

自律分散制御機能を備えた
省エネ・長寿命住宅に関する研究

Study on energy-saving and long-life housing
with distributed control system

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部 北方建築総合研究所

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization
Building Research Department Northern Regional Building Research Institute

三井ホーム株式会社
Mitsui Home Co.,Ltd.

概要 Abstract

自律分散制御機能を備えた省エネ・長寿命住宅に関する研究 Study on energy-saving and long-life housing with distributed control system

北谷 幸恵¹⁾、村田 さやか²⁾、立松 宏一²⁾、鈴木 大隆³⁾

Hiroataka Suzuki*, Yukie Kitadani**, Sayaka Murata***, Kouichi Tatematsu****

坂部 芳平⁴⁾、木村 敏郎⁴⁾、今福 昌克⁴⁾、高山 佳宣⁴⁾

Yoshihei Sakabe****, Toshiro Kimura****, Masakatsu Imafuku****, Yoshinobu Takayama****

キーワード : 戸建住宅、エネルギー、室内環境、制御

Keywords : Detached house, Energy, Indoor environment, Management

1. 研究概要

1) 研究の背景

共同研究「住宅の運用基礎エネルギー自給システムとその利用法に関する研究」(H17～23年度)により、建築、設備、及び最適制御手法を盛り込んだ住宅システムの基本的方向が示され、平成24年度には、これらの成果を反映した実験住宅が千葉県柏市に建設された。また、これら建築・設備・制御を協働させることで、これまでの個別要素技術による対応とは異なる新たな省エネを図る可能性があり、どのような指標・方法で協働すべきかの明確化が課題となっている。

2) 研究の目的

本研究では、実験住宅での要素技術の性能検証・改良を通じて、建築・設備・制御の協働を図り、住宅の室内環境形成・省エネ・長寿命に関する高い性能を備えた住宅を提案することを目的とする。

2. 研究内容

1) 省エネ・長寿命を実現する各要素技術の評価と性能向上に関する検討 (H24～26年度)

- ・ねらい: 実験住宅に導入した要素技術の性能を測定し把握する。性能向上が見込める技術の検討を行う。
- ・試験項目等: 性能測定、技術検討など

2) 室内環境・エネルギー最適化の検討 (H24～27年度)

- ・ねらい: 実測などを通じて、基本となる居住環境とエネルギー消費量を把握するとともに、手動や自動などの制御によるエネルギー利用の最適化の手法を検討する。
- ・試験項目等: 環境測定、消費量測定、システム検討、入居者アンケートなど

3) 自律分散制御機能を有する住宅の提案 (H26～27年度)

- ・ねらい: 1)～2)の結果を総括し、得られる省エネ効果の予測を行うとともに、効果の高い要素技術の組み合わせ方などを検討する。検討結果から、省エネ・長寿命住宅のシステムを提案する。
- ・試験項目等: シミュレーション、システム提案など

3. 研究成果

1) 省エネ・長寿命を実現する各要素技術の評価と性能向上に関する検討

- ・エネルギー・環境制御の最適化に向けてオープンシステム化、要素技術の変更・追加の拡張性、故障時の強靭性等の利点がある自律分散制御システム、及び要素技術の制御ロジックを提案した(図1、2)。
- ・建築・設備の要素技術の実棟検証等を行い、蓄電池の内蔵プログラム、給湯タンクの水の非常用取出し

¹⁾ 企画調整部企画課 主査 ²⁾ 環境研究部環境グループ 研究主任 ³⁾ 北方建築総合研究所 副所長 ⁴⁾ 三井ホーム株式会社
*Chief of Planning Sec. **Researcher of Environment Group. ***Deputy Director ****Mitsui Home Co.,Ltd.

口形状等の改良すべき点を示し、将来における一層の性能向上に向けた知見を得た。(表 1、図 3)

2) 室内環境・エネルギー最適化の検討

- ・入居状態を含む実棟実験や CFD 解析を行い、室内温熱環境、空調・照明等のエネルギー消費量を把握した。制御に関しては、照明の制御機器用電力が大きいことが判明したことから人感センサー台数や調光制御盤口数を必要最低限とすべきこと、空調の温熱むらを軽減するため最小風量を確保すべきこと等を明らかにした。

3) 自律分散制御機能を有する住宅の提案

- ・自律分散制御システムと要素技術からなる住宅システムを提案し、現時点で実現済みの要素技術を採用した場合の年間エネルギー消費量を、実験住宅における実測データを基に推定した。(図 4)

4. 今後の見通し

要素技術のさらなる高性能化に向けて、本研究で得た知見を活用しつつ、環境省公募型研究「太陽熱ヒートポンプ空調・給湯システムと冷暖房負荷を低減する外皮の技術開発」(H26~28 年度)において熱源機器等の開発を行い、また、共同研究「ZEH 対応も踏まえた枠組壁工法住宅の高性能外皮・空調システムに関する開発」(H28~29 年度)において建築外皮とダクト等の熱搬送手法の一体システムの開発を行う。

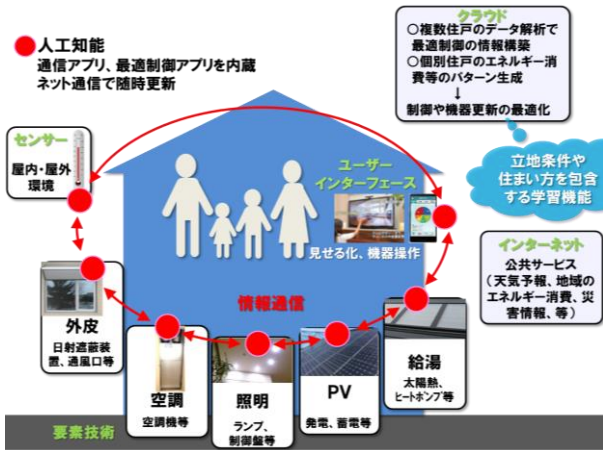


図 1 自律分散制御システムの概要

表 1 要素技術の検討

要素技術	検討結果
断熱性能	外皮 <ul style="list-style-type: none"> ・$U_A=0.31[W/m^2 \cdot K]$を目標水準として提案 ・今後は、外皮の総厚と熱橋の低減に着目した外壁・屋根等の構法開発が必要
	ターフ※ <ul style="list-style-type: none"> ・上下温度差を低減する制御手法として提案 ・今後は、温熱・光環境に配慮した自動開閉制御の開発が必要
日射制御	外付けルーバー <ul style="list-style-type: none"> ・η値を 0.1 以下とすることが、居住者制御の場合の効果は限定的 ・今後は動力低減とモーター騒音に配慮した自動制御の開発が必要
	サーモクロミックガラス <ul style="list-style-type: none"> ・検証結果から冷房負荷削減効果が小さいと推定されたため不採用
空調	テラスの緑化 <ul style="list-style-type: none"> ・反射日射の低減効果が若干あることを確認 ・今後は手すり等の日影条件、蒸散効果も含む設計情報開発が必要
	全館暖冷房、熱交換換気 <ul style="list-style-type: none"> ・床下・小屋裏をダクト経路に利用し、上下温度差を軽減する熱供給を図る手法を提案 ・今後は、熱源の COP 向上と搬送動力低減が必要
給湯	太陽熱給湯システム <ul style="list-style-type: none"> ・集熱パネルの積雪地での設置方法の知見を収集 ・今後は、太陽熱の効率的利用のための集熱量予測プログラムについて、日影の影響を反映する改良が必要
	貯湯槽 <ul style="list-style-type: none"> ・断水時の生活水としての利用のため、取り出し口仕様変更を提案 ・今後は、蓄電池と躯体蓄熱を含む効率的な蓄エネ・制御手法の開発が必要
照明	LED 調光制御等 <ul style="list-style-type: none"> ・制御盤や人感センサーの電力に配慮した制御手法、及び、停電時に必要最低限の点灯を可能とするスイッチを提案 ・今後は、多灯化したランプの効率的制御手法の開発が必要
	太陽光発電パネル <ul style="list-style-type: none"> ・電力の自給率の高いシステムを提案 ・今後は、コストダウン、停電時の利用量向上のための制御手法改良が必要
P.V 等	蓄電池 <ul style="list-style-type: none"> ・宅内への電力供給と騒音対策を確認の上、停電対策として提案 ・今後は、ガソリン以外の燃料を用いる機器の導入検討が必要
	自家発電機 <ul style="list-style-type: none"> ・宅内への電力供給と騒音対策を確認の上、停電対策として提案 ・今後は、ガソリン以外の燃料を用いる機器の導入検討が必要
劣化	構造劣化感知 <ul style="list-style-type: none"> ・主担当：共同研究機関

※ターフ：吹き抜けの 1、2 階間の開閉可能な仕切り

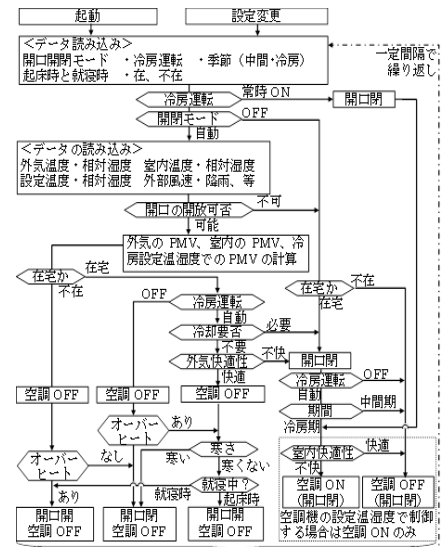


図 2 空調の制御の基本ロジック

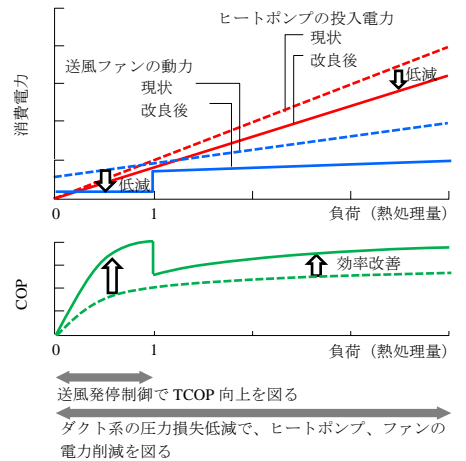


図 3 空調のエネルギー効率向上の留意点

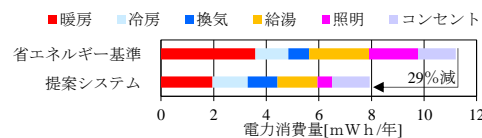


図 4 提案住宅の省エネ効果 (東京)

目 次

1 章 本研究の目的と概要	
1-1. 背景	..... 1
1-2. 目的	..... 1
1-3. 概要	..... 2
2 章 自律分散制御システムの検討	
2-1. 本章の目的	..... 3
2-2. 現状の課題	..... 3
2-3. 自律分散制御システムの概念	..... 3
2-4. 住宅の自律分散制御システム	..... 3
2-5. 要素技術の最適制御のための基本アルゴリズム	..... 6
2-6. 本章のまとめ	..... 8
3 章 外皮等の断熱性能と日射制御手法の検討	
3-1. 本章の目的	..... 9
3-2. 外皮の高断熱化の検討	..... 9
3-3. サーモクロミックガラスによる日射熱取得の季節制御に関する検討	..... 12
3-4. テラスの緑化による日射熱取得低減手法に関する検討	..... 14
3-5. 本章のまとめ	..... 16
4 章 電力システムの検討	
4-1. 本章の目的	..... 17
4-2. PV、蓄電池、ディーゼル発電機の動作実験	..... 17
4-3. 入居実験	..... 19
4-4. 電力の需給に関するシミュレーション	..... 20
4-5. 本章のまとめ	..... 22
5 章 空調システム・通風の検討	
5-1. 本章の目的	..... 23
5-2. 空調システムの概要	..... 23
5-3. 性能検証	..... 23
5-4. 改善システムの検討	..... 31
5-5. 窓開け制御に関する検討	..... 36
5-6. 本章のまとめ	..... 38

6章 照明システムの検討	
6-1. 本章の目的	…… 40
6-2. 実験住宅における入居実験	…… 40
6-3. 照明の制御手法の検討	…… 40
6-4. 本章のまとめ	…… 41
7章 太陽熱給湯システムの検討	
7-1. 本章の目的	…… 42
7-2. 横置き蓄熱槽を用いたソーラーシステムの概要	…… 42
7-3. 実験の方法	…… 42
7-4. 実験結果	…… 45
7-5. 本章のまとめ	…… 55
8章 ライフライン切断時に関する検討	
8-1. 本章の目的	…… 56
8-2. 実験条件	…… 56
8-3. 冬期実験	…… 56
8-4. 夏期実験	…… 61
8-5. 本章のまとめ	…… 62
9章 住宅システムの提案	
9-1. 住宅システムの概要	…… 63
9-2. 運用エネルギー消費量の試算	…… 64
9-3. 今後の予定	…… 64
補足 実験住宅と実験の概要	
補-1. 実験住宅の概要	…… 65
補-2. 主な要素技術	…… 66
補-3. 実験概要	…… 66
補-4. 用途別の電力消費量の推定	…… 66

※本報告書には、都合により非公開としている部分がある。

1章 本研究の目的と概要

1-1. 背景

我が国の一次エネルギー消費量は世界第5位に位置し、化石燃料はほぼ輸入に頼っている。地球温暖化対策とエネルギー安全保障のため、省エネルギー化と再生可能エネルギーの利用が重要課題であり、とりわけ1970年代以降に大きく増大した民生部門エネルギーの削減が強く求められている。

こうした状況を踏まえつつ平成17年度～23年度に実施した「住宅の運用基礎エネルギー自給システムとその利用法に関する研究」および関連研究では(図1-1)、外皮・設備の要素技術の検討を行った上で、住宅システムを提案した。残された課題は要素技術の制御の最適化、及び性能検証と改良である。

このうち制御に関しては近年、制御機能を有するHEMS(Home Energy Management System)が製品化されるとともに、機器同士の通信等ための規格「ECHONETLite」^{※1)}が整備されつつある。しかし、仮にHEMSが各機器を制御する中央制御システムとする場合には、HEMSが故障した際の影響が住宅全体に及ぶ脆弱性に対応する必要がある。また、個々の住宅の仕様・立地・生活状況等に応じた制御の最適化、そのための必須要件としてメーカーを問わず参入可能なオープンシステムの実現、居住者の飽きや機器の老朽化を考慮しつつシステムを長期的に機能・維持させるための工夫が必要である。

一方、鉄道運行管理やビル等の比較的大規模なシステムで普及している自律分散制御システムは、中央制御機器は不要であるため老朽化や更新が必要な

く、オープンシステム化にも適し、また、各機器は自律制御を行うことから故障が発生しても他は稼働し続けるメリットを有する。

前述の要素技術の性能検証に関しては、まずは日常における省エネルギーや室内環境形成の面での検証と改良が必要である。加えて、災害等の理由で電力や水道等のライフラインが切断された場合においても、住宅が居住者の生活にある程度支え得ることが重要と考える。そのため前述の研究ではライフライン切断後3日間程度におけるエネルギー自給を目指していたが、東日本大震災等の実際の災害の経験から得た知見や、家庭用蓄電池の製品化等の技術面での進展を踏まえ、改めて住宅の性能・機能のあり方を検討すべきである。

また、住宅長寿命化のためにはエネルギー性能の長期的確保が要件の1つであり、竣工時の性能の維持に留まらず、住み続け、あるいは住み替えの中で、要求性能の高まりに伴う改修も必要となる。そのため住宅システムの検討にあたっては、性能向上を伴う機器更新のし易さも考慮する必要がある。

1-2. 目的

本研究では建築・設備・制御の協働を図り、住宅の室内環境形成・省エネ・長寿命に関する高い性能を備えた住宅を提案することを目的とする。

【参考文献等】

※1)エコーネットコンソーシアム、<https://echonet.jp/organization/>



図1-1 研究の全体のフロー

1-3. 概要

表 1-1 に報告書の構成を示す。

(1) 自律分散制御システム (2章)

本研究では、自律分散制御の考え方を導入した住宅用の制御システムの検討、提案を行う。

(2) 要素技術 (補足、3~8章)

要素技術については、千葉県柏市の実験住宅に外皮、空調、照明、太陽熱給湯、太陽光発電等の要素技術を盛り込み、多くの性能検証を行った。実験住宅の仕様や実験概要については、補足 1 に記載する。

また、これ以外にも実験室実験、暖冷房負荷や CFD 解析等を行ったが、これらについては都度、報告書本文に記載する。

(3) 住宅システムの提案 (9章)

自律分散制御システムと要素技術の検討を踏まえ、住宅システムを提案する。

表 1-1 報告書の構成

2章	自律分散制御システムの検討	
3章	要素技術	外皮の熱性能の検討
4章		電力システムの検討
5章		空調システムの検討
6章		照明システムの検討
7章		太陽熱給湯システムの検討
8章		ライフライン切断時の検討
9章	住宅システムの提案	
補足	実験住宅と実験の概要	

2章 自律分散制御システムの検討

2-1. 本章の目的

本章では住宅におけるエネルギー利用、及び室内環境形成の最適化を目的に、自律分散制御システムに関する検討と提案を行う。

2-2. 現状の課題

国内における HEMS (Home Energy Management System) 関連のこれまでの動向を大まかに捉えると、まず、複数メーカーの製品においてエネルギーの見える化がなされた。次に宅内外での機器同士等の通信を可能とするため、ホームネットワーク規格「ECHONET Lite」^{※1)}が作成された。また異なるメーカーの機器が1住戸のシステムに混在することを可能とするオープンシステム化に向けて、HEMS 本体がデータフィールドを提供して機器同士が情報交換を行う仕組み作りが、「ECHONETLite」の一環として進められている。ただし、この手法の場合は HEMS が故障した際の制御、HEMS を含む機器や全体システムの長期的な機能維持といった課題への対応が必要とされる。

一方、設備等の要素技術については、外部ネットワークを通じたメーカーのサーバーやクラウド等との通信が実用化されている。こうした宅外のシステムや情報利用の技術を活用・発展させることは、個別機器の制御の最適化に貢献するとともに、外部気象データ利用による住宅の環境計測センサーの省略といったシステムのミニマム化も期待できる。

2-3. 自律分散制御システム^{※2)}の概念

図 2-1 に中央制御と自律分散制御の各システムのイメージを示す。1970 年代の鉄道運行管理において、従来の大型コンピュータがシステム全体を処理する中央制御型の手法は限界に達しつつあった。こうした問題を背景に提唱された自律分散制御は、生物の個体と細胞との関係に着想を得たもので、個々の要素が自律的に動作しつつ、他の要素との情報交換や協調により全体としての最適化も図る制御手法である。この手法は現在では、国内外の鉄道の運行管理等の多分野において採用されている。

2-4. 住宅の自律分散制御システム

(1) システムの特徴

図 2-2 に自律分散制御システムの特徴を、中央制

御システムと比較して示す。自律分散制御システムでは HEMS のような中央制御機器が無く、設備や建築外皮等の要素技術が情報の発信・収集を行いつつ自律した制御を行う。メリットとしては、システムが部分的に故障しても他の部分は機能すること、要素技術に関する中央制御機器での設定が不要なためオープンシステム化が比較的容易であり、変更・追加時の拡張性が高いことが挙げられる。また、通信規格には既存の ECHONETLite を採用することで、新規開発を最小限に留めることができる。

以上を踏まえつつ、本研究では自律分散制御システムの詳細像を検討した。以降ではその結果を述べる。

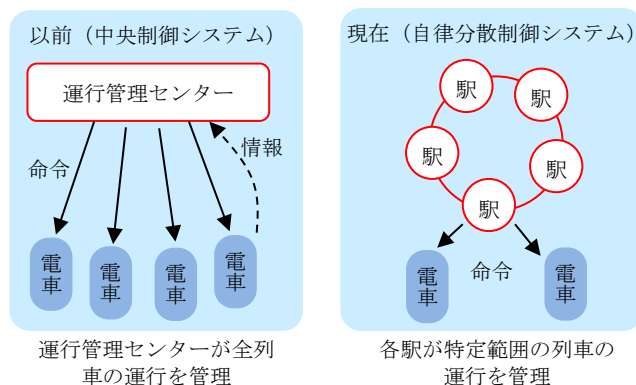


図 2-1 中央制御と自律分散制御

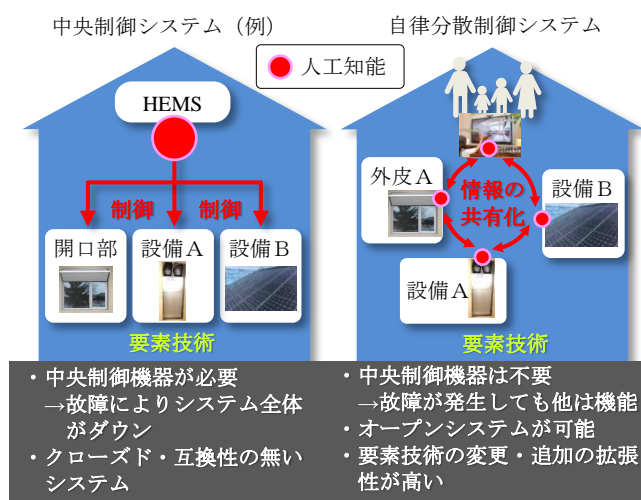


図 2-2 自律分散制御システムの特徴

【参考文献等】

※1) エコーネットコンソーシアム、<https://echonet.jp/organization/>

※2) LANDFALL vol.48、東京工業大学生協同組合

(2) システムのコンセプト

自律分散制御システムの具体的な内容の検討に先立ち、次のとおりコンセプトを整理した。

1) 多様性への対応 (図 2-3)

立地条件や導入される要素技術は住宅により異なる上、改修により仕様変更される。また、子供の独立や住宅の転売等により世帯属性、引いてはエネルギー消費特性も変化する。こうした変化を伴う多様性に対応して常に最適な制御を行う。

2) ライフライン切断時への対応

災害発生時における速やかな避難を補助するため、緊急地震速報等の外部ネットワークからの情報提供や、非常照明や情報収集機器への電力供給を行う。

一方で、即時避難が困難な場合や、長期間にわたるライフライン切断時において生活・健康への深刻なダメージの回避策が望まれる場合もあることを踏まえ、選択肢の1つとして自宅での生活を可能とすることを旨とする。このため、自給したエネルギーの効率的利用を図る制御と居住者への情報提供等を行う。

(3) 長寿命化への対応 (図 2-4)

長寿命化のための要件の1つとして、エネルギー

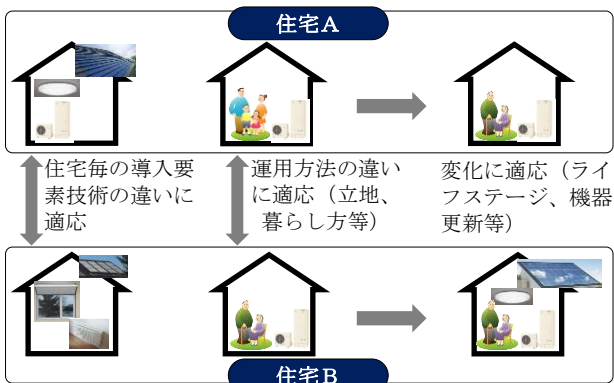


図 2-3 多様性への対応

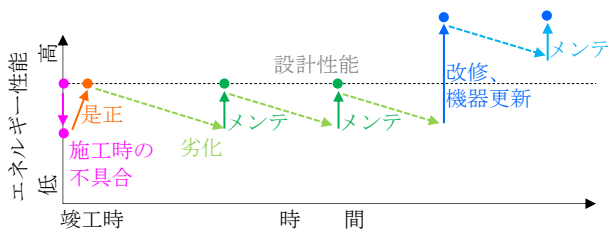


図 2-4 長寿命化への対応

性能の確保がある。

そのためにはまず、長期的な性能維持、すなわち経時変化・劣化への対応が求められる。これはエネルギー損失の抑制のみならず、住宅性能低下の早期発見と対応による補修費用軽減と耐震等の安全性確保の面でも必要といえる。具体例としては空調用フィルターの汚れによる圧力損失増大の検知、窓周辺を主とする壁体内部等の漏水の検知、振動特性の変化による構造部材の破損の検知が挙げられ、これらの技術を制御システムと連携させる。

次に、将来における性能向上の容易性も求められる。家庭部門エネルギー削減のためには既存住宅の性能向上が不可欠であり、新築住宅であっても将来の改修時において一層の性能向上が求められることから、それに備えた対応をしていく。(1)で述べた変化を伴う多様性への対応は、将来の性能向上のしやすさ確保の面からも重要である。

(4) 制御に対する居住者の関与

居住者が頂点に立つ制御、すなわち居住者がエネルギーの効率的利用方法を理解した上で環境の快適性の判断、機器への運転の指令、メンテナンスを行うことは、省エネルギーや満足度の高い環境形成の面で重要である。しかし、住宅に多様な要素技術が導入され、気象や生活状況が時々刻々変化する状況下で、常に最適な運転方法を判断し、さらには不在時や就寝時も含めて制御を実施することは難しい。そのため、居住者をサポートする位置づけで機械による自動制御の機能を備えることが重要である。

(5) システムの概要

前述のコンセプトを踏まえ、システムの具体的な内容を検討した結果を以下に記す。

図 2-5 に示すとおり、本システムは要素技術とそれに設置する人工知能(アプリ)、クラウドやインターネットを利用するサービス、ユーザーインターフェース等により構成される。

1) 要素技術と人工知能

設備や外皮の各要素技術では、外付けもしくは内蔵のメモリにアプリをインストールする(図中の「人工知能」)。アプリの役割の1つは情報通信で、稼働状況の発信、他機器の情報の収集・保有を行う。2つ目は最適制御であり、これは要素技術毎に異なる

プログラムとなる。このプログラムの基本的なアルゴリズムについて、空調と照明の具体例を次節で述べる。以上により複数の要素技術の協調制御や、ユーザーに対する稼働状況等の情報提供を行う。

2) クラウド

機器の稼働スケジュール、エネルギー消費量、室内環境等のデータを長期保管する。

収集した個別住戸のデータの分析により生活パターンの作成、エネルギー消費予測を行い、これらの情報を各要素技術へ提供して暮らし方や住宅の個性に対応した制御の高度化に貢献する。各機器のエネルギー効率の長期的な推移をモニタリングすることで劣化の感知にも役立てる。

また、複数住戸データを用いた分析を行い、個別要素技術の省エネ化手法に関する情報提供を行う。

3) インターネット

気象データ等の収集を行うことで、個々の住宅のセンサー設置費用とメンテナンスの軽減を図る。また、緊急地震速報等の居住者への提供を行う。

4) ユーザーインターフェース

居住者が制御に継続的に関わりを持つための工夫を講じる。1 つにはエネルギーの見える化のみならず、機器操作等の居住者にとって必要不可欠な機能を搭載し、機器操作の際に要素技術やクラウド等が発した最適制御関連の情報を提示する。また、音声・動作センサー等により高い操作性を備える。

5) 長寿命化に向けた工夫

システム全体の特徴として、固有の機器を極力有さないことが挙げられる。前述のとおり HEMS 等の中央制御機器は設置せず、要素技術の更新・新設の際には設置する機器の設定のみで宅内ネットワークへの参加を可能とする。また、ユーザーインターフェースについてもスマートフォン等のユーザーが保有する機器を利用し、アプリで対応する。要素技術とユーザーインターフェース用のアプリはネット経由で更新される。要素技術の改修やアプリの更新により、住宅の制御システムが更新され、長期的に機能を維持・向上させていくことが可能となる。

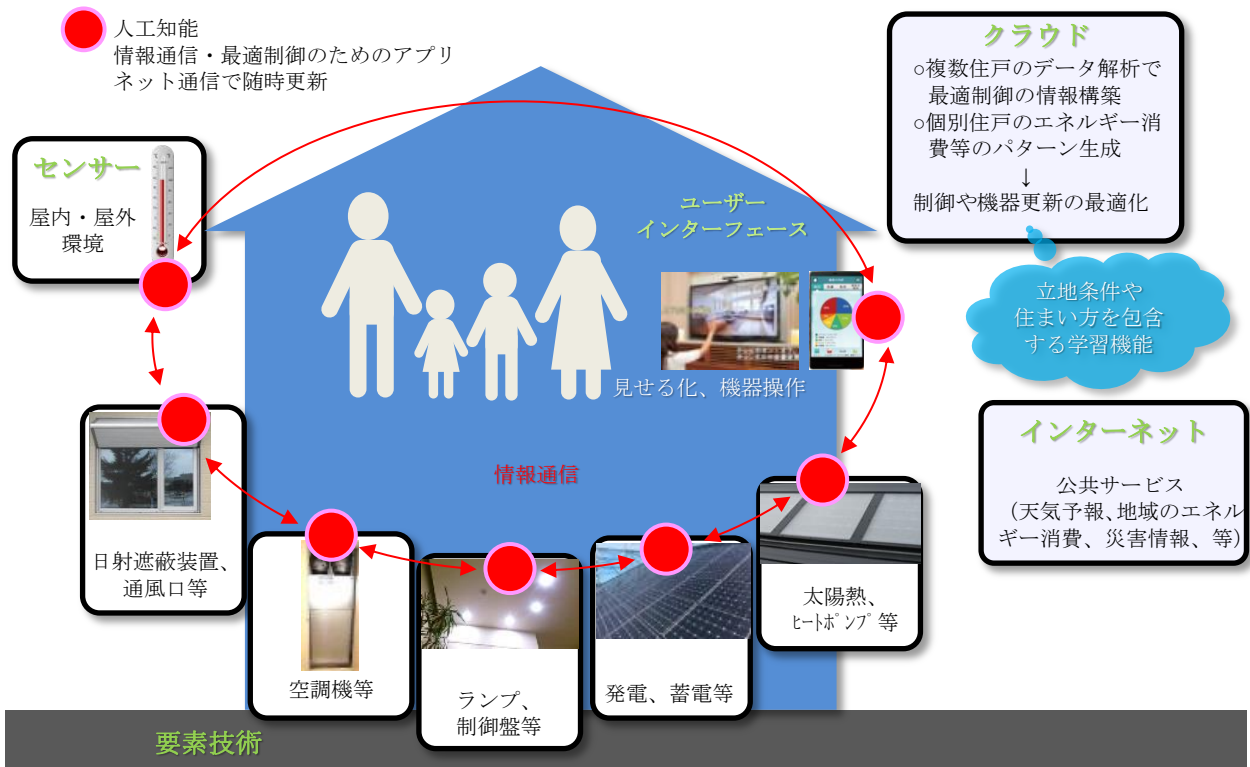


図 2-5 住宅の自律分散制御システムの概要

2-5. 要素技術の最適制御のための基本アルゴリズム

要素技術の制御は個別機種の特性に応じた最適化が必要だが、一方で複数の要素技術による協調制御の機能の向上や開発が必要であることから、協調制御に着目し、なるべく機器メーカーを選ばず普遍的な制御の基本アルゴリズムを次のとおり検討した。

(1) 空調・窓開けの制御の基本アルゴリズム

冷房期間や中間期に窓を開けて外気を取り入れることで冷涼感が得られるのであれば、窓を開けて冷房を停止することで冷房エネルギーが削減できる。そのためには、窓を開けることで快適になるか、開けることが可能か（暴風雨等窓を開けると支障がある状況ではないか）、などの判断が必要である。

1) 窓開け時の室内環境予測

①室内の温湿度

窓開け後の室内温度、室内湿度、気流速度等の予測は、周辺環境や窓の日射遮蔽状況等が個々の住宅で異なるため難しい。しかし、窓開けにより換気回数 10 回/h 程度の通風が得られるとすると、室温は外気+1℃以下、室内絶対湿度は外気+0.7g/kg以下になると推測される。外気との差がその程度であれば、着衣等で快適感を調節できる範囲であり、窓開けにより温湿度は外気同等となるとみなす方法も考えられる（これを方法 1 とする）。一方、詳細に日射熱取得や内部発熱・発湿、通風量等を把握できる場合は、熱と湿気の収支から予測できる（これを方法 2 とする）。

②室内の気流

室内の気流速は窓開けの状況によって異なるが、実験住宅での測定結果では、外部風の約 1/10 程度との結果が得られている（5-5 参照）。室内の温度と湿度は外気同等、風速は A. 0.1m/s 固定もしくは B. 外部風の 1/10m/s とし、それぞれ室内の総合的快適指標 PMV (ISO-7730) が推奨範囲になるときに窓を開けて空調を停止すると仮定し、東京の冷房負荷の削減効果を試算した。その結果は A18%、B16%となり、大きな差はなかった（5-5 参照）。したがって、外部風速のセンサーを個々の住宅に設置したり、外部から気象データを取得したりできない場合、外部風は考慮せず、外気の温度と湿度で窓開けの実施を判断する方が簡便と考える。

③室内の快適指標

窓開けと空調停止の実施判断において、快適性の指標に PMV を用いる。

2) アルゴリズムの検討

図 2-6 に、中間期及び冷房期に窓開け及び空調の運転の判断フロー（方法 1：熱・湿気の収支を計算せずに制御する方法）を示す。居住者が自動制御か手動制御かを選択し、冷房の設定温度・湿度を設定できるようにする。手動制御の場合は、例えば窓開けが快適と判断されるときには、窓開けおよび空調停止を促す表示をするのみで、その操作は居住者に委ねられる。

居住者の選定する項目案を以下に示す。

<冷房運転>

- ①常時 ON（窓の開閉はしない）
- ②自動（窓の開閉および空調の運転・停止を自動）
- ③強制 OFF（冷房はしない）

<開閉モード>

- ①自動
- ②OFF（手動） 花粉や騒音等で常時閉としたい場合や手動で開閉したい場合、暖房期間。

<冷房設定>

T_R：設定温度[℃]、H_R：設定相対湿度[%]

- ①居住者入力 居住者の好みに合わせて入力
- ②モード選択

A. エコモード（推奨、PMV≒0.9）

起床時 27℃60%

就寝時 28℃60%

B. 通常モード（PMV≒0.5）

起床時 26℃50%

就寝時 27℃60%

図 2-7 には、方法 2（熱・湿気の収支を計算する制御方法）のフローを示す。

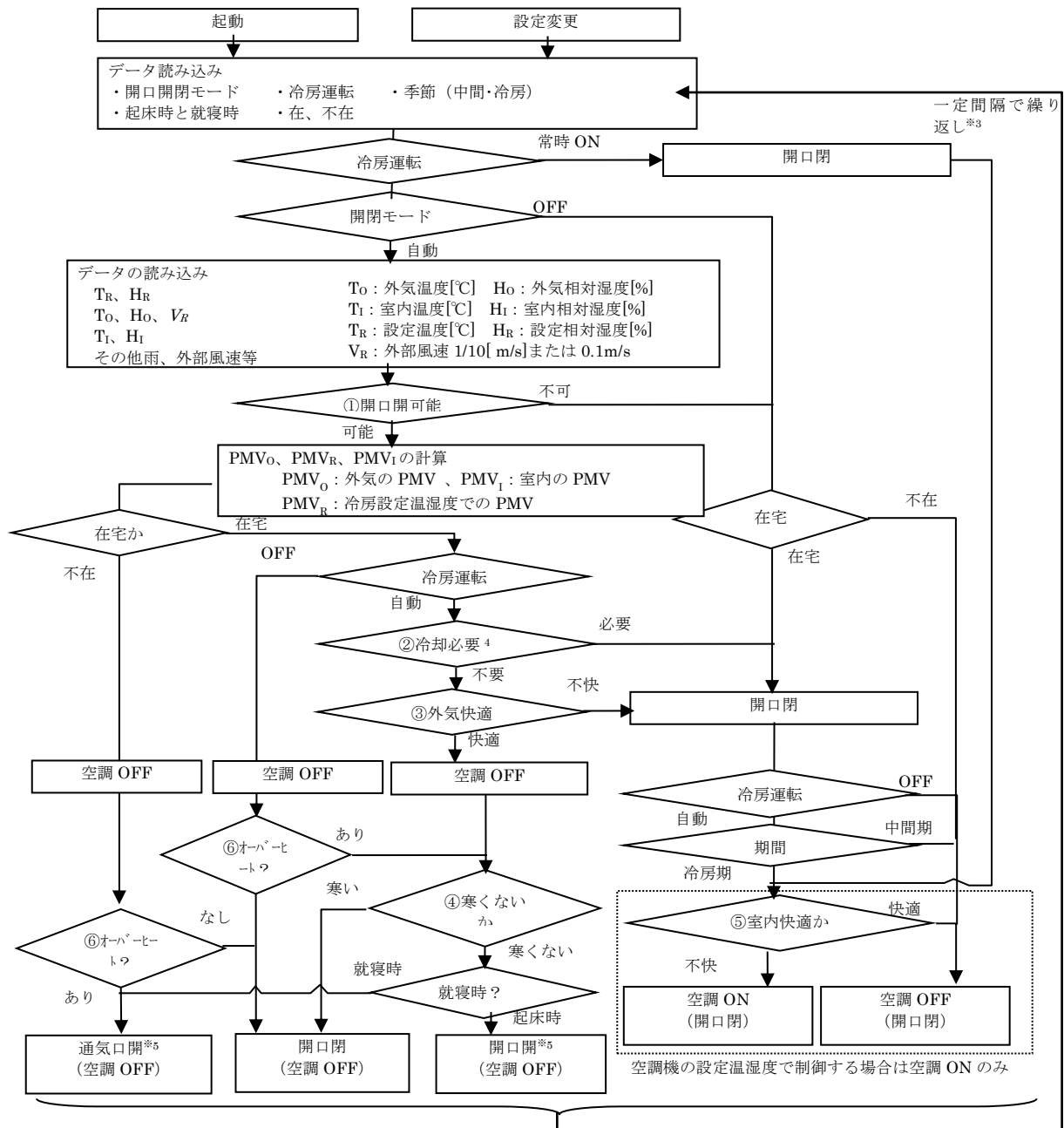


図 2-6 窓開けとの協調を図る空調の制御 (方法 1)

