集中的に放熱する。

#### (4) 数値計算法

##### (a) 地物表面の面素分割

地物表面は複数の面素に分割し、表面熱収支や貫流熱などの計算は分割された面素単位で行う。流体計算や構造計算など連続体の計算を行うとき空間を計算格子に分割するのと同様の考え方である。分割方法はさまざま考えられるが、街区大気モデルの境界条件として用いたり、街区大気モデルとの連成計算を行ったりすることを考えると、街区大気モデルの計算格子を利用して面素分割するのが都合がよいと考えられる。

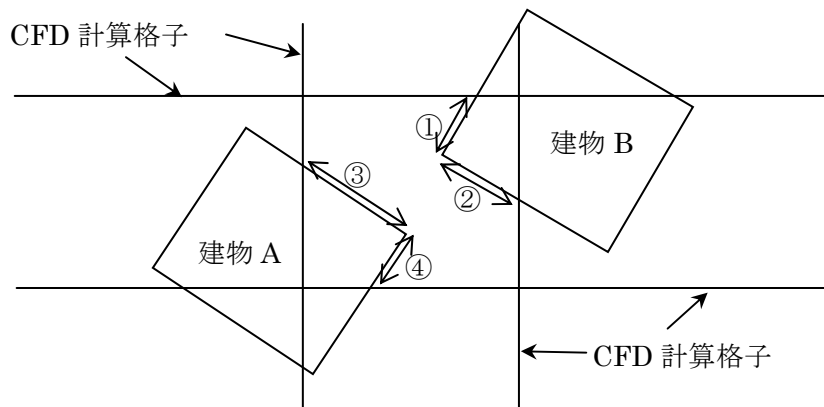


図 4.21 CFD 計算格子による地物表面の面素分割

図 4.21 は CFD 計算格子によって建物壁面を分割する要領を示したものである。建物 A の壁面は③と④の面素に分割され、建物 B の壁面は①と②の面素に分割される。日陰/日向の判定や直達光の入射角の評価なども面素単位でおこなうため、同じ CFD 計算セルに属する場合であっても法線ベクトルや表面被覆などが異なる場合は異なる面素に分割される。分割された面素には次のような属性が付与される。

記号	内容
i, j, k	面素が含まれる CFD 計算格子インデックス
area	面素の面積
nx, ny, nz	面素の単位法線ベクトル
ptyp	面素タイプ (建物、樹冠、土地)
styp	表面 ID
blid	建物 ID



単位法線ベクトルは任意の向きを与えることができるため、本来の地物表面の向きを正確に取り扱うことができる。面素タイプが「建物」の場合は建物 ID によりその面素がどの建物の面素であるかを認識し、表面 ID により屋上か壁面か窓ガラスかを認識する。面素タイプが「土地」の場合は表面 ID により土地利用属性を認識する。面素タイプが「樹冠」の場合は格子インデックス(i,j,k)により CFD 計算格子で分割された樹冠セルを認識する (図 4.22)。

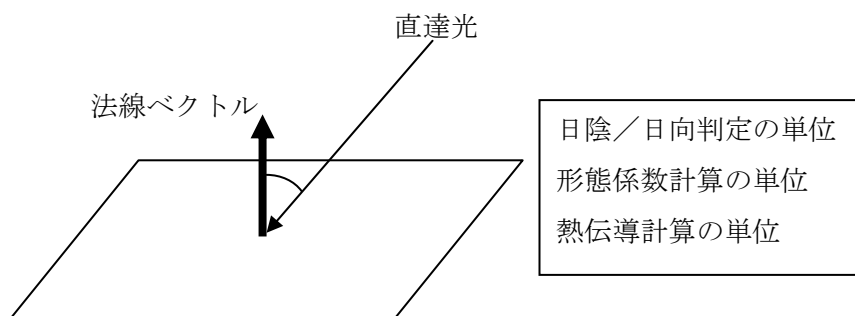


図 4.22 面素に付与される役割の概念図

(b) 表面物性・熱物性の割り当て

表面 ID により次の情報が管理される (図 4.23)。

- ・ 面素位置：屋上、壁、窓ガラス、その他(土地面素、樹冠面素の場合)
- ・ 構成材の層数
- ・ 各層の厚さと物性値 ID

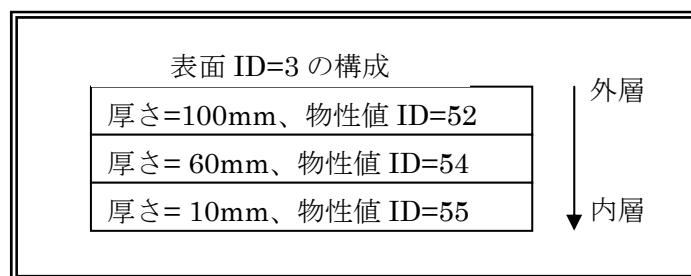


図 4.23 表面 ID が管理する情報のイメージ

物性値 ID により次の情報が管理される。

- ・ 表面物性：アルベト、射出率、蒸発効率
- ・ 熱物性：密度、熱容量、熱伝導係数

### (c) 建物熱負荷の集計

面素に付与された建物 ID により、面素ごとに計算された貫流熱、日射熱を建物 ID ごとに集計し、各建物の熱負荷を計算する。

### (d) 直達入射量の計算

太陽の方向を示す単位ベクトルを  $(S_x, S_y, S_z)$  とするとき、面素に付与された法線単位ベクトル  $(n_x, n_y, n_z)$  と日陰/日向判定フラグ  $s$  (日陰のときゼロ) を用いて、直達入射量  $S_d$  [W/m<sup>2</sup>] は次のように計算される。

$$\begin{aligned} S_d &= (1 - \alpha) S_{\perp} \cos \theta \times s \\ \cos \theta &= S_x n_x + S_y n_y + S_z n_z \end{aligned} \quad (4.34)$$

ここで、 $\alpha$  はアルベド、 $S_{\perp}$  は法線面直達日射量 [W/m<sup>2</sup>]、 $\theta$  は太陽位置ベクトルと面素の法線ベクトルがなす角 [rad.] である。

### (e) 貫流熱の計算

面素ごとの貫流熱  $F_{trans}$  [W/m<sup>2</sup>] は、固体内熱伝導計算で計算される室内壁表面の温度  $T_v$  [K]、室内温度  $T_r$  [K] および熱伝達係数  $h_r$  [W/(m<sup>2</sup> · K)] を用いて次のように計算される。

$$F_{trans} = h_r (T_v - T_r) \quad (\text{室内に入る側を正}) \quad (4.35)$$

### (f) 日射熱の計算

窓ガラス面素ごとの日射熱  $F_{insol}$  [W/m<sup>2</sup>] は、前記(d)項と同様の記号を用いて Lambert 則により次のように計算される。

$$F_{insol} = S_d \exp\left(-k \frac{d}{\cos \theta}\right) \quad (4.36)$$

ここで、 $k$  [1/m] は消散係数、 $d$  は窓ガラスの厚さ [m] である。

日射熱は全量が直接室内空気に吸収される訳ではなく、その多くは床面や内壁など室内構造物に吸収されたのち熱伝達により室内空気に還元される。本モデルでは室内構造物を床で代表させる。床の熱容量を  $C_f$  [J/K] とし、日射熱のうち床面に吸収される割合を  $\alpha_f$ 、室内空気に吸収される割合を  $(1 - \alpha_f)$  とする。このとき床面温度の変化を記述する方程式は次のようになる。

$$C_f \frac{\partial T_f}{\partial t} = \alpha_f \frac{Q_{insol}}{N_f} + A_f h (T_r - T_f) \quad (4.37)$$

ここで、 $Q_{insol}$  : 建物への日射熱[W]、 $N_f$  : 階数、 $A_f$  : 床面積[m<sup>2</sup>]、 $h$  : 熱伝達係数[W/(m<sup>2</sup>・K)]、 $T_r$  : 室温[K]、 $T_f$  : 床面温度[K]である。このとき、室温の変化を記述する方程式は次のようになる。

$$\rho C_p V \frac{\partial T_r}{\partial t} = Q_{total} - \alpha_f Q_{insol} + N_f A_f h (T_f - T_r) \quad (4.38)$$

ここで、 $\rho$  : 空気の密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $C_p$  : 空気の定圧比熱[J/(kg・K)]、 $V$  : 室内体積[m<sup>3</sup>]、 $Q_{total}$  : 建物への全熱負荷[W]である。また、床面と交換する熱量  $N_f A_f h (T_f - T_r)$  [W]は空調負荷に算入する。

#### (g) 間欠空調

運転時間を考慮して間欠的に空調システムを動作させるモデルを導入している。運転開始時刻、終了時刻をそれぞれ  $t_1, t_2$  [s]とし、運転開始から設定温度  $T_s$  に到達するまでの時間を  $\Delta t_r$  とする。非運転時間においては室温  $T_r$  の変化を式(4.39)により計算する。一般には運転開始時において室温は設定温度と乖離があるため、時刻  $t_1$  から  $t_1 + \Delta t_r$  までの間は  $Q_{adjust}$  [W]だけ空調負荷が増減する。

$$Q_{adjust} = \rho C_p V \frac{T(t_1) - T_s}{\Delta t_r} \quad (4.39)$$

#### (h) 放射熱伝達の計算

放射熱伝達の計算法として、Gebhart の吸収係数法と射度法が代表的である。

[Gebhart の吸収係数法]

Gebhart の吸収係数  $B_{ij}$  は次式で定義される。

$$B_{ij} - \sum_{k=1}^n B_{kj} (1 - \varepsilon_k) F_{ik} = \varepsilon_j F_{ij} \quad (4.40)$$

ここで、 $F_{ij}$  は  $i$  面から  $j$  面を望んだときの形態係数 ( $i$  面から放射された熱エネルギーの内、 $j$  面に到達する割合)である。また、 $\varepsilon_i$  :  $i$  面の放射率、 $n$  : 固体表面の総分割数である。このとき、 $i$  面から出てゆく正味の熱量  $Q_i^G$  は次式で与えられる。

$$Q_i^G = R_i - \sum_{j=1}^n B_{ji} R_j \quad (4.41)$$

ただし、 $R_i$  は  $i$  面からの放射熱エネルギーで、次のように表される。

$$R_i = \sigma \varepsilon_i A_i T_i^4 \quad (4.42)$$

ここで、 $\sigma$  : Stefan-Boltzmann 定数、 $A_i$  :  $i$  面の面積、 $T_i$  :  $i$  面の温度である。

[射度法]

射度  $G_i$  は次式で定義される。

$$G_i = R_i + (1 - \varepsilon_i) \sum_{j=1}^n G_j F_{ji} \quad (4.43)$$

このとき、 $i$  面から出てゆく正味の熱量  $Q_i^S$  は次式で与えられる。

$$Q_i^S = G_i - \sum_{j=1}^n G_j F_{ji} = R_i - \varepsilon_i \sum_{j=1}^n G_j F_{ji} \quad (4.44)$$

ここで、これら二つの方法が等価であることを示すため、以下に  $Q_i^S = Q_i^G$  であることを証明する。

式(4.40)を行列表示すると次のようになる。

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{B} = \mathbf{C} \quad (4.45)$$

ここで、行列  $\mathbf{A}, \mathbf{C}$  は  $n$  次正方行列で、その成分  $a_{ij}, c_{ij}$  は次のように与えられる。

$$a_{ij} = (1 - \varepsilon_j) F_{ij}, \quad c_{ij} = \varepsilon_j F_{ij} \quad (4.46)$$

また、行列  $\mathbf{B}$  の成分は Gebhart 吸収係数  $B_{ij}$  であり、行列  $\mathbf{I}$  は  $n$  次単位行列である。

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} B_{11} & \cdots & B_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n1} & \cdots & B_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.47)$$

式(4.41)を行列表示すると次のようになる。

$$\mathbf{Q}^G = \mathbf{R} - \mathbf{B}^T \mathbf{R} \quad (4.48)$$

ここで、上付添字  $T$  は転置行列であることを表す。また、ベクトル  $\mathbf{Q}^G$  および  $\mathbf{R}$  は  $n$  次列ベクトルで、その成分は正味の放出熱量  $Q_i^G$  および放射熱エネルギー  $R_i$  である。

$$\mathbf{Q}^G = \begin{bmatrix} Q_1^G \\ \vdots \\ Q_n^G \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} \quad (4.49)$$

同様に、式(4.43)、式(4.44)を行列表示するとそれぞれ次のようになる。

$$\mathbf{G} = \mathbf{R} + \mathbf{A}^T \mathbf{G} \quad (4.50)$$

$$\mathbf{Q}^S = \mathbf{R} - \mathbf{C}^T \mathbf{G} \quad (4.51)$$

ここで、ベクトル $\mathbf{Q}^S$ および $\mathbf{G}$ は $n$ 次列ベクトルで、その成分は正味の放出熱量 $Q_i^S$ および射度 $G_i$ である。

$$\mathbf{Q}^S = \begin{bmatrix} Q_1^S \\ \vdots \\ Q_n^S \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} G_1 \\ \vdots \\ G_n \end{bmatrix} \quad (4.52)$$

式(4.50)より、

$$\mathbf{G} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{R} \quad (4.53)$$

であるから、これを式(4.51)に代入すると、

$$\mathbf{Q}^S = \mathbf{R} - \mathbf{C}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{R} \quad (4.54)$$

を得る。式(4.45)より、

$$\mathbf{C}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A}^T)^{-1} = \mathbf{B}^T \quad (4.55)$$

であるから、これを式(4.54)に代入すれば、

$$\mathbf{Q}^S = \mathbf{R} - \mathbf{B}^T \mathbf{R} \quad (4.56)$$

となり、式(4.56)と式(4.48)とを比較すれば、

$$\mathbf{Q}^S = \mathbf{Q}^G \quad (4.57)$$

であることが分かる。

以上により、数学的には吸収係数法、射度法のどちらを適用しても放射熱伝達の計算は可能であるが、数値計算法としては必ずしも「等価」とはいえない。居室内のようにどの面素からも実質的にほぼすべての面素が見えてしまう体系と、実街区のように近傍の面素しか見えず、実質的に大部分の面素が見えない体系とでは、二つの方法で優劣が逆転すると考えられる。以下、この点を検討する。

まず、計算機のコアメモリに格納する必要がある情報は、Gebhart 法の場合は吸収係数  $B_{ij}$  であり、射度法の場合は形態係数  $F_{ij}$  である。居室内のようにどの面素からも実質的にほぼすべての面素が見えてしまうような体系ではどちらも配列要素数は  $n^2$  ( $n$  は面素の総数) であり相違いはない。Gebhart 法では放射熱伝達計算を開始する前に予め連立方程式を解いて吸収係数  $B_{ij}$  を求めておけば放射熱伝達計算のプロセスで連立方程式を解く必要がなく、各面素の正味の放熱量は計算できる。このとき総和計算に必要な演算量は各面素につき積和演算  $n$  回で済む。一方、射度法の場合では、放射熱伝達計算のプロセスにおいて都度、連立方程式を解く必要があり、積和演算は「 $n \times$  行列解法の反復回数」だけ必要となり、演算量については圧倒的に不利となる。ところが、実街区のように直接見えている面素の数が総面素数  $n$  に比べて十分小さい場合は、状況が逆転する。面素から直接見える面素数が平均で  $n_v$  であるとする。射度法の場合、コアメモリに格納するのは形態係数  $F_{ij}$  であるから必要な配列要素数は  $n \times n_v$  となる。一方、Gebhart 法の場合、面素  $i$  から面素  $j$  に反射した後に面素  $k$  に入射するプロセスを考慮するため、1 回反射した時点で面素  $i$  から放射エネルギーを受ける面素数は  $n_v \times n_v$  となる。2 回反射時点で  $n_v^3$ 、3 回反射した時点で  $n_v^4$  と増加することになり吸収係数  $B_{ij}$  に必要な配列要素数は  $n \times n_v^2$ 、 $n \times n_v^3$ 、 $n \times n_v^4$ 、

とねずみ算式に増加することになる。もちろん、反射した後に入射する面素には重複があるので、単純なねずみ算になる訳ではないが、直接には見えない面素についても吸収係数  $B_{ij}$  を考慮しなければならないため、一般に形態係数  $F_{ij}$  の配列要素数より数倍大きくなると考えられる。今、仮にそれを 10 倍と仮定すると、形態係数  $F_{ij}$  のバンド幅が 100 のとき、吸収係数  $B_{ij}$  のバンド幅は 1000 になる。このとき、Gebhart 法では式(1.5.7.2)の総和計算に必要な演算量は各面素につき積和演算 1000 回となり、射度法では連立方程式を解くために積和演算は「100×行列解法の反復回数」となる。射出率は 0.9 程度すなわち反射率は 0.1 程度であるから、連立方程式は十分に優位対角な係数行列であるため、反復回数は数回程度と考えられる。反復回数は収束判定誤差に依存するが、何回反射する先まで吸収係数を考慮するかということとパラレルな関係にあると考えられるため、演算量については互角か射度法優位と考えられる。そうすると、メモリ量で圧倒的に優位である斜度法の方が、実街区の場合には有利であると考えられる。本モデルでは射度法を採用した。

(5) 物性値

本モデルで必要となる物性値の例を表 4.7、表 4.8 および表 4.9 にそれぞれ示す。

表 4.7 地表面の熱物性値

地表面被覆	反射率	蒸発効率		射出率	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	比熱 [J/(kg·K)]	熱拡散係数 [mm <sup>2</sup> /s]
		夏季	冬季				
建物敷地	0.18	0.02	0.02	0.96	2400	0.88	0.72
アスファルト	0.18	0	0	0.91	2100	0.88	0.38
草地	0.16	0.3	0.05	0.95	1800	1.18	0.53
樹木面	0.16	0.3	0.05	0.95	1800	0.00	0.00

表 4.8 建築材の熱物性値

建築材	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	比熱 [kJ/(kg·K)]	熱拡散率 [mm <sup>2</sup> /s]	熱伝導率 [W/(m·K)]
板ガラス	2540	0.77	0.40	0.78
アスファルト	2100	0.88	0.38	0.70
コンクリート	2400	0.79	0.69	1.31
グラスウール	32	0.84	1.34	0.036
石膏ボード	910	1.13	0.14	0.14
瓦	2000	0.76	0.63	0.96
木板	550	1.30	0.21	0.15
プライウッド	550	1.30	0.21	0.15

表 4.9 屋上・屋根や壁面、窓面の建材の仕様と厚さ

構造	位置	層No (外→内)	厚さ[m]	建材	
RC造	屋上・ 屋根	1	0.01	アスファルト	
		2	0.12	コンクリート	
		3	0.05	グラスウール	
		4	0.01	石膏ボード	
	壁面	1	0.1	コンクリート	
		2	0.06	グラスウール	
		3	0.01	石膏ボード	
	窓面	1	0.008	板ガラス	
	木造	屋上・ 屋根	1	0.03	瓦
			2	0.01	木板
3			0.01	アスファルト	
4			0.05	グラスウール	
5			0.01	石膏ボード	
壁面		1	0.02	プライウッド	
		2	0.05	グラスウール	
		3	0.01	石膏ボード	
窓面		1	0.003	板ガラス	



(6) 街区空調負荷モデルの計算の流れ

街区空調負荷モデルの概要及び計算フローチャートを図 4.24 に示す。

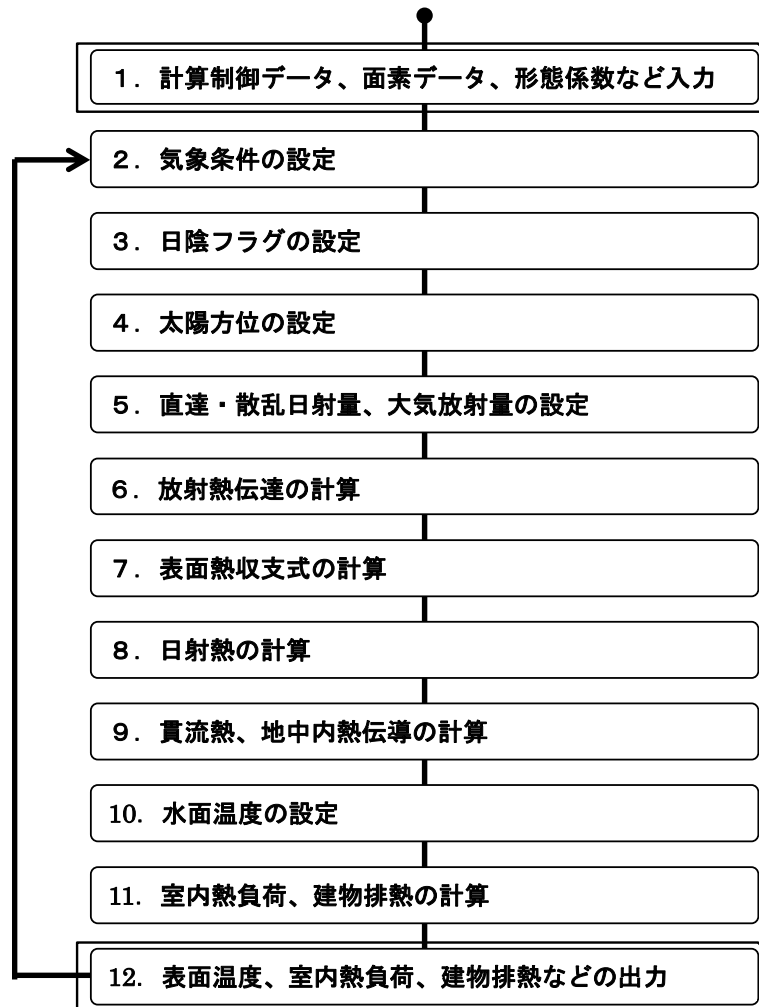
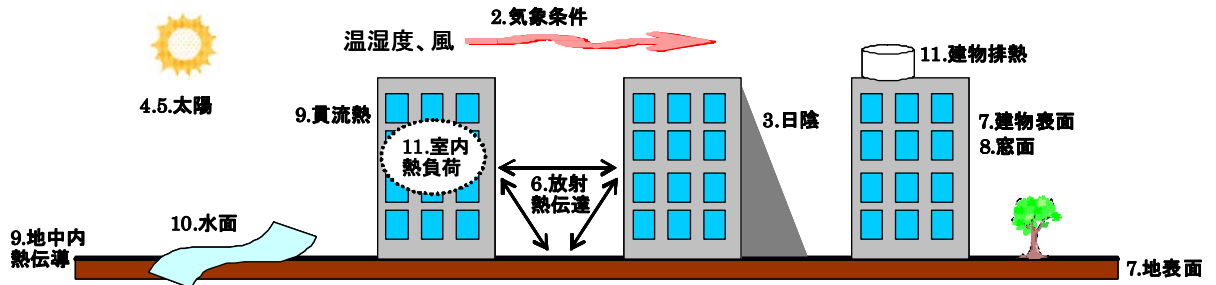


図 4.24 街区空調負荷モデルの概要及び計算フローチャート

## (7) 街区大気モデルとの連成

### (a) 街区大気モデル

大気モデルでは圧縮性を考慮した方程式系を取り扱う。音波は SIMPLE 法により陰的に除去し、陽には取り扱わない。建物形状の近似精度を向上させるため、FAVOR (Fractional-Area-Volume Obstacle Representation)法により流体体積占有率 $G$ を考慮している。また、乱流モデルには標準型 $k-\varepsilon$ モデルを採用している。ファブル平均（密度の重みをかけた平均、質量加重平均）により、密度変動の相関を簡易的に取り扱う。

#### [1]混合気体の質量保存方程式

$$G_v \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho u_j) = 0 \quad (4.58)$$

#### [2]混合気体の運動量保存方程式

$$G_v \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho u_i u_j) = -G_v \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_j (\mu + \mu_T) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + G_v \rho g_i + G_v \rho F_i + G_v \rho f(\mathbf{v} \times \mathbf{k})_i \quad (4.59)$$

$$F_i = a C_d u_i \sqrt{u_j^2} \quad (4.60)$$

ここで、 $f$ は Coriolis パラメータで $f = 2\Omega \sin \phi$ 。ただし、 $\Omega = 2\pi / 86400$  秒、緯度 $\phi = 35.4$ 度。また、 $a$ ：葉面積密度 $[=1.5\text{m}^2/\text{m}^3]$ 、 $C_d$ ：樹冠の抵抗係数 $[=0.2]$ 。

#### [3]混合気体のエネルギー方程式

$$C_p \left[ G_v \frac{\partial}{\partial t} (\rho \theta) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho \theta u_j) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_j \left( \lambda + \frac{C_p \mu_T}{Pr_T} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right] + \frac{1}{P} \left[ \frac{h}{V_c} \sum_m S_m (T_m - T) + Q_s \right] \quad (4.61)$$

ここで、 $Q_s$ ：人工排熱(顕熱) $[\text{W}/\text{m}^3]$ 、 $P$ ：Exner 関数 $[=(p/p_0)^{R/C_p}]$ 、 $Pr_T$ ：乱流 Prandtl 数 $[=0.9]$ 。

[4]水蒸気の質量保存方程式

$$G_v \frac{\partial}{\partial t}(\rho q) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho q u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_j \left( \frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial q}{\partial x_j} \right] + \left( \frac{S_G}{V_c} F_q + \frac{Q_L}{L} \right) \quad (4.62)$$

$$F_q = \beta h_q (q - q_G) \quad (4.63)$$

$$q_G = \frac{0.622(e_{sat}/p)}{1 - 0.378(e_{sat}/p)} \quad (4.64)$$

$$e_{sat} = 6.11 \times 10^2 \cdot \exp \left[ \frac{L}{R_v \cdot 273} \left( 1 - \frac{273}{T_G} \right) \right] \quad (4.65)$$

ここで、 $\beta$  : 蒸発効率、 $h_q$  : 物質伝達係数(=  $h/C_p$ )、 $q_G$  : 地表面飽和比湿、 $Q_L$  : 人工排熱(潜熱)[W/m<sup>3</sup>]、 $L$  : 蒸発潜熱[J/kg]、 $Sc_T$  : 乱流 Schmidt 数[=0.9]。

[5] k -  $\varepsilon$  方程式

$$G_v \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_j \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_v (P_k + G_k - \rho \varepsilon + \rho u_j F_j) \quad (4.66)$$

$$G_v \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ G_j \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + G_v \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k + C_{\varepsilon 3} \max[0, G_k] - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon + C_{p\varepsilon 1} \rho u_j F_j) \quad (4.67)$$

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.68)$$

$$P_k = \left[ \mu_T \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (4.69)$$

$$G_k = \frac{\mu_T}{Pr_T} \frac{g_i}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \frac{g_i}{R} \left( \frac{R_o}{M_v} - \frac{R_o}{M_a} \right) \frac{\partial q}{\partial x_i} \quad (4.70)$$

ここで、 $M_v$  : 水蒸気の分子量[kg/mol]、 $M_a$  : 乾燥空気の分子量[kg/mol]。また、補正係数  $C_{p\varepsilon 1} = 1.8$ 。

## (b) 数値計算法

離散化は3次元 Cartesian 座標系を用い、基礎方程式は有限差分法による。変数配置は、流速各成分をセル境界面に、密度、温度、圧力などのスカラー量をセル中心に配置するスタガードグリッドを採用した。移流項は1次精度風上差分、拡散項は2次精度中心差分により離散化した。流れ場の時間積分は、完全陰解法を用いた。

### 1) 空間差分

離散化にあたってはセル中心で定義される流体体積占有率とセル界面で定義される流体の体積占有率を区別して取り扱う。以上で示した各基礎方程式はすべて以下の形に表すことができる。

$$G_v \frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(G_j \rho \phi u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( G_j D \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + G_v \rho S \quad (4.71)$$

以下では式(4.71)に基づいて離散化の要領を説明する。連続式

$$G_v \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(G_j \rho u_j) = 0 \quad (4.72)$$

に物理量  $\phi$  を掛けて、式(4.71)から引くと、

$$G_v \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(G_j \rho \phi u_j) - \phi \frac{\partial}{\partial x_j}(G_j \rho u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( G_j D \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + G_v \rho S \quad (4.73)$$

x 方向について式(4.73)の移流項を離散化すると、

$$\frac{1}{\Delta x_i} \left[ (G_{x,i+1/2} \phi_{i+1/2} (\rho u)_{i+1/2} - \phi_{i-1/2} G_{x,i-1/2} (\rho u)_{i-1/2}) - \phi_i (G_{x,i+1/2} (\rho u)_{i+1/2} - G_{x,i-1/2} (\rho u)_{i-1/2}) \right] \quad (4.74)$$

ここで、 $G_v$  : セル中心で定義される有効体積占有率、 $G_x$  : x 軸に垂直なセル界面で定義される面積開口率、である。半整数の形 (例えば  $i+1/2$  など) で表記される添字はセル界面で定義されることを表し、整数の形 (例えば  $i$  など) で表記される添字はセル中心で定義されることを表す。

拡散項についても同様に次のように離散化される。

$$\frac{1}{\Delta x_i} \left[ G_{x,i+1/2} D_{i+1/2} \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{\Delta x_{i+1/2}} - G_{x,i-1/2} D_{i-1/2} \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{\Delta x_{i-1/2}} \right] \quad (4.75)$$

離散化の要領は y 方向、z 方向も同様である。

## 2) 時間積分

完全陰解法の説明のため、流体体積占有率に関する記述を省略し、以下の表記にて基礎方程式を再掲する。

### [1]質量保存方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (4.76)$$

### [2]運動方程式

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + R_{ui} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (4.77)$$

### [3]エネルギー方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + R_\theta = 0 \quad (4.78)$$

### [4]比湿の質量保存方程式

$$\frac{\partial q}{\partial t} + R_q = 0 \quad (4.79)$$

### [5] $k - \varepsilon$ 方程式

$$\frac{\partial k}{\partial t} + R_k = 0 \quad (4.80)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + R_\varepsilon = 0 \quad (4.81)$$

エネルギー方程式および比湿の質量保存方程式を、時間後退差分を用いて離散化する (Euler 陰解法)。

$$\left[ \frac{1}{\Delta t} + \left( 1 + \frac{1}{C} \right) \left( \frac{\partial R_\theta}{\partial T} \right)^n \right] \Delta^n \theta = -R_\theta^n \quad (4.82)$$

$$\left[ \frac{1}{\Delta t} + \left( 1 + \frac{1}{C} \right) \left( \frac{\partial R_q}{\partial q} \right)^n \right] \Delta^n q = -R_q^n \quad (4.83)$$

$$\Delta^n \theta = \theta^{n+1} - \theta^n, \quad \Delta^n q = q^{n+1} - q^n \quad (4.84)$$

状態方程式から次点の密度を計算する。

$$\rho^{n+1} = p^n / (RT^{n+1}) \quad (4.85)$$

運動方程式を 2 段階分離し離散化する。

$$\left[ \frac{1}{\Delta t} + \left(1 + \frac{1}{C}\right) \left(\frac{\partial R_{ui}}{\partial u_i}\right)^n \right] \Delta^n u_i = -R_{ui}^n \quad (4.86)$$

$$\Delta^n u_i = \tilde{u}_i - u_i^n \quad (4.87)$$

$$\Delta^n (\rho u_i) = -\Delta t' \frac{\partial(\delta p)}{\partial x_i} \quad (4.88)$$

$$\Delta^n (\rho u_i) = (\rho u_i)^{n+1} - \rho^{n+1} \tilde{u}_i \quad (4.89)$$

$$\frac{1}{\Delta t'} = \frac{1}{\Delta t} + \frac{1}{C} \left(\frac{\partial R_{ui}}{\partial u_i}\right)^n \quad (4.90)$$

式(4.88)の発散をとると、

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Delta t' \frac{\partial(\delta p)}{\partial x_j} \right) = \frac{\rho^{n+1} - \rho^n}{\Delta t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho^{n+1} \tilde{u}_j) \quad (4.91)$$

$k - \varepsilon$  方程式を、時間後退差分を用いて離散化する(Euler 陰解法)。

$$\left[ \frac{1}{\Delta t} + \left(1 + \frac{1}{C}\right) \left(\frac{\partial R_k}{\partial k}\right)^n \right] \Delta^n k = -R_k^n \quad (4.92)$$

$$\Delta^n k = k^{n+1} - k^n \quad (4.93)$$

$$\left[ \frac{1}{\Delta t} + \left(1 + \frac{1}{C}\right) \left(\frac{\partial R_\varepsilon}{\partial \varepsilon}\right)^n \right] \Delta^n \varepsilon = -R_\varepsilon^n \quad (4.94)$$

$$\Delta^n \varepsilon = \varepsilon^{n+1} - \varepsilon^n \quad (4.95)$$

式(4.82)、式(4.83)、式(4.86)、式(4.92)、式(4.94)に現れる係数行列は非対称行列となるので Bi-CGSTAB 法により計算する。また、式(4.91)のポアソン方程式に現れる係数行列は対称行列となるので ICCG 法により計算する。

(c) 境界条件

アメダスデータなどから境界条件を設定する場合の要領を以下に説明する。

1) 風速

1/7 乗則により鉛直プロファイルを与える。

$$\frac{u}{u_0} = \left( \frac{z}{z_0} \right)^{1/7} \quad (4.96)$$

ここで、 $z_0$  : 測定高[m]、 $u_0$  : 測定風速[m/s]である。東京アメダス測定高は 6.1m である。

2) 温位および比湿

毎時の観測値を一様に設定する。

3) 上空境界の圧力

上空境界の圧力は等温位場における静水圧分布の式

$$p^n = (p_{z=0})^n - \frac{ngp_0^n}{R\theta} z \quad (n = R/C_p) \quad (4.97)$$

から計算する。ここで、 $p_0 = 1000$  [hPa]、 $R = 287$  [J/(kg·K)]、 $C_p = 1005$  [J/(kg·K)]、 $g = 9.8$  [m/s<sup>2</sup>]である。

4)  $k$  および  $\varepsilon$

乱流エネルギー  $k$  および乱流エネルギー散逸率  $\varepsilon$  の鉛直プロファイルは、

$$\mu_T \frac{\partial u}{\partial z} = \text{一定} \quad , \quad \varepsilon = \sqrt{C_\mu} k \frac{\partial u}{\partial z} \quad (4.98)$$

を仮定する。すなわち、

$$\rho k = \text{一定。}$$

ただし、簡単のため密度  $\rho$  を一定とするため、実際は  $k = \text{一定}$  とする。一定とする乱流エネルギー  $k$  は次のように計算する。風速に関する鉛直プロファイルを与える 1/7 乗則を適用して地表面付近  $z_1 = 0.5\text{m}$  における風速  $u_1$  を計算する。

$$\frac{u_1}{u_0} = \left( \frac{z_1}{z_0} \right)^{1/7} \quad (4.99)$$

地表面付近では対数則を適用して、摩擦速度  $u^*$  を計算する。

$$\frac{u_1}{u^*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left( \frac{z_1 u^*}{\nu} \right) + A \quad (4.100)$$

これより乱流エネルギー  $k$  は次のように与えられる。

$$k = \frac{(u^*)^2}{\sqrt{C_\mu}} \quad (4.101)$$



境界条件の設定要領をまとめると表 4.10 のようになる。

表 4.10 上空および側方境界条件

上空面	圧力固定。 u, v 固定。 温位固定。 比湿固定。 k, ε 固定。 (圧力を固定するのでwは Kappa の計算により決められる)
流入出面	圧力勾配ゼロ。 u, v, w 固定。 境界風速が流入の場合 温位固定。 比湿固定。 k, ε 固定。 境界風速が流出の場合 温位勾配ゼロ。 比湿勾配ゼロ。 k, ε 勾配ゼロ。
地表面 壁面	圧力勾配ゼロ。 対数則。

