

個別分散型空調システムの性能評価ならびに  
空調設計条件および機器選定の余裕率に関する研究

Study on Performance Evaluation of Multi-split Type Air-conditioning System  
as well as Air Conditioner Design Conditions and Safety Factor for Selection of Equipment

平岡 雅哉  
(HIRAOKA, Masaya)

個別分散型空調システムの性能評価ならびに  
空調設計条件および機器選定の余裕率に関する研究

Study on Performance Evaluation of Multi-split Type Air-conditioning System  
as well as Air Conditioner Design Conditions and Safety Factor for Selection of Equipment

平岡 雅哉  
(HIRAOKA, Masaya)  
2016年

## 目次

1. 研究の目的	1
1.1 研究の目的	2
1.1.1 はじめに	2
1.1.2 中央熱源と個別分散型空調システムとの比較	4
1.1.3 ビル用マルチパッケージ型空調システムの高度利用	9
1.1.4 各章の研究目的	10
1.2 既往の研究	13
1.2.1 第2章の既往の研究	13
1.2.2 第3章の既往の研究	13
1.2.3 第4章の既往の研究	14
2. ビル用マルチパッケージ型空調システムの性能評価	16
2.1 研究の概要	17
2.2 性能評価対象建物の性能評価計画	17
2.2.1 対象建物の概要	17
2.2.2 ビル用マルチパッケージ型空調システムを用いたタスク/アンビエント空調	20
2.2.3 タスク/アンビエント方式の省エネルギー性試算	26
2.3 空調システム効率の性能検証計画	28
2.3.1 冷暖房能力の推定手法の選択	28
2.3.2 コンプレッサーカーブ法による能力の推定	28
2.3.3 低負荷率における機器評価方法	32
2.3.4 除霜運転時の GC 法能力推定値への影響	34
2.4 省エネルギー性能評価	36
2.4.1 アンビエント系統運用実態の分析	36
2.4.2 タスク系統運用実態の分析	39
2.4.3 タスク/アンビエント空調の全館負荷率の実態評価	41
2.4.4 タスク/アンビエント空調エネルギー消費量の分析	43
2.4.5 他事務所ビルとのエネルギー性能比較	46
2.5 その他ビル用マルチパッケージ型空調システムの機器特性の性能検証	50
2.5.1 タスク系統の人感センサ制御の効果検証	50
2.5.2 タスク/アンビエント空調の季節別時刻別の挙動	51
2.5.3 冷暖房自動運転に関する性能検証	53
2.6 室内環境評価	58
2.6.1 BEMS による通年室内環境評価	58

2.6.2	温熱環境、気流環境測定	58
2.7	まとめ	62
3.	空調設計条件および機器選定の余裕率による省エネルギー・温熱環境への影響	63
3.1	研究の目的	64
3.2	検討概要	64
3.3	検討モデルと計算条件	65
3.3.1	建物概要、空調システム概要	65
3.4	余裕率と内部発熱密度についての考察	67
3.4.1	機器選定上の余裕について	67
3.4.2	内部発熱密度の実態把握について	67
3.5	検討ケース	87
3.6	計算結果	90
3.6.1	選定時熱負荷計算	90
3.6.2	年間負荷計算	93
3.6.3	超過時間数と代表室温度の算定	96
3.6.4	エネルギー消費量の算定	101
3.6.5	イニシャルコスト、ランニングコストの算定	104
3.7	まとめ	107
4.	ビル用マルチパッケージ型空調システムの適用と性能検証事例	108
4.1	新築の事例(オフィス・研究所)	110
4.1.1	対象建物と検証の目的	112
4.1.2	執務スペースの建築計画	113
4.1.3	事務室執務スペースの空調計画と検証結果	116
4.1.4	集中思考室の計画と検証結果	121
4.1.5	夏期温熱環境の検証結果	124
4.1.6	エネルギー消費実績	126
4.1.7	知的生産性に関する評価	128
4.1.8	本建物性能評価のまとめ	129
4.2	既存改修の事例(オフィス)	130
4.2.1	対象建物と検証の目的	130
4.2.1.1	実証試験概要	130
4.2.1.2	適用技術と全体システム	134
4.2.2	適用技術の概要と実証	137
4.2.2.1	空気放射空調システム	137

4.2.2.2	明るさ感演出 LED 照明	145
4.2.2.3	次世代電力マネジメントシステムの運用結果	146
4.2.3	年間一次エネルギー消費量と考察	148
4.2.4	本建物における性能評価のまとめ	152
5.	総括	153

参考文献	157
謝辞	159
英文概要	160
関連論文・発表等	161

## 1. 研究の目的

# 1. 研究の目的

## 1.1 研究の目的

### 1.1.1 はじめに

個別分散型空調システム(以降、ビル用マルチパッケージ型空調システム)は、開発され設計に採用されるようになってから30年余りになる。従来より採用されてきた中央熱源方式は図-1-1に示すように冷凍機やボイラなどの熱源、水搬送システム、空調機などの組み合わせにより構築され、図-1-2のシステム概念図に示されるような形で室の環境を調整するものである。一方でビル用マルチパッケージ型空調システムは図-1-3に示すヒートポンプを活用し、図-1-4に示すように一つの室外機に複数の室内機を接続することで構成される。

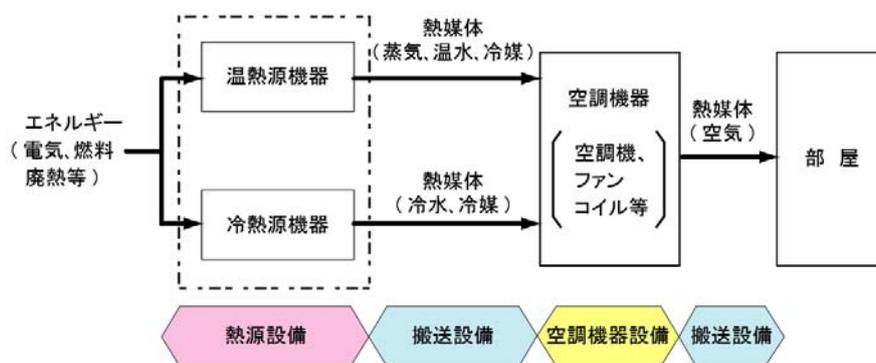


図-1-1 中央熱源方式空調システムの構成

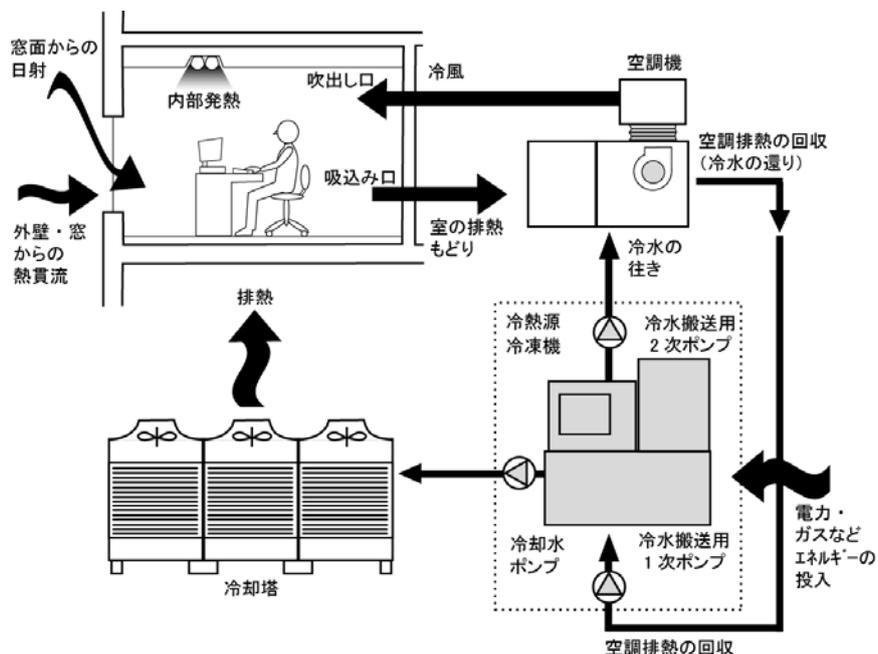


図-1-2 中央熱源方式空調システムの概念図(冷房)

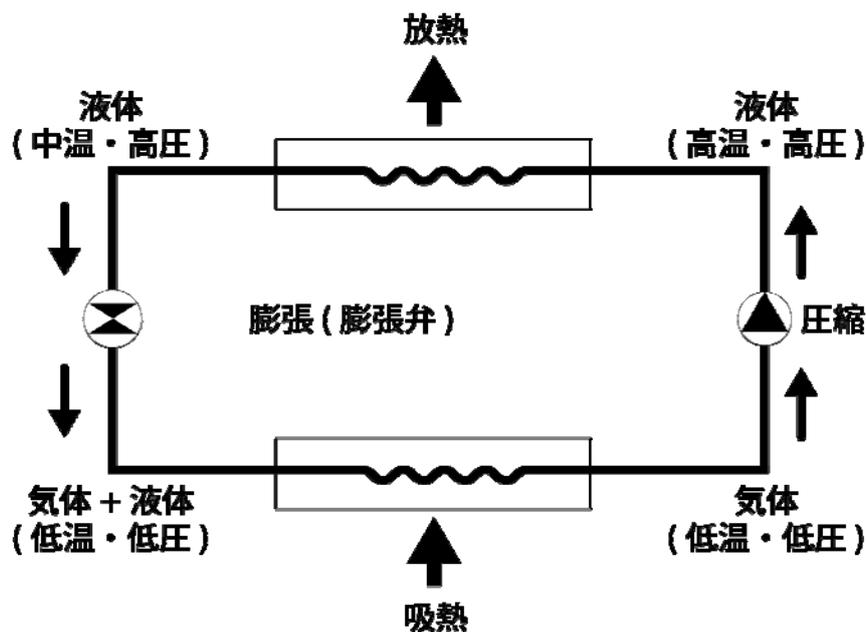


図-1-3 ヒートポンプの仕組み

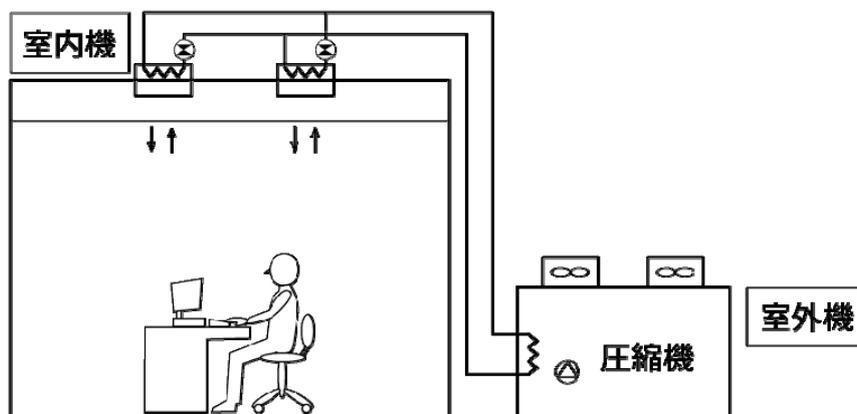


図-1-4 ビル用マルチパッケージ型空調システムの概念図(冷暖房)

ビル用マルチパッケージ型空調システムは、1.1.2に示すようなメリット、特に工事費の安価なこと、省スペース、操作性などの観点で採用が広まり、当初は中小建物への導入が主であったが、この10年あまり大型建物でも採用されるようになった。ビル用マルチパッケージ型空調システムは、建築主や設備設計者の要請に呼応して、次々に大容量、高揚程、冷暖同時、湿度制御等の新機能が実現されている。空調方式として、ビル用マルチパッケージ型空調システムが主流となる現状において、最少の消費エネルギーのもと快適な居住環境を確保するという基本要件を解決することが重要と考え本研究の課題を設定した。本研究では、空

調システムとしての効率評価や機器選定上の余裕率の考え方、また実建物での適用にわたっての知見を筆者が責任者として携わった設備設計業務や産学連携の共同研究により、コミッショニング(Commissioning:性能検証、本論文では建築設備の実際の性能を確認し本来の性能を実現するプロセスを示す)やシミュレーションによる10年余りの継続的な研究成果をまとめた。今後のビル用マルチパッケージ型空調システム設計手法や機器の運用の方向性についても示した。

### 1.1.2 中央熱源と個別分散型空調システムとの比較

一般に空調システムの構築にあたっては、設備設計者が、建築主とどのような「目標」を立て、これに対して与えられた「制約」の中で、「要求(OPR(Owner's Project Requirement:設備設計に対する発注者要件書))」となる空調システムの設計条件をどのように選択するかが重要である。

「目標」：プロジェクト目標と強い関連のある事項

#### ① 環境・省エネルギー性能

空調システム効率としての BEI(Building Energy Index:国の省エネルギー基準において一次エネルギー消費量を指標として基準値との比率で算出される省エネルギー性能値)や COP(Coefficient Of Performance:成績係数と呼ばれ冷凍機やエアコンが作り出す熱、冷熱量の消費する電力量に対する割合を示す)省エネルギー性能としての一次エネルギー消費量、CO2排出量など

#### ② 信頼性・サービス性能

BCP(Business Continuity Plan:災害などの不測の事態を想定し事業継続の観点から対応策をまとめたもの)、操作性、保守性など

「要求」：目標を達成するために獲得すべき性能・基準、設計条件

#### ③ 室内環境条件、知的生産性の確保

温度制御、加湿性能、空気清浄度、気流、騒音など

#### ④ 負荷条件

外気、内部発熱密度など

「制約」：敷地・用途・規模・形状・構造・コスト・時間(スケジュール)など

#### ⑤ スペース

専有部有効率向上、室内所要スペース、室内外 機器設置上の制約など

#### ⑥ 経済性

イニシャルコスト、ランニングコスト、ライフサイクルコストなど

空調システムの構築は「制約」の中で、「要求(OPR)」を満たしながら、「目標」実現であり、「全体最適化」のプロセスと捉えることができる。

空調システムの設計において、ビル用マルチパッケージ型空調システムが中央熱源方式の空調システムと比較して大きく異なる点は、

- ・自動制御を含むあらかじめ空調としての必要な諸機能がパッケージ化されて組み込まれていること
- ・パッケージ化されたユニットを適切に組み合わせることで、様々な規模や用途の建物に適用可能なこと
- ・随時、特化した機能を搭載した新しいユニット(例えば、寒冷地型や建物用途別の機器など)を追加することで、前述した様々な与条件に対応できる汎用性を高める事などが挙げられる。