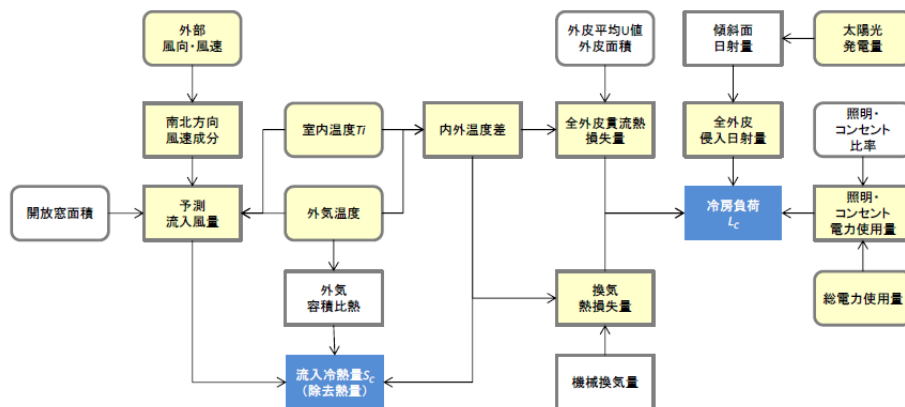


図 2-7 窓開けとの協調を図る空調の制御 (方法 2)

(2) 昼光照明・人工照明の制御の基本アルゴリズム

図 2-8 に制御の判断フローを示す。外付けブラインド等の日射遮蔽装置と人工照明に関しては、暖冷房エネルギー、照明エネルギー、光環境に着目した制御が求められる。そのため、季節、天候、在室状況に応じて日射遮蔽や採光等の優先すべき事項を判断する。

日射遮蔽装置に関しては 2-5 (1) で述べた空調・窓開けとの協調も望まれる。

また、人工照明に関しては、6 章で述べるとおり

LED を全面採用するため人感センサーは用いないことを基本とし、調光は居間等の照明用電力消費が大きい空間で制御盤の電力に見合った効果が期待できる場合に導入する。

2-6. 本章のまとめ

自律分散制御システム、及び空調と照明の制御の基本アルゴリズムを提案した。

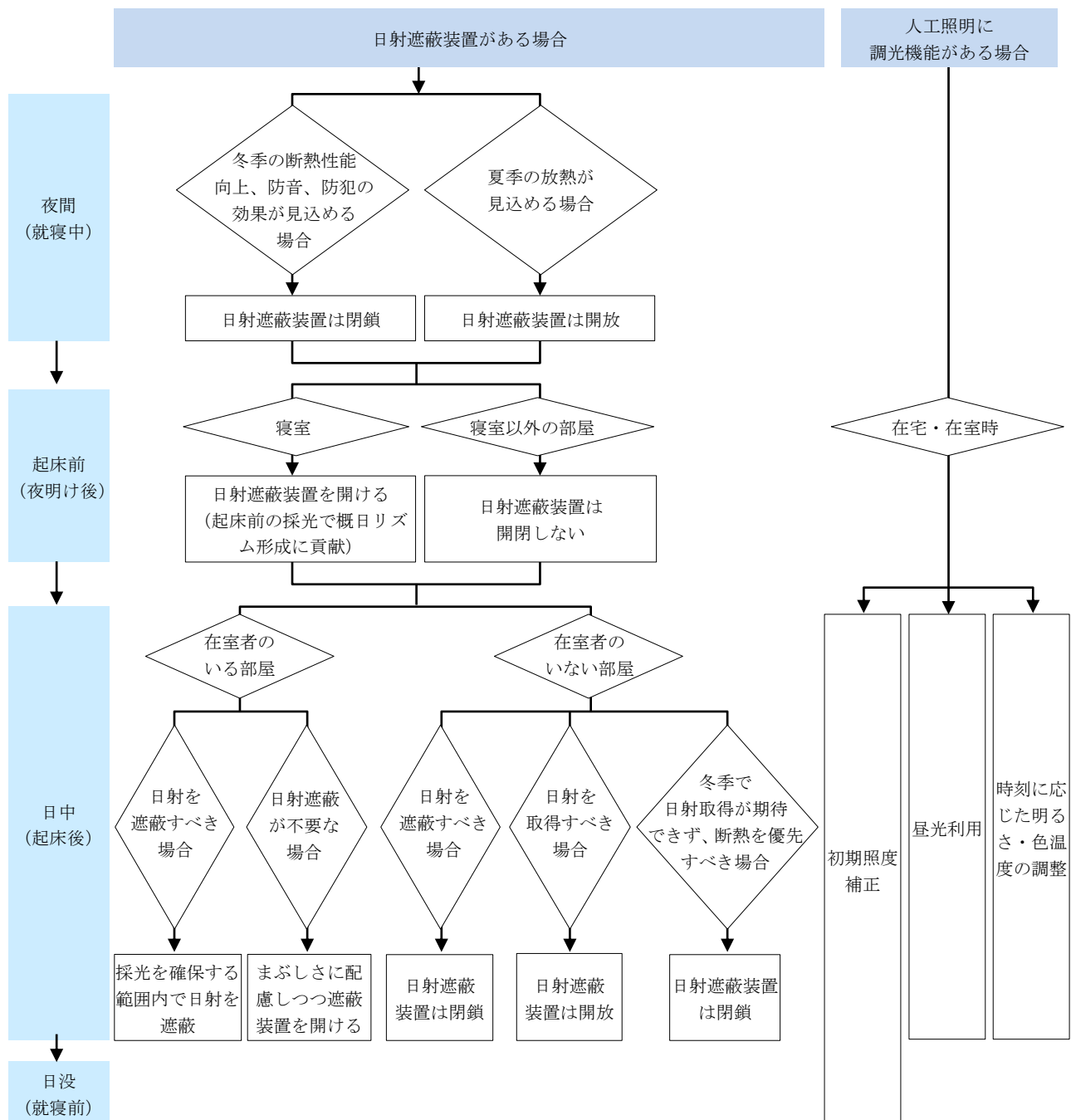


図 2-8 日射遮蔽装置と人工照明の制御

3章 外皮等の断熱性能と日射制御手法の検討

3-1. 本章の目的

暖冷房負荷低減、ライフライン切断時の室温維持の観点から、外皮等の断熱性能向上、日射制御手法に関する検討を行う。

3-2. 外皮の高断熱化の検討

(1) 仕様の検討

本研究では枠組み壁工法の住宅において現時点で実現可能であることを前提に、高断熱化を図ることとした。表 3-2-1、表 3-2-2、図 3-2-1 に外皮の仕様、熱貫流率を示す。

図 3-2-2 の住宅モデル、表 3-2-3 の計算条件による暖冷房負荷計算の結果を図 3-2-3 に示す。高断熱化 ($U_A=0.31 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) により全立地において暖房負荷の大幅な低減が見込まれる。冷房については実住宅では隣棟等の日影により負荷が小さくなるケースも多いと推測されるものの、東京以西では暖房負荷が低減したことで相対的に冷房負荷が占める割合が大きくなり、排熱換気等の防暑対策が一層重要になる。

表 3-2-1 外皮の仕様と断熱性能

部位	仕様	熱貫流率 [W/m ² ·K]
外壁	2×6 RW 充填断熱 (RW) 外貼り付加断熱 (XPS)	0.204
屋根	垂木充填断熱 (RW)	0.082
床	充填断熱 (XPS)	0.358
窓	樹脂サッシ 三層複層ガラス (Ar ガス)	1.2

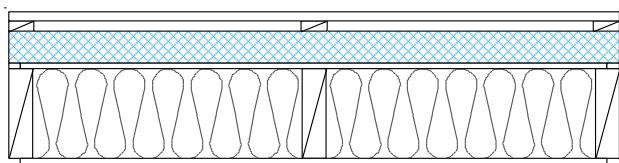


図 3-2-1 外壁の平断面

表 3-2-2 外皮平均熱貫流率

	対象地域	外皮平均熱貫流率 [W/m ² ·K]
平成 25 年 住宅省エネ ルギー基準	1、2 地域 (札幌市等)	0.46
	3 地域	0.56
	4 地域 (仙台市等)	0.75
	5、6、7 地域 (東京都 23 区、大阪市、 福岡市、宮崎市等)	0.87
提案 U_A 値	全地域	0.31

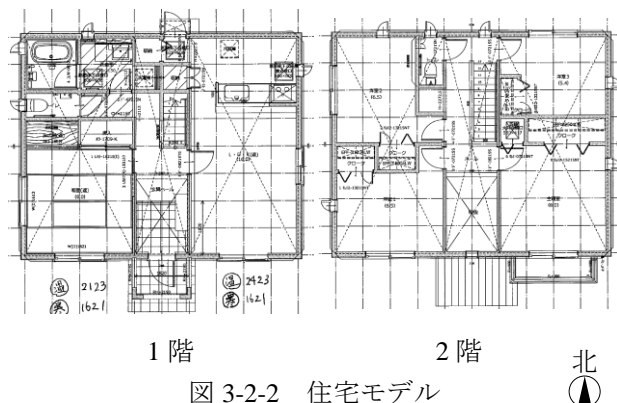


図 3-2-2 住宅モデル

表 3-2-3 暖冷房負荷の計算条件

暖冷房	全館連続空調
外皮	表 3-2-1 の断熱性能 全ての窓に外付けルーバーを設置
生活スケジュール	省エネ基準に準拠
計算ソフト	非定常計算プログラム AE-Sim/Heat

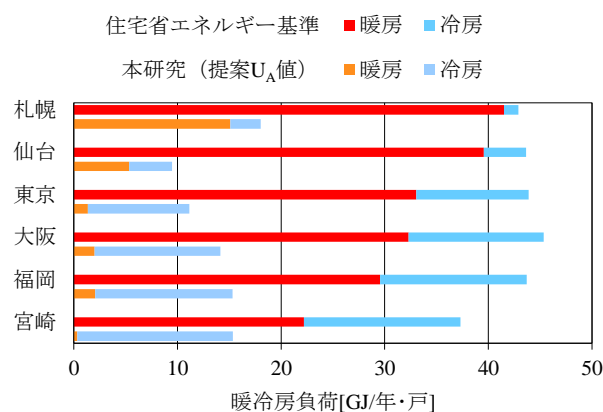


図 3-2-3 暖冷房負荷

(2) 冬期の無暖房時の室温の検討

1) 検討概要

冬期において停電等により暖房が停止した際の室温維持に関する検討の一環として、無暖房状態の室温のシミュレーション検討を行う。

表 3-2-4 に計算条件を示す。計算には非定常計算プログラム AE-Sim/Heat を用いた。

2) 計算結果

図 3-2-4 に東京、図 3-2-5 に大阪、図 3-2-6 に札幌の最寒日を含む室温の推移を示す。

東京の計算結果では、外皮の高断熱化により室温が 5~8℃程度向上している(図 3-2-4①と②の比較)。また、高断熱化を図った場合には、照明等の機器発熱により室温が 1~2℃程度上昇している(図 3-2-4

表 3-2-4 計算条件

立地	東京、大阪、札幌		
住宅モデル	住宅の省エネルギー基準策定モデル		
内部発熱のパターン	照明等の機器発熱	1階発熱	1階：省エネ基準と同一設定（1日あたり5.2～5.8[kWh]程度） 2階：発熱なし ※待機電力による不要な消費を軽減する意図で、1階にのみ電力供給を行う
		発熱なし	1・2階：発熱なし ※機器発熱が室温に及ぼす影響を検討するための想定
	居住者（人体発熱）	居間に4人	4人の居住者が居間に終日滞在 ※1部屋に集まることで室温向上を狙う想定
		居間・個室に4人	就寝時：居住者は個室に滞在（寝室は23～7時に2名、子供室1・2は22～7時に各1名） 他の時間帯：居間に滞在 ※身体への負担を考慮して就寝時のみ個室に滞在する
	無し	※人体発熱が室温に及ぼす影響を検討するための想定	

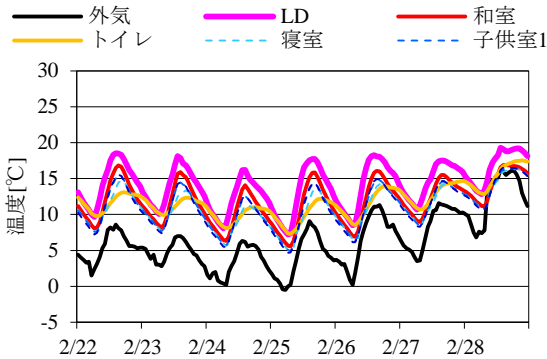


図3-2-4① 東京 省エネ基準
1階発熱 居間に4人

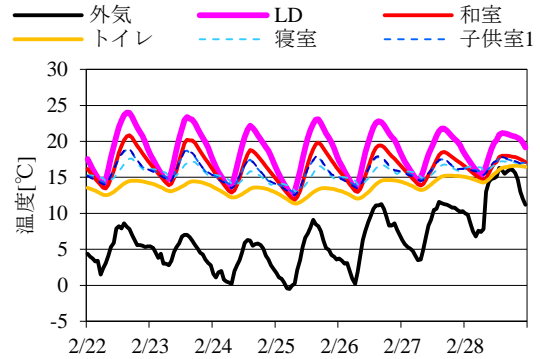


図3-2-4④ 東京 提案U_A値
発熱なし 居間・個室に4人

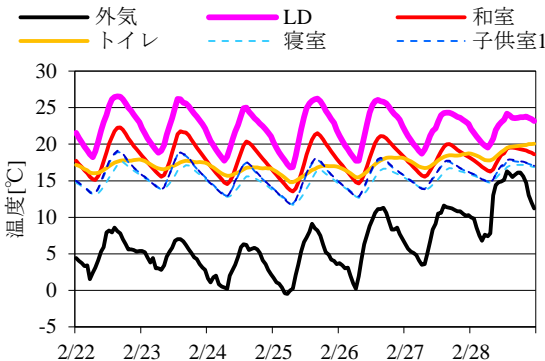


図3-2-4② 東京 提案U_A値
1階発熱 居間に4人

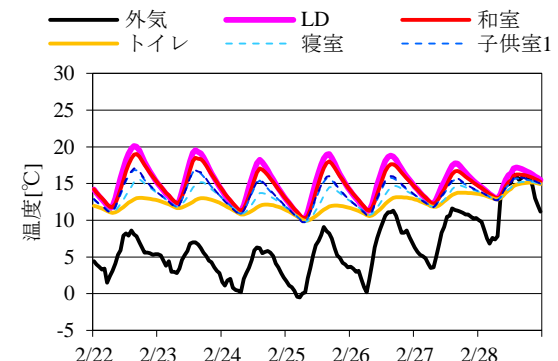


図3-2-4⑤ 東京 提案U_A値
発熱なし 居間・個室に0人

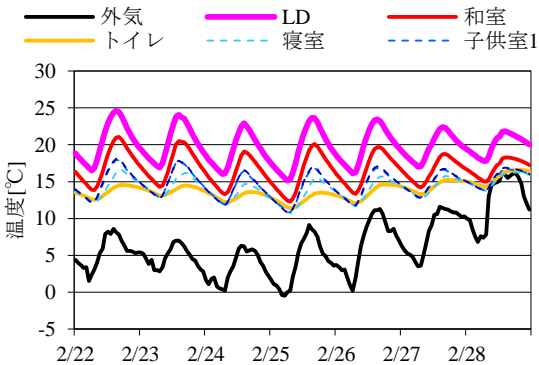


図3-2-4③ 東京 提案U_A値
発熱なし 居間に4人

②と③の1階部分の比較)。居間の室温を見ると、人体発熱が無い場合（図3-2-4⑤）よりも、居住者が終日居間に滞在する場合（図3-2-4③）の方が4～5℃程度高く、就寝時以外のみ居間に滞在する場合でも（図3-2-4④）同様に室温が高い。一方、個室の夜間の室温は、就寝時のみ滞在する場合において（図3-2-4④）、滞在しない場合よりも（図3-2-4③⑤）、1～3℃程度高い。

大阪（図3-2-5）、札幌（図3-2-6）の場合においても、東京と同様に高断熱化、機器発熱、人体発熱の効果がみられる。

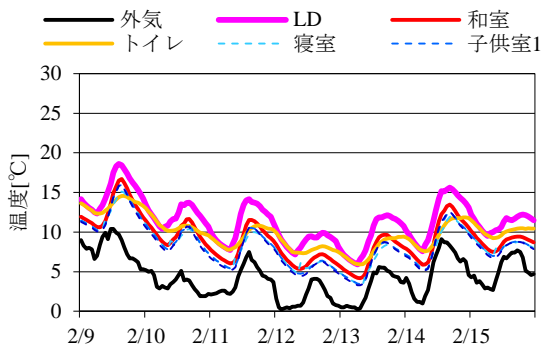


図3-2-5① 大阪 省エネ基準
1階発熱 居間に4人

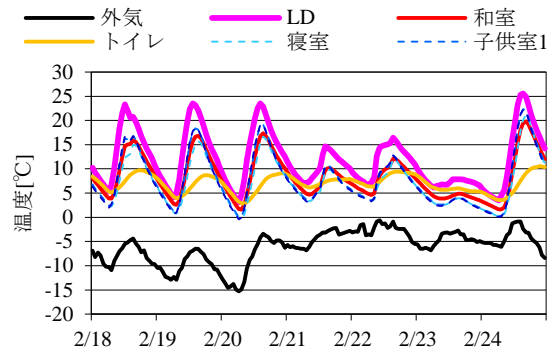


図3-2-6① 札幌 省エネ基準
1階発熱 居間に4人

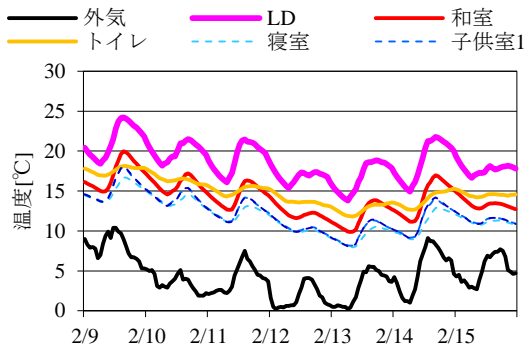


図3-2-5② 大阪 提案U_A値
1階発熱 居間に4人

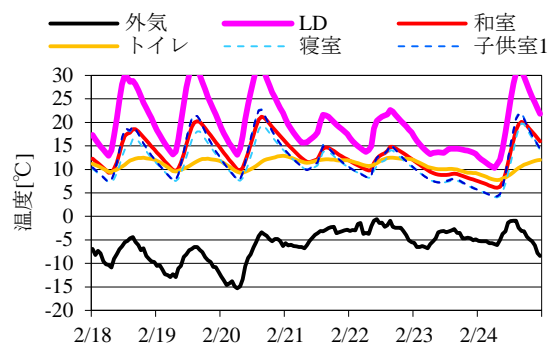


図3-2-6② 札幌 提案U_A値
1階発熱 居間に4人

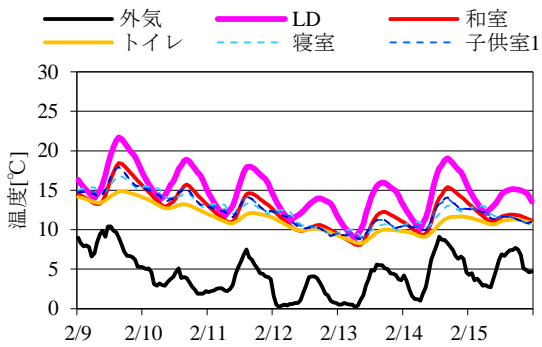


図3-2-5③ 大阪 提案U_A値
発熱なし 居間・個室に4人

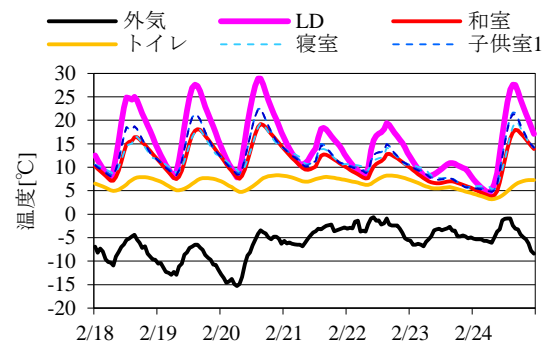


図3-2-6③ 札幌 提案U_A値
発熱なし 居間・個室に4人

3-5. 本章のまとめ

- ・外皮の高断熱化のため、枠組み壁工法において現時点で実現可能な仕様であることを前提に断熱性能を検討し、平均熱貫流率 $0.31[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ を満たすこととした。シミュレーション検討において、日常の暖房負荷低減、無暖房時の室温維持の効果が見込まれた。

4章 電力システムの検討

4-1. 本章の目的

本章では、太陽光発電（以下では PV と記載）と蓄電池等に関して、実験住宅（補足 1 参照）における実棟検証、及び電力需給量のシミュレーション検討を行う。

本研究では、ZEH (Zero Energy House)、及び「電力自立住宅」を次のとおり定義して検討を進める。

ZEH については家電を含むエネルギー消費量と同等以上の PV 発電量があることとする。また、PV 電力の自家消費率向上のため蓄電池を導入し、蓄電池の制御用電力と交流直流変換等のロスも考慮する。

電力自立住宅はライフラインを通じた電力やガス等の供給を一切受けず、日射量が少ない悪天候時も含めて全電力を PV 発電、ディーゼル発電機、電気自動車を含む蓄電池等により供給する。電力自立住宅は災害時において有用である他、地方郡部等ではエネルギー搬送に要する電力ロスや燃料の軽減も期待できる。

以上を想定した検討結果を基に今後のシステムのあり方を考える。

4-2 では、PV、蓄電池、発電機の発電・充電等の基礎的な動作確認実験の結果について報告する。

4-3 では、入居実験で得た実生活下での発電量、利用電力量とその用途に関する分析結果を報告する。

4-4 では、4-2 と 4-3 の実測値を用いた年間の電力需給量のシミュレーション検討の結果を報告する。

4-2. PV、蓄電池、ディーゼル発電機の動作実験

(1) 検証を行う機器の概要

実験は全て実験住宅において実施した。

図 4-1 に PV と蓄電池のシステム概要を示す。実験住宅に設置した PV10kW と蓄電池 11kWh を最大限に利用する。蓄電池は系統連系常置型で、2 台を並列運転とした。また、本システムでは、PV により発電した電力を住宅負荷に供給し、余剰電力を蓄電池に充電する。日没後は充電された蓄電池から住宅に供給し、不足電力は系統（電力会社）より買電する仕組みである。

発電機は 7kW 出力のディーゼル発電機であり、電力自立住宅の場合において、PV 発電の不足分を補う目的で設置した。

(2) 測定概要

住宅の電力消費量、及び蓄電池の充放電電力を測定した。このうち蓄電池については、各蓄電池に制御等のために設置されたシステムコントローラの機能により、充放電情報をインターネット回線経由でクラウド（外部管理サーバー）に収集した。

(3) PV と蓄電池の実験結果

表 4-1 に測定時における蓄電池の設定を示す。

図 4-2、図 4-3 に、発電量が比較的小なかつた日の測定結果を示す。図 4-3 に示すとおり、No.1 の充電と No.2 の放電が同時に行われる場合がある。これは蓄電池 No.2 から放電された電力を蓄電池 No.1 に充電する「充放電ループ」の現象であり、この動作のために電力を消費している。充放電ループを防止するには制御方法の改善が必要である。実験住宅に導入した蓄電池の場合、充放電時間等のいくつかの設定項目があり、個別機種の特性を考慮した機種選定、運用も重要といえる。

図 4-4 に、発電量が比較的多かつた日の測定結果を示す。充放電ループの発生は確認できない。

なお、蓄電池については、別の実験から充電放電動作等の電力が大きいことがわかった。（8 章参照）

(4) ディーゼル発電機の実験結果

発電した電力を宅内に送電して利用できることを確認した。また、騒音については吸音効果のあるケースメントで覆うことで対応可能と考えられた。しかし、機器導入コストや、燃料となる軽油の保管時等の安全性確保を考慮すると、オプションとしての採用は可能であるものの、一般的な住宅への設置は難しいと考える。

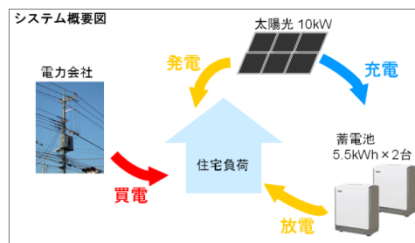


図 4-1 PV+蓄電池 2 台連携システム概要図

表 4-1 蓄電池の設定

PV 余剰電力	系統充電時刻	停電時のための最低蓄電池残量
充電する	23~7 時	0%

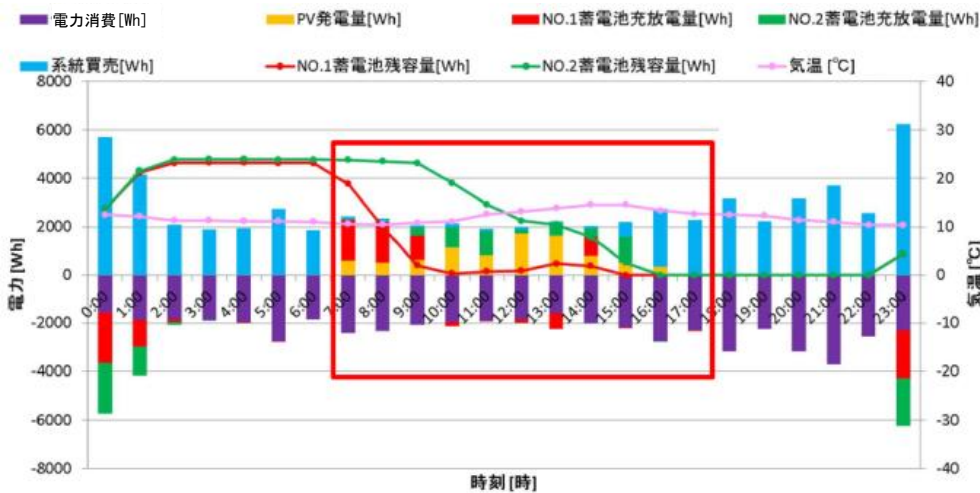


図 4-2 2 台蓄電池連携電力推移 (PV 発電量が比較的多い日 / 2013 年 11 月 7 日)

7 時の PV 発電開始以降も消費量の方が多いため蓄電池 No.1 が放電、9 時以降は No.2 も放電。10 時前に蓄電池 No.1 が残量 0 となって充電を開始し、蓄電池 No.2 が放電。同じ現象が 12 時、13 時にも発生。

日積算電力 [Wh/日]

系統買電	47647.7
系統売電	0.0
PV 発電	8729.9
電力消費	54224.2

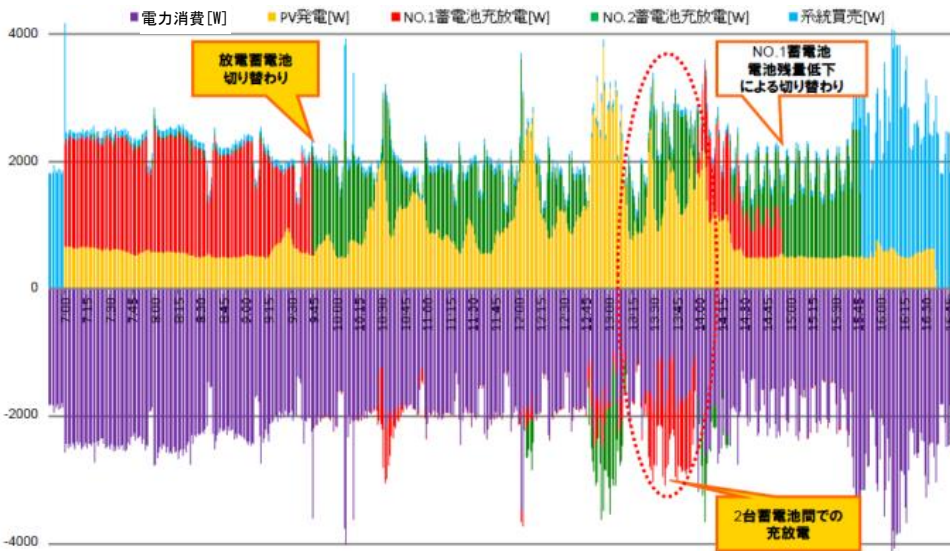


図 4-3 2 台蓄電池連携電力推移 (7-16 時の 1 分あたりのデータ / 2013 年 11 月 7 日)

7:00 以降、蓄電池 No.1 が住宅の電力消費に追従し放電。9:45 に No.1 の残量が 0 になり、No.2 が放電を開始。PV 発電量が大きく変化しているタイミングで蓄電池 No.1 の充電と No.2 の放電が同時に発生。

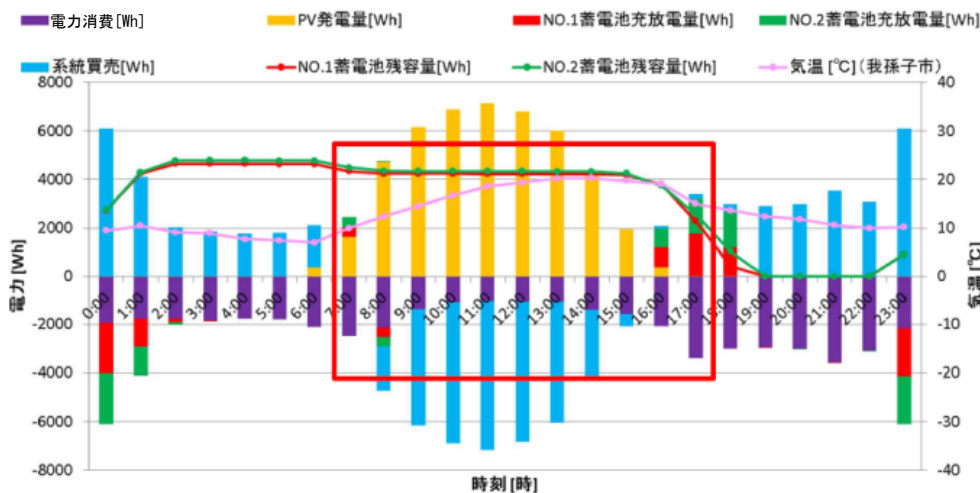


図 4-4 2 台蓄電池連携電力推移 (PV 発電量が比較的小さい日 / 2013 年 11 月 8 日)

6:00 から PV 発電が開始。蓄電池の放電開始設定時刻の 7:00 までは不足電力を買電。7:00 以降は PV 発電と蓄電池から供給。8:00 以降は PV の余剰電力を蓄電池に充電、系統に売電。16:00 に売電を終了。17:00 に PV 発電が終了、不足電力の買電を開始。

日積算電力 [Wh/日]

系統買電	38572.3
系統売電	33979.2
PV 発電	46223.7
電力消費	48770.8

4-3. 入居実験

(1) 実験概要

住宅の運用時における発電や蓄電等の状況を検証するため、実験住宅（補足参照）に一般人を居住させて電力等の測定を行った。表 4-2 に実験概要、表 4-3～表 4-6 に実験時における設備仕様を示す。

(2) 実験結果

図 4-5 に屋根面日射量と PV 発電量の実測結果を示す。両者に相関関係があることがわかる。

表 4-6 に自家消費率の算出結果を示す。PV 発電の自家消費率を高めることは、系統への負担を抑えつ

表 4-2 実験概要

入居期間	2013年10月26日～2014年4月15日
世帯概要	夫婦二人、大型犬1匹
電力契約	オール電化（電化上手）

表 4-3 太陽光発電の仕様（屋根一体型）

メーカー名	シャープ株式会社
形式	単結晶 NQ-190AA
定格容量 [kW]	10.26
モジュール変換効率 [%]	16.9
温度損失 [%]	10～20
その他損失 [%]	5.0
モジュール [W]	190.0
モジュール枚数	54
パワコン出力[kW]	4.5 ×2
自立運転回路	あり/パワコン毎
設置方位	南面 4寸
売電単価 [円]	42.00（2011年度 FIT）

表 4-3 蓄電池の仕様（リチウムイオン）

メーカー名		日本電気株式会社
入力	定格電圧	単相 3線 100/200V
	電圧変動範囲	±10%
	定格周波数 [Hz]	50/60 ±1%
	力率	0.98 以上
自立（通常）出力	型名	ESS-H-002006B
	蓄電容量 [kWh]	5.53
	定格電圧	単相 3線 100/200V
	定格出力 [kVA]	2.0 (U/V 相各々 1.0kVA)

表 4-4 全館空調システムの仕様

メーカー名		- (M3000)
形式		YA-4037SV
種類		冷房・暖房兼用パレート形
電源		単相 200V 50/60Hz
冷房	定格冷房能力[kW]	4.0 (1.0～5.0)
	定格冷房消費電力[W]	1,300(285～2,170)
	エネルギー消費効率	3.08
暖房	定格暖房標準能力[kW]	4.0 (1.3～6.5)
	定格暖房低温能力[kW]	4.7
	定格暖房標準消費電力[W]	1,000(220～2,490)
	定格暖房低温消費電力[W]	2,200
	エネルギー消費効率	4.0
冷暖房平均エネルギー消費効率		3.54

つ一次エネルギー削減を図るために重要である。表に示すとおり、11、3月の中間期における自家消費率は4割以上、12、1、2月の冬期においては5割程度以上であった。特に2月には65.5%と高い割合であったが、これは発電量が他の月よりもやや少なく、一方で暖房負荷が大きいため空調用電力消費が多くなったためである。なお、冬期においては、持ち込み家電の電気ヒーターも使用していた。