(d) 街区大気モデルの計算の流れ

街区大気モデルの概要及び計算フローチャートを図 4.25 に示す。

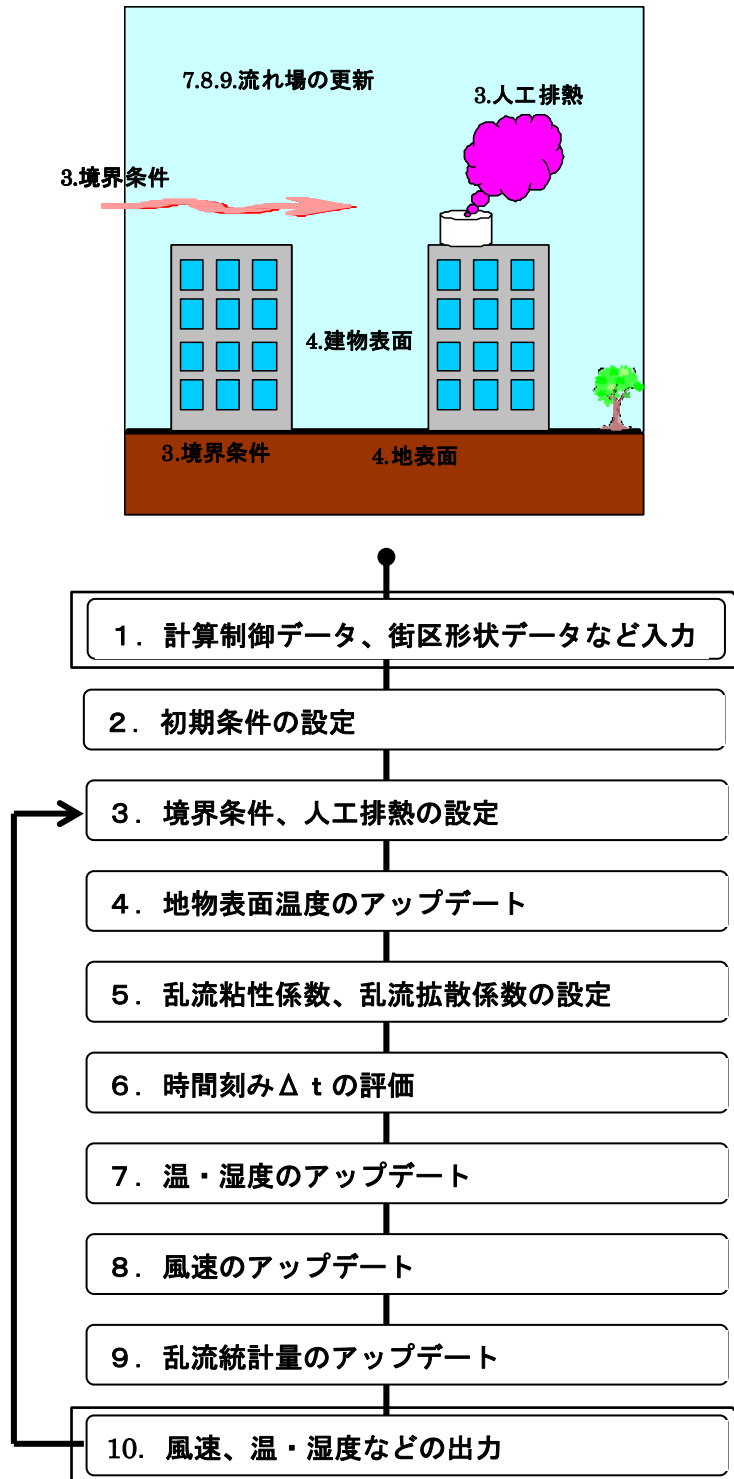


図 4.25 街区大気モデルの概要及び計算フローチャート

## (8) 連成手法

### (a) 顕熱・潜熱輸送の連成手法

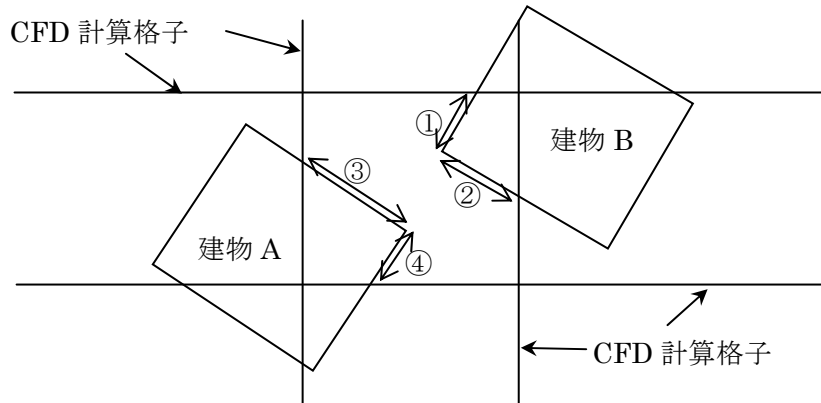


図 4.26 CFD 計算格子と建物壁面の配置

図 4.26 に示すように、建物壁面は CFD 計算格子により複数の面素に分割される。①～④で示した部分が分割された面素である。地表面も同様に CFD 計算格子により面素に分割される。建物表面および地表面と大気との間の顕熱・潜熱輸送は CFD 計算セルおよび面素単位に評価する。

### (b) 時間積分の取り分け

CFD 計算での時間刻みは 5 m 格子の場合、陽的な安定条件からは 1 秒程度である。ただし、本作業で用いる CFD モデルは陰解法を採用しているため、数十秒ないし数百秒の時間刻みでも安定に計算を進めることができる。一方、空調負荷計算モデルは壁面内の熱伝導計算に差分法を適用しているが、同様に陰解法を適用しているため時間刻みの制約は緩和されているので、時間積分の精度のみを考慮して 10 分～15 分の時間刻みを適用することが多い。プログラム実装上は CFD 計算数ステップに対して空調モデル計算 1 回を行うようにする。

### (c) 領域分割法による並列計算

空調負荷計算モデルでは、建物・地表面間の放射熱伝達計算を除けば隣接領域とのデータ通信は必要なく、データ分散するだけで並列計算が可能となる。また、CFD モデルと空調負荷計算モデルとで同一の領域分割を適用すれば、これら二つのモデル間における情報

交換の際にもデータ通信は必要ない。以上により、領域分割法により隣接領域との間で新たにデータ通信が必要となる演算は放射熱伝達計算のみとなる(もちろん、CFD モデルで既に発生しているデータ通信はここでは除外する)。偏微分方程式の場合では隣接領域との間で必要となるデータ通信は領域境界付近の高々数メッシュで済むが、放射熱伝達計算では数百メートルの範囲までデータ通信の対象になると考えられる。この範囲は 5m 格子の場合なら数十メッシュの範囲になる。CFD モデルの場合と比較してデータ通信によるオーバーヘッドは大きくなる。このオーバーヘッドを回避するための代替案として、データ通信が必要でない程度まで並列分割領域をオーバーラップさせる手法も考えられるが、この場合では、放射熱伝達以外の計算もオーバーラップ領域で冗長に計算する必要があるうえ、CFD モデルの領域分割と異なる領域分割を適用することによる新たなデータ通信が必要になる。放射熱伝達計算は計算量・データ量を低減できる手法も考えられるため、こうした手法も視野に入れて考えると、並列分割領域をオーバーラップさせる手法の採用は見送る方がよいと考える。データ通信のオーバーヘッドが実効効率にどの程度の影響を与えるかは、計算機スペックに依存する面もあり一律の議論は困難であるが、例えば地球シミュレータの場合では、1PE あたりのメモリ量が大きいことおよびノード間転送速度が十分であることから、ほとんど問題にならないと見込まれる。以上により、本作業では CFD モデルと空調負荷計算モデルとで同じ領域分割を適用し、放射熱伝達計算で必要となる近隣の情報をデータ通信する手法を採用した (図 4.27)。

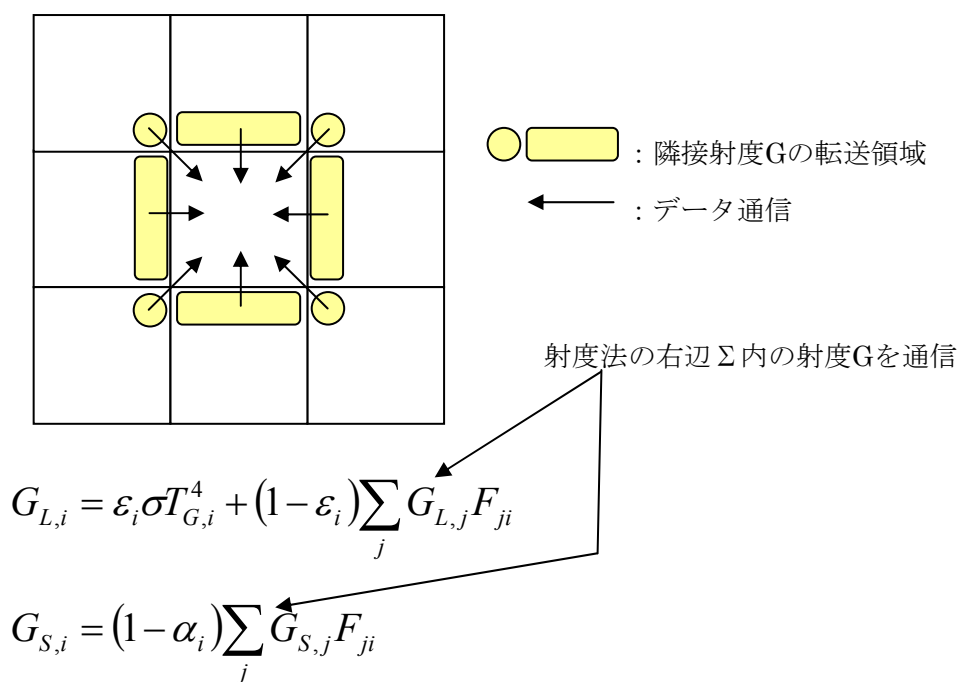


図 4.27 放射熱伝達計算でのデータ通信概念図

空調負荷計算モデルの領域分割法を適用した場合の並列計算の動作を確認するため、中野地区を図 4.28 に示すように 4 つの領域に分割して並列計算を実施した。計算は 1 月 1 日の 24 時間について実施した。領域分割しない場合と比較して、表面温度および空調負荷の結果が 10 桁程度の精度で合致していることを確認した。

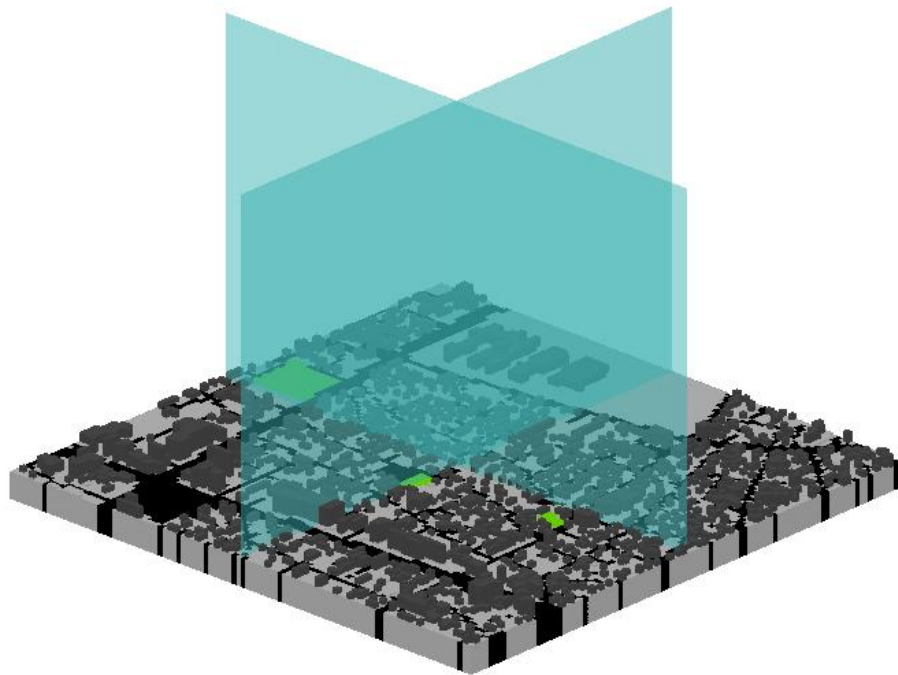


図 4.28 中野地区の並列計算における領域分割

(d) 連成処理のフローチャート

連成計算のフローチャートを図 4.29 に示す。

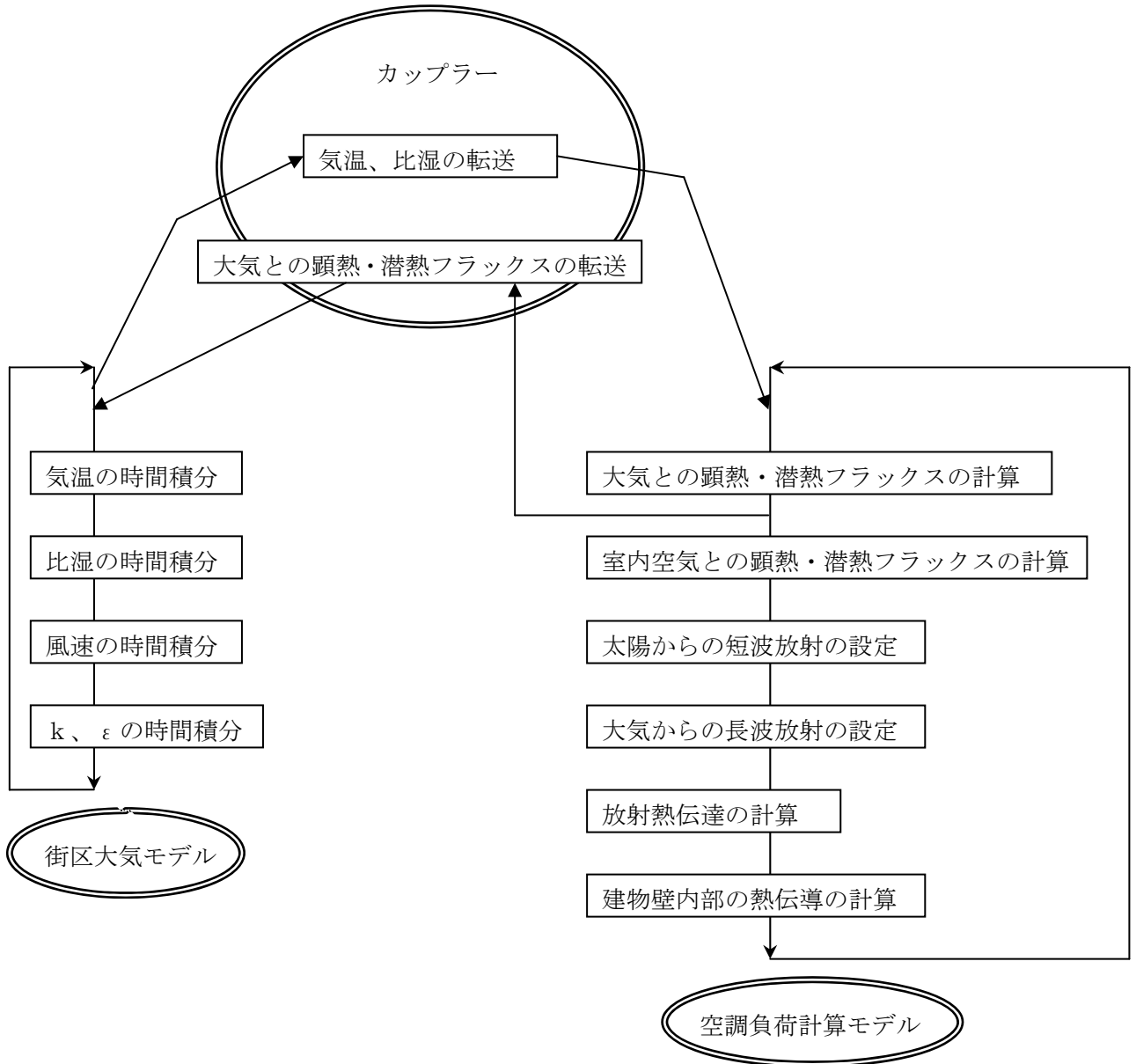


図 4.29 連成処理のフローチャート

#### (e) 空調負荷計算モデルのプログラム最適化

地球シミュレータを用いる場合、大規模計算に備えてベクトル計算の最適化が必要である。最適化前の性能は、ベクトル化率：85.1%、FLOPS 値：352 MFLOPS であった。

最適化にあたっては、地球シミュレータの FTRACE 機能によりルーチン単位の性能情報を取得した。表 4.11 に示すように最適化前の段階では次の三つのルーチンの性能が極端に低いことが判明した。

表 4.11 ルーチン詳細情報、最適化前

	FLOPS値	ベクトル化率	ルーチン処理概要
tsrc_cal_radref	65.1	61.76	射度法の計算
tsrc_window	40.6	65.02	窓透過光の計算
tsrc_building	114.7	52.18	空調負荷の計算

最適化後は表 4.12 に示すように大幅に改善された。

表 4.12 ルーチン詳細情報、最適化後

	FLOPS値	ベクトル化率	ルーチン処理概要
tsrc_cal_radref	868.2	99.62	射度法の計算
tsrc_window	2290.1	99.35	窓透過光の計算
tsrc_building	441.6	99.71	空調負荷の計算

tsrf\_cal\_radref と tsrc\_builging については、間接アドレスによる総和計算が回帰参照となりベクトル化を阻害していたため、総和計算を複数のグループに分離して回帰参照を回避したうえで、ディレクティブを挿入してベクトル化を促進した。tsrc\_window については、最内ループがガラス厚さ方向のベクトル長の短いループとなっていたため、面素に関するベクトル長の長いループを最内ループとするようループの入れ替えを行った。

その結果、最適化後の性能はベクトル化率：99.1%、FLOPS 値：3020 MFLOPS が得られた。地球シミュレータを利用するために必要な要件であるベクトル化率 95%以上を達成できている。また、FLOPS 値も 10 倍近く向上し、演算速度も大幅に改善されていることが分かる。

図 4.30～4.33 にプロファイラによる計算効率の診断結果を示す。

```

***** Program Information *****
Real Time (sec)           :      8747.800668
User Time (sec)          :      8586.777621
Sys Time (sec)           :         71.989732
Vector Time (sec)        :      1767.140868
Inst. Count              :     1998678108389.
V. Inst. Count           :     140425953054.
V. Element Count         :     10637730585188.
FLOP Count               :     3024183566252.
MOPS                     :     1455.258689
MFLOPS                   :         352.190740
A. V. Length            :         75.753309
V. Op. Ratio (%)         :         85.129204
Memory Size (MB)        :     1728.031250
MIPS                     :     232.762300
I-Cache (sec)           :         64.339284
O-Cache (sec)           :     3962.421798
Bank Conflict Time
  CPU Port Conf. (sec)   :         36.885675
  Memory Network Conf. (sec) :     1006.724020

Start Time (date)       : Thu Mar 22 18:38:42 JST 2012
End Time (date)         : Thu Mar 22 21:04:30 JST 2012

```

図 4.30 プログラム情報、最適化前



```

***** Program Information *****
Real Time (sec)           :      11927.256616
User Time (sec)          :      10369.002437
Sys Time (sec)           :           875.517241
Vector Time (sec)        :           9039.814160
Inst. Count               :      1514882404292.
V. Inst. Count           :      471143845911.
V. Element Count         :      112054100108999.
FLOP Count               :      31322208920015.
MOPS                     :      10907.301773
MFLOPS                   :      3020.754321
A. V. Length             :      237.834158
V. Op. Ratio (%)         :      99.077137
Memory Size (MB)         :      1728.031250
MIPS                     :      146.097217
I-Cache (sec)           :           83.938045
O-Cache (sec)           :           543.506390
Bank Conflict Time
  CPU Port Conf. (sec)   :           636.682976
  Memory Network Conf. (sec) :      6214.137536
Start Time (date)       : Thu Mar 22 21:18:41 JST 2012
End Time (date)         : Fri Mar 23 00:37:29 JST 2012

```

図 4.31 プログラム情報、最適化後

```

*-----*
FTRACE ANALYSIS LIST
*-----*

```

PROC. NAME	FREQUENCY	EXCLUSIVE TIME[sec] ( % )	AVER. TIME [msec]	MOPS	MFLOPS	V. OP AVER.	VECTOR	I-CACHE	O-CACHE	BANK	
CONFLICT						RATIO	TIME	MISS	MISS	CPU PORT	
NETWORK						V. LEN					
tsrf_cal_radref	19200	5982.217 ( 70.6 )	311.574	543.4	65.1	61.76	256.0	261.501	0.150	3503.894	14.885
230.154											
tsrf_window	9600	1322.995 ( 15.6 )	137.812	554.2	40.6	65.02	4.8	1227.310	0.042	20.403	0.184
649.613											
tsrf_building	9600	562.632 ( 6.6 )	58.608	712.9	114.7	52.18	242.4	34.862	0.063	365.469	3.191
28.294											

図 4.32 ルーチン単位のベクトル計算性能、最適化前

```

*-----*
FTRACE ANALYSIS LIST
*-----*
PROC. NAME  FREQUENCY  EXCLUSIVE  AVER. TIME  MOPS  MFLOPS  V.OP  AVER.  VECTOR  I-CACHE  O-CACHE  BANK
CONFLICT
          TIME[sec]( %)  [msec]      RATIO  V.LEN  TIME  MISS  MISS  CPU PORT
NETWORK
tsrf_cal_radref
192000  5128.771( 49.9)  26.712  4566.2  868.2  99.62  254.7  5124.523  0.322  1.904  338.840
4080.037
tsrf_window
96000  277.296( 2.7)  2.888  9243.5  2290.1  99.35  190.2  270.616  0.234  0.156  8.306
202.448
tsrf_building
96000  1460.799( 14.2)  15.217  4038.5  441.6  99.71  116.5  1449.187  0.312  4.122  104.116
1165.826

```

図 4.33 ルーチン単位のベクトル計算性能、最適化後

(9) 入出力データ

(a) 入出力ファイル一覧

本モデルは次に示す三つのモードで動作することができる。

- 1) 連成モード (街区空調負荷モデル+街区大気モデル)
- 2) 街区空調負荷モデル単独モード
- 3) 街区大気モデル単独モード

各モードの入出力ファイル一覧を表 4.13~15 にそれぞれ示す。

表 4.13 連成モードの入出力ファイル一覧

No.	ファイル名	内 容	入出力	機番
1	control	制御ファイル	入力	11
2	grid	計算領域設定	入力	13
3	bnd	境界条件	入力	14
4	init	初期条件	入力	15
5	restart	リスタート・データ(流れ場)	出力	16
6	history	時系列データ	出力	17
7	domain	領域分割データ	入力	18
8	vfrac	FAVOR法形状データ	入力	19
9	source	人工排熱	入力	20
10	Patch	面素データ	入力	27
11	PatchIndex	対策面素対応	入力	28
12	TreePatch	樹木面素	入力	29
13	ViewFactor	形態係数	入力	30
14	Sun	面素日射	入力	31
15	dummy	未使用	—	—
16	SurfProp	表面物性	入力	33
17	TreeData	2D樹木データ	入力	34
18	TreeMesh	3D樹木データ	入力	35
19	WaterTemp	水温データ	入力	36
20	MatEleProp	構成材パターン	入力	37
21	Building	建物データ	入力	38
22	Roomht	内部空調データ	入力	39
23	StHeat	建物自動車人工排熱	入力	40
24	PgidPrd	面素グループ	入力	41
25	out1	流れ場の結果	出力	24
26	srfhtflux	表面熱流束	出力	25
27	ProgressLog	プログラム進捗ログ	出力	26
28	restart_st	リスタート・データ(表面温度)	入出力	42
29	PatchSurfTemp	面素別表面温度	出力	43
30	Radiation	面素別到達日射量	出力	44
31	heat	建物排熱+StHeat	出力	45
32	BldLoad	室内熱負荷	出力	46
33	Weather	気象条件	入力	47

プリプロセッサのコンパイル・オプション: -fpp -DPC -DUNSTDY -DCOUPLE

表 4.14 街区空調負荷モデル単独モードの入出力ファイル一覧

No.	ファイル名	内 容	入出力	機番
1	control	制御ファイル	入力	11
2	grid	計算領域設定	入力	27
3	Weather	気象条件	入力	12
4	Patch	面素データ	入力	13
5	PatchIndex	対策面素対応	入力	14
6	TreePatch	樹木面素	入力	30
7	ViewFactor	形態係数	入力	15
8	Sun	面素日射	入力	16
9	dummy	未使用	—	17
10	SurfProp	表面物性	入力	35
11	TreeData	2 D樹木データ	入力	19
12	TreeMesh	3 D樹木データ	入力	31
13	WaterTemp	水温データ	入力	20
14	MatEleProp	構成材パターン	入力	26
15	Building	建物データ	入力	25
16	Roomht	内部空調データ	入力	29
17	StHeat	建物自動車人工排熱	入力	32
18	SurfTemp	格子別表面温度	出力	21
19	PatchSurfTemp	面素別表面温度	出力	22
20	ProgressLog	プログラム進捗ログ	出力	23
21	Radiation	面素別到達日射量	出力	24
22	heat	建物排熱+StHeat	出力	33
23	PgidPrd	面素グループ	入力	28
24	restart_st	リスタート・データ(表面温度)	入出力	34
25	domain	領域分割データ	入力	18
26	vfrac	FAVOR法形状データ	入力	36
27	BldLoad	室内熱負荷	出力	37

プリプロセッサのコンパイル・オプション: -fpp -DPC -DST

プリプロセッサのコンパイル・オプション: -fpp -DPC -DST -DSINGLE

上: 並列処理、下: 逐次処理(No.25 domainファイルなし)

表 4.15 街区大気モデル単独モード入出力ファイル一覧

No.	ファイル名	内 容	入出力	機番
1	control	制御ファイル	入力	11
2	grid	計算領域設定	入力	13
3	bnd	境界条件	入力	14
4	init	初期条件	入力	15
5	restart	リスタート・データ(流れ場)	出力	16
6	history	時系列データ	出力	17
7	domain	領域分割データ	入力	18
8	vfrac	FAVOR法形状データ	入力	19
9	source	人工排熱	入力	20
10	radflux	樹冠内直達日射フラックス	入力	21
11	SurfTemp	格子別表面温度	入力	22
12	TreeMesh	3 D樹木データ	入力	23
13	out1	流れ場の結果	出力	24
14	srftflux	表面熱流束	出力	25
15	ProgressLog	プログラム進捗ログ	出力	26

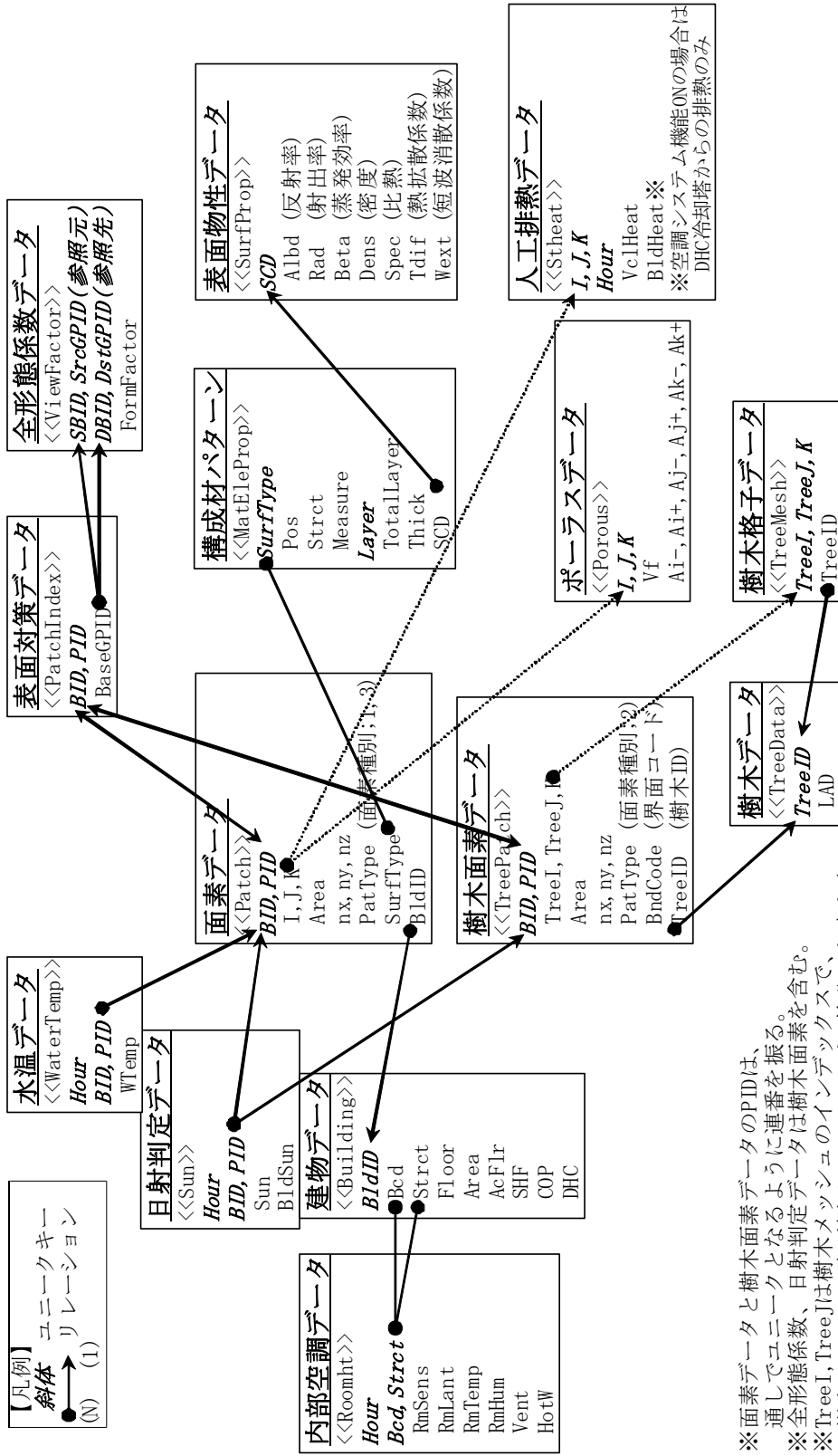
プリプロセッサのコンパイル・オプション: -fpp -DPC

## (b) 入出力データ項目

街区空調負荷モデルが扱うデータファイルの相互参照関係を図 4.34 に示す。また、入力データファイルごとの入力データ項目とその内容を表 4.16 に一覧して示す。出力データファイルごとの出力データ項目とその内容を表 4.17 に一覧して示す。

## データファイル関係図

※各データのファイルの内容は「データフォーマット」Sheetを参照



※要素データと樹木面素データのPIDは、通してユニークとなるように連番を振る。  
 ※全形態係数、日射判定データは樹木面素を含む。  
 ※TreeI, TreeJは樹木メッシュのインデックスで、樹木メッシュの水平幅はCFDメッシュをn等分した大きさ。

図 4.34 データファイル関係図

表 4.16(1) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目 (1/5)

ファイル名: Patch	列名「表示名」	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	BID	500m四方領域のID (BlockID)	4	整数
	2	PID	面のユニークIDで、500m四方領域毎に1から割り振られた通し番号	8	整数
	3~5	{L, J, K}	CFD計算用三次元セルのL, J, K方向インデックス	4, 4, 3	整数
	6	Area	面の面積	(m <sup>2</sup> )	実数
	7~9	nx, ny, nz	面の単位法線ベクトル (解析格子座標系基準)	7, 7, 7	実数
	10	PatType [PTyp]	面の種別を表すコード (1=建物, 3=地表面, 4=水面, 7=領域外境界要素)	4	整数
	11	SurfType [STyp]	面の構成材パターンを参照するコード	4	整数
	12	BlockID	建物データを参照するID, 地表面の場合は-1とする	8	整数

※法線ベクトル値は解析格子に沿った座標系を基準とする。地図の平面直角座標 (真北をY軸正の向きに固定する座標) を基準としない。

Type	内容
1	建物
2	樹木
3	地表面
4	水面
7	領域外の境界

(\*) MaterialProp. SurfType列  
(\*\*) Building. BlockID列

樹冠要素データ

ファイル名: TreePatch	列名	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	BID	500m四方領域のID (BlockID)	4	整数
	2	PID	面のユニークIDで、500m四方領域毎に1から割り振られた通し番号	8	整数
	3~5	{TreeI, TreeJ, K}	樹木メッシュの3次元セルI, J, K方向インデックス	4, 4, 3	整数
	6	Area	面の面積	(m <sup>2</sup> )	実数
	7~9	nx, ny, nz	面の単位法線ベクトル	7, 7, 7	実数
	10	PatType [PTyp]	面の種別を表すコード (2=樹木)	4	整数
	11	BlockCode [BCod]	樹木表面コード	4	整数
	12	TreeID	樹木データを参照するためのコード	8	整数

Type	内容
1	建物
2	樹木
3	地表面
4	水面
7	領域外の境界

表面対策データ

ファイル名: PatchIndex	列名	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	BID	500m四方領域のインデックス (BlockID)	4	整数
	2	SubPID	基底要素データ上にある対策要素データの要素ID	8	整数
	3	BaseGID	形態係数データが整備されている基底要素データの要素ID	8	整数

全形態係数データ

ファイル名: ViewFactor	列名	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	SBD [SBD]	見る側 (視点側) 要素の500m四方領域のインデックス	4	整数
	2	SrcPID	見る側の要素PID	8	整数
	3	DBID	見られる側 (参照先) 要素の500m四方領域のインデックス	4	整数
	4	DstPID	参照先のPID	8	整数
	5	FormFactor	要素間の全形態係数	10	実数

※天空要素と地物の上位10要素については必ず出力する。基底要素のみ対象とする。

日射判定データ

ファイル名: Sun	列名	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	Hour [H]	時刻 (時) <※>	(時)	整数
	2	BID	500m四方領域のインデックス (BlockID)	4	整数
	3	PID	要素, 樹冠要素データのPID	8	整数
	4	Sun[S]	日射の有無を示すフラグ, 日射あり=1, なし=0	1	整数
	5	BlockSun [B]	建物日陰のみを考慮した日射有無を示すフラグ, 日射あり=1, なし=0	1	整数

<※>日の出前、日没後の1時刻分を加えた日中の時刻について出力する。



表 4.16(2) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目 (2/5)

内部空調データ  
ファイル名: Roomht

(\*)24時刻出力する。

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	Hour [H]	時刻(1~24時) (*)	(時)	2	整数
2	BCD	建物用途コード	-	4	整数
3	Strct[Strt]	建物構造コード	-	4	整数
4,5	RmSens, RmLant	建物内部で発生する単位のべ床面積あたりの顕熱/潜熱	(W/m <sup>2</sup> )	12, 12	実数
6	RmTemp	建物内部の空調設定温度	(°C)	12	実数
7	RmHum	建物内部の空調設定相対湿度(0~100%)	(%)	12	実数
8	Vent	換気回数	(回/時)	12	実数
9	HotW	建物内部で発生する単位のべ床面積あたりの給湯負荷	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
10	ACSEF	空調開始終了フラグ(1=開始時刻, 2=終了時刻, 0=それ以外)	-	4	整数
11	ACSEMin	空調開始終了時刻 (分)	(分)	4	整数
12	ACPrT	空調予熱運転時間 (分)	(分)	4	整数

建物データ

ファイル名: Building  
(\*)建物用途=8(対象外)のレコードも出力する

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	BldID	建物毎に割り振られた番号(※)	-	8	整数
2	BCD	建物用途コード<※>	-	4	整数
3	Strct[Strt]	建物構造コード	-	4	整数
4	Floor[Flor]	階数	(階)	4	整数
5	Area	建築面積	(m <sup>2</sup> )	12	実数
6	AcFlr	空調床面積率(0.0~1.0) [BCD=8の場合は0.0]	-	12	実数
7	SHF	顕熱比(=顕熱/[顕熱+潜熱])	-	12	実数
8	COP	空調システム効率	-	12	実数
9	DHC	抑熱冷暖房追加からの熱供給フラグ(0=熱供給なし, 1=あり)	-	4	整数

(※) 面素データの建物IDと対応しない建物データは出力しない。

構成材パターンデータ

ファイル名: MatEProp

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	SurfType[SfTp]	面素データから参照される構成材パターンコード(1~の連番)	-	4	整数
2	Pos	位置コード(1=屋上, 2=壁面, 3=窓面, 9=地表面)	-	4	整数
3	Strct[Strt]	構造コード(1=RC造, 2=木造, 9=地表面)	-	4	整数
4	Measure[Meas]	対策コード	-	8	整数
5	Layer[Layr]	構成材層の順序番号(外:1⇒内:10)	-	4	整数
6	TotalLayer[TLYr]	構成材層の総数(1~10)	-	4	整数
7	Thick	層厚さ	(m)	12	実数
8	SCD	表面物性データを参照するためのコード	-	4	整数

表面物性データ

ファイル名: SurfProp

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	SCD	表面の物性を表すコード	-	4	整数
2	Albd	反射率	-	10	実数
3	Rad	射出率	-	10	実数
4	Beta	蒸発効率率	-	10	実数
5	Dens	密度(デフォルトは1.0e+3)	(kgm <sup>-3</sup> )	10	実数
6	Spec	比熱(デフォルトは1.0e+3)	(Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	10	実数
7	Tdif	熱拡散係数	(m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	10	実数
8	Wext	窓の短波消散係数(デフォルトは1.0e+20)	(1/m)	10	実数

Bcd	内容
1	事務所
2	商業
3	ホテル
4	学校
5	戸建住宅
6	集合住宅
7	その他
8	対象外

構造コード	内容
1	RC造
2	木造
9	地表面

表 4.16 (3) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目 (3/5)

水温データ

ファイル名: WaterTemp (\*24時刻分出力する。)

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	Hour [H]	時刻 (1~24時) (*)	(時)	2	整数
2	BID	500m四方領域のインデックス (BlockID)	—	4	整数
3	PID	四角形面素のユニークIDで、下一桁は種別 (=Type) を表す	—	8	整数
4	WTemp	水温 (水域の面素の場合)	(°C)	10	実数