上記以外の設計上の利点・欠点を整理すると、ビル用マルチパッケージ型空調システムの利点は、

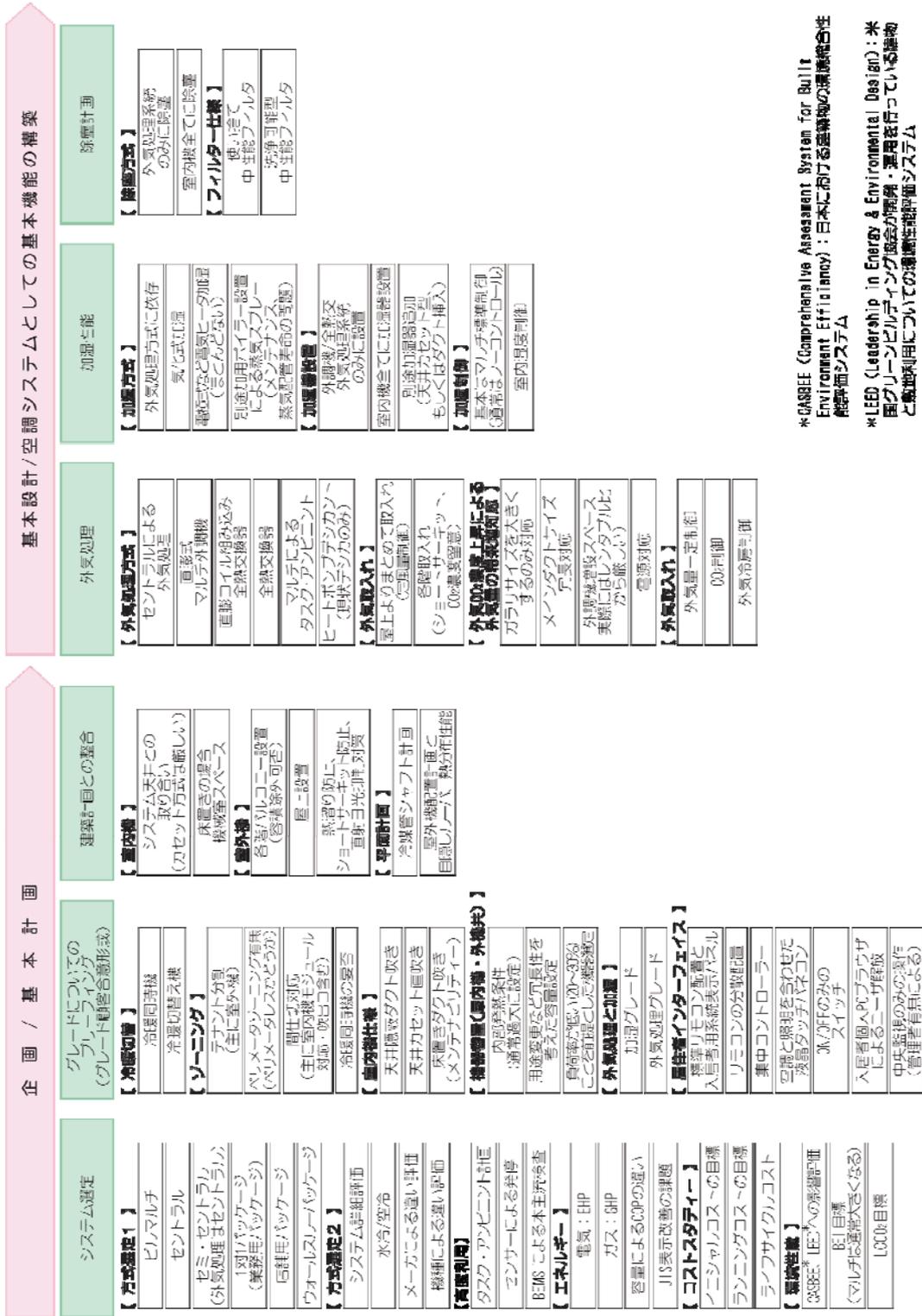
- ① 個別運転できること
- ② 冷媒潜熱による熱搬送のため搬送エネルギーが小さい
- ③ 日常運転管理が容易
- ④ 冷媒管等の設置工事が容易である
- ⑤ 設置スペースが小さい
- ⑥ 設計者は各ユニットを選定し、決められたルールに従って接続さえすれば、比較的簡単にシステムを構築することも可能
- ⑦ 直近の課題として、設計・施工の視点より、空調システムの工場品質の確保、確実に厳しくなる空調設備施工職人不足の観点より合理的な選択であることなどがあげられる。

一方欠点としては、

- ① 本体自体の換気性能や空気清浄能力が低い
  - ② 加湿不足になりやすい
  - ③ 直吹きの場合ドラフトによる不快感がある
  - ④ 直膨方式のため冷房の吹き出し温度が低くドラフトのおそれがあること
  - ⑤ 暖房の吹き出し温度が高く上下温度分布が付きやすい
  - ⑥ ゾーンごとの熱源容量算定のため装置容量が中央熱源方式よりも大きくなる
  - ⑦ 室内機・室外機間の冷媒管高低差を大きく付けた場合能力低下が顕著となる
  - ⑧ 機器配置が分散され将来の更新工事が困難となる
  - ⑨ 加湿器やドレンパンなど空気汚染源の可能性となる要素が多くかつ分散し維持管理が困難であること
- など課題が多い<sup>1)</sup>。

従来の空調設計条件は、将来の用途変更、気象条件の変化、機器の性能劣化などさまざまな冗長性を考慮して大きめの機器選定を行い、主にピーク負荷時の容量不足という視点から

リスク回避を行うという設計手法が一般となっている。一方で、建物を取り巻く自然環境や社会環境の変化、明らかになる建物の負荷実態など、空調の設計条件はより複雑で幅広いものとなり、これらの与条件にあった合理的な空調システムが求められており、パッケージ化された空調システムといえども、事前の十分な検討から始まり性能検証(コミッショニング)が必要といえる。以上のように、ビル用マルチパッケージ型空調システムの設計手順は、中央熱源方式と同様に綿密な検討が必要である。各フェーズにおけるビル用マルチパッケージ型空調システムの設計における検討フローを図-1-5-1、図-1-5-2に示す。



\* CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) : 日本における建築物の環境適合性評価システム

\* LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) : 米国グリーンビルディング協会が開発・運用を行っている建築物と敷地利用についての環境性能評価システム

図-1-5-1 ビル用マルチパッケージ型空調システム検討フロー(計画から基本設計まで)

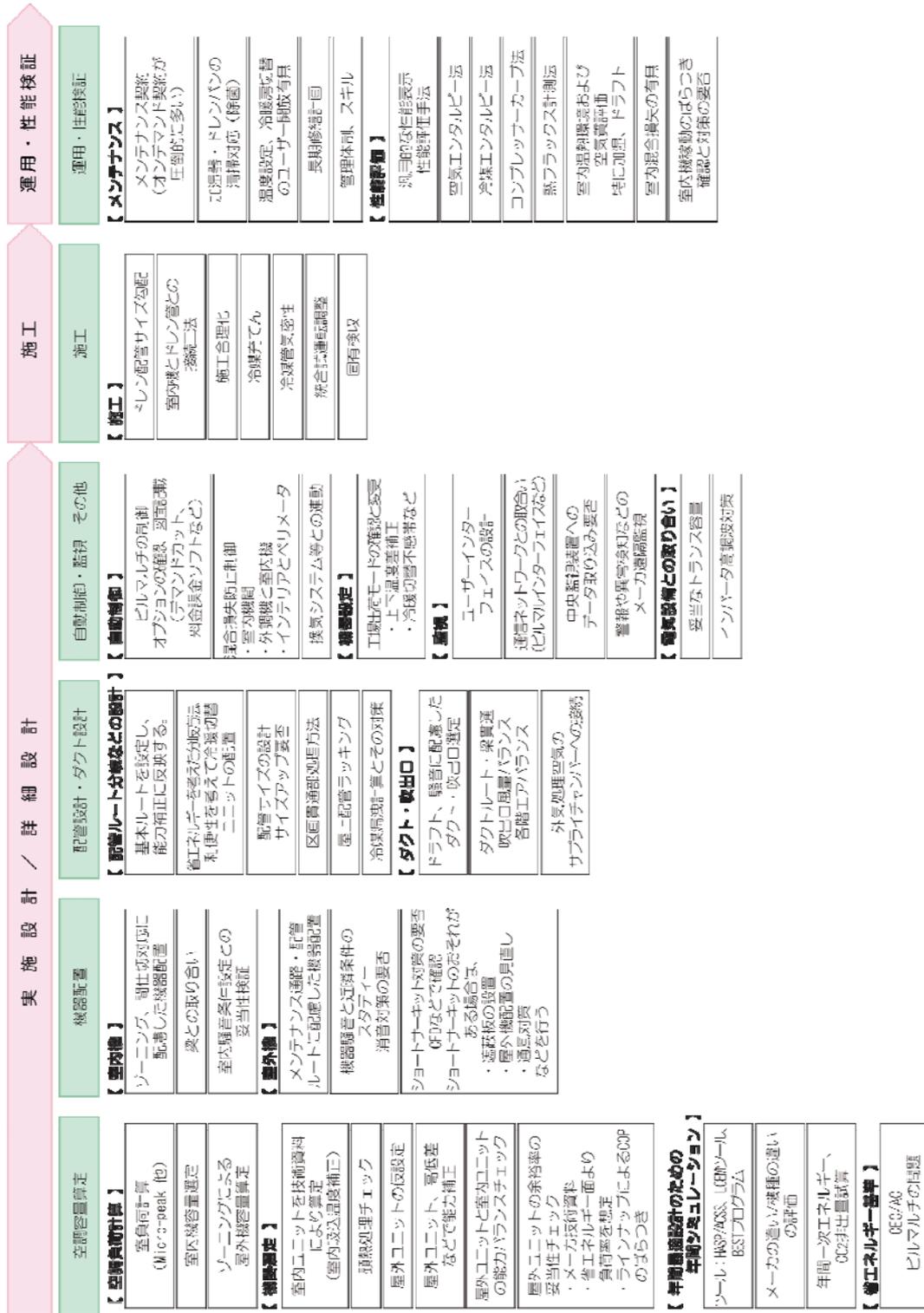


図-1-5-2 ビル用マルチパッケージ型空調システム検討フロー(実施設計から運用・性能検証まで)

### 1.1.3 ビル用マルチパッケージ型空調システムの高度利用

本研究では、ビル用マルチパッケージ型空調システムの高度利用を省エネルギー性や快適性の観点ではかるため、タスク域とアンビエント域を系統分けする事で計画している。

タスク/アンビエント空調においてタスク域はドラフト効果も活用し、個人の好みや身体的状況に応じて室内環境を調整することにより快適感も増加させることともに、不在域に対する空調を停止させる機能を有している。設計条件にかかわらず、在室者率は一般に30～50%を前後する程度であることが多く、空調と照明を含めたタスク制御を正しく作動させれば大幅な省エネルギー効果を生む。アンビエント空調の手法としては以下があげられる<sup>2)</sup>。

- ① 天井から対流方式
- ② 天井から放射方式
- ③ 床から対流方式
- ④ 床から層流方式(置換換気)

タスク空調は

- ⑤ 床から加圧チャンバー方式で指向性吹出口を利用(図-1-6)
- ⑥ 床からローカルファン付き指向性吹出しを利用
- ⑦ 机上設置のタスク吹出しユニットを利用(図-1-7)
- ⑧ 側机あるいはフリースタンディングの変動風型タスクユニット(キオスク)を利用
- ⑨ 天井からの吹出口を利用(図-1-8)

などが考えられる。

このうち本研究では変動負荷追従部分をタスク系統と定義し、汎用的な手法として天井からのタスク空調を研究対象とした。

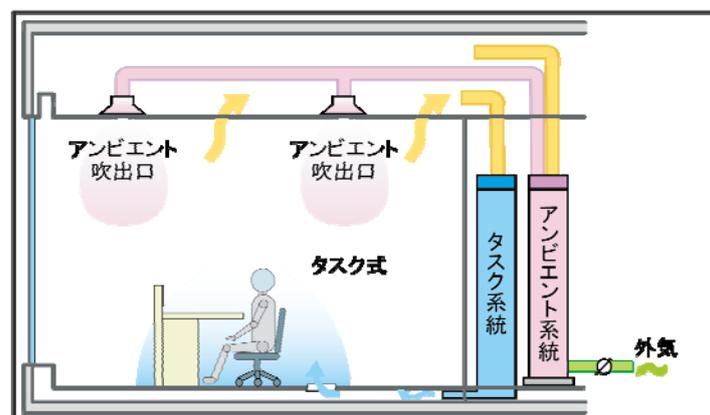


図-1-6 床吹出しによるタスク空調

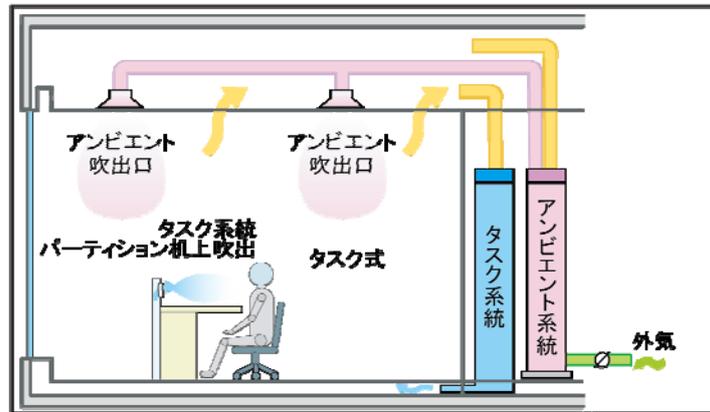


図-1-7 机上吹出しによるタスク空調

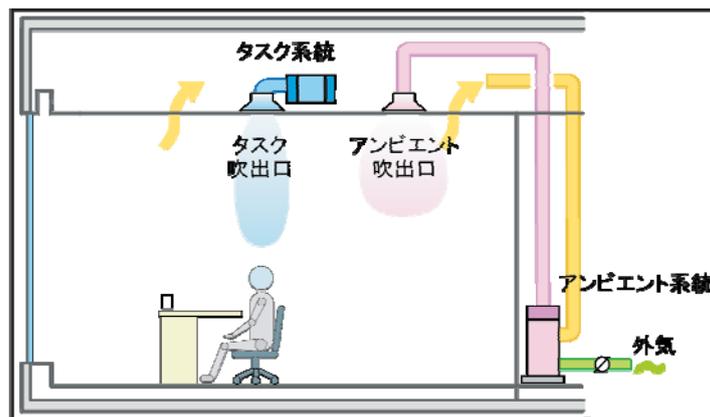


図-1-8 天井からのタスク吹出し(本研究における対象)

#### 1.1.4 各章の研究目的

ビル用マルチパッケージ型空調システムの性能検証に関する研究が進むとともに、過大な機器の選定することが年間を通じた負荷率の低下につながり、結果としてエネルギーの多消費を招いていることが徐々に明らかになってきた。ビル用マルチパッケージ型空調システムの機器容量選定や省エネ設計にあたっては、年間の大部分の時間帯で相当低い部分負荷状態にあることに注意すべきである。また、システムを構築する際には、建築物の外装の断熱・気密性能向上に伴う冬期冷房需要にも配慮し、冷房暖房の同時発生などの挙動にも目を向けるべきである。加えて、今後、社会的に求められる省エネルギー性能も定格時の機器やシステム COP の評価のみでは不十分であり、中間期も含めた評価や潜熱顕熱分離空調の考え方など、より運転効率を高める工夫にも期待が集まるところであり、ビル用マルチパッケージ型空調システムの設計において、様々な選択肢のもと、綿密な計画が必要になってきている。

そこで本研究では、先ず空調システムとして、最少の消費エネルギーで快適な居住環境を確保するという課題に対して、ビル用マルチパッケージ型空調システムの効率評価をBEMS (Building Energy Management System: ビルエネルギー管理システム、建物のエネルギー等の運用情報を収集するシステム) データを用いて年間の性能評価に関する知見を得ることを目的に研究した。実建物におけるビル用マルチパッケージ型空調システムの COP など性能評価により設備設計へのフィードバック可能な知見を第2章にまとめた。研究対象建物では、ビル用マルチパッケージ型空調システム的能力推定値を継続的に出力する仕組みを構築し、BEMS に継続的に収集、高度化設計の予測に対して性能検証を実施した。

次に、性能検証により知見を得た、ビル用マルチパッケージ型空調システムの運用特性を対象に、シミュレーションツールを利用することで、負荷計算条件や機器選定の余裕率などを変化させ、その省エネルギー性能や居住環境への影響を評価し、第3章にまとめた。余裕率のケーススタディの各パラメータの設定についてはこれまでの性能検証の実績を反映させることで汎用的な知見とすることを目指した。本章の研究は名古屋大学との産学連携により進められ、筆者は企業側の責任者として推進した。ケーススタディの条件設定にあたっては実務上有用なケースに留めることにより実用性の高い研究成果とするため、事業者の要求条件に合わせて各種シミュレーションの適切な組み合わせにより、室温の上昇や装置容量の余裕について計算した。

さらに、ビル用マルチパッケージ型空調システムを適用した建物における、知的生産性やZEB (Zero Energy Building: ゼロエネルギービル。敷地内で年間の消費エネルギーを限りなくゼロにすることを指向する建築) などをコンセプトにしたシステム構成における性能検証の事例を第4章に示しており、多面的な本研究の展開を示唆することを示している。本章の2件のプロジェクトでは、2章の性能検証の知見のもとに、3章のシミュレーションで得られた妥当な設計条件とすることで計画し、性能検証をおこない、省エネ運用を確認した。