表 4-5 太陽熱給湯システムの仕様

メーカー名	矢崎エナジーシステム
形式	太陽熱集熱器対応型エコキュート
集熱方式	強制循環・熱交換方式
電源	単相 200V 50/60Hz
沸き上げ温度範囲[°C]	約 65～90
年間給湯効率(JIS)	-
タンク容量[ℓ]	420
中間期標準加熱能力 / 消費電力	4.5kW/1.025kW
冬期高温加熱能力/消費電力	4.5kW/1.5kW
貯湯機能	ひかえめ・おまかせ・満タン
風呂給湯機能（天候予測機能、給湯使用量学習機能）	自動湯はり・自動保温・自動たし湯・追い炊き・高温さし湯・たし湯・さし水
その他機能	風呂熱回収・太陽集熱
集熱器種類	液体集熱式平板形集熱器
集熱面積	4m ²

本システムの特長

- ・エコキュートをベースに太陽熱給湯を組合せたシステム。
- ・日中は太陽熱集熱器で沸かし、不足分を深夜電力とヒートポンプで沸かし、貯湯タンクを貯める。
- ・天候予測機能により、1日あたりの太陽熱集熱量を演算し、ヒートポンプでの沸き上げを調整する。
- ・給湯使用量学習機能により、居住者のライフスタイルに応じた1日あたりの給湯使用量を学習し沸き上げ量を調整する。

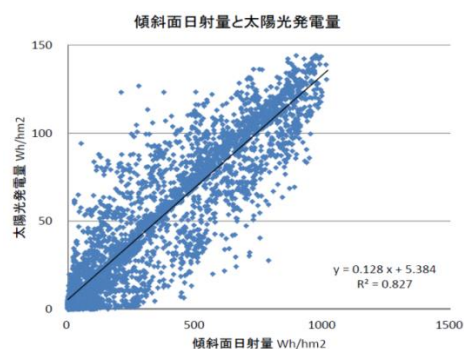


図 4-5 日射量と PV 発電量

表 4-6 月別 PV 発電量[kWh]と自家消費率

	PV 発電量 [kWh]	売電量 [kWh]	自家消費量 [kWh]	自家消費率 [%]
11月	977.89	545.61	432.28	44.2
12月	1002.99	508.78	494.21	49.3
1月	1175.46	501.07	674.39	57.4
2月	950.53	327.97	622.56	65.5
3月	1316.51	766.32	550.19	41.8

4-4 電力の需給に関するシミュレーション

(1) 目的と概要

ZEH と電力自立住宅を仮定し、電力需給に関するシミュレーション検討を行い、その結果から、今後のシステムのあり方を検討する。

表 4-7 電力の計算条件

	無人期間または欠測期間	居住実験期間
太陽光発電	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電出力：10.26kW 太陽光発電量データの欠損期間 傾斜面日射量と太陽光発電量の相関から推定 太陽光発電量、傾斜面日射量データの欠損期間 METPV のデータを用いて傾斜面日射量を補間し、太陽光発電量を推定。また、太陽光リモコンから取り出した発電量の月積算値との偏差が小さくなるように補正。 発電した電力の優先順位 1.負荷消費 2.蓄電池充電 3.売電 	
蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電容量：2 台の蓄電容量を合算して算出 5.53 kWh×2=11.06 kWh EV の蓄電容量：24.0 kWh とした。 効率：EV の効率は蓄電池と同様に 92% とした。 放電：太陽光発電量が負荷より少ない場合(蓄電池内に充電がされている場合のみ) 充電：太陽光発電量の余剰のみ 残量：容量の 30% を必要残量とする場合と 0% とする場合の 2 ケースを作成 	
発電機	発電機出力：7.0kW 燃料及び連続運転時間は考慮しない	
暖房	COP が 4.0 となるように補正した値を使用	
冷房	欠損期間が 4,5 月、9,10 月の場合は、中間期と考え、消費電力を 0 とする。他の欠損期間は、曜日別毎時平均値を使用。	実測消費電力を使用
換気	入居実験期間中に使用した値の曜日別毎時平均値を使用	実測消費電力を適用
給湯	入居実験期間の給湯使用電力量(1 週間積算値)と外気温(週平均温度)の相関から、週間給湯使用電力量を推定。推定値を入居実験期間の曜日別時刻別平均値で重み付けし、曜日別時刻別に分配。外気温の欠損期間は METPV の外気温データで補間。	実測消費電力を適用
照明	入居実験期間中に使用した値の曜日別毎時平均値を使用	入居実験期間中の日平均値と照明メーカーが算出した値の差 580.1Wh/日を 24 時間で除した値を毎時データから差し引いた値を使用
コンセント	入居実験期間中に使用した値の曜日別毎時平均値を使用	測定値を使用
その他	入居実験期間中に使用した値の曜日別毎時平均値を使用	測定値を使用

表 4-7 に計算条件を示す。計算には 4-2.の動作実験、4-3.の入居実験で得たデータを用いる。

(2) ZEH の場合の計算結果

表 4-8 に計算結果を示す。電力消費量に対する発電量の割合は 152% となり、ZEH を達成する。

表 4-8 ZEH の場合の計算結果

設備	内容	電力量/年[kWh]
太陽光発電	2013 年実測値	13,420
空調	実測値	3,843
換気	実測値	1,207
給湯	冬期：実測値 夏期：シミュレーション値	1,526
照明	実測値	810
その他家電	シミュレーション値	1,427
	計	8,813

消費電力量 8,813kWh < PV 発電量 13,420kWh

(3) 電力自立住宅の場合の計算結果

図 4-6 に 1 日あたりの太陽光発電量と住宅負荷需要の収支を示す。中間期、夏期においては、概ね PV 発電量が住宅負荷を上回る結果となった。10 月中旬から冬期においては、日射量が少なく、暖房負荷の増加に伴い電力が不足する傾向にある。

図 4-7、8 に買電量を示す。2 台の蓄電池に加え、電気自動車も利用、大容量の蓄電池を備えるシステムを想定する。PV 発電量が多い夏期は、日積算値で見ると PV による全電力の供給が概ね可能となる。しかし、冬期は日射量が少なく暖房負荷が大きいことから PV のみでは不足する日が多い。なお、全電力を PV により供給可能な日数は、蓄電池の残量が一時的に 0% となっても良いとする場合には年間 81% となり、停電時における利用のため最低でも 30% の電池残量を常時確保する条件では 66% となった。

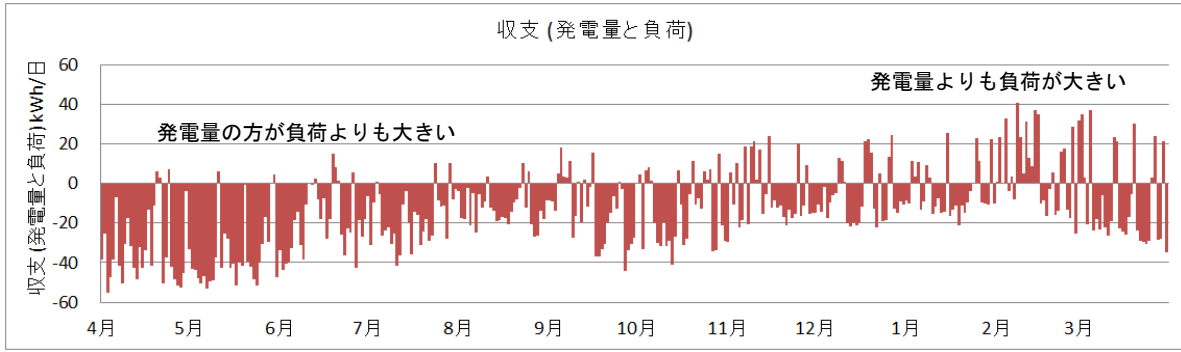
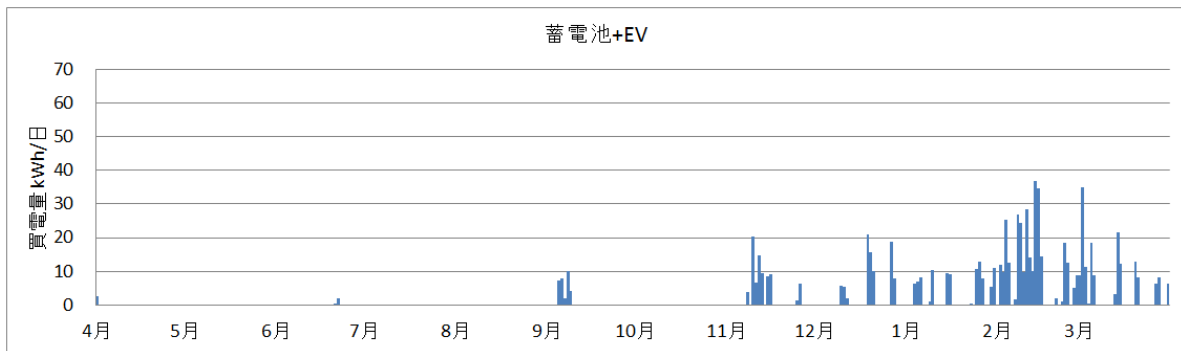
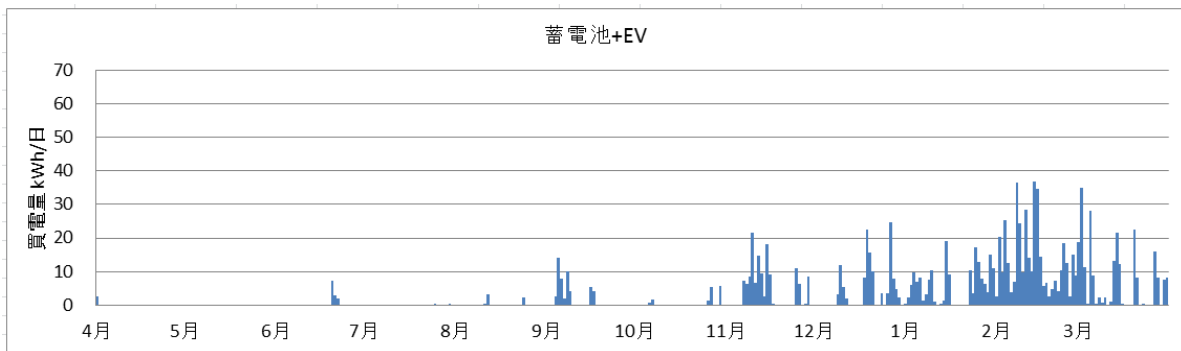


図 4-6 日単位の PV 発電量と住宅負荷需要の収支



コンセント	照明	換気	その他	暖冷房	給湯	太陽光 発電量	住宅負荷	売電量	充電量	放電量	買電量	発電機	10時間以上連続稼働となる回数	発電機導入後の買電量
1,769	810	604	553	3,843	1,526	-13,998	9,105	-5,199	-5,539	5,618	774	774	30	0
kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	回/年	kWh/年

図 4-7 蓄電池の最低残量 0% の場合の買電量



コンセント	照明	換気	その他	暖冷房	給湯	太陽光 発電量	住宅負荷	売電量	充電量	放電量	買電量	発電機	10時間以上連続稼働となる回数	発電機導入後の買電量
1,769	810	604	553	3,843	1,526	-13,998	9,105	-5,604	-5,161	5,222	1,134	1,134	41	0
kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	kWh/年	回/年	kWh/年

図 4-8 蓄電池の最低残量 30% の場合の買電量

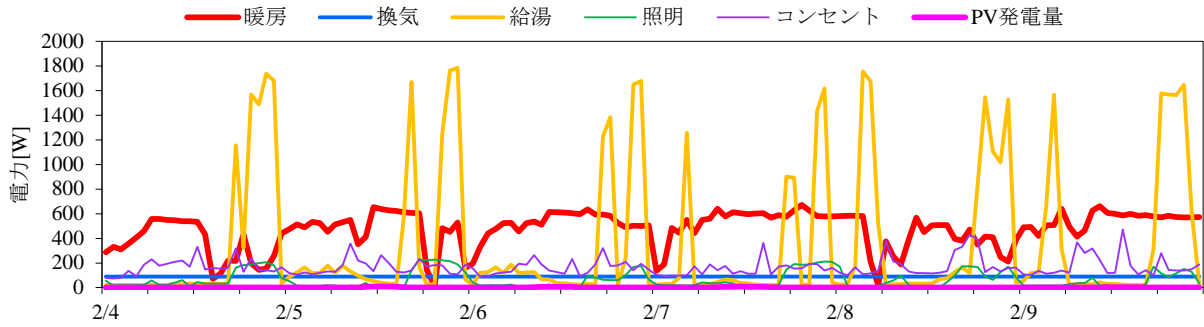


図4-9 用途別エネルギー消費量

図 4-9 に買電量が多い 2 月上旬の用途別電力消費量の推移を示す。PV の発電は極めて少ない状態が続く一方で、暖房と給湯の電力消費量が多い。

図 4-10 に PV 発電量の日積算値の年間における累積出現頻度を示す。1 日あたり 10kWh 以下の発電となる日が年間の 1 割程度と推測される。

こうした状況を踏まえると、PV や蓄電池の容量を増大させても、年間を通じた全電力の自給は難しい。天候の良い季節には全電力を自給でき、年間の一次エネルギーを大幅削減することができたとしても、最もエネルギー消費が多くなる冬季の悪天候時に系統に頼ることとなり、ピークカットの効果は低くなる。

ただし、電力消費量を低減する余地は少なからずあると考えられ、例えば 5 章において後述する空調 TCOP 改善が挙げられる。また、蓄電池の制御や直流交流変換のロスを低減できれば、利用可能な電力量が大きくなる。加えて、将来的には太陽光、太陽熱以外に、冬季の悪天候時に暖房と給湯の熱を生み出せる再生可能エネルギーの利用が望まれる。

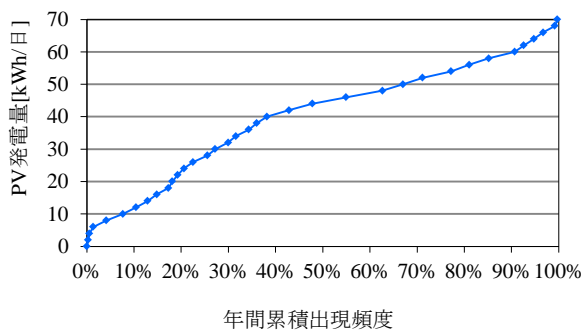


図4-10 PV発電量の年間累積出現頻度

4-5. 本章のまとめ

機器の基礎的動作実験から次の知見を得た。

- 2 台の蓄電池の間で充放電ループが生じることが分かった。なお、これについては蓄電池メーカーにて改善を図った。
- 発電機については住宅への電力供給が可能であることを確認した。ただし、導入コスト、軽油やガソリン等の保管の安全性を考慮すると、一般的な住宅への設置は難しいと考える。

入居実験から次の知見を得た。

- PV 発電量と屋根面日射量の相関関係が確認された。
- 発電量と空調の電力消費量の変動に伴い、自家消費率も変化した。
- 蓄電池は充放電の動作に要する電力が大きいことが分かった。

電力の需給に関するシミュレーションから次の知見を得た。

- PV 容量の確保により、ZEH を実現可能であることを確認した。
- 冬季の最もエネルギー消費量が多い時期には、PV から十分な発電量が得られず系統に頼ることとなる。年間で見たピークを低減するには、空調・給湯設備の高効率化等の一層の技術開発が望まれる。
- 蓄電池自体が制御や充放電動作に少なからず電力を要する。また、本文中には記載しなかったが、系統への電力の逆潮流防止のため常時買電を行う。一次エネルギーの評価の際には、これらの点を考慮する必要がある。

5章 空調システム・通風の検討

5-1. 本章の目的

住宅の性能に適した空調（換気、冷暖房）システムと最適な制御方法を検討することを目的とする。そのため、まず、実験住宅に導入した空調システムの性能検証を行った。次に、より省エネルギーで快適なシステムとするための改善方法を検討した。また、2章 2-5 で述べた冷房エネルギー削減目的とした空調・窓開けの制御の基本アルゴリズムを検討するため、窓開け時の外部および室内風速等の実測と、窓開けを行った場合の効果を検討した。

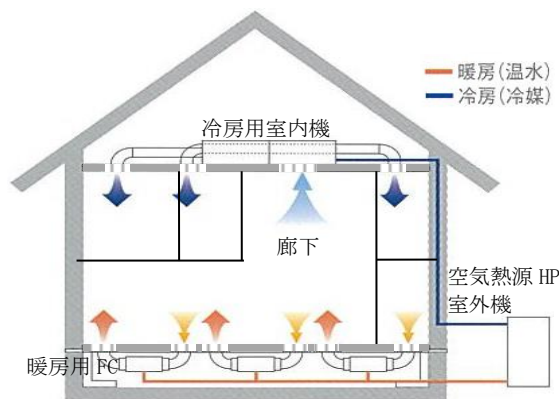


図 5-2-1 空調システム I (～2013 年度)

5-2. 空調システムの概要

実験住宅の冷暖房システムは、2014 年に入れ替えを行っている。図 5-2-1 に 2012～2013 年度、図 5-2-2 に 2014～2015 年度の空調システムの概要を示す。表 5-2-1 に各システムの仕様を示す。

換気については、当初は冷暖房とは別にダクト式の熱交換型換気装置を導入していたが、平成 28 年（2016 年）1 月に空調システム内に組み込んだ。空調システムに組み込む前の換気装置本体は、床下と小屋裏の計 2 台で、室内吹出（SA）は、冷暖房システムの各室内吹出し口に合流させている。換気の室内吸込（RA）は、1 階が廊下床面、2 階は廊下と階段の境の天井面であった。

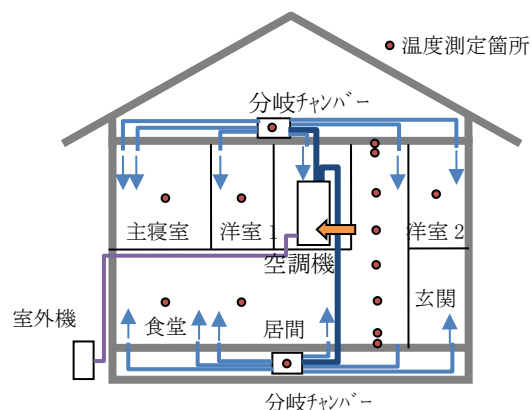


図 5-2-2 空調システム II (2014 年度～)

表 5-2-1 空調システムの仕様

空調システム I (～2013 年度)			
		室内機	室外機
冷房	定格能力	7.1	
	消費電力[W]	試作機のため未定	
	送風機出力[kW]	120×3	100
暖房	出力[kW]	2.0×3 台	6.3
	消費電力[W]	50×3 台	1,485
	送風機出力[W]	-	40
	ポンプ出力[W]	-	120
水量[L/min]			
		3.0	12
空調システム II (2014 年度～)			
		室内機	室外機
定格能力	冷房	10.0(2.4～11.2)	
	暖房	11.2 (1.8～14.0)	
消費電力[kW]	冷房	2.78	
	暖房	2.77	
COP[-]	冷房	3.6	
	暖房	4.04	
室内送風機出力[kW]		0.15×2	0.043

5-3. 性能検証

(1) 項目

実験住宅に導入した空調システムの性能検証項目を以下に示す。

1) 換気

温度交換効率

換気量

2) 冷暖房

効率 (COP)

温度環境 (上下温度差、室間温度差)

(2) 換気の検証

1) 換気量

①概要

2013 年 2 月 19 日～20 日に、以下の換気量測定を行った。

- ・機械換気装置の吸込み、吹出し風量
- ・一定濃度法 (1500ppm) による直接外気導入量

- ・濃度減衰による換気回数

吸込み、吹出し風量は熱線式風量測定器 (コーナ札幌 SWF-125) を、一定濃度法及び濃度減衰は多数室換気測定装置 (同 SK-001) を用いた。

②換気量測定結果

A. 機械換気の風量

表 5-3-1 に、機械換気装置の風量を示す。2/19 と 2/20 の 2 回実施したが、風量の差はなかった。吹出し（給気）風量と吸込み（排気）風量では、1 階は概ね等しいが、2 階は給気の方が多かった。1 階と 2 階の合計は、排気が約 190m³/h、給気が約 250 m³/h であった。

B. 一定濃度法による直接外気導入量

測定した時間のうち換気量が安定している 4 時～7 時の平均値を表 5-3-2 に示す。

換気量(直接外気導入量)が食堂に集中しており、居間に吹き出した給気も隣の食堂に先に流れてから居間を経由して排気されていると推察される。2 階

の居室には直接外気導入がされており、ホールに直接外気導入がないことから、機械換気装置の設計通り、居室に給気されホールから排気されていることが確認できた。

C. 濃度減衰による換気回数

表 5-3-3 に、濃度減衰から算出した換気回数、測定時の温度を示す。換気回数では、0.63 回/h～0.65 回/h 程度であった。

③換気量の考察

機械の給気量が約 250 m³/h、測定による換気量が 295m³/h であるので、差の 45 m³/h 程度隙間から給気があると考えられる。また、機械の排気量が 185 m³/h 前後であるので、測定による換気量 295m³/h との差

表 5-3-1 機械換気装置の風量

測定日		2013/2/19 11:05-11:30				
階	部屋	風量[m ³ /h]				平均
		1	2	3		
給気	1F	居間	23.1	23.2	23.1	23.1
		居間	17.1	17.3	16.9	17.1
		食堂	17.8	17.2	17.5	17.5
		玄関	7.6			7.6
		計					65.3
	2F	主寝室	39.8	39.6	42.7	40.7
		主寝室	33.7	33.0	33.1	33.3
		洋室 1	49.2	48.5	48.1	48.6
		洋室 2	57.3	56.6	56.4	56.8
		計					179.3
合計					244.7	
排気	1F ホール	67.0	67.1	66.1	66.7	
	2F ホール	120.4	118.4	121.0	119.9	
	合計					186.7

測定日		2013/1/20 17:00～17:20				
階	部屋	風量[m ³ /h]				平均
		1	2	3		
給気	1F	居間	23.6	23.6	23.5	23.6
		居間	16.4	16.4	16.3	16.4
		食堂	17.5	17.4	16.6	17.2
		玄関	8.6	7.2	8.2	8.0
		計					65.1
	2F	主寝室	40.6	39.6	39.7	40.0
		主寝室	34.7	34.3	34.2	34.4
		洋室 1	49.9	49.3	49.3	49.5
		洋室 2	59.0	60.0	60.8	59.9
		計					183.8
合計					248.9	
排気	1F ホール	64.5	65.3	65.9	65.2	
	2F ホール	117.1	117.0	118.4	117.5	
	合計					182.7

表 5-3-2 一定濃度法による換気量

室名	濃度 [ppm]	換気量 [m ³ /h]	温度 [°C]	内外温度差 [°C]
食堂	1496	178.2	24.2	23.9
居間	1543	0	23.0	22.7
玄関	1530	0	20.6	20.3
主寝室	1501	47.1	20.1	19.7
洋室 1	1504	34.7	22.0	21.7
洋室 2	1507	35.1	20.1	19.8
2F ホール	1636	0	22.0	21.6
外気	455		0.4	
合計		295.0		

表 5-3-3 濃度減衰法による換気回数

①2/19 13-17 時

室名	換気回数 [回/h]	温度 [°C]	内外温度差 [°C]
食堂	0.65	24.2	18.1
居間	0.64	23.6	17.4
玄関	0.65	21.4	15.2
主寝室	0.63	21.6	15.5
洋室 1	0.63	22.7	16.5
洋室 2	0.63	21.3	15.1
2F ホール	0.65	22.6	16.5
外気		6.2	

②2/20 13-17 時

室名	換気回数 [回/h]	温度 [°C]	内外温度差 [°C]
食堂	0.58	24.2	14.8
居間	0.61	23.0	13.7
玄関	0.62	21.1	11.8
主寝室	0.63	22.4	13.0
洋室 1	0.65	22.7	13.4
洋室 2	0.64	20.3	10.9
2F ホール	0.62	22.2	12.9
外気		9.3	

の約 110 m³/h が、隙間からの排気していることになる。建物の相当隙間面積が約 2cm²/m²なので、温度差や風で 45m³/h (換気回数約 0.1 回/h) 程度生じるのは想定できる。しかし、換気装置の熱交換器を通過する給気と排気のバランスが悪いので、その差の換気量が隙間から出入りし、換気の熱損失が大きい状態である。第 1 種熱交換換気を採用する際には、建物の気密性が高いこと、給気量と排気量に著しく差がないことが換気の熱損失を抑えるために必要である。

2) 温度交換効率

①概要

熱交換換気装置の室内吹出し、吸込み、外気温度から、温度交換効率を算出する。換気装置の直近の吹出、吸込みではないため、ダクトでの熱授受も含む効率となる。

$$\eta_t = \frac{T_{OA} - T_{SA}}{T_{OA} - T_{RA}} \times 100 \quad \dots(5.2.1)$$

η_t	: 温度交換効率	[%]
T_{SA}	: 室内吹出温度	[°C]
T_{OA}	: 外気温度	[°C]
T_{RA}	: 室内吸込温度	[°C]

また、測定時の有効換気量率が不明であるので、仮に室内吹出しに含まれる室内空気割合が 15% (有効換気 85%) とした場合でも効率を算出した。

②温度交換効率結果

図 5-3-1 に、前述の換気量測定を行った期間の温度交換効率を、図 5-3-2 に同期間の外気、室内吸込、室内吹出しの温度を示す。温度交換効率は、90%程度と高く、有効換気 85%だったとしてもほとんど下がらない。

図 5-3-3 に、1月26日～28日の温度交換効率、図 5-3-4 に同期間の温度を示す。この期間は温度交換効率が70～80%程度であり、図 5-3-1 と比べると低い。この理由は、換気装置本体から室内吹出しまでのダクト周辺温度の影響と考えられる。2月19日からの期間は、室温が20～22°Cであったが(表 5-3-2 参照)、1月26日からの期間は、平均20°C以下であった。これは、1月19日～25日まで暖房が停止していたためである。暖房を開始してもダクトがある小屋裏の温度が上昇しておらず、ダクトで放熱して温度が下がって室内に吹き出していると考えられる。1月28日頃からは効率が上昇しており、小屋裏の温度が上昇

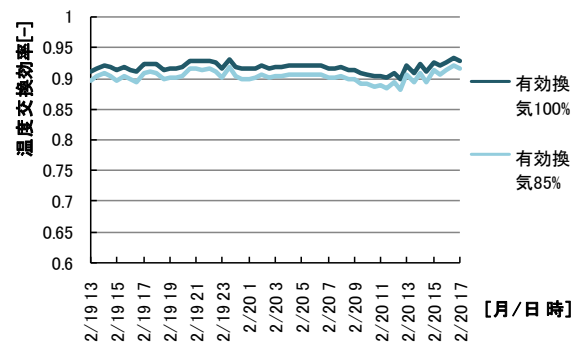


図 5-3-1 温度交換効率 (換気量測定期間 2/19-20)

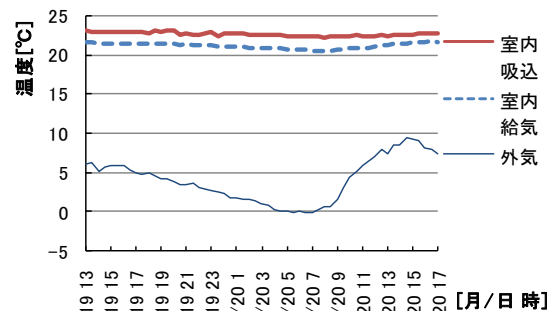


図 5-3-2 吹出・吸込温度 (2/19-20)

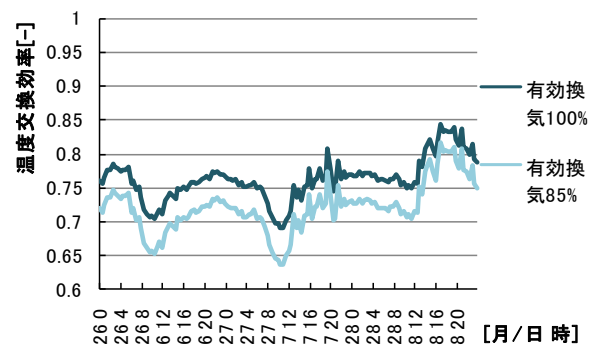


図 5-3-3 温度交換効率 (1/26-28)

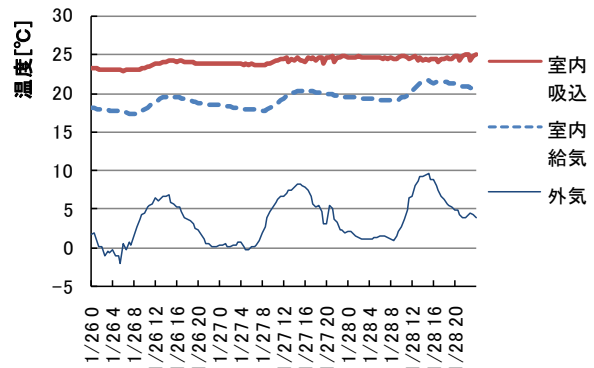


図 5-3-4 吹出・吸込温度 (1/26-28)

していたものと考えられる。図には示していないが、1月31日からは温度交換効率が90%程度に戻っている。

2月19日からの期間はダクトで熱を受け取り、1月26日からは放熱していると仮定すると、温度交換効率は、80～90%の間と推定される。また、測定では、排気よりも給気の風量が多いことを踏まえると、熱交換器の交換効率は実際には95%程度あると考えられる。

給気ダクトの周辺空間との熱授受は、周辺空間が断熱外皮の内側のため熱損失にはならないが、冷気流感を抑えるためには温度が高い空間を通して温度を上げることが望ましい。また、温度交換効率が悪くならないように、給気量と排気量に著しく差がないようにすることが望ましい。

(3) 冷暖房の検証

1) 効率 (COP)

① 概要

A. システム I - 冷房

冷房システムの室内天井吸込み口 (リターン) に風速計 (カノマックス風速変換器 6332D・プローブ 0963-00) を設置した。別途、リターン風量を熱線式風量測定器で測定し、その時の風速値との相関 (図 2-3-2) から、風量に換算した。空調機からの吹出し口のダクト内、および室内天井吸込み口 (リターン) に温湿度センサー (T&D RTR-53A) を設置した。測定間隔は、5 分間である。測定値から、冷房効率を次式で求めた。

$$L_C = \rho \cdot V_R \cdot \Delta E \quad \dots(5.3.1)$$

$$COP = L_C / W \quad \dots(5.3.2)$$

$$\Delta E = |E_R - E_S| \quad \dots(5.3.3)$$

L_C : 処理熱量 (冷房負荷) [W]

COP : 成績係数、エネルギー消費効率[-]

ρ : リターン空気の密度[kg/m³]

V_R : リターンの風量[m³/h]

E_R : リターンのエンタルピー[W/kg[°]]

E_S : 空調器吹出しのエンタルピー[W/kg[°]]

W : 消費電力[W]

分析した期間は 2013 年 8 月 18 日～9 月 8 日で、8 月 27 日までは設定室温が 26℃、9 月 3 日までは除湿運転モード (除湿のみ)、以降は設定室温が 24℃である。

B. システム I - 暖房

暖房システムの行き温水温度、還り温水温度をシーエス熱電対で測定した。また、温水の流量、消費電

力を測定した。それらから、次式により効率を算定した。

$$COP = C \cdot \Delta T \cdot R / (3600 \cdot W) \quad \dots(5.3.4)$$

COP : 成績係数、エネルギー消費効率[-]

C : 比熱[kJ/m³] ≒ 4.1MJ/m³

ΔT : 行きと還り温水温度の差[K]

R : 流量[m³/h]

W : 消費電力[kW]

分析した期間は、2014 年 1 月 1 日～2 月 11 日である。この期間は、入居者実験を行っていた。

C. システム II - 冷房

システム I の効率の測定方法は同じである。ただし、リターン風量は熱線式風量測定器では正確に計測できないため、後述するダクト内風速から換算した風量とリターンの風速値とを対比させて換算した。

分析した期間は、2015 年 6 月 10 日～8 月 19 日である。

D. システム II - 暖房

空調機の吹出しの分岐チャンバー、空調機本体の吸込み口に温湿度センサー (T&D RTR-53A) を設置した。また、空調機内のファンの吹出し近傍に熱電対を設置した。吹出しの温度は熱電対の数値を用い、湿度は、温湿度センサーの温度と湿度から算出した絶対湿度の値を用いた。また、空調機の吹出しのφ 250mm ダクト 2 本 (1 階、2 階各) に、2m の直鋼管を間に入れて、風上側 1,250mm のダクト中央位置に風速計 (カノマックス風速変換器 6332D・プローブ 0963-00) を設置した。風速は 1.5～6.0m/s の範囲であり、レイノルズ数は 2 万～9.7 万なので、ダクト中央風速に対する平均風速は 0.8～0.81 程度と算出される。以上から、暖房効率を次式で求めた。

$$L_H = \rho \cdot V_H \cdot \Delta E \quad \dots(5.3.5)$$

$$V_H = 3600 \cdot 0.8 \cdot V_{MAX} \quad \dots(5.3.6)$$

$$COP = L_H / W \quad \dots(5.3.7)$$

L_H : 処理熱量 (暖房負荷) [W]

COP : 成績係数、エネルギー消費効率[-]

ρ : リターン空気の密度[kg/m³]

V_R : リターンの風量[m³/h]

V_{MAX} : ダクト中央風速[m/s]

E_R : リターンのエンタルピー[W/kg[°]]

E_S : 空調器吹出しのエンタルピー[W/kg[°]]

W : 消費電力[W]

分析した期間は、2014年11月11日～2015年2月27日である。ただし、この期間はまだダクト内に風速計を設置していなかったため、後日、リターンの風速値とダクト内風速計から式 5.3.6 で換算した風量を対比させて風量に換算した。

②効率の検証結果

A. システム I - 冷房

図 5-3-5 に、冷房負荷（処理熱量、除熱量）と COP の関係を示す。COP は 4 前後である。しかし、負荷が 1.5kW より小さくなると、COP は低くなる。これは、負荷の減少ほどには、送風のファンの消費電力が減らず、消費電力のうち送風動力の割合が増えるためと考えられる。

除湿運転は、通常の冷房運転より効率が低下する。

B. システム I - 暖房

図 5-3-6 に暖房負荷（処理熱量、供給熱量）と COP の関係を示す。COP は 2～3 で、冷房と比べると低い。暖房は床下の FC（ファンコンベクター）システムで、冷房とは異なるので、このシステムの COP が低いと考えられる。

2014年1月22日に、1階のリターン（室内吸込み口）のフィルターの清掃を行った。写真 5-3-1 に示すように、清掃前は目詰まりした状態であった。図 5-3-6 の清掃前（1月21日まで）までのプロットを見ると、負荷が 1kW 前後に集中している。図 5-3-7 に、フィルター清掃前後の温水の行きと還り温度を示す。フィルター清掃前は、行きと還りの温度差が小さいことがわかる。フィルターの目詰まりにより風量が低下し、放熱をほとんどしていなかったと考えられる。この測定期間は、入居者実験を行っており、入居者から室内が温まらないという申告があったため、フィルターの目詰まりが発覚した。このことから、定期的に清掃を行い空調システムの風量を維持することが、室内の温熱環境を維持する上でも重要であることがわかる。