樹木格子データ

ファイル名: TreeMesh

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1~3	TreeI [Tr I], TreeJ [Tr J], K	樹木計算用3次元セルインデックス (水平I, J方向はCFDセルの1/nの大きさ)	—	8, 7, 7	整数
4	TreeID [Tr ID]	樹木IDを参照するコード, 樹木IDは一連なりの樹冠ごとに割り振られるID	—	7	整数

樹木データ

ファイル名: TreeData

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	TreeID [TID]	樹木ID	—	8	整数
2	LAD	葉面積密度	(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	15	実数

気象データ

ファイル名: Weather

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	Hour [Hr]	時刻 (1~24時)	—	4	整数
2	Temp	気温	(°C)	10	実数
3	Rhum	相対湿度 (0~100%)	(%)	10	実数
4	Press	現地気圧	(Pa)	10	実数
5	SunIrad	全天日射量	(MJ/m <sup>2</sup> )	10	実数
6	Wind	風速	(m/s)	10	実数

人工排熱データ

ファイル名: SHeat

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1~3	I, J, K	CFD計算用三次元セルのI, J, K方向インデックス	—	4, 4, 3	整数
4	Hour [Hr]	人工排熱の推計対象時刻 (1~24時)	(時)	2	整数
5, 6	Vcl {Sens, Lant}	自動車から排出される人工排熱 (顕熱と潜熱)	(W/m <sup>3</sup> )	12	実数
7, 8	Bld {Sens, Lant}	建物から排出される人工排熱 (顕熱と潜熱) ※	(W/m <sup>3</sup> )	12	実数

ポースデータ

ファイル名: Porous

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1~3	I, J, K	CFD計算用三次元セルのI, J, K方向インデックス	—	4, 4, 3	整数
4	Vf	セル内の固体を除いた流体の占める体積の割合	—	6	実数
5~10	A {i-, i+, j-, j+, k-, k+}	セル界面 (6面) で固体を除いた流体が通過できる面積の割合	—	6	実数

表 4.16(4) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目(4/5)

計算格子ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
mx	I*4	I 方向の計算セル数(分割数)
x	R*8	計算格子の x 座標[m]
my	I*4	J 方向の計算セル数(分割数)
y	R*8	計算格子の y 座標[m]
mz	I*4	K 方向の計算セル数(分割数)
z	R*8	計算格子の z 座標[m]

境界条件ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
iminbc	I*4	計算格子 i=0 面の対称・周期境界面フラグ
imaxbc	I*4	計算格子 i=mx 面の対称・周期境界面フラグ
jminbc	I*4	計算格子 j=0 面の対称・周期境界面フラグ
jmaxbc	I*4	計算格子 j=my 面の対称・周期境界面フラグ
kminbc	I*4	計算格子 k=0 面の対称・周期境界面フラグ
kmaxbc	I*4	計算格子 k=mz 面の対称・周期境界面フラグ
nsx	I*4	化学種の数
nbnd	I*4	境界条件の数
is,ie	I*4	境界条件を設定する領域の範囲(I 方向)
js,je	I*4	境界条件を設定する領域の範囲(J 方向)
ks,ke	I*4	境界条件を設定する領域の範囲(K 方向)
ldir	I*4	板境界のとき、境界条件を設定する面の向き =-1: 負側、=0: 両側、=1: 正側
ip	I*4	圧力の境界条件フラグ
iv	I*4	流速の境界条件フラグ
it	I*4	温度の境界条件フラグ
iy	I*4	化学種質量分率の境界条件フラグ
ike	I*4	化学種質量分率の境界条件フラグ
u,v,w	R*8	流速の固定値[m/s] (Dirichlet 条件が指定されたときのみ有効)
t	R*8	温度の固定値[K] (Dirichlet 条件が指定されたときのみ有効)
h	R*8	it=3 のとき、熱伝達係数[W/(m <sup>2</sup> ・s)] ip=3 のとき、圧力[Pa]
ys	R*8	化学種質量分率の固定値[-] (Dirichlet 条件が指定されたときのみ有効)
ak,ae	R*8	k, ε の固定値[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ,m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ] (Dirichlet 条件が指定されたときのみ有効)

表 4.16(5) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目 (5/5)

領域分割ファイル

変数名	型	内 容
nporc	I*4	プロセッサ数
rank	I*4	プロセッサ・ランク
is,ie	I*4	ランク rank が処理する領域の I 方向 計算セルインデックスの始点および終点
js,je	I*4	ランク rank が処理する領域の J 方向 計算セルインデックスの始点および終点
ks,ke	I*4	ランク rank が処理する領域の K 方向 計算セルインデックスの始点および終点

FAVOR 法用ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
mx	I*4	I 方向の計算セル数 (分割数)
my	I*4	J 方向の計算セル数 (分割数)
mz	I*4	K 方向の計算セル数 (分割数)
gmc	R*4	計算セルの流体体積占有率
gmx	R*4	計算セル界面 (I 方向) の面開口率 i=0 から始まることに留意
gmy	R*4	計算セル界面 (J 方向) の面開口率 j=0 から始まることに留意
gmz	R*4	計算セル界面 (K 方向) の面開口率 k=0 から始まることに留意
adrg	R*4	ドラッグ項 $F_i = aC_r u_i \sqrt{u_k^2}$ の係数 $a$ [ $\text{m}^2/\text{m}^3$ ]
tdrg	R*4	セル内部の固体表面からの熱ソース l=1 : 温度 [K] l=2 : 熱伝達係数 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ] $\times$ 表面積 [ $\text{m}^2$ ] l=3 : 蒸発効率 $\times$ 物質伝達係数 [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] $\times$ 表面積 [ $\text{m}^2$ ]
cdrg	R*4	ドラッグ項 $F_i = aC_r u_i \sqrt{u_k^2}$ の係数 $C_r$
swlr	R*4	各計算セルにおける建物、地面の表面積 l=1 : 建物側壁の表面積 [ $\text{m}^2$ ] l=2 : 地面の表面積 [ $\text{m}^2$ ] l=3 : 建物屋上の表面積 [ $\text{m}^2$ ]

人工排熱ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
mx	I*4	I 方向の計算セル数 (分割数)
my	I*4	J 方向の計算セル数 (分割数)
mz	I*4	K 方向の計算セル数 (分割数)
hwst	R*4	l=1 : 人工排熱(顕熱) [ $\text{W}/\text{m}^3$ ] l=2 : 人工排熱(潜熱) [ $\text{W}/\text{m}^3$ ]

表 4.17(1) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの出力データ項目(1/2)

**建物排熱**

ファイル名: BldLoad ※PCソフト(HAO)使用ファイル

No.	列名[表示名]	内容	単位	テキスト長	型
1	Hr	時刻(1~24時)	-	2	整数
2	BldID	建物ID	-	8	整数
3	trans.	建物のべ床面積当たりの貫流熱	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
4	insol.	建物のべ床面積当たりの日射熱	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
5	source	建物のべ床面積当たりの内部発生熱	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
6	vent.(sens.)	建物のべ床面積当たりの換気(顕熱)	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
7	vent.(lat.)	建物のべ床面積当たりの換気(潜熱)	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
8	total	建物のべ床面積当たりの空調エネルギー	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
9	rel.(sens.)	建物のべ床面積当たりの建物排熱(顕熱)	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
10	rel.(lat.)	建物のべ床面積当たりの建物排熱(潜熱)	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数

**メッシュ別表面温度**

ファイル名: SurfTemp

No.	列名	内容	単位	テキスト長	型
1	i	CFD格子インデックスI	-	4	整数
2	j	CFD格子インデックスJ	-	4	整数
3	k	CFD格子インデックスK	-	4	整数
4	hour	時刻(1~24時)	-	2	整数
5	tdrg(1)	格子セル内の総表面積×熱伝達係数	(W/K)	12	実数
6	tdrg(2)	格子セル内の総表面積×表面温度×熱伝達係数	(W)	12	実数
7	tdrg(3)	格子セル内の総表面積×蒸発効率×熱伝達係数	(W/K)	12	実数
8	swlr(1)	格子セル内の側壁の総面積	(m <sup>2</sup> )	12	実数
9	swlr(2)	格子セル内の地面の総面積	(m <sup>2</sup> )	12	実数
10	swlr(3)	格子セル内の屋上の総面積	(m <sup>2</sup> )	12	実数

**要素別表面温度**

ファイル名: PatchSurfTemp ※PCソフト(HAO)使用ファイル

No.	列名	内容	単位	テキスト長	型
1	PID	要素ID	-	8	整数
2	i	CFD格子インデックスI	-	4	整数
3	j	CFD格子インデックスJ	-	4	整数
4	k	CFD格子インデックスK	-	4	整数
5	hour	時刻(1~24時)	-	2	整数
6	Temp	表面温度	(°C)	12	実数
7	Rad_L	長波放射	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
8	Rad_S	短波放射	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
9	Sens	顕熱輸送量	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
10	Lant	潜熱輸送量	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
11	Area	面積	(m <sup>2</sup> )	12	実数

**法線直達日射データ**

ファイル名: Radiation ※PCソフト(HAO)使用ファイル

No.	列名	内容	単位	テキスト長	型
1	Hr	時刻(1~24時)	-	2	整数
2	normal-direct-solar-rad.	法線直達日射	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
3	scattered-solar-rad	散乱日射	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
4	atmos.=long-rad	大気放射	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数

**人工排熱**

ファイル名: heat

No.	列名	内容	単位	テキスト長	型
1	hour	時刻(1~24時)	-	2	整数
2	i	CFD格子インデックスI	-	4	整数
3	j	CFD格子インデックスJ	-	4	整数
4	k	CFD格子インデックスK	-	4	整数
5	VclSens	格子セル内の自動車排熱(顕熱)	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
6	VclLant	格子セル内の自動車排熱(潜熱)	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
7	BldSens	格子セル内の建物排熱(顕熱)	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数
8	BldLant	格子セル内の建物排熱(潜熱)	(W/m <sup>2</sup> )	12	実数

表 4.17(2) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの出力データ項目 (2/2)

計算結果ファイル

No.	列名	型	内 容 [単位]
1	i	整数	CFD 格子インデックス I
2	j	整数	CFD 格子インデックス J
3	k	整数	CFD 格子インデックス K
4	T	実数	気温[m]
5	u	実数	風速 x 成分[m/s]
6	v	実数	風速 y 成分[m/s]
7	w	実数	風速 z 成分[m/s]
8	q	実数	比湿[kg/kg]
9	k	実数	乱流エネルギー[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]

リスタート・ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
mx	I*4	I 方向の計算セル数(分割数)
my	I*4	J 方向の計算セル数(分割数)
mz	I*4	K 方向の計算セル数(分割数)
ns	I*4	化学種の数
lke	I*4	>0 : k, ε を出力する =0 : k, ε を出力しない
iter	I*4	時間ステップ数
time	R*8	時間[sec]
pp	R*8	熱力学的な圧力[Pa]
p	R*8	運動学的な圧力[Pa]
t	R*8	温度[K]
ys	R*8	化学種の質量分率[-]
ru	R*8	運動量 x 成分[kg/m <sup>2</sup> /s]
rv	R*8	運動量 y 成分[kg/m <sup>2</sup> /s]
rw	R*8	運動量 z 成分[kg/m <sup>2</sup> /s]
ak(:, :, 1)	R*8	乱流エネルギー k [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
ak(:, :, 2)	R*8	乱流エネルギーの散逸率 ε [m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]

### 4.3.3 都市 CO<sub>2</sub> 計量評価モデル

本プロジェクトにおいては、近未来の水素利用型都市を含む都市におけるエネルギー評価が可能なプログラムの開発を行った。都市においては様々な用途・規模・エネルギーシステムで構成されているが、どの方式にも対応可能な都市エネルギーシステム評価プログラムとした。都市に用いるエネルギー源としては、従来の化石燃料（都市ガス、石油等）を含め、水素利用型都市に必要となる再生可能エネルギー、バイオマス利用システム、コージェネレーションシステム、エネルギー貯蔵システム（蓄水素・蓄熱・蓄電）等の評価が可能とし、幅広いニーズに対応できるプログラム開発を行った。また、プログラムは、省エネ・省 CO<sub>2</sub> はもちろん、経済性の評価も可能とし、将来の様々な都市において最適なエネルギーシステムの検討・評価が可能な開発仕様とした。以下にモデルの概要を示す。

#### (1) プログラムの分類と全体構成の検討

都市エネルギーシステムの検討ケースとシステム計画・評価プロセスを踏まえて、計算目的に沿って各プログラムの連携を図る全体構成について図 4.35 に示す。

プログラム全体構成の特徴は、①モデル都市の規模等の条件により集中方式と分散方式並びに集中・分散併用方式の適用が考えられ、どの方式にも対応できること、②従来の化石燃料（都市ガス、石油）以外に、様々な水素活用方式に対応できること、③再生可能エネルギーやバイオマスエネルギーの活用や、蓄電や蓄熱などの蓄エネルギーと組み合わせた最適エネルギー制御などのスマートエネルギーシステムに対応できること、④現状のシステム機器構成のほか、短期から中長期まで将来の機器構成・都市システムに対応できること、⑤集合住宅では個別に燃料電池を置く場合や、複数戸で燃料電池を共有する場合まで対応できること、を考慮して構成している。

プログラムの主な特徴は以下に示すとおりである。図 4.35 中の二重線で囲んだ部分が個々の計算プログラムを示しており、以降順番に説明する。

#### <プログラムの主な特徴>

- ・システムは集中方式、分散方式並びに集中・分散併用方式いずれにも対応
- ・従来の化石燃料（都市ガス、石油）以外に、様々な水素活用方式に対応
- ・再生可能エネルギーやバイオマス導入、熱源と蓄電やエネルギー貯蔵システム等を組み合わせて最適エネルギー制御を行うスマートエネルギーシステムに対応
- ・現状のほか、短期から中長期まで将来の機器構成・都市システムに対応
- ・集合住宅における複数戸で燃料電池を共有する場合等まで対応

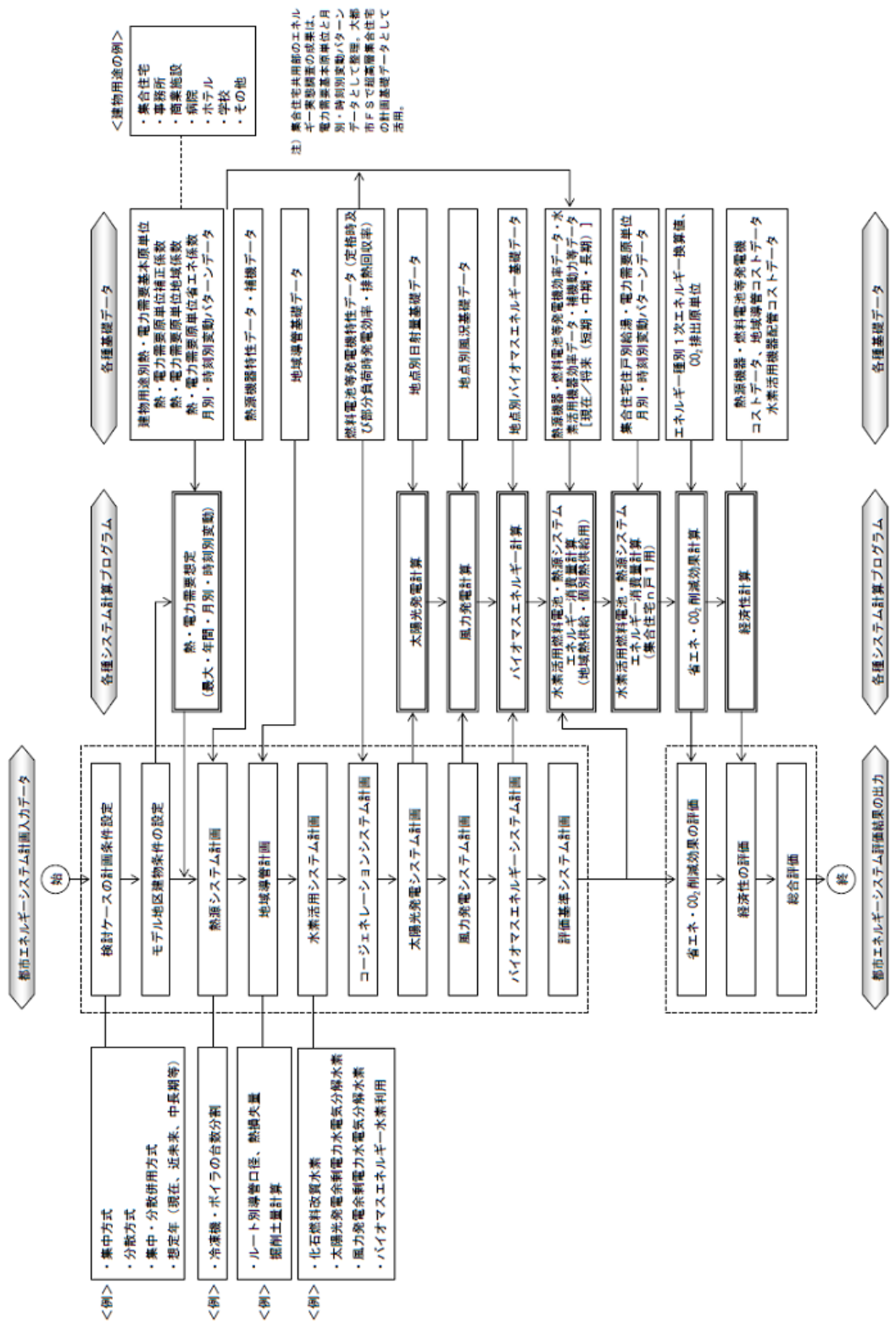


図 4.35 都市エネルギーシステムの計画・評価と各種計算プログラムの全体構成フロー



## (2) 熱・電力需要想定計算プログラム

### (a) 最大エネルギー需要量の想定

#### 1) 入力項目

最大エネルギー需要量の想定に必要な入力データは、表 4.18 および表 4.19 に示す入力項目により設定する。建物用途はデフォルトデータとしては 4.2.1 にて調査を実施した IBEC データの業務施設、商業施設、宿泊施設、医療施設および 23 種類の一般家庭の合計 27 種類を有しているが、ユーザーが任意に設定することも可能である。

表 4.18 建物名称・用途 NO.・原単位リスト NO. と最大基本需要原単位の入力項目

建物入力数 (例)		10	最大基本需要原単位							
建物番号	建物名称	用途 NO.	用途	延床面積 (㎡)	原単位リスト	最大基本需要原単位				
						電力 (W/㎡)	冷房 (kJ/㎡・h)	暖房 (kJ/㎡・h)	給湯 (kJ/㎡・h)	蒸気 (kJ/㎡・h)
B01		1	業務							
B02		2	商業							
B03		3	宿泊							
B04		4	医療							
B05		5	集合住宅							
B06		6	学校							
B07		7	用途 A							
B08		8	用途 B							
B09		9	用途 C							
B10		10	用途 D							

表 4.19 最大需要原単位の補正係数・地域補正係数・省エネ係数の入力書式

建物入力数 (例)		10	最大需要原単位補正係数					同地域補正係数					同省エネ係数				
建物番号	建物名称	用途 NO.	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気
			B01		1												
B02		2															
B03		3															
B04		4															
B05		5															
B06		6															
B07		7															
B08		8															
B09		9															
B10		10															

#### 2) 出力項目

最大エネルギー需要量の計算結果は、建物別と用途別に集計し、表 4.20 および表 4.21 に示す出力項目によりまとめる。

表 4.20 最大エネルギー需要量の計算結果 [建物別]

建物入力数 (例)		10							
建物番号	建物名称	用途NO.	用途	延床面積 (㎡)	電力 (kW)	冷房 (MJ/h)	暖房 (MJ/h)	給湯 (MJ/h)	蒸気 (MJ/h)
B01		1	業務						
B02		2	商業						
B03		3	宿泊						
B04		4	医療						
B05		5	集合住宅						
B06		6	学校						
B07		7	用途A						
B08		8	用途B						
B09		9	用途C						
B10		10	用途D						
計	—	—	—						

表 4.21 最大エネルギー需要量の計算結果 [用途別]

建物入力数 (例)		10							
建物番号	建物名称	用途NO.	用途	延床面積 (㎡)	電力 (kW)	冷房 (MJ/h)	暖房 (MJ/h)	給湯 (MJ/h)	蒸気 (MJ/h)
B01		1	業務						
B02		2	商業						
B03		3	宿泊						
B04		4	医療						
B05		5	集合住宅						
B06		6	学校						
B07		7	用途A						
B08		8	用途B						
B09		9	用途C						
B10		10	用途D						
計	—	—	—						

### 3) 計算ロジックの整理

最大需要量を計算する式を電力、冷房、暖房、給湯、蒸気に分けて、以下に整理する。

○ 最大需要電力(kW)=用途別延床面積(m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} & \times \text{最大電力基本需要原単位(W/m}^2\text{)} \times 10^{-3} & (4.102) \\ & \times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$

○ 最大冷房需要(MJ/h)=用途別延床面積(m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} & \times \text{最大冷房基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} & (4.103) \\ & \times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$

○ 最大暖房需要(MJ/h)=用途別延床面積(m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} & \times \text{最大暖房基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} & (4.104) \\ & \times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$

○ 最大給湯需要(MJ/h)=用途別延床面積(m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} & \times \text{最大給湯基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} & (4.105) \\ & \times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$

○ 最大給湯需要(MJ/h)=用途別延床面積(m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} & \times \text{最大給湯基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} & (4.106) \\ & \times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$

○ 最大蒸気需要(MJ/h)=用途別延床面積(m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} & \times \text{最大蒸気基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} & (4.107) \\ & \times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$

(b) 年間エネルギー需要量の想定

1) 入力項目の設定

年間エネルギー需要量の想定に必要な入力データは、表 4.22 と表 4.23 に示す入力書式により設定する。

表 4.22 建物名称・用途 NO.・原単位リスト NO. と年間基本需要原単位の入力書式

建物入力数 (例)		10		年間基本需要原単位						
建物 番号	建物名称	用途 NO.	用途	延床面積 (㎡)	原単位 リスト	年間基本需要原単位				
						電力 (kWh/㎡・年)	冷房 (MJ/㎡・年)	暖房 (MJ/㎡・年)	給湯 (MJ/㎡・年)	蒸気 (MJ/㎡・年)
B01		1	業務							
B02		2	商業							
B03		3	宿泊							
B04		4	医療							
B05		5	集合住宅							
B06		6	学校							
B07		7	用途 A							
B08		8	用途 B							
B09		9	用途 C							
B10		10	用途 D							

表 4.23 年間需要原単位の補正係数・地域補正係数・省エネ係数の入力書式

建物入力数 (例)		10		年間需要原単位補正係数					同地域補正係数					同省エネ係数						
建物 番号	建物名称	用途 NO.	年間需要原単位補正係数					同地域補正係数					同省エネ係数							
			電力	冷房	暖房	給湯	蒸気	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気			
B01		1																		
B02		2																		
B03		3																		
B04		4																		
B05		5																		
B06		6																		
B07		7																		
B08		8																		
B09		9																		
B10		10																		

2) 出力項目の設定

年間エネルギー需要量の計算結果は、建物別と用途別に集計し、表 4.24 と表 4.25 に示す出力書式によりまとめる。

表 4.24 年間エネルギー需要量の計算結果 [建物別]

建物入力数 (例)		10							
建物番号	建物名称	用途 NO.	用途	延床面積 (㎡)	電力 (MWh/年)	冷房 (GJ/年)	暖房 (GJ/年)	給湯 (GJ/年)	蒸気 (GJ/年)
B01		1	業務						
B02		2	商業						
B03		3	宿泊						
B04		4	医療						
B05		5	集合住宅						
B06		6	学校						
B07		7	用途 A						
B08		8	用途 B						
B09		9	用途 C						
B10		10	用途 D						
計	—	—	—						

表 4.25 年間エネルギー需要量の計算結果 [用途別]

建物入力数 (例)		10							
建物番号	建物名称	用途 NO.	用途	延床面積 (㎡)	電力 (MWh/年)	冷房 (GJ/年)	暖房 (GJ/年)	給湯 (GJ/年)	蒸気 (GJ/年)
B01		1	業務						
B02		2	商業						
B03		3	宿泊						
B04		4	医療						
B05		5	集合住宅						
B06		6	学校						
B07		7	用途 A						
B08		8	用途 B						
B09		9	用途 C						
B10		10	用途 D						
計	—	—	—						

### 3) 年間需要量の計算ロジックの整理

年間需要量を計算する式を電力、冷房、暖房、給湯、蒸気に分けて、以下に整理する。

- 年間電力需要量(MW)＝用途別延床面積(m<sup>2</sup>)  
×年間電力基本需要原単位(kW/m<sup>2</sup>・年)×10<sup>-3</sup> (4.108)  
×年間需要原単位補正係数×同地域係数×同省エネ係数
- 年間冷房需要量(GJ/年)＝用途別延床面積(m<sup>2</sup>)  
×年間冷房基本需要原単位(MJ/m<sup>2</sup>・年)×10<sup>-3</sup> (4.109)  
×年間需要原単位補正係数×同地域係数×同省エネ係数
- 年間暖房需要量(GJ/年)＝用途別延床面積(m<sup>2</sup>)  
×年間暖房基本需要原単位(MJ/m<sup>2</sup>・年)×10<sup>-3</sup> (4.110)  
×年間需要原単位補正係数×同地域係数×同省エネ係数
- 年間給湯需要量(GJ/年)＝用途別延床面積(m<sup>2</sup>)  
×年間給湯基本需要原単位(MJ/m<sup>2</sup>・年)×10<sup>-3</sup> (4.111)  
×年間需要原単位補正係数×同地域係数×同省エネ係数
- 年間蒸気需要量(GJ/年)＝用途別延床面積(m<sup>2</sup>)  
×年間蒸気基本需要原単位(MJ/m<sup>2</sup>・年)×10<sup>-3</sup> (4.112)  
×年間需要原単位補正係数×同地域係数×同省エネ係数

#### 4) 時刻別需要量の計算ロジックの整理

以下の計算は建物用途別に行って、最後に用途別合計値を求める

- 月別冷房需要量＝年間冷房需要量  
×(冷房月別需要変動比÷冷房月別需要変動比合計値) (4.113)
- 時刻別冷房需要量＝月別冷房需要量÷月別稼働日数(平日＋休日)  
×(冷房時刻別需要変動比÷冷房時刻別需要変動比合計値) (4.114)
- 月別暖房需要量＝年間暖房需要量  
×(暖房月別需要変動比÷暖房月別需要変動比合計値) (4.115)
- 時刻別暖房需要量＝月別暖房需要量÷月別稼働日数(平日＋休日)  
×(暖房時刻別需要変動比÷暖房時刻別需要変動比合計値) (4.116)
- 月別給湯需要量＝年間給湯需要量  
×(給湯月別需要変動比÷給湯月別需要変動比合計値) (4.117)
- 時刻別給湯需要量＝月別給湯需要量÷月別稼働日数(平日＋休日)  
×(給湯時刻別需要変動比÷給湯時刻別需要変動比合計値) (4.118)
- 月別蒸気需要量＝年間蒸気需要量  
×(蒸気月別需要変動比÷蒸気月別需要変動比合計値) (4.119)
- 時刻別蒸気需要量＝月別蒸気需要量÷月別稼働日数(平日＋休日)  
×(蒸気時刻別需要変動比÷蒸気時刻別需要変動比合計値) (4.120)
- 月別建物全体電力需要量＝年間建物全体電力需要量  
×(建物全体電力月別需要変動比÷建物全体電力月別需要  
変動比合計値) (4.121)
- 時刻別建物全体電力需要量＝月別建物全体電力需要量  
÷月別稼働日数(平日＋休日)  
×(建物全体電力時刻別需要変動比  
÷建物全体電力時刻別需要変動比合計値) (4.122)

注) コージェネ電力需要量は建物用途別に「年間電力需要量×コージェネ電力割合」を算定して、上記の建物全体電力需要量の算定と同様に月別・時刻別の計算を行う。

### (3) 太陽光発電計算

#### (a) 太陽光発電の発電量算定方法

シミュレーションにおける、太陽光発電設備の発電量の算定にあたっては、図 4.36 に示す手順で日射量の推計及び発電量の算定を行う。

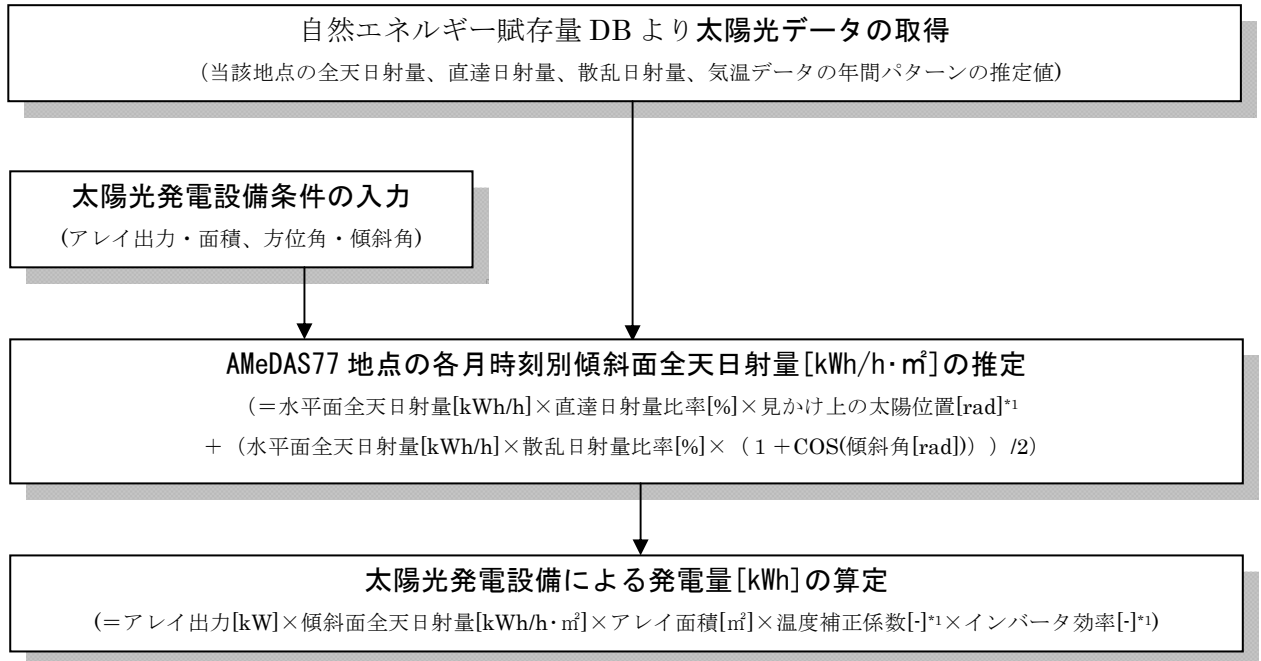


図 4.36 太陽光発電設備による発電量算定方法

\*1: 「見かけ上の太陽高度」「温度補正係数」「インバータ効率」については後述する。









(a) 太陽光発電の発電量算定

太陽光発電のパネル面における日射量は、太陽光発電設備の設置方位角・傾斜角を用いて、パネル面から見たときの太陽位置（見かけ上の太陽位置）を定義する必要がある。

代表地点における太陽高度・方位角及び直達・散乱日射比率を用いて以下の通り算定する。

$$S_d = \sin(H_s) \times \cos(H_p) + \sqrt{(1 - \sin(H_s))^2} \times \sin(H_p) \times \cos\left(\arctan\left(\frac{\sin(D_s)}{\cos(D_s)}\right) - D_p\right) \quad (4.123)$$

ここで、

$S_d$  : 見かけ上の太陽位置[rad]

$H_s$  : 太陽高度[rad]

$D_s$  : 太陽方位角[rad]

$H_p$  : パネル面傾斜角[rad]

$D_p$  : パネル面方位角[rad]

※ただし、太陽高度  $H_s$  が正のときのみ算定し、負のときは見かけ上の太陽位置は0とする。

パネル面の日射量の算定結果を用いて、太陽光発電設備による発電量を算定する。発電量の算定に当たっては、外気温補正とインバータ効率補正を以下の通り行い算定する。

【外気温補正係数】

$$K_{pt} = 1 + \alpha P_{\max} \times (T_{cm} - T_s) \quad (4.124)$$

$$T_{cm} = T_a + 15 \quad (4.125)$$

ここで、

$K_{pt}$  : 温度補正係数

$\alpha P_{\max}$  : アレイ種別温度補正定数[%/°C] (表4.31)

$T_{cm}$  : 月平均セル温度[°C]

$T_a$  : 月平均外気温[°C]

$T_s$  : 標準状態セル温度[°C] → 25[°C] ※定数

表 4.31 アレイ種別温度補正定数

$\alpha P_{max}$	単結晶	-0.0037
%/ $^{\circ}C$	多結晶	-0.0044
	アモルファス	-0.0020

【インバータ効率】

$L_p < 16$  のとき

$$C_i = (5.6875 \times L_p) / 100 \quad (4.126)$$

$L_p \geq 16$  のとき

$$C_i = \left( -2.02E-10 \times L_p^6 + 8.20E-8 \times L_p^5 - 1.36E-5 \times L_p^4 + 1.17E-3 \times L_p^3 - 0.06 \times L_p^2 + 1.50 \times L_p + 77.54 \right) / 100 \quad (4.127)$$

ここで、

$L_p$  : 負荷率 [%] → 温度補正後の発電量 [kWh] / インバータ容量 [kVA]

(インバータ容量 [kVA] = アレイ出力容量 [kW] × 最大インバータ効率 [93%])

$C_i$  : インバータ効率 [%]

ここまでの計算を受けて、太陽光発電設備による発電量 [kWh] は以下の通り算定する。

$$\begin{aligned} \circ \text{ 発電量 [kWh]} &= \text{アレイ出力 [kW]} \times \text{傾斜面全天日射量 [kWh/h} \cdot \text{m}^2] \\ &\quad \times \text{アレイ面積 [m}^2] \times \text{温度補正係数 [-]} \times \text{インバータ効率 [-]} \end{aligned} \quad (4.128)$$

#### (b) 外気温条件

アレイ種別ごとに外気温による発電量補正係数の算定に用いる外気温条件は、自然エネルギー賦存量データベースを活用し、当該地域の年間温度パターンを入手し、活用する。

## (5) 風力発電計算

### (a) 風力発電の発電量算定方法

シミュレーションにおける、風力発電設備の発電量算定にあたっては、図 4.37 に示す手順で風況の推計及び発電量の推計を行う。

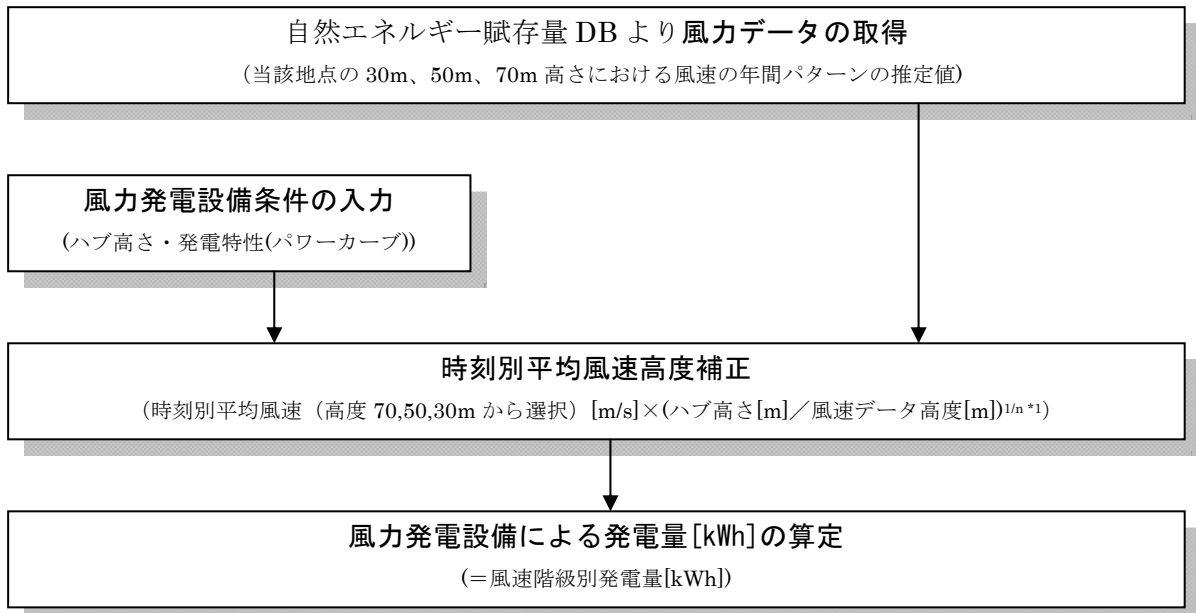


図 4.37 風力発電設備による発電量推計方法

\*1:風速の高度補正については後述する。

(b) 風力発電の標準基礎データ

4.2.3 で開発した自然エネルギー賦存量データベースを用い、風力発電活用データを用いて、風力発電設備による発電量算定の元となる NEDO の気象予測データによる年間風速パターンを求める。