これらの研究成果は、エネルギーの側面のみならず、室温への影響などについて総合的に評価を行った。本研究の全体構成を図-1-9に示す。今後の空調計画条件あるべき姿を示し、汎用性のある知見を得ることを目的としている。性能検証によるビル用マルチパッケージ型空調システムの実態の把握、またそれに基づいた余裕とリスクの関係の分析、また知的生産性やZEB 指向といった現在の課題のもと実際の設計へのビル用マルチパッケージ型空調システム適用と性能検証を実施した。

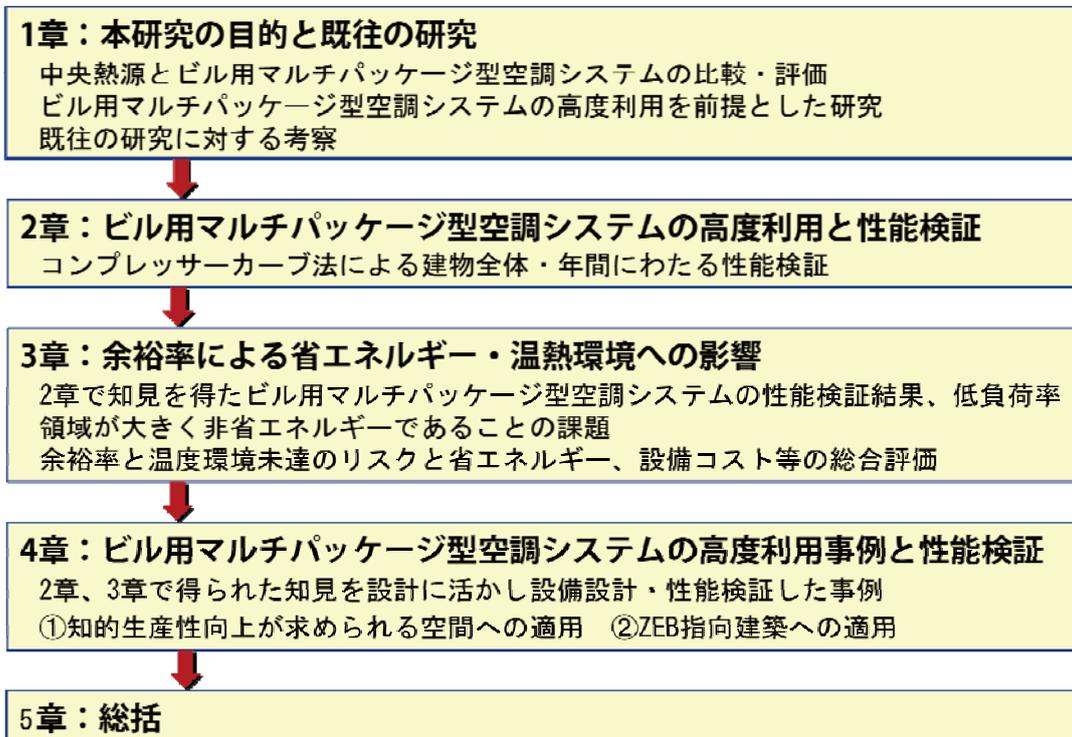


図-1-9 本研究の構成

## 1.2 既往の研究

### 1.2.1 第2章の既往の研究

ビル用マルチパッケージ型空調システムの既往の研究<sup>3)</sup>では装置容量に対する運用時の負荷率が極めて低いこと、外気処理方式の適正化などの課題が示されている。この課題に対し2章の性能検証の研究では、外気処理性能の向上と負荷率を高くする計画を実際のオフィスビルで行い、建物全体の性能検証によりシステム COP を算出し、その運転性能評価を通じて、効率的な運用方法を考察している。

セントラル空調方式は、二次側の熱量計(往還水温の温度差と流量)で比較的容易に年間の空調能力が推定できるのに対し、一般的にビル用マルチパッケージ型空調システムは能力推定が難しい。既往の能力推定手法として、環境試験室における空気エンタルピー法(AE法)による能力算出<sup>4)</sup>、AE法を応用した熱フラックス計測法<sup>5)</sup>、およびコンプレッサーカーブ法(Compressor Curve 法：通称 CC 法)が提案されている。

空調機の圧縮機は、それぞれ固有の冷媒循環量特性・消費電力特性を持ち、これらを圧縮機性能特性(コンプレッサーカーブ)と呼ぶ。コンプレッサーカーブを利用して、空調機の運転時における圧縮機出入口の冷媒圧力・温度から、単位時間当りの冷媒循環量を計算することができる。また、室内機出入口の冷媒圧力・温度からエンタルピー差を求めることにより、空調能力を計算することが可能である。このコンプレッサーカーブを利用した空調能力算出方法が、コンプレッサーカーブ法による性能評価である<sup>6)</sup>。実建物の性能評価では、CC法が多く用いられている。

山田・野部らの研究<sup>7)</sup>では、多くの建築物を対象とした計測実例により、実負荷に比べて過大な機器が低負荷で非効率運用されている実態が報告されている。低負荷で非効率運用されている実態が報告されている。空気エンタルピー法により、実運転の建物を評価するため室外機による空気エンタルピー法であるプローブ挿入法を採用し、多くの建物で概ね200W/m<sup>2</sup>の室外機が選定されていることが示されている。中央熱源方式の熱源容量が120 W/m<sup>2</sup>前後であることを考慮すると過大であることが示されている。本研究では、CC法により、継続的に建物全体の性能評価を行うことで、より詳細な省エネルギーに関わる知見や、その他ビル用マルチパッケージ型空調システムの運用実態を提示している。

### 1.2.2 第3章の既往の研究

3章の余裕率と省エネルギーの研究については、空気調和・衛生工学会の各小委員会において継続的に研究されており、「空調シミュレーションにおける内部発熱、窓の熱性能に関する研究」<sup>8)</sup>、「建物の内部発熱・使われ方に関する実態調査と熱負荷・システムシミュレーション」<sup>9)</sup>において、研究されている。これらは中央熱源式空調システムが主対象となっており、また、感度分析が中心となっている。

本研究ではビル用マルチパッケージ型空調システムにおける実務や実態により近い設計条

件での研究を実施している。さらに背景としてビル用マルチパッケージ型空調システムの熱源が個別分散されたシステムであるためさらに過大設計される傾向となっている。一方、LED照明の採用、PCや複合機の小型・省エネルギー化といった技術革新が進み、これまで以上の省エネルギーが図られているという設計条件と運用実態のギャップが大きくなっている<sup>10)</sup>。このため、建築主との合意形成のための設計と条件として採用されてきた照明、機器の室内発熱密度がより小さくなる期待がある。室内発熱密度の減少により、従来の過大な設計手法通りに機種選定を行えば低負荷領域での運転が増長され逆にエネルギー多消費となってしまうことが懸念される。本論文の研究では、感度分析ではなく、実際に設計条件として多く設定される4つの条件に絞り、より詳細なシミュレーションにより傾向を分析した。

また、中央熱源は竣工後、試運転調整や制御パラメータチューニングなどで余裕率に起因し得る問題に対応できる余地はあるが、ビル用マルチパッケージ型空調システムは竣工後のシステムチューニングの対応策に限られる。負荷計算条件や機器選定の余裕率などを変化させ、その省エネルギー性能だけでなく、室内温度を中心とする居住環境への影響について同時にかつ総合的に評価を行った。ケーススタディを通じて今後の空調計画条件のあるべき方向性を示した。

### 1.2.3 第4章の既往の研究

4章では、2章の性能検証や3章の余裕率の総合的なシミュレーション結果を受けて、2件のビル用マルチパッケージ型空調システムの高度利用事例を示した。初めのCビルでは、知的生産性を高める建物への適用の性能検証事例を示した。一般財団法人建築環境・省エネルギー機構(IBEK)の知的生産性研究委員会などにおいて知的生産性の向上に関する研究が行われ、技術立国としての我が国のオフィスのあり方への意識が高まっている<sup>11)12)</sup>。知的生産性研究委員会に設置された環境・設備部会において、オフィスのワークプレイスのさまざまな「場」(集中、コミュニケーション、リフレッシュ等)と温熱環境、光環境ならびに音環境等との関係性を調査し概念としてまとめられている<sup>13)</sup>。2011年に竣工したCビル<sup>14)</sup>は研究オフィスであり、多様な場に対して、求められる室内環境の性能について議論を行い、上述の委員会成果を参考としながら温熱環境、音環境、光環境を設定し、建築・設備計画に反映した物件である。本建物の計画にあたってアクティビティに対して必要とされる空間に、ビル用マルチパッケージ型空調システムで適用した事例となる。検証においては知的生産性と省エネルギーとの関係性などを明示するものではないが、本建物で用いられた建築的/設備的手法は、汎用的な技術で作り込まれおり、今後ますます重要となっている省エネルギー性と知的生産性の両立と、その向上に資するケーススタディとして、新たに計画される知的生産性を目指した建物へ展開できると考えている。

D ビルにおける実証研究では、比較的短期間かつ経済合理性の高い次世代技術を開発適用し、既存建物を対象に将来のZEB実現はかることをめざした。国が策定した「低炭素社会に

向けた住まいと住まい方の推進に関する工程表」<sup>15)</sup>の中で、中長期的な取組みとして ZEB ビジョンが挙げられている。また、2014年4月に策定された「エネルギー基本計画」の中でも ZEB の実現が記載されている。竣工から27年を超える D ビルを対象に様々な ZEB を指向した省エネルギー技術を導入し、運用段階における効果の定量化をはかり、適用技術の汎用化を目指している<sup>16)</sup>。エネルギー消費量のうち過半を占める空調設備を中心に提案内容を考え、次世代センサを適用した高効率なビル用マルチパッケージ型空調システムを構築した。また、太陽光発電(PV)とリチウムイオン蓄電池を活用した充放電制御を実施し、供給側/負荷側の変動に応じた空調における商用電力利用の最小化を図った。

これらの成果により、ビル用マルチパッケージ型空調システムにおいても適切な手法により性能評価ができることを示した。空調システムとして設計段階における工夫、余裕とリスクに関して、十分な検討が重要であり、それにより高い省エネルギー、環境性能を発揮できることを示した。

## 2. ビル用マルチパッケージ型空調システムの性能検証

## 2. ビル用マルチパッケージ型空調システムの性能検証

### 2.1 研究の概要

ビル用マルチパッケージ型空調システムは、市場への出現から30年以上時を経て、高機能化などにより、小規模から大規模建築にわたって大きな比率を占めるようになった。本研究では、負荷率を高める工夫と外気処理を分離したビル用マルチパッケージ型空調システムを採用した建物を対象に、コンプレッサーカーブ法により年間にわたるシステム COP の評価を行った成果をまとめた。

### 2.2 性能評価対象建物の性能検証計画

#### 2.2.1 対象建物の概要

Aビル<sup>8)</sup>(以下「対象建物」とする)は、ビル用マルチパッケージ型空調システムを採用しており、設計段階より性能検証を行うための計測を計画していた。平成19年に東京都内に竣工した、1200人収容の事務所が主体の建物であり、写真-2-1に建物外観、図-2-1に断面図、図-2-2に平面図を示す。また建築設備概要を表-2-1、表-2-2に示す。性能検証の対象は事務所部分全体とする。



写真-2-1 Aビル外観

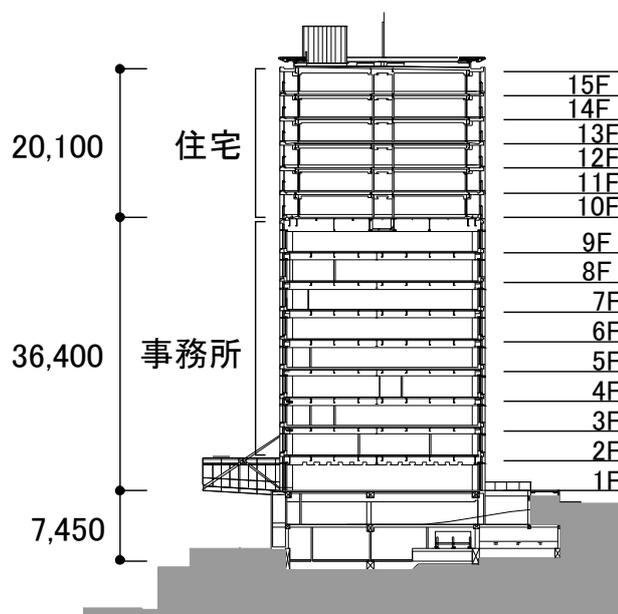


図-2-1 Aビル断面図

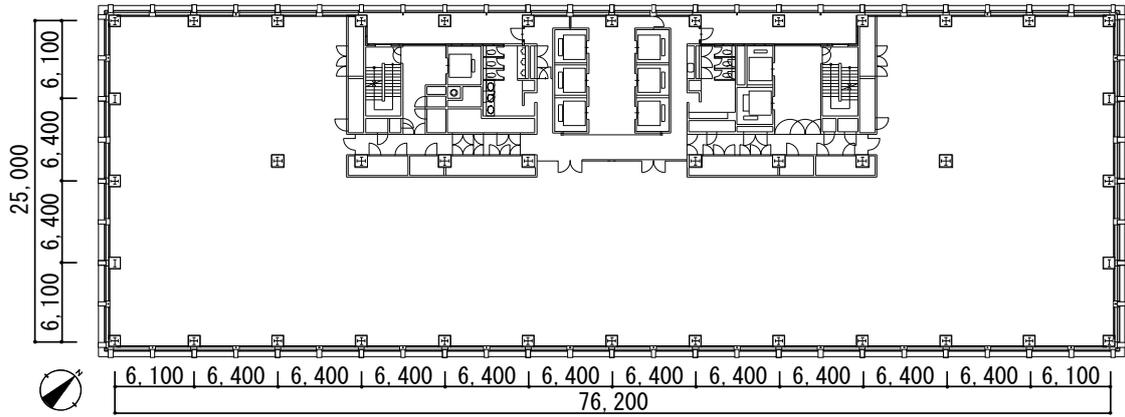


図-2-2 Aビル平面図

表-2-1 建築概要

■ 建築	
主用途	事務所、共同住宅
所在地	東京都港区
敷地面積	14,587.32㎡
延床面積	33,350.75㎡(事務所/共用/駐車場:22,694.88㎡)
階数	地下2階/地上15階/塔屋1階 (事務所:1~9階、賃貸住宅:10~15階)
最高高さ	65.665m
構造	SRC・S造、一部RC造
工期	2005年7月~2007年7月

表-2-2 設備概要

■ 空調設備	
空調システム	ビル用マルチパッケージ型空調システム (冷暖房同時型)
排煙設備	床置型外気処理機(アンビエント系統) 天井隠蔽型室内機(タスク系統)
自動制御	居室・廊下等:階避難安全検証法による 排煙設備の緩和(ルートB) 非常用EVロビー附室:押出し排煙 BA・OAネットワークシステム(BA、OA統合 ネットワーク) 中央監視装置+BEMS緊急地震速報を活用 したリアルタイム防災システム(RDMS)
■ 衛生設備	
給水設備 給湯設備	受水槽+圧力給水方式(上水、中水2系統) オフィス共用部:貯湯式電気温水器 厨房:業務用ヒートポンプ式給湯機
排水設備 消火設備	汚水・雑排水合流方式、雨水貯留再利用 全館スプリンクラー設備、屋内消火栓、泡消 火、連結送水管、窒素ガス消火(電気室、自 家発室、機械駐車)
厨房設備	全電気式厨房機器
■ 電気設備	
受変電設備	6.6kV本線・予備線2回線受電 トランス容 量:4100kVA 契約電力:1370kW
自家発電設備	非常用ディーゼル発電機 6.6kV 625kVA×1台
幹線動力 照明設備	400V配電 机上面照度750lx 昼光/人感制御(一部 隣接制御)
OAコンセント	60VA/m <sup>2</sup>
■ 昇降設備	
オフィス用エレベータ	17人×105m/min×6台
非常用エレベータ	17人×105m/min×2台
屋外エレベータ	13人×45m/min×1台
機械式駐車場	二段式機械駐車×12台