C. システム II - 冷房

図 5-3-8 に冷房負荷と COP の関係を示す。COP は概ね 2～3 の間であるが、やはり負荷が 1.0kW 以下では負荷の減少に比例して小さくなる。

システム I に比べ、システム II の COP が低かった理由を調べるため、吸い込みと吹き出しのエンタル

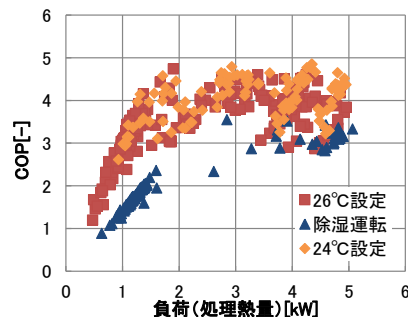


図 5-3-5 システム I - 冷房負荷と COP

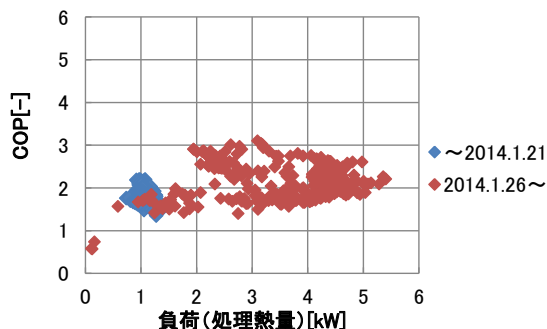


図 5-3-6 システム I - 暖房負荷と COP

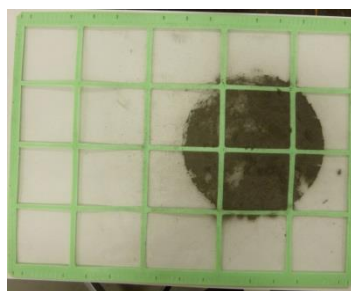


写真 5-3-1 リターンフィルター

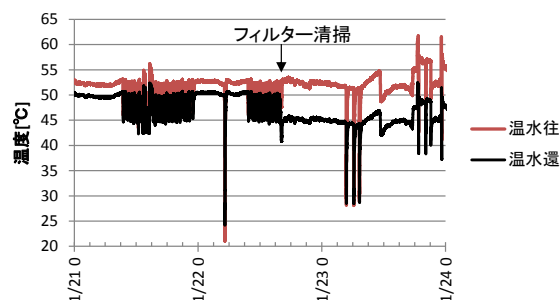


図 5-3-7 フィルター清掃前後の温水温度

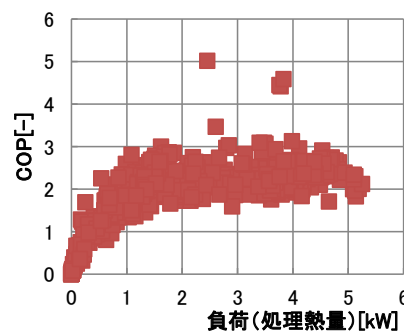


図 5-3-8 システム II - 冷房負荷と COP

ピーの差と負荷の関係を図 5-3-9 に示す。図を見ると、同じ負荷のとき、システムⅡはシステムⅠの約 2 倍のエンタルピー差である。熱源であるヒートポンプは、高温側と低温側の差が小さいほど効率が良くなるので、システムⅡは温度差が大きい状態で動いているために効率が悪くなっていることが考えられる。具体的には、システムⅡの実際のダクト系の圧力損失（機外静圧）が、COP の性能試験をする際の標準的な圧力損失よりも大きく、風量が少ないためにエンタルピー差が大きくなっていることが考えられる。したがって、効率が高いポイントで稼動するシステム設計を行うことが重要である。

D. システムⅡ－暖房

図 5-3-10 に、暖房負荷（加湿含む）と COP の関係を示す。COP は 2.5～3 程度である。システムⅡの COP が低い理由としては、前述の冷房同様、温度差が大きい状態で稼動していることが考えられる。

2016 年 1 月 29 日に、空調システムのダクトの分岐チャンバーを開放し、ダクトの圧力損失（圧損）を減らした。図 5-3-10 の圧損減とその前では、負荷 2kW 程度のときに若干平均の COP が高めに見える。

図 5-3-11 に、空調機の風量-機外静圧特性を示す。空調機の送風機の回転数とそのときの風量から、チャンバーを開放して圧損を減らしたときとその前の機外静圧を推定して示した。ダクトの圧損を減らしても、空調機の標準機外静圧よりも大きいと推察される。空調機の COP の測定は、標準機外静圧の状態で行っていると考えられ、ダクトの圧力損失（空調機の機外静圧）が大きいことが、COP が低くなっている理由と考えられる。

図 5-3-12 に、空調機の吸込み・吹出し温度を示す。ダクトの圧損を減らす前は、吹出しの温度が 50℃程度の時間もある。ダクトの圧損を減らした後は、やや低くなり 45℃程度までとなっている。吹出し温度が高いと、天井吹出しの場合、天井付近の温度が高くなり、上下温度差が大きくなる（後述）。ダクトの圧力損失を減らすと、風量が増え、全館空調システムの吹出し温度も低下するので、上下温度差も改善できると考えられる。

③効率に関する検証のまとめ

以上の結果を以下にまとめる。

- ・負荷が 1.0kW より小さいときは消費電力に占める

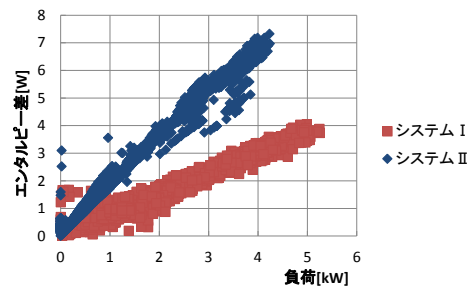


図 5-3-9 冷房負荷とエンタルピー差

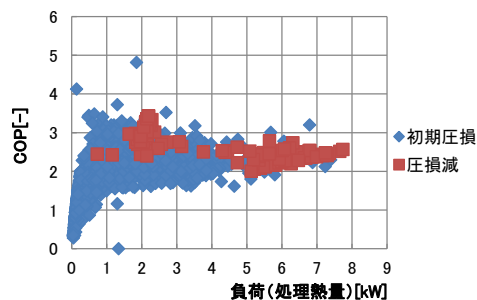


図 5-3-10 システムⅡ－暖房負荷と COP

本図は都合により非公開とする

図 5-3-11 空調機の風量-機外静圧特性

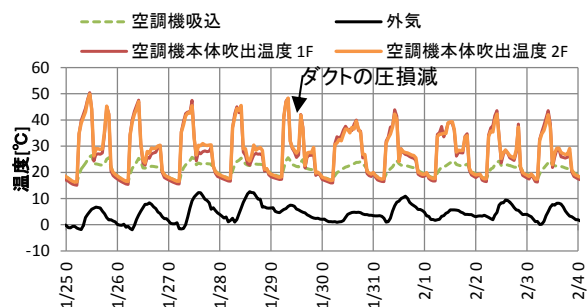


図 5-3-12 空調機の吸込み・吹出し温度

送風ファン動力の割合が多くなり、COP が低下する。

- ・冷房期間の除湿運転は効率的ではない。

- ・リターンのフィルターは定期的に清掃して風量が低下しないようにすることが重要である。
- ・ヒートポンプが効率の高いポイントで稼動するようなダクトの圧力損失は減らすような設計が重要である。

2) 温熱環境

① 概要

冷暖房時の室間の温度差、吹抜け空間の上下温度差を主に確認した。

様々な条件で測定しているが、特徴的な測定期間を抽出し、表 5-3-4 に示す。ターフとは、居間の吹き抜けを1階と2階で仕切る水平の布である。ガラリとは、2階各居室の引き戸の面に組み込まれた回転させて開閉できるルーバー状のものである。

表 5-3-4 測定条件

システム	期間	ターフ	ガラリ	その他
I 冷房	'13/7/21~7/29	閉	閉	
	'13/7/30~8/5	閉	閉	
	'13/8/27~9/3	開	閉	除湿運転
	'13/9/3~9/10	開	開	24℃設定
I 暖房	'13/1/11~1/15	閉	閉	
	'13/2/8~2/22	開	開	
II 冷房	'14/8/22~8/24	開	閉	風量室容積配分
	'14/9/4~9/6	開	閉	風量負荷配分
II 暖房	'15/12/9~12/15	開	閉?	
	'16/1/21~1/27	開	閉?	6-21 時間欠運転

その他に記載があるものを除き、冷房は27℃、暖房は20℃設定の24時間連続運転を基本としている。

② 結果

A. システム I - 冷房

図 5-3-13 に、2013 年 7 月 21 日～7 月 29 日のターフが開いている期間、2013 年 7 月 30 日～8 月 5 日のターフが閉じている期間の温度統計値を示す。ターフを開けた期間は、吹抜の上下で温度中央値の差がほとんどなく、また、1階と2階個室（主寝室、洋室）では平均温度が1~2℃程度の差である。しかし、ターフを閉じた期間は、吹抜けのターフの下（床上2.3m以下）よりターフの上が3℃程度低い。ターフによって、吹抜けから下がる冷気がさえぎられていることがわかる。また、1階は概ね設定温度の26℃であるが、2階は主寝室で22℃と低くなっている。2階が設定より低すぎると、必要以上にエネルギーを消費していることになる。測定した住宅では、居間上部と階段の2か所に吹抜があるが、プランによっては吹抜が階段の1か所の場合もあり、ターフを閉じた状態に近くなる。1階と2階の個室の温度差が大きい時には、温度が下がりすぎる個室の冷気の吹出しを減らし、1階につながるホール等での吹出しを多くするようなバランス調整をすることによって、差が小さくできると考えられる。

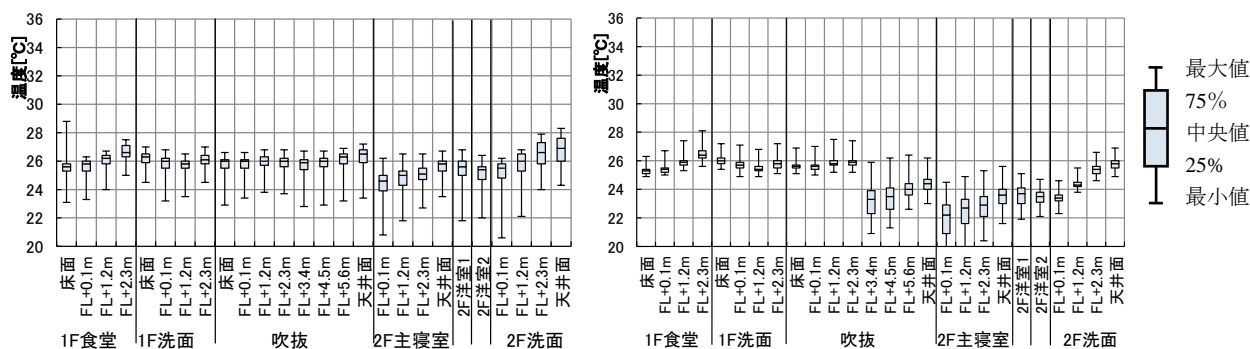


図 5-3-13 システム I - 冷房運転のターフ開・閉の温度統計値比較 (左: ターフ開、右: ターフ閉)

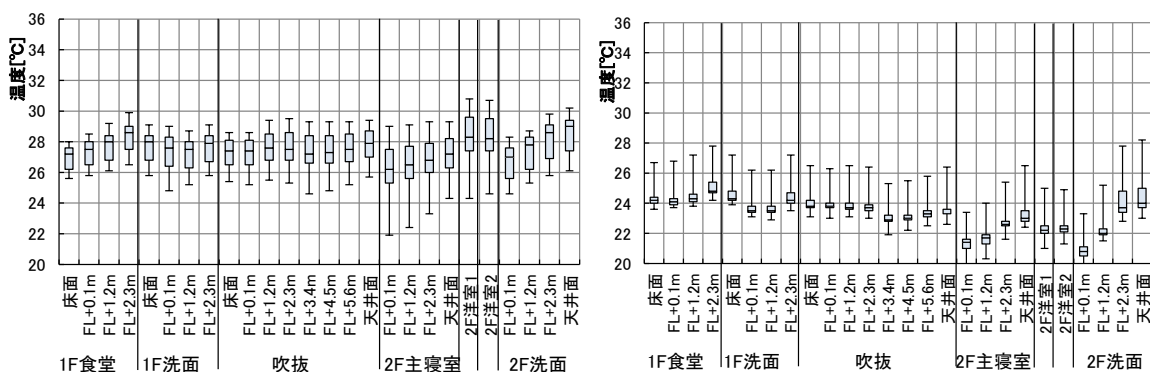


図 5-3-14 システム I - 除湿運転と冷房運転の温度統計値比較 (左: 除湿運転、右: 24℃設定)

図 5-3-14 に、2013 年 8 月 27 日～9 月 3 日の除湿運転期間、および 9 月 10 日までの 24℃冷房設定期間の温度統計値を示す。除湿運転をした期間は、温度の変動幅が広く、平均±25%範囲値が 2℃程度あるが、24℃設定の期間は 1℃以内で安定していたことがわかる。図 5-3-15 に同期間の各室の相対湿度の統計値を示す。温度とは逆に、除湿運転をした期間は、相対湿度の変動幅が小さく、また、平均が 50～60%の間である。24℃設定の期間は幅が 10%程度ある。除湿運転により、室温が高くて快適で省エネになるのであれば、除湿運転することも考えられるが、図 5-3-5 を見ると、システムの効率が冷房運転より低くなってしまっているので、除湿運転が最適とは考えにくい。

B. システム I - 暖房

図 5-3-16 に、2013 年 1 月 11 日～15 日のターフおよびドアガラリが閉じている期間、2013 年 2 月 8 日～22 日のターフおよびドアガラリが開いている期間の温度統計値を示す。ターフ、ドアガラリが閉じている期間は、吹抜けの上部が吹抜けの下よりも温度が低く、暖気が上昇するのが抑えられていることがわかる。1 階の床上 1.2m の温度が設定温度 20℃よりも高い一方、2 階の主寝室と洋室 2 は低く、1 階との温度差が 5℃以上ある。

ターフおよびドアガラリが開いている期間を見る

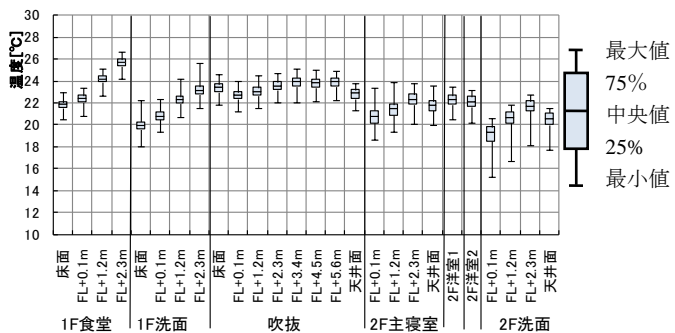
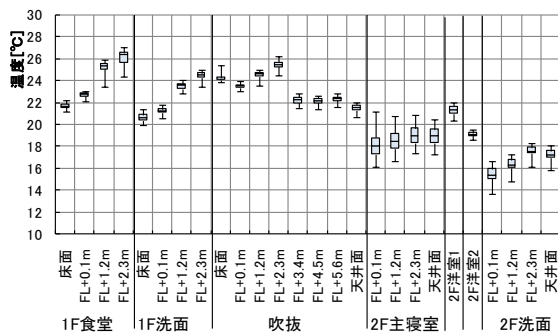


図 5-3-16 システム I - 暖房運転の温度統計値 (左：ターフ・ドアガラリ閉、右：ターフ・ドアガラリ開)

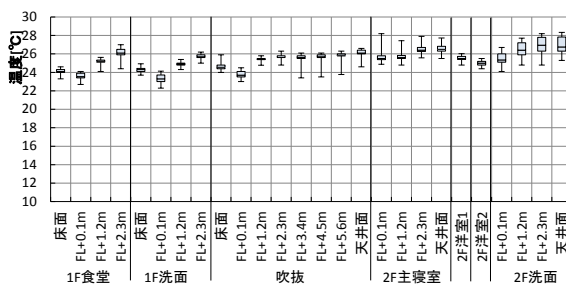
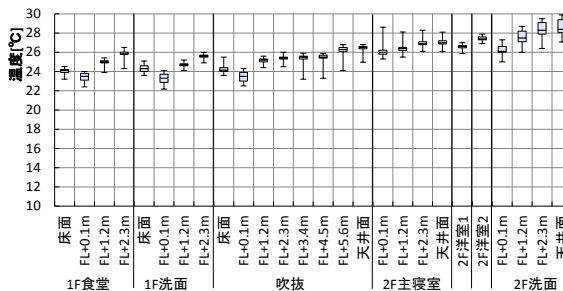


図 5-3-17 システム II - 冷房運転の温度統計値 (左：風量調整前、右：風量調整後)

と、1 階は 22～25℃に中央値±25%頻度 (50%の頻度) が収まっている。2 階の居室は 20～23℃で、1 階より 2℃ほど低いが、20℃以上は維持できている。

両期間とも、床上 0.1m と 1.2m で温度を比較すると、概ね 3℃以内で、上下温度差の快適範囲としては問題ない。しかし、食堂の天井付近の温度を見ると、26℃前後になっており、1 階の食堂の床から吹き出した暖気が、食堂の上部に溜まっていると推察される。この食堂上部の暖気を、2 階の居室にどう送るかが課題である。

C. システム II - 冷房

図 5-3-17 に、冷房運転の温度統計値を示す。最初は、各室の容積割合で吹出しの風量が配分されるよう分岐チャンバーの各分岐口の開度を調整していたが、2 階の床上 1.2m で設定温度より高く、特に洋室 2 では 28 度近くなった。そこで、負荷に応じた風量

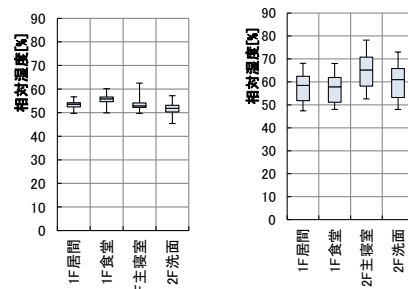


図 5-3-15 除湿運転と冷房運転の相対湿度

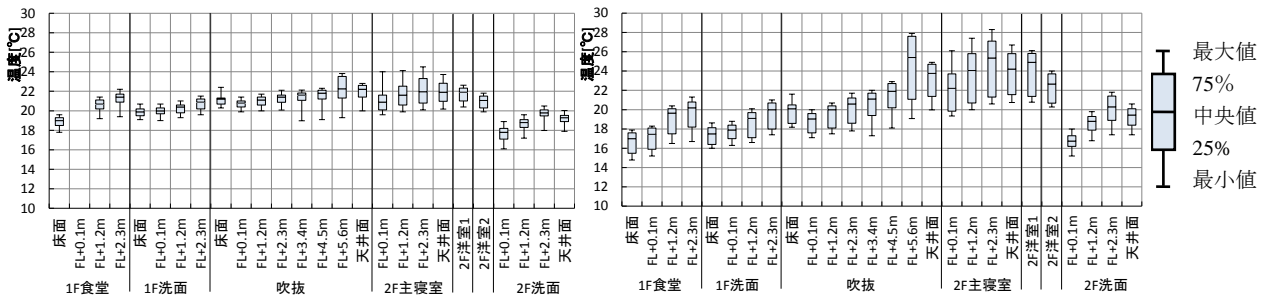


図 5-3-18 システムⅡ－暖房運転の温度統計値（左：連続運転、右：間欠運転）

になるように調整したところ、空調の吹出しがなく天窓からの日射がある 2 階洗面室を除き、各室の床上 1.2m は概ね 24～26℃となった。

床付近と天井付近の温度差も 2℃前後であり、各室の風量を適正に調整できれば、温度むらの少ない環境にできることがわかった。

D. システムⅡ－暖房

図 5-3-18 に暖房運転の温度統計値を示す。連続運転では、空調の吹出し口のない洗面室を除き、床上 1.2m で設定温度の 20℃以上となっており、また、上下温度差も 3℃程度で、温度差の小さい環境になっている。

間欠運転では、1 階の温度の変動幅が 18～20℃であり、暖房停止後、朝開始するまでに 3℃程度の低下であることがわかる。しかし、吹抜けの天井下にあたる F.L.+5.6m では、20～28℃の変動幅がある。これは、間欠運転をした際、朝方の立ち上がり時に負荷が大きく、天井の空調の吹出し口から 40℃を超える空気が吹き出したためである(図 5-3-12 参照)。冷房の上部の吹出しは冷気が下降するので有効であるが、暖房は吹抜け上部に吹き出すと、熱が下に降りず室内を効率的に暖房できないので、暖房期間は吹抜け上部の吹出しを閉じること等が熱を有効に使うために望ましい。2 階は 20～26℃の幅があるが、これは日中日射等によって室温が上昇しているためと考えられる。

③温熱環境のまとめ

以上の結果を以下にまとめる。

- ・冷房を 2 階天井から吹き出し、暖房を 1 階床から吹き出すシステム I では、ドアのガラリをあける等開放的な場合を除くと、1 階と 2 階で温度差が生じるので、プランに工夫が必要である。
- ・冷房・暖房とも 1 階の天井及び 2 階の床から吹出

すシステムⅡでは、風量のバランスを部屋の負荷に応じて調整すれば、温度差の少ない環境にできる。

- ・吹抜け部の天井の吹き出しは、暖房期間には停止する方が、吹抜け上部に熱が溜まるのを抑え、熱を有効利用できる。

5-4. 改善システムの検討

(1) 効率の改善

1) 検討概要

前述のとおり、空調システムは冷暖房負荷が 1.0kW 程度以下となると、負荷の減少に比例して COP も低くなる。これは、空調システムの能力が負荷に対して過大であり、搬送動力(ファン)の消費電力は負荷に応じて変動するものの、負荷が減少したときに送風動力を縮減できる限度があるためである。外皮の性能を向上させた住宅では、冷暖房負荷が小さく COP の低い時間の頻度が増えるため、冷暖房負荷の削減ほどには冷暖房エネルギー消費量は削

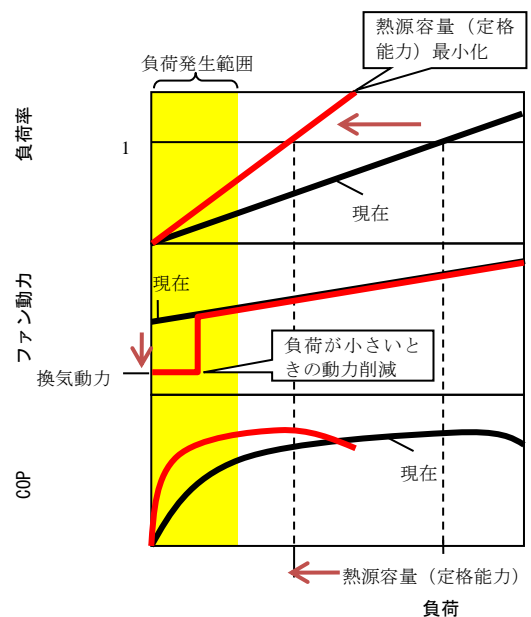


図 5-4-1 空調システム効率改善案

減されない。エネルギー消費量を削減するためには、過大な空調システムの能力を住宅の性能に見合った能力とすること、および低負荷時の搬送動力を低減することが必要である（図 5-4-1）。送風動力の低減の手法の一つとして、負荷が小さい時に空調室内機の送風を停止し、24 時間換気の送風のみで熱を搬送することが考えられる。

まず、その制御を行った場合の空調システムの効率向上およびエネルギー消費量の削減効果を予測する。次に、その制御を行った場合の暖房期間について、室内の温度むら等の温熱環境の問題がないかを、熱流体解析（CFD）により確認する。

2) 削減効果予測

① 計算条件

A. 負荷計算方法と住宅モデル

図 5-4-2 に負荷計算に用いた住宅モデルを示す。延べ床面積 154.44m²である。表 5-4-1 に計算地域、外皮の性能、スケジュールの条件を示す。外皮の熱性能は、省エネルギー基準相当および高断熱の 2 条件である。

負荷計算は、熱負荷計算ソフト Sim/Heat を用いた。

B. 全館空調システムの性能と消費電力

各時刻の暖冷房負荷から消費電力を算出するために用いた空調システムの能力は表 5-2-1 システムⅡの値である。消費量は、住宅事業建築主の判断の基準¹⁾の計算式を用いた。

C. 空調システムの運転条件

空調システムの運転は、以下の 2 条件とする。

- 負荷が 0.5kW 以下で空調機の送風を停止。
- 負荷が 1.0kW 以下で空調機の送風を停止。

空調機の送風を停止しても、24 時間換気の外気導入の送風機は動いており、この送風により熱を搬送する。

表 5-4-1 地域、外皮の性能

地域		東京（拡張アメダス気象データ標準年）
外皮の熱性能	省エネ基準	外皮の熱性能が省エネルギー基準に適合（外皮平均熱貫流率 0.86W/m ² ・K 以下）
	高断熱	外皮平均熱貫流率 0.31W/m ² ・K。表 5-4-2 参照。
	高断熱+ルーバー	上記+窓外付けルーバーによる夏季の日射遮蔽
生活スケジュール	在室、機器発熱のスケジュールは住宅事業建築主の判断の基準 ¹⁾ に準拠する	
空調の方法	全館連続暖冷房とする	
換気	0.5 回/h 相当 温度交換効率 70%	

表 5-4-2 断熱仕様（高断熱仕様）

部位	断熱材	厚さ [mm]	熱貫流率 [W/m ² ・K]
屋根	住宅用ロックウール	450	0.088
外壁	住宅用ロックウール + 押出法ポリスチレンフォーム	140 + 50	0.206
階間	住宅用 RW	90	0.221
1 階床	押出法ポリスチレンフォーム 3 種	90	0.358
土間床（玄関）	押出法ポリスチレンフォーム 3 種	35	0.486
土間床（浴室）	押出法ポリスチレンフォーム 3 種	35	0.486
玄関ドア	木製玄関ドア		1.2
サッシ	樹脂サッシ三層ガラス（Ar）		1.2

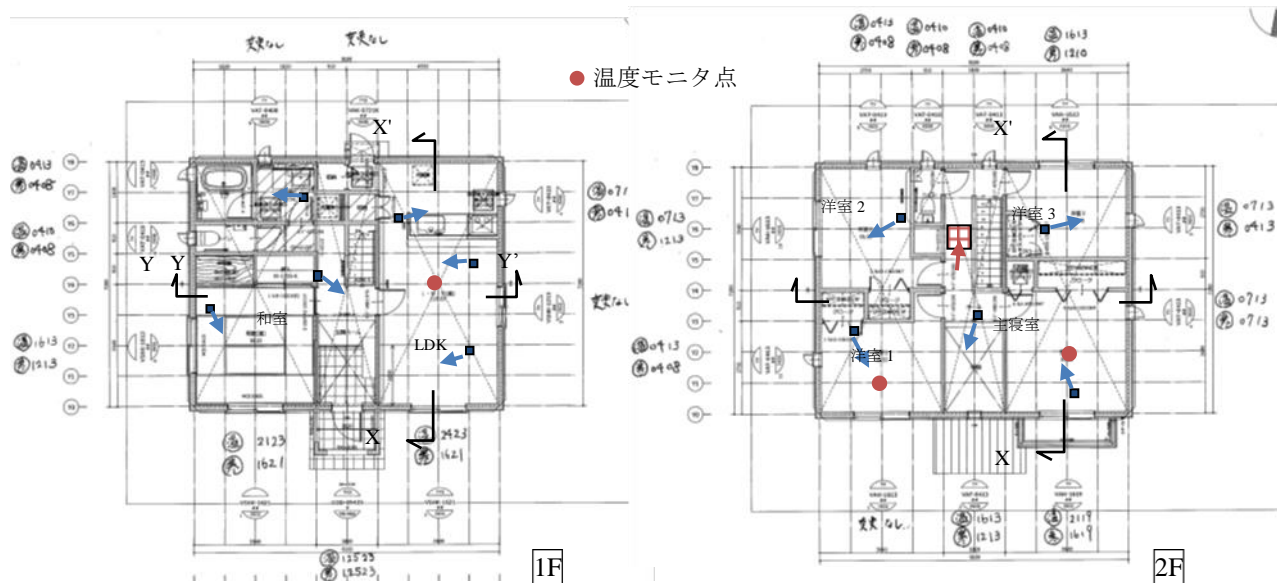


図 5-4-2 住宅モデル

②計算結果

図 5-4-3 に、冷暖房負荷の計算結果を示す。図 5-4-4 に、冷暖房負荷から空調システムのエネルギー消費量を求めた結果を示す。

負荷が 0.5kW 以下または 1.0kW 以下で空調機の送風を止め、換気装置の送風(100W)のみとした場合、高断熱化するほど暖房負荷が小さい時間が長くなるので、暖房にかかるエネルギー消費量は、空調機の送風を止めない場合に比べて 20%程度小さくなる。

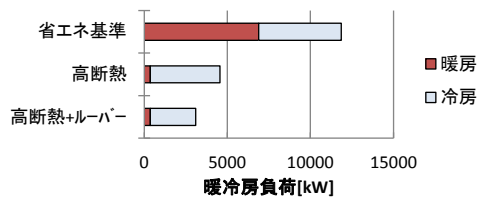


図 5-4-3 冷暖房負荷

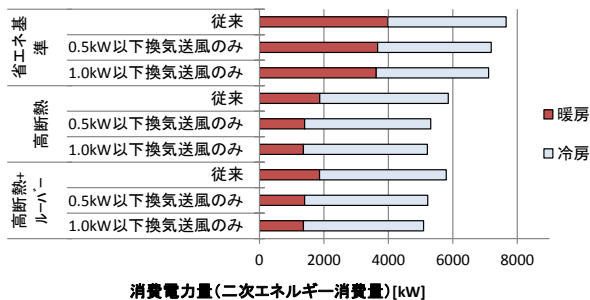


図 5-4-4 低負荷時送風停止あり・なしの消費電力量

3) 温熱環境

①解析条件

住宅モデルは、図 5-4-2 と同じである。断熱仕様は、表 5-4-2 の高断熱仕様と表 5-4-3 の標準仕様の 2 仕様で行った。解析は定常解析で、在室、機器発熱は、住宅事業建築主の判断の基準¹⁾のスケジュールの 21 時の値を用いた。この時間は日射による熱取得がなく、洋室 1 に子供 1 人が在室して内部発熱あり、主寝室は不在で内部発熱がなく、LDK は 3 人が在室し内部発熱が多い時間で、内部発熱のある部屋とならない部屋の温度差が大きくなる時間と考えられる。

表 5-4-4 に、解析のパターンを示す。放熱量(負荷)が 500W と 1000W の 2 パターンである。高断熱であるほど同じ外気温度だと負荷は小さくなるので、断熱 2 仕様で外気温度の設定が異なる。空調の室内の吹出し温度を次式で与えた。

表 5-4-3 断熱仕様(標準仕様)

部位	断熱材	厚さ [mm]	熱貫流率 [W/m ² ·K]
屋根	ビーズ法ポリスチレンフォーム	140	0.307
外壁	住宅用ロックウール	140	0.356
階間	住宅用ロックウール	90	0.221
1階床	ビーズ法ポリスチレンフォーム	80	0.452
土間床(玄関)	断熱なし		1.8
土間床(浴室)	押出法ポリスチレンフォーム 3 種	20	0.721
玄関ドア	木製玄関ドア		2.33
サッシ	アルミ樹脂複合サッシ低放射複層ガラス (Ar)		2.33

表 5-4-4 負荷の計算パターン

		a	b
放熱量(負荷) [W]		500	1000
外気温度	高断熱	5.0	1.0
	標準	11.0	8.5

$$T_S = 0.7 \cdot (T_R - T_O) + T_O + H / (0.279 \cdot 1.205 \cdot V) \quad \dots(5.4.1)$$

T_S : 室内給気温度[°C]、 T_O : 外気温度[°C]

H : 放熱量[°C]、 V : 換気量[m³/h]

0.7: 換気の熱交換効率[-]

0.279: 空気の比熱[W/kgK]

1.205: 空気の密度[kg/m³]

また、それぞれ LDK を除き室内のドアを閉じた”ドア閉”と、LDK と不在居室(和室、洋室 2、主寝室)のドアを開けた”ドア開”の条件で解析している。

解析コードは STAR-CCM+、乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ 乱流モデルである。

②解析結果

図 5-4-5 に標準仕様、図 5-4-6 に高断熱仕様の LDK、洋室 1、主寝室の上下温度を示す。いずれもドア閉では、在室している洋室 1 または LDK と、不在の主寝室では、床上 1.2m の室温に 4°C 以上差がある。ドア開では、室温はすべて 20°C を越え、部屋間の温度差も 3°C 前後となった。つまり、空調システムの効率が低下する 1.0kW 以下で、不在居室のドアやドアのガラリ等を開ければ、空調(室内循環)の送風機を停止して換気の送風だけで空調の熱を搬送しても、設定温度を維持でき、温度むらも問題になるほどではないと考えられる。

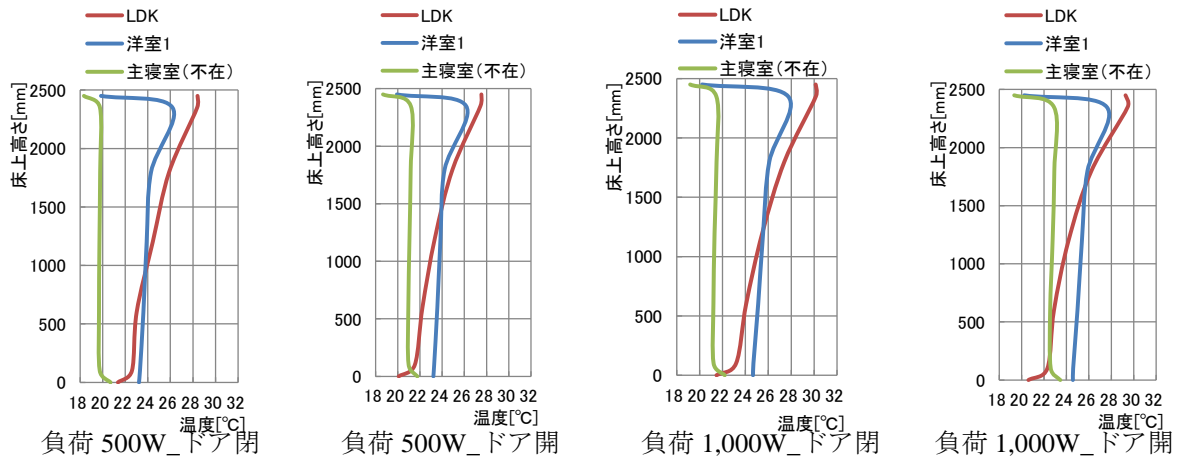


図 5-4-5 標準仕様の上下温度差

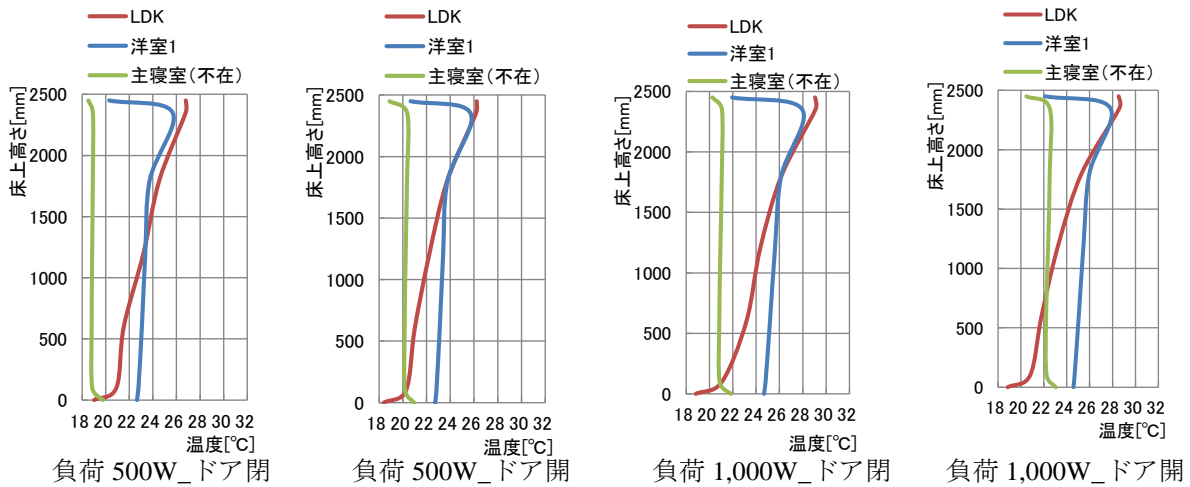


図 5-4-6 高断熱仕様の上下温度差

(2) 過剰換気の改善

1) 概要

第1種の機械換気設備は、熱交換器を使って外気導入負荷を削減できる一方、第3種等と比べて、温度差等によって機械換気に足される隙間換気量は多くなるため、熱交換換気設備の熱交換効率ほどは外気導入負荷が削減されない。より削減効果を大きくするためには隙間を小さくすることが望まれるが、限界があるため、隙間を含めて換気量の増加を抑えることを考える。

