

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53号

平成28年11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.53

November 2016

電力依存度低減に資する建築物の評価・設計技術の開発

Development of Building Evaluation/Design Technologies to Lower Dependence on Electric Power

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

電力依存度低減に資する建築物の評価・設計技術の開発

向井昭義 (2013 年 4 月-2014 年 3 月)	*
五條渉 (2014 年 4 月-2015 年 3 月)	**
福山洋 (2015 年 4 月-2016 年 3 月)	***

Development of Building Evaluation/Design Technologies to Lower Dependence on Electric Power

Akiyoshi Mukai (Apr. 2012-Mar. 2014)
Wataru Gojo (Apr. 2014-Mar. 2015)
Hiroshi Fukuyama (Apr. 2015-Mar. 2016)

概要

本研究は、建築物のピーク電力を飛躍的に低減させることを目的として、住宅、ビルの設備システム、躯体構造について総合的な検討を行うことにより、以下の技術開発を実施した。

- (1) 建築物における電力消費のピークシフト等効果を評価する技術の開発
- (2) 建築物における電力消費のピークシフト等の最適化技術の開発

キーワード : 電力、省エネルギー、建築物、ピークシフト

Synopsis

In order to reduce and shift the peaks of power consumed in buildings, this research analyzed innovative technologies for building equipment systems and building envelop materials and conducted the following technological developments.

- (1) Development of electric-load leveling technique evaluation system for buildings.
- (2) Development of optimizing the demand side peak countermeasures.

Key Words :

Peak Electric Demand, Building, Storage Battery

*	元 建築研究部長	Former Director of Building Department
**	前 建築研究部長	Former Director of Building Department
***	住宅研究部長	Director of Housing Department

担当研究者一覧

◆プロジェクトリーダー

向井昭義（建築研究部長（平成 25.4～26.3））

五條渉（建築研究部長（平成 26.4～27.3））

福山洋（住宅研究部長（平成 27.4～28.3））

◆プロジェクトメンバー

足永靖信（建築研究部環境・設備基準研究室 室長（平成 25.4～27.3）、住宅研究部建築環境研究室 室長（平成 27.4～28.3））（1章、2章、3章、7章）

久保田裕二（建築研究部環境・設備基準研究室 主任研究官（平成 25.4～27.3）、建築研究部設備基準研究室 主任研究官（平成 27.4～27.8））（5章）

西澤繁毅（建築研究部環境・設備基準研究室 主任研究官（平成 25.4～26.3））（4章）

宮田征門（建築研究部環境・設備基準研究室 主任研究官（平成 26.4～27.3）、住宅研究部建築環境研究室 主任研究官（平成 27.4～28.3））（6章）

目 次

第1章	はじめに	1-1
1.1	背景と目的	1-1
1.2	検討範囲	1-1
1.3	構成	1-2
1.4	検討体制	1-3
第2章	評価指標	2-1
2.1	目的	2-1
2.2	既往事例	2-1
2.3	指標提案	2-2
2.4	考察	2-2
第3章	潜熱蓄熱材による対策技術	3-1
3.1	目的	3-1
3.2	潜熱蓄熱材の熱物性	3-2
3.2.1	示差走査熱量測定の概要	3-2
3.2.2	示差走査熱量の測定結果	3-5
3.2.3	実大サンプルを用いた計測	3-8
3.3	潜熱蓄熱材の数値計算手法	3-11
3.3.1	基礎方程式	3-11
3.3.2	理論解によるモデル検証	3-14
3.3.3	空調熱負荷計算プログラムへの潜熱蓄熱効果の組み込み	3-16
3.4	潜熱蓄熱材の実証実験	3-27
3.4.1	屋外試験体	3-27
3.4.2	屋外実証実験	3-32
3.5	潜熱蓄熱材のケーススタディ	3-40
3.5.1	事務所最上階の計算モデル	3-40
3.5.2	事務所最上階のケーススタディ	3-41
3.5.3	地区・用途別ケーススタディ	3-42
3.6	まとめ	3-55

第4章	地中蓄熱による対策技術	4-1
4.1	目的	4-1
4.1.1	検討の目的と概要	4-1
4.1.2	地中熱利用システムの全体像と本検討で対象とするシステム	4-3
4.2	地中熱ヒートポンプの性能実証実験	4-4
4.2.1	実証実験の目的	4-4
4.2.2	実験施設の概要	4-4
4.2.3	実験計画	4-10
4.2.4	夏期の実験結果	4-15
4.2.5	冬期の実験結果	4-22
4.2.6	地盤温度の変化	4-28
4.3	地中熱の蓄採熱に関する数値解析	4-29
4.3.1	地中熱ポテンシャル計算プログラムのアルゴリズム及び入力パラメータ	4-29
4.3.2	実証実験結果の再現性の確認	4-37
4.3.3	既往プログラムとの比較	4-43
4.4	システムシミュレーションによるケーススタディ	4-46
4.4.1	建築物・設備システム・地盤を連成したシミュレーションシステムの開発	4-46
4.4.2	計算ケース	4-47
4.4.3	考察	4-60
4.5	省エネルギー基準等への反映のための検討	4-78
4.5.1	地盤モデルの簡易化	4-78
4.5.2	簡易地盤モデルを利用したケーススタディ	4-79
4.6	まとめ	4-81
第5章	蓄電設備による対策技術	5-1
5.1	目的	5-1
5.1.1	生活を模擬した蓄電実験	5-1
5.1.2	蓄電設備の各種分析	5-1
5.2	蓄電設備の技術情報の調査	5-1
5.2.1	調査の概要	5-1
5.2.2	技術情報の収集	5-1
5.2.3	アンケート調査	5-5
5.2.4	規格等の文献調査	5-10

5.3	蓄放電実験	5-11
5.3.1	実験装置の概要	5-11
5.3.2	一定放電実験による蓄電池の部分負荷特性	5-22
5.3.3	生活を模擬した蓄放電実験	5-26
5.4	簡易ソフトウェアの開発及び蓄電設備の分析	5-32
5.4.1	簡易ソフトウェアの開発	5-32
5.4.2	観測値による検証	5-36
5.4.3	簡易ソフトウェアによる蓄電設備の分析	5-40
5.5	まとめ	5-44
第6章	電力ピーク対策評価システムの開発	6-1
6.1	目的	6-1
6.2	電力ピーク対策評価システムの開発	6-1
6.2.1	評価システムの概要	6-2
6.2.2	評価システムの検証	6-4
6.3	試算の対象とする電力ピーク対策技術	6-5
6.3.1	電力ピーク対策技術の調査・整理	6-5
6.3.2	試算の対象とする技術	6-9
6.4	試算条件	6-10
6.4.1	地域	6-10
6.4.2	建物用途	6-10
6.4.3	外皮・設備の仕様	6-11
6.4.4	空調の運用条件	6-17
6.4.5	試算建物の時間最大負荷の算出	6-17
6.5	試算ケース	6-18
6.6	試算結果	6-25
6.6.1	建築的対策	6-25
6.6.2	設備的対策	6-36
6.6.3	運用的対策	6-48
6.7	試算結果の分析	6-52
6.7.1	熱負荷に関する分析	6-52
6.7.2	エネルギー消費量に関する分析	6-56
6.8	本試算での主たる電力ピーク対策技術の設計上の留意点	6-60
6.8.1	断熱計画	6-61

6.8.2	複層 Low-E ガラス	6-65
6.8.3	エアフローウィンドウ	6-69
6.8.4	高効率熱源機	6-71
6.8.5	蓄熱式空調システム	6-75
6.8.6	地中熱利用ヒートポンプシステム	6-79
6.8.7	大温度差送風システム	6-84
6.8.8	LED 照明	6-88
6.9	まとめ	6-91
第7章	総括	7-1
7.1	成果	7-1
7.2	成果の反映、課題	7-2
7.3	論文発表等	7-3
付録	試算建物の平面概要	付録-1

第1章 はじめに

1.1 背景と目的

東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を始めとした、エネルギーを巡る国内外の環境の大きな変化を踏まえ、我が国のエネルギー政策は、大規模な調整を求められている（エネルギー基本計画¹⁾）。特に、電力については、政府としては、いかなる事態においても、国民生活や経済活動に支障がないよう、エネルギー需給の安定に万全を期すため、電力需給対策が実施されているところである²⁾。また、エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する等の法律（平成25年法律第25号）により、平成26年4月1日から題名を「エネルギーの使用の合理化に関する法律」から「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」と改正され、工場等における電気の需要の平準化の推進等の措置が新たに導入された（平成25年5月31日公布）。

電力の安定供給は電力会社の責任のもとで実施されているが、近年は電気の需要の平準化に対する社会全体の意識が高まってきており、建物の節電に関連する様々な活動も見られる³⁾⁴⁾。しかしながら、建築物省エネ法（建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律）では、電気の需要の平準化に関連する具体的な規定は定められておらず、電気の需要の平準化に寄与する建築技術に関する検証は十分に行われているとは言えないのが現状である。

以上の状況を踏まえ、国土技術政策総合研究所（以降、国総研と称する。）は、国土交通省総合技術開発プロジェクト（以降、総プロと称する。）「電力依存度低減に資する建築物の評価・設計技術の開発（平成25～27年度）」を実施する。本総プロは、建築物における電力ピーク対策の評価技術を開発することを目的とする。

1.2 検討範囲

建築物における電力ピーク対策には2つの視点がある。一つは、ピーク時間帯における電力の需要そのものを抑制する対策（ピークカット）である。例えば、太陽光発電や高効率照明の導入などがあげられる。窓の遮熱は間接的ではあるが、夏期の電力の需要を抑制するのでピークカット技術であると言える。従来よりも少ない電力で機能維持を図ることが出来れば、建築物のエネルギー性能の向上とともに電力ピーク対策として有用であると考えられる。

もう一つは、ピーク時間帯から他の時間帯に電力需要をシフトさせる対策である（ピークシフト）。例えば、蓄電池の導入や躯体の大熱容量化による室温制御などがあげられる。ただし、需要そのものが無くなったわけではなく、他の時間帯にしわ寄せが発生する。一方、電力需要の平準化により、建築設備の運転効率が条件により向上する可能性が期待さ

れる。

以上を踏まえ、本総プロでは、ピークカットとピークシフトの両方の考え方を取り入れ、ピーク時間帯における電力需要を抑制する方策を、建築物における「電力ピーク対策」と一括して定義する。また、電力ピーク対策には、建材等の工夫による対策や建築設備による対策があり、これらの対策を適切に組み合わせて電力消費量の削減を図る必要がある。本研究では、電力ピーク対策と通年の省エネルギー性能との関係も明らかにする。

1.3 構成

本研究の構成を図1-1に示す。第1章では総プロ全体の研究目的等を述べる。第2章では評価指標の提案を行う。第3章から第5章では、ピークカットやピークシフトに効果的な蓄エネルギーについて重点的に検討を行うことにする。蓄えるエネルギーとしては、熱、電気、自然エネルギーが考えられるので、潜熱蓄熱材（第3章）、地中蓄熱（第4章）、蓄電設備（第5章）の調査を実施し、これらの対策技術を検討する。第6章では、一般的な省エネルギー対策技術を含めて、体系的な数値解析を実施することにより、様々な対策による、省エネルギー効果や電力ピーク低減効果の関係を整理する。第7章では、全体を通して、電力ピーク対策の評価技術を取りまとめる。

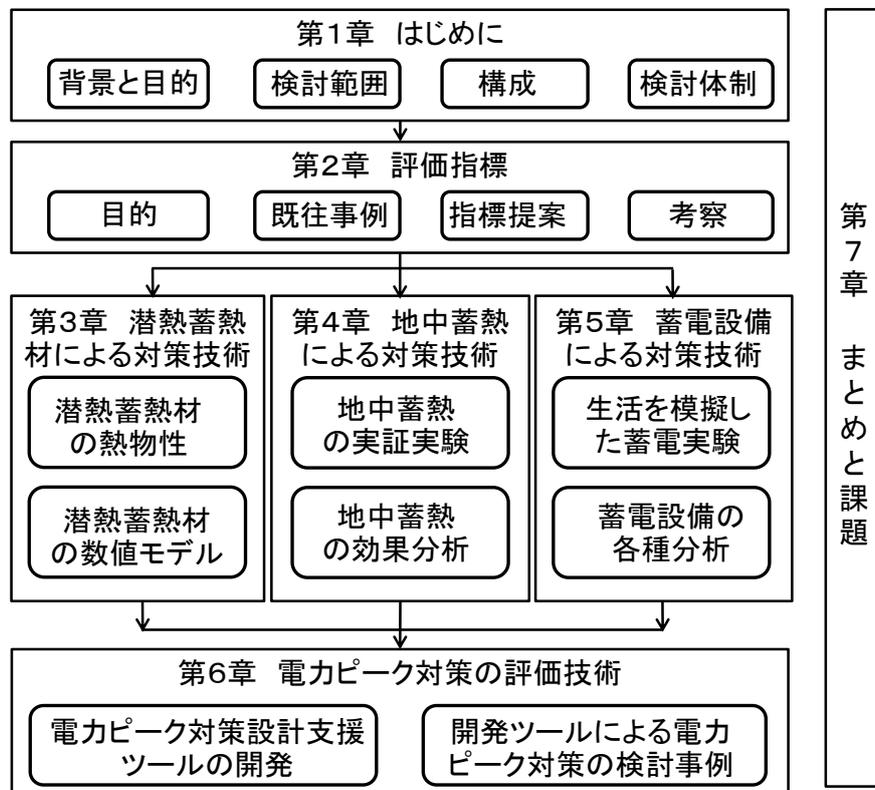


図1-1 構成

1.4 検討体制

総プロの検討体制を図1-2に示す。国総研が電力ピーク対策の評価技術を取りまとめるに当たり、有識者委員会を設置して意見・助言を得た。各対策技術の開発に関しては、ワーキング2件、共同研究1件を実施した。また、専門領域の知見を取得するため、委託研究2件を実施した。表1-1は、これらの研究活動の概要の一覧である。

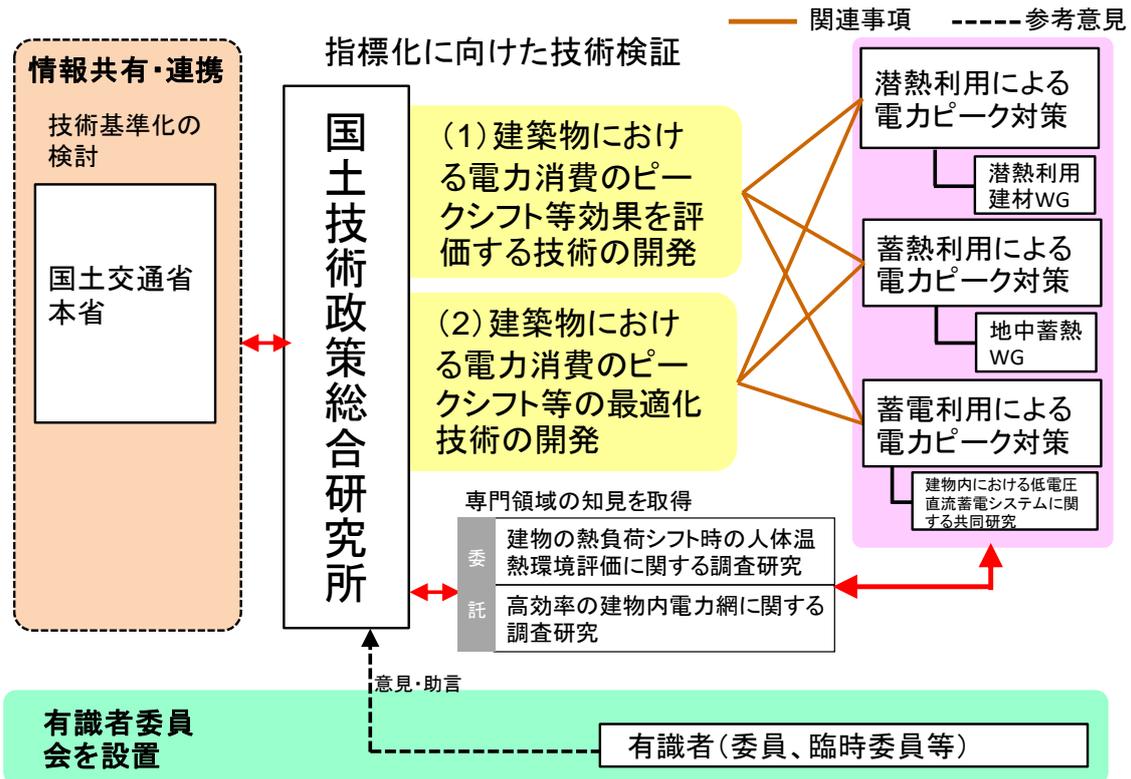


図1-2 検討体制

表 1 - 1 研究活動の概要

名称		概要
電力依存度低減に資する建築物の評価・設計技術の開発検討委員会（平成 25～27 年度）		建築物の電力ピーク対策技術に関する検討会として、電気、熱利用、省エネなど各分野の専門家で構成される検討委員会を設置し、研究の全体的な進め方や各ワーキングの進捗、成果について、意見・助言を得た。
ワーキング	潜熱利用建材ワーキング（平成 26～27 年度）	潜熱蓄熱材の建物利用に関する検討ワーキングを設置し、物性の実験方法や数値計算手法などに関して、意見・助言を得た。
	地中蓄熱ワーキング（平成 26～27 年度）	地中蓄熱の建物利用に関する検討ワーキングを設置し、蓄採熱の実験方法や数値計算手法などに関して、意見・助言を得た。
委託研究	建物の熱負荷シフト時の人体温熱環境評価に関する調査研究 （委託先：一般社団法人環境情報科学センター（平成 25～26 年度）、戸田建設株式会社技術研究所（平成 27 年度））	建築物の電力ピーク対策として、建材の工夫により空調熱負荷のピークが生じる時間帯をシフトさせた際の室温変動が人間の体温や血圧等に及ぼす影響を調査し、温熱リスクを評価する研究手法を開発した。
	高効率の建物内電力網に関する調査研究（委託先：筑波大学石田政義研究室（平成 25～27 年度））	建物内で使用する電気の電圧を商用の半分以下に落とした場合の電気回路網実験や建物全体の電力需要・消費シミュレーションなどを行い、太陽光発電や蓄電池とともに電化製品を高効率で利用する新システムに関する技術開発を行った。
共同研究	建物内における低電圧直流蓄電給電システムに関する共同研究 （相手機関：東神電気株式会社（平成 26～27 年度））	電力ピーク対策時間帯に系統電力から蓄電池からの低電圧直流電気に切り替えて、LED(発光ダイオード)照明をそのまま使用するため、LED 製品の試作および照度試験などを行った。公募型共同研究の一環として実施。

参考文献

- 1) エネルギー基本計画、2014.4
- 2) 例：電力需給に関する検討会合「2015年度夏季の電力需給対策について」、2015.5
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity_supply/20150522/taisaku.pdf
- 3) スマートライフジャパン推進フォーラム：節電・省エネキャンペーン
<https://smart-life-japan.jp/cp>
- 4) 環境省ツイッター：みんなで節電アクション
<http://funtoshare.env.go.jp/setsuden/>

第2章 評価指標

2.1 目的

建築物の省エネルギー基準では、『年間の一次エネルギー消費量』を省エネルギー対策の評価指標としている。そのため、平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説¹⁾では、1日のエネルギー消費量の挙動を精緻に追求することは回避し、各種エネルギー対策に対して年間の一次エネルギー消費量を算出するための計算上の合理化が図られている。例えば、非住宅建築物の場合、空調熱負荷の日積算値を定常計算で求め、非定常計算との相違についてはテーブル補正を行う簡易法が採用されている。

一方、電力ピーク対策では、特定の時間帯における電力消費量が問題とされているので、年単位の評価では十分とは言えない。年間の一次エネルギー消費量とは異なる、新たな指標づくりが求められる。本章では、時間単位の電力消費量の算定結果を基に、電力ピーク対策の評価指標を提案することを目的とする。

なお、本研究では、住宅及び非住宅建築物（事務所等、ホテル等、病院等、学校等、物販店舗等、飲食店等、集会場等、工場等）を対象とする。評価の対象とする設備については省エネルギー基準と同様とし、例えば工場等に設置される生産のための設備や防災・防犯・避難のための特殊な設備については、評価の対象外とする。

2.2 既往事例

「工場等における電気の需要の平準化に資する措置に関する事業者の指針（平成25年経済産業省告示第271号）」では、工場又は事務所その他の事業場（告示第271号においては、これを「工場等」という。）において電気を使用して事業を行う者については、電気の需要の平準化に資する措置の実施を図るものとされており、その指標として「工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準」（平成21年経済産業省告示第66号）で定められる『電気需要平準化評価原単位』を用いることが定められている。

電気需要平準化評価原単位

$$\begin{aligned} &= (\text{全エネルギーの合計原油換算値} + \text{電気需要平準化時間帯の買電量の熱量} \\ &\quad \times (\text{評価係数 } \alpha - 1) \times 0.0258 - \text{外販したエネルギー量}) \\ &\quad \div (\text{エネルギー使用量と密接な関係をもつ値}) \quad (2.1) \end{aligned}$$

ここで、0.0258は原油換算係数[kL/GJ]、 α は評価係数で $\alpha = 1.3$ である。

したがって、工場又は事務所その他の事業場において電力平準化に努めることにより電気需要平準化時間帯の買電量が削減されると、年間の一次エネルギー消費量が同一であつ

ても、電気需要平準化評価原単位の数値は減少し、良い評価となる。

2.3 指標提案

建築物電力ピーク削減率を次式に提案する。

建築物電力ピーク削減率[%]

$$= \frac{\Sigma(\text{標準電力消費量} - \text{設計電力消費量})}{\Sigma(\text{標準電力消費量})} \times 100 \quad (2.2)$$

ここで、 Σ は電力ピーク対策時間帯における建築物の系統電力消費量の期間積算を表す。標準電力消費量は建築物の電力消費量のベースラインを、設計電力消費量は設計時に算出した建築物の電力消費量をそれぞれ示す。電力ピーク対策時間帯は、電気需要平準化時間帯と同一とする（全国一律で7～9月(夏期)及び、12～3月(冬期)の8～22時(土日祝日を含む)）。電力ピーク対策時間帯における電力消費量の削減イメージを図2-1に示す。

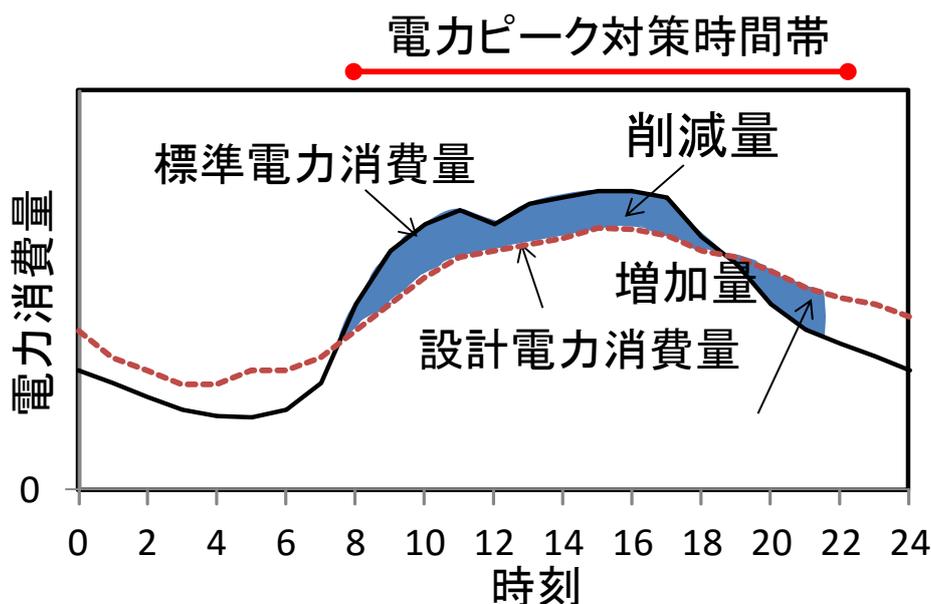


図2-1 電力ピーク対策時間帯における電力消費量の削減イメージ

2.4 考察

図2-1に示すような指標(ものさし)を作成することにより、建築物における電力ピーク対策効果を比較検討することが可能になる。特に、世の中の『蓄エネルギー技術』に関しては、この指標を適用することで、従来知られていなかった効率が定量的に際立つことになるため、開発メーカーの技術面の誘導や消費者の啓発につながる。ただし、電力消費量の削減は、必ずしも1次エネルギー消費量の削減につながるとは限らないことに留意

しなくてはならない。例えば、全ての電気を効率が低い自家発電に切り替えると、建築物電力ピーク削減率は向上するが、省エネルギー性能は低下する。したがって、それぞれの観点から評価するのが望ましいと言える。

図2-2は、電力ピーク対策と省エネルギー対策の関係を示したものである。大部分の省エネルギー対策は、電力ピーク対策にも寄与すると期待される。しかし、蓄電池など蓄放電ロスを伴う機器については、省エネルギーには逆効果かも知れない。両者の関係を調べて、適切な対策を講じる必要があり、本総プロでは、以上を踏まえ、総合的な検討を行うものである。

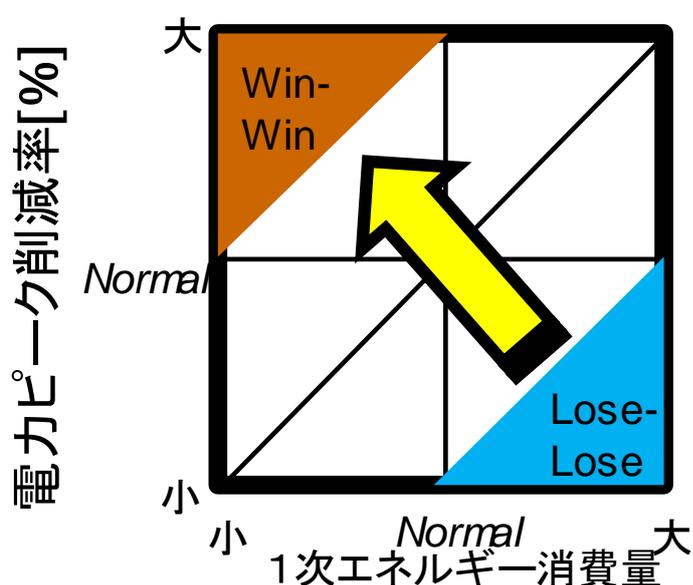


図2-2 電力ピーク対策と省エネルギー対策の関係

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所・建築研究所監修：「平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説」、2013

第3章 潜熱蓄熱材による対策技術

3.1 目的

本研究は、第1章で述べたように、建材等の工夫による対策の一環として、潜熱蓄熱材の活用について検討を行うことを目的の一つとしている。建物における潜熱の利用に関しては、様々な検討事例が見られる（散水（布施・高橋ら、2006）¹⁾、保水性建材（足永ら、2014）²⁾、光触媒（武田ら、2006）³⁾、霧噴霧（ファーラムら、2012）⁴⁾など）。潜熱を利用する建材の場合、相変化に伴う熱量を使える分、顕熱交換を主とする一般の建材の場合より温度変化が緩慢になる。潜熱蓄熱材（PCM: Phase Change Material）は、化学反応（吸収、混合、水和）時の吸熱・発熱の効果により、任意の温度で相変化が生じる材料であり、利用時の温度範囲を拡張するものと言える。既往の研究では、潜熱蓄熱材を建物に適用することで、室内の熱負荷変動の平準化（近藤ら、2001）⁵⁾や暖房エネルギーの削減（佐藤・尾崎ら、2012）⁶⁾等の効果が確認されている。

第3章では、潜熱蓄熱材による対策技術を開発することを研究目的とする。本章で実施した検討内容について以下に概要を示す。

① 潜熱蓄熱材の熱物性

潜熱蓄熱材は、相変化に伴いみかけの比熱が温度により変化する。そこで、示差走査熱量測定（DSC: Differential Scanning Calorimetry）による物性値の評価技術を検討するとともに、いくつかの製品について熱物性値の計測を実施した。また、恒温室において実大の試料を用いた加熱・冷却実験を行い、DSCの計測結果との比較も行った。

② 潜熱蓄熱材の数値モデル

熱物性に関して非線形性を有する潜熱蓄熱材の特徴を考慮した数値モデルを作成し、潜熱蓄熱材を含めた多層構造の壁体を対象として任意の気象条件下で非定常計算を行う計算モジュールを開発した。さらに、開発した計算モジュールを、汎用の空調熱負荷シミュレーションシステムに組み込むための理論的検討を行い、年間の空調熱負荷計算において潜熱蓄熱材の効果を考慮できるように改良を施した。

なお、外壁の断熱等を含めた建材等の工夫による総合的な熱負荷計算の検討は第6章で実施する。

3.2 潜熱蓄熱材の熱物性

3.2.1 示差走査熱量測定の概要

(1)測定原理

示差走査熱量測定(DSC)とは、試料セルと参照セルの熱流差を求めることにより、融点、潜熱量などの熱特性を分析するものであり、プラスチック、有機材料などの熱分析に幅広く活用されている。

温度制御されたヒートシンク内において、試料と標準物質をそれぞれホルダーに設置し、ヒートシンクとの間には熱抵抗体を設ける。熱抵抗体を通して試料と標準物質に熱の出入りが生じると、試料に比較してヒートシンクは大きな熱容量を有しているため、ヒートシンク－試料間、及びヒートシンク－標準物質間に流れる熱流差は検知している温度差に比例する。図3-1に示差走査熱量測定の実験原理を示す。

標準物質、空容器及び試料について同一の条件で示差走査熱量測定を実施し、次式から試料の比熱を求める。図3-2に測定の実験イメージを示す。

$$C_p = \frac{\Delta H}{\Delta H_0} \frac{m_0}{m} C_{p0} \quad (3.1)$$

ここで、 C_p ：試料の比熱[J/(kg・K)]、 C_{p0} ：標準物質の比熱[J/(kg・K)]、 ΔH ：空容器と試料のDSC曲線の差[J/(kg・K)]、 ΔH_0 ：空容器と標準物質のDSC曲線の差[J/(kg・K)]、 m_0 ：標準物質重量[kg]、 m ：試料重量[kg]

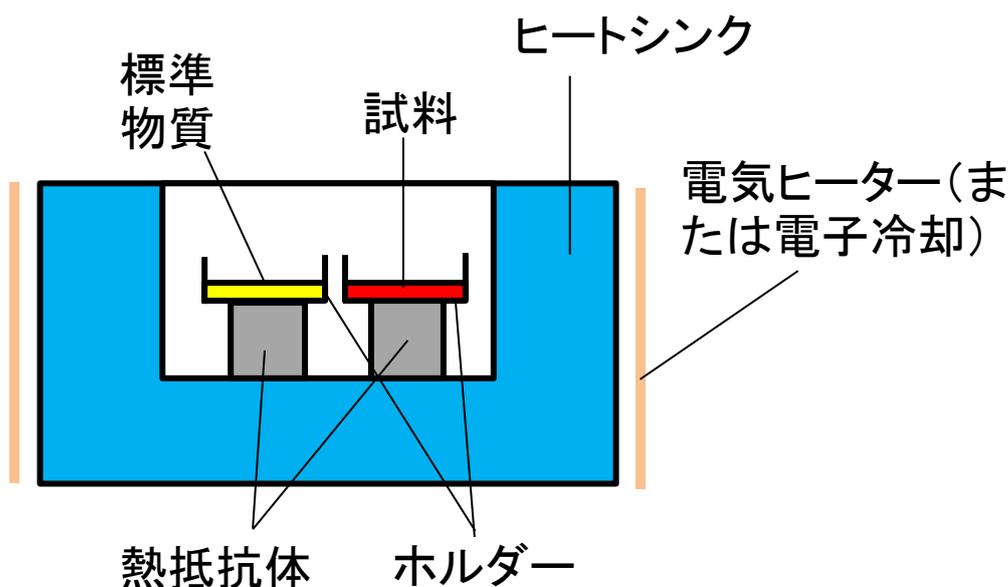
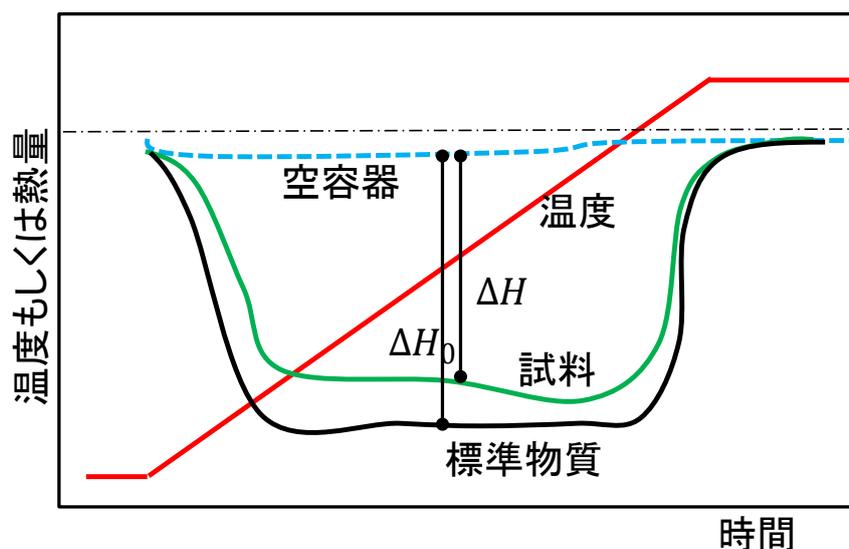


図3-1 示差走査熱量測定の実験原理



ΔH : 空容器と試料のDSC曲線の差[J/kgK]
 ΔH_0 : 空容器と標準物質のDSC曲線の差[J/kgK]

図3-2 示差走査熱量測定イメージ

(2) 測定概要

標準物質はサファイアとする。比熱の温度特性については、JIS K7123（プラスチックの比熱容量測定方法）において、 α -アルミナ（合成サファイア）の数値が -150°C から 500°C の範囲で規定されているので、それを用いた。

試料については、今回は潜熱蓄熱材として、以下の2種類について、示差走査熱量測定を行った。

- ◆材料A：有機系潜熱蓄熱材（パラフィン）
- ◆材料B：無機系潜熱蓄熱材（硫酸ナトリウム10水和物）

写真3-1（a）に有機系潜熱蓄熱材（パラフィン）、写真3-1（b）に無機系潜熱蓄熱材（硫酸ナトリウム10水和物）を示す。

固相で保管した試料を 80°C で湯煎後、攪拌し液相のものを10mg採取した。

測定に用いた装置の仕様は以下の通りである。

- ◆熱流計測方式：熱流束型
- ◆温度範囲： $-150\sim 725^{\circ}\text{C}$
- ◆測定範囲： $\pm 350\text{mW}$

- ◆感度：0.2 μ W
- ◆昇温速度 0.01~100°C/min
- ◆冷却ユニット：電子冷却
- ◆不活性ガス：N₂

主な計測条件を以下に示す。

- ◆昇温降温速度：0.1°C/分~10°C/分
- ◆温度パターン：20°C→50°C→-20°C→50°C→-20°C
- ◆測定容器：アルミパン（オープン、クローズの2種類）

測定風景を写真3-2に示す。



(a) 有機系潜熱蓄熱材

(b) 無機系潜熱蓄熱材

写真3-1 潜熱蓄熱材



(a) 試料充填

(b) ヒートシンクへの設置

写真3-2 測定風景

3.2.2 示差走査熱量の測定結果

(1) 試料間のばらつき

製造業の品質管理においては、設計者が目標として設定した品質が工業製品として担保されている必要がある。そのような適合品質を高めるためには、ばらつき（標準偏差）を抑制することが重要となる。そこで、試料を複数用意し、それぞれのDSC曲線を作成することにより、試料間のばらつき度合いを調べることにする。試料の抜き取りにおいては、できるだけ同一の場所からの抽出は避けるように配慮した。

計測の諸条件を以下に示す。

- ◆昇温・降温速度 10°C/min
- ◆昇温および降温 1 サイクル
- ◆試料種類と個数:無機系潜熱蓄熱材(硫酸ナトリウム 10 水和物)の相変化温度 18°C、22°C、28°C製品 (B18、B22、B28 と称する。) について、それぞれ 5 個

測定結果を図3-3に示す。昇温時において、B18は22°C近辺、B22は27°C近辺、B28は35°C近辺でピークが見られ、試料間の測定に偏りはあまり見られない。降温時において、B18は5°C近辺、B22は10°C近辺、B28は18°C近辺でピークが見られ、この場合も試料間の測定に偏りはあまり見られない。したがって、試料間のばらつきという点では、製品の質に問題はないと言える。

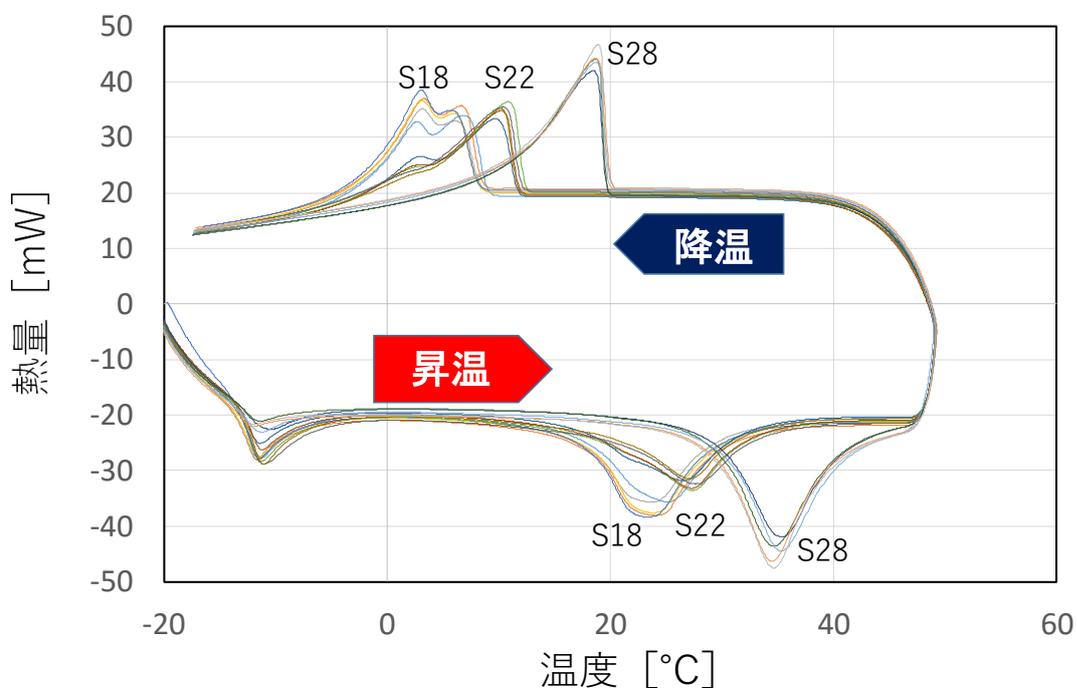


図3-3 複数サンプルによる示差走査熱量の測定結果の比較

(無機系潜熱蓄熱材 (18°C、22°C、28°C製品、n5)、昇温・降温速度:10°C/min)

(2) 潜熱量

潜熱量を求めるには潜熱域を設定する必要がある。JIS K7121（プラスチックの転移温度測定方法）では、DSC 曲線のベースラインからの離反・接近より潜熱域を設定している。本研究では、JIS K7121 に加えて、DSC 曲線の勾配から 2 つの変曲点を割り出し、それぞれ相変化の開始・終了と見なすことにより潜熱域を設定した場合も検討した。

変曲点による方法を α 法、JIS K7121 による方法を β 法と呼び、パラフィン（15°C 製品）について、DSC 曲線から潜熱域を求めた結果を表 3-1 に一覧する。昇温・降温過程ともに α 法の潜熱域の方が β 法のものより広めとなる。ピーク温度及び潜熱量は α 法による数値を記載しており、昇温時、降温時で潜熱量はほぼ一致するが、ピーク温度は異なる。

図 3-4 は各 DSC 曲線を示したものである。昇温・降温速度が低下するにつれて、昇温・降温のヒステリシスが小さくなるのが分かる。また、0.1°C/min では過冷却現象が見られる。

表 3-1 潜熱量の計測結果（パラフィン、15°C 製品）

材料	昇温降温 速度 °C/min	昇温過程				降温過程			
		潜熱域 α	潜熱域 β	ピーク温度	潜熱量	潜熱域 α	潜熱域 β	ピーク温度	潜熱量
		°C			J/g	°C			J/g
パラフィン 設定相変化温度15°C 液状	10	6.1~41.0	14.8~28.9	20.4	199	-10.1~11.7	-0.8~9.1	6.4	190
	5	5.0~33.3	14.8~24.3	18.7	201	-5.0~11.8	2.6~9.9	8.9	196
	1	7.1~20.7	13.4~18.0	16.0	197	4.7~12.3	8.3~11.1	11.4	191
	0.1	8.6~16.4	13.0~15.3	14.1	193	6.5~12.9	10.6~11.9	12.3	191

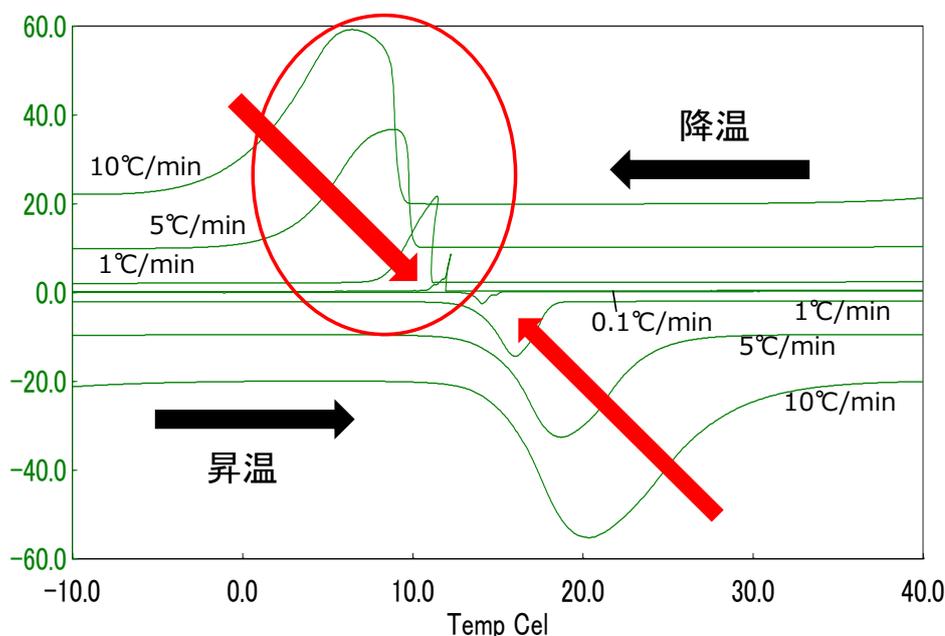
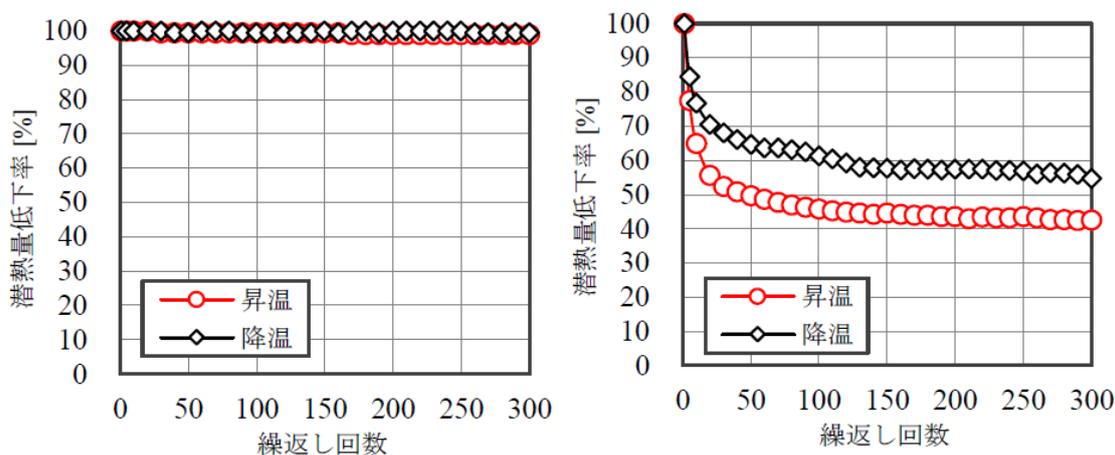


図 3-4 昇温・降温速度が異なる示差走査熱量の計測結果の比較
（有機系潜熱蓄熱材（15°C 製品）、昇温・降温速度：0.1、1、5、10°C/min）

(3) 相変化回数によるストレス試験

相変化を繰り返したときの潜熱量の推移を確認するため、昇温・降温速度 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ にて昇温および降温過程を繰り返すことにより、ストレス試験を実施した。今回は 300 サイクルを設定した。図 3-5 に試験結果を示す。有機系潜熱蓄熱材は、300 サイクル繰り返しても潜熱量の低下はみられず、安定した熱量挙動を示していた。一方、無機系潜熱蓄熱材では、昇温過程において 20 サイクルで 1 サイクル目の 55%、300 サイクルで 43% となっており、降温過程では 20 サイクルで 70%、300 サイクルで 55% と潜熱量の推移が見られた。また、昇温過程と降温過程での潜熱量の相違がみられ、蓄熱量が放熱量と比べ少ない現象が確認された。

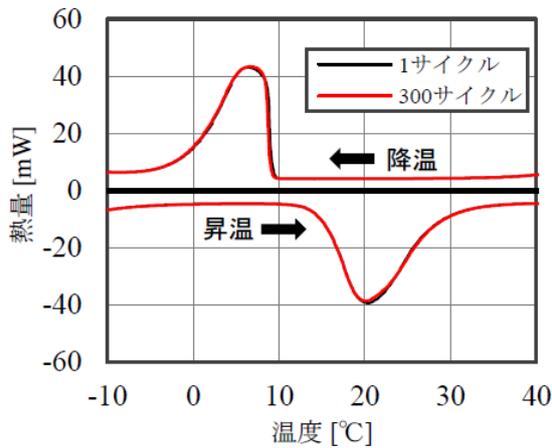
図 3-6 にサイクル数と DSC 曲線の関係を示す。有機系潜熱蓄熱材の場合、1 サイクルと 300 サイクルで DSC 曲線にほとんど変化を生じていない。一方、無機系潜熱蓄熱材の場合、昇温過程でサイクルが進むにつれてピーク部分が潰れてしまい、降温過程ではその影響を受けて、潜熱量の相違が生じている。既往の研究では、有機系潜熱蓄熱材の潜熱量の低下に至るまでの相変化回数は 3 サイクルから 5,000 サイクルとも報告されており⁷⁾、300 サイクル以降で潜熱量が低下する可能性は十分にある。無機系潜熱蓄熱材の潜熱量は収束傾向にあり、300 サイクル以降も緩やかに減少しているため、1 サイクル目の 30% 以上の潜熱量は保持できると推定される。



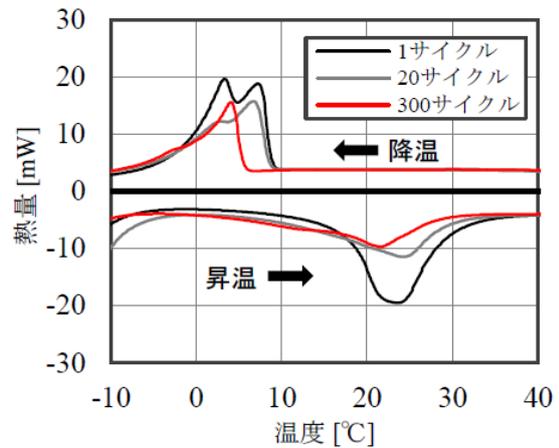
(a) 有機系潜熱蓄熱材 (15°C製品)

(b) 無機系潜熱蓄熱材 (18°C製品)

図 3-5 繰返し回数と潜熱量の関係 (昇温・降温速度 : $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$)



(a) 有機系潜熱蓄熱材 (15°C製品)



(b) 無機系潜熱蓄熱材 (18°C製品)

図3-6 繰り返し回数とDSC曲線の関係 (昇温・降温速度: 10°C/min)

3.2.3 実大サンプルを用いた計測

(1) 見かけの比熱計測装置

実大の潜熱蓄熱材を用いて見かけの比熱計測を行う方法を説明する。図3-7に装置構成を示す。一定の速度で昇温および降温できる平板状の2枚の熱板で試験体を挟み、熱板から試験体に供給(または除去)される熱量を熱流計で測定する。試験体の液化・変形に配慮し、試験体は水平に設置した。試験体の中心部には5枚の熱流計(50mm×50mm)を設置した。

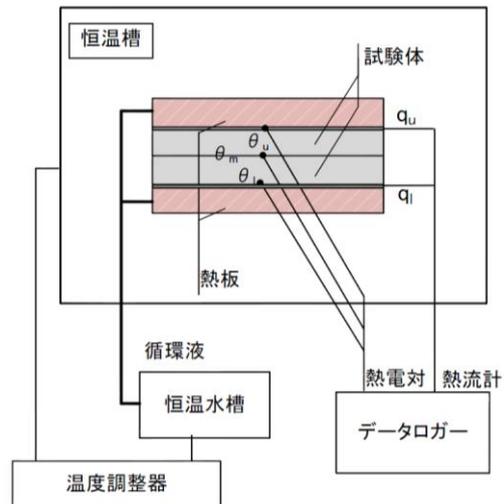


図3-7 見かけの比熱計測装置

温度制御は恒温槽の室温制御とし、15分で1°Cの温度変化を設定した。室温の制御パターン例を図3-8に示す。この場合、室温を-10°Cから40°Cで変化させ、昇温過程と降温過程の間に40分の養生期間を設けている。

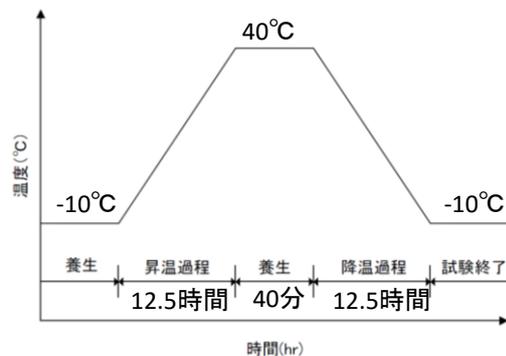


図3-8 温度制御パターン例

(2) 見かけの比熱計測結果

実大サンプル(300mm×300mm×10mm)を用いて、潜熱蓄熱材の見かけの比熱計測装置

による温度及び熱量の時間変化のデータ取得を行い、温度と熱量の関係を図3-9に示す。潜熱蓄熱材量は無機系潜熱蓄熱材（18℃製品）を用い、昇温・降温速度は0.0667℃/minとした。温度と積算熱量は概ね比例関係にあるが、傾きが大きく現れている箇所があり、相変化の影響と考えられる。また、降温過程では15℃付近で積算熱量が減少（材料が周囲に放熱）しているのに、材料の温度が上昇しており、過冷却現象をうかがい知ることができる。

図3-10に実大サンプルによる見かけの比熱の計測結果を示す。

DSCとの比較を行ったものが表3-2である。DSCでは昇温時と降温時の潜熱量はほぼ一致するのに対して、実大サンプルでは昇温過程の方が大きな値を示した。実大サンプルの場合、全体の量が多いため、内部に放熱しきれなかった潜熱蓄熱材が存在する可能性が考えられる。そのため、昇温時の潜熱量は、0.1℃/minのDSCと実大サンプルの結果が近く、降昇温時の潜熱量は、1℃/minのDSCと実大サンプルの結果が近い。

図3-11にDSCによる見かけの比熱の計測結果を示す。DSCにおいて、1℃/minを選択した場合、実大サンプルと似た比熱の分布が得られている。

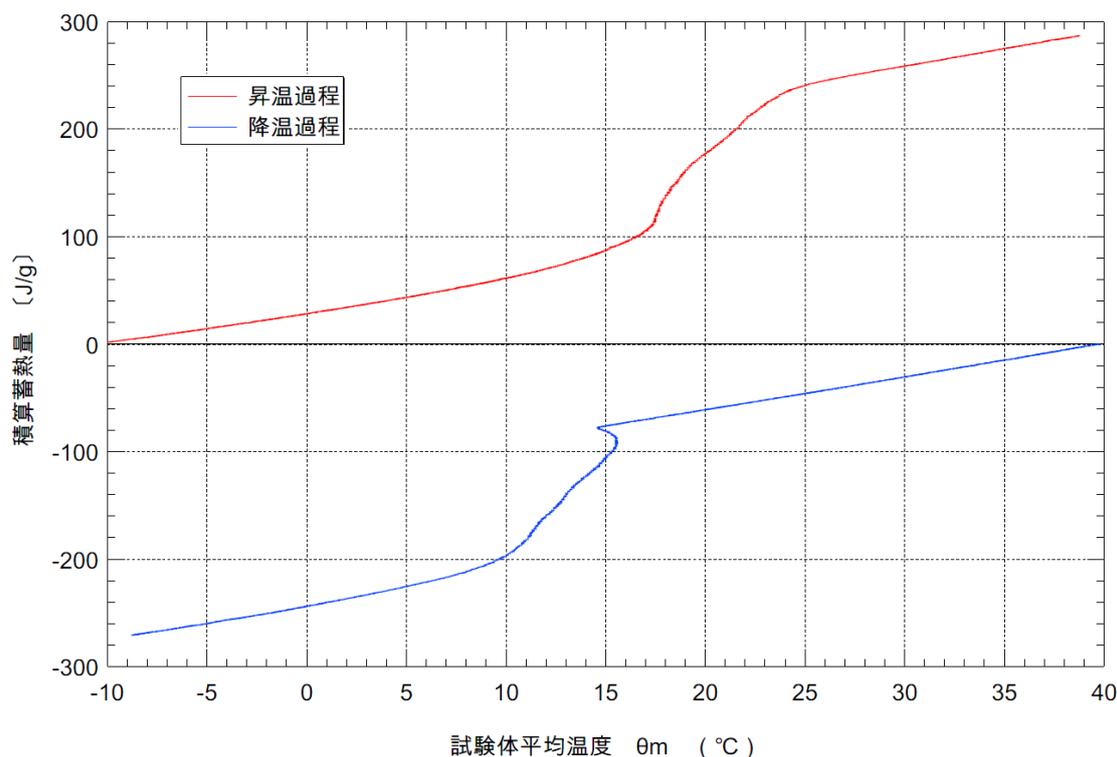


図3-9 実大サンプルを用いた温度、熱量の関係

(無機系潜熱蓄熱材（18℃製品、300mm×300mm×10mm）、昇温・降温速度：0.0667℃/min)

表 3-2 DSC と実大サンプル試験の比較

試験	昇温降温 速度 °C/min	昇温過程				降温過程			
		潜熱域α	潜熱域β	ピーク温度	潜熱量	潜熱域α	潜熱域β	ピーク温度	潜熱量
		°C				°C			
DSC	1	10.5~25.2	16.5~20.5	18.2	104	4.1~14.1	7.7~10.0	9.4 (11.4)*	106
	0.1	12.1~22.4	16.7~20.8	17.1	132	7.8~15.1	10.3~12.6	12.4	131
熱流計	0.0667	8~26	16~25	17	136	5~15	9~15	14	116

* () 内は2つピークが確認された時のもう一方の温度

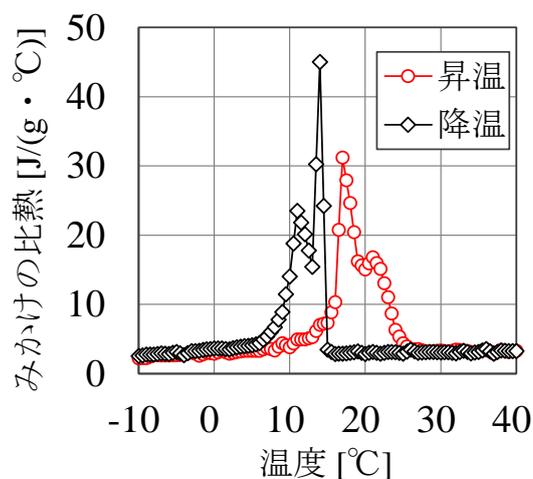


図 3-10 みかけの比熱 (実大サンプル)

(無機系潜熱蓄熱材 (18°C製品、300mm×300mm×10mm)、昇温・降温速度：0.0667°C/min)

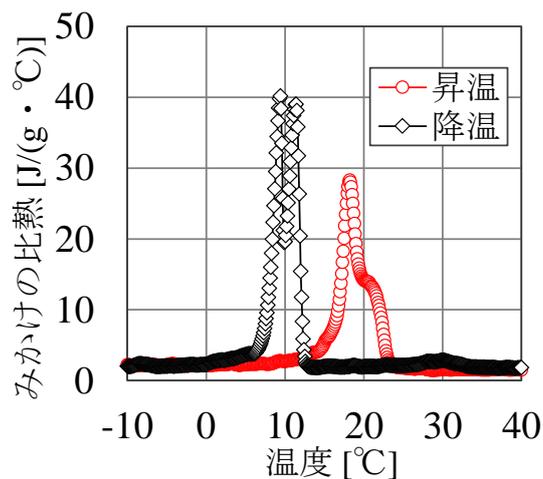


図 3-11 みかけの比熱 (DSC)

(無機系潜熱蓄熱材 (18°C製品)、昇温・降温速度：1°C/min)

3.3 潜熱蓄熱材の数値計算手法

3.3.1 基礎方程式

(1) 相変化のモデル化

相変化による潜熱の効果を実際の比熱に加え、「見かけの比熱」として扱う。基礎方程式を以下に示す。

$$C_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (3.2)$$

ここで、 C_p : 比熱、 T : 温度、 λ : 熱伝導率、 ρ : 密度 である。

相変化における比熱及び熱伝導率の変化は、相変化率 ϕ の関数とする。 L は潜熱である。

$$C_p = C_s + (C_l - C_s)\phi + L \frac{d\phi}{dT} \quad (3.3a)$$

$$\lambda = \lambda_s + (\lambda_l - \lambda_s)\phi \quad (3.3b)$$

ここで、誤差関数を導入し、相変化率 ϕ を以下の関数で表す。

$$\frac{d\phi}{dT} = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\pi}} \exp[-\varepsilon^2 (T - T_f)^2] \quad (3.4)$$

$$\varepsilon = 1/\sqrt{2\Delta T} \quad (3.5)$$

ΔT : 相変化温度間隔の 1/2

図 3-12 は物性値の温度依存のイメージを示したものである。相変化により見かけの比熱は急激な変化を伴うが、相変化率を連続的な関数で定義することで、潜熱を考慮した比熱の変化および熱伝導率の変化を、円滑に取り扱うことができる。

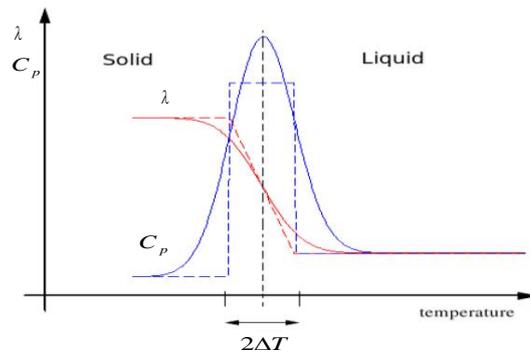


図 3-12 相変化による物性値の変化

(2) 差分計算モジュールの作成

既往の研究では、潜熱蓄熱材の非線形性に対応するため有限差分法、もしくは有限体積法で離散化されており、本研究においては有限差分法を用いる。式(3.2)を有限差分により完全陰解法で離散化すると以下ようになる。

$$\rho_i C_{pi}^{n+1} \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta x_i} \left(-\lambda_{i-1/2}^{n+1} \frac{(-T_{i-1}^{n+1} + T_i^{n+1})}{\Delta x_{i-1/2}} + \lambda_{i+1/2}^{n+1} \frac{(-T_i^{n+1} + T_{i+1}^{n+1})}{\Delta x_{i+1/2}} \right) \quad (3.6)$$

計算格子点の変数の配置について図3-13に示す。格子点間における熱伝導率は調和平均を適用する。

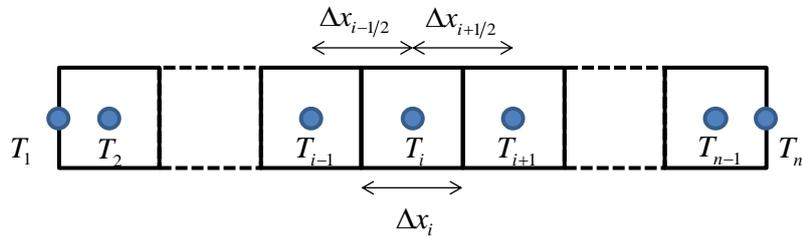


図3-13 格子点の配置

差分計算モジュールの概要を図3-14に示す。(a)は全体の計算の流れを示しており、ファイル入力および解析条件設定のプリ部分、熱伝導方程式の時間発展ループ部分、ファイル出力のポスト部分から成る。(b)は熱伝導方程式の時間発展を行うサブルーチンである。ここでは、物性値の設定、係数行列の計算、右辺ベクトルの計算、境界条件の設定を行い、マトリックスソルバー (BiCG-Stab 法) で時々刻々の温度を計算する。なお、物性が非線形となるため式(3.6)を解くにはNewton 法等による計算処理が通常必要となるが、ここではマトリックスソルバーの反復計算の過程で熱物性値を更新し、収束判定を行う。(c)はサブルーチン構成である。

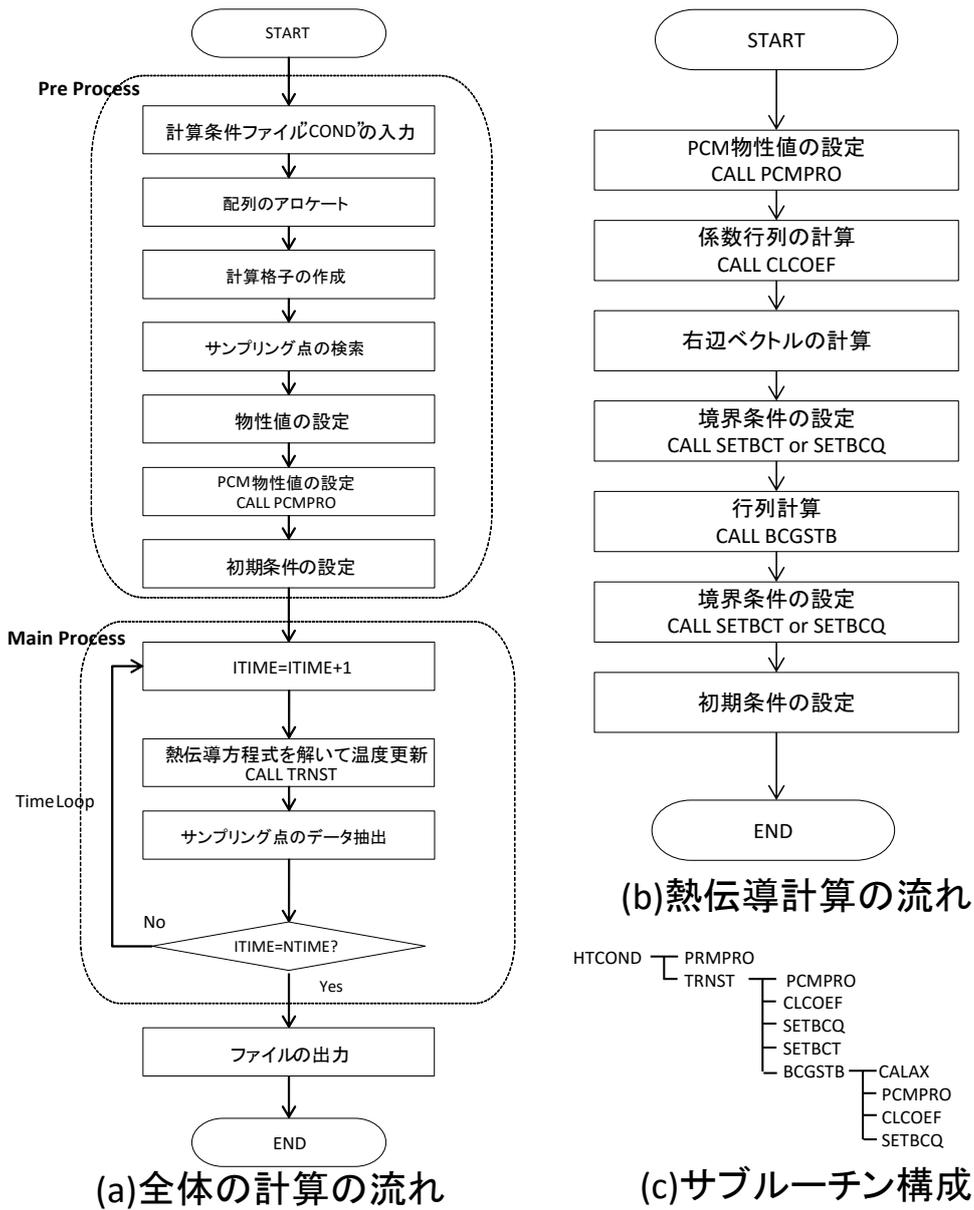


図 3 - 1 4 差分計算の流れ

3.3.2 理論解によるモデル検証

(1) ノイマン問題

相変化現象のベンチマークテストとして取り上げられるノイマンの凍結問題を用いて、開発したモデルの検証を行う。図3-15に示すように半無限固体の表面温度を固定する1次元の相変化問題を考え、時間経過とともに凝固面が伝播する現象を検討対象とする。

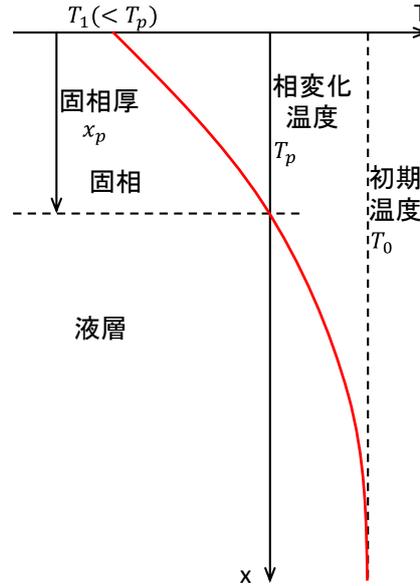


図3-15 ノイマン問題

ノイマンの凍結問題に関する理論解は、次に示す、半無限固体の非定常熱伝導の理論解を基本としている。

$$\frac{T-T_0}{T_1-T_0} = \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \right] \quad (3.7)$$

凍結域、非凍結域でそれぞれ式(3.7)を適用し、凍結深さ x_p においては、固相温度と液相温度が一致し、相変化熱を含む熱フラックスの収支式が成立すると仮定する。そうすると、各相の温度分布の理論解が、式(3.8a)、(3.8b)と求まる。このとき、凍結深さ x_p は式(3.8c)を満足する。

固相の温度 ($0 \leq x \leq x_p$):

$$T_s = T_1 + \frac{T_p - T_1}{\operatorname{erf} \left(\frac{x_p}{2\sqrt{\kappa_s t}} \right)} \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa_s t}} \right) \quad (3.8a)$$

液相の温度($x_p \leq x$)

$$T_\ell = \frac{T_p - T_0 \operatorname{erf}\left(\frac{x_p}{2\sqrt{\kappa_\ell t}}\right)}{\operatorname{erfc}\left(\frac{x_p}{2\sqrt{\kappa_\ell t}}\right)} + \frac{T_0 - T_p}{\operatorname{erfc}\left(\frac{x_p}{2\sqrt{\kappa_\ell t}}\right)} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa_\ell t}}\right) \quad (3.8b)$$

界面の熱フラックス($x = x_p$)

$$\frac{\sqrt{\pi} L \rho_s x_p}{2\sqrt{t}} = \frac{\lambda_s}{\sqrt{\kappa_s}} \frac{T_p - T_1}{\operatorname{erf}\left(\frac{x_p}{2\sqrt{\kappa_s t}}\right)} \exp\left(-\frac{x_p^2}{4\kappa_s t}\right) - \frac{\lambda_\ell}{\sqrt{\kappa_\ell}} \frac{T_0 - T_p}{\operatorname{erfc}\left(\frac{x_p}{2\sqrt{\kappa_\ell t}}\right)} \exp\left(-\frac{x_p^2}{4\kappa_\ell t}\right) \quad (3.8c)$$

(2) モデル検証

潜熱蓄熱材を想定して、表 3-3 の物性値を設定し、差分計算と理論解の比較を行った。差分計算においては、空間分割数 500、時間刻み 12 分とした。

表 3-3 計算条件

項目	固相	液相
密度 [kg/m ³]	1,420	
熱伝導率 [W/m・K]	0.63	0.57
比熱 [kJ/kg・K]	3.7	3.5
潜熱 [kJ/kg]	106	
融点 [°C]	22	
初期温度 [°C]	30	

図 3-16 に凍結深さの計算結果を表す。時間とともに、凍結が進行し、20 日目には凍結深さは 30cm 以上に到達する。凍結深さの計算結果は、理論解と良く合致する。

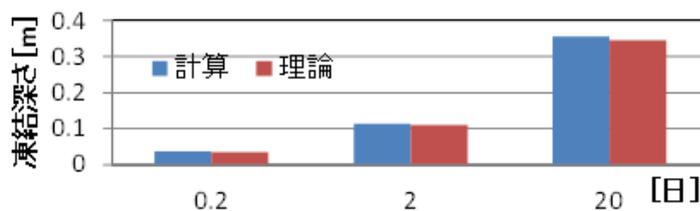


図 3-16 凍結深さ

(潜熱蓄熱材を想定したノイマン問題)

図3-17に示す温度分布についても、数値モデルの再現性は十分高いと言える。相変化温度の22℃を境に、各時間の温度分布が明瞭に異なっており、理論、計算ともに、固体では直線状、液体側では深部温度30℃に対して漸近する曲線状となる。

このように、計算と理論は良く合致しており、差分計算モジュールは適切にプログラムが組み立てられていると考えられる。

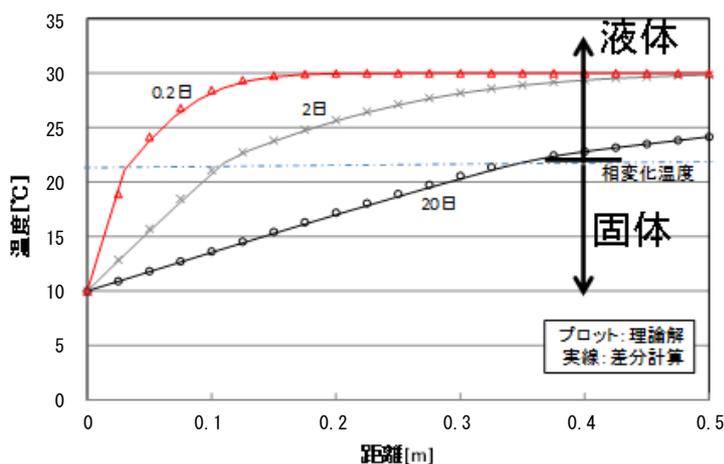


図3-17 温度分布
(潜熱蓄熱材を想定したノイマン問題)

3.3.3 空調熱負荷計算プログラムへの潜熱蓄熱効果の組み込み

(1) 応答係数法と差分法

空調熱負荷計算では応答係数法により熱伝導方程式を計算している場合が多い。一方、潜熱蓄熱材は今回差分法で計算しているため、両者の接続にはいくつかの工夫が必要となる。通常の壁は応答係数法、潜熱蓄熱材を有する壁 (PCM 壁) は差分法で解き、両者はモデル上混在することになる。差分法がモデル上混在する状況に関して、壁体内に問題は留まらず、間欠空調運転や多数室換気の計算による室温変動やふく射の影響にも及ぶ。したがって、空調熱負荷計算で取り扱われる各種熱応答係数とも理論的整合を図る必要がある。

(2) 差分壁を考慮した各種熱応答

全ての壁は、応答係数により表現できるとすると、壁 i の内表面における熱収支は式 (3.9) で表される⁸⁾。

$$\alpha_t \theta_{si} - \alpha_r \sum_j g_{ij} \left(1 - \frac{\phi_{A_i}}{\alpha_t} \right) \theta_{sj} = \theta_{oi} \phi_{T_i} + \alpha_c \left(1 - \frac{\phi_{A_i}}{\alpha_t} \right) \theta_r \quad (3.9)$$

ここで、 g_{ij} : ふく射吸収係数、 α_c : 対流熱伝達率、 α_r : 放射熱伝達率、 α_t : 総合熱伝達率、 θ_s : 室内壁表面温度、 θ_o : 外気温度、 θ_r : 室温、 ϕ_A : 吸熱応答、 ϕ_T : 貫流熱応答である。ここで、 g_{ij} を以下のように仮定する⁸⁾。

$$g_{ij} = A_j / \bar{A} \quad (3.10a)$$

$$\bar{A} = \sum_j A_j \quad (3.10b)$$

次に、通常壁（応答係数）と PCM 壁（差分）が混在する場を考える。差分壁については、仮想温度を用いず壁の表面温度が直接算出されるので、まず、通常壁について整理する。壁の種類を個別に扱うため、通常壁で 0、PCM 壁で 1 となる関数 δ_i を便宜的に導入する。式(3.10)を式(3.9)に代入し、両辺に表面積 A_i を掛けて通常壁のみで i に関する総和を取ると以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} & \alpha_t \sum_i (1 - \delta_i) A_i \theta_{si} \\ & - \alpha_r \sum_i (1 - \delta_i) \frac{A_i}{A} \left(1 - \frac{\phi_{A_i}}{\alpha_t} \right) \left\{ \sum_j (1 - \delta_j) A_j \theta_{sj} + \sum_j \delta_j A_j \theta_{sj} \right\} \\ & = \sum_i (1 - \delta_i) A_i \theta_{oi} \phi_{T_i} + \alpha_c \sum_i (1 - \delta_i) A_i \left(1 - \frac{\phi_{A_i}}{\alpha_t} \right) \theta_r \end{aligned} \quad (3.11)$$

総和に関するインデックス i と j はクロスしないので i に統一し、整理すると以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} & \left\{ \alpha_t - \alpha_r \sum_i (1 - \delta_i) \frac{A_i}{A} \left(1 - \frac{\phi_{A_i}}{\alpha_t} \right) \right\} \sum_i (1 - \delta_i) A_i \theta_{si} \\ & = \sum_i (1 - \delta_i) A_i \theta_{oi} \phi_{T_i} + \alpha_c \sum_i (1 - \delta_i) A_i \left(1 - \frac{\phi_{A_i}}{\alpha_t} \right) \theta_r \\ & + \alpha_r \sum_i (1 - \delta_i) \frac{A_i}{A} \left(1 - \frac{\phi_{A_i}}{\alpha_t} \right) \sum_i \delta_i A_i \theta_{si} \end{aligned} \quad (3.12)$$

ここで、右辺第 3 項は PCM 壁に関する総和であり、PCM 壁からのふく射に起因する項である。さらに整理すると以下の式を得る。

$$\begin{aligned}
& \sum_i (1-\delta_i) A_i \theta_{si} \\
&= \frac{\sum_i (1-\delta_i) A_i \theta_{oi} \phi_{Ti} + \alpha_c \left(A' - \frac{\phi'_A}{\alpha_t} \right) \theta_r + \alpha_r \left(\frac{A'}{A} - \frac{\phi'_A}{A \alpha_t} \right) \sum_i \delta_i A_i \theta_{si}}{\alpha_c + \alpha_r \left(1 - \frac{A'}{A} + \frac{\phi'_A}{A \alpha_t} \right)} \quad (3.13)
\end{aligned}$$

ここで、

$$A' = \sum_i (1-\delta_i) A_i \quad (3.14a)$$

$$\phi'_A = \sum_i (1-\delta_i) A_i \phi_i \quad (3.14b)$$

とする。よって、通常壁のみから部屋に流入する熱量 Q' は以式で表される。

$$\begin{aligned}
Q' &= \alpha_c \sum_i (1-\delta_i) A_i (\theta_{si} - \theta_r) \\
&= \frac{\alpha_c}{\alpha_c + \alpha_r \left(1 - \frac{A'}{A} + \frac{\phi'_A}{A \alpha_t} \right)} \\
&\times \left[\sum_i (1-\delta_i) A_i \theta_{oi} \phi_{Ti} - \left\{ \frac{1}{\alpha_t} \left(\alpha_c + \frac{A'}{A} \alpha_r \right) \phi'_A + \alpha_r A' \left(1 - \frac{A'}{A} \right) \right\} \theta_r + \alpha_r \left(\frac{A'}{A} - \frac{\phi'_A}{A \alpha_t} \right) \sum_i \delta_i A_i \theta_{si} \right] \quad (3.15)
\end{aligned}$$

室の蓄熱応答 Ψ_A は式(3.15)において、 $\theta_r \neq 0$ 、 $\theta_{oi} = \theta_{si} = 0$ の場合であり、

$$\Psi_A = \frac{\alpha_c}{\alpha_c + \frac{\alpha_r \phi'_A}{\alpha_t A} + \alpha_r \left(1 - \frac{A'}{A} \right)} \times \left\{ \frac{1}{\alpha_t} \left(\alpha_c + \frac{A'}{A} \alpha_r \right) \phi'_A + \alpha_r A' \left(1 - \frac{A'}{A} \right) \right\} \quad (3.16a)$$

となる。また、貫流応答 Ψ_T は式(3.15)において、 $\theta_{oi} \neq 0$ 、 $\theta_r = \theta_{si} = 0$ の場合であり、

$$\Psi_T = \frac{\alpha_c}{\alpha_c + \frac{\alpha_r \phi'_A}{\alpha_t A} + \alpha_r \left(1 - \frac{A'}{A} \right)} \times \sum_i (1-\delta_i) A_i \phi_{Ti} \quad (3.16b)$$

となる。

さらに、PCM 壁の室内表面温度に対する熱応答 Ψ_S は式(3.15)において $\theta_{si} \neq 0$ 、 $\theta_r = \theta_{oi} = 0$ の場合であり、

$$\Psi_S = \frac{\alpha_c}{\alpha_c + \alpha_r \left(1 - \frac{A'}{A} + \frac{\phi_A'}{A\alpha_t} \right)} \times \alpha_r \left(\frac{A'}{A} - \frac{\phi_A'}{A\alpha_t} \right) \sum_i \delta_i A_i \theta_{si} \quad (3.16c)$$

となる。

(3) 差分壁を考慮した室の熱収支

差分壁を考慮した、ある時刻における、室 i の熱平衡式は以下で表される。

$$\begin{aligned} E_i = & L_{c,i} + L_{s,i} - P_{VO,i} \theta_{r,i} + P_{SO,i} \sum_l \delta_l A_l \theta_{s,l,i} + C_p V_{OA,i} (\theta_{o,i} - \theta_{r,i}) \\ & + C_p \sum_j V_{j \rightarrow i} (\theta_{r,j} - \theta_{r,i}) + \sum_k P_{TV0,k} \theta_{r,j(k)} + Q_{i,pcm} \end{aligned} \quad (3.17a)$$

$$Q_{pcm,i} = \alpha_c \sum_l \delta_l A_l (\theta_{s,l,i} - \theta_{r,i}) \quad (3.17b)$$

E_i : 室 i における除去熱量

$L_{c,i}$: 室 i における PCM 壁体を除く壁および隣室からの冷房負荷

$L_{s,i}$: 室 i における PCM 壁体を除く壁および隣室からの蓄熱負荷

$P_{VO,i}$: 室 i における瞬時蓄熱応答係数

$P_{SO,i}$: 室 i における瞬時表面温度応答係数

$V_{OA,i}$: 室 i における流入外気量

$V_{j \rightarrow i}$: 室 j から室 i への移動風量

$P_{TVO,k}$: 内壁 k における隣室からの瞬時蓄熱応答係数

C_p : 空気の容積比熱

$\theta_{r,i}$: 室温度

$\theta_{o,i}$: 外気温度

$\theta_{s,l,i}$: 壁 l における内壁表面温度

A_l : 壁 l の面積

$Q_{pcm,i}$: PCM 壁体からの対流熱伝達

PCM 壁は差分法によって解かれ、この時の室内側境界条件は以下の室内ふく射気温が温度境界条件 θ_{bc} として与えられる。

$$\begin{aligned}\theta_{bc} &= (\alpha_c \theta_r + \alpha_r \sum_j g_{ij} \theta_{sj}) / \alpha_t \\ &= (\alpha_c \theta_r + \bar{\theta}_s) / \alpha_t\end{aligned}\tag{3.18}$$

ここで、 $\bar{\theta}_s$ は平均内表面温度であり、以下のように仮定される。

$$\bar{\theta}_s = \sum_j g_{ij} \theta_j = \frac{1}{A} \sum_j A_j \theta_j\tag{3.19}$$

\bar{A} : 表面積を有する部位の面積の総和

PCM 壁の差分計算における境界条件 θ_{bc} を知るには、平均室内表面温度 $\bar{\theta}_s$ が必要となる。応答係数法では室内表面温度は直接求められていないので、平均室内表面温度 $\bar{\theta}_s$ を仮定し、まず次式から室の除去熱量 E_i をいったん計算する。

$$E_i = \alpha_c \bar{A} (\bar{\theta}_s - \theta_{r,i}) + Q_c\tag{3.20}$$

Q_c : 表面積を持たない部位からの熱量

PCM 壁からの対流熱伝達 $Q_{pcm,i}$ の計算においても平均室内表面温度 $\bar{\theta}_s$ が必要であるので、式(3-17)～(3.20)を通して収束計算を行う必要がある。解の収束には Newton 法により行い、収束しない場合には Steffensen 法に切り替えた。

(4) 熱負荷計算プログラムへの PCM モデルの組み込み

差分壁との共存に当たっての、基本となる熱負荷計算プログラムは NewHASP/ACLD (一般社団法人建築設備技術者協会)⁹⁾ を想定する。同熱負荷計算プログラムへの PCM モデルの組み込みにおける各種条件を以下に示す。

▶ PCM モデルの適応範囲

- ・ 予熱計算を必要とするピーク計算モードでは使用不可とし、シミュレーションモードでのみ使用できるものとする。
- ・ 差分法により取り扱える室要素は外壁および内壁とする。これらは NewHASP で OWAL (外壁)、IWAL (内壁) として指定することができる。
- ・ 室の冷房負荷重み係数および蓄熱応答係数は差分法により取り扱われる壁を除いた応答係数により求められる。但し、壁面積の合計には差分法による壁も含める。
- ・ 年間空調スケジュール運転、間欠空調運転、多数室換気の計算を可能とする。
- ・ 多数室換気についてはユーザーが部屋間の移動空気量を指定するものとする。

- ・ 差分法の壁が含まれる時は、冷房負荷単独を計算することはできない。冷房負荷を求める場合は、基準室温を維持する空調容量として無限大を指定し得られる除去熱量を冷房負荷とする。
- ・ 潜熱蓄熱材を含む壁材が設定されていないときは、通常の NewHASP と同様の計算が行えることとする。

➤ 入力データ

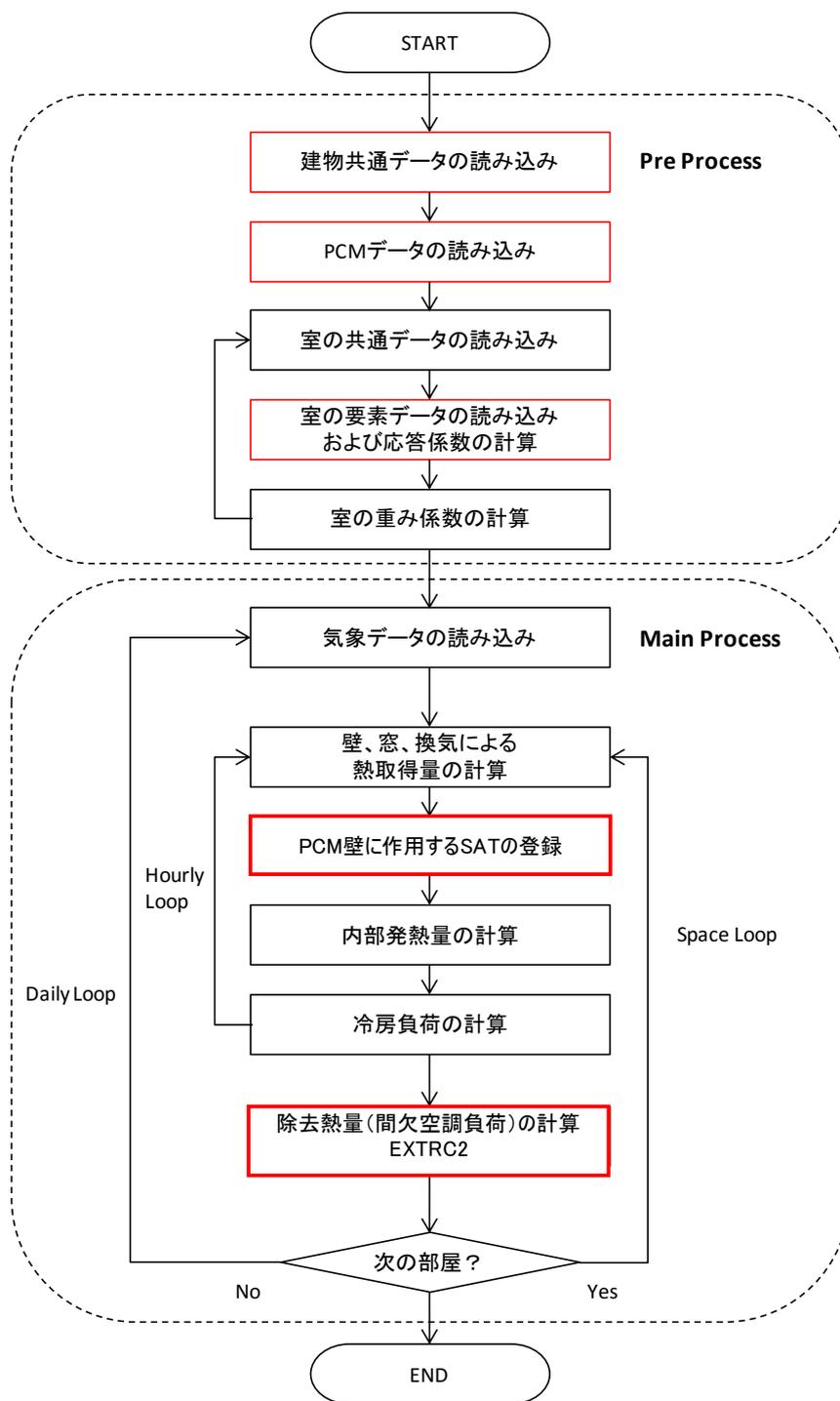
- ・ 必要な入力データは NewHASP と同じとする
- ・ 差分法の壁を含む壁材を作成するには、壁材 (WCON) の材番に 100 番を指定する。
- ・ 潜熱蓄熱材の物性値は別途入力ファイル” pcm.dat” を用意する。

➤ 出力データ

- ・ NewHASP と同様に各室の顕熱および潜熱の室温、冷房負荷、除去熱量、装置除去熱量などが時系列で出力される。
- ・ 差分法により取り扱う壁の各計算格子における温度の時系列データを出力する。

➤ 処理フロー

- ・ メインルーチン NewHASP-ACLD.f (図 3-18)
- ・ 室の熱平衡式の収束計算 (図 3-19)



修正・追加する処理

図 3-18 メインルーチン NewHASP-ACLD.f の処理フロー

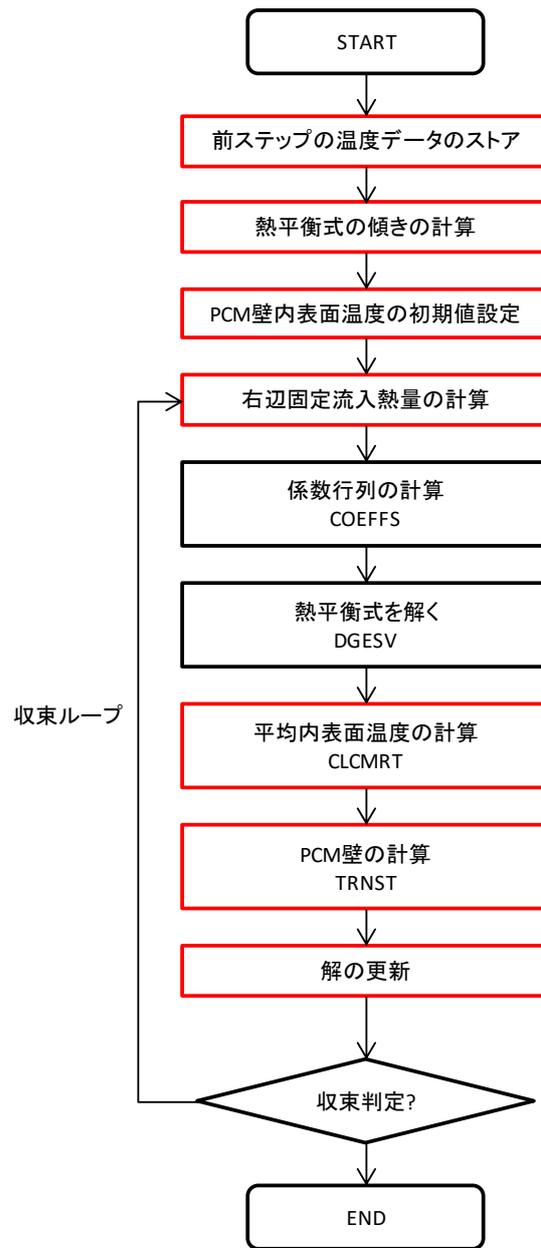


図 3-19 熱平衡式の収束計算処理 (SLVSM.f)

(5) 検証計算

(1)から(4)の検証により開発した潜熱蓄熱効果を組み込んだ空調熱負荷計算プログラム(以降、開発プログラムと称する。)について、4枚の壁を有する簡易建物を対象とした検証を行う。表3-4に建物の概要を示す。外壁に用いるコンクリートおよび潜熱蓄熱材の物性値は、それぞれ表3-5、表3-6とする。気象データは標準年気象データ(東京)を用いる。

表 3-4 4 枚壁を有する建物の概要

項目	値
建物緯度経度 [°]	35.683、139.77
軒高 [m]	1.0
地上高 [m]	0.0
階高 [m]	2.6
天井高 [m]	2.6
床面積 [m ²]	29.16
壁厚さ [m]	0.3
壁面積 [m ² /枚]	14.04
壁枚数 [枚]	4
基準温度 [°]	20

表 3-5 コンクリートの物性値

項目	値
密度 [kg/m ³]	2,347
熱伝導率 [W/m・K]	2.6
比熱 [J/kg・K]	1,050
厚さ [m]	0.3

表 3-6 潜熱蓄熱材の物性値

項目	固相	液相
密度 [kg/m ³]	1,500	1,500
熱伝導率 [W/m・K]	1.01	0.7
比熱 [J/kg・K]	3,832	3,405
潜熱 [J/kg]	141,000	
融点 [K]	294 (283~298)	
厚さ [m]	0.3	
比熱テーブル	モデル値を使用	

まず、8/1～8/7の夏期1週間において、空調が稼働しない自然室温を考え、以下の2つのケースを設定する。

- ・ケース1：壁4枚とも応答係数法で解く場合
- ・ケース2：壁1枚を差分、残りの3枚を応答係数法とする場合

ケース1、ケース2の計算結果を図3-20に示す。応答係数法だけの結果と差分法が共存する場合で計算結果は合致している。

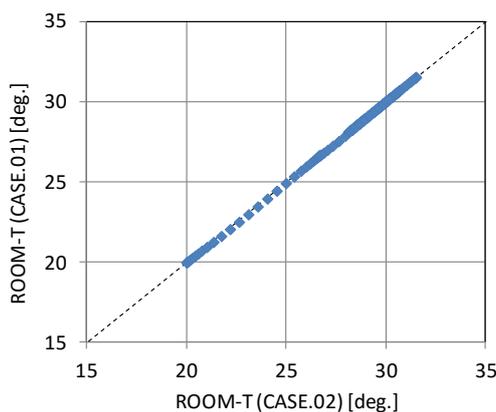


図3-20 応答係数法と差分法の結果比較（自然室温状態、潜熱蓄熱材潜熱なし）

次に、同時期において空調スケジュール（9～17時、20℃）を設定し、以下の4つのケースを設定する。

- ・ケース1：外壁4枚の全てがコンクリート壁で応答係数法を適用する場合
- ・ケース2：外壁4枚の3枚がコンクリート壁で応答係数法、残る1枚はコンクリート壁で差分法を適用する場合
- ・ケース3：外壁4枚の3枚がコンクリート壁で応答係数法、残る1枚はPCM壁で差分法を適用する場合
- ・ケース4：外壁4枚が全てPCM壁で差分法を適用する場合

室温の結果を図3-21に示す。非空調時において、ケース1、ケース2の結果はほぼ合致しており、これよりケース3、ケース4では2～5℃程度低い。これは潜熱蓄熱材の蓄熱効果が非空調時間帯において室温に現れている。

室除去熱量の結果を図3-22に示す。空調時において、ケース1、ケース2の結果はほぼ合致しており、これよりケース3、ケース4では負荷が小さくなり、20～80%程度で推移する。潜熱蓄熱材の蓄熱効果が空調負荷に現れている。

以上の結果は、開発プログラムにおいて潜熱蓄熱の効果が適切に反映されていることを示している。

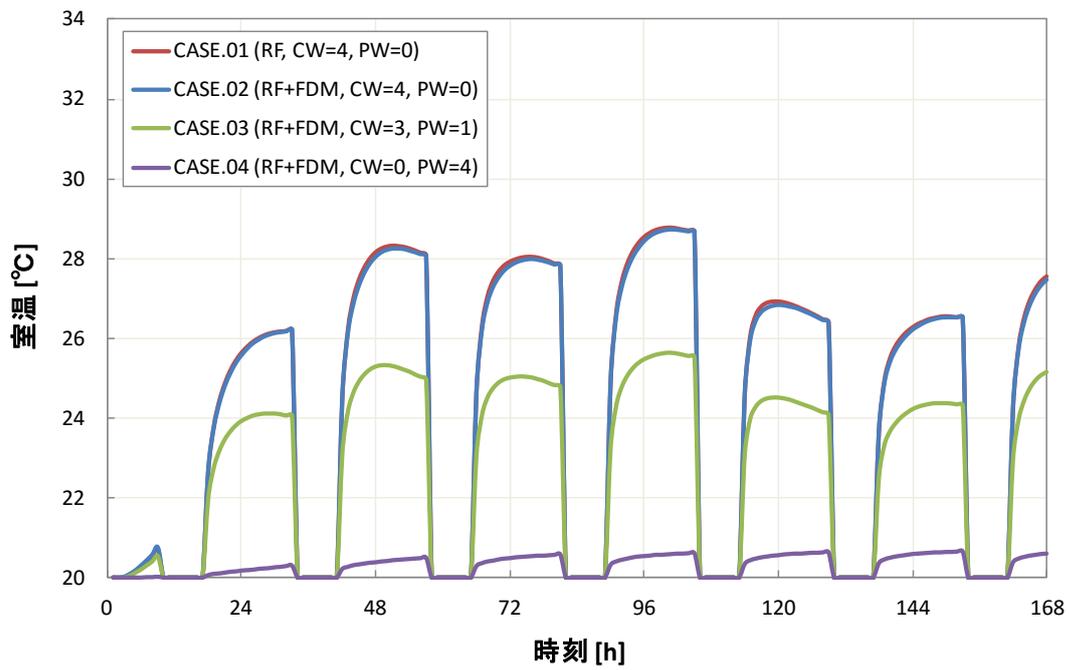


図 3 - 2 1 室温の計算結果比較（空調スケジュールあり）

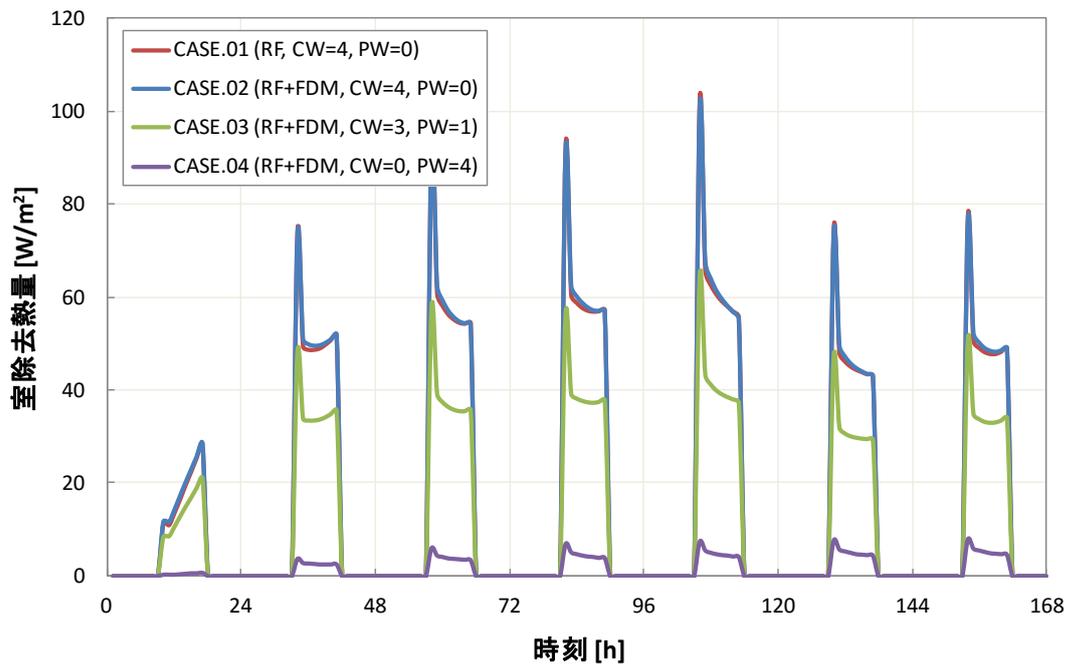


図 3 - 2 2 室除去熱量の計算結果比較（空調スケジュールあり）

3.4 潜熱蓄熱材の実証実験

3.4.1 屋外試験体

(1) 試験体概要

屋外の環境下における潜熱蓄熱材の効果を把握するため、屋外試験体を設置して、壁体の温度計測を実施した。

屋外試験体は2つ作成し、南側にコンクリート製の壁を向けて、約2mの間隔で配置されている。写真3-3の左側、すなわち西側の屋外試験体をA棟と称し、右側（東側）をB棟と称する。

屋外試験体は、鉄筋コンクリート製の壁面（高さ1800mm×幅1800mm）を南側に有し、東西及び北面、屋根・床は鉄骨構造で建築されており、各屋外試験体は内部に室空間を有する構造となっている。東西及び北面の壁には発泡ウレタン断熱材を充填し、約180mmの断熱を施している。両者の違いは、南向きの壁構成にあり、A棟には潜熱蓄熱材を設置し、B棟には潜熱蓄熱材を設置しない。



写真3-3 二つの屋外試験体の外観

(左：A棟（潜熱蓄熱材有）、右：B棟（潜熱蓄熱材無）)

(2) 壁構成

南向きの壁構成について、A棟、B棟をそれぞれ示したのが、**図3-23**である。A棟の場合、コンクリート壁270mmに断熱30mmを1面に設置し、その中に潜熱蓄熱材設置エリア(825×883)を設け、合板6mm、潜熱蓄熱材20mm、石膏ボード9mmを設置した。B棟の場合、コンクリート壁300mmに断熱30mmを1面に設置し、その中にA棟と同様の設置エリア(825×883)を設け、合板12mmを2枚、石膏ボード9mmを設置した。熱抵抗は同一になるよう配慮した。

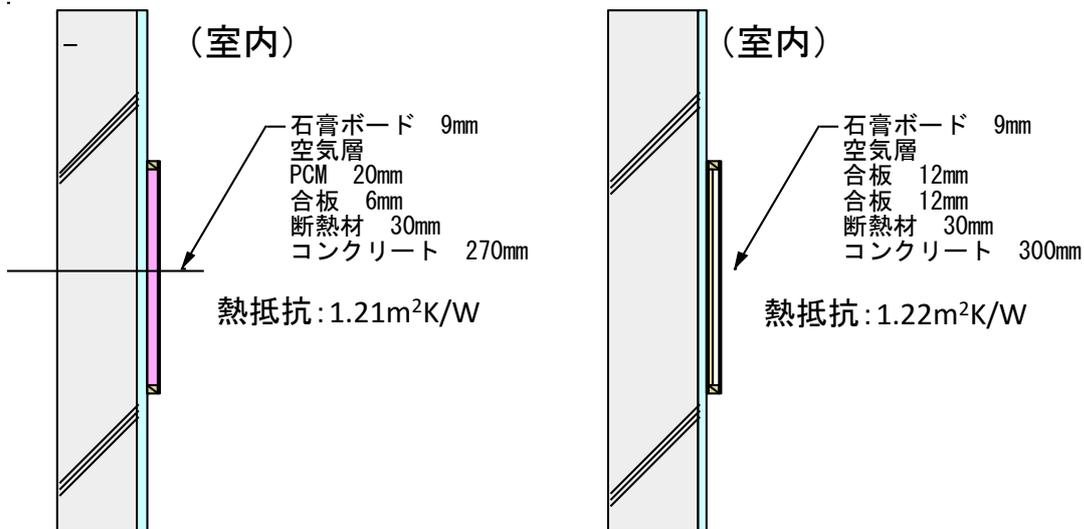


図3-23 壁構成 (左: A棟潜熱蓄熱材あり、右: B棟潜熱蓄熱材なし)

(3) 潜熱蓄熱材の設置

実験に用いた潜熱蓄熱材はパラフィンを原料とする有機系潜熱蓄熱材であり、**表3-7**に示す仕様で製造されている。**写真3-4**に各製品を示す。潜熱蓄熱材は透明ビニールの包装材で密閉されている。

今回の実験では鉛直の壁に潜熱蓄熱材を設置することになる。今回使用する潜熱蓄熱材にゲル化剤は含まれていないので、液状になると水のように包装材の下部にたまる(**写真3-5**)。潜熱蓄熱材の設置に当たっては以下の工夫を施した。幅300mm×高さ150mmの潜熱蓄熱材パッケージを縦方向に二つ折にし(300mm×75mm)、ビニールの溶着しろをステープルで合板(6mm厚)にステープルで留め付けた。留め付け作業は**写真3-6**に示すように液化した状態で行い、33~36個の潜熱蓄熱材を試験壁内に設置した。二つ折にした潜熱蓄熱材は、液化状態で下部に溜まって膨らむ。この膨らみは石膏ボードを取り付ける際に圧縮され、試験壁内部ではほぼ空間を埋め尽くして充填された状態になる。潜熱蓄熱材を設置後、凍結した際の状況を**写真3-7**に示す。

表3-7 潜熱蓄熱材の仕様（メーカー提供による）

品種	ゲル化 剤の有 無	寸法 (mm)	潜熱蓄 熱材 充填量 (g)	融点 (°C)	凝固点 (°C)	融解熱量 (kJ/kg)	密度 (kg/m ³)	熱伝導率 (W/m·K)
15°C 製品	無し	300×150×10	300	15	10	200	820	未測定
25°C 製品	無し	300×150×10	300	26	21	200	820	0.17
35°C 製品	無し	300×150×10	300	35	30	200	820	未測定



写真3-4 実験に用いた潜熱蓄熱材（左から15°C製品、25°C製品、35°C製品）



※右側、左側共に液化しているが、右側はゲル化剤が含まれた製品。
実験に使用したのは左側のゲル化剤が含まれていない製品

写真 3-5 液化した時の潜熱蓄熱材とパッケージの状態



写真 3-6 液化した時の潜熱蓄熱材とパッケージの状態



写真3-7 潜熱蓄熱材の設置状態



写真3-8 潜熱蓄熱材観察窓と撮影用のスポット光照射状況

(4) 観測窓の設置

潜熱蓄熱材の凍結、融解状態を観察するために、試験壁の左上部に観察窓(200mm×150mm)を設けた。0.8WのLED電球のスポットライトを設置して光源を確保し、タイムラプスカメラで状態変化を1分間隔で記録した。写真3-8に観測窓及びスポット光源の設置状況を示す。

(5) 放射式暖房機による加熱制御

室の加熱制御には、放射式暖房機を用いた。試験室の気積は 3.3m^3 (幅1778mm×奥行920mm×高さ2000mm)と小さいので、対流式だと発停が頻繁に行われて安定性に欠けるからである。放射暖房機(オイルヒーター)を用いれば低温での放射暖房が可能であり、空気温度の変化は少なく、低出力で安定した暖房が期待できる。

なお、放射暖房機は機械式のスイッチを有する製品を採用した。これは、A棟とB棟の2台の暖房機をコンセントタイマーでON/OFFするためである。電子制御式は暖房機本体のスイッチでしかON出来ない。コンセントタイマーにはデジタル式を採用した。

3.4.2 屋外実証実験

(1) 実験概要

表3-8に示すスケジュールで実験を行った。1日中暖房し、数日の自然冷却を1セットとして、5ケース程度、3週間の計測を実施した。

茨城県つくば市(館野)の平年の気温では、2月に入ると気温が上昇し始め、潜熱蓄熱材が固まりきらない状況が懸念された。そこで、低温域での潜熱蓄熱材である 15°C 製品を使った屋外実験を先行・実施し、次に 25°C 製品の屋外実験を行うことにした。

(2) 壁面温度の比較

A棟とB棟の壁面温度の挙動を比較したのが、図3-24、図3-25である。

図3-24は、 15°C 製品を使用した場合の結果である。2016年2月10日0時の暖房中には、B棟の壁面温度がA棟より高い。暖房停止後はA棟、B棟ともに温度が低下する中で、A棟の方がB棟より保温効果が見られる。A棟の壁面温度の保温効果は 15°C 以下で顕著に表れている。

図3-25は、 25°C 製品を使用した場合の結果である。2016年2月20日0時の暖房中には、B棟の壁面温度がA棟より高く、温度差は 5°C 以上に開く。暖房停止後はA棟、B棟ともに温度が低下する中で、A棟の方がB棟より保温効果が見られる。A棟の壁面温度の保温効果は 25°C 以下で顕著に表れており、温度差は最大 8°C 程度である。以上から、潜熱蓄熱材の相変化温度による室の保温効果の寄与が示唆される。

表 3-8 屋外実証実験のスケジュール

作業日		作業	実験ケース	暖房開始	暖房終了	状態
2016年	火	実験機材設置	Case1 (FK15)	16時頃		暖房
2月2日		700W、最大能力で加熱				
2月3日	水	冷却開始			10:10	自然冷却
2月4日	木					
2月5日	金					
2月6日	土	冷却延長、データ回収				
2月7日	日					
2月8日	月	確認				
2月9日	火	7時にヒーター加熱 (中温、500W)		7:00		
2月10日	水	7時に冷却開始 現地確認、一部データ回収			7:00	自然冷却
2月11日	木					
2月12日	金	現地確認、一部データ回収				
2月13日	土					
2月14日	日					
2月15日	月	FK25に換装、データ回収				
2月16日	火		18:00		暖房	
2月17日	水			18:00	自然冷却	
2月18日	木	現地確認、一部データ回収				
2月19日	金		12:00		暖房	
2月20日	土			12:00		
2月21日	日				自然冷却	
2月22日	月	現地確認、一部データ回収 タイマー設定変更				
2月23日	火		6:00		暖房	
2月24日	水			6:00		
2月25日	木				自然冷却	
2月26日	金					
2月27日	土	データ回収、実験終了				