## 2.2.2 ビル用マルチパッケージ型空調システムを用いたタスク/アンビエント空調

対象建物では、省エネルギー性を追求し、効率的な空調負荷処理と良好な室内環境制御を目的として、外気処理を主体とする基本空調(アンビエント空調)と、その他内部発熱負荷等を処理する系統(タスク空調)に分離した計画とした(図-2-3、図-2-4)。なお、後述するタスク系統、アンビエント系統の空調方式はいずれもビル用マルチパッケージ型空調システムを採用している。タスク系統とアンビエント系統の室外機は別系統に分離している。

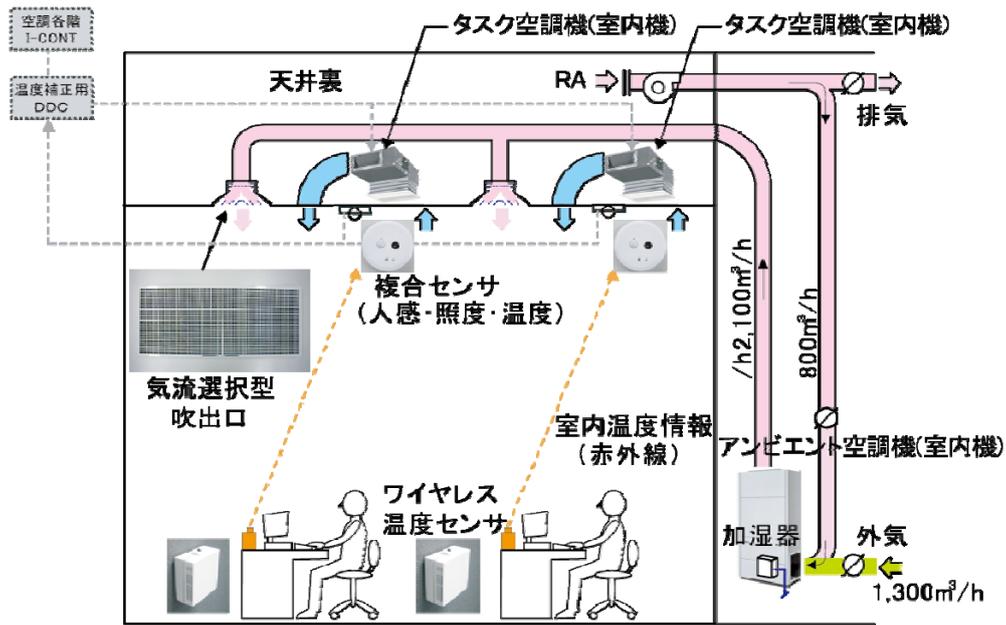


図-2-3 対象建物空調システムの概要

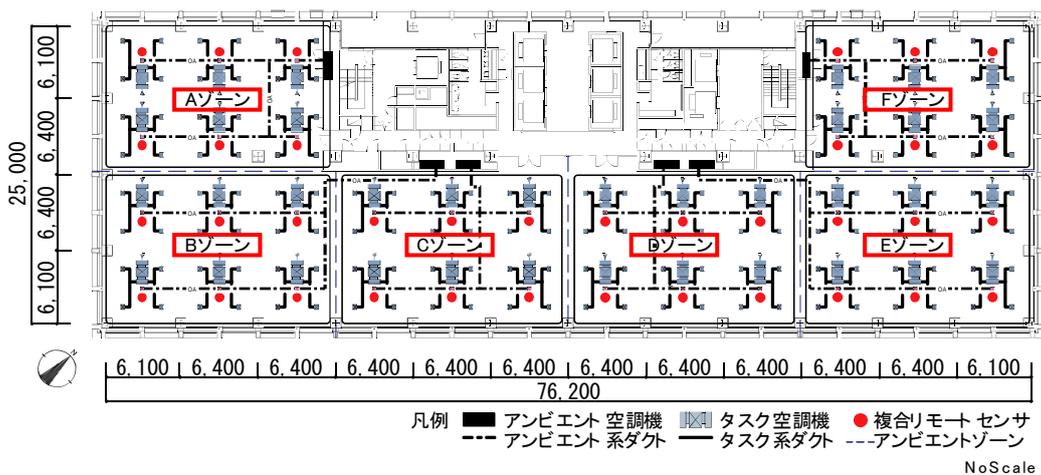


図-2-4 オフィス基準階空調計画図

(1) タスク/アンビエント方式の計画上のねらい

従来のビル用マルチパッケージ型空調システム的设计手法では、夏季および冬季のピーク時における室内顕熱負荷+室内潜熱負荷を算出し、さらに外気負荷を加算したものを「装置用空調負荷」として扱い、実際の空調装置能力はそれを上回るよう選定していた。しかし、年間を通して外気負荷と室内負荷はその発生特性が全く異なるばかりでなく、室内負荷を構成する内部発熱についても、照明、人体、OA 機器発熱の発生特性は実際の利用状況に応じて偏在している。この実態を把握しながらも、前出のような各負荷の累計から機器選定を画一的に行う手順が一般化されつつあり、ビル用マルチパッケージ型空調システムの採用下においては、より顕著な傾向となっている。

本建物では、1章1.1.3に述べた天井からのタスク/アンビエント空調方式を採用しており、ビル用マルチパッケージ型空調システムの機器選定に際し、前提となる装置用空調負荷を外気負荷と照明負荷、そして人体発熱と OA 機器発熱、日射負荷、貫流負荷とに分類し、異なった系統にて処理しようとする試みを行っている。本建物におけるタスク/アンビエント空調方式の負荷分離の概念を図-2-5に示す。外気負荷と照明負荷をアンビエント系統負荷それ以外をタスク系統負荷とした。

その要旨として、換気計画に基づき一定量の外気量を必要とする居室において、標準気象データより発生予測のつきやすい外気負荷と、室の稼働時間中にはスケジュール発停にて一定の負荷発生が見込まれる照明発熱負荷を基本空調装置用負荷という概念で括り、一定スケジュールで稼働する空調機の選定条件として計画した。以下ではこれを「アンビエント系統」と称する。また、残りの人体発熱や OA 機器発熱さらには外壁からの侵入負荷については、ピークを想定して負荷を累計して空調装置を選定するものの、負荷の変動要因が大きい為、必要に応じて追従稼働する位置付けとした。以下ではこれを「タスク系統」と称する。すなわち、図-2-5に示すように、発生負荷の頻度予測がつきやすいアンビエント系統と、変動要因に追従して処理するタスク系統とに装置系統を分けることで、それぞれの空調負荷の発生特性に合わせた省エネルギー対策(具体的には制御や運転管理)を取りやすくなり、過大な傾向となるビル用マルチパッケージ型空調システムの装置容量にあって、運用面での省エネルギーへの展開が可能になると考えた。図-2-6に夏季ピーク日における図-2-4のオフィス基準階占有スペース全体の単位面積当りの「タスク系統空調負荷」、「アンビエント系統負荷」計算結果を示す。A ビルのオフィス内観写真を写真-2-2に、空調システムの概念図を図-2-7に示す。

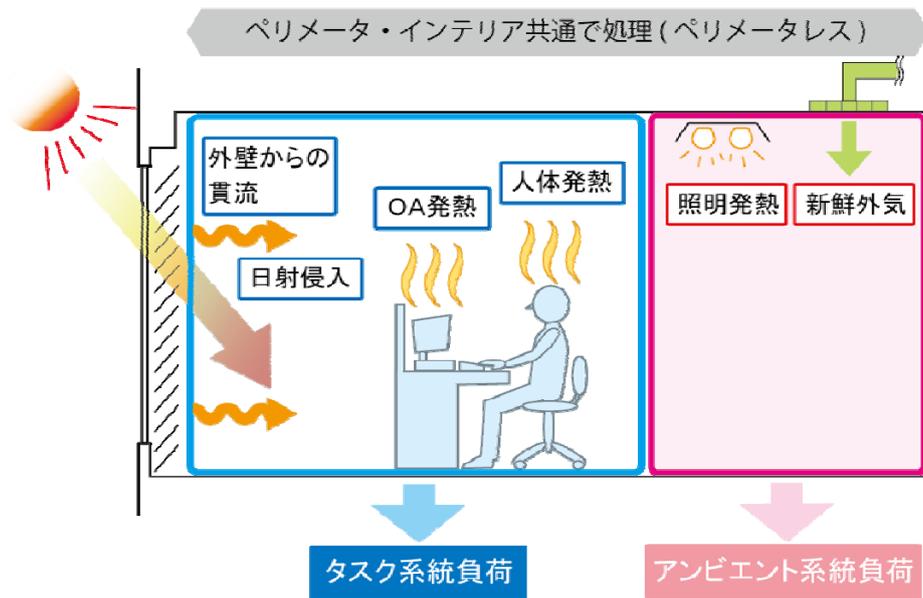


図-2-5 タスク/アンビエント系統の負荷分離概念

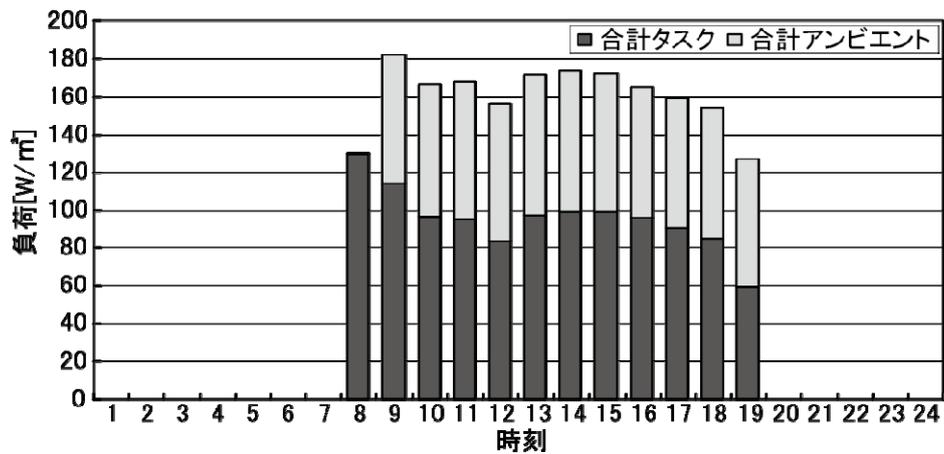


図-2-6 タスク/アンビエント系統 ピーク日負荷計算結果  
(オフィス基準階の単位面積当り)



写真-2-2 事務室内観



図-2-7 タスク/アンビエント空調システム概念図

## (2) タスク/アンビエント方式の計画手法

### ① アンビエント系統の空調機器の設計手順

空調負荷の構成の中で、室稼働時間中における負荷予測が比較的定性的な外気負荷と照明負荷を対象とするアンビエント系統の空調機器の容量を設定する手順について説明する。基準階においてアンビエント系統は1台あたり6,400×6,400モジュールを6コマ分の面積(=約250m<sup>2</sup>)を受け持っており、定格外気量は設計条件の人員密度0.2人/m<sup>2</sup>、外気量25m<sup>3</sup>/h・人から1,300m<sup>3</sup>/hとしている。加えて、**図-2-9**に示すように照明発熱負荷の設計条件である20W/m<sup>2</sup>を吹出し温度差=10℃にて顕熱処理を行うと仮定すると、必要冷却能力20kW以上、空調送風量は約2,100m<sup>3</sup>/h必要となり、外気混合率が62%のビル用マルチパッケージ型空調システムを模索する必要があった。しかし、一般汎用のビル用マルチパッケージ型空調システムでは室内機の吸込み温度限界が規定されており、外気混合率は20%前後より高い設定で使用することを想定していないこともあり、全外気型の外気処理型ビル用マルチパッケージ型空調システムを転用することにした。また、外気量を1,300m<sup>3</sup>/h導入した際の冬季における必要加湿量(目標室内条件:DB22℃、RH40%)は7.2kg/hであり、それを満足する機器を選定しなければいけないことも要因の一つであった。

これらより汎用性も考慮した上で、上記の条件に合致する機器として、28kW(10馬力)タイプの床置き型全外気型ビル用マルチパッケージ型空調システム(送風量2,100m<sup>3</sup>/h、冷房定格能力28.0kW、外気取入れ量1,300m<sup>3</sup>/h、還気量800m<sup>3</sup>/h、加湿能力8.0kg/h)を転用し、制御上の改良を加えることとした。一般的にビル用マルチパッケージ型空調システムは加湿性能が劣ると言われている。室内機に組込み可能な加湿器はメーカーにて決められているため、個別に能力設計できないことや、年間を通して暖房送風時間が少ない分、加湿が充分に行えないことが要因となっている。本建物では、外気処理を兼用するアンビエント系統に加湿器を組み込み、冬季には一定温度以上の吹出し温度制御とし、加湿効率を確保した。またこれを可能としているのは、アンビエント系統の空調機は本来外気処理ビル用マルチパッケージ型空調システムとしてメーカーが製品化しているものを転用することにより、2,100m<sup>3</sup>/hの給気送風(=本来は全外気)のうち、800m<sup>3</sup>/hは室内空気を戻す計画として、定格の加湿器の能力の余裕を高めている。

### ⑧ タスク系統の空調機器の設計手順

タスク系統は**図-2-8**のように6,400×6,400モジュール毎に1台、そのゾーンの天井内部に設置され、最小単位として3,200×3,200モジュール毎に吹出口を設けている。室内機6台で1つのゾーンを形成し、1つのゾーンに対し1台の室外機系統に接続しており、1フロアにおけるタスク系統の室外機ゾーン構成はアンビエント系統のゾーニングと合致させている。タスク系統は**図-2-9**に示すように受け持ち空調ゾーンの内部発熱のうち人体負荷20W/m<sup>2</sup>、OA機器発熱30W/m<sup>2</sup>ならびに床、壁、天井からの貫流負荷を累積し、蓄熱負荷も参入したうえで室内機能力を選定している。さらにペリメータを有するスパンについては日射侵入負荷、外壁からの貫流負荷を加算する。**図-2-9**に示すように室外機については全室内機の装置能力を合算した後に、外気

温度補正(定格能力値が外気温度 DB35°Cにおける表示に対する補正)と冷媒配管長による補正(室内機から室外機までの配管長によって能力ロス分を補正)を行い、室外機装置容量としている。照明、コンセントの発熱条件と図-2-9に示す装置能力の内訳の数値が異なるのは、空調熱負荷計算プログラムによる蓄熱・放熱などの影響によるものである。これによりタスク空調機の室外機は40kW(16馬力)タイプとなった。また、年間の冷暖房負荷の偏在に配慮し、室内機毎に冷暖房同時選択が可能なシステムを選定した。

ゾーニングの細分化やアンビエント系統の設定上の理由のため設備容量は全体で268W/m<sup>2</sup>(アンビエント109 W/m<sup>2</sup>、タスク159 W/m<sup>2</sup>)と大きくなっているが、汎用機の利用と外気処理性能の向上を前提とした本計画では避けられない選定であった。