2) 制御方法と削減効果の計算方法

住宅の隙間が壁面に均等に分布していると仮定した場合、温度差による住宅の床面積 1m^2 あたりの隙間換気量は、

$$V_N' = 3600 \frac{A}{2g^n} \sqrt{\frac{2g}{\rho}} \cdot \frac{\Delta P_0^{1/2}}{1 + \frac{1}{n}} \quad \dots(5.4.2)$$

同様に、外部風により壁面の半分に正圧、半分に負圧が生じ、その風圧係数差が等しいとすると、外部風による住宅の床面積 1m^2 あたりの隙間換気量は、

$$V_W' = 3600 \frac{A}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{2g}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta C_p \frac{\rho}{2g} V_0^2} \dots(5.4.3)$$

実験住宅のモデルが東京（拡張アメダス気象データ標準年）の気象条件にあるとし、暖房設定温度 20°C 、冷房設定温度 27°C 、設定相対湿度 60% 、風圧係数差を 0.2 と設定する。第1種熱交換換気装置を、設定風量 $V_M = 183 \text{ m}^3/\text{h}$ (0.5 回/h 相当) から温度差によって足される隙間換気量の増加分を差し引いて調整した風量とした場合

$$V_M' = V_M - V_N' \quad \dots(5.4.4)$$

同様に、温度差と外部風によって増加する換気量の大きい方を差し引いて調整した風量

$$V_M'' = V_M - \text{MAX}(V_N', V_W') \quad \dots(5.4.5)$$

とした場合の住宅の機械及び隙間換気量を室内の風

量収支を解く換気回路網で計算する。ただし、機械換気量の調整できる最小値は $0.2 \times V_M$ (設定風量の2割) とする。

換気回路網で計算した換気量から、外気導入負荷を以下により算出する。

$$L_v = 0.35 \cdot S_f \cdot \sum [(1 - \eta_t) \cdot (V_M \text{ or } V_M' \text{ or } V_M'') + V_N] \cdot \Delta T + 1.2 \cdot S_f \cdot \sum [(1 - \eta_x) \cdot V_M' + V_N] \Delta X \dots (5.4.7)$$

- ΔP_0 : 床面高さの内外気圧差[Pa]
- ρ : 空気密度[kg/m³]
- g : 重力加速度≒9.8[kg/s²]
- A : 隙間相当面積 (単位床面積あたりの有効開口面積) [m²/m²]
- n : 建物外皮の隙間特性値≒1.67
- V_N : 単位床面積あたりの内外温度差による隙間換気量[(m³/h)/m²]
- V_W : 単位床面積あたりの外部風による隙間換気量[(m³/h)/m²]
- V_M : 単位床面積あたりの設計機械換気量[(m³/h)/m²]
- V_M' : 調整した単位床面積あたりの設定機械換気量[(m³/h)/m²]
- ΔC_p : 壁面風圧係数差[-]
- S_f : 床面積[m²]
- ΔT : 内外温度差[°C]
- ΔX : 内外絶対湿度差[g/kg]
- η_t : 温度交換効率[-]
- η_x : 湿度交換効率[-]

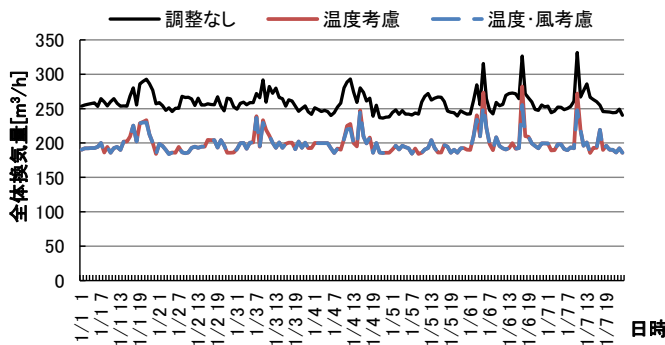


図 5-4-7 冬季のある期間の全体換気量計算結果

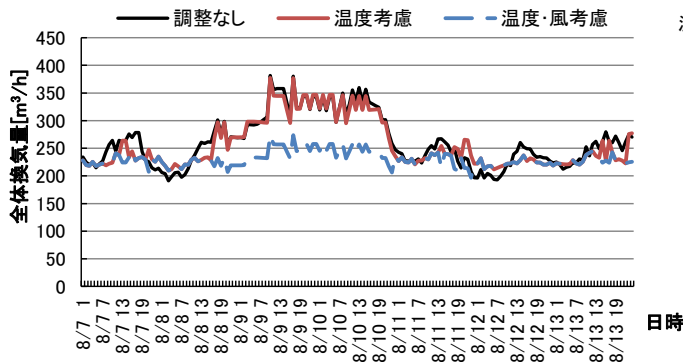


図 5-4-8 夏季のある期間の全体換気量計算結果

3) 換気量と負荷計算結果

図 5-4-7、図 5-4-8 に夏と冬のある期間の住宅の全体換気量計算結果を示す。冬は内外温度差が大きいため、温度差による隙間換気量の増加分を考慮することで、設定換気量よりも増加するのを抑えられていることがわかる。夏季は、風を考慮することで風の強い時の増加を抑えられていることがわかる。

図 5-4-9 に、熱交換器の温度交換効率 80%、湿度交換効率 60% としたときの年間の外気導入負荷の推定値を示す。図 5-4-10 に、熱交換器の温度交換効率 65%、湿度交換効率 40% としたときの年間の外気導入負荷の推定値を示す。熱交換換気装置の交換効率が高いほど、温度や外部風を考慮して機械換気量を調整することによる削減効果は小さく、外気導入負荷の削減率で約 10% 程度である。住宅全体の暖冷房負荷に対しては、外気導入負荷の占める割合が 3~4 割とすると、暖冷房負荷の削減率は 3~4% 程度である。風量を調整することによる外気導入負荷の削減量は 250~400kW であるので、空調の COP を 3 とした場合、1 次エネルギーの削減量は年間 80~130kW である。風量の調整にかかる電力消費量 (一次) がそれより多くなると削減効果はほとんどなくなるため、それよりも小さいことが必要である。

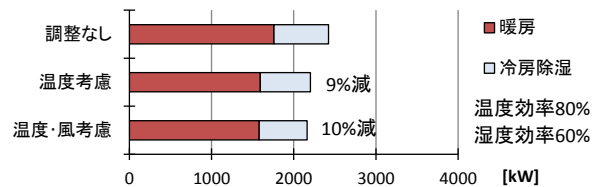


図 5-4-9 年間の換気負荷 (温度効率 80%)

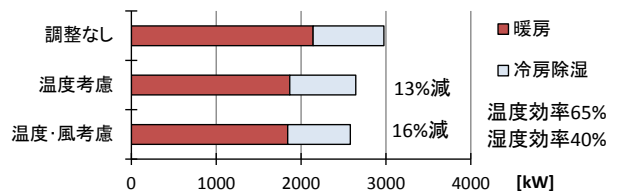


図 5-4-10 年間の換気負荷 (温度効率 65%)

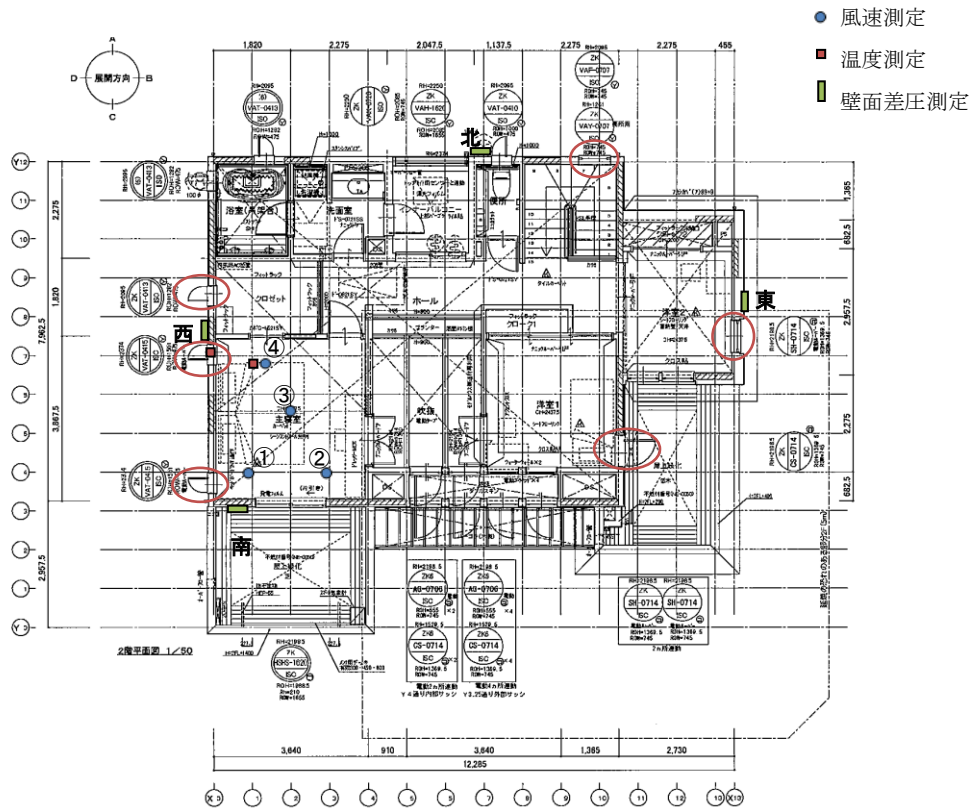


図 5-5-1 測定点

5-5. 窓開け制御に関する検討

(1) 窓開け時の室内風速測定

1) 測定概要

実験住宅において、外部風速、壁面差圧と室内風速（床上高さ 1.1m）を測定した。図 5-5-1 に測定点を示す。壁面差圧は、西を基準に西面と他 3 方位（北、東、南）の差である。記録は 2s 間隔とした。

2013 年 5 月に測定器を設置し、2013 年 5～7 月の数日、図中○で囲んだ窓を開けた。

2) 測定結果

図 5-5-2 に窓開け時間を含む中間期、夏季の温度、図 5-5-3 に同期間の室内風速、図 5-5-4 に壁面差圧、図 5-5-5 に風向風速の 1 時間平均値の変化を示す。5 月 24 日から 25 日にかけては、窓は開けていない。しかし、東の風が 4m/s 程度あったため、東面に対する差圧は西面で -8Pa 程度となったが、他の方位ではほぼ 0 であった。このとき、仮に東と西面の開口部を開ければ室内を風が通ったと考えられるが、東西面以外の差圧を測定しても、そうした状況を把握できない。

また、5 月 27 日の窓開け時は、外気温度の方が低いため、窓際と室内の温度は下がった。7 月 13 日の

窓開け時は、外気温度が 30℃を超えているため、窓を開けても 30℃より下がらず、その後空調を入れてから下がり始めた。室内風速は、窓を閉じているときは 0.05m/s 以下、空調稼働時は空調の吹出し近くで 0.05m/s～0.1m/s、それ以外では 0.03～0.05m/s であったが、窓開けにより 0.15m/s 程度まで上昇し、窓開けによる風速の上昇を確認できた。

図 5-5-6 に、窓開け時の 10 分平均の壁面差圧と室内風速を示す。室内風速は、風速を測定した部屋が面する西と南の壁面差圧には概ね比例するが、その他の方位の差圧には比例していない。したがって、この測定室では、西-南の壁面差圧の測定から、窓開けによって室内風速をあげて冷涼感が得られるかを判断できる可能性があるが、その他の 2 面の差圧では判断できず、また、他の部屋についても判断できない。差圧センサーで判断するためには、全方位の差圧を測定するか、もしくは窓の設置位置により通風面（風上と風下）を特定して風上面と風下面の差圧のみを測定する方法等が考えられる。なお、壁面差圧測定のための孔は、目詰まりを起こすことも懸念され、壁面差圧を測定して窓開けの判断指標にするためには、メンテナンスも考慮しなければなら

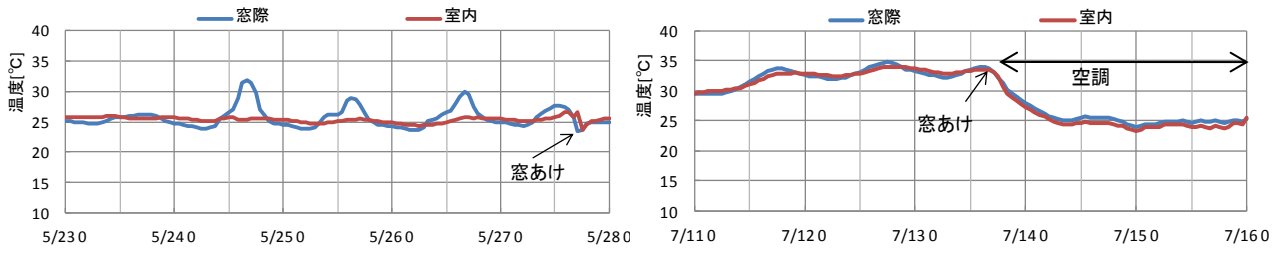


図 5-5-2 窓開け時含む期間の測定室温度

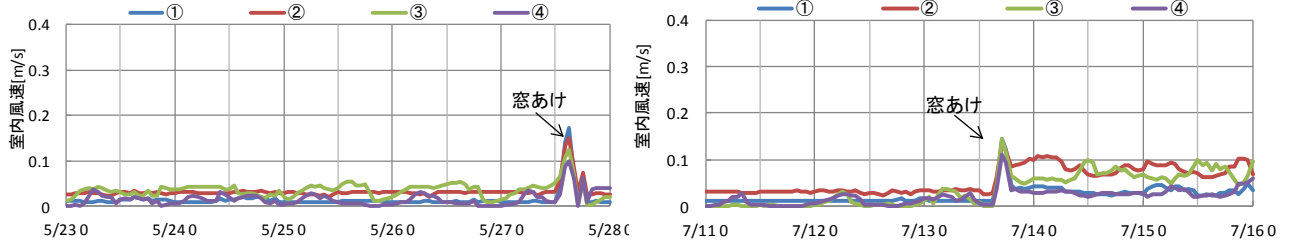


図 5-5-3 窓開け時含む期間の室内風速

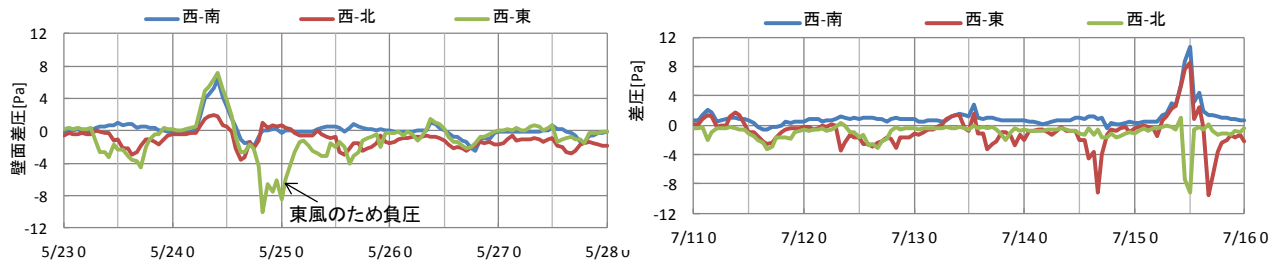


図 5-5-4 窓開け時含む期間の壁面差圧

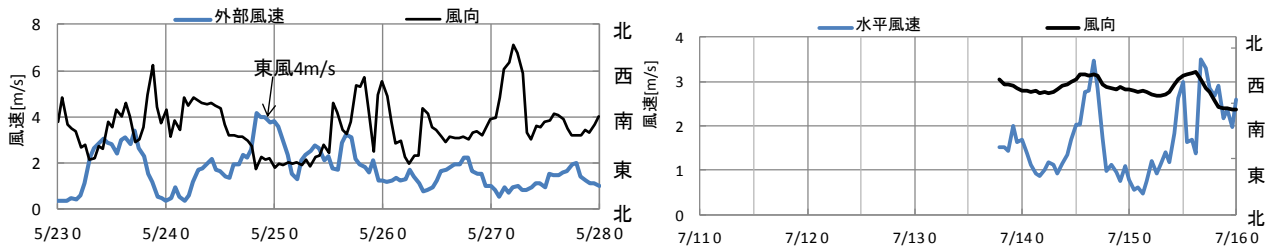


図 5-5-5 窓開け時含む期間の外部風速、風向

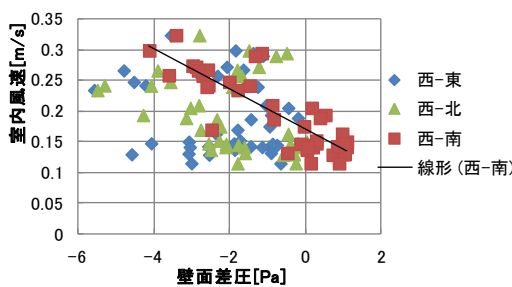


図 5-5-6 壁面差圧と風速

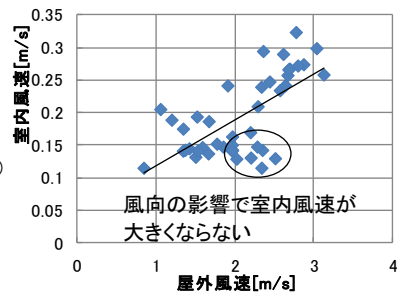


図 5-5-7 外部風速と室内風速

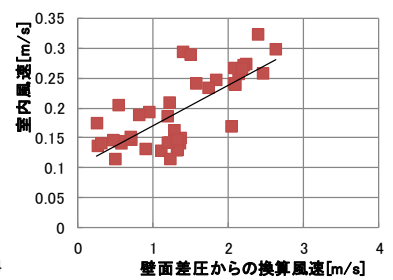


図 5-5-8 壁面差圧からの換算風速と室内風速

ない。

図 5-5-7 に、同じく窓開け時の 10 分平均の屋外風速と室内風速の関係を示す。室内風速は外部風速の 1/10 程度で比例しているようであるが、一部比例

していない点が見られる。これは、屋外風速が速くても、風向によって測定室には風が流れにくい条件だったと考えられる。図 5-5-8 に、図 5-5-6 の西-南壁面差圧から、次式で外部風速を推定し、推定の外

部風速と室内の風速の関係にして示す。

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta P} \quad \dots(5.5.1)$$

V : 外部風速[m/s]

ΔP : 壁面差圧[Pa]

ρ : 空気密度 ≈ 1.2 [kg/m³]

図 5-5-7 と近い関係が得られており、壁面差圧から推定した風速に対しても、室内風速は 1/10 程度である。

いずれにしても、風速だけでなく風向まで考慮して判断するのは、センサーが高度となり難しい。風速を考慮して窓開けを判断するのであれば、主風向に窓を設ける、あるいは各方位に窓を設けて室内を風が抜けやすくする等の工夫をした上で、外部風速の測定値、または壁面差圧の測定から推定した外部風速から、室内風速を予測する方が実用的である。室内風速は前述の分析から外部風速の 1/10 程度と推測されるが、1 住宅における検証値のため今後もデータの蓄積が必要である。

(2) 窓開けによる冷房負荷削減効果

1) 計算概要

住宅の熱負荷計算プログラム Sim/Heat による、拡張アメダス気象データ東京標準年、全館連続冷房、室温 27°C、室内相対湿度 60% 設定での時間別負荷の結果を利用する。住宅モデルおよび生活スケジュールは、住宅事業建築主の判断の基準¹⁾のものを用いた。断熱性能は概ね表 5-4-3 に示すとおりである。

快適性指標 PMV が、以下の条件となる時間帯は窓開けをして冷房負荷が 0 になるとし、年間の冷房負荷を比較する。

A. 外気の温湿度のみで窓開けを判断

室内設定環境の PMV が、外気温度、外気相対湿度、風速 0.1m/s、着衣量 0.6clo、作業量 1.2Met の PMV より大きい場合。

B. 外気の温湿度と風速で窓開けを判断

室内設定環境の PMV が、外気温度、外気相対湿度、外部風速の 1/10m/s、着衣量 0.6clo、作業量 1.2Met の PMV よりも大きい場合。

室内設定環境の PMV は、温度 27°C、相対湿度 60%、風速 0.1m/s、着衣量 0.6clo、作業量 1.2Met の条件とする。

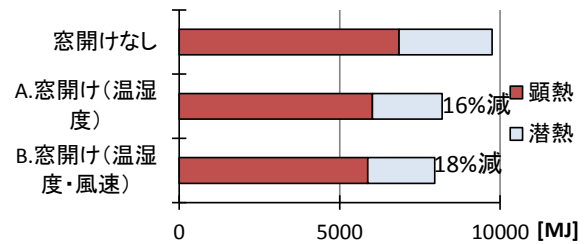


図 5-5-9 窓開け判定による冷房負荷比較

2) 削減効果

図 5-5-9 に、冷房負荷の比較を示す。窓開けの判断 A では 16%削減、B では 18%削減となった。戸建住宅では風速の平均が 2m/s 前後と考えると、窓を開けた時の室内風速は 0.2m/s 前後であり、風速を考慮しないときとは PMV に大きな差が出なかったと考えられる。センサーの維持管理を考慮すると、削減効果はわずかに減るが、窓開けの判定は外気の温湿度で行う方が簡便と考える。ただし、台風のときなどの窓を開けてはいけないときの判断は、別途行う必要がある。

5-6. 本章のまとめ

実験住宅に導入した空調システムの性能検証を行った結果、以下の知見を得た。

- ・冬期に換気回数 0.1 回/h 相当の隙間換気量があり、合計で 0.65 回/h 程度の換気量となっていた。また、第 1 種の給気と排気の風量に大きく差があり、その差の風量は熱回収ができていなかった。
- ・冷暖房負荷が 1.0kW 以下になると、負荷に COP が比例し、負荷が小さいほど COP が低くなる。
- ・ダクト系の圧力損失が大きいこと、フィルターの目詰まり等の理由により風量が標準より小さくなると、ヒートポンプの効率が悪い状態で動いている場合があると考えられる。
- ・冷房は 2 階天井吹き出し、暖房は 1 階床吹き出しのシステム I では、閉鎖的（ドア等を閉じる）な状態では 1 階と 2 階の温度差が生じたため、開放的にする必要はある。各室吹き出しのシステム II では、各室の負荷に応じた風量を分配されないと、部屋間に温度差が生じたが、風量割合を調整すると解消した。

以上の結果から、改善システムを提案し、削減効果を試算した。

- ・負荷が 1.0kW 以下のときに空調機の送風を止め全

般換気のみを送風で空調をすると、暖房エネルギーは10～20%程度削減できる。

- ・外気温度が低いときに隙間の換気量を考慮して機械換気量を制御すると、10%程度の換気負荷の削減となる。しかし、全体の冷暖房負荷に対して3～4%程度であるので、採用は風量制御に係るコストや消費電力の増加を踏まえて検討する必要がある。

また、空調を停止して窓を開けた方が快適かの判断指標を検討するために、実験住宅において、窓開け時の外部および室内の風速、屋外の壁面差圧を測定した。その結果、室内の風速は、外部風速測定値または壁面差圧の測定値から推定した外部風速の約1/10程度となった。

外部の温湿度のみで窓開けにより快適になると判断した場合と、風速による気流感も考慮して判断した場合の、窓開けによる冷房負荷削減効果を試算した結果、前者が16%、後者が18%の冷房負荷削減となった。

<参考文献>

- 1) 住宅省エネ性能検討委員会：住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説、<http://ees.ibec.or.jp/documents/index.php>、(一財)建築環境・省エネルギー機構

6章 照明システムの検討

6-1. 本章の目的

本章では、宅内の全人工照明のLED化を基本方針としつつ、日常の省エネルギーおよびライフライン切断時への対応の観点から、制御手法の検討を行う。

6-2. 実験住宅における入居実験

実験住宅に一般人2名を居住させ、照明用電力消費を実測した。(実験住宅、及び入居実験の概要は補足参照。)

図6-1に示すとおり、照明用電力消費量は季節により異なる。在宅状況や日照時間が影響したと考えられる。

図6-2に示すとおり、電力消費は毎時データでゼロになる時間帯が無い。

表6-1に電力消費量の平均値を示す。表中の「常時使用電力」は電力消費の変動の最低値を便宜的に称したもので、実測結果から勘案して算出している。

1階と2階には人感センサー7台があり、計1.4kW程度が常時使用電力に含まれる。

また、1階と外灯の常時使用電力27Wには、調光を行うための制御盤2台の計24.1Wが含まれる。

さらに、少なくとも非居室と1階・外灯では制御盤と人感センサー以外の常時使用電力があり、夜間と日中の不在時も含めて照明が点灯されていた可能性がある。表6-2に照明設備容量を示す。仮に常時点灯されていた照明器具があったとしても、設備容量と消費電力との比較から、一部の器具と考えられる。

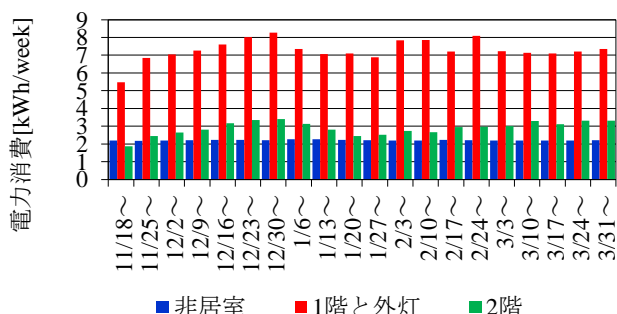


図6-1 照明用電力消費の実測値 (1週間積算値)

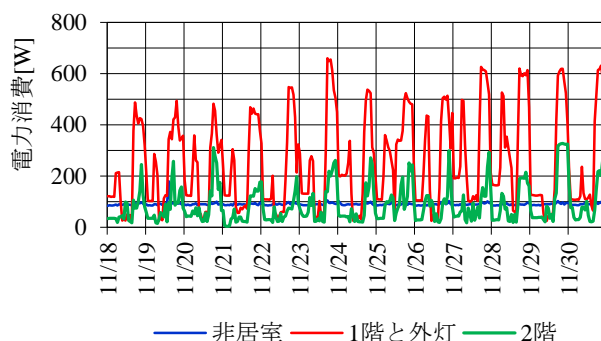


図6-2 照明用電力消費の実測値 (1時間積算値)

表6-1 電力消費量

(入居期間2013/10/31～2014/4/15の平均値)

	非居室	1階・外灯	2階照明	計
		照明器具・制御盤・人感センサー	器具・人感センサー	
常時使用電力[W]	86	27	20	133
日積算値				
常時使用電力[kWh]	2.1	0.6	0.5	3.2
全照明用電力[KW]	2.2	7.3	2.9	12.4
常時使用電力の比率[%]	93.3	8.9	16.6	25.7

表6-2 実験住宅の照明設備容量[W]

(制御盤、人感センサーを除く)

非居室	1F居室	2F居室	外灯
391	587	315	64

6-3. 照明の制御手法の検討

(1) 人感センサーについて

実験住宅に採用した人感センサーの消費電力は0.2W/台であったが、現状調査の結果0.2～1W程度の製品が主と推測された。非居室のLEDランプは現状では6～8W程度が多い。仮にランプの消費電力を7Wと想定すると、毎日0.7～2.7時間程度以上の消し忘れが無ければ省エネ効果は無い。1灯につき1台の人感センサーを設置する場合には電力消費が逆に増加する可能性が無いとは言えない。

また、停電時については、安全性を含む居住環境確保のため照明は必要不可欠であるものの、太陽光発電と蓄電池により電力を供給するため重要性の低い機器の電力を極力削減する必要がある(8章参照)。

以上を踏まえ、非居室等の人感センサーについては何らかの導入条件を設けるべきと考えられ、具体的には消費電力の小さなセンサーを選択し、その上で、複数のランプに1台のセンサーを設置して省エ

ネ効果を期待できる場合、もしくは防犯等の理由で必要な場合等に限定することが考えられる。

(2) 制御盤について

前述のとおり調光用制御盤の消費電力はランプと比して小さいとはいえない。住宅省エネルギー基準では調光も評価対象とされているが、日常の省エネと停電時への対応から、制御盤の電力を最小化する必要がある。一般に制御盤は回路数が多い機種の方が消費電力も多い傾向にあることから、調光を行う照明器具は居間や子供部屋等の点灯時間の長い器具のみに絞り込み、回路数を少なくする工夫が必要といえる。

(3) 点灯スイッチについて

実験住宅では照明器具は基本的に LED としたところ、LDK で 44 灯、外構を含む住宅全体で 120 灯と、灯数が多くなった。そのため、1 つのスイッチで複数の器具が点灯するシステムが必要となった。その結果、実験住宅では停電時も含めて、照明を点灯すると、間接照明等の必要性の低い器具も点灯せざるを得ないシステムとなった。

こうした課題への対応方法の 1 つとして、図 6-3 に示すスイッチが考えられる。スイッチ①は日常において使用するもので、利便性を考慮して間接照明等も同時に点灯する。スイッチ②は停電時等において使用するもので、必要性の高い器具のみ点灯する。また、調光機能がある場合には、スイッチ①②のそれぞれで出力も適宜設定する。照明器具には複数の配線が必要となるため、コスト増がデメリットとなるが、スイッチ②は日常における利用も可能で省エネに寄与する可能性もある。

6-4. 本章のまとめ

照明の制御手法に関して、以下のとおり入居実験による知見を得た。

- ・ 人感センサーについては、電力消費増加の可能性が示された。そのため、複数のランプに 1 台のセンサーを設置して省エネ効果を期待できる場合や、防犯等の目的で必要な場合に採用するなど、採用条件を設けることが必要である。
- ・ 停電時に必要最低限の照明のみを点灯可能とするための工夫が望まれる。具体的にはスイッチに日常用と停電時用（節約モード）の 2 種類を設ける手法が考えられる。
- ・ 調光用の制御盤の電力消費が、ランプと比して小さくないことがわかった。そのため、調光は居間や子供部屋等の点灯時間の長い器具のみで実施し、回路数をなるべく少なくすべきである。

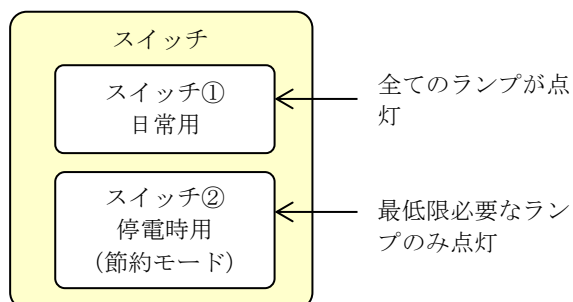


図 6-3 スwitchのイメージ

7章 太陽熱給湯システムの実証実験

7-1. 本章の目的

給湯に要するエネルギーは、住宅の全運用エネルギーの約 1/3 を占めている（全国平均。北海道の場合は約 1/4）。日射を効率よく利用することのできる太陽熱給湯システムは、省エネルギーな住宅を実現する有用な技術の一つである。しかしながら、自然循環型の太陽熱温水器は、ガス給湯器と接続できない、残湯量がわからないなど使い勝手に難があり、また、強制循環型のソーラーシステムは蓄熱槽が大きくなり設置場所に制限があること、機器が高価であること、積雪地では集熱器の雪処理が課題になることから、いずれも普及が進んでいないのが現状である。

そこで、平成 20 年度以降、環境省の地球温暖化対策技術開発・実証研究事業（技術開発代表者：三井ホーム（株）、共同研究者：北方建築総合研究所、東京大学、近畿大学、矢崎エナジーシステム（株）、（株）EP&B）により、新たなソーラーシステムの技術開発を実施してきた^{1)~3)}。

本章では、平成 24 年度に開発を行い、北総研敷地内の実験棟に設置した横置き蓄熱槽を用いたソーラーシステムについて、実住宅の給湯負荷を模擬して実施した実験結果を報告する。

7-2. 横置き蓄熱槽を用いたソーラーシステムの概要

図 7-1 に従来型蓄熱槽と横置き蓄熱槽の概要を示す。横置き蓄熱槽の開発は、低価格化と省スペース化を目的としている。まず、これまで縦型の円筒形缶体だった蓄熱槽（貯湯タンク）を横置きとすることにより、低価格化を目指した。また、従来のタンクは水道の圧力を受けるため、ステンレスなど金属製の円筒形状にする必要があったが、横置き蓄熱槽では、熱交換器を介して給湯を行うことにより、タンクに水道の圧力がかからなくなり、コストの安い樹脂一体成型のタンクが利用できるようになる。さらに、長方形断面にもできるため、貯湯量約 200L で最大幅が 390mm となり、隣地との離れが 500mm の敷地にも設置可能になる（ただし、寒冷地の場合は通常室内に設置される）。縦置きの場合は転倒防止のため、基礎工事が必要であるが、横置きは基礎工事が不要のため設置工事にかかる日数が 2 日から 1 日に短縮され、工事費の削減が期待できる。

7-3. 実験の方法

北総研敷地内の実験住宅に、開発したソーラーシステムを設置し、4 人家族を想定した給湯負荷を与えての実棟実験を行った。各部位の仕様、設定を表 7-1 に、計測システムの概要を図 7-2 に、計測内容を表 7-2 に示す。また実験棟の外観、内観を写真 7-1、写真 7-2 に示す。給湯負荷は当初修正 M1 モードを採用していたが、日単位での比較を容易にするため、途中から日給湯負荷を固定とした。給湯負荷を固定とした際の給湯スケジュールを表 7-3 に示す。

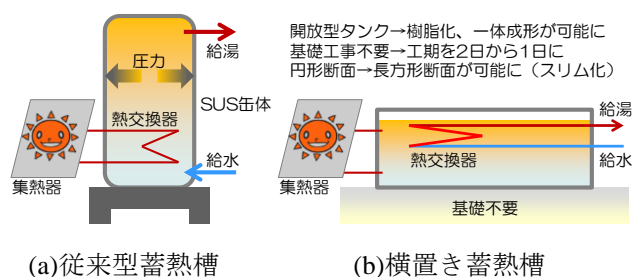


図 7-1 横置き蓄熱槽の開発

表 7-1 旭川実験棟の概要

項目	仕様・設定
集熱器	矢崎エネルギーシステム製家庭用集熱器 2m ² ×2 枚
集熱器設置角	垂直
方位	真南
蓄熱槽	試作横置き貯湯ユニット、容量 190L、屋内設置
熱媒流量	約 2L/min
室内温度設定	2012年11月15日～：なりゆき 2012年12月15日～：20℃（エアコンにより制御）
給湯負荷	2012年11月15日～：修正 M1 モード（日平均使用量 441L） 2012年12月17日～：日使用量 570L 固定 2013年2月1日～：日使用量 450L 固定 2013年2月25日～：修正 M1 モード（日平均使用量 441L） 2013年3月28日～：日使用量 450L 固定、2014年1月29日終了
補助熱源	潜熱回収型ガス給湯器
給湯温度設定	40℃