このデータを用いて、各地点の風力発電設備の発電量予測を行う。

表 4.32 に風速パターン例を示す。ここで示す例は 1 月のデータであるが、同データベースより 1 年間のデータが入手可能となる。

表 4.32 風速パターン例 (1月)

風速データH=50m(メッシュ)				m/s																										
MeshID	道府県	緯度	経度	標高	月	日	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	1	3.0	6.7	7.1	8.9	7.5	7.7	8.0	8.3	8.1	8.6	7.2	7.5	6.9	6.2	5.1	4.9	4.1	4.7	7.9	6.3	4.5	7.5	8.0	7.0
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	2	2.4	6.1	4.9	6.1	6.0	6.1	6.1	6.3	6.8	7.0	7.2	7.0	6.8	6.6	5.4	5.6	5.4	5.2	5.8	5.0	4.9	4.3	4.7	2.2
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	3	2.4	2.7	3.1	3.2	3.9	3.1	3.3	3.3	3.6	3.4	2.9	2.5	2.1	1.1	1.5	2.0	2.5	2.0	2.1	2.2	3.0	3.1	3.6	3.8
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	4	3.0	4.2	4.0	4.1	4.5	4.3	4.3	4.9	4.9	4.4	3.6	3.4	3.1	2.6	3.5	3.4	3.0	2.3	2.6	3.1	3.2	2.9	2.4	2.2
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	5	6.1	2.9	2.1	3.2	3.2	3.5	3.9	3.6	3.8	3.2	2.9	3.4	4.7	4.9	4.6	4.2	4.3	3.9	4.5	4.9	4.6	4.4	4.3	3.6
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	6	4.7	2.4	4.9	5.7	5.3	4.8	3.7	2.6	2.4	2.7	2.1	1.4	2.2	2.3	1.7	1.1	1.0	1.4	2.1	2.1	3.0	3.6	3.9	3.1
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	7	5.4	3.4	3.2	3.2	2.7	2.8	3.1	3.1	3.3	2.9	2.7	3.0	2.9	3.2	5.1	2.0	3.8	2.8	2.8	2.8	2.3	2.1	1.4	2.3
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	8	5.2	2.8	3.0	2.9	2.5	2.4	3.0	4.0	4.1	3.8	3.1	2.8	1.8	1.6	1.9	2.6	2.6	2.4	2.7	1.9	2.8	3.3	2.6	2.9
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	9	2.8	3.3	3.3	2.1	3.0	3.5	3.1	3.4	4.6	5.1	5.9	5.6	5.9	6.9	6.9	6.7	6.1	5.7	5.8	5.9	6.5	6.2	6.0	5.6
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	10	3.6	7.0	7.6	8.1	9.1	9.6	9.5	6.7	7.9	8.1	7.3	7.4	7.4	6.1	6.6	6.5	6.6	6.2	6.0	6.7	6.4	6.1	6.4	6.2
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	11	5.0	5.9	6.2	6.5	6.6	6.7	7.5	7.7	7.7	8.1	6.5	5.6	5.4	5.2	7.2	6.8	5.9	7.0	6.7	4.8	4.9	4.6	7.1	10.8
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	12	5.0	11.3	11.2	11.4	11.1	10.6	10.6	10.5	9.3	8.0	6.1	6.3	6.4	6.7	7.2	8.4	6.1	6.7	6.7	6.3	7.7	7.7	9.5	8.9
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	13	3.5	6.1	6.6	6.3	6.6	7.6	6.0	6.6	6.9	6.0	6.3	5.6	5.3	6.1	4.8	4.4	4.0	3.6	2.9	2.8	2.4	2.3	2.6	2.6
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	14	3.6	3.2	3.2	2.9	3.0	5.6	6.1	5.6	4.7	5.5	6.6	6.7	7.6	7.7	8.4	8.6	8.7	8.4	7.9	7.3	6.6	7.9	6.4	6.2
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	15	3.0	6.1	5.7	5.7	5.0	4.2	4.3	4.1	4.9	4.1	3.5	3.1	3.6	4.1	4.1	3.9	4.0	4.0	3.7	3.2	3.3	3.4	3.5	3.0
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	16	3.9	4.7	4.6	4.3	3.5	4.0	3.9	3.9	4.3	5.8	4.8	4.0	3.6	3.4	3.9	1.7	4.4	4.6	4.2	2.9	3.0	2.5	3.8	3.4
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	17	1.9	2.9	2.8	2.9	3.3	4.0	4.0	3.9	3.8	3.9	3.1	2.9	2.3	2.6	2.1	2.0	1.8	1.9	3.0	3.4	3.9	2.9	3.2	4.2
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	18	7.6	3.1	2.4	4.8	4.5	4.1	4.2	3.4	2.6	3.1	3.3	4.6	4.6	3.8	4.0	4.7	5.0	5.2	4.2	2.7	2.5	3.0	3.8	3.7
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	19	3.0	8.2	7.1	7.8	7.8	7.1	7.0	6.1	6.0	6.6	6.2	6.5	5.3	5.4	4.7	4.2	3.9	3.1	2.7	2.4	2.4	2.4	2.0	2.9
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	20	4.7	2.9	2.9	3.2	3.6	3.6	3.1	2.9	3.3	3.8	2.7	2.1	1.9	2.9	2.3	2.0	1.7	2.1	2.0	2.1	1.9	3.2	3.2	2.6
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	21	2.1	2.1	2.2	2.4	2.4	3.5	3.8	2.6	2.9	2.5	2.4	1.2	1.4	1.5	0.5	0.5	0.7	2.5	2.9	3.1	3.4	2.7	2.3	1.7
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	22	5.8	2.1	2.1	2.8	2.6	3.3	2.9	3.0	3.3	2.4	1.7	1.1	3.5	2.9	3.4	2.7	2.5	2.9	1.9	2.2	2.9	2.3	2.4	3.2
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	23	6.8	3.0	4.1	5.3	5.6	5.6	6.3	6.1	10.2	10.3	10.0	10.5	10.5	8.5	9.1	8.5	9.1	9.8	8.7	9.9	10.1	9.5	8.1	8.8
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	24	5.7	7.8	7.4	7.4	6.5	7.2	6.3	4.8	3.6	5.7	5.1	4.4	3.0	3.2	3.6	5.7	5.6	5.0	4.8	4.4	4.7	4.2	5.1	6.5
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	25	5.3	8.3	8.0	7.9	7.1	6.8	7.1	6.6	6.2	5.0	3.0	3.1	3.0	2.9	2.8	3.5	3.2	2.8	3.3	3.9	4.1	3.2	3.0	3.0
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	26	8.0	2.8	3.1	2.6	2.0	2.7	3.5	2.6	2.9	3.3	3.6	3.8	3.3	2.9	3.4	3.5	3.2	3.1	3.9	5.4	5.8	5.8	5.0	4.7
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	27	3.0	3.9	2.9	1.2	2.5	3.2	2.9	2.1	1.9	1.2	1.2	5.1	5.1	4.3	3.7	3.4	3.0	3.1	3.1	3.0	3.1	2.9	2.5	2.9
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	28	0.1	6.1	2.9	1.9	2.8	2.5	2.5	6.1	2.6	2.7	2.5	2.3	2.9	3.0	4.0	3.7	3.7	3.3	3.8	3.8	2.9	3.2	2.8	
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	29	4.2	2.8	3.3	3.2	2.9	3.4	3.3	3.1	3.5	2.8	3.6	3.8	2.4	3.2	3.3	3.0	4.5	3.6	3.4	3.8	3.8	4.7	4.0	3.7
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	30	8.2	5.1	4.3	3.6	3.9	3.1	2.6	1.8	2.3	3.6	4.3	2.9	3.2	3.3	3.7	4.6	4.4	6.3	6.2	5.8	6.0	7.2	9.2	7.9
33363781	21	35.65	136.9625	50	1	31	4.3	8.1	11.2	11.5	12.2	12.7	12.7	13.4	13.4	13.0	12.6	11.8	12.1	12.3	11.7	10.4	10.5	10.5	9.3	8.2	8.6	7.3	9.0	9.0

### (c) 風力発電の設備入力条件

風力発電設備の発電量算定を行うにあたり、設備条件として入力する項目は以下の2項目とする。

- ハブ高さ[m]
- 発電特性(パワーカーブ)

参考までに、以下に風力発電設備の発電特性に関するデータを表 4.33 に示す。入力する発電特性(パワーカーブ)は、風速階級毎の風車の発電量を示す出力比データである。

表 4.33 発電特性(パワーカーブ)例

	例1	例2	例3	例4	例5
メーカー名	E社	M社	G社	V社	V社
定格出力	500kW	1,000kW	1,500kW	2,000kW	3,000kW
ハブ高	44.0m	61.4m	64.7m	67.0m	80.0m
カットイン風速	2.5m/s	2.5m/s	3.5m/s	4.0m/s	4.0m/s
カットアウト風速	25.0m/s	25.0m/s	25.0m/s	25.0m/s	25.0m/s
風速階級[m/s]	出力比[%]	出力比[%]	出力比[%]	出力比[%]	出力比[%]
2	0	0	0	0	0
3	0.6	0.7	0	0	0
4	2.8	3.9	2.9	3.3	2.6
5	7.0	9.1	8.7	7.6	6.3
6	12.8	16.0	16.7	14.0	11.8
7	21.4	26.1	27.7	22.9	19.4
8	31.6	39.9	42.7	34.5	29.5
9	46.8	56.5	61.6	48.9	42.4
10	64.8	74.1	78.7	64.8	57.0
11	80.8	88.8	90.6	79.9	71.5
12	92.6	97.6	95.7	90.9	84.8
13	98.2	100	98.7	96.8	94.6
14	100	100	99.6	99.0	98.8
15	100	100	100	99.8	99.8
16	100	100	100	99.9	100
17	100	100	100	100	100
18	100	100	100	100	100
19	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100
21	100	100	100	100	100
22	100	100	100	100	100
23	100	100	100	100	100
24	100	100	100	100	100
25	100	100	100	100	100

注) 風速階級別の出力比は定格出力を100%とした発電出力の比率(%)で示す。



#### (d) 風力発電の発電量算定

風力発電設備の発電量を予測するにあたって、算定された時刻別平均風速を、風車のハブ高さにおける風速に補正する必要がある。風速の高度分布については、経験則として「指数則（べき法則）」が成り立つことが知られており、以下の式が用いられる。

$$V = V_1 \left( \frac{Z}{Z_1} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.129)$$

- ここで、 $V$  : 予測するハブ高の風速[m/s]  
 $V_1$  : 選択した 70, 50, 30m 高、いずれかの時刻別平均風速[m/s]  
 $Z$  : 予測するハブ高の高度[m]  
 $Z_1$  : 選択した 70, 50, 30m 高、いずれかの高度[m]  
 $1/n$  : 指数則のべき指数（分母を  $n$  値と呼ぶ）

「指数則」から上空の風速を推定する場合、べき指数( $1/n$ )の値は地表の粗度状態により変わり、平坦な海岸地域等では  $n = 7$ 、内陸では  $n = 5$  程度が用いられる。

ここまでの計算を受けて、風力発電設備による発電量[kWh]は以下の通り算定する。

○ 発電量[kWh] = 風速階級別発電量[kWh] (4.130)  
(時刻別高度補正平均風速[m/s]を元として)

## (6) 水素活用燃料電池・熱源システムエネルギー消費量計算プログラム

(地域熱供給・個別熱供給用)

### (a) 本プログラムのメインフローとサブルーチンの構成

#### 1) 本プログラムのメインフローと特徴

##### ① 本プログラムのメインフロー

本プログラムのメインフローを図 4.38 に示す。入力サブルーチンは「**1** コージェネ・熱源プラント機器計画データの入力」と「**2** 月別・時刻別熱・電力需要量データの入力」の2つを設定する。また、計算サブルーチンは「(1) 熱源プラント負荷の算定」から「(18) 熱源プラント上水使用量・下水排出量の算定」に至る 18 種類により構成している。出力サブルーチンは「計算結果の出力」を設定する。

##### ② 本プログラムの特徴

本プログラムでは、地域熱供給システムや個別建物での熱供給システムのエネルギー消費量計算を行うことができ、また、蓄熱システムや蓄電システム、蓄水素システム、逆潮システムを選択も行うことができる。コージェネレーションシステムについては、燃料電池だけでなく従来のガスエンジン発電機を使用したシステムにも対応することができる。

#### 2) 入出力サブルーチンの構成と主な内容

入力サブルーチンは、「**1** コージェネ・熱源プラント機器計画データの入力」と「**2** 月別・時刻別熱・電力需要量データの入力」の2つに分けて設定する。また、出力サブルーチンは、「**3** 計算結果の出力」を設定する。

表 4.34 に入出力サブルーチンの構成と主な内容をまとめる。

表 4.34 入出力サブルーチンの構成と主な内容

サブルーチン名	主な内容
<p>1 コージェネ・熱源プラント機器計画データの入力</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「プラント一般計画データ」では、熱源システムの計画条件を入力するもので、供給熱媒条件、地域導管熱損失率、プラント面積、補機電力計画条件などを設定する。</li> <li>● 「熱源機器計画データ」では、各種冷凍機による冷熱源機器の台数、容量、COPや運転順位条件を入力する。蓄熱槽では月別に使用する槽容量や蓄熱効率などの条件を入力する。温水熱源機器・蒸気ボイラでは、温水熱交換器や電動ヒートポンプ・温水ボイラ・蒸気ボイラなどの容量や運転順位条件を入力する。</li> <li>● 「発電機計画データ」では、発電機の種類・燃料や発電効率・排熱回収率など発電機特性データと月別時刻別の発電機出力と運転スケジュール条件を入力する。</li> </ul>
<p>2 月別・時刻別熱・電力需要量データの入力</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 「熱・電力需要想定計算プログラム」で求めた月別・時刻別熱・電力需要量のデータを入力する。</li> </ul>
<p>3 計算結果の出力</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 月別・時刻別にエネルギー消費量の計算を行ったすべての結果を月別・時刻別並びに年間値として出力する。</li> </ul>

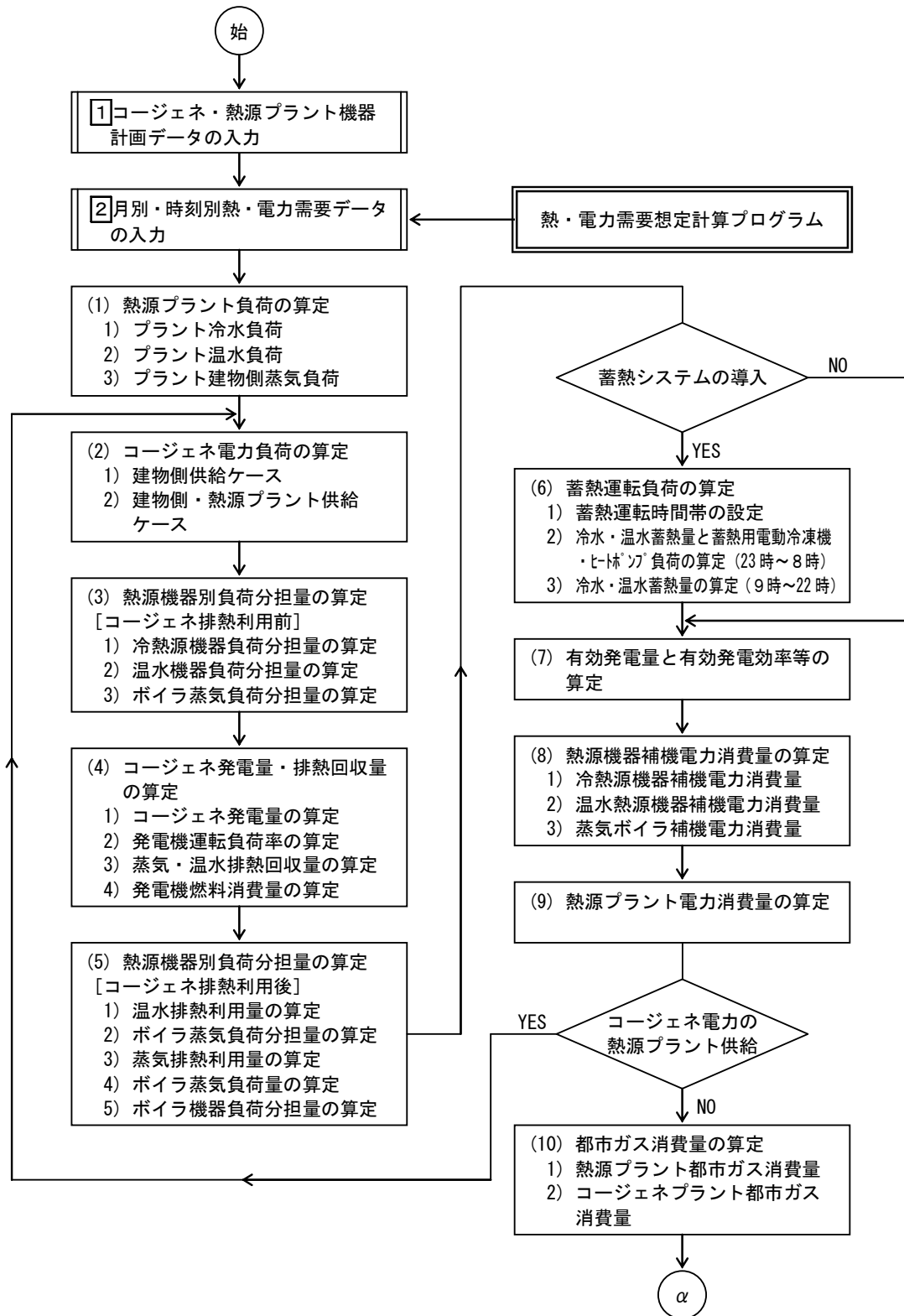


図 4.38(1) 水素活用燃料電池・熱源システムのエネルギー消費量計算フロー (1/2)

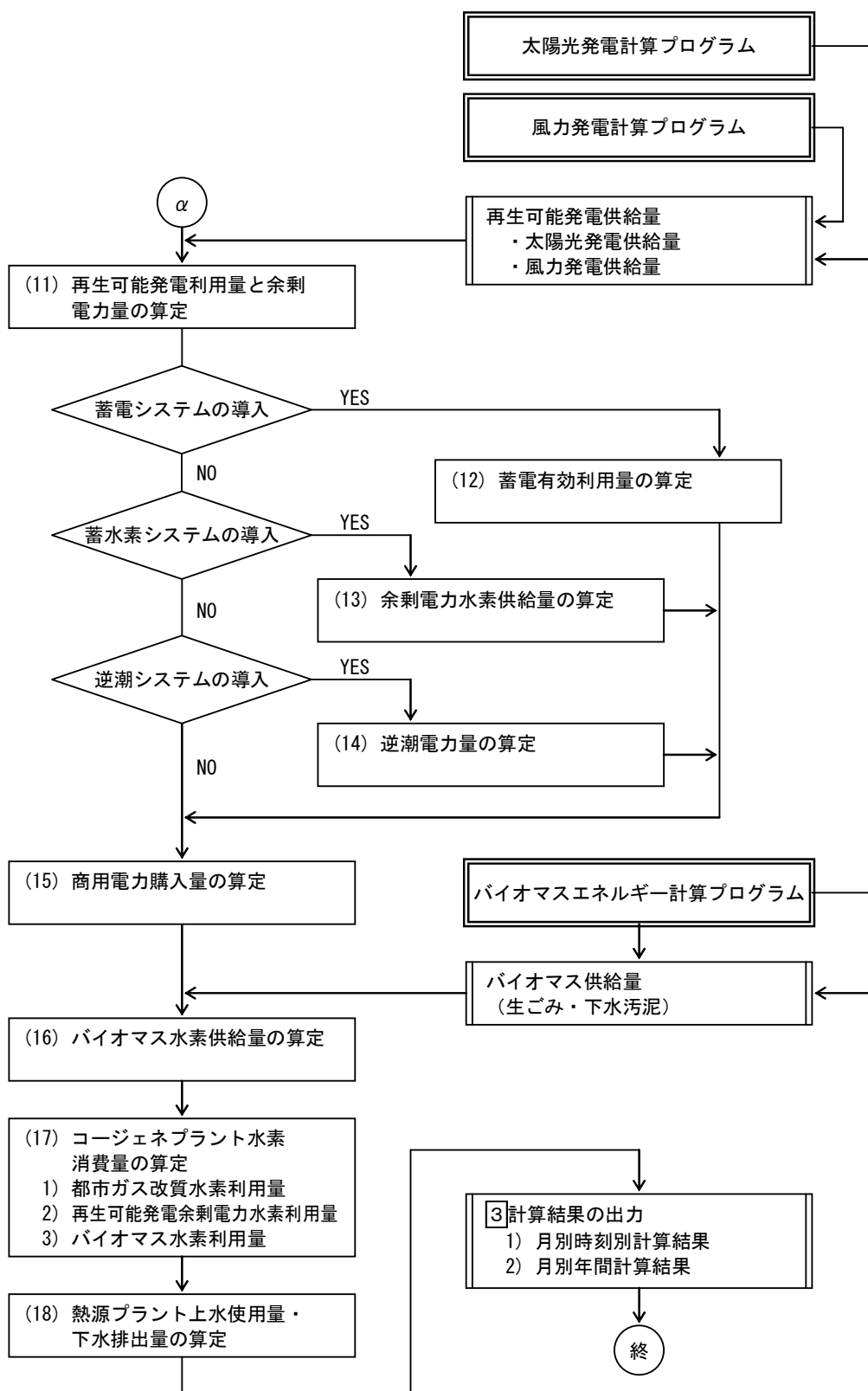


図 4.38(2) 水素活用燃料電池・熱源システムのエネルギー消費量計算フロー (2/2)

3) 燃料電池コージェネ・熱源プラントのシステム計画フロー

本プログラムの計算を想定している燃料電池コージェネ・熱源プラントのシステム計画フローを図 4.39 に示す。

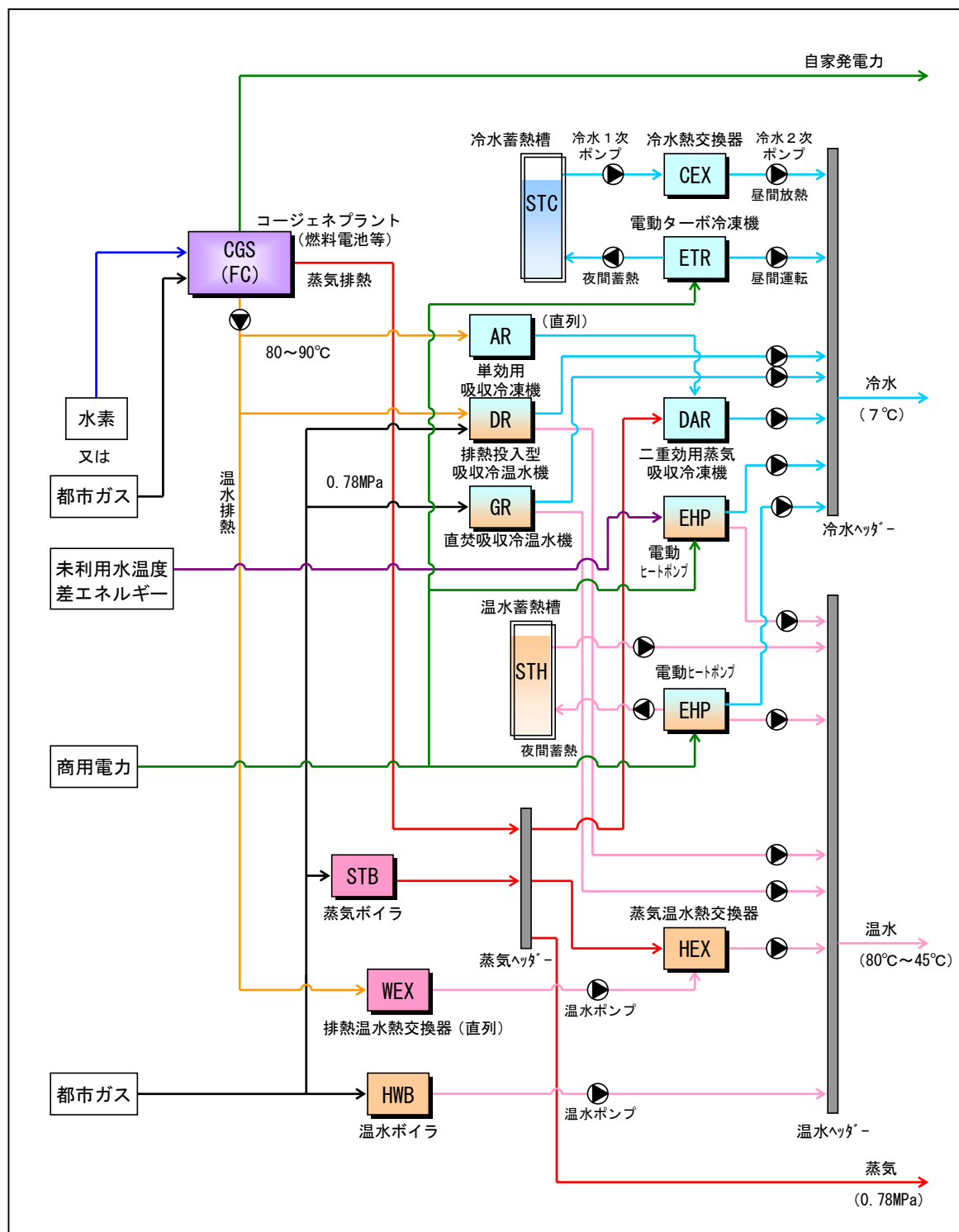


図 4.39 燃料電池コージェネ・熱源プラントのシステム計画フロー

① コージェネ・熱源プラント機器計画データの入力

(i) プラント一般計画データ

1) 供給熱媒条件	・冷水：行き温度	7	°C	返り温度	14	°C	行き返り温度差	7	°C
	・温水：行き温度		°C	返り温度		°C	行き返り温度差		°C
	・蒸気：行き圧力	0.78	MPa	還水温度	80	°C			
2) 建物需要に対する 温水負荷の分担割合	・暖房需要		%						
	・給湯需要		%						
3) 建物需要に対する 蒸気負荷の分担割合	・暖房需要		%						
	・給湯需要		%						
4) 地域導管熱損失率	・冷水		%						
	・温水		%						
	・蒸気		%						
5) 熱源機器運転最大 負荷率	・冷凍機等冷熱源機器	80	%						
	・ボイラ温熱源機器	80	%						
6) プラント面積	・熱源プラント		m <sup>2</sup>						
	・コージェネプラント		m <sup>2</sup>						

7) 補機電力計画条件	・電動系冷水ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・電動系冷却水ポンプ	冷却水原単位	0.62	m <sup>3</sup> /RTh	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・電動系冷却塔ファン	動力原単位	0.026	kW/RT					
	・二重効用吸収系冷水ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・二重効用吸収系冷却水ポンプ	冷却水量	0.94	m <sup>3</sup> /RTh	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・二重効用吸収系冷却塔ファン	動力原単位	0.04	kW/RT					
	・単効用吸収系冷水ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・単効用吸収系冷却水ポンプ	冷却水量	1.2	m <sup>3</sup> /RTh	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・単効用吸収系冷却塔ファン	動力原単位	0.048	kW/RT					
	・蒸気温水熱交温水ポンプ	温水温度差	20	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・温水ボイラ温水ポンプ	温水温度差	20	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・蒸気ボイラ給水ポンプ	流量原単位	0.444	t/GJ	ポンプ揚程	120	m	ポンプ総合効率	0.5
	・冷水熱交1次ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・冷水熱交2次ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・電動ヒートポンプ温水ポンプ	温水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・直焚吸収冷温水機温水ポンプ	温水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
・温水放熱ポンプ	温水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7	

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
8) 冷却塔ファン負荷率 (%)	50	50	50	70	70	90	90	90	90	70	70	50
9) 平日稼働日数 (日)												
10) 休日稼働日数 (日)												
11) 付帯設備電力原単位 (kW/m <sup>2</sup> )	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.038	0.038	0.038	0.038	0.025	0.025	0.025
12) 上水補給水原単位 (m <sup>3</sup> /GJ)	※デフォルト値を入力											
・吸収系冷却塔	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
・電動系冷却塔	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
・冷水補給水	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
・温水補給水	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
・蒸気ボイラ補給水	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041
・所内用水率	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
13) 下水排出原単位												
・ブロー損失比	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

(デフォルト値)

(ii) 熱源機器計画データ

(ア) 冷熱源機器 (冷水)

種類	台数	略称	容量 (RT)	COP	本体機器 (kW)	運転順位												蓄熱フラグ	
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		
①冷水熱交換器	2	CEX01	100	1.0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
		CEX02	100	1.0		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
②電動ターボ冷凍機	2	ETRO1	200	6.0	3.0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
		ETRO2	400	6.0	6.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1
③二重効用蒸気吸収冷凍機	5	DAR01	400	1.4	6.0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0
		DAR02	850	1.4	12.8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0
		DAR03	850	1.4	12.8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0
		DAR04	850	1.4	12.8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	0
		DAR05	850	1.4	12.8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0
④単効用吸収冷凍機 (直列)	2	AR01	100	0.7		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
		AR02	100	0.7		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
⑤直焚吸収冷水機	0																		
⑥電動ヒートポンプ	0																		

注) 蓄熱フラグで1を与えた冷凍機は、夜間の蓄熱運転用機器として設定。  
蓄熱運転時間帯では当該機器は冷水供給機器より除外する。

(イ) 冷水蓄熱槽

種類	台数	略称	容量 (m <sup>3</sup> )	蓄熱効率 (%)	熱損失率 (%)	月別槽容量												
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
冷水槽	-	STC	2000	70	0.12	1000	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000	1000	1000	1000	1000
		入口温度 (°C)	5															
		出口温度 (°C)	12															
		温度差 (°C)	7															
		運転条件				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		運転時間条件				0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922

※運転条件で0を入力すると運転停止

※運転時間条件の「0922」は8:00~22:00で放熱、22:00~8:00で蓄熱運転



(ウ)温水熱源機器

種類	台数	略称	容量 (MJ/h)	効率	本体機器 (kW)	運転順位												蓄熱 フラグ	
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		
①蒸気温水熱交換器	2	HEX01	1000	0.9	0.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		HEX02	1000	0.9	0.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
②温水ボイラ	2	HWB01	1000	1.0	1.0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
		HWB02	1000	1.0	1.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
③排熱温水熱交換器	2	WEX01	1000	1.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		WEX02	1000	1.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⑤直焚吸収冷水機	0																		
⑥電動ヒートポンプ	0																		

(エ)蒸気ボイラ

種類	台数	略称	容量 (MJ/h)	効率	本体機器 (kW)	運転順位												
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
①蒸気ボイラ	5	STB01	5415	0.9	6.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		STB02	5415	0.9	6.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		STB03	10830	0.9	12.0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		STB04	10830	0.9	12.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		STB05	21660	0.9	24.0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

(オ)温水蓄熱槽

種類	台数	略称	容量 (m <sup>3</sup> )	蓄熱効率 (%)	熱損失率 (%)	月別槽容量													
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		
温水槽	-	STH																	
		入口温度(°C)																	
		出口温度(°C)																	
		温度差(°C)																	
		運転条件																	
		運転時間条件				0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	

※運転条件で0を入力すると運転停止

※運転時間条件の「0922」は8:00~22:00で放熱、22:00~8:00で蓄熱運転

(iii) 発電機等運転計画データ

(ア) 発電機システム

項目	入力値	発電機種類											
		1. PEFC	2. PAFC	3. MCFC	4. SOFC	5. GE	6. GT						
①発電機計画		1	1. 都市ガス	2. 水素	3. LPG	4. 灯油	5. 重油						
発電機種類		1	1. 都市ガス	2. 水素	3. LPG	4. 灯油	5. 重油						
発電機燃料		0.418	(-)										
定格時発電効率 (LHV)		0.207	(-)										
定格時排熱回収率 (蒸気) (LHV)		0.108	(-)										
定格時排熱回収率 (温水) (LHV)		40.66	MJ/m3N										
燃料低位発熱量		0.212	m3N/kWh										
単位定格時燃料消費量		1.783	MJ/kWh										
単位定格時排熱回収量 (蒸気)		0.930	MJ/kWh					入力値		入力値			
単位定格時排熱回収量 (温水)													
熱消費量比 (燃料)		Y=aX+b ; X=発電機負荷率 (-)				a =	0.7780	b =	0.2158				
排熱回収量比 (蒸気)		Y=aX+b ; X=発電機負荷率 (-)				a =	0.7980	b =	0.1888				
排熱回収量比 (温水)		Y=aX+b ; X=発電機負荷率 (-)				a =	0.7220	b =	0.3075				
発電機補機電力消費割合		0.035	(-)										
発電余裕量		0.10	MW										
逆潮条件		0	なし	1. あり									
(MW)													
時刻	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
②発電機出力 (MW) と 運転スケジュール	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	8	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	
	9	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	
	10	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	11	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	12	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	13	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	14	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	15	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	16	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	17	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	18	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	19	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	
	20	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	
	21	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	
	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

(設定例)

(イ) 蓄電システム

項目	入力値						
蓄電池							
蓄電池容量							
蓄電池有効効率	(-)						
蓄電システム運転条件	0	なし	1. あり				

(ロ) 水素システム

項目	入力値						
水素改質・CO2回収装置							
水素製造量	m3N/h						
水素改質効率	(-)						
CO2回収率	(-)						
補機電力原単位	0	kWh/m3N					
水電気分解水素製造装置							
水素製造量	m3N/h						
電解効率	(-)						
圧縮効率	(-)						
水素タンク							
タンク容量							
蓄水素システム運転条件	0	なし	1. あり				

## ②計算ロジックの整理

### (i) 熱源プラント負荷の算定

#### (ア) プラント冷水負荷

月別時刻別のプラント冷水負荷は、供給対象建物の「冷房需要想定量」に、冷水地域導管熱損失率を乗じて算定する。

$$\text{プラント冷水負荷} = \text{冷房需要量} \times (1 + \text{冷水地域導管熱損失率}) \quad (4.131)$$

#### (イ) プラント温水負荷

月別時刻別のプラント温水負荷は、供給対象建物の「暖房需要量」・「給湯需要量」と暖房と給湯の「温水負荷分担割合」に基づいて算定される建物側の温水需要量に、温水地域導管熱損失率を乗じて算定する。

$$\begin{aligned} \text{プラント温水負荷} = & \{ (\text{暖房需要量} \times \text{暖房温水負荷分担割合}) \\ & + (\text{給湯需要量} \times \text{給湯温水負荷分担割合}) \} \\ & \times (1 + \text{温水地域導管熱損失率}) \end{aligned} \quad (4.132)$$

#### (ウ) プラント建物側蒸気負荷

月別時刻別のプラント蒸気負荷は、供給対象建物の「暖房需要量」・「給湯需要量」と暖房と給湯の「蒸気負荷分担割合」並びに「蒸気需要量」に基づいて算定される建物側の蒸気需要量に、蒸気還水地域導管熱損失率を乗じて算定する。

$$\begin{aligned} \text{プラント建物側蒸気負荷} = & \{ (\text{暖房需要量} \times \text{暖房蒸気負荷分担割合}) \\ & + (\text{暖房需要量} \times \text{給湯蒸気負荷分担割合}) + \text{蒸気需要量} \} \\ & \times (1 + \text{蒸気還水地域導管熱損失率}) \end{aligned} \quad (4.133)$$

### (ii) コージェネ電力負荷の算定

#### (ア) 建物側供給ケースの場合

本ケースの月別時刻別のコージェネ電力負荷は、建物側の「熱・電力需要想定計算プログラム」で自家発電力の供給対象として求めた「コージェネ電力需要量」を設定する。

$$\text{コージェネ電力負荷} = \text{コージェネ電力需要量}$$

#### (イ) 建物側・熱源プラント供給ケースの場合

本ケースの月別時刻別のコージェネ電力負荷は、建物側のコージェネ電力需要量に熱源プラントの電力負荷量を加えて設定する。

なお、本ケースの熱源プラント電力負荷量は、コージェネ排熱の有効利用量により、熱源プラント補機電力量が若干異なるため、「熱源プラント電力負荷量」が安定するまでループ計算を行う。

- コージェネ電力負荷＝コージェネ電力需要量＋熱源プラント電力負荷量

(iii) 熱源機器別負荷分担量の算定 [コージェネ排熱利用前]

(ア) 冷熱源機器負荷分担量の算定 [排熱利用前]

冷熱源機器の冷水負荷分担量は、当該時刻の「プラント冷水負荷量」と「冷凍機等冷熱源機器の運転最大負荷率」に基づいて次のように算定する。

- ・ 冷熱源機器運転台数の設定

- プラント冷水負荷量 > 第1順位の冷熱源機器容量 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times \text{運転最大負荷率}(\%) \times 0.01$$

- プラント冷水負荷量 > [第1順位＋第2順位]の冷熱源機器容量合計 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times \text{運転最大負荷率}(\%) \times 0.01$$