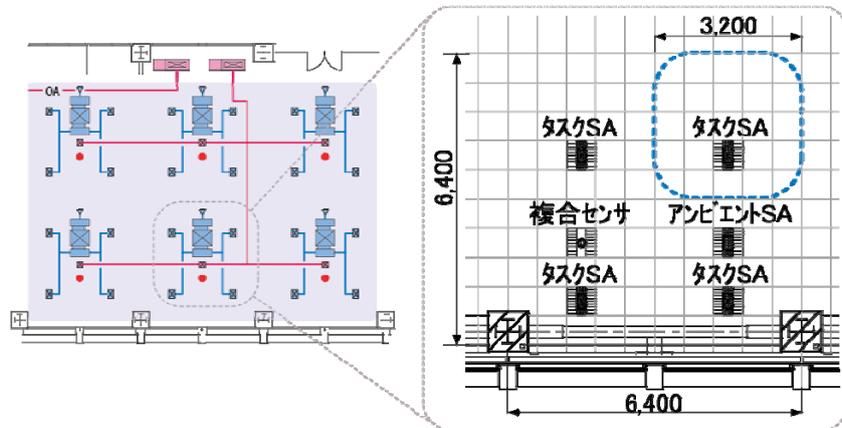


図-2-8 タスク系統のモジュールレイアウト

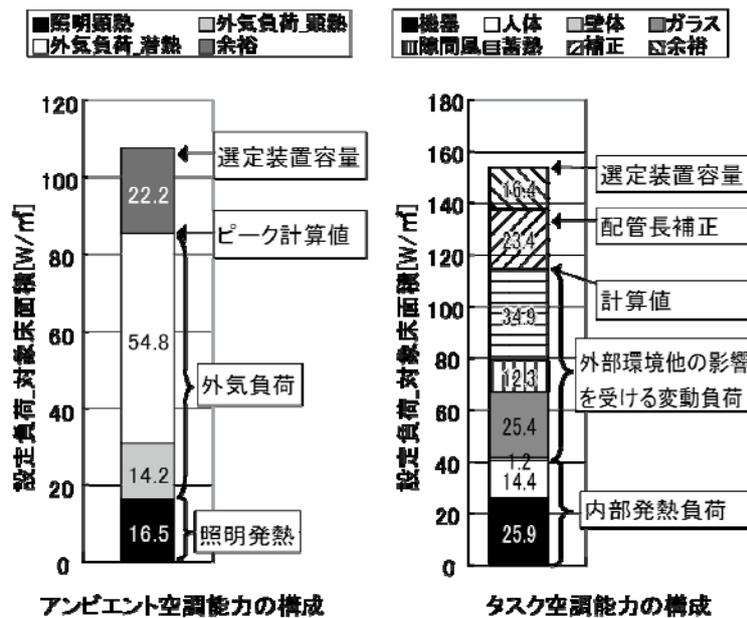


図-2-9 タスク/アンビエント系統の装置能力計算結果の内訳

### 2.2.3 タスク/アンビエント方式の省エネルギー性試算

空調として温度のみではなく、本来求められている湿度制御、空気質の制御なども行う場合には、外気分離処理による空調システムが最も優れていると考えられる。しかし室内負荷と外気負荷を完全に分けて処理する方式(外気完全分離処理方式と呼ぶ)にすると中間期から冬期にかけての混合利得が得られない(外気冷房を利用することができない)ほか、送風系統の増加により搬送動力も増えることからエネルギー多消費となる。

そこで、本章で提案しているタスク/アンビエント方式のように、室内負荷の一部(ここよりでは照明負荷)を外気負荷処理系統に含める方式を採用することで、高品質な室内環境の提供と同時に、中間期から冬期にかけて上記の混合利得を活用することができる。さらに、空気搬送動力に関してはマルチ型パッケージエアコンの特徴を最大限活用し、タスク系統は室内機を分散配置し、さらに人感センサにより室内機の発停制御することにより、大幅にエネルギー消費量を大幅に削減することが可能である。

図-2-10 と 図-2-11 は 図-2-4 の対象オフィス1フロアに対して、上記の外気完全分離処理(図中、外気分離：室負荷と外気処理を完全に分ける方式で、外気処理空調機はオールフレッシュとする)、タスク/アンビエント方式(図中、タスク/アンビエント、照明負荷分外気処理空調機は一部還気を戻す)、そして外気を生外気として室内に導入し室内負荷と外気負荷を一緒に処理する方式(図中、生外気導入)の3方式について、エネルギー消費量、処理負荷・未処理負荷を計算したものである。計算はまず Micro-HASP に準拠した年間負荷計算プログラムにより負荷計算を行い、これを BECS に準拠したシミュレーションに入力して、エネルギー消費量と処理負荷を計算するという手順で行った。

図-2-10 の計算結果に示すように、タスク/アンビエント方式は中間期から冬期にかけての外気による冷房負荷を削減する混合利得が得られることが確認された。外調機は 19℃吹き出しで計算し、タスクアンビエント空調は、照明分だけを負担との考えより吹き出し温度を上げて算出した。(23℃吹き出し) その結果、外調機空調システムは過冷却、過加熱となり、夏期、冬期の処理熱量が多くなっており、タスクアンビエント空調は外調機システムよりも特に潜熱処理熱量が少ない結果となっている。

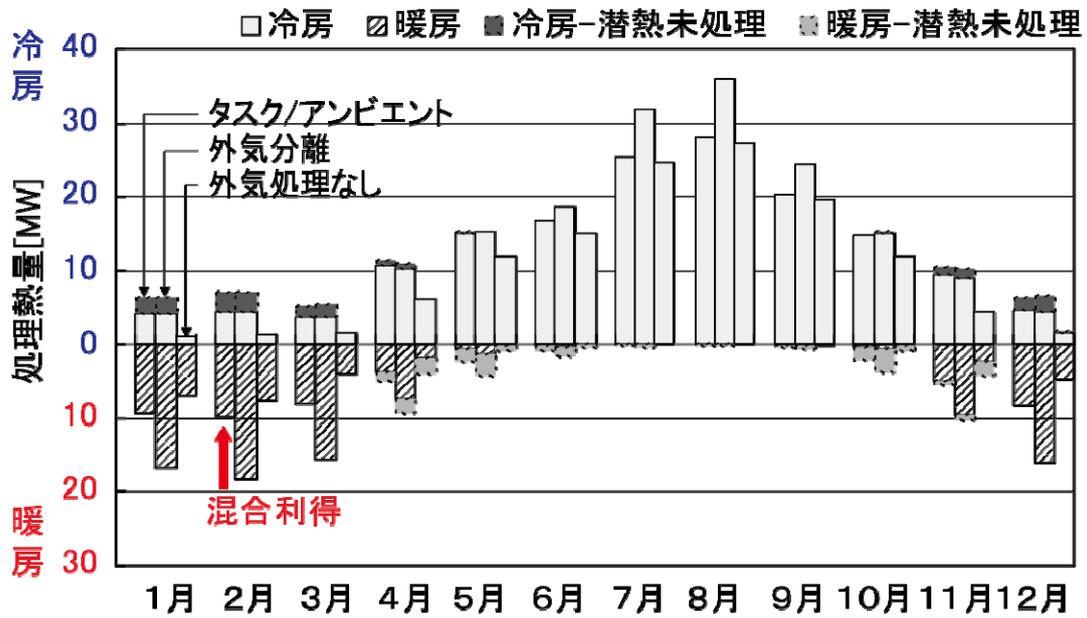


図-2-10 方式別の月別処理熱量予測

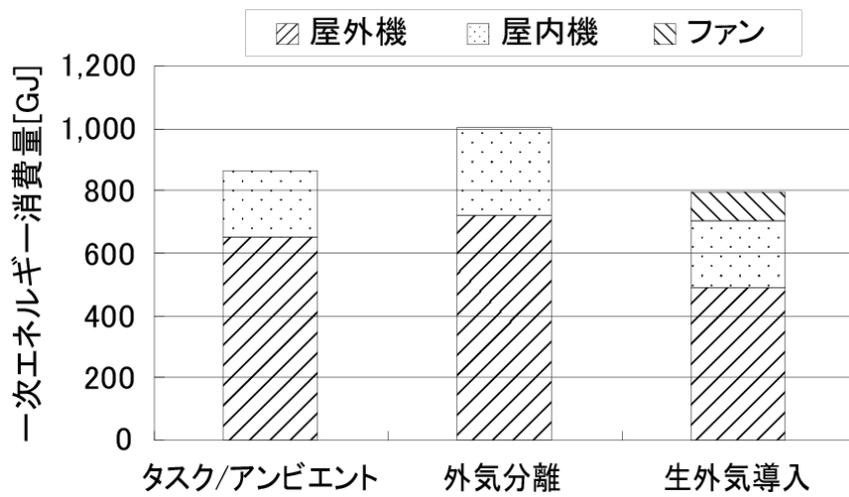


図-2-11 年間一次エネルギー消費量の予測結果(オフィス1フロア当り)

## 2.3 空調システム効率の性能検証計画

### 2.3.1 冷暖房能力の推定手法の選択

本研究ではAビルの空調システムに対する実運用段階の空調室外機の能力算定方式として、CC法(Compressor Curve Method:冷凍サイクルの特性により能力を推定する方法)を採用している。この理由は、対象建物の2～9階、各階のオフィスフロアでは、1フロア当たりアンビエント系統6台、タスク系統36台の室内機とアンビエント系統6台、タスク系統6台の室外機を設置しており、AE法(Air Enthalpy Method:室内機と室外機の主要部位の温度を計測することで能力を推定する方法)で1台ずつ測定し、年間能力を算出するのは困難なためである。また、AE法とCC法の誤差は10%以下であることが文献<sup>10)</sup>により示されている。

### 2.3.2 コンプレッサカーブ法による能力の推定

表-2-3および図-2-12に示すように、メーカーの空調制御コントローラとBEMSデータとを統合し、CC法で使用する室外機の圧縮機データや電力量データならびに室内機の運転データなどをBEMSデータとして自動的に収集している。図-2-12の「CC法演算装置」により10分ごとに自動的に建物全体の室外機の能力推定値を計算するとともにBEMSデータに収集している。このBEMSデータを使用して、ビル用マルチパッケージ型空調システムとしての成績係数(COP)を求めると同時に、タスク系統とアンビエント系統の負荷分担状況の実態を把握した。CC法は、冷房能力・暖房能力が図-2-13の関係で示されるとし、圧縮機の運転データ( $t_e$ 、 $t_c$ 、SH、SC)から空調能力を推定する方法であり、以下「CC法推定能力値」と表現する。

本対象建物のビル用マルチパッケージ型空調システムのタスク系統は冷暖房同時運転可能な機種であるが、運用上、会議室などのリモコンで操作が可能な個室を除き冬季以外は冷暖切替としており、年間冷房の運転がされている。また、アンビエント系統は冷暖房切替型を採用しており、外気処理が主であるため季節切替の運用をしている。従って、本研究におけるCOPは、対象の室外機が冷暖房同時運転可能としているため各系統に冷房、暖房の区分をせず評価した。なお、分析・評価期間は「2007年9月1日～2008年8月31日」の一年間としている。

表-2-3 室外機からの抽出データ

データ項目	単位	データ収集頻度
インバータ圧縮機周波数	Hz	10分毎
低速圧縮機のOn/Off状態	-	
高圧異常	-	
低圧異常	-	
室外機運転モード	-	
吸入管温度	°C	
吐出管温度	°C	
高圧圧力	MPa	
低圧圧力	MPa	
外気温度	°C	
能力推定値	kWh	1時間毎
室外機消費電力量	kWh	
室内機消費電力量	kWh	1分毎
除霜運転状態(5階・8階)	-	

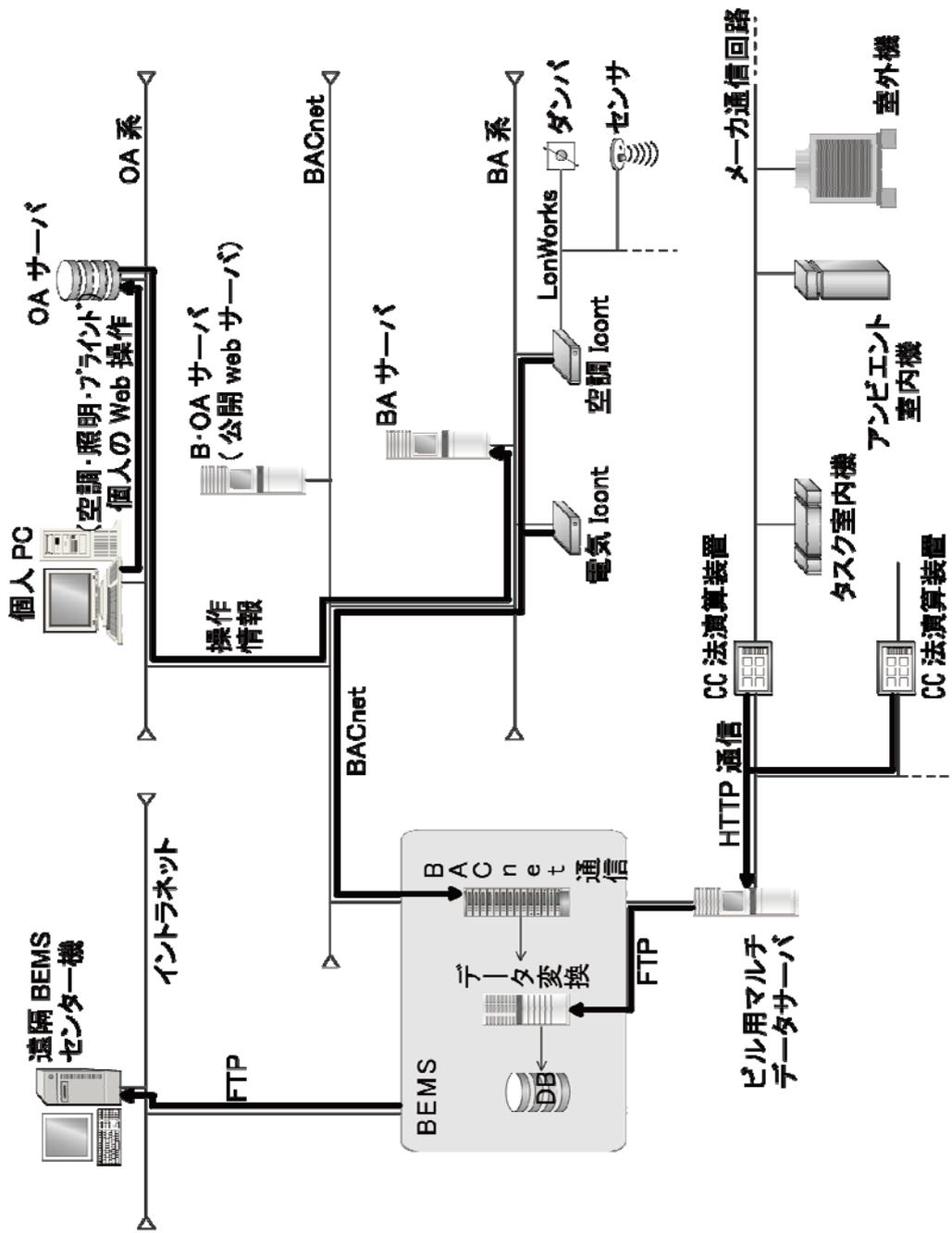


図-2-12 BEMS による計測システムの構成

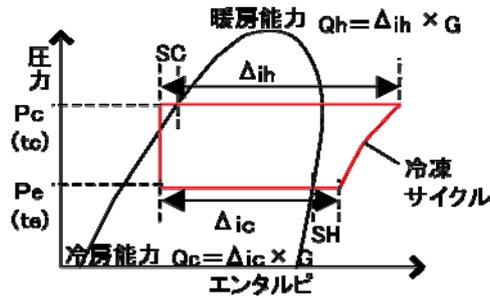


図-2-13 冷暖房エンタルピー差(モリエル線図)

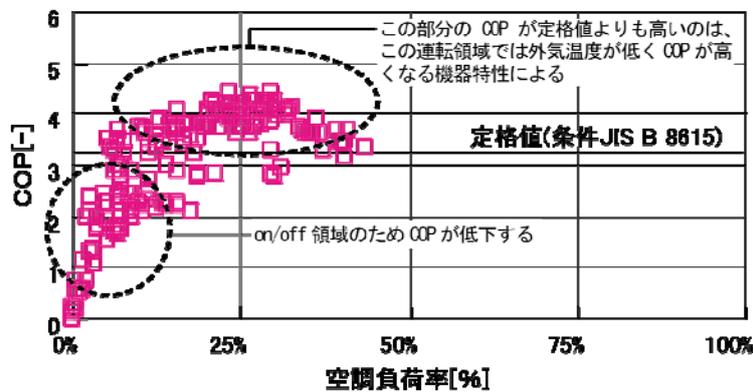


図-2-14 負荷率と日 COP の関係(実測値)

冷房能力  $Q_c = f(te, tc, SH, SC) \dots (1)$

モリエル線図上は  $Q = \Delta ic \times G$  ( $\Delta ic$ : 冷房エンタルピー差、 $G$ : 冷媒流量)

暖房能力  $Q_h = g(te, tc, SH, SC) \dots (2)$

モリエル線図上は  $Q_h = \Delta ih \times G$  ( $\Delta ih$ : 暖房エンタルピー差、 $G$ : 冷媒流量)

- ここで、  
 $te$ : 蒸発圧力相当飽和温度[°C]  
 $tc$ : 凝縮圧力相当飽和温度[°C]  
 $SH$ : 過熱度[-]  $SC$ : 過冷却度[-]