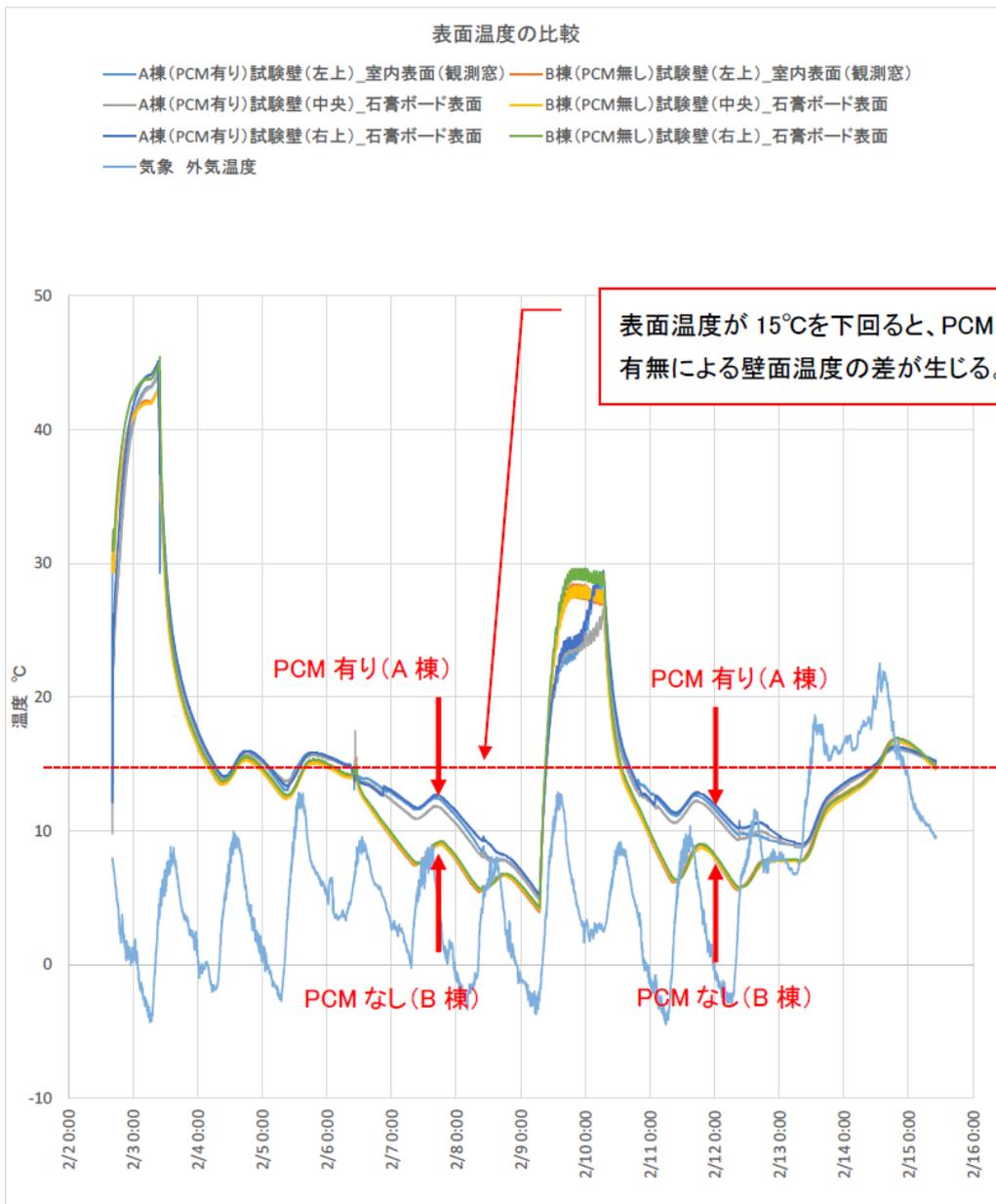


図3-24 壁面温度の挙動（潜熱蓄熱材（15°C製品））

(3) 室温の比較

A棟とB棟の室温等の挙動を比較したのが、図3-26、図3-27である。

図3-26は、潜熱蓄熱剤（15°C製品）を使用した場合の結果である。暖房中には放射暖房機が設置されているので評価は困難である。暖房停止後はA棟、B棟ともに温度が低下する中で、A棟の方がB棟より保温効果が見られる。A棟の室温の保温効果は20°C以下で顕著に表れており、温度差は2°C程度である。なお、2016年2月14日、15日は温暖な気候であったが、室温の差はあまり生じていない。このとき、潜熱蓄熱材の温度は15°C程度であったので、室温影響はほとんどないと考えられる。

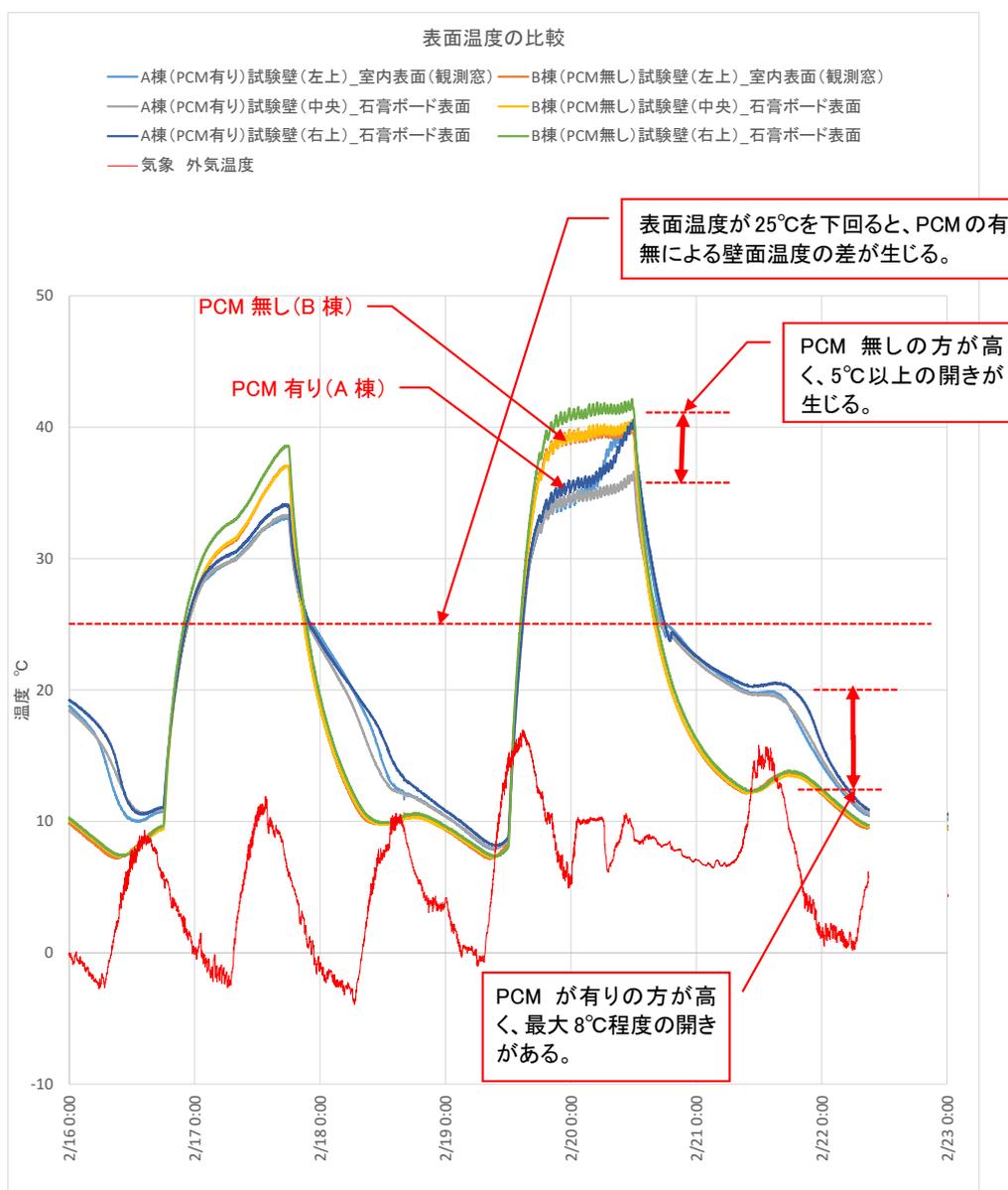


図3-25 壁面温度の挙動（潜熱蓄熱材（25°C製品））

図3-27は、潜熱蓄熱材（25°C製品）を使用した場合の結果である。この場合も、暖房停止後はA棟、B棟ともに温度が低下する中で、A棟の方がB棟より保温効果が見られる。しかし、潜熱蓄熱材温度の挙動より2016年2月21日の夕方には相変化が終了していると考えられ、2016年2月21日の夜間以降の室温差は顕熱の熱容量の相違によるものと推察される。

(4) 潜熱蓄熱材温度

A棟の潜熱蓄熱材温度の挙動を比較したのが、図3-28～図3-29である。ここで、潜熱蓄熱材の表面とは室内側、裏面とは断熱材側を示す。

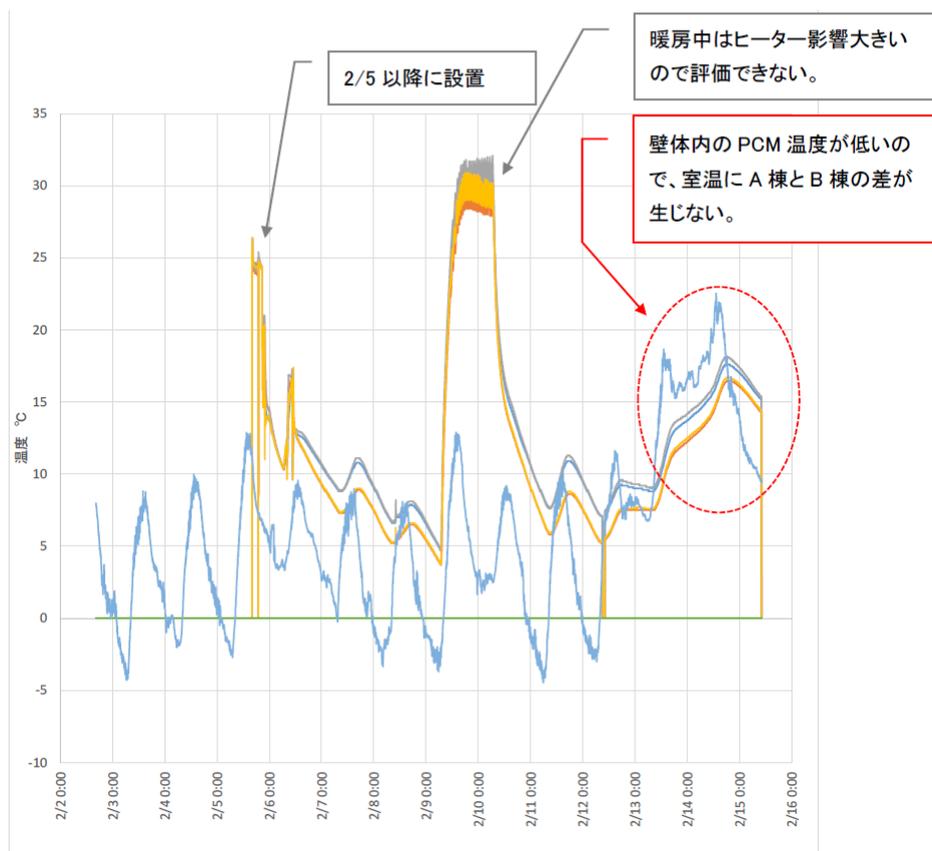


図3-26 室温等の挙動（潜熱蓄熱材（15℃製品））

図3-28は潜熱蓄熱材（15℃製品）の潜熱蓄熱材の温度の挙動を表したものである。図中に点線で囲った2月5日、2月11日において、潜熱蓄熱材の表面温度、裏面温度がともにいったん下降し、2℃程度上昇後、15℃近辺で温度を保持する現象が見られる。これは過冷却現象と考えられる。また、暖房中の2月10日0時において潜熱蓄熱材の裏面温度が15℃を境に急激に上昇する様子が現れている。このとき、室内表面の石膏ボードの温度は20℃を超えているが、潜熱蓄熱の影響を受けて温度上昇が抑制されていると解釈される。

図3-29は潜熱蓄熱材（25℃製品）の潜熱蓄熱材の温度の挙動を表したものである。図中に点線で囲った2月20日において、潜熱蓄熱材の表面温度、裏面温度がともにいったん下降し、1℃程度上昇後、25℃近辺で温度を保持する現象が見られる。潜熱蓄熱材（15℃製品）と同様の、潜熱蓄熱材（25℃製品）の過冷却現象と考えられる。また、暖房中の2月20日において潜熱蓄熱材の表面温度が上昇する中で、裏面温度が25℃を保持している様子が現れている。暖房終了間際に潜熱蓄熱材の裏面温度が上昇し始めており、融解終了を示している。

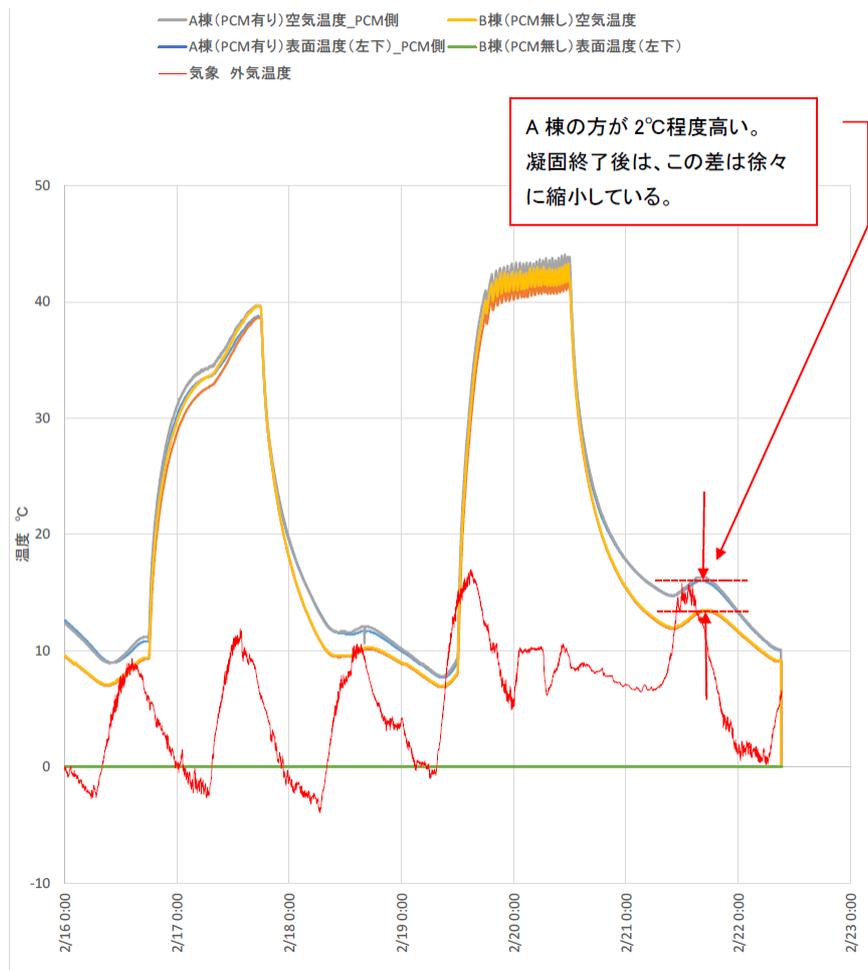


図3-27 室温等の挙動（潜熱蓄熱材（25°C製品））

潜熱蓄熱材が固まる際の静止画像の事例を写真3-9に示す。30分程度の時間で潜熱蓄熱材が白濁している様子が分かる。白濁は左から右に水平方向で生じている。観測窓から見えている3つの潜熱蓄熱材は2時間以内に全て白濁する。これらの画像が記録されたのは、過冷却後に潜熱蓄熱材が凝固する時間帯に相当する。

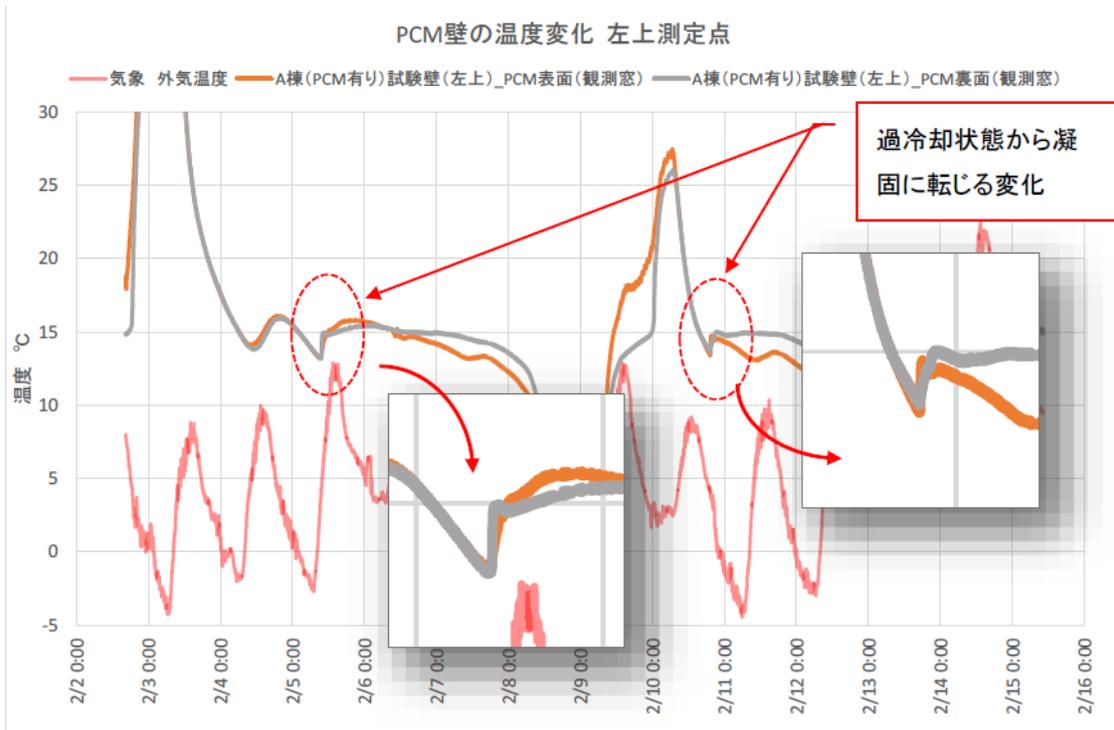


図 3 - 2 8 潜熱蓄熱材の温度の挙動 (潜熱蓄熱材 (15°C製品))

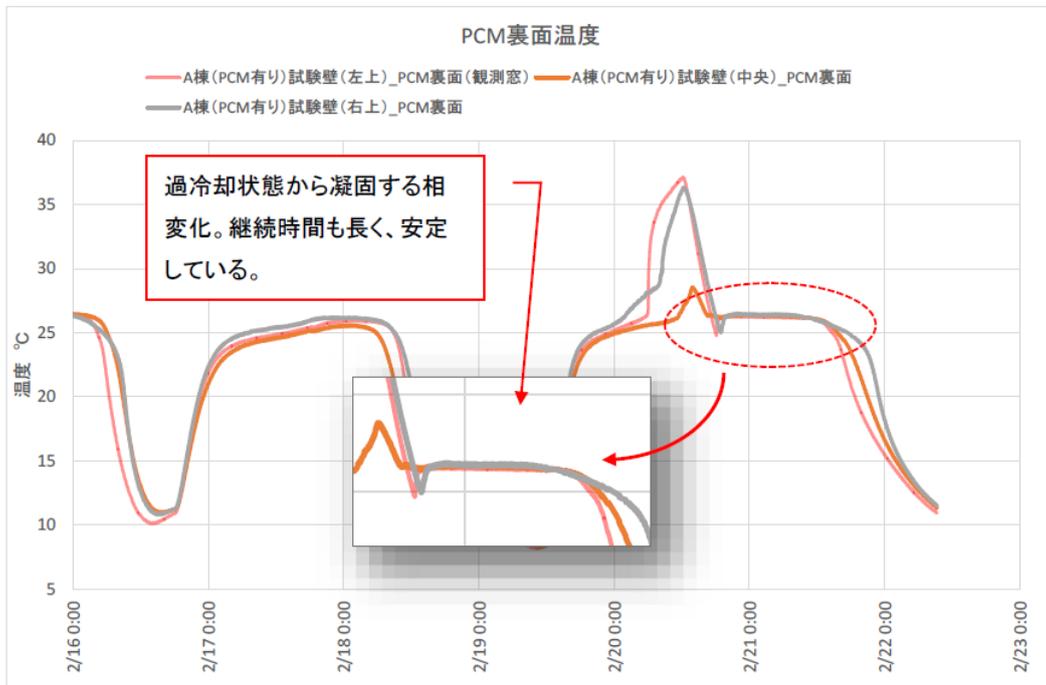


図 3 - 2 9 潜熱蓄熱材の温度の挙動 (潜熱蓄熱材 (25°C製品))



写真3-9 過冷却後の凝固（潜熱蓄熱材（15℃製品））
（上から2016年2月10日19:03、19:18、19:33のカメラ撮影画像）

3.5 潜熱蓄熱材のケーススタディ

3.5.1 事務所最上階の計算モデル

開発プログラムを用いて、潜熱蓄熱材の導入効果を検討する。計算対象は、**図3-30**に示す事務所（最上階）である。**図3-31**は壁等構成、**表3-9**に潜熱蓄熱材の物性値（融点 28℃の場合）、**表3-10**に空調設定を表す。

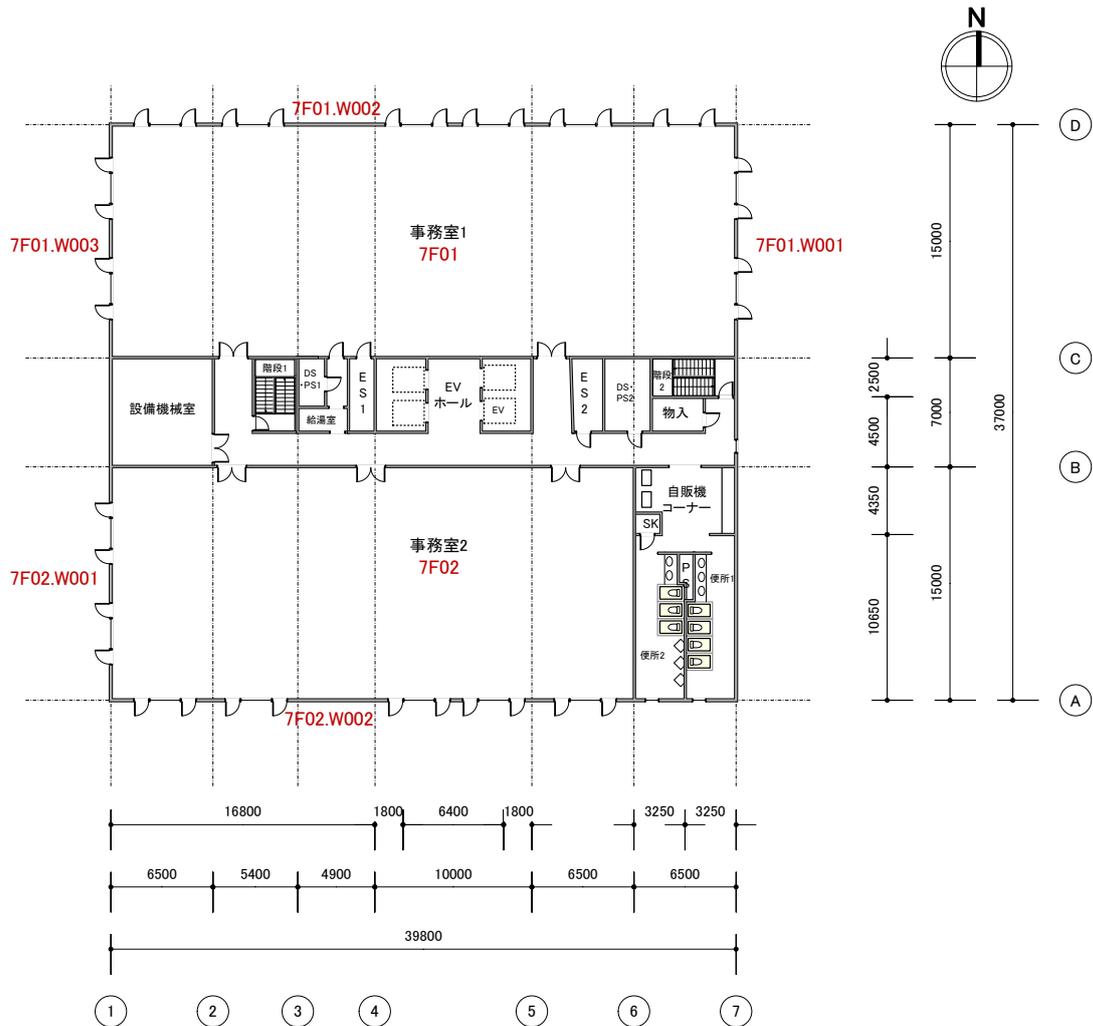


図3-30 計算モデル（事務所最上階）

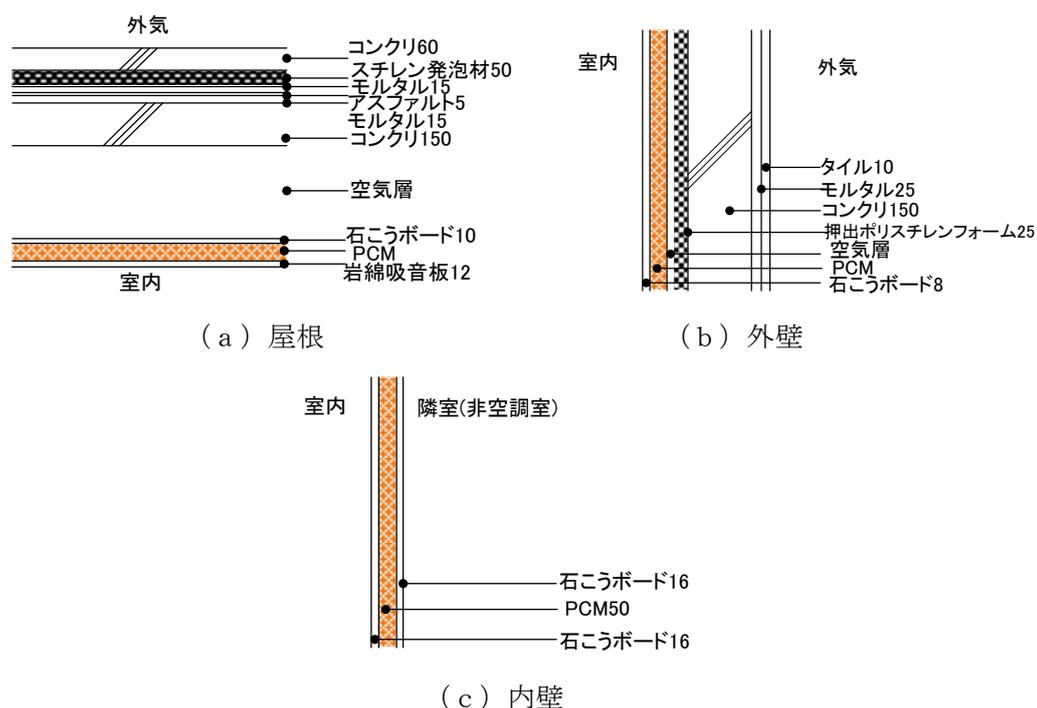


図 3-31 屋根、外壁、内壁の構成

表 3-9 潜熱蓄熱材の物性値 (融点 28°Cの場合)

PCM物性値	密度	比熱[J/kgK]		熱伝導率λ [W/mK]		融点	相変化温度幅	潜熱
	[kg/m ³]	固体	液体	固体	液体	[°C]	[°C]	[J/kg]
	1.53E+03	3.86E+03	3.86E+03	1.01	0.7	28	2	1.50E+05

表 3-10 空調設定

対象期間	設定温湿度	備考
夏期	26°C, 50%	6~9月 冷房モード
冬期	22°C, 50%	12~3月 暖房モード
中間期	24°C, 50%	4, 5, 10, 11月 冷房モード

3.5.2 事務所最上階のケーススタディ

開発モデルを用いて事務所最上階の年間の空調熱負荷計算を実施した。気象データは岡山を用い、潜熱蓄熱材の融点は18、20、22、24、26、28、30°Cの7段階に、潜熱なしの標準ケースを加えた。また、潜熱蓄熱材の厚さは10、50、100mmの3段階を設定した。なお、間仕切りに潜熱蓄熱材は導入しない。

図3-32に計算結果を示す。概ね初夏に省エネ、秋口に非省エネの傾向が現れており、融点の設定により効果が異なることが分かる。また、その傾向は潜熱蓄熱材厚さが増すにつれて大きくなる。

外壁の潜熱蓄熱材の温度の挙動を図3-33に、融解度を図3-34に示す。潜熱蓄熱材の温度の挙動が緩慢になる時期は初夏と秋口であり、その際に凍結融解が生じている。

屋根の場合についても同様に潜熱蓄熱材の温度の挙動を図3-35に、融解度を図3-36に示す。傾向は外壁と同様である。

各季節における室温及び室除去熱量の挙動を図3-37～図3-40に示す。この場合、26℃の融点を想定しており、冬期には固相、夏期には液相となって潜熱蓄熱材の有無による相違は見られない。一方、初夏、秋口においては、潜熱蓄熱の効果が明瞭に現れており、上に述べた傾向を裏付けるものである。

間仕切りの効果を検討するため、開発モデルを用いて事務所最上階の年間の空調熱負荷計算を実施した。廊下、EVホールを非空調エリアとして、事務室2との内壁に潜熱蓄熱材を設置した。気象データは岡山を用い、潜熱蓄熱材の融点は18、20、22、24、26、28、30℃の7段階に、潜熱なしの標準ケースを加えた。また、潜熱蓄熱材の厚さは50mmを設定した。計算結果を図3-41～図3-43に示す。内壁に潜熱蓄熱材を適用した場合も、外壁、屋根と類似の傾向が得られている。

3.5.3 地区・用途別ケーススタディ

地区として、准寒冷地（盛岡）、温暖地（岡山）、温暖地（那覇）の3種類、用途として、事務所、商業、住宅（共用部）の3種類を考え、開発プログラムを用いて年間熱負荷計算を行い、潜熱蓄熱材の導入効果を定量化した。潜熱蓄熱材の厚みは20mm、融点は18℃、28℃、潜熱なしの3段階とした。

建物モデルを図3-44に、屋根・外壁の構成を図3-45に示す。装置除去全熱負荷（年間値）を図3-46に示す。潜熱蓄熱材の導入効果は年間で見ると相殺されるため、さほど大きくないことが分かる。

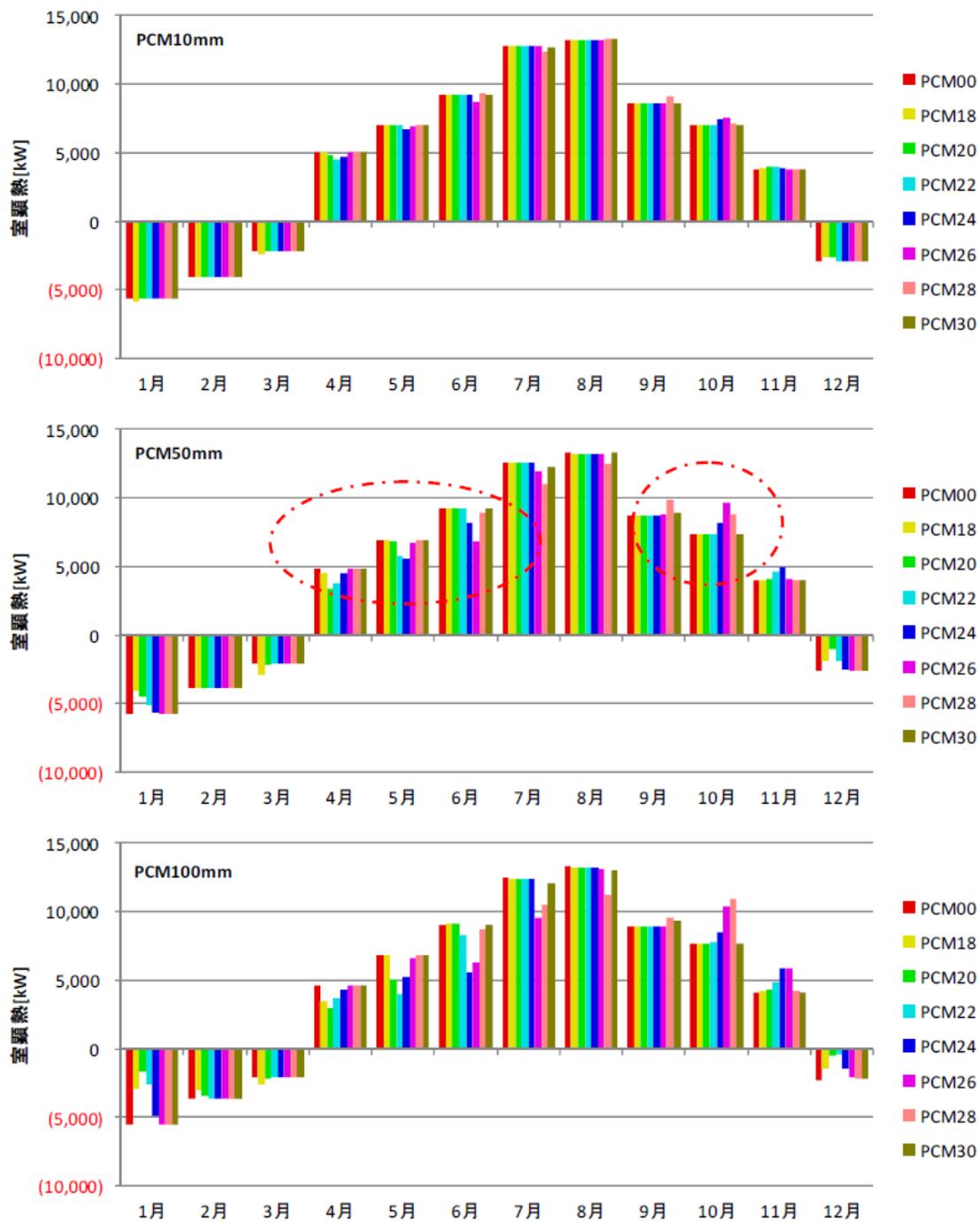


図3-32 月別室顕熱負荷（事務所最上階、岡山）
（外壁、屋根に潜熱蓄熱材を導入した場合）

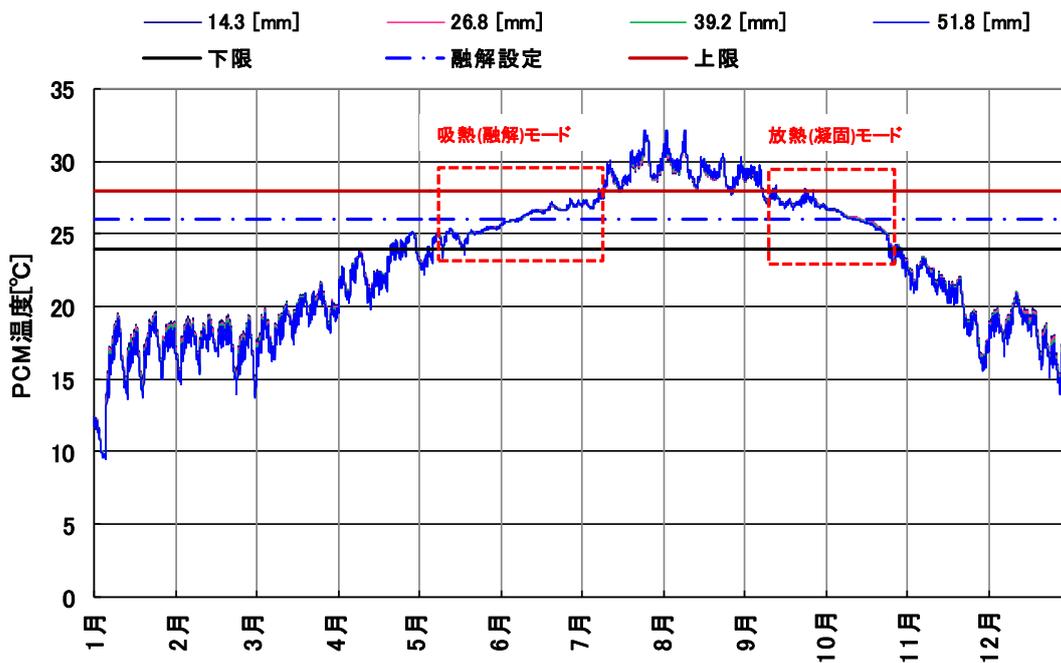


図3-33 外壁の潜熱蓄熱材の温度挙動

(潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26°C、
場所：事務所最上階事務室1、気象：岡山)

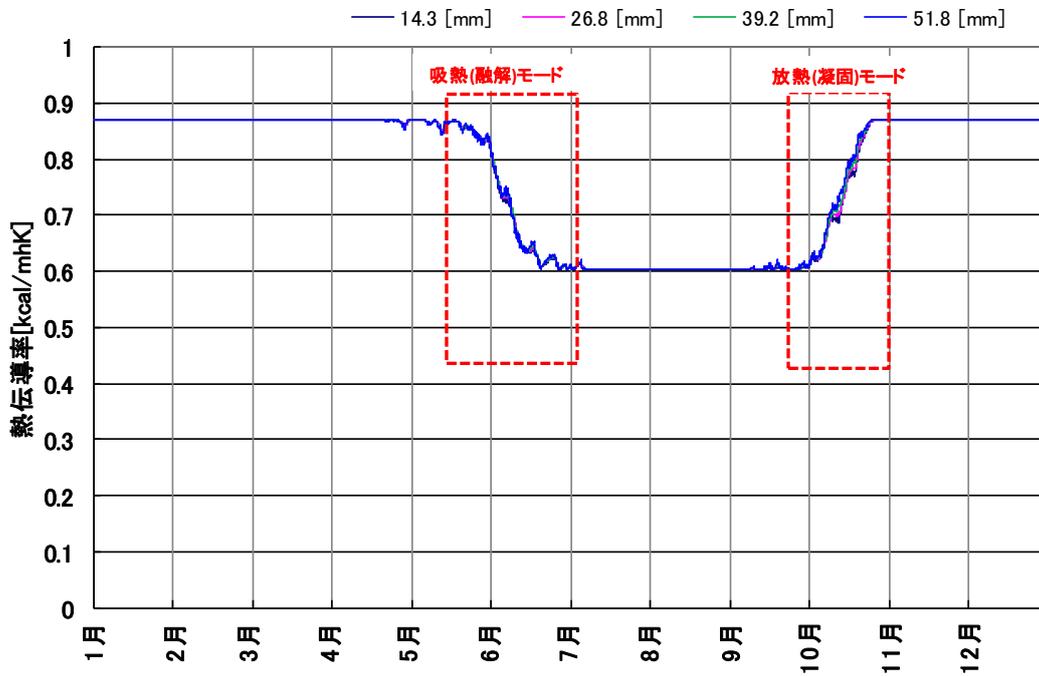


図3-34 外壁の潜熱蓄熱材の融解度挙動

(潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26°C、
場所：事務所最上階事務室1、気象：岡山)

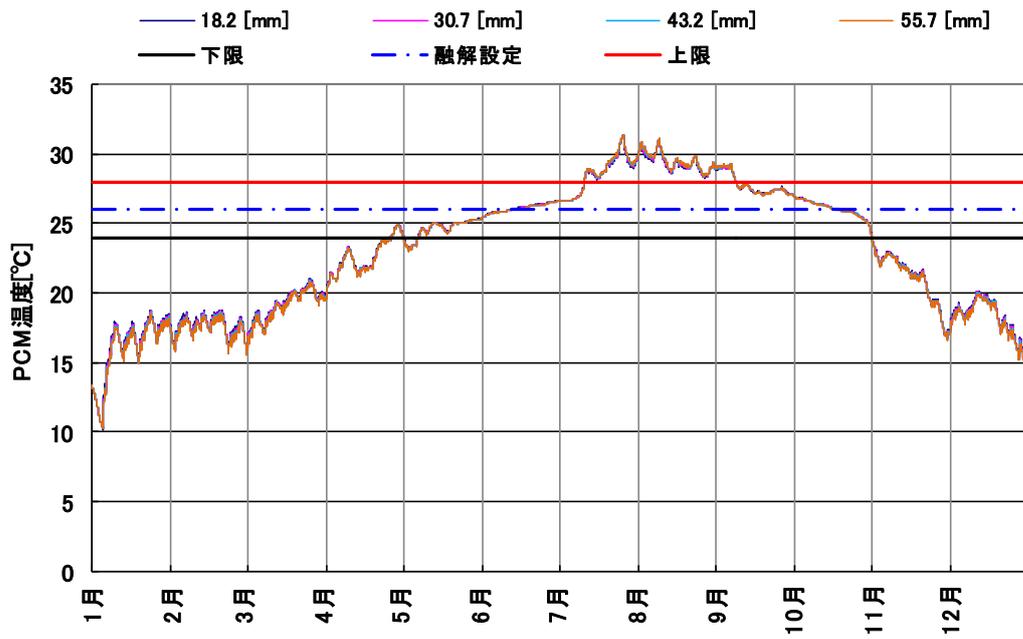


図 3 - 3 5 屋根の潜熱蓄熱材の温度挙動

(潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26℃、
場所：事務所最上階事務室 1、気象：岡山)

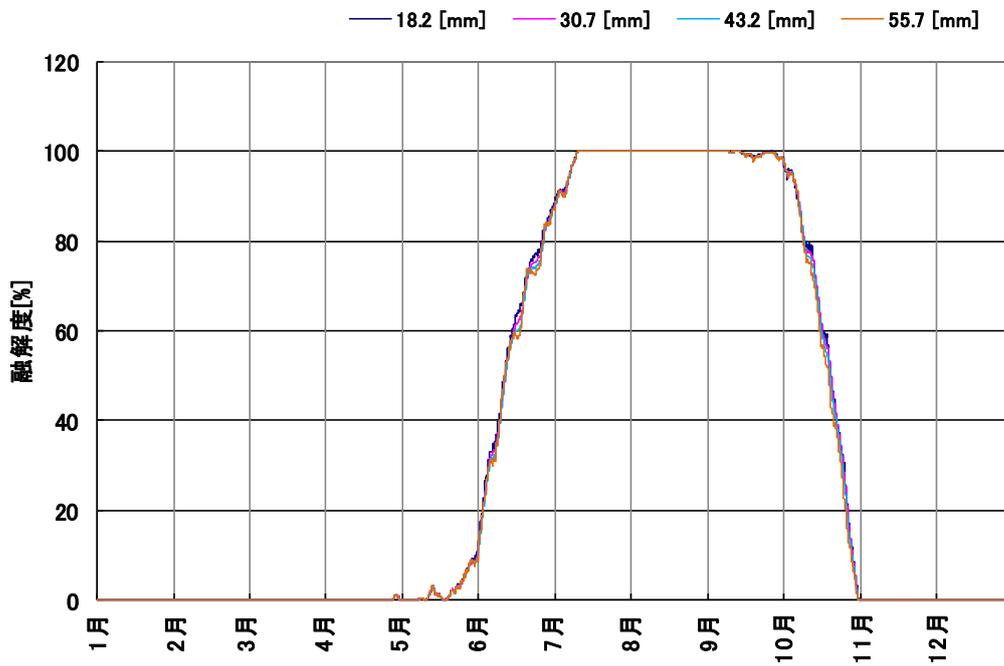
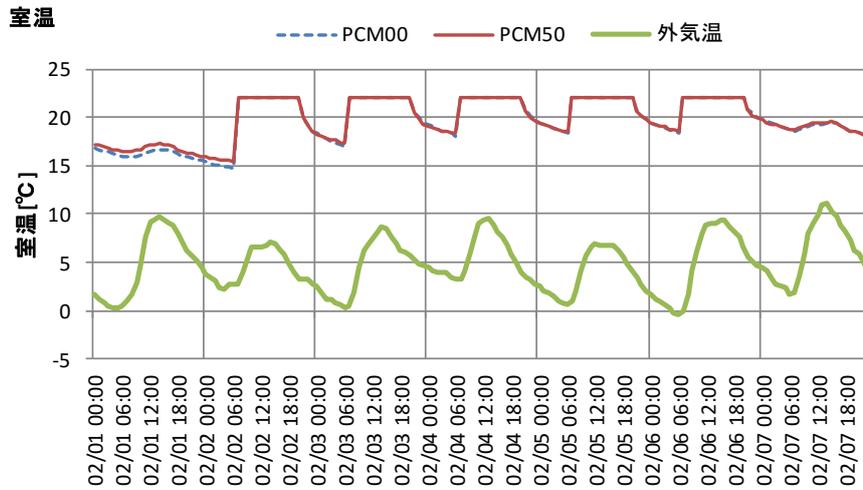
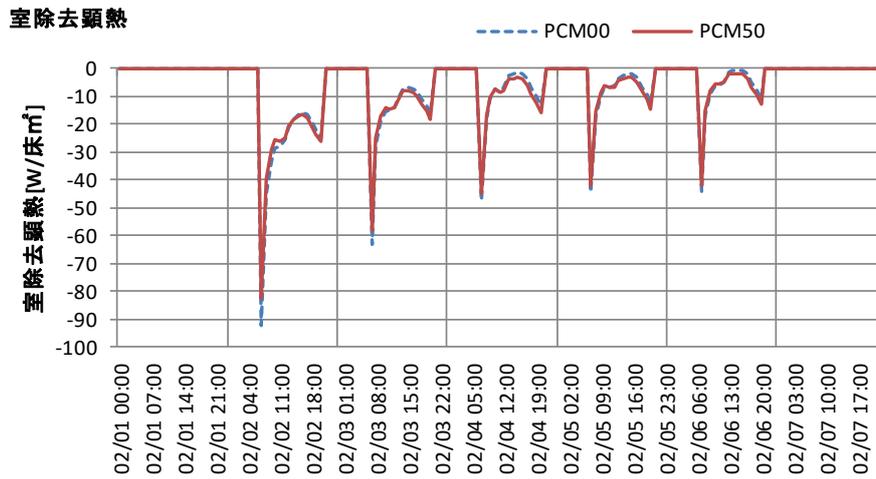


図 3 - 3 6 屋根の潜熱蓄熱材の融解度挙動

(潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26℃、
場所：事務所最上階事務室 1、気象：岡山)



(a) 室温

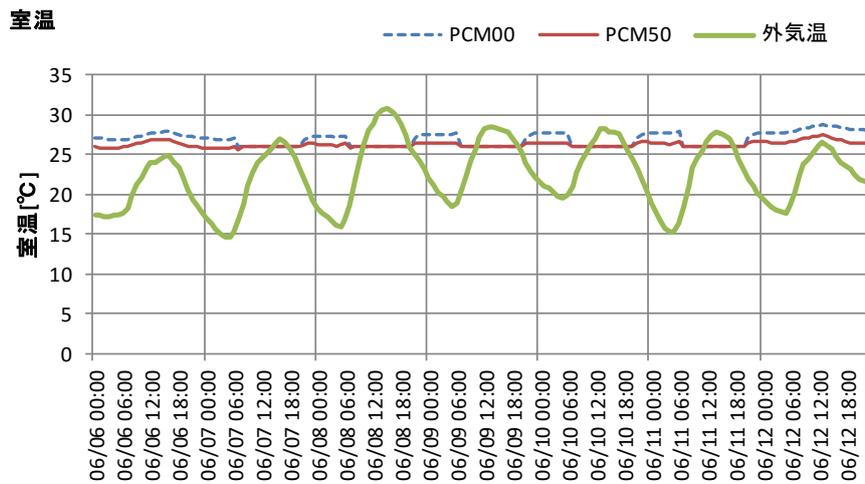


(b) 室除去熱量

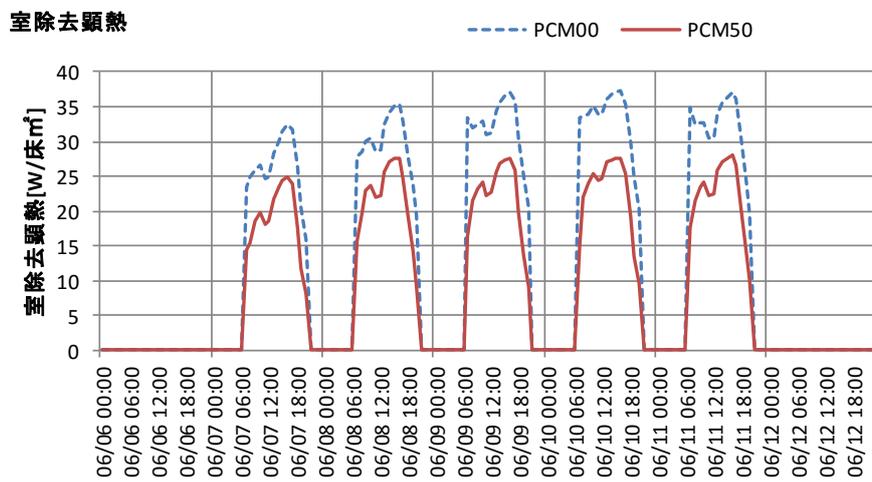
図3-37 冬期における室温、室除去熱量の挙動

(潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26℃、

場所：事務所最上階事務室1、気象：岡山)



(a) 室温

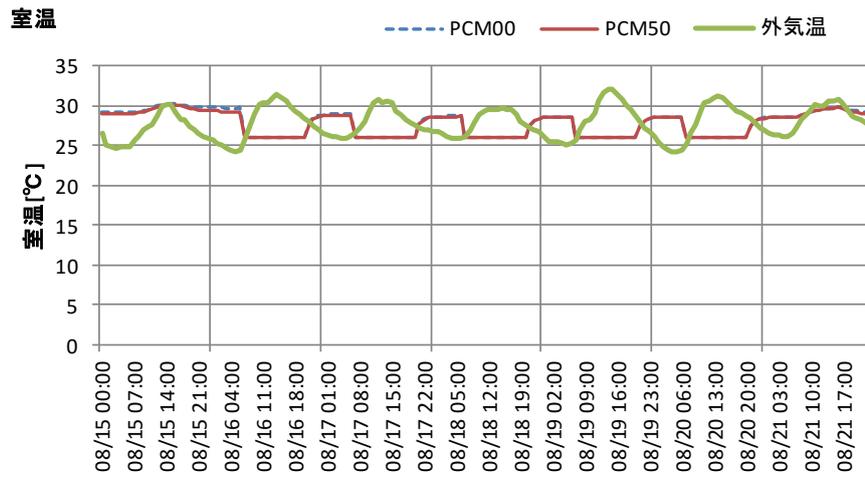


(b) 室除去熱量

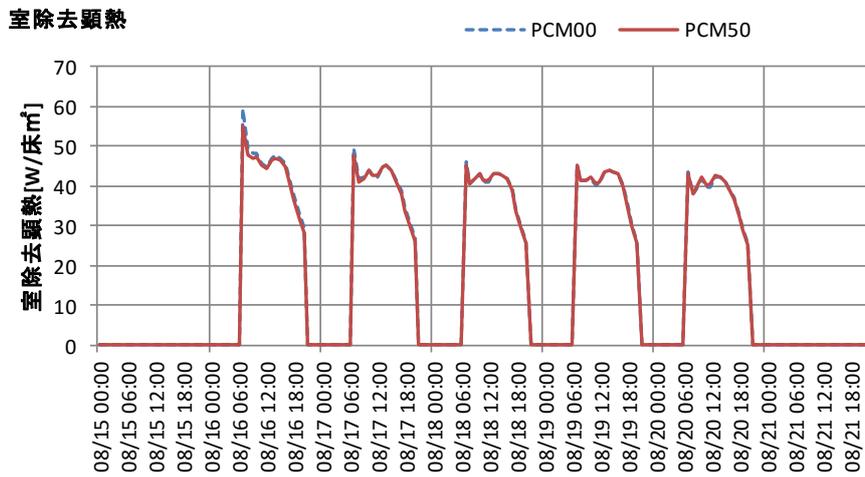
図3-38 初夏における室温、室除去熱量の挙動

(潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26℃、

場所：事務所最上階事務室1、気象：岡山)



(a) 室温

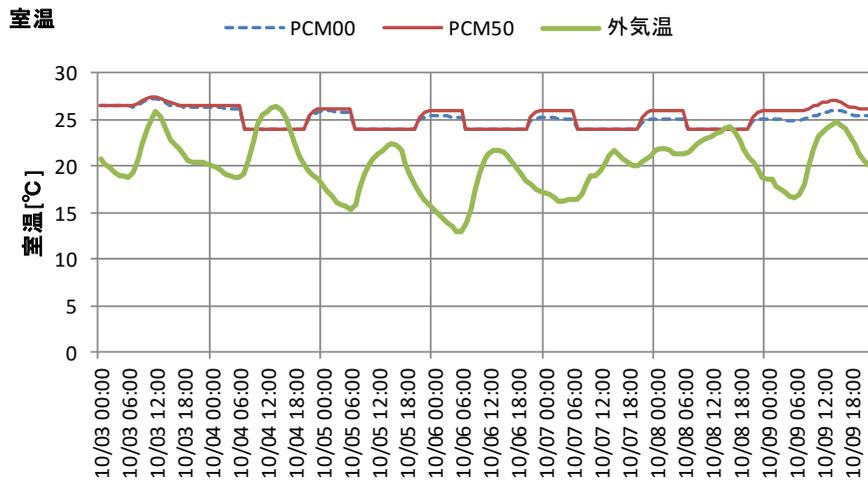


(b) 室除去熱量

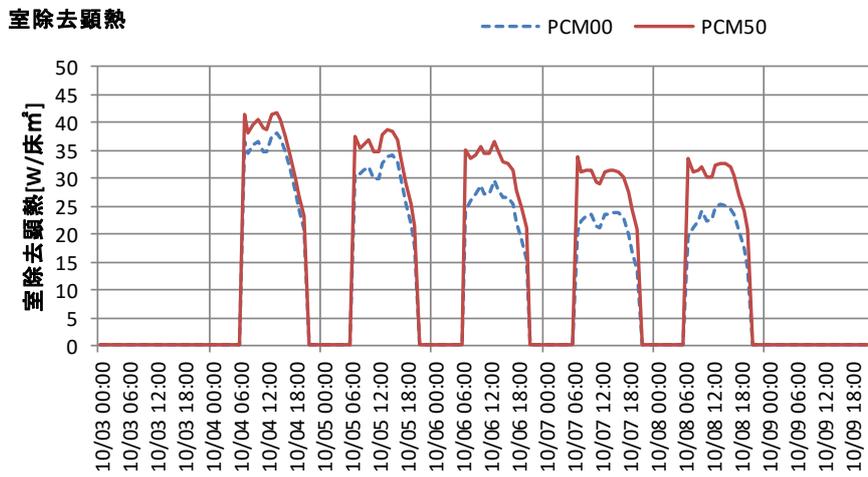
図3-39 盛夏における室温、室除去熱量の挙動

(潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26℃、

場所：事務所最上階事務室1、気象：岡山)



(a) 室温



(b) 室除去熱量

図3-40 秋における室温、室除去熱量の挙動

(潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26°C、

場所：事務所最上階事務室1、気象：岡山)

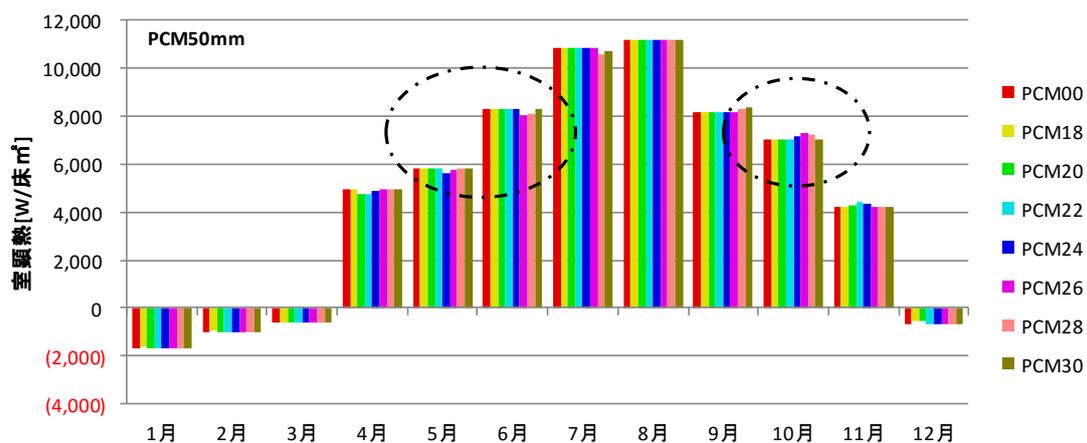


図3-4-1 月別室顕熱負荷（事務所最上階、岡山）
（内壁に潜熱蓄熱材を導入した場合）

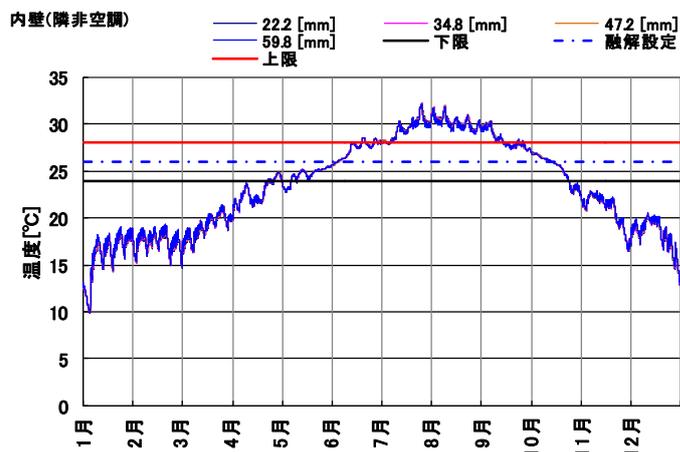


図3-4-2 内壁の潜熱蓄熱材の温度挙動
（潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26℃、
場所：事務所最上階、気象：岡山）

内壁(隣非空調)

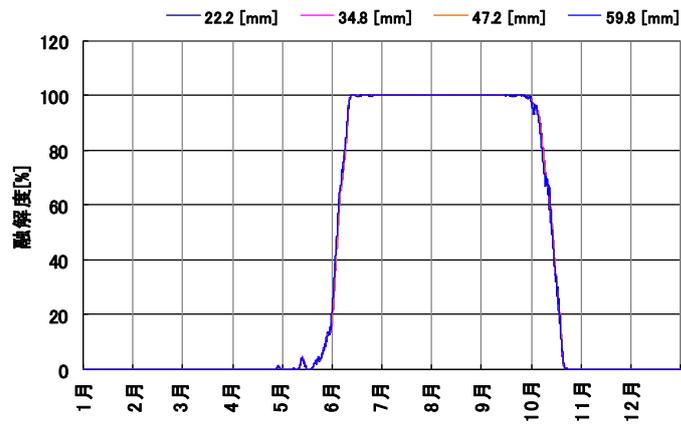
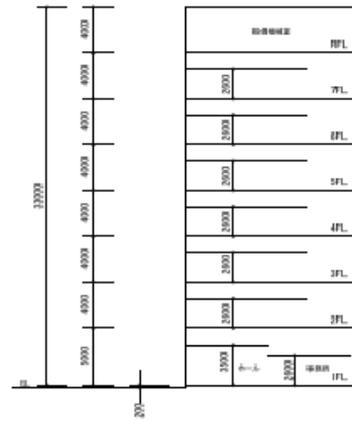
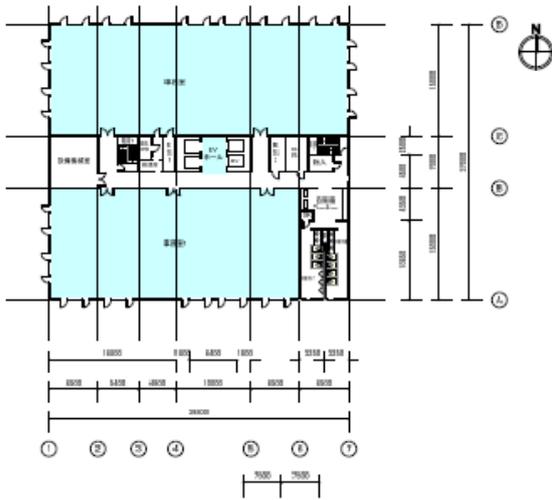


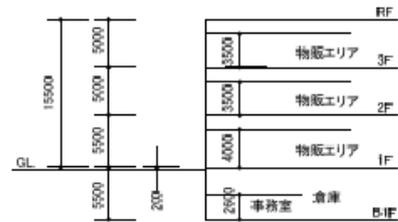
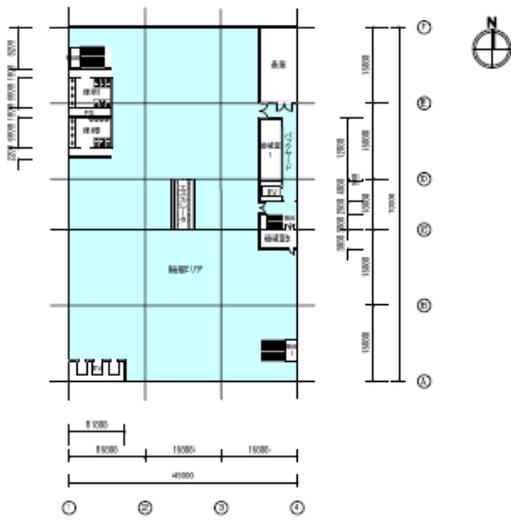
図3-43 内壁の潜熱蓄熱材の融解度挙動

(潜熱蓄熱材厚さ：50mm、潜熱蓄熱材融点：26℃、

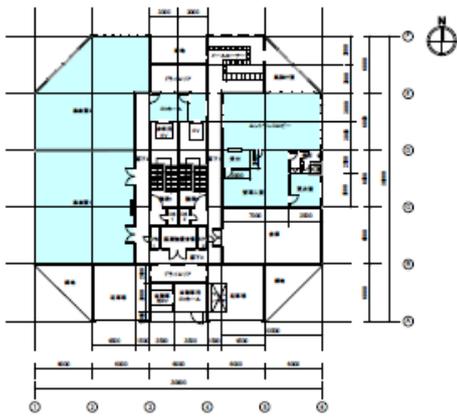
場所：事務所最上階、気象：岡山)



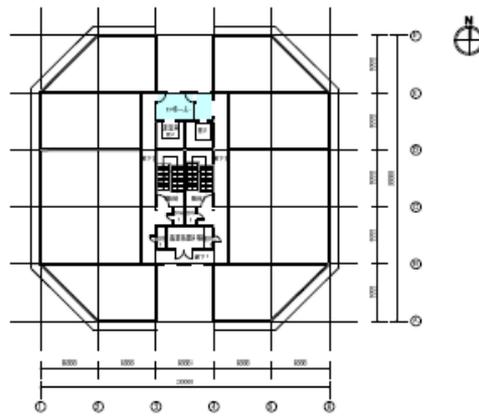
(a) 事務所



(b) 商業（物販店舗）

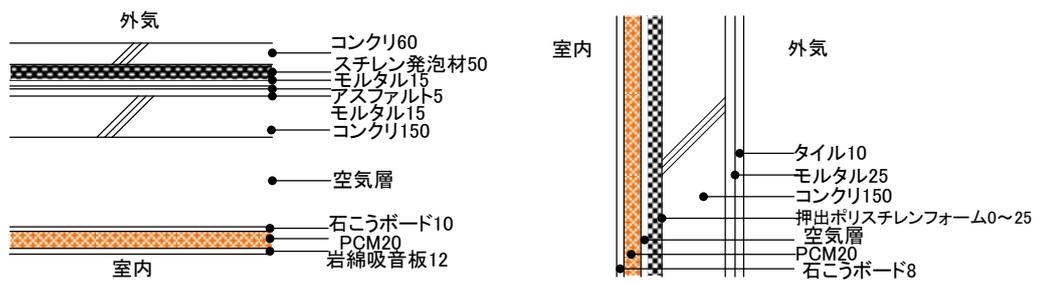


1階 共用部

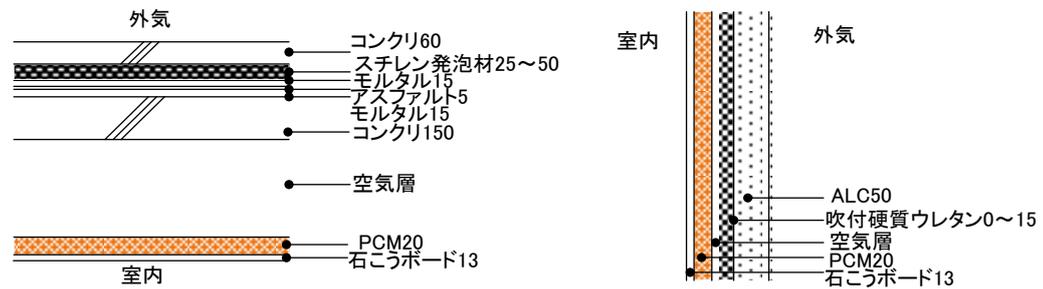


(c) 住宅（共同住宅共用部）

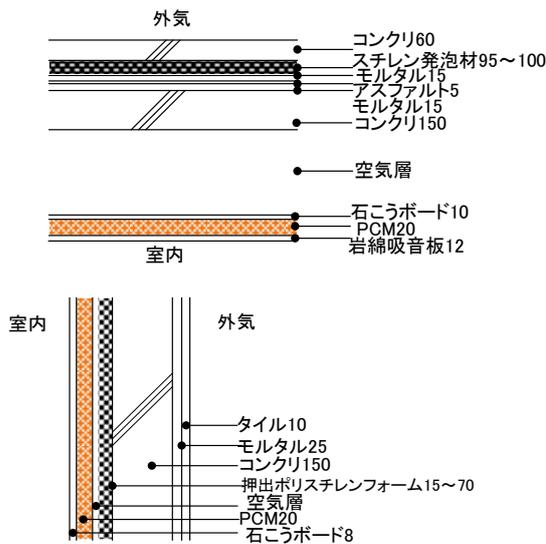
図 3-4-4 建物モデル



(a) 事務所



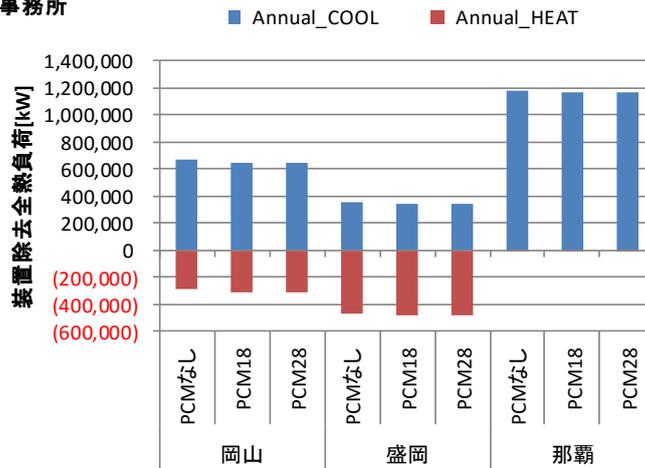
(b) 物販店舗



(c) 住宅（共用部）

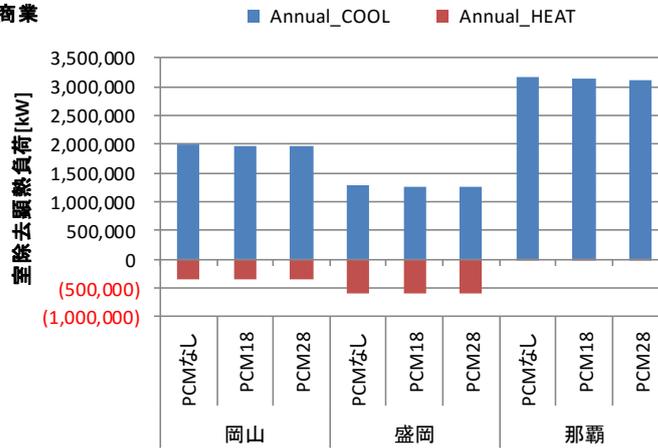
図 3-45 外壁等構成

事務所



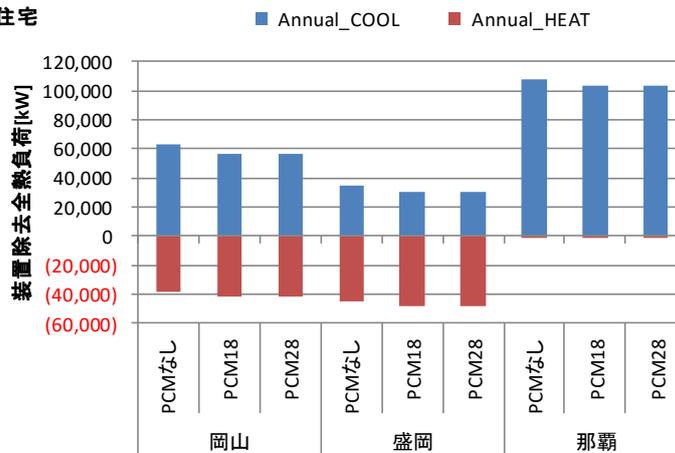
(a) 事務所

商業



(b) 商業施設

住宅



(c) 住宅（共用部）

図3-46 潜熱蓄熱材導入による省エネ効果

3.6 まとめ

本章で得られた研究成果を以下に述べる。

①物性値の試験・整備

潜熱量及び相変化温度に関する DSC 試験では、加熱・冷却速度 0.1~1°C/min とすると、実大サンプル計測と整合する結果が得られることを明らかにした。

②評価技術の開発

非住宅省エネ基準の空調熱負荷計算に使用されている HASP に潜熱蓄熱材の物理的効果を組み込み、年間の空調熱負荷計算を実施できるようにした。

③系統的シミュレーションの実施

地域、用途、設置場所（壁、床等）、厚みに関する系統的な数値シミュレーションを実施し、特定の季節に対する電力ピーク対策が可能であることを示した。

参考文献

- 1) 布施安隆・高橋達・黒岩哲彦：調湿・躯体蓄冷と複合した二重屋根採冷システムによる室内熱環境調整の実験：その1 実験概要と室内熱環境、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 639-640、2006.7
- 2) 足永靖信・武田仁：保水性建材を設置した建物の表面温度及び熱負荷に関する検討、日本建築学会環境系論文集、Vol. 79、No. 701、pp. 615-621、2014.7
- 3) 武田仁・安藤邦明：光触媒外装材を用いた実証実験棟の温熱環境実測、日本建築学会環境系論文集、No. 606、pp. 31-36、2006.8
- 4) Craig Farnam, A. Takakura, M. Nakao, M. Nishioka, M. Nabeshima: Evaporative mist cooling of an urban waste-to-energy plant, Journal of Heat Island Institute International Vol.7, pp.27-38, 2012
- 5) 近藤武士・射場本忠彦・坪田祐二・鎌田元康：潜熱蓄熱壁体による躯体蓄熱システムに関する研究：潜熱蓄熱ボードの性能把握および適用効果の検討、日本建築学会環境系論文集、No. 540、pp. 23-29、2001.2
- 6) 佐藤友紀・尾崎明仁・中村哲己・林禎彦・石黒成紀：潜熱蓄熱内装建材による暖房負荷の削減効果に関する研究 模型箱実験・試験家屋実験および数値シミュレーションによる検討、日本建築学会環境系論文集、Vol. 77、No. 678、pp. 651-659、2012.8

- 7) Murat M. Kenisarin: Thermophysical properties of some organic phase change materials for latent heat storage. A review, Solar Energy, Vol. 107, pp. 553-575, 2014
- 8) 松尾陽:空調負荷計算におけるふく射熱の取扱い、空気調和・衛生工学、pp. 5-11、Vol. 59、No. 4、1985. 4
- 9) 松尾陽、横山浩一、石野久彌、川元昭吾：空調設備の動的熱負荷計算入門、建築設備技術者協会、1980. 2

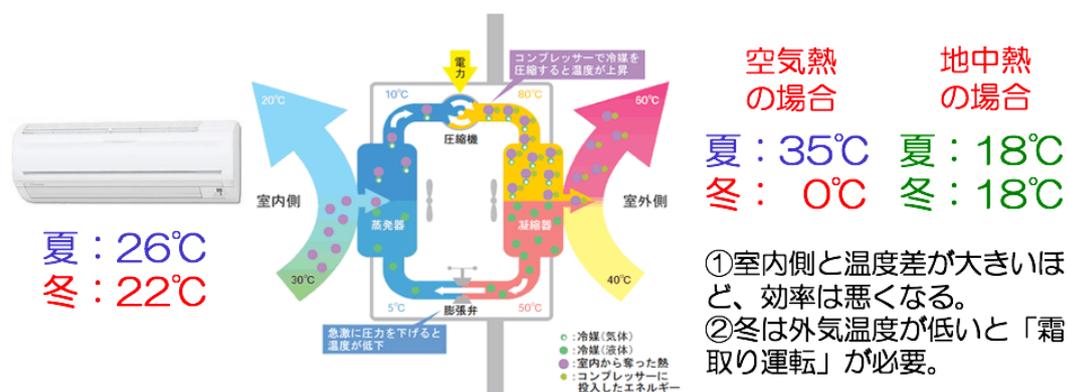
第4章 地中蓄熱による対策技術

4.1 目的

4.1.1 検討の目的と概要

地中熱利用システムは、政府のエネルギー基本計画（平成26年4月）では「再生可能エネルギー熱等」の1つとして位置付けられており、民生部門の年間エネルギー消費量削減及びヒートアイランド抑制に資する技術として期待されている。また、地盤より年間をとおして安定した温度の熱をとることができるため、真夏・真冬時の空調効率を高めることができ、電力ピーク対策としても有効である。

地中熱利用システムの実動特性やエネルギー効率については主として大学等において研究ベースで様々な検討が行われており、例えば東京大学・大岡らの「場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究」¹⁾、北海道大学・長野らの「現場打ち基礎杭を利用した地中熱ヒートポンプシステムに関する研究 浅層採熱管の導入可能性について」²⁾が具体的な成果の例として挙げられる。また、これらの研究成果は実務の世界にも反映されつつあり、例えば、国土交通省大臣官房官庁営繕部は平成25年10月に「官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン(案)」(<http://www.mlit.go.jp/common/001016159.pdf>)を公表、特定非営利活動法人地中熱利用促進協会は「地中熱ヒートポンプシステム施工管理マニュアル」を作成するなど、普及のための準備が整いつつある。図4-1に地中熱ヒートポンプの特徴を示す。



<http://automoney.sakura.ne.jp/ohas/350/ent678.html>

図4-1 地中熱ヒートポンプの特徴

一方で、地中熱利用システムについては、現在の省エネルギー基準の評価ロジックでは評価することができない。地中熱利用システムだけに限らないが、ある技術を省エネ基準で評価するためには、評価の確からしさを客観的に担保するための根拠が必要になる。地

中熱利用システムについては、実態としての性能（システムとしての実動効率（熱交換にはポンプ動力が必要））や地盤温度への影響（経年変化や季節間蓄熱効果など）について未だ不明瞭な点がある。今後、地中熱利用システムが普及するためには、これらを明らかにするとともに、エネルギー消費性能評価手法を開発し、この手法の確からしさを検証することが必要である。

そこで、本章では、地中熱利用システムの中でも地中熱ヒートポンプを対象を絞り、次のステップで研究を行い、性能の実態を明らかにする。

① 観測：地中熱ヒートポンプの性能実証実験

地中熱ヒートポンプと空冷ヒートポンプを設置して、実動特性を計測し、それぞれの運転特性を明らかにする。また、地盤採熱量や地中内の温度分布を分析する。

② 計算：地中熱の蓄採熱に関する数値解析

地中の温度・水分の三次元分布、地中熱ヒートポンプによる蓄採熱量を計算するプログラム（以下、「地中熱ポテンシャル計算プログラム」とする。）を開発する。また、観測データを入力して、推定精度を検証する。

なお、地中熱の蓄採熱量を推定するプログラムとして、「GroundClub（グラウンドクラブ、地中熱源ヒートポンプシステム性能予測プログラム）」が市販されている。しかし、このプログラムは設計者が容易に使えるよう簡易化されたツールであり、地盤の熱特性（熱伝導率、密度、比熱）を深さ毎に詳細に入力することができず、解析対象エリア全体の平均値しか入力できない。また、地下水流の影響を考慮して熱交換量を算出することができない。これらの要素が蓄採熱量に与える影響は小さくないため、本研究では、これらの影響を踏まえて解くことができる新たなプログラムを開発した。

③ 評価：システムシミュレーションによるケーススタディ

地中熱ポテンシャル計算プログラムと建築物・設備システムのエネルギー消費量計算プログラムを連成させたシステムシミュレーション（以下、「システムシミュレーション」とする。）を開発し、実建築物に地中熱ヒートポンプを採用した場合のエネルギー消費量削減効果を推定する。設計の方法により、ピーク電力削減効果にどの程度の差が生じるかを定量的に明らかにする。

これらの検討の結果、実証実験の結果を踏まえた信頼性の高いシステムシミュレーションを整備することができ、地盤の性状（土質、地下水位等）と蓄採熱量の関係、地中熱ヒートポンプ導入効果等についての検討が容易に行えるようになる。

4.1.2 地中熱利用システムの全体像と本検討で対象とするシステム

図4-2に地中熱利用システムを分類した表を示す。本章では、間接方式のヒートポンプシステムを対象とし、中でも普及が進んでおり採用事例の多いクローズループの垂直埋設型（ボアホール、シングルUチューブもしくはダブルUチューブ）を対象を限定する。

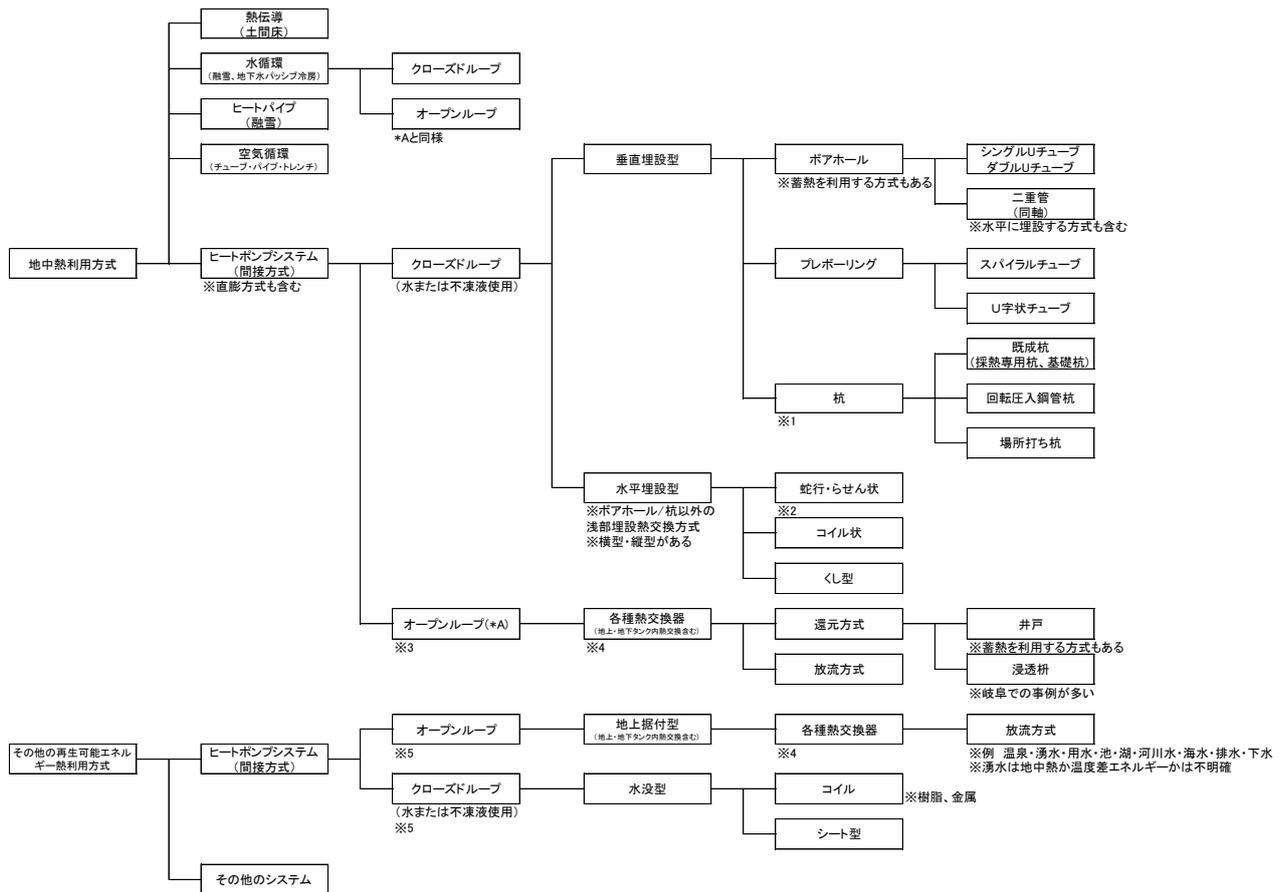


図4-2 地中熱利用システムの分類

4.2 地中熱ヒートポンプの性能実証実験

4.2.1 実証実験の目的

地中熱ヒートポンプのエネルギー消費性能の実態を明らかにするために実証実験を行う。ここでは、特に他のシステムとの比較を通して性能実態を明らかにすることを目的とし、地中熱ヒートポンプと空気熱利用ヒートポンプ（空冷ヒートポンプ）を併設して、同時に様々な負荷をかけた場合の供給除去熱量、効率、運転特性の差を観察する。これらの結果より、地中熱ヒートポンプの省エネルギー効果、電力ピーク対策効果を明らかにする。さらに、地中熱交換杭の蓄採熱量および地中内の温度分布について整理する。

4.2.2 実験施設の概要

本研究では、国立研究開発法人建築研究所の設備実験棟 1 階屋上に設置した 2 棟のユニットハウス（東棟、西棟）を利用して実証実験を実施した。実証実験のユニットハウスは、幅 3.04m、奥行 3.04m、高さ 2.44m の床面積 9.24m²、南面に幅 1.68m、高さ 0.98m の窓がある。東棟（以下、空気熱室）は空冷ヒートポンプパッケージエアコン（直膨式、以下、ASHP）を、西棟（以下、地中熱室）は地中熱ヒートポンプパッケージエアコン（直膨式、以下、GSHP）を設置した。表 4-1 に実験施設の概要を、写真 4-1～写真 4-7、図 4-3～図 4-4 に実証実験の状況を示す。

表 4-1 実験施設の概要

ユニットハウスの仕様 (空気熱室、地中熱室 共通仕様)	形 式：プレハブユニットハウス 寸 法：幅 3.04m×奥行 3.04m×高さ 2.44m 床面積： 9.24 m ² その他：南面ガラス窓
外壁の仕様	外壁：複合版外壁 (U 値 0.77W/m ² ・K)、硬質ウレタンフォーム+ロックウール断熱材 30mm 屋根：折板屋根天井付 (U 値 0.92W/m ² ・K)、硬質ウレタンフォーム断熱材 20mm 床：合板床 (U 値 0.67W/m ² ・K)、ビーズ法ポリスチレン断熱材 45mm
窓の仕様	南面：フロート板ガラス 3mm シングル(アルミサッシ) 1.68m×0.98m
(東棟・空気熱室)	空調設備：空冷ヒートポンプパッケージエアコン (直膨式) (ASHP)
(西棟・地中熱室)	空調設備：地中熱ヒートポンプパッケージエアコン (直膨式) (GSHP)

(地中熱ヒートポンプパッケージエアコン用地中採熱仕様)

ボアホールの仕様	掘削口径：φ179mm 掘削深度：50.95m 掘削方式：特殊振動工法 掘削概況：ボアホール区間全体を通して掘削循環水の著しい逸水が断続的に見られ地下水が豊富で地下水流速も早い
地中埋設管の仕様	仕 様：Uチューブ (ダブル方式) 高密度ポリエチレン管 (PE100) 外径 34.0mm、厚さ 3.5mm、内径 27.0mm 挿入長さ：50.70m (ボアホール内に挿入) 配管埋設後ボアホールを 1 号珪砂で充填



(全景)

(ボアホールから配管立上部分)

写真4-1 実験施設 (全体外観)



(地中熱ヒートポンプ室外機)

(空冷ヒートポンプ室外機)

写真4-2 実験施設 (ユニットハウス-南面)



写真 4 - 3 実験施設（地中埋設管設置状況）



写真 4 - 4 実験施設（窓面（外側-南面））



写真 4 - 5 実験施設（窓面（室内側））

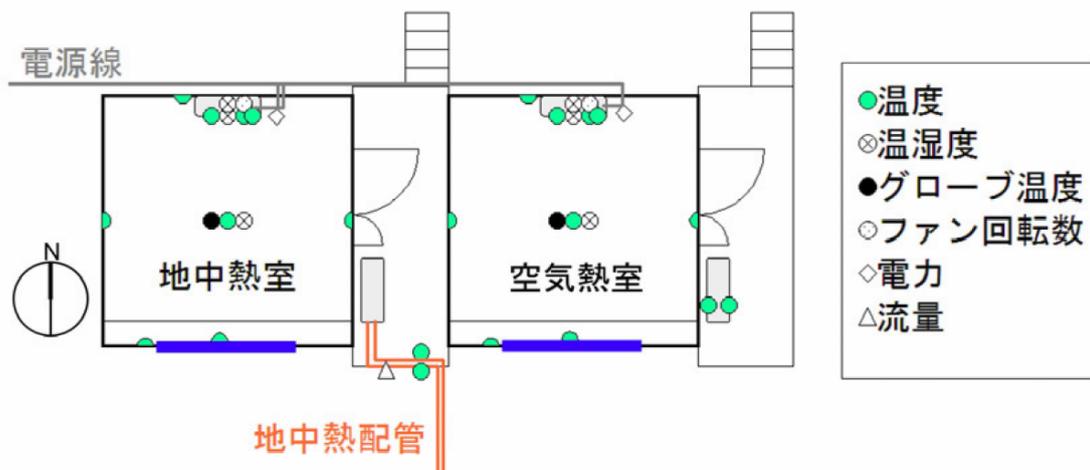
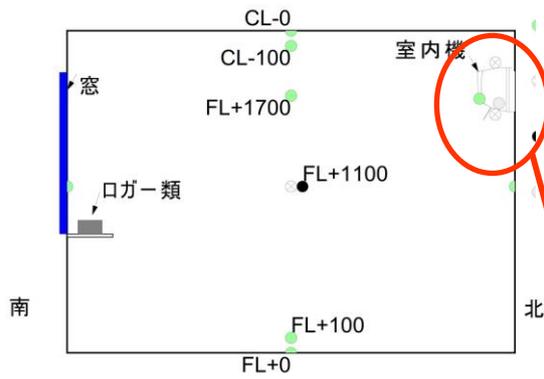


図 4-3 測定ポイント（全体平面）



写真 4-6 測定ポイント（室内状況）



(断面図)



(室内機)



(室内機には熱処理量を計測するためのセンサー類を設置)

写真 4-7 測定ポイント (断面・室内状況)

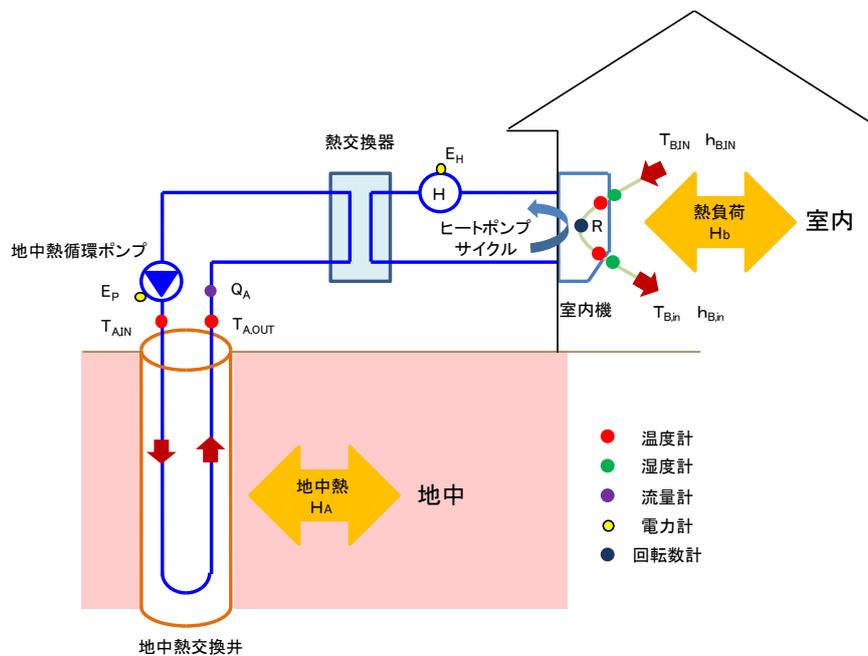


図 4-4 測定ポイント (地中熱利用システム)

4.2.3 実験計画

空気熱利用のヒートポンプと地中熱利用のヒートポンプ空調を比較するため、各室の熱負荷及びエネルギー消費効率の測定を行った。実験期間は2014年6月～2015年2月である。実験は、冷房と暖房について分けて行い、表4-2に示すように運転モードや負荷発生量を切り替えて行った。実験期間中の外気温度の状況を図4-5～図4-6に示す。

表4-2 実験スケジュール

	時季	想定負荷	設定温度	換気扇換気量 [m ³ /h]	日射遮蔽	ヒーター	運転モード	実施期間			外気温
冷房実験	夏期	低負荷	26℃	0	有	OFF	連続冷房	6月10日	8月4日	55日間	20℃～30℃
		高負荷	26℃	360	有	OFF	連続冷房	8月6日	9月25日	49日間	15℃～35℃
	中間期	低負荷	24℃	0	無	OFF	連続冷房	10月10日	10月27日	17日間	10℃～25℃
		高負荷	24℃	0	無	1.6 kW	連続冷房	10月29日	11月6日	8日間	5℃～20℃
		中負荷	24℃	0	無	1.0 kW	連続冷房	11月8日	11月16日	8日間	5℃～15℃
暖房実験	中間期	低負荷	24℃	0	有	OFF	連続暖房	11月18日	11月30日	12日間	0℃～20℃
	冬期	低負荷	20℃	0	有	OFF	連続暖房	12月2日	12月16日	14日間	-5℃～15℃
		中負荷	20℃	360	有	OFF	連続暖房	12月18日	1月5日	18日間	-5℃～10℃
		中負荷(間欠)	20℃	360	有	OFF	間欠暖房	1月7日	1月25日	18日間	-5℃～10℃
		高負荷	26℃	360	有	OFF	連続暖房	1月27日	2月20日	24日間	-5℃～10℃

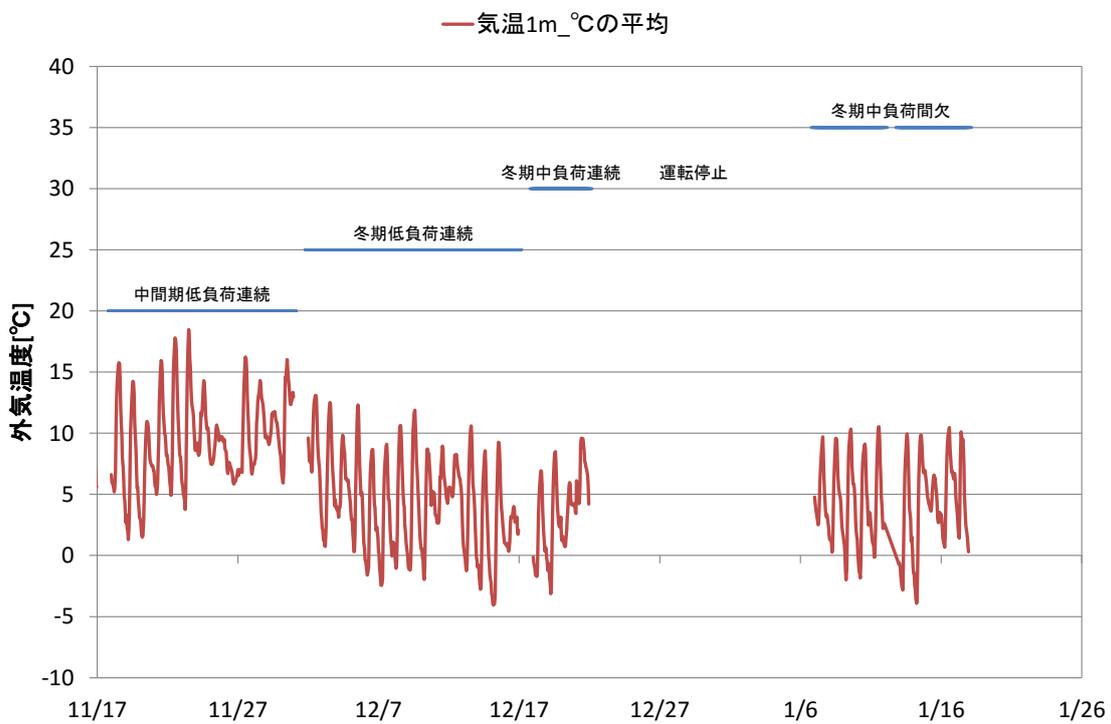
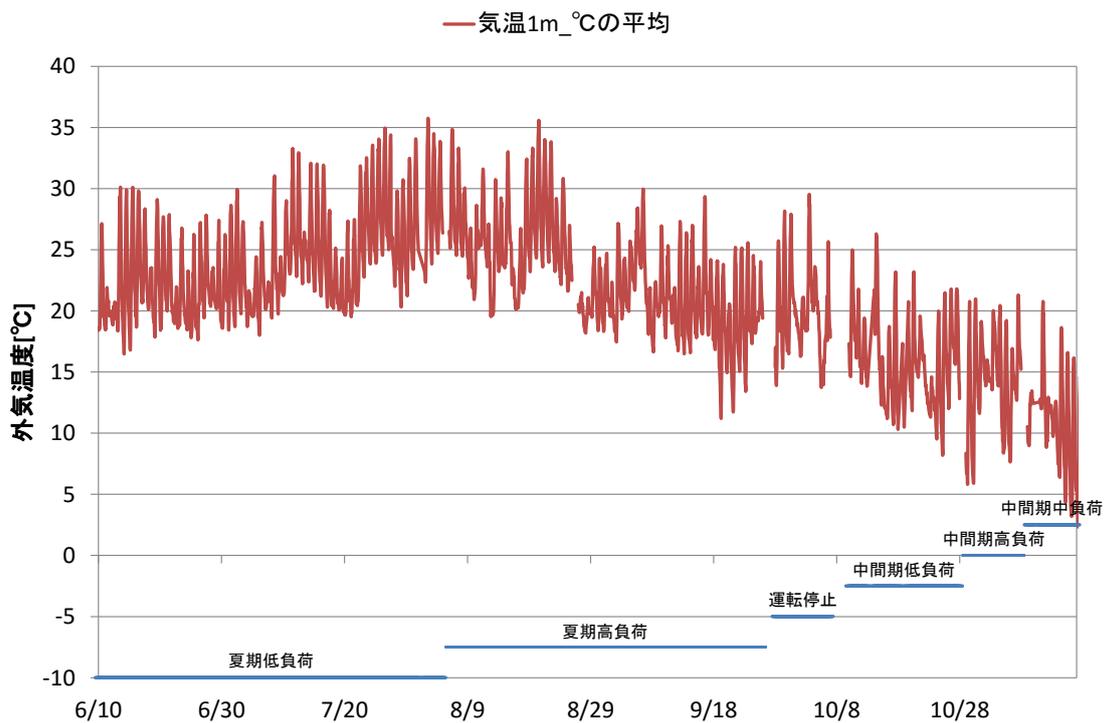


図 4 - 5 冷房実験時・暖房実験時の外気温推移

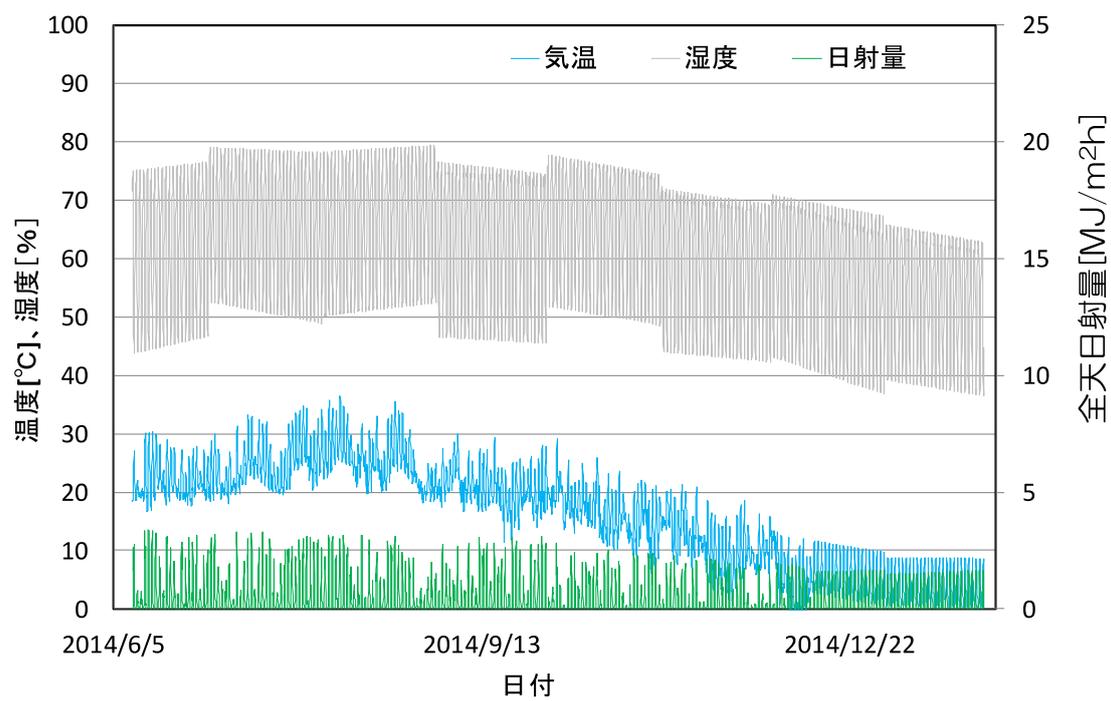


図 4 - 6 冷房実験時・暖房実験時の日射量推移

実験開始前に、地盤の熱特性を調査するためのサーマルレスポンス試験及び冷房時のファン回転数と吹出風量の関係式の作成を実施した。それぞれの概要を以下に示す。

(1) サーマルレスポンス試験の結果の概要

2012年3月8～14日にかけてサーマルレスポンス試験を行い、土壌の熱伝導率は8.17 W/(m・K)と推定された。地下3～14mにおいて、熱伝導率が局所的に大きな値となることが判った。図4-7にサーマルレスポンス試験の結果を示す。

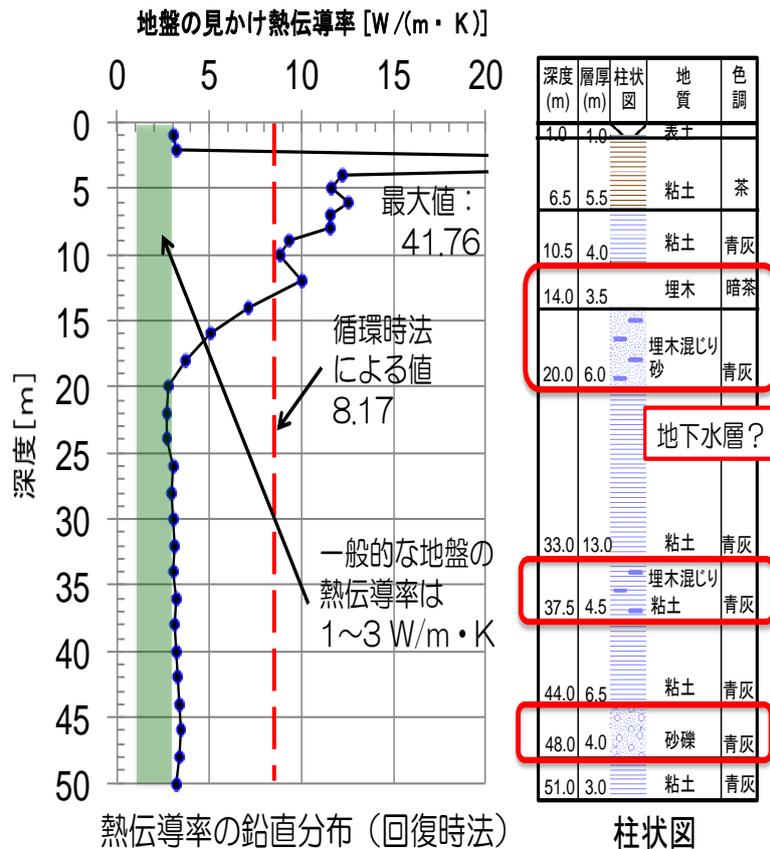


図4-7 サーマルレスポンス試験の結果

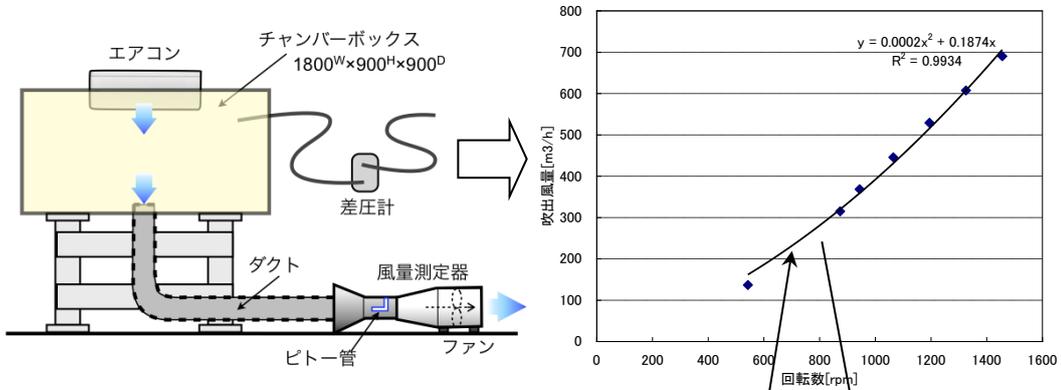
(2) 冷房時のファン回転数と吹出風量の関係式作成の概要

チャンバー内と室内(風量測定器が置かれた空間)との間の圧力差が0となる様にファンの風量を調整し、圧力補償法により予め室内機ファン回転数と吹出風量の関係式を求めた。測定は2014年10月7～8日の2日間行った。測定時間間隔は、差圧は10秒、回転数は0.1秒とした。風量は風量測定器による10秒間平均値を使用した。

図4-8に測定概要を、図4-9にファン回転数と吹出風量の関係を示す。

事前実験

1. 圧力補償法により予め室内機ファン回転数と吹出風量の関係式を求める。



本実験

2. 吹出/吸込温湿度とファン回転数からエンタルピー差と吹出風量を得る。

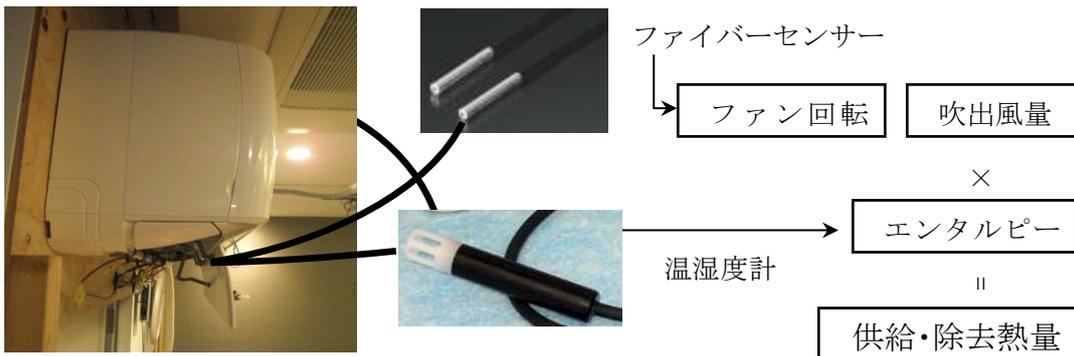


図 4 - 8 測定概要

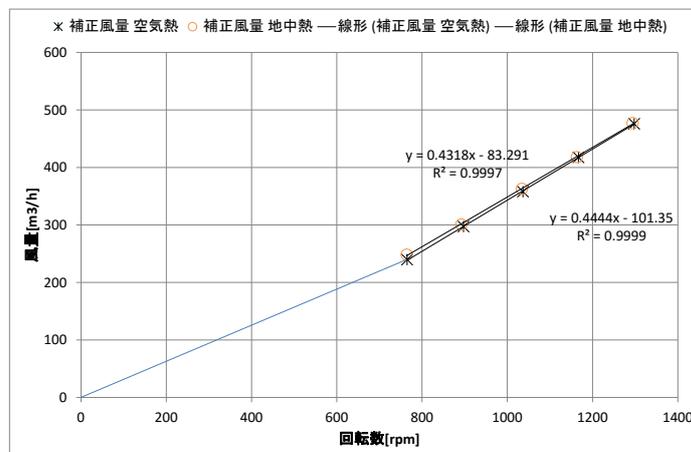


図 4 - 9 ファン回転数と吹出風量の関係

4.2.4 夏期の実験結果

夏期の実験による計測結果を図4-10～図4-19に示す。得られた知見を以下に示す。

- ① 夏期（外気温度が高い条件）においては、空冷ヒートポンプよりも地中熱ヒートポンプの方が効率（ $COP = \text{生成熱量} / \text{消費電力}$ ）は良い。特に、外気温度が高く処理熱量（負荷率）が小さい場合に差が大きくなる。「夏期冷房低負荷時」の実験において、外気温35度、負荷率30%の場合、地中熱ヒートポンプのCOPは空冷ヒートポンプの1.5倍となった。最大電力が出現する条件（＝外気温が高い）において効率差が大きくなるので、地中熱ヒートポンプはピーク電力削減に有効な技術であることが判る。
- ② 一方、中間期（外気温度が低い条件）においては、地中熱ヒートポンプよりも空冷ヒートポンプの方が効率は良い。中間期においては、採熱還温度（地盤からの還り冷水温度）よりも外気温度の方が低くなり、外気と熱交換を行う空冷ヒートポンプの方が効率は良くなる。
- ③ 空冷ヒートポンプと地中熱ヒートポンプでは、潜熱（湿気）の処理量が異なる。夏期実験においては、空冷ヒートポンプの方が顕熱比（顕熱処理量／全熱処理量）は小さい。つまり、潜熱処理量が大きい。室内湿度を絶対湿度で比較すると、やや空冷ヒートポンプ室の方が低い傾向が見られる。ただし、これは湿度センサーの計測精度が影響している可能性もある。