となるNC (=冷熱源機器運転台数) を求める。

- ・ 冷熱源機器運転負荷率の算定

- 冷熱源機器運転負荷率(%) = プラント冷水負荷量

$$\div ([\text{第1順位} + \dots + \text{第N順位}] \text{の冷熱源機器容量合計}(\text{RT}))$$

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times 10$$

- ・ 冷熱源機器別冷水負荷量の算定

- 第1順位の冷熱源機器冷水負荷量 = 第1順位の冷熱源機器容量 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times \text{冷熱源機器運転負荷率}(\%) \times 0.01$$

以下、第N順位まで繰り返す。

- 第N順位の冷熱源機器冷水負荷量 = 第N順位の冷熱源機器容量 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times \text{冷熱源機器運転負荷率}(\%) \times 0.01$$

(i) 温水熱源機器負荷分担量の算定 [排熱利用前]

温水熱源機器の温水負荷分担量は、当該時刻の「プラント温水負荷量」と「温水熱源機器の運転最大負荷率」に基づいて次のように算定する。

・ 温水熱源機器運転台数の設定

○ プラント温水負荷量>

$$\text{第1順位の温水熱源機器容量(MJ/h)} \times \text{運転最大負荷率(\%)} \times 0.01$$

○ プラント温水負荷量>

$$\begin{aligned} & \text{[第1順位+第2順位]の温水熱源機器容量合計(MJ/h)} \\ & \times \text{運転最大負荷率(\%)} \times 0.01 \end{aligned}$$

以下、第1順位から第N順位まで繰り返して、

○ プラント温水負荷量<

$$\begin{aligned} & \text{[第1順位+}\cdots\text{+第N順位]の温水熱源機器容量合計(MJ/h)} \\ & \times \text{運転最大負荷率(\%)} \times 0.01 \end{aligned}$$

となるNH (= 温水熱源機器運転台数) を求める。

・ 温水熱源機器運転負荷率の算定

○ 温水熱源機器運転負荷率(%) = プラント温水負荷量

$$\div \text{[第1順位+}\cdots\text{+第N順位]の温水熱源機器容量合計(MJ/h)} \times 100$$

・ 温水熱源機器別温水負荷量の算定

$$\begin{aligned} \text{○ 第1順位の温水熱源機器温水負荷量} & = \text{第1順位の温水熱源機器容量(MJ/h)} \\ & \times \text{温水熱源機器運転負荷率(\%)} \times 0.01 \end{aligned}$$

以下、第N順位まで繰り返す。

$$\begin{aligned} \text{○ 第N順位の温水熱源機器温水負荷量} & = \text{第N順位の温水熱源機器容量(MJ/h)} \\ & \times \text{温水熱源機器運転負荷率(\%)} \times 0.01 \end{aligned}$$

(ウ)ボイラ蒸気負荷分担量の算定 [排熱利用前]

・二重効用吸収冷凍機冷水負荷量の算定

○ 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量 = 二重効用吸収冷凍機別冷水負荷量合計値

○ 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量

= 二重効用吸収冷凍機別冷水負荷量合計値 ÷ 吸収冷凍機COP

・蒸気温水熱交換器の所要蒸気負荷量の算定

○ 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量

= 温水蒸気熱交換器別温水負荷量合計値 × 1.0

・ボイラ蒸気負荷量 [排熱利用前] の算定

○ ボイラ蒸気負荷量 [排熱利用前] = プラント建物側蒸気負荷量

+ 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量

+ 温水蒸気熱交換器所要蒸気負荷量

(iv) コージェネ発電量と排熱回収量の算定

(ア) コージェネ発電量の算定

「コージェネ電力負荷」と入力データで設定した「運転発電機容量」とを比較して、コージェネ発電量を算定する。

- ・ コージェネ電力負荷 > 運転発電機容量の時は
  - コージェネ発電量 = 運転発電機容量
  
- ・ コージェネ電力負荷 ≤ 運転発電機容量の時は
  - コージェネ発電量 = コージェネ電力負荷 - 発電余裕量

(イ) 発電機運転負荷率の算定

- 発電機運転負荷率 = コージェネ発電量 ÷ 運転発電機容量 × 100

(ウ) 蒸気・温水排熱回収量の算定

- 蒸気排熱回収量 = 運転発電機容量 (MW) × 単位定格時蒸気排熱回収量 (MJ/kWh)  
× 蒸気排熱回収量比

注) 単位定格時蒸気排熱回収量 = 3.6MJ/kWh ÷ 定格時発電効率  
× 定格時蒸気排熱回収率

$$\text{蒸気排熱回収量比} = aX + b$$

$$X = \text{発電機負荷率}(\%) \times 0.01$$

a、b は発電機特性値

いずれも入力データによる。

- 温水排熱回収量 = 運転発電機容量 (MW) × 単位定格時温水排熱回収量 (MJ/kWh)  
× 温水排熱回収量比

注) 単位定格時温水排熱回収量 = 3.6MJ/kWh ÷ 定格時発電効率  
× 定格時温水排熱回収率

$$\text{温水排熱回収量比} = aX + b$$

$$X = \text{発電機負荷率}(\%) \times 0.01$$

a、b は発電機特性値

いずれも入力データによる。

(エ) 発電機燃料消費量の算定

$$\begin{aligned} \circ \text{ 発電機燃料消費量 (千 m}^3\text{N/h)} &= \text{運転発電機容量 (MW)} \\ &\times \text{単位定格時燃料消費量 (m}^3\text{N/kWh)} \times \text{熱消費量比 (燃料)} \end{aligned}$$

$$\text{注) 単位定格時燃料消費量 (m}^3\text{ N/kWh)} = 3.6\text{MJ/kWh} \div (\text{定格時発電効率} \\ \times \text{燃料低位発熱量})$$

$$\text{熱消費量比 (燃料)} = aX + b$$

$$X = \text{発電機負荷率 (\%)} \times 0.01$$

a、b は発電機特性値

いずれも入力データによる。

(ヴ) 熱源機器別負荷分担量の算定 [コージェネ排熱利用後]

(ア) 温水排熱利用量の算定

温水排熱回収量の用途は、単効用吸収冷凍機による冷水負荷用と温水排熱熱交換器による温水負荷用の2種類が考えられるが、利用の優先順位は、冷水負荷用の効率が低いため温水負荷用を優先する。

・ 温水負荷用温水排熱利用量の算定

→ プラント温水負荷  $\geq$  温水排熱回収量の時

$$\text{温水負荷用温水排熱利用量} = \text{温水排熱回収量}$$

→ プラント温水負荷 < 温水排熱回収量の時

$$\text{温水負荷用温水排熱利用量} = \text{プラント温水負荷}$$

・ 冷水負荷用温水排熱利用量の算定

→ プラント温水負荷  $\geq$  温水排熱回収量の時

$$\text{冷水負荷用温水排熱利用量} = 0$$

→ プラント温水負荷 < 温水排熱回収量の時

$$\text{冷水負荷用温水排熱利用可能量} = \text{温水排熱回収量} - \text{プラント温水負荷}$$

→ プラント冷水負荷 > 冷水負荷用温水排熱利用可能量  $\times$  単効用吸収 COP の時

$$\text{冷水負荷用温水排熱利用量} = \text{温水排熱回収量} - \text{プラント温水負荷}$$

→ プラント冷水負荷  $\leq$  冷水負荷用温水排熱利用可能量  $\times$  単効用吸収 COP の時

$$\text{冷水負荷用温水排熱利用量} = \text{プラント冷水負荷} \div \text{単効用吸収 COP}$$

・ 温水排熱利用量の算定

$$\circ \text{ 温水排熱利用量} = \text{温水負荷用温水排熱利用量} + \text{冷水負荷用温水排熱利用量}$$



(イ)ボイラ蒸気負荷分担量の算定 [温水排熱利用後]

- 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量の算定
  - 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量 = 二重効用吸収冷凍機別冷水負荷量合計値  
− 冷水負荷用温水排熱量 × 単効用吸収COP
  - 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量  
= 二重効用吸収冷凍機別冷水負荷量 ÷ 吸収冷凍機COP
  
- 蒸気温水熱交換器の所要蒸気負荷量の算定
  - 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量  
= 蒸気温水熱交換器別温水負荷量合計値 × 1.0  
− 温水負荷用温水排熱利用量
  
- ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] の算定
  - ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] = プラント建物側蒸気負荷量  
+ 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量  
+ 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量

(ロ)蒸気排熱利用量の算定

- ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] > 蒸気排熱回収量の時
  - 蒸気排熱利用量 = 蒸気排熱回収量
- ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] ≤ 蒸気排熱回収量の時
  - 蒸気排熱利用量 = ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後]
- ボイラ蒸気負荷量 [蒸気温水排熱利用後] の算定
  - ボイラ蒸気負荷量 [蒸気温水排熱利用後]  
= ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] − 蒸気排熱利用量

(エ)ボイラ機器負荷分担量の算定 [排熱利用後]

ボイラ機器の蒸気負荷分担量は、当該時刻の「ボイラ蒸気負荷量」と「ボイラ機器の運転最大負荷率」に基づいて次のように算定する。

・ボイラ運転台数の設定

○ ボイラ蒸気負荷量 > 第1順位のボイラ機器容量(MJ/h) × 0.001  
× 運転最大負荷率(%) × 0.01

○ ボイラ蒸気負荷量 > [第1順位 + 第2順位]ボイラ機器容量合計 × 0.001  
× 運転最大負荷率(%) × 0.01

以下、第1順位から第N順位まで繰り返して、

○ ボイラ蒸気負荷量 < [第1順位 + … + 第N順位]ボイラ機器容量合計 × 0.001  
× 運転最大負荷率(%) × 0.01

となるNB (=運転台数) を求める。

・ボイラ運転負荷率の算定

○ ボイラ運転負荷率(%) = ボイラ蒸気負荷量  
÷ ([第1順位 + … + 第N順位]ボイラ機器容量合計 × 0.001) × 100

(vi)蓄熱運転負荷の算定

(ア)冷水蓄熱運転負荷の算定

・蓄熱運転時間帯の設定

蓄熱運転時間帯は、放熱用の「冷水熱交換器」の運転時間帯で設定した時間帯を除く時間帯として設定する。

(例) 冷水熱交換器運転時間条件

1月	~	12月
0922		0922

とした場合、「8：00～22：00」で冷水熱交換器を運転。

この場合の蓄熱運転時間帯は「22：00～8：00」と設定する。

注)「0922」の意味は「09」時より「22」時までの運転を示す。

本プログラムの時刻の標記では、「01」時から「24」時としており、「01」時は「0：00～1：00」の1時間値を示す。

・冷水蓄熱量と蓄熱用電動冷凍機負荷の算定（22：00～8：00）

○ 当該時刻蓄熱量初期値＝前時刻残存蓄熱量＋蓄熱用電動冷凍機定格容量 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3}$$

→当該時刻蓄熱量＞冷水最大蓄熱量の場合

- 当該時刻蓄熱量＝冷水最大蓄熱量
- 当該時刻蓄熱用電動冷凍機負荷＝冷水最大蓄熱量－前時刻残存蓄熱量
- 次時刻以降の蓄熱用電動冷凍機負荷＝0

→当該時刻蓄熱量≤冷水最大蓄熱量の場合

- 当該時刻蓄熱量＝当該時刻蓄熱量初期値
- 当該時刻蓄熱用電動冷凍機負荷＝蓄熱用電動冷凍機定格容量

・冷水蓄熱量の算定（8：00～22：00）

冷水熱交換器の運転による冷水槽から冷水を放熱する時の冷水蓄熱量は次のように算定する。

○ 当該時刻蓄熱量＝前時刻残存蓄熱量－当該時刻冷水熱交換器負荷

(i) 温水蓄熱運転負荷の算定

・蓄熱運転時間帯の設定

蓄熱運転時間帯は、放熱運転時間帯で設定した時間帯を除く時間帯として設定する。

(例) 放熱運転時間条件

1月	~	12月
0922		0922

とした場合、「8：00～22：00」で放熱運転。

この場合の蓄熱運転時間帯は「22：00～8：00」と設定する。

注) 「0922」の意味は「09」時より「22」時までの運転を示す。

本プログラムの時刻の標記では、「01」時から「24」時としており、「01」時は「0：00～1：00」の1時間値を示す。

・温水蓄熱量と蓄熱用電動ヒートポンプ負荷の算定（22：00～8：00）

○ 当該時刻蓄熱量初期値＝前時刻残存蓄熱量

$$+ \text{蓄熱用電動ヒートポンプ定格容量(MJ/h)} \times 10^{-3}$$

◆ 当該時刻蓄熱量 > 温水最大蓄熱量の場合

○ 当該時刻蓄熱量＝温水最大蓄熱量

○ 当該時刻蓄熱用電動ヒートポンプ負荷＝温水最大蓄熱量－前時刻残存蓄熱量

○ 次時刻以降の蓄熱用電動ヒートポンプ負荷＝0

◆ 当該時刻蓄熱量 ≤ 温水最大蓄熱量の場合

○ 当該時刻蓄熱量＝当該時刻蓄熱量初期値

○ 当該時刻蓄熱用電動ヒートポンプ負荷＝蓄熱用電動ヒートポンプ定格容量

・温水蓄熱量の算定（8：00～22：00）

放熱運転による温水槽から温水を放熱する時の温水蓄熱量は次のように算定する。

○ 当該時刻蓄熱量＝前時刻残存蓄熱量－当該時刻放熱負荷

(vii)有効発電量と有効発電効率等の算定

- 発電機補機電力量 = 発電機負荷量 × 発電機補機電力消費割合
- 有効発電量 = 発電機負荷量 - 発電機補機電力量
- 有効発電効率 (%) = 有効発電量 × 3.6 ÷ (発電機燃料消費量 × 燃料低位発熱量) × 100
- 温水排熱有効回収率 (%) = 温水排熱利用量  
÷ (発電機燃料消費量 × 燃料低位発熱量) × 100
- 蒸気排熱有効回収率 (%) = 蒸気排熱利用量  
÷ (発電機燃料消費量 × 燃料低位発熱量) × 100
- 有効総合熱効率 (%) = 有効発電効率 + 温水排熱有効回収率 + 蒸気排熱有効回収率

(viii)熱源機器補機電力消費量の算定

(7)冷熱源機器補機電力消費量

入力した全ての冷熱源機器に対応する冷水ポンプ、冷却水ポンプ、冷却塔ファンの所要動力を算定しておいて、時刻毎に冷水負荷分担で設定したNC台の運転機器の補機動力を集計する。

- ・ 冷水熱交換器の補機所要動力の算定
  - 冷水1次ポンプ所要動力 = 冷水流量 (m<sup>3</sup>/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163  
÷ ポンプ総合効率
  - 冷水2次ポンプ所要動力 = 冷水流量 (m<sup>3</sup>/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163  
÷ ポンプ総合効率
- ・ 各冷凍機の補機所要動力の算定
  - 冷水ポンプ所要動力 = 冷水流量 (m<sup>3</sup>/h) × ポンプ揚程 (m)  
× 0.163 ÷ ポンプ総合効率
  - 冷水流量 = 冷熱源機器容量 (RT) × 3.024 ÷ 冷水温度差
  - 冷却水ポンプ所要動力 = 冷却水流量 (m<sup>3</sup>/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163  
÷ ポンプ総合効率
  - 冷却水流量 = 冷熱源機器容量 (RT) × 冷却水原単位 (m<sup>3</sup>/RTh)
  - 冷却塔ファン所要動力 = 冷熱源機器容量 (RT) × 冷却塔ファン原単位 (kW/RT)  
× 月別冷却塔ファン負荷率 (%) × 0.01

・冷熱源補機電力消費量の算定

- 冷熱源補機電力消費量＝冷凍機本体補機動力＋冷水ポンプ所要動力  
＋冷却水ポンプ所要動力＋冷却塔ファン所要動力  
＋冷水 1 次ポンプ所要動力＋冷水 2 次ポンプ所要動力

(i) 温水熱源機器補機電力消費量

入力した全ての温水熱源機器に対応する温水ポンプの所要動力を算定しておいて、時刻毎に温水負荷分担で設定した NH 台の運転機器の補機動力を集計する。

- 温水ポンプ所要動力＝温水流量 (m<sup>3</sup>/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163 ÷ ポンプ総合効率  
温水流量＝温水熱源機器容量 (MJ/h) ÷ 4.186 ÷ 温水温度差
- 温水熱源機器補機電力消費量＝温水ボイラ本体補機動力＋温水ポンプ所要動力

(ii) 蒸気ボイラ補機電力消費量

入力した全ての蒸気熱源機器に対応する蒸気ボイラ給水ポンプの所要動力を算定しておいて、時刻毎にボイラ蒸気負荷分担で設定した NB 台の運転機器の補機動力を集計する。

- 蒸気ボイラ給水ポンプ所要動力＝蒸気流量 (m<sup>3</sup>/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163  
÷ ポンプ総合効率  
蒸気流量＝ボイラ容量 (MJ/h) ÷ 4.186 ÷ 0.538 × 0.001
- 蒸気ボイラ補機電力消費量＝蒸気ボイラ本体補機動力  
＋蒸気ボイラ給水ポンプ所要動力

(ix) 熱源プラント電力消費量の算定

(f) 電動冷凍機主機電力消費量の算定

冷熱源機器負荷分担量の算定結果に基づいて、電動冷凍機負荷を集計し、平均 COP により主機電力消費量を算定する。

- 電動冷凍機主機電力消費量＝電動冷凍機負荷 (GJ/h)  
÷ (電動冷凍機平均 COP × 3.6 GJ/MWh)

(i) 電動ヒートポンプ主機電力消費量の算定

温熱源機器負荷分担量の算定結果に基づいて、電動ヒートポンプ負荷を集計し、平均 COP により主機電力消費量を算定する。

- 電動ヒートポンプ主機電力消費量＝電動ヒートポンプ負荷 (GJ/h)  
÷ (電動ヒートポンプ平均 COP × 3.6 GJ/MWh)

(ウ)熱源機器補機電力消費量の算定

熱源機器補機電力消費量は、冷熱源機器補機と温水熱源機器補機並びに蒸気ボイラ補機の電力消費量の合計値とする。

- 熱源機器補機電力消費量＝冷熱源機器補機電力消費量  
＋温水熱源機器補機電力消費量＋蒸気ボイラ補機電力消費量

(エ)付帯設備電力消費量の算定

付帯設備電力消費量は、熱源プラント面積に月別に設定した付帯設備電力原単位を乗じて算定する。

- 付帯設備電力消費量＝熱源プラント面積(m<sup>2</sup>)×付帯設備電力原単位(kW/m<sup>2</sup>)  
×0.001

(カ)熱源プラント電力消費量の算定

熱源プラント電力消費量は、電動冷凍機主機と熱源機器補機並びに付帯設備の電力消費量の合計値として算定する。

- 熱源プラント電力消費量＝電動冷凍機主機電力消費量  
＋電動ヒートポンプ主機電力消費量＋熱源機器補機電力消費量  
＋付帯設備電力消費量

(キ)都市ガス消費量の算定

(ア)熱源プラント都市ガス消費量の算定

熱源プラント都市ガス消費量は、排熱利用後の熱源機器負荷分担量の算定結果に基づいて、蒸気ボイラ負荷（排熱利用後）と温水ボイラ負荷（排熱利用後）を集計し、設定した平均ボイラ効率により算定する。

- 蒸気ボイラ都市ガス消費量＝蒸気ボイラ負荷(蒸気排熱利用後)  
÷(蒸気ボイラ平均効率×都市ガス低位発熱量)
- 温水ボイラ都市ガス消費量＝温水ボイラ負荷(温水排熱利用後)  
÷(温水ボイラ平均効率×都市ガス低位発熱量)
- 熱源プラント都市ガス消費量＝蒸気ボイラ都市ガス消費量  
＋温水ボイラ都市ガス消費量

(イ)コージェネプラント都市ガス消費量の算定

コージェネプラントの発電機に使用する燃料が都市ガスの場合、先に求めた「発電機燃

料消費量」をコージェネプラント都市ガス消費量として設定する。

<発電機の燃料が都市ガスの場合>

- コージェネプラント都市ガス消費量＝発電機燃料消費量

なお、発電機の燃料が水素の場合、コージェネプラント都市ガス消費量はゼロとする。

(x i)再生可能発電利用量と余剰量の算定

はじめに、再生可能発電供給量とコージェネ供給対象商用電力購入量を次のように求めておく。

- 再生可能発電供給量＝太陽光発電供給量＋風力発電供給量
- コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)  
＝コージェネ電力負荷－コージェネ発電量

再生可能発電利用量は、コージェネ供給対象商用電力購入量と再生可能発電供給量の大小関係に基づいて次のように算定する。

(7)コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)＞再生可能発電供給量の場合

- 再生可能発電利用量＝再生可能発電供給量
- 再生可能発電余剰量＝0

(i)コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)≤再生可能発電供給量の場合

- 再生可能発電利用量＝コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)
- 再生可能発電余剰量＝再生可能発電供給量  
－コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)

- コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用後)  
＝コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)－再生可能発電利用量



(xii)蓄電有効利用量の算定

蓄電システムを導入するケースでは、上記の再生可能発電余剰量を蓄電池に貯蔵し、「コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用後)」に充当する。この時の蓄電有効利用量は次のように算定する。

- 蓄電有効利用量＝再生可能発電余剰量×蓄電池有効効率

この時のコージェネ供給対象商用電力購入量(蓄電利用後)は次のように算定する。

- コージェネ供給対象商用電力購入量(蓄電利用後)  
＝コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)－蓄電有効利用量

(xiii)再生可能発電余剰電力水素供給量の算定

蓄電システムではなく、蓄水素システムを導入するケースでは、上記の再生可能発電余剰量を水電気分解装置により水素に変換し、都市ガス改質水素供給量に充当する。この時の余剰電力水素供給量は次のように算定する。

- 再生可能発電余剰電力水素供給量＝再生可能発電余剰量×水電気分解水素製造効率

(xiv)逆潮電力量の算定

逆潮システムを導入するケースでは、上記の再生可能発電余剰量を商用電力の系統に逆潮するものとする。

- 逆潮電力量＝再生可能発電余剰量

(xv)商用電力購入量の算定

(ア)熱源プラント電力はコージェネ電力の供給対象としない場合

- 商用電力購入量＝熱源プラント電力消費量＋コージェネ供給対象商用電力購入量

(イ)熱源プラント電力をコージェネ電力の供給対象とする場合

- 商用電力購入量＝コージェネ供給対象商用電力購入量

(xvi)バイオマス水素供給量の算定

「バイオマスエネルギー計算プログラム」により算定される当該地区での利用可能な「バイオマス起源都市ガス供給量」のデータに基づいて、バイオマス水素供給量を算定する。

(ア)生ごみの場合

- バイオマス水素供給量＝生ごみ起源都市ガス供給量×都市ガス改質効率(LHV基準)

×都市ガス低位発熱量÷水素低位発熱量

(i)下水汚泥の場合

- バイオマス水素供給量＝下水汚泥起源都市ガス供給量×都市ガス改質効率(LHV基準)  
×都市ガス低位発熱量÷水素低位発熱量

(xvii)コージェネプラント水素消費量の算定

コージェネプラント水素消費量は、発電機燃料が水素の場合に算定した「発電機燃料消費量」を設定する。

(ア)発電機燃料が水素の場合

- コージェネプラント水素消費量＝発電機燃料消費量

(イ)発電機燃料が都市ガスの場合

- コージェネプラント水素消費量＝0

コージェネプラント水素消費量に対して、水素供給の優先順位を①再生可能発電余剰電力水素利用量、②バイオマス水素利用量、③都市ガス改質水素利用量として、それぞれの水素利用量を求める。

- 都市ガス改質水素利用量＝コージェネプラント水素消費量  
－再生可能発電余剰電力水素利用量－バイオマス水素利用量

(xviii)熱源プラント上水使用量・下水排出量の算定

(ア)上水使用量の算定

上水使用量は、冷却塔補給水量、冷水補給水量、温水補給水量、蒸気ボイラ補給水量並びに所内用水量に分けて、次のように算定する。

- ・ 冷却塔補給水量
  - 吸収系冷却塔補給水量  
＝吸収冷凍機冷水負荷量×月別吸収系冷却塔補給水原単位
  - 電動系冷却塔補給水量  
＝電動冷凍機冷水負荷量×月別電動系冷却塔補給水原単位
  - 冷却塔補給水量＝吸収系冷却塔補給水量＋電動系冷却塔補給水量
- ・ 冷水補給水量
  - 冷水補給水量＝プラント冷水負荷量×月別冷水補給水原単位

- ・ 温水補給水量
  - 温水補給水量 = プラント温水負荷量 × 月別温水補給水原単位
- ・ 蒸気ボイラ補給水量
  - 蒸気ボイラ補給水量
    - = 蒸気ボイラ負荷量(排熱利用前) × 蒸気ボイラ補給水原単位
- ・ 所内用水量
  - 所内用水量 = ( i + ii + iii + iv ) × 月別所内用水率
- ・ 上水使用量
  - 上水使用量 = i + ii + iii + iv + v

(イ) 下水排出量の算定

下水排出量は、冷却塔補給水量のうち冷却塔からの蒸発損失分と飛散損失分は下水に排出されないため、ブロー損失分を計上して次のように算定する。

- 下水排出量 = i × 月別ブロー損失比率 + ii + iii + iv + v

(ウ) エネルギー消費量計算結果の出力項目

前記で整理したエネルギー消費量計算結果の出力項目をまとめて表 4.35～表 4.37 に示す。

表 4.35 月別・時刻別エネルギー消費量計算結果の出力項目（1-5）

分類	出力項目	備考
1. 熱源プラント負荷	<ul style="list-style-type: none"> <li>● プラント冷水負荷量</li> <li>● プラント温水負荷量</li> <li>● プラント建物側蒸気負荷量</li> </ul>	
2. コージェネ電力負荷	<ul style="list-style-type: none"> <li>● コージェネ電力需要量</li> <li>● 熱源プラント電力負荷量</li> <li>● コージェネ電力負荷量</li> </ul>	
3.1 冷熱源機器負荷分担量〔排熱利用前〕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 冷熱源機器別冷水負荷量〔排熱利用前〕</li> <li>● 冷熱源機器運転負荷率〔排熱利用前〕</li> </ul>	入力台数分の機器を別々に出力
3.2 温熱源機器負荷分担量〔排熱利用前〕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 温水熱源機器別温水負荷量〔排熱利用前〕</li> <li>● 温水熱源機器運転負荷率〔排熱利用前〕</li> </ul>	入力台数分の機器を別々に出力
3.3 ボイラ蒸気負荷分担量〔排熱利用前〕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量〔排熱利用前〕</li> <li>● 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量〔排熱利用前〕</li> <li>● 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量〔排熱利用前〕</li> <li>● ボイラ蒸気負荷量〔排熱利用前〕</li> </ul>	
4. コージェネ発電量と排熱回収量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● コージェネ発電量</li> <li>● 発電機運転負荷率</li> <li>● 蒸気排熱回収量</li> <li>● 温水排熱回収量</li> <li>● 発電機燃料消費量</li> </ul>	
5. 熱源機器別負荷分担量〔排熱利用後〕	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 温水負荷用温水排熱利用量</li> <li>● 冷水負荷用温水排熱利用量</li> <li>● 温水排熱利用量</li> <li>● 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量〔温水排熱利用後〕</li> <li>● 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量〔温水排熱利用後〕</li> <li>● 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量〔温水排熱利用後〕</li> <li>● ボイラ蒸気負荷量〔温水排熱利用後〕</li> </ul>	

表 4.36 月別・時刻別エネルギー消費量計算結果の出力項目 (6-11)

分類	出力項目	備考
6. 蓄熱運転負荷	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 蓄熱用電動冷凍機負荷</li> <li>● 冷水蓄熱量</li> <li>● 冷水熱交換器負荷</li> <li>● 蓄熱用電動ヒートポンプ負荷</li> <li>● 温水蓄熱量</li> <li>● 放熱温水負荷</li> </ul>	
7. 有効発電量・有効発電効率等	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 発電機補機電力量</li> <li>● 有効発電量</li> <li>● 有効発電効率</li> <li>● 温水排熱有効回収率</li> <li>● 蒸気排熱有効回収率</li> <li>● 有効総合熱効率</li> </ul>	
8. 熱源機器補機電力消費量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 冷熱源補機電力消費量</li> <li>● 温水熱源機器補機電力消費量</li> <li>● 蒸気ボイラ補機電力消費量</li> </ul>	
9. 熱源プラント電力消費量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電動冷凍機主機電力消費量</li> <li>● 電動ヒートポンプ主機電力消費量</li> <li>● 熱源機器補機電力消費量</li> <li>● 付帯設備電力消費量</li> <li>● 熱源プラント電力消費量</li> </ul>	
10. 都市ガス消費量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 蒸気ボイラ都市ガス消費量</li> <li>● 温水ボイラ都市ガス消費量</li> <li>● 直燃吸収冷温水機都市ガス消費量</li> <li>● 熱源プラント都市ガス消費量</li> <li>● コージェネプラント都市ガス消費量</li> </ul>	
11. 再生可能発電利用量・余剰量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 再生可能発電供給量</li> <li>● コージェネ供給対象商用電力購入量 (再生可能発電利用前)</li> <li>● コージェネ供給対象商用電力購入量 (再生可能発電利用後)</li> <li>● 再生可能発電利用量</li> <li>● 再生可能発電余剰量</li> </ul>	

表 4.37 月別・時刻別エネルギー消費量計算結果の出力項目（12-18）

分 類	出力項目	備 考
12. 蓄電有効利用量	● 蓄電有効利用量	
13. 水素供給量	● 再生可能余剰電力水素供給量	
14. 逆潮電力量	● 逆潮電力量	
15. 商用電力購入量	● 商用電力購入量	
16. バイオマス水素供給量	● バイオマス水素供給量	
17. コージェネプラント水素消費量	● コージェネプラント水素消費量 ● 都市ガス改質水素利用量	
18. 熱源プラント上水 使用量・下水排出 量	● 冷却塔補給水量 ● 冷水補給水量 ● 温水補給水量 ● 蒸気ボイラ補給水量 ● 所内用水量 ● 上水使用量 ● 下水排出量	

## (7) 水素活用燃料電池・熱源システムエネルギー消費量計算プログラム

(住宅用)

### (a) シミュレーションモデルの考え方

#### 1) 燃料電池システム

- 現在、既に商品化されている家庭用PEFCと研究開発が進められているSOFCによる燃料電池システムを想定する。燃料電池システムフローを図4.40に示す。
- また、燃料電池本体の機器仕様（出力、効率、反応速度等）と運転制御方法、貯湯槽の機器仕様は各メーカーの目標スペック等を参考に設定する（表4.38）。

#### ① 電力・給湯需要条件

- 住戸電力・給湯需要条件は、4.2.1にて調査を実施したIBECによる住戸データで得られた月別代表週10分値データにより構成される電力・給湯需要モデルを設定する。

#### ② 外気温・給水温度条件

- 検討地区における月別の外気温と給水温度条件を設定する。

#### ③ システム運転条件

##### (i) PEFC の場合

- DSS (Daily Start & Stop) 運転で電主熱従運転を基本とする。ただし、貯湯槽満蓄時には運転を停止する。
- 運転開始時刻の設定にあたっては、「開始時刻指定」と「学習制御による自動設定」の2ケースを設定する。

##### (ii) SOFC の場合

- 連続運転で電主熱従運転を基本とする。
- 余剰排熱はラジエータより放熱する。

注) 最低発電量を下回る時の運転条件

- PEFCで逆潮なしの場合は、余剰電力は貯湯タンク内の加熱ヒーターにて温水加熱に利用する。
- SOFCでは、最低発電量はゼロと想定し、余剰電力は生じない運転を行う。

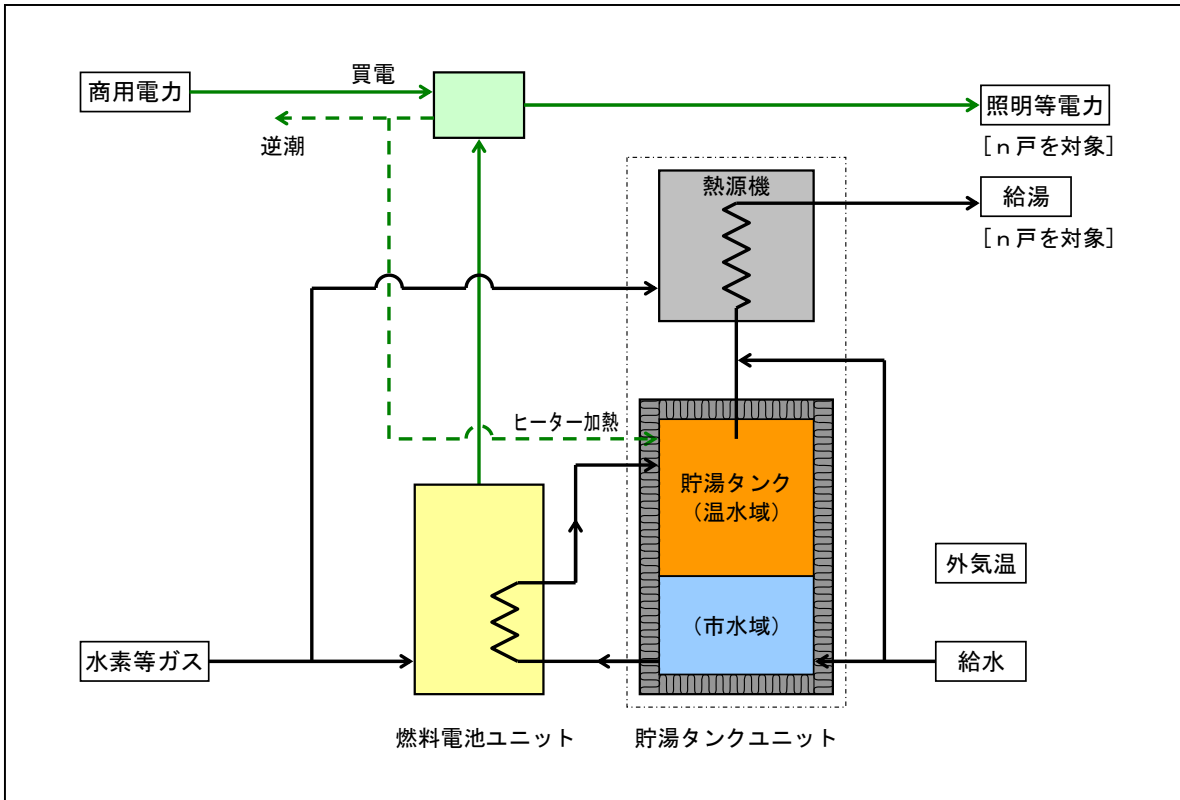


図 4.40 検討対象の燃料電池システムフロー

表 4.38 燃料電池システムの機器仕様例

項目	PEFC (固体高分子形燃料電池)	SOFC (固体酸化物形燃料電池)
使用燃料	水素	水素
発電出力 (最高/最低)	1 kW/300W	700W/0
発電効率 (定格HHV)	40.6% (LHV 45.0%)	40.6% (LHV 45.0%)
排熱回収率 (定格HHV)	36.1% (LHV 40.0%)	31.6% (LHV 35.0%)
総合効率 (定格HHV)	76.7% (LHV 85.0%)	71.6% (LHV 80.0%)
起動停止時エネルギーロス	3,600kJ/回	0
ラジエータファン動力	なし	4 W
反応速度	± 1 W/sec	瞬時に追従
貯湯タンク容量	200L (430φ×1,400H)	70L (300φ×1,000H)
貯湯タンク断熱材	グラスウール厚さ 50mm (熱伝導率 0.049W/m・k)	グラスウール厚さ 40mm (熱伝導率 0.049W/m・k)
貯湯温度	60°C	75°C
補助熱源機効率 (HHV)	0.90	0.90



(b) 燃料電池・熱源システム計画データの入力

1) 一般計画条件

ここでは、燃料電池を設置する集合住宅の戸数と燃料電池計画戸数、配管長さ、燃料電池の種類などの一般的な計画条件を入力する。

1) 一般計画条件	集合住宅計画戸数	12	戸
	燃料電池計画戸数	2	戸/台
	配管長	1.5	m/戸
	燃料電池の種類	SOFC	
	計画地区	東京	

2) 外気温・給水・貯湯温度条件

ここでは、計画地区に対応する外気温度、給水温度、貯湯温度の条件を月別に入力する。

2) 温度条件	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
外気温度 (°C)	5.8	6.1	8.9	14.4	18.7	21.8	25.4	27.1	23.5	18.2	13.0	8.4
給水温度 (°C)	7.4	7.7	10.2	15.0	18.9	21.6	24.8	26.3	23.1	18.4	13.8	9.7
貯湯温度 (°C)	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0