また、COPは一時間ごとのCC法能力推定値  $Q (=Q_c \text{ または } Q_h)$  を、室外機の一時間積算電力消費量  $E_o$  (kWh) で除算した値とした。

$$COP = Q \div E_o \dots (3)$$

図-2-14 にこの方法で算出した一時間ごとの COP と式(4)で示す空調負荷率(定格能力を100%)との関係例を示す。空調負荷率も一時間ごとに算出しており、負荷率 25%前後で COP が定格値よりも高くなっているのは、低負荷率の状態は、外気温度が定格条件よりも COP が高くなる機器特性によるものである。

$$\text{空調負荷率} = Q \div (\text{運転時間} \times \text{定格能力}) \dots (4)$$

### 2.3.3 低負荷率における機器評価方法

ビル用マルチパッケージ型空調システムでは、以下の特性・要因により、低 COP の運転が発生しやすいという傾向があると考えられる。

- ① 中央方式と同様に、負荷率が低くなると、COP が低下するという特性を持つ。
- ② 中央方式と比較して、装置容量が過大に設計される傾向がある。
- ③ 同一居室に複数設置された室内機間の相互干渉により、室内機の処理負荷に大小差(偏り)の生じることがある。

本建物では、これら低 COP 運転の発生状況を確認、改善できるようにしている。具体的には、**図-2-15**に示すように CC 法能力推定値と COP を前述の方法により求め、空調機の運転パラメータ(例：設定温度など)を調整した際に、運転効率、及び、負荷分担状況がどのようになるかを確認できるような監視システムを整備した。

なお、**図-2-16**に示すように、通常、COP は負荷率50%付近で最も向上し、負荷率が小さくなるにつれて低下する特性を持つ。この特性は既往研究でも報告されている。後述する実態評価では、COP が大きく低下するところを、非省エネルギー運転と捉えて分析を行った。

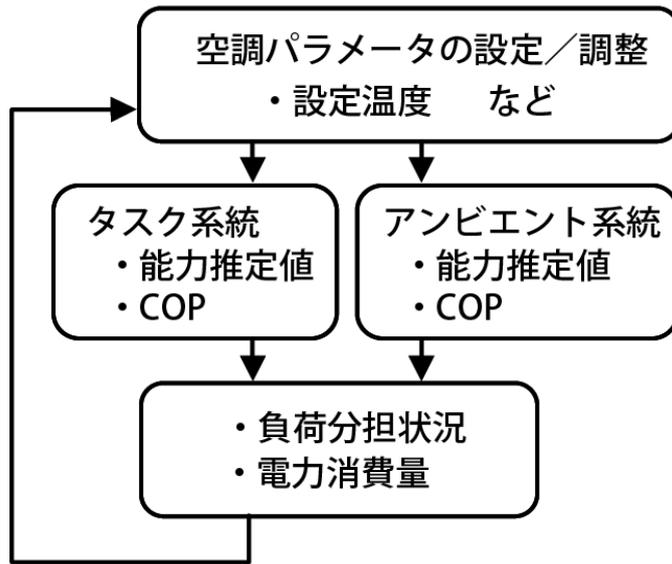


図-2-15 空調監視システム概要図

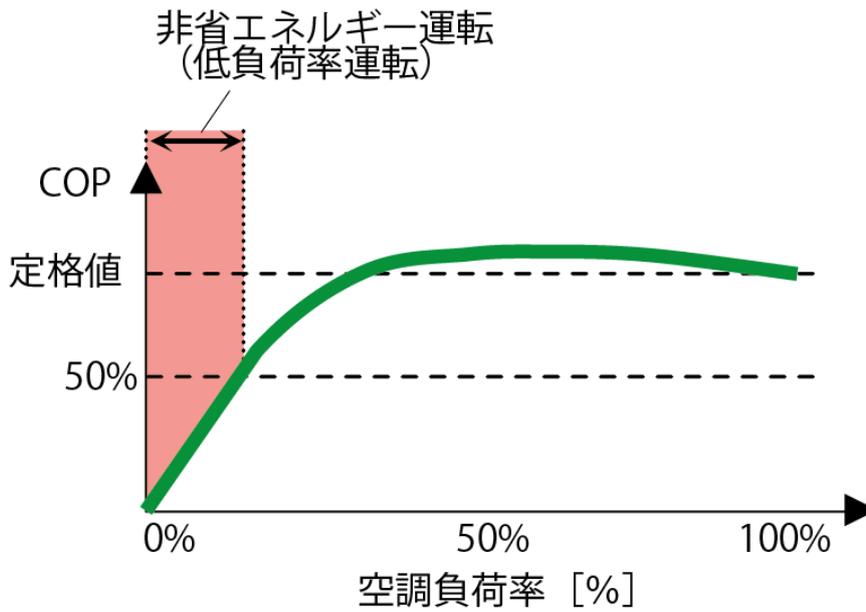


図-2-16 空調負荷率と COP の関係(冷房)

### 2.3.4 除霜運転時のCC法能力推定値への影響

CC法は、前述したように圧縮機データから空調能力を推定する方法である。これに起因して、室外機の熱交換器に付着した霜を取り除く除霜運転時(室内の負荷を処理していない間)も圧縮機が稼動することで能力推定値が算出されるため、エネルギー効率を過大評価する恐れがある。

具体的には、除霜運転の間、通常、暖房運転は一時的(通常：4～6分)に中断される。この間でも室外機は能力を出力するが、これは除霜運転のみに利用されるので、この時の能力は0として扱うべきであるが、収集データの制約により現状のCC法には、この補正処理を組み込めていない。

この影響の程度を確認する目的で、別途、8階を対象に、除霜運転時の運転データを分析した。表-2-4に、除霜運転が最も多く発生した2月4日(図-2-17)を対象に、除霜運転時の能力を0に補正した場合の能力推定値とCOP、及び、現状のCC法による算出値(以下、補正なし)との誤差を示す。

この結果より、除霜運転が実施された日の誤差は1.5～4.3%と試算された。また、評価期間において、除霜運転が行われた総回数と総時間(6系統の合計)は、タスク系統で42回/年、204分/年となった。一方、アンビエント系統は6回/年、18分/年であり、この結果より、除霜運転の発生回数・発生時間は僅かであることを確認した。

表-2-4 除霜運転時の能力推定値とCOP及びCC法との誤差

ゾーン	能力[kWh/日]		COP		除霜運転	
		誤差		誤差	回数	時間
A	117.2 (119.6)	2.0%	2.32 (2.36)	1.7%	1回/日	5分/日
B	186.9 (189.7)	1.5%	2.73 (2.78)	1.8%	1回/日	5分/日
C	112.3 (114.4)	1.8%	3.32 (3.39)	2.1%	1回/日	4分/日
D	96.4 (98.5)	2.1%	3.13 (3.20)	2.2%	1回/日	4分/日
E	178.6 (186.7)	4.3%	3.31 (3.46)	4.3%	2回/日	10分/日
F	220.1 (224.8)	2.1%	2.07 (2.11)	1.9%	2回/日	11分/日

※( )内、現状のCC法で算出した補正なしの値

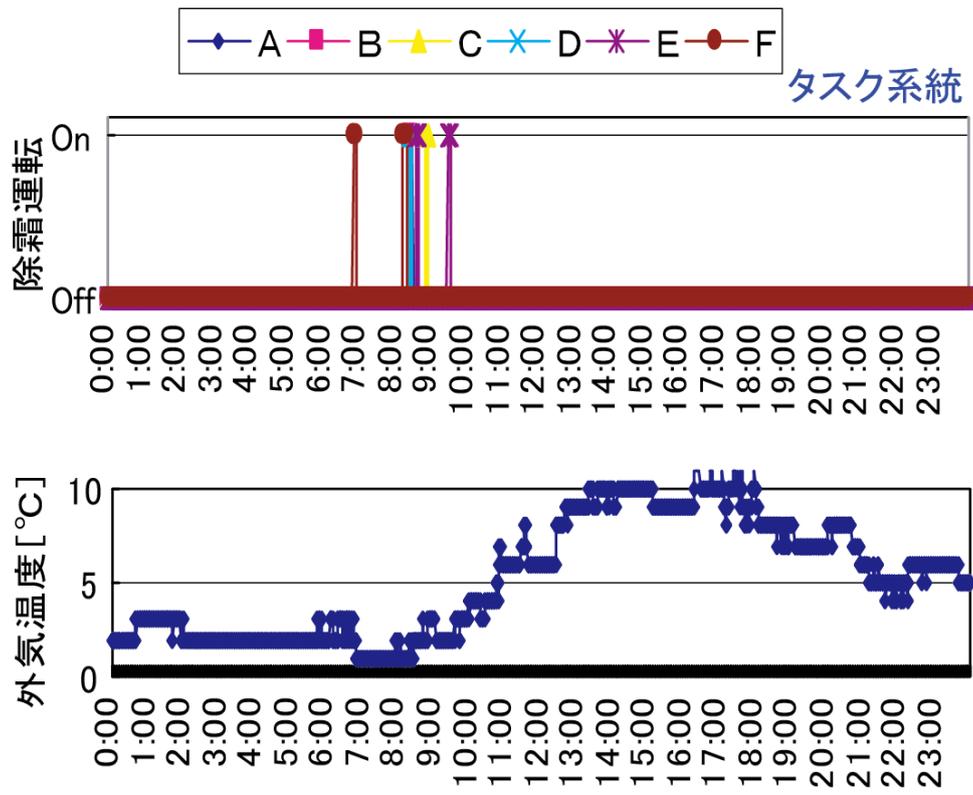


図-2-17 2月4日における外気温度とデフロスト発生状況

## 2.4 省エネルギー性能評価

### 2.4.1 アンビエント系統運用実態の分析

アンビエント系統は、外気負荷処理ならびに室内顕熱負荷(照明負荷程度)を受け持っており、吹出温度一定制御にて運用している。アンビエント系統は高負荷率にならないことを想定しており、中間期における外気冷房運転も含めた省エネルギー実態を評価した。

基準階の代表計測エリアである8階のA～Fゾーン(図-2-18)について、アンビエント系統の各負荷率の発生頻度 [日数]、各負荷率と日 COP との関係 [散布図]、各日 COP における電力消費量 [積算値] を整理した結果を図-2-19 と図-2-20 に示す。さらに、図-2-20 に示した日 COP がどのような値のときに、電力が多く消費されていたかを確認できるように、日 COP を複数の区間に分け、区間毎に電力消費量を集計した結果を図-2-21 に示す。なお、これらの図は「日積算値」から求めた負荷率や日 COP を最小単位としている。この理由は、本研究では電力計測の精度を1kW/パルスとしていたために、低負荷時(電力消費量が小さくなるほど)に電力量計の計測誤差(量子化誤差)がやや大きくなる傾向があり、この影響を小さくしたかったためである。参考情報として、アンビエント系統室外機の冷房定格能力と定格 COP を表-2-5 に示す。

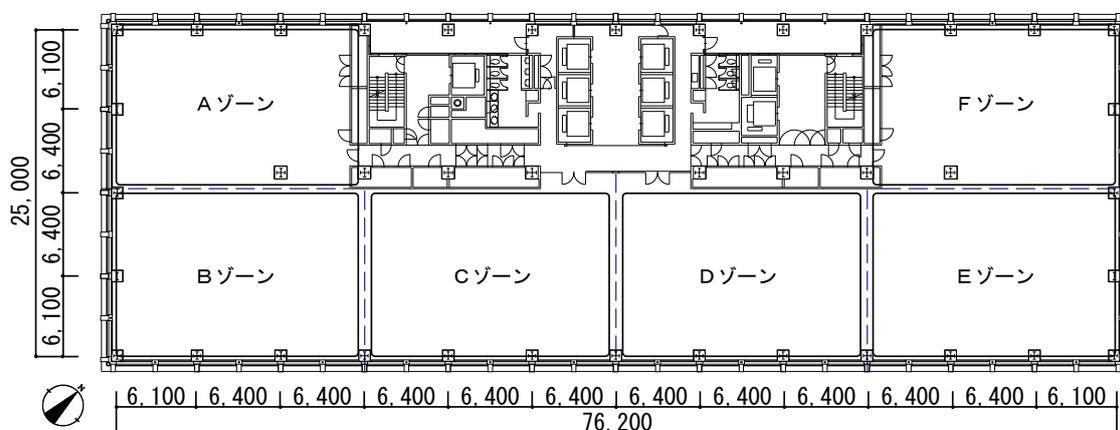


図-2-18 8階空調システムのゾーン区分

表-2-5 アンビエント系統 冷房定格能力・定格 COP

	Aゾーン	Bゾーン	Cゾーン	Dゾーン	Eゾーン	Fゾーン
定格能力[kW]	28	28	28	28	28	28
定格COP[-]	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9

図-2-19に示すように、負荷率が0%~25%となる日が多かったことが分かる。特に多くなっている負荷率0%は、休日および圧縮機が終日停止(サーモオフ)していた日数(休日日数のみで128日)に該当する。一方、負荷率25%前後は、圧縮機が停止せず運転できる最低能力に相当し、吹出温度一定制御が概ねこの能力で行われていた様子が想定される。

図-2-20からは、低負荷になると日COPが低下する傾向が確認できる。これは低負荷になると圧縮機が発停しやすくなるためである。なお、低負荷であっても日COPがやや高い日が認められるが、これは次の理由による。ビル用マルチパッケージ型空調システムは外気温年度間休が穏やか(具体的には、冷房運転では25℃程度以下、暖房運転では7℃程度以上を示す<sup>4)</sup>になるほど日COPが向上する特性がある。また、低負荷時に起こる圧縮機が発停は、その周期が長い場合と短い場合があり、発停の周期が長い場合は、発停回数が少なくなるので日COPが低下しない傾向がある。さらに、前述したとおり低負荷になるほど電力計量の計測誤差が大きくなる問題も起こり得る。低負荷域で見られる日COPのバラツキは、このような要因により生じたものと考えられる。

図-2-21からは、電力量の多くが日COPの高い位置で消費されていたことが確認できる。また、図-2-20にCOPの低い日が認められるが、このような状態での電力消費量は少なかったことが分かる。年間で評価すると効率的な運転が行えていたことが確認できる。なお、図-2-19~図-2-21の負荷率、COPは室外機が冷暖房同時機であることにより冷房、暖房を合算したものである。また、冷房と暖房の定格COPは異なっており、それを前提に負荷率を算定した。

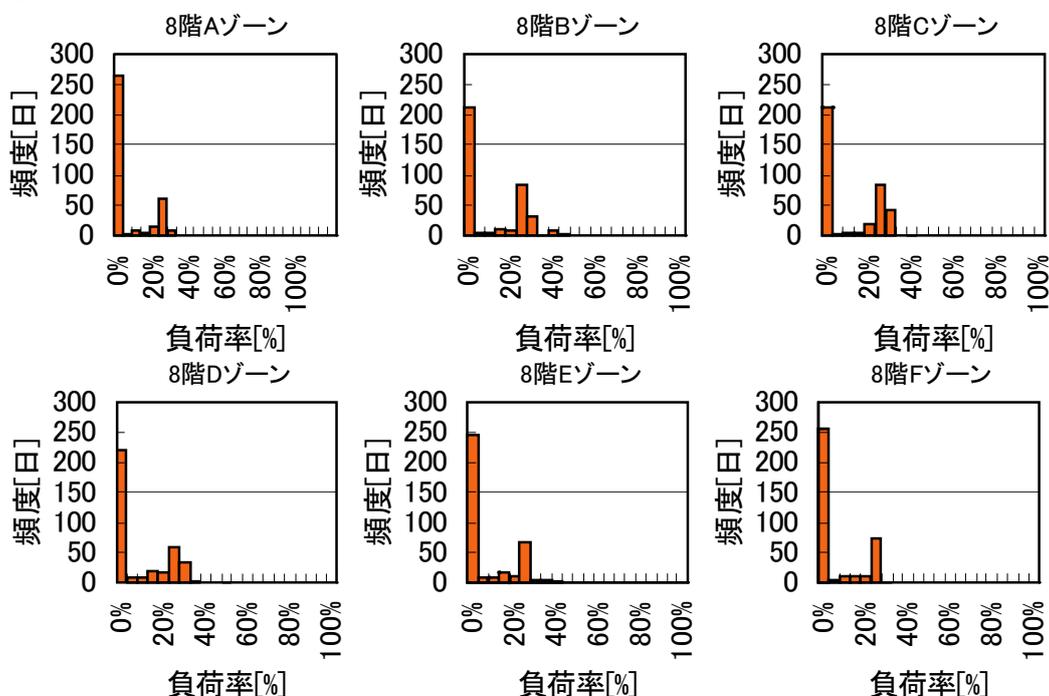


図-2-19 8階各ゾーンにおけるアンビエント系統負荷率の頻度分布[日数]