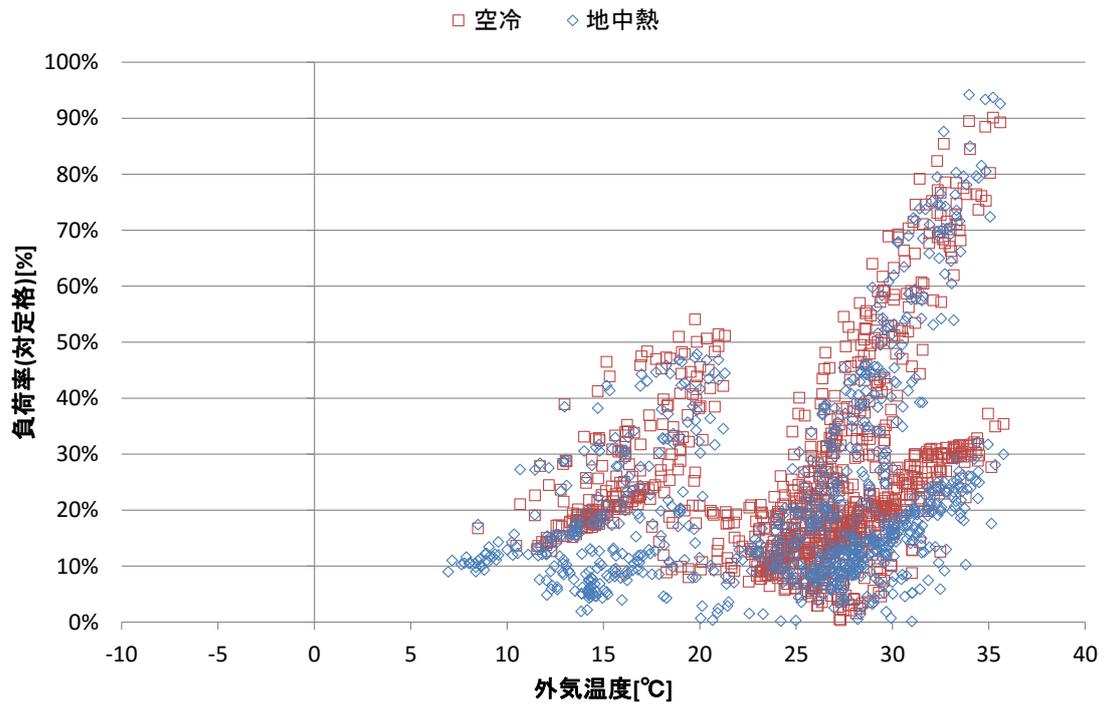


図 4 - 1 0 負荷率と外気温度

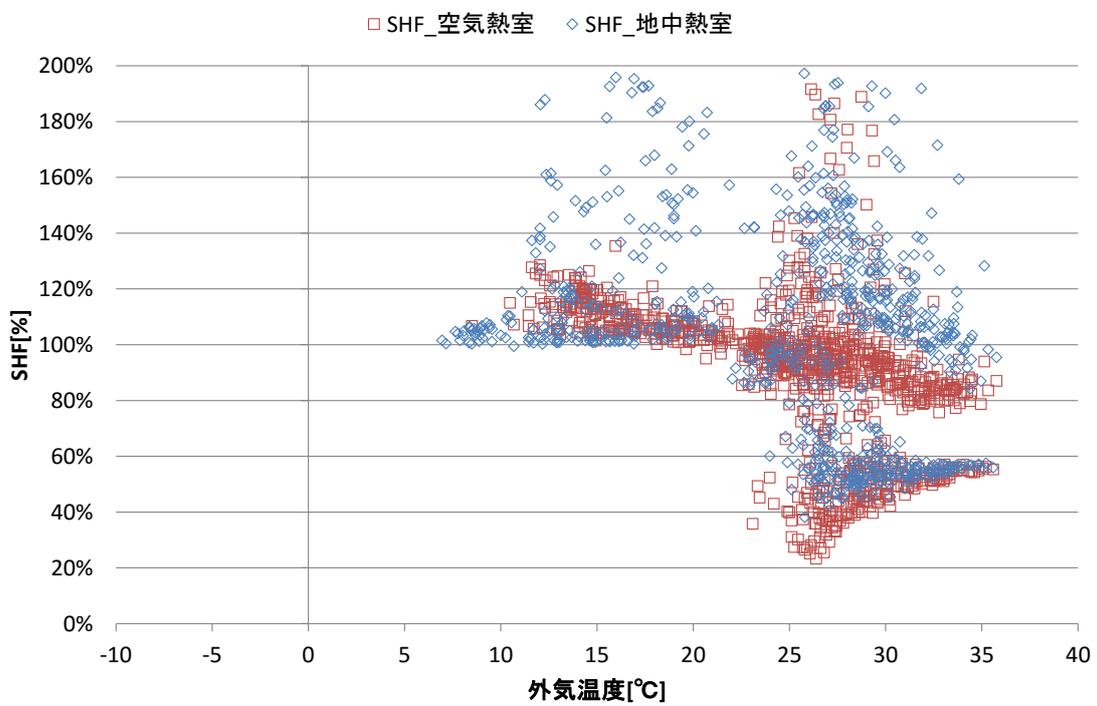


図 4 - 1 1 顕熱比 (SHF) と外気温度

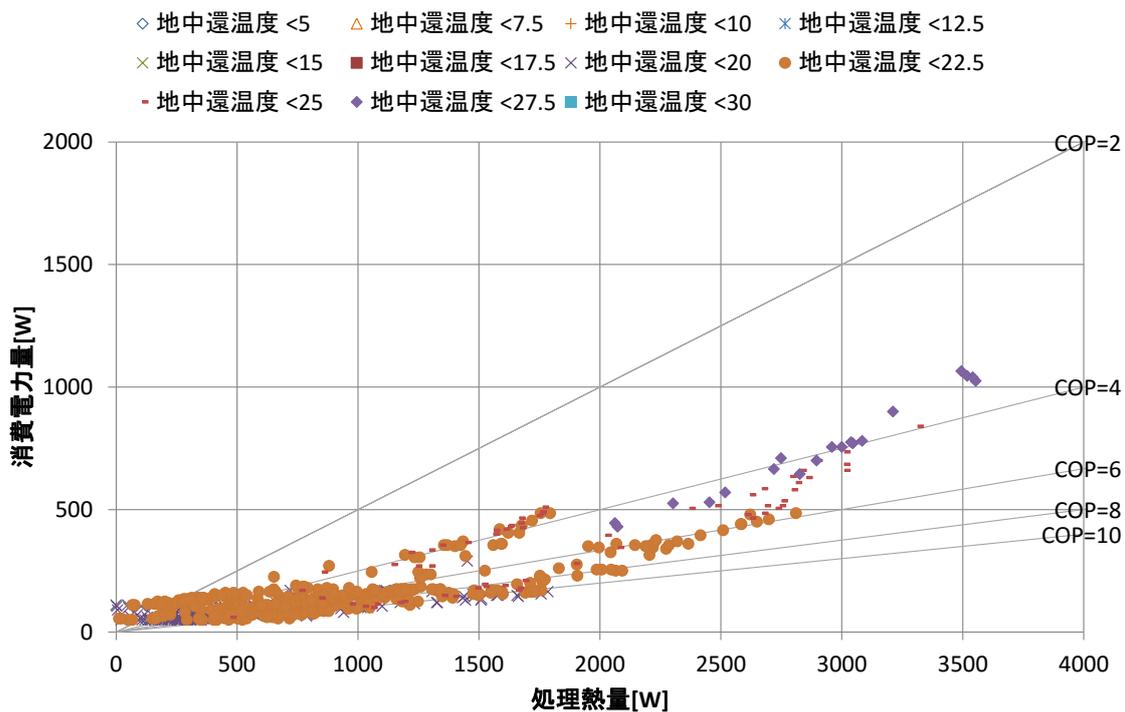


図 4 - 1 2 消費電力と処理熱量(地中熱)

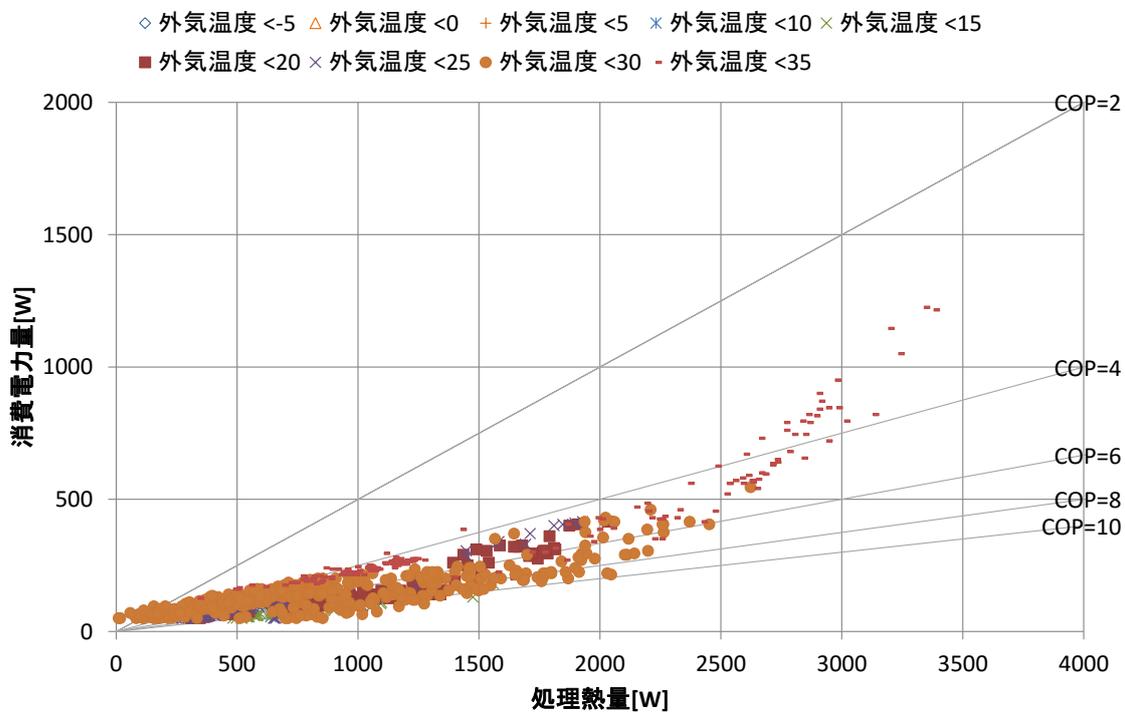


図 4 - 1 3 消費電力と処理熱量(空冷)

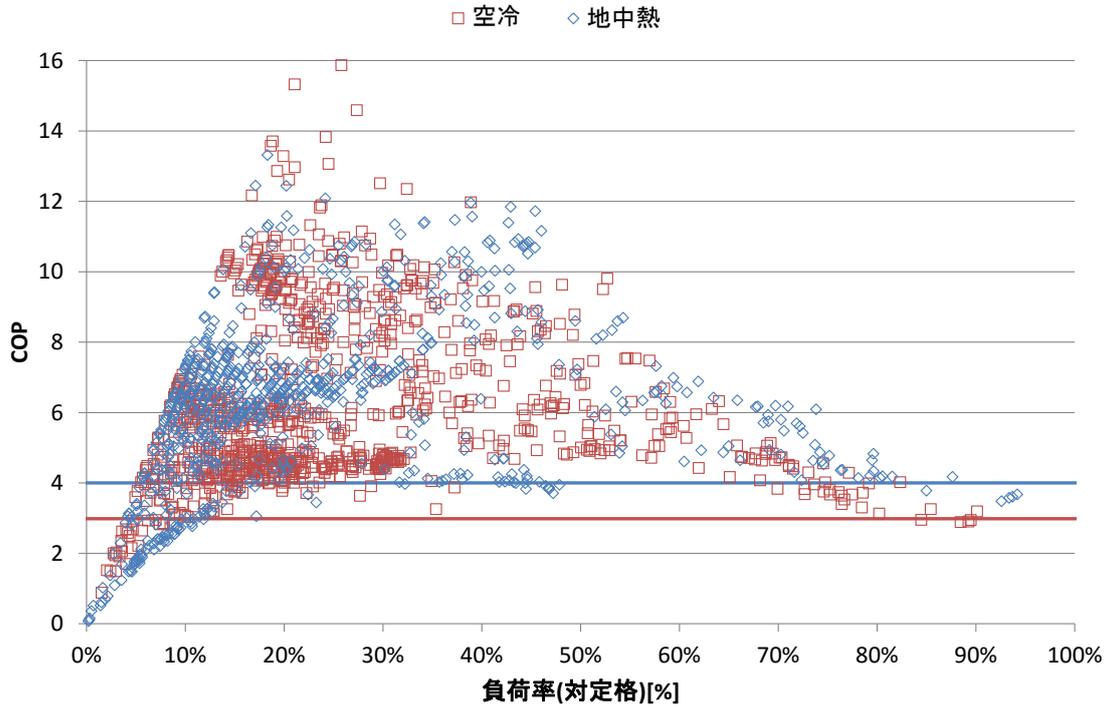


図 4 - 1 4 COP と負荷率

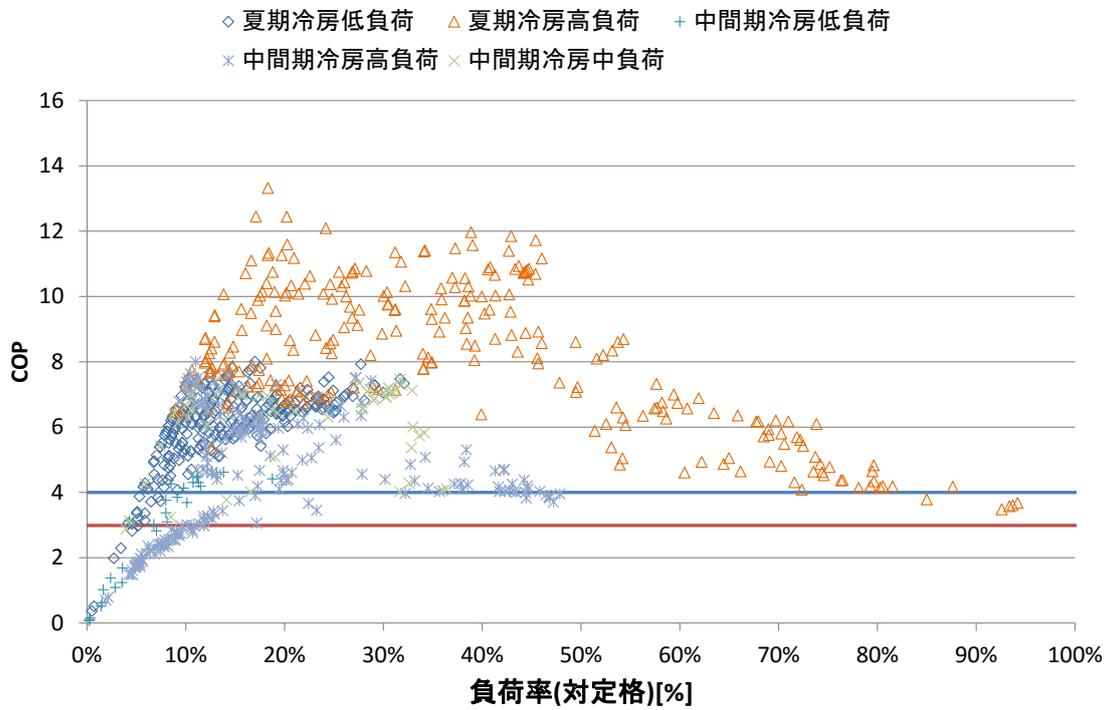


図 4 - 1 5 COP と負荷率(地中熱)

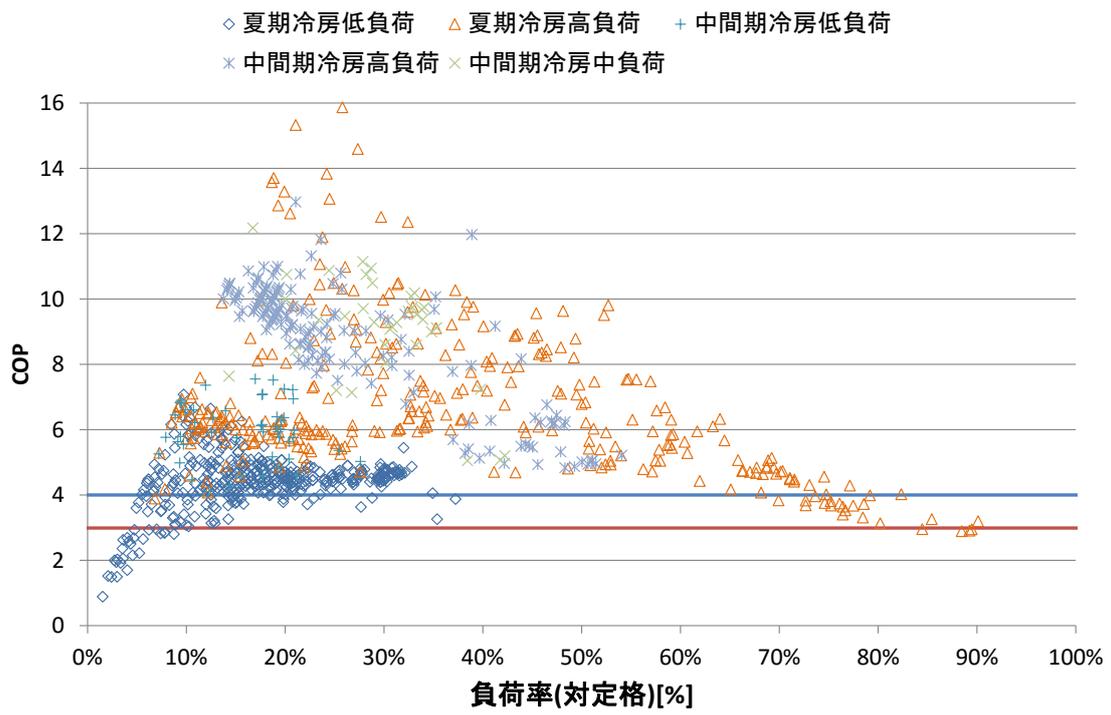


図 4 - 1 6 COP と負荷率 (空冷)

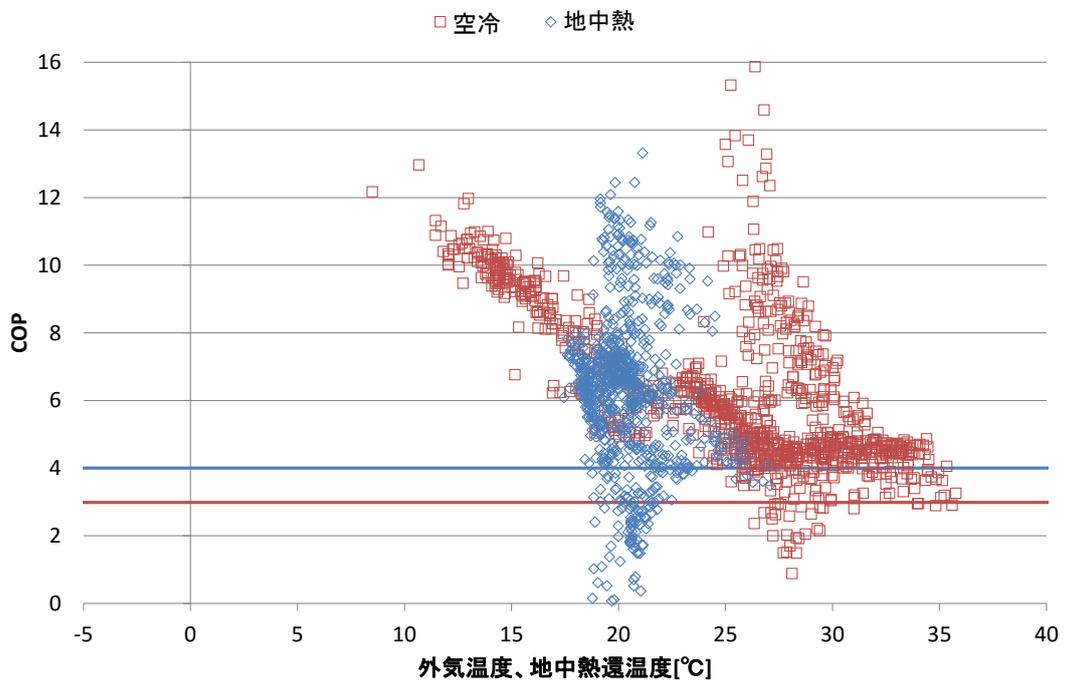


図 4 - 1 7 COP と外気・地中熱温度 (冷房)

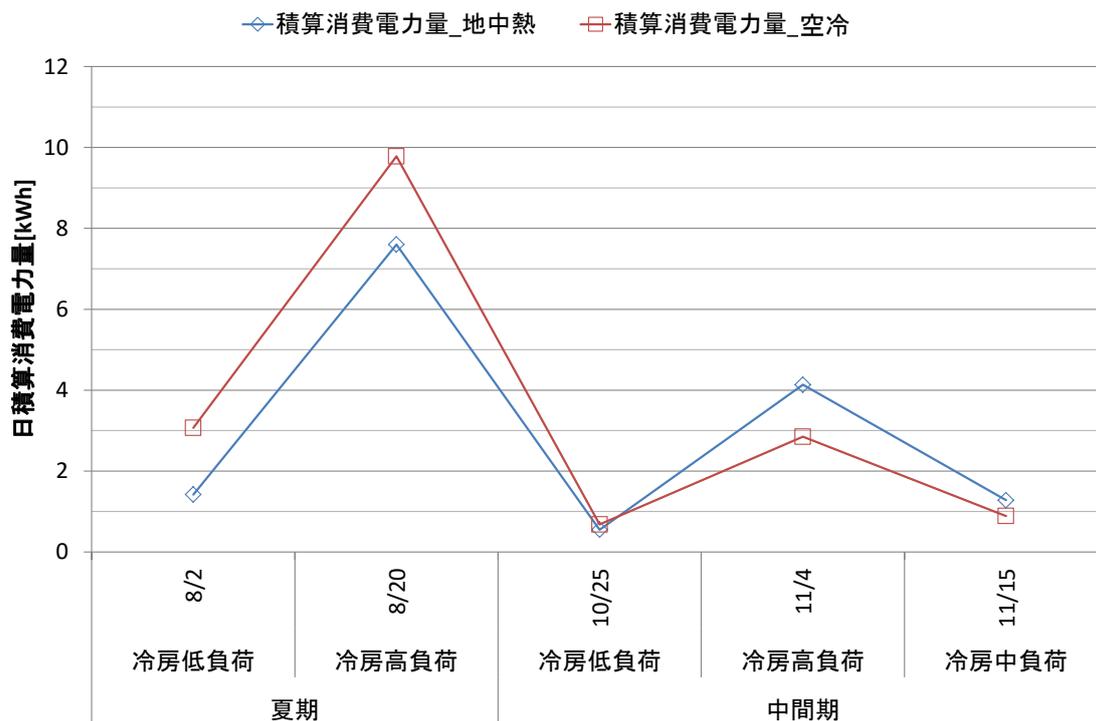


図 4 - 1 8 積算消費電力量

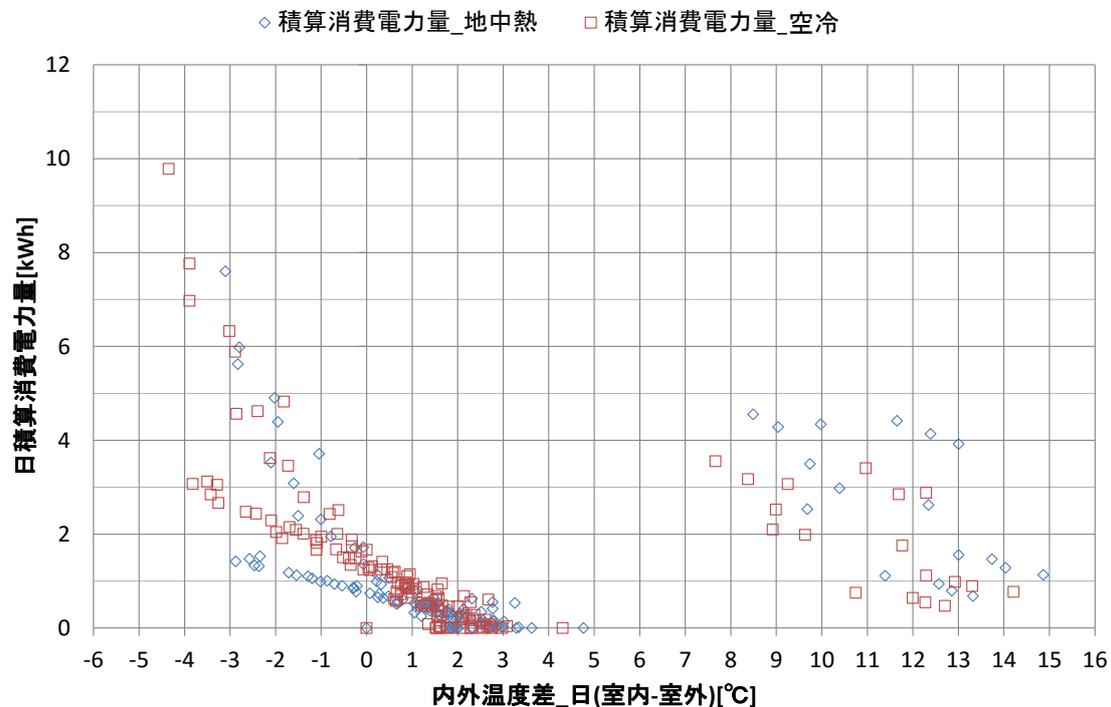


図 4 - 1 9 COP と内外温度差の相関(冷房全ケース)

図4-20に高負荷時の代表日(8/20)のピークカット効果（(空気熱の消費電力量-地中熱の消費電力量)／地中熱の消費電力量）を示す。処理熱量自体は空気熱の方が大きい、ピーク電力は約25%の差が見られた。図4-21に処理熱量と消費電力量の相関図を示す。空気熱の最も処理熱量の大きいプロットに注目するとピークカット効果は16%であった。

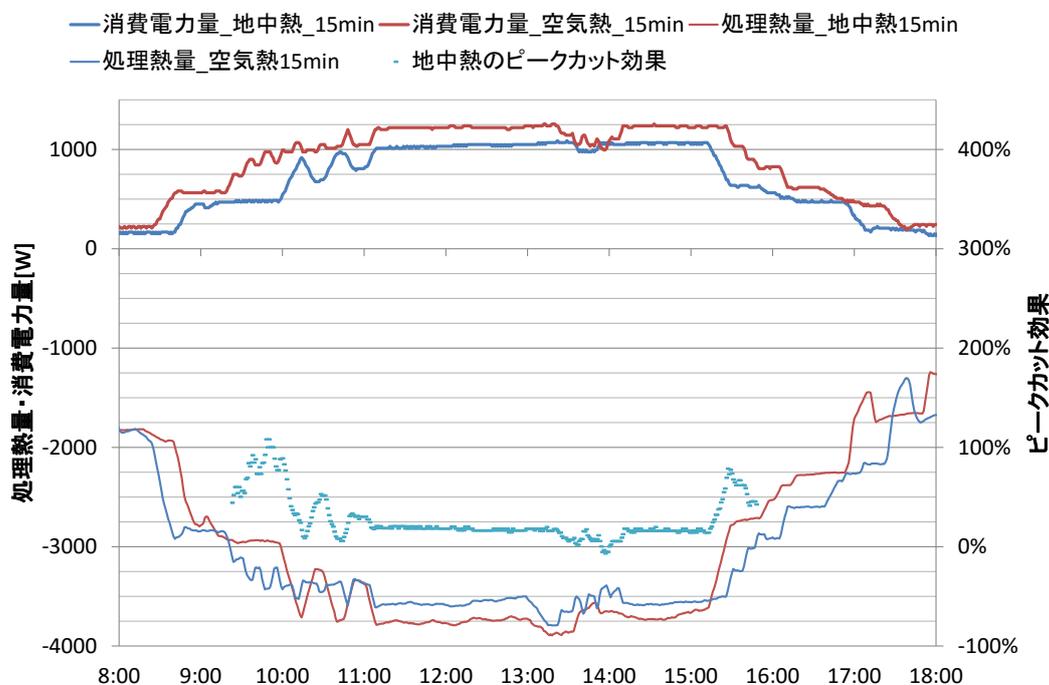


図4-20 消費電力量と処理熱量(15分移動平均値)(冷房)

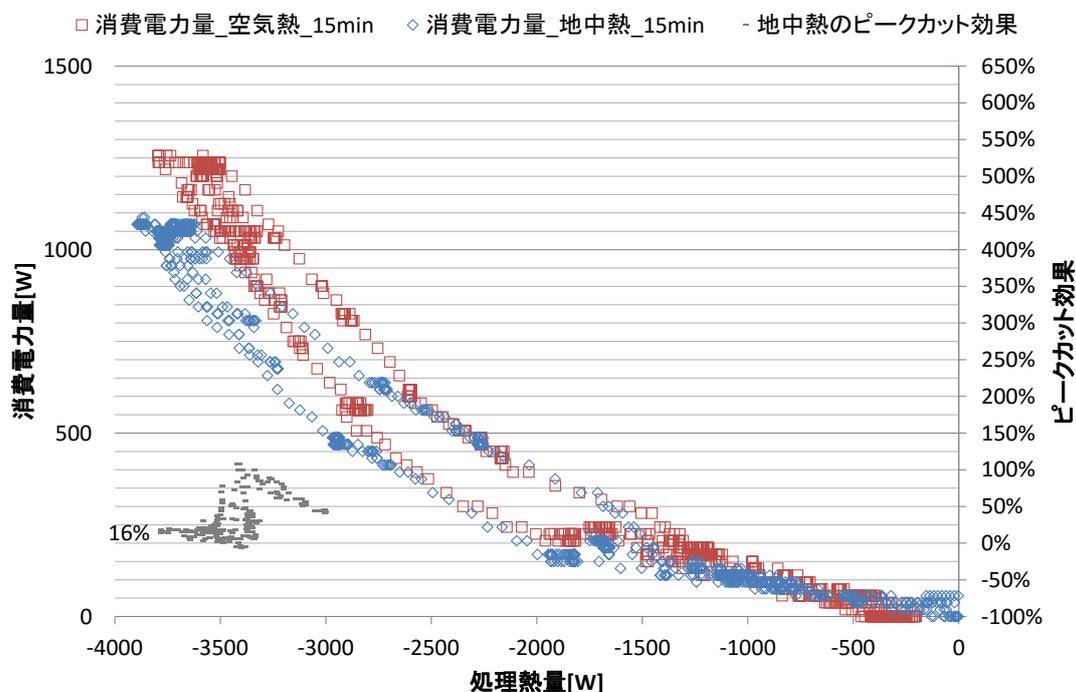


図4-21 消費電力量と処理熱量の相関(15分移動平均値)(冷房)

4.2.5 冬期の実験結果

冬期の実験による計測結果を図4-22～図4-29に示す。得られた知見を以下に示す。

- ① 外気温度、負荷率によらず、空冷ヒートポンプよりも地中熱ヒートポンプの方が効率は良い。特に、外気温度が低く処理熱量が小さい場合に差が大きくなる。「冬期暖房低負荷連続」時の実験において、外気温-5℃、負荷率20%の場合、地中熱ヒートポンプのCOPは空冷ヒートポンプの1.7倍となった。
- ② 今回の実験条件においては、必ず外気温度よりも採熱還温度の方が高いため、地中熱ヒートポンプの方が効率は良い結果となった。

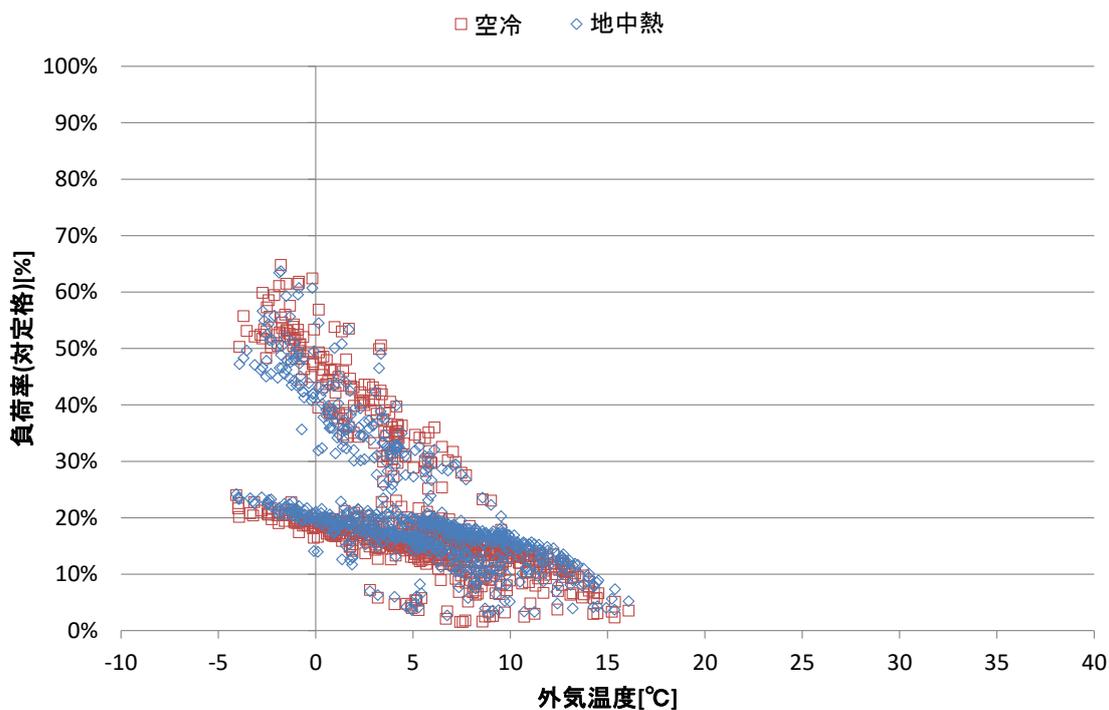


図4-22 負荷率と外気温度

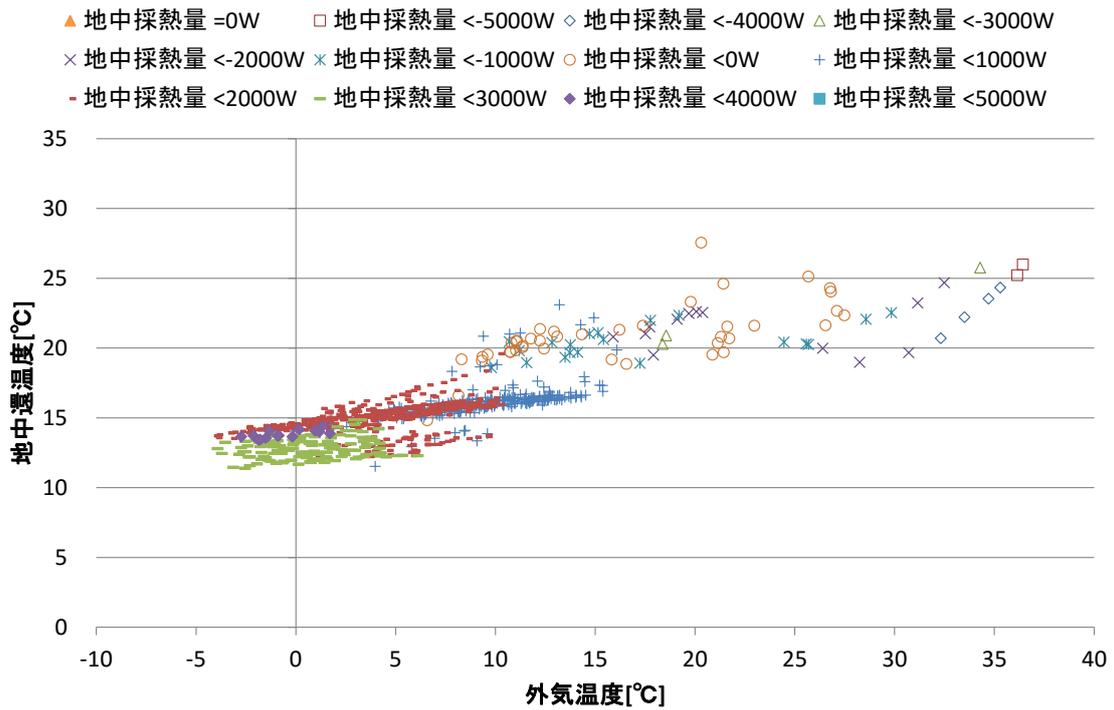


図 4 - 2 3 採熱還温度と外気温度

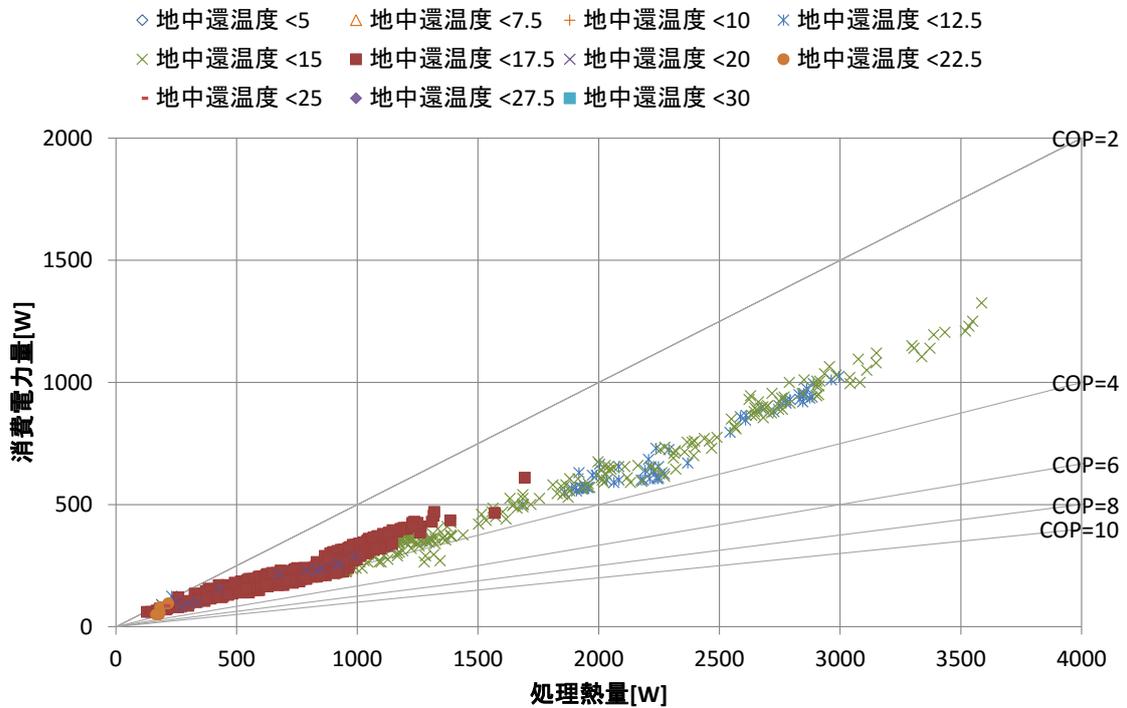


図 4 - 2 4 消費電力と処理熱量(地中熱)

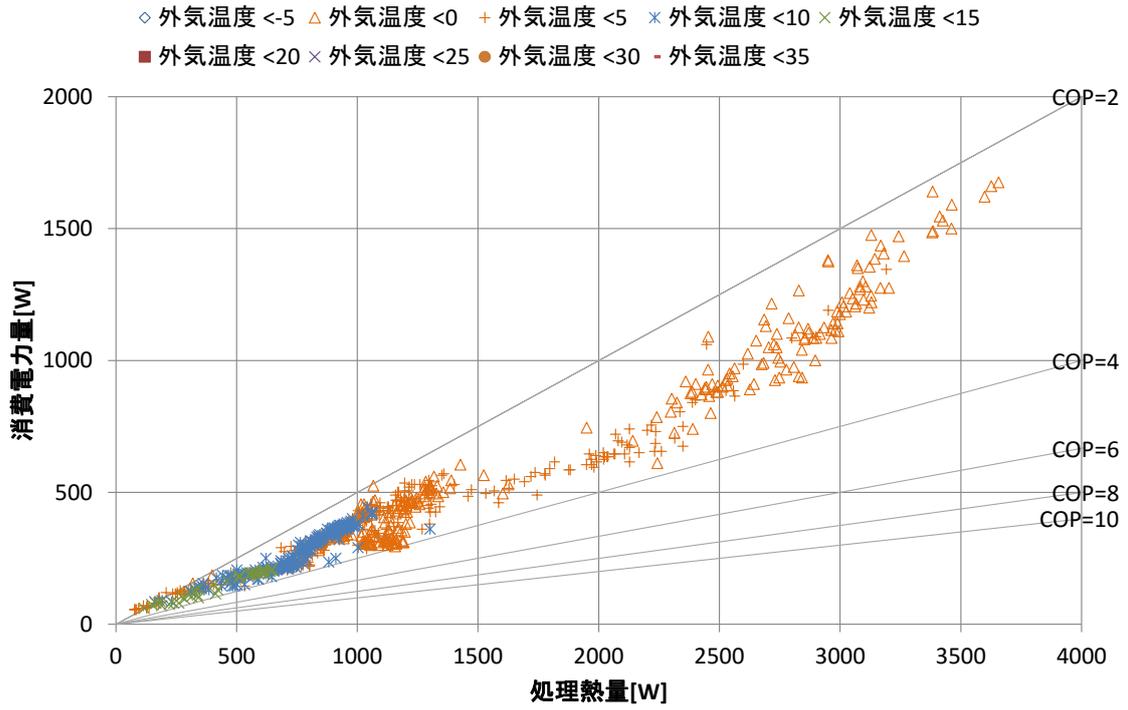


図 4 - 2 5 消費電力と処理熱量(空冷)

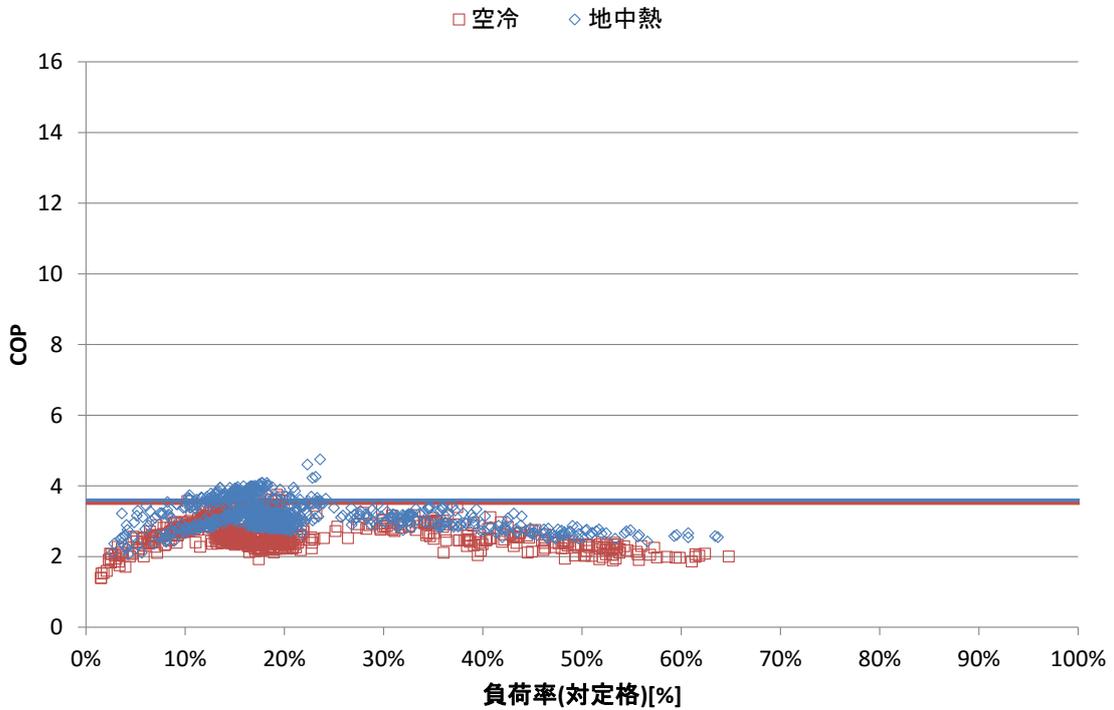


図 4 - 2 6 COP と負荷率

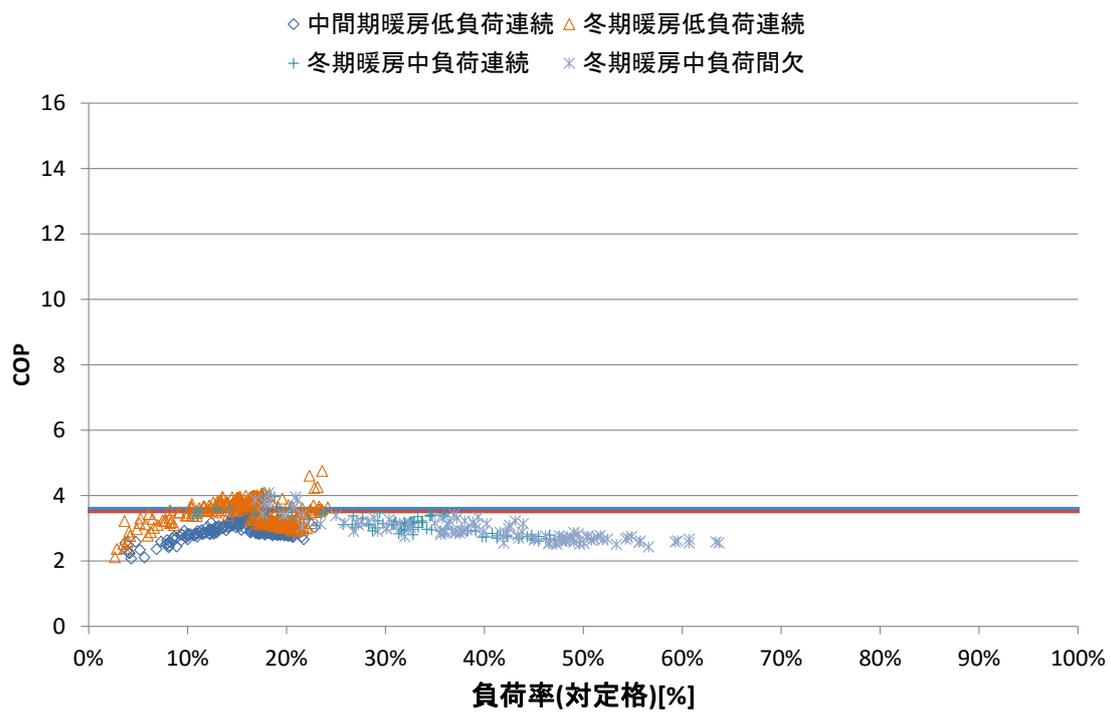


図 4 - 2 7 COP と負荷率(地中熱)

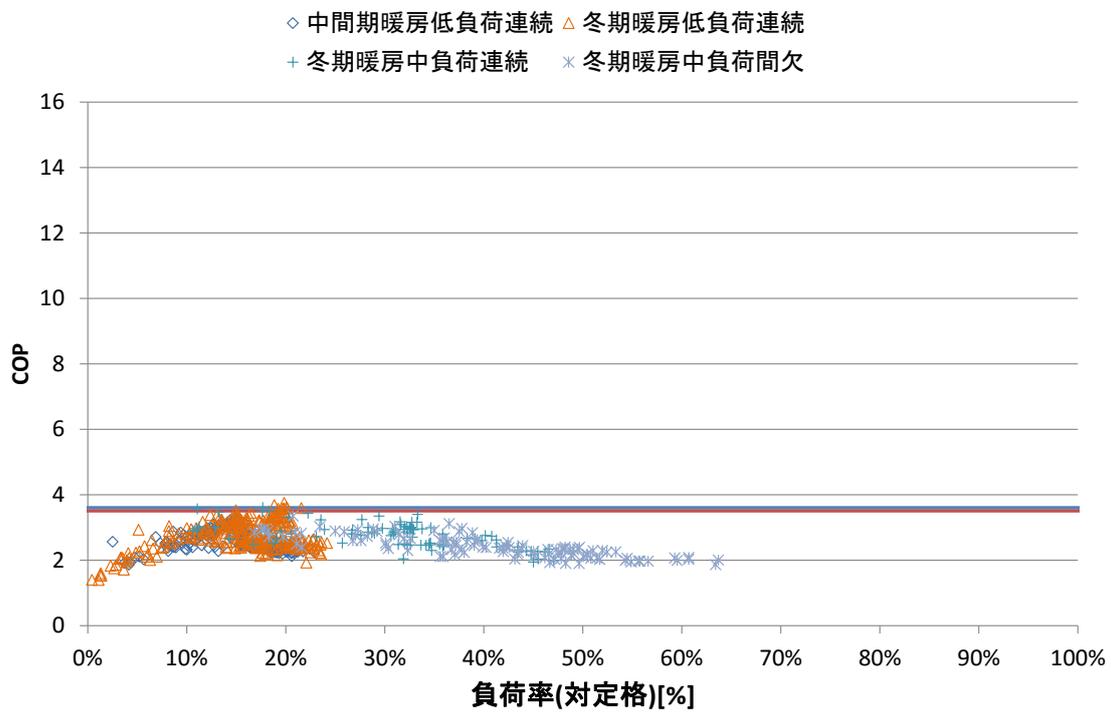


図 4 - 2 8 COP と負荷率(空冷)

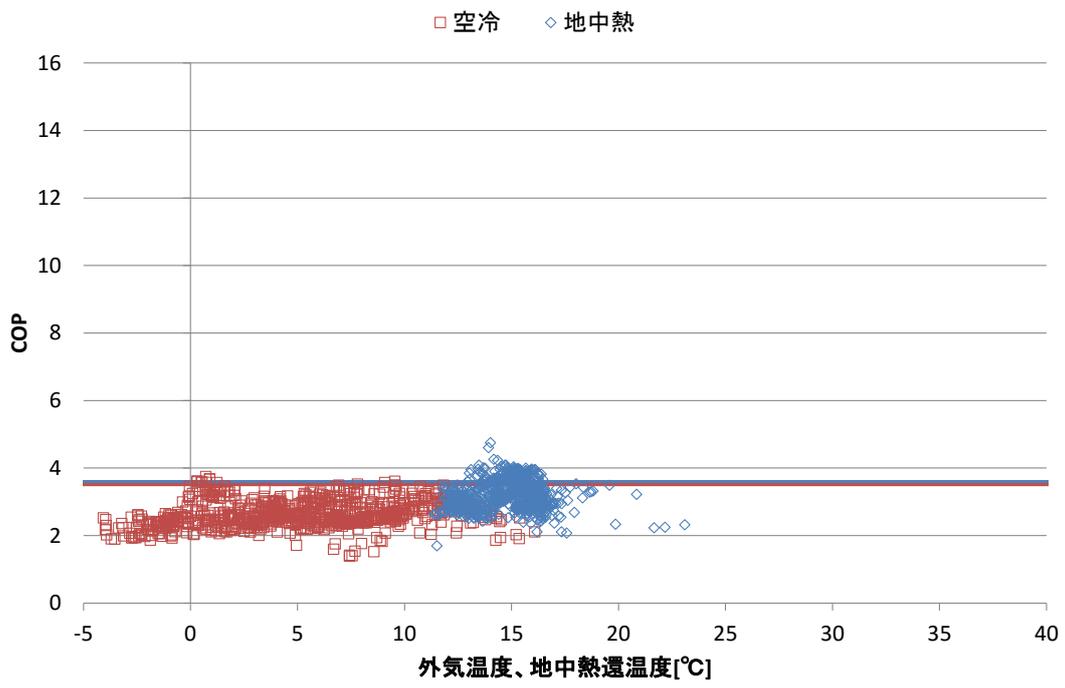


図 4 - 2 9 COP と外気・地中熱温度 (暖房)

図4-30に中負荷間欠時の代表日(1/14)のピークカット効果（(空気熱の消費電力量-地中熱の消費電力量)/地中熱の消費電力量）を示す。処理熱量自体は空気熱の方が大きい
 が、ピーク電力はバラツキがあるものの10~60%程度の差が見られた。図4-31に処理
 熱量と消費電力量の相関図を示す。空気熱の最も処理熱量の大きいプロットに注目すると
 ピークカット効果は27%であった。

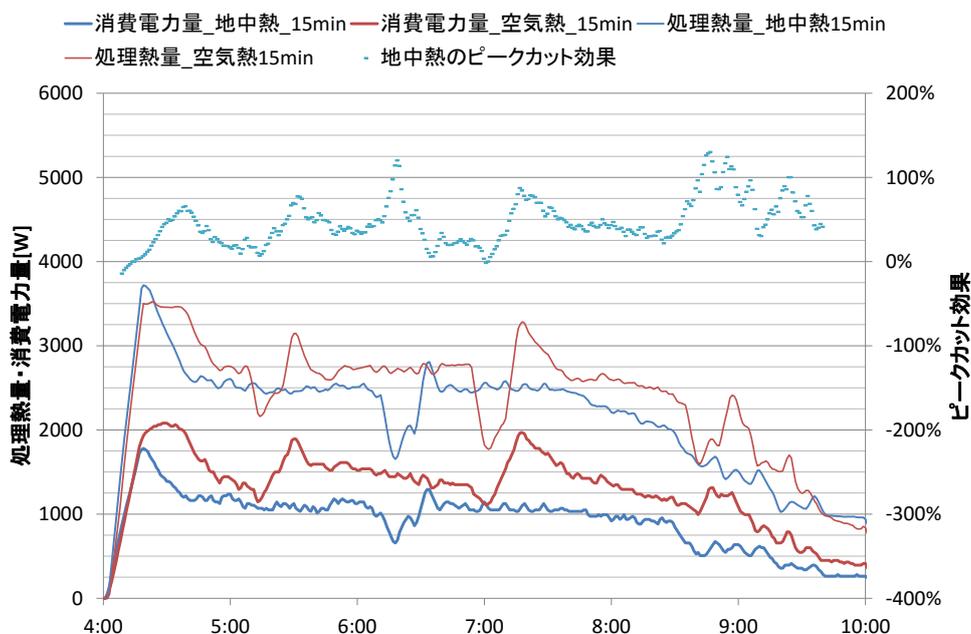


図4-30 消費電力量と処理熱量(15分移動平均値)(暖房)

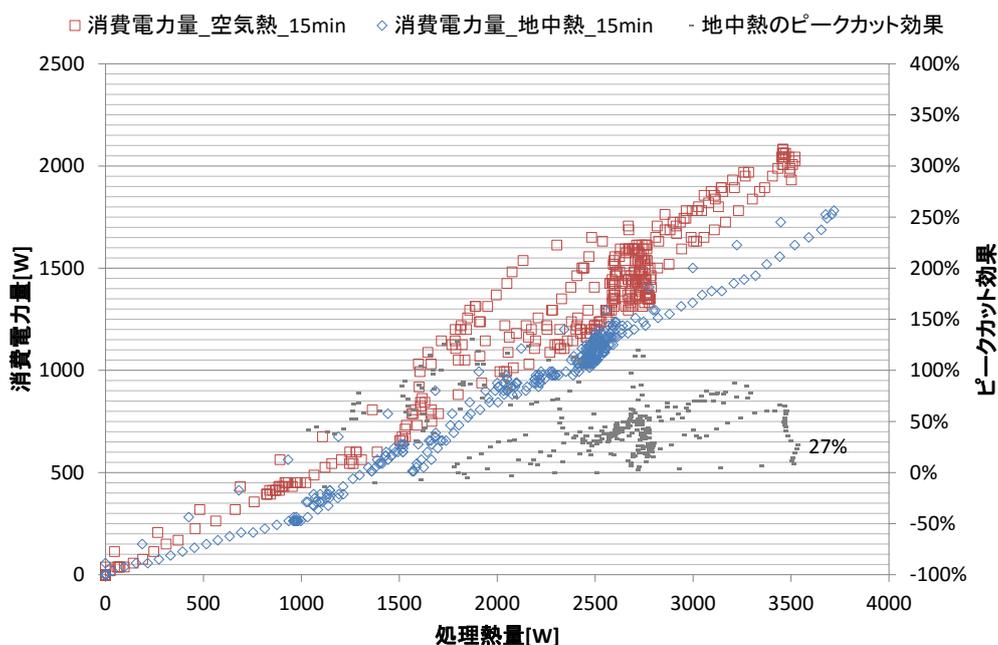


図4-31 消費電力量と処理熱量の相関(15分移動平均値)(暖房)

4.2.6 地盤温度の変化

図4-32に実験期間中の地中温度の変動を示す。地中温度は冷房にやや上昇、暖房にやや下降傾向になるものの異常な蓄熱効果は見られない。空調停止時には速やかに温度は回復することを確認した。

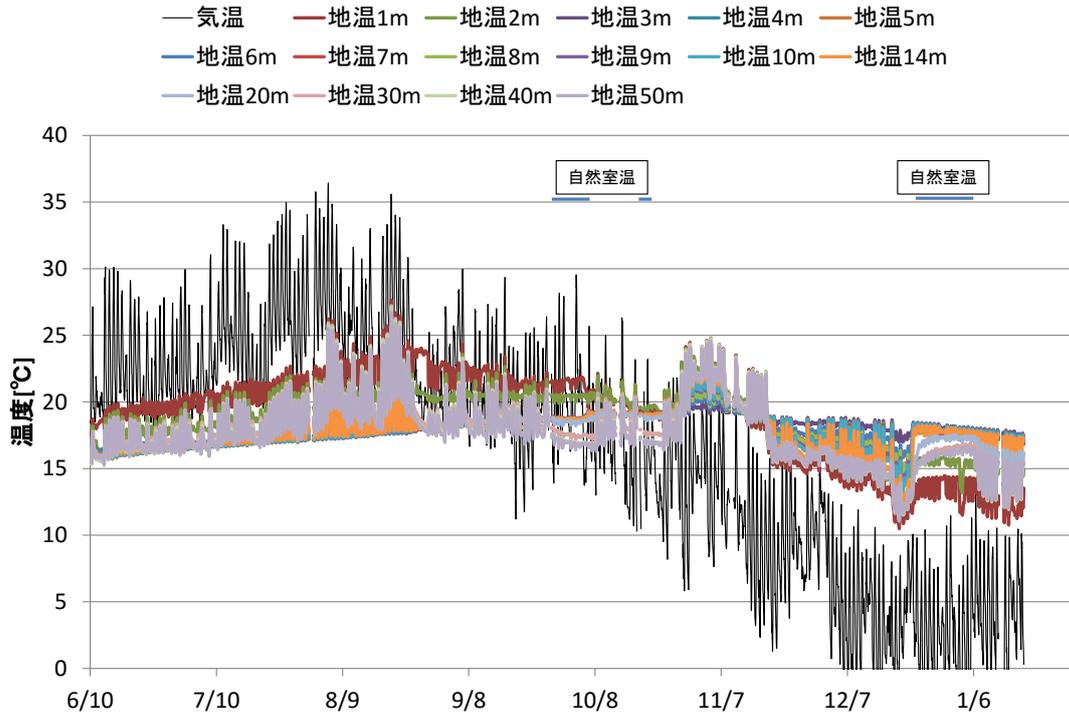


図4-32 地中温度の変動(全期間)

4.3 地中熱の蓄採熱に関する数値解析

4.3.1 地中熱ポテンシャル計算プログラムのアルゴリズム及び入力パラメータ

地中温度の挙動は、地中内の熱伝導および地下水流動に伴う熱移動に支配されるほか、大気境界層を通じた顕熱・潜熱形態による地表面熱収支および降水・降雪などによる地表面水収支にも依存する。年間不易層の深さは10m程度といわれており、地中熱ヒートポンプシステムに代表される地中熱利用システムは主として不易層より深い層の地中熱を利用する。したがって本件プログラムの代表的な解析対象は地表～地下100m程度になると考えらる。地下水の流れ場は地表面から不透水層上部までの不圧帯水層と不透水層下部から下の被圧帯水層に分けて考えることができ、このうち不圧帯水層は、地下水面から下の飽和地下水、地表付近の不飽和地下水および飽和／不飽和境界付近の毛管水帯に区分できる固体・液体・気体の三相が混在する複雑な流れ場(多孔質混相流)となる。

(1) 非等温不飽和地下水流れの基礎方程式

【水分の輸送方程式】

水分の輸送方程式は次のように表される。

$$\rho_w \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + g \frac{\partial K}{\partial z} \quad (4.1)$$

ここで、 ρ_w : 水の密度[kg/m³]、 θ : 体積含水率[m³/m³]、 T : 土壤温度[°C]、 g : 重力加速度[m/s²]である。また、 D_θ, D_T は拡散係数[kg/(m・s)]で、

$$D_\theta = D_{\theta\ell} + D_{\theta v}, \quad D_T = D_{T\ell} + D_{Tv} \quad (4.2)$$

と定義される。液水フラックス q_ℓ [kg/(m²・s)]および水蒸気フラックス q_v [kg/(m²・s)]はそれぞれ次のように表される。

$$q_{\ell,j} = -D_{\theta\ell} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} - D_{T\ell} \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (4.3)$$

$$q_{v,j} = -D_{\theta v} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} - D_{Tv} \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (4.4)$$

それぞれの拡散係数は次のように表される。

$$D_{\theta\ell} = K \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \quad (4.5)$$

$$D_{T\ell} = \eta K \frac{\Psi}{\tau} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial T} \quad (4.6)$$

$$D_{\theta v} = D^* \frac{p_{vs}}{R_v T} \cdot \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (4.7)$$

$$D_{Tv} = D^* \frac{\gamma}{R_v T} \left(h \frac{\partial p_{vs}}{\partial T} + p_{vs} \frac{\partial h}{\partial T} \right) \quad (4.8)$$

$$K = K_s S^\ell \left[1 - (1 - S^{1/m})^m \right]^2 \quad (4.9)$$

$$D^* = \zeta \phi D_a \frac{P}{P - p_v} \quad (4.10)$$

ここで、 K : 不飽和透水係数 [$\text{kg} \cdot \text{s} / \text{m}^3$]、 K_s : 飽和透水係数 [$\text{kg} \cdot \text{s} / \text{m}^3$]、 S : 飽和度 [-]、 Ψ : 水分ポテンシャル [J / kg]、 τ : 表面張力 [N / m]、 p_{vs} : 飽和水蒸気圧 [Pa]、 R_v : 水蒸気の気体定数 [$\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$]、 h : 相対湿度 [Pa / Pa]、 D^* : 多孔媒体中の水蒸気拡散係数 [$\text{kg} / (\text{m} \cdot \text{s})$]、 ζ : 空隙流路の屈曲率 [-] (=0.66)、 ϕ : 体積含空率 [m^3 / m^3]、 D_a : 大気中の水蒸気拡散係数 [$\text{kg} / \text{m} \cdot \text{s}$]、 P : 全圧 [Pa] (=1atm)、 p_v : 水蒸気圧 [Pa]である。

【熱の輸送方程式】

$$\rho_s C_s \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(L \cdot D_w \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right) \quad (4.11)$$

$$\rho_s C_s = (1-n)\rho_b C_b + \theta \rho_w C_w \quad (4.12)$$

ここで、 n : 空隙率 [m^3 / m^3]、 ρ_b : 固体の密度 [kg / m^3]、 C_b : 固体の熱容量 [$\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$]、 C_w : 水の熱容量 [$\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$]、 L : 水の蒸発潜熱 [J / kg]である。

(2) 非等温飽和地下水流れの基礎方程式

【水分の輸送方程式】

$$n_e \frac{\partial h_L}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{g}{\rho_w} K_s h_L \frac{\partial h_L}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{g}{\rho_w} K_s h_L \frac{\partial h_L}{\partial y} \right) \quad (4.13)$$

ここで、 n_e : 有効空隙率 [m^3 / m^3]、 h_L : 地下水位 [m]である。

【熱の輸送方程式】

$$\rho_s C_s \left[\frac{\partial T}{\partial t} + u_j \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (4.14)$$

$$u_j = \frac{g}{\rho} K_s \frac{\partial h_L}{\partial x_j} \quad (4.15)$$

(3) 熱交換井の基礎方程式

1次元の非圧縮性流れ場を仮定するので、管内流速は入口流速 u_{in} [m/s]で一様流れとなる。温度に関する方程式は次のようになる。

$$\rho_c C_c \left[\frac{\partial T_c}{\partial t} + u_{in} \frac{\partial T_c}{\partial x} \right] = \frac{2\pi \bar{h}_c}{A_c} (T - T_c) \quad (4.16)$$

ここで、 ρ_c : 循環液の密度 [kg/m³]、 C_c : 循環液の熱容量 [J/(kg·K)]、 T_c : 循環液の温度 [°C]、 A_c : 管路断面積 [m²]である。また、 \bar{h}_c は有効熱伝達係数 [W/(m·K)]で、

$$\frac{1}{\bar{h}_c} = \frac{1}{r_{in} h_{in}} + \frac{\log(r_{out}/r_{in})}{\lambda_c} \quad (4.17)$$

となる。ここで、 h_{in} : 循環液と管内壁との熱伝達係数 [W/(m²·K)]、 λ_c : 管壁の熱伝導係数 [W/(m·K)]、 r_{in}, r_{out} : 管の内径、外径 [m]である。

(4) 輸送係数

飽和透水係数

【Campbell 公式】

$$K_s = 4 \times 10^{-3} (1.3/\rho_b)^{1.3b} \exp(-6.9m_c - 3.7m_s) \quad (4.18)$$

ここで、 m_s, m_c はシルト分、粘土分の含量率 [kg/kg]である。

【Hazen 公式】

$$K_s = 116 \cdot d_e^2 (0.7 + 0.03T) \quad (4.19)$$

ここで、 d_e は粒径加積曲線における 10%有効径である。

【Kozeny 公式】

$$K_s = \frac{g}{5\nu \cdot M_s^2} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (4.20)$$

ここで、 n : 空隙率、 M_s : 土粒子の比表面積 (= 表面積 / 体積) である。

【Terzaghi 公式】

$$K_s = A \frac{\mu_0}{\mu} \left(\frac{n-0.13}{\sqrt[3]{1-n}} \right)^2 d_e^2 \quad (A = 460 \sim 800) \quad (4.21)$$

(5) 熱伝導係数

混合固相の熱伝導係数は、加重平均、加重調和平均、加重幾何平均にいずれかにより計算することができる。

【加重平均】

$$\lambda = \frac{\sum m_i \lambda_i}{\sum m_i} \quad (4.22)$$

【加重調和平均】

$$\lambda = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\lambda_i}} \quad (4.23)$$

【加重幾何平均】

$$\lambda = \prod \lambda_i^{\alpha_i} \quad \left(\alpha_i = \frac{m_i}{\sum m_i} \right) \quad (4.24)$$

以上で、 m_i は固体第*i*成分の体積である。

固液混相の熱伝導係数は、相加平均、調和平均、相乗平均にいずれかにより計算することができる。

【相加平均】

$$\lambda = (1-n)\lambda_s + \theta\lambda_w \quad (4.25)$$

【調和平均】

$$\lambda = \frac{1-n+\theta}{(1-n)/\lambda_s + \theta/\lambda_w} \quad (4.26)$$

【相乗平均】

$$\lambda = \lambda_s^{1-n} \cdot \lambda_w^\theta \quad (4.27)$$

(6) 地表面熱収支式

表面熱収支式は次のように表される。

$$S_n + L_a + R_L + R_S + H + E + G = 0 \quad (4.28)$$

各項の意味と内容は次のようになる。

S_n : 正味全天日射量

正味全天日射量 S_n [W/m²] 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) α を用いて次のように表される。

$$S_n = (1 - \alpha) S_g \quad (4.29)$$

ここで、 S_g は全天日射量 [W/m²] で、直達日射量 S_d [W/m²] と天空 (散乱) 日射量 S_s [W/m²] との和である。

$$S_g = \omega_d S_d + \omega_s S_s = \omega_d S_{d\perp} \cos \psi + \omega_s S_s \quad (4.30)$$

ただし、 $S_{d\perp}$: 法線面直達日射量 [W/m²]、 ψ : 直達光と表面との成す角 [rad.] である。また、 ω_d : 日向率、 ω_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 :

$$S_{d\perp} = I_0 P^{1/\sin h} \quad (4.31)$$

Berlage 式 :

$$S_s = 0.5 I_0 \sin h \frac{1 - P^{1/\sin h}}{1 - 1.4 \cdot \log P} \quad (4.32)$$

ここで、 I_0 : 太陽定数 [W/m²]、 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。

$$\begin{aligned} S_x &= -\cos \delta \sin \gamma \\ S_y &= \cos \phi \sin \delta - \sin \phi \cos \delta \cos \gamma \\ S_z &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \gamma \end{aligned} \quad (4.33)$$

ここで、 ϕ : 緯度 [rad.]、 δ : 赤緯 [rad.]、 γ : 時角 [rad.] である。したがって、水平な地表面の場合、

$$\cos \psi = S_z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \gamma \quad (4.34)$$

となる。

(7) 数値計算法

(a) 非等温不飽和地下水流れの計算法

簡単のため1次元の場合で説明する。2次元以上の場合も要領は同じである。直角座標系を用いて有限差分法により離散化する。時間積分はEuler陽解法、拡散項は2次精度衷心差分で離散化する。

$$\begin{aligned} \rho_w \Delta x_i \cdot \frac{\theta^{n+1} - \theta^n}{\Delta t} = & D_{\theta,i+1/2} \cdot \frac{\theta_i^n - \theta_i^n}{\Delta x_{i+1/2}} - D_{\theta,i-1/2} \cdot \frac{\theta_i^n - \theta_{i-1}^n}{\Delta x_{i-1/2}} \\ & + D_{T,i+1/2} \cdot \frac{T_{i+1}^n - T_i^n}{\Delta x_{i+1/2}} - D_{T,i-1/2} \cdot \frac{T_i^n - T_{i-1}^n}{\Delta x_{i-1/2}} \end{aligned} \quad (4.35)$$

$$\begin{aligned} \rho_s C_s \Delta x_i \cdot \frac{T^{n+1} - T^n}{\Delta t} = & \lambda_{i+1/2} \cdot \frac{T_{i+1}^n - T_i^n}{\Delta x_{i+1/2}} - \lambda_{i-1/2} \cdot \frac{T_i^n - T_{i-1}^n}{\Delta x_{i-1/2}} \\ & + L \left(D_{\theta,i+1/2} \cdot \frac{\theta_i^n - \theta_i^n}{\Delta x_{i+1/2}} - D_{\theta,i-1/2} \cdot \frac{\theta_i^n - \theta_{i-1}^n}{\Delta x_{i-1/2}} \right) \end{aligned} \quad (4.36)$$

式(4.35)および式(4.36)にEuler陰解法を適用すると、係数是对称行列となるためICCG法により計算することができる。ただし、 θ, T の2成分が連成するため 2×2 ブロック小行列を成分にもつICCG法を適用する必要がある。係数行列を成分表示すると次のようになる。

$$\begin{aligned} A_0(1,1) &= \frac{\rho_w \Delta x_i}{\Delta t} + \frac{D_{\theta,i+1/2}}{\Delta x_{i+1/2}} + \frac{D_{\theta,i-1/2}}{\Delta x_{i-1/2}} \\ A_0(1,2) &= \frac{D_{T,i+1/2}}{\Delta x_{i+1/2}} + \frac{D_{T,i-1/2}}{\Delta x_{i-1/2}} \\ A_0(2,1) &= L \left(\frac{D_{\theta,i+1/2}}{\Delta x_{i+1/2}} + \frac{D_{\theta,i-1/2}}{\Delta x_{i-1/2}} \right) \\ A_0(2,2) &= \frac{\rho_s C_s \Delta x_i}{\Delta t} + \frac{\lambda_{i+1/2}}{\Delta x_{i+1/2}} + \frac{\lambda_{i-1/2}}{\Delta x_{i-1/2}} \\ A_{-1}(1,1) &= -\frac{D_{\theta,i-1/2}}{\Delta x_{i-1/2}}, \quad A_{-1}(1,2) = -\frac{D_{T,i-1/2}}{\Delta x_{i-1/2}} \\ A_{-1}(2,1) &= -L \cdot \frac{D_{\theta,i-1/2}}{\Delta x_{i-1/2}}, \quad A_0(2,2) = -\frac{\lambda_{i-1/2}}{\Delta x_{i-1/2}} \end{aligned} \quad (4.37)$$

$$(4.38)$$

(b) 非等温飽和地下水流れの計算法

有効空隙率は次のように計算される。

$$n_e = \frac{\sum n_{e,k} dh_k}{\sum dh_k} \quad (4.39)$$

ここで、 dh_k は層厚で次のように定義される。

$$dh_k = \min[\Delta z_k, h_L - z_{k-1/2}] \quad (4.40)$$

式(4.13)のx方向の体積フラックスは次のように離散化される。

$$\left(\frac{g}{\rho_w} K_s h_L \frac{\partial h_L}{\partial x} \right)_{i+1/2} = \frac{g}{\rho_w} \sum K_{s,k} dh_k \frac{h_{L,i+1} - h_{L,i}}{\Delta x_{i+1/2}} \quad (4.41)$$

温度の計算は通常の移流・拡散方程式となるため、Euler 陰解法を適用する場合は前処理付き BiCGstab 法で計算できる。

(c) 熱交換井の計算法

式(4.16)の移流項を1次精度風上差分により有限差分法で離散化すると次のようになる。

時間刻みに対する制約を緩和するため Euler 陰解法で取り扱う。

$$\rho_c C_c \left[\frac{T_c^{n+1} - T_c^n}{\Delta t} + u_{in} \frac{T_{c,i}^{n+1} - T_{c,i-1}^n}{\Delta x} \right] = \frac{2\pi \bar{h}_c}{A_c} (T - T_c^{n+1}) \quad (4.42)$$

係数行列を成分表示すると次のようになる。

$$\begin{aligned} a_{-1} &= -\frac{u_{in}}{\Delta x}, \quad a_{+1} = 0 \\ a_0 &= \frac{1}{\Delta t} + \frac{u_{in}}{\Delta x} + \frac{2\pi \bar{h}_c}{\rho_c C_c A_c} \end{aligned} \quad (4.43)$$

(d) 表面熱収支式の計算法

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。

$$S_{n\downarrow} + L_{a\downarrow} - \varepsilon \sigma (T_G^n)^4 + h(T_a - T_G^n) + L\beta h_q [q_a - q_G(T_G^n)] + k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} = 0 \quad (4.44)$$

式(4.44)は Newton 法により解く。

$$\begin{aligned} \left[4\varepsilon \sigma (T_G^n)^3 + h + L\beta h_q \frac{\partial q_G}{\partial T_G} + \frac{2k_g}{\Delta z} \right] \Delta T_G^n = \\ S_{n\downarrow} + L_{a\downarrow} - \varepsilon \sigma (T_G^n)^4 + h(T_a - T_G^n) + L\beta h_q [q_a - q_G(T_G^n)] + k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} \end{aligned} \quad (4.45)$$

図4-33に地中熱ポテンシャル計算プログラムの計算フローを示す。プログラムでは地盤モデルに基づいて実気象条件、熱源機器との採熱水条件から地中熱交換器の水温、熱量が計算できる。

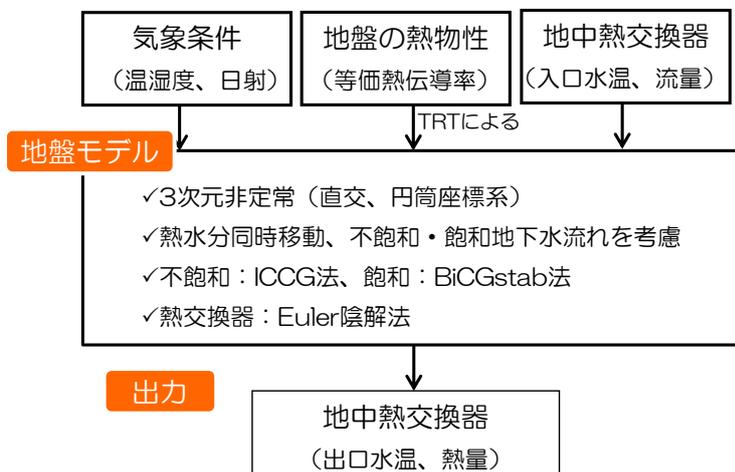


図4-33 地中熱ポテンシャル計算プログラムの計算フロー

4.3.2 実証実験結果の再現性の確認

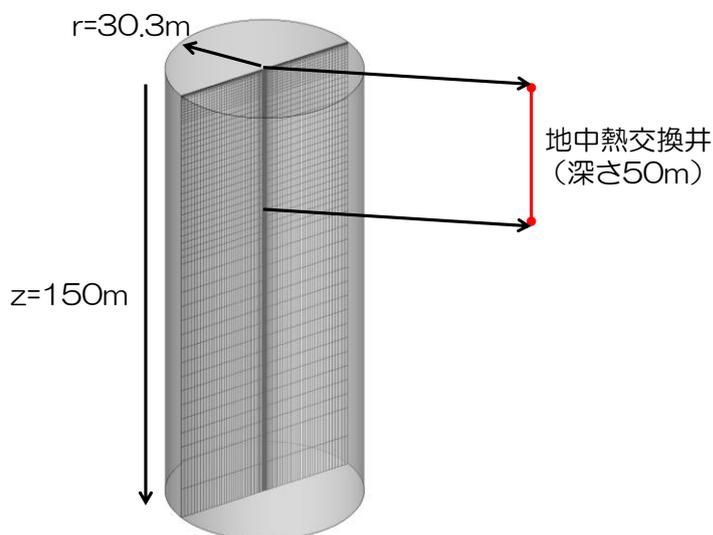
(1) 計算条件

地中熱交換井の計算モデルは円筒座標系の計算格子として、**図4-34**の通りとし、地中埋設配管は**図4-35**、**図4-36**に示す仕様とした。

比較は、次の2ケースについて、地中循環水の出口温度、地中温、冷・暖房電力の挙動を比較した。

ケース1：往温度を与える計算

ケース2：空調負荷を与える計算



円筒座標系の計算格子

X方向 45 分割 ($r=0\sim 30.3\text{m}$)

Z方向 56 分割 ($z=-150\sim 0\text{m}$)

時間刻み：900 秒

地盤：円筒軸対象 2 次元熱伝導 (45×56)

熱交換井：1 次元移流・熱伝達 (250 分割)

図4-34 円筒座標系の計算格子



図4-35 地中埋設配管の計算モデル

有効熱伝達係数

$$\frac{1}{h_c} = \left[\frac{1}{r_{in} h_{in}} + \frac{\ln \frac{r_{out}}{r_{in}}}{\lambda} + \frac{1}{r_{out} h_{out}} \right]$$

管の断面積 A_c の管路が 1m 長さ当たり交換する熱量を 2π で除した量

管内の熱伝達の関係式 (記号略)

$$Re > 10^4, \quad Nu = \frac{\frac{f}{2} Re Pr}{1.07 + 12.7 \sqrt{\frac{f}{2}} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)}$$

$$Re \leq 10^4, \quad Nu = \frac{\frac{f}{2} (Re - 1000) Pr}{1 + 12.7 \sqrt{\frac{f}{2}} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)}$$

□検討条件

- 管密度 rho_s = 955
- 管比熱 cp_s = 1.89d3
- 管熱伝導率 lmd_s = 0.495
- ブライン密度 rho_l = 1050.0
- ブライン比熱 cp_l = 3709.0
- ブライン熱伝導率 lmd_l = 0.42
- ブライン粘性係数 vis_l = 5.680d-3
- 熱交換井の設置位置 xy = 0,0
- 熱交換井の深さ depth = 50
- 管の内径 diam = 27d-3
- 管の厚み thick = 3.5d-3
- 分割数 ndiv = 250

図4-36 地中埋設配管の仕様

(2) 往温度を与える計算（ケース1）の比較

地中循環水の出口温度（日平均）の比較を図4-37に示す。比較期間のRMS値（二乗平均平方根）は1.37℃となり、シミュレーション結果の方が温度が低めとなっている。同期間の地中温度（深さ1m）の比較を図4-38に示す。8月～9月（冷房高負荷）、12月～1月（暖房高負荷）の期間は概ねシミュレーション結果と実験値は合致しているが、中間期の軽負荷時期は差違が見られる。地中温度の深さ別RMS値を表4-3に示す。全データのRMS値は1.5℃であった。

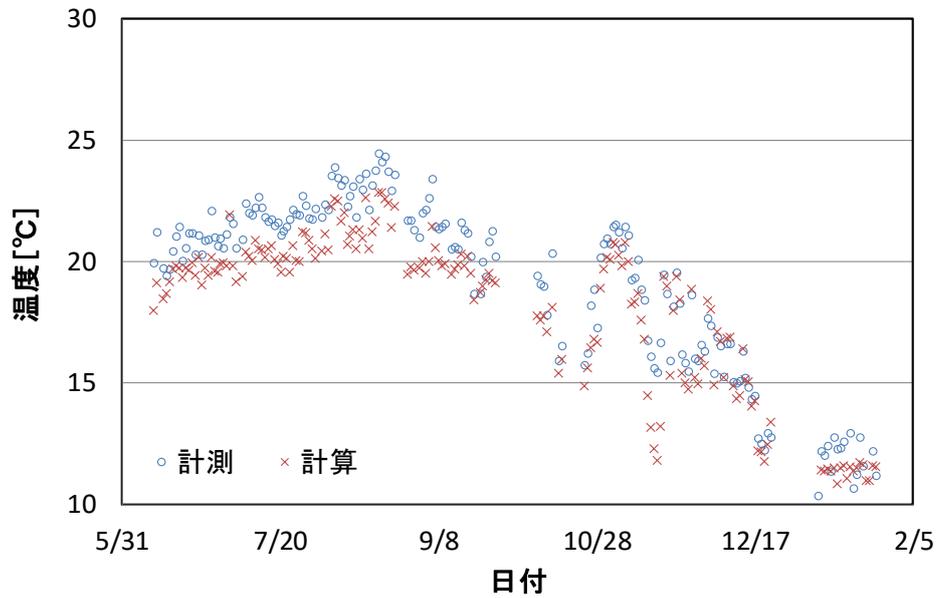


図4-37 地中循環水出口温度（日平均）の比較（2014年7月25日～2014年8月3日）

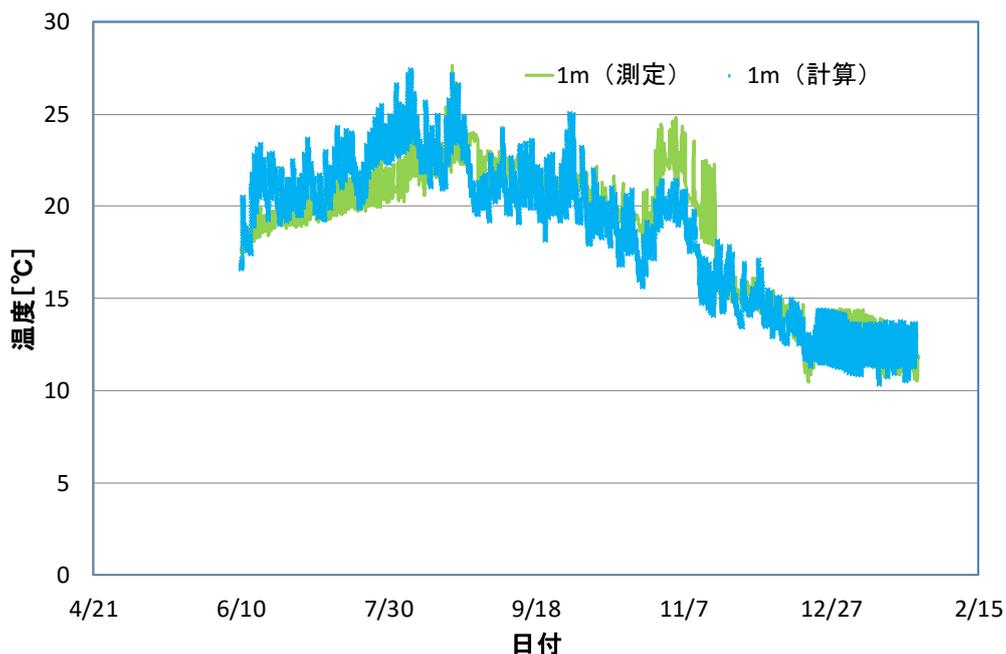


図 4-38 深さ 1 m の地中温度挙動 (2014 年 6 月 10 日～2015 年 1 月 27 日)

表 4-3 シミュレーション結果と実験値の RMS 比較

項目	RMS[°C]
地温1m	1.474
地温2m	1.450
地温3m	1.272
地温4m	0.936
地温5m	0.994
地温6m	1.143
地温7m	1.277
地温8m	1.297
地温9m	1.395
地温10m	1.402
地温14m	1.553
地温20m	2.127
地温30m	2.010
地温40m	1.765
地温50m	2.142
全データ	1.527

(3) 空調負荷を与える計算の比較 (ケース 2) の比較

地中循環水の出口温度の比較を図 4-39 に示す。地中循環水の出口温度は空調機の運転時は低温となり停止後は上昇している。空調 (冷暖房) 電力の比較を図 4-40～図 4-41 に示す。空調 (冷暖房) 電力は、シミュレーション結果の方が実験値よりやや小さな値となるが、変化傾向は同じであり電力の差も小さい。

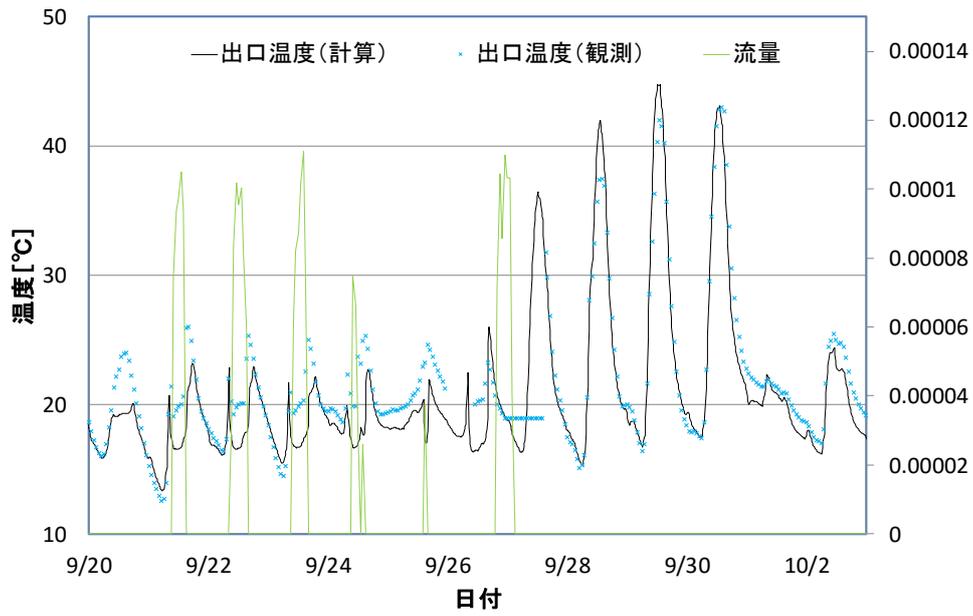


図4-39 地中循環水出口温度の比較 (2014年9月20日~2014年10月2日)

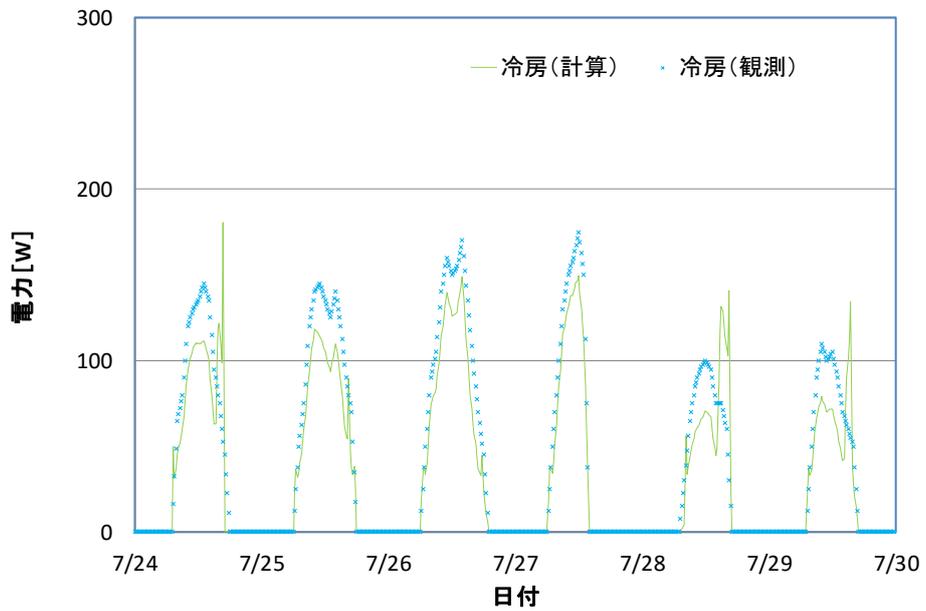


図4-40 夏期冷房電力の比較 (2014年6月30日~2014年7月30日)

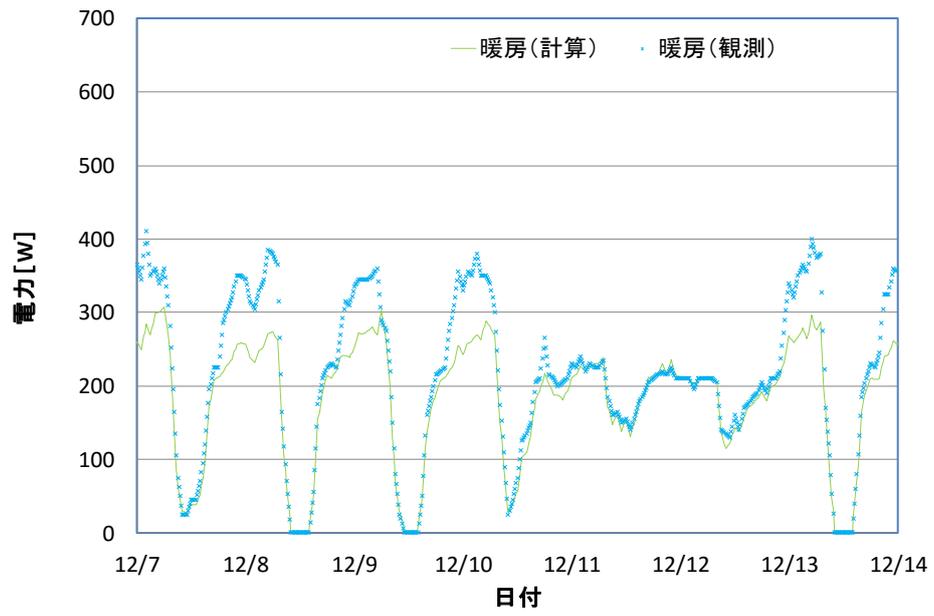


図 4 - 4 1 冬期暖房電力の比較 (2014 年 12 月 7 日~2014 年 12 月 14 日)

4.3.3 既往プログラムとの比較

地中熱ポテンシャル計算プログラムと市販の「GroundClub（グラウンドクラブ、地中熱源ヒートポンプシステム性能予測プログラム）、ゼネラルヒートポンプ工業(株)」³⁾を用いて、同一の計算条件にて得られる計算結果を比較した。図4-42に地中熱交換井のモデルの計算条件を示す。なお、地中熱ポテンシャル計算プログラムと異なり、「GroundClub（グラウンドクラブ）」では、地盤の熱特性（熱伝導率、密度、比熱）を位置毎に詳細に入力することができず、解析対象エリア全体の平均値しか入力できない。また、地下水流の影響を考慮して熱交換量を算出することができない。ここでは、地中熱ポテンシャル計算プログラムにおいても地盤の熱特性は解析対象エリア全体の平均値を入力し、地下水流もないものとして、計算結果の比較を行った。

年 数 : 7年計算
地中熱交換井本数 : 9本 (75m)
負 荷 : 熱負荷計算による (地域: 岡山)

検討モデルの設定

- ・ 3次元直交座標系
- ・ 計算領域: 80m×80m×200m
- ・ メッシュ分割: 50×50×18
- ・ 時間刻み: 900秒

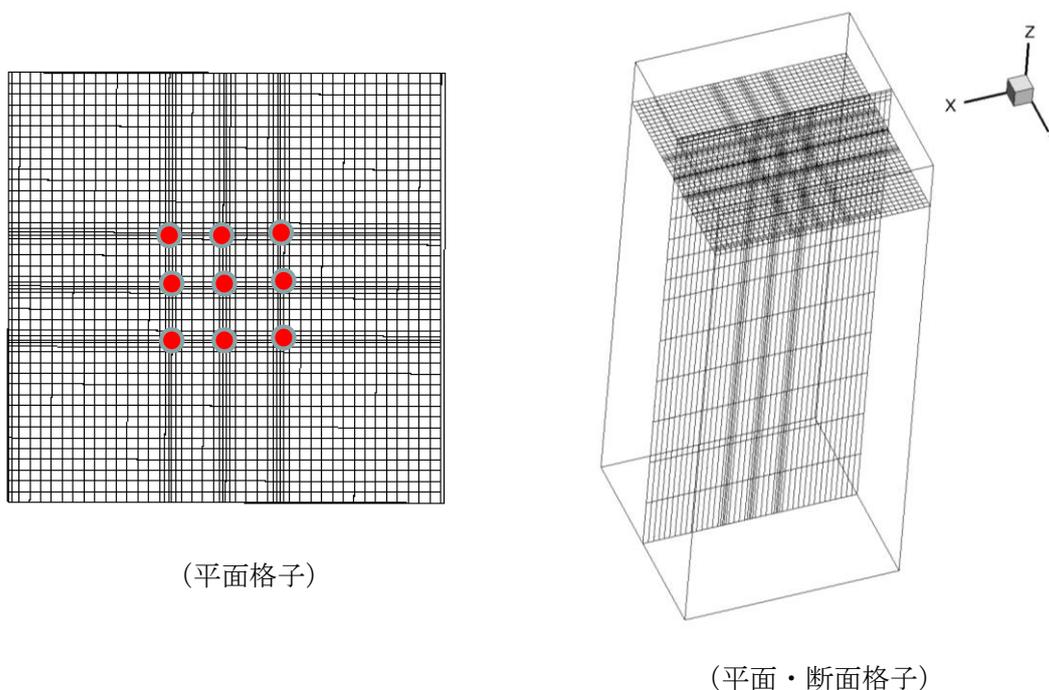


図4-42 地中熱交換井のモデル

地中熱ポテンシャル計算プログラムと「GroundClub (グラントクラブ)」による7年目の出口温度（冷房・暖房期間）挙動を比較した。7年目の出口温度の比較を図4-43、図4-44に示し、地中熱ポテンシャル計算プログラムによる地盤への蓄採熱量検討結果を表4-4に示す。出口温度は、冷房・暖房期間ともに地中熱ポテンシャル計算プログラムがやや低い温度傾向となっているが変化の傾向は一致している。冷房と暖房のバランスからは地盤に蓄熱傾向が見られる。冷房、暖房の期間における冷房負荷より算出した地盤への蓄・採熱量は一致しない。しかし、各年の蓄・採熱量の総量値（表中、蓄熱と記載）としては整合が取れている。このような整合性は、グラントクラブによる計算では見られなかった。

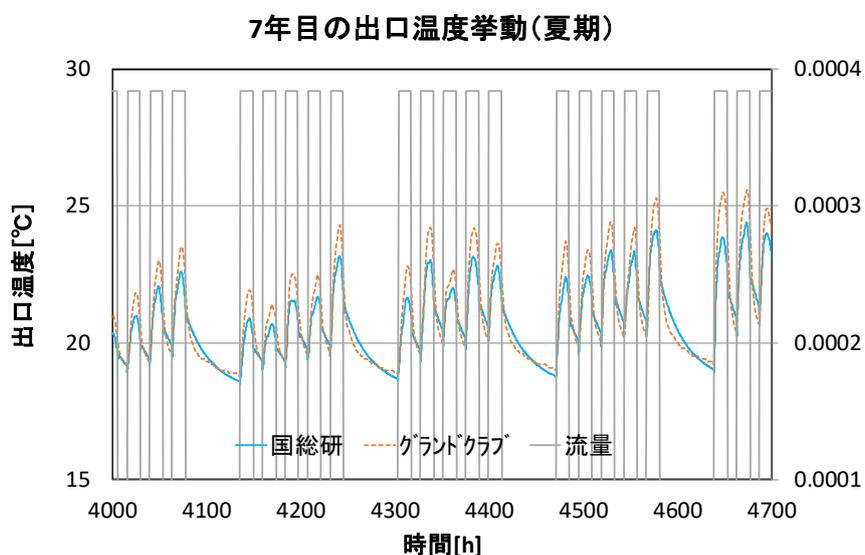


図4-43 出口温度の挙動（冷房期間）（4000-4700 時間、ジュリアンアワー）

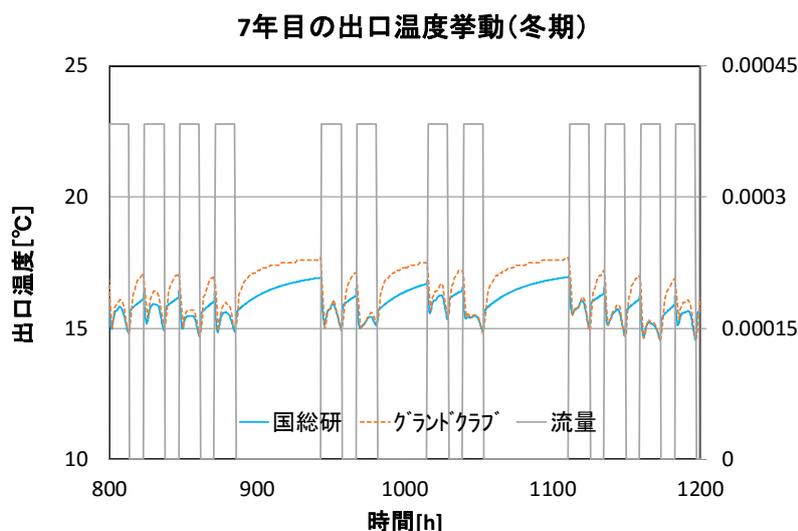


図4-44 出口温度の挙動（暖房期間）（800-1200 時間、ジュリアンアワー）

表4-4 地中熱ポテンシャル計算プログラムによる地盤への蓄採熱量

(出口・入口温度差を熱量換算)

国総研	出入口温度差		
	地盤熱量[kWh]		
	冷房時	暖房時	蓄熱
1年目	26424.84	7496.60	18928.24
2年目	26420.22	7501.64	18918.58
3年目	26420.75	7501.62	18919.13
4年目	26422.19	7500.73	18921.46
5年目	26423.60	7499.74	18923.86
6年目	26425.13	7498.91	18926.23
7年目	26426.55	7498.07	18928.48

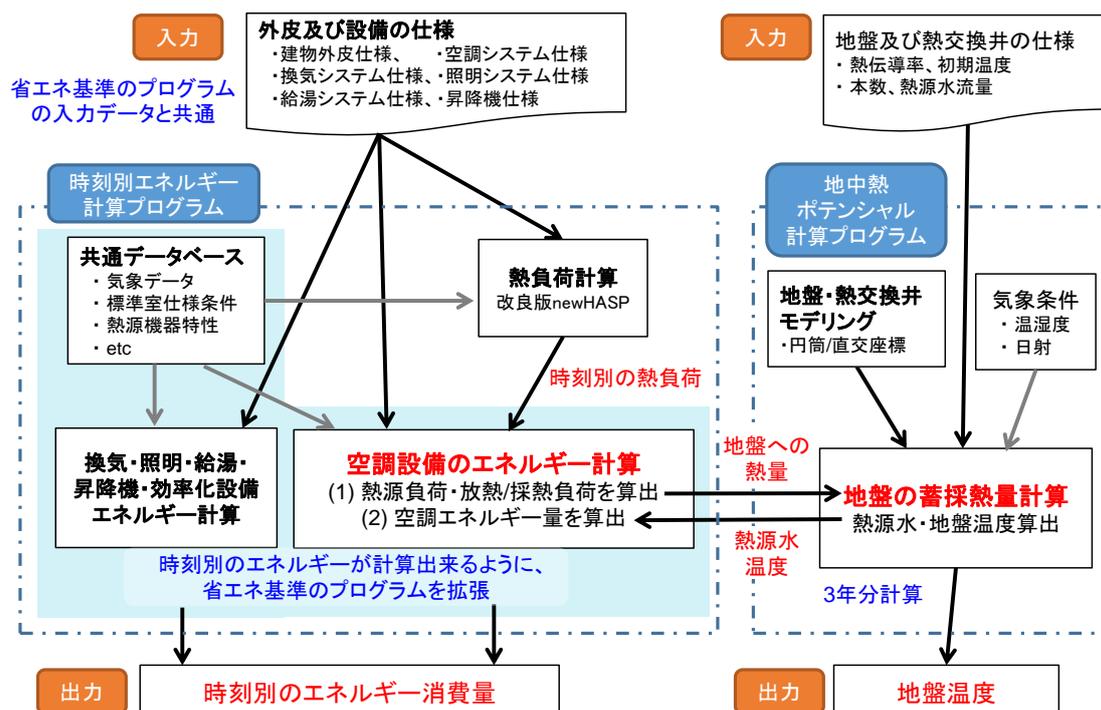
(空調負荷より熱量換算 (付与条件))

付与条件	空調負荷±電力		
	地盤熱量[kWh]		
	冷房時	暖房時	蓄熱
2年目	28454.58	9795.55	18659.03
3年目	28500.78	9823.85	18676.93
4年目	28532.48	9842.05	18690.43
5年目	28560.68	9855.45	18705.23
6年目	28581.08	9871.85	18709.23
7年目	28598.88	9881.45	18717.43

4.4 システムシミュレーションによるケーススタディ

4.4.1 建築物・設備システム・地盤を連成したシミュレーションシステムの開発

「地中熱ポテンシャル計算プログラム」と建築物・設備システムのエネルギー消費量計算プログラムを連成させたシステムシミュレーション(時刻別エネルギー計算プログラム)を開発する。図4-45にシステムシミュレーションの計算フローを示す。



◆地中熱利用システムの計算手順

- 1) 外皮・設備仕様を入力(省エネ基準プログラムの入力ファイルを利用)
 - ・上記ファイルを csv データにした後、xlm ファイル化
- 2) 空調設備計算(手順①)[1回目]
 - ・時刻別エネルギー計算プログラムを実行
 - ・CSV データ、データベースより newHASP 入力ファイルを自動作成、熱負荷計算を実行
 - ・熱負荷計算結果より空調設備エネルギー計算が行われ、熱源負荷(冷暖房負荷)、放熱/採熱負荷を算出し、熱源水熱量データをファイル出力
- 3) 地盤の蓄採熱量計算(手順②)
 - ・地盤、熱交換井の仕様(初期温度、井本数、熱源水流量、格子データ等)と熱源水熱量出力ファイル名を入力し、地中熱ポテンシャル計算プログラムを実行
 - ・気象条件、熱源水熱量データから地盤温度、熱源水温度を算出しファイルを出力
- 4) 空調設備計算(手順③)[2回目]
 - ・時刻別エネルギー計算プログラムを再度実行
 - ・熱源水温度(熱源機入口)より空調設備エネルギーの再計算が行われ、時刻別エネルギー消費量をファイル出力

図4-45 システムシミュレーションの計算フロー

4.4.2 計算ケース

システムシミュレーションを用いて地中熱ヒートポンプ空調方式と空冷ヒートポンプ空調方式の電力消費量及び一次エネルギー消費量を比較検証する。比較検証は、気候条件が大きくことなる代表として4地区と、建物使用形態の異なる4建物用途とする。

(1) 試算地域

試算地域は、「平成25年省エネルギー基準（以下、省エネルギー基準）」で判断基準としている表4-5に示す4地区とする。熱負荷計算及び一次エネルギー計算に用いる気象データは、拡張アメダス気象データ（（一社）日本建築学会）⁴⁾における標準年データ（1981～1995年）とする。

表4-5 試算地域

地域	試算地域	年間平均気温
① 寒冷地	(2 地域) 代表地域：北海道岩見沢	7.5℃
② 準寒冷地	(3 地域) 代表地域：岩手県盛岡	10.2℃
③ 温暖地	(6 地域) 代表地域：岡山県岡山	15.7℃
④ 蒸暑地	(8 地域) 代表地域：沖縄県那覇	22.7℃

(2) 試算建物の概要

試算建物は「省エネルギー基準」の基準値算定用モデル建物とした。なお、共同住宅（共用部）は独自のモデルを想定する。建物の外皮仕様（外壁・窓仕様）は、「省エネルギー基準」の地域区分の基準設定仕様とした。

表4-6 試算建物の用途と規模

建物用途	建物規模
事務所	テナントオフィスビル 延床面積：約10,000 m ² 、RC造、地上7階、地下0階 ※平日の昼間のみ使用される熱負荷傾向
商業施設（物販店舗）	大規模物販店舗用途 延床面積：10,000 m ² 、S造、地上3階、地下1階 ※土日の休日使用があり売場は内部発熱が大きい熱負荷傾向
共同住宅（共用部）	タワー型共同住宅（共用部） 延床面積：10,000 m ² 、SRC造、地上14階、地下1階 ※管理事務室、集会場等は昼間のみ使用、ホールは終日使用となる熱負荷傾向 ※検討はB1～1階部分の共用部のみ地中熱利用の対象とし、2～14階部分は空冷ヒートポンプの対象とする。
福祉施設（病院）	総合病院 延床面積：5,000 m ² 、RC造、地上3階、地下1階 ※病室等は終日使用となり昼間と夜間負荷が発生する熱負荷傾向

試算建物の平面図・断面形状は付録に示す。

(3) 空調方式

試算建物の空調設備の仕様は「省エネルギー基準」の基準設定仕様に準拠するものとし、空調熱源方式は事務所、物販店舗、福祉施設（病院）は中央空調方式、共同住宅（共用部）はパッケージ形エアコン方式とした。

表 4-7 試算建物の主要空調方式

事務所	熱源方式：中央空調方式 (事務室、更衣室、休憩室、ロビー、EV ホール) ・空調機方式（定風量方式） ・外気カット制御、全熱交換機制御（定格全熱交換効率 60%）
商業施設（物販店舗）	熱源方式：中央空調方式 (売場、荷さばき場、事務室) ・ファンコイルユニット＋外調機方式 (更衣室等) ・空調機方式（定風量方式） ・外気カット制御、全熱交換機制御（定格全熱交換効率 60%）
共同住宅（共用部）	熱源方式：パッケージ形エアコン方式 (管理人室、集会室、ロビー等) ・EHP 屋内機＋空調換気扇方式 ・全熱交換機制御（定格全熱交換効率 60%） ※試算では B1～1 階部分の共用部のみ地中熱利用の対象とし 2～14 階部分は空冷ヒートポンプの対象とする。
福祉施設（病院）	熱源方式：中央空調方式 (病室、診察室等) ・ファンコイルユニット＋外調機方式 (事務室、更衣室等) ・空調機方式（定風量方式） ・外気カット制御、全熱交換機制御（定格全熱交換効率 60%）

(共通仕様)

- ・二次側冷温水ポンプは、“2 台設置”とし“台数制御＋VWV 制御(変流量時最小流量比 60%)”、“冷温水往還温度差 7K”とする。
- ・空調二次側は、空冷ヒートポンプ空調方式と地中熱ヒートポンプ空調方式の差違はないものとする。

(4) 空調熱源の方式

比較は地中熱ヒートポンプ空調方式（地中熱利用システム）と空冷ヒートポンプ空調方式（標準システム）とし、建物の空調熱源方式は表 4-8 の通りとする。なお、標準システムは、「省エネルギー基準」の基準設定として計算する。

表 4-8 空調熱源の方式

空調方式	空冷ヒートポンプチラー方式 (標準システム)	地中熱ヒートポンプ空調方式 (地中熱利用システム)
中央空調方式 (事務所, 商業施設, 福祉施設)	・ 空気熱を利用し二次側に冷温水を供給	・ 地中採熱・放熱運転により二次側に冷温水を供給
パッケージ形エアコン方式 (共同住宅)	・ 空気熱を利用し屋内機側に冷却・加熱冷媒(液・ガス)を供給	・ 地中採熱・放熱運転により屋内機側に冷却・加熱冷媒(液・ガス)を供給
地中採熱方式	----	・ 地中熱交換井戸方式(垂直形ボアホール方式) ・ クローズドループ方式 ・ ダブルUチューブ方式 (埋設深さ 100m/本)

(共通仕様)

- ・ 中央空調方式の熱源機器は、“2 台設置”とし“台数制御”運転とする。
- ・ 中央空調方式の地中熱利用システムは、地中採熱利用が困難になる場合や現実性を考慮し全ての熱負荷を地中熱利用方式とせず、時間最大負荷の 50%は空冷ヒートポンプチラー方式とする複合システムの構成とする。

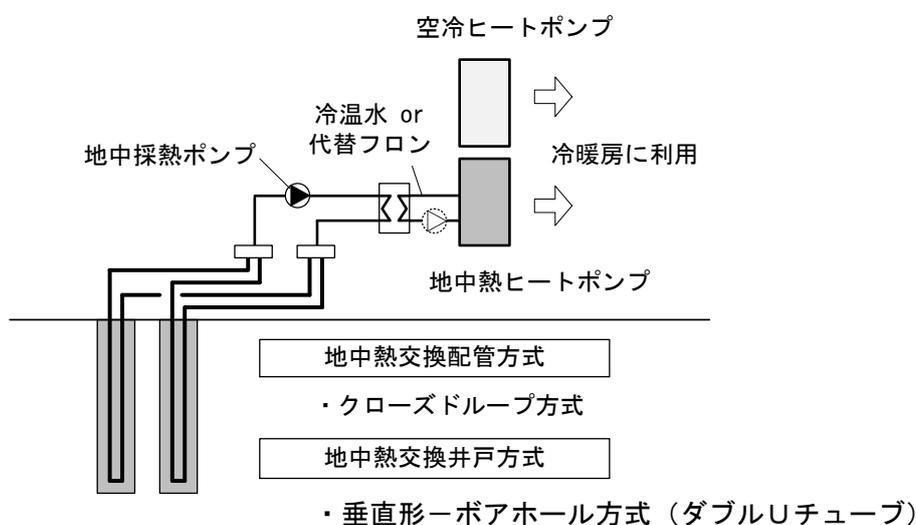


図 4-4 6 試算の地中熱利用システムの概要構成

(5) 空調条件

年間の冷暖房運転モードと各室用途の空調条件は「省エネルギー基準」の標準室仕様に準拠する。

(室内温湿度設定条件)

冷房： 26℃、50% 暖房： 22℃、40% 中間期：24℃、50%

(6) 各建物の時間最大負荷

試算建物の時間最大負荷は、「省エネルギー基準」の基準設定仕様に準拠する外壁・窓ならびに室仕様から、国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修の「建築設備設計基準 平成 21 年版」(以下、建築設備設計基準)の計算方法に倣い算定した。各試算建物の時間最大負荷を表 4-9 に示し、建物の外皮断熱仕様を表 4-10 に示す。

表 4-9 試算建物の時間最大負荷

建物用途	地域	時間最大負荷		備考
		冷房 [kW]	暖房 [kW]	
事務所	寒冷地 (2地域)	510	437	
	準寒冷地 (3地域)	553	450	
	温暖地 (6地域)	614	366	
	蒸暑地 (8地域)	634	196	
商業施設 (物販店舗)	寒冷地 (2地域)	1,322	1,124	
	準寒冷地 (3地域)	1,455	1,094	
	温暖地 (6地域)	1,614	848	
	蒸暑地 (8地域)	1,701	372	
共同住宅 (共用部)	寒冷地 (2地域)	30.4	40.7	1F部分のみ
	準寒冷地 (3地域)	34.2	39.8	
	温暖地 (6地域)	41.3	33.3	
	蒸暑地 (8地域)	40.3	14.5	
福祉施設 (病院)	寒冷地 (2地域)	313	464	
	準寒冷地 (3地域)	361	457	
	温暖地 (6地域)	427	361	
	蒸暑地 (8地域)	468	171	