3) システム運転条件

燃料電池システムの運転条件を入力するもので、PEFCの場合とSOFCの場合の運転方法を設定する。PEFCの場合には運転開始時刻または自動運転の指定を行う。

3) システム運転条件	PEFC: DSS運転	0	※ 該当する場合を1とする
	SOFC: 連続運転	1	
	運転開始時刻	0	
	運転終了時刻	24	
	貯湯タンク蓄熱量初期値	0	
	余剰電力処理	0	0: なし、1: 貯湯タンク加熱、2: 逆潮
	余剰排熱処理	1	0: なし、1: ラジエータ放熱

注) ここではシステム計画データの入力例として、地方都市モデルでFSを行ったSOFCによる検討時の入力データを示す。

#### 4)燃料電池仕様

燃料電池仕様については、定格出力と最低出力、定格時発電効率・排熱回収率などの条件を入力する。

4) 燃料電池仕様	発電機定格出力 (W)	700	※SOFC
	発電機最低出力 (W)	0	
	定格時発電効率 (%)	40.6	HHV基準
	定格時排熱回収率 (%)	31.6	HHV基準
	起動停止時エネルギーロス	0	
	ラジエータファン動力 (W)	4	
	反応速度 (Wh/sec) : 増加時	0	※瞬時追従
	反応速度 (Wh/sec) : 減少時	0	※瞬時追従

#### 5)燃料電池部分負荷特性

ここでは、運転時の発電効率と排熱回収率の部分負荷特性は、熱消費量比と排熱回収量比の直線回帰式により設定する。

$Y_1 = a_1 X + b_1$	ここで $Y_1 =$ 熱消費量比 (-)、 $X =$ 部分負荷率 (-) $a_1、b_1 =$ 燃料電池定数 ( $a_1 = 0.7668, b_1 = 0.225$ )
$Y_2 = a_2 X + b_2$	ここで $Y_2 =$ 排熱回収量比 (-)、 $X =$ 部分負荷率 (-) $a_2、b_2 =$ 燃料電池定数 ( $a_2 = 0.7668, b_2 = 0.225$ )

## 6)貯湯タンクその他の仕様

貯湯タンクについては、容量、寸法（内径・高さ）、断熱材条件を入力する。また、熱源機の運転平均効率の条件を入力する。配管については、口径、保温材の条件を入力する。

6) 貯湯タンク仕様	貯湯タンク容量 (L)	70	※SOFC
	貯湯タンク内径 (m)	0.3	
	貯湯タンク高さ (m)	1.0	
	断熱材厚さ (mm)	40	
	断熱材熱伝導率 (W/(m・k))	0.049	※グラスウール
7) 熱源機仕様	補助熱源機運転平均効率	0.9	
	従来型熱源機運転平均効率	0.75	
8) 配管仕様	配管口径 (A)	25	
	配管内径寸法 (mm)	25	
	配管外径寸法 (mm)	32	
	保温材厚さ (mm)	20	
	保温材熱伝導率 (W/(m・k))	0.049	※グラスウール

## (c) 燃料電池による発電の計算ロジックの整理

### 1) 発電量と発電機燃料使用量の算定

燃料電池廻りの電力収支フローを図 4.41 に示す。

#### ① 電力負荷量の算定

電力負荷量は、住戸電力需要量とラジエータファン電力量の合計値とする。

$$\circ \text{電力負荷量} = \text{住戸電力需要量} + \text{ラジエータファン電力量}$$

#### ② 発電量の算定

発電量は、電力負荷量と最大発電出力を比較して設定する。

$$\circ \text{電力負荷量} > \text{最大発電出力の時は} \quad \text{発電量} = \text{最大発電出力}$$

$$\circ \text{電力負荷量} \leq \text{最大発電出力の時は} \quad \text{発電量} = \text{電力負荷量}$$

なお、起動時と停止時は「反応速度」の条件を考慮して、最大発電出力を再設定する。

また、PEFC の場合は、電力負荷量が最低発電出力よりも小さい時には、発電量は最低発電出力とする。

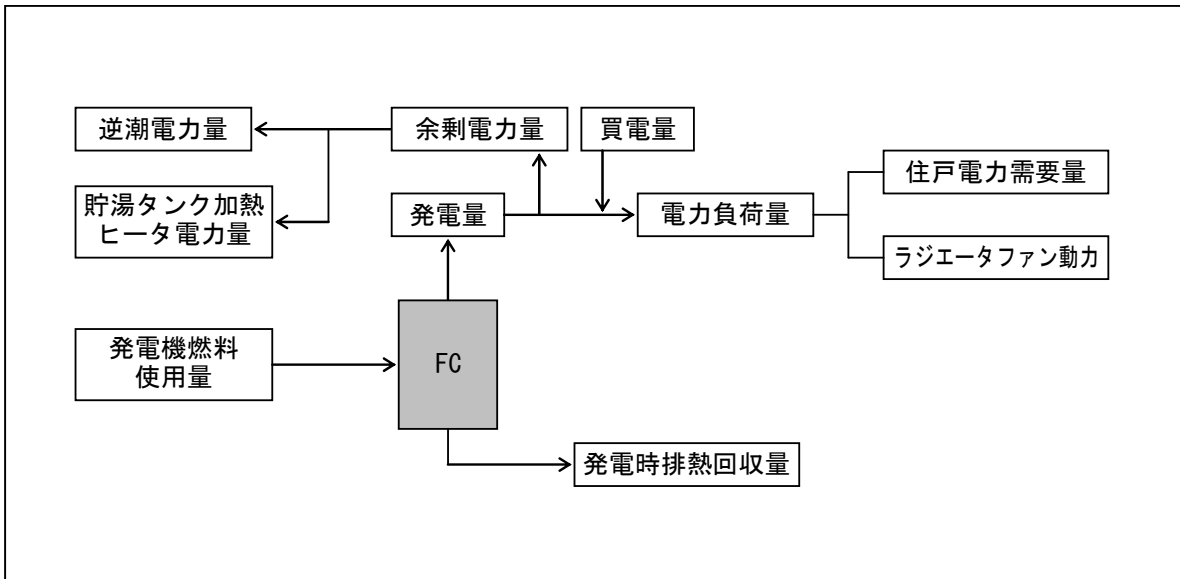


図 4.41 燃料電池廻りの電力収支フロー

### ③余剰電力量の算定

余剰電力量は SOFC の場合は生じないが、PEFC の場合は最低発電出力の条件があるため、次のように算定する。

- 電力負荷量 < 最低発電出力の時は  

$$\text{余剰電力量} = \text{最低発電出力} - \text{電力負荷量}$$
- 電力負荷量  $\geq$  最低発電出力の時は  

$$\text{余剰電力量} = 0$$

### ④買電量の算定

買電量は、電力負荷量と発電量に基づいて次のように算定する。

- 電力負荷量  $\geq$  最低発電出力の時は  $\text{買電量} = \text{電力負荷量} - \text{発電量}$
- 電力負荷量 < 最低発電出力の時は  $\text{買電量} = 0$

### ⑤貯湯タンク加熱ヒータ電力量の算定

貯湯タンク加熱ヒータ電力量は、逆潮の有無の条件で次のように設定する。

- PEFC の場合で、逆潮なしの条件の時は  

$$\text{貯湯タンク加熱ヒータ電力量} = \text{余剰電力量}$$
- PEFC の場合で、逆潮ありの条件の時、または SOFC の時は  

$$\text{貯湯タンク加熱ヒータ電力量} = 0$$

## ⑥逆潮電力量の算定

逆潮力量は、逆潮の有無の条件で次のように設定する。

- PEFCの場合で、逆潮ありの条件の時は

$$\text{逆潮電力量} = \text{余剰電力量}$$

- EFCの場合で、逆潮なしの条件の時、またはSOFCの時は

$$\text{逆潮電力量} = 0$$

## ⑦発電機燃料使用量の算定

発電機燃料使用量は、発電量に基づいて部分負荷時の発電効率と燃料高位発熱量により次のように算定する。

- 発電機負荷率(%) = 発電量 ÷ 定格時発電出力 × 100
- 発電機燃料使用量 = 発電量 ÷ (部分負荷時発電効率 × 0.01 × 燃料高位発熱量)

## 2)排熱利用量とタンク蓄熱量の算定

貯湯タンク廻りの熱収支フローを図 4.42 に示す。

### ①発電時排熱回収量の算定

発電時排熱回収量は、発電機燃料使用量と部分負荷時排熱回収率により次のように算定する。

- 発電時排熱回収量 = 発電機燃料使用量 × 燃料高位発熱量  
× 部分負荷時排熱回収率

### ②給湯タンク放熱量の算定

給湯タンク放熱量は、タンク外表面積とタンク放熱係数、貯湯温度、外気温度などにより次のように算定する。

- タンク最大蓄熱量 = タンク容量(L) × 有効貯湯係数  
× (月別貯湯温度 - 月別給水温度) × 4.186
- 運転時貯湯係数 = 前時刻蓄熱量 ÷ タンク最大蓄熱量
- 給湯タンク放熱量 = 貯湯タンク外表面積 × タンク放熱係数  
× (月別貯湯温度 - 月別外気温度) × 運転時貯湯係数

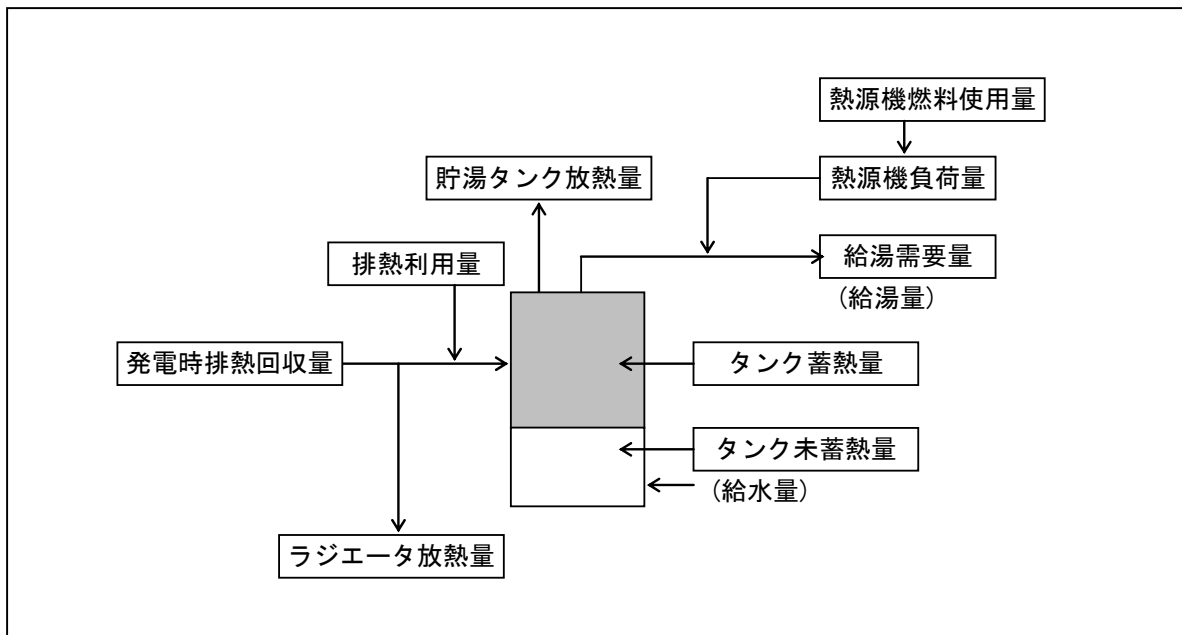


図 4.42 貯湯タンク廻りの熱収支フロー

### ③給湯負荷量の算定

- 給湯負荷量 = 住戸給湯需要量 + タンク放熱量

### ④排熱利用量の算定

排熱利用量は、給湯負荷量と発電時排熱回収量を比較して次のように算定する。

- 給湯負荷量 > 発電時排熱回収量の時は  
排熱利用量 = 発電時排熱回収量
- 給湯負荷量 ≤ 発電時排熱回収量の時は  
余剰分をタンク未蓄熱分に蓄熱する。

なお、タンク蓄熱量が満蓄（最大蓄熱量に達する）となったならば、PEFC の場合は運転を停止する。また、SOFC の場合はラジエータより余剰排熱を放熱する。

### ⑤排熱有効回収率の算定

排熱有効回収率は、排熱利用量と発電機燃料使用量により次のように算定する。また、合わせて総合効率も算定する。

- 排熱有効回収率 (%)  
= 排熱利用量 ÷ (発電機燃料使用量 × 燃料高位発熱量) × 100
- 発電時総合効率 (%) = 発電時発電効率 + 排熱有効回収率

### 3)補助熱源機負荷量と燃料使用量の算定

#### ①熱源機負荷量の算定

熱源機負荷量は給湯負荷が大きく、発電時排熱回収量や蓄熱量で賄えない場合に、不足分を算定する。

#### ②熱源機燃料使用量の算定

熱源機燃料使用量は、熱源機負荷量と効率に基づいて次のように算定する。

$$\circ \text{熱源機燃料使用量} = \text{熱源機負荷量} \div (\text{熱源機効率} \times 0.01 \times \text{燃料高位発熱量})$$

### 4)計算結果の出力

#### ①計算結果の出力項目

前記で整理した、住宅燃料電池・熱源システムのエネルギー消費量計算結果の出力項目をまとめて表 4.39 に示す。

表 4.39 燃料電池・熱源システムエネルギー消費量計算結果の出力項目

分 類	出力項目
1) 電力・給湯需要量	電力需要量 給湯需要量
2) 燃料電池発電量関連	電力負荷量 発電量 ラジエータファン電力量 余剰電力量 貯湯タンク加熱ヒータ電力量 逆潮電力量 買電量 発電機負荷率 発電時発電効率 発電時排熱回収率 発電機燃料使用量 全負荷相当運転時間
3) 燃料電池排熱量関連	発電時排熱回収量 タンク最大蓄熱量 給湯タンク放熱量 給湯負荷量 排熱利用量 排熱有効回収率 発電時総合効率 タンク蓄熱量 タンク未蓄熱量 余剰排熱量 ラジエータ放熱量 排熱利用率
4) 補助熱源機関連	熱源機負荷量 熱源機燃料使用量
5) その他	燃料使用量合計 発電寄与率 排熱寄与率



## (8) 省エネ・CO<sub>2</sub>削減効果計算

ここでは、エネルギー消費量の計算結果に基づいて、検討対象のエネルギー供給システムの省エネ・CO<sub>2</sub>削減効果を計算する方法についてまとめる。

### (a) 評価指標と検討対象範囲

各種のエネルギー供給システムの導入効果を評価する指標には、そのシステムの検討対象範囲により次の3通りが考えられる（空気調和・衛生工学会シンポジウム資料<sup>14)</sup>）。

#### 1) コージェネレーションシステム（単体）

コージェネレーションシステムの運転により供給された自家発電力と排熱並びに発電機燃料使用量を評価対象範囲とするもので、評価指標は次の通り。

- 省エネ効果 → 「一次エネルギー削減率（PES）」
- CO<sub>2</sub>削減効果 → 「CO<sub>2</sub>排出削減率」

#### 2) コージェネ排熱活用熱源システム

コージェネ排熱とその排熱を活用する熱源システムの電力・燃料使用量並びに冷・温熱需要量を評価対象範囲とするもので、評価指標は次の通り。

- システム性能（システムCOP） → 「総合エネルギー効率  $\eta_t$ 」

#### 3) 熱源・コージェネトータルシステム

コージェネレーションシステムと熱源システムを合わせた全体システムの電力・燃料使用量、買電量と電力・冷温熱需要量を評価対象範囲とするもので、評価指標は次の通り。

- 省エネ効果 → 「省エネルギー率（TER）」
- CO<sub>2</sub>削減効果 → 「CO<sub>2</sub>排出削減率」

コージェネレーションシステムの評価には1番目の指標が、地域熱供給システムの評価には2番目の指標がそれぞれ用いられる。地域のエネルギー効率を重視する本研究では、コージェネレーションシステムと熱源システムを合わせた全体システムを評価可能な3番目の指標を用いることとする。

## (b) コージェネレーションシステム単体の省エネ・CO<sub>2</sub>削減効果の計算方法

これは、コージェネレーションシステム単体による自家発電力と排熱の供給範囲で社会的効用を評価する考え方で、コージェネレーションシステム単体の一次エネルギー削減率とCO<sub>2</sub>排出削減率は次のように計算する。

### 1) 一次エネルギー削減率 (PES)

$$PES = (1 - 1/(\alpha_e/\eta_e + \alpha_q/\eta_q)) \times 100(\%) \quad (4.134)$$

ここで  $\alpha_e$  = CGS 有効発電効率 (HHV)

$\alpha_q$  = CGS 排熱有効回収率 (HHV)

$\eta_e$  = 代替発電所の発電効率 (HHV)

$\eta_q$  = 代替ボイラの熱効率 (HHV)

なお、 $\alpha_e'$  = CGS 有効発電効率 (LHV)

$\alpha_q'$  = CGS 排熱有効回収率 (LHV)

$\varepsilon$  = 燃料 HHV/LHV 比

とすると

$\alpha_e = \alpha_e' / \varepsilon$

$\alpha_q = \alpha_q' / \varepsilon$

### 2) CO<sub>2</sub> 排出削減率

$$CO_2ES = (1 - 1/((\alpha_e/\eta_e) \times (\beta_e/\beta_{CGS}) + (\alpha_q/\eta_q) \times (\beta_q/\beta_{CGS}))) \times 100(\%) \quad (4.135)$$

ここで  $\alpha_e$ 、 $\alpha_q$ 、 $\eta_e$ 、 $\eta_q$  は 前掲による。

$\beta_e$  = 代替発電所の CO<sub>2</sub> 排出原単位

$\beta_q$  = 代替ボイラの CO<sub>2</sub> 排出原単位

$\beta_{CGS}$  = CGS 燃料の CO<sub>2</sub> 排出原単位

### 3) 熱供給システムの総合エネルギー効率

熱供給プラントのエネルギー特性を評価する際に、「冷温熱量（冷水・中温水・蒸気）」と「原・燃料使用量（燃料・電力・排熱）」の算定結果にもとづいて、熱供給システムのエネルギー利用効率を示す「総合エネルギー効率 $\eta_t$ 」は次のように計算する。

$$\circ \text{ 総合エネルギー効率 } \eta_t = \text{冷温熱量合計 (GJ)} / \text{原・燃料一次エネルギー使用量 (GJ)}$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、冷温熱量合計} &= \text{冷熱需要量} + \text{温熱需要量} \\ \text{原・燃料一次エネルギー使用量} &= \text{熱源プラント電力使用量} \times \text{電力一次エネルギー換算値} \\ &+ \text{熱源プラント燃料使用量} \times \text{燃料高位発熱量} \\ &+ \text{コージェネ排熱利用量} \times \text{排熱一次エネルギー換算値} \end{aligned}$$

一次エネルギー換算値については表 4.40 で定義した数値を用いる。ただし、コージェネ排熱の一次エネルギー換算値は、エネルギー消費量算定結果に基づきケース毎に設定する。算定式は次の通りである。

$$\circ \text{ 排熱一次エネルギー換算値(GJ/GJ)} = 1/(\alpha_e/\eta_e + \alpha_q/\eta_q) \quad (4.136)$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} \alpha_e &= \text{CGS 有効発電効率 (HHV)} \\ \alpha_q &= \text{CGS 排熱有効回収率 (HHV)} \\ \eta_e &= \text{代替発電所の発電効率 (HHV)} \\ \eta_q &= \text{代替ボイラの熱効率 (HHV)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{なお、} \alpha_{e'} &= \text{CGS 有効発電効率 (LHV)} \\ \alpha_{q'} &= \text{CGS 排熱有効回収率 (LHV)} \\ \varepsilon &= \text{燃料 HHV/LHV 比} \end{aligned}$$

とすると

$$\begin{aligned} \alpha_e &= \alpha_{e'} / \varepsilon \\ \alpha_q &= \alpha_{q'} / \varepsilon \end{aligned}$$

#### 4) エネルギー供給システムの省エネ・CO<sub>2</sub>削減評価方法

##### ① 省エネルギー性の評価方法

エネルギー供給システムの省エネルギー性は、基準システム（コージェネなしの熱供給システム）と比較した省エネルギー量と省エネルギー率により評価を行うものとする。

なお、ここで評価の対象とするエネルギーは、建物の電力と熱製造にかかる電力や燃料などのエネルギー消費量とする。

[算定方法]

$$\begin{aligned} \text{○ 省エネルギー量} &= \text{比較基準システム年間一次エネルギー使用量} \\ &\quad - \text{エネルギー供給システム年間一次エネルギー使用量} \end{aligned} \quad (4.137)$$

$$\begin{aligned} \text{○ 省エネルギー率 (\%)} &= \text{省エネルギー量} \\ &\quad / \text{比較基準システム年間一次エネルギー使用量} \times 100 \end{aligned} \quad (4.138)$$

ただし エネルギー供給（基準）システム一次エネルギー使用量

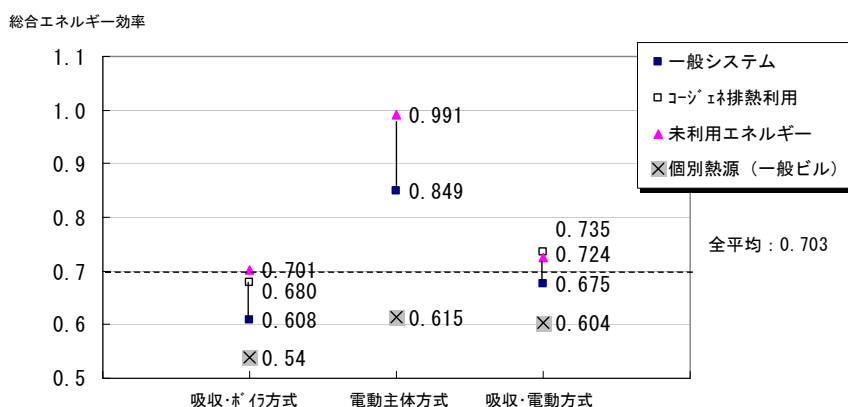
= {エネルギー供給（基準）システム年間電力使用量(買電量)} × 電力一次エネルギー換算値

+ {エネルギー供給（基準）システム年間燃料使用量} × 燃料高位発熱量

\*1 一次エネルギー換算値については表 4.40 を参照。

\*2 地域エネルギー供給の基準システムの一次エネルギー使用量は、個別熱源システム（電気・ガス併用方式）の総合エネルギー効率実績値（0.595：下記の参考資料を参照）から設定する。

地域熱供給システムと個別熱源システムの総合エネルギー効率の実績値について以下に示す。



注) 個別熱源の全平均: 0.595

参考図 地域熱供給システムと個別熱源システムの総合エネルギー効率比較<sup>15)</sup>

## ② CO<sub>2</sub>削減効果の評価方法

エネルギー供給システムの CO<sub>2</sub>削減効果は、基準システムと比較した CO<sub>2</sub>の排出削減量と排出削減率を検討するものとする。

[算定方法]

$$\text{CO}_2\text{排出削減量} = \text{比較基準システム年間CO}_2\text{排出量} - \text{エネルギー供給システム年間CO}_2\text{排出量} \quad (4.139)$$

$$\text{CO}_2\text{排出削減率} = \text{CO}_2\text{排出削減量} / \text{比較基準システム年間CO}_2\text{排出量} \quad (4.140)$$

ただし エネルギー供給（基準）システム年間 CO<sub>2</sub> 排出量  
 = {エネルギー供給（基準）システム年間電力使用量（買電量）} × 電力 CO<sub>2</sub> 排出原単位  
 + エネルギー供給（基準）システム年間燃料使用量 × 燃料 CO<sub>2</sub> 排出原単位

\*1 CO<sub>2</sub> 排出原単位については表 4.40 を参照。

表 4.40 一次エネルギー換算値、二酸化炭素排出係数

エネルギー種別	電力	都市ガス	水素
一次エネルギー換算値	9,760 kJ/kWh <sup>*1</sup>	45 MJ/Nm <sup>3</sup> *2	8 MJ/ Nm <sup>3</sup> *3
二酸化炭素排出係数	0.555 kg-CO <sub>2</sub> /kWh <sup>*4</sup>	2.29 kg-CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> *5	0.066kg-CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> *6

### 表 4.40 における各数値の設定

\*1 「省エネルギー法施行規則」（平成 18 年 4 月）による。

\*2 都市ガス 13A 高位発熱量（東京ガス熱量変更後）

\*3 水素の一次エネルギー換算値は、水素供給源の種類と供給量（太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%）を仮定し、以下の原単位を使用して複合原単位を設定する。

- ・太陽光・風力発電から製造した水素：太陽光・風力発電電力の一次エネルギー量は「0」なので、「0」とする。→0 MJ/Nm<sup>3</sup>

- ・バイオマス（生ごみメタン発酵ガス）から製造した水素：水素 1 Nm<sup>3</sup>を製造するのに必要なバイオマス（生ごみ）は 4.25kg（3,650t/年/858 千 Nm<sup>3</sup>/年）。

- ・従来の一次エネルギー消費量（清掃工場処理）：生ごみを従来の清掃工場で処理する場合（清掃工場の電力消費）

$$115\text{kWh/t (NEDO 廃棄物マニュアル)} \times 4.25\text{kg} / 1000 \times 9,760 = 4,770\text{KJ}$$

- ・バイオマス処理の一次エネルギー消費量：生ごみをメタン発酵処理してバイオガス化する場合（メタン発酵プラントの電力消費）

$$0.14\text{kWh/kg (NEDO バイオマスハンドブック)} \times 4.25\text{kg} \times 9,760 = 5,807\text{KJ}$$

- ・バイオマス由来の水素の一次エネルギー量：バイオマス処理時のエネルギー消費量 (5,807KJ) - 従来のエネルギー消費量 (4,770KJ) → 1.04MJ/ Nm<sup>3</sup>
- ・工場等の副生水素：工場からの副生水素は、ボイラ熱源や産業利用が可能であることから、水素が持つエネルギー量で評価する。→ 12.78 MJ/Nm<sup>3</sup>

\*4 環境省資料（「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令の一部を改正する政令」（平成 18 年 3 月））による。

\*5 \*2 と同じ。

\*6 水素の製造・輸送過程における二酸化炭素排出量を考慮して、水素供給源の種類と供給量により以下の原単位を使用して複合原単位を設定する。水素供給源の種類と供給量は、太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%と仮定する。

- ・太陽光・風力発電から製造した水素：太陽光・風力発電電力の一次エネルギー量は「0」なので、「0」とする。→ 0 kg-CO<sub>2</sub>/ Nm<sup>3</sup>

- ・バイオマス（生ごみメタン発酵ガス）から製造した水素：水素 1 Nm<sup>3</sup>を製造するのに必要なバイオマス（生ごみ）は 4.25kg（3,650t/年/858 千 Nm<sup>3</sup>/年）。

→従来の CO<sub>2</sub> 排出量（清掃工場処理）：生ごみを従来の清掃工場で処理する場合（清掃工場の電力消費）→115kWh/t（NEDO 廃棄物マニュアル）× 4.25kg/1000×0.555=0.27 kg-CO<sub>2</sub>

→バイオマス処理の CO<sub>2</sub> 排出量：生ごみをメタン発酵処理してバイオガス化する場合（メタン発酵プラントの電力消費）→0.14kWh/kg（NEDO バイオマスハンドブック）×4.25kg×0.555=0.33 kg-CO<sub>2</sub>

→バイオマス由来の水素の CO<sub>2</sub> 排出量：バイオマス処理時の CO<sub>2</sub> 排出量（0.33 kg-CO<sub>2</sub>）-従来の CO<sub>2</sub> 排出量（0.27 kg-CO<sub>2</sub>）→0.06 kg-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>

- ・工場等の副生水素：工場からの副生水素は、圧縮水素としてトレーラーにより輸送。トレーラーあたりの輸送量は 3,100Sm<sup>3</sup>（=2,747Nm<sup>3</sup>）、輸送距離 150km、トレーラーの燃費 2km/l として算定。

150km/2 km/l×2.624 kg-CO<sub>2</sub>/l/2,747 Nm<sup>3</sup>→0.07 kg-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>

## (9) 経済性計算

ここでは、地域エネルギー供給システムの経済性は、地域全体の電力と熱（冷温水・蒸気）にかかる年間経費を算定し、その比較により評価する。

年間経費は、建設費に対して資本回収係数を乗じて得られる設備固定費と運転費合計より求める。

$$\circ \text{年間経費} = \text{設備固定費} + \text{運転費合計}$$

$$\text{ここで 設備固定費} = \text{建設費} \times \text{資本回収係数}$$

$$\text{運転費合計} = \text{電力費} + \text{燃料費} + \text{上下水道料金} + \text{託送料金}$$

$$+ \text{修繕費等} + \text{人件費} + \text{賃借費}$$

なお、建設費は地域冷暖房システム建設費や個別建物熱源設備、建物側省エネ費用、燃料電池・電力供給設備、水素供給施設、バイオマス水素供給施設、太陽光・風力発電設備などに区分して計上する。

以下に、これらの建設費並びに年間経費の算定方法を整理する。

### (a) 地域冷暖房システム建設費の算定

地域冷暖房プラント設備は「熱源設備」、「配管設備」、「電気設備」、「中央監視計装設備」並びに「付帯設備」から構成されるものとし、以下に各設備費の算定ロジックをまとめる。

#### 1) 熱源設備

##### ① 冷熱源機器

冷熱源機器は、蒸気吸収冷凍機、電動ターボ冷凍機、単効用吸収冷凍機並びに冷却塔の主機容量にコスト原単位を乗じて求め、補機ポンプ類については主機コストに一定の割合を乗じて求める。

$$\circ \text{蒸気吸収冷凍機コスト} = \text{蒸気吸収冷凍機容量(RT)}$$

$$\times \text{DARコスト原単位(千円/RT)}$$

$$\circ \text{電動ターボ冷凍機コスト} = \text{電動ターボ冷凍機容量(RT)}$$

$$\times \text{ETRコスト原単位(千円/RT)}$$

$$\circ \text{単効用吸収冷凍機コスト} = \text{単効用吸収冷凍機容量(RT)}$$

$$\times \text{ARコスト原単位(千円/RT)}$$

$$\circ \text{冷却塔コスト} = \text{冷却塔容量(RT)} \times \text{CTコスト原単位(千円/RT)}$$

$$\circ \text{補機ポンプコスト} = (\text{i} + \text{ii} + \text{iii} + \text{iv}) \times \text{冷熱源補機コスト割合}$$

$$\text{ここで 冷却塔容量(RT)} * 1 = \text{蒸気吸収冷凍機容量(RT)}$$

+電動ターボ冷凍機容量(RT)×0.7

\*1 蒸気吸収冷凍機換算容量を設定する。

冷熱源補機コスト割合=0.2 (デフォルト値)

∴冷熱源機器コスト= i + ii + iii + iv + v

## ②温熱源機器

温熱源機器は、主機の蒸気ボイラ容量と蒸気中温水熱交換器容量にコスト原単位を乗じて求め、補機ポンプ類は主機コストに一定の割合を乗じて求める。

○ 蒸気ボイラコスト=蒸気ボイラ容量(t/h)×STBコスト原単位(千円/(t/h))

○ 蒸気中温水熱交換器コスト=蒸気中温水熱交換器容量(GJ/h)  
×HEXコスト原単位(千円/(GJ/h))

○ 補機ポンプコスト=( i + ii )×温熱源補機コスト割合

ここで 温熱源補機コスト割合=0.4 (デフォルト値)

∴温熱源機器コスト= i + ii + iii

## 2)熱源設備費

○ 熱源設備費=冷熱源機器コスト+温熱源機器コスト

## 3)配管設備費

○ 配管設備費=熱源設備コスト×配管コスト割合

ここで、配管コスト割合=0.5 (デフォルト値)

## 4)電気設備費

○ 電気設備費=最大需要電力(kW)×電気設備コスト原単位(千円/kW)

## 5)中央監視計装設備費

○ 中央監視計装設備費=(熱源設備コスト+配管設備コスト+電気設備コスト)  
×中央監視計装コスト割合

ここで、中央監視計装コスト割合=0.2 (デフォルト値)

## 6)付帯設備費

○ 付帯設備費=プラント面積(m<sup>2</sup>)×付帯設備コスト原単位(千円/m<sup>2</sup>)



## 7) プラント設備建設費

- プラント設備建設費＝熱源設備費＋配管設備費＋電気設備費  
＋中央監視計装設備費＋付帯設備費

## 8) 地域導管建設費の算定

地域導管建設費は「導管工事費」と「土木工事費」に区分して計上する。

### ① 導管工事費

導管工事費は、導管種別に計画したルート長と口径別選定結果に基づいて、導管重量と導管コスト原単位より算定する。

- 冷水導管工事費＝冷水導管重量(t)×冷水導管コスト原単位(千円/t)
- 中温水導管工事費＝中温水導管重量(t)×中温水導管コスト原単位(千円/t)
- 蒸気・還水導管工事費＝蒸気・還水導管重量(t)  
×蒸気・還水導管コスト原単位(千円/t)

### ② 土木工事費

土木工事費は、導管種別に計画したルート長と口径別選定結果に基づいて、掘削土量と土量コスト原単位より算定する。

- 冷水管土木工事費＝冷水管掘削土量(m<sup>3</sup>)×土量コスト原単位(千円/m<sup>3</sup>)
- 中水管土木工事費＝中水管掘削土量(m<sup>3</sup>)×土量コスト原単位(千円/m<sup>3</sup>)
- 蒸気・還水管土木工事費＝蒸気・還水管掘削土量(m<sup>3</sup>)  
×土量コスト原単位(千円/m<sup>3</sup>)

### ③ 地域導管建設費

- 地域導管建設費＝導管工事費＋土木工事費

## 9) 受入設備費の算定

受入設備費は、建物（熱需要家）側の冷房最大需要量(RT)に受入設備コスト原単位を乗じて算定する。なお、このコスト原単位には温熱分も含んだものとしている。

- 建物側受入設備費＝建物側冷房最大需要量(RT)受入  
×設備コスト原単位(千円/RT)

∴ 受入設備費＝Σ 建物別受入設備費

## (b) 個別建物熱源設備その他の建設費の算定

### 1) 個別建物熱源設備建設費の算定

個別建物熱源設備の建設費は、「地域冷暖房プラント設備」の建設費の算定方法に準拠する。

$$\begin{aligned} \text{個別建物熱源設備建設費} &= \text{熱源設備費} + \text{配管設備費} + \text{電気設備費} \\ &\quad + \text{中央監視計装設備費} + \text{付帯設備費} \end{aligned}$$

なお、電気設備費、中央監視計装設備費、付帯設備費は熱源設備に関わる部分の費用を計上する。

### 2) 集合住宅熱源設備建設費の算定

集合住宅熱源設備の建設費は、基準となる個別熱供給設備との比較が可能な設備項目を計上する。

$$\begin{aligned} \text{集合住宅熱源設備建設費} &= \text{集中熱供給設備費} (\text{熱源} \cdot \text{熱量計} \cdot \text{シャフトユニット} \cdot \text{住棟内配管}) \\ &\quad + \text{住棟内ガス配管設備費} + \text{住戸内熱源機器費} + \text{コージェネ設備費} \\ &\quad + \text{受電設備増分費} + \text{各戸電力メーター増分費} \end{aligned}$$

### 3) 建物側省エネコスト増加費の算定

建物側で省エネ対策を講じた場合のコスト増加費は、省エネ対策毎の費用を計上する。

$$\begin{aligned} \text{建物側省エネコスト増加費} &= \text{CO}_2\text{制御} \cdot \text{外気冷房費用} + \text{ペアガラス} \cdot \text{断熱強化費用} \\ &\quad + \text{照明負荷削減費用} + \text{太陽光発電導入費用} + \text{昇降機省エネ費用} \\ &\quad + \text{コンセント負荷削減費用} + \text{熱搬送電力負荷削減費用} \\ &\quad + \text{換気動力負荷削減費用} \end{aligned}$$

### 4) 燃料電池・電力供給設備建設費の算定

燃料電池・電力供給設備の建設費は、燃料電池設備費や受変電設備費、自営線設備費、付帯設備費などを計上する。

$$\begin{aligned} \text{燃料電池・電力供給設備建設費} &= \text{燃料電池設備費} + \text{受変電設備費} + \text{自営線設備費} + \text{付帯設備費} \end{aligned}$$