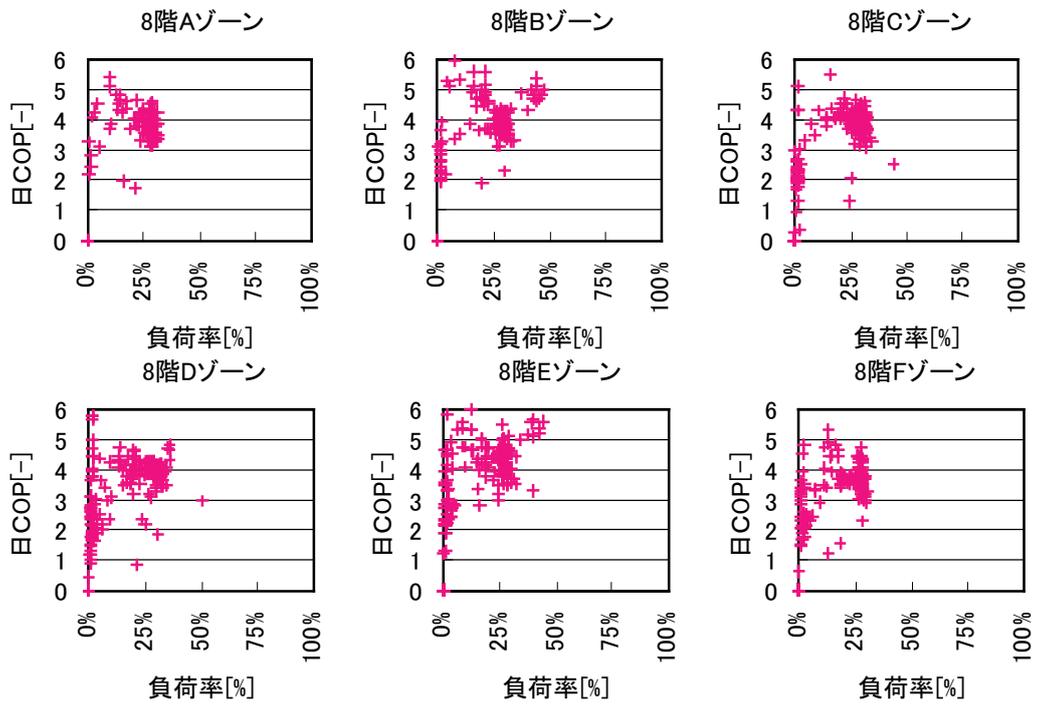


図-2-20 8階各ゾーンにおけるアンビエントシステム負荷率と日 COP の関係 [散布図]

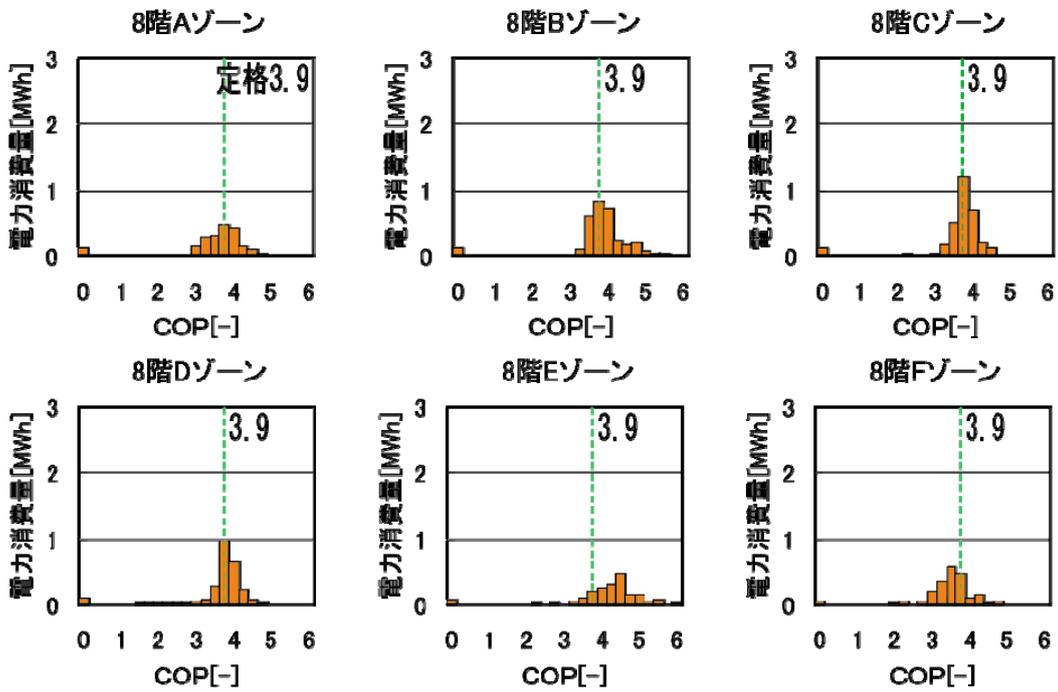


図-2-21 8階各ゾーンにおけるアンビエントシステム日 COP 別の電力消費量

## 2.4.2 タスク系統運用実態の分析

タスク系統は、人体やOA機器発熱を中心に偏在する室内空調負荷の大部分を処理し、かつ空調対象とする居住域に対する人感センサのセンシングによる On/Off 制御を組み合わせることで、負荷率の改善と効率的な運用を目指している。

これらの実態の評価としてアンビエント系統と同様のデータ整理を基準階の代表計測エリアである8階のA～Fゾーンについて行った。その結果を図-2-22～図-2-24に示す。また、タスク系統室外機の定格能力と定格COPを表-2-6に示す。

図-2-22と図-2-23からは、アンビエント系統よりも負荷率の高くなっている様子が確認できる。また各ゾーン間で負荷率の頻度分布に違いが認められることから、空調負荷の変動や偏在があった様子も確認できる。図-2-24からは、アンビエント系統に比べて、日COPの高い位置で電力量が多く消費されていたことが確認できる。タスク系統は、より効率的な運用が達成できていたと判断できる。

表-2-6 タスク系統 冷房定格能力・定格COP

	Aゾーン	Bゾーン	Cゾーン	Dゾーン	Eゾーン	Fゾーン
定格能力[kW]	40	40	40	40	45	40
定格COP[-]	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2

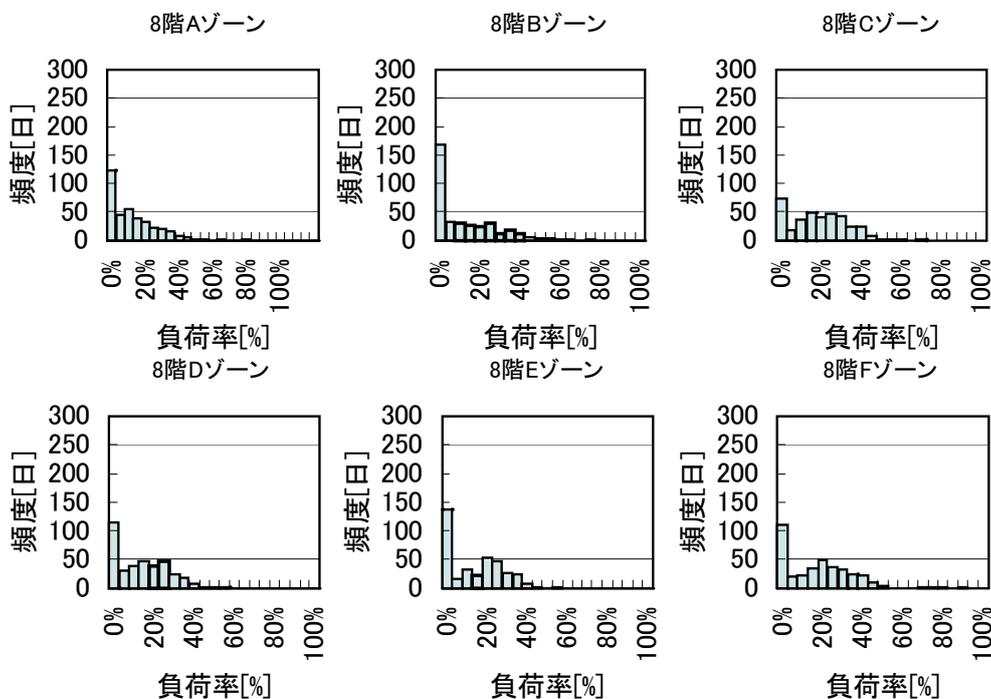


図-2-22 8階各ゾーンにおけるタスク系統負荷率の頻度分布[日数]

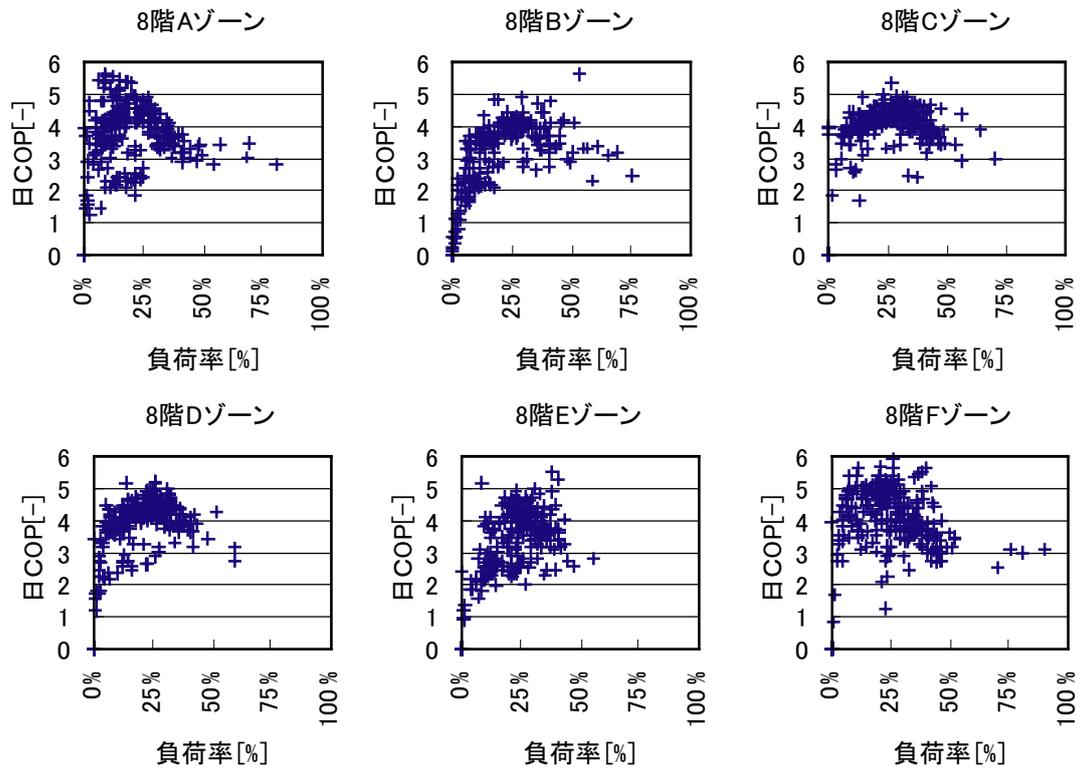


図-2-23 8階各ゾーンにおけるタスク系統負荷率と日COPの関係[散布図]

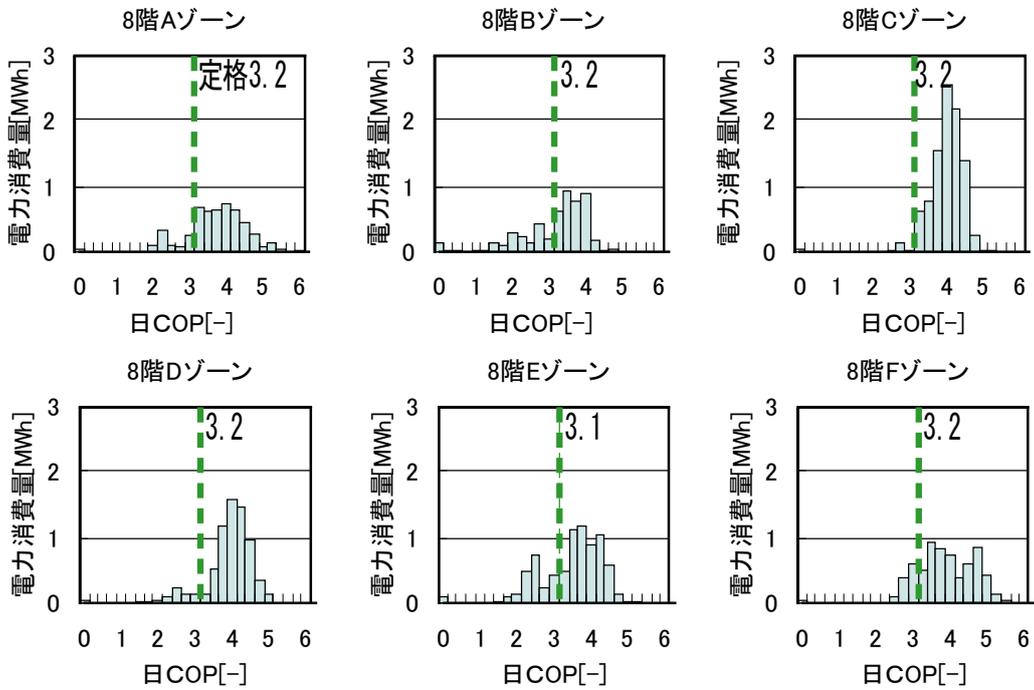


図-2-24 8階各ゾーンにおけるタスク系統日COP別の電力消費量

### 2.4.3 タスク/アンビエント空調の全館負荷率の実態評価

図-2-25、図-2-26に「2007年9月1日～2008年8月31日」におけるタスク/アンビエント系統のオフィス基準階2～9階全フロア分の1時間データから算出した空調負荷率の積算電力消費量を示す。ともに上段が油戻し運転など制御上や夜間および休日の負荷率が「ゼロ」である待機電力等を含んだグラフ、下段がその影響を除いたグラフである。図-2-25、図-2-26下段に示すようにアンビエント系統は待機電力等を除くと負荷率20～30%の運転が約8割を占めており、外気負荷を受け持っているものの、外気温度が中間領域(15～20℃)ではサーモオフとなるため負荷変動が少ないことが判る。一方タスク系統は人感センサ制御など負荷追従型であることから負荷率の分布が広く15～50%までの運転が多い。運用段階で負担する負荷率は設計時に想定した通り、低いものであったが、休日や夜間待機電力等を除き20%以下の負荷率での運転頻度は少なく、ON/OFF 領の比率は少なく非効率な運転状況を比較的回避できているといえる。

一方で、過去のAE法による実測結果<sup>4)</sup>よりビル用マルチパッケージ型空調システムのCOPは、外気温度条件によって異なるものの機器の定格値に対する負荷率50%前後を中心に高くなっていることが報告されており、さらに負荷率を上げる運用となる設備計画とすることが課題として挙げられる。