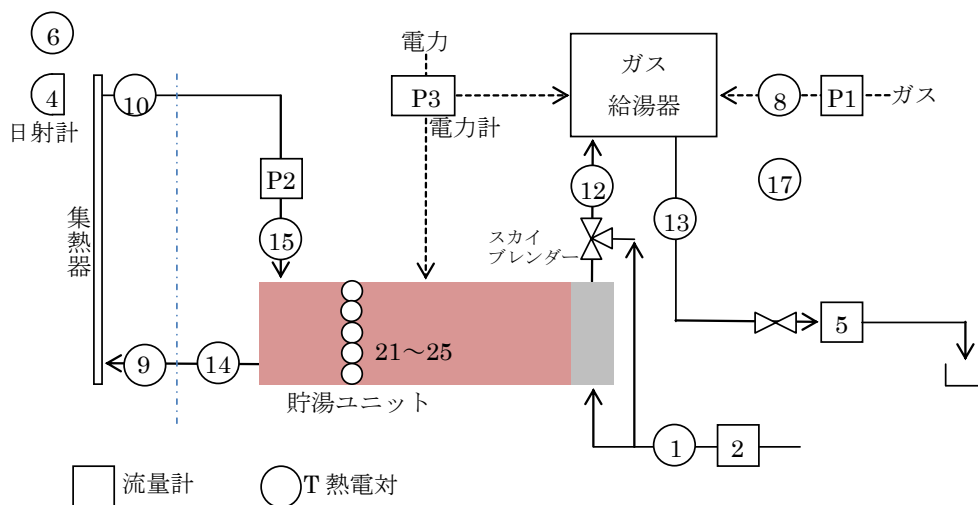


図 7-2 計測システム概要

表 7-2 計測項目一覧

ch	測定項目	計測Number	記録単位	測定レンジ	出力	入力種別 or レンジ	スケール設定	
							a	b
1	上水温度	C-TS-7	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
3	流量(上水供給)[横置き]	R-FM-3	L/min	0-40 L/min	4-20mA	1-5V	10	-10
4	垂直面全天日射[横置き]	R-SM-S-1	W/m ²		143.3mV/(W·m ²)	1V	6977	0
5	流量(負荷制御)[横置き]	R-FM-5	L/min	0-30 L/min	4-20mA	1-5V	7.5	-7.5
6	外気温	C-TC-1-1	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
7	LPG圧力[横置き]	R-PS-G	kPa	0-10kPa	1-5V	1-5V	5	-5
8	LPG温度[横置き]	R-TS-G	℃	-20~60℃	1-5V	1-5V	20	-40
9	集熱器入口[横置き]	R-TS-1	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
10	集熱器出口[横置き]	R-TS-2	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
11	外気湿度	C-H-1-1	%	5-95%	0-1V	電圧 1/100	CH(11)*100	
12	補助熱源入口[横置き]	R-TS-9	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
13	給湯温度[横置き]	R-TS-10	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
14	集熱器行き管[横置き]	R-TS-11	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
15	集熱器還り管[横置き]	R-TS-12	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
17	室温	C-TC-7-1	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
21	40L レベル温度[横置き]	R-TC-040L	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
22	80L レベル温度[横置き]	R-TC-080L	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
23	120L レベル温度[横置き]	R-TC-120L	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
24	160L レベル温度[横置き]	R-TC-160L	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
25	200L レベル温度[横置き]	R-TC-200L	℃	-200~350℃	T	100℃Cf.s.	-	-
28	室内湿度	C-H-2-1	%	5-95%	0-1V	1V	100	
29	大気圧	C-AP-1-1	hPa			10V	60	800
P1	LPG流量[横置き]	R-FM-G	L/P	0-100L/min	L/P	積算(加算)	0.1	0
P2	流量(集熱1次側)[横置き]	R-FM-6	L/min	1.5-20L/min	L/P	積算(瞬時)	0.2307	0
P3	電力[横置き]	R-EM	Wh/P	0-1500W	Wh/P	積算(加算)	1	0



写真 7-1 実験棟外観

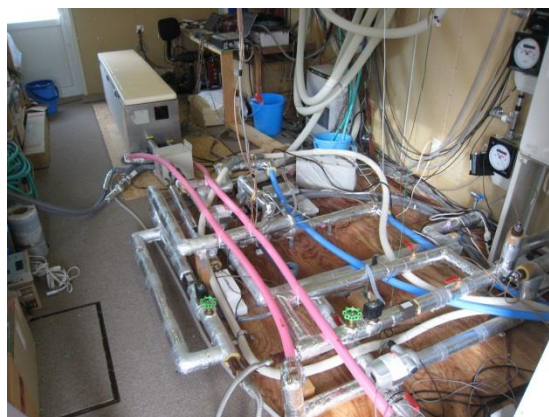


写真 7-2 実施棟内部

表 7-3 日使用量を固定とした際の給湯スケジュール

出湯開始時刻	581L/日の場合の出湯量[L]	450L/日の場合の出湯量[L]
6時 30分	3.9	3.0
6時 35分	3.9	3.0
7時 20分	13.0	10.0
7時 25分	3.9	3.0
7時 30分	3.9	3.0
8時 25分	3.9	3.0
9時 30分	3.9	3.0
10時 15分	3.9	3.0
12時 45分	6.5	5.0
12時 50分	13.0	10.0
13時 45分	3.9	3.0
16時 0分	3.9	3.0
17時 15分	3.9	3.0
18時 0分	3.9	3.0
18時 15分	3.9	3.0
19時 15分	3.9	3.0
19時 20分	3.9	3.0
19時 25分	3.9	3.0
20時 15分	19.5	15.0
20時 20分	19.5	15.0
20時 25分	19.5	15.0
20時 30分	19.5	15.0
20時 35分	19.5	15.0
20時 45分	195.1	150.0
21時 15分	26.0	20.0
21時 20分	3.9	3.0
21時 25分	32.5	25.0
21時 30分	32.5	25.0
21時 45分	3.9	3.0
22時 0分	13.0	10.0
22時 5分	13.0	10.0
22時 15分	3.9	3.0
22時 30分	32.5	25.0
22時 35分	32.5	25.0
23時 0分	3.9	3.0
23時 5分	0.0	3.0
計	581.2	450

7-4. 実験結果

(1) 日別集計

実測を行った全期間の日別集計値を図 7-3～図 7-9 に示す。年末年始など、計測を休止した日は、一部データが欠落している。

給湯全負荷や補助熱源入口熱量は、出入り口の水溫と流量計測により算出している。図 7-5 で計算に用いている機器効率 0.76 は、水溫と流量計測から算出した補助熱源の供給熱量と、ガス使用量の実測値を用い、ガスの単位熱量を 105MJ/m³ として算出した平均値である。図 7-5、図 7-6 は、給湯負荷が異なる日があるので、給湯使用量を日 450L 一定として補正したグラフが図 7-7、図 7-8 である。図 7-8 には給湯負荷の太陽熱分担率も示しているが、冬季は日射量が少ないほか、上水温度が低くなるため、同じ給湯量でも給湯負荷が大きくなるため、太陽熱分担率は小さくなる傾向がある。図 7-9 には、集熱器が受ける日射量に対する、蓄熱槽出湯熱量の割合を示している。冬季は集熱器における熱損失が大きいためやや数字が下がる傾向があるが、年間を通じ 40%程度で推移している。

(2) 旬別集計

図 7-10～図 7-13 は旬別の集計値である。図 7-10 の 5 寸勾配と垂直面の日射量の比較を見ると、3 月から 10 月で垂直面の日射量が少なくなることがわかる。一方、5 寸勾配で集熱器を設置する場合は、12 月から 3 月まで、積雪の影響により、まったく集熱できない期間が続く²⁾。垂直設置の場合は、積雪による集熱の阻害はほぼ起こらないことを確認している。

(3) 年平均

450L 補正後の給湯全負荷の年平均値は 56.0MJ/日、垂直面日射量は 33.6 MJ/日、タンク出湯熱量 13.6 MJ/日であった。また、集熱器が受けた日射量に対するタンク出湯熱量の割合は 40.5%、負荷分担率(タンク出湯熱量/給湯全負荷)は 24.3%であった。電力には熱媒循環ポンプのほか補助熱源が消費する電力を含んでおり、一次エネルギー換算値は 4.5MJ/日であった。なお、熱媒の循環運転を行っている場合に限って、消費電力の一次エネルギー換算値を集計すると、1.4MJ/日であり、集熱量と比較して十分

に小さい値だといえる。

(4) $\Delta \theta / I$ に関する分析

集熱器の瞬時集熱効率 η は、次の 1 次式で近似される。

$$\eta = (\tau \alpha)_{t,e} - U_l \frac{\Delta \theta}{I}$$

ここに、

τ	: ガラスの日射透過率
α	: 集熱板の日射吸収率
$(\tau \alpha)_{t,e}$	: 積 $\tau \alpha$ の有効値
U_l	: 集熱器の熱損失係数[W/(m ² K)]
$\Delta \theta$	: 集熱器出入口平均温度－外気温度[K]
I	: 集熱面での全天日射量[W/m ²]

瞬時集熱効率に大きな影響を及ぼす $\Delta \theta / I$ について、出現頻度の相対度数と、対応する集熱量の割合を図 7-14、図 7-15 に示す。

季節によらず、 $\Delta \theta / I$ は 0.03～0.04 に出現頻度のピークがあるとする既往研究⁴⁾の報告と異なり、本システムでは、 $\Delta \theta / I$ の出現頻度に季節による差があり、夏季は $\Delta \theta / I$ が小さく、冬季は大きくなる傾向がある。

この違いを分析するため、図 7-16、図 7-17 に、本システムと従来システムの 7 月快晴日における I 、 $\Delta \theta$ 、 $\Delta \theta / I$ の経時変化を示す。従来システムは、集熱器: 6m²、5 寸勾配、南面設置、蓄熱槽: 300L、熱媒流量約 5L/min としている。

夏季は 5 寸勾配に比べて垂直面の日射量が少なく $\Delta \theta$ が小さいこと、本システムの横置き蓄熱槽では、蓄熱槽底部の不凍液を直接集熱器に送るため集熱器入口の熱媒温度が上がりにくいことによって、夏季は $\Delta \theta / I$ が従来システムに比べて小さく推移していると考えられる。

(5) 実測結果の例

図 7-18、図 7-19 に、代表日として 2 日間の実測結果の例を示す。日平均外気温が -14.1 の玄関日においても問題なく集熱はできている。ただし、冬季は太陽高度が低いいため、周囲の物体による影響を受けやすく、10 時前後には建物前面の樹木の影響を受けている。

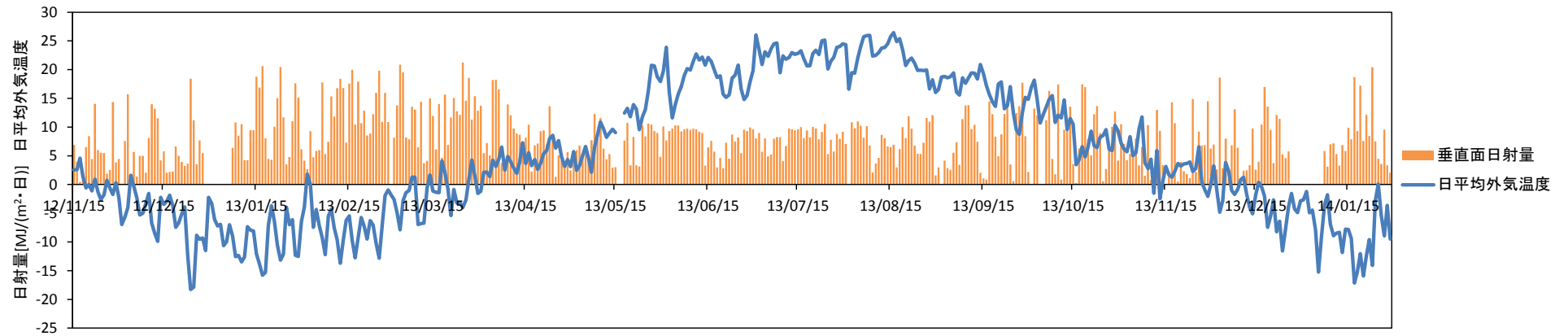
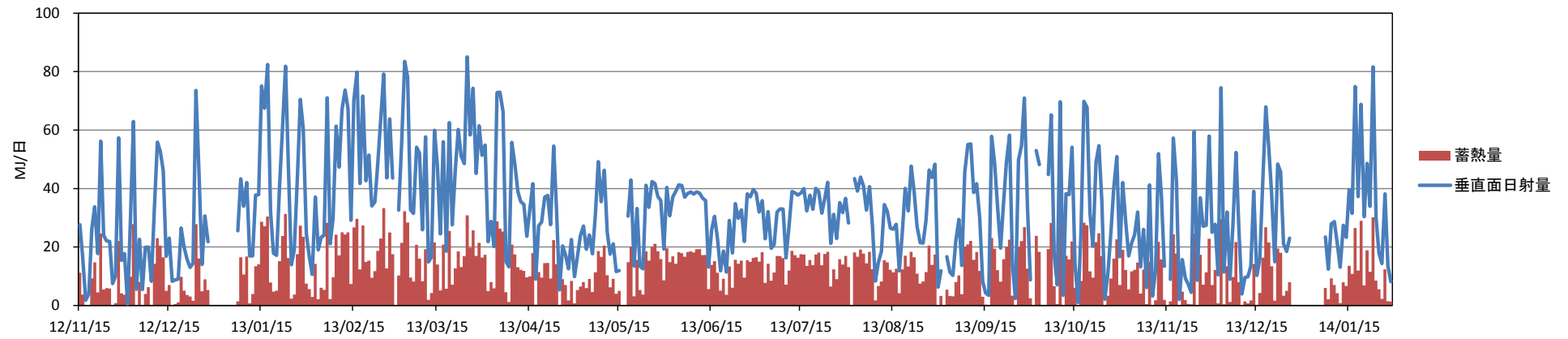
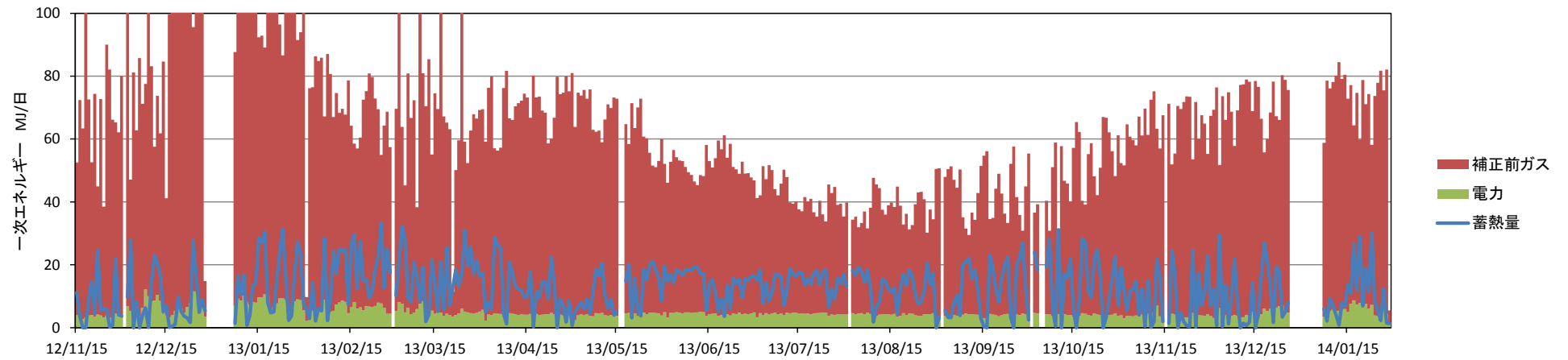


図 7-3 日積算日射量(垂直面)と日平均外気温



$$\text{蓄熱量} = \text{比熱} \times \text{流量} \times \text{タンク 出入口温度差}$$

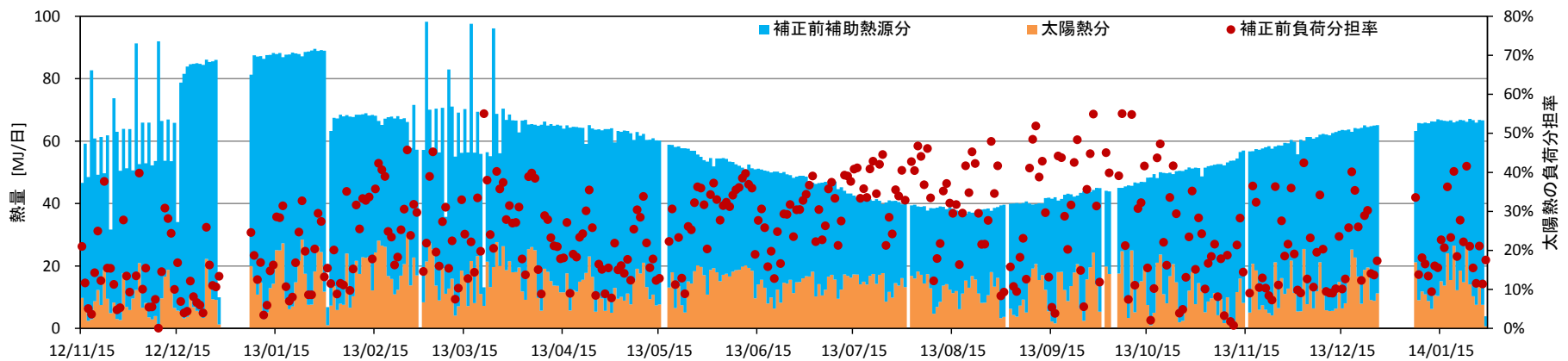
図 7-4 日積算日射量(垂直面)と日積算蓄熱量



$$\text{ガス} = (\text{給湯全負荷} - \text{補助熱源入口熱量}) / \text{機器効率}(0.76)$$

$$\text{電力} = \text{電力計実測値} \times \text{一次エネルギー換算係数}$$

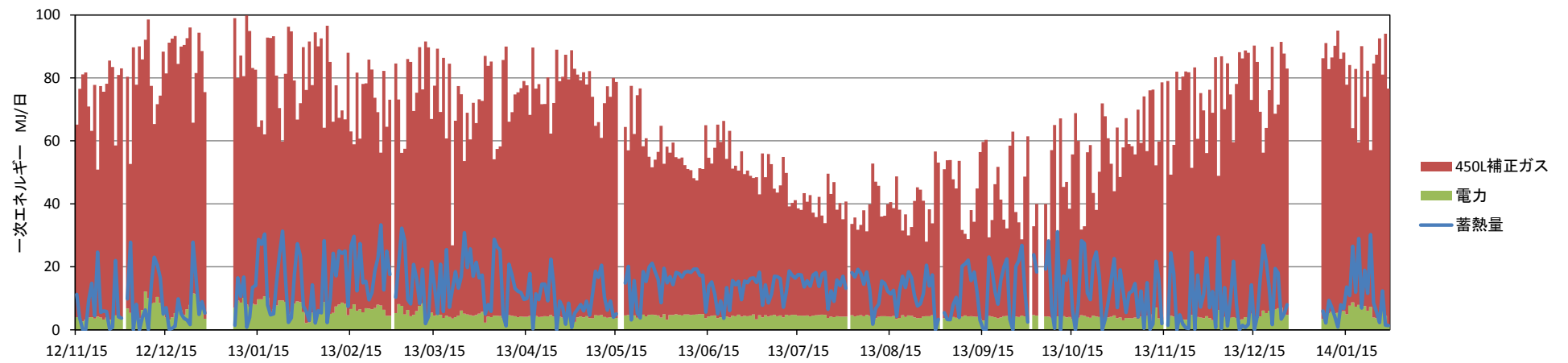
図 7-5 太陽熱による蓄熱量と一次エネルギー消費量(電力、ガス)



$$\text{補助熱源分} = \text{給湯全負荷} - \text{補助熱源入口熱量}、\text{太陽熱分} = \text{補助熱源入口熱量}$$

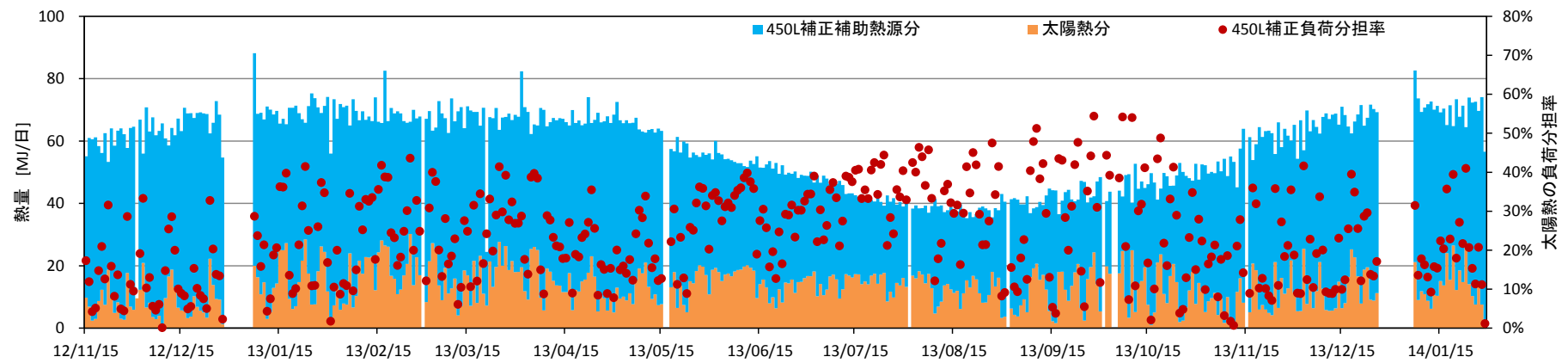
$$\text{負荷分担率} = \text{太陽熱分} / \text{給湯全負荷}$$

図 7-6 給湯負荷の太陽熱分担率



補正後給湯全負荷 = 補正前給湯全負荷 × 450 / 実給湯量(L) として計算

図 7-7 太陽熱による蓄熱量と一次エネルギー消費量(電力、ガス) 450L 補正



補正後給湯全負荷 = 補正前給湯全負荷 × 450 / 実給湯量(L) として計算

図 7-8 給湯負荷の太陽熱分担率 450L 補正

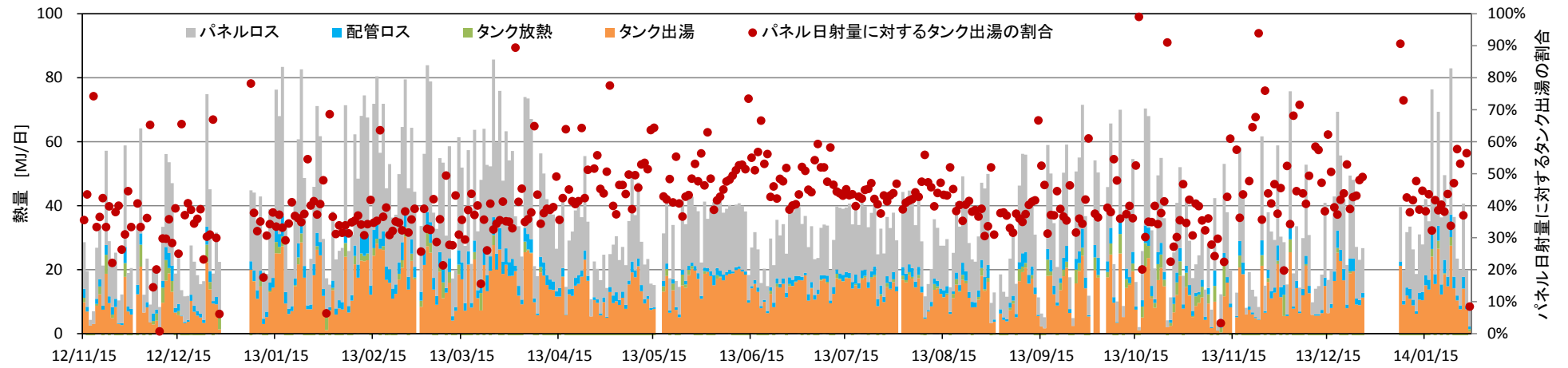


図 7-9 各部熱損失量と出湯熱量

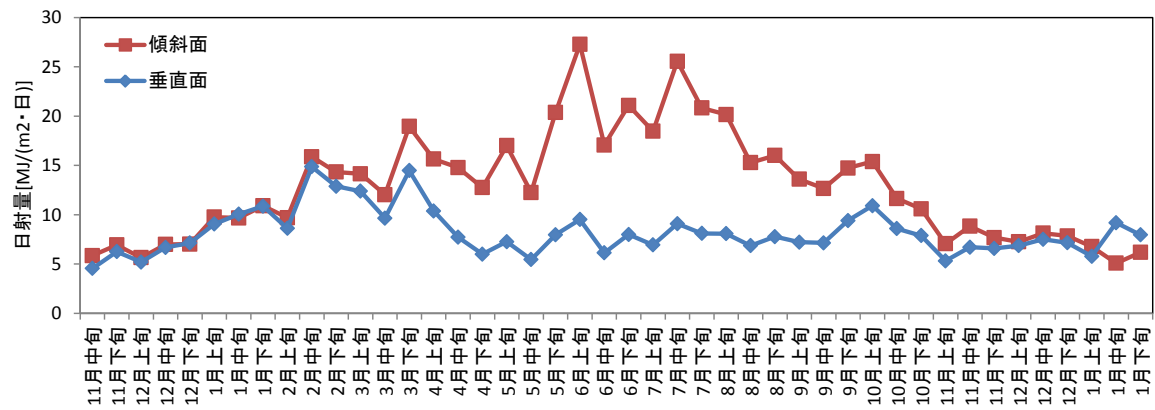


図 7-10 傾斜面(5寸勾配)と垂直面の日射量実測値

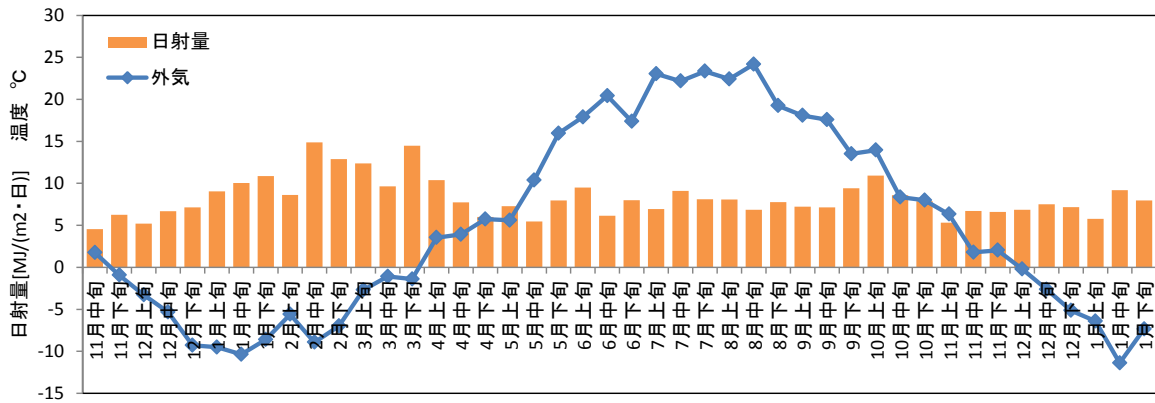
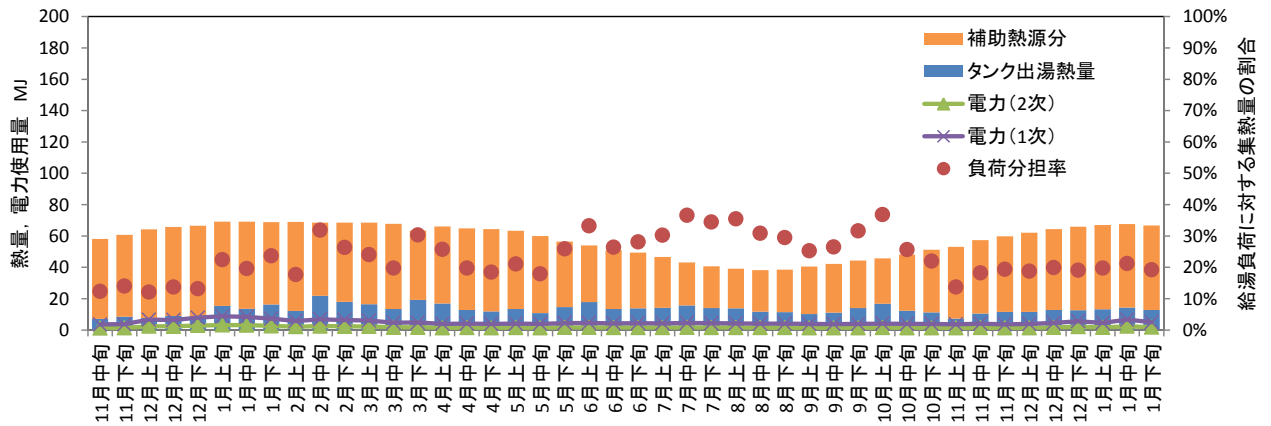


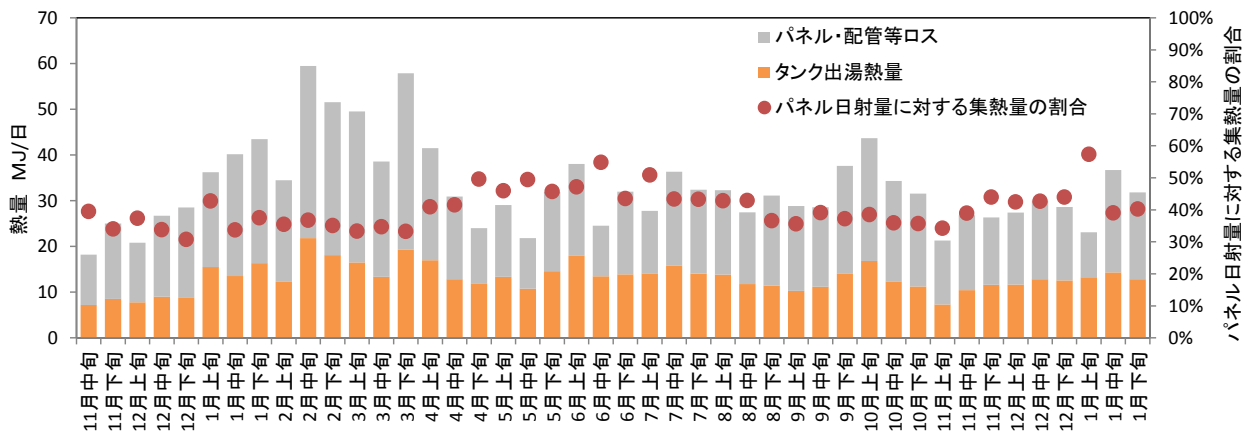
図 7-11 日積算日射量(垂直面)と外気温の旬別平均値



$$\text{補助熱源分} = \text{給湯全負荷} - \text{蓄熱量}$$

給湯全負荷は日給湯量 450L で補正した値を用いている

図 7-12 給湯負荷の太陽熱分担率



$$\text{パネル配管等ロス} = \text{垂直面日射量} - \text{蓄熱量}$$

図 7-13 各部熱損失量と出湯熱量

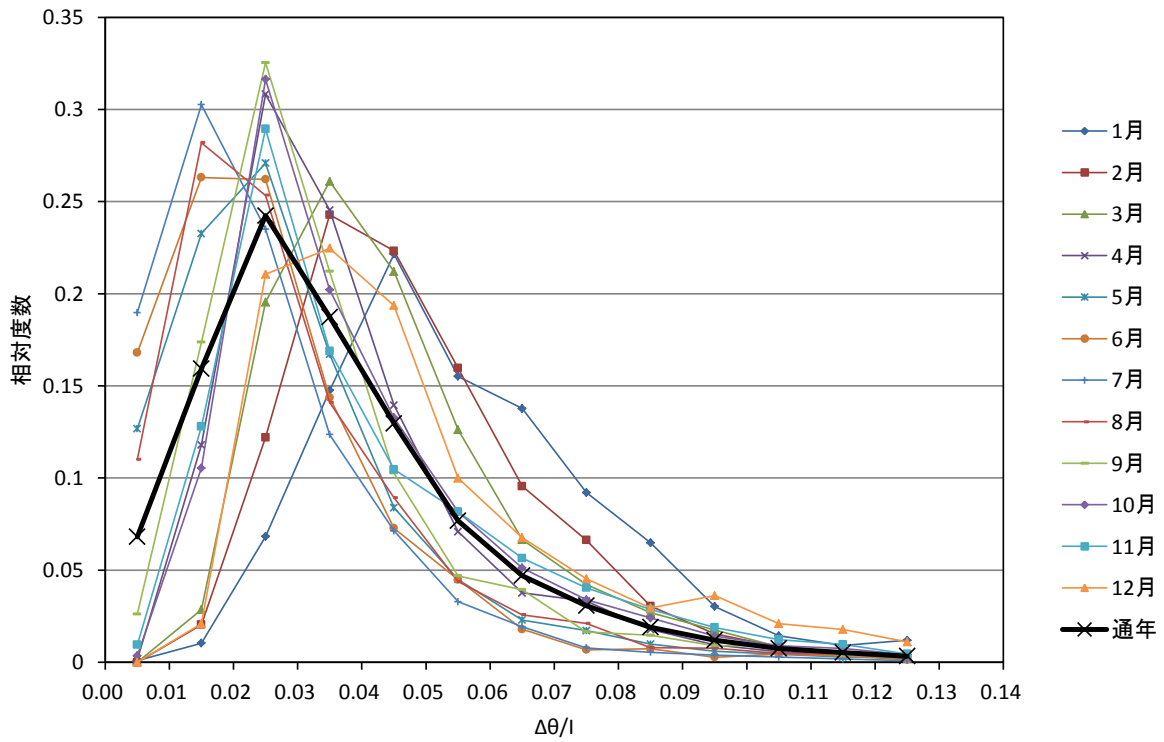


図 7-14 $\Delta\theta / I$ の相対度数

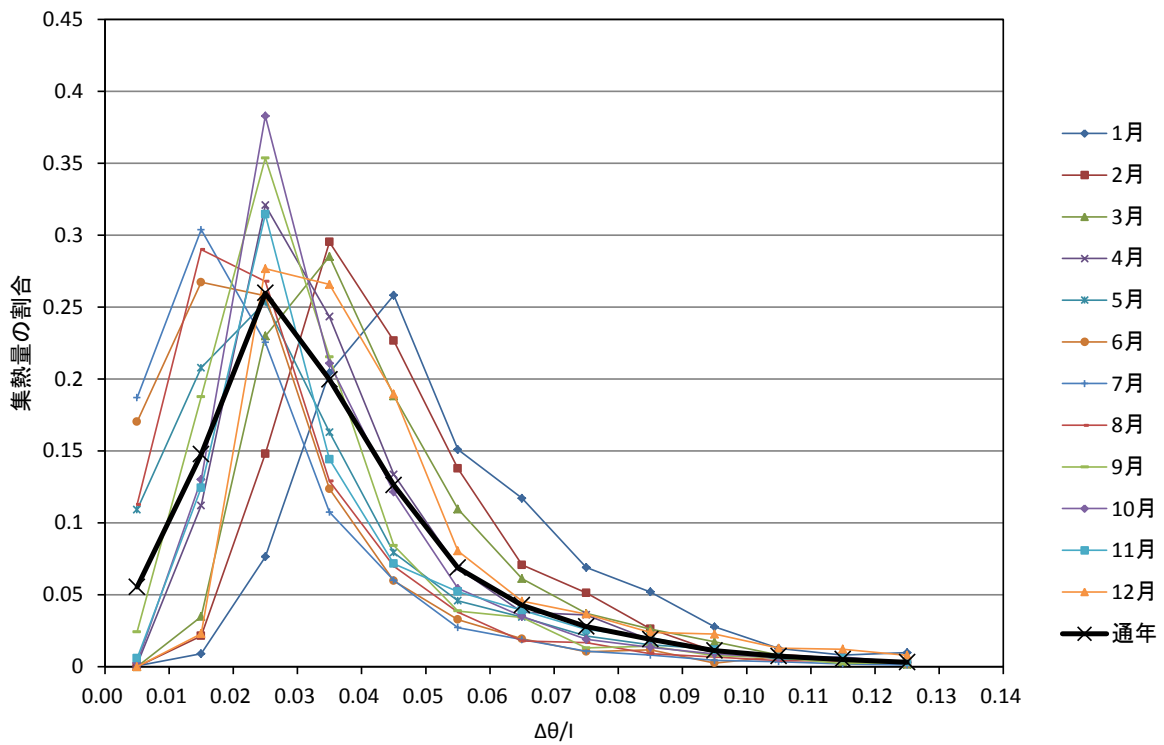
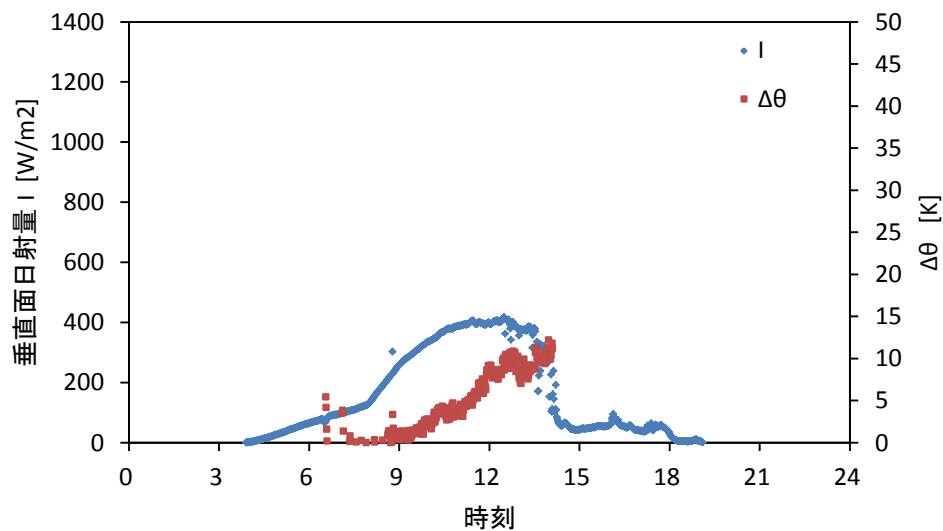
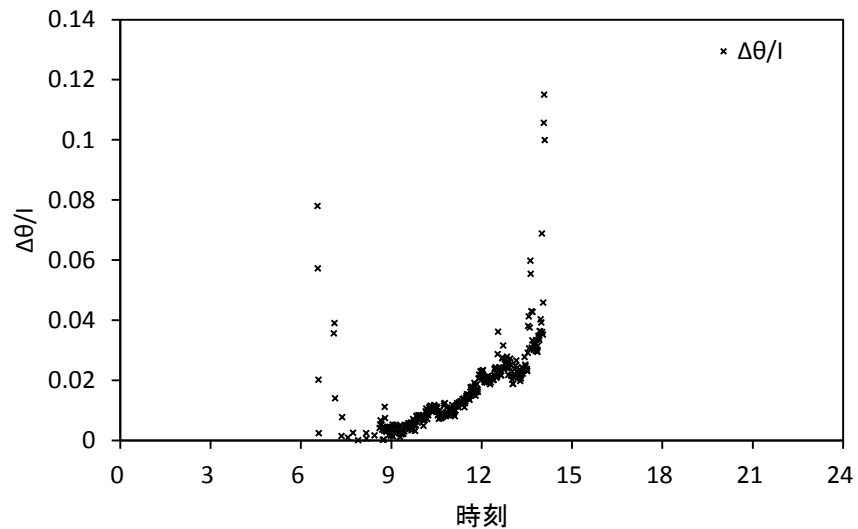