#### 5)水素供給設備建設費の算定

水素供給設備の建設費は、燃料改質設備費や水電気分解設備費、水素配管設備費、付帯設備費などを計上する。

- 水素供給設備建設費

$$= \text{燃料改質設備費} + \text{水電気分解設備費} + \text{水素配管設備費} \\ + \text{付帯設備費}$$

#### 6)バイオマス設備建設費の算定

バイオマス設備の建設費は、バイオマス設備と都市ガス導管注入設備などの建設費を計上する。

- バイオマス設備建設費 = バイオマス設備費 + 都市ガス導管注入設備費

#### 7)太陽光・風力発電建設費の算定

- 太陽光・風力発電建設費 = 太陽光発電設備費 + 風力発電設備費

### (c)年間経費の算定

#### 1)固定費の算定

ここでいう「固定費」とは「設備固定費」のことを示すものとし、独立したプラント建屋に係る固定費は想定しない。なお、プラントスペースの費用は「賃借費」として扱う。

固定費を求める算定は資本回収係数法によるものとし、算定式を以下に示す。

- 固定費(千円/年) = 地域冷暖房設備投資額(千円) × 資本回収係数

ここで 地域冷暖房設備投資額(千円)

$$= \text{地域冷暖房システム建設費(千円)} - \text{補助金(千円)}$$

$$\text{資本回収係数} : k = r / (1 - (1 + r) \cdot n)$$

なお、デフォルト値として金利 :  $r = 0.04$ 、償却年数 :  $n = 15$  年を設定すると

$$\therefore k = 0.08994 \text{ (デフォルト値)}$$

#### 2)電力費の算定

電力費は、年間電力消費量に電力平均単価を乗じて求める。

- 電力費(千円/年) = 年間電力消費量(MWh/年) × 電力平均単価(円/kWh)

注) ここでは 年間電力消費量 = 年間電力購入量とする。

また、電力単価を「建物系統電力単価」と「住宅電力単価」並びに

「地域冷暖房プラント電力単価」に区分して計上する。

### 3)燃料費の算定

燃料費は、年間燃料消費量に燃料平均単価を乗じて求める。

- 燃料費(千円/年)＝年間燃料消費量(千Nm<sup>3</sup>/年)×燃料平均単価(円/ Nm<sup>3</sup>)

注) ここでは燃料単価を「大口契約都市ガス単価」と「住宅都市ガス単価」並びに「水素単価」に区分して計上する。

### 4)上水道料金の算定

上水道料金は、上水消費量と下水排出量に、それぞれの上水単価、下水単価を乗じて求める。

- 上水料金(千円/年)＝上水消費量(千m<sup>3</sup>/年)×上水単価(円/m<sup>3</sup>)

- 下水料金(千円/年)＝下水排出量(千m<sup>3</sup>/年)×下水単価(円/m<sup>3</sup>)

- 上水道料金＝上水料金＋下水料金

### 5)託送費の算定

託送費は、遠隔地に設置した太陽光発電や風力発電からの電力量を商用電力の送電線を利用する際に発生する費用で、託送電力量に電力託送単価を乗じて求める。

- 託送費(千円/年)＝託送電力量(MWh/年)×電力託送単価(円/kWh)

### 6)修繕費等の算定

修繕費等は、地域冷暖房システム建設費に修繕費等率を乗じて求める。

- 修繕費等(千円/年)＝地域冷暖房システム建設費(千円)×修繕費等率

ここで 修繕費等率＝0.035 (デフォルト値)

また、設備修繕費と燃料電池メンテナンス費並びにバイオガス都市ガス注入発熱調整費に区分して計上する。

### 7)人件費の算定

人件費は、プラントの管理・運転人員数に人件費平均単価を乗じて求める。

- 人件費(千円/年)＝管理運転人員数(人)×人件費平均単価(千円/年・人)

注) ここでは、地域冷暖房プラント等(個別熱源プラント)と燃料電池・バイオマスプラント等の人件費に区分して計上する。

#### 8) 賃借費の算定

賃借費は、プラント面積と冷却塔面積より、それぞれ賃借単価を乗じて求める。

○ 賃借費(千円/年)

$$\begin{aligned} &= \text{プラント面積(m}^2\text{)} \times \text{プラント賃借単価(千円/m}^2\cdot\text{月)} \times 12(\text{ヶ月/年}) \\ &+ \text{冷却塔面積(m}^2\text{)} \times \text{冷却塔賃借単価(千円/m}^2\cdot\text{月)} \times 12(\text{ヶ月/年}) \end{aligned}$$

注) ここでは、地域冷暖房プラント等(個別熱源プラント)と燃料電池・バイオマスプラント等の賃借費に区分して計上する。

#### 9) 運転費合計の算定

運転費合計は、上記の 2) ～ 8) を合計して求める。

○ 運転費合計 = 電力費 + 燃料費 + 上水道料金 + 修繕費等 + 人件費 + 賃借費

#### 10) 年間経費合計の算定

年間経費合計は、上記の 1) 固定費と 9) 運転費合計を加えて求める。

#### 11) 年間経費増減額の算定

年間経費増減額は、検討ケースの年間経費合計より基準ケースの年間経費合計を差し引いて求める。

○ 年間経費増減額 = 検討ケースの年間経費合計 - 基準ケースの年間経費合計

#### 12) 年間経費率の算定

年間経費率は、検討ケースの年間経費合計を基準ケースの年間経費合計で除して求める。

○ 年間経費率(%)

$$= (\text{検討ケースの年間経費合計} \div \text{基準ケースの年間経費合計}) \times 100$$

#### 13) CO<sub>2</sub>削減にかかる t-CO<sub>2</sub>あたりコストの算定

CO<sub>2</sub>削減にかかる t-CO<sub>2</sub>あたりコストは、検討ケースの年間経費増減額を年間 CO<sub>2</sub>削減量で除して求める。

○ CO<sub>2</sub>削減にかかる t-CO<sub>2</sub>あたりコスト(円/t-CO<sub>2</sub>)

$$\begin{aligned} &= \text{検討ケースの年間経費増減額(千円/年)} \\ &\div \text{年間CO}_2\text{削減量(t-CO}_2\text{/年)} \times 1,000 \end{aligned}$$

経済性計算の書式例を表4.41に示す。

表 4.41 経済性計算の書式例

項目	基準ケースT01 (個別)	ケースT11 従来型DHC+SOFC200kW +建物側SOFC244.2kW 水素供給	備考
(1) 建設費			
①個別建物熱源設備 (千円)	1,649,320	7,320	
②従来型地域冷暖房 (地域導管含) (千円)		2,964,000	
③建物側省エネ費用 (千円)		0	
④高効率型地域冷暖房 (地域導管含) (千円)		0	
⑤燃料電池・電力供給設備 (千円)		179,360	燃料電池単価 400千円/kW
⑥水素供給施設 (水素配管含) (千円)		174,880	
⑦バイオマス水素供給施設 (千円)		130,000	
⑧太陽光発電設備 (千円)		15,000	
□ 建設費計 (千円)	1,649,320	3,470,560	
(2) 年間経費			
①設備固定費 (千円/年)	149,100	312,670	投資資本回収係数:0.08994
■ 設備固定費計 (千円/年)	149,100	312,670	
(3) 電力費			
①建物系統電力費 (千円/年)	544,272	397,152	電力単価 16円/kWh
②住宅電力費 (千円/年)	1,231	458	電力単価 24円/kWh
③地域冷暖房プラント電力費 (千円/年)	0	17,693	電力単価 13円/kWh
■ 電力費計 (千円/年)	545,503	415,303	
(4) 燃料費			
①大口契約都市ガス料金 (千円/年)	65,300	102,850	都市ガス単価 50円/m3
②住宅都市ガス料金 (千円/年)	385	220	都市ガス単価 110円/m3
③水素料金 (千円/年)	0	52,320	水素単価 40円/m3
■ 燃料料金計 (千円/年)	65,685	155,390	
(5) 上下水道料金			
①上水料金 (千円/年)	32,000	32,000	上水料金 400円/m3
②下水料金 (千円/年)	9,100	9,100	下水料金 350円/m3
■ 上下水道料金計 (千円/年)	41,100	41,100	
(6) 託送料金			
①電力託送料金 (太陽光発電) (千円/年)	0	0	電力託送料金 2.5円/kWh
②バイオマスガス託送料金 (千円/年)	0	0	バイオガス託送料金 2.5円/m
■ 託送料金計 (千円/年)	0	0	
(7) 修繕費・ランニングコスト			
①設備修繕維持費 (千円/年)	57,730	121,470	建設費の3.5%想定
②燃料電池メンテナンス費 (千円/年)	0	8,010	発電量あたり2.5円/kWh
③バイオガス都市ガス注入発熱調整費 (千円/年)	0	0	LPG使用量 千m3/年
■ 修繕費・ランニングコスト計 (千円/年)	57,730	129,480	
(8) 人件費			
①地域冷暖房プラント・建物施設人件! (千円/年)	198,000	78,000	人件費 6000千円/人・年
②燃料電池・バイオマスプラント人件! (千円/年)	0	30,000	人件費 6000千円/人・年
■ 人件費計 (千円/年)	198,000	108,000	
(9) 賃借費			
①地域冷暖房プラント等 (千円/年)	98,800	68,000	
②燃料電池・バイオマスプラント等 (千円/年)	0	9,700	
■ 賃借費計 (千円/年)	98,800	77,700	
■ 地域年間経費合計 (千円/年)	1,155,918	1,239,643	
■ 地域年間経費増減額 (千円/年)	-	83,725	
■ 地域エネルギー年間経費率<基準T01を100> (%)	100	107	
(参考) CO2削減にかかるt-CO2あたりコスト			
ケースT01<基準ケース>との比較 (円/t-CO2)	-	25,772	
<試算条件>			
CO2排出量 (t-CO2/年)	21,906	18,658	
CO2削減量 (t-CO2/年)	-	3,248.7	
CO2削減効果 (%)		14.8	

(d) コスト原単位の参考データ

ここでは、前記で整理した各種設備の建設費を計上するのに必要なコスト原単位の参考データを、表 4.42～表 4.48 にまとめて整理する。

表 4.42 地域冷暖房システム建設費関連コスト原単位例

項目	コスト原単位	
1. プラント建設費		
(1) 熱源設備		
1) 冷熱源機器		
①蒸気吸収冷凍機	70	千円/RT
②電動ターボ冷凍機	70	千円/RT
③単効用吸収冷凍機	90	千円/RT
④冷却塔	40	千円/RT
⑤補機ポンプ		
小計		
2) 温熱源機器		
①蒸気ボイラ	8,000	千円/(t/h)
②蒸気中温水熱交換器	700	千円/(GJ/h)
③補機ポンプ		
小計		
3) 熱源設備費計		
(2) 配管設備		
(3) 電気設備	100	千円/kW
(1) + (2) + (3) 計		
(4) 中央監視計装設備費		
(5) 付帯設備費	120	千円/m <sup>2</sup>
(6) プラント設備建設費合計	426	千円/RT
2. 地域導管建設費		
(1) 導管工事費		
1) 冷水導管	3,600	千円/t
2) 中温水導管	3,600	千円/t
3) 蒸気・還水導管	4,000	千円/t
計		
(2) 土木工事費		
1) 冷水導管	30	千円/m <sup>3</sup>
2) 中温水導管	30	千円/m <sup>3</sup>
3) 蒸気・還水導管	30	千円/m <sup>3</sup>
計		
(3) 地域導管建設費合計	187	千円/RT
3. 受入設備費		
受入設備費合計	18	千円/RT
総合計	631	千円/RT

表 4.43 個別建物熱源設備建設費関連コスト原単位例

項 目	コスト原単位	
1. プラント建設費		
(1) 熱源設備		
1) 冷温熱源機器		
①直焚吸収冷温水機	80	千円/RT
②冷却塔	40	千円/RT
③補機ポンプ		
小計		
2) 熱源設備費計		
(2) 配管設備		
(3) 電気設備	40	千円/kW
		※高圧受変電レベル
(1) + (2) + (3) 計		
(4) 中央監視計装設備費		
(5) 付帯設備費	120	千円/㎡
(6) プラント設備建設費合計	322	千円/RT
総合計	322	千円/RT

表 4.44 集合住宅熱源設備関連コスト原単位例

項 目	備 考		
	コスト原単位		償却年数(年)
建設費 (千円)	集中熱供給		
	熱源設備	460 千円/戸	15
	熱量計	40 千円/戸	8
	シャフトユニット	520 千円/戸	10
	住棟内配管	400 千円/戸	15
	小計		
	住棟内ガス配管	240 千円/戸	15
	住戸内熱源機	370 千円/戸	6
	コージェネ設備	300 千円/kW	15
	受電設備増分	60 千円/kVA	15
	各戸電力メーター増分	20 千円/戸	10
	計		
	補助金		
	合 計		



表 4.45 建物側省エネによるコスト増加費関連コスト原単位例

項目	コスト原単位		備考
1. 空調負荷の削減			
(1) CO2制御、外気冷房	2.5	千円/m <sup>2</sup>	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
(2) 断熱強化	5.3	千円/m <sup>2</sup>	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
(3) 照明負荷削減	0.6	千円/m <sup>2</sup>	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
2. 電力負荷の削減			
(4) 太陽光発電の導入	0.4	千円/m <sup>2</sup>	※80万円/kW
(5) 昇降機の省エネ	0.2	千円/m <sup>2</sup>	
(6) 照明負荷削減	(3)に含む	千円/m <sup>2</sup>	
(7) コンセント負荷削減		千円/m <sup>2</sup>	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
(8) 熱搬送電力負荷の削減	1.6	千円/m <sup>2</sup>	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
(9) 換気動力負荷の削減	0.2	千円/m <sup>2</sup>	
総合計	11.0	千円/m <sup>2</sup>	

表 4.46 燃料電池・電力供給設備建設費関連コスト原単位例

項目		
(1) 燃料電池・電力供給設備建設費		
(1) 燃料電池設備費	300	千円/kW
(2) 受変電設備費	100	千円/kW
(3) 自営線設備費	280	千円/m
(4) 付帯設備費	120	
合計		

表 4.47 水素供給設備建設費関連コスト原単位例

項目		
(1) 水素供給設備建設費		
(1) 燃料改質設備費	400	千円/(m <sup>3</sup> N/h)
(2) 水電気分解設備費	400	千円/(m <sup>3</sup> N/h)
(3) 水素配管建設費		千円/m
(4) 付帯設備費	120	
合計		

表 4.48 その他建設費関連コスト原単位例

項目			備考
(1) バイオマス設備建設費			※バイオマスエネルギー導入ハンドブックNEDOより ※現状不明
(1) バイオマス設備建設費	13,000	千円/t	
(2) 都市ガス導管注入設備費		千円/kW	
合計			
(2) 太陽光発電建設費			
(1) 太陽光発電設備費	500	千円/kW	
合計			

#### 4.3.4 街区モデルシミュレーション（水素導入シナリオ）

本節においては、水素導入シナリオと環境経済性の関係を明らかにすることを目的として、本プロジェクトにて開発したプログラムを用い、街区レベルで水素ネットワークを活用したコジェネシステム（燃料電池）を導入することにより、都市地域のエネルギー消費量について検討を行う。

##### (1) 街区選定

検討にあたっては、容積率の異なる代表的な都内街区を対象に検討を行うこととする。以下に検討対象とした街区モデルを示す。

街区モデル1：低容積地区（練馬区西：住宅中心）

（図 4.43、表 4.49）

街区モデル2：中容積地区（九段南・三番町：小・中規模ビル＋住宅混在地域）

（図 4.44、表 4.50）

街区モデル3：高容積地区（西池袋：中・大規模ビル中心、地域熱供給の導入地区）

（図 4.45、表 4.51）

表 4.52 にシミュレーションケースを一覧する。まず、上記の街区モデル1～3において家庭用および業務用の双方の燃料電池が市場に普及する 2030 年を想定した燃料電池・水素価格を前提条件として実施した（ケース1～8）。それに加え、家庭用の燃料電池に関しては既に市場投入されているため、現在（2012年）から 2030 年に至る燃料電池・水素価格の低減シナリオによる効果を評価した（ケース9～11）。

燃料電池・水素価格のシナリオを表 4.53、図 4.46 に示す。シナリオ前提条件を以下に示す。

- ・ 2015 年までの発電効率は同レベル、コスト低減優先
- ・ 水素供給コストは各家庭までの水素インフラを含むコストと仮定

また、将来的な燃料電池の性能（定格発電効率）、システム価格および水素供給価格は NEDO「燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010」に基づくものとする。

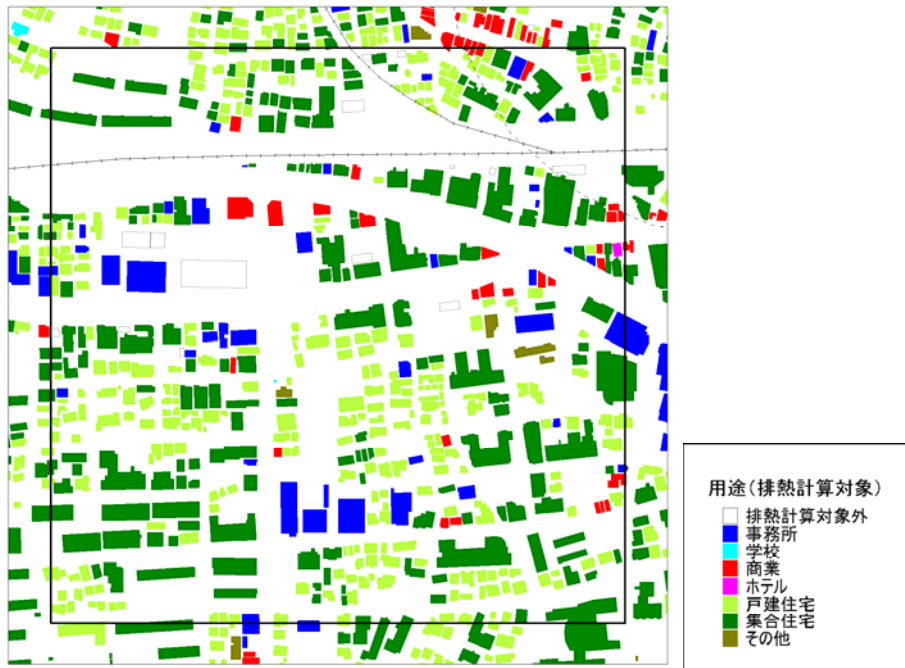


図 4.43 街区モデル 1 (低容積地区：練馬区西：住宅中心)

表 4.49 街区モデル 1 の用途別床面積割合 (低容積地区：練馬区西：住宅中心)

総延床面積 m <sup>2</sup>	事務所%	学校%	商業%	ホテル%	戸建住宅%	集合住宅%	その他%
約35万	7	0	2	0	14	76	1

※ 街区全体の約 90%が住宅（戸別、集合）であるため、ここでは建物用途として住宅のみを評価の対象とした。

※ 戸別住宅約 300 戸、集合住宅 26 万 m<sup>2</sup> (一戸当たり 70m<sup>2</sup>として 約 3,700 戸分)

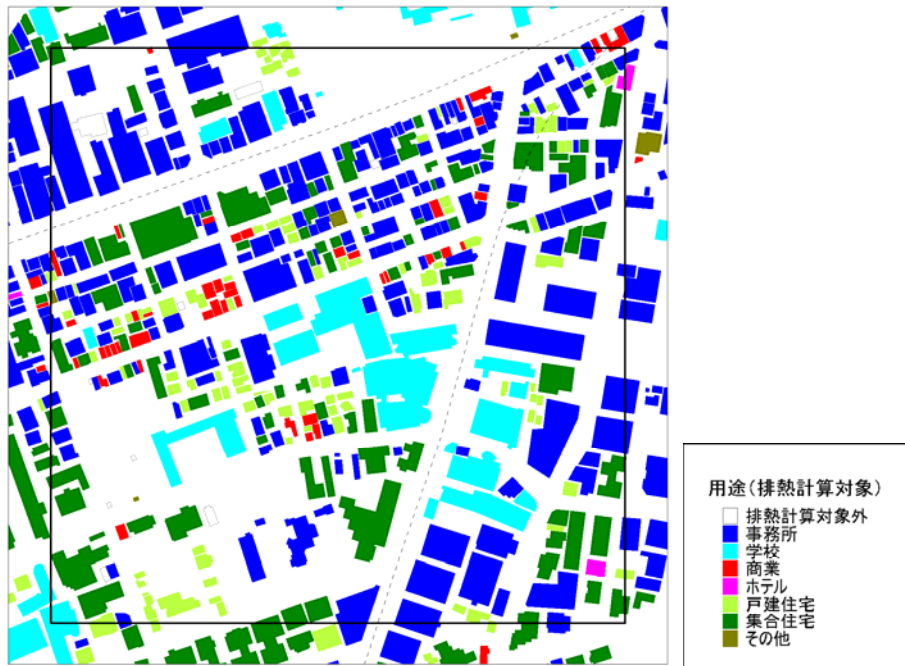


図 4.44 街区モデル 2 (九段南・三番町：小・中規模ビル+住宅混在地域)

表 4.50 街区モデル 2 の用途別床面積割合 (九段南・三番町：小・中規模ビル+住宅)

総延床面積 m <sup>2</sup>	事務所%	学校%	商業%	ホテル%	戸建住宅%	集合住宅%	その他%
約73万	51	14	1	0	3	30	0

※ 熱需要の低い「事務所」・「学校」が全体の 2/3、熱需要の高い「住宅」が全体の 1/3 の構成とした。

※ 戸別住宅約 100 戸、集合住宅 22 万 m<sup>2</sup> (一戸当たり 70 m<sup>2</sup> として 約 3,200 戸分)

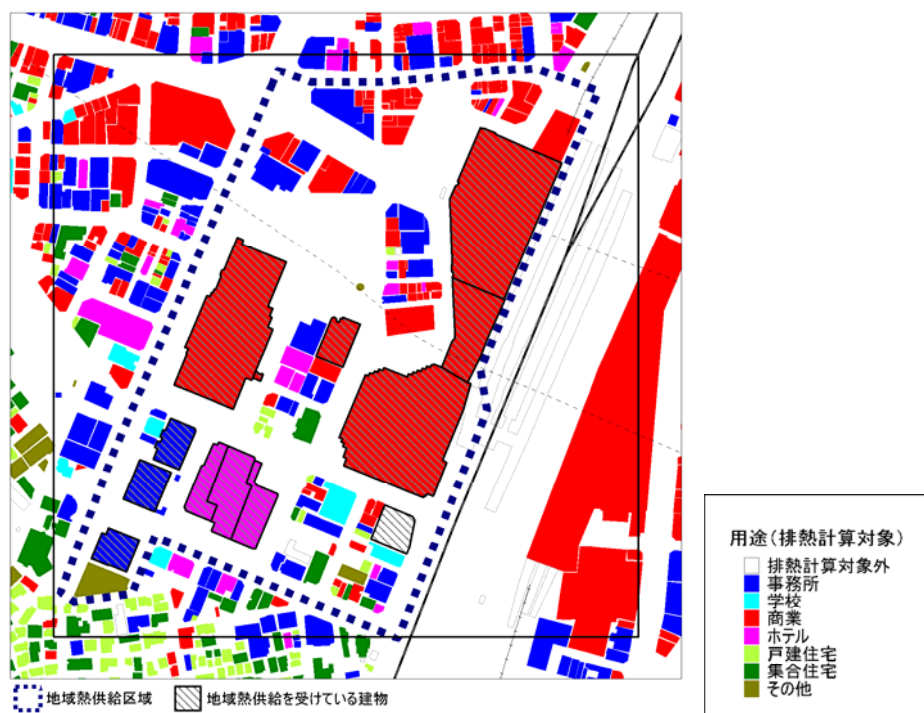


図 4.45 街区モデル3（西池袋：中・大規模ビル中心、地域熱供給の導入地区）

表 4.51 街区モデル3の用途別床面積割合（西池袋：中・大規模ビル中心）

総延床面積 m <sup>2</sup>	事務所%	学校%	商業%	ホテル%	戸建住宅%	集合住宅%	その他%
約103万	17	1	67	12	0	2	1
約84.6万	7.8	0.6	80.4	11.2	0	0	0

※ 街区全体のうち、表の下段に示す延床面積 5,000m<sup>2</sup>以上の建物（地域冷暖房システムに加入の可能性がある中大規模建物）をシミュレーション対象とした。

表 4.52 街区モデルのシミュレーションケース一覧

ケース スタディ	No.	容積率	対象街区	地冷	FC(コージェネシステム)	FC・水素価格想定年※
第 1	1	200%程度 (低容積地区)	練馬区役所西 (モデル1)	無	無	—
	2			無	有(純水素型)	2030
	3	400%程度 (中容積地区)	九段南・三番町 (モデル2)	無	無	—
	4			無	有(純水素型)	2030
	5	700%程度 (高容積地区)	西池袋 (モデル3)	無	無	—
	6			有	無	—
	7			無	有(純水素型)	2030
	8			有	有(純水素型)	2030
第 2	9	200%程度 (低容積地区)	練馬区役所西 (モデル1)	無	有(純水素型)	2012(現在)
	10			無	有(純水素型)	2015
	11			無	有(純水素型)	2020

表 4.53 現在から将来にかけて燃料電池・水素価格のシナリオ

項 目	2012	2015	2020	2030
燃料電池価格 [万円/kW]	270	100	50	40
定格発電効率(LHV) [%]	36	36	40	50
水素供給コスト [円/Nm <sup>3</sup> ]	120	90	60	40



図 4.46 現在から将来にかけて燃料電池・水素価格のシナリオ



第1スタディとして、表 4.53、図 4.46 に示すように、2012 年から 2030 年にかけて燃料電池・水素価格の大幅なコストダウンが行われた場合（燃料電池の費用：1kW あたり 40 千円/kW、水素のコスト：40 円/Nm<sup>3</sup>）を想定し、各地区の CO<sub>2</sub>削減コストを算出した結果を(2)～(4)に述べる。

## (2) 低容積地区（街区モデル1）におけるシミュレーション条件と結果

### (a) シミュレーション条件

低容積地区における主なシミュレーション条件を以下に示す。

- 対象の仮定
  - 練馬市役所西地区の集合住宅を含む住宅（約 4,000 戸相当）のうち、N=100 戸分を対象として評価
- 燃料電池システム仕様
  - 純水素型 PEFC、定格発電容量は 750W で固定
- 定格時の効率（発電効率 50%LHV、熱回収効率 45%LHV）
- 電力・給湯需要原単位、需要変動データ
  - IBEC データ（23 種類）の平均熱電比は約 0.83（4.2.1 参照）であるが、ここでは熱電比が小さいとされる集合住宅を多く含むため、対象サイトの平均熱電比が 0.7 となるように、各住宅に需要データを設定
- 一次エネルギー・CO<sub>2</sub>排出量原単位
  - 電気 9,760kJ/kWh、都市ガス 45MJ/Nm<sup>3</sup>、水素 8MJ/Nm<sup>3</sup>
  - 電気 0.555kg-CO<sub>2</sub>/kWh、都市ガス 2.29kg-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>、水素 0.066kg-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>（太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%由来、原単位の設定は表 4.40 を参照）
- 経費
  - 設備導入費：燃料電池システム 40 万円/kW、ガス給湯機 30 万円
  - 維持費・メンテナンス：設備導入費の 3.5%、メンテナンス費：2.5 円/kWh
  - 燃料料金：電気 24 円/kWh、都市ガス 110 円/Nm<sup>3</sup>、水素 40 円/Nm<sup>3</sup>

### (b) 冷熱源機器のシステム構成

低容積地区は住宅地なのでエアコンによる空調が主になる。

<冷熱需要>

- ・ 家庭用エアコン

<温熱需要>

- ・ 家庭用エアコン

(c) シミュレーション結果

表 4.54 に低容積地区におけるシミュレーション結果を示す。FC 導入前と水素利用型都市における燃料電池導入後の年間 1 次エネルギー消費量の比較を行うと、住宅 1 戸あたり 58,830MJ に対して、燃料電池導入後においては 38,636MJ と 34.3%のエネルギー削減率が期待できる結果となった。また CO<sub>2</sub>削減量に関しては、3.23t-CO<sub>2</sub>が 1.02 t-CO<sub>2</sub>となり、2.21 t-CO<sub>2</sub>の削減量となり、68.4%の削減効果が期待できる結果となった。

経済性に着目すると、1 戸当たりの年間平均コストが 189.7 千円から 187.9 千円と同等のコストとなり、CO<sub>2</sub>削減コストとしては-0.8 千円/t-CO<sub>2</sub>と逆にコストが低減する結果となった。

表 4.54 シミュレーション結果：低容積地区

評価項目	FC無	FC(2030)
エネルギー評価(1戸当たり平均)		
1次エネルギー使用量 [MJ]	58,830	38,636
1次エネルギー削減量 [MJ] /削減率[%]	—	19,694 34.3
CO <sub>2</sub> 排出量 [tCO <sub>2</sub> ]	3.23	1.02
CO <sub>2</sub> 削減量 [tCO <sub>2</sub> ] /削減率 [%]	—	2.21 68.4
経済性評価(1戸当たり平均、千円)		
建設費(初期投資)	300.0	300.0
投資償却費	27.0	27.0
電気・都市ガス・水素料金	153.2	141.4
維持費・メンテナンス	10.5	19.5
年間費用	189.7	187.9
CO <sub>2</sub> 削減コスト[千円/tCO <sub>2</sub> ]	—	-0.8

### (3) 中容積地区におけるシミュレーション条件と結果

#### (a) シミュレーション条件

中容積地区における主なシミュレーション条件を以下に示す。

- 燃料電池システム仕様（純水素 SOFC）
  - 定格発電容量（電力最大需要の 40%）
  - 定格時の効率（発電効率 50%LHV、熱回収率 30%LHV）
- 冷熱源機器システム構成
  - 建物別の床面積、用途別の電力・熱最大需要データから決定
  - 平均負荷率 80%
- エネルギー需要原単位、需要変動データ
  - 各用途別（事務所、商業、ホテルの 3 パターン）の IBEC データを適用
  - 学校は事務所と同じ原単位データを仮定
- 一次エネルギー・CO<sub>2</sub> 排出量原単位
  - 電気 9,760kJ/kWh、都市ガス 45MJ/Nm<sup>3</sup>、水素 8MJ/ Nm<sup>3</sup>
- 電気 0.555kg-CO<sub>2</sub>/kWh、都市ガス 2.29kg-CO<sub>2</sub>/ Nm<sup>3</sup>、水素 0.066kg-CO<sub>2</sub>/ Nm<sup>3</sup>（太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%由来、原単位の設定は表 4.40 を参照）
- 建設費（初期投資）
  - コージェネシステム（FC）原単位：200 千円/kW
  - 冷熱源機器原単位：70 千円/RT（各冷熱源機器で同価格）
  - 蒸気ボイラ原単位：800 千円/ (t/h)
  - 配管設備原単位：2 千円/m<sup>2</sup>、電気設備原単位：40 千円/kW
- 投資償却費
  - 建設費合計に対し、15 年、年率 4.0%で年間経費を産出
- 電気・ガス料金
  - 電気：16 円/kWh、都市ガス 50 円/Nm<sup>3</sup>、水素 40 円/Nm<sup>3</sup>
- 維持費、メンテナンス
  - 設備維持費原単位：建設費の 3.5%、FC メンテナンス費：2.5 円/kWh
- 人件費
  - 冷熱源機器システム管理 6,000 千円/人（システム毎に 2 名）
  - FC システム管理 6,000 千円/人（システム毎に 1 名）

なお、燃料電池システムについては純水素型 SOFC を仮定した。純水素型燃料電池とし

ではPEFCが想定されるが、以下の理由により、純水素をSOFCに投入した場合でもPEFCと同等の発電効率になると考えた。

現在の都市ガス改質型のSOFCがPEFCより発電効率が約10%程度高いのは、メタンの水蒸気改質反応が吸熱反応であり、燃料電池反応の排熱をこれに有効利用できるためである。豪州 Ceramic Fuel Cells 社製の BlueGen (<http://www.bluegen.info/>) のSOFCは発電効率が60%を達成しており、燃料電池単体として燃料として純水素とメタンガスのどちらを燃料として供給しても発電性能はほとんど変わらないため、将来的には純水素型SOFCとして発電効率50%を達成できる可能性は十分であり、純水素型PEFCと同レベルであるとされている(千歳(三菱マテリアル)ら:「純水素とメタンガスを燃料とする低温作動ディスク型SOFCのシミュレーション」第3回新エネルギー技術シンポジウム、2008)。

#### (b) 冷熱源機器のシステム構成

冷熱源機器のシステム構成は次のように決定した。まず、燃料電池システムが無い場合は以下の冷熱源機器からシステムを構成した。

##### <冷熱需要>

- 電動ヒートポンプ (EHP)
- 直焚吸収冷温水機 (GR)
- 二重効用蒸気吸収型冷凍機 (DAR)
- 電動ターボ冷凍機 (ETR)

##### <温熱需要>

- 電動ヒートポンプ (EHP)
- 直焚吸収冷温水機 (GR)
- 蒸気ボイラ (STB)

冷熱機器容量は最大冷房需要  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \times \text{延床面積 } \text{m}^2 \times \text{熱需要係数 } (=1.2)$  として冷水需要を計算し、表 4.55 のように、床面積に応じて各機器の容量を決定した。

表 4.55 床面積と冷水・冷温水機器の容量割合

延床面積 m <sup>2</sup>	EHP	GR	DAR	ETR
～1000	100%	0%	0%	0%
1000～2000	100%	0%	0%	0%
2000～5000	75%	25%	0%	0%
5000～10000	50%	50%	0%	0%
10000～20000	25%	50%	25%	0%
20000～40000	0%	25%	50%	25%
40000～	0%	0%	50%	50%
COP(定格)	4.0	1.2	1.4	6.0

温熱機器容量は（最大暖房需要 kJ/(m<sup>2</sup>・h)+最大給湯需要 kJ/(m<sup>2</sup>・h)）×延床面積 m<sup>2</sup>×熱需要係数 (=1.2) として熱需要を計算する。冷温水機器（EHP、GR）が存在する場合、これらの機器で熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。また、温水負荷分担率と蒸気負荷分担率は、全体の熱需要に対する冷温水機器の容量、蒸気ボイラの容量から計算した。

次に、燃料電池システムに SOFC を導入した場合、以下の機器からシステムを構成した。

<冷熱需要>

- 二重効用蒸気吸収型冷凍機（DAR）
- 電動ターボ冷凍機（ETR）

<温熱需要>

- 蒸気ボイラ（STB）

燃料電池からの蒸気排熱を利用するため、吸収型冷凍機として二重効用蒸気吸収型冷凍機を適用し、冷熱需要が不足する分は、電動ターボ冷凍機で不足分を補う。

温熱機器容量は（最大暖房需要 kJ/(m<sup>2</sup>・h)+最大給湯需要 kJ/(m<sup>2</sup>・h)）×延床面積 m<sup>2</sup>×熱需要係数 (=1.2) として熱需要を計算する。燃料電池からの蒸気排熱で熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。また、温水負荷分担率は 0.0、蒸気負荷分担率 1.0 とした。

(c) シミュレーション結果

表 4.56 に中容積地区モデルにおけるシミュレーション結果を示す。FC 導入前と水素利用型都市における燃料電池導入後の年間の 1 次エネルギー消費量の比較を行うと、626,057GJ に対して、燃料電池導入後においては 461,280GJ と 26.2%のエネルギー削減率が期待できる結果となった。また CO<sub>2</sub> 削減量に関しては、35,316t-CO<sub>2</sub> が 17,054t-CO<sub>2</sub> となり、16,115 t-CO<sub>2</sub> の削減量となり、51.7%の削減効果が期待できる結果となった。

住宅地においては 1 次エネルギー削減量として 34.3%、CO<sub>2</sub> 削減量として 68.4%であり、中容積地区においてはそれぞれ低下する結果となった。これは、本検討対象の地域では給湯需要の小さい業務施設（学校を含む）が多いため、この影響が結果に反映しているものと考えられる。

経済性に着目すると、地区全体の年間コストが 4,147 百万円から 4,737 百万円と増大し、CO<sub>2</sub> 削減コストとしては約 32 千円/t-CO<sub>2</sub> となった。低容積地区と同様に燃料電池の建設コスト、水素のコストは同等としているが、業務施設（学校を含む）においては給湯需要が少ないため、エネルギー削減率が住宅地に比べて小さく、CO<sub>2</sub> 削減コストが高くなる傾向にあることが分かる。

表 4.56 シミュレーション結果：中容積地区

評価項目	FC無	FC(2030)
1次エネルギー使用量 [GJ]	626,057	461,820
1次エネルギー削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	129,461 26.2
CO <sub>2</sub> 排出量 [tCO <sub>2</sub> ]	35,316	17,054
CO <sub>2</sub> 削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	16,115 51.7
建設費(初期投資)	2,562,520	4,703,880
投資償却費	230,473	423,067
電気・都市ガス・水素料金	1,001,203	1,303,354
維持費・メンテナンス	89,688	184,661
人件費	2,826,000	2,826,000
年間費用	4,147,365	4,737,081
CO <sub>2</sub> 削減コスト[千円/tCO <sub>2</sub> ]	—	32.3

#### (4) 高容積地区におけるシミュレーション条件と結果

##### (a) シミュレーション条件

今回検討対象とした高容積地区においては地域熱供給システムが導入されている地域である。図 4.47 に検討対象地域における地域熱供給システムの概要を示す。

実際の熱供給システムが導入されている建物は 11 棟、総床面積 55 万 m<sup>2</sup> であるが、本検討においては、この地域における床面積 5,000m<sup>2</sup> 以上の建物が導入されていると仮定し、地域熱供給システム地域における水素導入効果について検討を行った。またシミュレーションにあたっては、地冷が導入されていない条件で、FC の導入の有無、地冷が導入されている条件で、FC 導入の有無の 4 ケース実施した。