表 4-10 試算建物の断熱仕様

建物種別	地域	外皮仕様		窓仕様
		断熱材厚さ [mm]		
		外壁	屋根	
事務所	寒冷地	50mm	100mm	複層 (空気層6mm) 透明+透明 8mm
	準寒冷地	25mm	50mm	複層 (空気層6mm) 透明+透明 8mm
	温暖地	25mm	50mm	単層 透明 8mm
	蒸暑地	-	25mm	単層 透明 8mm
商業施設 (物販店舗)	寒冷地	30mm*	100mm	複層 (空気層6mm) 透明+透明 8mm
	準寒冷地	15mm*	50mm	複層 (空気層6mm) 透明+透明 8mm
	温暖地	15mm*	50mm	単層 透明 8mm
	蒸暑地	-	25mm	単層 透明 8mm
共同住宅 (共用部)	寒冷地	90mm	130mm	複層 (空気層6mm) Low-E (高日射遮蔽型)+透明 10mm
	準寒冷地	70mm	100mm	複層 (空気層6mm) 熱反シルバー+透明 6mm
	温暖地	40mm	95mm	単層 透明 3mm
	蒸暑地	15mm	95mm	単層 高性能熱線反射 (可視光透過率40%) 6mm
福祉施設 (病院)	寒冷地	50mm	100mm	複層 (空気層6mm) 透明+透明 8mm
	準寒冷地	25mm	50mm	複層 (空気層6mm) 透明+透明 8mm
	温暖地	25mm	50mm	単層 透明 8mm
	蒸暑地	-	25mm	単層 透明 8mm

断熱材は押出法ポリスチレンフォーム保温板1種
*印は吹付け硬質ウレタンフォームA種1

(7) 試算ケース

建物用途と地域ごとに、空冷ヒートポンプ空調方式（標準システム）と地中熱ヒートポンプ空調方式（地中熱利用システム）を試算する。

試算ケースを表 4-12 に示す。地中熱利用システムでは、地中熱ヒートポンプチラーを優先的に運転する。なお、事務所（温暖地）では、熱源機の優先運転方法を変えたケースを試算する。地中熱ヒートポンプチラーによる地中採熱のパターンを表 4-11 に示す。

加えて、地中熱交換井の単位熱交換能力を 30W/m とした時の効果を、福祉施設（病院）（蒸暑地）で効果を試算する。

①地中熱ヒートポンプチラー優先運転

地中熱ヒートポンプチラーをベース運転とし、負荷が増加した場合に空冷ヒートポンプチラーが運転する方式。地中採熱を最大限に利用できるが地盤の状況に影響を受けやすい。

②空冷ヒートポンプチラー優先運転

空冷ヒートポンプチラーをベース運転とし、負荷が増加した場合に地中熱ヒートポンプチラーが運転する方式で地中温度の利用効果の高い外気条件時に地中熱ヒートポンプチラーを運転する。地中採熱は消極利用とはなるものの、建物負荷の少ない時期に地中温度は回復し地中熱利用効果を高めることが可能。

表 4-11 地中採熱パターン

	負荷パターン	
	昼間のみ空調（間欠空調運転）	終日空調
地中熱ヒートポンプチラーの 運転形態	昼間：地中採熱運転 夜間：地中温度回復状態	昼間・夜間：地中採熱運転 ただし夜間負荷は小さい
対象建物	事務所 商業施設（物販店舗）	福祉施設（病院） 共同住宅（共用部）

表 4-12 試算ケース

建物用途	地域	ケースNO.	システム名	優先運転熱源機
事務所	寒冷地	O-C-1	標準システム	空冷HPチラー
		O-C-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
	準寒冷地	O-L-1	標準システム	空冷HPチラー
		O-L-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
	温暖地	O-M-1	標準システム	空冷HPチラー
		O-M-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
		O-M-3	地中熱利用システム	空冷HPチラー
	蒸暑地	O-H-1	標準システム	空冷HPチラー
O-H-2		地中熱利用システム	地中熱HPチラー	
商業施設 (物販店舗)	寒冷地	S-C-1	標準システム	空冷HPチラー
		S-C-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
	準寒冷地	S-L-1	標準システム	空冷HPチラー
		S-L-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
	温暖地	S-M-1	標準システム	空冷HPチラー
		S-M-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
	蒸暑地	S-H-1	標準システム	空冷HPチラー
		S-H-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
住宅(共用部)	寒冷地	H-C-1	標準システム	空冷HPパッケージ
		H-C-2	地中熱利用システム	地中熱HPパッケージ(1F)、空冷HPパッケージ(2F以上)
	準寒冷地	H-L-1	標準システム	空冷HPパッケージ
		H-L-2	地中熱利用システム	地中熱HPパッケージ(1F)、空冷HPパッケージ(2F以上)
	温暖地	H-M-1	標準システム	空冷HPパッケージ
		H-M-2	地中熱利用システム	地中熱HPパッケージ(1F)、空冷HPパッケージ(2F以上)
	蒸暑地	H-H-1	標準システム	空冷HPパッケージ
		H-H-2	地中熱利用システム	地中熱HPパッケージ(1F)、空冷HPパッケージ(2F以上)
福祉施設(病院)	寒冷地	B-C-1	標準システム	空冷HPチラー
		B-C-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
	準寒冷地	B-L-1	標準システム	空冷HPチラー
		B-L-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
	温暖地	B-M-1	標準システム	空冷HPチラー
		B-M-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
	蒸暑地	B-H-1	標準システム	空冷HPチラー
		B-H-2	地中熱利用システム	地中熱HPチラー
B-H-3		地中熱利用システム	地中熱HPチラー ※熱交換井本数2倍(30W/mで設計)	

表中表記：地中熱ヒートポンプチラー（地中熱 HP チラー）
 空冷ヒートポンプチラー（空冷 HP チラー）
 地中熱ヒートポンプパッケージ（地中熱 HP パッケージ）
 空冷ヒートポンプパッケージ（空冷 HP パッケージ）

(8) 試算建物の熱源機器仕様

各試算ケースの熱源機器の容量は、時間最大負荷に対し建築設備設計基準の補正係数を加えて選定した。試算ケースの熱源機器の諸元を表4-13～表4-14に示す。

(機器選定の共通条件)

- ・中央空調方式の熱源機器の能力は製品のラインナップによる能力特性の差違等が大きく生じないように建物最大負荷に対し90kWの整数倍能力とする仮想熱源機器とする。
- ・熱源機器の性能特性は、空冷ヒートポンプチラーは「省エネルギー基準」の基準設定仕様と同等とし、地中熱ヒートポンプチラー・パッケージは、メーカー性能値とし図4-47に示す。

(熱源機器の仕様条件)

①中央空調方式 (事務所、商業施設(物販店舗)、福祉施設(病院))

(空冷ヒートポンプチラー)

冷房 : 外気 35°CDB, 冷水 7-12°C、暖房 : 外気 7°CDB, 温水 45-40°C

COP : 冷房 3.24、暖房 3.41 (基準設定仕様値)

(地中熱ヒートポンプチラー)

冷房 : 熱源水 32-37°C, 冷水 7-12°C、暖房 : 熱源水 25-20°C, 温水 45-40°C

COP : 冷房 4.86、暖房 6.92 (メーカー仕様値)

②パッケージ形エアコン方式 (共同住宅(共用部))

(空冷ヒートポンプパッケージ)

冷房 : 外気 35°CDB, 吸込 27°CDB/19°CWB、暖房 : 外気 7°CDB, 吸込 20°CDB

COP : 冷房 3.24、暖房 3.24 (基準設定仕様値)

(地中熱ヒートポンプパッケージ)

冷房 : 熱源水 32-37°C, 吸込 27°CDB/19°CWB、暖房 : 熱源水 25-20°C, 吸込 20°CDB

COP : 冷房 3.84、暖房 4.32 (メーカー仕様値)

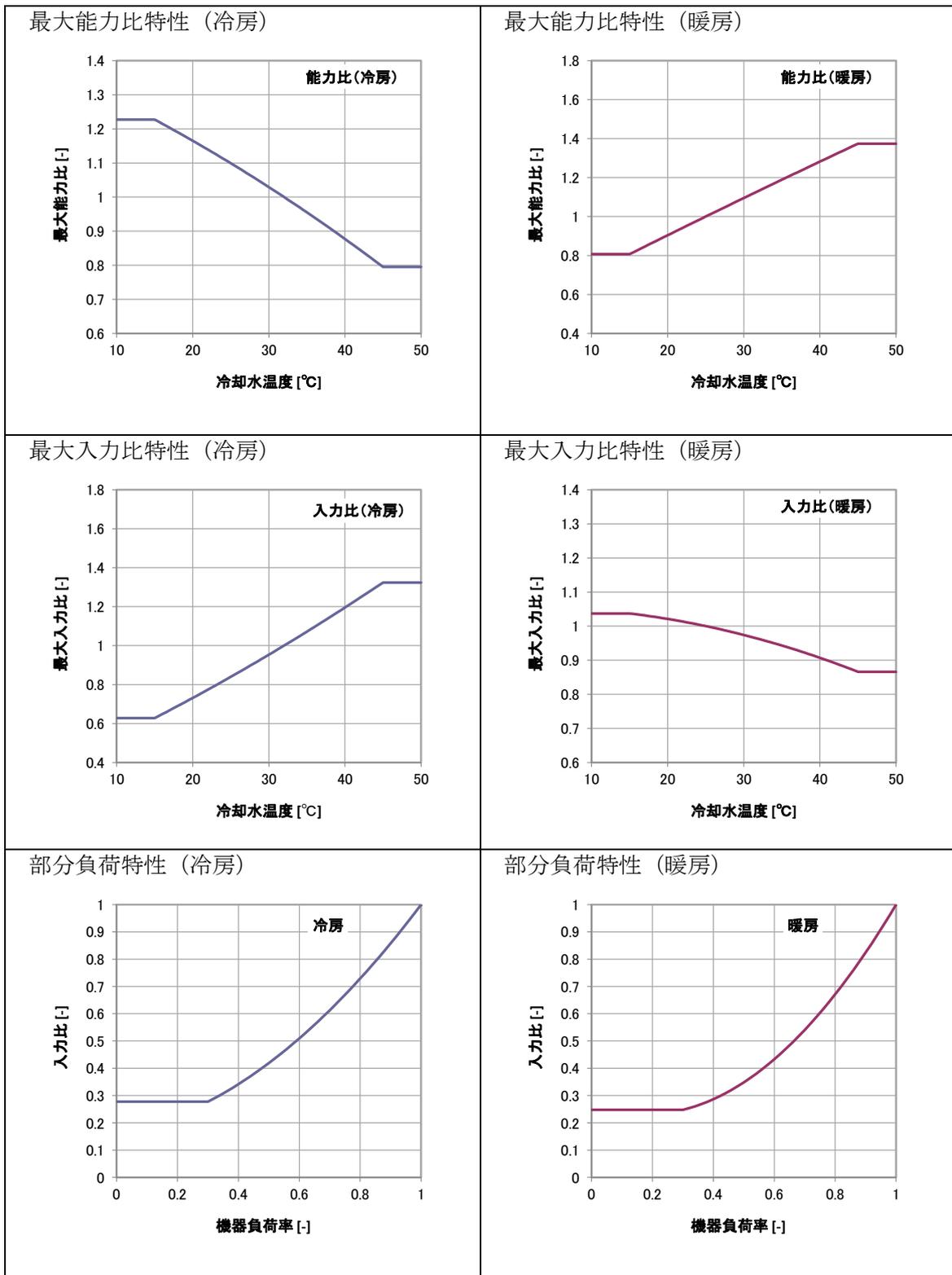


図 4-47 熱源機器の性能特性（地中熱ヒートポンプチラー・パッケージ）

表 4-1-3 熱源機器の諸元 (事務所、商業施設)

建物用途	地域	システム名	ケースNO.	機器名	冷房				暖房				熱交換弁本数 ※100m/本			
					運転単位	冷房能力 kW	消費電力 kW	COP	熱源機本体	ポンプ kW	COP	熱源機本体		ポンプ kW	COP	熱源システム
事務所	寒冷地 (2地域)	標準システム	O-C-1 O-L-1	空冷HPチラー	1番目	450	139	3.24	5.5	3.11	5.5	3.27	5.5	3.27	—	
				空冷HPチラー	2番目	450	139	3.24	5.5	3.11	5.5	3.27	5.5	3.27		
	標準寒冷地 (3地域)	地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	O-C-2 O-L-2	地中熱HPチラー	1番目	360	74	4.86	16.5	3.98	16.5	5.26	6.92	16.5	5.26	寒冷地 : 72本 標準寒冷地 : 72本
				空冷HPチラー	2番目	450	139	3.24	5.5	3.11	5.5	3.27	5.5	3.27		
	温暖地 (6地域)	標準システム	O-M-1 O-H-1	空冷HPチラー	1番目	450	139	3.24	5.5	3.11	5.5	3.27	5.5	3.27	—	
				空冷HPチラー	2番目	450	139	3.24	5.5	3.11	5.5	3.27	5.5	3.27		
	標準暑地 (8地域)	地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	O-M-2 O-H-2	地中熱HPチラー	1番目	450	93	4.84	20.5	3.96	20.5	6.5	6.92	20.5	5.26	温暖地 : 90本 標準暑地 : 106本
				空冷HPチラー	2番目	450	139	3.24	5.5	3.11	5.5	3.27	5.5	3.27		
	—	—	地中熱利用システム (空冷HP優先運転) ※温暖地のみ対象	O-M-3	空冷HPチラー	1番目	450	139	3.24	5.5	3.11	5.5	3.27	5.5	3.27	温暖地 : 90本
					地中熱HPチラー	2番目	450	93	4.84	20.5	3.96	20.5	6.92	20.5	5.26	
	商業施設 (物販店舗)	寒冷地 (2地域)	標準システム	S-C-1	空冷HPチラー	1番目	990	306	3.24	11	3.12	11	3.30	11	3.30	—
					空冷HPチラー	2番目	990	306	3.24	11	3.12	11	3.30	11	3.30	
標準寒冷地 (3地域)		地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	S-C-2	地中熱HPチラー	1番目	810	167	4.85	33	4.05	33	5.44	33	5.44	寒冷地 : 162本	
				空冷HPチラー	2番目	990	306	3.24	11	3.12	11	3.30	11	3.30		
—		—	標準システム	S-L-1	空冷HPチラー	1番目	1800	473	3.81	44.0	3.48	44.0	4.44	44.0	—	
					空冷HPチラー	2番目	990	306	3.24	11	3.12	11	3.30	11		3.30
標準暑地 (8地域)		地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	S-L-2	地中熱HPチラー	1番目	990	185	4.86	33	4.13	33	5.56	33	5.56	標準寒冷地 : 180本	
				空冷HPチラー	2番目	990	306	3.24	11	3.12	11	3.30	11	3.30		
温暖地 (6地域)		標準システム	S-M-1	空冷HPチラー	1番目	990	491	3.85	44.0	3.53	44.0	4.52	44.0	4.09	—	
				空冷HPチラー	2番目	990	306	3.24	11	3.12	11	3.30	11	3.30		
標準暑地 (8地域)		地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	S-M-2	地中熱HPチラー	1番目	990	204	4.85	37	4.11	37	5.53	37	5.53	温暖地 : 198本	
				空冷HPチラー	2番目	990	306	3.24	11	3.12	11	3.30	11	3.30		
—	—	標準システム	S-H-1	空冷HPチラー	1番目	1080	333	3.24	11	3.14	11	3.42	11	3.30	—	
				空冷HPチラー	2番目	1080	333	3.24	11	3.14	11	3.42	11	3.30		
標準暑地 (8地域)	地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	S-H-2	地中熱HPチラー	1番目	990	204	4.85	37	4.11	37	5.53	37	5.53	標準暑地 : 215本		
			空冷HPチラー	2番目	990	306	3.24	11	3.12	11	3.30	11	3.30			

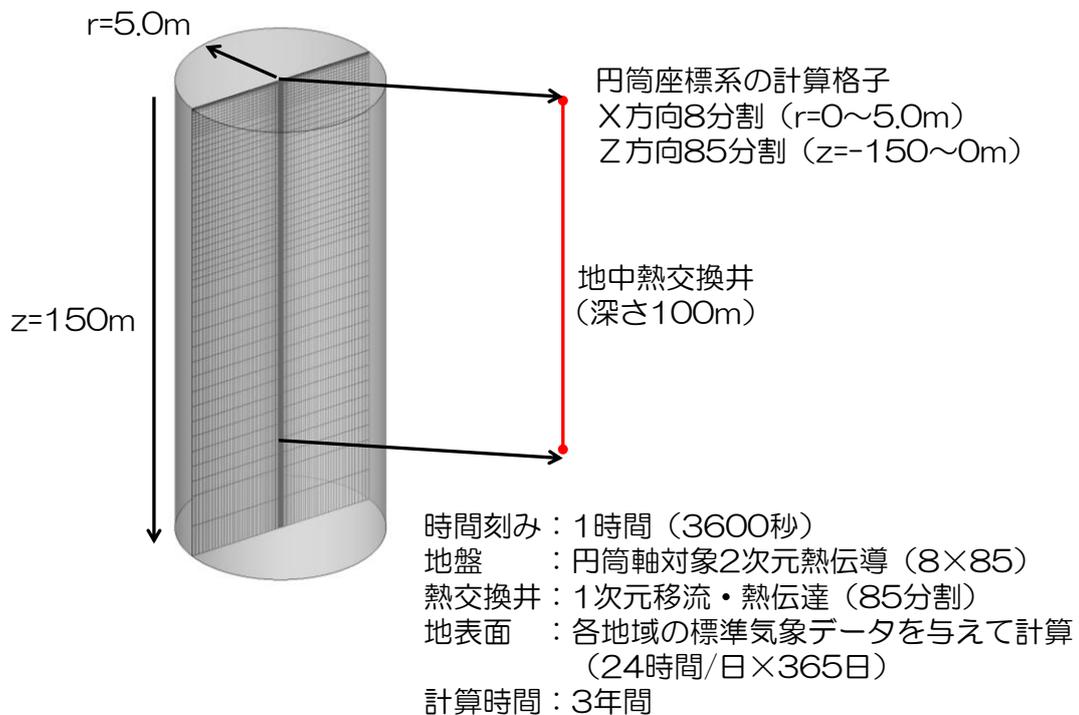
表 4-1-4 熱源機器の諸元 (共同住宅 (共用部)、福祉施設 (病院))

建物用途	地域	システム名	ケースNO.	機器名		冷房				暖房				熱交換機本数			
				運転単位	冷房能力	消費電力	熱源機本体	ポンプ	COP	熱源システム	運転単位	暖房能力	消費電力	熱源機本体	ポンプ	COP	熱源システム
共同住宅 (共用部)	寒冷地 (2地域)	標準システム	H-O-1	1番目	28	864	3.24	3.24	3.24	1番目	31.5	972	3.24	3.24	3.24	※100m ² /本	
			2番目	22.4	691	3.24	3.24	3.24	2番目	25	772	3.24	3.24	3.24			
			1番目	45	1389	3.24	3.24	3.24	1番目	50	1543	3.24	3.24	3.24			
			計	95.4	2944	3.24	3.24	0	3.24	106.5	3287	3.24	0	3.24			
	地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	H-O-2	1番目	28	73	3.84	3.84	1.5	3.18	1番目	31.5	73	4.32	1.5	3.58	寒冷地:12本	
		2番目	22.4	5.8	3.86	3.24	1.5	3.07	2番目	25	5.8	4.31	1.5	3.42			
		1番目	45	1389	3.24	3.24	3	3.18	1番目	50	1543	3.24	3	3.38			
	標準システム	標準システム	H-L-1	1番目	22.4	691	3.24	3.24	3.24	1番目	25	772	3.24	3.24	3.24		
			H-M-1	2番目	22.4	691	3.24	3.24	3.24	2番目	25	772	3.24	3.24	3.24		
			H-H-1	1番目	45	1389	3.24	3.24	3.24	1番目	50	1543	3.24	3.24	3.24		
		地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	H-L-2	1番目	22.4	5.8	3.86	3.24	1.5	3.07	1番目	25	5.8	4.31	1.5	3.42	標準寒冷地:12本 温暖地:12本 蒸暑地:12本
			H-M-2	2番目	22.4	5.8	3.86	3.24	1.5	3.07	2番目	25	5.8	4.31	1.5	3.42	
H-H-2			1番目	45	1389	3.24	3.24	3	3.15	1番目	50	1543	3.24	3	3.33		
福祉施設 (病院)	寒冷地 (2地域) 標準寒冷地 (3地域)	標準システム	B-O-1	1番目	450	139	3.24	5.5	3.11	1番目	450	132	3.41	5.5	3.27		
			B-L-1	2番目	450	139	3.24	5.5	3.11	2番目	450	132	3.41	5.5	3.27		
			計	900	278	3.24	11.0	3.11	900	264	3.41	11.0	3.27				
	地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	B-O-2	1番目	360	74	4.86	3.24	5.5	3.11	1番目	360	52	6.92	16.5	5.26	標準寒冷地:72本	
		B-L-2	2番目	450	139	3.24	3.24	5.5	3.11	2番目	450	132	3.41	5.5	3.27		
		計	810	213	3.80	22.0	3.45	810	184	4.40	22.0	3.93					
	温暖地 (5地域)	標準システム	B-M-1	1番目	270	83	3.25	3.7	3.11	1番目	270	79	3.42	3.7	3.26		
			B-L-1	2番目	270	83	3.25	3.7	3.11	2番目	270	79	3.42	3.7	3.26		
			計	540	166	3.25	7.4	3.11	540	158	3.42	7.4	3.26				
	地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	B-M-2	1番目	270	56	4.82	3.24	5.5	3.11	1番目	270	39	6.92	11.2	5.38	温暖地:54本	
		B-L-2	2番目	270	83	3.25	3.7	3.11	2番目	270	79	3.42	3.7	3.26			
		計	540	139	3.88	14.9	3.51	540	118	4.58	14.9	4.06					
蒸暑地 (8地域)	標準システム	B-H-1	1番目	360	111	3.24	5.5	3.09	1番目	360	105	3.43	5.5	3.26			
		B-L-1	2番目	360	111	3.24	5.5	3.09	2番目	360	105	3.43	5.5	3.26			
		計	720	222	3.24	11.0	3.09	720	210	3.43	11.0	3.26					
地中熱利用システム (地中熱HP優先運転)	B-H-2	1番目	360	74	4.86	3.24	5.5	3.09	1番目	360	52	6.92	16.5	5.26	B-H-2:蒸暑地:72本(60W/m) B-H-3:蒸暑地:144本(30W/m)		
	B-L-2	2番目	360	111	3.24	5.5	3.09	2番目	360	105	3.43	5.5	3.26				
	計	720	185	3.89	22.0	3.48	720	157	4.59	22.0	4.02						

(9) 地中熱交換井の仕様

建物の地中熱交換井の設置本数は、概ね建物の建築面積相当に埋設可能な本数とする(埋設間隔 5m、埋設深さ 100m/本)。また、単位長さ当たりの熱交換量は 60 W/m (官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン (案) による標準値) として選定する。地中熱交換井の地盤モデルを図 4-48 に示し、地中内計算の諸条件及び熱交換井の諸条件を表 4-15 ~ 表 4-16 に示す。

なお、地中熱交換井の設計方法の違いが地中熱利用システムの効率に影響を及ぼすと考えられることから、病院 (蒸暑地) では、熱交換量は 30W/m として本数を 2 倍とした場合も試算する。



地盤モデル：熱交換井深さ 100m に対して周囲地盤を半径 5m×深さ 150m をモデリング

(円筒座標系 X 方向 8 分割×Z 方向 85 分割)

熱のみ計算 (熱水分同時移動計算は行わない)

深さ方向の地温勾配は考慮しない

図 4-48 地盤モデルと計算条件

表 4 - 1 5 地中内計算の諸条件

項目	設定内容
初期温度	各地域の年間平均気温 寒冷地 : 7.5℃ 準寒冷地 : 10.2℃ 温暖地 : 15.7℃ 蒸暑地 : 22.7℃
側面境界	断熱、断水
大気状態	拡張アメダス気象データ (日本建築学会) における標準年データ (1981~1995年)
地盤の熱伝導率	2W/(m・K)

表 4 - 1 6 熱交換井の諸条件

項目	設定内容
タイプ	ダブルUチューブ
内径	27 mm
厚さ	3.5 mm
管壁の密度	955 kg/m ³
管壁の比熱	1,890 J/(kg・K)
管壁の熱伝導係数	0.495 W/(m・K)
挿入長	100m
循環液仕様	ナイブライン : 33wt% (エチレングリコール 25wt%相当)
循環液の密度	1,037 kg/m ³
循環液の比熱	3,798 J/(kg・K)
循環液の熱伝導係数	0.495 W/(m・K)
循環液の粘性係数	2.3e-3 Pa・s
循環時流量	熱交換量 60W/m の場合 : 19 L/min 熱交換量 30W/m の場合 : 9.5 L/min
循環時熱源水熱量	熱負荷計算結果より熱量で与える
計算間隔	1 時間 (3600 秒)
計算時間	3 年間
分割数	85 分割

(10) その他設備の仕様

その他建物設備仕様は同一とし、省エネルギー基準の基準設定仕様に準じたものとして試算した。表 4-17 にその他建築設備仕様を示す。

なお、建物の電力量は、省エネルギー基準の判定に用いている「空調」、「換気」、「照明」、「昇降機」の合計とし、一次エネルギー消費量は、「空調」、「換気」、「照明」、「昇降機」、「給湯」の合計として比較する。なお、給湯は燃焼（都市ガス）方式によるものとし電力量の集計には含まない。

表 4-17 その他建築設備仕様

設備	設備仕様
照明設備	「省エネルギー基準」での基準設定仕様 主として、Hf 照明器具
換気設備	「省エネルギー基準」での基準設定仕様 各室換気量、ダクト全静圧は設定仕様に準拠
昇降機設備	「省エネルギー基準」での基準設定仕様 VVVF 制御方式、回生電力なし
給湯設備	「省エネルギー基準」での基準設定仕様 給湯器はガス給湯器

4.4.3 考察

計算結果を表4-18～表4-19及び図4-49～図4-52に示す。また、電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果を建物用途別に整理したものを図4-53～図4-54に示す。さらに、代表的なシステムの計算結果の詳細を図4-55～図4-69に示す。得られた知見を次に示す。

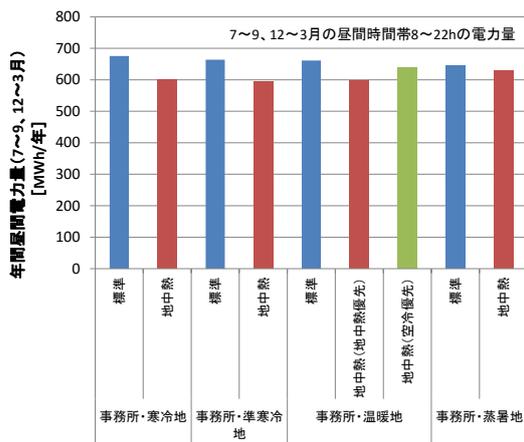
- ① 事務所、商業施設（物販店舗）、福祉施設（病院）では、地中熱ヒートポンプチラーを採用することにより空冷ヒートポンプチラーに比べて熱源効率が向上し、電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果の両方が得られた。地中熱ヒートポンプチラーによる電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果は蒸暑地では5%程度、温暖地～寒冷地では10～20%程度であった。なお、熱源設備のエネルギー消費量が建物全体に占める割合は、商業施設（物販店舗）、福祉施設（病院）、事務所の順に大きいため、電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果も商業施設（物販店舗）、病院、事務所の順に高くなった。
- ② 一方、共同住宅（共用部）では、他の建物用途とは異なり、電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果は殆ど得られなかった。共同住宅（共用部）には地中熱ヒートポンプパッケージが導入されると想定したが、他の建物用途で想定した地中熱ヒートポンプチラーと比べると現在市販されている地中熱ヒートポンプパッケージの効率が低いことが原因である。地中熱ヒートポンプパッケージの単体効率は空冷ヒートポンプパッケージよりは高いものの、地盤との熱交換のために必要なポンプを含めたシステム効率で比較すると空冷ヒートポンプパッケージとほぼ同じとなる。今後、より高効率な地中熱ヒートポンプパッケージが開発されれば、電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果が得られるであろう。
- ③ 地域別の電力ピーク削減効果は、寒冷地・準寒冷地、温暖地、蒸暑地の順に高くなった。これは、寒冷地・準寒冷地においては、夏期だけではなく冬期の電力ピーク削減効果も高く、これが年間の削減効果に大きく寄与しているからである。逆に、蒸暑地では冬期の暖房負荷が極めて小さいため、他の地域と比較すると電力ピーク削減効果は小さい。
- ④ 空冷ヒートポンプチラーと地中熱ヒートポンプチラーが併設される場合において、地中熱ヒートポンプチラーを優先して運転するケース（ケースNO.：0-M-2）と空冷ヒートポンプチラーを優先して運転するケース（ケースNO.：0-M-3）とを比較すると、地中熱ヒートポンプチラーを優先して運転する方が電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果は2～3倍高くなった。（図4-57、図4-63～図4-65）
- ⑤ 冷房負荷と暖房負荷が同程度であるケース（寒冷地・準寒冷地の事務所・物販店舗）では、3年間運転を続けたとしても地盤温度の上昇は見られなかった。一方、暖房

負荷がない蒸暑地においては、地盤温度は年々上昇し、特に 24 時間空調運転される病院では大きく上昇する結果となった。(図 4-59～図 4-62、図 4-68)

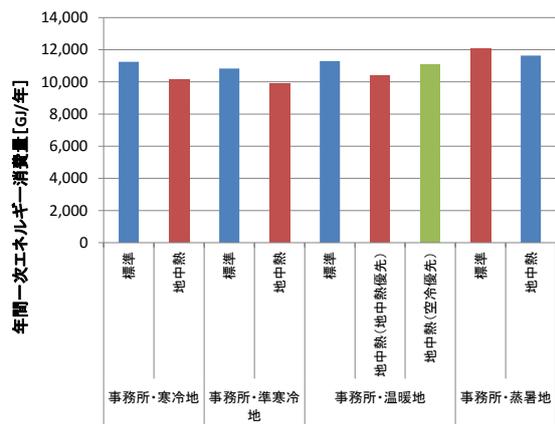
- ⑥ 蒸暑地での病院において、熱交換井の本数を 74 本 (60W/m 相当) とした場合は電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果は得られないが 144 本 (30W/m 相当) とすると効果が期待できることが判った。電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果は熱交換井をどのように設計するかによっても大きく変化する。(図 4-69)

表 4-1-18 試算結果一覧（事務所、商業施設）

建物種別	気候区分	NO	設備システム	電力ピーク削減		省エネルギー																		
				電力ピーク削減		電力消費量						一次エネルギー												
				最大日 削減率 (%)	最大日 削減率 (%)	最大日 (kW/日)	年間 (8~22h) (kW/年)	削減率 (%)	削減率 (%)	最大日 (kW/日)	年間 (kW/年)	削減率 (%)	削減率 (%)	最大日 (MJ/日)	年間 (MJ/年)	削減率 (%)	削減率 (%)							
事務所 (約10,000㎡)	寒冷地 (2)地域	0-C-1 標準 (省エネ基準相当)	0-C-1	1月13日(火)	0.0%	675,806	0.0%	328,247	301,906	73,639	413,650	17,487	1,134,928	100.0%	3,203,692	2,946,601	718,713	4,037,225	170,668	170,668	11,247,428	100.0%		
				1月13日(火)	11.3%	599,356	11.3%	213,945	301,906	73,639	413,650	17,487	1,020,626	89.9%	2,968,105	2,946,601	718,713	4,037,225	170,668	170,668	10,131,540	90.1%		
				1月5日(月)	0.0%	683,622	0.0%	299,000	299,510	73,639	413,650	17,487	1,093,255	100.0%	2,820,637	2,923,218	718,713	4,037,225	170,668	170,668	10,830,806	100.0%		
				1月5日(月)	12.0%	593,656	12.0%	193,250	299,510	73,639	413,650	17,487	997,536	91.2%	1,886,123	2,923,218	718,713	4,037,225	170,668	170,668	9,806,293	91.4%		
		0-W-1 標準 (省エネ基準相当)	0-W-1	7月24日(金)	0.0%	681,042	0.0%	325,314	312,479	73,639	413,650	17,487	1,142,569	100.0%	3,175,064	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	170,668	11,288,657	100.0%		
				7月24日(火)	10.4%	597,594	9.8%	230,001	312,479	73,639	413,650	17,487	1,047,256	91.7%	2,244,809	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	170,668	10,358,402	91.8%		
				7月24日(火)	11.3%	638,672	3.4%	301,903	312,479	73,639	413,650	17,487	1,119,158	98.0%	2,946,575	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	170,668	11,060,168	98.0%		
				7月24日(火)	0.0%	646,067	0.0%	395,476	322,339	73,639	413,650	17,487	1,222,500	100.0%	3,859,856	3,146,024	718,713	4,037,225	170,668	170,668	12,039,479	100.0%		
		商業施設 物販店舗相当 (約10,000㎡)	寒冷地 (2)地域	0-H-1 標準 (省エネ基準相当)	0-H-1	7月24日(火)	3.3%	629,389	2.0%	354,456	322,339	73,639	413,650	17,487	1,181,569	96.6%	3,459,480	3,146,024	718,713	4,037,225	170,668	170,668	11,639,109	96.7%
						12月19日(土)	0.0%	1,223,590	0.0%	1,288,825	452,652	137,287	798,301	36,670	2,713,535	100.0%	12,576,983	4,417,884	1,338,918	7,791,417	357,897	357,897	27,008,031	100.0%
						12月19日(土)	21.8%	1,442,742	16.3%	863,889	452,652	137,287	798,301	36,670	2,288,709	84.3%	8,431,560	4,417,884	1,338,918	7,791,417	357,897	357,897	22,862,608	84.7%
						2月24日(火)	0.0%	1,926,970	0.0%	1,113,510	443,455	137,287	798,301	36,670	2,329,222	100.0%	10,867,855	4,328,122	1,338,918	7,791,417	357,897	357,897	25,177,228	100.0%
0-H-2 標準 (省エネ基準相当)	0-H-2	1月30日(金)	19.5%	1,254,787	22.9%	617,866	443,455	137,287	798,301	36,670	2,033,278	80.4%	6,027,443	4,328,122	1,338,918	7,791,417	357,897	357,897	20,336,515	80.8%				
		7月24日(金)	0.0%	1,535,106	0.0%	1,074,761	443,403	137,287	798,301	36,670	2,400,421	100.0%	10,489,668	4,327,612	1,338,918	7,791,417	357,897	357,897	24,727,369	100.0%				
		8月23日(日)	14.9%	1,269,316	17.3%	696,295	443,403	137,287	798,301	36,670	2,112,455	84.8%	6,800,716	4,327,612	1,338,918	7,791,417	357,897	357,897	21,038,417	85.1%				
		7月22日(火)	0.0%	1,400,374	0.0%	1,137,513	453,372	137,287	798,301	36,670	2,363,143	100.0%	11,102,128	4,424,914	1,338,918	7,791,417	357,897	357,897	25,339,570	100.0%				
0-H-2 標準 (省エネ基準相当)	0-H-2	8月22日(土)	3.1%	1,229,314	5.1%	960,888	453,372	137,287	798,301	36,670	2,416,328	94.3%	9,699,214	4,424,914	1,338,918	7,791,417	357,897	357,897	23,906,656	94.3%				

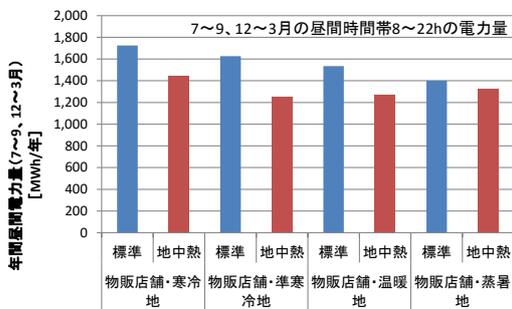


(年間昼間電力量)

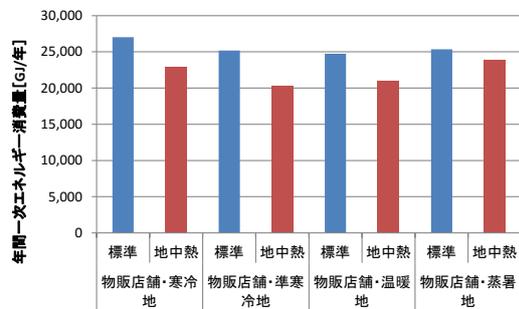


(年間一次エネルギー消費量)

図4-49 年間昼間電力量と年間一次エネルギー消費量（事務所）

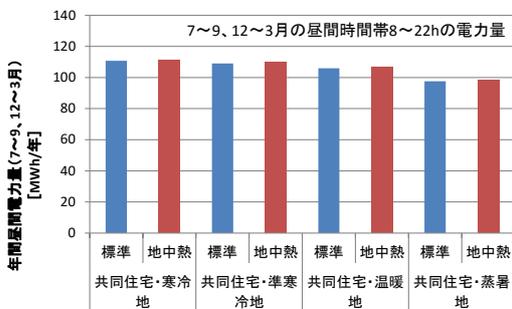


(年間昼間電力量)

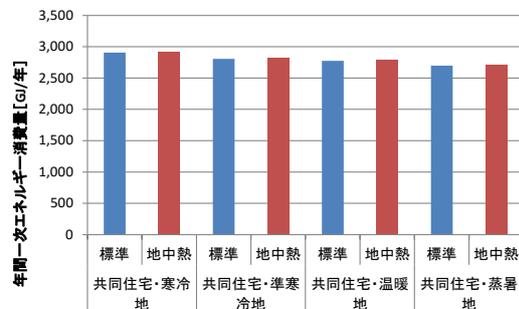


(年間一次エネルギー消費量)

図4-50 年間昼間電力量と年間一次エネルギー消費量（商業施設（物販店舗））

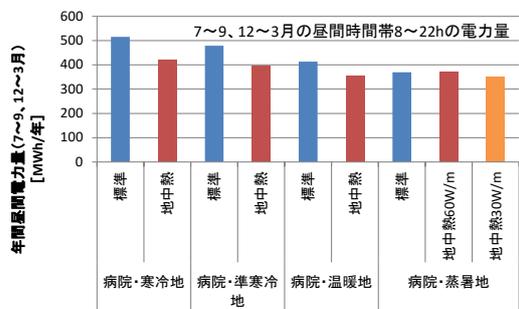


(年間昼間電力量)

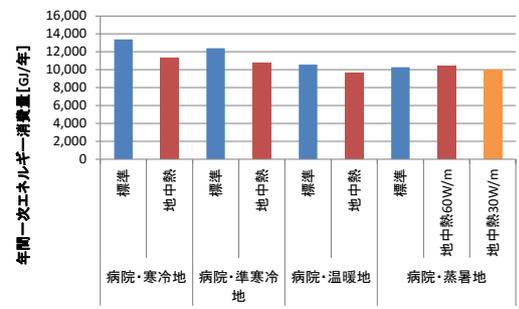


(年間一次エネルギー消費量)

図4-51 年間昼間電力量と年間一次エネルギー消費量（共同住宅（共用部））

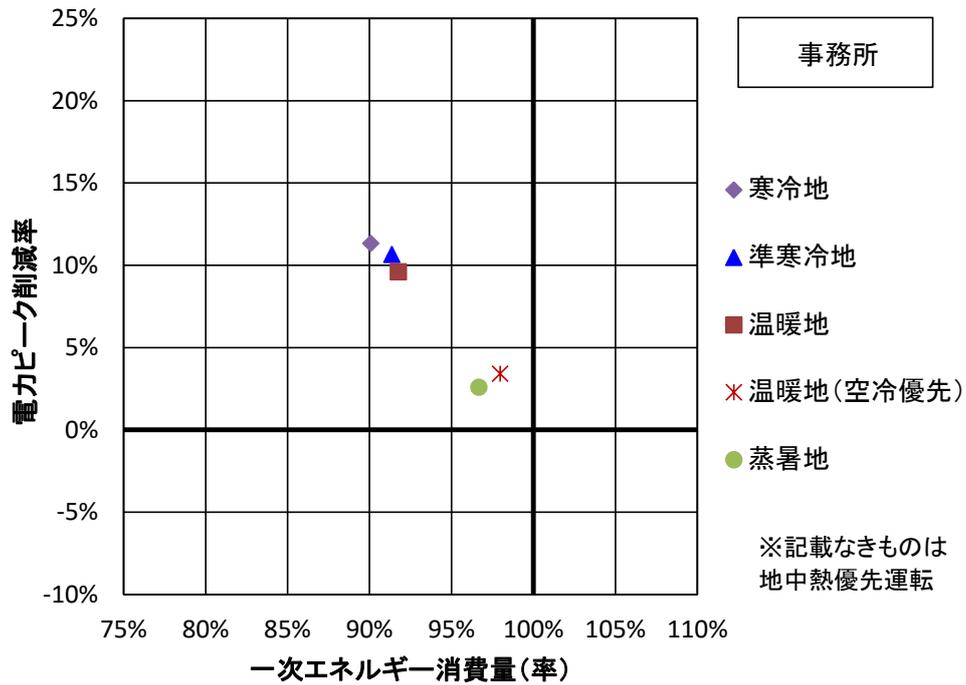


(年間昼間電力量)

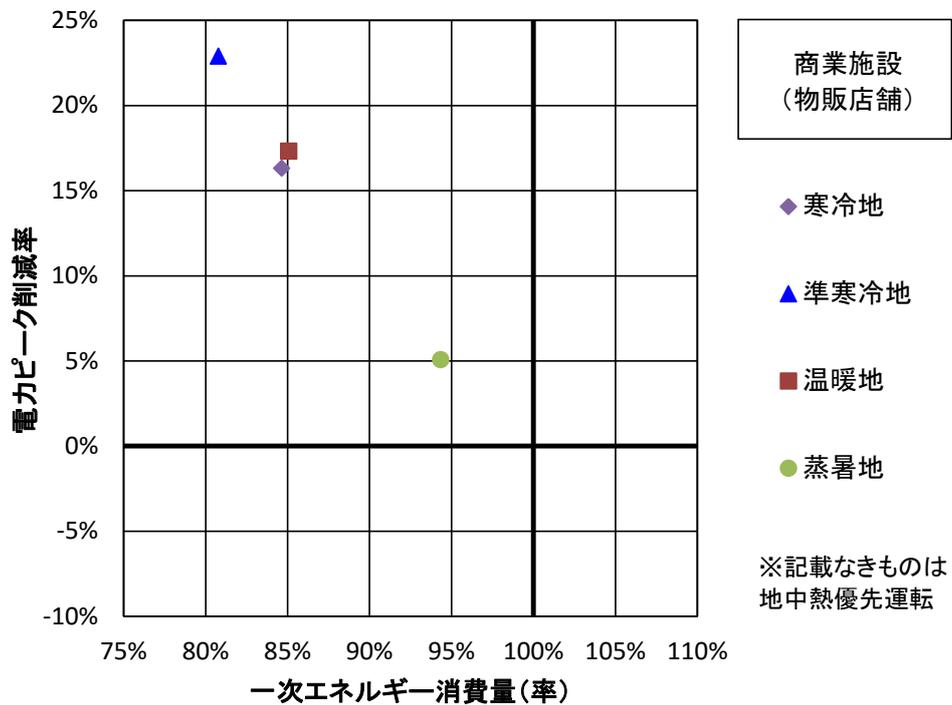


(年間一次エネルギー消費量)

図4-52 年間昼間電力量と年間一次エネルギー消費量（福祉施設（病院））

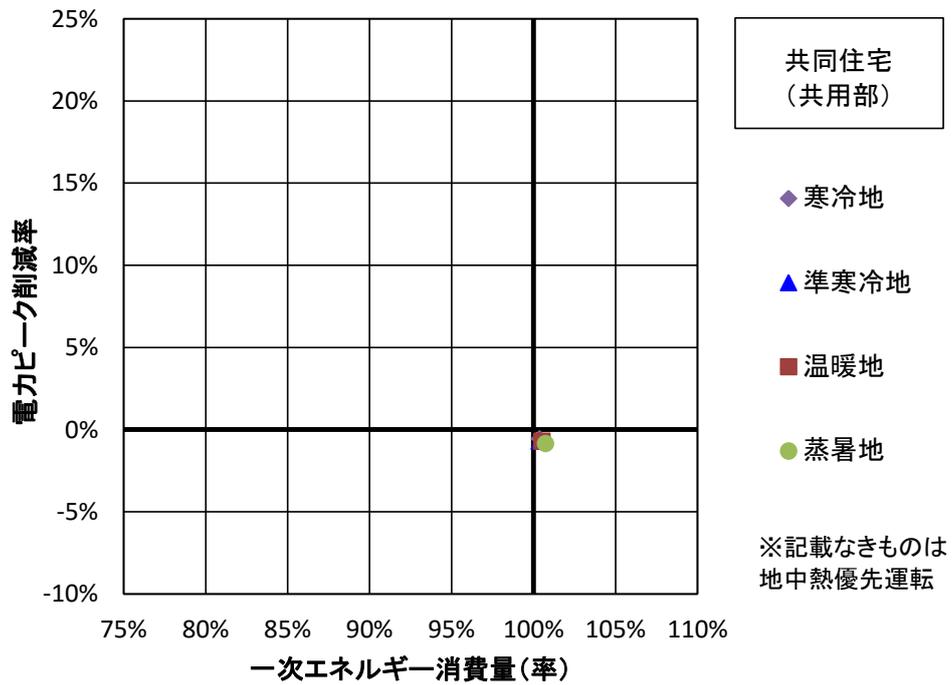


(事務所)

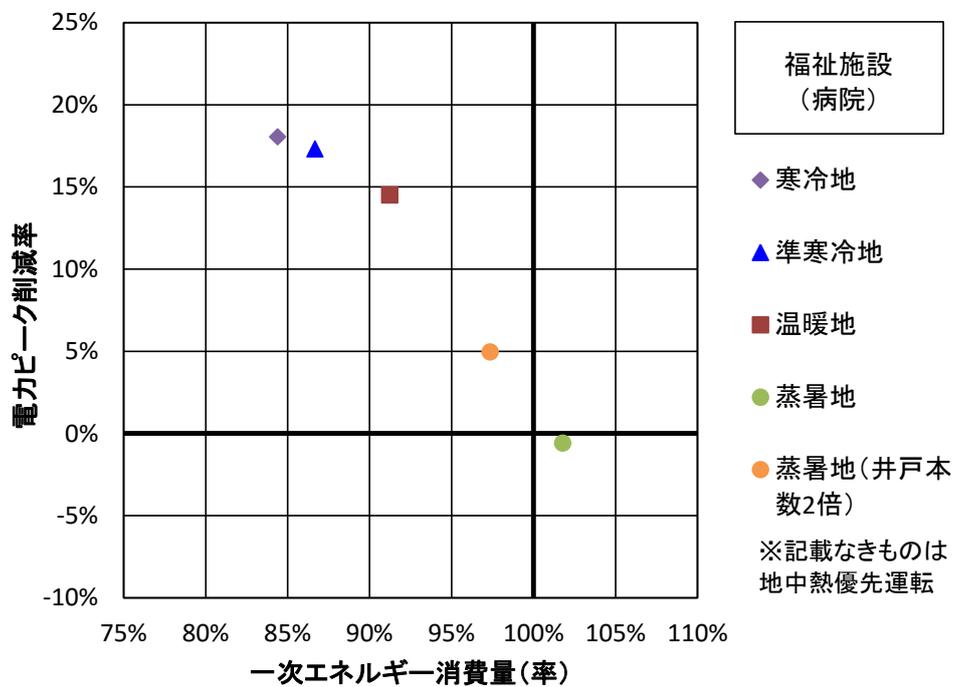


(商業施設 (物販店舗))

図 4-53 電力ピーク削減及び省エネルギー効果 (1)



(共同住宅 (共用部))



(福祉施設 (病院))

図 4-5-4 電力ピーク削減及び省エネルギー効果 (2)

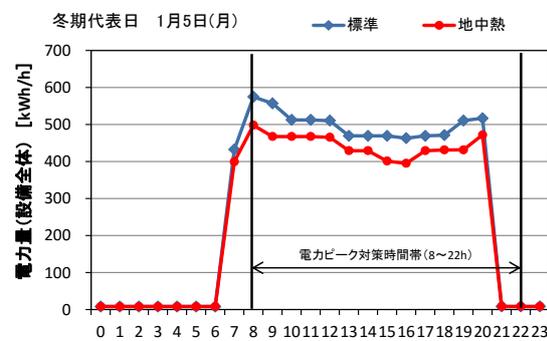
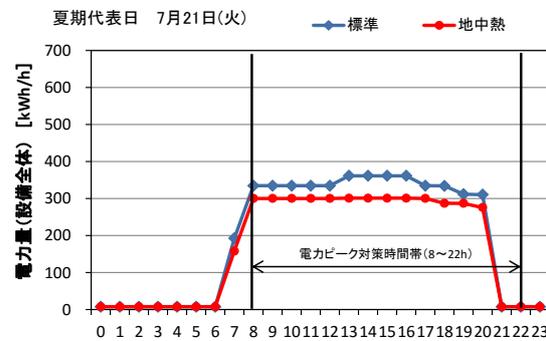
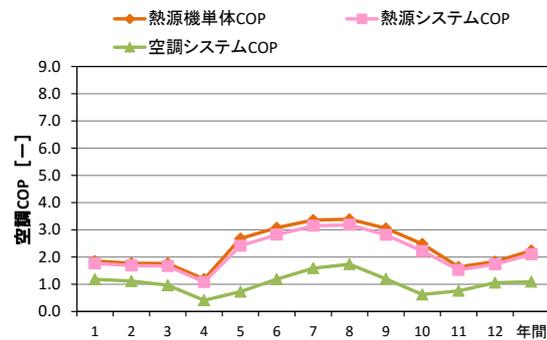
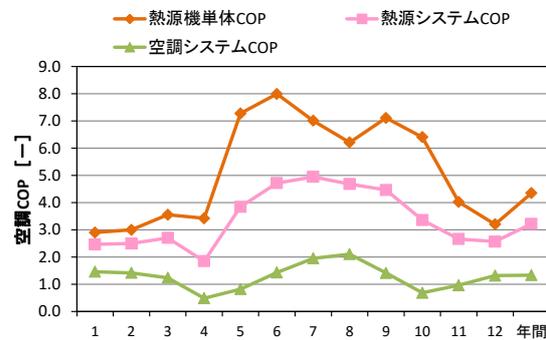
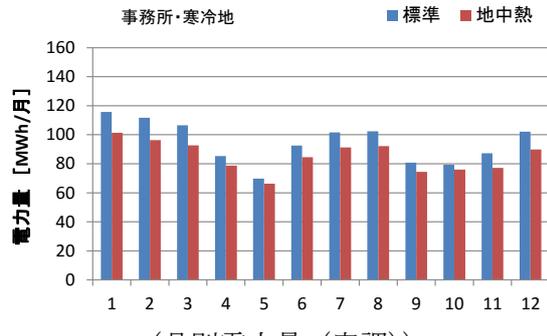
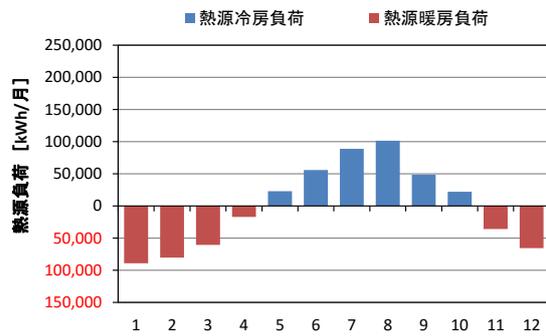
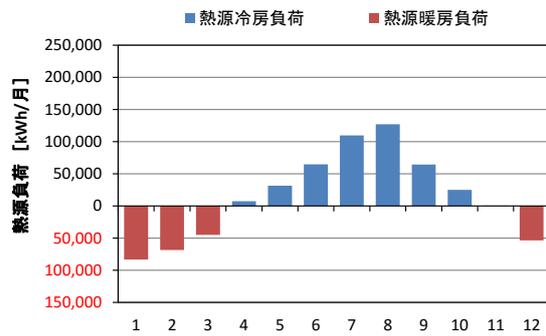
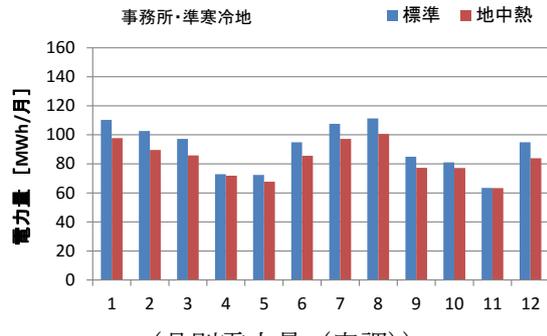


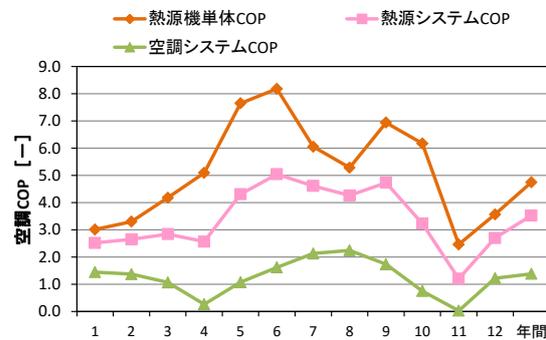
図 4-55 事務所 (寒冷地) の運転状態



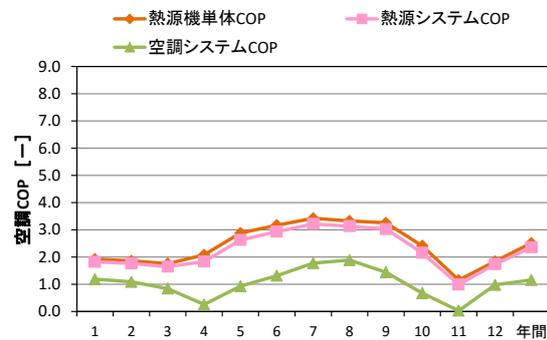
(月別冷暖房負荷 (熱源負荷))



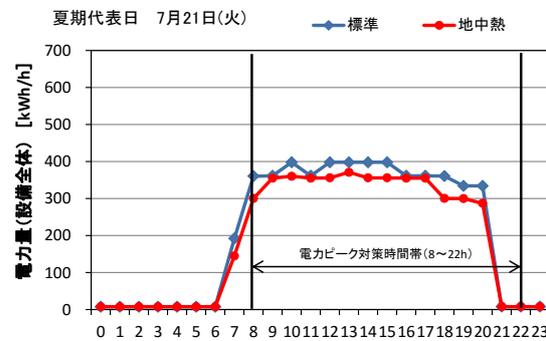
(月別電力量 (空調))



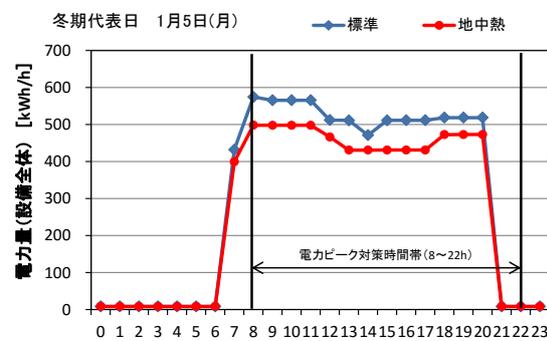
(地中熱利用システム月別・COP)



(標準システム月別・COP)

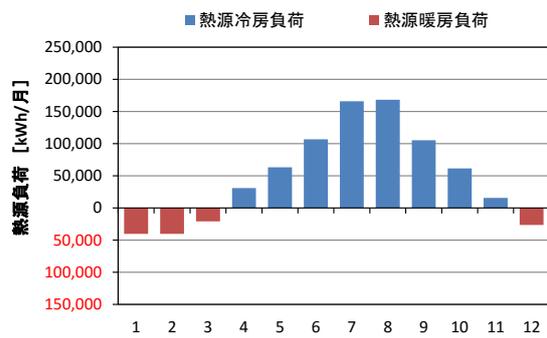


(時刻別電力量 (夏期代表日))

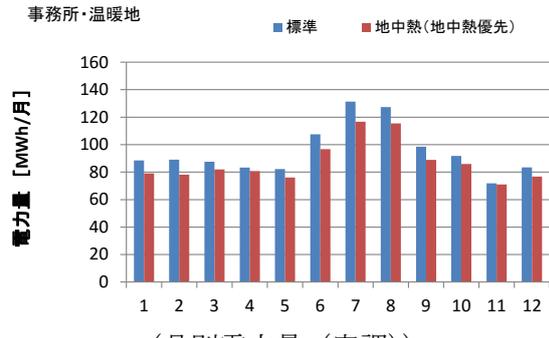


(時刻別電力量 (冬期代表日))

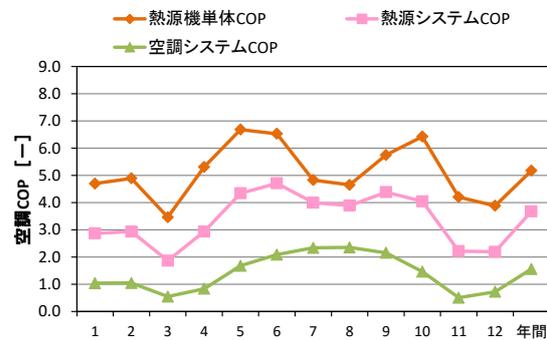
図4-56 事務所(準寒冷地)の運転状態



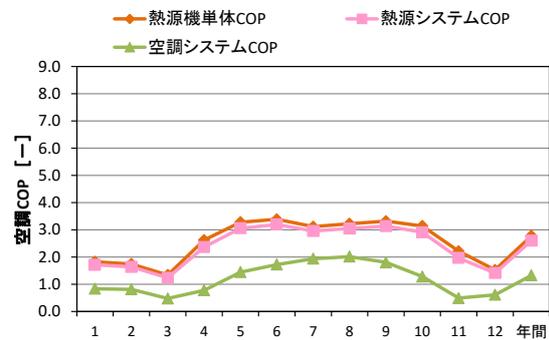
(月別冷暖房負荷 (熱源負荷))



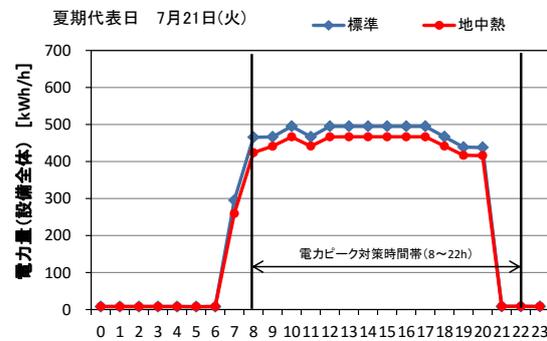
(月別電力量 (空調))



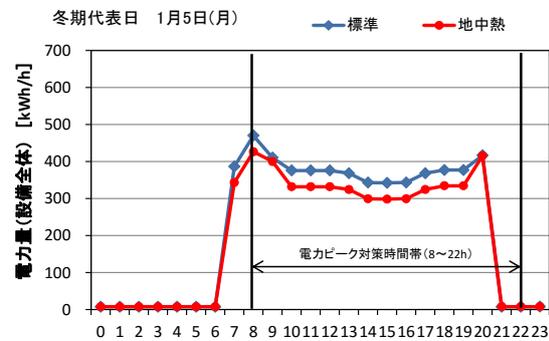
(地中熱利用システム月別・COP)



(標準システム月別・COP)

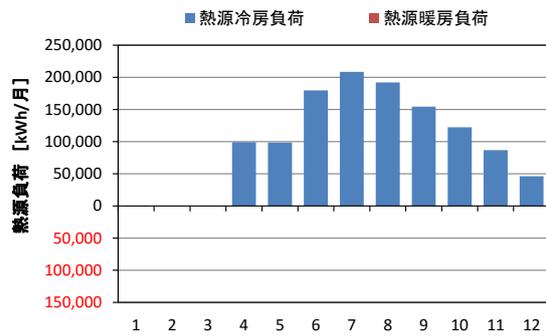


(時刻別電力量 (夏期代表日))

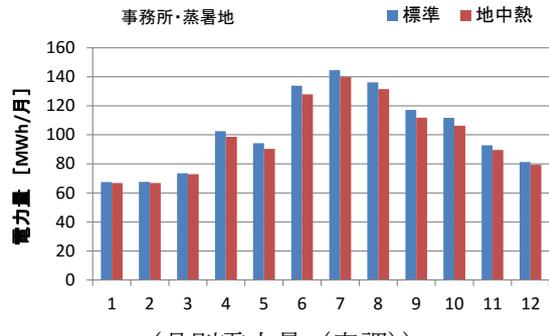


(時刻別電力量 (冬期代表日))

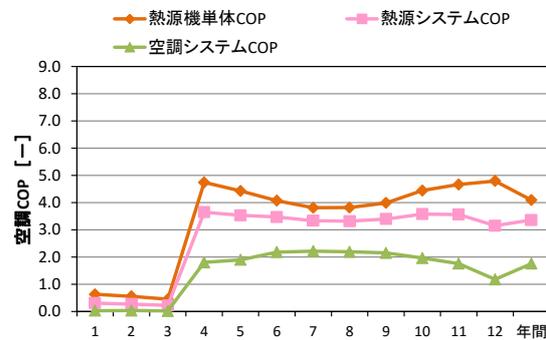
図4-57 事務所(温暖地)の運転状態



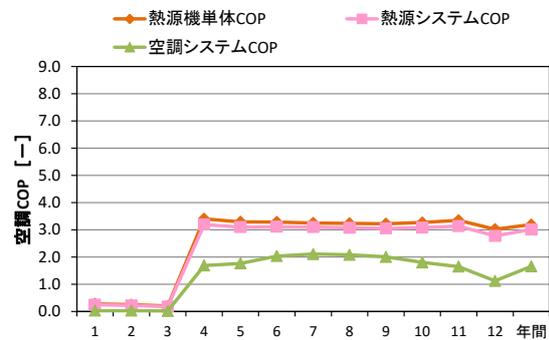
(月別冷暖房負荷 (熱源負荷))



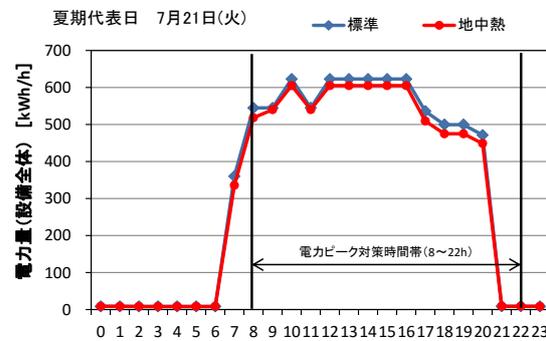
(月別電力量 (空調))



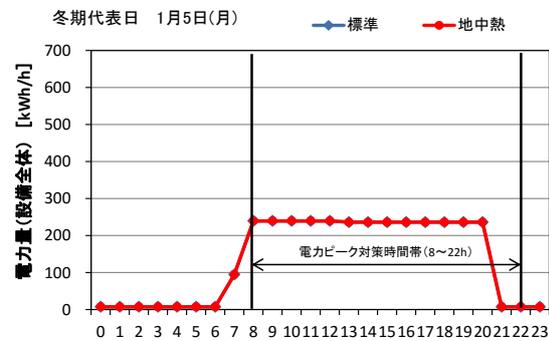
(地中熱利用システム月別・COP)



(標準システム月別・COP)



(時刻別電力量 (夏期代表日))



(時刻別電力量 (冬期代表日))

図4-58 事務所(蒸暑地)の運転状態

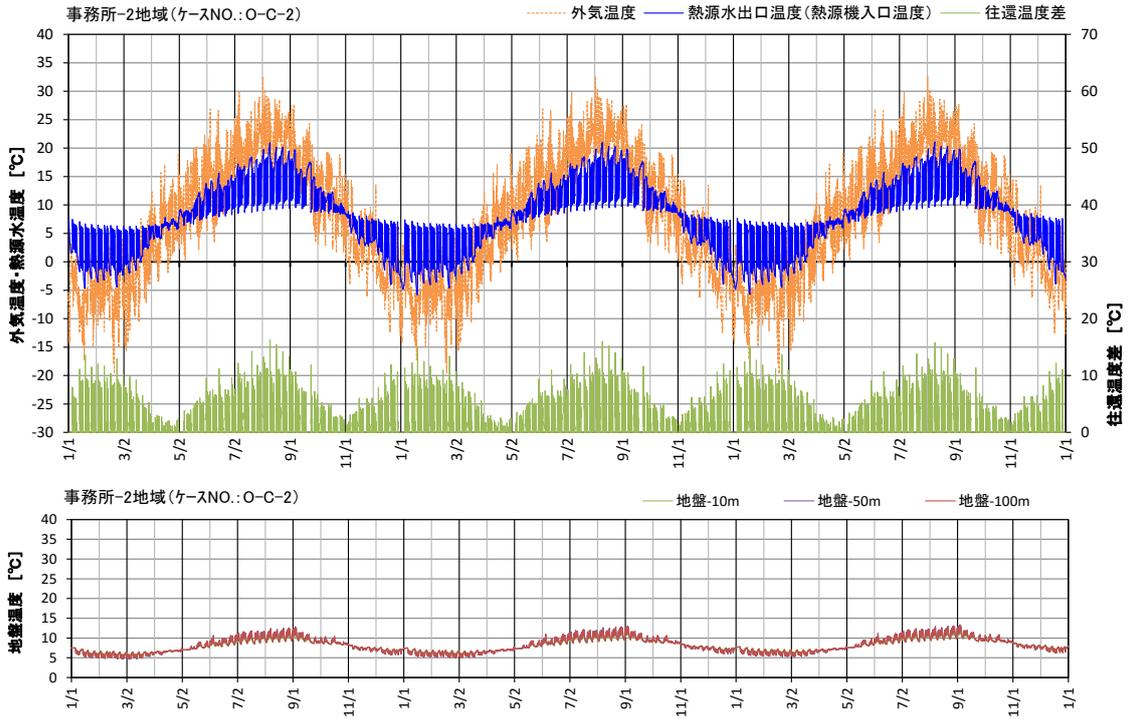


図4-59 事務所（寒冷地）地中温度の状態（3年間）

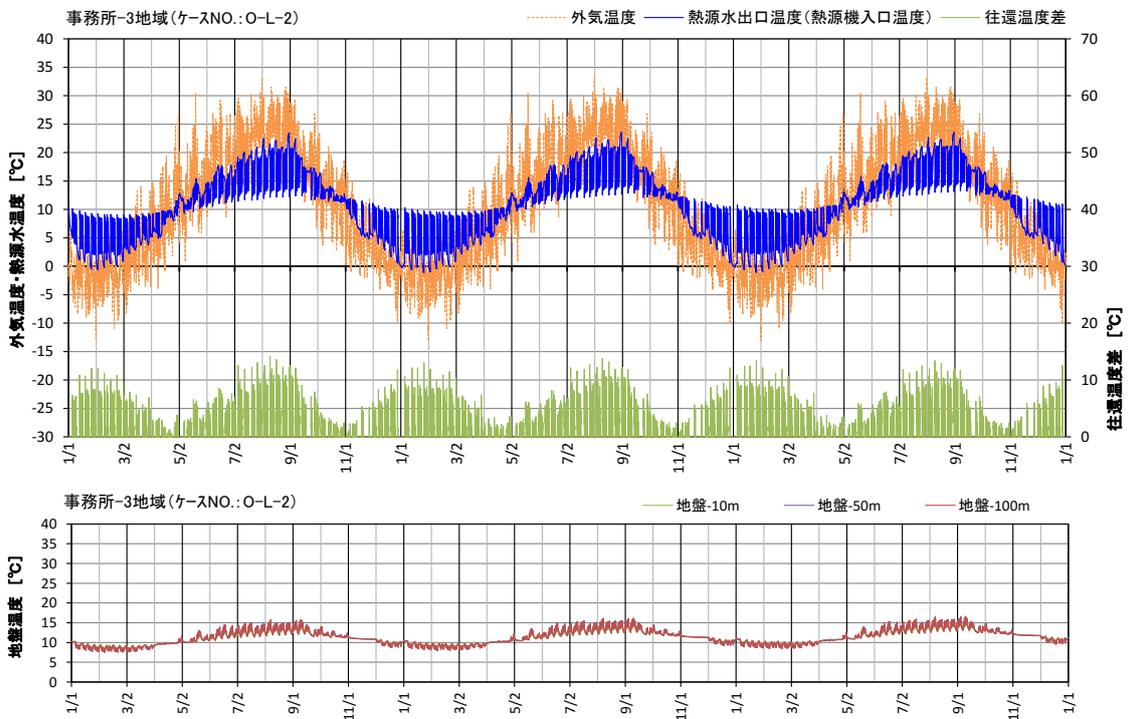


図4-60 事務所（準寒冷地）地中温度の状態（3年間）

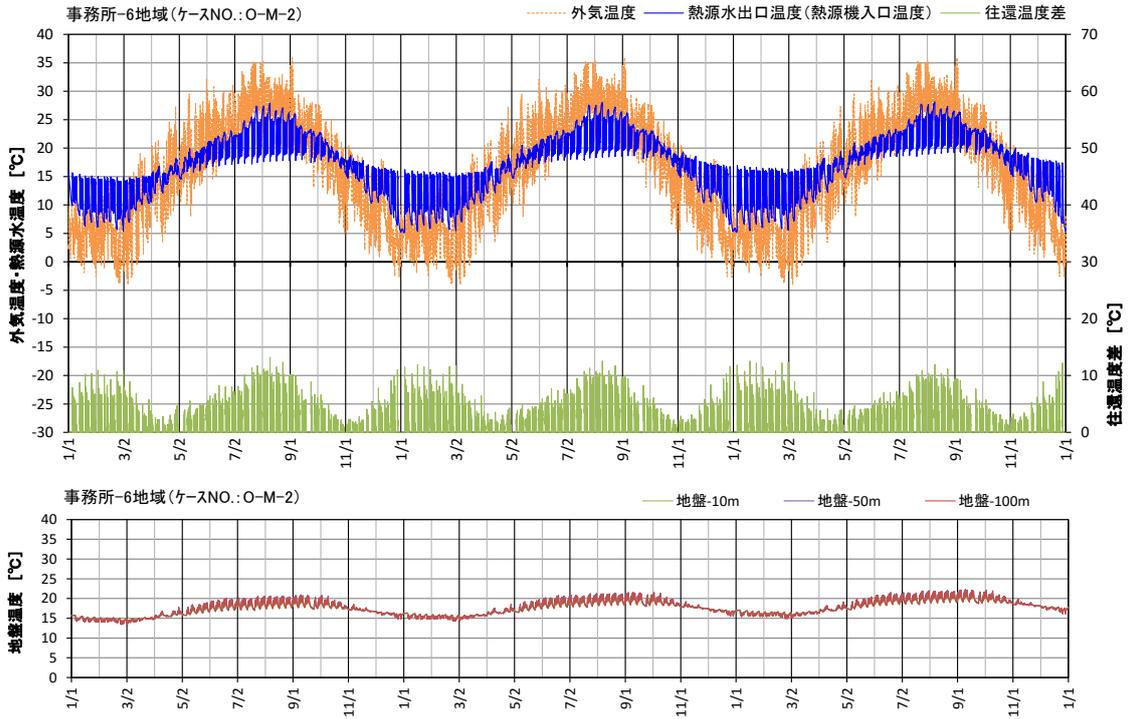


図4-61 事務所(温暖地)地中温度の状態(3年間)

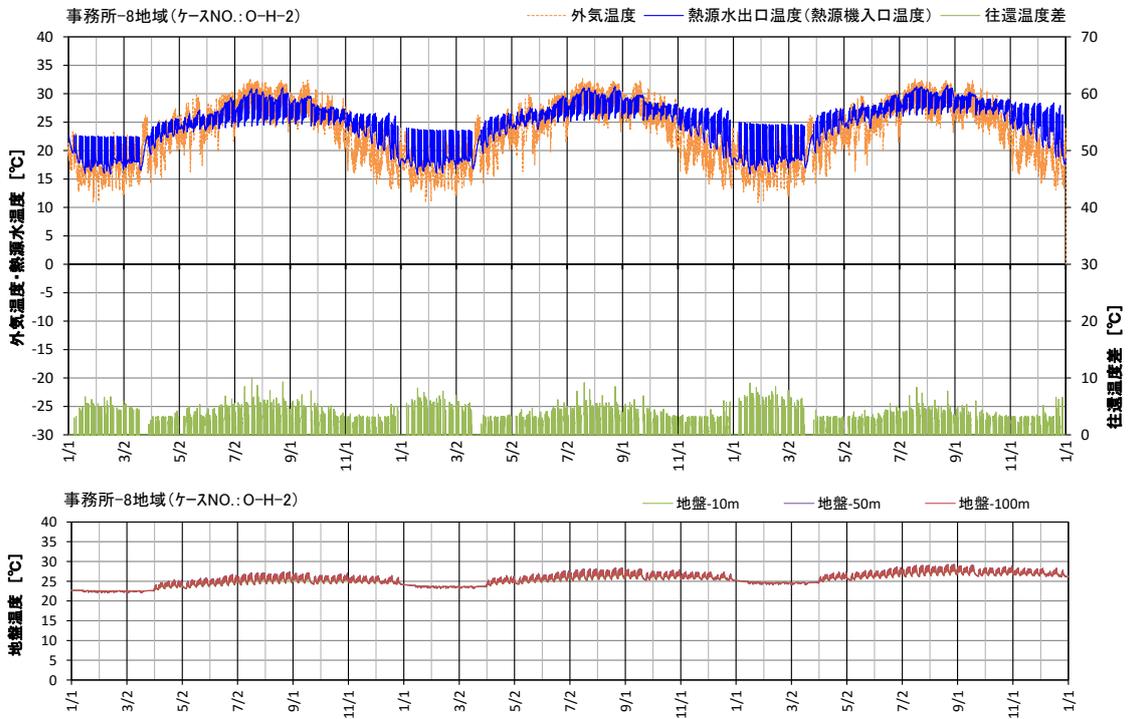
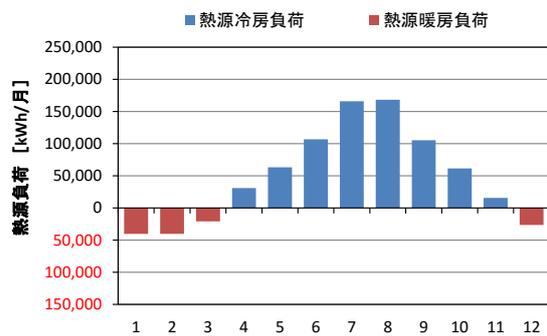
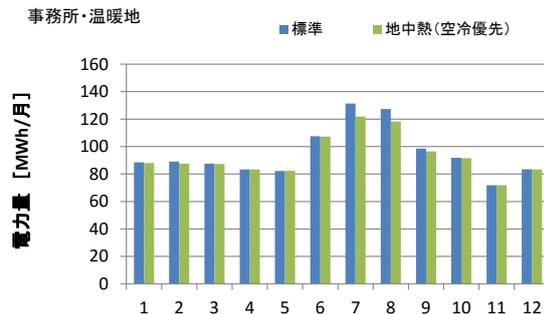


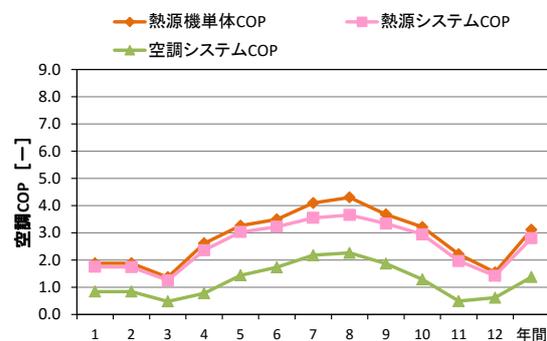
図4-62 事務所(蒸暑地)地中温度の状態(3年間)



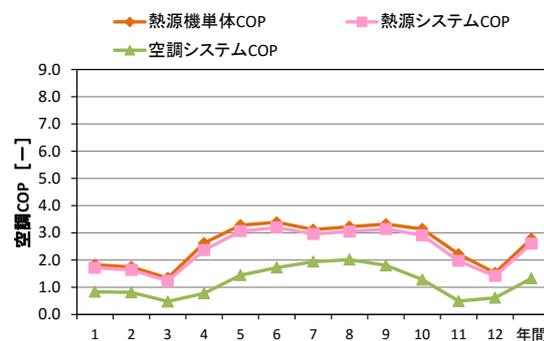
(月別冷暖房負荷 (熱源負荷))



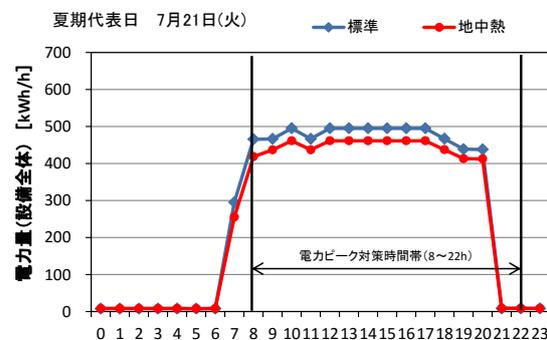
(月別電力量 (空調))



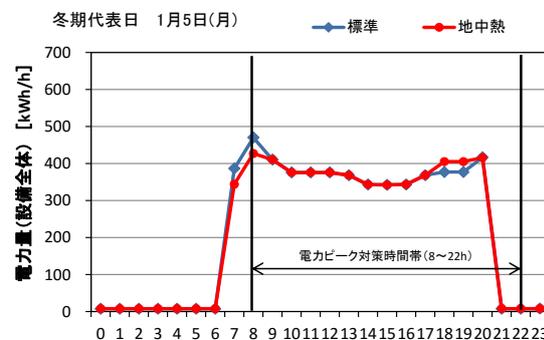
(地中熱利用システム月別・COP)



(標準システム月別・COP)



(時刻別電力量 (夏期代表日))



(時刻別電力量 (冬期代表日))

図4-63 事務所(温暖地)の運転状態(空冷ヒートポンプチラー優先運転)

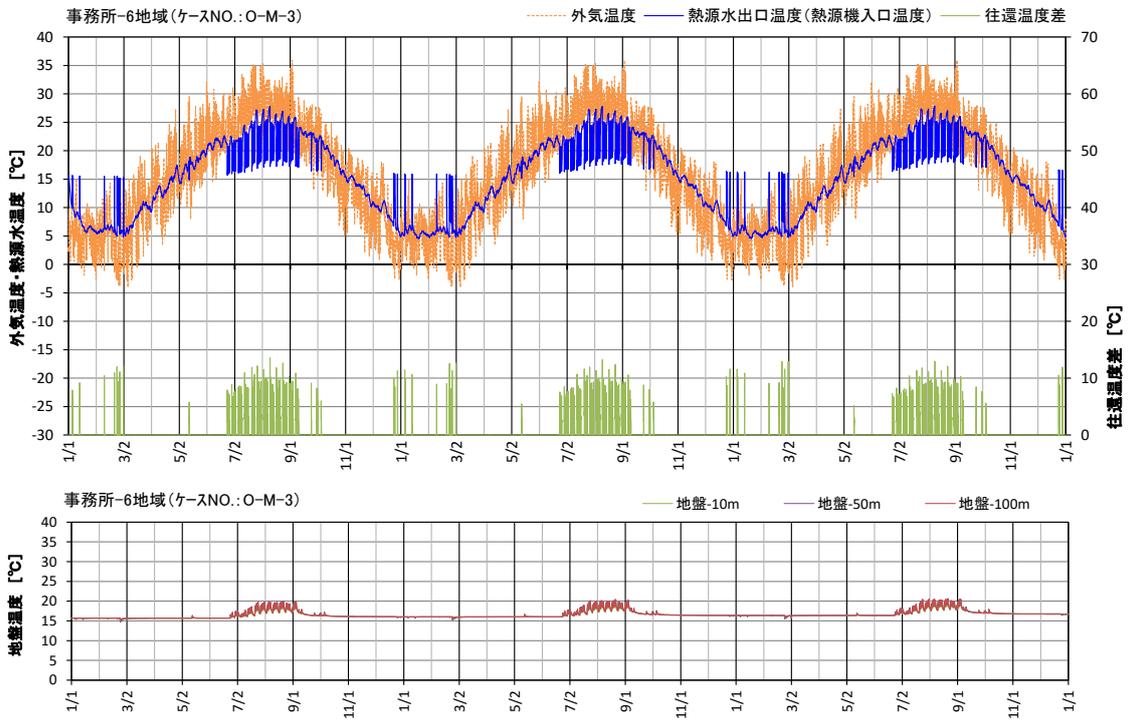


図4-64 事務所(温暖地)地中温度の状態(3年間)(空冷ヒートポンプチラー優先運転)

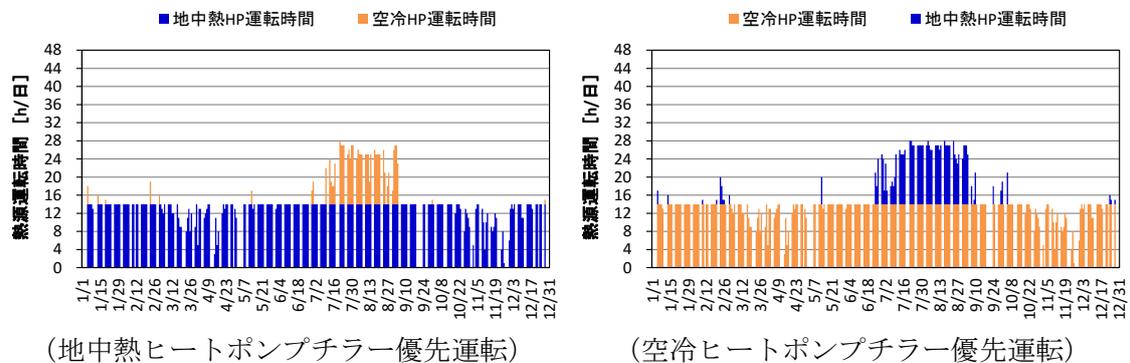
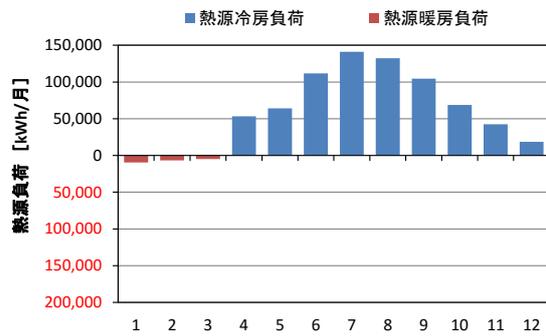
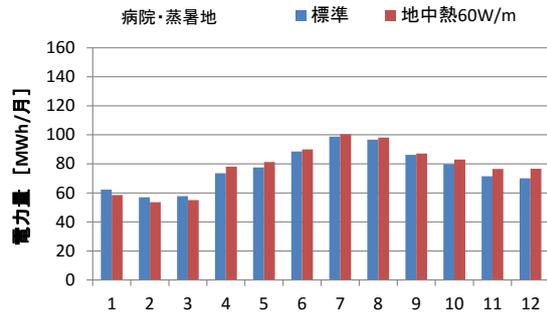


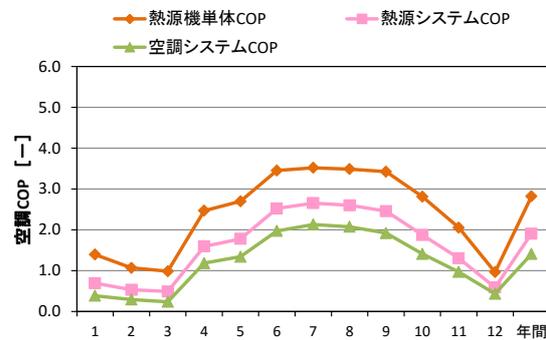
図4-65 事務所(温暖地)の運転状態(熱源運転時間)



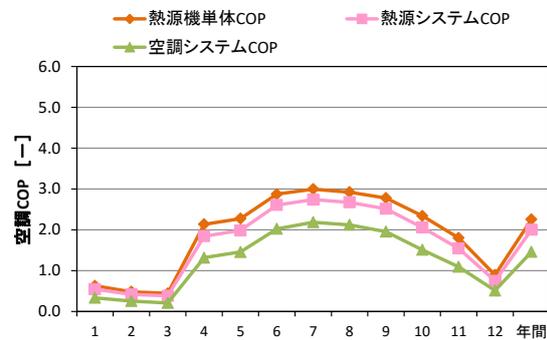
(月別冷暖房負荷 (熱源負荷))



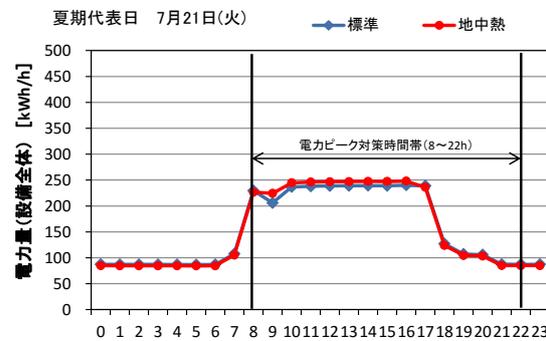
(月別電力量 (空調))



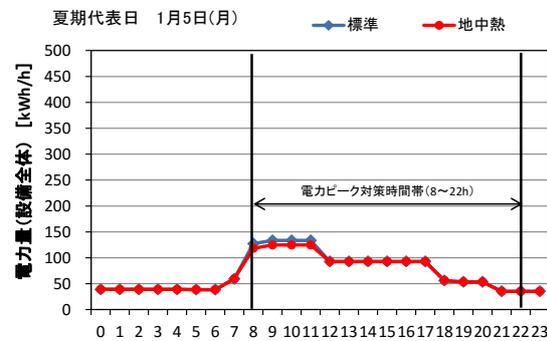
(地中熱利用システム月別・COP)



(標準システム月別・COP)

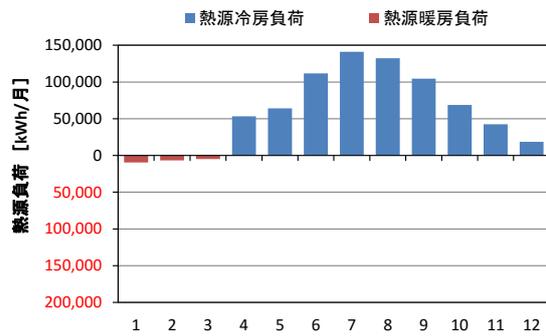


(時刻別電力量 (夏期代表日))

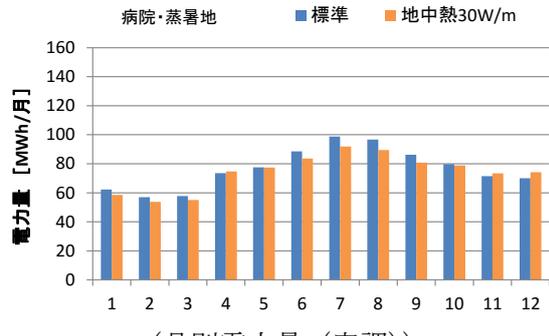


(時刻別電力量 (冬期代表日))

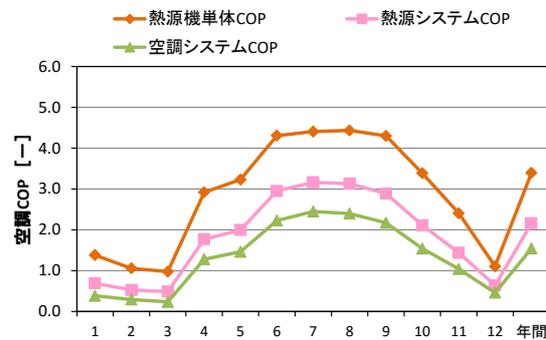
図4-66 福祉施設(病院)(蒸暑地)の運転状態
(地中熱交換井の単位熱交換量 60W/m の場合)



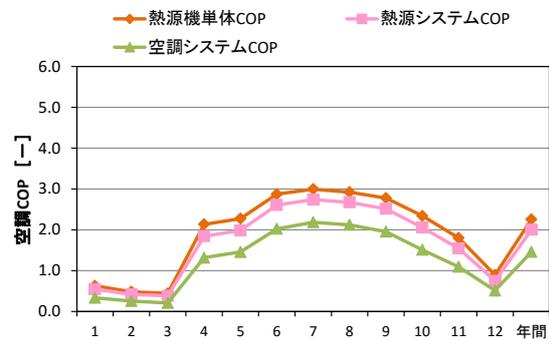
(月別冷暖房負荷 (熱源負荷))



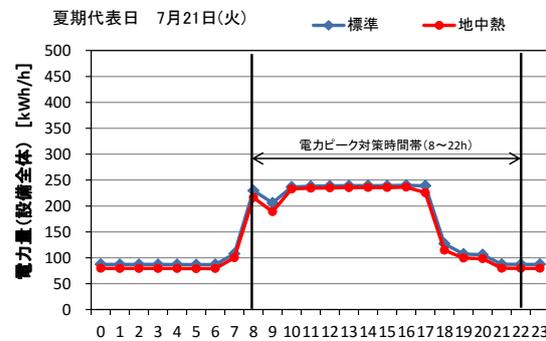
(月別電力量 (空調))



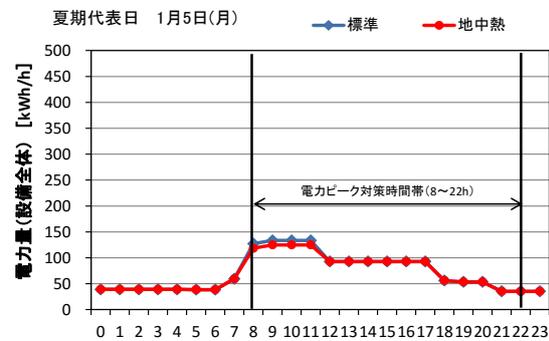
(地中熱利用システム月別・COP)



(標準システム月別・COP)



(時刻別電力量 (夏期代表日))



(時刻別電力量 (冬期代表日))

図4-67 福祉施設(病院)(蒸暑地)の運転状態
(地中熱交換井の単位熱交換量 30W/m の場合)

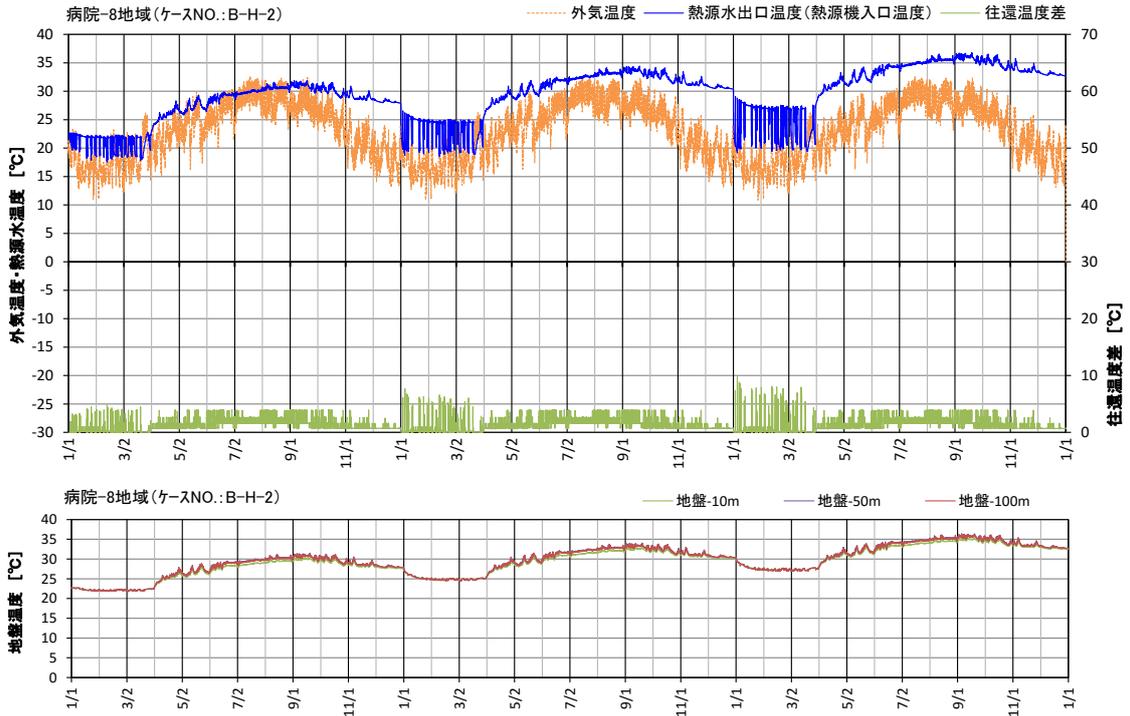


図4-68 福祉施設（病院）（蒸暑地）の地中温度の状態（3年間）
 （地中熱交換井の単位熱交換量 60W/m の場合）

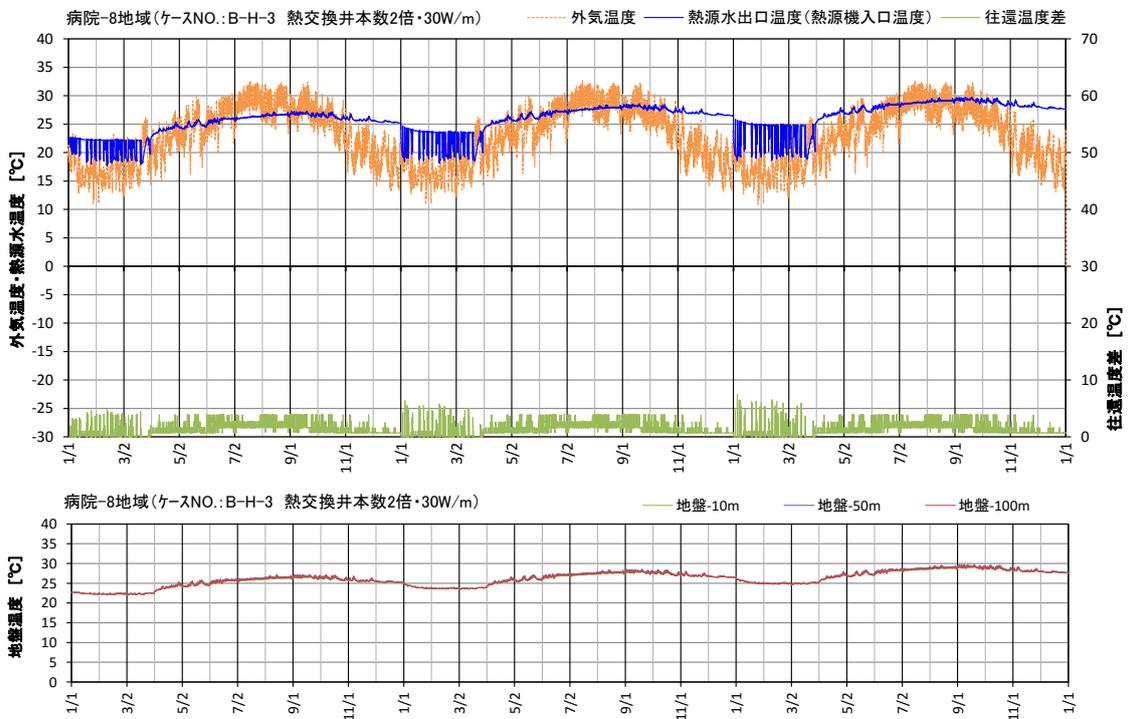


図4-69 福祉施設（病院）（蒸暑地）の地中温度の状態（3年間）
 （地中熱交換井の単位熱交換量 30W/m の場合）

4.5 省エネルギー基準等への反映のための検討

4.5.1 地盤モデルの簡易化

地中熱ポテンシャル計算プログラムにおける試算結果より、地盤からの熱源水戻り温度の推定を行う。外気温の変動と熱源水戻り温度の変動は似ている。そこで、暖房運転時の地中熱交換器からの日平均還水温 $\theta_{w,H,d}$ [°C]、および冷房時の地中熱交換器からの日平均還水温 $\theta_{w,C,d}$ [°C]を式(4.46)、(4.47)で求める。

$$\theta_{w,H,d} = k_H (\theta_{oa,d} - \theta_{oa,H,ave}) + (\theta_{oa,a} + \theta'_{w,H}) \quad (4.46)$$

$$\theta_{w,C,d} = k_C (\theta_{oa,d} - \theta_{oa,C,ave}) + (\theta_{oa,a} + \theta'_{w,C}) \quad (4.47)$$

ここで、 $\theta_{oa,d}$ は日平均外気温 [°C] である。また、 $\theta_{oa,H,ave}$ 、 $\theta_{oa,C,ave}$ 、 $\theta_{oa,ave}$ は暖房期、冷房期、年間の平均外気温 [°C] であり、地域毎に定まる値とする(表4-20)。

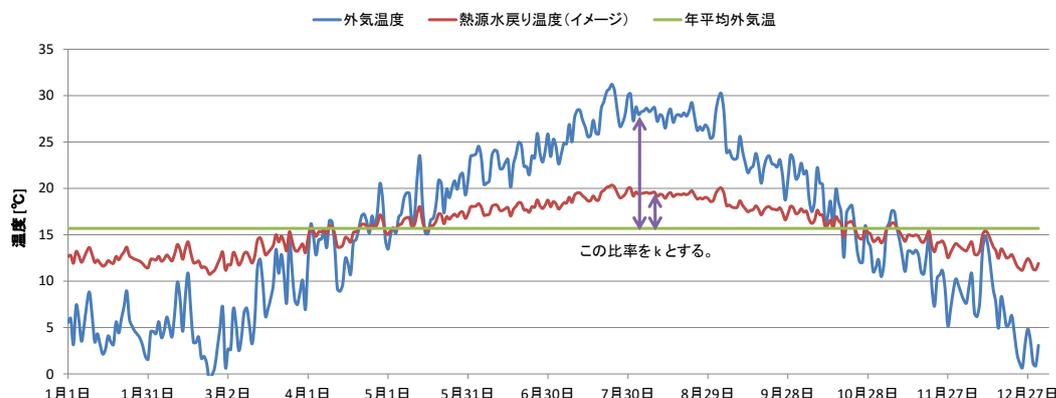


図4-70 地盤からの熱源水戻り温度の推定方法

表4-20 年間、暖房期、冷房期平均外気温

地域区分	1地域	2地域	3地域	4地域	5地域	6地域	7地域	8地域
年間平均外気温 $\theta_{oa,ave}$ [°C]	5.8	7.5	10.2	11.6	13.3	15.7	17.4	22.7
暖房期平均外気温 $\theta_{oa,H,ave}$ [°C]	-3.0	-0.8	0.0	1.1	3.6	6.0	9.3	17.5
冷房期平均外気温 $\theta_{oa,C,ave}$ [°C]	16.8	17.0	18.9	19.6	20.5	22.4	22.1	24.6

また、 $\theta'_{w,H}$ 、 $\theta'_{w,C}$ は暖房期および冷房期の期間平均還水温と年間平均外気温の差であり、係数 k_H 、 k_C とともに、地中熱交換器のタイプ(タイプ1~5)、暖房期と冷房期の日積算空調負荷の期間最大値からなる比 R_Q から求まる係数である(式(4.48)~(4.51))。

$$\theta'_{w,H} = a_H R_Q + b_H \quad (4.48)$$

$$\theta'_{w,C} = a_C R_Q + b_C \quad (4.49)$$

$$k_H = c_H R_Q + d_H \quad (4.50)$$

$$k_C = c_C R_Q + d_C \quad (4.51)$$

ここで、式(4.48)~(4.51)の a_H 、 b_H 、 c_H 、 d_H 、 a_C 、 b_C 、 c_C 、 d_C は地中熱交換器のタイプ(タ

イプ1~5)に応じて定まる定数であり、表4-21の値を用いる。

R_Q は暖房期の日積算空調負荷の期間最大値 $Q_{AC,ahu,h,i,d}^{MAX}$ と、冷房期の日積算空調負荷の期間最大値 $Q_{AC,ahu,c,i,d}^{MAX}$ からなる比であり、式(4.52)で求める。

$$R_Q = \frac{\left| Q_{AC,ahu,c,i,d}^{MAX} \right| - \left| Q_{AC,ahu,h,i,d}^{MAX} \right|}{\left| Q_{AC,ahu,c,i,d}^{MAX} \right| + \left| Q_{AC,ahu,h,i,d}^{MAX} \right|} = \frac{Q_{AC,ahu,c,i,d}^{MAX} + Q_{AC,ahu,h,i,d}^{MAX}}{Q_{AC,ahu,c,i,d}^{MAX} - Q_{AC,ahu,h,i,d}^{MAX}} \quad (4.52)$$

表4-21 係数 $a_H, b_H, c_H, d_H, a_C, b_C, c_C, d_C$

タイプ		1	2	3	4	5
暖房時	a_H	8.0278	13.0253	16.7424	19.3145	21.2833
	b_H	-1.1462	-1.8689	-2.4651	-3.0910	-3.8325
	c_H	-0.1128	-0.1846	-0.2643	-0.2926	-0.3474
	d_H	0.1256	0.2023	0.2623	0.3085	0.3629
冷房時	a_C	8.0633	12.6226	16.1703	19.6565	21.8702
	b_C	2.9083	4.7711	6.3128	7.8071	9.1480
	c_C	0.0613	0.0568	0.1027	0.1984	0.2490
	d_C	0.2178	0.3509	0.4697	0.5903	0.7154

4.5.2 簡易地盤モデルを利用したケーススタディ

図4-71に示す事務所ビル（鉄筋コンクリート造、地上3階、延べ面積 300m²）を対象に、試算を行った。外皮仕様は平成25年基準の基準設定仕様とし、階高は3.5m、天井高は2.5m、窓面積は30%とした。

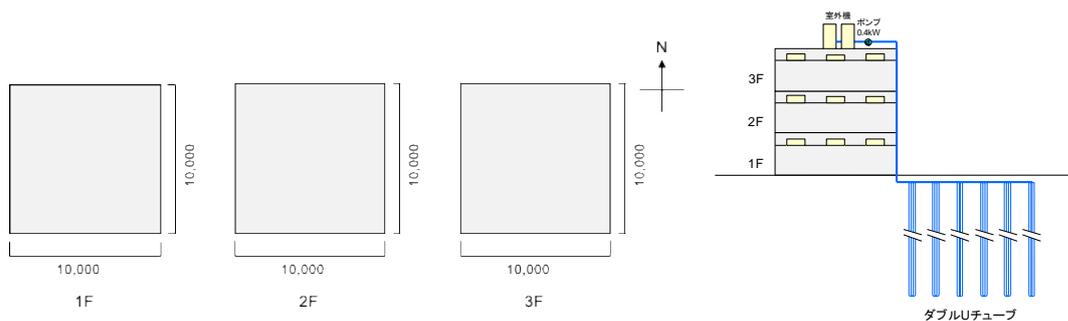


図4-71 試算対象事務所ビル（左：平面図、右：立面図）

表4-22に示すケース1~6までを想定して試算を行った。地域は省エネルギー基準における寒冷地（2地域）、温暖地（6地域）、蒸暑地（8地域）について試算をした。実際には地域によって室外機、室内機の容量は変えるべきであるが、今回は簡単のため全ての地域で同じ容量の室外機、室内機が設置されるとして計算を行った。

表4-22 試算ケース一覧

ケース	タイプ	室外機	室内機	地中熱交換器タイプ	地盤熱伝導率	地中熱チューブ長さ
ケース1	空冷ヒートポンプ	冷房 67kW 消費電力 21.00kW	冷房5.6kW 冷房時消費電力 0.04kW × 9台 暖房6.3kW 暖房時消費電力0.04kW × 9台	-	-	-
		暖房 75kW 消費電力 19.70kW				
ケース2	地中熱ヒートポンプ	冷房 56kW 消費電力 13.94kW		タイプ5	1.7	600m
		暖房 63kW 消費電力 14.84kW				
ケース3	地中熱ヒートポンプ			タイプ3	1.7	600m
ケース4	地中熱ヒートポンプ	冷房 28kW 消費電力 6.97kW 暖房 31.5kW 消費電力 7.42kW	冷房能力2.8kW 冷房時消費電力 0.03kW × 9台 暖房能力3.2kW 暖房時消費電力0.03kW × 9台	タイプ4	1.7	500m
ケース5	地中熱ヒートポンプ			タイプ2	1.7	700m
ケース6	地中熱ヒートポンプ			タイプ1	1.7	800m

結果を図4-72に示す。図の縦軸はBEI/AC（算出された一次エネルギー消費量を省エネ基準の基準一次エネルギー消費量で除した値）である。図より、寒冷地、温暖地においては、地中熱ヒートポンプのBEI/ACは空冷ヒートポンプよりも1割ほど小さくなる（省エネであると評価される）ことが分かる。蒸暑地においては、熱交換チューブを長くすれば、空冷ヒートポンプと同等の性能が得られることが分かる。なお、この評価結果は単なる一例であり、建物の負荷の想定や地盤の熱伝導率、他の省エネ技術との組み合わせによって結果は変わるため、それぞれの建物の条件に応じて評価をすることが重要である。

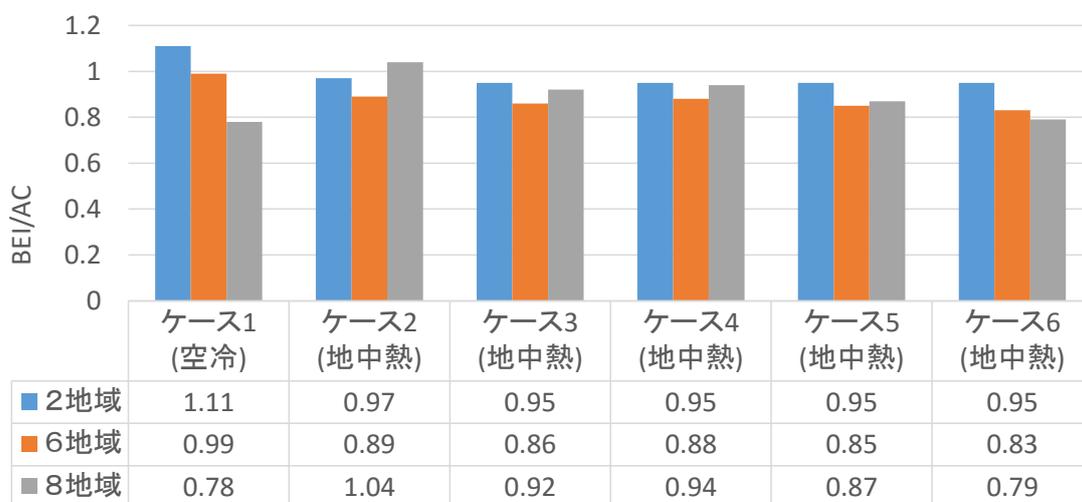


図4-72 簡易地盤モデルによる試算結果 (BEI/AC)

4.6 まとめ

本章では、地中熱利用システムの1つとして地中熱ヒートポンプに着目し、そのエネルギー消費特性の実態を「観測」、「解析」、「評価」の3つのアプローチから明らかにした。

まず、「観測」として、一対の試験室に地中熱ヒートポンプと空冷ヒートポンプをそれぞれ設置し、エネルギー消費特性の比較を行った。得られた知見を次に示す。

- ① 夏期（外気温度が高い条件）においては、空冷ヒートポンプよりも地中熱ヒートポンプの方が効率（COP＝生成熱量／消費電力）は良い結果となった。特に、外気温度が高く処理熱量（負荷率）が小さい場合に差が大きくなった。一方、中間期（外気温度が低い条件）においては、地中熱ヒートポンプよりも空冷ヒートポンプの方が効率は良い場合も見られた。
- ② 冬期においては、外気温度、負荷率によらず、空冷ヒートポンプよりも地中熱ヒートポンプの方が効率は良い結果となった。特に、外気温度が低く処理熱量が小さい場合に差が大きくなった。
- ③ 今回の実験条件においては、夏期ピーク電力の削減効果は約16%、冬期ピーク電力の削減効果は約27%と推定された。

次に、「解析」として、地中の温度・水分の三次元分布、地中熱ヒートポンプによる蓄採熱量を計算する「地中熱ポテンシャル計算プログラム」を開発し、地中熱の蓄採熱量に関する数値解析を行った。観測データを入力して推定精度を検証した結果、開発したプログラムはRMS（二乗平均平方根）値1.5℃の精度で地盤からの還水温度を推定できることが判った。

最後に「評価」として、上述の地中熱ポテンシャル計算プログラムと省エネルギー基準で採用されている建築設備システムのエネルギー消費量算出プログラムを結合したシミュレーションシステムを新たに開発し、地中熱ヒートポンプの導入効果を定量的に示した。得られた知見を以下に示す。

- ① 中央熱源方式で地中熱ヒートポンプチラーを採用することにより、空冷ヒートポンプチラーに比べてピーク時の電力消費量及び年間のエネルギー消費量は蒸暑地では5%程度、温暖地～寒冷地では10～20%程度削減されることが判った。
- ② 地域別の電力ピーク削減効果は、寒冷地・準寒冷地、温暖地、蒸暑地の順に高くなることが判った。これは、寒冷地・準寒冷地においては夏期だけではなく冬期の電力ピーク削減効果も高く、これが年間の削減効果に大きく寄与しているからである。
- ③ 導入効果は地域や建物用途によって異なるだけではなく、どのようなシステムを設計するか（地中熱利用システムで賄う空調負荷の割合、冷房負荷と暖房負荷のバラ