図 7-15 $\Delta\theta / I$ と集熱量の割合

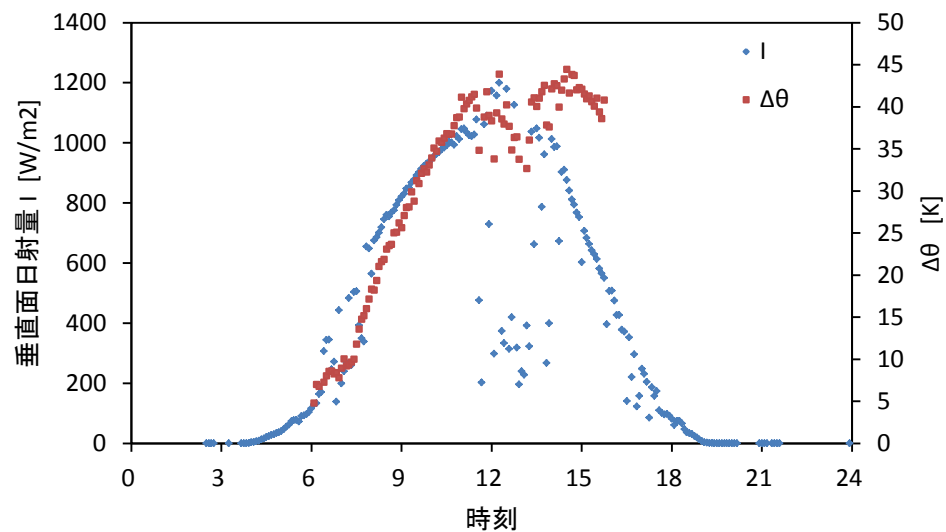


(a) 日射量 I と温度差 ΔT (集熱器平均-外気)

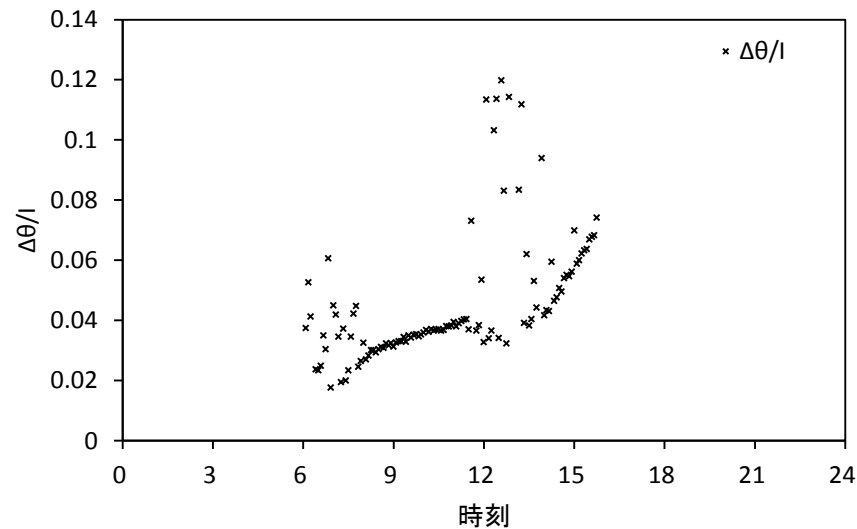


(b) $\Delta \theta / I$

図 7-16 本システム (2013 年 7 月 2 日)

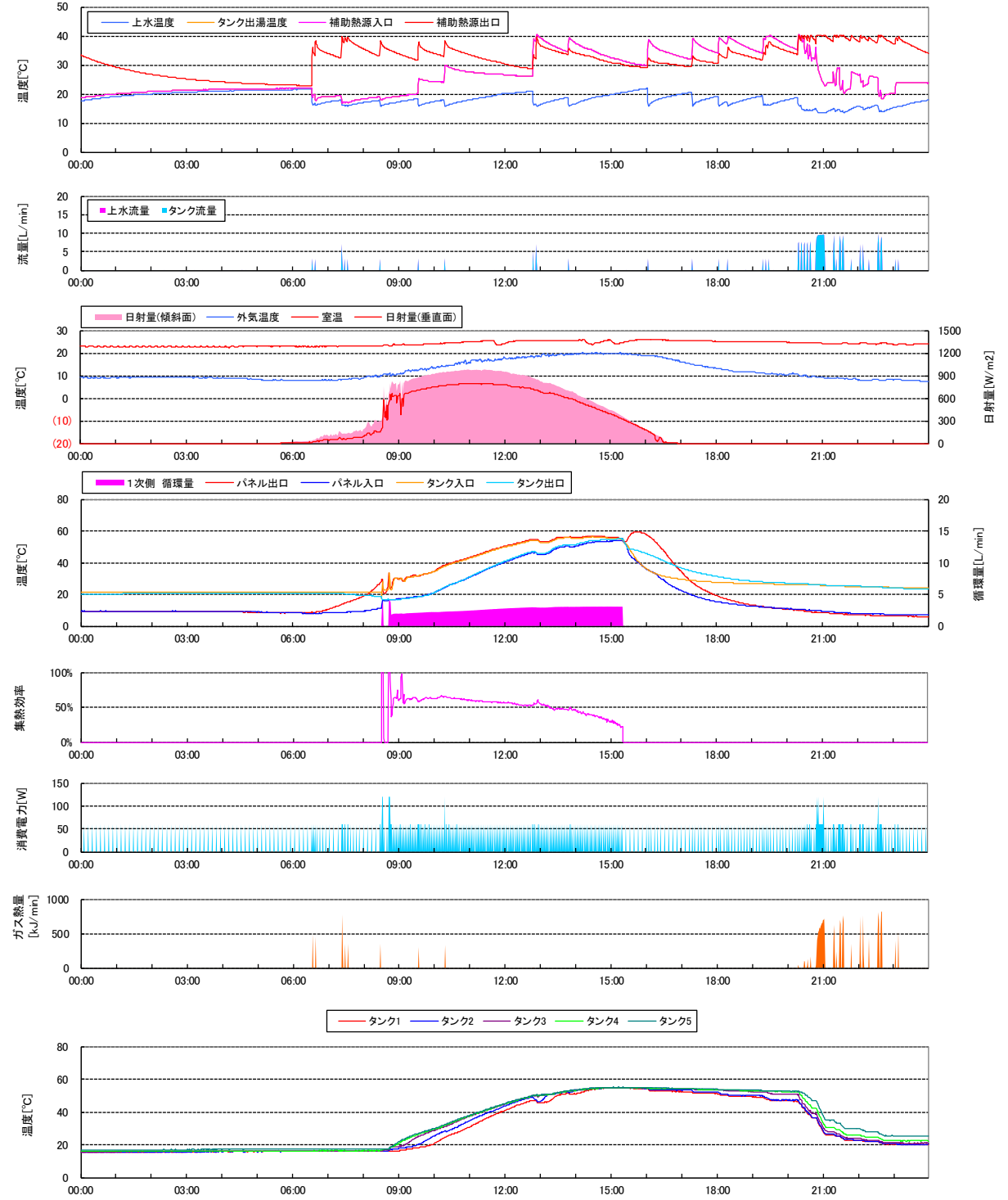


(a) 日射量 I と温度差 ΔT (集熱器平均-外気)



(b) $\Delta \theta / I$

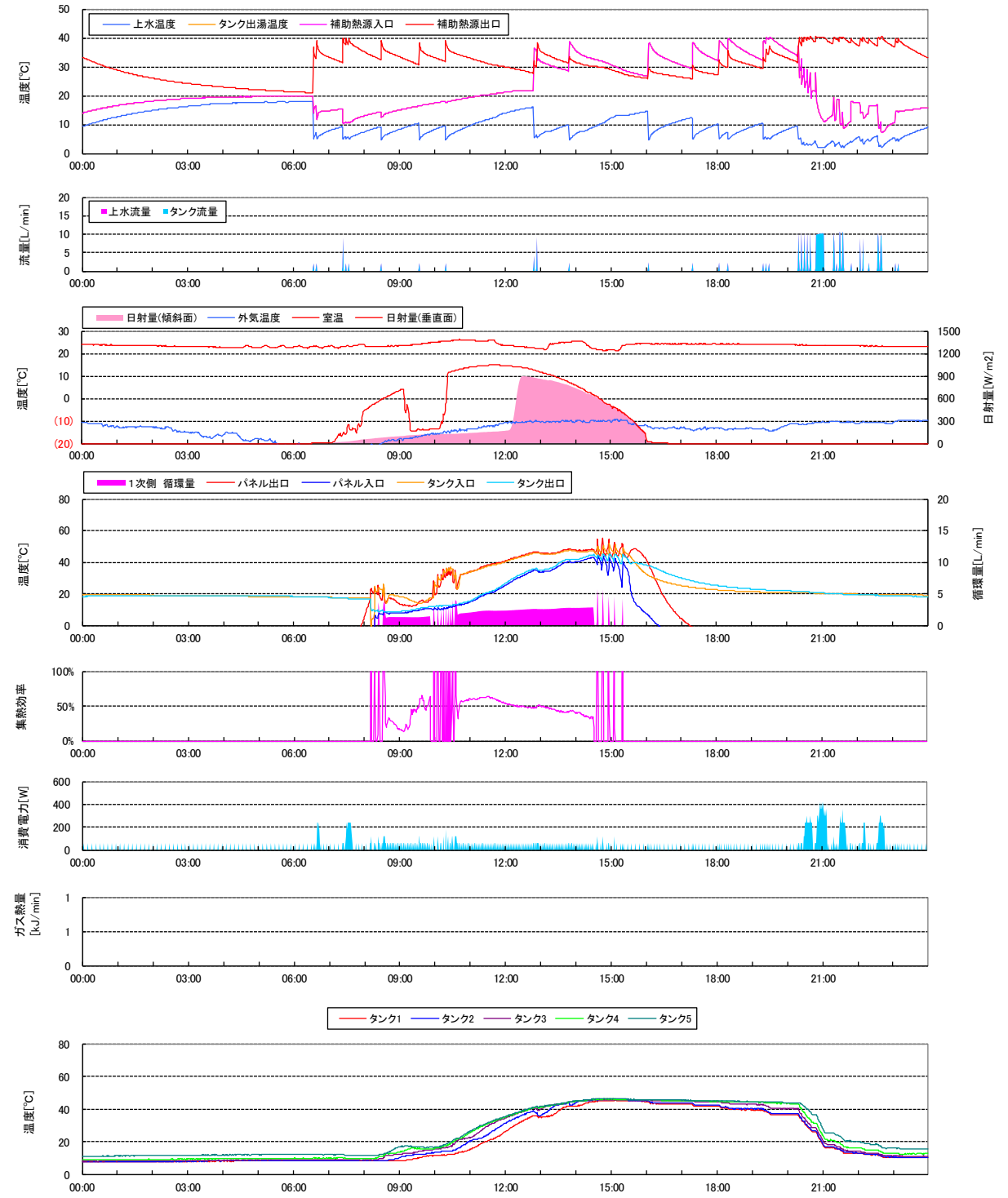
図 7-17 従来システム (2010 年 7 月 15 日)



外界条件			給湯器関係				給湯量			熱負荷											
外気	日平均		タンク周辺	平均温度 [°C]		給湯量 [L/日]		熱負荷 [MJ/日]													
日平均	日最高	日最低	[°C]	給水	タンク	給湯	温水量	タンク	給湯	⑤全負荷	⑥タンク	⑦補助熱源									
12.1	20.3	7.3	24.1	14.6	28.1	39.2	444.0	444.0	443.7	45.7	25.0	20.7									
ソーラーシステム			集熱面積㎡				↑ SunCuteではゼロ														
日射量 [MJ/(m2・日)]		[MJ/日]		熱量 [MJ/日]				ポンプ[min/日]		循環量[L/日]		平均流量[L/min]		電力2次[MJ]		電力1次[MJ]					
垂直面	傾斜面	①垂直面	②パネル集熱	③循環1次	④循環2次	循環放熱	循環>0のとき														
17.4	21.7	69.7	35.4	31.1	31.1	4.6	404.0	1,070	2.6	1.57	4.26										
パネル効率		②/①		貯湯利用率		⑥/④		ガス量[L]		ガス熱量[MJ]		ボイラー効率		エネ2次[MJ]		エネ1次[MJ]					
貯湯効率		④/②		87.8%		全集熱効率		⑥/①		284.5		29.9		69.3%		31.4		34.1			
全効率		④/①		44.7%		分担率		⑥/⑤		54.8%		ガス単位[MJ/m3]		105		効率→		145.3%		133.9%	

図 7-18 平成 25 年 10 月 10 日の測定結果

旭川 横置き 対象日 14/01/23 木



外界条件			給湯器関係			平均温度 [°C]		給湯量 [L/日]		熱負荷 [MJ/日]					
外気	日平均	日最高	日最低	タンク周辺	給水	タンク	給湯	温水量	タンク	給湯	⑤全負荷	⑥タンク	⑦補助熱源		
	-14.1	-9.4	-24.1	23.6	3.4	18.2	39.1	443.8	443.8	443.7	66.2	27.5	38.7		
ソーラーシステム				集熱面積㎡				↑ SunCuteではゼロ							
日射量 [MJ/(m²・日)]		[MJ/日]		熱量 [MJ/日]		ポンプ[min/日]			循環量[L/日]		平均流量[L/min]		電力2次[MJ]	電力1次[MJ]	
垂直面	傾斜面	①垂直面	②パネル集熱	③循環1次	④循環2次	循環放熱	353.0		784		2.2		2.65	7.19	
20.4	10.7	81.6	35.9	30.2	30.2	7.0	循環>0のとき		0.81		2.20				
パネル効率		②/①		貯湯利用率		⑥/④		91.1%		ガス量[L]		ガス熱量[MJ]		ボイラー効率	
貯湯効率		④/②		84.0%		全集熱効率		⑥/①		33.7%		エネ2次[MJ]		エネ1次[MJ]	
全効率		④/①		37.0%		分担率		⑥/⑤		41.5%		2.7		7.2	

ガス単位[MJ/m³] 105 効率→

図 7-19 平成 26 年 1 月 23 日の測定結果

7-5. 本章のまとめ

本研究では、平成 24 年度に開発を行い、北総研敷地内の実験棟に設置した横置き蓄熱槽を用いたソーラーシステムについて、実住宅の給湯負荷を模擬した実験を行った。

実験は 1 年以上継続して行ったが、その間、機器の不調はなく問題なく作動した。また、集熱器を垂直に設置したため、積雪による集熱障害を受けることはほぼなく、年間を通じて一定に近い集熱量を得ることができた。

夏季は太陽高度が高く、垂直面の日射量が著しく少なくなるため、年間を通じた太陽熱利用量では屋根面設置のほうが一般に有利である。一方、給湯負荷の大きい冬における太陽熱利用を重視する場合や、壁面スペースの有効利用として、垂直面への集熱器設置も選択肢になり得ると考えられる。

[参考文献]

- 1) 屋根一体型高効率真空集熱・負荷応答蓄熱等を用いた創エネルギーシステムの技術開発、北方建築総合研究所調査研究報告、No. 282、2011. 3
- 2) 新築住宅モニターを活用した高性能ソーラーシステムの普及促進技術開発、北方建築総合研究所平成 24 年度年報
- 3) 低価格・省スペース普及型ソーラーシステムの技術開発、北方建築総合研究所平成 24 年度年報
- 4) 立松宏一・坂部芳平・村上知徳・村田さやか・鈴木大隆・相曽一浩・伊藤一哉・前真之・松本徹・松本稔樹：屋根一体型高効率真空集熱・負荷応答蓄熱等を用いた創エネルギーシステムの技術開発 その 4 実棟実験による検証、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、PP. 1065-1066、2011. 8

8章 ライフライン切断時に関する検討

8-1. 本章の目的

本研究では、災害等の理由により外部からのエネルギー供給が途絶えた際にも、最低限のエネルギーを自給し居住環境を保持する性能・機能を住宅が備えることを目指している。避難所への移動が困難な場合、避難所の環境が深刻な健康被害をもたらしかねない場合等、災害や居住者の状況に応じて避難施設として住み続けることも選択可能であることが重要であると考え。

外皮断熱性能向上による冬期室温の確保（3-2.(2)参照）、太陽光発電（以下 PV と記載）と蓄電池による電力供給、貯湯槽等の生活水の利用等、各要素技術についてはライフライン切断時の役割も想定しているが、実棟での検証データは極めて少ない現状にある。そのため本章では、実験住宅（補足参照）において停電と断水を再現した実験を行った。

8-2 では冬・夏共通の実験条件、8-3 では冬期の実験結果、8-4 では夏期の実験結果を報告する。

8-2. 実験条件

実験住宅には男性 2 名、女性 2 名の計 4 名が滞在し、夜間は男性 2 名のみとした。ライフライン切断の方法は、電力についてはブレーカで遮断し、上水については遮断されているものと想定した。

表 8-1 に実験中の機器の設定を示す。本実験では 1 階の照明、及びテレビ・電子レンジ・冷蔵庫等を接続するコンセント等へ、蓄電池と PV から電力を供給した。

8-3. 冬期実験

(1) 実施の日時

2015 年 2 月 27 日 14:00～2 月 28 日 14:00 の間において、ライフラインの切断状況を再現した。

(2) PV と蓄電池について

1) システム概要

表 8-2 に蓄電池の仕様、図 8-1 に PV と蓄電池のシステム概要を示す。蓄電池 5.53kWh、PV5.13kW、パワーコンディショナー4.5 kW からなるシステムが 2 セットある (No.1 と No.2)。なお、停電中に PV が発電した電力は全て蓄電池経由で宅内に供給される。また、電力の需給量のデータは、蓄電池メーカーのクラウドシステムから取得した。

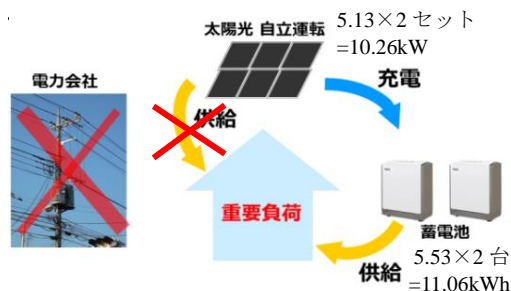
表 8-1 実験中の機器の設定

	停電直前	停電中
1F 照明	OFF	使用可
2F 照明	OFF	使用不可
外灯	OFF	使用不可
全館空調	運転	停止
24h 換気	運転	停止
給湯機器	使用可	停止
1F テレビ	ON	使用可
2F テレビ	使用可	使用不可
インターネット	使用可	使用可
一般コンセント	使用可	使用不可
停電時用コンセント	—	使用可
電子レンジ	使用可	使用可
冷蔵庫	使用中	使用可
IH クッキングヒータ	使用可	使用不可
食洗機	使用可	使用不可
デイスボーズ	使用可	使用不可
洗濯機、乾燥機	使用可	使用不可
1F 洗浄便座	使用可	使用不可
2F 洗浄便座	使用可	使用不可
1F 居間 電動窓	閉	使用不可 閉
2F 居間上部 電動窓	閉	使用不可 閉
1F 外付けブラインド	閉	使用不可 閉
2F 外付けブラインド	閉	使用不可 閉
1F ターフ	冬	閉 使用不可 閉
	夏	閉 使用不可 閉
2F トップライト	閉	使用不可 閉
1F ブラインド	冬	開 使用不可 開
	夏	閉 使用不可 閉
2F ブラインド	冬	開 使用不可 開
	夏	閉 使用不可 閉

・上記表中の 閉の部分に、停電時に PV・蓄電池の電力を供給
 ・パソコンは停電時用コンセントと利用し、インターネットを閲覧できることとする

表 8-2 蓄電池の仕様（停電時）

	定格	備考
定格電圧	単相 3 線 100/200V 連続	
定電圧精度	2%以内	
出力電圧歪率	総合 5%以下	
定格出力周波数	50/60Hz±1%	
定格出力	2.0kVA	U 相 V 相 各々 1.0kVA
過渡電圧変動範囲	10%以内	
負荷波高値	1.4 以上	
出力力率	遅れ進み±0.6～±1.0	
保護機能	出力過電圧: 115V ±5%	実効値
	出力低電圧: 85V±以下 (10 秒以上)	実効値
	過負荷: 12.5A 5 秒 11A 1 分	各相における値



PV の発電可能電力が宅内消費電力よりも大きい場合には PV から供給し、小さい場合には PV と蓄電池から供給する。

図 8-1 PV と蓄電池による電力供給の概要

2) 実験結果

① 停電発生時と復電時における PV の切り替え操作

停電時用のコンセントに電力を供給するため、切り替え操作が必要である。図 8-2 に実験における操作のフローを示す。

切り替えは PV の操作パネル（図 8-3）において行う。前述のとおりパワーコンディショナーが 2 セットあるため操作パネルも 2 台あり、合計で 9 回以上ボタンを押す必要があった。一般的には PV を 6kW 程度以上設置するとパワーコンディショナーが複数台となる可能性があり、今後の ZEH の普及、及び災害等の非常時における利用を考慮すると、操作の簡易化が望まれる。

また、実験では 2 セットあるシステムのうち No.2 のシステムは切り替えができず、原因も特定できなかった。実験終了後に再試行した際には正常に切り替わった。確実に動作させるには、ミス無くするための操作の簡易化もしくは自動化、エラーメッセージの表示等の工夫が必要である。

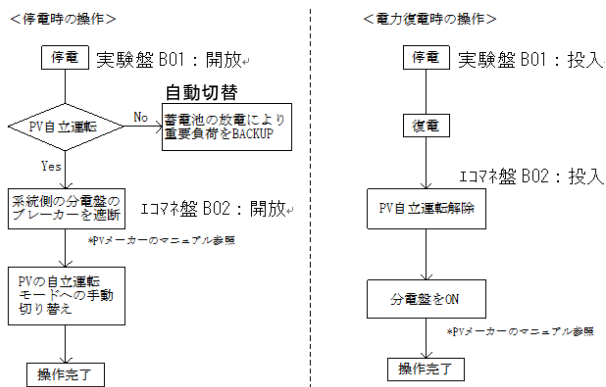


図 8-2 停復電時の操作フロー



図 8-3 太陽光発電操作パネル

② PV 発電量の設定値

停電時の PV の最大出力には通常時と異なる制約があり、本実験に用いた機器の最大出力は 1500W である。PV 発電量は、宅内電力消費量に応じて変化するように予め蓄電池に設定されており、1500W 以下の範囲で下式のとおり増減する。

$$P_{ve} = R \quad (1 \sim 1,500W \text{ の範囲})$$

本実験では蓄電池と連携しているため、

$$P_{ve} = L_{rs}$$

$$L_{rs} = L_i + R_i$$

P_{ve} : 停電時の PV の出力[W]

R : 住宅の電力消費量[W]

L_{rs} : 蓄電池が PV に発電させるための設定値
(本実験では 1500W 以下)

L_i : 蓄電池入力 (充電) 電力[W]

R_i : 宅内の電力消費[W]

(本実験では 1,400[W]程度以下)

本実験では、日射量が比較的多い時間帯には、PV は 1500[W]以上の発電が可能だったが、停電時コンセントでは 1500W 超の電力は利用できなかった。

また、蓄電が可能な最小出力にも閾値があり、この閾値は PV の発電可能量と宅内電力消費量に応じて変化する。本実験では PV の発電可能量からみると余剰電力があるにも関わらず、上記閾値による制御から蓄電できない時間帯があったと推測される。

以上から、電力の有効利用を図るため、停電時の PV 最大出力の閾値値を一定ではなく、天候や PV の設置容量に応じて変化させ、また、蓄電のための最小出力についても PV の余剰電力を極力蓄電できるように改良する必要がある。

③ PV と蓄電池の連携制御

図 8-4 に蓄電池の充電等の推移を示す。日中の日射量が比較的小さい時間帯において、宅内への電力供給が 30 分に 1 度停止した。これは蓄電池への充電を開始するか否かを 30 分おきに判断しているためであり、PV の発電可能量が前述の L_{rs} の設定値には達せず充電できない場合は、システムが解列^{※2}の後、復旧する。この解列の際に電源が遮断される。

この点については、家電等の機器の故障や、居住者の不安の原因になる危険性があり、今後、改善を図る必要がある。

※2: 解列とは、発電 (蓄電) 出力回路が、負荷から切り離れる動作をいう。

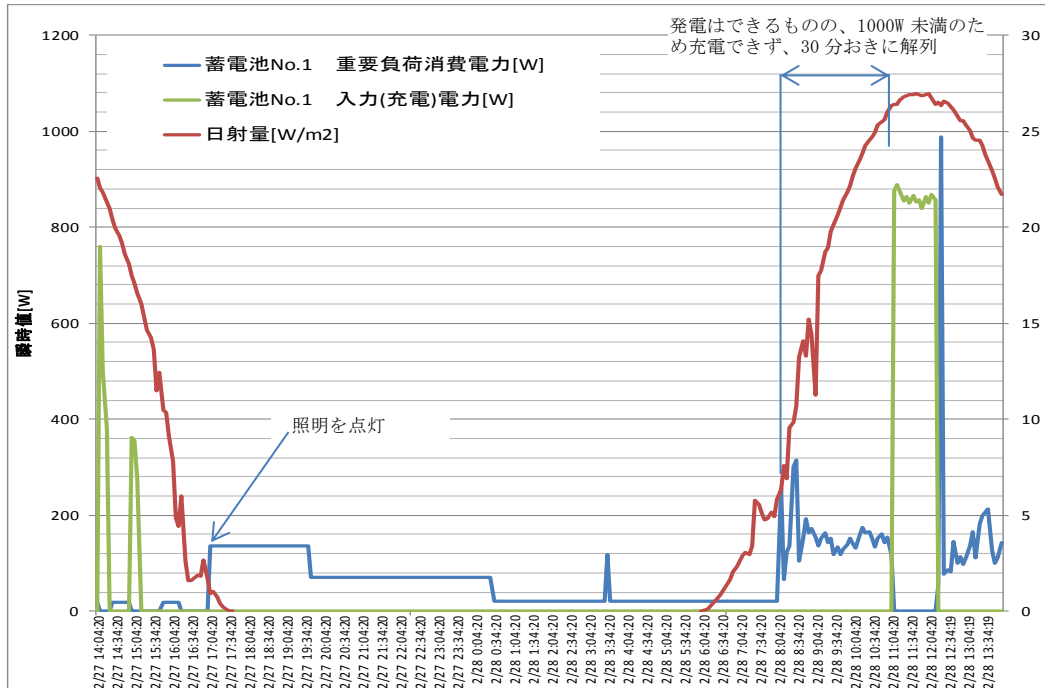


図 8-4 日射量と蓄電池の充電・出力の推移

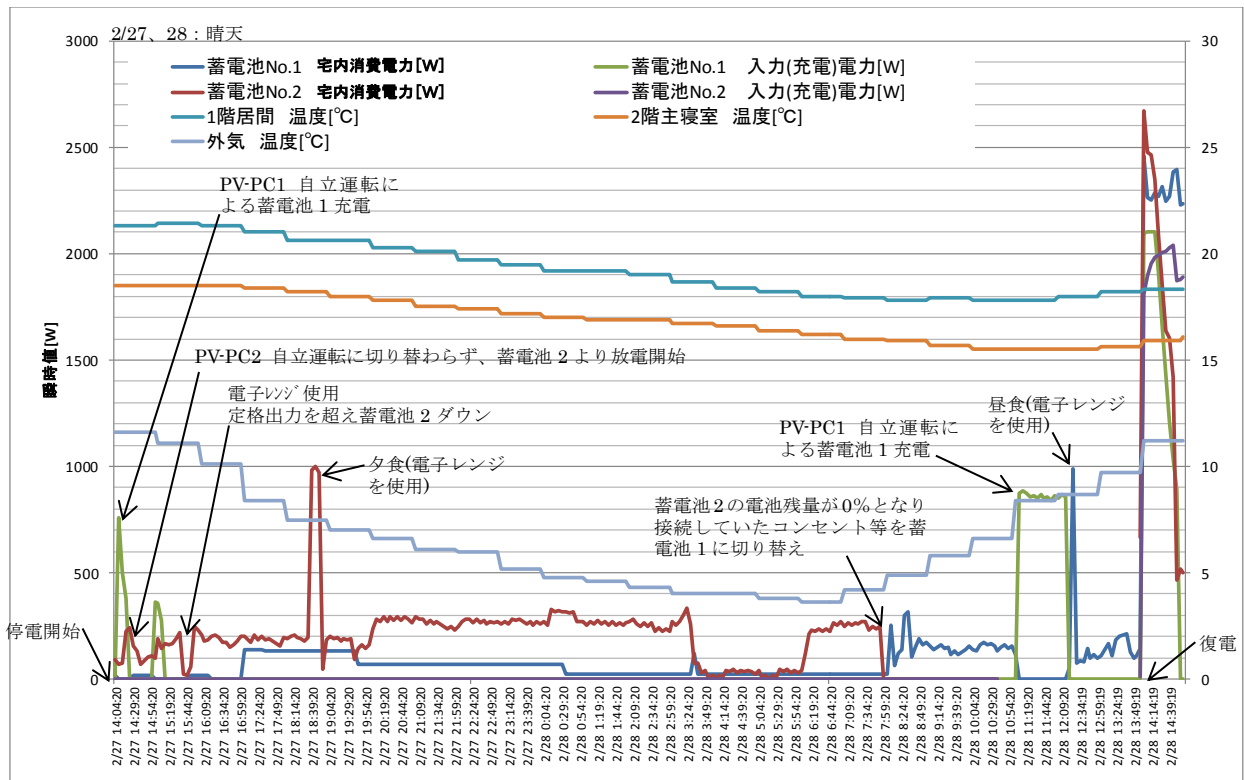


図 8-5 蓄電池の充電・出力と室内外温度の推移

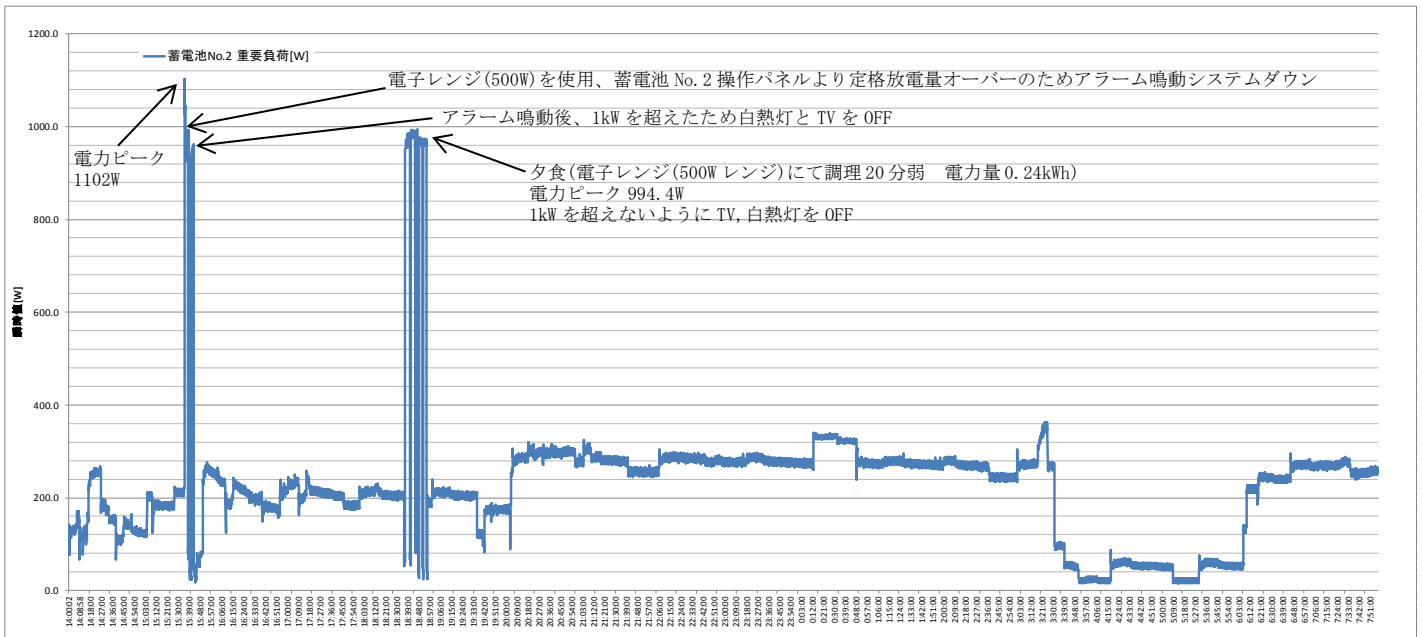


図 8-6 蓄電池 No.2 放電電力推移

④蓄電池の電力の宅内利用（放電）と最大電力

本実験は、2 台の蓄電池を満充電させた状態で開始した。

前掲図 8-4 に示すとおり、蓄電池 No.1 については、停電時における PV からの充電、及び 1 階照明への電力供給を確認した。

図 8-5 に示すとおり、28 日 8 時頃に蓄電池 No.2 の残量が 0 になったため、接続していたコンセント等を蓄電池 No.1 に接続し直した。これは、No.2 は、前述のとおり切り替え操作ができず PV と連携できなかったためである。