表 4.57 に実際の地域熱供給システムの条件とシミュレーション条件を示す。



図 4.47 検討対象地域における地域熱供給システムの概要図

表 4.57 実際の地域熱供給システムの条件とシミュレーション条件

項目	現物	シミュレーション
供給延床面積 [万m <sup>2</sup> ]	55.1	84.6
対象建物数	11	22
主要熱源機器		
・温熱(蒸気ボイラ) [t/h]	51.0	90.2
・冷熱(吸収式冷凍機)[RT]	9,000	15,460
・冷熱(ターボ冷凍機) [RT]	8,350	15,460
地域導管		
・管路延長 [m]	3,719	
・最大口径		冷水700A、蒸気300A

その他の主な条件を以下に示す。

- 燃料電池システム仕様（個別・地冷、純水素型 SOFC あるいは PEFC）
  - 定格発電容量（電力最大需要の 40%）
  - 定格時の効率（発電効率 50%LHV、熱回収率 30%LHV）
- 冷熱源機器システム構成（個別・地冷）
  - 建物別の床面積、用途別の電力・熱最大需要データから決定
  - 個別の場合は冷熱源機器の平均負荷率を 80%と設定（地冷の場合は 100%）
- エネルギー需要原単位、需要変動データ（個別・地冷）
  - 各用途別（事務所、商業、ホテルの 3 パターン）の IBEC データを適用
  - 学校は事務所と同じ原単位データを仮定
- 一次エネルギー・CO<sub>2</sub> 排出量原単位
  - 電気 9,760kJ/kWh、都市ガス 45MJ/ Nm<sup>3</sup>、水素 8MJ/ Nm<sup>3</sup>
- 電気 0.555kg-CO<sub>2</sub>/kWh、都市ガス 2.29kg-CO<sub>2</sub>/ Nm<sup>3</sup>、水素 0.066kg-CO<sub>2</sub> Nm<sup>3</sup>（太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%由来、原単位の設定は表 4.40 を参照）
- 建設費（初期投資）
  - コージェネシステム（FC）原単位：200 千円/kW（2030 年を想定）
  - 冷熱源機器原単位：70 千円/RT（各冷熱源機器で同価格）
  - 蒸気ボイラ原単位：800 千円/（t/h）
  - 配管設備原単位：2 千円/m<sup>2</sup>（個別）
  - 電気設備原単位：40 千円/kW（個別）、100 千円/kW（地冷）
  - 地域導管建設費（地冷）原単位：3,600 千円/t（冷水導管工事費、700A）、4,000 千円（蒸気導管、300A）、30 千円/m<sup>2</sup>（土木工事費）
- 投資償却費
  - 建設費合計に対し、15 年、年率 4.0%で年間経費を産出
- 電気・ガス料金
  - 電気：16 円/kWh、都市ガス 50 円/Nm<sup>3</sup>、水素 40 円/Nm<sup>3</sup>
- 維持費、メンテナンス
  - 設備維持費原単位：建設費の 3.5%、FC メンテナンス費：2.5 円/kWh
- 人件費
  - 冷熱源機器システム管理 6,000 千円/人（システム毎に 2 名）
  - FC システム管理 6,000 千円/人（システム毎に 1 名）



## (b) 冷熱源機器のシステム構成

冷熱源機器のシステム構成は次のように決定した。まず、燃料電池システムが無い場合は、中容積地区シミュレーションと同様に、以下の冷熱源機器からシステムを構成した。

### <冷熱需要>

- 電動ヒートポンプ (EHP)
- 直焚吸収冷温水機 (GR)
- 二重効用蒸気吸収型冷凍機 (DAR)
- 電動ターボ冷凍機 (ETR)

### <温熱需要>

- 電動ヒートポンプ (EHP)
- 直焚吸収冷温水機 (GR)
- 蒸気ボイラ (STB)

また、冷熱機器容量は最大冷房需要  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \times \text{延床面積 } \text{m}^2 \times \text{熱需要係数 } (=1.2)$  として冷水需要を計算し、表 4.58 のように、床面積に応じて各機器の容量を決定した。

表 4.58 床面積と冷水・冷温水機器の容量割合

延床面積 $\text{m}^2$	EHP	GR	DAR	ETR
~1000	100%	0%	0%	0%
1000~2000	100%	0%	0%	0%
2000~5000	75%	25%	0%	0%
5000~10000	50%	50%	0%	0%
10000~20000	25%	50%	25%	0%
20000~40000	0%	25%	50%	25%
40000~	0%	0%	50%	50%
COP(定格)	4.0	1.2	1.4	6.0

温熱機器容量は  $(\text{最大暖房需要 } \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) + \text{最大給湯需要 } \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})) \times \text{延床面積 } \text{m}^2 \times \text{熱需要係数 } (=1.2)$  として熱需要を計算する。冷温水機器 (EHP、GR) が存在する場合、これらの機器で熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。また、温水負荷分担率と蒸気負荷分担率は、全体の熱需要に対する冷温水機器の容量、蒸気ボイラの容量から計算した。

次に、燃料電池システムに SOFC を導入した場合、以下の機器からシステムを構成した。

<冷熱需要>

- 二重効用蒸気吸収型冷凍機 (DAR)
- 電動ターボ冷凍機 (ETR)

<温熱需要>

- 蒸気ボイラ (STB)

燃料電池からの蒸気排熱を利用するため、吸収型冷凍機として二重効用蒸気吸収型冷凍機を適用し、冷熱需要が不足する分は、電動ターボ冷凍機で不足分を補う。

温熱機器容量は (最大暖房需要  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  + 最大給湯需要  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )  $\times$  延床面積  $\text{m}^2$   $\times$  熱需要係数 (=1.2) として熱需要を計算する。燃料電池からの蒸気排熱で熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。また、温水負荷分担率は 0.0、蒸気負荷分担率 1.0 とした。

一方、燃料電池システムに PEFC を導入した場合、以下の機器からシステムを構成した。

<冷熱需要>

- 単効用蒸気吸収型冷凍機 (AR)
- 電動ターボ冷凍機 (ETR)

<温熱需要>

- 排熱温水熱交換器 (WEX)
- 蒸気ボイラ (STB)

燃料電池からの温水排熱を利用するため、吸収型冷凍機として単効用蒸気吸収型冷凍機を適用する。この冷凍機の COP は 0.7 であり、二重効用蒸気吸収型冷凍機の 1/2 と効率が低い。冷熱需要が不足する分は、電動ターボ冷凍機で不足分を補う。

温熱機器容量は (最大暖房需要  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  + 最大給湯需要  $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ )  $\times$  延床面積  $\text{m}^2$   $\times$  熱需要係数 (=1.2) として熱需要を計算する。燃料電池からの温水排熱が熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。全体の熱需要に対する排熱温水熱交換器の容量、蒸気ボイラの容量から計算した。

(c) シミュレーション結果

表 4.59 に燃料電池として純水素型 SOFC を導入した場合の高容積地区モデルにおけるシミュレーション結果を示す。

まずは地冷の導入の有無により効果を比較すると、1 次エネルギー削減率、CO<sub>2</sub> 削減率とも 4%程度となり、地冷の導入によるスケールメリットが得られる結果となった。これは、個別の場合は各建物に設置した冷熱源機器の平均負荷率が 80%であることが要因の 1 つであると考えられる。個別の場合、地冷導入の場合のそれぞれのケースで燃料電池導入効果について確認すると、個別の場合は、1 次エネルギー削減率 25%、CO<sub>2</sub> 削減率で 46%、地冷導入では、1 次エネルギー削減率 27%、CO<sub>2</sub> 削減率で 48%となり、地冷と燃料電池導入によるエネルギーおよび CO<sub>2</sub> 削減率は最大となった。

次にコスト削減効果について確認を行った。燃料電池を考慮しない場合の個別建物と地冷を考慮した場合の年間コストの比較を行うと、CO<sub>2</sub> 削減量は 4%程度と小さいが、経済性効果が見込められる結果となった。また、FC 導入時における結果を見ると、個別建物条件においては CO<sub>2</sub> 削減コストが約 28 千円であるのに対して、地冷を考慮した場合には、19 千円と個別建物熱源条件と地冷条件では約 9 千円の経済性効果が見込める結果となった。

表 4.59 シミュレーション結果：高容積地区（SOFC 導入）

評価項目	個別・FC無	個別・FC有	地冷・FC無	地冷・FC有
<b>エネルギー評価</b>				
1次エネルギー使用量 [GJ]	2,091,150	1,568,018	2,002,154	1,525,177
1次エネルギー削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	523,132 25.0	88,996 4.3	565,973 27.1
CO <sub>2</sub> 排出量 [tCO <sub>2</sub> ]	118,049	63,886	112,914	61,964
CO <sub>2</sub> 削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	54,163 45.9	5,135 4.3	56,085 47.5
<b>経済性評価（千円）</b>				
建設費(初期投資)	6,003,790	11,891,290	7,286,611	14,503,611
投資償却費	539,981	1,069,503	655,358	1,304,455
電気・都市ガス・水素料金	3,356,286	4,059,381	3,199,310	3,686,579
維持費・メンテナンス	210,133	478,095	255,031	569,551
人件費	396,000	396,000	18,000	18,000
年間費用	4,502,400	6,002,979	4,127,699	5,578,585
CO <sub>2</sub> 削減コスト[千円/tCO <sub>2</sub> ]	—	27.7	0	19.2

次に、燃料電池として純水素型 PEFC を導入した場合の高容積地区モデルにおけるシミュレーション結果を表 4.60 に示す。

個別の場合、地冷導入の場合のそれぞれのケースで燃料電池導入効果について確認すると、個別の場合は、1次エネルギー削減率 14%、CO<sub>2</sub>削減率で 31%、地冷導入では、1次エネルギー削減率 16%、CO<sub>2</sub>削減率で 34%となった。これは SOFC を導入した場合と比べて1次エネルギー削減率で 10%、CO<sub>2</sub>削減率で 15%程度低い結果となった。これは、冷熱需要のための冷凍機が低温水を利用する単効用吸収型で COP が SOFC の場合の二重効用吸収型と比べて COP が 0.7 と低く、低温排熱の 30%を捨てているためである。

次にコスト削減効果について確認を行った。FC 導入時における結果を見ると、個別建物条件においては CO<sub>2</sub>削減コストが約 36 千円であるのに対して、地冷を考慮した場合には、28 千円と個別建物熱源条件と地冷条件では約 8 千円の経済性効果が見込められる結果となっているが、SOFC を導入した場合と比べて CO<sub>2</sub>削減コストが高くなっていることがわかる。

表 4.60 シミュレーション結果：高容積地区（PEFC 導入）

評価項目	個別・FC無	個別・FC有	地冷・FC無	地冷・FC有
<b>エネルギー評価</b>				
1次エネルギー使用量 [GJ]	2,091,150	1,792,273	2,002,154	1,751,736
1次エネルギー削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	298,877 14.3	88,996 4.3	339,414 16.2
CO <sub>2</sub> 排出量 [tCO <sub>2</sub> ]	118,049	81,140	112,914	78,055
CO <sub>2</sub> 削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	36,909 31.3	5,135 4.3	39,994 33.9
<b>経済性評価（千円）</b>				
建設費(初期投資)	6,003,790	11,876,186	7,286,611	13,590,327
投資償却費	539,981	1,068,144	655,358	1,222,314
電気・都市ガス・水素料金	3,356,286	3,886,704	3,199,310	3,839,797
維持費・メンテナンス	210,133	477,566	255,031	537,586
人件費	396,000	396,000	18,000	18,000
年間費用	4,502,400	5,828,415	4,127,699	5,617,697
CO <sub>2</sub> 削減コスト[千円/tCO <sub>2</sub> ]	—	35.9	(-73.0)	27.9

上記の結果を鑑み、PEFC の導入容量を抑えて低温排熱量を減らすことで、CO<sub>2</sub>削減コストがどの程度減少するかを検討した。表 4.61 に定格発電容量を電力最大需要 30%に抑えた場合のシミュレーション結果を示す。

個別の場合、地冷導入の場合のそれぞれのケースで燃料電池導入効果について確認すると、個別の場合は、1次エネルギー削減率 12%、CO<sub>2</sub>削減率で 26%、地冷導入では、1次

エネルギー削減率 15%、CO<sub>2</sub>削減率で 29%となった。これは PEFC を最大電力需要の 40% と場合と比べてさらに低い削減率であるが、PEFC の導入コストが減少したことで、燃料として水素の消費量が低減したことで年間費用が下がり、CO<sub>2</sub>削減コストは SOFC のレベルを達成することが分かった。

表 4.61 シミュレーション結果：大容積地区（PEFC 導入：容量抑制）

評価項目	個別・FC無	個別・FC有	地冷・FC無	地冷・FC有
<b>エネルギー評価</b>				
1次エネルギー使用量 [GJ]	2,091,150	1,839,473	2,002,154	1,780,688
1次エネルギー削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	251,677 12.0	88,996 4.3	310,462 14.8
CO <sub>2</sub> 排出量 [tCO <sub>2</sub> ]	118,049	87,738	112,914	84,154
CO <sub>2</sub> 削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	30,311 25.7	5,135 4.3	33,895 28.7
<b>経済性評価（千円）</b>				
建設費(初期投資)	6,003,790	10,452,088	7,286,611	11,791,468
投資償却費	539,981	940,061	655,358	1,060,525
電気・都市ガス・水素料金	3,356,286	3,619,148	3,199,310	3,578,913
維持費・メンテナンス	210,133	412,323	255,031	459,151
人件費	396,000	396,000	18,000	18,000
年間費用	4,502,400	5,367,532	4,127,699	5,116,589
CO <sub>2</sub> 削減コスト[千円/tCO <sub>2</sub> ]	—	28.5	(-73.0)	18.1

第2スタディとして、表 4.48、図 4.46 に示すように、2012 年から 2030 年にいたる燃料電池・水素価格の低減シナリオによる、低容積地区の CO<sub>2</sub>削減コストを算出した結果を(5)に述べる。

## (5) 低容積地区における年別価格想定シミュレーション

### (a) シミュレーション条件

第2スタディとして、現在から 2030 年に至る燃料電池・水素価格のシナリオの評価を実施する。低容積地区を解析対象とする。

主なシミュレーション条件を以下に示す。

- 対象の仮定
  - 練馬市役所西地区の集合住宅を含む住宅（約 4,700 戸相当）のうち、N=100 戸分を対象として評価
- 燃料電池システム仕様
  - 純水素型 PEFC、定格発電容量は 750W で固定
  - 定格時の効率（発電効率：下表、熱回収率 45%LHV）
- 電力・給湯需要原単位、需要変動データ
  - 対象サイトの平均熱電比が 0.7 となるように、各住宅に需要データを設定
- 経費
  - 設備導入費（燃料電池システム：下表、ガス給湯機 30 万円）
  - 維持費・メンテナンス（設備導入費の 3.5%、メンテナンス費：2.5 円/kWh）
  - 燃料料金（電気 24 円/kWh、都市ガス 110 円/Nm<sup>3</sup>、水素：下表）

(b) シミュレーション結果

表 4.62 および図 4.48 に低容積地区モデルにおける価格変動シミュレーション結果を示す。

CO<sub>2</sub>削減率に着目すると、現状の2012年においても各建物に純水素が導入されると68%程度の効果が期待できる結果となった。また2030年までに徐々にCO<sub>2</sub>削減率が高くなり最終的に68.4%の削減効果が期待できる結果となった。また、CO<sub>2</sub>削減コストに着目すると、現状の2012年では約240千円/t-CO<sub>2</sub>の削減コストが、NEDOのロードマップ2010年での想定価格とした場合には、2015年で約110千円/t-CO<sub>2</sub>、2020年で約37千円/t-CO<sub>2</sub>、2030年には現在のガス給湯器とほぼ同等のコストとなる結果となった。

表 4.62 価格変動シミュレーション結果（低容積地区）

評価項目	FC無	FC(2012)	FC(2015)	FC(2020)	FC(2030)
エネルギー評価(1戸当たり平均)					
1次エネルギー使用量 [MJ]	58,830	43,878	43,878	41,371	38,636
1次エネルギー削減量 [MJ] /削減率[%]	—	14,452 25.4	14,452 25.4	16,959 29.7	19,694 34.3
CO <sub>2</sub> 排出量 [tCO <sub>2</sub> ]	3.23	1.10	1.10	1.06	1.02
CO <sub>2</sub> 削減量 [tCO <sub>2</sub> ] /削減率 [%]	—	2.12 65.8	2.12 65.8	2.17 67.1	2.21 68.4
経済性評価(1戸当たり平均、千円)					
建設費(初期投資)	300.0	2025.0	750.0	375.0	300.0
投資償却費	27.0	182.1	67.5	33.8	27.0
電気・都市ガス・水素料金	153.2	425.6	329.0	214.4	141.4
維持費・メンテナンス	10.5	79.5	34.9	21.9	19.5
年間費用	189.7	687.2	431.4	270.1	187.9
CO <sub>2</sub> 削減コスト[千円/tCO <sub>2</sub> ]	—	234.7	114.0	37.1	-0.8

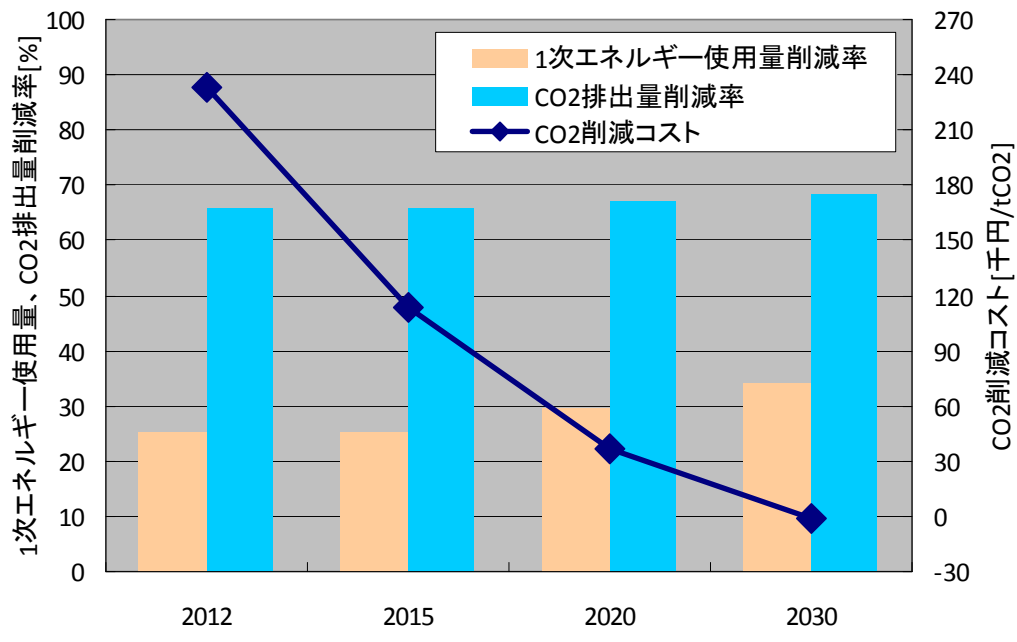


図 4. 48 価格変動シミュレーション結果グラフ



## (6) 考察

本シミュレーションにおいては、住宅中心の低容積地区、業務施設（学校を含む）中心の中容積地区、商業施設や宿泊施設が中心で、かつ地域熱供給システムが導入されている高容積地区の3地区に対して、水素・燃料電池が導入されることによる都市エネルギーシステムへの影響についてシミュレーションを実施した。また、低容積地区については、燃料電池・水素価格の低減シナリオによる影響評価を実施した。

本シミュレーションより、以下の結果を得ることができた。

- ◆ 水素・燃料電池が導入されることによる都市エネルギーシステム効果
  - 容積率 200%程度を想定した住宅が中心の低容積地区においては、CO<sub>2</sub>削減率 68%、CO<sub>2</sub>削減コスト-0.8 千円/tCO<sub>2</sub>（FC 導入による CO<sub>2</sub>排出量とコスト双方を低減）が期待される結果となった。
  - 容積率 400%程度を想定した業務施設（学校を含む）中心の中容積地区においては、CO<sub>2</sub>削減率 52%、CO<sub>2</sub>削減コスト 32 千円/tCO<sub>2</sub>と低容積地区に比べ効果が小さい結果となった。これは、熱需要が低い事務所の割合が高く、かつ各建物の延床面積も小さく熱供給が最適化されているためと考えられる。
  - 容積率 700%程度を想定した商業施設、宿泊施設が中心で、かつ地域熱供給システムが導入されている高容積地区では、FC が無い場合は、熱供給の分散・集中による CO<sub>2</sub>削減の効果は 4%程度であり、熱供給の集中によるコスト削減の効果があった。純水素型 SOFC を導入した場合、CO<sub>2</sub>削減率は 45%以上となり、地冷システムへの FC 導入によってコスト削減効果 20 千円/tCO<sub>2</sub>未滿を達成した。一方、純水素型 PEFC を導入した場合、SOFC と同一の導入容量では排熱が余るために SOFC と比べて CO<sub>2</sub>削減コストが高くなるが、導入容量を下げると CO<sub>2</sub>削減率は低下するものの、SOFC と同様に、コスト削減効果 20 千円/tCO<sub>2</sub>未滿を達成した。
- ◆ 燃料電池・水素価格の低減シナリオによる影響評価
  - 2020 年水準では CO<sub>2</sub>削減コスト 20 千円/tCO<sub>2</sub>に未達、2030 年の水準で-0.8 千円/tCO<sub>2</sub>と大幅に削減コストが減少（FC 導入による CO<sub>2</sub>排出量とコスト双方を低減）。
  - CO<sub>2</sub>削減率には効果あり（65%以上）

#### 4.4 まとめ

第4章では、都市エネルギーシステムの評価プログラムを作成し、様々な都市が最適解としての水素社会に段階的に移行する際の経済性、環境性について定量的に検討を行うことを目的として、地域エネルギー消費等実態調査、低炭素都市評価システムの開発、低炭素都市評価システムの活用について検討を行い、以下の結論を得た。

1) 既往調査（過去8調査）で行われた用途別建物の電力・冷房・給湯需要に関する床面積あたりの最大需要原単位と年間需要原単位ならびに月別・時刻別需要変動パターンを整理した。このデータベースは、都市CO<sub>2</sub>計量評価モデルに実装されており、地域における年間のエネルギー消費量等の評価に利用できる。

2) 都内超高層住宅（414戸）を対象に、共用部用途別（電灯、空調機、エレベータ、給水ポンプ、駐車場排風機、動力）に電力計測を実施し、共用部電力量は1戸あたり2,925kWh/年・戸、共用部床面積あたり67.5kWh/年・m<sup>2</sup>であることを明らかにした。この調査結果は、共同住宅の省エネルギー基準策定の基礎資料として活用が期待される。

3) 将来的に水素エネルギーの生成源と目される太陽光、風力、バイオマスの自然エネルギー地域賦存量データベースを作成した。同データベースの検索シートはホームページに公開されており、一般の利用が可能である。

4) 街区の建物配置、土地利用、建材等の構成から、建物・地面間の多重放射、日陰を考慮し、各建物の年間空調負荷を予測する手法を開発した。流体連成解析も可能であり、緑空間の風通し、人工排熱等による街区の気温・空調負荷影響も検討することができる。

5) エネルギー源として、水素に加えて従来の化石燃料（都市ガス、石油等）、再生可能エネルギーを用い、コージェネレーション、蓄エネルギー（蓄水素・蓄熱・蓄電）、地域熱供給等の各種システム解析が経済性評価とあわせて実施可能なモデル開発を行った。

6) 都市域の水素導入シナリオを設定し、開発ツールを用いて水素導入の環境経済性を明らかにした。住宅地（練馬）への水素駆動燃料電池の導入により2030年時の条件設定において現在のガス給湯器とほぼ同等のコストで、7割弱のCO<sub>2</sub>削減が可能であること、高密度商業地（池袋）の場合、地域熱供給施設に水素駆動燃料電池を導入することにより、地域全体のCO<sub>2</sub>削減コストは2万円弱/tCO<sub>2</sub>におさまることを指摘した。

## 第5章 総括

本研究は、都市域の二酸化炭素発生量削減に有効と思われる水素に着目し、現状に比して二酸化炭素排出量50%削減を可能とする都市システム技術を開発するため、水素配管を敷設した建物等空間の安全性の検討(2章)、燃料電池等による建物の低炭素化技術(3章)、低炭素都市評価技術の開発(4章)に取り組んだ。得られた結論を以下に述べる。

- 1) 事務所及び共同住宅におけるパイプシャフトの寸法、内容物については建物規模によらず用途毎に概ね似通ったものになる傾向が明らかとなった。また、数値流体解析による水素拡散性状の検討では、配管内圧力、廊下での換気量によるパイプシャフト内及び廊下での水素拡散性状の違いを明らかにした。
- 2) 低層及び中層建物を想定した基礎及びガス配管を対象として、神戸NS波、エルセントロNS波、正弦波(＋スイープ加振)を想定地震波として加震した結果、地盤の隆起・陥没、液状化等で損傷の恐れはあるものの、一般的な宅地地盤(相対密度60%)におけるガス配管は揺れだけでは損傷しないことが明らかとなった。
- 3) 住宅を含む6用途に各種の燃料電池システムを導入した場合の数値計算から、商業、業務では蒸気排熱型の燃料電池(SOFC)、ホテル、医療では低温水廃熱利用型の燃料電池(PEFC)によるシステム効率が高く、系統電力の5割を削減するものも見られた。
- 4) 水素パイプラインが都市内に構築された近未来を想定し、水素駆動の燃料電池を家庭で使用する「スマート水素ハウス」を提案し、その特徴や効果についてパンフレット「燃料電池とくらし」に整理した。
- 5) 都市域の水素導入シナリオの将来的見直しを行い、今回の試算条件において2030年には現状のガス給湯器を購入する場合と同等の費用負担で、都市域の水素導入により大幅なCO<sub>2</sub>削減が可能であることを明らかにした。
- 6) 自治体、都市開発事業者等が都市域の水素導入シナリオを検討するためのツールとして、太陽光、風力などのカラー表示やデータ・ダウンロードを行う「自然エネルギー賦存量データベース」、都市域の建物、設備を入力するとエネルギー消費やコストなどを計算出力する「低炭素都市評価システム」を開発した。「自然エネルギー賦存量データベース」については国総研のホームページに公開した。

本研究では、水素の導入効果を適切に検討、評価するため、自然エネルギー、発電、廃熱利用等も考慮した複雑かつ幅広い評価の枠組みを構築し、新たなエネルギーとして「水素」を位置づけたものである。また、国土交通省が管轄する建築物等の関連法令と水素社会の接点を検討することも研究目的の一つとしており、建築基準法において水素配管を想

定した技術基準の検討を行い、建物壁を貫通するガス管の材質、建物空間内のガス検知器の適切な配置等に関する開発整備を実施した。さらに、共同溝水素供給実験、スマート水素ハウス等の実験的検討を通じて、水素の供給、消費の実用化技術に目処をつけることも出来た。これらの開発技術を基に、都市における水素利用が省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減に効果的で、経済性についても将来的見込みは有望であることを提示するとともに、今後の都市開発に供する、「低炭素都市評価システム」及び「自然エネルギー賦存量データベース」などのツール作成を行った。

#### 今後の課題

水素パイプラインの敷設に当たっては水素エネルギー事業の存在・誕生を前提とするが、事業者の許認可は経済産業省の管轄であり、水素社会の実現には他省庁との連携を含めた制度的な準備作業も求められる。将来的に都市域の水素パイプラインが実際に敷設され、さらに建物に水素駆動燃料電池の導入、普及が進展すると、省エネ基準、CASBEEや自治体の低炭素まちづくりなど国土交通省関連の各種施策に、本総プロで取り組んだ水素等技術が反映されていくと考えられる。

燃料電池はわが国の新産業創造に貢献し得るキーテクノロジーである。水素の安全管理技術や環境・エネルギー評価手法などとあわせてパッケージ化することにより、国際的な技術競争力の向上に資すると期待される。

## 参考文献

- 1) 東京ガス株式会社のプレスリリース:  
<http://www.tokyo-gas.co.jp/Press/20090316-01.html>
- 2) 宮崎ガス株式会社のプレスリリース:  
<http://www.miyazakigas.co.jp/info/osirase/20100428a.pdf>  
一般財団法人 建設物価調査会:月刊建設物価、2011.3
- 3) 消防庁特殊災害室、石油コンビナートの防災アセスメント策定指針、1994
- 4) 一般社団法人 日本ガス協会編:供給管・内管指針(設計編)
- 5) 国土交通省関東地方整備局東京第二営繕事務所:施設整備・管理のための天然ガス対策ガイドブック、2008
- 6) 新日本石油株式会社:灯油使用 10kW 級固体高分子形燃料電池システムの実証研究、2009.10
- 7) 三菱重工技報、Vol.48、No.3、(2011)
- 8) UTC Power 社ホームページ:  
<http://www.utcpower.com/products/purecell400>
- 10) 社会実証プロジェクト水素ハイウェイの構築のホームページ:  
<http://www.f-suiso.jp/highway>
- 11) 北九州水素タウンホームページ:  
<http://www.f-suiso.jp/kitakyushu>
- 12) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構:平成 20 年度集合住宅共用部における省エネルギー推進研究報告書
- 13) 佐藤順子、須田礼二、田島昌樹、澤地孝男、桑沢保夫、野村聡:集合住宅の属性別にみた共用部エネルギー使用量に関する分析、日本建築学会環境系論文集、第 47 巻、第 641 号、2009.7
- 14) 空気調和・衛生工学会シンポジウム資料:熱源・コージェネ省エネ評価指標の国内外の現状と課題、2005.12
- 15) 佐土原聡、福島朝彦、下田吉之:地域熱供給システムの省エネルギー性能とCO<sub>2</sub>削減インパクト:地域熱供給システムの省エネルギー性、CO<sub>2</sub>削減効果に関する実態研究 その 3(熱源システムの実態、日本建築学会大会学術講演梗概集 2003.7

## 関連論文一覧

### 【発表論文】

- 1) 足永靖信、澤地孝男、桑沢保夫、宮田征門、秦良昌、三浦尚志:低炭素コミュニティ形成のための水素エネルギー活用技術に関する研究(第1報)研究目的と計算方法、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 189-192、2010.9
- 2) 秦良昌、足永靖信、澤地孝男、桑沢保夫、宮田征門、三浦尚志:低炭素コミュニティ形成のための水素エネルギー活用技術に関する研究(第2報)ケーススタディー、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 193-196、2010.9
- 3) 宮田征門、足永靖信、澤地孝男、桑沢保夫、秦良昌、三浦尚志:低炭素コミュニティ形成のための水素エネルギー活用技術に関する研究(第3報)省エネルギー・省CO<sub>2</sub> 効果の評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 197-200、2010.9
- 4) 足永靖信、久保田裕二、原英嗣:水素活用型都市インフラの構築に向けた共同溝内ガス管の耐圧気密性に関する研究(第1報)配管敷設概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 1711-1714、2012.9
- 5) 原英嗣、足永靖信、久保田裕二:水素活用型都市インフラの構築に向けた共同溝内ガス管の耐圧気密性に関する研究(第2報)水素配管(二重管)及び固体高分子形純水素燃料電池に関する実験室実験、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 1715-1718、2012.9
- 6) 足永靖信、久保田裕二、原英嗣:水素活用型都市インフラの構築に向けた共同溝内ガス管の耐圧気密性に関する研究(第3報)ヘリウムガスによる共同溝配管の耐圧・気密性試験及び外装管内漏えいガスの検知方法に関する実験空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 1719-1722、2012.9
- 7) 久保田裕二、足永靖信:水素駆動形固体高分子形燃料電池と太陽光パネルを使った公開実験について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 709-710、2013.8
- 8) 足永靖信、久保田裕二、原英嗣:水素活用型都市インフラの構築に向けた共同溝内ガス管の耐圧気密性に関する研究(第4報)水素供給実験の概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 77-80、2013.9
- 9) 原英嗣、足永靖信、久保田裕二:水素活用型都市インフラの構築に向けた共同溝内ガス管の耐圧気密性に関する研究(第5報)共同溝内水素供給における安全検証に関する実験、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 81-84、2013.9
- 10) 久保田裕二、足永靖信、原英嗣:水素活用型都市インフラの構築に向けた共同溝内ガス管の耐圧気密性に関する研究(第6報)スマート水素ハウスのモデル実験、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 85-88、2013.9

## 【総説】

- 11) 西山 功:「低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた都市システム技術の開発」  
全体計画、IBEC、(財)建築環境・省エネルギー機構、NO. 188、Vol. 32-5、pp.  
9-10、2012.1
- 12) 成瀬 友宏:水素配管部会、IBEC、建築環境・省エネルギー機構、NO. 188、Vol.  
32-5、pp. 11-14、2012.1
- 13) 西澤 繁毅:業務用建築省エネルギー部会、IBEC、建築環境・省エネルギー機構、  
NO. 188、Vol. 32-5、pp. 15-18、2012.1
- 14) 足永 靖信:都市エネルギーシステム部会、IBEC、建築環境・省エネルギー機構、  
NO. 188、Vol. 32-5、pp. 19-22、2012.1
- 15) 鍵屋 浩司:国内の社会実験事例―北九州・福岡水素タウン―IBEC、建築環境・  
省エネルギー機構、NO. 188、Vol. 32-5、pp. 27-30、2012.1
- 16) 足永 靖信:共同溝による水素供給実験とユニットハウスにおけるエネルギー技術、  
住宅、日本住宅協会、Vol. 62、pp. 30-33、2013.7
- 17) 足永 靖信:つくば市共同溝を利用した水素供給実験、燃料電池、燃料電池開発  
情報センター、Vol. 13、No. 1、pp. 60-64、2013
- 18) 足永 靖信:既設共同溝を利用した水素供給実証実験、都市環境エネルギー、都  
市環境エネルギー協会、Vol. 106、pp.4-10、2013.11
- 19) 足永 靖信:低炭素・水素エネルギーの活用、ベース設計資料、建設工業調査会、  
No. 159、建築編(2013年後期版)、pp.27-31、2013.12

## 【講演】

- 20) 足永 靖信:ヒートアイランド対策と低炭素都市づくり、UR都市機構都市環境セミナ  
ー、独立行政法人都市再生機構、2009年10月16日
- 21) 足永 靖信:低炭素型社会での持続可能な都市空間実現に向けた取り組み、文化  
財の保存環境を考慮した博物館の省エネ化、東京文化財研究所、2009年12月  
8日
- 22) 足永 靖信:スマートメガシティの構築に向けた環境共生技術の研究 ―都市のヒ  
ートアイランド対策、水素活用社会など環境とエネルギーの基幹技術の組み  
と今後の課題―、第44回空気調和・冷凍連合講演会、2010年4月22日
- 23) 西山 功:安全安心で快適な建築物の実現に向けて―震災からの教訓と近未来の  
技術(つくば共同溝における実証実験)―、第5回つくば産産学連携促進市 in 八  
木、2012年2月7日

#### 【その他発表】

- 24) 向井昭義、足永靖信、久保田裕二: 共同溝における水素供給実験を公開、国総研レポート 2013、No.12、ISSN 1347-3387、p.110、2013.4
- 25) 足永靖信: 水素を活用した都市の低炭素化技術ー省エネルギー効果と経済性の検討ー、国総研レポート 2011、No.10、ISSN 1347-3387、p.95、2011.3
- 26) 建築研究部: 低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた都市システム技術の開発 (21-24 年度)、国総研ニューズレター、No.30、pp.3-6、2009
- 27) 建築研究部環境・設備基準研究室: 国内初、共同溝を利用した水素供給実験を公開、国総研ニューズレター、No.43、pp.1-2、2013
- 28) 建築研究部: 都市インフラを利用した水素供給実験報告書(暫定版)についてー国内初 都市インフラに水素を導入ー、国総研メールサービス No.139、2013.4.18
- 29) 建築研究部、都市研究部、住宅研究部: プロジェクト研究(終了課題)の紹介「低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた都市システム技術の開発」(H21～24)～省エネで安全な都市を支える水素等活用技術を構築する～、国総研メールサービス、No.160、2013.2.3
- 30) 建築研究部環境・設備基準研究室: 水素を活用する低炭素社会への提言、パネル展示、平成23年度国土技術研究会、2011.10.17-10.18
- 31) 低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた都市システム技術の開発(国土交通省国土技術政策総合研究所)、第4回つくば産産学連携促進市 in アキバ、パネル展示、2011.2.8
- 32) 低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた都市システム技術の開発(国土交通省国土技術政策総合研究所)、第5回つくば産産学連携促進市 in アキバ、パネル展示、2012.2.7
- 33) 足永靖信: 水素エネルギーによる建築・住宅の低炭素化、平成25年度国総研講演会、2013年12月3日

#### 【特許】

- 34) 特許公開 2013-245741、共同溝内の水素含有ガス供給システム
- 35) 特許公開 2013-253836、ガス漏れ検知装置



-----  
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

No. 45                  June 2014

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