ンス、他熱源と組み合わせる場合に運転の優先順位、熱交換井の利用可能深さや想定熱交換量等)によっても異なることが判った。より大きな電力ピーク削減効果及び省エネルギー効果を得るためには、年間の空調負荷の傾向をしっかりと抑え、熱交換井の仕様を十分に検討することが重要である。

また、本研究で得られた詳細な解析モデルを省エネルギー基準の評価法に適用するための方法の提案を行った。省エネルギー基準の評価方法においては、エネルギー消費量算出ロジックの確からしさだけでなく、設計時に入手できる情報のみで評価をすること、プログラムに入力するパラメータについて設計者が確たる根拠を示せること、教育ツールとしての役割も持つため、判りやすく簡潔なロジックであることが求められる。これらの要求に応えるべく、簡易な地盤熱応答モデルを開発し、いくつかのケーススタディを行った。

参考文献

- 1) 関根賢太郎、大岡龍三、横井睦己、柴芳郎、黄錫鎬、南 有鎮：場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究、第1報-実験による熱特性の把握とフィージブルスタディ、空気調和・衛生工学会論文集、Vol. 107、pp. 1-11、2006. 2
- 2) 若山尚之、葛隆生、長野克則、佐藤信孝：現場打ち基礎杭を利用した地中熱ヒートポンプシステムに関する研究 浅層採熱管の導入可能性について、空気調和・衛生工学会論文集、Vol. 189、pp. 21-28、2012. 12
- 3) 葛隆生、長野克則、武田清香：地中熱ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールの開発とその応用、日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、pp479-482、2006. 9
- 4) 日本建築学会編集：拡張アメダス気象データ、2005. 8

第5章 蓄電設備による対策技術

5.1 目的

第5章では、蓄電設備による対策技術を開発することを研究目的とする。本章で実施した検討内容について以下に概要を示す。

5.1.1 生活を模擬した蓄電実験

住宅には様々な家電が存在し、生活のライフスタイルによりその使い方は様々である。また、エアコンや太陽光発電など気象条件により効率が変化するものもある。そのため、住宅に蓄電設備を導入することが、電力消費量や1次エネルギー消費量にどの程度寄与するかを定量的に把握することは難しく、分からないことも多い。そこで、代表的な家電機器を実験棟内に設置し、仮想的な生活パターンをコンピュータ制御することで、蓄電設備も含めて詳細な電力消費量のデータ取得する実証実験を行う。

5.1.2 蓄電設備の各種分析

地域、建物・設備規模などが異なると、模擬実験だけでは対応できないため、様々な条件に対して対応可能な簡易ソフトウェアの開発を行う。生活を模擬した蓄電実験との整合性を確認した上で、系統的なケーススタディを実施し、住宅における蓄電設備の運用方法や設計方法の検討を行う。あわせて、蓄電設備の技術情報の調査も実施し、その結果も踏まえて対策技術として整理する。

5.2 蓄電設備の技術情報の調査

5.2.1 調査の概要

蓄電設備の技術情報の調査として、まずカタログ情報の収集を行い、蓄電設備の技術情報を収集、整理することで技術開発の動向を調べる。また、技術者へのアンケート調査も行うことにより、蓄電設備の課題、要望などを整理する。

5.2.2 技術情報の収集

(1) 蓄電池、蓄電システムのカタログ等収集

蓄電池及び蓄電システムについてカタログ等の収集を行った。対象とした蓄電池は、一般社団法人環境共創イニシアチブのホームページで公表されている「平成25年度補正予算 定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費補助金 補助対象機器一覧」の70機種である。この中には、住宅用の定置型蓄電池に加えて、業務用、公共用の定置型蓄電池もリストアップされており、一部可搬型の蓄電池も含まれている。

蓄電池の諸元表に記載のある基準価格（A 値）、目標価格（B 値）は、環境共創イニシアチブが設定したものであり、以下にその定義を示す。

■基準価格（A 値）：平成 26 年 7 月現在の市場価格などを考慮して設定された価格

【基準価格（A 値）の詳細】

下記の①～③の合計値

- ①蓄電池部 : 20 (万円/kWh)
- ②基礎（システム・筐体等） : 25 (万円/台)
- ③4 つの付加機能による加算
 - ・ ECHONET Lite 対応 : 5 (万円/台)
 - ・ 高サイクル耐久性 : 10 (万円/台)
 - ・ 太陽光発電連携 : 10 (万円/台)
 - ・ 系統連系等 : 10 (万円/台)

■目標価格（B 値）：価格低減を目的に設定された価格

【目標価格（B 値）の詳細】

下記の①、②の合計値

- ①蓄電池部 : 8 (万円/kWh)
- ②基礎（システム・筐体等） : 10 (万円/台)

70 機種 of 概略を以下に示す。

- ・ メーカー : 31 社 (いずれも国内メーカー)
- ・ 蓄電容量 : 1.0～19.48kWh
- ・ 定格出力 (通常時) : 200W～10,000W

(2) 電力単価の試算

前項で諸元を整理した補助金対象の蓄電池の中から、主要メーカーの住宅用定置型蓄電池 5 機種を選択し、環境共創イニシアチブが設定した基準価格に基づき、蓄電設備の電力単価を試算した。

$$\text{電力単価} = \frac{\text{基準価格(A 値)又は差引負担額}}{\text{蓄電容量} \times \text{繰り返し回数}} \quad (5.1)$$

試算結果を表 5-1 に一覧する。電力単価は、24.6～86.2 円/kWh (平均 51.5 円/kWh)、補助金を差し引いた電力単価は 13.6～47.1 円/kWh (平均 28.2 円/kWh) と試算される。ただし、算出の根拠とした充放電回数は、製品仕様として正式に公表されていない場合が多

く、またメーカーにより充放電の条件が異なることから、メーカーにより電力単価に大きな幅がある。今後製品仕様としてメーカー間で統一した条件に基づく充放電回数が公表されることが望まれる。

表 5-1 蓄電設備の電力単価

メーカー	エリーパワー	シャープ	NEC	東芝ライテック	ニチコン
形式名	POWER IE6	JH-WE1201	ESS-H-00200 6B2	ENG-B4425A2 -N (エネグーン)	ESS-U1SK (ホームパワー ステーション)
電池種類	リン酸型鉄 リチウム	リン酸型鉄 リチウムイ オン (LifeP04)	リチウムイ オン蓄電池	リチウムイ オン二次電 池 SCiB	リチウムイ オン蓄電池
蓄電容量	6.2kWh	4.4kWh	5.53kWh	4.4kWh	7.2kWh
蓄放電回数	12,000 回	8,000 回	3,650 回	10,000 回	4,000 回
基準価格 (A 値)	1,840,000 円	1,540,000 円	1,740,000 円	1,480,000 円	1,990,000 円
基準価格 (B 値)	596,000 円	476,000 円	556,000 円	452,000 円	676,000 円
補助金額	829,333 円	709,333 円	789,333 円	685,333 円	876,000 円
差引負担額	1,010,667 円	830,667 円	950,667 円	794,667 円	1,114,000 円
kWh 単価 (A 値)	24.7	43.8	86.2	33.6	69.1
kWh 単価 (差 引負担額)	13.6	23.6	47.1	18.1	38.7

(3) 運転モード

主要メーカーの蓄電設備の運転モードを表 5-2 に一覧する。太陽光発電、蓄電池及び系統電力（深夜電力）の優先度を選択するものであり、経済性と環境性能を秤にかけたような形になっている。2016年4月からの電力自由化においても蓄電機能は注目されており、今後様々なメニューが消費者に向けて提示されると予想される。

表5-2 蓄電設備の運転モード

メーカー	エーパワー	シャープ	NEC	東芝ライテック	ニチコン	
形式名 (ブランド名)	POWER IE 6	JH-WE1201	ESS-H-002006B2	ENG-B4425A2-N (エネグリーン)	ESS-U1SK (ホームパワーステーション)	
P V 優先使用 / 余剰 売電	名称	おサイフモード	経済性モード	経済モード	経済おまかせモード (押し上げ効果なし)	経済モード
	内容の詳細	太陽光発電の電力を家庭で活用し、余った電力は売電を優先。売電時は蓄電池からの放電を停止し、ダブル発電を防止。	安価な深夜電力で充電し、日中の発電量が消費電力を下回った場合にのみ電力を供給する。	太陽光発電による電力を自家消費した上で、余剰分は蓄電池に貯めず、積極的に売電するよう自動制御。	太陽光発電の電力は家庭内で使用し、余剰分を電力会社に売電。売電中は蓄電池は放電せず、使用電力が太陽光発電よりも多いときに放電。	割安な深夜電力を充電し、朝・夕の電力使用量ピーク時間帯に放電。太陽光により発電した電力の余剰分はすべて売電。
	その他	燃料電池との連携も可能。燃料電池で発電した電力を優先して家庭で活用し、不足分を蓄電池から供給。太陽光発電を併設している場合は、燃料電池の出力電力分だけ売電量が増加。さらに、蓄電池から放電する電力分も売電量が増加。	指定した時刻に家庭内へ電力の供給を開始可能モードの2通りが選択できる。	-	-	-
蓄電 優先使用 / P V 売電	名称	-	-	-	経済おまかせモード (押し上げ効果あり)	-
	内容の詳細	-	-	-	太陽光発電の電力を売電しているときも蓄電池は放電。蓄電池の電力を家庭内で使用し、その分を売電に回して売電量を増やす。	-
	その他	-	-	-	-	-
P V 優先使用 / 余剰 充電	名称	ecoモード	クリーンモード	グリーンモード	環境おまかせモード	グリーンモード
	内容の詳細	太陽光発電の電力を家庭で活用し、余った電力は蓄電池への充電を優先。	系統電力からの充電を行わないモード。日中に太陽光発電の余剰電力で充電し、発電量が消費電力を下回った場合に家庭内へ電力を供給する。	太陽光発電による電力を自家消費した上で、余剰分を蓄電池に貯めることを優先とし、満充電になれば売電する。	太陽光発電の電力は家庭内で使用し、余剰分を蓄電池に充電。その昼間貯めた電力を、夕・夜に使用。	割安な深夜電力を充電し、朝・夕の電力使用量ピーク時間帯に放電する。昼間、太陽光により発電した電力の時余剰分はすべて蓄電システムに充電し、夜の使用ピーク時に活用。
	その他	燃料電池との連携も可能。燃料電池で発電した電力を優先して充電。燃料電池の他に太陽光発電を併設している場合は、太陽光発電の電力も蓄電池に充電し、余った電力は売電。	-	-	-	-
深夜 充電 / ピーク 使用	名称	- (通常運転)	※	通常運転モード / ピークカット運転モード	ピーク抑制モード	※
	内容の詳細	深夜電力を蓄電池に充電、電力消費量の多い昼間に蓄電池から電力供給を行い、電力のピークシフトに貢献。	-	料金が割安な夜間に蓄電池し、昼間の時間帯に電気がなくなるまで放電する。	深夜に貯めた電力を、設定したピーク電力になるように蓄電池の放電をコントロールする。	-
	その他	-	太陽光発電連携以外のモードの記載なし。ただし、経済性モードで太陽光発電がない場合は「深夜充電/ピーク使用」と判断。	ピークカット運転モードは、ユーザーがあらかじめ設定した使用電力を超えると、その時点で蓄電池からの放電がスタートする。	ピーク抑制時間は、ライフスタイルに合わせて「朝と夕」、「朝のみ」、「夕のみ」から選択可能。	太陽光発電連携以外のモードの記載なし。ただし、経済性モードで太陽光発電がない場合は「深夜充電/ピーク使用」と判断。
充電 優先	名称	-	充電モード	-	停電準備モード	-
	内容の詳細	-	計画停電などに備え、優先して充電を行うモード。充電完了後は待機状態となり、24時間は満充電の状態を維持し、その後、自動的に「経済性モード」に移行。	-	モード開始時、残量が少ない場合は急速充電を行い、素早く設定残量にする。また、モード中に放電ボタンを押し、残量が残った場合も急速充電を行う。設定残量より多い場合は、「経済おまかせモード」と同じ運転を行う。	-
	その他	-	-	-	急速充電は、通常の充電の約2倍の速さで充電。	-

5.2.3 アンケート調査

(1) 調査概要

蓄電池メーカー及び蓄電システムの製造メーカーに対するアンケート調査を行い、住宅用蓄電池の市場見通しや商品化の意向、蓄電池の技術規格に関する意見等を整理する。対象はリチウムイオン電池に関するものとする。

一般社団法人環境共創イニシアチブのホームページで公表されている「平成 25 年度補正予算 定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費補助金 補助対象機器一覧」の蓄電池メーカー及び蓄電システムの製造メーカー31 社に調査票を送付し、受領した回答をもとに整理を行った。実際に配付した調査票を図 5-1 に示す。主な調査項目を以下に示す。

【主な調査項目】

- ・住宅用定置型蓄電池の市場見通しについて
- ・住宅用定置型蓄電池の開発、商品化について
- ・今後住宅に蓄電池を普及させるために必要となる建築側の対応や指針等について

アンケート調査票について、次ページ以降に示す。アンケート調査の回答期限は平成 27 年 2 月 18 日とし、平成 27 年 2 月 9 日に送付した。

住宅、建築物における蓄電池の技術動向に係るアンケート調査 調査票

1. 本調査票は、環境共創イニシアチブのホームページで公表されている「平成 25 年度補正予算 定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費補助金 補助対象機器一覧」の蓄電池製造会社へ送付しております。
2. アンケート調査結果は、国土交通省国土技術政策総合研究所から委託を受けた日本環境技研㈱が回収・集計を行い、統計的に処理して報告書に取りまとめます。個票を公表することはありません。
3. アンケート調査結果は本調査の目的のみに使用し、他の目的で使用することはありません。
4. 回答を記入した調査票を2月18日(水)までに同封の返信用封筒(切手不要)にてご返送ください。
5. 本調査票の内容についてご不明の点やご質問がございましたら、下記にお問い合わせください。

日本環境技研株式会社 担当：宮本和彦

TEL：03-5272-9401 FAX：03-5272-9409 E-mail：miyamoto@jes-corp.co.jp

1. 住宅用定置型蓄電池の市場見通しについて

問1：住宅用定置型蓄電池の市場見通しについて当てはまるものを1つ選んで○をつけて下さい

1. 大きく拡大する
2. 少しづつ拡大する
3. あまり変わらない
4. 縮小する

問2：住宅用定置型蓄電池で増加する使用方法に当てはまるものを1つ選んで○をつけて下さい

1. 深夜電力の活用
2. 太陽光発電と連携
3. 停電時の電力確保
4. 契約電力削減

2. 住宅用定置型蓄電池の開発、商品化について

問3：御社の住宅用定置型蓄電池が準拠している規格を下欄に全て記載して下さい

規格1：_____ 規格2：_____

規格3：_____ 規格4：_____

問4：現状の規格について当てはまるものを1つ選んで○をつけて下さい

1. 規格の精緻化が必要
2. 現状の規格で問題ない
3. 規格の簡略化が必要

問4-①：1を選んだ方は理由を下欄に記載して下さい

規格精緻化の理由：_____

問4-②：1を選んだ方は精緻に規格化すべき項目を下欄に記載して下さい

規格精緻化の項目：_____

問5：開発、商品化にあたって御社が重視している技術課題を1つ選んで○をつけて下さい

1. 充放電ロス低減
2. 充放電回数増加
3. 機器形状小型化
4. 充電容量増加
5. 放電出力の増加
6. 充電時間の短縮
7. 太陽光発電、電気自動車等との連携
8. 商品価格の低減
9. その他(具体的に_____)

3. 今後住宅に蓄電池を普及させるために必要となる建築側の対応や指針等について

問6：建築側の対応や指針について当てはまるものを1つ選んで○をつけて下さい

1. さらなる対応や指針が必要
2. 現状の基準等で問題ない
3. 対応や指針は不要である

問6-①：1を選んだ方は対応が必要な項目を1つ選んで○をつけて下さい

1. 安全性の確保
2. 効率的な運用
3. ピークシフト
4. その他(_____)

問7：建築側の対応や指針等についてご意見がありましたら下欄に記載して下さい

建築側対応の意見：_____

ご回答ありがとうございます。調査票は2月18日(水)までに同封の返信用封筒にてご返送下さい。

図5-1 アンケート調査票

(2) 調査結果

アンケートを送付した31社のうち、12社から回答が得られ、回答率は40%であった。なお、回答があった事業者のうち、2社は住宅用の蓄電池の取り扱いがないという回答であった。アンケートの回答結果について以下にまとめる。

1) 住宅用定置型蓄電池の市場見通し

回答結果は、「大きく拡大する」が30%、「少しずつ拡大する」が60%となり、住宅用定置型蓄電池の市場は拡大傾向にあるとの回答が多かった（図5-2）。

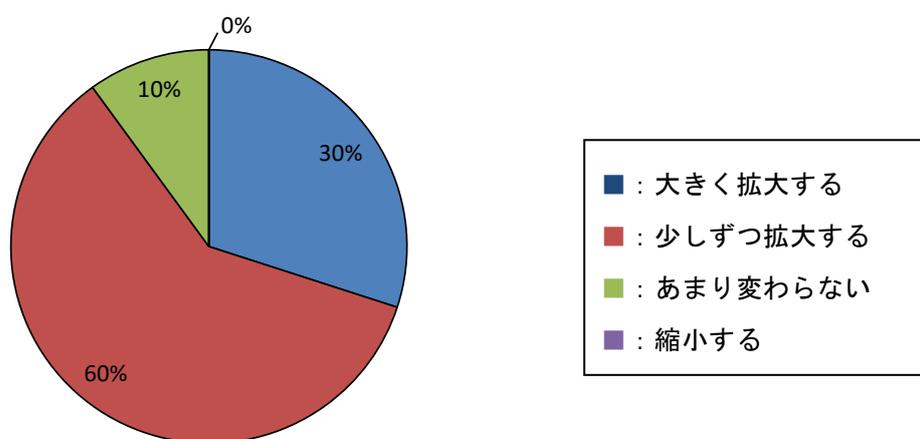


図5-2 住宅用定置型蓄電池の市場見通し（アンケート調査）

2) 住宅用定置型蓄電池で増加する使用方法

回答結果は、「深夜電力の活用」は0%、「太陽光発電と連携」が50%、「停電時の電力確保」が30%、「契約電力削減」が10%となった（図5-3）。

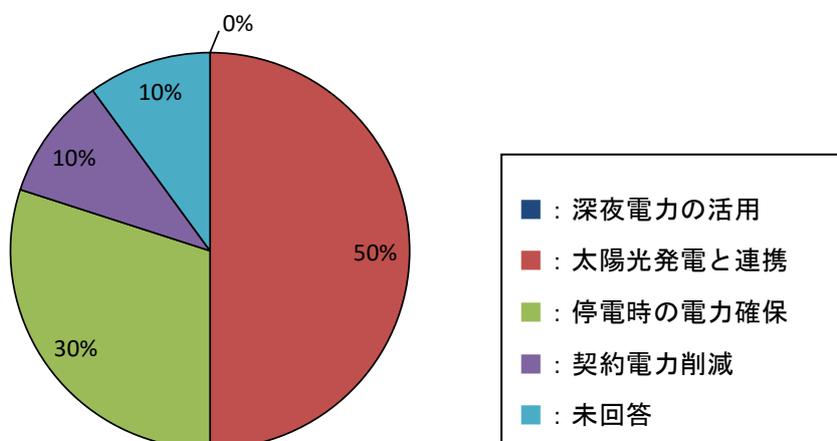


図5-3 住宅用定置型蓄電池で増加する使用方法（アンケート調査）

3) 該蓄電池が準拠している規格

準拠している規格は複数見られたが、「蓄電システムの一般及び安全要求事項」、「SBA S1101 : 2011」が最も多くなっている（図5-4）。

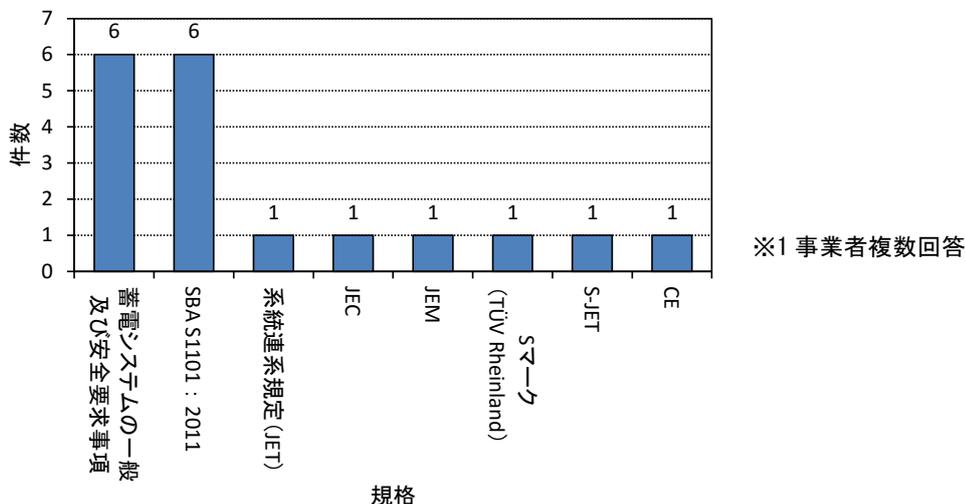


図5-4 該蓄電池が準拠している規格（アンケート調査）

4) 現状の規格について

「現状の規格で問題ない」との回答がほとんどで、全体の90%となっている（図5-5）。

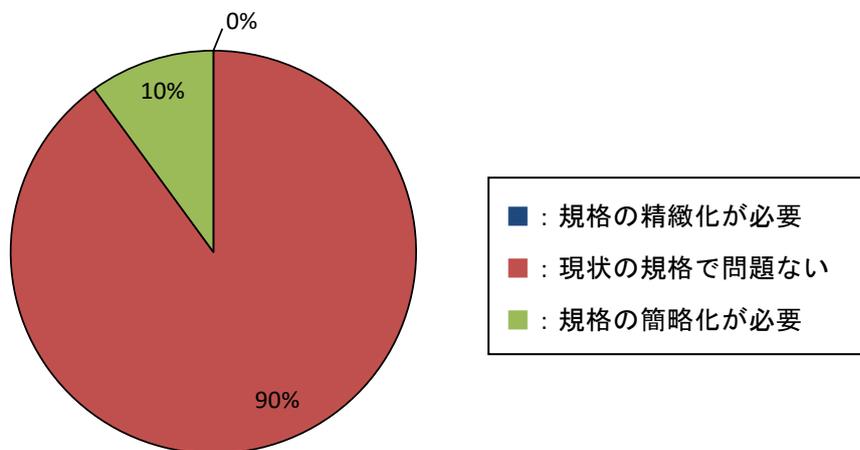


図5-5 現状の企画について（アンケート調査）

5) 開発、商品化にあたって重視している技術課題

回答結果は、「機器形状小型化」が20%、「太陽光発電、電気自動車等との連携」が20%、「商品価格の低減」が60%であった（図5-6）。

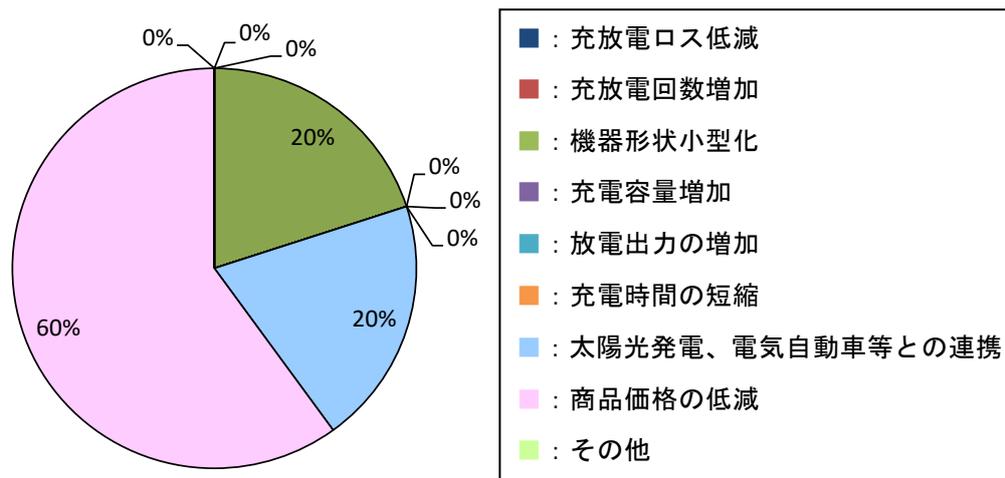


図5—6 開発、商品化にあたって重視している技術課題（アンケート調査）

6) 住宅用蓄電池普及のための建築側の対応や指針について

回答結果は、「さらなる対応や指針が必要」が40%、「現状の基準等で問題ない」が50%であった。「さらなる対応や指針が必要」と回答があったうち、対応が必要な項目としては、「安全性の確保」が25%、「効率的な運用」が50%であった（図5—7）。

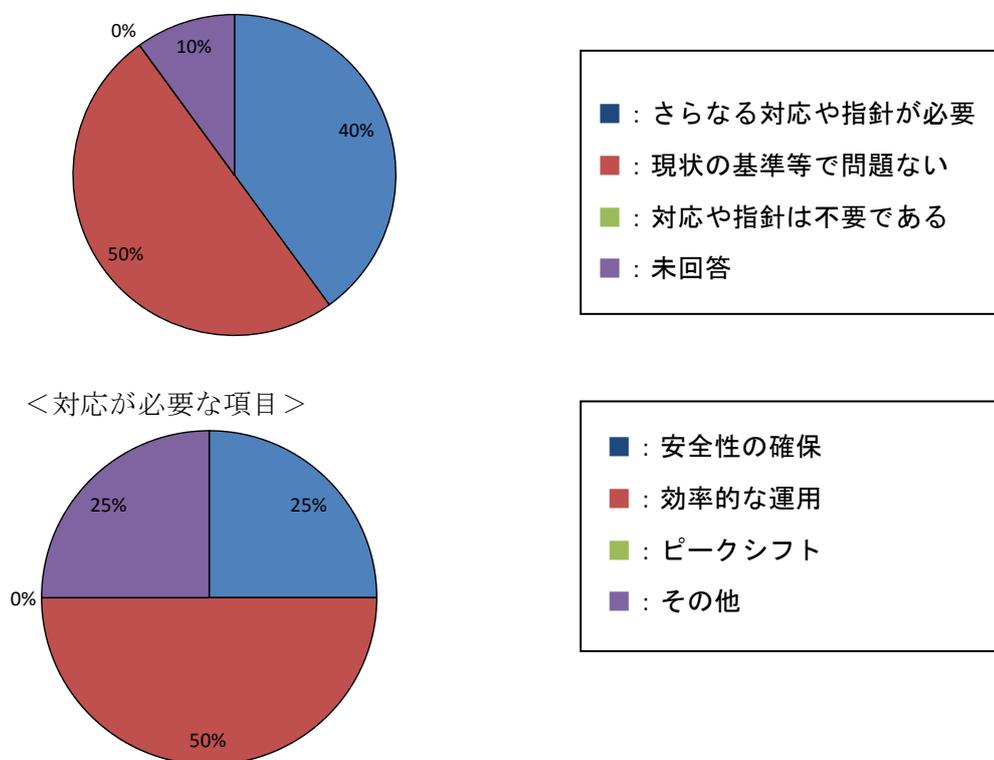


図5—7 住宅用蓄電池普及のための建築側の対応や指針について（アンケート調査）

以上のアンケート調査より、技術者、メーカーの考えとして以下のようなことが言える。

- ①住宅用蓄電池の市場は今後拡大傾向にある。
- ②蓄電池の用途としては、夜間電力の活用より、太陽光発電や停電時の利用の方に需要が期待されている。
- ③蓄電システムの現行規定に関して、精緻化・簡易化等の変更要望は特段ない。
- ④今後の普及に向けての新たな指針作成については、必要・不必要が半々であり、必要と回答した理由として、効率的な運用方法の指針の必要性が指摘されている。

5.2.4 規格等の文献調査

蓄電池及び蓄電システムの規格、試験方法及び計測方法、性能指標等、及び優良住宅部品の基準などユーザーサイドに立った技術情報等の文献を収集した。収集した文献のリストを以下に示す。

- ・一般社団法人環境共創イニシアチブ：平成25年度補正定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費補助金補助対象基準 補助対象基準、2014年3月
- ・一般財団法人ベターリビング：優良住宅部品認定基準 家庭用据置型リチウムイオン蓄電システム、2012年12月
- ・SANYO Batteries：SANYO Batteries Engineering Data Book リチウムイオン電池技術資料
- ・(社)日本電気技術者協会：電気技術解説講座 据置蓄電池
- ・東京消防庁予防部：リチウムイオン電池を用いた蓄電池設備の普及に対応した火災予防対策等検討委員会報告書、2011年3月
- ・総務省消防庁危険物保安室：リチウムイオン電池に係る危険物施設の安全対策のあり方に関する検討報告書、2011年12月
- ・経済産業省製品安全課：リチウムイオン蓄電池に関する電気用品安全法施行規則及び電気用品の技術基準を定める省令の改正概要、2008年5月14日
- ・経済産業省製品安全課：電気用品の技術上の基準を定める省令の解釈について「リチウムイオン蓄電池」、2008年7月3日
- ・株式会社日立製作所：定置型蓄電システムの最新市場動向と普及への課題、2014年3月
- ・NTT Building Technology：据置用リチウムイオン二次電池の特性評価、
- ・(株)コベルコ科研：リチウムイオン電池の安全性評価、2014年4月
- ・原子力安全・保安部会 電力安全小委員会 電力貯蔵設備規制検討ワーキンググループ：電力貯蔵設備の規制の在り方について、2008年2月

5.3 蓄放電実験

5.3.1 実験装置の概要

(1) 装置概要

住宅において、蓄電設備を導入した際の電力消費特性を把握することを目的として、生活を模擬するよう、家電機器をスケジュール運転させ、発電・蓄電・消費をモニタリングする装置を、国立研究開発法人建築研究所の設備実験棟内に構築した。実験装置の概要を図5-8に示す。

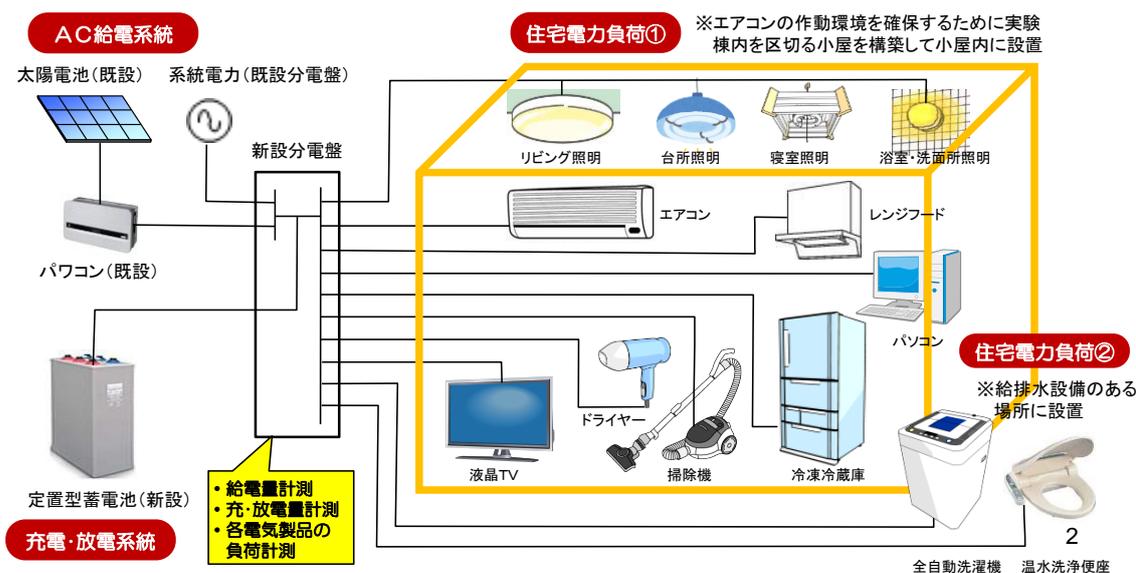


図5-8 生活を模擬した蓄放電実験装置の概要

(2) 電気製品

4人家族が居住する住宅の電力負荷を再現するために、空調設備（1種類）、照明設備（4種類）、換気設備（1種類）、家電製品（7種類）の合計13種類の電気製品を設置する（表5-3）。各製品の電力負荷は以下のように計測した。回路設計図を図5-9に示す。

- ・各電気製品への給電量を把握するために、実験用分電盤内で電気製品ごとに電流・電圧センサーを設置し、8系統の電力負荷を計測・記録。

※照明器具4つの共用センサー、TVとパソコンの共用センサー、レンジフードと掃除機の共用センサーと、その他のエアコン、冷蔵庫、洗濯機、ドライヤー、温水洗浄便座の各専用センサーの合計8系統のセンサーで13種類の電気製品の電力負荷を把握。

- ・空調設備（エアコン）が住宅室内と同様の条件で稼働できるようにするために、実験棟内の空間を区分する壁、天井を有する小屋を構築し、小屋内にエアコンを設置。給・排水設備が必要となる温水便座、全自動洗濯機を除く電気製品を小屋内に配置し、視覚面でも住宅内の電力負荷を再現。

表 5-3 実験装置で使用した電気製品及び制御方法

区分	No	電気製品名	容量・消費電力	制御方法
空調設備	1	壁掛け式エアコン	冷房能力2.8kW 1070W	プログラムタイマー付きリモコン
照明設備	2	リビング照明	蛍光灯38W+30W	PC制御リレー
	3	台所照明	蛍光灯37W×2	PC制御リレー
	4	寝室照明	蛍光灯38W+30W	PC制御リレー
	5	浴室・洗面所照明	電球型蛍光灯13W×2	PC制御リレー
換気設備	6	レンジフード	風量445m ³ /h 30W	PC制御リレー
家電製品	7	掃除機	1000W	PC制御リレー
	8	冷凍冷蔵庫	容量350L:電動機102W 電熱機193W	24時間連続稼働
	9	温水洗浄便座	温水500W、温風350W、 便座50W	24時間連続稼働
	10	液晶テレビ	40型 95W	内蔵タイマー
	11	パソコン	デスクトップ型 90W	PC制御指令(LAN)
	12	全自動洗濯機	洗濯容量7kg 400W	内蔵タイマー
	13	ドライヤー	1200W	PC制御リレー

(3) 蓄電池、太陽光発電

蓄放電実験に使用する定置型蓄電池として、蓄電容量、放電出力、安全性（メーカーによるモニタリングの有無）を検討し、蓄電池は容量6.2kWhのものを選定した。表5-4に蓄電池の仕様を示す。太陽光発電装置は2kW（既設）のものを使用する。

(4) 環境データの計測

装置周辺環境の情報取得のため、以下のような計測をあわせて実施した。

- ・外界気象データを複合気象センサー（（風向・風速、気温、湿度、気圧、雨量）、強制通風型）で計測し、気象概要の把握を行うとともに、エアコン室外機の環境データとして活用する。
- ・太陽電池パネルの発電効率を検討するために、全天日射計と太陽電池パネル温度センサーを設置し太陽電池まわりの環境データを計測する。
- ・蓄電池の作動環境と蓄放電効率の相関性について検討するために、蓄電池表面温度センサーを設置し蓄電池まわりの環境データを計測する。
- ・電気製品を設置している小屋内に温度センサーを設置し、実験装置まわりの室内環境データを計測する。

表5-4 実験装置で使用した定置型蓄電池の仕様

項目		内容
特性・機能	製品型番	POWER IE 6
	電池種類	リン酸鉄リチウム
	蓄電容量	6.2kWh
	入力電圧	単相3線 100/200V
	出力電圧	通常時：単相3線 100/200V 停電時：単相2線 100V
	定格出力	通常時：3,000W / 停電時：2,000W
	出力時間	通常時：100分 / 停電時：150分
	外形寸法	W 980 × D 310 × H 1,060 mm
	重量	約 186kg (架台含む)
	系統連系	電圧型電流制御方式
	自立運転	自動出力 (単相 100V 出力)
	モニタリング	インターネット回線を利用してシステムの稼働状況を遠隔でモニター監視 (無料)
	外部制御機能	ECHONET Lite
設置環境	動作温度範囲	-10℃～-40℃ (外気温度)
	動作湿度範囲	5%～95% (結露なきこと)
	保存温度範囲	-25℃～65℃
	標高	1,000m以下
	騒音レベル	40 d B以下
	設置環境	屋外設置
	側面離隔距離	両側面に600mm (メンテナンスのため)
	背面離隔距離	100mm以上
	電線引込み口	筐体下部
	冷却版排気口	無し

(5) 計測・制御システム

LabVIEW システム開発ソフトウェア (販売者：National Instruments、以下「LabVIEW」とする。) によるプログラム制御、及び蓄電池や電機製品に備えられたタイマー設定、モード選択等を組み合わせて使用し、蓄放電実験装置における給電コントロール、電力負荷コントロール、データ計測・記録の作業を高精度かつ自動的に行うものとする。

①電力給電コントロール

- ・定置型蓄電池が備えている作動プログラム (タイマーによって充電時間、放電時間を設定) を使用して、各ケースの運用サイクルに基づいた蓄電池の満充電、全放電を行う。
- ・定置型蓄電池が備えている作動プログラム (太陽電池と連携して充電するモードを選択)

を使用して、太陽電池と連携するケースの運用サイクルに基づいた蓄電池の満充電、全放電を行う。

- ・蓄電池の放電、太陽光発電の給電を上回る電力負荷に対しては系統電力から給電する。

②電力データ等の計測・記録

- ・データ計測の間隔は最小1秒間とし変更可能なものとする。充放電実験を各ケース3日間行う場合は、ケースごとに最大259,200データを記録する。
- ・蓄電池の充電-放電を行いながら、3系統の回路上の電流/電圧、8系統の電気製品の電流/電圧を連続的に計測する。
- ・環境データとして、全天日射量、太陽電池パネル温度、蓄電池まわりの気象データ、蓄電池表面温度、小屋内温度を計測する。

③自動計測システム

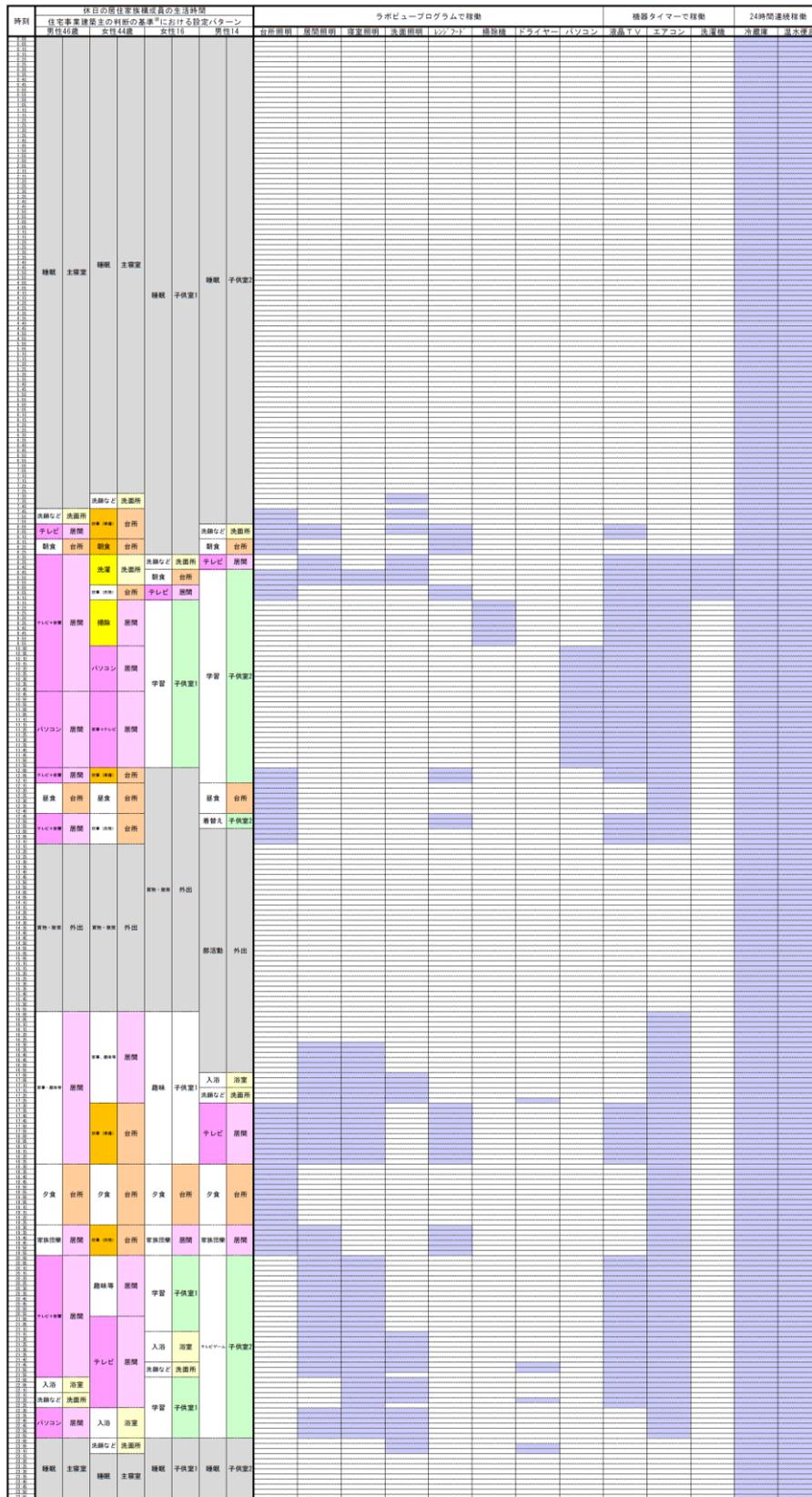
- ・電力データ、環境データの自動計測システムとして、市販の遠隔計測監視システムを採用する。
- ・同遠隔監視システムは計装信号(DC電圧・電流、パルス、接点)や温度、電力を混在で計測・遠隔監視可能なデータロガーシステムであり、各種データ通信に対応しネットワークでも運用できる。
- ・同遠隔計測監視システムを採用することにより、複数台のクランプ電力計が必要だった多点の電力計測も多点で一括入力が可能になる。また1枚のCFカードに全データを記録することができる。

④電力負荷コントロール

- ・既存文献¹⁾より4人世帯の生活パターン(この生活パターンは、NHKによる国民生活時間調査の結果を利用して、住宅内での各家族要員(会社員、専業主婦、高校生、中学生)の生活行動をモデル化したもので、省エネルギー基準における住宅事業建築主基準に使用されている。)を参考として13種類の電気製品ごとに平日、休日の24時間の使用時間を設定し、住宅における電力負荷パターンを作成する。ただし、元の4人世帯とは電化製数が異なる(20機器)ので、電力消費量としては小世帯のものと見なせる。実験で用いた生活パターンを平日、休日についてそれぞれ図5-10、図5-11に示す。
- ・生活パターンに従ってLabVIEWによるプログラム制御により電気製品のコンセントスイッチのON-OFFを行い、電気製品の使用時間をコントロールする。
- ・液晶TV、壁掛け式エアコン、全自動洗濯機については、各機器が備えているタイマーによって使用時間を調整し、パソコンについては制御用パソコンからの起動・終了命令により使用時間を調整する。
- ・冷凍冷蔵庫、温水洗浄便座は24時間使用するものと想定し、電力負荷パターンにおいてON-OFFは行わないものとする。

時刻	実務用 居室パターン				ラボVIEWプログラムで稼働							機器タイマーで稼働		24時間連続稼働		
	男性44歳	女性44歳	女性16	男性14	音源制御	照明制御	空調制御	洗濯制御	レンジフード	掃除機	ドライヤー	パソコン	洗濯機	エアコン	洗濯機	湯水管理
00:00																
01:00																
02:00																
03:00																
04:00																
05:00																
06:00																
07:00																
08:00																
09:00																
10:00																
11:00																
12:00																
13:00																
14:00																
15:00																
16:00																
17:00																
18:00																
19:00																
20:00																
21:00																
22:00																
23:00																
24:00																

図5-10 実験で使用する生活パターン（平日）



※住宅事業種客全の利根の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説（財団法人 建築環境・省エネルギー機構）より

図5-1-1 実験で使用する生活パターン（休日）

(6) 各種機器の設置

各種機器の設置状況を写真5-1～写真5-8に示す。

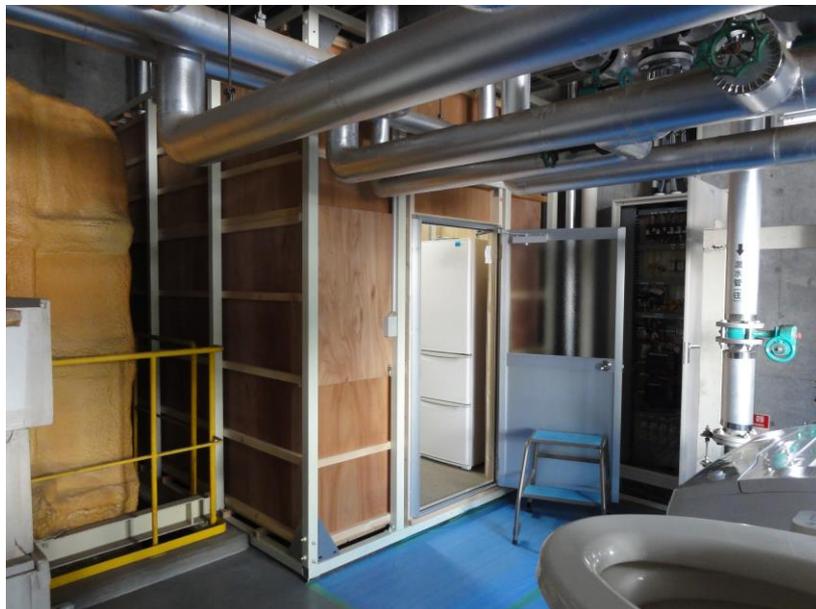


写真5-1 生活空間を模擬する小屋の設置状況



写真5-2 小屋内の電化製品の設置状況



写真 5 - 3 水関係の生活機器の設置状況



写真 5 - 4 蓄電装置の設置状況



写真 5 - 5 太陽光発電装置の設置状況（既設）



写真 5 - 6 複合気象センサーの設置状況

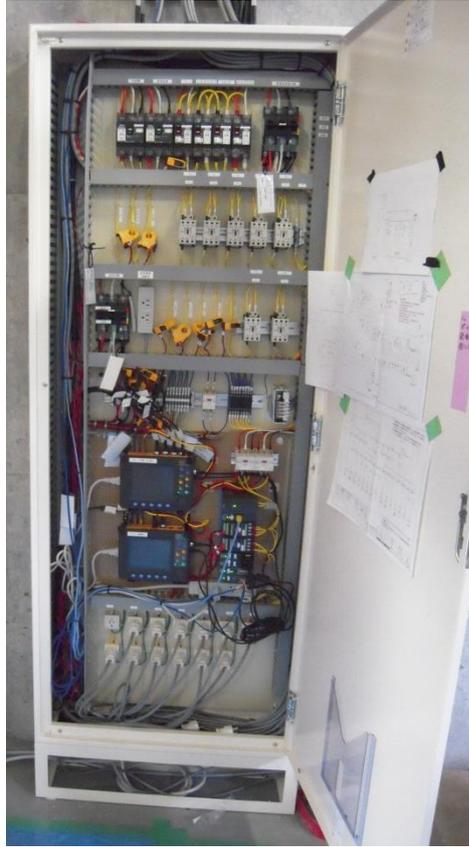


写真 5 - 7 分電盤の設置状況

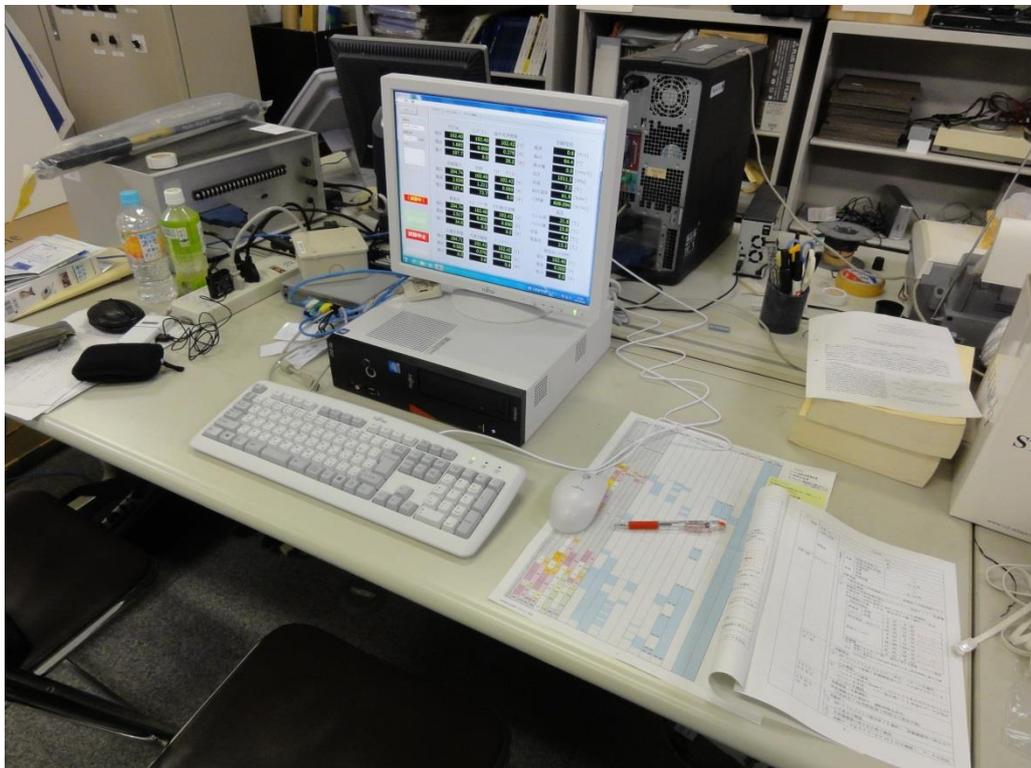


写真 5 - 8 計測制御パソコンの設置状況

5.3.2 一定放電実験による蓄電池の部分負荷特性

(1) 実験概要

蓄電池の部分負荷状態の放電特性を把握するために、系統電力を遮断した状態で出力の比率を変えたケースごとに定量放電実験を行う。蓄電池に満充電した状態で定格出力の100、75、50、25%の定量放電を行う。このとき、系統電力は遮断した状態として、今回開発した蓄放電実験装置上で蓄電池の放電量のモニター値を確認し、放電がなくなったところで、設備機器を停止する。放電開始から放電終了までの放電の推移を計測し、時間放電量を集計して累積放電量を把握した。蓄電池に与える部分負荷は、電気製品（照明類、レンジフード、掃除機、ドライヤー等）を組み合わせることで各水準を作成する。

(2) 実験結果

深夜に満充電した状態で定格出力の100、85、70、50、25%の定量放電を行った場合の設備機器の電力使用量及び蓄電池の放電の推移を図5-12～図5-16に示す。各ケースの蓄電池の放電と家電機器の消費は、両者がバランスし、一定値で推移している。全てのケースで放電終了時まで無事定量放電が行われた。

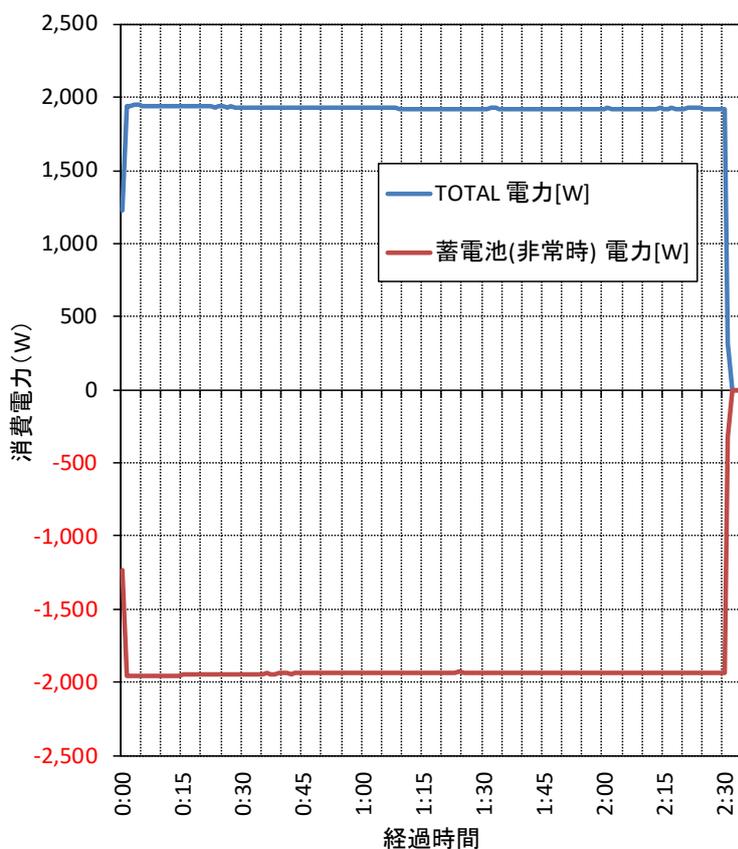


図5-12 定格出力の100% (約2,000W) の放電を行った場合

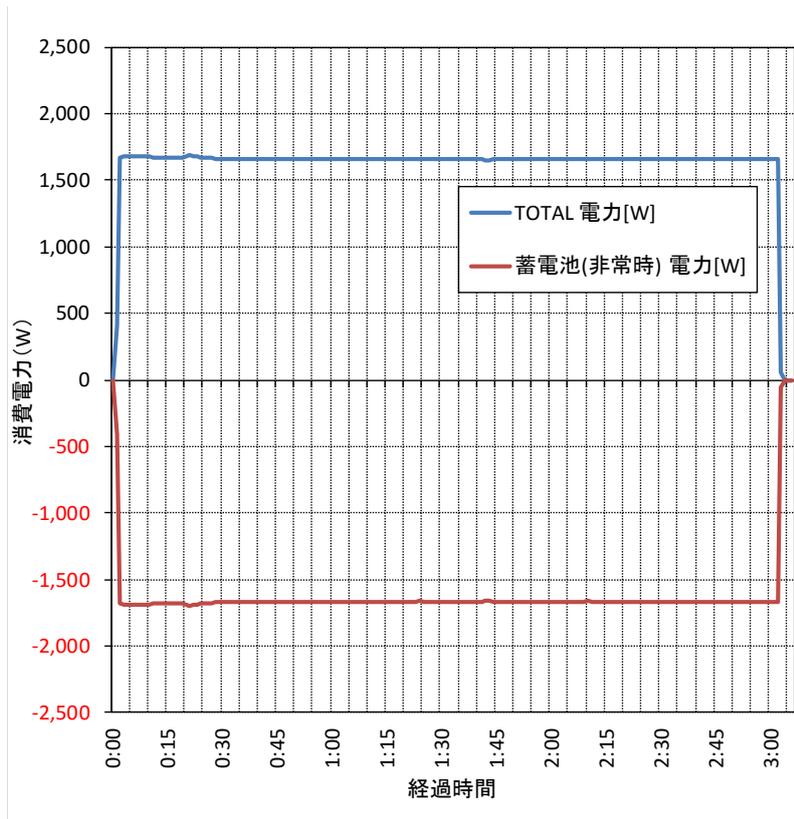


図 5 - 1 3 定格出力の 85% (約 1,700W) の放電を行った場合

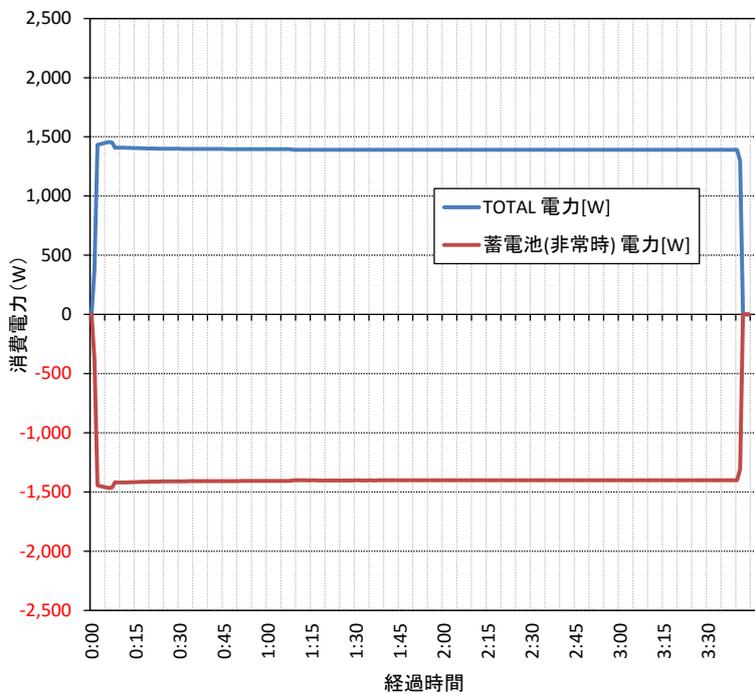


図 5 - 1 4 定格出力の 70% (約 1,400W) の放電を行った場合

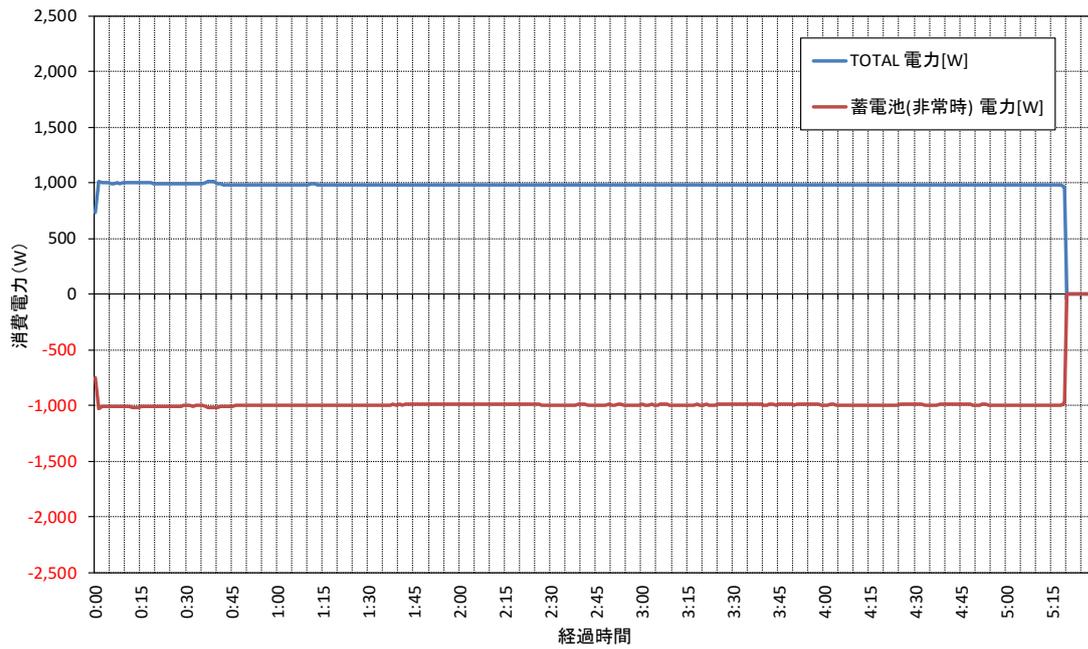


図5-15 定格出力の50% (約1,000W) の放電を行った場合

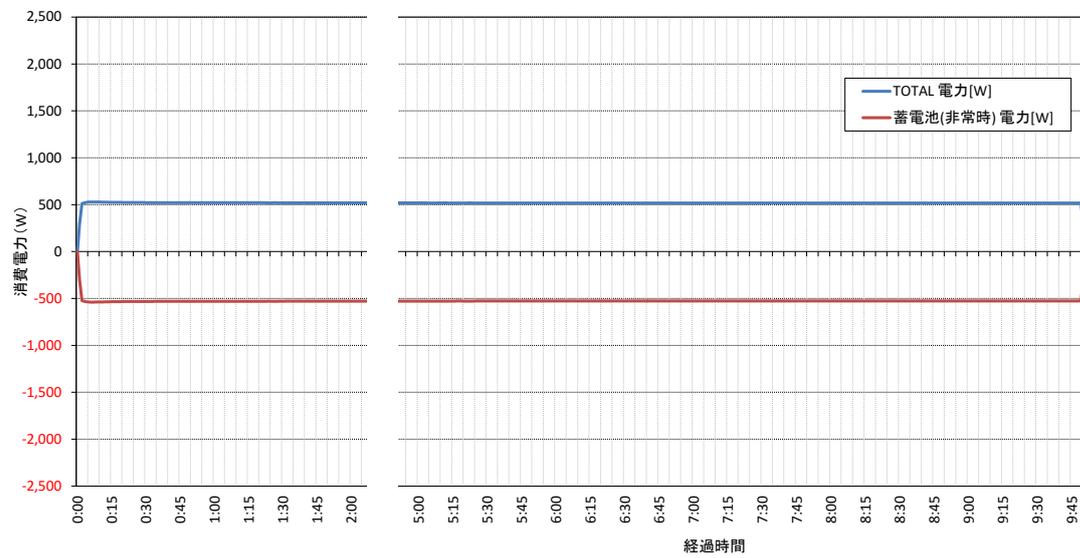


図5-16 定格出力の25% (約500W) の放電を行った場合

実験結果を表5-5に示す。蓄電池は充電時に自家消費を行っているため、総充電量から自家消費量を引いた値を充電量とし、充電量と放電量の差から放電ロスを算出した。充電量は各ケースとも約6,900Wh程度であるが、放電量はケースAで約4,864Wh、ケースBで約5,043Wh、ケースCで約5,157Whと定格出力の大きいケースAから順に多くなり、ケースDで最も多く約5,295Whとなったのち、ケースEで約5,188Whとやや減少する。放電ロスも同様に、ケースAで約30%、ケースBで約27%、ケースCで約25%、ケースDで約24%、ケースEで約25%となる。

表5-5 一定放電実験の結果

ケース	機器の電力消費 (W)	①	②	③	④	充電時間 (h)	⑤
		放電量 (Wh)	放電時間 (h)	総充電量 (Wh)	自家消費量 (Wh)		充電量 (Wh) (②-③)
A 定格出力の100%	1,925	4,864	2.51	6,986	97	3.11	29.4
B 定格出力の85%	1,658	5,043	3.03	7,025	102	3.09	27.2
C 定格出力の70%	1,395	5,157	3.67	6,978	109	3.12	24.9
D 定格出力の50%	984	5,295	5.32	7,059	105	3.16	23.9
E 定格出力の25%	518	5,188	9.82	7,050	109	3.16	25.2

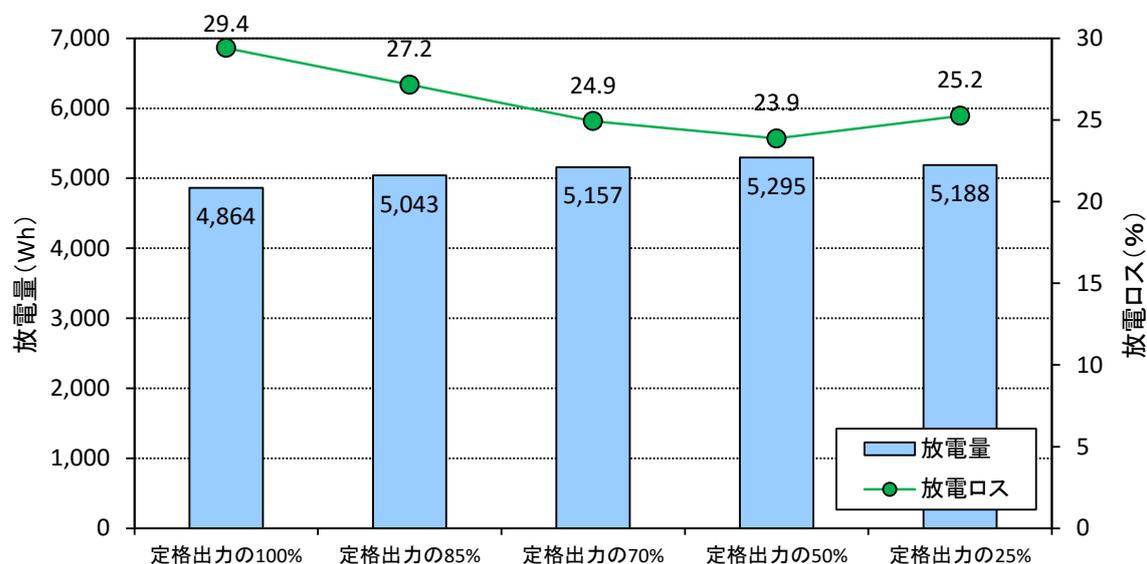


図5-17 蓄電池の部分負荷特性

部分負荷と累積放電量及び放電ロスとの関係を図5-17に示す。定格出力の50%において放電ロスが最も小さくなる理由として、放電が多いと放電時間が少なく蓄電池の自己消費電力が抑制されるが、電流増に伴う抵抗の増大がロスにつながるため、両者の効果が作用して、結果的にこのような放電ロスとして現れていると考えられる。

5.3.3 生活を模擬した蓄放電実験

(1) 実験概要

今回作成した蓄放電実験装置を用いて生活スケジュールを設定し、生活を模擬した蓄放電実験を実施した。蓄放電実験は、以下の6ケースを実施した。実施期間は平成27年1月23日から2月26日である。

- ・ケース1：平日の生活パターン、深夜蓄電(0～6時)・昼間放電(6～24時)
- ・ケース2：平日の生活パターン、深夜から夕方蓄電(0～16時)・夕方以降放電(16時～24時)＋太陽光発電
- ・ケース3：平日の生活パターン、昼間蓄電(9～16時)・夜間放電(16時～翌6時)＋太陽光発電
- ・ケース4：休日の生活パターン、深夜蓄電(0～6時)・昼間放電(6～24時)
- ・ケース5：休日の生活パターン、深夜から夕方蓄電(0～16時)・夕方以降放電(16時～24時)＋太陽光発電
- ・ケース6：休日の生活パターン、昼間蓄電(9～16時)・夜間放電(16時～翌6時)＋太陽光発電

(2) 実験結果

天候や装置の切り替え作業などの関係から、1日を通じたデータ取得が行えたのは、ケース1(1/24、1/25)、ケース2(1/27、1/28)、ケース3(1/31、2/1)、ケース4(2/7、2/8、2/9)、ケース5(2/11、2/12)、ケース6(2/14、2/15)の計13日であった。ケース1からケース3から各ケース1日を選択し、以下に各種電力の挙動、電気機器の消費電力の挙動、環境温度等の挙動を示しながら特徴を説明する。

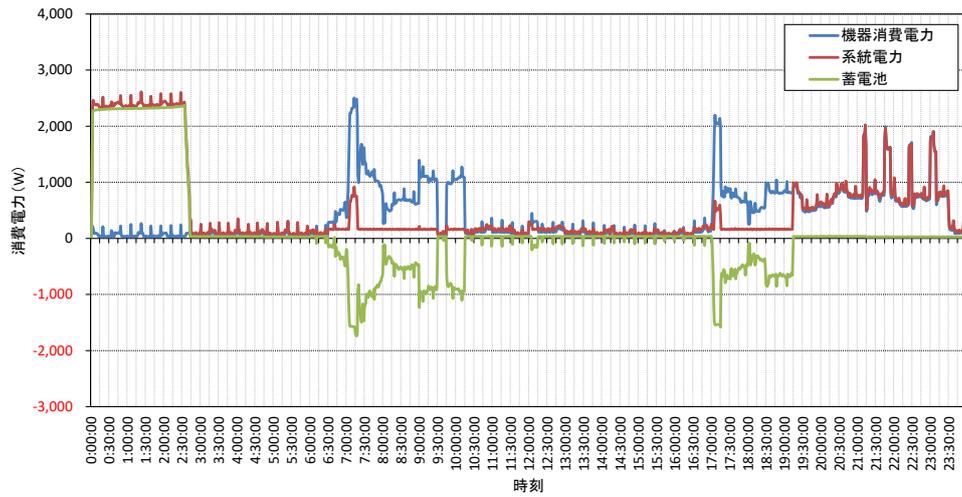
図5-18は、ケース1(1/24)の結果である。深夜の0時～3時で満充電となり、朝の消費電力ピーク時(6時半～10時半)と夜の消費電力ピーク時(17時～19時半)に放電を行い、19時半以降は電池残量がなくなったため、放電が停止している(図5-18(a))。なお、蓄電池は安全な電力供給のため、放電設定時間中でも系統電力から常に150W程度の供給を受けており、機器の電力使用量が150Wを超えない場合は蓄電池の放電を行わず、系統電力から供給を受ける設定になっているため、電力消費が150Wを超えない昼の10時半

～17時の間は放電が行われていない。電気製品の電力消費は朝夕のエアコンの稼働、午前の掃除機、夜間のドライヤーが大きく、温水便座の加熱に要するサイクリックな電力消費が1日を通して見られる(図5-18(b))。また、蓄電池の待機電力の関係から温度は外気温度より終始高く、特に蓄電時、放電時に温度が高まる様子がわかる(図5-18(c))。

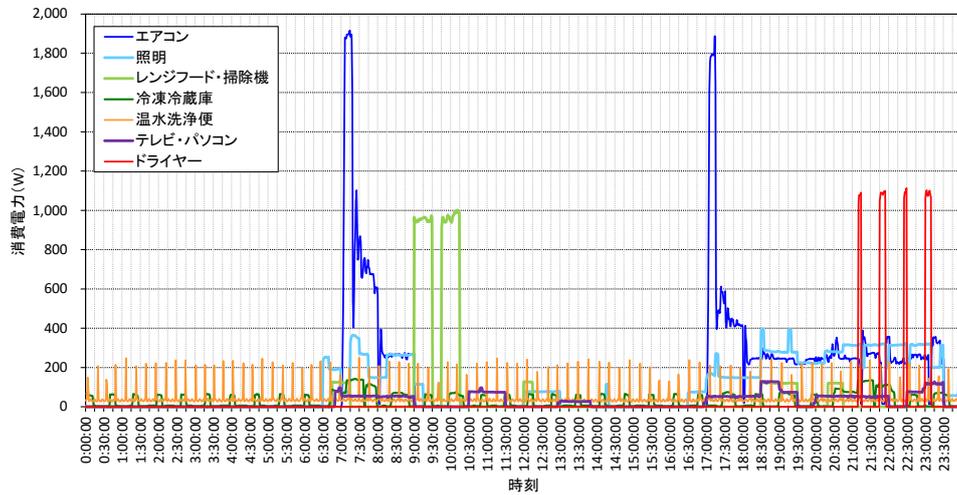
図5-19は、ケース2(1/24)の結果である。蓄電池は深夜の0時～3時で満充電となるが、瞬間ではあるが9時半頃に再び充電を行っている。日中には機器消費電力を上回る太陽発電が行われたため、発電の1部は逆潮となっている。夕方から夜にかけて機器消費電力は蓄電池が負担する(図5-19(a))。電化製品の挙動はケース1と同様である(図5-19(b))。また、夕方以降は蓄電池の稼働に伴い表面温度が高くなり、暖房室温に近い温度で推移している(図5-19(c))。

図5-20は、ケース3(1/31)の結果である。太陽光発電は家電機器の消費電力に使用され、余剰分が蓄電池に充電される。ただし、蓄電池の充電に際し、太陽光発電の余剰分が足りない場合には系統電力から補われている。蓄電池は9時～11時半で満充電となり、それ以降の太陽光発電はケース2と同様ほとんどが逆潮流(余剰電力が電力会社線側に戻ることにまわされる。夕方以降は放電を行い、22時半以降は電池残量がなくなったため、放電が停止している(図5-20(a))。電化製品の挙動はケース1、2と同様である(図5-20(b))。また、午前中の充電に伴い、蓄電池の表面温度が高くなっている(図5-20(c))。

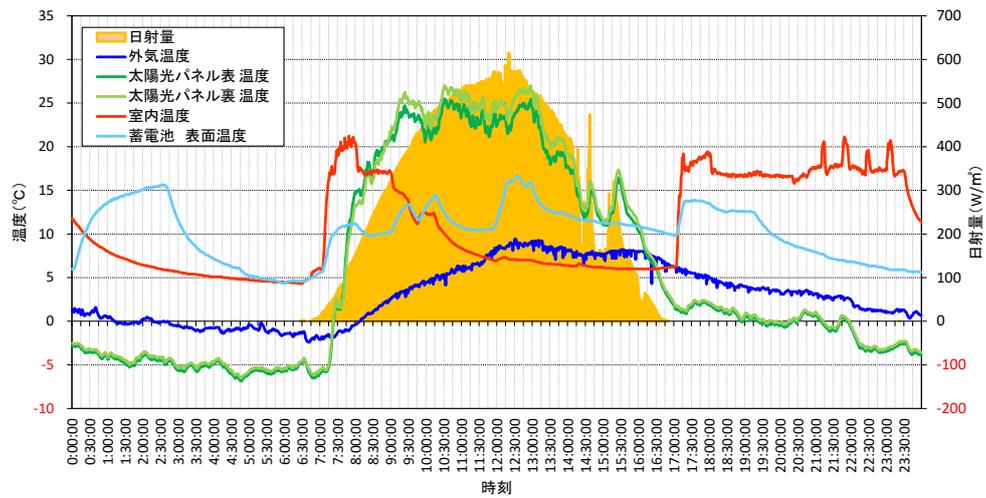
ケース4～6は休日の生活パターンとなっており、ケース1～3とは電化製品の使用パターンが若干異なる。個々の図は示さないが、上記で述べた主要な特徴は同様であった。



(a) 各種電力の挙動

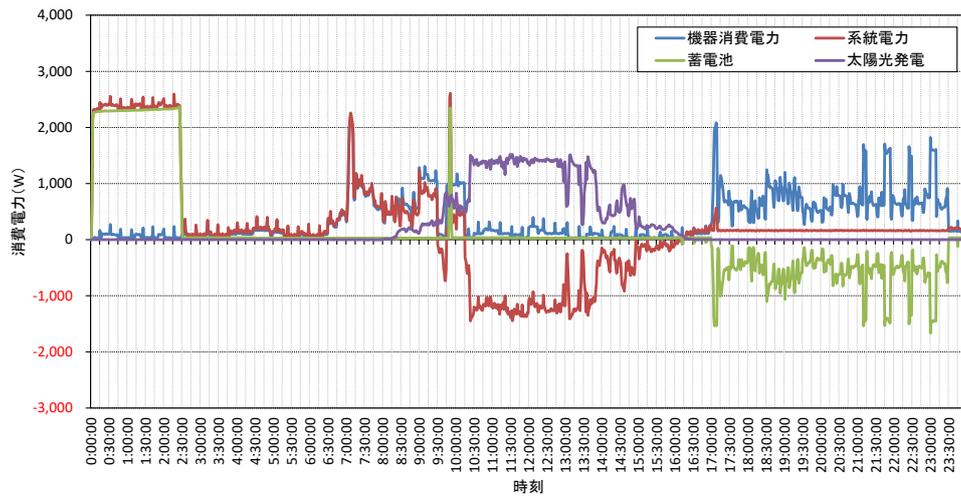


(b) 電化製品の電力消費の挙動

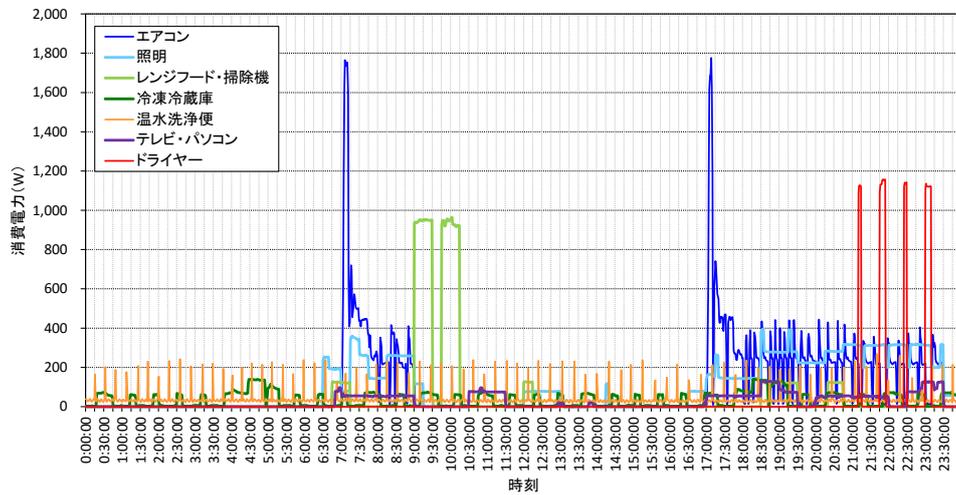


(c) 環境温度等の挙動

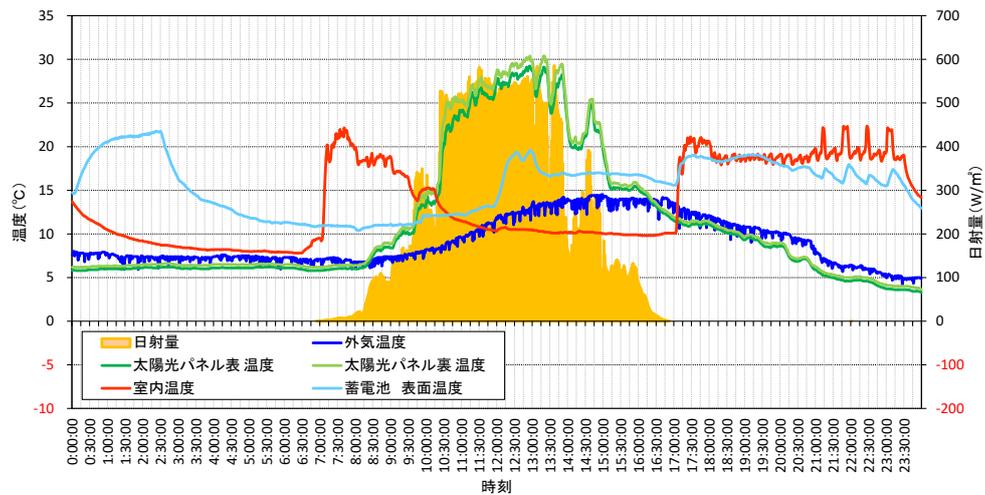
図5-18 ケース1の計測結果 (2015年1月24日)



(a) 各種電力の挙動

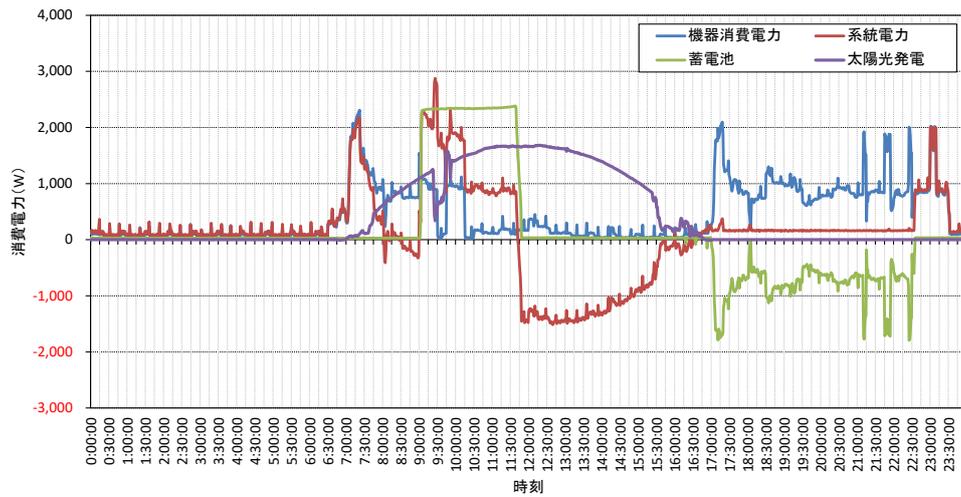


(b) 電化製品の電力消費の挙動

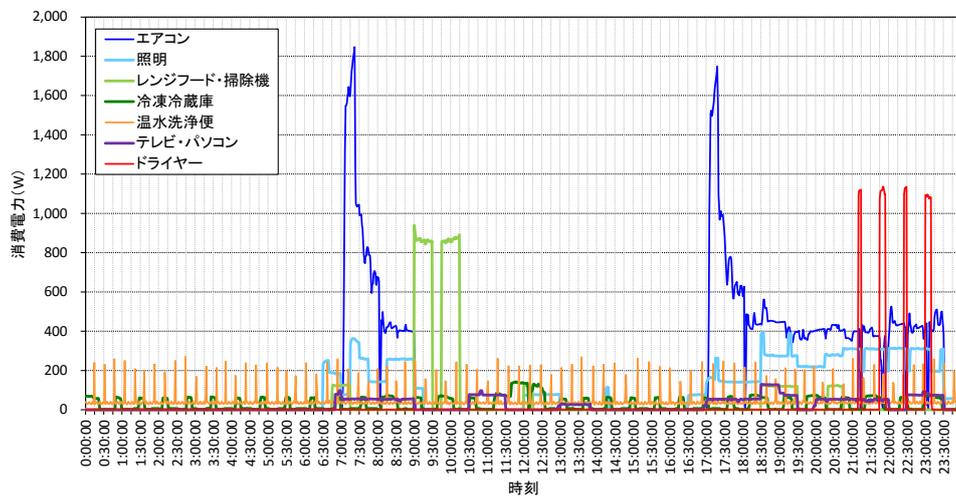


(c) 環境温度等の挙動

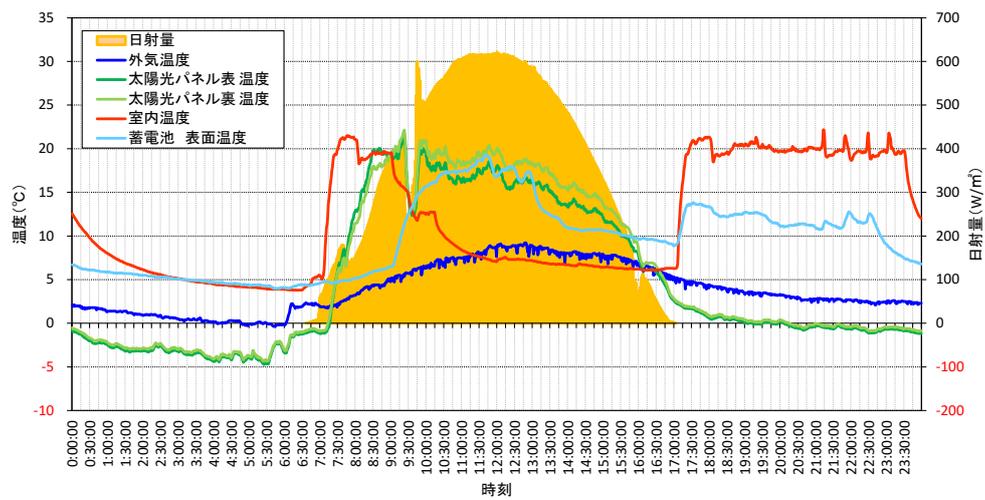
図5-19 ケース2の計測結果 (2015年1月27日)



(a) 各種電力の挙動



(b) 電化製品の電力消費の挙動



(c) 環境温度等の挙動

図5-20 ケース3の計測結果 (2015年1月31日)

(3)集計

各ケースの計測結果を各日で集計し、今回用いた電気製品の電力消費量（計測値）を基準とし、系統電力の日削減率、系統電力のピーク対策時間帯（8～22 時）の削減率を整理した。集計結果を表 5－6 に一覧する。

ケース 1、ケース 4 において、蓄電池の利用は電力ピーク削減率 40～48%をもたらすが、日削減とはならず、20～30%程度の電力増となる。

ケース 2、ケース 5 では太陽光発電が入り、日削減率がプラスに転じ、平日は 5%以下、休日は 15～20%となった。休日の削減率が向上した理由は、エアコンの稼働が、平日に比べて朝方は遅れ夕方は早まるため、太陽光発電の利用が進んだためである。ピーク削減率で見ると、全体的に 70～80%の高い数値が得られており、休日の数値が平日より高い。

ケース 3、ケース 6 では太陽光発電を日中に充電することで、日削減率は平日 20%、休日 40%となり、それぞれ向上する。一方、ピーク削減効果は平日 30%、休日 40%に低下する。これは、日中の蓄電が太陽光発電を上まわり、系統電力を消費したためである。

表 5－6 蓄放電実験の結果

電力日 削減率[%]	ケース 1			ケース 2		ケース 3	
	1/24	1/25		1/27	1/28	1/31	2/1
	-23.0	-20.2		0.8	4.9	22.9	22.7
電力ピーク 削減率[%]	ケース 4			ケース 5		ケース 6	
	2/7	2/8	2/9	2/11	2/12	2/14	2/15
	-22.3	-24.3	-30.8	15.5	20.1	40.3	37.5
電力日 削減率[%]	ケース 1			ケース 2		ケース 3	
	1/24	1/25		1/27	1/28	1/31	2/1
	42.0	45.5		68.0	74.4	32.1	33.4
電力ピーク 削減率[%]	ケース 4			ケース 5		ケース 6	
	2/7	2/8	2/9	2/11	2/12	2/14	2/15
	46.9	47.7	40.0	80.4	82.3	41.5	36.8

5.4 簡易ソフトウェアの開発及び蓄電設備の分析

5.4.1 簡易ソフトウェアの開発

実験で得られた計測データを用いて、住宅への蓄電池の導入効果を簡易に試算できるソフトウェアを作成した。簡易ソフトウェアの概要を以下に示す。

(1) 家電機器の消費電力および稼働条件

各家電機器の消費電力は実験ケース 1～3 の実測値から平均して算出した。消費電力の設定値を表 5-7 に示す。参考に、各電気製品の電力消費の挙動を図 5-2 1～図 5-2 8 に示す。

表 5-7 電気製品の消費電力の設定値

・台所照明	76.7 W
・居間照明	150.2 W
・洗面照明	114.2 W
・寝室照明	57.3 W
・レンジフード	123.1 W
・掃除機	924.5 W
・ドライヤー	1,105.6 W
・パソコン	80.4 W
・液晶テレビ	53.2 W
・洗濯機	118.8 W
・エアコン	1,179.0 W (立ち上がり時) 693.6 W (調整時) 322.7 W (安定時) ※エアコンは立ち上がり、調整、安定と消費電力が変化するため、それぞれの時間を入力する。
・温水洗浄便座	32.5 W (電力消費 少) 393.2 W (電力消費 多) ※温水洗浄便座は消費電力の少ない時間と多い時間が一定のサイクルで繰り返されるため、それぞれの時間を入力する。
・冷凍冷蔵庫	3.6 W (電力消費 少) 65.7 W (電力消費 多) ※冷凍冷蔵庫は消費電力の少ない時間と多い時間が一定のサイクルで繰り返されるため、それぞれの時間を入力する。

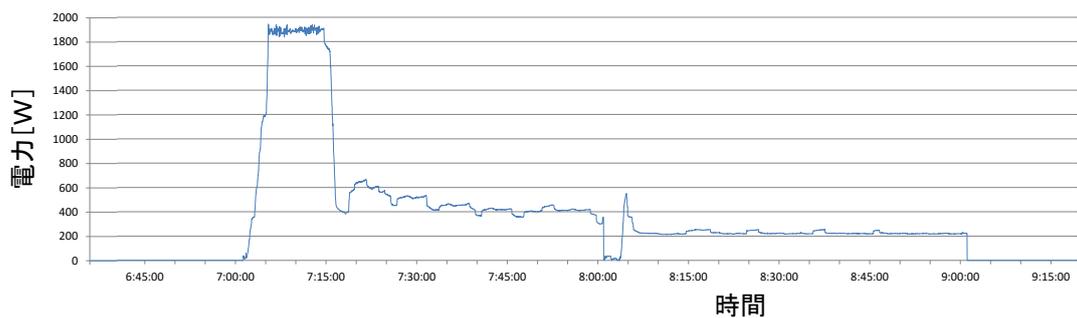


図5-21 エアコンの電力消費量の挙動

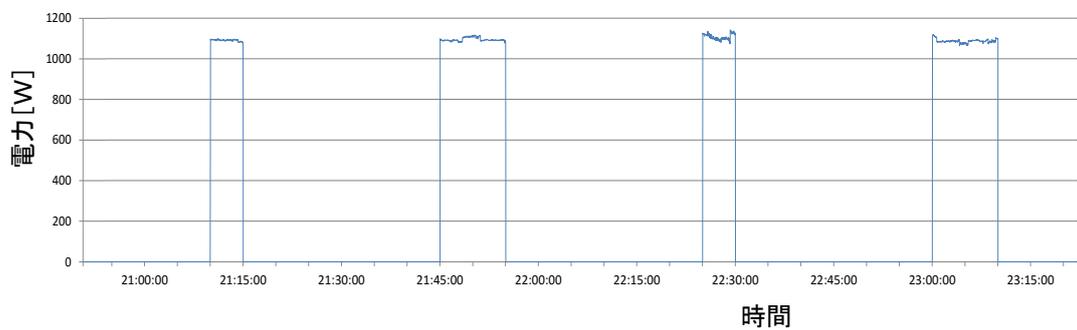


図5-22 ドライヤーの電力消費量の挙動

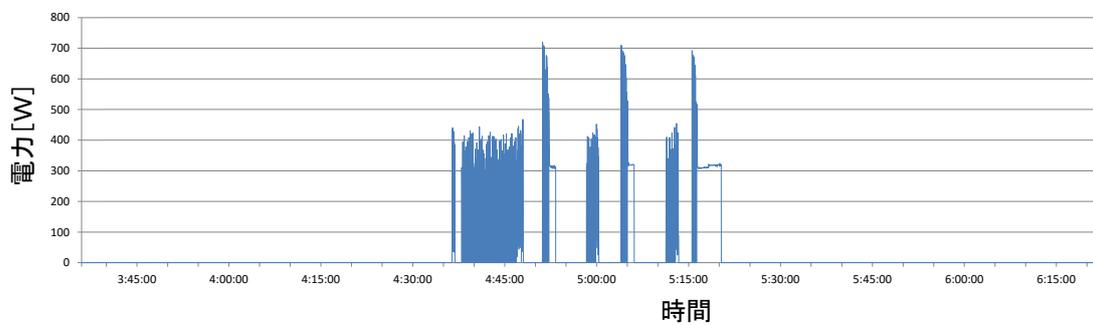


図5-23 洗濯機の電力消費量の挙動

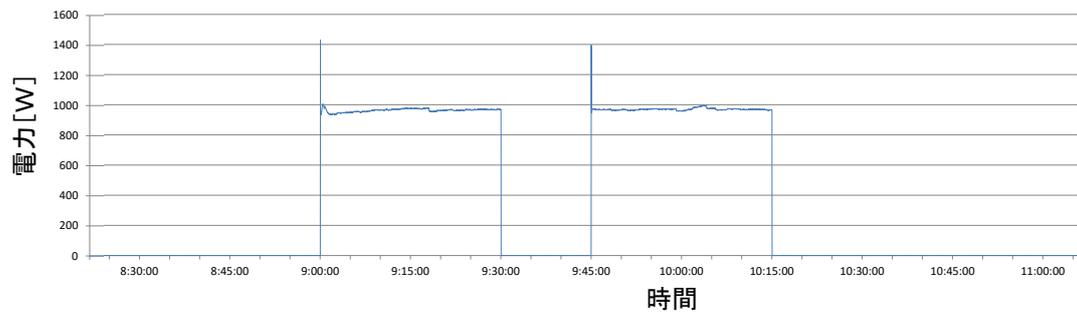


図5-24 掃除機の電力消費量の挙動

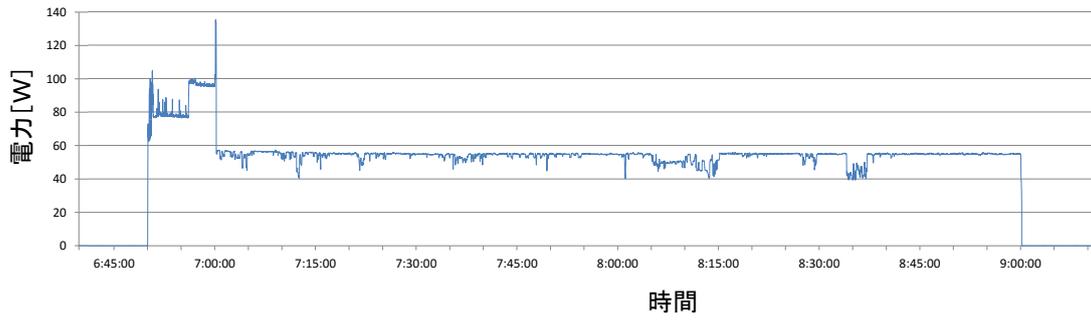


図5-25 40型液晶テレビの電力消費量の挙動

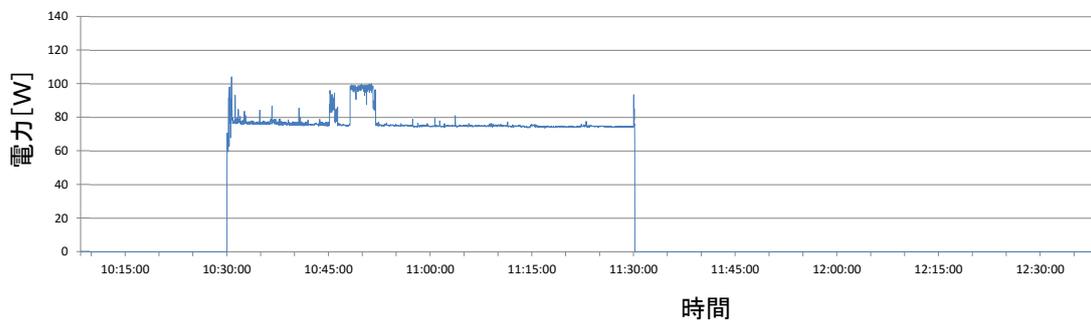


図5-26 デスクトップパソコンの電力消費量の挙動

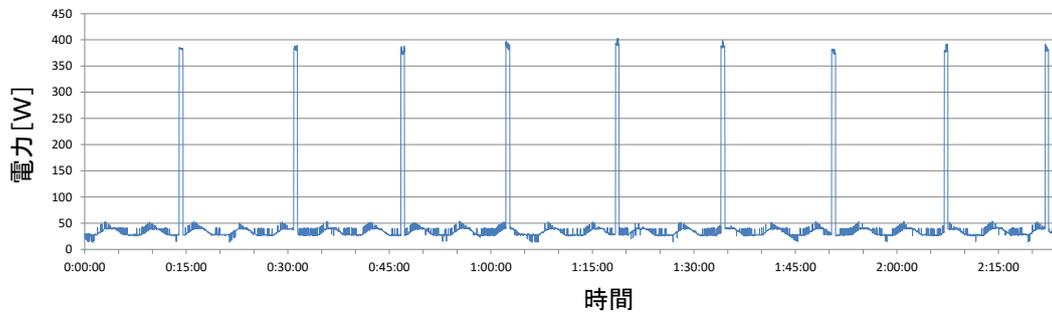


図5-27 温水便座の電力消費量の挙動

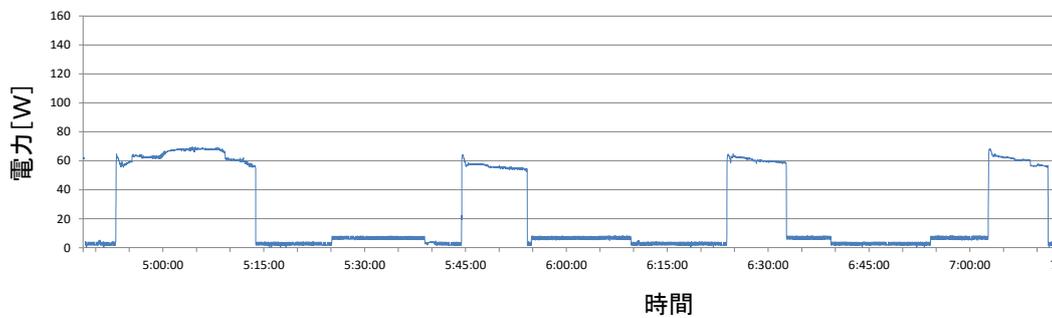


図5-28 冷凍冷蔵庫の電力消費量の挙動

(2) 太陽光発電の発電量および稼働条件

太陽光発電は、NEDOの年間特別日射量データベース (METPV-11) より、地点を「つくば」とし、太陽光発電パネルの傾斜角30°、方位が真南で多照年における最も日積算日射量が多い日の斜面日射量から、下記の計算式を用いて、各月の発電量を算定した。

■ 太陽光発電量の算定式

$$E_{\text{sys}} = K_h \times K_{\text{pcs}} \times E_{\text{light}} \times \text{発電容量 (kW)} \quad (5.2)$$

E_{sys} : 単位容量あたりの推定発電量[kWh]

K_h : 補正係数^{※1}

K_{pcs} : パワーコンディショナ変換効率^{※2}

E_{light} : 時刻別の日射量[kWh/m²]

※1 太陽光発電協会 表示ガイドライン (平成 26 年度) より、結晶系シリコン太陽電池の下記の値を使用 (表 5-8)。

表 5-8 各月の太陽光発電の補正係数

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
補正係数	0.9	0.9	0.9	0.85	0.85	0.8	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.9

※2 各メーカーの変換効率が 0.93~0.97 程度のため、0.95 と設定。

(3) 電池の充放電および稼働条件

実験で使用した蓄電池の仕様を下記に示す。なお、充電量、自家消費量については、実測値を平均して算出した。

- ・ 定格電池容量 : 6,208 Wh
- ・ 定格出力 : 3,000 W (常用)、2,000 W (非常用)
- ・ 充電量 : 2,257.1 Wh
- ・ 自家消費量 : 32.1 W
- ・ 電池残量[※] : 0%, 10%, 20%, 30%から選択可能。(実験時は10%とした)

※放電の際に、電池残量で設定した割合分の蓄電池の定格電池容量を残して放電する設定。

また、放電時には、電力の安定確保のため、系統電力から常に 150W が供給されることになっている。そのため、電力消費が 150W を超えない場合は、放電設定時間中であっても蓄電池の放電は行われず、系統電力からの供給となる。

これらの実験結果から、シミュレーターの蓄電池の充電、放電条件を下記のように設定した。

■充電

- 1) 総充電量 < 定格電池容量 の場合、充電量分を充電
- 2) 総充電量が定格電池容量に達した場合、充電設定時間中であっても充電停止

■放電

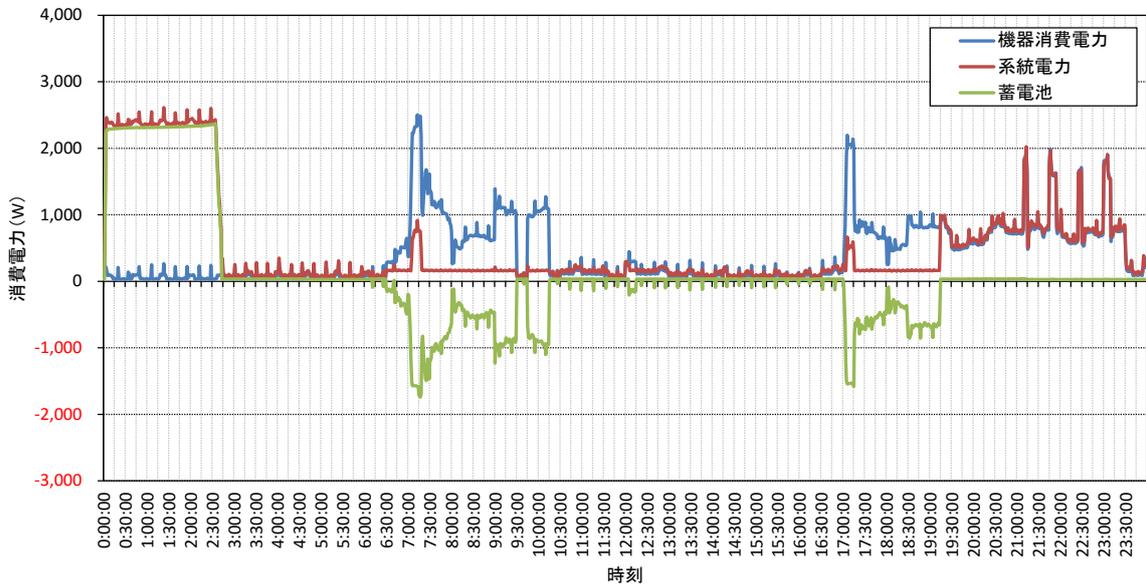
- 1) 総充電量 ≤ 定格電池容量 × 電池残量 または 総充電量が放電量に満たない場合、放電設定時間中であっても、放電停止。
- 2) 機器の電力消費 - 太陽光発電量 < 系統電力確保分 (150W) の場合、放電設定時間中であっても、放電はなし。
- 3) $0 \leq$ 機器の電力消費 - 太陽光発電量 - 系統電力確保分 (150W) < 定格出力 (3,000W) の場合、負荷追従放電。
- 4) 定格出力 (3,000W) ≤ 機器の電力消費 - 太陽光発電量 - 系統電力確保分 (150W) の場合、定格出力 (3,000W) 分を放電。

5.4.2 観測値による検証

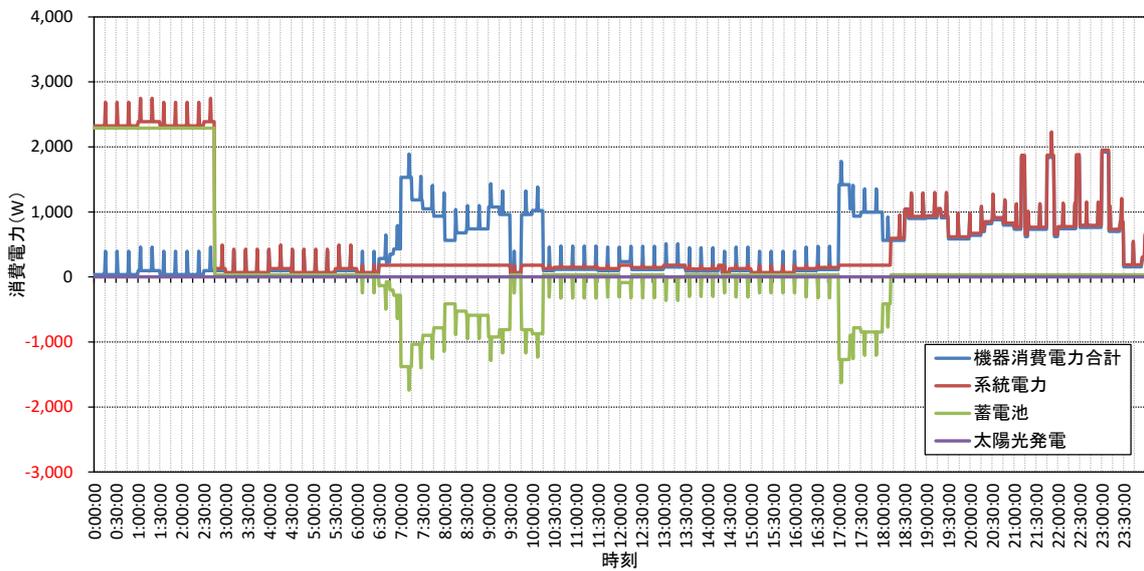
ケース1～3の実測結果と簡易ソフトウェアの計算結果を比較したのが表5-9である。ケース毎に複数日の平均処理を行っている。相対誤差は、充電量 1.2～9.3%、放電量 5.1～14.5%、機器電力消費量 4.7～13.6%、太陽光発電量（ケース1除く）4.9～54.0%であった。ケース3の放電量は計算より観測が大きく、蓄電池の部分負荷特性の影響が考えられる。また、太陽光発電の計算では快晴時を前提とするため日射量の少なかったケース2では実測値との乖離が大きくなっている。各ケースの日挙動を図5-29～図5-31に示す。

表5-9 簡易ソフトウェアの算出結果と観測値の比較

	ケース1			ケース2			ケース3		
	実測 (Wh/日)	シミュレーション (Wh/日)	誤差 (%)	実測 (Wh/日)	シミュレーション (Wh/日)	誤差 (%)	実測 (Wh/日)	シミュレーション (Wh/日)	誤差 (%)
① 総充電量	6,435	6,786	5.5	6,137	6,808	10.9	6,750	6,808	0.9
② 蓄電池消費電力量	413	579	40.2	456	601	31.9	523	505	3.4
③ 充電量 (①-②)	6,021	6,207	3.1	5,681	6,207	9.3	6,227	6,303	1.2
④ 放電量	3,994	3,791	5.1	4,036	3,764	6.7	4,402	3,764	14.5
⑤ 機器電力消費量	9,669	10,470	8.3	9,217	10,470	13.6	10,984	10,470	4.7
⑥ 太陽光発電量	0	0	-	7,173	11,049	54.0	10,536	11,049	4.9
⑦ 自家消費量 (①+⑤-(④+⑥))	12,109	13,466	11.2	4,146	2,466	40.5	2,795	2,466	11.8