また、蓄電池は停電時には出力が 11A を超えると保護機能が働き 1 分後にダウンする。図 8-6 に示すとおり 11A を超えた際にはアラームが鳴動したため、接続していた家電の電源を切った。電子レンジについては W 数を細かく設定できる機種であったため、制限値を超えないように調整した。しかし、電子レンジの表示 W 数は消費電力ではなく加熱量である等、家電の表示ラベル等の居住者がその場で簡易に得られる情報から W 数を把握するのは難しいと思われる。そのため、停電時における蓄電池の出力の制限値を向上させて、瞬時の大容量の電力消費に対応することが望まれる。

⑤蓄電池の容量とロス

本実験の開始前においては、蓄電池容量の 9 割(カタログ値)が宅内で使用可能な電力量で、残り 1 割は蓄電池の制御用電力、及び直交流変換等のロスと見込んだ。

表 8-3 に本実験における充放電量と充放電時間を示す。蓄電池 No.2 は前述のとおり満充填状態で実験を開始して全電力を使用し、充電は行わなかった。放電量は 3.797kWh であるので、蓄電容量 5.53kWh のうち約 3 割は制御用電力とロスで消費したことになる。今後、利用可能電力量の割合を向上させることが、停電時のみならず、日常の省エネのためにも重要である。

表 8-3 充放電量と充放電時間

No.1 蓄電池	接続した主な負荷	1 階の照明
	積算放電量(宅内消費) [kWh]	1.65
	充電量[kWh](PV 発電量)	1.225
	放電時間[時間]	22 時間 25 分
	充電時間[時間]	1 時間 35 分
No.2 蓄電池	接続した主な負荷	冷蔵庫、電子レンジ、テレビ、ブルーレイレコーダ、白熱灯
	積算放電量(宅内消費) [kWh]	3.797
	充電量[kWh](PV 発電量)	なし
	放電時間[時間]	17 時間 59 分
	充電時間[時間]	なし

※ブルーレイレコーダはインターネット接続のために必要

※白熱灯は夜間の人体発熱の調整のために点灯(2 人分)

(3) 室内の温熱環境について

1) 実験概要

本実験では、人体発熱による室温維持の観点から、参加者4名全員が在宅時には居間で過ごすこととした。ただし、夜間の在宅者は2名であった。また、空調については停電直前まで稼働させて20℃程度の室温とし、停電発生と同時に停止した。

2) 実験結果

前掲図8-5中に1階居間と2階主寝室の室温、外気温を示す。室温の測定点は床上1,200mmの位置である。室温は、停電発生の27日14時以降低下し、28日の午後において外気温よりも遅れて上昇し始めた。居間の最低室温は18℃程度だが、足元に寒さを感じた。

図8-7に示すとおり、後日、別途行った実験において、空調を稼働させた状態で床上100mmの位置で室温の低下を確認した。床表面温よりも低下していることから、冷気流が発生していると推測される。停電時の温熱環境、日常の省エネの観点から、建築の熱性能向上も含む改善が今後必要と考えられる。

(4) 照明について

1) 実験概要

前述のとおり本実験では在宅者は1階で過ごした。これは室温維持に加え、2階への電力供給を停止することで待機電力をカットする狙いもある。実験では居間の中央付近で水平面照度を測定した(図8-8)。

2) 実験結果

図8-9に照度の推移を示す。電力を節約する意図で調光機能を使用した設定変更を行った。実験開始時に日常の利用を想定して約590[lx]となっていたが、その後、140[lx]前後に変更した。この照度は居間における団らん等の行為に支障のない明るさと考えられる。ただし、一般の居住者が災害時等において、こうした節約の必要性に気づき、適切に調節することは簡単ではないと想像される。

また、1つのスイッチで複数のランプが点灯するシステムであったため、必要性の低い間接照明も点灯せざるを得なかった。

以上の課題や日常の使い勝手も考慮したスイッチのシステムを、6章において提案している。

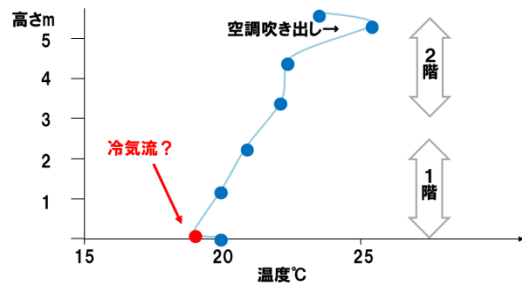


図8-7 居間の吹き抜け部分の温度 (空調を稼働)

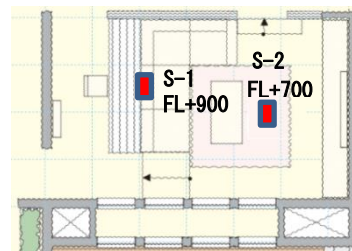


図8-8 照度計設置平面図

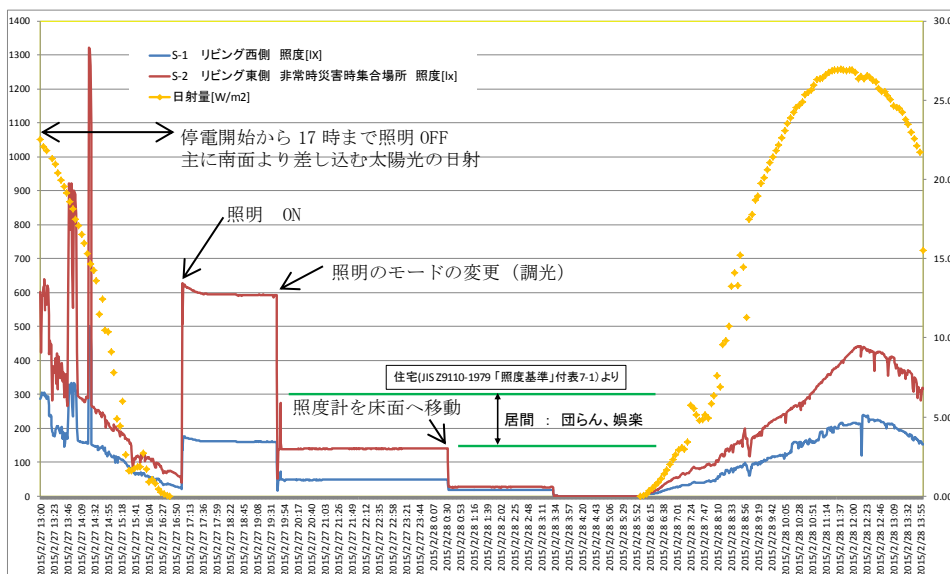


図8-9 居間の照度と日射量推移

(4) 生活水について

1) 実験概要

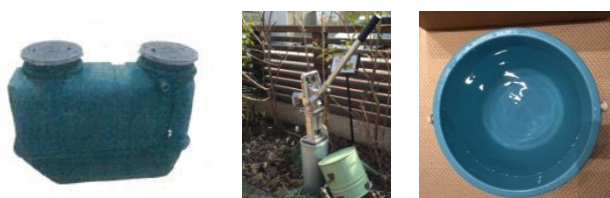
住宅に滞在するためには生活水と飲用水が必要となる。本実験ではこれらの利用について検証した。

2) 実験結果

① 雨水タンク（断水時の生活水としての利用）

雨水タンク（750ℓ）は実験住宅の南面ウッドデッキ下に設置しており、平常時の敷地内での散水利用、大雨時の下水道への排水量の抑制を考慮したものである。

本実験では、雨水タンクに接続した電力不要の手押しポンプにより雨水を汲み上げ、トイレ用水として利用できることを確認した。ただし、残量を把握できないため、今後、目盛の設置等が必要である。



(a) 雨水タンク (b) 手押しポンプ (c) タンクの水
図 8-10 雨水タンクと手押しポンプ

② 貯湯槽（断水時の生活水としての利用）

貯湯槽からの水の取り出しでは、筐体下部に2つのビスで固定されたパネルを取り外し、筐体上部（高さ約 1,850mm）の操作窓を開けて逃がし弁を解放し、排水ドレン口への水の放出を確認した。ただし、放出用配管の取り出しが困難であるため、水の利用はできなかった。そのため、後日、貯湯槽メーカーに依頼して取り出しやすい位置に放水口を設置する改良を行った。

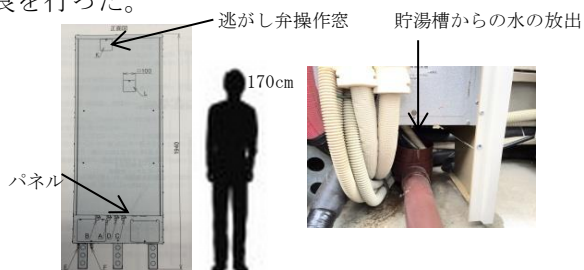


図 8-11 エコキュートの貯湯槽

③ 水道の蛇口（停電時の上水の利用）

台所の電動蛇口が停電時には断水でなくても利用できなかった。蓄電で利用可能な製品の採用や、住宅内に電動以外の蛇口を設置する配慮が必要である。

8-4. 夏期実験

(1) 実施概要

2015年8月7日19:00～8月8日14:00の間において、ライフラインの切断状況を再現した。

本実験は主に蓄電池に着目して実施した。表 8-4 に蓄電池の設定を示す。使用した蓄電池は前述の No1 のみである。

本実験では、停電発生時における蓄電池残量を容量の 30% とし、このうちの 30% を制御とロスで消費すると仮定した。利用可能な電力量は、蓄電池容量 $5.53 \times$ 残量 30% \times 制御とロスを除く 70% $= 1.16 \text{ kWh}$ となる。電力は表 8-5 の想定に基づき利用した。

表 8-4 蓄電池の設定

PV との連携	太陽光発電の余剰電力を充電
充電開始時刻	23 時
放電開始時刻	23 時
停電発生時の蓄電池残量	30%
運転停止電池残量	0%
契約電流容量	80A

表 8-5 電力の重要負荷による利用（想定）

	電力 W	利用時間	計 Wh
照明	55.1W	5	275
冷蔵庫	33	19	627
スマートフォン充電	15	1	15
扇風機	30	5	150
電子レンジ	800	7	93
合計			1,160

(2) 実験結果

表 8-6 に蓄電池の放電量と放電時間、図 8-12 に放電量の電池残量の推移を示す。8日1:00頃に蓄電池残容量が 0 となった。放電量は 1.051 kWh で実験前の想定値よりも若干少なくなったが概ね想定どおりといえる。ただし、終了予定の 14 時を待たずに電力を使い切り、表 8-5 の想定以上に電力を要している。今後、宅内の待機電力等の把握が必要である。

また、8日の夜明け後、PV 発電が可能な天候となったが、蓄電池残量がゼロのため、PV に対する発電の指令を出せなくなった。これについては系統電力が復電し、蓄電池残量がある程度回復するまで PV 発電を行えなかった。蓄電池残量をゼロとしない制御が必要といえる。

表 8-6 放電量と放電時間（蓄電池 No.1）

重要負荷積算放電量[kWh]	1.051
放電時間[時間]	6 時間 54 分

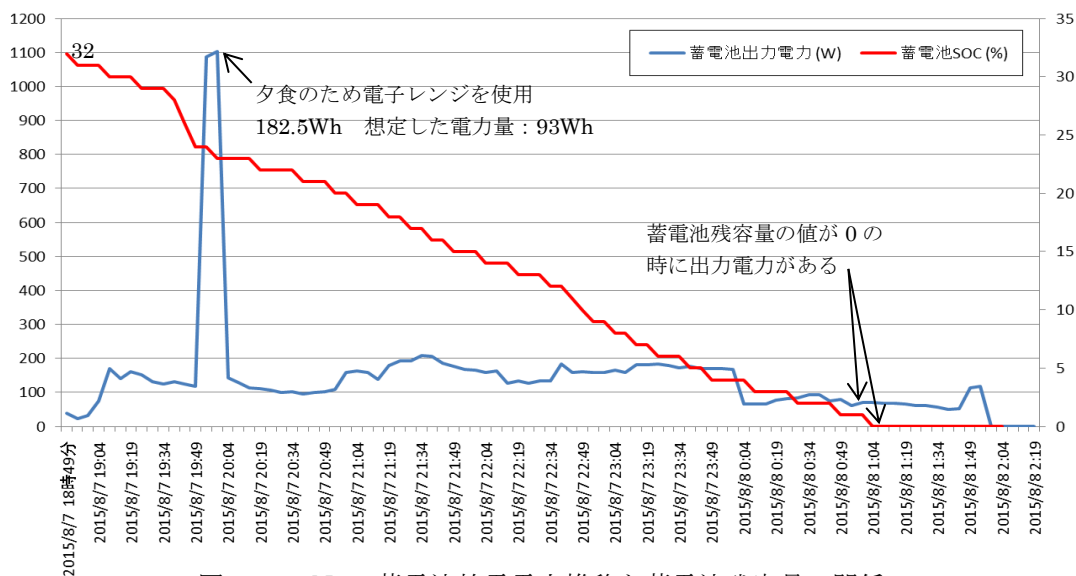


図 8-12 No.1 蓄電池放電電力推移と蓄電池残容量の関係

8-5. 本章のまとめ

停電・断水の再現実験を実施し、以下の改良すべき点が明らかとなった。

- ・停電発生時と復電時における PV の切り替え操作について、自動化等による簡易化、及び信頼性の向上を図る必要がある。
- ・PV 発電の有効利用のため、停電時の PV 最大出力は、一定値ではなく天候等に応じて可変する設定とし、また、蓄電に必要な最小出力の閾値は余剰電力を極力蓄電するように改良すべきである。
- ・PV と蓄電池の連携制御について、解列による電力遮断を防止する改良が必要である。
- ・最大瞬間消費電力 (W 数) の向上が必要である。
- ・蓄電池の制御とロスで消費する電力の削減が必要であり、具体的方法としては直流交流変換を行うパワーコンディショナーの一体化が挙げられる。
- ・PV への発電の指令を行うため、蓄電池残量がゼロにならない制御が必要である。
- ・蓄電容量とは別に、蓄電池の制御用電力等を除いた、宅内で利用可能な電力量を明確化する必要がある。
- ・照明の電力消費を必要最低限とするため、停電時用の調光モードの設定や、必要な器具のみ点灯可能とする等の工夫が必要である。

- ・冬期における床付近の冷気流の改善が必要である。
- ・雨水タンクの残量を確認するための目盛が必要である。
- ・貯湯槽から水を容易に取り出せるようにする必要がある。
- ・電動蛇口を採用する場合は、停電時に上水を利用可能とする配慮が必要である。

以上の課題のうち、貯湯槽の水の取出し口についてはメーカーへの依頼により改良された。また、PV 最大出力、最大瞬間消費電力の向上、パワーコンディショナーの一体化等、本実験と前後して発売された新製品において改善された点もある。

ライフライン切断時における効率的なエネルギー利用のため、残された課題についても今後の対応が必要である。

9章 住宅システムの提案

9-1. 住宅システムの概要

図 9-1 に、前章までの検討結果を踏まえ、自律分散制御システム、及び各種要素技術を組み込んだ住宅システムの概要を示す。

(1) 自律分散制御システム

本システムの主な特徴としては、中央制御機器を有さないこと、居住者を制御の中心としつつ機械によるサポートを行う考えに基づくこと、機器メーカーを限定しないオープンシステムであること、故障時にも他の部分は稼働すること等が挙げられる。

システム構成に関しては、外皮や設備等の要素技術に設置する人工知能（アプリ）、エネルギー消費等のデータの長期保管と分析を行うクラウドシステム、ユーザーインターフェース等からなる。

また、本システムの役割は運用段階でのエネルギー利用や室内環境形成の最適化である、これには複数の要素技術の協調制御も含む。制御用のアプリ、他機器との通信用のアプリが、前述の人工知能とし

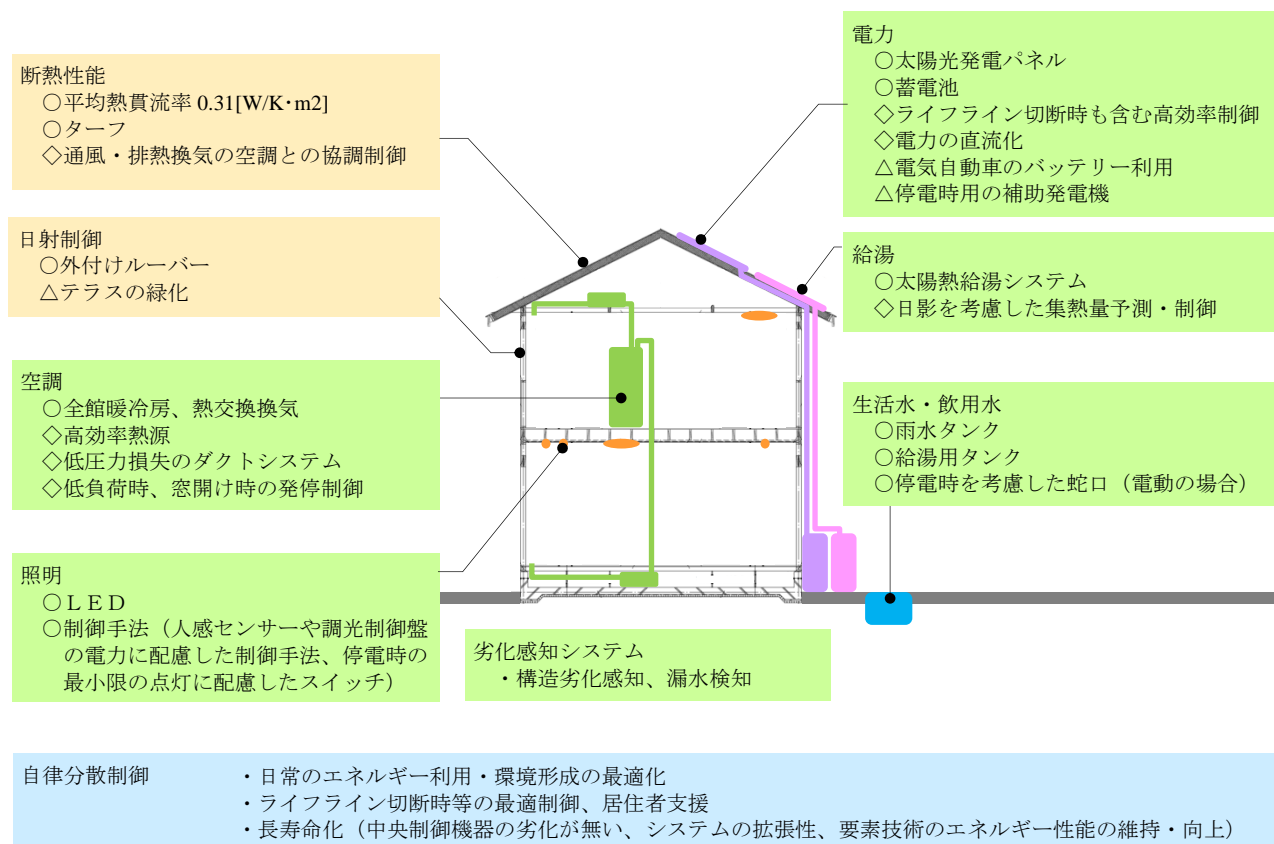
て各要素技術に設置される。本研究では空調と照明の制御の基本アルゴリズムを提案した。

また、住宅の長寿命化に不可欠なエネルギー性能の長期的確保の面でも役割を担い、劣化を感知する要素技術との連携、将来の性能向上のための機器更新の容易性を考慮している。

(2) 要素技術

省エネルギーや良質な室内環境形成のため、外皮の高断熱化、日射の季節制御のための外付けルーバー等の採用、通風・排熱換気・採光を考慮した開口部や制御手法を導入し、自然エネルギーのパッシブ利用を積極的に図る。これは日常における暖冷房負荷等の低減に留まらず、災害等の理由によりエネルギーのライフラインが切断された際における温熱環境等の最低限の居住環境保持にも貢献する。

また、再生可能エネルギーのアクティブ利用も積極的に行う。太陽光発電は発電パネルと蓄電池を組み合わせることで、電力の自家消費率の向上を図る。また、太陽光発電よりも日射熱の利用効率の高い太



○：必須の要素技術（現時点で実現済み）

◇：今後、検討すべき要素技術

△：オプションの要素技術

図 9-1 住宅システムの概要

陽熱給湯システムを導入する。これらの設備も電力や生活水利用の面で、ライフライン切断時に活用する。

設備についても高効率化を図る。空調についてはダクト系の圧力損失を低減することで、搬送動力の低減と、ヒートポンプの COP 向上を図る等の改良を加える。照明については LED を全面的に採用し、調光制御盤や人感センサーの消費電力に配慮した制御手法とする。

9-2. 運用エネルギー消費量の試算

前節で提案した住宅システムの場合のエネルギー消費量を推定した。住宅モデルは実験住宅とし（補足参照）、前掲図 9-1 に示したうち必須（実現済み）の要素技術を導入する。東京については入居実験等における実測値（4 章、補-4 を参照）を基に年間のエネルギー消費量を算出した。札幌、鹿児島については、暖冷房負荷の違いを反映した。

図 9-2 に計算結果を示す。東京の場合、住宅省エネルギー基準の外皮性能等を有する場合の推定値と比較して、提案した住宅システムのエネルギー消費量は 29% 減となった。外皮の高断熱化による暖房負荷の低減、及び LED の採用による照明エネルギーの低減の効果が大きい。

札幌では全エネルギー消費量としては 48% 減となった。この理由は、全エネルギーに対して大きな割合を占める暖房エネルギーが、高断熱化により低減したことにある。

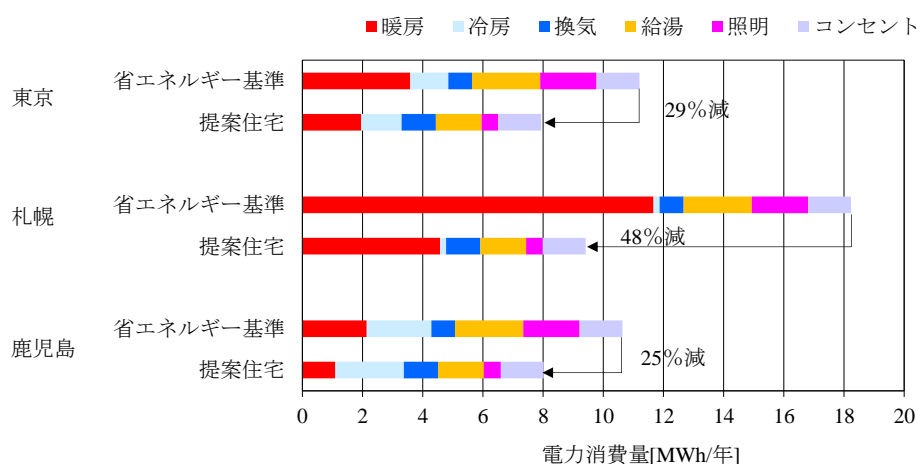
鹿児島では全エネルギー消費量は 25% 減となった。省エネ基準の場合では暖房と冷房が同程度であるが、提案住宅では高断熱化に伴い暖房が低減して冷房が微増した。その結果、全エネルギーに対して冷房が最も大きな割合を占めることとなった。蒸暑地等の冷房エネルギー低減が今後の課題といえる。

9-3. 今後の予定

本研究では各要素技術について今後の性能向上に向けた多くの知見を得た。

特に暖冷房は住宅全体のエネルギー消費に占める割合が高く、熱源機器の高効率化が望まれる。そのため、平成 26 年～28 年度に実施中の環境省の公募型研究「太陽熱ヒートポンプ空調・給湯システムと冷暖房負荷を低減する外皮の技術開発」において、太陽光・太陽熱を利用する高効率熱源等を開発している。

また、本研究では温熱環境と空調の検証から、温度むら解消を目的に室内空気を攪拌させる必要があり、そのために空調ファン動力を多く要することがわかった。今後は効果的に上下温度むらや冷気流を抑制するため、外皮性能と空調空気の吹き出し条件、空調設備の効率を一体のシステムとして検討していく必要がある。こうした状況を踏まえ、引き続き H28～29 年度に実施する共同研究「ZEH 対応も踏まえた枠組壁工法住宅の高性能外皮・空調システムに関する開発」において、建築外皮と空調の一体システムの開発を行う予定である。



(図9-1で○印の要素技術を採用した場合)

図9-2 住宅のエネルギー消費量

【補足】 実験住宅と実験の概要

補-1. 実験住宅の概要

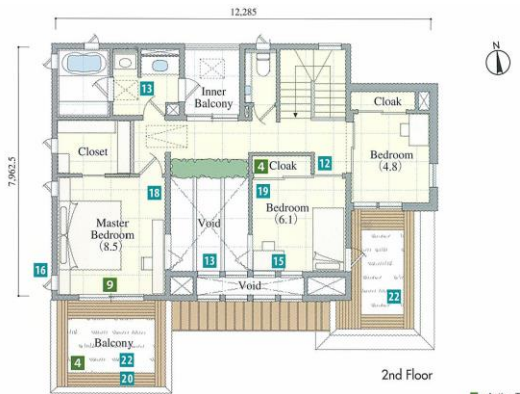
本研究で検討する各要素技術を盛り込んだ実験住宅を平成 24 年 9 月に建設した。その後、仕様・設備の改修を平成 26 年 7 月に行った。実験住宅の外観を写真 1、平面図を図 1、建物の概要と仕様を表 1～3 に示す。



写真 1 実験住宅の外観（南東側）



(A) 1階



(B) 2階

図 1 実験住宅の平面図

表 1 建物概要

建物名称	MIDEAS (ミディアス)
所在地	千葉県柏市若柴
用途地域	第一種住居地域
温熱地域区分	6
構造・構法	枠組壁工法 (Gウォール構法)
階数	2
敷地面積	305.03m ² (92.27 坪)
建築面積	106.61m ² (32.24 坪)
延床面積	168.50m ² (50.97 坪)
1階床面積	93.67m ² (28.33 坪)
2階床面積	74.83m ² (22.63 坪)
竣工	平成 24 年 9 月 4 日

表 2 断熱仕様

屋根	発泡ウレタン 140mm	
バルコニー床	発泡ウレタン 140mm	
外壁	RW140mm	
階間	RW140mm	
外気に接する床	発泡ウレタン 140mm	
床下基礎断熱	XPS50mm	
開口部	北面 西面	枠 : 樹脂 (ただし、玄関ホール北側の窓のみ木製サッシ) ガラス : 真空トリプル 構成 : 3(Low-E)+12(Ar ガス)+3+0.2(真空層)+3(Low-E)
	東面 南面	枠 : 木製 ガラス : 真空トリプル 構成 : 3(Low-E)+12(Ar ガス)+3+0.2(真空層)+3(Low-E)
熱損失係数 (Q 値)	1.6 (W/m ² ℃)	
相当隙間面積 (C 値)	1.97 (cm ² /m ²)	

表 3 設備仕様

	改修前	改修後
空調	全館空調システム I	全館空調システム II
換気	第一種高効率熱交換換気システム (熱交換率 90%)	全館空調システムを含む第一種熱交換換気システム (熱交換率 74%)
給湯	エコキュート+太陽熱給湯	
照明	LED 照明 (多灯分散型)	
創エネ蓄エネ	太陽光発電システム (屋根一体型) 設置容量 10.26kW	リチウムイオン蓄電池 蓄電容量 5.53kWh×2 台
補助電源	ディーゼル発電機	定格出力 7kW

補-2. 主要要素技術

省エネ・良質な室内環境形成およびそれらの最適制御機能を備えた住宅を目指して、外皮や設備等の各種要素技術を導入している。本研究において検討を行う主要要素技術を下記に示す。

- 【建築】
 - ・高断熱外皮
 - ・SMART-WINDOW システム (外付けルーバー、サーモクロミックガラス、通風)
 - ・ターフ (居間の吹き抜けの1階と2階の間の高さに設置した布で開閉が可能)
 - ・テラスの緑化
 - ・劣化感知システム (漏水、構造)
- 【設備】
 - ・太陽光発電、蓄電池、発電機、他
 - ・全館空調
 - ・太陽熱給湯
 - ・LED照明、人感センサー、調光制御盤
- 【外構】
 - ・雨水タンク (地中)

補-3. 実験概要

図2に全体のスケジュールを示す。実験では無人状態、及び一般人2名が入居した状態 (図中の入居実験) において、エネルギーや屋内外環境の実測を行った。これらの実験結果は3~6章で述べたとおりである。

【入居実験の概要】

期間 : 平成25年10月26日
 ~平成26年4月15日
 家族構成 : 夫婦二人、大型犬1匹
 電力契約 : オール電化 (電化上手)

また、停電。断水を再現した実験を行った。この実験結果は8章で述べたとおりである。

【停電・断水実験の概要】

冬期 : 平成26年2月27日~28日
 夏期 : 平成27年8月7日~8日

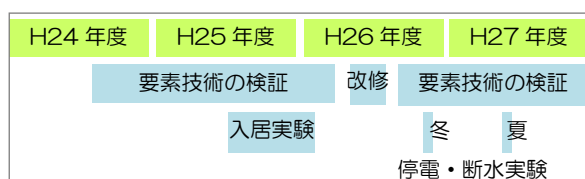


図2 実験スケジュール

補-4. 用途別の電力消費量の推定

(1) 分析の概要

9章で報告した住宅のエネルギー消費量は、入居実験の結果を分析して推定した。推定方法、及び各要素技術に関する分析概要を以下に記す。

表4に半年弱の入居実験の結果から通年での電力量を推定するための計算条件を示す。

表4 電力量算出条件

	無人期間または欠測期間	入居実験期間
太陽光発電	欠測期間は、傾斜面日射量と太陽光発電量の関係式を導出し、これを用いて当該時刻の傾斜面日射量より、欠測時刻の発電量を算出しこれを適用	実測消費電力量を適用
蓄電池	2倍容量の単一機器として、シミュレーションによって、充放電量を算出。充放電効率：92%、放電限界：30% (非常時の蓄電池容量)、太陽光発電が余剰を生み出している時は放電なし。	実測消費電力量を適用
暖房	実測放熱量より、COP=4.0で消費電力量を算出 (放熱量欠測時は想定不可)	
冷房	実測消費電力量 (欠測時は想定不可)	冷房期間には居住していない。
換気	無人期間または欠測期間は、居住実験期間の曜日・時刻別の平均値を適用	実測消費電力量を適用
給湯	居住実験期間の週合計消費電力量と週平均外気温度との関係式を導出し、これを用いて当該日時の週平均温度より、当該日時が属する週の合計消費電力量を算出し、これに、居住実験期間における曜日・時刻別平均消費電力量の週合計に対する比を乗じて、曜日・時刻別の給湯消費電力量を導出 (外気温度欠測時は想定不可)	実測消費電力量を適用
コンセント	無人期間または欠測期間は、右記の曜日・時刻別の平均消費電力量を適用	電力消費量が400W以上の場合には持込暖房が使用されていると見なし、欠測として扱い、曜日・時刻別の平均消費電力量を適用
その他	無人期間または欠測期間は、居住実験期間の曜日・時刻別の平均消費電力量を適用	実測消費電力量を適用

※ 自家消費量 = PV総発電量 - 売電量
 自家消費率 = 自家消費量 / PV総発電量

(2) 全館空調

図5に入居時における全館空調システムの電力消費量の実測値を示す。室温が上昇しなかったため、2013年の12月下旬にファンコイルユニットの温水温度の設定温度を上げた。その後、1月下旬に床吹き出し部のフィルターが目詰まりをしていたため交換した。消費電力値から機器効率を確認したところ、COP2.0程度であった。本研究では宅内の各機器が正常に稼働した場合の用途別電力消費量を推定するため、空調については仕様書に記載されるCOP4.0を発揮すると想定して電力の補正値を算出した。図中に補正値を示す。

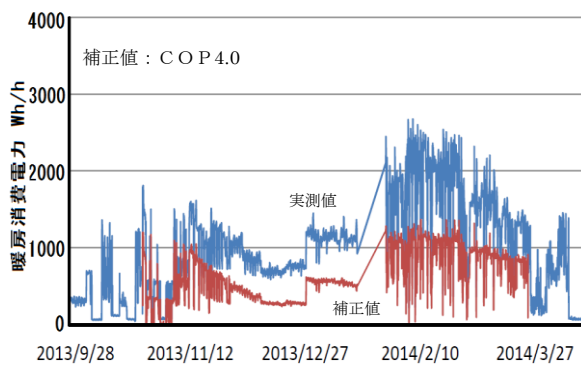


図4 暖房消費電力補正値

(3) 全熱交換型換気

図5に示すとおり、消費電力は一定で推移した。

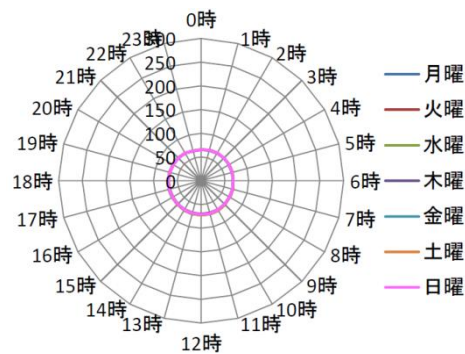


図5 換気電力量 曜日別平均値

(4) 給湯

図6に給湯の電力消費量を示す。深夜電力の時間帯及び21~22時の時間帯で、電力消費量が突出している。これは学習した給湯量より実際に使用する給湯量が上回り湯切れを生じたため、深夜電力時間帯に入る前に不足湯量を沸き上げたためと推測される。湯量が不足した理由は、東側のフラットルーフ

に設置した太陽熱集熱パネルが日影になりやすく、十分な集熱が得られていなかったためと推測される。

また、図7に示すように、外気温度が高いほど、消費電力量が下がり、効率が向上することがわかる。

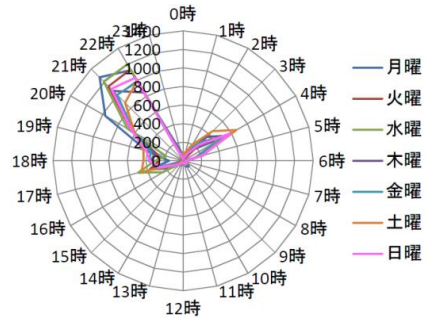


図6 給湯電力量 曜日別平均値

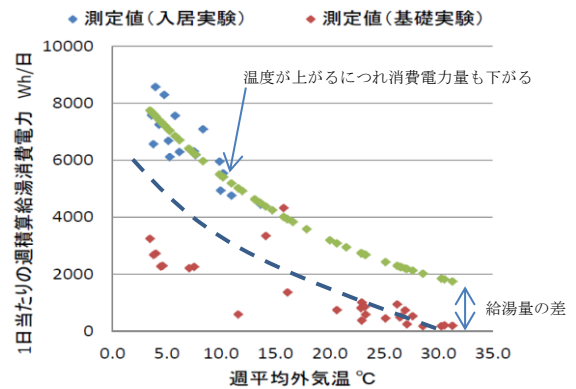


図7 1日あたりの週積算給湯消費電力と週平均外気温

(5) その他の家電等

住設・家電が電力消費に占める割合は下記のとおりであった。

- ・IH クッキングヒータ 0.75~1.44%
- ・電子レンジ、食洗機 3.72~5.86%
- ・洗濯機 0.11~0.26%
- ・洗浄便座 0.69~1.01%
- ・冷蔵庫 4.3 ~6.48%
- ・居間 TV、コンセント 0.93~3.77%
- ・主寝室、寝室 4.51~11.08%