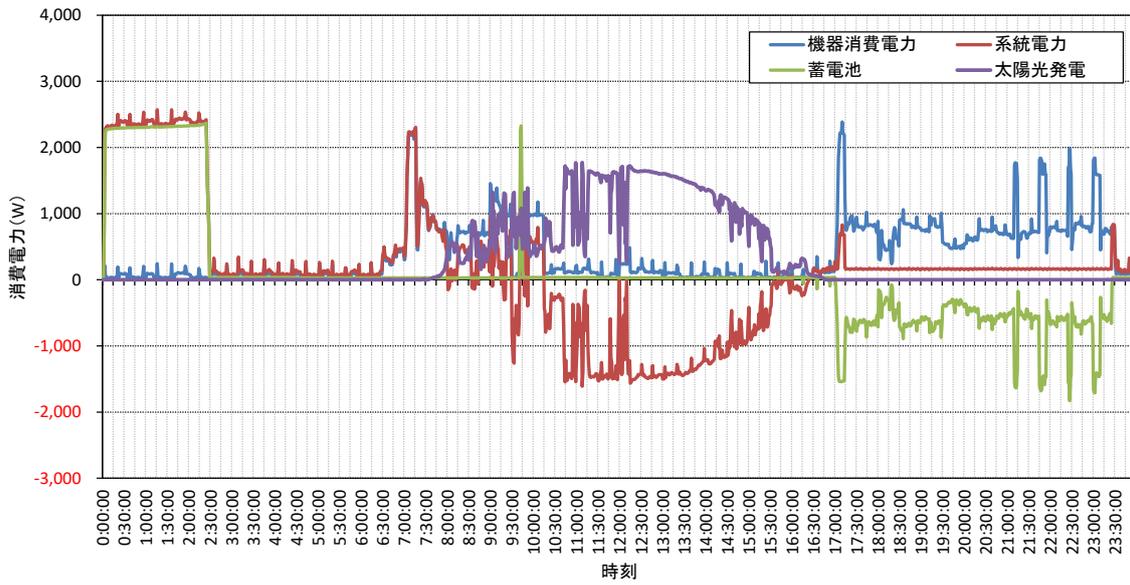


(a) 実測結果

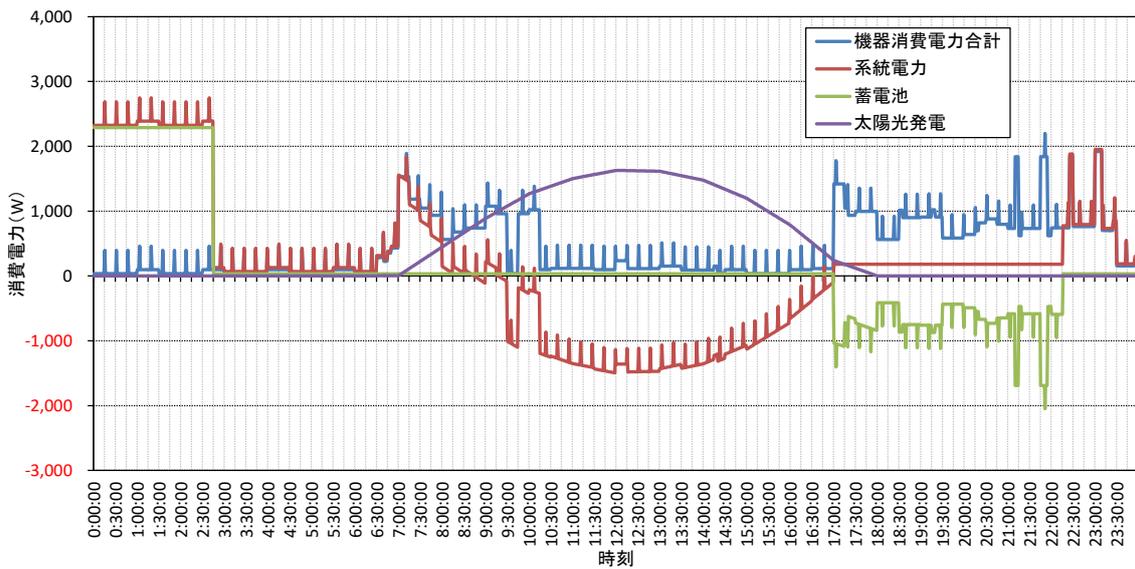


(b) 計算結果

図5-29 簡易ソフトウェアの計算値と実測値の比較（ケース1、2015年1月24日）

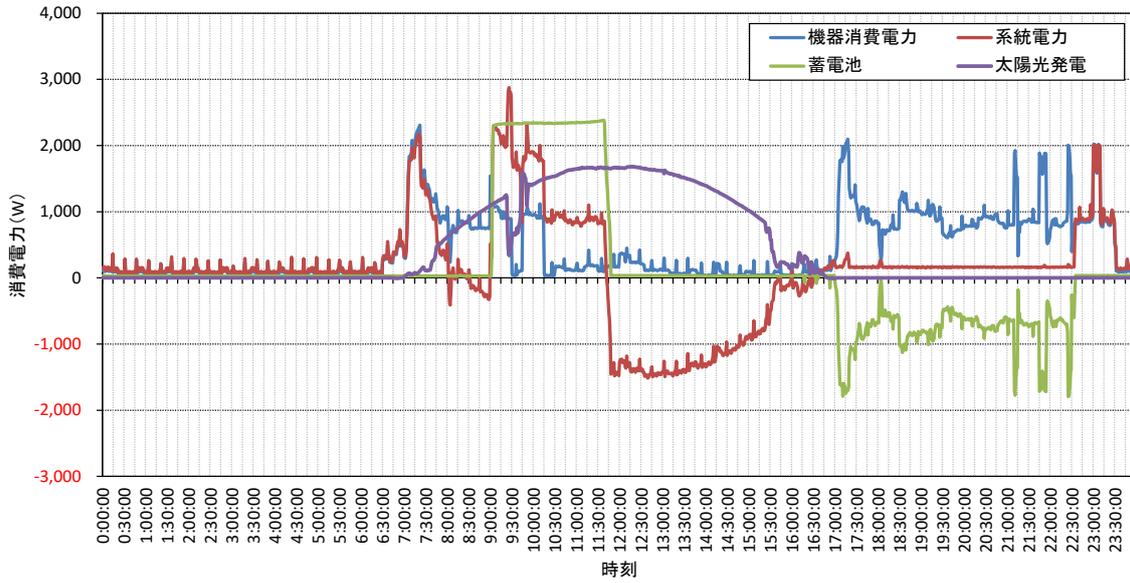


(a) 実測結果

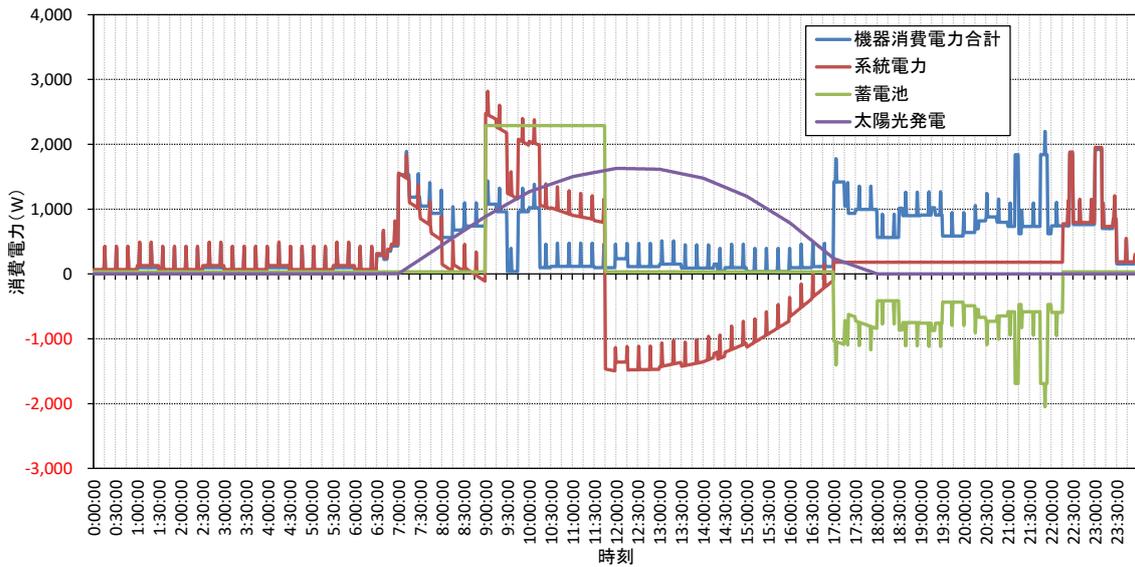


(b) 計算結果

図 5-30 簡易ソフトウェアの計算値と実測値の比較 (ケース 2、2015 年 1 月 28 日)



(a) 実測結果



(b) 計算結果

図 5-31 簡易ソフトウェアの計算値と実測値の比較 (ケース 3、2015 年 1 月 31 日)

5.4.3 簡易ソフトウェアによる蓄電設備の分析

(1) シミュレーションの設定条件

1) 世帯モデル

簡易ソフトウェアによる蓄電設備の分析を行うに当たり、世帯モデルを設定した。表5-10に世帯モデルを示す。標準世帯（4人家族）と小世帯（2人家族）の2つの世帯規模を考え、居住者の特性ごとに5つの世帯モデルを設定した。

表5-10 世帯モデル

世帯モデル	居住者特性	生活パターン
標準世帯A	<ul style="list-style-type: none"> 夫婦2人+子供2人（世帯人数4人(子供は高校生、中学生) 妻は専業主婦（平日昼間に在宅） 	平日（冬期）
標準世帯B	<ul style="list-style-type: none"> 夫婦2人+子供2人（世帯人数4人(子供は高校生、中学生) 夫婦共稼ぎ（平日昼間は不在） 	平日（冬期）
小世帯A	<ul style="list-style-type: none"> 若年夫婦（世帯人数2～3人(子供は乳幼児)） 妻は専業主婦（平日昼間に在宅） 	平日（冬期）
小世帯B	<ul style="list-style-type: none"> 若年夫婦（世帯人数2～3人(子供は乳幼児)） 夫婦共稼ぎ（平日昼間は不在） 	平日（冬期）
小世帯C	<ul style="list-style-type: none"> 高齢者夫婦（世帯人数2人） 平日昼間に夫婦が在宅 	平日（冬期）

世帯規模と電化製品の構成を図5-32に示す。省エネ基準の4人世帯は、(a)標準世帯（4人家族）に相当する。標準世帯から点線部分を除くと、小世帯（2人家族）となり、この規模の住宅が蓄放電実験の検討対象に相当する。

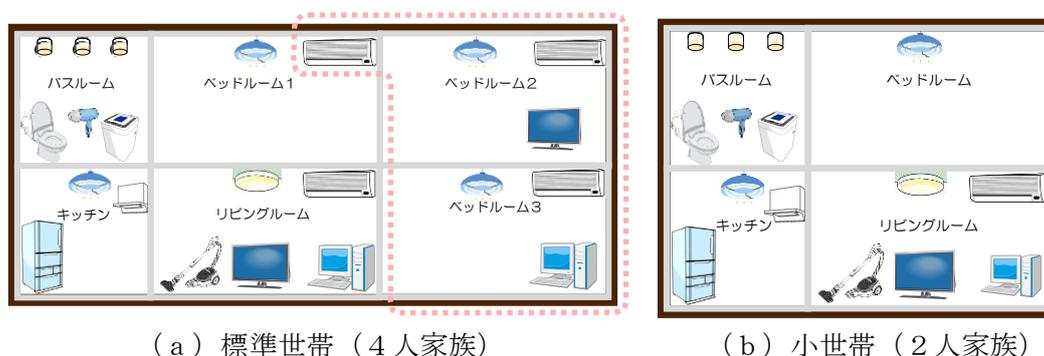


図5-32 世帯規模と電化製品の構成

2) シミュレーションの設定条件

5つの世帯モデルにおける平日（冬期）の生活パターンについて、太陽光発電や蓄電池の有無、蓄電池の充放電設定時間等により4つの検討ケースを設定し、計算を行う。また、各検討ケースにおいて、年間日射量地域区分や太陽光発電及び蓄電池の容量を変更した場合についても検討する。検討ケースを表5-11、表5-12に示す。ケースIで太陽光発電、ケースIIで蓄電池（充電：0～6時）、ケースIIIは太陽光と蓄電池（充電：0～6時）、ケースIVは太陽光と蓄電池（充電：9～16時）である。

表5-11 シミュレーション検討ケース(1/2)

検討ケース		ケース0 (基準)	ケースI				ケースII	
			I-0	I-1	I-2	I-3	II-0	II-1
太陽光 発電	有無	×	○	○	○	○	×	×
	年間日射量 地域区分*	A3	A3	A2	A5	A3	A3	A3
	容量(kW)	—	2.0kW	2.0kW	2.0kW	4.0kW	—	—
蓄電池	有無	×	×	×	×	×	○	○
	容量(kWh)	—	—	—	—	—	6.2kWh	12.0kWh
	充電時間	—	—	—	—	—	0～6時	0～6時
	放電時間	—	—	—	—	—	6～24時	6～24時

※A3：茨城県つくば市、A2：宮城県仙台市、A5：静岡県浜松市 として検討

表5-12 シミュレーション検討ケース(2/2)

検討ケース		ケースIII				ケースIV			
		III-0	III-1	III-2	III-3	IV-0	IV-1	IV-2	IV-3
太陽光 発電	有無	○	○	○	○	○	○	○	○
	年間日射量 地域区分*	A3	A2	A5	A3	A3	A2	A5	A3
	容量(kW)	2.0kW	2.0kW	2.0kW	4.0kW	2.0kW	2.0kW	2.0kW	4.0kW
蓄電池	有無	○	○	○	○	○	○	○	○
	容量(kWh)	6.2kWh	6.2kWh	6.2kWh	12.0kWh	6.2kWh	6.2kWh	6.2kWh	12.0kWh
	充電時間	0～6時	0～6時	0～6時	0～6時	9～16時	9～16時	9～16時	9～16時
	放電時間	16～24時	16～24時	16～24時	16～24時	16～翌6時	16～翌6時	16～翌6時	16～翌6時

※A3：茨城県つくば市、A2：宮城県仙台市、A5：静岡県浜松市 として検討

(2) シミュレーション結果

電力消費量の算出結果を基に、ケース0の結果を基準として、電力日削減率、電力ピーク削減率を求め、表5-13、表5-14にそれぞれ示す。

電力日削減率については、日中の太陽光発電を充電するケースIV-3が最も良い結果が得られており、40～71%の削減効果が見られる。また、太陽光発電を行うケースI-0～3は、9～39%の削減効果が得られる。蓄電池を使用するケースII-0は削減効果が見られず、10%から106%程度のマイナスになる。また、夜間に充電するケースIII-3では3～218%程度のマイナス効果が現れている。これは、夜間の充電で系統電力を多く消費するためで、特に日中に出かける小世帯Bでは蓄電分を使い切れていない。

電力ピーク削減率については、日中の太陽光発電を充電するケースIV-3が概ね良い結果が得られており、55～86%の削減効果が見られる。また、夜間に充電するケースIII-3でも効果は高く、削減率は、70～91%程度である。太陽光発電を行うケースI-0～3において削減効果が得られるのは日削減の場合と同様である。ケースII-0では蓄電池の利用による削減効果が現れている。

削減効果が軒並み高く現れた日中の太陽光発電を充電するケースIV-3について、図5-33に各削減率を示す（電力日削減率40～71%、電力ピーク削減率55～86%）。

表5-13 電力日削減率の計算結果 [%]

ケース	標準A	標準B	小世帯A	小世帯B	小世帯C
I-0	18.4	10.3	24.2	28.4	33.4
I-1	16	8.7	20.7	25.7	29.2
I-2	15.6	8.5	20.5	25.2	30.1
I-3	21.3	12.4	28.8	32.3	39.3
II-0	-9.7	-10.8	-15.4	-105.6	-11.6
II-1					
III-0	10.4	1.8	-3.9	-93.7	14.7
III-1	7.7	-0.2	-6.6	-97	12.5
III-2	7.3	-0.3	-7.5	-97.6	11.9
III-3	-3.2	-16.3	-62.3	-218.3	-29.4
IV-0	26	26.5	25.7	-20.3	30.8
IV-1	19.4	19.8	16.1	-37.7	23.4
IV-2	18.6	18.9	14	-40.7	21.9
IV-3	69.9	71.2	57.8	40.7	56.4

表 5-14 電力ピーク削減率の計算結果 [%]

ケース	標準 A	標準 B	小世帯 A	小世帯 B	小世帯 C
I-0	21.8	12.1	30.5	40.9	42.1
I-1	19.3	10.6	26.8	39	37.3
I-2	19	10.6	26.9	39.2	38.7
I-3	24	13	34.2	40.9	47.9
II-0	33.8	35.7	59.4	32.8	33.9
II-1					
III-0	68.1	66.7	81.1	69.3	86
III-1	65.2	64.8	78.5	66.4	83.9
III-2	65	64.9	77.5	66.3	83.3
III-3	90.6	90	84	70	88
IV-0	33.9	36.8	29.4	-41.1	40.3
IV-1	26.2	28.5	17.4	-67.7	31.4
IV-2	25.3	27.5	14.9	-71.9	29.7
IV-3	79.4	85.9	70.9	54.5	72.2

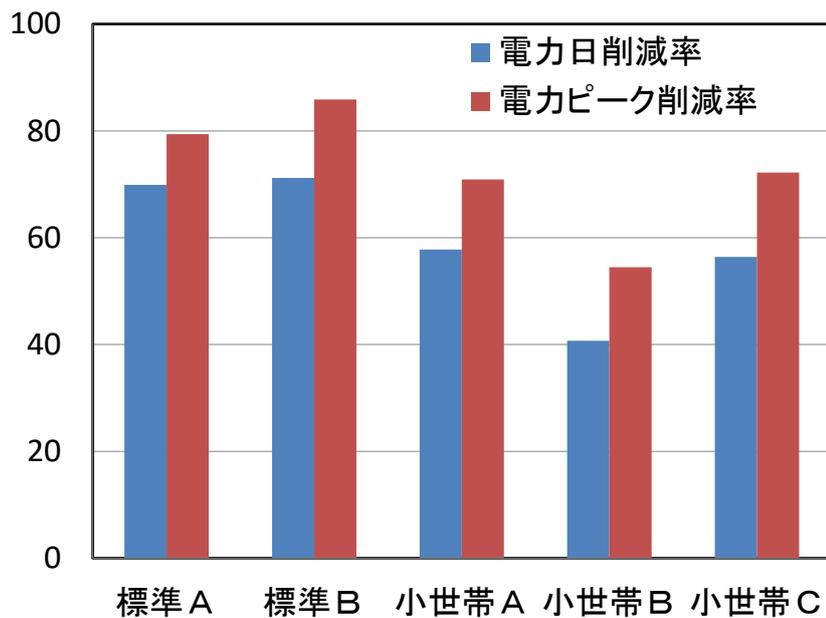


図 5-33 削減率 (ケース IV-3) [%]

5.5 まとめ

住宅の蓄電設備に関する調査を実施し、以下の知見を得た。

- ①市場の蓄電システムのカタログ情報より、補助金を差し引いた蓄電システムの電力単価は平成26年7月時点において平均28.2円/kWhであること、蓄電池メーカーへのアンケート調査により、蓄電池は太陽光発電との連携で今後市場性を見込めるが、運用方法に技術指針策定の要望があることなどがわかった。
- ②家電機器を用いて生活パターンをコンピュータ制御で模擬的に再現し、蓄電池の蓄放電量を詳細に計測可能な蓄放電実験装置を開発し、蓄電池の導入により電力ピーク削減率が37～82%期待できるが、夜間充電を行うと放電ロスにより電力の日総量は22～31%増加すること、太陽光発電と組み合わせると電力の日総量は16～40%のプラスに転じることが示された。
- ③実験で取得した電力消費の機器特性データを組み合わせて、世帯規模や地域、装置容量が異なる50ケース程度の対策効果の試算を行い、装置容量を適切に設定することで、電力日削減率40～71%、電力ピーク削減率55～86%が得られた。
- ④なお、この試算は冬期の1日を対象としており、通年の評価や建物側の条件で最適解は変わるであろう事を申し添える。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本サステナブル建築協会：住宅事業建築主の判断基準ガイドブック、2009.7

第6章 電力ピーク対策評価システムの開発

6.1 目的

電力ピーク対策技術の適切な設計及び普及を促進させるためには、各々の技術が実際の建築物に導入された場合の年間のエネルギー消費量及びピーク時電力消費量の変化を評価するためのシステムを提供し、各々の効果を定量的に示すことが重要である。本研究では、非住宅建築物の省エネルギー基準におけるエネルギー消費量算定方法をベースに、時々刻々の一次エネルギー消費量及び電力消費量の変化を評価できる電力ピーク対策評価システムを開発し、このシステムを利用して、幾つかの代表的な技術についての評価を試行する。

6.2 電力ピーク対策評価システムの開発

電力ピーク対策評価システムは、国総研及び国立研究開発法人建築研究所が中心となり開発し省エネルギー基準への適否判断のために使用されている「一次エネルギー消費量算定用 Web プログラム」の計算方法をベースに、省エネルギー基準で算出が求められている年間の一次エネルギー消費量だけではなく、時々刻々の電力消費量の変化を評価できるように拡張することにより開発を行う。主な拡張のポイントを次に示す。

- ・ 省エネルギー基準の算定ロジックは、年間のエネルギー消費量を算出することに特化しており、空調負荷は日単位にしか計算をしていない。日単位の負荷を時刻別負荷に分解をすることは困難であるため、空調負荷については、詳細な時刻別の負荷計算（動的負荷計算ソフト newHASP に潜熱蓄熱材の計算モジュールを追加したもの）を新たに組み込んで時々刻々の詳細な空調負荷が算出できるようにする。
- ・ 各設備のエネルギー消費量は日単位でしか計算されていないが、これを時々刻々の値が算出できるように変更する。ただし、計算のロジックについては大きな変更はなく、単に日単位で出力していたものを時刻別に出力するように変更しただけである。従って、年積算値でみると、省エネルギー基準の評価方法と今回開発した評価方法の差は殆どない。
- ・ プログラムの入力ファイルは、省エネルギー基準の Web プログラムと全く同じフォーマットのものとする。従って、省エネルギー基準の Web プログラムの入力ファイルを作れば、今回開発したシステムにおける評価も実施可能である（但し、潜熱蓄熱材や地中熱ヒートポンプ等、一部のシステムについては追加の入力が必要）。
- ・ 地中熱ヒートポンプの計算が可能となるように、地盤のモデルを組み込む。
- ・ 蓄電池の計算が可能となるように、蓄電池の計算モジュールを組み込む。

6.2.1 評価システムの概要

電力ピーク対策評価システムの概要を図6—1に示す。評価を行うためには、建築物の外皮や設備の仕様を入力する必要があるが、これは省エネルギー基準のWebプログラムと共通のものとし、設計計画時レベルの建築設備の情報から計算を行うことができるようにした。ただし、潜熱蓄熱材や地中熱ヒートポンプの評価を行う際には、追加の入力が必要となる。

計算のアルゴリズムは平成25年省エネルギー基準（非住宅建築物）のエネルギー消費量計算方法をベースとし、これを時々刻々の計算ができるように拡張した。平成25年省エネルギー基準の計算方法については、国総研・国立研究開発法人建築研究所監修の「平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説, I. 非住宅建築物」に記載されている。ただし、空調負荷計算については、動的熱負荷計算プログラム（NewHASP）を利用し、潜熱蓄熱材の効果を算定できるように拡張したものを新たに組み込んだ。また、地盤モデルを組み込んで地中熱ヒートポンプによる蓄採熱量を計算できるようにした。さらに、蓄電池設備の計算を追加し、時刻別の蓄放電量を算出できるようにした。

システムの操作方法を図6—2に示す。省エネルギー基準のWebプログラムはグラフィカルユーザインターフェイス（GUI）が実装されているが、本評価システムは現状ではGUIは実装されておらず、コマンドウィンド上でexeファイルを実行することにより計算を行う。計算結果はcsvファイルで出力される。

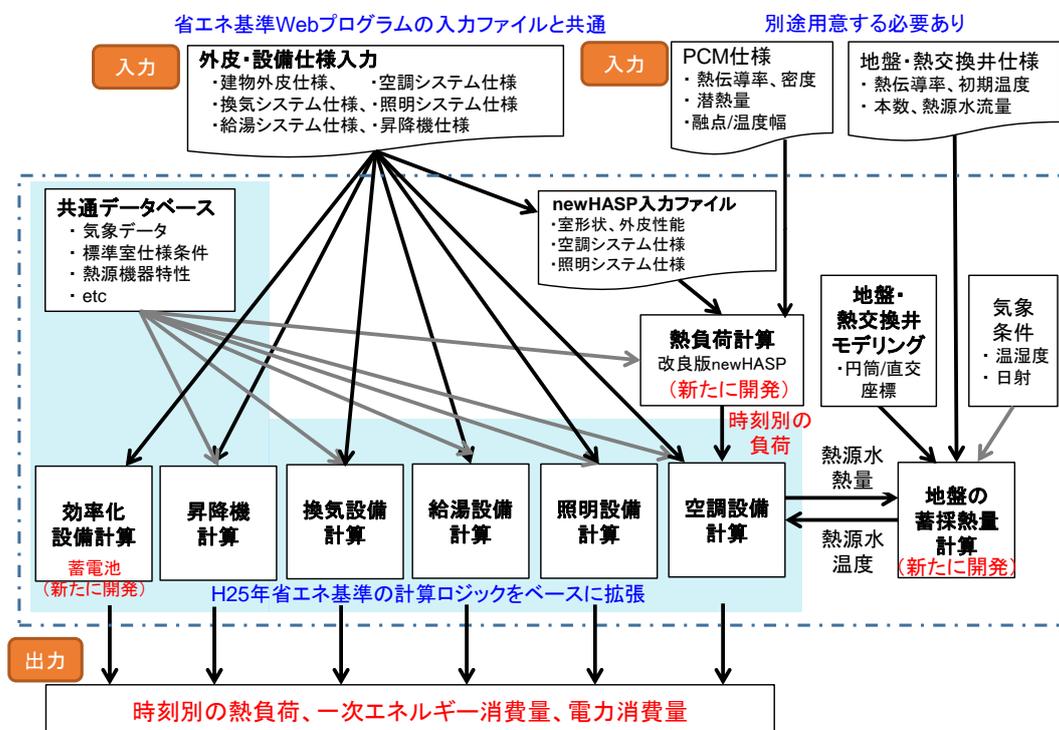


図6—1 電力ピーク対策評価システムの概要

① 建築・設備データの作成(省エネルギー基準プログラムの入力ファイルを利用)

The screenshot shows a software interface for creating building and equipment data. On the left, there is a list of input files with their respective formats (.CSV). On the right, a spreadsheet titled '様式 2-5 (空調) 熱源入力シート' is displayed, showing columns for equipment name, system type, and various energy and power parameters.

熱源名称	設備種別	運転システム	熱源種類	運転単位	台数	試算(%)	冷熱生成				冷却器仕様				
							定額冷却能力	主機定額消費電力	補助電力	一次エネルギー消費電力	電圧	電流	電圧	電流	電圧
HP1	無	有	室外機-トポンプエアコン	1層目	1	7	450	90	20.5						
EHF1-10	無	無	室外機-トポンプ	2層目	1	7	450	100	5.5						
			ビル用マルチエアコン(機形式)	1層目	1	4	604								

② 電力ピーク対策設計支援ツールのプログラム実行(バッチファイルを実行)

```

cmd.exe
経過時間は 13.726485 秒です。
空調負荷計算完了
経過時間は 14.466333 秒です。
空調エネルギー計算完了
経過時間は 25.867750 秒です。
ポンプ負荷計算完了
経過時間は 25.893800 秒です。
ポンプエネルギー計算完了
経過時間は 25.927310 秒です。
熱原負荷計算完了
経過時間は 25.947353 秒です。
熱原エネルギー計算完了
経過時間は 26.004114 秒です。
計算結果取り纏め完了
経過時間は 26.143916 秒です。
出力完了
経過時間は 40.889788 秒です。

E:\j_ksk2015\06建物データ\運用効果\pe>REM ECS_routeB_AC_run_0.exe SYO-M21.xml ON 0 Read 0
E:\j_ksk2015\06建物データ\運用効果\pe>REM ECS_routeB_V_run.exe SYO-M21.xml ON
E:\j_ksk2015\06建物データ\運用効果\pe>REM ECS_routeB_L_run.exe SYO-M21.xml ON
    
```

③ 1年間の各時刻の電力量、一次エネルギー消費量、熱負荷を出力

- calcRES_AC_SYO-M21_20160301...
- calcRESHourly_AC_SYO-M21_201...
- newHASPinput_Z1.txt
- newHASPinput_Z2.txt
- newHASPinput_Z3.txt
- newHASPinput_Z4.txt
- newHASPinput_Z5.txt
- newHASPinput_Z6.txt
- newHASPinput_Z7.txt

図 6—2 電力ピーク対策評価システムの操作方法

6.2.2 評価システムの検証

開発した電力ピーク対策評価システムと省エネルギー基準の Web プログラムの計算結果を比較する。開発したシステムは時刻別の計算、省エネルギー基準の Web プログラムは日別の計算という違いはあるが、計算ロジック自体はほぼ同一であるため、年間値でみると同じ結果が得られるはずである。

3つの地域（準寒冷地、温暖地、蒸暑地）、3つの建物用途（事務所、商業施設（物販店舗）、共同住宅（共用部））について、同一の建築・設備仕様条件で年間一次エネルギー消費量を算出した結果を図6—3に示す。両システムの算定結果に大きな差異がないことが判る。空調の計算結果に多少の差が生じているのは、空調負荷計算方法の際によるものであるが、その差は僅かである。

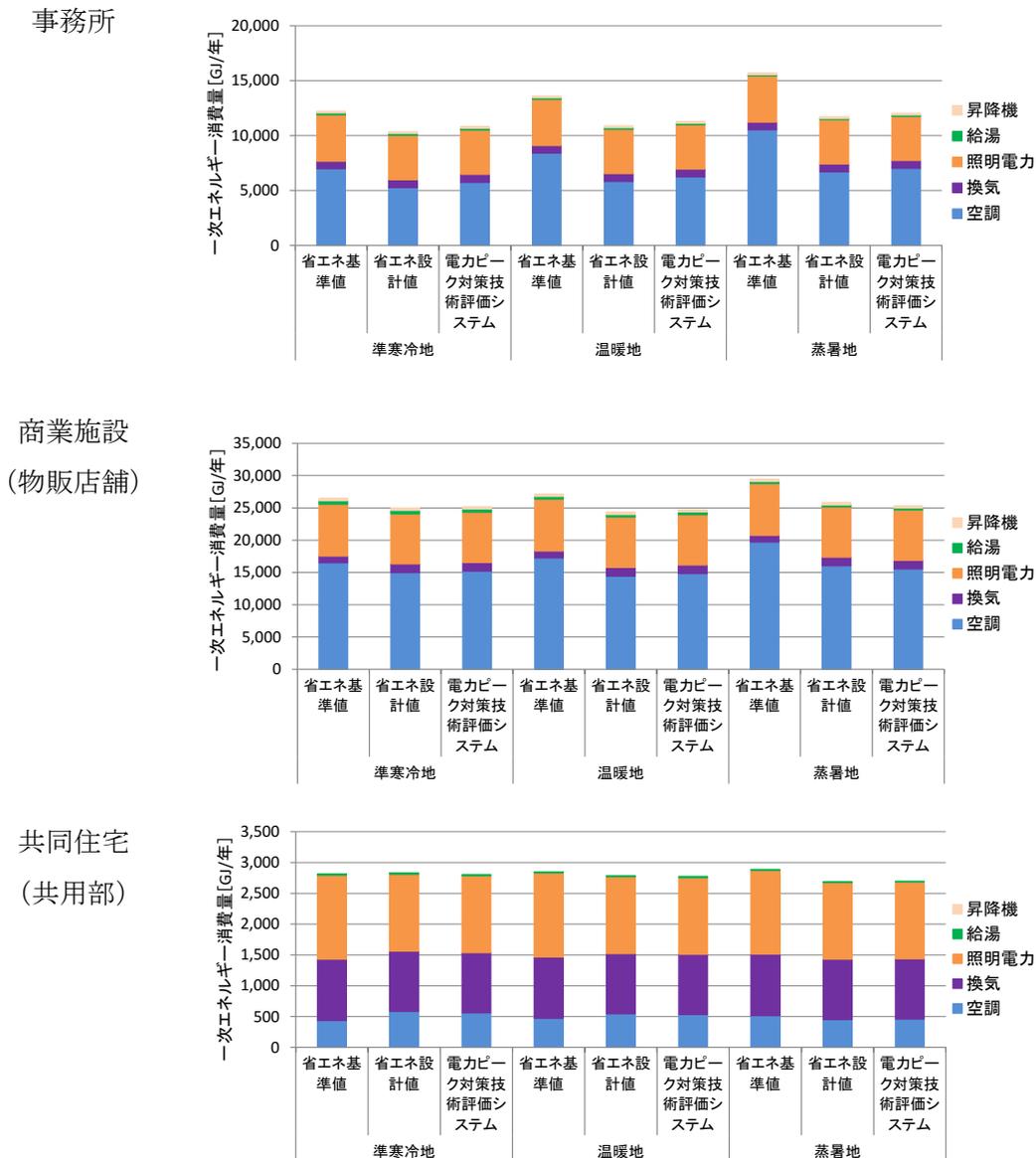


図6—3 電力ピーク対策設計支援ツールの検証

6.3 試算の対象とする電力ピーク対策技術

電力ピーク対策評価システムを用いて試算をする電力ピーク対策技術を決定するために、建築物における電力ピーク対策技術に関する情報の収集・整理を行う。本研究では、電力ピーク対策技術について、以下の3つのグループに分けて整理を行うことにする。

- ①建築的対策
- ②設備的対策
- ③運用的対策

6.3.1 電力ピーク対策技術の調査・整理

建築設備の電力消費に関する省エネルギー対策及びピーク対策について調査・整理を行い効果の期待できる対策を抽出した。調査にあたっては、次の資料やインターネット情報等を参考にした。調査した対策の一覧を表6-1～表6-4に示す。

- ・ 建築・設備の省エネルギー技術指針（非住宅編）、空気調和・衛生工学会
- ・ 建築・設備の省エネルギー技術指針（住宅編）、空気調和・衛生工学会
- ・ 業務用建築における節電対策の定性評価、井上隆
- ・ 住宅における節電対策、前真之
- ・ ビル・建築設備の省エネルギー、中原信生
- ・ 事業者向け省エネ情報、経済産業省
- ・ 夏の省エネルギー対策について、経済産業省
- ・ 冬の省エネルギー対策について、経済産業省

凡例

- ◎ : 比較的大きな対策効果を期待できると想定されるもの
- : 対策効果の期待できると想定されるもの
- 空欄 : 対策効果の期待が少ないもの

(1) 建築的対策

省電力並びに電力ピーク対策の期待できる建築的対策を表6-1に示す。

表6-1 建築的対策

分類	項目	効果		試算対象対策	備考
		省電力	ピーク対策		
負荷抑制	外壁の高断熱化	○	○	●	
	高性能窓ガラスの採用	◎	◎	●	
	エアフローウィンドウの採用	◎	◎	●	
	日射調整フィルムの取付け	○	○	●	
	躯体蓄熱		○		
	潜熱蓄熱材の適用		○	●	
	屋上緑化	○	○	●	
	高反射率塗装	○	○	●	
	保水性建材	○	○		

(2) 設備的対策

省電力並びに電力ピーク対策の期待できる設備的対策を表6-2～表6-3に示す。

表6-2 設備的対策(1)

分類	項目	効果		試算対象対策	備考
		省電力	ピーク対策		
空調	機器の運転台数制御	○			
	高効率熱源機器の導入	◎	◎	●	
	屋外機の散水装置	○	○		
	蓄熱式空調システム	○	◎	●	
	地中熱利用ヒートポンプ空調	◎	◎	●	
	中間期、冬期の外気冷房	○		●	
	局所空調	○			
	大温度差送風空調方式	◎	◎	●	低温送風空調
	変水量制御	◎	○	●	大温度差送水含
	断熱によるダクト、配管の熱損失の最小化	○			
	外気取り入れ制御	◎	○	●	
	変风量制御	◎	◎	●	
	適正なポンプの選定	○			
	高度な変风量制御方式	○			
空調・換気	適正なファン容量の選定	◎			
	ダクトの低圧損化	○			
	空気調和機の低圧損化	○			
	全熱交換器の採用	◎	◎	●	
	電気室、サーバー室の外気冷房	○			

表 6-3 設備的対策 (2)

分類	項目	効果		試算対象対策	備考
		省電力	ピーク対策		
給湯	配管等の高断熱化	○			
照明	執務エリアの照度の緩和	○	○		
	照明区分の細分化	○	○		
	高効率照明器具	◎	◎	●	Hf 蛍光灯、LED
	照明器具材の高効率塗装、反射板の利用	○			
	照明制御 (人感センサー、タイマー等)	◎	◎	●	
エネルギー	蓄電池システムの導入		◎	●	
	コージェネレーションシステムの導入	○	◎		
	太陽光発電の導入	◎	◎	●	
	風力発電の導入	◎			
その他	BEMS の導入	○	○		他設備との併用

(3) 運用的対策

省電力並びに電力ピーク対策の期待できる運用的対策を表 6-4 に示す。

表 6-4 運用的対策

分類	項目	効果		試算対象対策	備考
		省電力	ピーク対策		
空調	室内温度の適正調整	◎	◎	●	政府推奨温度を参考
	空調機器の一斉起動回避		○		運転時間の前倒し、フロアごと時間調整
	空調機器の間欠運転、輪番停止	○	○		
	残業時間の空調制限	○			
	予冷、予熱運転		◎	●	
	躯体蓄熱（連続空調運転）		○		
	CO ₂ 濃度管理の適正化	◎			CO ₂ 濃度（1,000ppm以下）管理
	冷凍機の出口冷水温度の調整				
	冷水・冷却水の流量・圧力の適正化				
	冷凍機・冷却塔のメンテナンス実施				
	ポンプ、ファンの流量・風量調整				
	フィルタの定期清掃、交換				
	電気室、EV機械室などの設定温度緩和	○	○		
	加湿・除湿量の適正調整				
	非電気系熱源の優先運転	◎	◎		
	熱源機器の最大容量制限		○		
	蓄熱槽利用の適正化による蓄熱容量の増加		○		
	蓄熱槽利用の場合、蓄熱運転方法の見直し		◎		
	厨房用外調機送風温度の適正化	○	○		
	温度コントローラの使用制限	○	○		
換気	換気用送風機の風量調整				
給湯	冬期以外は、給湯を停止	○			手洗い給湯の停止
	給湯温度を低めに調整	○			
照明	昼休み消灯	○	○		
	不使用室の消灯	○	○		
	執務エリアの照度の緩和	◎	◎	●	一部消灯（間引き）
	照明器具の清掃				
	窓際の消灯・間引き・ブラインドの適正管理	◎	◎		
その他	エレベータの運転台数制限	○	○		
	ブラインド管理		○		朝の冷房負荷を低減
	カーテン使用の励行				冬期の対策
	温水洗浄便座の温度設定緩和	○			
	ハンドドライヤーの使用停止				
	パソコンの省電力設定	○	○		
	OA機器の電源オフ、スタンバイモードの励行	○			

6.3.2 試算の対象とする技術

調査・整理した省電力・電力ピーク対策技術の中から対策効果の期待でき、比較的汎用的な対策で多くの建物に導入可能なもの、かつエネルギー転換（例えば、電気熱源をガス熱源に置き換える等）によるものではないものを抽出し、これを試算対象とすることにした。試算対象技術の一覧を次に示す。

①建築的対策方法

- ・外壁の断熱
- ・高性能窓ガラス
- ・エアフローウィンドウ
- ・日射調整フィルム
- ・潜熱蓄熱材
- ・屋上緑化
- ・高反射率塗装

②設備的対策方法

（空調設備）

- ・高効率熱源機器
- ・蓄熱式空調システム
- ・地中熱利用ヒートポンプシステム空調
- ・大温度差送水（含む変流量制御）
- ・大温度差送風（含む変風量制御）
- ・外気取り入れ制御
- ・全熱交換器
- ・外気冷房

（照明設備）

- ・高効率照明器具（LED 照明器具）
- ・照明制御

（効率化設備）

- ・蓄電池設備
- ・太陽光発電設備

③運用的対策方法

- ・室内温度の適正調整
- ・予冷・予熱運転
- ・執務エリアの照度の緩和（照明器具の間引き、室内設定照度の緩和）

6.4 試算条件

建築物のエネルギー消費量は、気候条件、建物使用形態（建物用途）によって大きく異なることから、これらの条件ごとに試算対象とする建築設備システムを設定する。

6.4.1 地域

試算地域は、平成 25 年省エネルギー基準で規定されている準寒冷地（3 地域）、温暖地（6 地域）、蒸暑地（8 地域）の 3 地域とする。詳細を表 6-5 に示す。熱負荷計算及び一次エネルギー計算に用いる気象データには、拡張アメダス気象データ（（一社）日本建築学会）における標準年データ（1981～1995 年）を用いる。

表 6-5 試算地域

地域	試算地域	年間平均気温
① 準寒冷地	(3 地域) 代表地域：岩手県盛岡	10.2℃
② 温暖地	(6 地域) 代表地域：岡山県岡山	15.7℃
③ 蒸暑地	(8 地域) 代表地域：沖縄県那覇	22.7℃

6.4.2 建物用途

試算の対象とする建物用途と規模を表 6-6 に示す。建築物の形状は国総研・国立研究開発法人建築研究所監修の「平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説, I. 非住宅建築物」に記載されているモデル建物を用いる。なお、共同住宅（共用部）については同図書に記載がないため、新たにモデルを作成した。建物の外皮仕様（外壁・窓仕様）は、省エネルギー基準で規定されている基準設定仕様を適用した。基準設定仕様は地域によって異なる。

表 6-6 試算建物の用途と規模

建物用途	建物規模
事務所	テナントオフィスビル 延床面積：約 10,000 m ² 、RC 造、地上 7 階、地下 0 階 ※平日の昼間のみ使用される熱負荷傾向 RC 造の他に「S 造(ALC)」、「S 造カーテンウォール（窓開口大）」を試算。「S 造カーテンウォール（窓開口大）」の窓ガラス面積は外皮の約 61%
商業施設（物販店舗）	大規模物販店舗用途 延床面積：10,000 m ² 、S 造、地上 3 階、地下 1 階 ※土日の休日使用があり売場は内部発熱が大きい熱負荷傾向
共同住宅（共用部）	タワー型共同住宅（共用部） 延床面積：10,000 m ² 、SRC 造、地上 14 階、地下 1 階 ※管理事務室、集会場等は昼間のみ使用、ホールは終日使用となる熱負荷傾向

※試算建物の平面図プランは、付録に示す。

6.4.3 外皮・設備の仕様

外皮や設備に求められる性能は地域や建物用途によって異なる。そこで、本研究では、実際の設計プロセスにおける手順に従って、地域毎、建物用途毎に外皮及び設備システムを設計した。なお、「標準（省エネ基準仕様）」とは、平成25年省エネルギー基準における基準設定仕様（基準値を設定する際に想定した外皮・設備仕様）と同等のものであることを示す。

(1) 外皮仕様

試算を行う外皮（外壁、屋根、窓等）仕様を表6-7～表6-9に示す。表中のグレー欄は標準（省エネ基準仕様）を示す。高断熱仕様については、基準設定仕様の地域仕様を1ランクアップもしくは寒冷地仕様相当として定めた。窓ガラス仕様は、熱貫流率・日射熱取得率の異なるガラスを複数選択した。

表6-7 外皮仕様（事務所）

建築仕様		準寒冷地（3地域）	温暖地（6地域）	蒸暑地（8地域）
外壁	標準（屋根）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（50mm）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（50mm）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（25mm）
	（外壁）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（25mm）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（25mm）	なし
	高断熱（屋根）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（100mm）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（100mm）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（50mm）
	（外壁）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（50mm）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（50mm）	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種（25mm）
	潜熱蓄熱材	外壁面の内装側 20mm（凝固-融解 28℃）		
窓ガラス	標準	複層 （透明 8+空気層 6+透明 8）	単層（透明 8）	単層（透明 8）
	単板 FL	単層（透明 8）	—	—
	複層透明	—	複層 （透明 8+空気層 6+透明 8）	複層 （透明 8+空気層 6+透明 8）
	複層 Low-e	Low-e（高日射遮蔽型）	Low-e（高日射遮蔽型）	Low-e（高日射遮蔽型）
	エアフローウィンドウ	エアフローウィンドウ	エアフローウィンドウ	エアフローウィンドウ
	FL+日調フィルム	単層（透明 8）+ 日射調整フィルム	単層（透明 8）+ 日射調整フィルム	単層（透明 8）+ 日射調整フィルム
その他	屋上緑化	空調対象室の屋根面積の 50%布設		
	反射塗料	空調対象室の屋根面積の 100%布設		

表 6-8 外皮仕様（商業施設（物販店舗））

建築仕様		準寒冷地（3地域）	温暖地（6地域）	蒸暑地（8地域）
外壁	標準 (屋根)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (50mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (50mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (25mm)
	(外壁)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (15mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (15mm)	なし
	高断熱 (屋根)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (100mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (100mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (50mm)
	(外壁)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (30mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (30mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (15mm)
	潜熱蓄熱材	外壁面の内装側 20mm(凝固-融解 28℃)		
窓 ガラス	標準	複層 (透明 8+空気層 6+透明 8)	単層(透明 8)	単層(透明 8)
	単板 FL	単層(透明 8)	—	—
	複層 透明	—	複層 (透明 8+空気層 6+透明 8)	複層 (透明 8+空気層 6+透明 8)
	複層 Low-e	Low-e(高日射遮蔽型)	Low-e(高日射遮蔽型)	Low-e(高日射遮蔽型)
	エアフロー ウィンドウ	エアフローウィンドウ	エアフローウィンドウ	エアフローウィンドウ
	FL+日調 フィルム	単層(透明 8)+ 日射調整フィルム	単層(透明 8)+ 日射調整フィルム	単層(透明 8)+ 日射調整フィルム
その他	屋上 緑化	空調対象室の屋根面積の 50%布設		
	反射 塗料	空調対象室の屋根面積の 100%布設		

表 6-9 外皮仕様（共同住宅（共用部））

建築仕様		準寒冷地（3地域）	温暖地（6地域）	蒸暑地（8地域）
外壁	標準 (屋根)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (100mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (95mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (95mm)
	(外壁)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (70mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (40mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (15mm)
	高断熱 (屋根)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (130mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (100mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (95mm)
	(外壁)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (90mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (90mm)	押出法ポリスチレンホーム 保温板1種 (70mm)
	潜熱蓄熱材	外壁面の内装側 20mm(凝固-融解 28℃)		
窓 ガラス	標準	複層(反射シルバー+ 空気層 6+透明 6)	単層(透明 3)	単層(高性能熱線反射 (可視光透過率 40%) 6)
	単板 FL	単層(透明 3)	—	単層(透明 3)※
	複層 透明	複層 (透明 6+空気層 6+透明 6)	複層 (透明 6+空気層 6+透明 6)	複層 (透明 6+空気層 6+透明 6)
	複層 Low-e	複層(Low-e(高日射遮蔽型)+ 空気層 6+透明 10)	複層(Low-e(高日射遮蔽型)+ 空気層 6+透明 10)	複層(Low-e(高日射遮蔽型)+ 空気層 6+透明 10)
	熱反	単層(高性能熱線反射 6 (可視光透過率 40%))	単層(高性能熱線反射 6 (可視光透過率 40%))	—
	FL+日調 フィルム	単層(透明 3)+ 日射調整フィルム	単層(透明 3)+ 日射調整フィルム	単層(透明 3)+ 日射調整フィルム
その他	反射 塗料	空調対象室の屋根面積の 100%布設		

(2) 空調設備

試算を行う空調設備の仕様を表6-10～表6-12に示す。

表6-10 空調設備 [標準 (省エネ基準仕様)]

事務所	<p>熱源方式：中央空調方式 (事務室、更衣室、休憩室、ロビー、EV ホール)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・空気熱源ヒートポンプチラー方式 ・空調機方式 (定風量方式) ・外気カット制御、全熱交換機制御 (定格全熱交換効率 60%)
商業施設 (物販店舗)	<p>熱源方式：中央空調方式 (売場、荷さばき場、事務室)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・空気熱源ヒートポンプチラー方式 ・ファンコイルユニット+外調機方式 (更衣室等) ・空調機方式 (定風量方式) ・外気カット制御、全熱交換機制御 (定格全熱交換効率 60%)
共同住宅 (共用部)	<p>熱源方式：電気式パッケージ形エアコン方式 (EHP) (管理人室、集会室、ロビー等)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・EHP 室内機+空調換気扇方式 ・全熱交換機制御 (定格全熱交換効率 60%)

表6-11 空調設備 [設備的対策技術] 仕様

高効率熱源機器の採用 (高効率 HP)	<ul style="list-style-type: none"> ・空気熱源ヒートポンプチラー方式 (圧縮機台数制御方式) 冷房 COP3.97、暖房 COP3.94 ※現行機種メーカー値
地中熱利用ヒートポンプシステムの導入 (地中熱)	<ul style="list-style-type: none"> ・時間最大負荷の 50%を地中熱利用ヒートポンプチラー 地中熱利用ヒートポンプチラー優先運転方式 (地中採熱方式) ・地中熱交換井戸方式 (垂直形ボアホール方式) ・クローズドループ、ダブルUチューブ方式 (埋設深さ 100m/本) ・熱交換量 60W/m ※地盤モデルは第4章地中蓄熱による対策技術に示す地中熱交換井の仕様と同等
蓄熱式空調システムの採用 (蓄熱)	<ul style="list-style-type: none"> ・熱源機器、蓄熱槽は日積算負荷を熱源機器の 23 時間運転で賄うことが可能な容量 ・水蓄熱方式 (蓄熱利用温度差 7K) ・熱源機器の出口温度 冷水 5°C、温水 47°C ・全負荷運転制御方式 ・二次側送水は直接送水方式 (熱交換器なし)
水搬送システムの効率化 (大温度差送水)	<ul style="list-style-type: none"> ・大温度差送水 (温度差 10K) ・変流量制御 (変流量時最小流量比 30%)
空気搬送システムの効率化 (大温度差送風)	<ul style="list-style-type: none"> ・大温度差送風 (送風温度差 13K) ・変風量制御 (変風量時最小風量比 40%)

表 6-12 空調設備 [設備的対策技術] 仕様

全熱交換器の採用 (全熱交換器)	・空調機の外気量制御として採用 ※標準で採用している場合は採用なしとして試算し比較
外気カット制御の採用 (外気カット制御)	・空調機の外気量制御として採用 ※標準で採用している場合は採用なしとして試算し比較
外気冷房制御の採用 (外気冷房)	・空調機の外気量制御として採用
全熱交換器バイパス 制御の採用 (全熱交換器 バイパス)	・空調換気扇の外気量制御として採用 共同住宅 (共用部) に対して試算

(共通仕様)

- ・中央空調方式の熱源機器は、“2台設置”とし“台数制御”運転とする。
- ・二次側冷温水ポンプの標準(省エネ基準仕様)は、“2台設置”とし“台数制御+VWV制御(変流量時最小流量比60%)”、“冷温水往還温度差7K”とする。
- ・空調機の標準(省エネ基準仕様)は、“送風温度差11K”、“定風量方式”とする。
- ・空調設備の容量は、試算建物の外皮仕様ならびに基準設定仕様の室仕様に準拠する条件から算定する。

(3) 換気設備

試算を行う換気設備の仕様を表6-13に示す。

表 6-13 換気設備 [標準 (省エネ基準仕様)]

換気設備	・個別換気方式 ・各室換気量、換気種別、ダクト全静圧は基準設定仕様に準拠
------	---

(4) 照明設備

試算を行う照明設備の仕様を表6-14～表6-15に示す。

表6-14 照明設備 [標準 (省エネ基準仕様)]

照明設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ Hf 照明器具相当 ・ 各室照度は基準設定仕様に準拠 ・ 照明制御なし
------	---

表6-15 照明設備 [設備的対策技術] 仕様

LED 照明器具の採用 (LED 照明)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全ての照明器具を LED 照明器具 ・ 照明制御なし
照明制御の導入 (照明制御)	<p>(事務所)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 事務室等 : タイムスケジュール制御 (消灯) 初期照度補正制御+昼光連動調光制御 (片側採光かつブラインド自動制御なし) ・ ロビー、廊下等 : タイムスケジュール制御 (消灯) ・ 便所、更衣室等 : 在室検知制御 (一括点滅) <p>(物販店舗)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 売場、事務室等 : タイムスケジュール制御 (減光) 初期照度補正制御 ・ 廊下等 : タイムスケジュール制御 (消灯) ・ 便所、更衣室等 : 在室検知制御 (一括点滅) <p>(共同住宅 (共用部))</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 集会場 : 初期照度補正制御+昼光連動調光制御 (片側採光かつブラインド自動制御なし) ・ ロビー、廊下等 : タイムスケジュール制御 (消灯) ・ 自転車置き場 : 在室検知制御 (一括点滅)

(5) 給湯設備

試算を行う給湯設備の仕様を表6-16に示す。給湯設備は、標準 (省エネ基準仕様) の仕様が燃焼式相当であるため、今回の検討においては試算の対象としない (一次エネルギー消費量としてはガス消費量をカウントするが、仕様を変更する等のケーススタディは行わない。電力消費量は0であるとして、ピーク削減効果には影響を与えない。) こととする。

表6-16 給湯設備 [標準 (省エネ基準仕様)]

給湯設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガス給湯器 基準設定仕様に準拠
------	---

(6) 昇降機設備

試算を行う昇降機設備の仕様を表6-17に示す。昇降機設備のエネルギー消費量については、建物全体に占める割合が小さいため、全てのケースで同じ仕様とする（ケーススタディは行わない）。

表6-17 昇降機設備 [標準 (省エネ基準仕様)]

昇降機設備	<ul style="list-style-type: none">・VVVF制御方式、回生電力なし・基準設定仕様に準拠
-------	---

(7) 太陽光発電設備

標準 (省エネ基準仕様) では太陽光発電設備は設置しないものとする。設備的対策技術として太陽光発電設備を設置した場合の仕様を表6-18に示す。

表6-18 太陽光発電設備 [設備的対策技術] 仕様

太陽光発電設備の導入 (太陽光発電)	<ul style="list-style-type: none">・太陽光アレイは建物屋上面積の50%に設置・太陽光アレイの設置<ul style="list-style-type: none">3、6地区：南面向き、傾斜角30°8地区：南面向き、傾斜角10°・太陽光アレイの発電能力：185W/m² ※現行メーカー値相当・発電能力：<ul style="list-style-type: none">事務所40kW、物販店舗90kW、共同住宅(共用部)20kW・発電した電気は全て自己消費
-----------------------	--

(8) 蓄電池設備

標準 (省エネ基準仕様) では蓄電池設備は設置しないものとする。設備的対策技術として蓄電池設備を設置した場合の仕様を表6-19に示す。

表6-19 蓄電池設備 [設備的対策技術] 仕様

蓄電池設備の導入 (蓄電池)	<ul style="list-style-type: none">・リチウムイオン電池方式・夜間(22~6h)充電・昼間(8~20h)放電方式<ul style="list-style-type: none">昼間は原則均等放電、余剰が発生した場合は次の時間に延長・蓄電池設備のシステム効率85%(充放電効率95%)<ul style="list-style-type: none">※日本電気協会電力貯蔵用電池規定 JEAC5006-2014より・蓄電池容量：<ul style="list-style-type: none">事務所2,000kWh、物販店舗2,000kWh、共同住宅(共用部)40kWh蓄電池容量は建物内に蓄電池設備を設置可能な面積約200m²相当(事務所、物販店舗)。共同住宅は既製の充電装置容量20kWh/台を2組設置・充放電できる容量は蓄電池容量の70%(完全放電はしない)・事務所では平日のみ蓄電池設備を運転
-------------------	---

6.4.4 空調の運用条件

年間の冷暖房運転モードならび各室の空調運転条件は、省エネルギー基準の標準室使用条件に従うものとする。各地域の冷暖房運転モードを表6-20に示す。中間期は冷房されるものとする。

(室内温湿度設定条件)

冷房： 26℃、50% 暖房： 22℃、40% 中間期：24℃、50%

表6-20 冷暖房運転

地域区分	1地域	2地域	3地域	4地域	5地域	6地域	7地域	8地域
1月	暖房							
2月	暖房							
3月	暖房							
4月	暖房	暖房	中間期	中間期	中間期	中間期	中間期	中間期
5月	中間期	冷房						
6月	中間期	中間期	冷房	冷房	冷房	冷房	冷房	冷房
7月	冷房							
8月	冷房							
9月	冷房							
10月	中間期	冷房						
11月	暖房	暖房	中間期	中間期	中間期	中間期	中間期	中間期
12月	暖房	中間期						

6.4.5 試算建物の時間最大負荷の算出

空調機器の容量（定格能力）を決定するためには、時間最大負荷の算出が必要である。試算建物の時間最大負荷は、省エネルギー基準の基準設定仕様で規定されている外壁・窓ならびに室仕様から、建築設備設計基準の計算方法に従い算定した。各試算建物の時間最大負荷を表6-21に示す。時間最大負荷は空調設備の全熱交換器の採用の有無により空調熱負荷は大きく変化するため2通りを定める。

表 6-21 試算建物の時間最大負荷

建物用途	地域	時間最大負荷				備考
		全熱交換器あり		全熱交換器なし		
		冷房 [kW]	暖房 [kW]	冷房 [kW]	暖房 [kW]	
事務所	準寒冷地 (3地域)	553	450	733	752	標準は全熱交換器あり
	温暖地 (6地域)	614	366	842	600	
	蒸暑地 (8地域)	634	196	888	292	
商業施設 (物販店舗)	準寒冷地 (3地域)	1,156	591	1,455	1,094	標準は全熱交換器なし
	温暖地 (6地域)	1,232	457	1,614	848	
	蒸暑地 (8地域)	1,276	211	1,701	372	
共同住宅 (共用部)	準寒冷地 (3地域)	34.2	39.8	52.0	98.0	標準は全熱交換器あり
	温暖地 (6地域)	41.3	33.3	64.0	57.0	
	蒸暑地 (8地域)	40.3	14.5	65.0	24.0	

※ : 標準（省エネ基準設定仕様）を示す。

6.5 試算ケース

建築的対策の試算ケースを表 6-22～表 6-24 に、設備的対策の試算ケースを表 6-25～表 6-27 に示す。合計で 237 ケースの試算を実施する。

建物用途と地域ごとに、標準（省エネ基準仕様）を各種対策技術を導入した仕様に置き換えて試算する。また、対策技術を組み合わせたケースとして各地域、建物種別ごとに、各種建築的対策、各種設備的対策の組合せたケースを試算する。組合せは対策要素単体として効果の高い仕様同士の組合せと、比較対象として効果の低い仕様同士の組合せを行い比較する（組合せの仕様は表中に「仕様-O-A」等と表記）。さらに、設備的対策では、組合せ効果の高い建築的対策と設備的対策を組み合わせたケース（表中に「建築的対策（仕様-O-A）+設備的対策（仕様-O-B）」と表記）を試算する。

表 6-2-2 建築的対策の試算ケース（事務所）

気候区分	No	建物構造	建築仕様	外窓仕様		窓ガラス仕様				その他									
				標準	高断熱	P CM	単板フローラート	複層透明	複層Low-e	37h-ウインドリ	凡二日調フィルム	屋上緑化	反射塗料						
温暖地 (6地区)	0-M0	RC造	標準(省エネ基準認定仕様)	○															
	0-M1	RC造	標準改仕様		○														
	0-M2	RC造	標準改仕様			○													
	0-M3	RC造	標準改仕様																
	0-M4	RC造	標準改仕様																
	0-M5	RC造	標準改仕様																
	0-M6	RC造	標準改仕様																
	0-M7	RC造	標準改仕様																
	0-M8	RC造	標準改仕様																
	0-M9	RC造	標準改仕様																
	0-M10	RC造	標準改仕様																
	0-M11	S造(ALC100)	仕様-A																
	0-M12	S造(ALC100)	仕様-A																
	0-M13	S造(カーテンウォール: 窓開口大)	仕様-A																
0-M14	S造(カーテンウォール: 窓開口大)	仕様-B																	
温暖冷地 (3地区)	0-L0	RC造	標準(省エネ基準認定仕様)	○															
	0-L1	RC造	標準改仕様		○														
	0-L2	RC造	標準改仕様			○													
	0-L3	RC造	標準改仕様																
	0-L4	RC造	標準改仕様																
	0-L5	RC造	標準改仕様																
	0-L6	RC造	標準改仕様																
	0-L7	RC造	標準改仕様																
	0-L8	RC造	標準改仕様																
	0-L9	RC造	標準改仕様																
	0-L10	RC造	標準改仕様																
	0-L11	S造(ALC100)	仕様-A																
	0-L12	S造(ALC100)	仕様-A																
	0-L13	S造(カーテンウォール: 窓開口大)	仕様-A																
0-L14	S造(カーテンウォール: 窓開口大)	仕様-B																	
蒸暑地 (8地区)	0-H0	RC造	標準(省エネ基準認定仕様)	○															
	0-H1	RC造	標準改仕様		○														
	0-H2	RC造	標準改仕様			○													
	0-H3	RC造	標準改仕様																
	0-H4	RC造	標準改仕様																
	0-H5	RC造	標準改仕様																
	0-H6	RC造	標準改仕様																
	0-H7	RC造	標準改仕様																
	0-H8	RC造	標準改仕様																
	0-H9	RC造	標準改仕様																
	0-H10	RC造	標準改仕様																
	0-H11	S造(ALC100)	仕様-A																
	0-H12	S造(ALC100)	仕様-A																
	0-H13	S造(カーテンウォール: 窓開口大)	仕様-A																
0-H14	S造(カーテンウォール: 窓開口大)	仕様-B																	

表 6-2-3 建築的対策の試算ケース（商業施設（物販店舗））

気候区分	建物構造	建築仕様	外壁仕様			窓ガラス仕様			その他												
			標準	高断熱	PCM	単板フロート FL8	複層透明 FL6+8	複層Low-e	エフロウインドリ	FL+日調フィルム	屋上緑化	反射塗料									
温暖地 (6地区)	S-M0	S造(ALC)	標準(省エネ基準 準設定仕様)																		
	S-M1	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-M2	S造(ALC)	標準改仕様		○																
	S-M3	S造(ALC)	標準改仕様	○		○															
	S-M4	S造(ALC)	標準改仕様	○						○											
	S-M5	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-M6	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-M7	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-M8	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-M9	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
S-M10	S造(ALC)	仕様S-A 仕様S-B	○							○											
严寒冷地 (3地区)	S-L0	S造(ALC)	標準(省エネ基準 準設定仕様)																		
	S-L1	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-L2	S造(ALC)	標準改仕様		○																
	S-L3	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-L4	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-L5	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-L6	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-L7	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-L8	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-L9	S造(ALC)	仕様S-A 仕様S-B	○																	
S-L10	S造(ALC)	仕様S-A 仕様S-B	○																		
蒸暑地 (8地区)	S-H0	S造(ALC)	標準(省エネ基準 準設定仕様)																		
	S-H1	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-H2	S造(ALC)	標準改仕様		○																
	S-H3	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-H4	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-H5	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-H6	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-H7	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-H8	S造(ALC)	標準改仕様	○																	
	S-H9	S造(ALC)	仕様S-A 仕様S-B	○																	
S-H10	S造(ALC)	仕様S-A 仕様S-B	○																		

表 6-2-4 建築的対策の試算ケース（共同住宅（共用部））

気候区分	建物構造	建築仕様	外壁仕様		P C M	窓ガラス仕様		複層透明 熱区+6	複層Low-e 高日射遮蔽+10	熱区 高性能6	FL+日調フィルム 断熱型	その他 反射塗料
			標準 標準	高断熱		窓ガラス仕様 単板フロート FL3	複層透明 熱区+6					
温暖地 (6地区)	H-M0	RC造	標準(省エネ基 準設定仕様)	○								
	H-M1	RC造	標準改仕様	○								
	H-M2	RC造	標準改仕様		○							
	H-M3	RC造	標準改仕様	○								
	H-M4	RC造	標準改仕様	○								
	H-M5	RC造	標準改仕様	○								
	H-M6	RC造	標準改仕様	○								
	H-M7	RC造	標準改仕様	○								
	H-M8	RC造	仕様+H-A	○								
H-M9	RC造	仕様+H-B	○									○
準寒冷地 (3地区)	H-L0	RC造	標準(省エネ基 準設定仕様)	○								
	H-L1	RC造	標準改仕様		○							
	H-L2	RC造	標準改仕様		○							
	H-L3	RC造	標準改仕様	○								
	H-L4	RC造	標準改仕様	○								
	H-L5	RC造	標準改仕様	○								
	H-L6	RC造	標準改仕様	○								
	H-L7	RC造	標準改仕様	○								
	H-L8	RC造	仕様+H-A	○								
H-L9	RC造	仕様+H-B	○									○
蒸暑地 (8地区)	H-H0	RC造	標準(省エネ基 準設定仕様)	○								
	H-H1	RC造	標準改仕様		○							
	H-H2	RC造	標準改仕様		○							
	H-H3	RC造	標準改仕様	○								
	H-H4	RC造	標準改仕様	○								
	H-H5	RC造	標準改仕様	○								
	H-H6	RC造	標準改仕様	○								
	H-H7	RC造	標準改仕様	○								
	H-H8	RC造	仕様+H-A	○								
H-H9	RC造	仕様+H-B	○									○

6.6 試算結果

6.6.1 建築的対策

建築的対策技術を導入した場合の試算結果一覧を表6-28～表6-31に示す。また、建築的対策技術を導入した事務所（温暖地）の1年間の昼間負荷（8～22時）状況の例を図6-4～図6-9に、代表日の負荷状況の例を図6-10～図6-11に示す。

表 6-2-2 建築的対策の試算結果 (事務所)

気候区分	No	建物構造	仕様グレード	外壁仕様	窓ガラス仕様	その他	負荷ピーク削減			年間負荷削減			年間負荷削減			
							最大日	最大日	負荷ピーク削減	年間 [7~9, 12~3月]						
							MJ/日	MJ/日	%	MJ/年	MJ/年	%	MJ/年	MJ/年	MJ/年	MJ/年
温暖地 (6地区)	0-M00	RC造	標準(省エネ基準仕様) 標準改仕様	標準(GW25) 高断熱(GW50) PCM 標準(GW25)	単板透明 複層透明 複層Low-e FI+日調り/LLA 単板透明 APW 複層透明 単板透明 APW 複層透明 単板透明 APW 複層透明 単板透明 APW 複層透明	-	18,526	7月21日(火)	0.0%	1,079	0.0%	1,600	257	300	2,158	100.0%
	18,418						7月21日(火)	0.6%	1,054	2.3%	1,649	257	263	2,170	100.6%	
	18,352						8月3日(月)	0.9%	1,089	-1.0%	1,644	257	334	2,135	99.0%	
	18,796						8月3日(月)	-1.5%	1,059	1.8%	1,714	257	245	2,217	102.7%	
	17,782						7月21日(火)	4.0%	1,027	4.8%	1,642	257	245	2,144	99.4%	
	16,174						7月21日(火)	12.7%	968	10.2%	1,504	257	246	2,007	93.0%	
	18,098						7月21日(火)	2.3%	1,070	0.8%	1,555	257	310	2,122	98.3%	
	18,382						7月21日(火)	0.8%	1,073	0.5%	1,589	257	300	2,146	99.5%	
	18,319						7月21日(火)	1.1%	1,074	0.4%	1,575	257	306	2,138	99.1%	
	15,959						7月21日(火)	13.9%	963	10.8%	1,477	257	251	1,985	92.0%	
	18,703						7月21日(火)	-1.0%	1,043	3.3%	1,771	257	220	2,248	104.2%	
	15,967						7月21日(火)	13.8%	954	11.6%	1,510	257	236	2,004	92.9%	
	18,755						7月21日(火)	-1.2%	1,043	3.3%	1,780	257	217	2,255	104.5%	
	17,471						7月21日(火)	5.7%	1,038	3.8%	1,498	257	303	2,058	95.4%	
24,157	8月3日(月)	-30.4%	1,249	-15.8%	2,085	257	282	2,624	121.6%							
寒帯冷地 (3地区)	0-L00	RC造	標準(省エネ基準仕様) 標準改仕様	標準(GW25) 高断熱(GW50) PCM 標準(GW25)	複層透明 単板透明 複層Low-e FI+日調り/LLA 複層透明 単板透明 APW 複層透明 単板透明 APW 複層透明 単板透明 APW 複層透明	-	16,181	8月3日(月)	0.0%	1,061	0.0%	1,203	257	465	1,925	100.0%
	16,260						8月3日(月)	-0.5%	1,037	2.2%	1,311	257	405	1,973	102.5%	
	14,338						8月3日(月)	11.4%	1,075	-1.3%	1,158	257	506	1,921	99.8%	
	18,433						1月5日(月)	-13.9%	1,105	-4.1%	1,044	257	572	1,873	97.3%	
	15,292						8月3日(月)	5.5%	1,029	3.0%	1,168	257	450	1,876	97.4%	
	13,893						1月5日(月)	14.1%	978	7.8%	1,070	257	445	1,773	92.1%	
	15,816						8月3日(月)	2.3%	1,053	0.7%	1,170	257	471	1,899	98.6%	
	16,061						8月3日(月)	0.7%	1,056	0.5%	1,198	257	463	1,918	99.6%	
	16,001						8月3日(月)	1.1%	1,058	0.3%	1,183	257	471	1,911	99.3%	
	13,689						8月3日(月)	16.0%	955	10.0%	1,157	257	387	1,811	94.1%	
	18,433						1月5日(月)	-13.9%	1,105	-4.1%	1,144	257	572	1,873	97.3%	
	13,660						8月3日(月)	15.6%	964	9.1%	1,114	257	420	1,790	93.0%	
	17,078						1月5日(月)	-5.5%	1,079	-1.7%	1,099	257	525	1,881	97.7%	
	18,343						1月5日(月)	-13.4%	1,065	-0.4%	968	257	567	1,792	93.1%	
26,603	1月5日(月)	-64.4%	1,500	-41.4%	1,012	257	998	2,267	117.7%							

表 6-2-9 建築的対策の試算結果 (事務所)

気候区分	NO	建物構造	仕様グレード	外壁仕様	窓ガラス仕様	その他	負荷ピーク削減			年間負荷削減						
							最大日 M/日	最大日 7月21日(火)	負荷ピーク削減率 %	年間 [7~9、12~3月]		年間負荷削減				
										年間 (8~11月) 22h	削減率 %	負荷 GJ/年	削減率 %	削減 GJ/年	削減 GJ/年	削減 GJ/年
蒸着地 (8地区)	O-H00	RC造	標準(省エネ基準仕様) 標準改仕様	標準(ncm) 高断熱(GW25) PCM 標準(ncm)	単板透明	-	22,558	7月21日(火)	0.0%	1,138	0.0%	2,227	290	23	2,541	100.0%
	O-H01						21,549	7月21日(火)	4.5%	1,128	0.9%	2,269	290	16	2,576	101.4%
	O-H02						22,772	7月21日(火)	-1.0%	1,130	0.7%	2,198	290	22	2,510	98.8%
	O-H03						22,870	7月21日(火)	-1.4%	1,160	-2.0%	2,297	290	20	2,606	102.6%
	O-H04						21,769	7月21日(火)	3.5%	1,113	2.2%	2,197	290	21	2,507	98.7%
	O-H05						20,026	7月21日(火)	11.2%	1,036	9.0%	2,028	290	22	2,340	92.1%
	O-H06						22,101	7月21日(火)	2.0%	1,117	1.9%	2,179	290	24	2,493	98.1%
	O-H07						22,270	7月21日(火)	1.3%	1,130	0.7%	2,211	290	23	2,524	99.4%
	O-H08						22,144	7月21日(火)	1.8%	1,122	1.4%	2,188	290	24	2,502	98.5%
	O-H09						18,080	7月21日(火)	19.8%	1,003	11.9%	2,025	290	16	2,331	91.7%
	O-H10						22,870	7月21日(火)	-1.4%	1,160	-2.0%	2,297	290	20	2,606	102.6%
	O-H11						18,062	7月21日(火)	19.9%	1,005	11.7%	2,030	290	16	2,335	91.9%
	O-H12						22,156	7月21日(火)	1.8%	1,159	-1.8%	2,347	290	15	2,652	104.4%
	O-H13						19,775	7月21日(火)	12.3%	1,061	6.7%	2,116	290	18	2,424	95.4%
O-H14	28,494	7月21日(火)	-26.3%	1,414	-24.2%	2,875	290	16	3,181	125.2%						

表 6-3-30 建築的対策の試算結果（商業施設（物販店舗））

気候区分	NO	建物構造	仕様グレード	外壁仕様	窓ガラス仕様	その他	負荷ピーク削減			年間負荷削減			年間負荷削減					
							最大日 負荷ピーク削減率 %	最大日 負荷ピーク削減 GJ/年	年間 [7~9, 12~3月] 昼間 (8~22h) 削減率 %	負荷 削減 GJ/年	削減 GJ/年							
温暖地 (6地区)	S-M00	S造(ALC)	標準(省エネ基準仕様) 標準改仕様	標準(GW15) 高断熱(GW30) PCM	単板透明 複層透明 複層Low-e AFW FI+日簾/LLA	-	33,713	7月25日(土)	0.0%	2,709	0.0%	5,561	318	186	6,065	100.0%		
	S-M01						33,538	7月25日(土)	0.5%	2,701	0.3%	5,608	318	176	6,102	100.6%		
	S-M02						33,002	7月25日(土)	2.1%	2,659	1.8%	5,452	318	198	5,968	98.4%		
	S-M03						33,670	7月25日(土)	0.1%	2,701	0.3%	5,628	318	167	6,113	100.8%		
	S-M04						33,251	7月25日(土)	1.4%	2,677	1.2%	5,579	318	168	6,065	100.0%		
	S-M05						32,668	7月25日(土)	3.1%	2,644	2.4%	5,500	318	172	5,990	98.8%		
	S-M06						33,475	7月25日(土)	0.7%	2,697	0.5%	5,517	318	191	6,026	99.3%		
	S-M07						33,278	7月25日(土)	1.3%	2,690	0.7%	5,526	318	186	6,030	99.4%		
	S-M08						33,167	7月25日(土)	1.6%	2,678	1.1%	5,479	318	187	5,984	98.7%		
	S-M09						32,116	7月25日(土)	4.7%	2,613	3.6%	5,418	318	173	5,909	97.4%		
S-M10	30,262	8月23日(日)	10.2%	2,683	0.6%	5,676	318	157	6,152	101.4%								
亜寒冷地 (3地区)	S-L00	S造(ALC)	標準(省エネ基準仕様) 標準改仕様	標準(GW15) 高断熱(GW30) PCM	複層透明 複層透明 単板透明 複層Low-e AFW FI+日簾/LLA	-	29,979	8月2日(日)	0.0%	2,543	0.0%	4,809	318	308	5,435	100.0%		
	S-L01						29,979	8月2日(日)	0.0%	2,544	0.0%	4,901	318	290	5,509	101.4%		
	S-L02						28,726	8月2日(日)	4.2%	2,505	1.5%	4,739	318	322	5,379	99.0%		
	S-L03						29,857	8月2日(日)	0.4%	2,560	-0.7%	4,705	318	350	5,373	98.9%		
	S-L04						29,652	8月2日(日)	1.1%	2,524	0.7%	4,783	318	306	5,407	99.5%		
	S-L05						29,275	8月2日(日)	2.3%	2,508	1.4%	4,727	318	315	5,359	98.6%		
	S-L06						29,839	8月2日(日)	0.5%	2,538	0.2%	4,785	318	313	5,416	99.6%		
	S-L07						29,744	8月2日(日)	0.8%	2,533	0.4%	4,796	318	308	5,422	99.8%		
	S-L08						29,650	8月2日(日)	1.1%	2,515	1.1%	4,737	318	309	5,364	98.7%		
	S-L09						28,944	8月2日(日)	3.5%	2,480	2.5%	4,654	318	315	5,287	97.3%		
S-L10	29,979	8月2日(日)	0.0%	2,544	0.0%	4,901	318	290	5,509	101.4%								
蒸暑地 (8地区)	S-H00	S造(ALC)	標準(省エネ基準仕様) 標準改仕様	標準(ncn) 高断熱(GW15) PCM	単板透明 複層透明 複層Low-e AFW FI+日簾/LLA	-	34,064	8月23日(日)	0.0%	3,404	0.0%	6,937	359	10	7,306	100.0%		
	S-H01						33,713	8月23日(日)	1.0%	3,410	-0.2%	6,980	359	9	7,348	100.6%		
	S-H02						33,664	8月23日(日)	1.2%	3,348	1.6%	6,805	359	10	7,175	98.2%		
	S-H03						34,080	8月23日(日)	0.0%	3,418	-0.4%	6,977	359	9	7,346	100.5%		
	S-H04						33,724	8月23日(日)	1.0%	3,385	0.6%	6,910	359	9	7,278	99.6%		
	S-H05						33,206	8月23日(日)	2.5%	3,336	2.0%	6,809	359	10	7,178	98.2%		
	S-H06						33,862	8月23日(日)	0.6%	3,381	0.7%	6,887	359	10	7,256	99.3%		
	S-H07						33,565	8月23日(日)	1.5%	3,370	1.0%	6,873	359	10	7,242	99.1%		
	S-H08						33,284	8月23日(日)	2.3%	3,338	1.9%	6,799	359	10	7,169	98.1%		
	S-H09						32,426	8月23日(日)	4.8%	3,270	3.9%	6,671	359	10	7,040	96.4%		
S-H10	34,080	8月23日(日)	0.0%	3,418	-0.4%	6,977	359	9	7,346	100.5%								

表6-3-1 建築的対策の試算結果（共同住宅（共用部））

気候区分	NO	建物構造	仕様/グレード	外壁仕様	窓ガラス仕様	その他	負荷ピーク削減			年間負荷削減			年間負荷削減				
							最大日	負荷ピーク削減率	年間 [7~9, 12~3月]	負荷 (冷房・顕)	負荷 (冷房・潜)	負荷 (冷房・顕)	負荷 (冷房・潜)	負荷 (冷房・顕)	負荷 (冷房・潜)	合計	年間負荷 (率)
							MJ/日	%	GJ/年	GJ/年	GJ/年	GJ/年	GJ/年	GJ/年	GJ/年	%	
温暖地 (6地区)	H-M00	標準	標準(省エネ基準仕様)	標準(GW40)	単板透明	-	1,143	0.0%	97	0.0%	153	11	44	208	100.0%		
	H-M01		標準改仕様	高断熱(GW90)			1,116	2.4%	90	7.2%	159	11	32	202	97.3%		
	H-M02			PCM			1,007	11.9%	97	0.2%	131	11	55	197	94.7%		
	H-M03			標準(GW40)	複層透明		1,032	9.7%	79	18.7%	163	11	18	191	92.0%		
	H-M04				複層Low-e		922	19.3%	70	27.4%	154	11	12	177	85.4%		
	H-M05				熱反		1,017	11.0%	91	5.7%	133	11	46	190	91.4%		
	H-M06				FL+日調7/KA		1,057	7.5%	94	3.2%	138	11	47	195	94.2%		
	H-M07				単板透明	反射塗料	1,142	0.0%	97	0.0%	153	11	44	207	100.0%		
	H-M08			仕様H-A	高断熱(GW90)	複層Low-e	-	889	22.3%	67	30.9%	163	11	7	180	86.9%	
H-M09			仕様H-B	標準(GW40)	単板透明		1,143	0.0%	97	0.0%	153	11	44	208	100.0%		
準寒冷地 (3地区)	H-L00	標準	標準(省エネ基準仕様)	標準(GW70)	複層透明	-	846	0.0%	73	0.0%	117	11	29	157	100.0%		
	H-L01		標準改仕様	高断熱(GW90)			846	-0.1%	71	2.7%	121	11	25	157	99.8%		
	H-L02			PCM			721	14.7%	73	0.8%	101	11	38	149	95.1%		
	H-L03			標準(GW70)	単板透明		885	-4.7%	96	-33.1%	96	11	71	178	112.9%		
	H-L04				複層Low-e		756	10.6%	64	12.9%	117	11	19	146	93.0%		
	H-L05				熱反		762	9.9%	93	-26.5%	79	11	73	163	103.7%		
	H-L06				FL+日調7/KA		798	5.7%	96	-30.0%	83	11	75	168	107.0%		
	H-L07				複層透明	反射塗料	845	0.1%	73	0.0%	117	11	29	157	99.9%		
	H-L08			仕様H-A	高断熱(GW90)	複層Low-e	-	756	10.6%	62	14.7%	121	11	16	147	93.7%	
H-L09			仕様H-B	標準(GW70)	単板透明		885	-4.7%	98	-33.1%	96	11	71	178	112.9%		
蒸暑地 (8地区)	H-H00	標準	標準(省エネ基準仕様)	標準(GW15)	熱反	-	1,111	0.0%	81	0.0%	206	12	1	219	100.0%		
	H-H01		標準改仕様	高断熱(GW70)			1,044	6.0%	80	1.1%	208	12	1	221	101.0%		
	H-H02			PCM			1,077	3.0%	76	5.4%	193	12	1	206	94.2%		
	H-H03			標準(GW15)	単板透明		1,264	-13.8%	92	-13.5%	232	12	1	245	111.6%		
	H-H04				複層透明		1,181	-6.3%	88	-8.8%	230	12	0	242	110.5%		
	H-H05				複層Low-e		1,041	6.3%	79	1.9%	212	12	0	225	102.6%		
	H-H06				FL+日調7/KA		1,157	-4.1%	84	-3.8%	213	12	1	226	103.1%		
	H-H07				熱反	反射塗料	1,110	0.1%	81	0.1%	206	12	1	219	99.9%		
	H-H08			仕様H-A	高断熱(GW70)	複層Low-e	-	969	12.8%	78	3.0%	216	12	0	228	104.2%	
H-H09			仕様H-B	標準(GW15)	単板透明		1,264	-13.8%	92	-13.5%	232	12	1	245	111.6%		

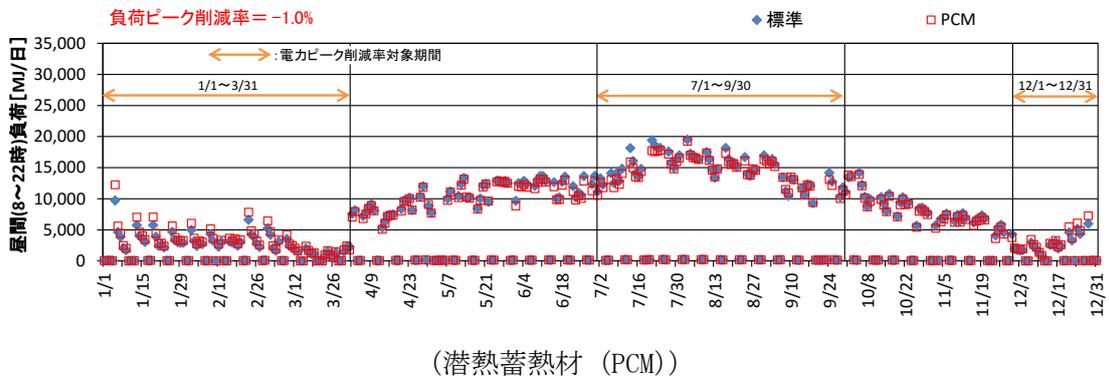
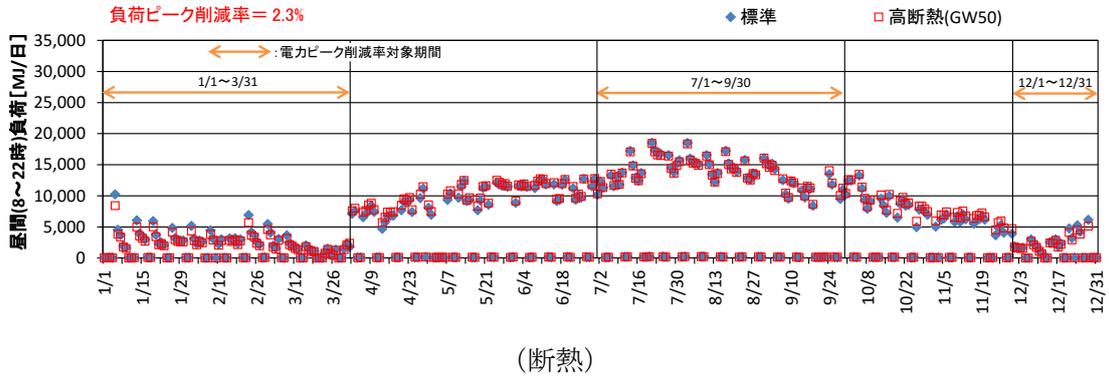
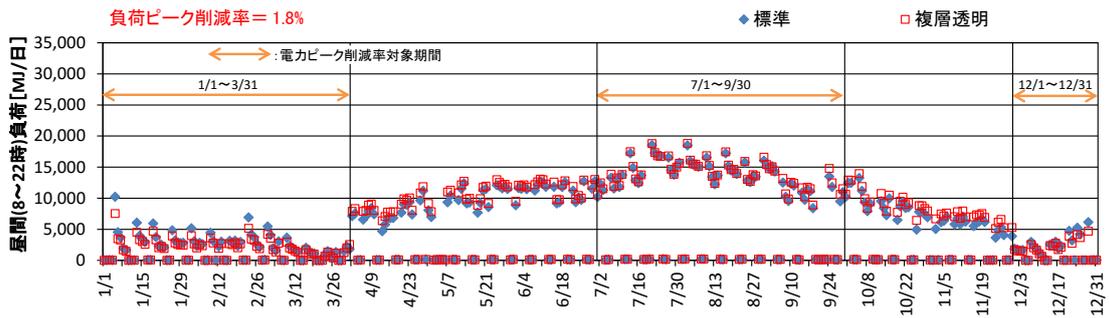
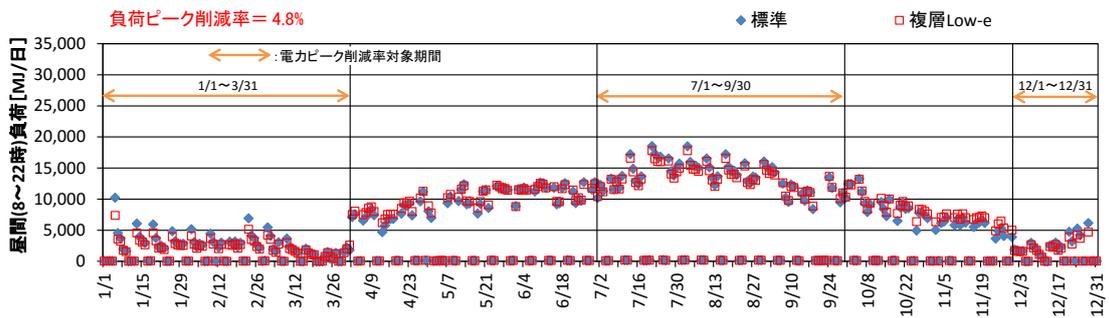


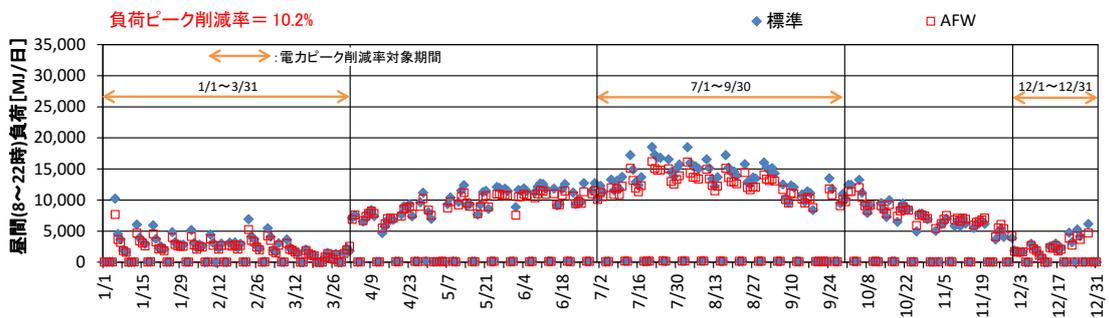
図 6-4 建築的対策した事務所（温暖地）の1年間の屋間負荷（8～22時）状況（1）



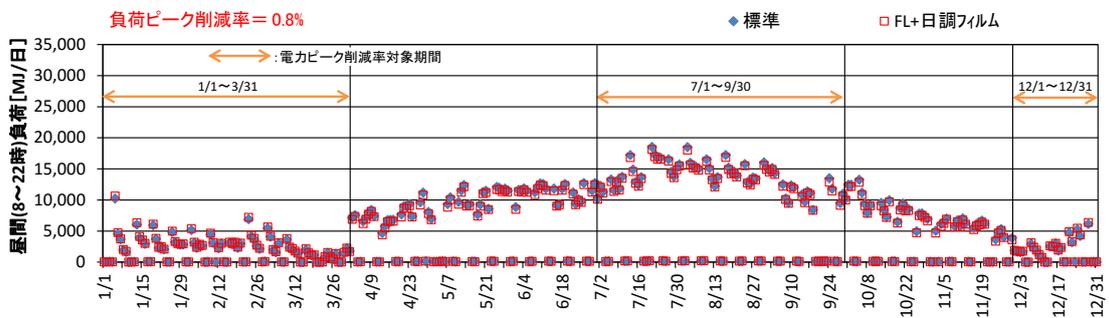
(複層透明ガラス)



(複層 Low-e ガラス)



(エアフローウインド)



(単板ガラス+日射調整フィルム)

図 6-5 建築的対策した事務所(温暖地)の1年間の昼間負荷(8~22時)状況(2)

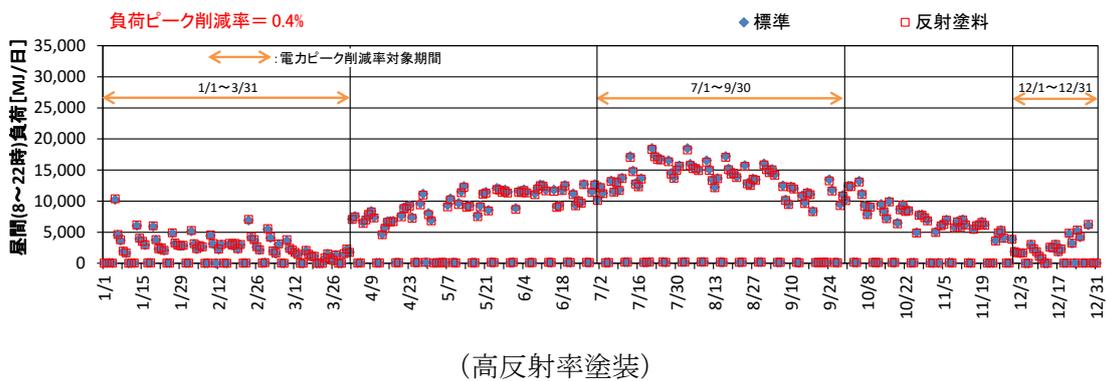
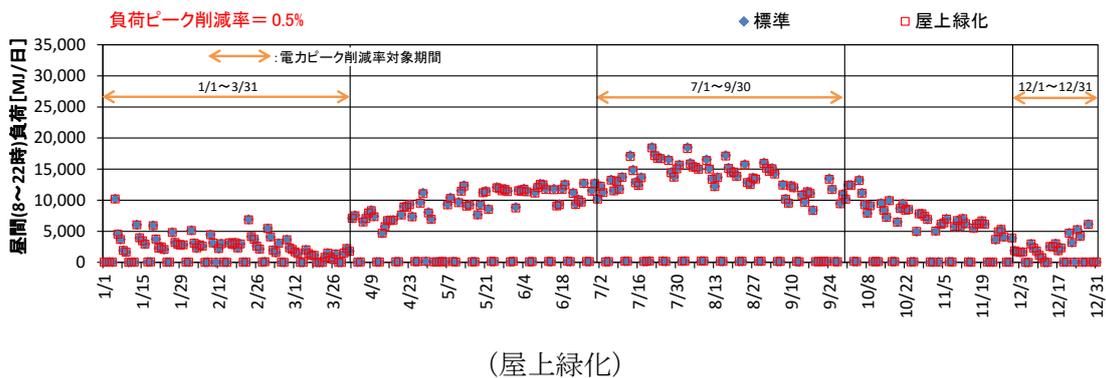


図 6-6 建築的対策した事務所（温暖地）の 1 年間の屋間負荷（8~22 時）状況（3）

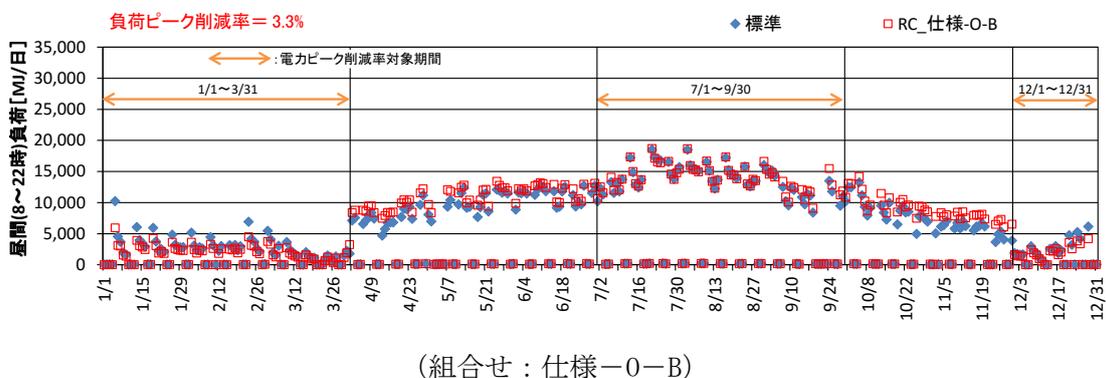
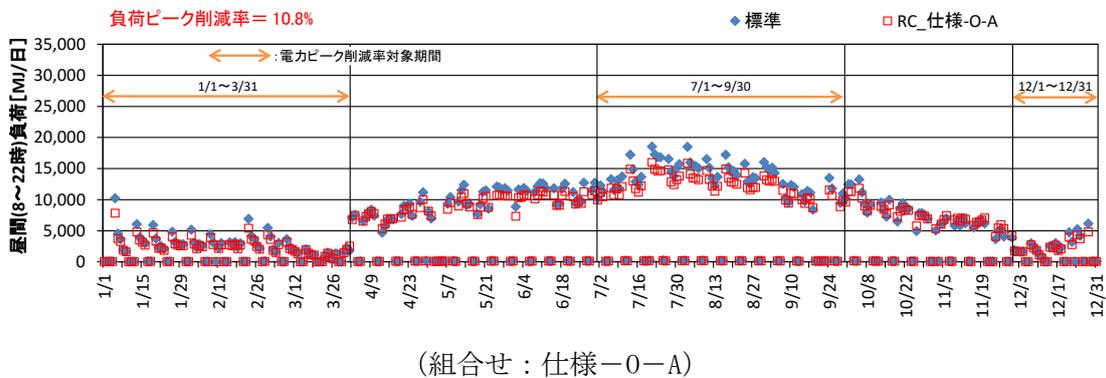


図 6-7 建築的対策した事務所（温暖地）の 1 年間の屋間負荷（8~22 時）状況（4）

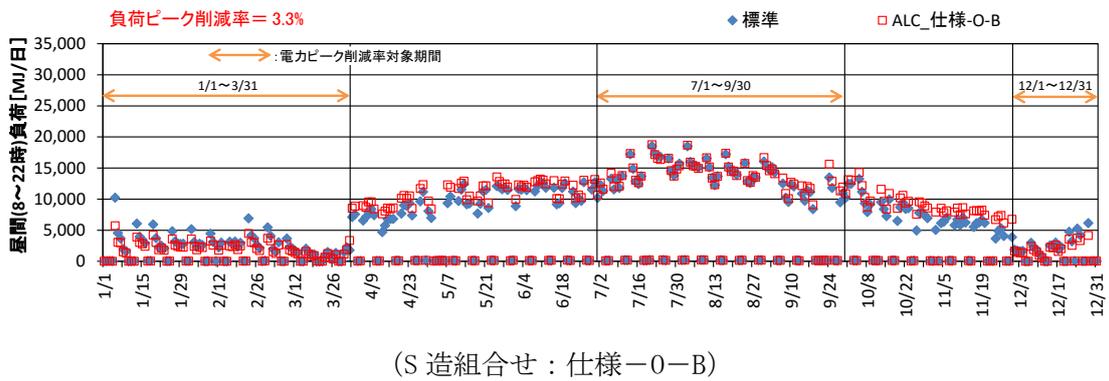
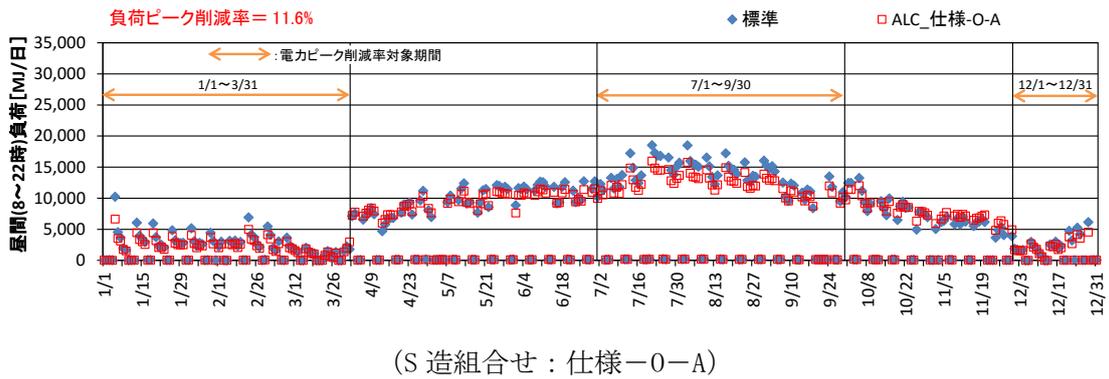


図6-8 建築的対策した事務所（温暖地）の1年間の昼間負荷（8~22時）状況（5）

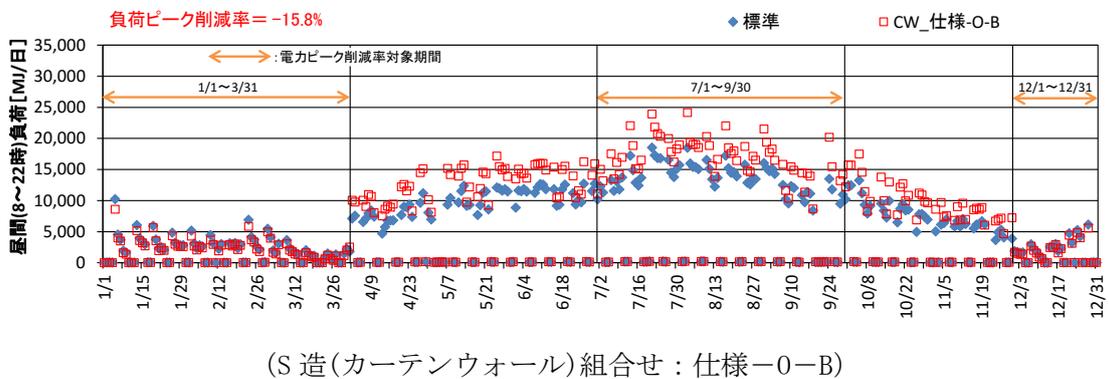
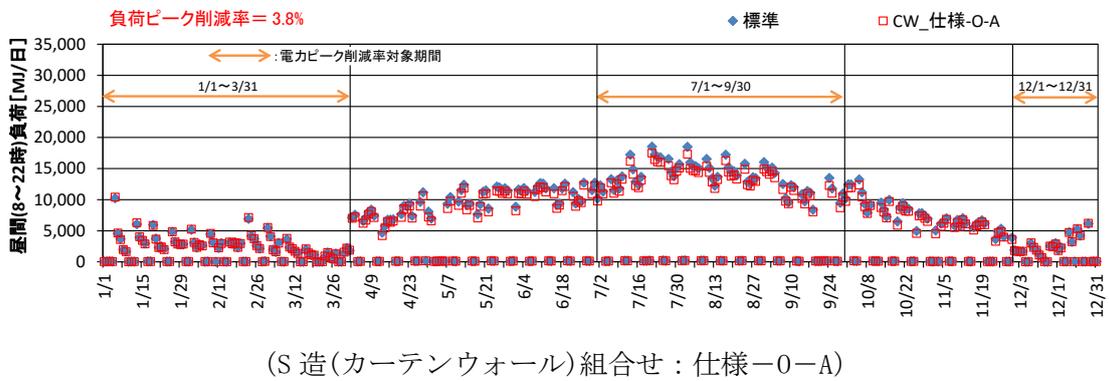


図6-9 建築的対策した事務所（温暖地）の1年間の昼間負荷（8~22時）状況（6）

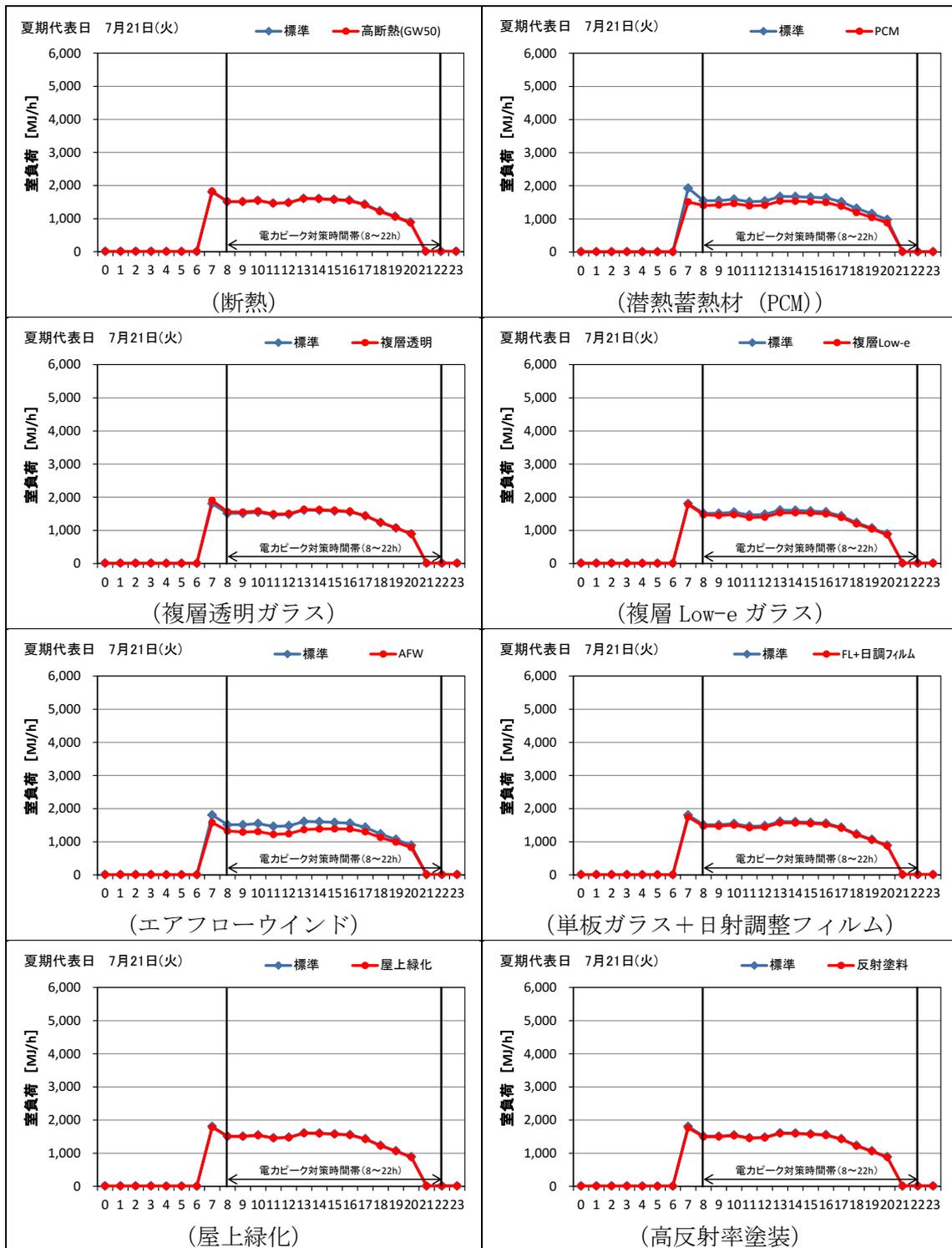


図6-10 建築的対策した事務所（温暖地）の代表日の負荷状況（1）

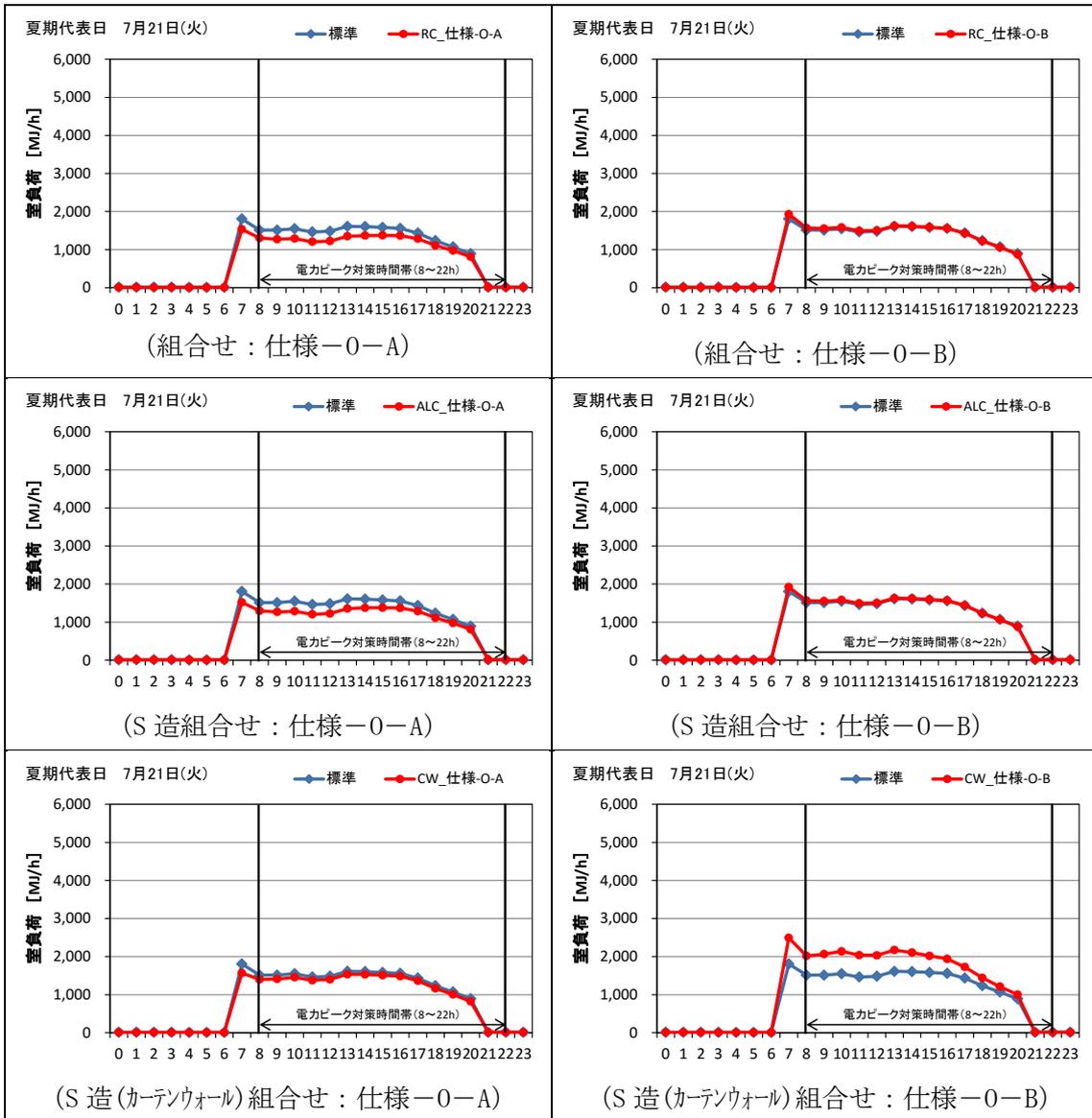


図6-11 建築的対策した事務所(温暖地)の代表日の負荷状況(2)

6.6.2 設備的対策

設備的対策技術を導入した場合の試算結果一覧を表6-32～表6-36に示す。また、設備的対策を導入した事務所（温暖地）の1年間の昼間電力量(8～22時)状況の例を図6-12～図6-15に、代表日の電力量状況の例を図6-16～図6-17に示す。

表 6-3-2 設備的対策の試算結果 (事務所)

建物種別	気候区分	建築仕様	設備システム	電力ピーク削減		省エネルギー											一次エネルギー	
				最大日 昼間(8~22h) kWh/日	電力ピーク 削減率 %	年間 [7~9, 12~3月]		熱源	二次削減シ ステム	換気	照明電力	昇降機	給湯	太陽光発電 蓄電池	合計	一次エネル ギー消費量 (kg)	%	
						昼間(8~22h) kWh/年	電力ピーク 削減率 %											MJ/年
事務所	温暖地 (6地区)	標準	標準	6.535	7月24日(金)	0.0%	661,042	0.0%	3,175,064	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,288,657	100.0%	
				5.933	7月24日(金)	9.2%	606,102	8.3%	2,312,354	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	10,425,947	92.4%	
				5.858	7月21日(火)	10.4%	597,591	9.6%	2,244,809	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	10,358,402	91.8%	
				5.408	7月21日(火)	17.3%	529,101	20.0%	2,971,132	3,219,874	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,254,800	99.7%	
				6.535	7月24日(金)	0.0%	660,611	0.1%	3,176,577	3,039,442	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,279,813	99.9%	
				6.151	7月22日(水)	5.9%	587,219	11.2%	3,093,071	1,527,758	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	9,684,623	85.8%	
				7.472	2月23日(月)	-14.3%	729,434	-10.3%	3,909,953	2,681,599	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,655,345	103.2%	
				6.535	7月24日(金)	0.0%	661,042	0.0%	3,236,558	3,057,778	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,358,130	100.6%	
				6.133	7月22日(水)	6.2%	641,156	3.0%	2,624,019	3,030,667	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	10,718,480	94.9%	
				5.662	7月24日(金)	13.4%	538,587	18.5%	3,175,064	3,049,799	718,713	1,971,737	170,668	137,188	0	9,223,169	81.7%	
				6.029	7月24日(金)	7.7%	590,159	10.7%	3,175,064	3,049,799	718,713	2,846,106	170,668	137,188	0	10,097,539	89.4%	
				6.497	7月24日(金)	0.6%	640,800	3.1%	3,175,064	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	137,188	-973,947	10,914,710	96.7%	
				5.909	7月24日(金)	9.6%	573,358	13.3%	3,175,064	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,461,974	101.5%	
				2.998	7月21日(火)	54.1%	252,440	61.8%	1,584,223	1,503,319	718,713	1,392,133	170,668	137,188	0	5,506,244	48.8%	
				2.329	7月21日(火)	64.4%	144,600	78.1%	1,584,223	1,503,319	718,713	1,392,133	170,668	137,188	-372,369	5,307,192	47.0%	
				2.107	7月21日(火)	67.8%	132,569	79.9%	1,434,790	1,438,396	718,713	1,392,133	170,668	137,188	-372,140	5,093,064	45.1%	
				6.865	1月5日(月)	0.0%	663,623	0.0%	2,820,637	2,923,218	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,830,806	100.0%	
				6.178	1月5日(月)	10.0%	605,697	8.7%	2,027,952	2,923,218	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,038,122	92.7%	
				6.041	1月5日(月)	12.0%	593,056	10.6%	1,886,123	2,923,218	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	9,896,293	91.4%	
				4.854	1月5日(月)	29.3%	498,829	24.8%	2,475,577	3,067,397	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,629,925	98.1%	
6.865	1月5日(月)	0.0%	663,190	0.1%	2,820,265	2,914,446	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,821,663	99.9%					
6.695	1月5日(月)	2.5%	587,410	11.5%	2,843,732	1,294,052	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	9,224,735	85.2%					
7.894	1月5日(月)	-15.0%	725,072	-9.3%	3,586,745	2,531,064	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	11,204,760	103.5%					
6.865	1月5日(月)	0.0%	663,623	0.0%	2,880,188	2,930,578	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,897,718	100.6%					
6.865	1月5日(月)	0.0%	643,650	3.0%	2,342,920	2,904,516	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,334,387	95.4%					
5.992	1月5日(月)	12.7%	541,168	18.5%	2,820,637	2,923,218	718,713	1,971,737	170,668	160,346	0	8,765,319	80.9%					
6.358	1月5日(月)	7.4%	592,740	10.7%	2,820,637	2,923,218	718,713	2,846,106	170,668	160,346	0	9,639,688	89.0%					
6.836	1月5日(月)	0.4%	647,802	2.4%	2,820,637	2,923,218	718,713	4,037,225	170,668	160,346	-320,010	10,510,796	97.0%					
6.238	1月5日(月)	9.1%	575,939	13.2%	2,820,637	2,923,218	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	11,004,123	101.6%					
2.839	1月5日(月)	58.6%	225,965	65.9%	1,352,837	1,272,066	718,713	1,392,133	170,668	160,346	0	5,066,763	46.8%					
2.184	1月5日(月)	68.2%	122,521	81.5%	1,352,837	1,272,066	718,713	1,392,133	170,668	160,346	-318,694	4,921,386	45.4%					
1.985	1月5日(月)	71.1%	107,290	83.8%	1,194,912	1,215,634	718,713	1,392,133	170,668	160,346	-318,361	4,707,160	43.5%					

表6-3-3 設備的対策の試算結果 (事務所)

建物種別	気候区分	建築仕様	設備システム	電力ピーク削減		省エネルギー										一次エネルギー消費量 (当)	合計	MJ/年	%		
				最大日		年間 [7~9, 12~3月]		一次エネルギー量													
				昼間 (8~22h)	最大日	電力ピーク削減率	電力ピーク削減率	昼間 (8~22h)	削減率	熱源	二次削減システム	換気	照明電力	昇降機	給湯					太陽光発電	蓄電池
事務所	蒸暑地 (S地区)	標準	標準	7.388	7月21日(火)	0.0%	646,067	0.0%	3,859,850	3,146,024	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	0	12,039,479	100.0%			
			高効率HP	6.676	7月21日(火)	9.6%	604,550	6.4%	3,016,356	3,146,024	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	0	11,195,985	93.0%			
			地中熱	7.148	7月21日(火)	3.3%	629,383	2.6%	3,459,480	3,146,024	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	0	11,639,109	96.7%			
			蓄熱	5.978	7月21日(火)	19.1%	563,627	12.8%	3,952,177	3,362,795	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	0	12,348,576	102.6%			
			大温度差送水	7.226	7月21日(火)	2.2%	644,401	0.3%	3,878,566	3,069,386	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	0	11,981,557	99.5%			
			大温度差送風	6.975	7月21日(火)	5.6%	562,303	13.0%	3,649,883	1,683,543	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	0	10,367,030	86.1%			
			全熱交換器無	7.218	7月21日(火)	2.3%	642,337	0.6%	4,260,776	2,629,852	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	0	11,924,232	99.0%			
			外気カット制御無	7.388	7月21日(火)	0.0%	646,067	0.0%	3,922,139	3,150,899	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	0	12,106,643	100.6%			
			外気冷房	6.776	7月21日(火)	8.3%	620,113	4.0%	3,264,062	3,116,022	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	0	11,413,689	94.8%			
			LED照明	6.515	7月21日(火)	11.8%	523,612	19.0%	3,859,850	3,146,024	718,713	1,971,737	170,668	106,998	0	0	9,973,991	82.8%			
			照明制御	6.882	7月21日(火)	6.9%	575,184	11.0%	3,859,850	3,146,024	718,713	2,846,106	170,668	106,998	0	0	10,848,360	90.1%			
			太陽光発電	7.235	7月21日(火)	2.1%	626,586	3.0%	3,859,850	3,146,024	718,713	4,037,225	170,668	106,998	-348,582	0	11,690,806	97.1%			
			蓄電池	6.762	7月21日(火)	8.5%	558,383	13.6%	3,859,850	3,146,024	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	173,317	12,212,796	101.4%			
			仕様-0-A	3.853	7月21日(火)	47.8%	285,374	55.8%	2,552,599	1,594,859	718,713	1,392,133	170,668	106,998	0	0	6,535,971	54.3%			
			仕様-0-B	3.073	7月21日(火)	58.4%	178,289	72.4%	2,552,599	1,594,859	718,713	1,392,133	170,668	106,998	-347,117	173,317	6,362,171	52.8%			
仕様-0-B	2.572	7月21日(火)	65.2%	161,188	75.1%	2,368,013	1,518,911	718,713	1,392,133	170,668	106,998	-346,697	173,317	6,102,056	50.7%						

表 6-3-4 設備的対策の試算結果 (商業施設 (物販店舗))

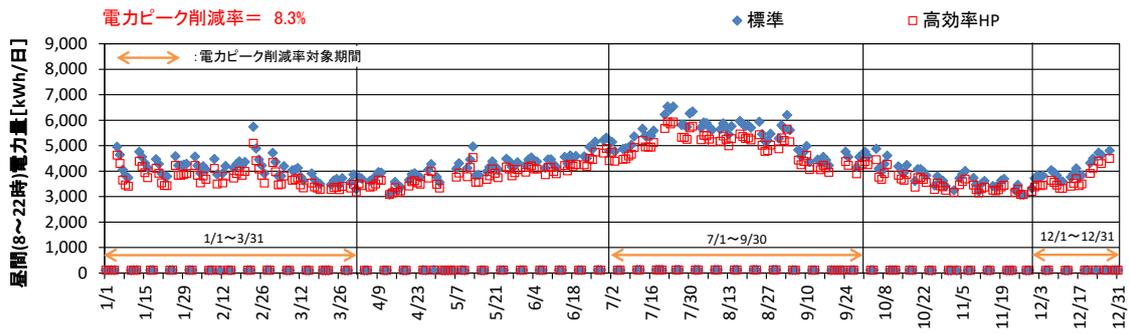
建物種別	気候区分	建築仕様	設備システム	電力ピーク削減		省エネルギー												
				電力ピーク削減率		一次エネルギー												
				最大日	削減率	昼間 (8~22h)	電力ピーク削減率	燃源	二次削減システム	換気	照明電力	昇降機	給湯	太陽光発電	蓄電池	合計	一次エネルギー消費量(基準)	
				kWh/日	%	kWh/年	%	MJ/年	MJ/年	MJ/年	MJ/年	MJ/年	MJ/年	MJ/年	MJ/年	MJ/年	MJ/年	%
商業施設 物販店舗相当	温暖地 (6地区)	標準	標準	10,455	0.0%	1,535,108	0.0%	10,489,668	4,327,612	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	0	0	24,727,369	100.0%	
			高効率HP	9,249	11.5%	1,364,743	11.1%	7,758,152	4,327,612	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	0	0	21,995,853	89.0%	
			地中熱	8,897	14.9%	1,269,310	17.3%	6,800,716	4,327,612	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	0	0	21,038,417	85.1%	
			蓄熱	7,183	31.3%	949,759	38.1%	9,800,868	4,744,981	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	0	0	24,455,888	98.9%	
			大温度差送水	10,303	1.5%	1,524,432	0.7%	10,486,157	4,143,759	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	0	0	24,540,005	99.2%	
			外気カット制御	10,170	2.7%	1,494,272	2.7%	10,188,857	4,142,865	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	0	0	24,241,812	98.0%	
			全熱交換器	9,661	7.6%	1,419,034	7.6%	9,948,896	4,643,637	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	0	0	23,502,623	95.0%	
			外気冷房	10,129	3.1%	1,521,108	0.9%	10,299,844	4,316,194	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	0	0	24,526,128	99.2%	
			LED照明	9,725	7.0%	1,379,658	10.1%	10,489,668	4,327,612	1,339,918	5,180,051	357,897	420,857	0	0	22,116,003	89.4%	
			照明制御	10,040	4.0%	1,446,726	5.8%	10,489,668	4,327,612	1,339,918	6,313,235	357,897	420,857	0	0	23,249,187	94.0%	
			太陽光発電	10,370	0.8%	1,484,123	3.3%	10,489,668	4,327,612	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	-915,246	0	23,812,123	96.3%	
			蓄電池	9,829	6.0%	1,401,703	8.7%	10,489,668	4,327,612	1,339,918	7,791,417	357,897	420,857	0	262,493	24,989,861	101.1%	
			仕様-S-A	4,260	59.3%	623,635	59.4%	5,223,517	4,285,136	1,339,918	4,196,529	357,897	420,857	0	0	15,823,855	64.0%	
			仕様-S-B	3,548	66.1%	439,294	71.4%	5,223,517	4,285,136	1,339,918	4,196,529	357,897	420,857	-914,071	262,493	15,172,277	61.4%	
仕様-S-B	3,297	68.5%	433,569	71.8%	5,116,875	4,274,588	1,339,918	4,196,529	357,897	420,857	-914,071	262,493	15,055,086	60.9%				
準寒冷地 (3地区)	標準	標準	10,372	0.0%	1,626,970	0.0%	10,867,855	4,328,122	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	0	0	25,177,228	100.0%		
		高効率HP	8,779	15.4%	1,427,498	12.3%	7,807,020	4,328,122	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	0	0	22,116,393	87.8%		
		地中熱	8,347	19.5%	1,254,787	22.9%	6,027,443	4,328,122	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	0	0	20,336,815	80.8%		
		蓄熱	6,172	40.5%	927,559	43.0%	9,397,143	4,908,744	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	0	0	24,287,138	96.5%		
		大温度差送水	10,376	0.0%	1,616,803	0.6%	10,873,552	4,140,072	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	0	0	24,994,875	99.3%		
		外気カット制御	9,883	4.7%	1,578,152	3.0%	10,505,810	4,140,015	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	0	0	24,627,076	97.8%		
		全熱交換器	8,237	20.6%	1,438,875	11.6%	8,562,258	4,584,677	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	0	0	23,128,186	91.9%		
		外気冷房	10,372	0.0%	1,616,968	0.6%	10,765,101	4,320,471	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	0	0	25,066,823	99.6%		
		LED照明	9,642	7.0%	1,471,520	9.6%	10,867,855	4,328,122	1,339,918	5,180,051	357,897	492,019	0	0	22,565,862	89.6%		
		照明制御	9,957	4.0%	1,538,588	5.4%	10,867,855	4,328,122	1,339,918	6,313,235	357,897	492,019	0	0	23,699,046	94.1%		
		太陽光発電	10,193	1.7%	1,587,651	2.2%	10,867,855	4,328,122	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	-757,843	0	24,419,385	97.0%		
		蓄電池	9,746	6.0%	1,493,565	8.2%	10,867,855	4,328,122	1,339,918	7,791,417	357,897	492,019	0	262,493	25,439,721	101.0%		
		仕様-S-A	3,577	65.5%	600,976	63.1%	4,637,810	4,319,321	1,339,918	4,196,529	357,897	492,019	0	0	15,343,495	60.9%		
		仕様-S-B	2,794	73.1%	428,285	73.7%	4,637,810	4,319,321	1,339,918	4,196,529	357,897	492,019	-757,202	262,493	14,848,786	59.0%		
仕様-S-B	2,648	74.5%	425,573	73.8%	4,544,973	4,310,506	1,339,918	4,196,529	357,897	492,019	-757,069	262,493	14,747,267	68.6%				

表 6-3-5 設備的対策の試算結果 (商業施設 (物販店舗))

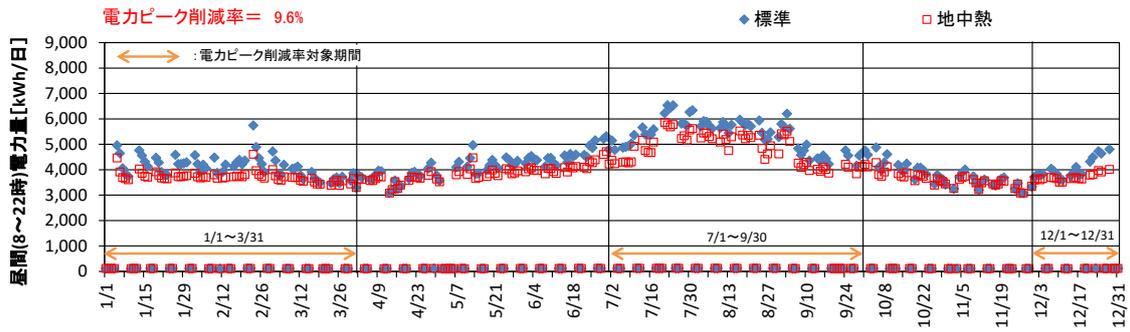
建物種別	気候区分	建築仕様	設備システム	電力ピーク削減		省エネルギー										一次エネルギー消費量 (%)		
				最大日 昼間 (8 ~22h) kWh/日	電力ピーク 削減率 %	年間 [7~9, 12~3月]		一次エネルギー									合計 MJ/年	
						最大日 昼間 (8~ 22h) kWh/年	電力ピーク 削減率 %	熱源 MJ/年	二次側シス テム MJ/年	換気 MJ/年	照明電力 MJ/年	昇降機 MJ/年	給湯 MJ/年	太陽光発電 蓄電池 MJ/年	蓄電池 MJ/年			
商業施設 物販店舗相当	蒸暑地 (S地区)	標準	標準	10,242	7月22日(水)	0.0%	1,400,374	0.0%	11,102,128	4,424,914	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	0	0	25,339,570	100.0%
				9,082	7月22日(水)	11.3%	1,256,111	10.3%	8,507,161	4,424,914	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	0	0	22,744,603	89.8%
				9,920	8月22日(土)	3.1%	1,329,314	5.1%	9,669,214	4,424,914	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	0	0	23,906,656	94.3%
				7,874	8月22日(土)	23.1%	1,058,266	24.4%	11,101,660	5,353,063	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	0	0	26,267,251	103.7%
				10,150	8月22日(土)	0.9%	1,389,214	0.8%	11,087,124	4,225,358	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	0	0	25,125,010	99.2%
				9,967	8月22日(土)	2.7%	1,367,725	2.3%	10,767,846	4,233,670	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	0	0	24,814,043	97.9%
				9,556	8月22日(土)	6.7%	1,343,606	4.1%	9,801,880	4,914,299	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	0	0	24,528,707	96.8%
				10,171	8月22日(土)	0.7%	1,381,613	1.3%	10,733,429	4,406,058	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	0	0	24,952,015	98.5%
				9,512	7月22日(水)	7.1%	1,244,924	11.1%	11,102,128	4,424,914	1,339,918	5,180,051	357,897	323,296	0	0	22,728,204	89.7%
				9,827	7月22日(水)	4.1%	1,311,992	6.3%	11,102,128	4,424,914	1,339,918	6,313,235	357,897	323,296	0	0	23,861,387	94.2%
				9,893	7月20日(月)	3.4%	1,351,036	3.5%	11,102,128	4,424,914	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	-870,332	-	24,469,238	96.6%
				9,616	7月22日(水)	6.1%	1,266,989	9.5%	11,102,128	4,424,914	1,339,918	7,791,417	357,897	323,296	0	262,493	25,602,062	101.0%
4,624	7月20日(月)	54.8%	664,967	52.5%	7,064,156	4,441,877	1,339,918	4,196,529	357,897	323,296	0	0	17,723,674	69.9%				
3,669	7月20日(月)	64.2%	482,259	65.6%	7,064,156	4,441,877	1,339,918	4,196,529	357,897	323,296	-869,333	-	17,116,833	67.5%				
3,540	7月20日(月)	65.4%	471,328	66.3%	6,829,569	4,429,875	1,339,918	4,196,529	357,897	323,296	-869,333	-	16,870,243	66.6%				

表 6-3-6 設備的対策の試算結果（共同住宅（共用部））

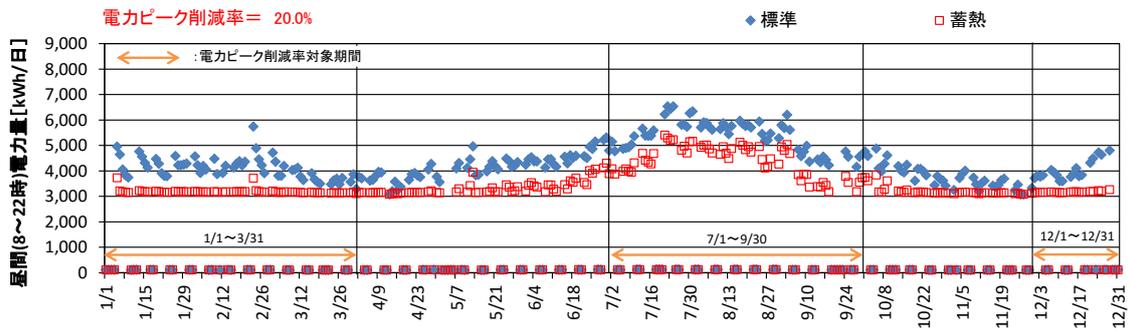
建物種別	気候区分 (6地区)	建築仕様	設備システム	電力ピーク削減				省エネルギー										一次エネルギー消費量 (年)
				最大日 kW/日	最大日 削減率 %	年間 削減率 %	年間 削減率 %	一次エネルギー										
								年間 削減率 %	年間 削減率 %	照明電力	昇降機	給湯	太陽光発電	蓄電池	合計			
共同住宅 共用部	温暖地 (6地区)	標準	標準	596	2月23日(月)	0.0%	105,923	0.0%	360,973	170,754	978,967	1,247,225	0	17,526	0	2,775,445	100.0%	
				548	2月23日(月)	8.1%	100,956	4.7%	271,691	170,754	978,967	1,247,225	0	17,526	0	2,686,163	96.8%	
				589	2月23日(月)	1.2%	106,088	-0.7%	375,582	170,754	978,967	1,247,225	0	17,526	0	2,790,054	100.5%	
				642	2月23日(月)	-7.7%	108,713	-2.6%	419,877	143,847	978,967	1,247,225	0	17,526	0	2,807,442	101.2%	
				596	2月23日(月)	0.0%	105,907	0.0%	354,058	170,754	978,967	1,247,225	0	17,526	0	2,768,530	99.8%	
				495	2月23日(月)	17.1%	84,852	19.9%	360,973	170,754	978,967	659,965	0	17,526	0	2,188,184	78.8%	
				571	2月23日(月)	4.2%	100,769	4.9%	360,973	170,754	978,967	1,103,717	0	17,526	0	2,631,837	94.8%	
				560	7月24日(金)	6.1%	93,984	11.3%	360,973	170,754	978,967	1,247,225	0	17,526	-219,195	0	2,556,250	92.1%
				571	2月23日(月)	4.2%	100,592	5.0%	360,973	170,754	978,967	1,247,225	0	17,526	0	2,785,945	100.4%	
				482	2月23日(月)	27.5%	77,014	27.3%	266,094	170,754	978,967	580,398	0	17,526	0	2,013,739	72.6%	
				385	7月24日(金)	35.5%	59,733	43.6%	266,094	170,754	978,967	580,398	0	17,526	-219,195	10,500	1,805,044	65.0%
				384	7月24日(金)	39.0%	57,267	45.9%	244,873	170,726	978,967	580,398	0	17,526	-219,195	10,500	1,783,795	64.3%
				623	1月5日(月)	0.0%	109,062	0.0%	393,238	165,730	978,967	1,247,225	0	20,731	0	0	2,805,891	100.0%
				567	1月5日(月)	8.9%	103,965	5.2%	299,877	165,730	978,967	1,247,225	0	20,731	0	0	2,712,530	96.7%
				627	1月5日(月)	-0.8%	109,843	-0.7%	403,373	165,730	978,967	1,247,225	0	20,731	0	0	2,816,025	100.4%
				679	1月5日(月)	-9.1%	112,400	-3.1%	437,333	138,734	978,967	1,247,225	0	20,731	0	0	2,822,990	100.6%
623	1月5日(月)	0.0%	108,899	0.1%	371,885	165,730	978,967	1,247,225	0	20,731	0	0	2,784,538	99.2%				
521	1月5日(月)	16.3%	87,985	19.3%	393,238	165,730	978,967	659,965	0	20,731	0	0	2,218,630	79.1%				
598	1月5日(月)	4.0%	103,902	4.7%	393,238	165,730	978,967	1,103,717	0	20,731	0	0	2,662,383	94.9%				
608	1月5日(月)	2.3%	99,881	8.4%	393,238	165,730	978,967	1,247,225	0	20,731	-183,235	0	2,622,656	93.5%				
598	1月5日(月)	4.0%	103,725	4.9%	393,238	165,730	978,967	1,247,225	0	20,731	0	10,500	2,816,391	100.4%				
452	1月5日(月)	27.5%	79,308	27.3%	282,436	165,730	978,967	580,398	0	20,731	0	0	2,028,261	72.3%				
412	1月5日(月)	33.8%	64,791	40.6%	282,436	165,730	978,967	580,398	0	20,731	-183,235	10,500	1,855,526	66.1%				
407	1月5日(月)	34.6%	64,401	40.9%	282,461	165,702	978,967	580,398	0	20,731	-183,235	10,500	1,855,523	66.1%				
595	7月21日(火)	0.0%	97,863	0.0%	292,306	165,671	978,967	1,247,225	0	13,345	0	0	2,697,514	100.0%				
557	7月21日(火)	6.4%	94,997	2.6%	228,241	165,671	978,967	1,247,225	0	13,345	0	0	2,633,449	97.6%				
590	7月21日(火)	0.8%	98,403	-0.9%	312,005	165,671	978,967	1,247,225	0	13,345	0	0	2,717,213	100.7%				
606	7月21日(火)	-1.9%	98,551	-1.0%	346,126	138,717	978,967	1,247,225	0	13,345	0	0	2,724,380	101.0%				
595	7月21日(火)	0.0%	97,403	0.2%	287,955	165,671	978,967	1,247,225	0	13,345	0	0	2,692,473	99.8%				
493	7月21日(火)	17.1%	76,487	21.6%	292,306	165,671	978,967	659,965	0	13,345	0	0	2,110,254	78.2%				
570	7月21日(火)	4.2%	92,403	5.3%	292,306	165,671	978,967	1,103,717	0	13,345	0	0	2,554,006	94.7%				
522	6月24日(水)	12.3%	86,285	11.6%	292,306	165,671	978,967	1,247,225	0	13,345	-200,031	0	2,497,483	92.6%				
570	7月21日(火)	4.2%	92,227	5.5%	292,306	165,671	978,967	1,247,225	0	13,345	0	10,500	2,708,014	100.4%				
442	7月21日(火)	25.8%	70,944	27.3%	224,142	165,671	978,967	580,398	0	13,345	0	0	1,962,522	72.8%				
352	6月24日(水)	40.8%	54,300	44.3%	224,142	165,671	978,967	580,398	0	13,345	-200,031	10,500	1,772,990	65.7%				
349	6月24日(水)	41.4%	53,625	45.0%	217,264	165,647	978,967	580,398	0	13,345	-200,031	10,500	1,766,088	65.5%				



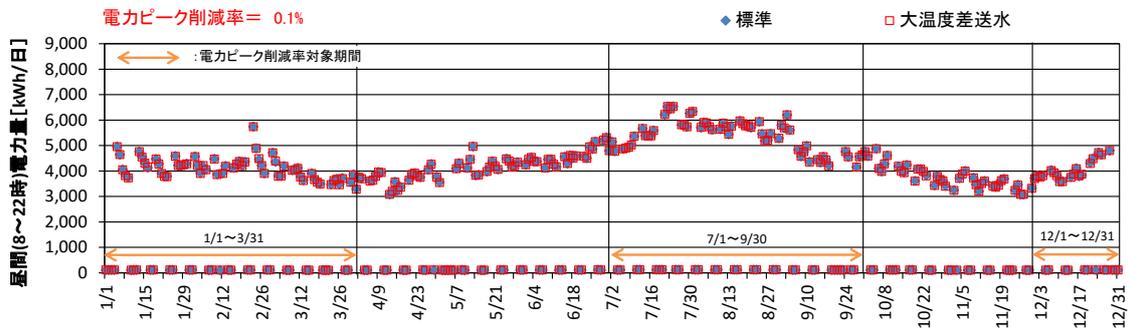
(高効率熱源機器)



(地中熱利用ヒートポンプ)

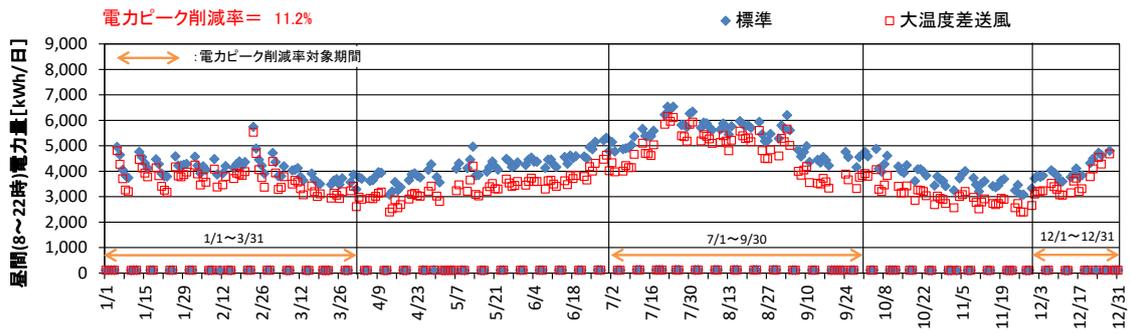


(蓄熱式空調システム)

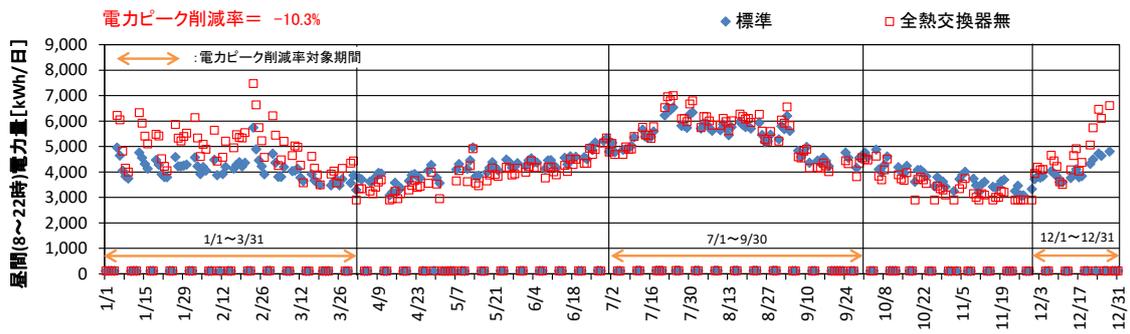


(大温度差送水)

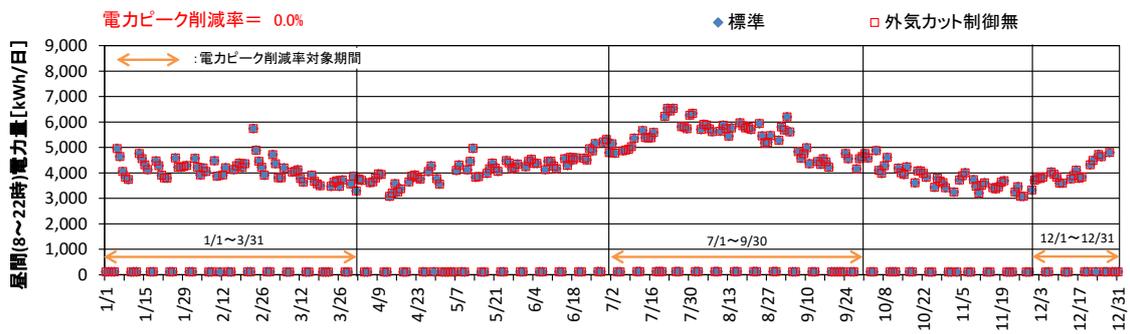
図6-12 設備的対策した事務所(温暖地)の1年間の昼間電力量(8~22時)状況(1)



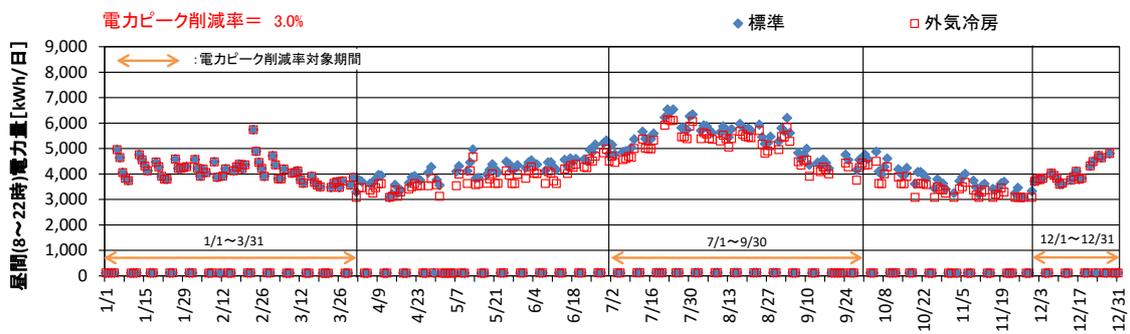
(大温度差送風)



(全熱交換器)

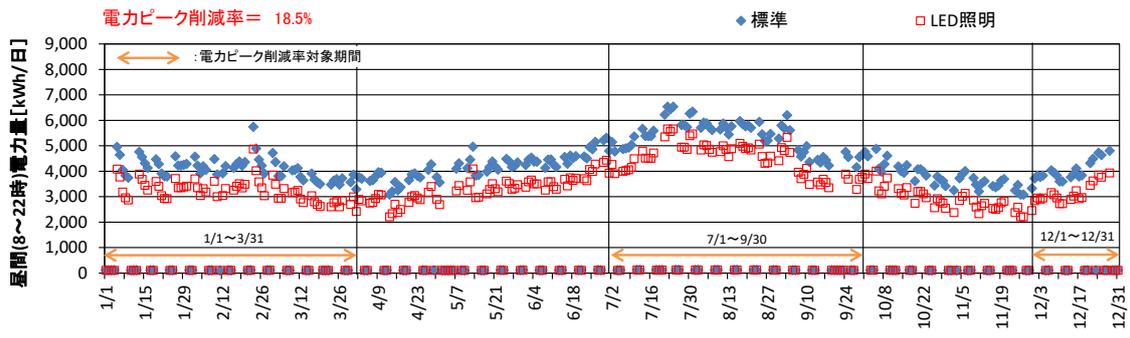


(外気カット制御)

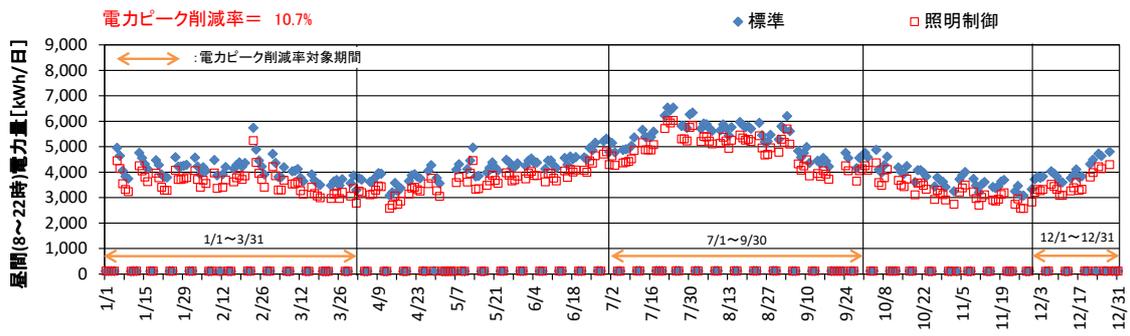


(外気冷房)

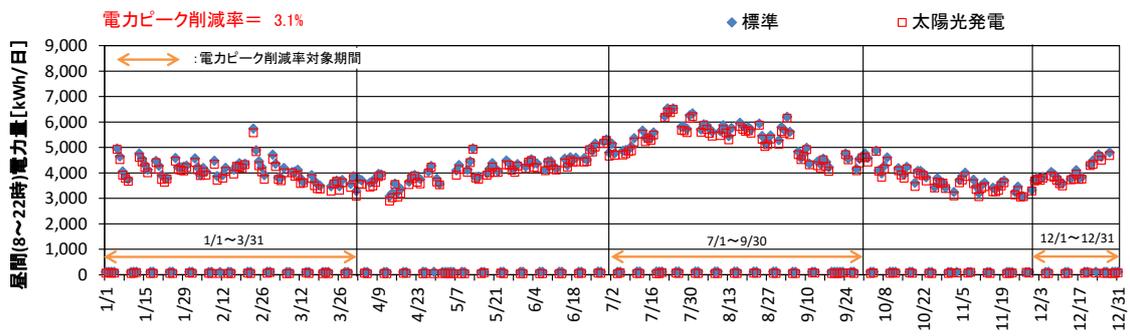
図6-13 設備的対策した事務所(温暖地)の1年間の昼間電力量(8~22時)状況(2)



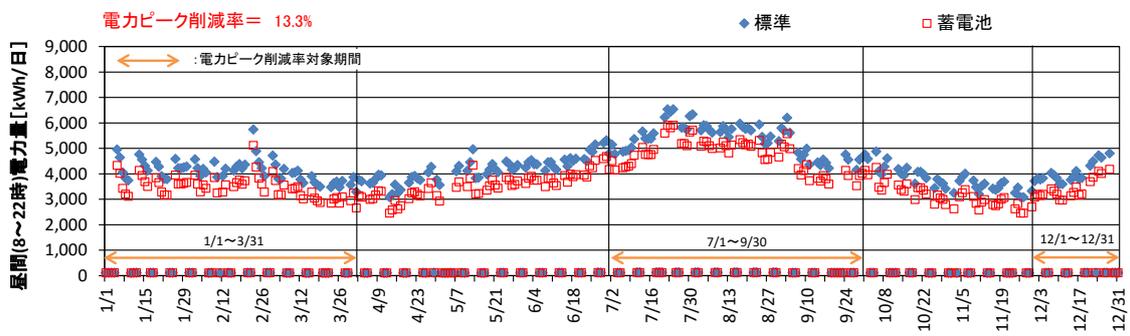
(LED 照明器具)



(照明制御)

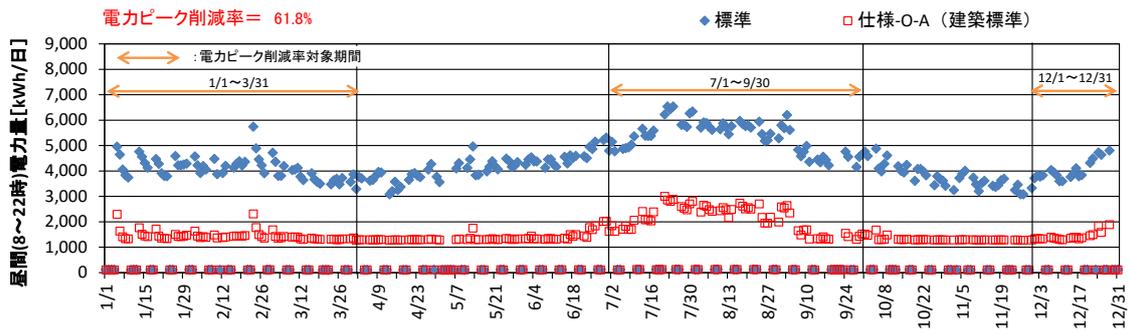


(太陽光発電設備)

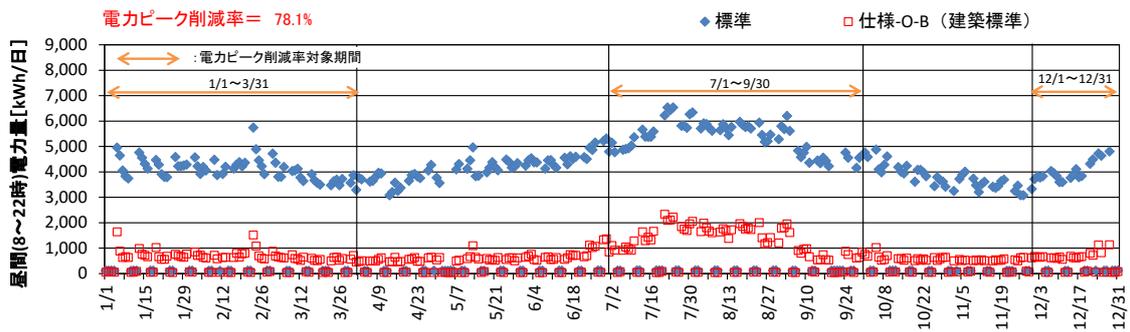


(蓄電池設備)

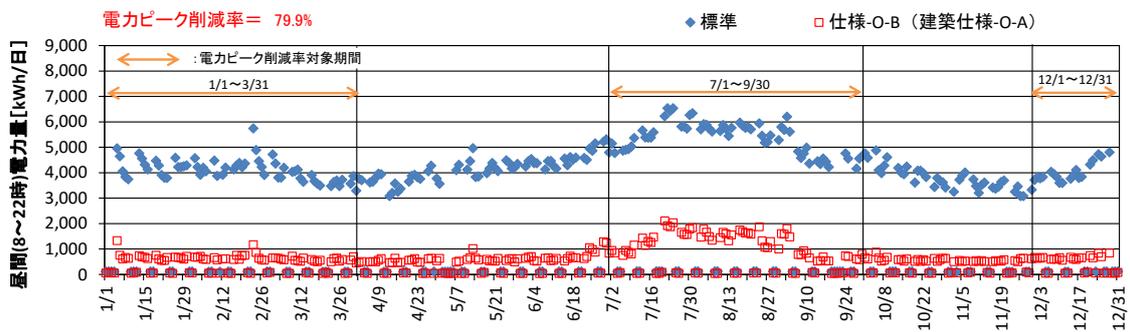
図6-14 設備的対策した事務所(温暖地)の1年間の昼間電力量(8~22時)状況(3)



(組合せ：仕様-O-A)



(組合せ：仕様-O-B)



(組合せ：建築的対策 (仕様-O-A) + 設備的対策 (仕様-O-B))

図6-15 設備的対策した事務所(温暖地)の1年間の昼間電力量(8~22時)状況(4)

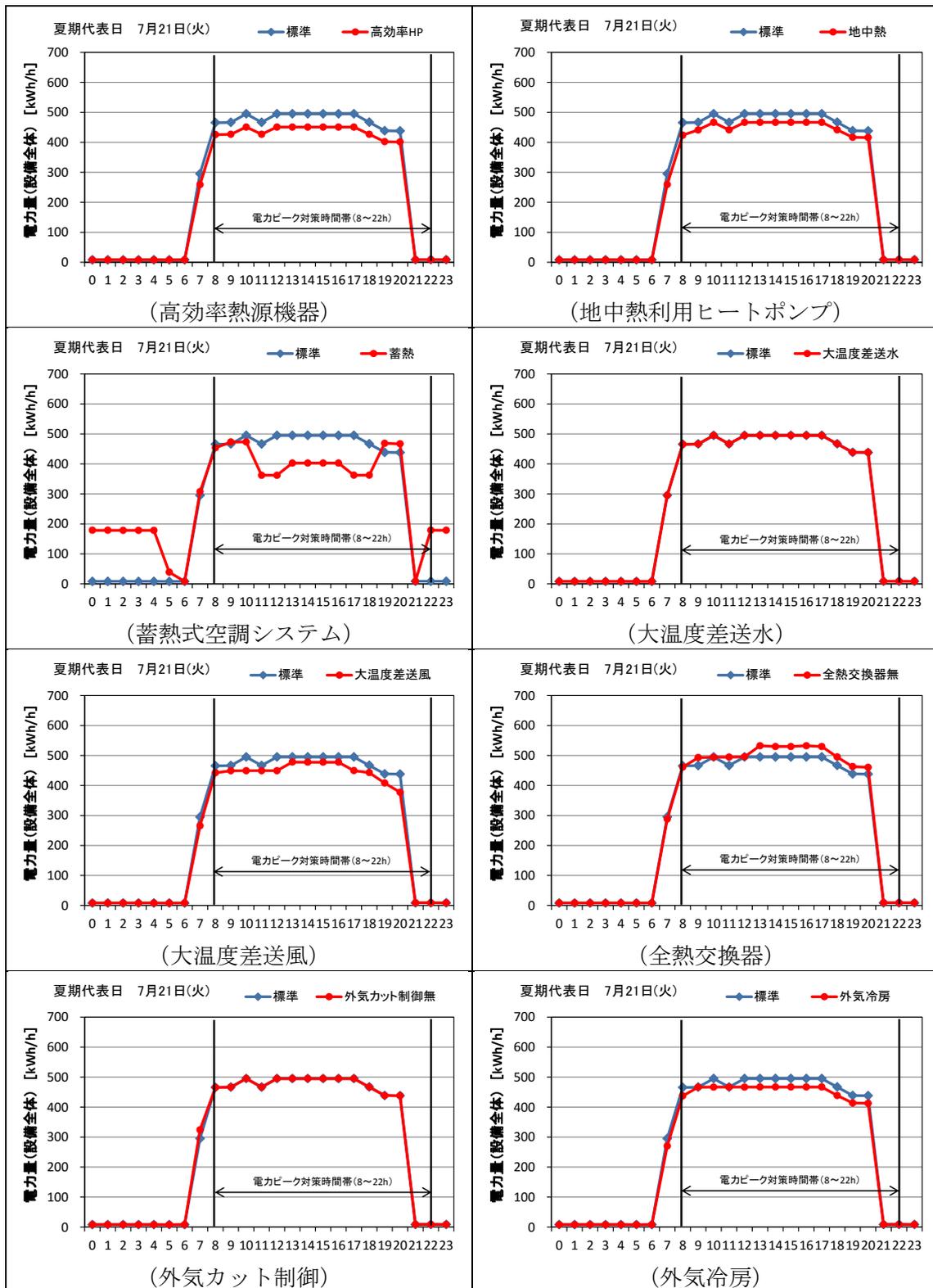


図6-16 設備的対策した事務所(温暖地)の代表日の電力量状況(1)

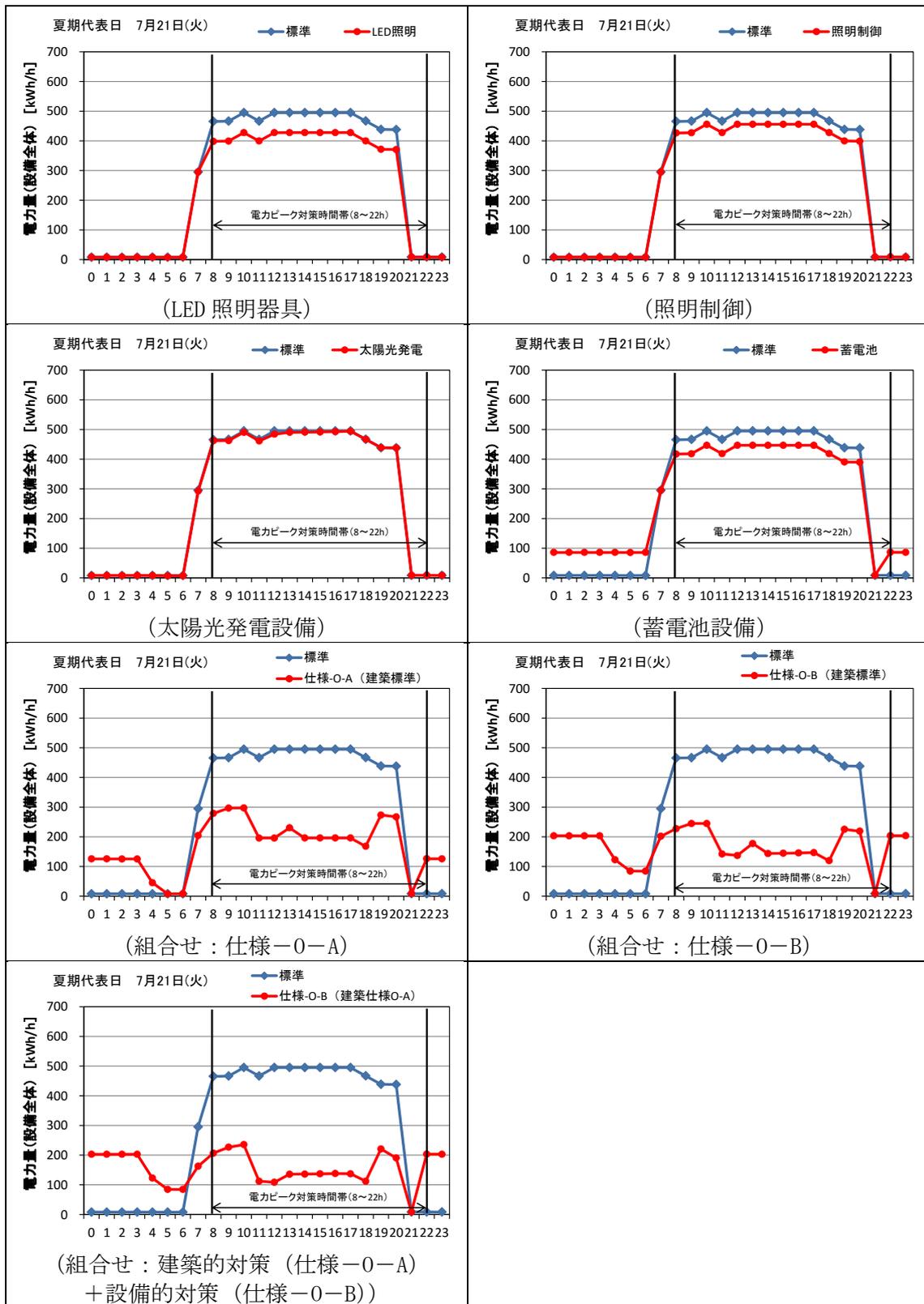


図6-17 設備的対策した事務所(温暖地)の代表日の電力量状況(2)

6.6.3 運用的対策

事務所における運用的対策（①空調室内設定温度の緩和、②予冷・予熱空調、③照明器具の間引き（室内設定照度の緩和））を実施した場合の試算条件を表6-37～表6-39に示し、試算結果を表6-40に示す。

また、運用的対策を実施した事務所（温暖地）の1年間の昼間電力量（8～22時）状況の例を図6-18に、代表日の電力量状況を図6-19に示す。

表6-37 空調室内設定温度の緩和

空調室内設定温度の緩和	<ul style="list-style-type: none"> ・空調室内設定温度を以下のように緩和 冷房室内条件 26℃50% → 28℃50% 暖房室内条件 22℃40% → 20℃40% ※中間期は24℃50%として変えない
-------------	--

表6-38 予冷・予熱空調

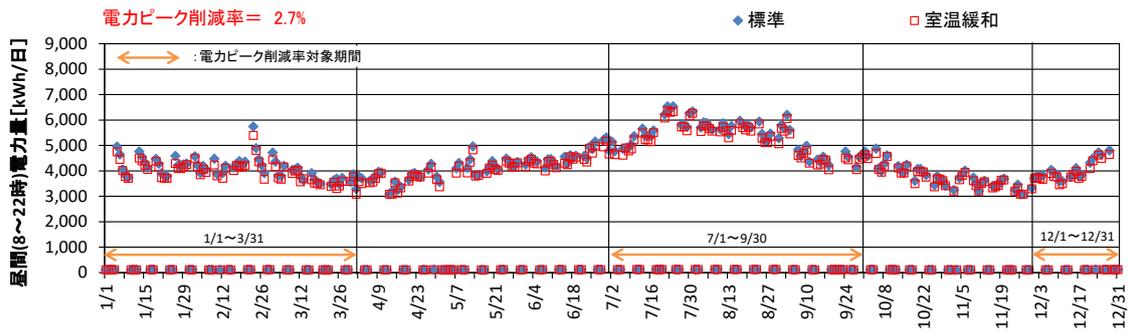
予冷・予熱空調無し	<ul style="list-style-type: none"> ・空調運転時間（事務所）を以下のように変更 予冷・予熱有り：7時～20時（室使用の1時間前から運転） <li style="text-align: center;">↓ 予冷・予熱無し：8時～20時（室使用と同時に運転）
-----------	---

表6-39 照明器具の間引き（室内設定照度の緩和）

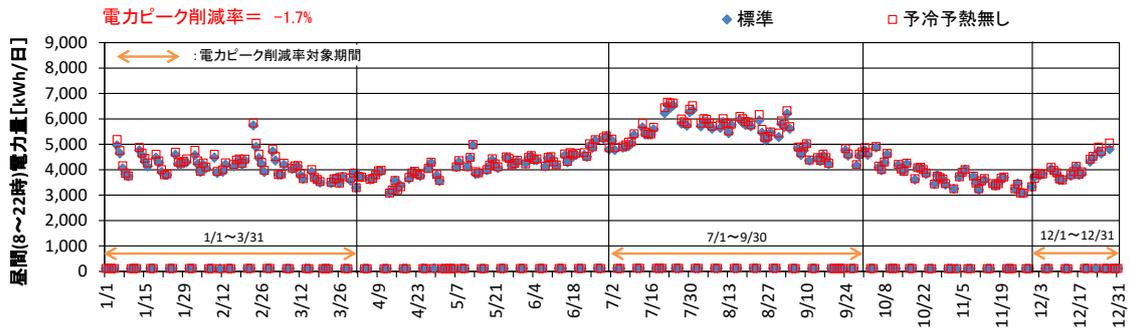
室内設定照度の緩和	<ul style="list-style-type: none"> ・室内設計照度が以下となるように照明器具の間引き点灯 事務室 750 lx → 500 lx（JIS基準下限値） 廊下 200 lx → 100 lx 便所 300 lx → 200 lx
-----------	---

表 6-4-0 運用備的対策の試算ケース結果 (事務所)

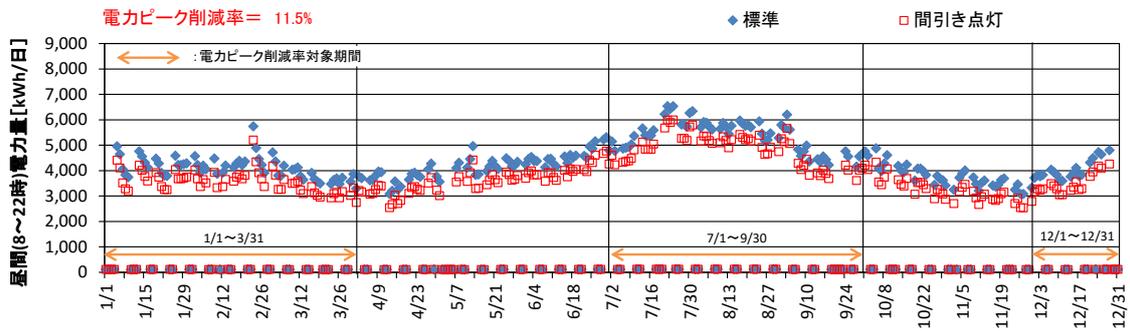
建物種別	気候区分	建築仕様	運用的対策	電力ピーク削減			省エネルギー										
				最大日 昼間(8 ~22h) kWh/日	電力ピーク 削減率 %	年間 [7~9, 12~3月] 昼間(8~ 22h) kWh/年	一次エネルギー										
							最大日 7月24日(金)	電力ピーク 削減率 %	年間 7月24日(金)	熱源	二次側シス テム	換気	照明電力	昇降機	給湯	太陽光発電	蓄電池
事務所	温暖地 (6地区)	標準	標準	6,535	0.0%	661,042	3,175,064	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,288,657	100.0%		
				6,365	2.6%	643,229	2,895,501	3,036,135	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	10,995,429	97.4%		
				6,653	-1.8%	672,216	3,120,186	2,851,145	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,035,126	97.8%		
				5,993	8.3%	585,079	3,175,064	3,049,799	718,713	2,760,957	170,668	137,188	0	10,012,389	88.7%		
				6,865	0.0%	663,623	2,820,637	2,923,218	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,830,806	100.0%		
				6,567	4.3%	645,820	2,579,875	2,912,488	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,579,315	97.7%		
事務所	温暖地 (6地区)	標準	標準	7,075	-3.1%	674,860	2,751,839	2,729,465	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,568,256	97.6%		
				6,322	7.9%	587,660	2,820,637	2,923,218	718,713	2,760,957	170,668	160,346	0	9,554,539	88.2%		
				7,388	0.0%	646,057	3,859,850	3,146,024	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	12,039,479	100.0%		
				6,776	8.3%	628,005	3,506,522	3,119,646	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	11,659,772	96.8%		
				7,628	-3.2%	653,499	3,828,135	2,949,793	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	11,811,532	98.1%		
				6,846	7.3%	570,104	3,859,850	3,146,024	718,713	2,760,957	170,668	106,998	0	10,763,211	89.4%		
事務所	寒帯地 (8地区)	標準	標準	6,535	0.0%	661,042	3,175,064	3,049,799	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,288,657	100.0%		
				6,365	2.6%	643,229	2,895,501	3,036,135	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	10,995,429	97.4%		
				6,653	-1.8%	672,216	3,120,186	2,851,145	718,713	4,037,225	170,668	137,188	0	11,035,126	97.8%		
				5,993	8.3%	585,079	3,175,064	3,049,799	718,713	2,760,957	170,668	137,188	0	10,012,389	88.7%		
				6,865	0.0%	663,623	2,820,637	2,923,218	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,830,806	100.0%		
				6,567	4.3%	645,820	2,579,875	2,912,488	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,579,315	97.7%		
事務所	寒帯地 (8地区)	標準	標準	7,075	-3.1%	674,860	2,751,839	2,729,465	718,713	4,037,225	170,668	160,346	0	10,568,256	97.6%		
				6,322	7.9%	587,660	2,820,637	2,923,218	718,713	2,760,957	170,668	160,346	0	9,554,539	88.2%		
				7,388	0.0%	646,057	3,859,850	3,146,024	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	12,039,479	100.0%		
				6,776	8.3%	628,005	3,506,522	3,119,646	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	11,659,772	96.8%		
				7,628	-3.2%	653,499	3,828,135	2,949,793	718,713	4,037,225	170,668	106,998	0	11,811,532	98.1%		
				6,846	7.3%	570,104	3,859,850	3,146,024	718,713	2,760,957	170,668	106,998	0	10,763,211	89.4%		



(室温緩和)



(予冷・予熱無し)



(照明間引き点灯)

図6-18 運用的対策した事務所（温暖地）の1年間の昼間電力量(8~22時)状況

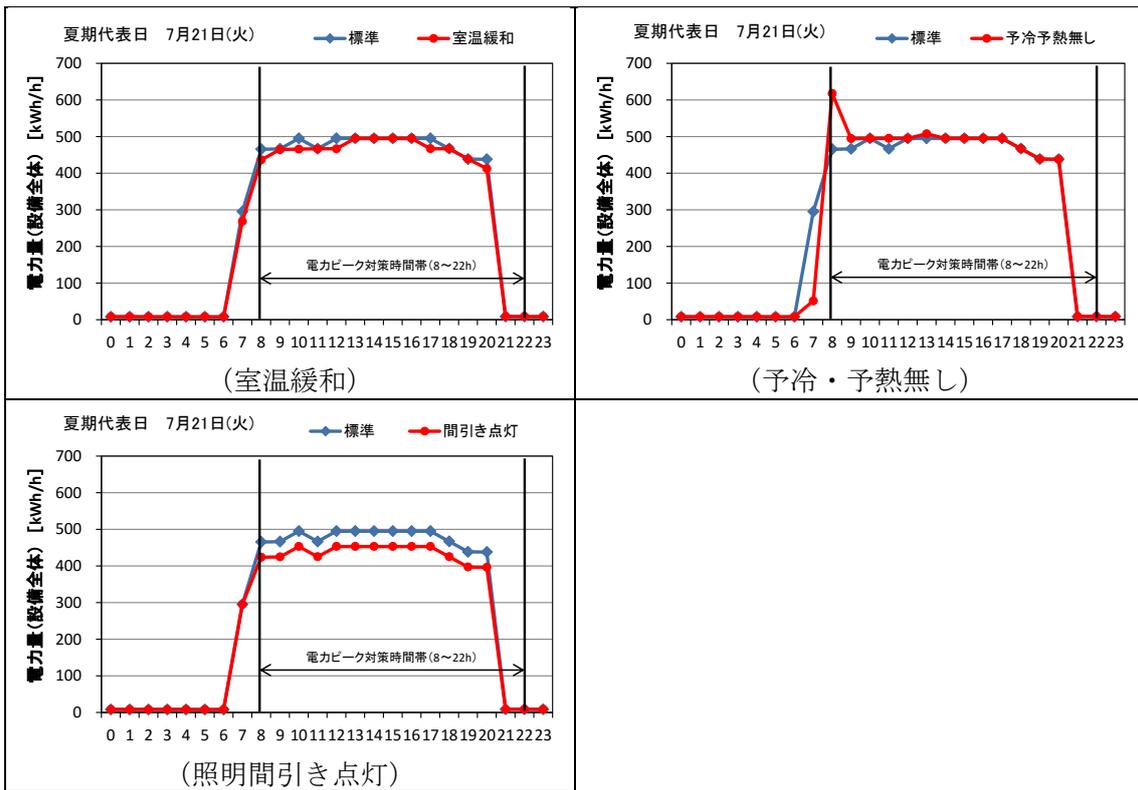


図6-19 運用的対策した事務所（温暖地）の代表日の電力量状況

6.7 試算結果の分析

6.7.1 熱負荷に関する分析

建築的対策を施したときの年間熱負荷の低減及びピーク時間帯の熱負荷削減効果を図6-20～図6-25、各対策技術の効果のまとめを表6-42～表6-44に示す。各対策技術の熱負荷削減効果は次の4つのグループに分類できる。なお、地域、建物種別毎で標準としている外皮の仕様が異なるので留意が必要である。

表6-41 外皮の省エネ対策効果の分類

グループ	ピーク熱負荷削減と年間熱負荷低減の形態
A :	ピーク熱負荷を削減しつつ、年間熱負荷も5～10%（超）程度低減する。
B :	ピーク熱負荷の削減と年間熱負荷の低減率はAの50%程度である。
C :	ピーク熱負荷削減効果はあるが、年間熱負荷は増加する場合がある。
D :	ピーク熱負荷削減、年間熱負荷低減効果はわずかである。

得られた知見を以下に示す。なお、C・Dグループに属する技術であっても、建物形状、平断面、冷暖房期間・モードなどの諸条件によっては効果的な場合もあるので留意が必要である。

- ① 建物用途別に見ると、事務所においてはピーク熱負荷削減率は最大で12%、年間熱負荷低減率は最大で8%となった。外皮負荷が空調負荷に与える割合が小さい商業施設（物販店舗）では4%、3%と共に小さい結果となり、逆に外皮負荷が空調負荷に大きな影響を与える共同住宅（共用部）においては、ピーク熱負荷削減率31%、年間負荷低減効果13%と大きくなっている。
- ② 開口部の省エネ対策の基本である「日射の侵入抑制」と「断熱」を同時に達成できるエアフローウィンドウ、複層LowEガラスの効果が大きい（A・Bグループ）。
- ③ 窓ガラスの複層化や外壁等の断熱強化はピーク熱負荷削減には繋がるものの、内部負荷が大きい事務所や商業施設（物販店舗）では、過度な断熱強化は年間熱負荷が増加するケースもある。各建物の負荷条件に応じた最適な断熱（仕様・厚さ）を施す必要がある（Cグループ）。
- ④ 内部発熱が小さく、外皮負荷の影響が大きい共同住宅（共用部）において窓ガラスを複層・透明化すると、温暖地（標準仕様は断熱厚40mm、単板ガラス）ではピーク、年間共に熱負荷が低減できる一方で、蒸暑地（標準仕様は断熱厚15mm、熱線反射ガラス）ではピーク・年間ともに熱負荷は増大している。（（図6-24・図6-25グループC））。

(1) 事務所

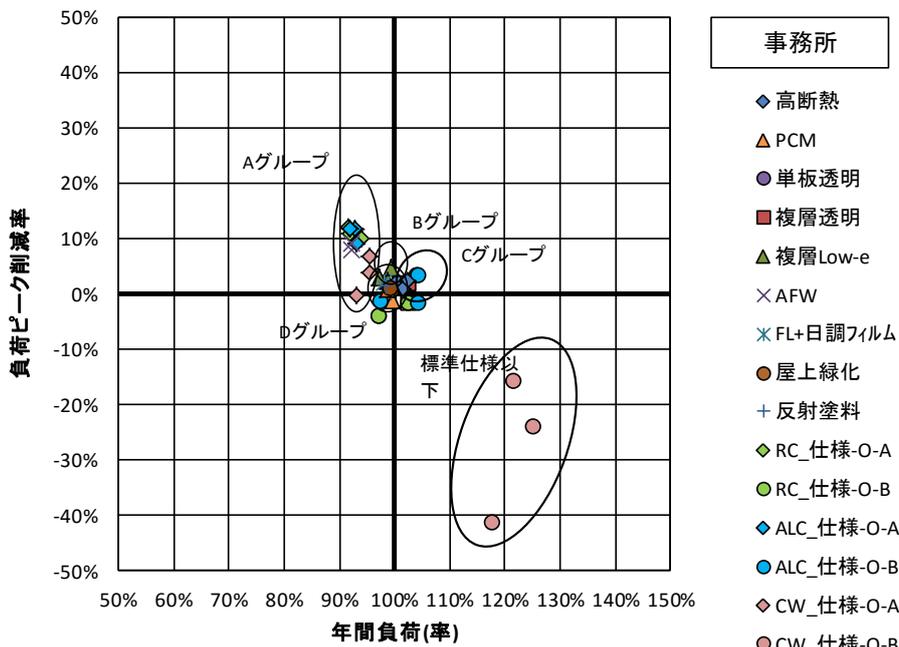


図6-20 ピーク負荷削減率と年間負荷(率)[事務所]

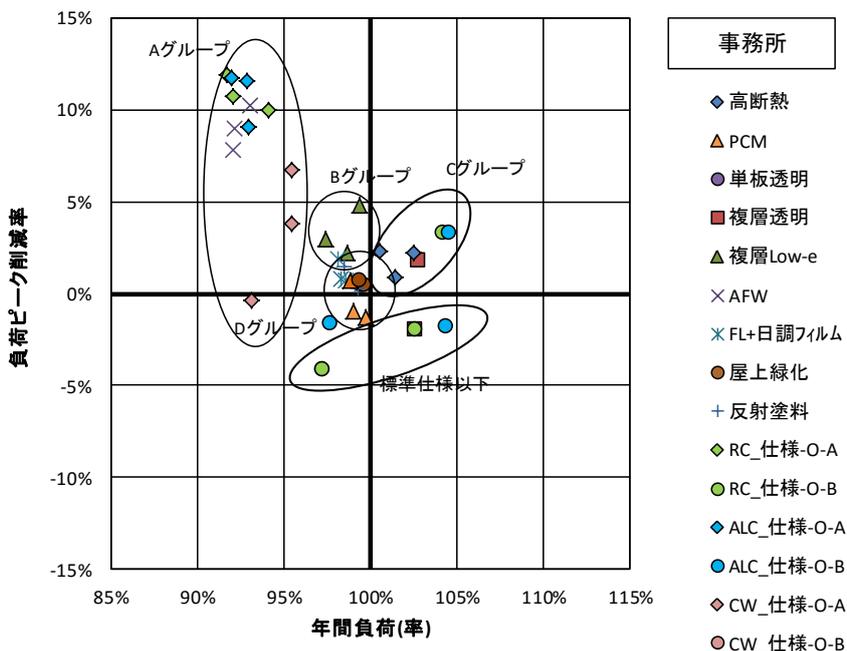


図6-21 ピーク負荷削減率と年間負荷(率)[事務所](拡大)

表6-42 対策毎の効果の分類[事務所]

グループ	A	B	C	D
外皮省エネ	AFW	複層Low-e	高断熱(GW50)	PCM
対策			複層透明	FL+日調フィルム
				屋上緑化
				反射塗料

(2) 商業施設（物販店舗）

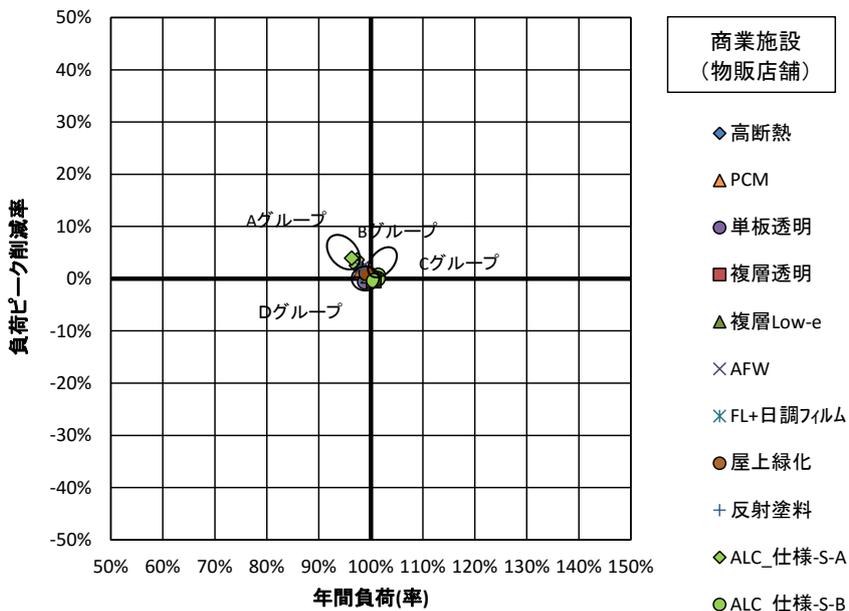


図6-22 ピーク負荷削減率と年間負荷(率)[商業施設(物販店舗)]

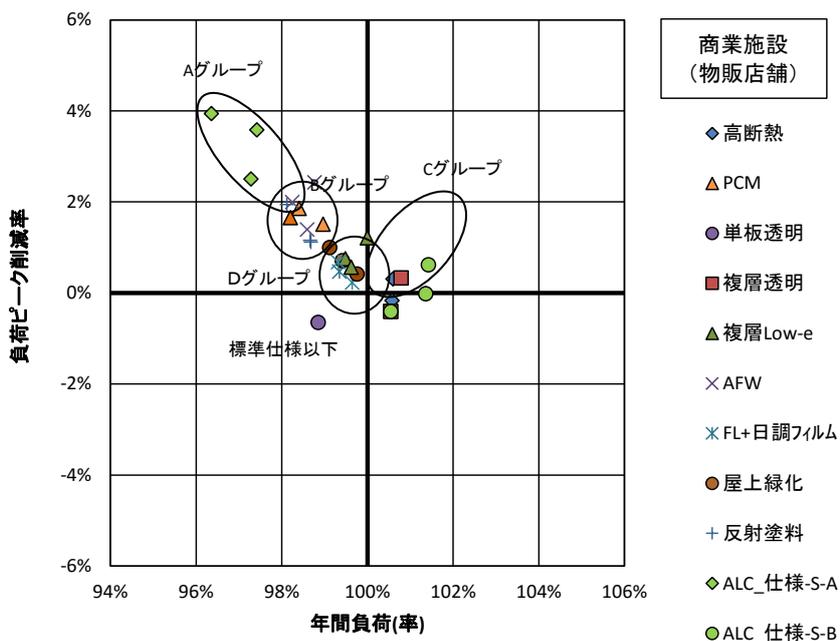


図6-23 ピーク負荷削減率と年間負荷(率)[商業施設(物販店舗)](拡大)

表6-43 対策毎の効果の分類[商業施設(物販店舗)]

グループ	A	B	C	D
外皮省エネ	AFW	PCM	複層透明	反射塗料
対策		複層Low-e		屋上緑化
				FL+日調フィルム
				高断熱(GW30)

(3) 共同住宅（共用部）

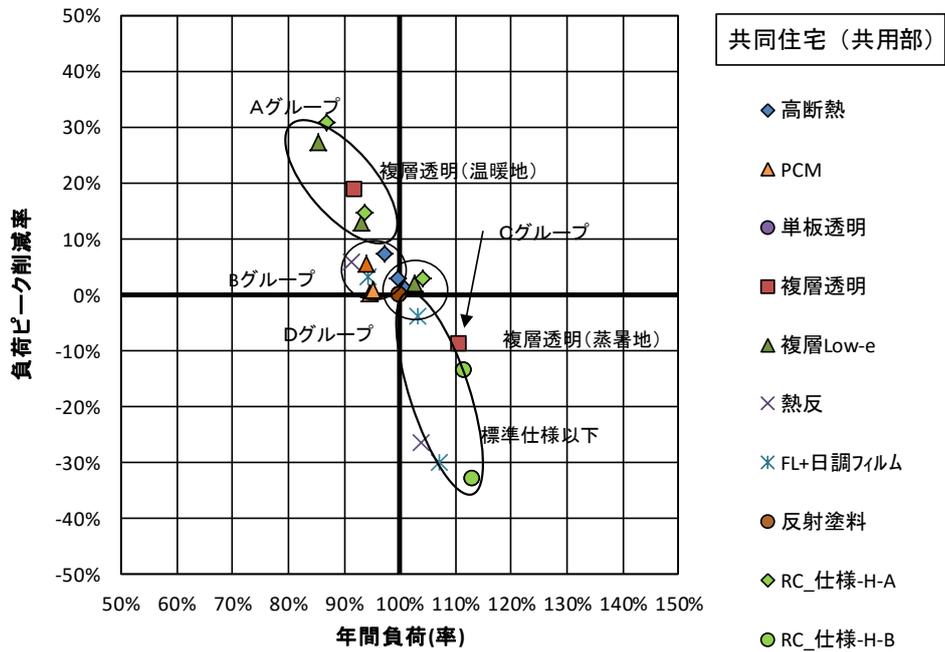


図6-24 ピーク負荷削減率と年間負荷(率)[共同住宅(共用部)]

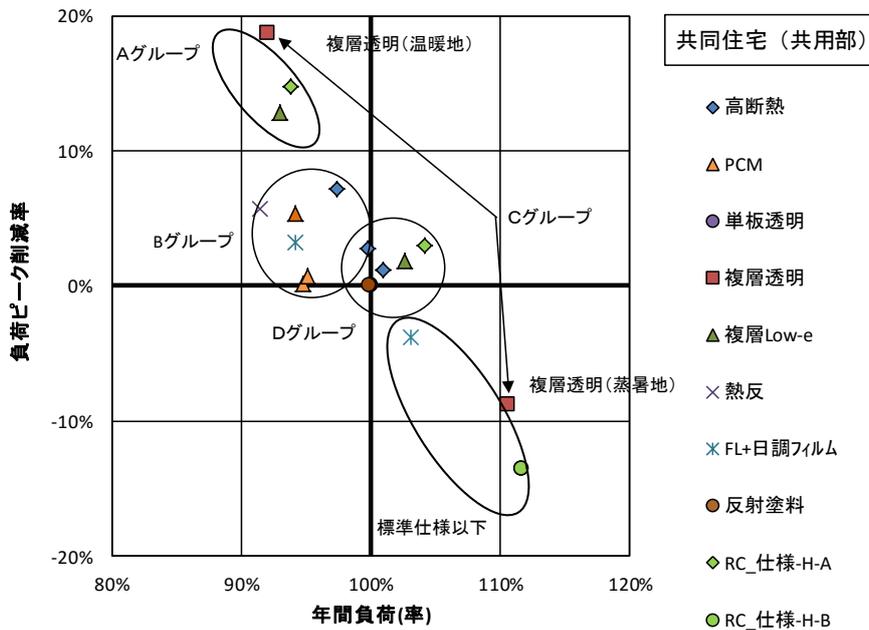


図6-25 ピーク負荷削減率と年間負荷(率)[共同住宅(共用部)](拡大)

表6-44 対策毎の効果の分類[共同住宅(共用部)]

グループ	A	B	C	D
外皮省エネ	複層Low-e	PCM	複層透明	熱反
対策		高断熱(GW90)		FL+日調フィルム
				反射塗料

6.7.2 エネルギー消費量に関する分析

建築的対策及び設備的対策を施したときの年間エネルギー消費量の低減効果及びピーク時間帯の電力消費量削減効果を図6-26～図6-31に、対策技術効果のまとめを表6-46～表6-48に示す。各対策技術によるエネルギー消費量削減効果は次の5つのグループに分類できる。

表6-45 設備システムの省エネ対策効果の分類

グループ	ピーク電力削減とエネルギー消費量の形態
A:	ピーク電力を削減しつつ、エネルギー消費量も同時に10%以上低減する。
B:	ピーク電力削減効果は大きい、エネルギー消費量低減はわずかである。
C:	ピーク電力削減効果はあるが、エネルギー消費量は増加する。
D:	ピーク電力削減とエネルギー消費量の低減は10%以下である。
E:	ピーク電力、エネルギー消費量はわずかである。

得られた知見を以下に示す。

- ①建物用途別に見ると、事務所においてはピーク電力削減率は最大で84%、年間エネルギー消費量低減率は最大で56%であった。商業施設(物販店舗)ではピーク電力削減率74%、年間エネルギー消費量低減率は42%、共同住宅(共用部)ではピーク電力削減率46%、年間エネルギー消費量低減率は36%である。
- ②事務所と商業施設(物販店舗)では空調設備のエネルギー消費量が大きく、そのうち熱源システムが過半を占めるため、高効率熱源機の採用、地中熱ヒートポンプなど熱源システムの高効率化は年間・ピーク時間帯電力消費量双方の低減に有効である。
- ③ピーク電力削減効果は、空調熱源機器の電力消費を夜間に移行する蓄熱システムが最も大きい。設計を工夫すれば、年間エネルギー消費量も低減も可能である。
- ④熱源のみでなく、空調搬送設備のうち空気側搬送動力の低減効果は大きい。
- ⑤空調搬送設備のうち水側搬送動力はシステムとしての消費電力は小さいが、大温度差に伴う変流量化は熱源の運転台数制御にも影響し、空調設備全体のエネルギーを支配する場合もなるため留意が必要である。
- ⑥LED照明の採用については、器具の高効率化、省エネ制御の採用による省エネ効果が、そのまま年間エネルギー消費量削減効果及びピーク電力削減効果に直結している。
- ⑦蓄電設備はピーク電力削減効果を有するが、年間エネルギー消費量は増大する。
- ⑧D、Eに分類されたシステムでも試算の条件によっては効果が得られる場合があることに留意が必要である(例えば外気冷房制御の効果は冷暖房期間やモードに大きく依存するが、これらの条件は本試算では固定で与えている)。

(1) 事務所

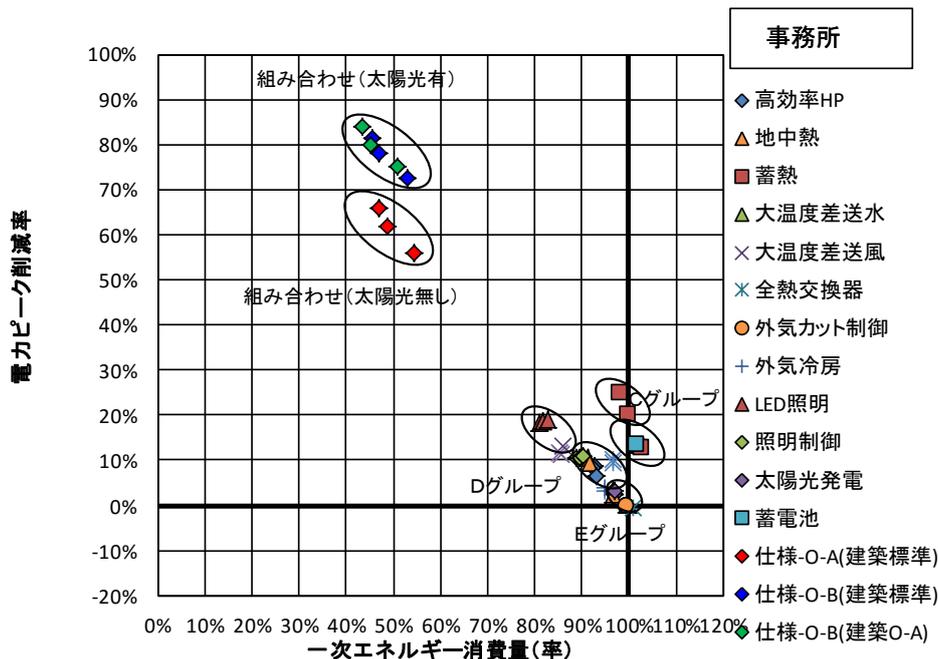


図6-26 電力ピーク削減率と一次エネルギー消費量(率)[事務所ビル]

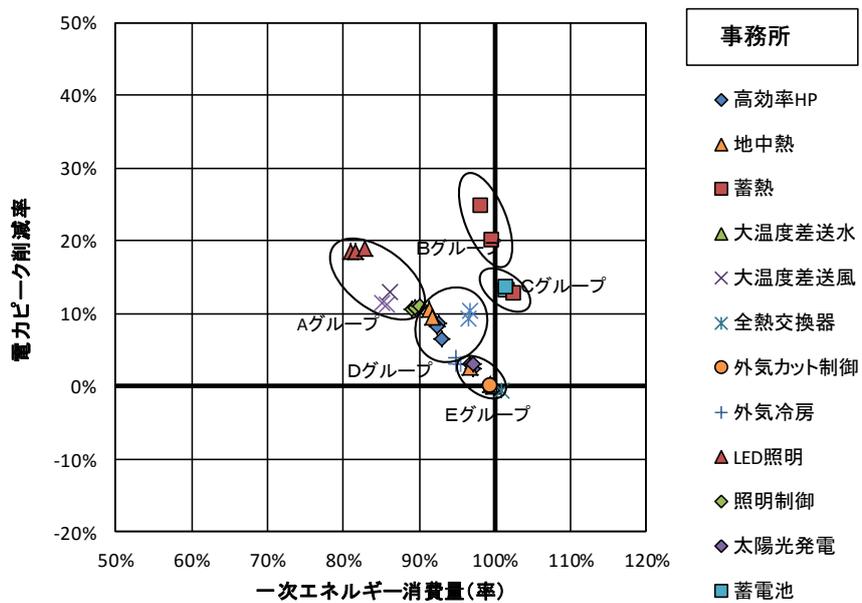


図6-27 電力ピーク削減率と一次エネルギー消費量(率)[事務所ビル](拡大)

表6-46 システム毎の効果の分類[事務所ビル]

グループ	A	B	C	D	E
設備	LED照明	蓄熱	蓄電池	地中熱	大温度差送水
システム	大温度差送風			全熱交換器	外気冷房
	照明制御			高効率HP	太陽光発電
					外気カット制御

(2) 商業施設 (物販店舗)

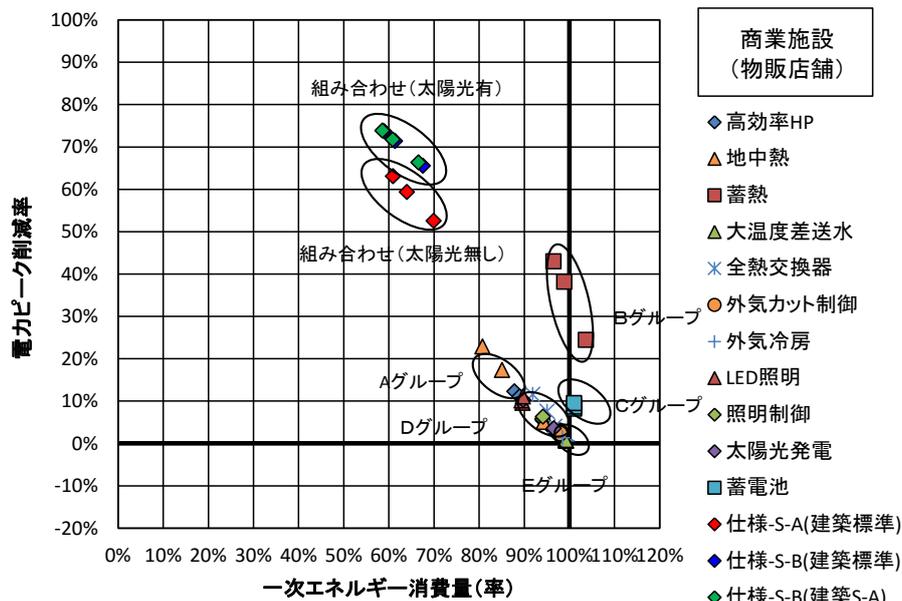


図6-28 電力ピーク削減率と一次エネルギー消費量(率)[商業施設(物販店舗)]

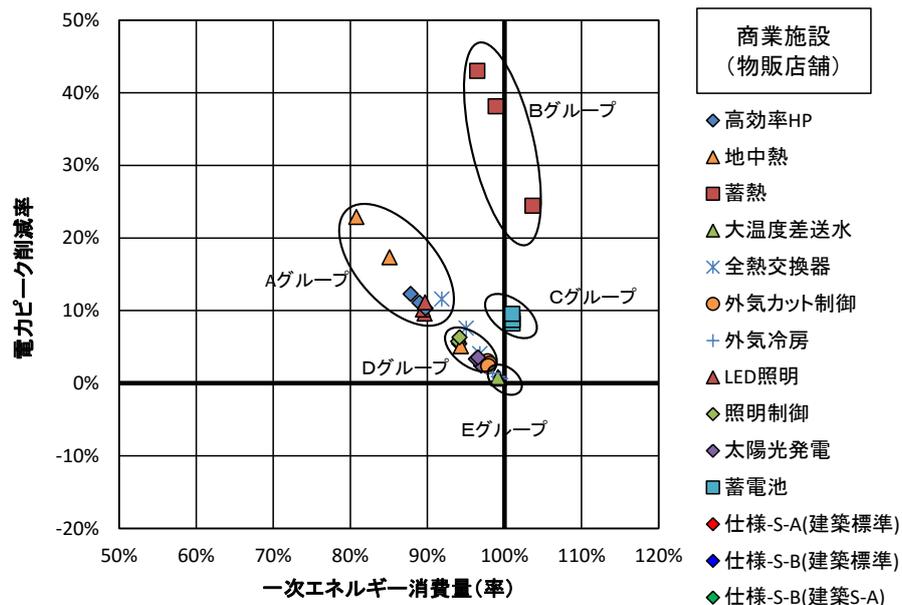


図6-29 電力ピーク削減率と一次エネルギー消費量(率)[商業施設(物販店舗)](拡大)

表6-47 システム毎の効果の分類[商業施設(物販店舗)]

グループ	A	B	C	D	E
設備	地中熱	蓄熱	蓄電池	全熱交換器	外気カット制御
システム	高効率HP			外気冷房	大温度差送水
	LED照明			照明制御	
				太陽光発電	

(3) 共同住宅（共用部）

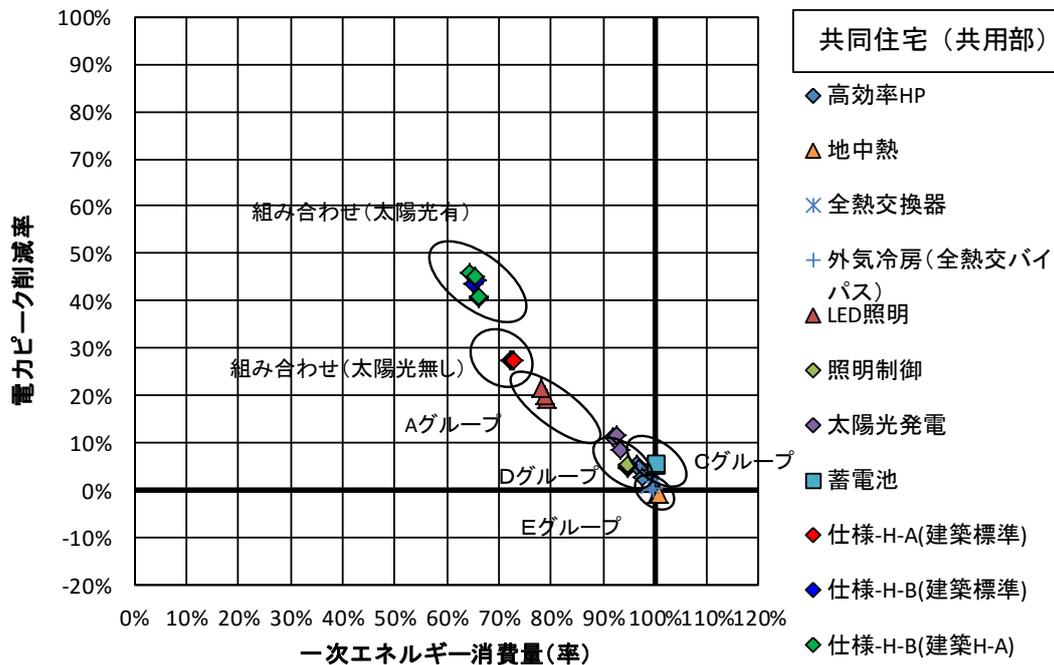


図6-30 電力ピーク削減率と一次エネルギー消費量(率)[共同住宅(共用部)]

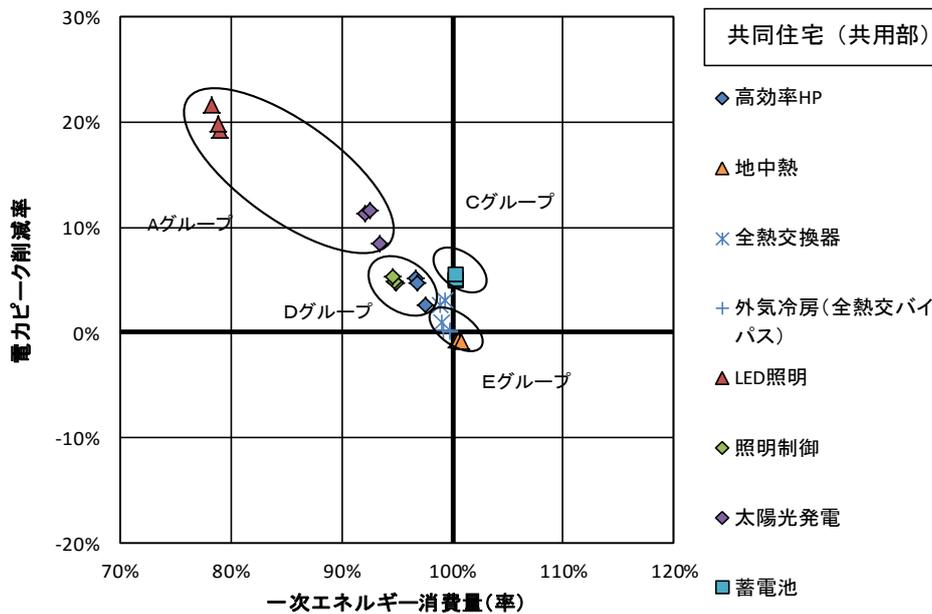


図6-31 電力ピーク削減率と一次エネルギー消費量(率)[共同住宅(共用部)](拡大)

表6-48 システム毎の効果の分類[共同住宅(共用部)]

グループ	A	B	C	D	E
設備	LED照明		蓄電池	照明制御	全熱交換器
システム	太陽光発電			高効率HP	外気冷房(全熱交バイパス)
					地中熱

6.8 本試算での主たる電力ピーク対策技術の設計上の留意点

本プロジェクトで開発した評価システムを活用して試算を行った結果より得られた知見を基に、本試算上で効果的であった主たる電力ピーク対策技術について主として以下の①～④の観点から整理する。

- ① 目的とポイント
- ② 技術の種類・特徴
- ③ 設計上の留意点
- ④ 電力ピーク削減効果

6.8.1 断熱計画

(1) 目的とポイント

外壁や屋根、床面等に断熱材を入れることで、壁体部の貫流熱負荷を低減させる（図6-32）。

温暖地域では高断熱化に伴い最大熱負荷は低減できるものの、年間冷房負荷では増加することがあるためその対策と、断熱材の位置(外内)についても、その特質を活かした適用が必要である。

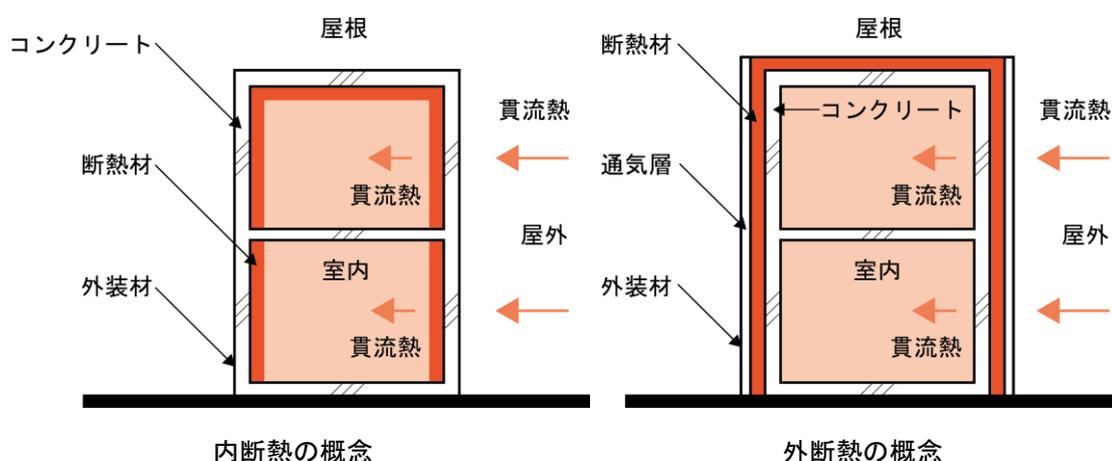


図6-32 内断熱と外断熱

(2) 断熱材

- ① 断熱材は大別すると繊維系と発泡プラスチック系に分けられる(表6-49)。断熱材の熱伝導率は、0.03~0.05[W/(m・K)]程度であり、普通コンクリートの1.4[W/(m・K)]に比べ、断熱性が高い。
- ② 外壁の断熱性能は熱貫流率で評価され、熱貫流率が小さいほど断熱性能は高く、断熱材の厚みを大きくすることで達成される。

表6-49 断熱材の種別と熱伝導率¹⁾

繊維系断熱材		発泡プラスチック系断熱材		その他材料	
材料名	熱伝導率 [W/(m・K)]	材料名	熱伝導率 [W/(m・K)]	材料名	熱伝導率 [W/(m・K)]
ガラス綿(10K)	0.050	スチレン発泡板(ビーズ)	0.047	普通コンクリート	1.400
ガラス綿(24K)	0.042	スチレン発泡板(押出)	0.037	モルタル	1.500
ガラス綿(32K)	0.040				
岩綿保温材	0.042	硬質ウレタン発泡板	0.028	木材(重量)	0.190
吹付け岩綿	0.051	軟質ウレタン発泡板	0.050	木材(中量)	0.170
		ポリエチレン発泡板	0.044	木材(軽量)	0.140
		硬質塩ビ発泡板	0.036	合板	0.190

(3) 内断熱と外断熱

内断熱と外断熱の断面図（概念）を図6-32に示す。

- ①熱負荷の観点では、構成部材が同じであれば熱貫流率は等しいためPAL*での評価は同じである。内断熱が冷暖房の立ち上がりが早いのに対し、停止後の室温変動は大きい。逆に外断熱は躯体の熱容量が熱収支に影響するため、立ち上がり時間に時間がかかる反面、安定してしまえば、空調停止に対しては、室温の変動は緩やかである。冷暖房の間欠運転に対しては内断熱、連続運転に対しては外断熱が適している。
- ②内断熱は、室内側に断熱材が来るために厚さを大きく確保すると居室面積が減るので制限があるのに対し、外断熱では、厚さの制限が少ないことから、集合住宅や、断熱厚を大きくしたい寒冷地での採用が多い。
- ③外断熱は、断熱材と外装材の間に通気層を取る場合と、外装材を断熱材に張り付ける場合がある。また防耐火上、外断熱では外装材に制限を受け、施工コストも高くなる。

(4) 設計上の留意点

(a) 一般事項

- ①断熱材を厚くすることで最大熱負荷は低減できるが、温暖地域ではそれほどでもなく、却って中間期の冷房負荷の増大を招くケースがあるので、費用対効果も考慮して決定すべきである。
- ②一般に、内部発熱が大きい建物では、冷房運転停止後に室内温度は一旦上昇し、高断熱化した建物では熱気が抜けにくく、外気温度が室温より低いにも関わらず室温が低下しない状態となり、これが蓄熱負荷となって、特に中間期の冷房負荷を増加させる。夜間に換気することで室温を低下させ負荷削減を図るのが望ましいが、省エネの観点から夜間換気(ナイトパーズ)には、ファン動力を要しない自然換気で実施することが望ましい。
- ③日射の受熱量が大きい屋根面に関しては、日射による表面温度上昇に伴う熱貫流を防止するために、暑熱地域であっても十分な断熱厚が必要である。

(b) 結露対策

- ①グラスウール、ロックウール等の透湿抵抗の小さい断熱材を採用する場合は、内部結露の検討が必要な場合があり、高湿側に防湿層を設ける等に注意が必要である。
- ②結露防止を目的とした断熱(保温)にあつては、壁体の表面温度と接触空気の温湿度状態によって結露判定を行い断熱(保温)材の厚みを決めるため、負荷計算とは別の熱解析が必要となる。

(c) 内断熱

壁の内断熱では、梁や柱により断熱が途切れる部分が発生しヒートブリッジとなるケースがあり、このような場合、断熱材の巻揚げや立ち上げ立ち下げの補強が必要となる場合があるので留意が必要である。

(d) 外断熱

- ①外断熱と内断熱の熱負荷低減効果に大きな差は無いが、外断熱の蓄熱効果を利用する場

合は、別途熱伝導解析等が必要である。

②外断熱では、外装材の不燃性に考慮する必要がある。

(5) 効果

①本試算でも負荷ピーク削減効果は、事務所から共同住宅（共用部）で5%前後認められるが、設計上の留意点で示したように年間負荷では、内部発熱負荷の大きい事務所、商業施設（物販店舗）では年間負荷が微増している（図6-33）。

②内部発熱の小さい共同住宅（共用部）ではピーク削減効果は5%超で年間熱負荷も低減しているが、より効果的と思われる準寒冷地よりも温暖地の方が負荷ピーク、年間負荷とも低減している。これは本試算の標準仕様上、温暖地で単板ガラスに対し、準寒冷地では複層ガラスとして、外皮性能で断熱性能を高めているためと思われる（図6-33・図6-35）。

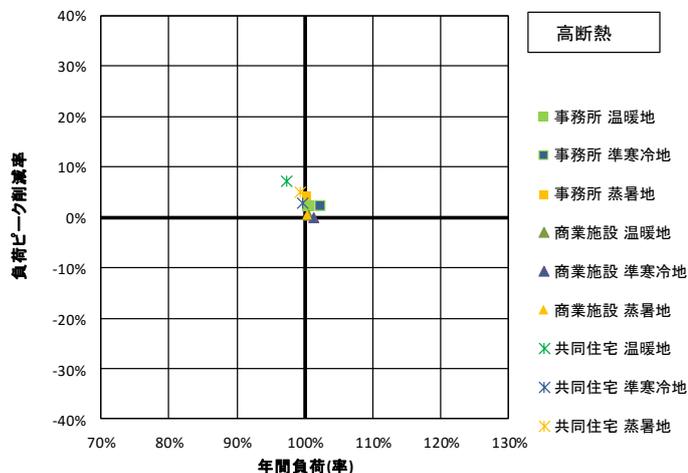
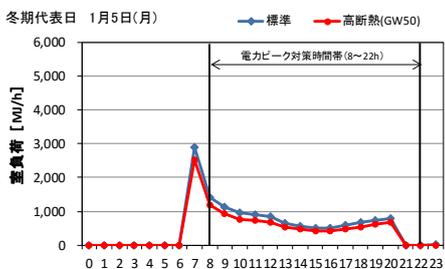
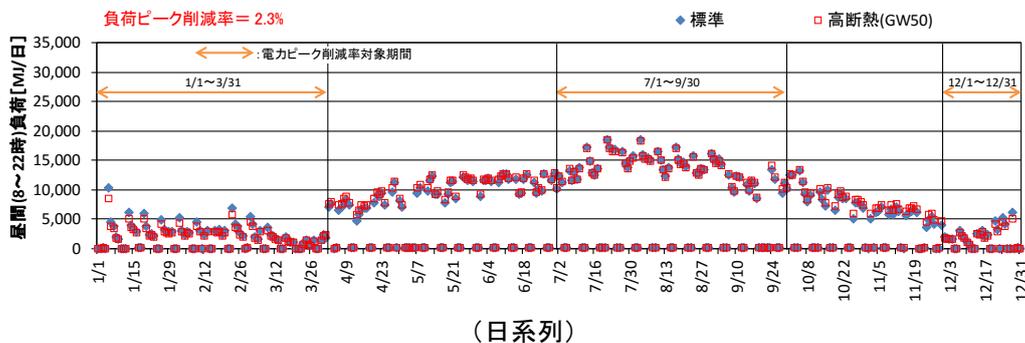
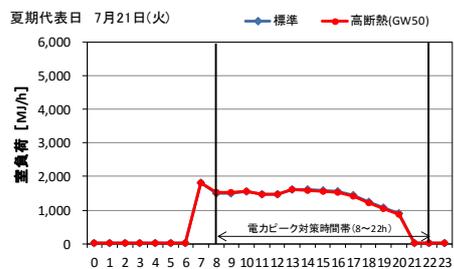


図6-33 負荷ピーク削減率と年間負荷(率)

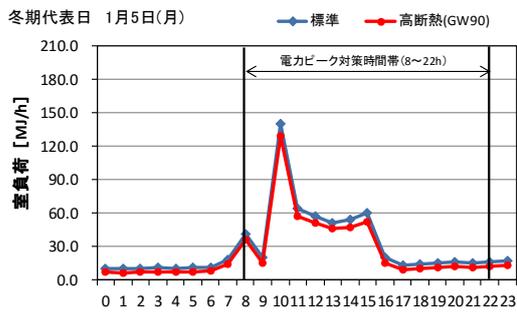
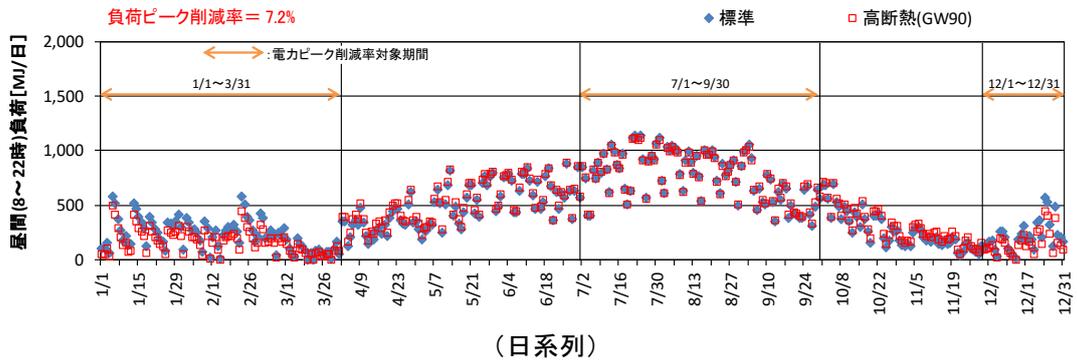


冬期最大日(時系列)

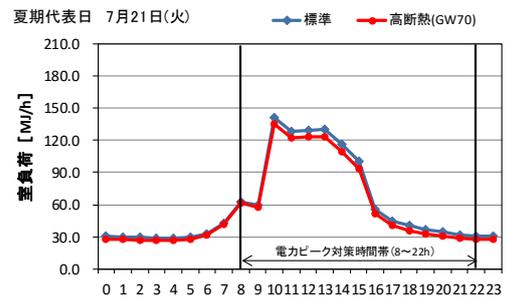


夏期最大日(時系列)

図6-34 室内負荷の推移(事務所・温暖地)



冬期最大日(時系列)



夏期最大日(時系列)

図6-35 室内負荷の推移(共同住宅・温暖地)

6.8.2 複層 Low-E ガラス

(1) 目的とポイント

ガラスからの日射侵入、貫流熱を減らし熱負荷を軽減する（図 6-36）。

- ① 開口部である窓は、外気との温度差による貫流熱や日射侵入があるため、熱負荷に占める割合が大きいため対策が必要である。
- ② ガラスは、種類によって断熱性能や日射の遮蔽性能に違いがあるため熱負荷削減の観点から適切なものを選定する。
- ③ 窓ガラスの断熱性を高めることは、ガラスの室内側表面温度が室温に近づくことになり、放射環境が改善され、熱負荷の削減ばかりでなく、快適性の向上にもつながる。

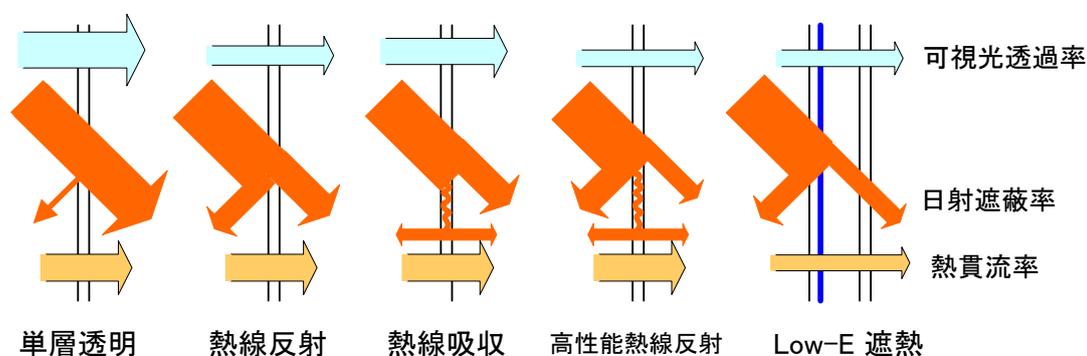


図6-36 窓ガラスの熱的性能の概念

(2) 窓ガラスの熱的性能

図 6-37 に一般的な窓ガラスの熱的性能を、熱貫流率と日射侵入率で示す。

日射は冬期の暖房負荷を低減する方向に働くが、非住宅建物では、直達日射はブラインドにより遮蔽されることが多く、熱貫流率が小さく、日射侵入率が小さいほど断熱性能がよく日射遮蔽性能がよいガラスほど、熱負荷低減効果は大きい。

(3) 複層 Low-E ガラス

- ① 複層 Low-E ガラスは、ガラスに特殊な金属膜をコーティングすることで日射遮蔽機能と高い断熱性能を兼ね備えた複層ガラスである。
- ② 遮熱タイプと断熱タイプがあり、遮熱タイプは、屋外側に Low-E ガラスを配し、屋外側の Low-E ガラスで太陽熱を吸収し、Low-E 膜が熱線を屋外に放射させることで遮熱効果が高くなる。
- ③ 断熱タイプは、室内側に Low-E ガラスを配したものである。
- ④ ミラーガラスとも言われる熱線反射ガラスは、太陽光の反射率が極めて高いが、反射光が光害となり近隣クレームを招くケースがある。

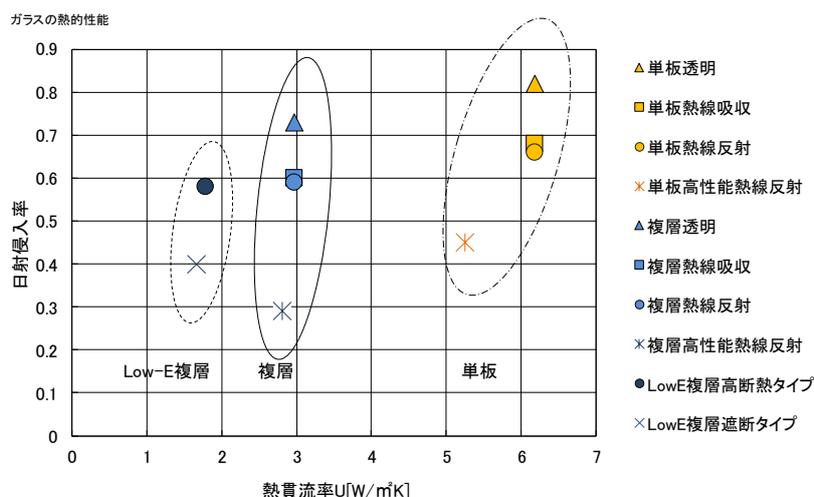


図6-37 窓ガラスの日射透過率と熱貫流率

(4) 設計上の留意点

(a) 一般事項

- ① 寒冷地など外気温度が低く暖房負荷の大きくなる地域では断熱性能が高いものを、暑熱地域では日射の遮蔽効果が大きいものを選択する。
- ② 複層 Low-E ガラスでは、遮熱タイプか断熱タイプとするかは地域や窓の方位等を考慮して検討する。
- ③ 熱線反射ガラスは、反射光が近隣環境へ悪影響を与えクレームの発生につながる事が多く注意を要するが、一方で反射光は暗部を明るくする利点もあるため効果的な設置を検討することも必要である。
- ④ ガラス面積が大きいカーテンウォール構造等では、特に階高が大きくなるエントランスなどではコールドドラフトの発生も懸念されるため、断熱性能の向上と共に設備システムでの対応も検討することが望ましい。

(b) 結露

- ① 断熱性能が低いガラスの場合、冬季の結露対策について検討を行うことが必要である。
- ② 寒冷地では複層ガラスの採用が多いが、加湿を計画的に行う施設においては検討が必要である。
- ③ ガラス面だけでなくサッシでの結露に関しても注意が必要である。

(5) 効果

①内部発熱の大きい事務所、商業施設（物販店舗）でも5%未満ではあるものの負荷ピーク削減、年間熱負荷低減効果が認められる（図6-38、図6-39、図6-40）。

②内部発熱の小さい共同住宅で、温暖地では夏期の日射進入抑制効果、冬期の断熱性能向上によるピーク削減効果は大きく負荷ピーク削減25%超、年間熱負荷でも15%程度低減している（図6-38・図6-41）。

③より効果的と思われる準寒冷地よりも温暖地の方が負荷ピーク、年間負荷とも低減している。これは本試算の標準仕様上、温暖地で単板ガラスに対し、準寒冷地では複層ガラスとして、外皮性能で断熱性能を高めているためと思われる（図6-38）。

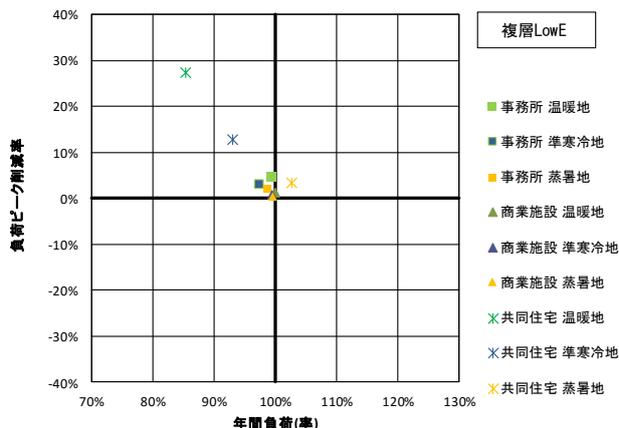


図6-38 負荷ピーク削減率と年間負荷(率)

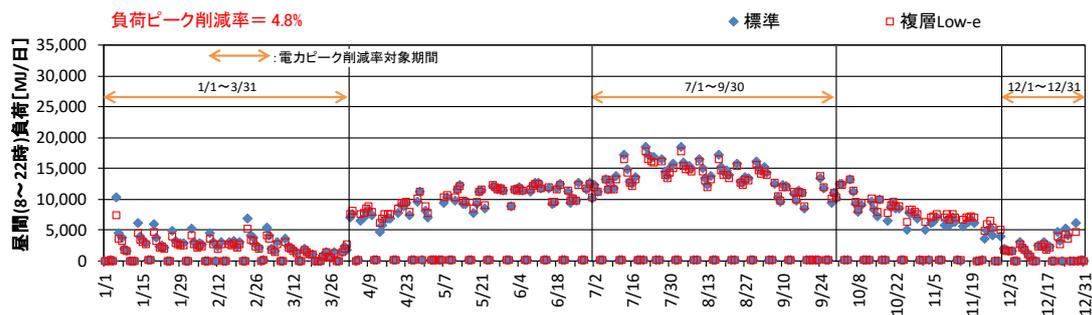
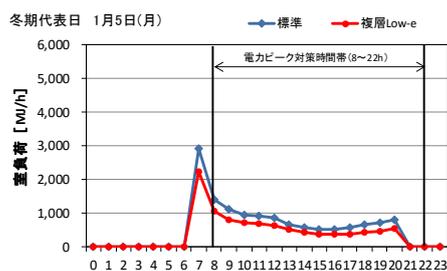
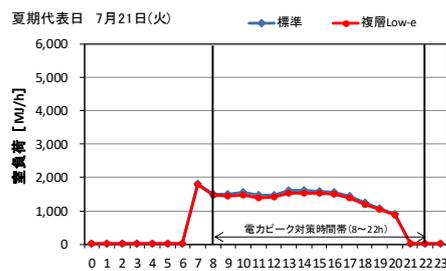


図6-39 室内負荷の推移(事務所・温暖地) (日系列)

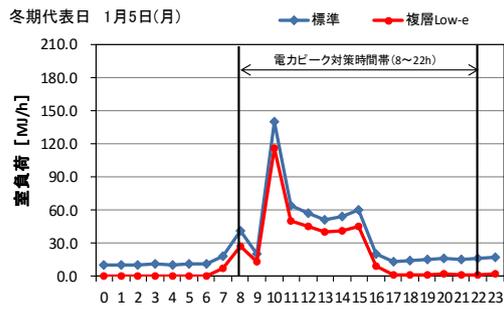
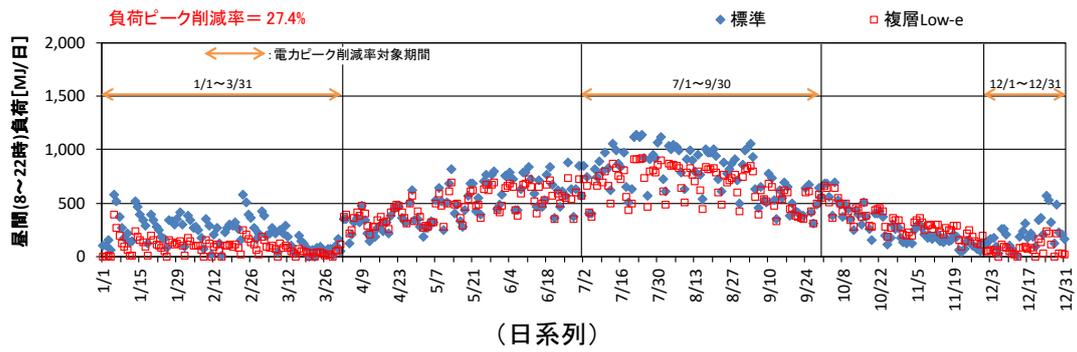


冬期最大日(時系列)

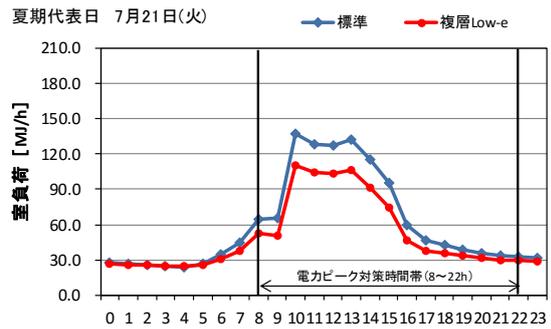


夏期最大日(時系列)

図6-40 室内負荷の推移(事務所・温暖地) (時系列)



冬期最大日(時系列)



夏期最大日(時系列)

図6-41 室内負荷の推移(共同住宅・温暖地)

6.8.3 エアフローウィンドウ

(1) 目的とポイント

窓からの熱負荷を抑制し、窓周りの温熱環境を向上する。

エアフローウィンドウは、窓からの日射侵入、ガラス貫流熱を軽減することを目的として提案された窓システムである。

(2) システム構成と原理

エアフローウィンドウでは、図6-43に示すように、侵入した日射をブラインドで吸収し、このブラインドに室内空気を通風し、ブラインドの熱を除去する。

- ①暖められた通風空気は、夏季は排出、冬季は回収する等、季節によって使い分ける場合もある。
- ②内外ガラスの間にブラインドを内蔵したサッシ構造とするタイプ(エアフローウィンドウ)、内側ガラスをロールスクリーン等で代用するタイプ(簡易エアフローウィンドウ)、内側ガラスを設けずブラインドに直接吹き付けるタイプ(エアバリアウィンドウ)等がある。
- ③簡易なほどコストは低減できるが、日射熱の除去能力に欠け、窓システムとしての日射遮蔽効果は低下する。

(3) 窓周りの温熱環境の向上

- ①窓周りは、日射や外気温度によって夏暑く、冬は寒くなる。また時刻変動も大きいので冷暖房が不可欠であったが、エアフローウィンドウにより変動が安定することや内側ガラス温度が室温に近づくため温熱環境が改善され、空調をせずに許容できるエリアとすることができるペリメータレス空調が実現できる。
- ②簡易タイプでは、ペリメータレス空調には至らないものの環境改善効果は期待できる。
- ③日射熱により夏季は上昇流、冬季はガラス面の温度が低いことで下降流が発生しコールドドラフトや上下温度差を生じ温熱環境を悪化させるが、エアフローウィンドウでは、これらを回避できる。

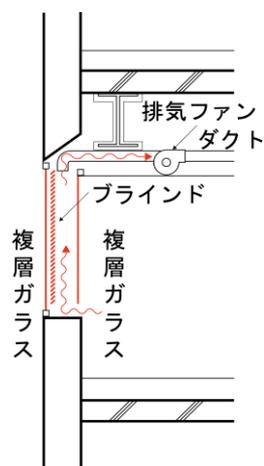


図6-42 エアフローウィンドウの構成

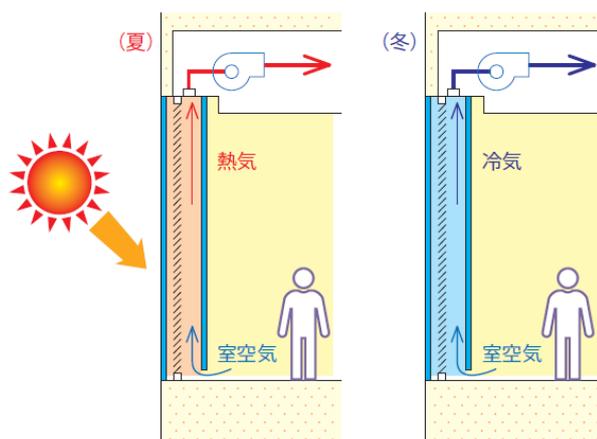


図6-43 エアフローウィンドウの原理²⁾

(4) 設計上の留意点

(a) 一般事項

- ① 一般に通風空気は、夏期排出、冬期回収となるが、中間期には冷暖房負荷が混在する、また内部発熱の多い建物では、冬季にも冷房負荷が発生するなど状況は複雑である。状況に応じた運用ができるように配慮する。
- ② 通風するためにガラス面が汚れるので、通常は、室内側を開放できる構造とするなど、内部の清掃ができる構造とする。
- ③ エアフローウィンドウは躯体内側に設置するため、採用する場合は室内面積が減少する。

(b) 通風量

- ① エアフローウィンドウは、通風量が多くなるほど熱的性能は向上するが、通風空気を外部へ排出する場合は、すきま風の誘発など居室での給排気バランスに注意が必要である。
- ② エアフローウィンドウに通風する空気は、夏期のみならず、冬期でも結局は排出されるので、通風量分はどうしても取入れ外気量は増加することになるため、この外気導入量の増加による外気負荷の増加と通風による窓周りの負荷低減効果のバランスを鑑みて通風量を決定することが必要である。

(c) 結露対策

外側ガラスの室内側表面の環境条件は、通常
の窓ガラスとほぼ同等であるため、結露した場
合に容易にふき取れるサッシ構造とする。

(5) 効果

用途からして共同住宅の共用部にエアフロー
ウィンドウを設置するケースは考えられないた
め、ここでは、事務所と商業施設（物販店舗）

について検証する。

- ① 事務所建物では、負荷ピーク削減率、年間負荷

低減効果共、準寒冷地～蒸暑地で概ね 10%と大きい。

- ② 商業施設（物販店舗）では事務所よりも窓面積が小さいため各地域とも 3%以下に留まっ
ている。

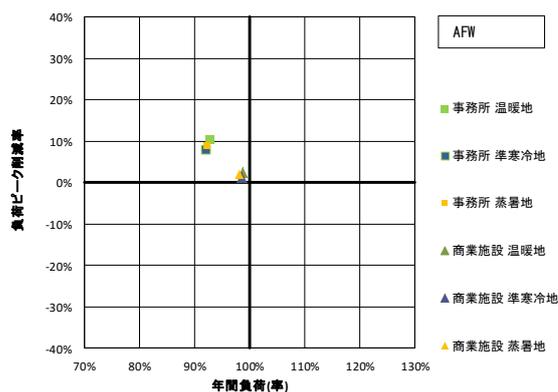


図6-44 負荷ピーク削減率と年間負荷

- ① 事務所建物では、負荷ピーク削減率、年間負荷

低減効果共、準寒冷地～蒸暑地で概ね 10%と大きい。

- ② 商業施設（物販店舗）では事務所よりも窓面積が小さいため各地域とも 3%以下に留まっ
ている。

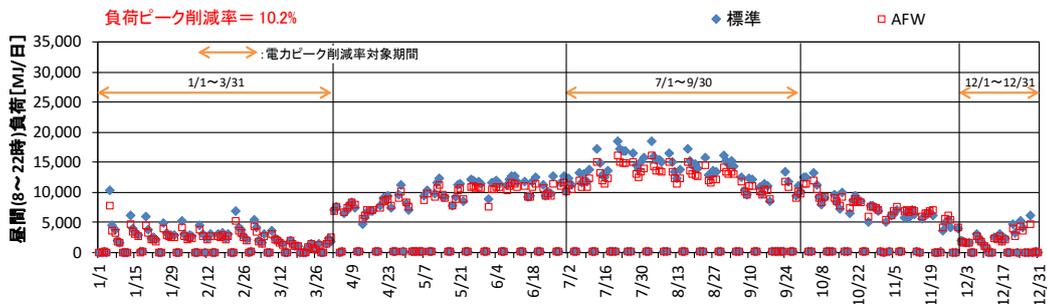


図6-45 室内負荷の推移(日系列:事務所・温暖地)

6.8.4 高効率熱源機

(1) 目的とポイント

非住宅建物のエネルギー消費量のうち大きな割合を占める空調設備の熱源機に高効率機器を採用することで、電力ピーク削減と省エネルギーを図る。

(a) 熱源機の効率 (COP)

熱源設備の基本的な性能指標として通常は熱源機器単体のエネルギー効率を成績係数 (Coefficient Of Performance) で示す。

$$\text{冷凍機COP} = \frac{\int \text{能力} dt [\text{MJ}]}{3.6 [\text{MJ}/\text{kW}\cdot\text{h}] \times \text{電力量} [\text{kW}\cdot\text{h}]} \quad (6.1)$$

(b) 高効率熱源機

一般に高効率熱源機とは、概ねターボ冷凍機 COP= 6.0、水冷式チラーCOP=5.0、空冷ヒートポンプ 4.0 (エネルギー需給構造改革投資促進税制 (エネ革税制)) 以上のエネルギー効率の電動熱源機を対象とする。

表6-50 各種電動冷凍機の定格時成績係数(概略値)

機種		COP	備考
回転式冷凍機	水冷	3.5~3.6	
	空冷	2.5~4.0	散水なし
		3.4~4.8	散水あり
遠心式冷凍機	水冷	4.5~5.5	
		(5.3~6.4)	高効率型

(c) 台数分割と一次ポンプ

熱源機器の台数分割 (台数・容量) は建物の規模・用途、熱負荷 (最大熱負荷・熱負荷変動) への追従性、機器効率、保守点検を総合的に検討して決定する。なお、一次ポンプは原則的に熱源機器に対して各々1台ずつ設置する。本件効果試算では、基本的に熱源機は最大熱負荷 50%×2台、一次ポンプは熱源毎に設置している。

(d) 部分負荷特性

COP が定格条件での機器効率を示すのに対し、実際の熱負荷は図6-46に示す様に、年間熱負荷計算では60~70%の負荷率頻度が多く、実測値ではさらに10%~20%の低負荷運転が支配的となっている。そのため熱源機も定格運転は僅かで、部分負荷運転がほとんどを占めているため、運転効率も、部分負荷特性を重視すべきであり、各メーカーでもモジュール化+台数制御) やインバーター搭載とするなど部分負荷運転の向上を図っている。設計段階でもこれらを鑑みて構築する熱源システムのエネルギー性を検証することが必要である。

(e) モジュールヒートポンプ

モジュールヒートポンプは、100kW程度のヒートポンプを基本モジュールとして複数隣接設置して圧縮機を台数制御することで、部分負荷特性の向上を図っている。加えて搬入の容易性、冷暖同時運転、モジュール毎のデフロスト運転などモジュール化による利便性の向上から採用例が増加している。

本件での効果試算でも事務所と商業施設（物販店舗）には高効率熱源機としてモジュール型を採用し検証した。また Web プログラム（平成 25 年省エネルギー基準の一次エネルギー算定）上での熱源機性能特性（最大能力比・最大入力比・部分負荷特性）の例を図 6-48 ~ 図 6-53 に示す。なお、共同住宅（共用部）は個別分散ビルマルチ方式としている。

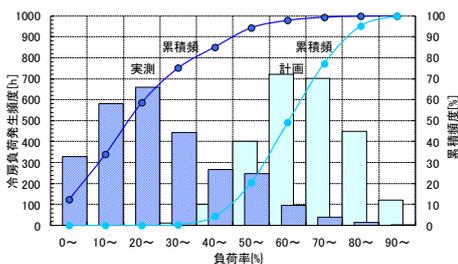


図6-46冷房負荷率別頻度(東京・事務所ビル)

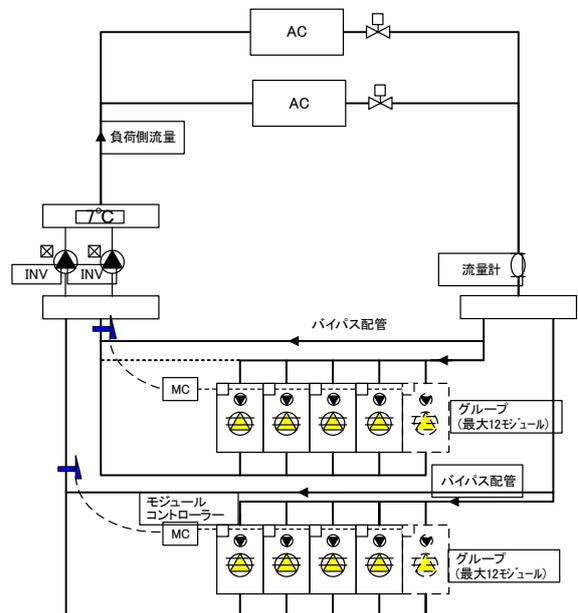


図6-47モジュールヒートポンプ変流量方式の配管システム例

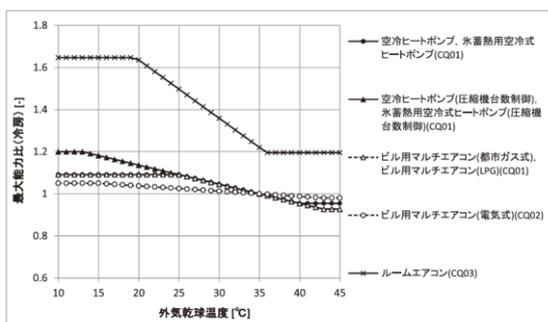


図 2.1D.1 空冷式熱源の冷房運転時の最大能力比特性

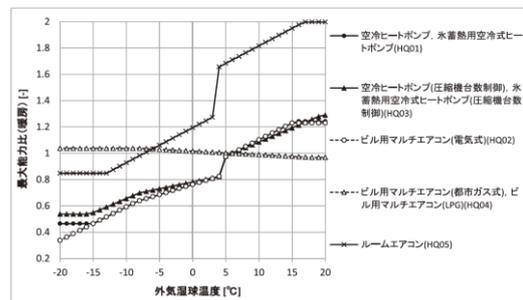


図 2.1D.5 空冷式熱源の暖房運転時の最大能力比特性

図6-48空冷式熱源の冷房運転最大能力比特性³⁾ 図6-49空冷式熱源の暖房運転最大能力比特性³⁾

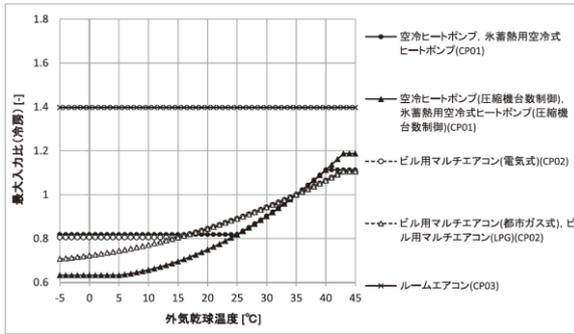


図 2.1D.2 空冷式熱源の冷房運転時の最大入力比特性

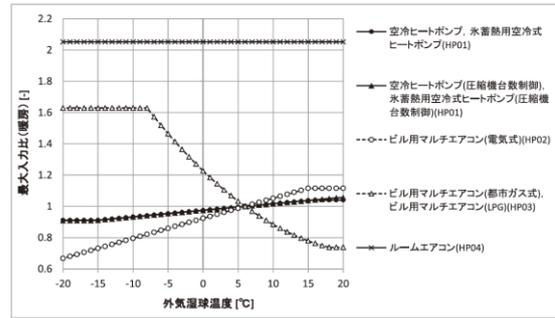
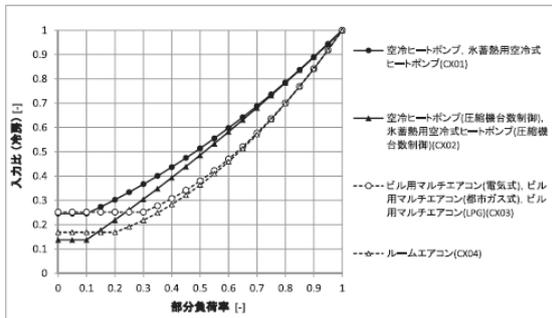


図 2.1D.6 空冷式熱源の暖房運転時の最大入力比特性

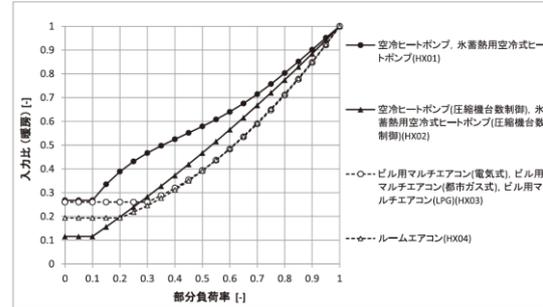
図6-50 空冷式熱源の冷房運転時最大入力比特性³⁾

図6-51 空冷式熱源の暖房運転時最大入力比特性³⁾



【条件】 空冷ヒートポンプ 外気温度 35°C DB、冷水入口温度 14 → 冷水出口温度 7°C
ビル用マルチエアコン 室外側 35°C DB、室内側 19°C WB

図 2.1D.3 空冷式熱源の冷房運転時の部分負荷特性



【条件】 空冷ヒートポンプ

外気温度 6°C WB、温水入口温度 40 → 温水出口温度 45°C
空冷ヒートポンプ(圧縮機台数制御)

外気温度 6°C WB、温水入口温度 38 → 温水出口温度 45°C
ビル用マルチエアコン 室外側 6°C WB、室内側 20°C DB

図 2.1D.7 空冷式熱源の暖房運転時の部分負荷特性

図6-52 空冷式熱源の冷房運転時部分負荷特性³⁾

図6-53 空冷式熱源の暖房運転時部分負荷特性³⁾

(2) 効果

- ① 事務所と商業施設（物販店舗）では高効率熱源機採用による熱源 COP の向上がそのまま電力ピーク削減効果と省エネルギー効果に反映している。電力ピーク削減、省エネルギー効果は、準寒冷地から温暖地では 10%程度である（図 6-54）。
- ② 共同住宅（共用部）では、事務所、商業施設（物販店舗）でのモジュールヒートポンプに比べ、個別分散型ビルマルチ方式で高効率化による熱源 COP の向上はそれほどでもないため、電力ピーク削減、省エネルギー効果は 5%以下に留まっている。
- ③ 地域別の電力ピーク削減効果では、準寒冷地、温暖地、蒸暑地の、建物種別では商業施設、事務所の傾向はあるものの大きな差はなく、いずれも 10%程度の効果である（図 6-55 ~ 図 6-57）。

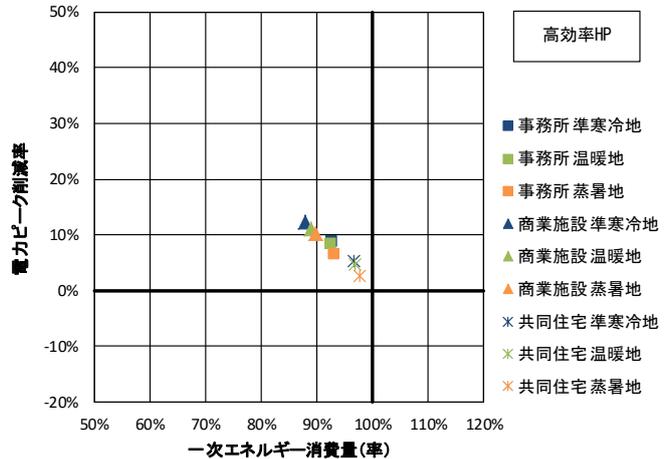


図6-54 電力ピーク削減率と省エネルギー率

④ 準寒冷地では暖房時の外気温度の低下による運転効率の低下によって、昼間電力量が増大しており、電力ピーク削減効果にも顕れている。(図6-56)。

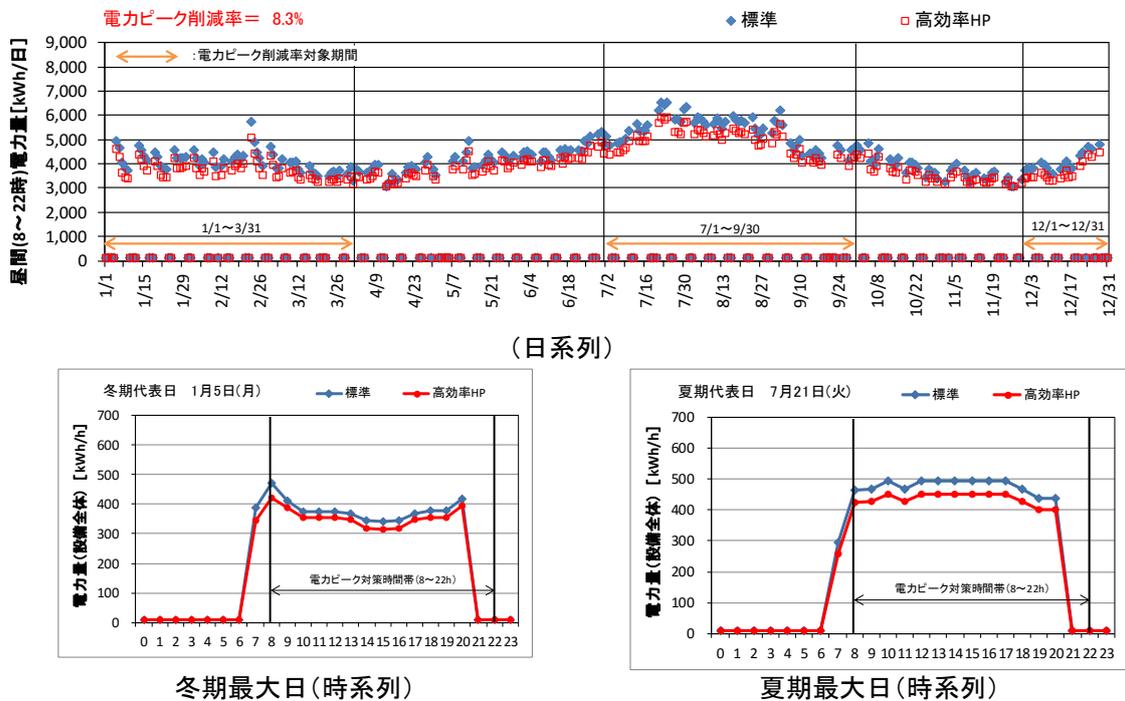


図6-55 昼間電力量の推移(事務所・温暖地)

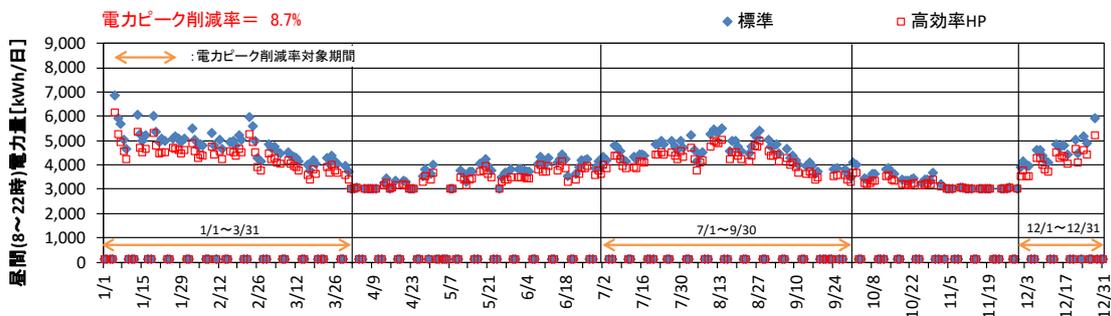


図6-56 昼間電力量の推移(日系列:事務所・準寒冷地)

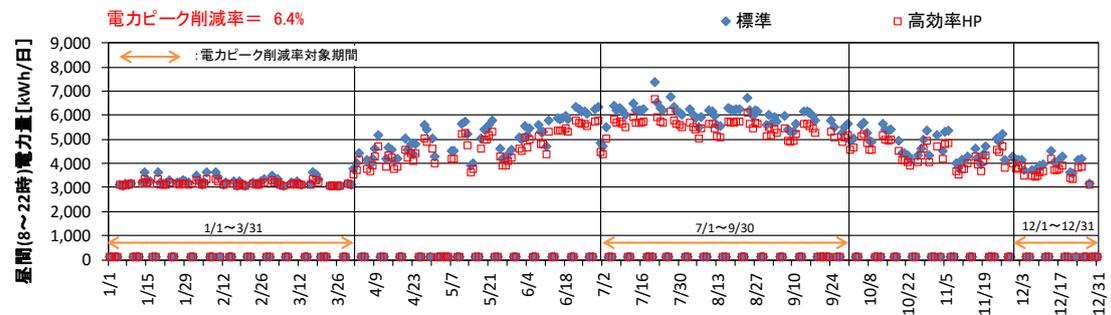


図6-57 昼間電力量の推移(日系列:事務所・蒸暑地)

6.8.5 蓄熱式空調システム

(1) 目的とポイント

蓄熱式空調システムは、電力ピークの低減、省エネルギーを目的として、熱源運転時間帯を延長、夜間に蓄えた熱を昼間の空調負荷に用いることで、熱源機器容量を低減し、高効率運転で対応するシステムである。

図6-58に蓄熱式空調システムの運転パターン、図6-59、図6-60に、非蓄熱式空調システム図と蓄熱式空調システム図を示す。

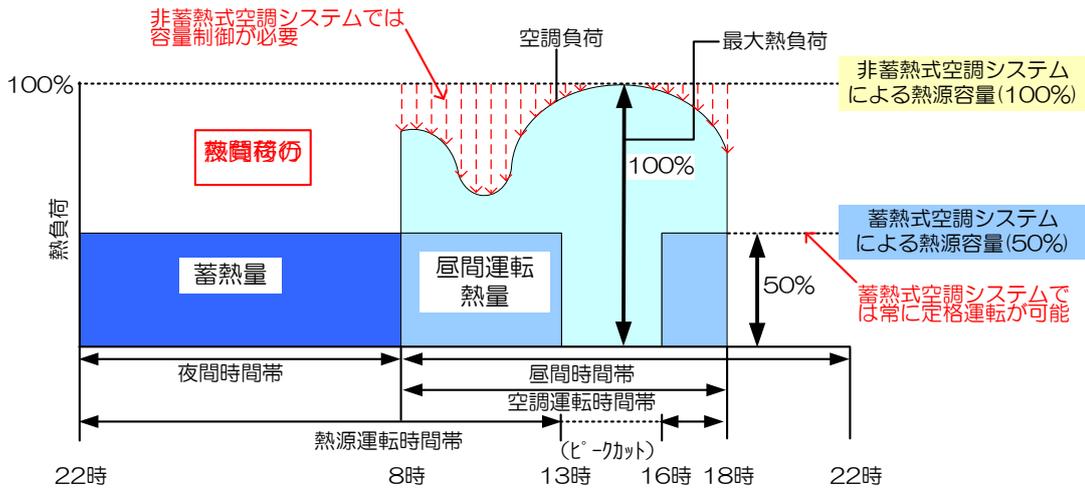


図6-58 蓄熱式空調システムの運転パターン

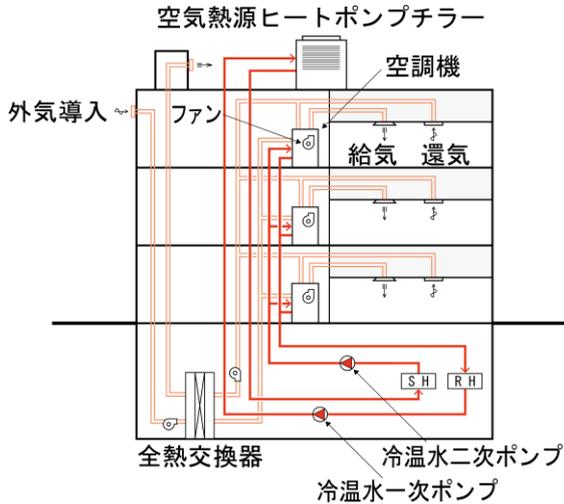


図6-59 非蓄熱式空調システム図

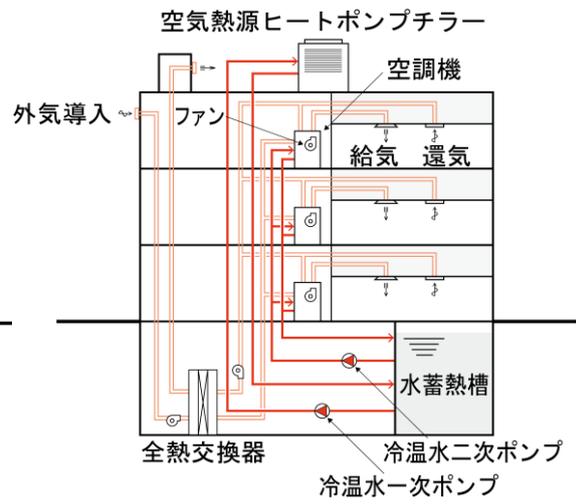


図6-60 蓄熱式空調システム図

(2) 設計フロー

蓄熱式空調システムの設計フローを以下に示す。

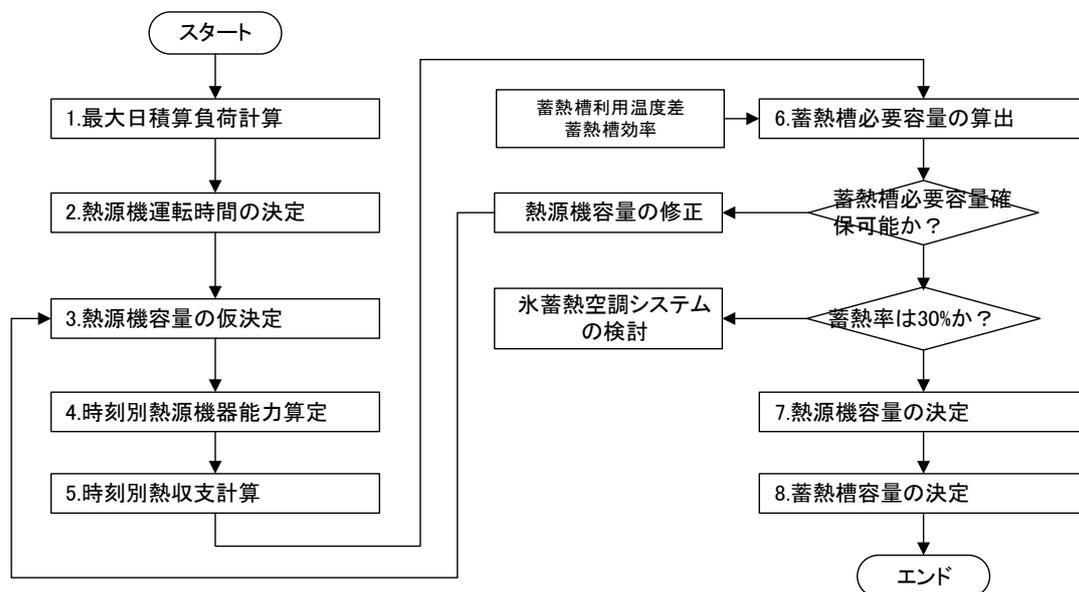


図6-61 蓄熱式空調システムの設計フロー

(3) 設計上の留意点

- ① 電力ピーク削減や省エネルギーに有効な蓄熱槽を確保するため、建築計画初期段階で蓄熱槽形式と槽容量を決定しておくことが必要である（地下ピットの利用等）。
- ② 蓄熱することで熱源容量は低減できるが、配管系を開放回路とした場合は搬送機器動力の増大と空気混入による機器腐食への抑制対策が必要である（熱交換器による閉回路化）。
- ③ 熱源機は、全て標準で容量制御機構を有しているので、的確に全負荷運転・容量制御できる制御設計が必要で施工時・引渡時の設定、運用段階でも留意が必要である。
- ④ 蓄熱量（ Q_s [MJ/日]）は蓄熱槽容量（ V_s [m³]）、蓄熱槽効率（ η_v ）と利用温度差（ Δt [K]）で決定されるため、i）適切な通気管、オーバーフロー管の設置、必要水深の設定による蓄熱槽容量の確保、ii）蓄熱槽効率を高める連通管の口径、配置計画、iii）蓄熱槽利用温度差を確保・拡大できる二次側配管システムを構築する。（ $Q_s = C \times \rho \times \eta_v \times V_s \times \Delta t$ C :水の比熱 4.186 [kJ/(kg·K)] ρ :水の密度 1000 [kg/m³]
- ⑤ 蓄熱式空調システムでは空調二次側利用温度差の確保、拡大が設備設計の要であるため、水側搬送システムは完全変流量方式とした上で大温度差化を図り所定の温度差の確保・拡大に努める。
- ⑥ 蓄熱槽を地下ピット利用する場合は、一次、二次ポンプともピット上部に設置するため、落水するケースもあり、落水防止のためには、ピット内に冷温水ポンプを設置することも検討する。この場合、蓄熱槽容量がポンプピット分は減少するため、槽効率の高効率化、利用温度差の拡大によって蓄熱量を確保する。

(4) 効果

- ①蓄熱式空調システムの省エネルギー効果は数%に留まっているが、電力ピーク削減効果は大きく、事務所、商業施設（物販店舗）、準寒冷地から蒸暑地まで15~40%と大きい（図6-62）。
- ②地域別の電力ピーク削減効果では準寒冷地、温暖地、蒸暑地の順である。これは蓄熱式空調システムの従来目的である夏期の電力ピーク削減効果に加えて、冬期のピーク電力削減効果が効いているためである。蒸暑地では冬期暖房負荷がないため冬期の効果はないが温暖地では冬期昼間熱源運転が発生しないこと、準寒冷地では日最大熱負荷日には蓄熱システムでも昼間運転が発生するもの期間を通しては蓄熱による夜間運転が支配していることで電力ピーク削減効果が大きくなっているためである（図6-63~図6-65）。
- ③準寒冷地では暖房時の外気温度の低下による運転効率の低下によって、ピーク電力量が増大しており、ピーク電力削減効果にも顕れている（図6-64）。
- ④蒸暑地では省エネルギー率で逆に若干増となっているが、これは熱源容量で蒸暑地が最も大きいうえに、設計上の留意点②で述べたように、本試算の蓄熱式空調システムでは搬送系を開放回路としたため、ポンプ搬送動力が非蓄熱システムよりも増大したためである。こういった場合は設計上の留意点⑤で示すように閉回路化・大温度差化するなどの対策が必要となり、蓄熱式空調システム設計の要点のひとつでもある（図6-62）。

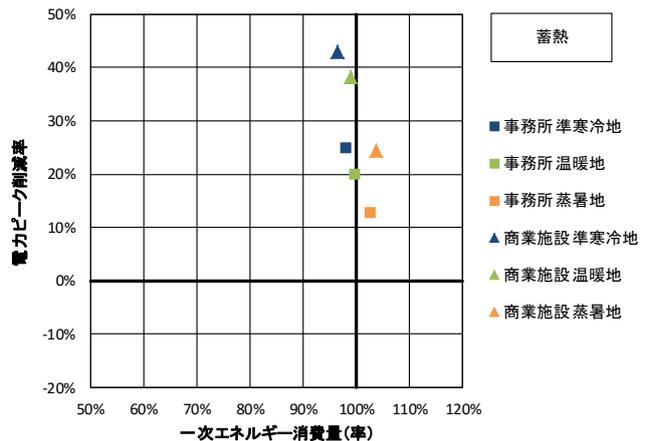
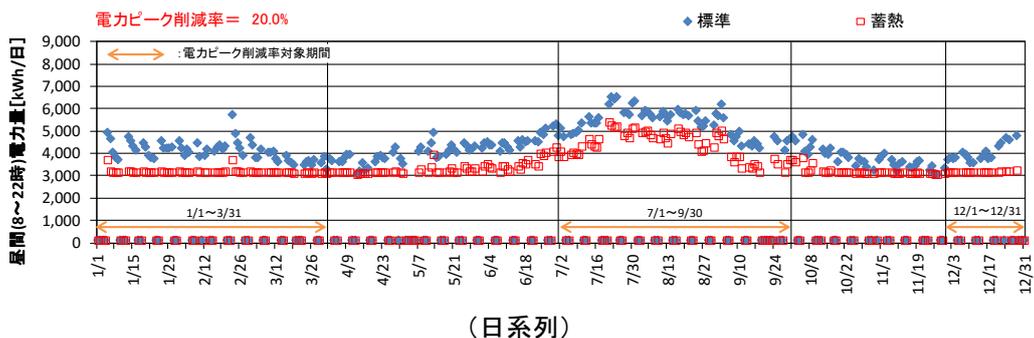
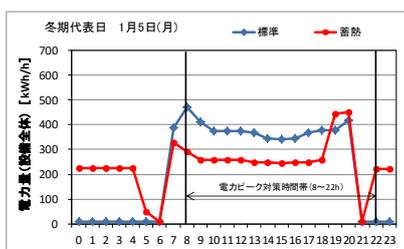


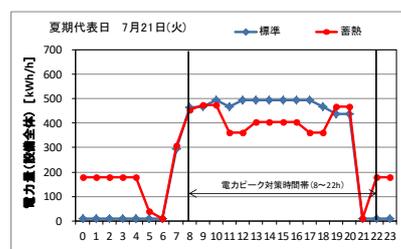
図6-62 電力ピーク削減率と省エネルギー率



(日系列)

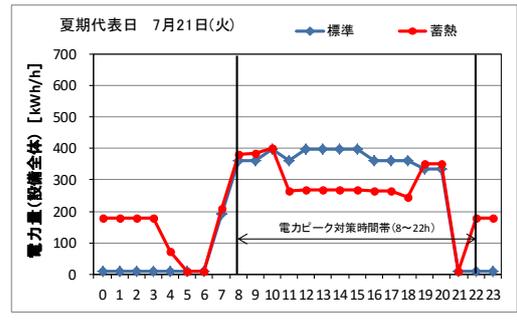
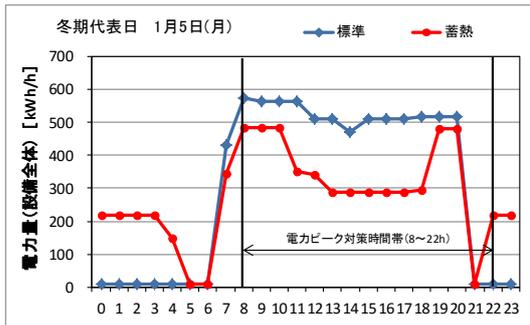
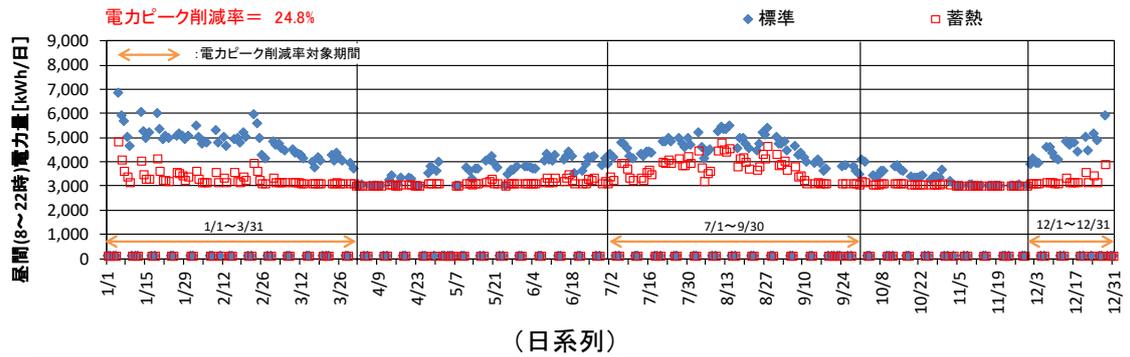


冬期最大日(時系列)



夏期最大日(時系列)

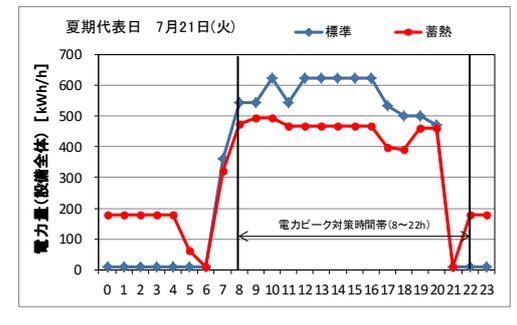
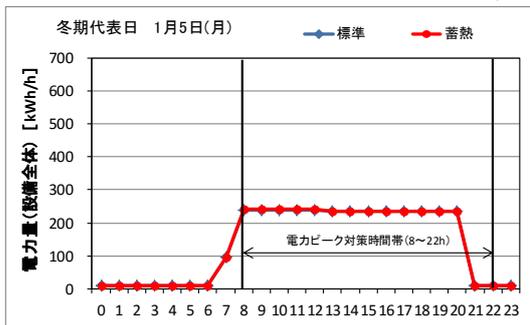
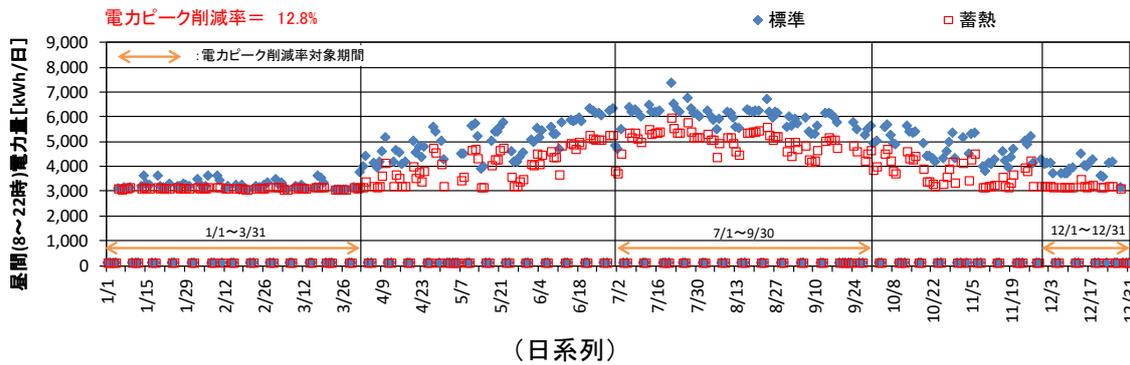
図6-63 昼間電力量の推移(事務所・温暖地)



冬期最大日(時系列)

夏期最大日(時系列)

図6-64 昼間電力量の推移(事務所・準寒冷地)



冬期最大日(時系列)

夏期最大日(時系列)

図6-65 昼間電力量の推移(事務所・蒸暑地)

6.8.6 地中熱利用ヒートポンプシステム

(1) 目的とポイント

地中熱利用は、以下①～⑥の大地の蓄熱および熱源としての基本的な特性を利用して、工業・農業の冷却、融雪、冷暖房・給湯での省エネや電力ピークの削減を図るものである。図6-67～図6-68に地中熱利用ヒートポンプシステムの形態例を示す。

- ①大地はどこにでも存在し利用可能（一般性）
- ②安全・安価（安全・低廉性）
- ③一定温度（恒温性）→温度差エネルギーポテンシャルが大きい（熱源性）
- ④大きな熱容量と比較的小さな伝熱性能（蓄熱性）
- ⑤大地の熱物性値は地盤の種類・含水率、地下水の状態に影響される（場所への依存性）
- ⑥地下水がある場合は、蓄熱は散逸する（散逸性）

地中の温度は外気温に比べると年間を通して変化が小さいため、夏は冷熱源、冬は温熱源として利用できるうえ、外気温と地中の温度差が大きいこと、空気よりも熱容量の大きな地下水や地盤と熱をやりとりすることにより、空気を熱源とする冷凍機やヒートポンプよりも高効率運転が可能で、省エネルギーと電力ピークの削減が可能である（図6-66）。

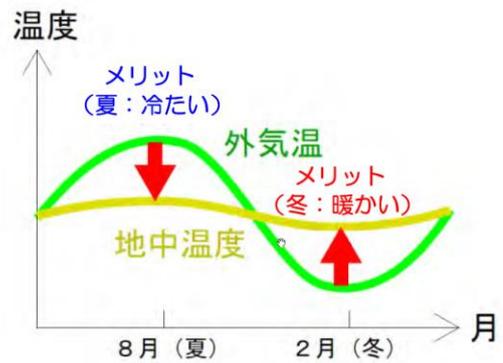


図6-66 外気温と地中温度

地中熱利用ヒートポンプは夏には排熱を外気に放出しないため、ヒートアイランド現象の緩和も期待できる。

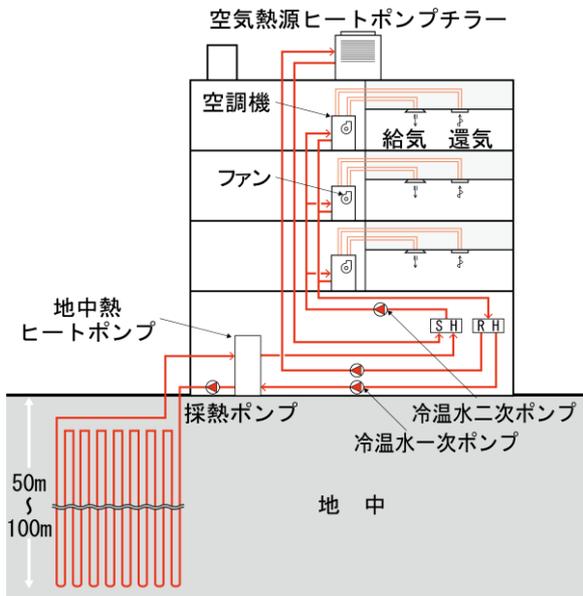


図6-67 地中熱利用ヒートポンプシステム
(クローズドループ方式)

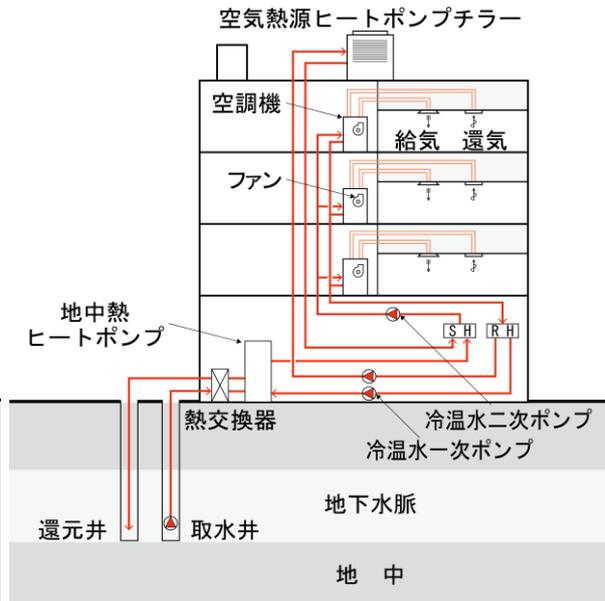


図6-68 地下水利用ヒートポンプシステム
(オープンループ方式)

(2) 設計フロー

地中熱利用ヒートポンプシステムの設計フローを図6-69に示す。

本件の効果の試算ではクローズドループ方式、熱交換器の種類はダブルUチューブ型、配管方式はヘッダー方式とした。

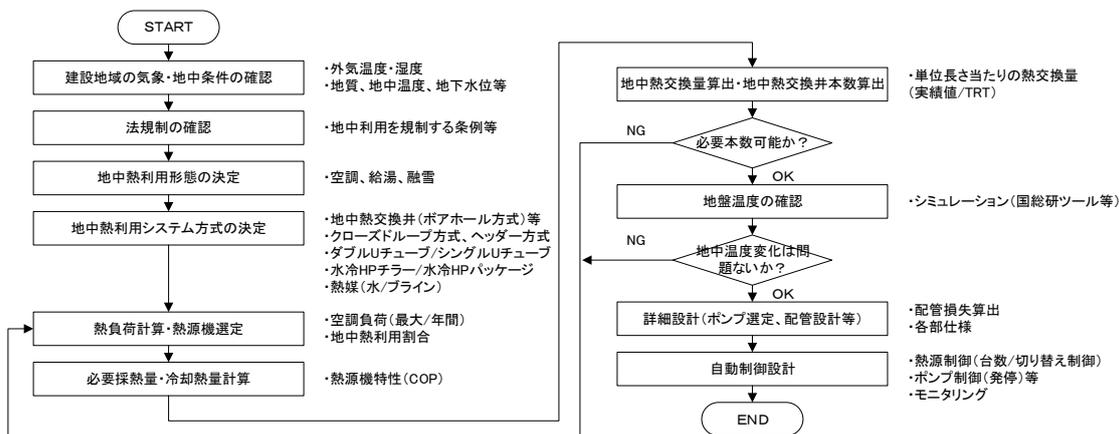


図6-69 蓄熱式空調システムの設計フロー

(3) 設計上の留意点

- ①地下水・地盤環境の保全や熱利用効率の維持の観点から適切な利用方式の選定には、主として a) 年間の利用方法（採排熱・冷暖房バランス）の想定、b) 利用可能な深さ（概ね深度 0～100m）での地下水の有無から利用方式を決定する。
- ②利用方式や設置地域の条件（熱交換量、地下水の有無・水質、揚水規制など）によっては、周辺の地中熱利用や地下水地盤環境への影響に留意する。
- ③地中熱利用の大きな施設を設置する地域、また、採排熱負荷の小さな施設でも高い密度で設置し、冷房・暖房のいずれかに偏った利用をする場合は、設計段階で地中熱ヒートポンプの稼働時間、熱媒温度の設計条件等をシミュレートしたうえで、地中の熱環境の変化や地下水・地中熱利用への影響をモニタリングできるようにしておく必要がある。

(4) 効果

- ① 事務所と商業施設（物販店舗）では地中熱利用による熱源 COP の向上が、そのまま電力ピーク削減効果と省エネルギー効果に反映している。電力ピーク削減、省エネルギー効果は、準寒冷地から温暖地では 10～20% と大きい（図 6-70）。
- ② 共同住宅では、地中熱利用により熱源単体 COP は向上するが、本ケースではポンプを含めた熱源システム COP は空気熱源機とほぼ同等となるため、電力ピーク削減、省エネルギー効果はなく、標準システムと同等の結果となっている（図 6-70）。
- ③ 地域別の電力ピーク削減効果では、準寒冷地、温暖地、蒸暑地の順である。地中熱利用による夏期の電力ピーク削減効果に加えて、冬期のピーク電力削減効果が効いているためである。蒸暑地では冬期暖房負荷がないため他の地域に対し効果が半減している（図 6-71～図 6-75）。
- ④ 特に準寒冷地では暖房時の外気温度の低下による運転効率の低下により、空気熱源機のピーク電力量が増大し、地中熱利用ヒートポンプでの削減効果が大きくなっている（図 6-74）。

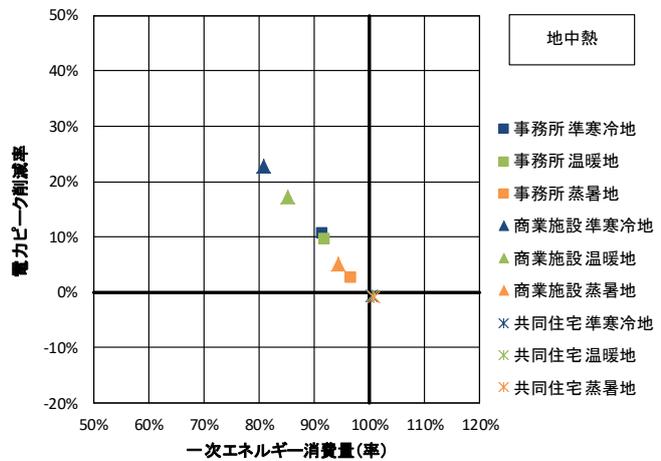


図6-70 電力ピーク削減率と省エネルギー率

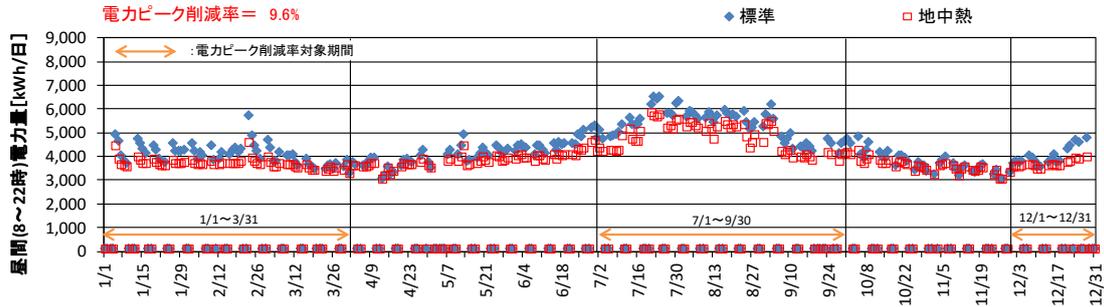
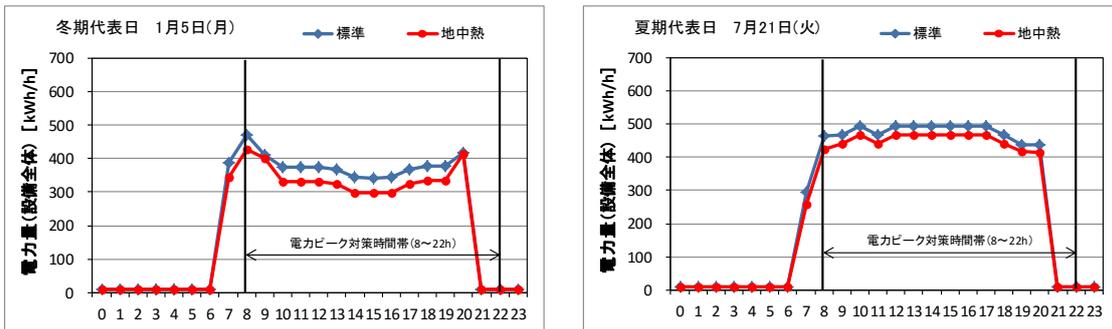


図6-71 昼間電力量の推移(事務所・温暖地) (日系列)



冬期最大日(時系列)

夏期最大日(時系列)

図6-72 昼間電力量の推移(事務所・温暖地) (時系列)

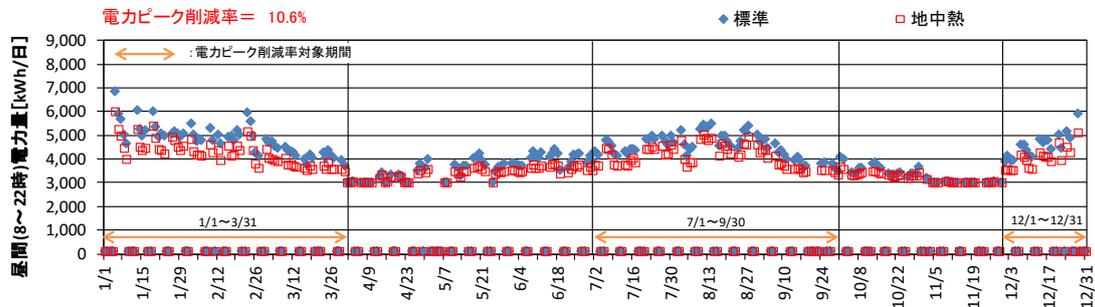
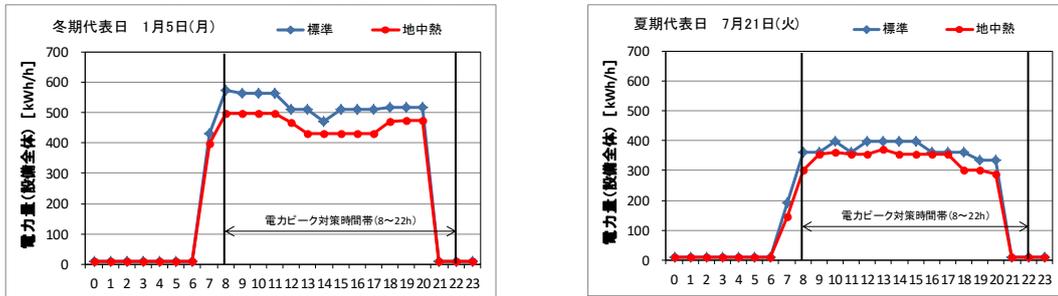


図6-73 昼間電力量の推移(事務所・準寒冷地) (日系列)



冬期最大日(時系列)

夏期最大日(時系列)

図6-74 昼間電力量の推移(事務所・準寒冷地) (時系列)

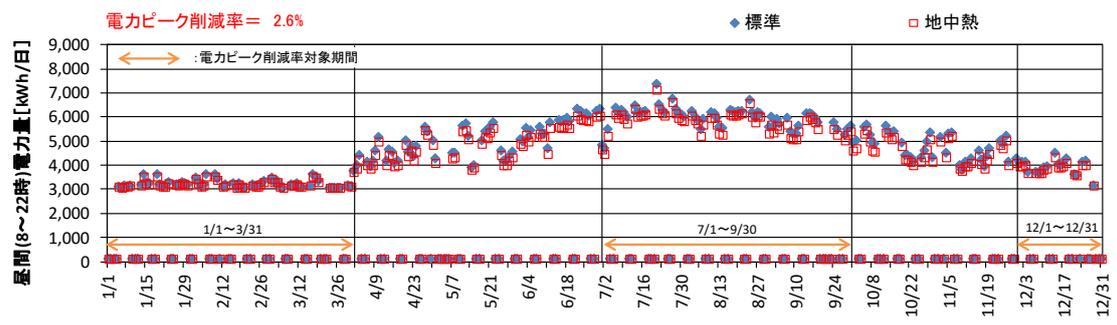


図6-75 昼間電力量の推移(日系列:事務所・蒸暑地)

6.8.7 大温度差送風システム

(1) 目的とポイント

大温度差空調システムは主として冷房時の送水温度差及び送風温度差を大きく取り、送水量及び給気量を低減することで、搬送動力を削減するシステムである（図6-76）。

このうち、空気側の大温度差システムを大温度差送風システム、特に送風温度差が 13°C 以下の方式を低温送風システムと言う。

また、空調ゾーンの熱負荷の増減、偏在に対して給気量を調整することで、室内温湿度を保持しつつ、空調機送風機の搬送動力を低減するシステムを変風量空調方式と言うが、大温度差送風システムと定風量空調方式の組合せシステムでは軽負荷時に湿度が上昇する傾向となるのに対し、変風量空調方式と組み合わせることで、高温低湿度環境を維持しつつ、搬送動力低減にもつながるなど相乗的効果がある。このため、大温度差送風システムは変風量空調方式と組み合わせたシステムとして示す。

方式	部位	冷水温度 (°C)	部位	空気温度 (°C)	部位
従来	従来熱源	→ 7 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$	空調機	→ 16 $\Delta t=12^{\circ}\text{C}$	室内
		← 12		← 28	
標準大温度差	→ 7 $\Delta t=7^{\circ}\text{C}$	→ 14 $\Delta t=14^{\circ}\text{C}$			
	← 14	← 28			
低温大温度差	氷蓄熱	→ 4~5 $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$	→ 10~13 $\Delta t=15\sim 18^{\circ}\text{C}$		
		← 14~15	← 28		

図6-76 大温度差空調システムの空気側・水側温度(冷房:建築設備設計基準)

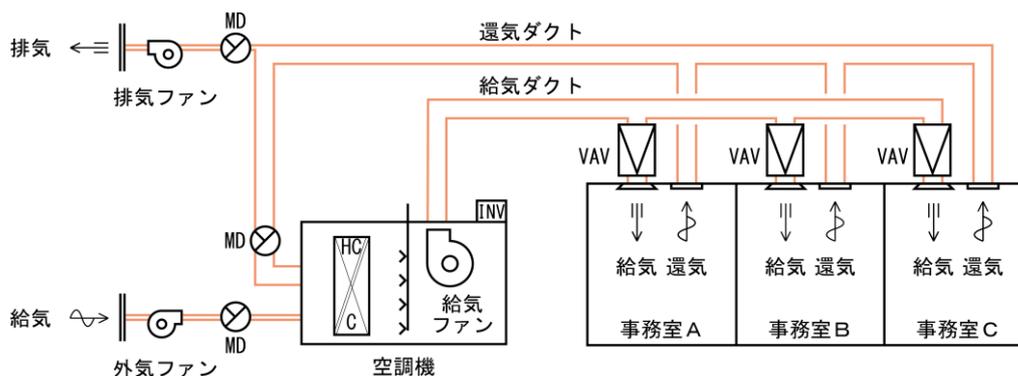


図6-77 変風量空調方式

(2) 設計上の留意点

- ① 仮に給気温度を 10°C（室温条件 28°C）とすると空気搬送設備で以下のメリットが期待できる。
 - (ア) 給気量が 7 割（ $\Delta t=12/18^{\circ}\text{C}$ ）となるためファン動力は 7 割となりダクトサイズも縮小できる。
 - (イ) 給・還気ダクトが縮小できるためダクトの梁貫通が可能となり階高を圧縮することができる。

- (ウ) リニューアル等で既設ダクトを流用すると理論上ファン動力は概ね 30% ($(\Delta t=12/18^\circ\text{C})^3$) となる。
- ② 大温度差送風システムでは冷房時に給気温度を低下するほど室内湿度は低下することから、従来空調に対して高温・低湿度環境が実現できる。ただし、室内環境が低湿度化することで、ピーク日負荷で2~5%程度熱負荷は増大するが、実務上の熱負荷計算や機器選定には問題ない。
- ③ 給気温度を10℃まで下げると、気流分布の不均一やドラフト感の発生、吹出口での結露等が懸念される場合がある。こういったケースでは高拡散型吹出口を採用する。



図6-78 高拡散型吹出口

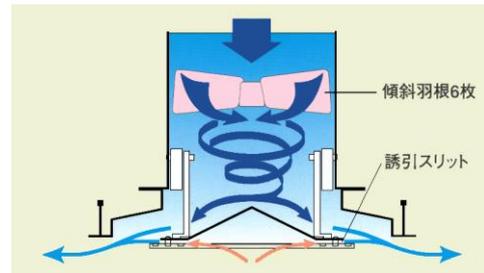


図6-79 高拡散型吹出口の構造

- ④ 低温送風では、ダクトの表面結露を懸念するむきもあるが、天井内が通常の周囲温湿度環境ならば、従来空調方式と同等の保温仕様（グラスウール 25mm）で表面結露は防止することができる。
- ⑤ 大温度差送風システムでは空気循環量が減少するためフィルター性能を上げることも検討する。
- ⑥ 給気温度を低温化すると、冷水コイル出入口温度差は縮小するため水側搬送動力の増大につながるが、冷水コイル列数を多くする等により水側の搬送動力の増加を抑制する工夫が必要となる。
- ⑦ 変风量システムでも VAV ゾーン間で負荷率が著しく異なる場合は、対応できないため空調ゾーニングには留意が必要である。
- ⑧ 外気導入量、粉じん除去のための最小风量の決定法は従来変风量システムと同じであるが、大温度差送風空調システムと変风量空調方式を組み合わせることで最大（定格）风量を低減できる一方で、変风量幅が小さくなり変风量によるファン動力低減効果を損なう可能性もあるため、最低給気量の決定には留意が必要である。

(3) 効果

- ① 事務所のエネルギー消費量で大きい割合を占める空調設備のうち、中央空調機方式で熱源に次いで大きい割合を占める空気側搬送動力での大温度差送風システム（変风量方式）の効果は大きく、熱源設備のような地域差もなく、どの地域でも10%超を示している。
- ② 最大日の推移をみると温暖地での冬期・夏期での基準値と設計値の差が搬送設備の大温度差化の効果と捉えることができる。
- ③ 一方最大日の推移で準寒冷地では冬期よりも夏期、蒸暑地では夏期よりも冬期の消費電

力量の基準値と設計値の差（搬送動力低減効果）大きくなっており、これが概ね変風量方式の効果とも考えられる。

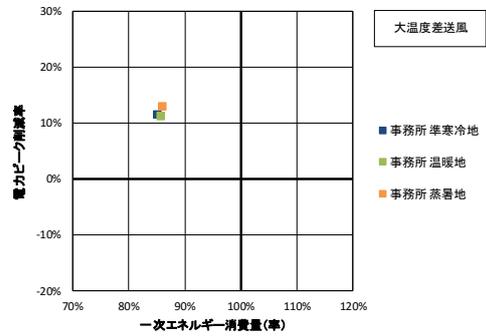
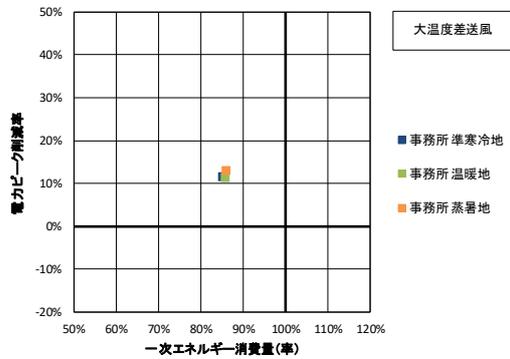
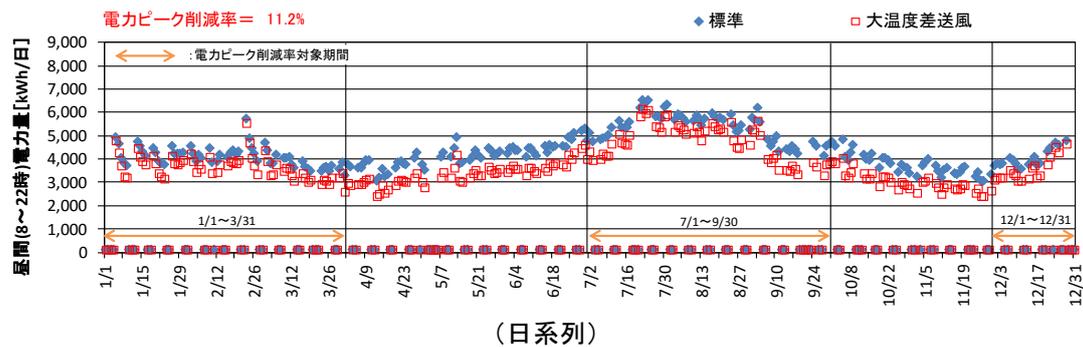
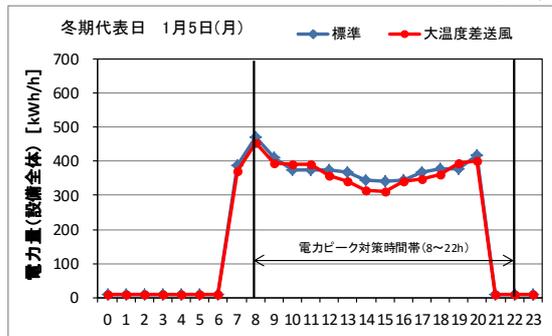


図6-80 電力ピーク削減率と省エネルギー率

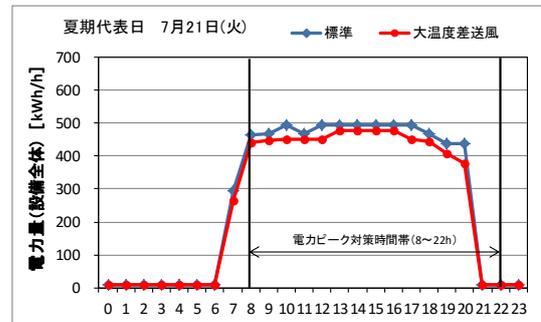
図6-81 電力ピーク削減率と省エネルギー率
(拡大)



(日系列)

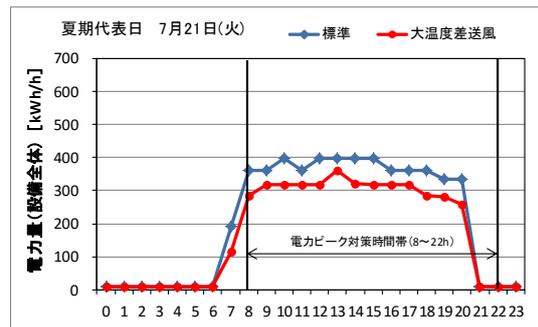
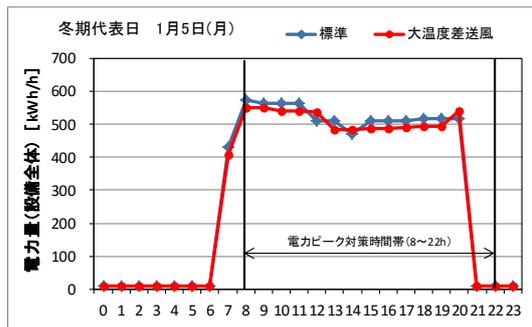
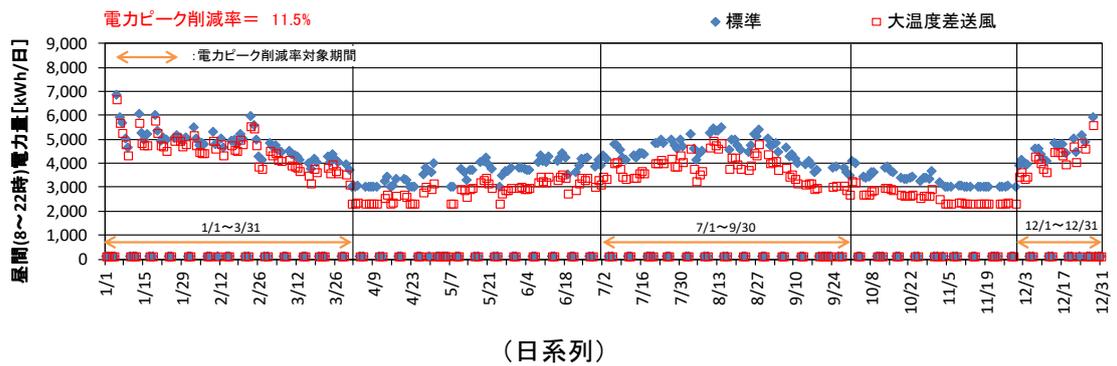


冬期最大日(時系列)



夏期最大日(時系列)

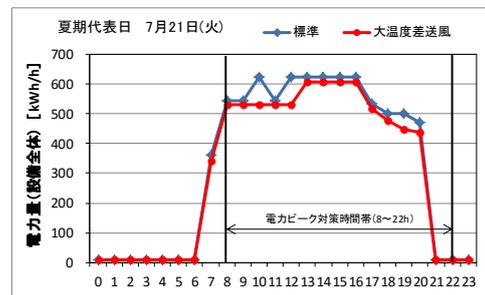
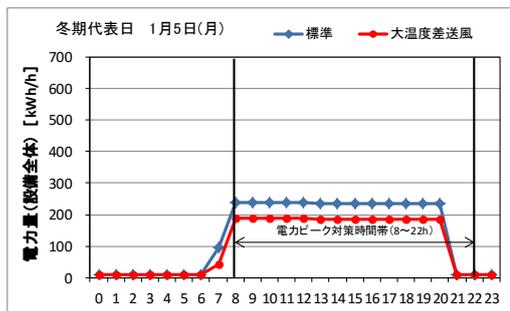
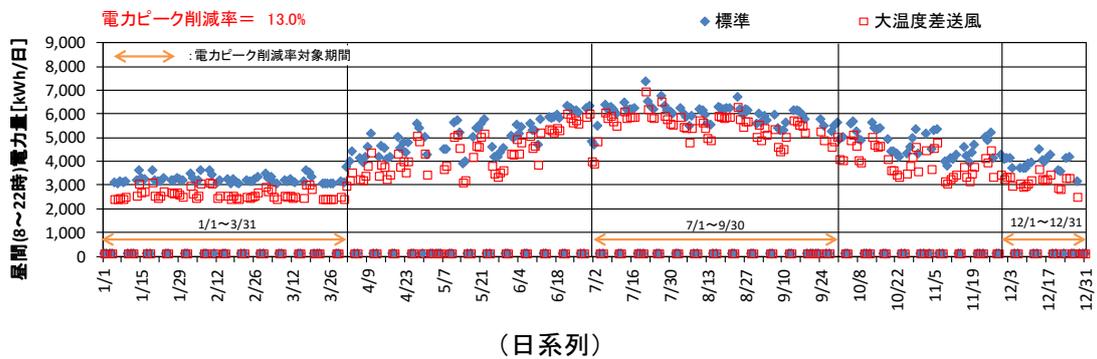
図6-82 昼間電力量の推移(事務所・温暖地)



冬期最大日(時系列)

夏期最大日(時系列)

図6-83 昼間電力量の推移(事務所・準寒冷地)



冬期最大日(時系列)

夏期最大日(時系列)

図6-84 昼間電力量の推移(事務所・蒸暑地)

6.8.8 LED 照明

(1) 目的とポイント

発光効率の良い照明器具を採用することで、適切な視環境を保持しながら、建築物の電力消費量のうち比較的大きい割合を占める照明設備の消費電力量を低減する。

LED とは、Light Emitting Diode の略称であり、発光ダイオードすなわち半導体で組成されている。LED 照明器具には、以下の特長がある。

- ①半導体であるので、寿命が長く蛍光灯の約 3～4 倍が期待できる。
- ②蛍光灯などに含まれている鉛や水銀・カドミウムを使用していないので、廃棄処理が容易である。
- ③赤外線や紫外線などの放出が少ないので、商品の退色や熱によるダメージが軽減される。
- ④低温時、蛍光灯は明るくなるまで時間がかかるが、LED は瞬時に点灯できる。
- ⑤発光効率が良く、ベースライト蛍光灯の 100 lm/W に対し、LED 同等品で 135 lm/W、また 180 lm/W の高効率型も登場している。

表6-51 LED 照明器具の種類

a) 器具本体とライトバーを 組合せるタイプ	b) スクエア(正方形)タイプ	c) 直管形
		
デザイン性や施工性が良く、 ライトバーの交換も可能で 明るさの変更が可能である。	省スペース性が高いので、 設計の幅が広まる。	従来型蛍光灯と形状が類似し ている。

写真出典：⁴⁾

表6-52 蛍光灯器具とLED 同等器具の比較

	蛍光灯 (Hf32 形 2 灯定格出力)	LED (Hf32 形 2 灯定格出力相当)
消費電力	65W	34.5W
光源寿命	12,000 時間	40,000 時間
発光効率	100 lm/W	130 lm/W
色温度	色温度が違っても光束は同じ	色温度が下がると光束が低下
照明率	—	蛍光灯に比べ 50～60%良い

(2) 設計上の留意点

- ① 光束法により平均照度（所要灯数）を算出する方法において、LED 照明器具の保守率は照明学会の技術指針 JIEG-001（平成 25 年 10 月）で示されている値を用いる。
- ② LED は配光が広がりにくい特徴があるので、平均照度は確保できていても、光がムラになっている場合があるので、照度分布図を作成し、光のムラがないかを確認し、照度や器具台数を算出する。

(3) 効果

事務所、商業施設、共同住宅共に Hf 照明器具相当の基準仕様に対し、年間を通じて効果があり、電力ピーク、年間消費電力量共に、事務所、共同住宅で 20%、商業施設で 10%程度削減効果が認められる。

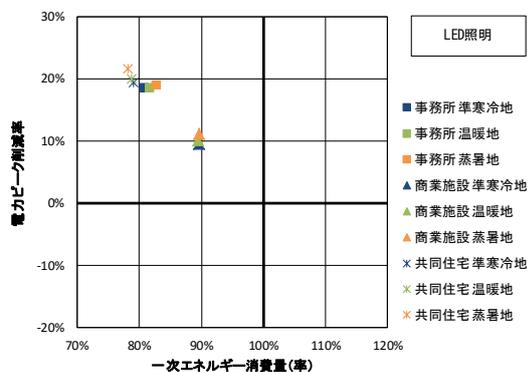
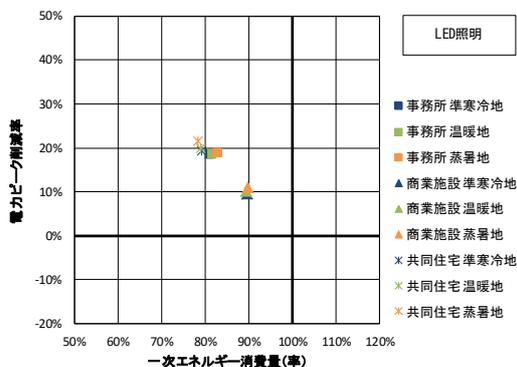
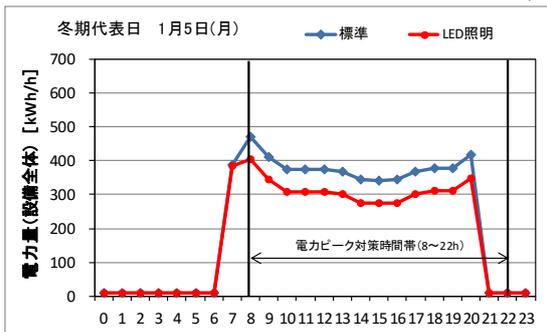
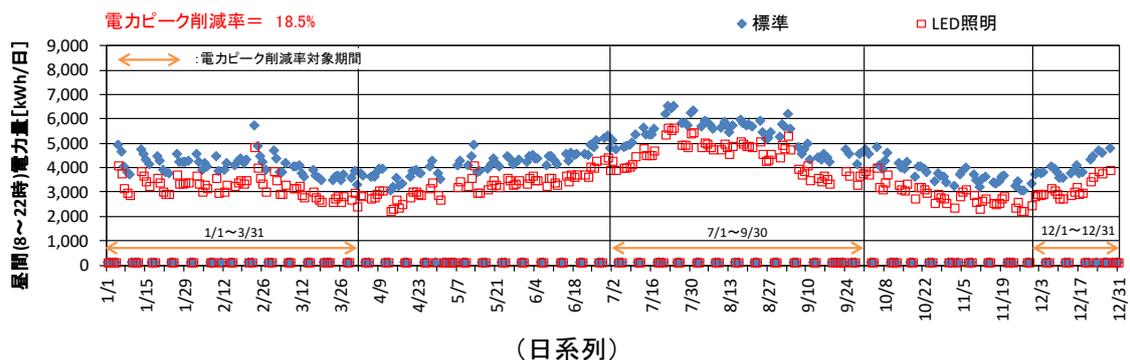
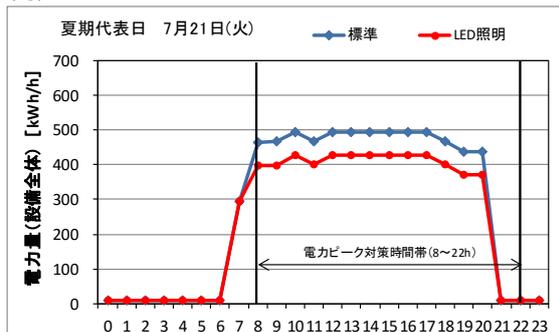


図6-85電力ピーク削減率と省エネルギー率 図6-86電力ピーク削減率と省エネルギー率(拡大)

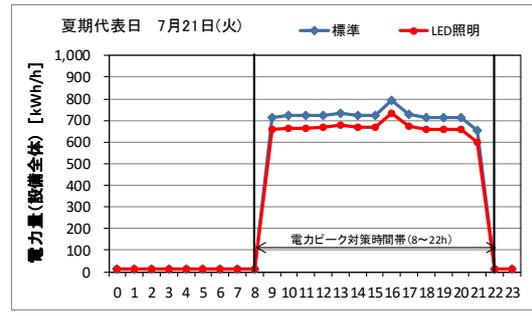
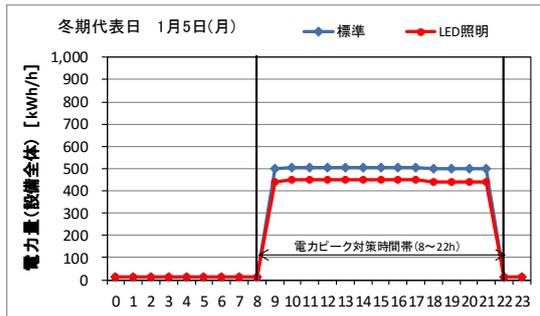
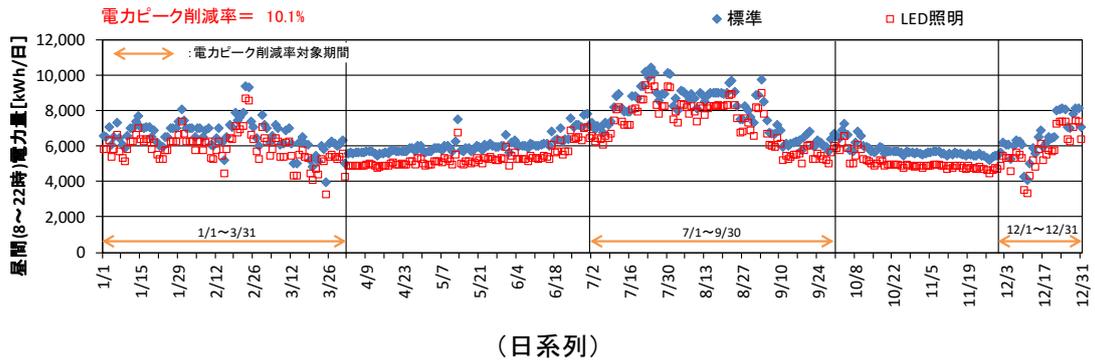


冬期最大日(時系列)



夏期最大日(時系列)

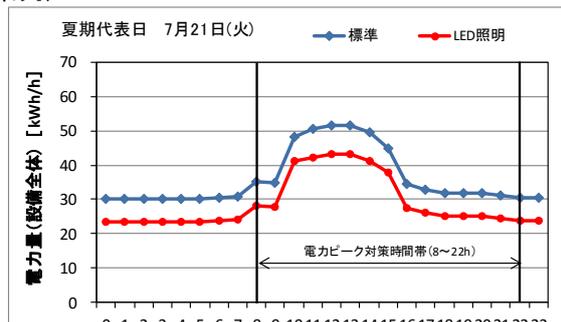
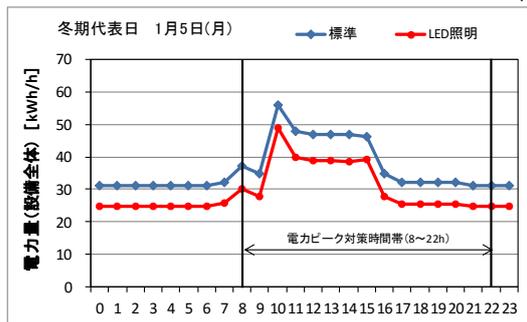
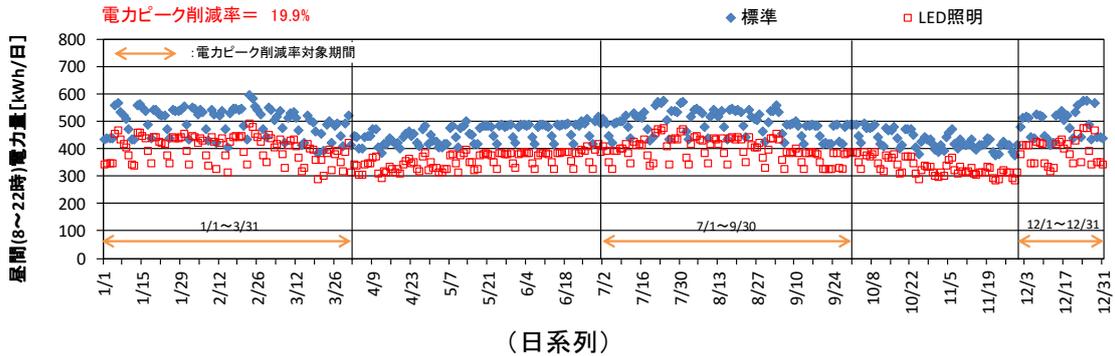
図6-87 屋間電力量の推移(事務所・温暖地)



冬期最大日(時系列)

夏期最大日(時系列)

図6-88 昼間電力量の推移(商業施設・温暖地)



冬期最大日(時系列)

夏期最大日(時系列)

図6-89 昼間電力量の推移(共同住宅・温暖地)

6.9 まとめ

本章では、時々刻々のエネルギー消費量の変化を評価できる電力ピーク対策評価システムを開発し、このシステムを利用して、幾つかの代表的な技術についての評価を試行した。

- ① 非住宅建築物の省エネルギー基準におけるエネルギー消費量算定方法をベースに、省エネルギー基準で算出が求められている年間の一次エネルギー消費量だけではなく、時々刻々の一次エネルギー消費量及び電力消費量の変化を評価できるように拡張し、さらに本プロジェクトで開発した潜熱蓄熱材の効果を考慮した動的負荷計算及び地盤のモデルを組み込むことで、電力ピーク対策技術の導入効果を定量的に評価するシステム（電力ピーク対策評価システム）を開発した。
- ② 開発した電力ピーク対策評価システムを用いて約 200 件のケーススタディを行い、熱負荷とエネルギー消費量のピーク削減率及び年間低減率を算出した。熱負荷は外皮仕様別、エネルギー消費量は設備システム別に、各技術単体または複数の技術を組み合わせた場合の効果を試算し、地域・建物種別毎にピーク削減率、年間低減率を算出した。例えば、本研究で取り上げた外皮仕様、設備システムに係わるピーク対策技術を組み合わせれば事務所では最大でピーク電力 84%削減、エネルギー消費量で 56%低減可能であることが判った。
- ③ 建物種別毎に熱負荷、エネルギー消費量のピーク削減率と年間低減率を整理し、各技術が熱負荷やエネルギー消費量に与える影響の特徴（年間値に影響を与えるのか、ピーク値に影響を与えるのか）を分類して整理した。
- ④ 試算結果からピーク削減率、年間低減率の観点から有効と思われる各技術について、そのエネルギー消費特性の特徴を整理し、設計手順・留意点等と併せて整理した。

参考文献

- 1) 平成 21 年省エネ基準対応 建築物の省エネルギー基準と計算の手引き (財)建築環境・省エネルギー機構
- 2) 板硝子協会：ビルと複層ガラス P15
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 I 費住宅建物 (第二版) P249～P252
- 4) Panasonic HP <http://www2.panasonic.biz/es/lighting/>

第7章 総括

7.1 成果

本総プロでは、電力平準化にも有効な建築物の普及を目指して、潜熱蓄熱材による対策技術、地中蓄熱による対策技術、蓄電設備による対策技術及び電力ピーク対策の評価技術の開発に取り組んだものである。以下に研究成果を示す。

1) 建築物の電力ピーク対策評価システムの開発

建築物の建築及び設備設計に関して、電力消費量の時間値を年間で算出する計算システムを開発した。本評価システムは、非住宅建築物省エネルギー基準の Web プログラムを基本としており、若干の入力情報の追加により、従来の一次エネルギー消費量の年間値と整合し、かつ、電力消費量や一次エネルギー消費量の時間値をも算出することができるようになった。

また、電力消費量の削減量を季節・時間帯で積算し、年間のピーク電力削減効果の評価指標「建築物電力ピーク削減率」を提案し、同システムに装備している。

これにより、一次エネルギー消費量による省エネルギー効果と電力ピーク対策削減効果を、各指標の横並びで総合的に評価可能とした。

2) 潜熱蓄熱材の評価技術の開発

非住宅建築物省エネルギー基準の Web プログラムでは、動的空調熱負荷計算ツールの HASP と整合するよう調整した簡易な日平均定常モデルが使用されている。本総プロでは、同プログラムを参考として、断熱や蓄熱、遮熱といった空調熱負対策を詳細に検討できるよう、HASP を直接に計算実施・処理する方式に変更し、1時間毎の空調熱負荷を出力し、ピーク時間帯の熱負荷を評価できるようにした。

また、任意の温度で相変化を生じる潜熱蓄熱材の物性値試験、現地観測及び数値モデルの検証等を実施し、HASP において、他の建材と同様に潜熱蓄熱材を選択し、年間の空調負荷計算を実施できるようプログラム・コードを修正した。更に、新しい計算システムを使用し、地域、相変化温度、潜熱蓄熱材の厚み等を変化させたケーススタディを系統的に実施し、特定の季節において空調熱負荷の削減効果があることを定量的に示した。

3) 地中蓄熱の評価技術の開発

地中熱利用システムの 1 つとして地中熱ヒートポンプ (HP) に着目し、そのエネルギー消費特性の実態を「観測」、「解析」、「評価」の 3 つのアプローチから明らかにした。得られた知見を次に示す。

- ・ 地中熱 HP の実動特性を把握するために実証実験を行った。国立研究開発法人建築研究所敷地内にある一対の実験施設を使用し、地中熱 HP と空気熱 HP を同時に運転させてデータを収集した。分析の結果より、地中熱利用による電力ピーク対策効果として、夏期 16%、冬期 27%を得た。
- ・ 地盤温度を予測する数値モデルを開発し、RMS 誤差約 1°Cで地盤からの還水温度を再現できることを確認した。
- ・ 省エネルギー基準(非住宅)のエネルギー消費量算出方法に地盤の数値モデルを組み込むことで、他の省エネ技術と同様に地中熱利用設備の一次エネルギー消費量を評価できるようシステムの高度化を実施した。
- ・ 34 件のケーススタディを実施し、4 地域、4 用途で地中熱利用設備の導入効果を定量化し、省エネルギー効果、電力ピーク対策効果は蒸暑地では 5%程度、温暖地～寒冷地で 10～20%程度であることが示された。
- ・ 地盤の熱伝導率や熱交換井の深さ等のパラメータがシステム全体のエネルギー消費量に与える影響には不明瞭な点が多いため、今後開発した評価システムで検討する必要がある。

4) 蓄電設備の評価技術の開発

住宅の蓄電設備に関する調査を実施し、以下の知見を得た。

- ・ 市場の蓄電システムのカタログ情報より、補助金を差し引いた蓄電システムの電力単価は平成 26 年 7 月現在平均 28.2 円/kWh であること、蓄電池メーカーへのアンケート調査により、蓄電池は太陽光発電との連携で今後市場性を見込めるが、運用方法に技術指針策定の要望があることなどがわかった。
- ・ 家電機器を用いて生活パターンをコンピュータ制御で模擬的に再現し、蓄電池の蓄放電量を詳細に計測可能な蓄放電実験装置を開発し、蓄電池の導入により電力ピーク削減率が 37～82%期待できるが、夜間充電を行うと放電ロスにより電力の日総量は 22～31%増加すること、太陽光発電と組み合わせると電力の日総量は 16～40%のプラスに転じることが示された。
- ・ 実験で取得した電力消費の機器特性データを組み合わせて、世帯規模や地域、装置容量が異なる 50 ケース程度の対策効果の試算を行い、装置容量を適切に設定することで、電力日削減率 40～71%、電力ピーク削減率 55～86%が得られた。

7.2 成果の反映、課題

本総プロでは、建築物の電力ピーク削減に着目して、建築物の電力ピーク対策評価システムの構築を行い、また、建築・設備技術、地域、用途の組み合わせで計 200 ケース程度

の試算を実施したものである。本総プロの実施により、建築物の電力ピーク対策の全体像を把握することができたと考えている。

これらの研究成果を基に、建築物の電力ピーク対策評価システムのツールの公開・解説等を行うことにより、開発技術の普及を図る予定である。

今後の課題として、以下のような事項が考えられる。

- ・本研究で開発した地中熱の省エネルギー評価技術について国の省エネ基準に反映及び普及
- ・国土交通省住宅局と連携し、電力ピーク対策マニュアル等の策定及び普及
- ・ゼロエネルギー建築への電力ピーク対策技術の導入
- ・シンポジウム、講習会の開催による啓発活動
- ・電力供給会社の料金プラン検討における基礎資料として活用

7.3 論文発表等

【学術論文】

1. 久保田裕二：低電圧蓄電給電システムに関する実験について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 3-4、2014.9
2. 足永靖信：ラプラス変換による単層壁熱伝導の初期値問題、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 3-4、2014.9
3. 久保田裕二、足永靖信：超音波血流計を用いた人体の恒常性に関する実験的検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 133-136、2014.9
4. 足永靖信、佐伯智寛、兼松学、猪瀬亮、武田仁、土屋直子：外界気象の変動影響を考慮した潜熱蓄熱材の建築利用に関する研究（その1）数値計算モジュールの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 107-108、2015.9
5. 足永靖信、佐伯智寛、兼松学、猪瀬亮、武田仁、土屋直子：外界気象の変動影響を考慮した潜熱蓄熱材の建築利用に関する研究（その2）潜熱蓄熱材の物性値、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 109-110、2015.9
6. 猪瀬亮、足永靖信、佐伯智寛、兼松学、武田仁、土屋直子：外界気象の変動影響を考慮した潜熱蓄熱材の建築利用に関する研究（その3）示差走査熱量測定の実用性の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 111-112、2015.9
7. 久保田裕二、足永靖信：住宅用の蓄電装置を利用したピークシフト対策について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1207-1208、2015.9
8. 足永靖信、原英嗣、宮田征門、西澤繁毅：地中熱又は空気熱を利用したヒートポンプ空

- 調の実証研究（第4報）2014年度実測概要と結果及びデータ補正手法、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 57-60、2015.9
9. 原英嗣、足永靖信、宮田征門、西澤繁毅：地中熱又は空気熱を利用したヒートポンプ空調の実証研究（第5報）2014年度実証実験によるヒートポンプ性能の比較評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 61-64、2015.9
 10. 久保田裕二、足永靖信、西澤繁毅、村江行忠、都築和代：ピークシフト時の夜間室内温熱環境を想定した人体への影響に関する研究（第1報）既往研究に基づく実験方法の検討、及び試行実験の概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 229-232、2015.9
 11. 村江行忠、鈴木孝彦、大島佳保里、都築和代、久保田裕二、足永靖信、都築和代：ピークシフト時の夜間室内温熱環境を想定した人体への影響に関する研究（第2報）試行被験者実験の室内環境と主観評価、及び試行実験の概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 233-236、2015.9
 12. 都築和代、村江行忠、大島佳保里、鈴木孝彦、久保田裕二、足永靖信：ピークシフト時の夜間室内温熱環境を想定した人体への影響に関する研究（第3報）試行被験者実験の生理反応、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 237-240、2015.9
 13. 足永靖信、佐伯智寛、兼松学、猪瀬亮、武田仁、土屋直子：外界気象の変動影響を考慮した潜熱蓄熱材の建築利用に関する研究（その4）外壁の潜熱蓄熱効果を考慮した空調熱負荷計算、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8
 14. 猪瀬亮、足永靖信、佐伯智寛、兼松学、武田仁、土屋直子：外界気象の変動影響を考慮した潜熱蓄熱材の建築利用に関する研究（その5）有機系PCMの示差走査熱量測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8
 15. 佐伯智寛、足永靖信、武田仁、兼松学、土屋直子、猪瀬亮：外界気象の変動影響を考慮した潜熱蓄熱材の建築利用に関する研究（その6）屋外試験体を用いた実証実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8
 16. 武田仁、足永靖信、兼松学、猪瀬亮：外界気象の変動影響を考慮した潜熱蓄熱材の建築利用に関する研究（その7）実験BOX内におけるPCM熱容量変化の室温への影響検証、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8
 17. 村江行忠、鈴木孝彦、大島佳保里、足永靖信、望月悦子、三浦寿幸：睡眠時の室内環境評価に関する研究 その1 簡易な調査法による冬期フィールド調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8
 18. 宮田征門、足永靖信：建築物の電力ピーク対策評価システムの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8

【総説】

1. 足永靖信：電力依存度低減に資する建築物の評価・設計技術の開発、建設マネジメント技術、pp.23-27、2013.10
2. 宮田征門：省エネ基準適合義務化の背景と地中熱への期待、環境新聞、2016.2.24

【特許】

1. 特許出願（第2013-190250号）：LED照明

【広報等】

1. 建築研究部：電力依存度低減に資する建築物の評価・設計技術の開発、ニューズレター、No.47、2014
2. 建築研究部：電力依存度低減に資する建築物の評価・設計技術の開発、メールサービス、No.146、2013.8
3. 国土技術政策総合研究所：共同研究者の募集～家庭電力を安価にピークシフトする次世代蓄電システムの構築を目指して～、記者発表、2014.6.17
4. 国土技術政策総合研究所：家庭電力を安価にピークシフトする次世代蓄電システムの構築を目指して～国総研との共同研究者の募集～、メールサービス、No.170、2014.6.18
5. 国土技術政策総合研究所：建築物の省エネルギーに関する研究について～住宅研究部～、メールサービス、No.213、2016.2.17

付録 試算建物の平面概要

第4章と第6章の検討で用いた試算建物の平面概要を次に示す。

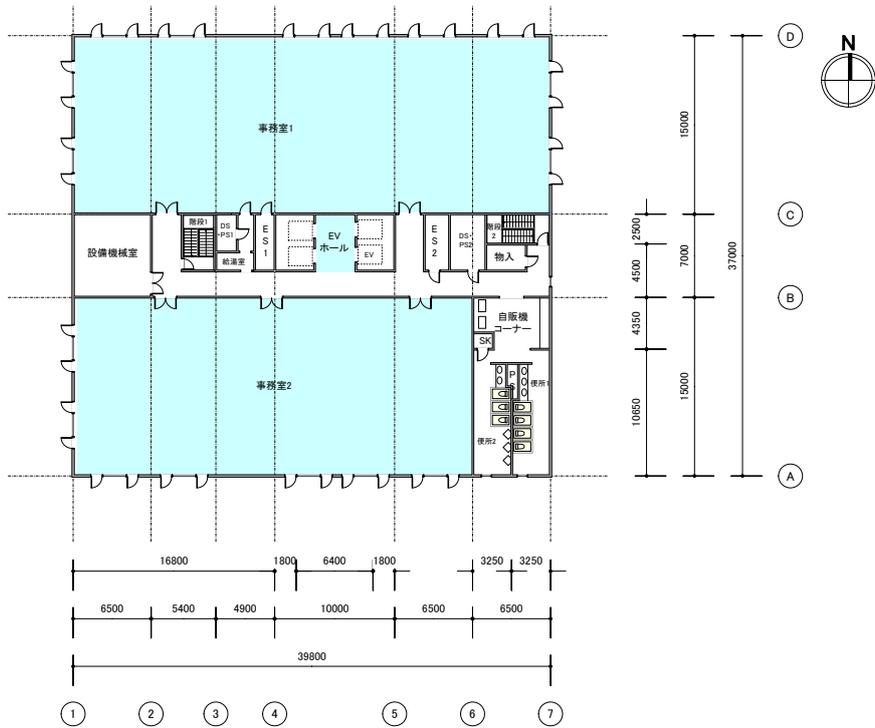
表 付-1 試算建物の概要

建物用途	建物規模	参考図番
事務所	テナントオフィスビル 延床面積：約 10,000 m ² RC造、地上7階、地下0階	図 付-1
商業施設（物販店舗）	大規模物販店舗用途 延床面積：10,000 m ² S造、地上3階、地下1階	図 付-2
共同住宅（共用部）	タワー型共同住宅（共用部） 延床面積：10,000 m ² SRC造、地上14階、地下1階	図 付-3
福祉施設（病院）	総合病院 延床面積：5,000 m ² RC造、地上3階、地下1階	図 付-4

※図中のハッチング（）部分は空調対象室を示す。



(a) 1階平面図

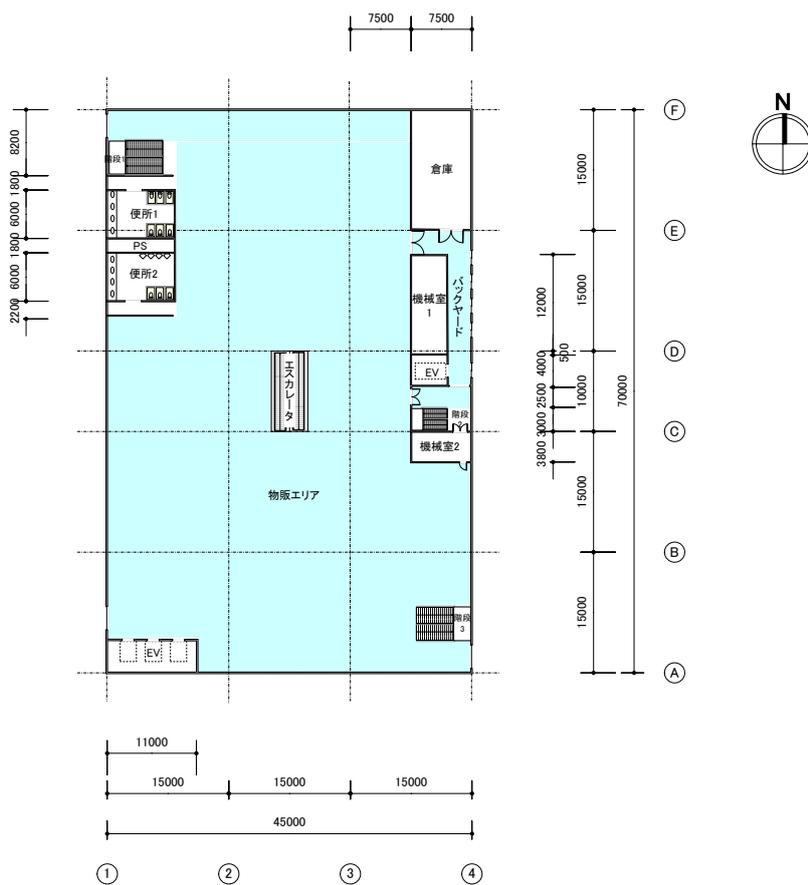


(b) 2~7階平面図 (基準階)

図 付-1 試算建物 (事務所)

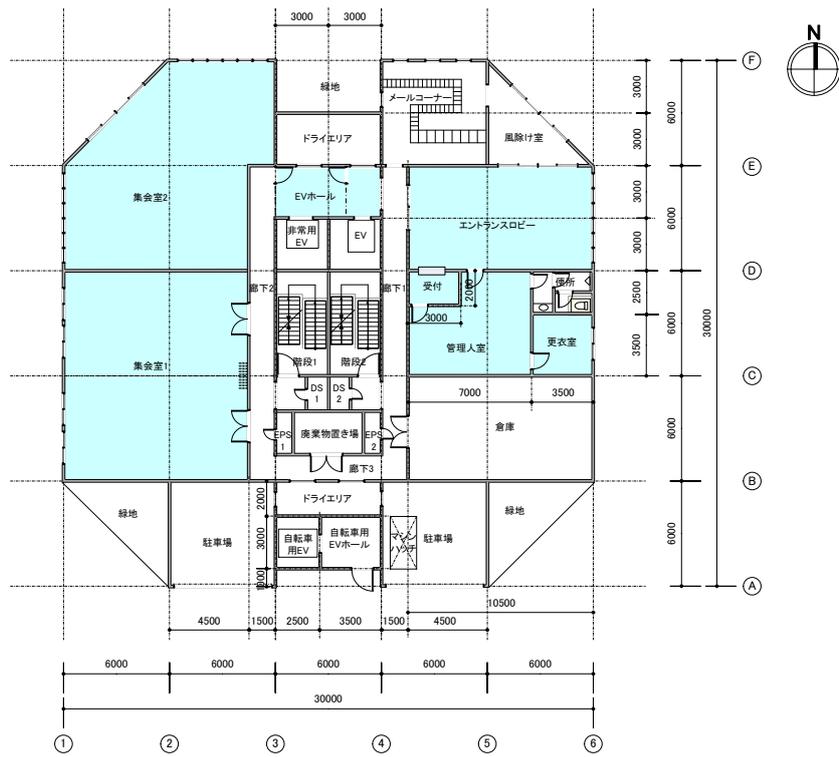


(a) B1階平面図

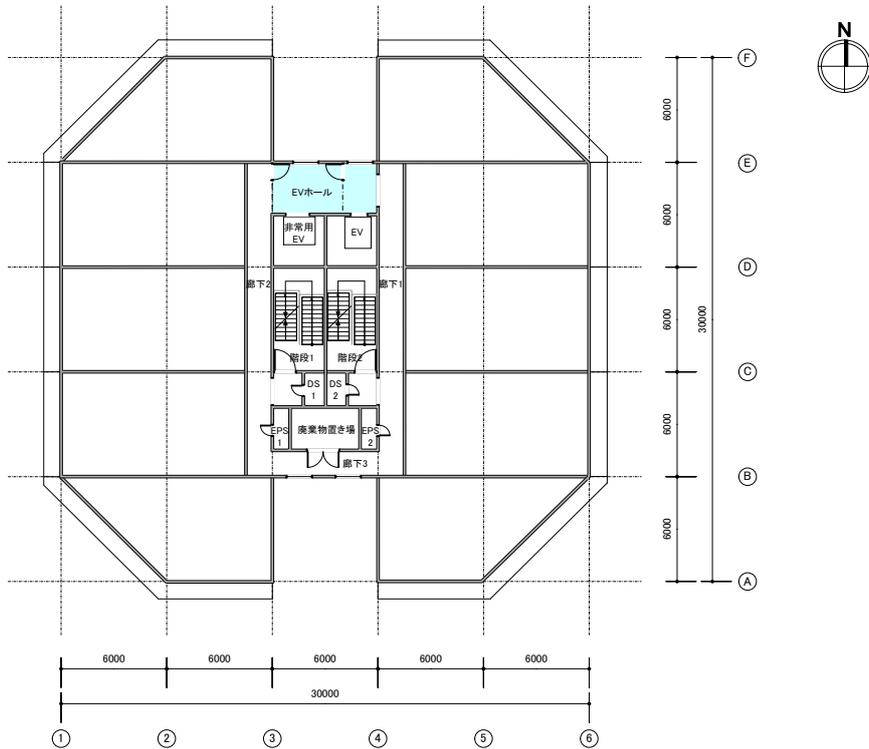


(b) 2~7階平面図 (基準階)

図 付-2 試算建物 (商業施設 (物販店舗))



(a) 1階平面図

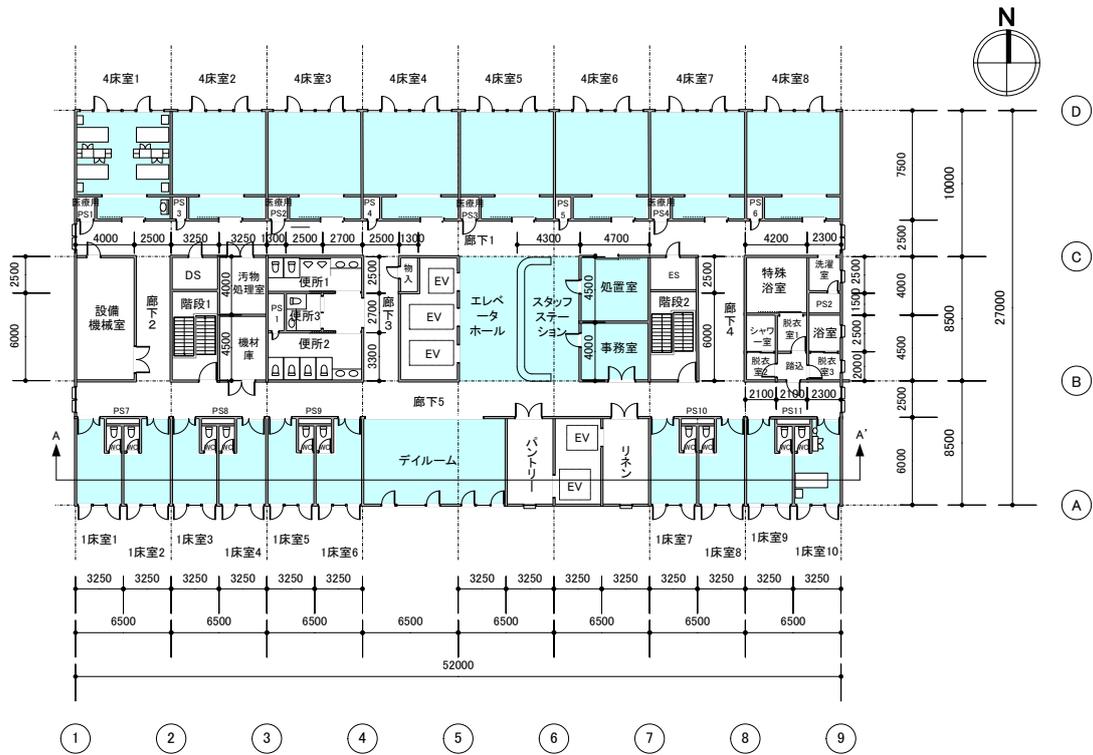


(b) 2~14階平面図 (基準階)

図 付-3 試算建物 (共同住宅 (共用部))



(a) 1階平面図



(b) 2~3階平面図 (基準階)

図 付-4 試算建物 (福祉施設 (総合病院))

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. 53 November 2016

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