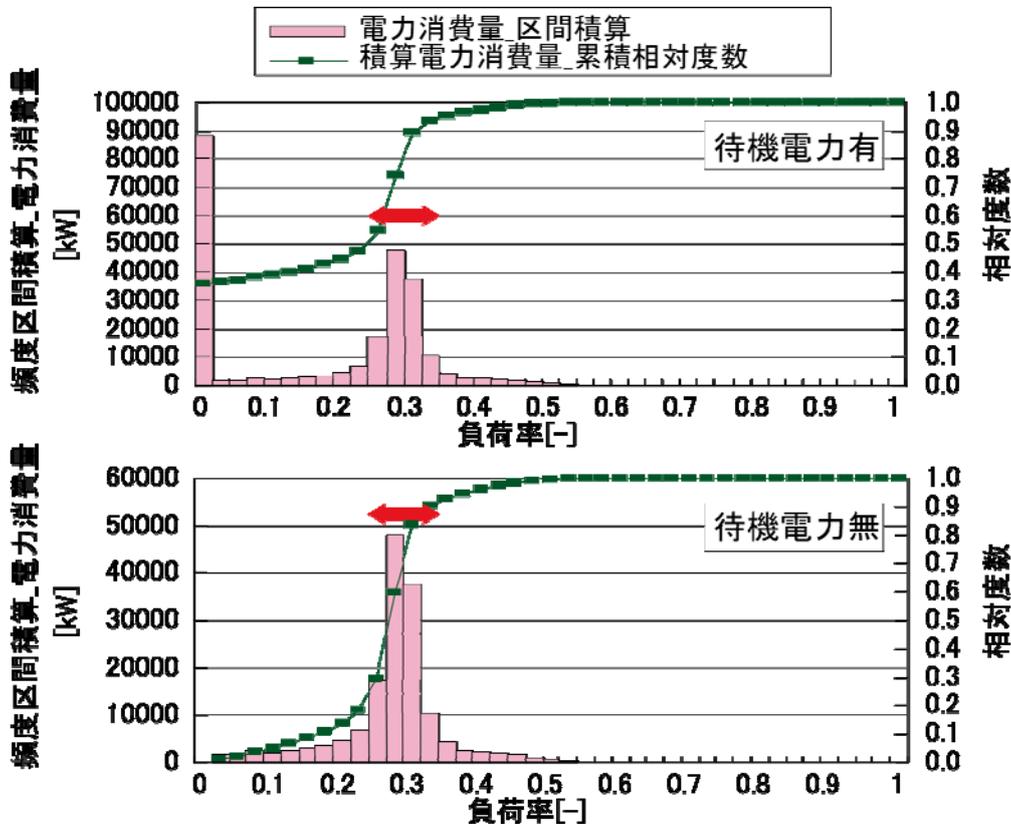


図-2-25 負荷率の積算電力消費量(アンビエント系統)

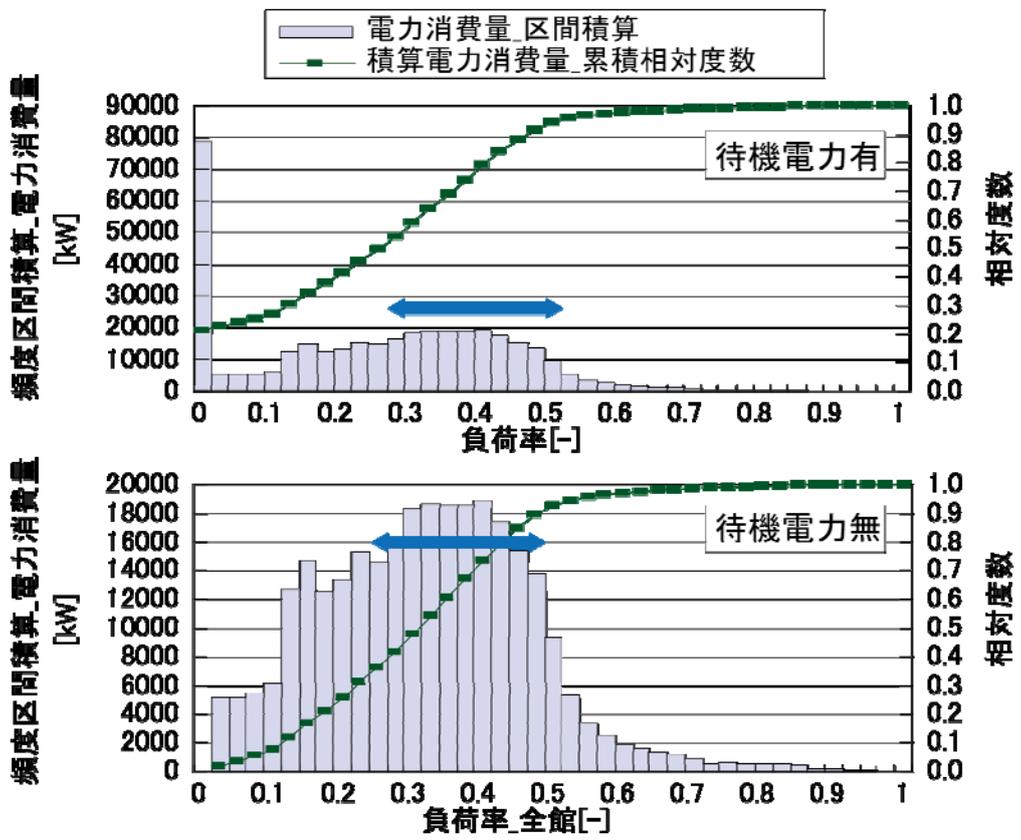


図-2-26 負荷率の積算電力消費量(タスク系統)

#### 2.4.4 タスク/アンビエント空調エネルギー消費量の分析

図-2-27 に 2008 年 7 月、2 月、4 月における全フロアのオフィス専有エリアにおけるタスク/アンビエント空調システムの月別時刻別平均電力消費量及び時刻別負荷率を示す。

夏期においては、アンビエント系統が 1 日を通じて、平均して約 26%の負荷率で運転がなされている。同様にタスク系統は、負荷率約 36%で運転されていた。このときの電力消費量は、アンビエント系統は約 11W/m<sup>2</sup>(専有面積)で定格時消費電力の 38%、タスク系統は約 18W/m<sup>2</sup>(専有面積)で定格時消費電力の 33%であった。

中間期においては、アンビエント系統の負荷率が約 8%、タスク系統の負荷率は約 13%で運転がなされていた。しかしながら、電力消費量は、アンビエント系統で 5W/m<sup>2</sup>(専有面積)で定格時消費電力の 18%、タスク系統で 12W/m<sup>2</sup>(専有面積)で定格時消費電力の 22%となり、両系統ともに夏期と比較して平均的に効率は下がっている。タスク系統は夏期・中間期は冷房運転としているが、冬期においては、暖房運転となり、空調立ち上がり時にタスク系統とアンビエント系統の負荷率、電力消費量共に大きくなる特徴がある。負荷率が低い一方で電力消費量が多いため、効率は下がっている。

図-2-28 に月別の 2~9 階全フロアのオフィス専有エリアの二次エネルギー基準による室内機送風機消費電力量も評価した月毎のシステム COP を示す。

$$\text{全館月間システムCOP} = \frac{\text{全館月間能力推定値積算値(kWh)}}{\text{全館空調月間消費電力量 (室外機電力量+室内機ファン電力量+アンビエント系統RAファン電力量):kWh}} \quad \text{----- (9)}$$

年間の全館平均システム COP は 2.18 と高くなっており、二次側空調消費電力も含めた年間システム COP として高い数値と考えられる。タスク系統、アンビエント系統ともに夏期の性能が高いもののアンビエント系統の月別システム COP が中間期、冬期に落ちている。これは、冷暖房運転の時間がほとんどなく、圧縮機の仕事がない状況にもかかわらず、換気のためファンのみを稼動している時間が長いためである。この傾向は、タスク系統にも見られる。

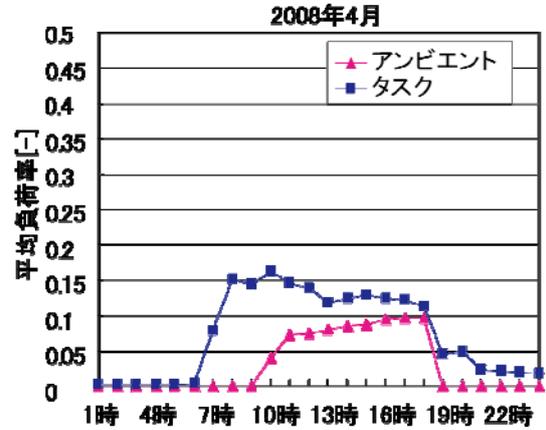
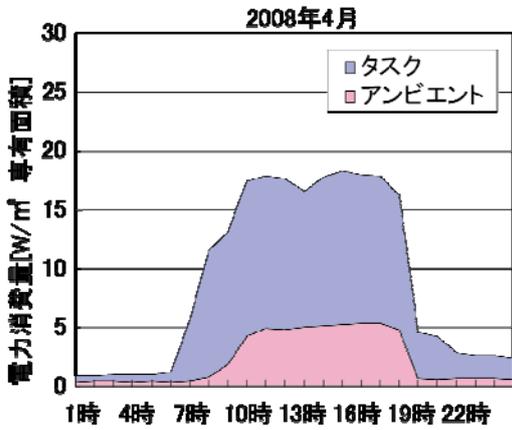
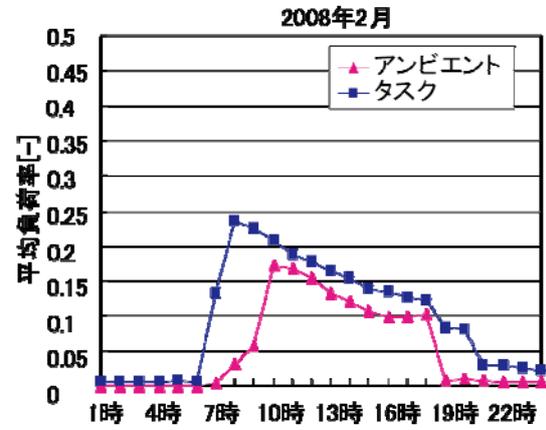
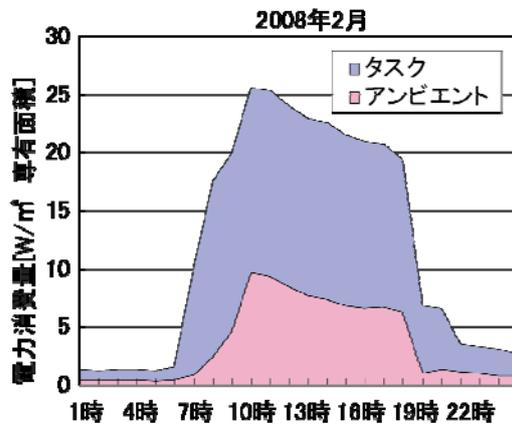
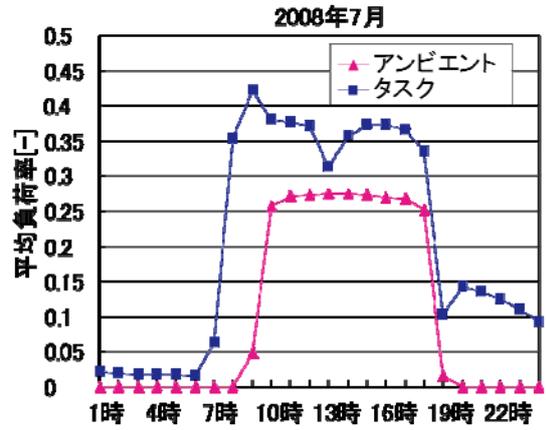
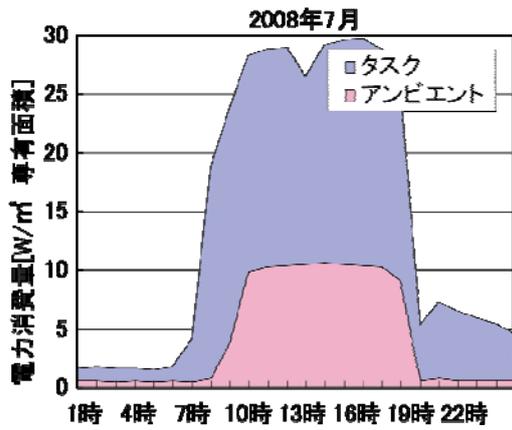


図-2-27 月別時刻別平均電力消費量および負荷率

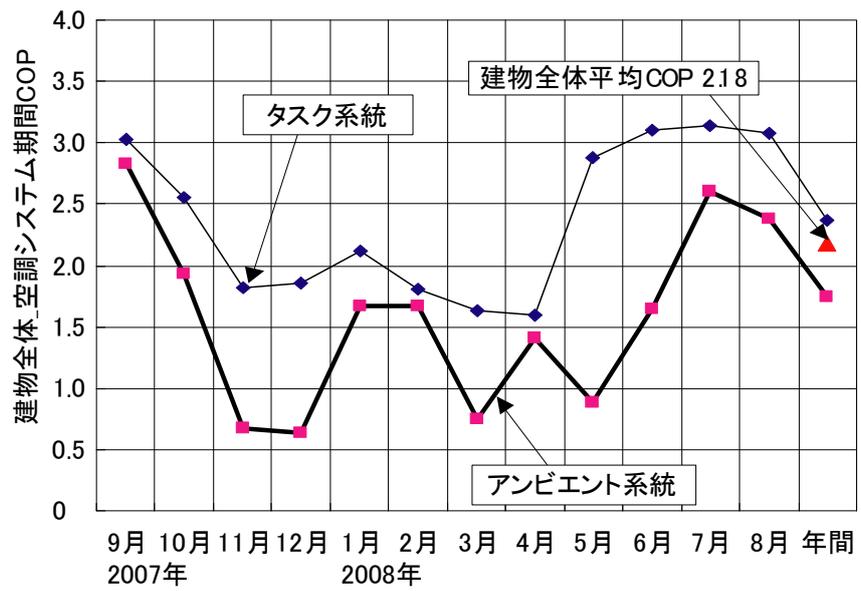


図-2-28 月別平均システム COP(二次エネルギー基準全館)

## 2.4.5 他事務所ビルとのエネルギー性能比較

建物のエネルギー性能については、同用途であってもそのビルの空調熱源システムによってその傾向は変化する。ここでは、過去の検証実績より取得した一般事務所ビルの運用データを基に、Aビルとエネルギー性能の比較を行った。

### (1) 中央熱源方式の事務所ビルとのエネルギー性能比較

図-2-29にAビルおよび中央熱源方式をもつ一般事務所ビルとの延床面積あたりの一次エネルギー消費量の比較を示す(一次エネルギー消費量換算値=9.76MJ/kWh)。比較対象とした事務所ビルの概要は表-2-7のとおりで、計画および性能検証を実施しており、ともに熱源はガスと電気の併用熱源方式を採用している。

事務所1、事務所2ともに、建物全体の一次エネルギー消費量は2,000MJ/m<sup>2</sup>前後の結果になったのに対し、本建物では、1,568MJ/m<sup>2</sup>延床面積(事務所部分全体)となり、高い省エネルギー性能が達成されていることが確認できた。

しかしながら、一般に事務所ビル内には駐車場や厨房、エントランスなど事務所以外の共用部用途が含まれ、また、廊下やトイレ等も建物グレードによって空調対象になるなど、建物全体のエネルギー消費量については、これらの影響を受けることが確認されている。表-2-7に示した比較対象の事務所ビルについても、オフィスの省エネルギー性能を比較する場合には、執務空間に限定した比較も同時に必要であると考えた。

そこで、単純なエネルギー消費量の建物全体面積あたりの原単位比較ではなく、基準階を対象とした純粋なオフィス専有部分におけるオフィス空調システムエネルギー性能の比較を行うことで、システム性能差が明確になると考えた。なお、比較に際し、中央熱源方式の基準階空調消費熱量については表-2-8に示すような熱源単体、冷却塔ファン、冷却水ポンプ、一次ポンプ、二次ポンプ動力を基準とした熱源の想定冷却総合効率、加熱総合効率を仮定し、空調機側で処理した熱量(図-2-30)を熱源システム側のエネルギー消費量として換算、基準階空調機ファン動力(図-2-31)との和で基準階空調システムエネルギー消費量を算出し、空調システムエネルギー効率を導いている((9)式、及び(10)式参照。)

図-2-32に空調システムエネルギー効率比較の結果を示す。冬期の暖房運転時における性能差はあまりないものの、気温の高い夏期、中間期における冷房運転時に、Aビルでの省エネルギー性が高く、これにはAビルの空調システムの搬送動力が非常に少ないことが、空調システムエネルギー効率の向上に寄与していることが判った。

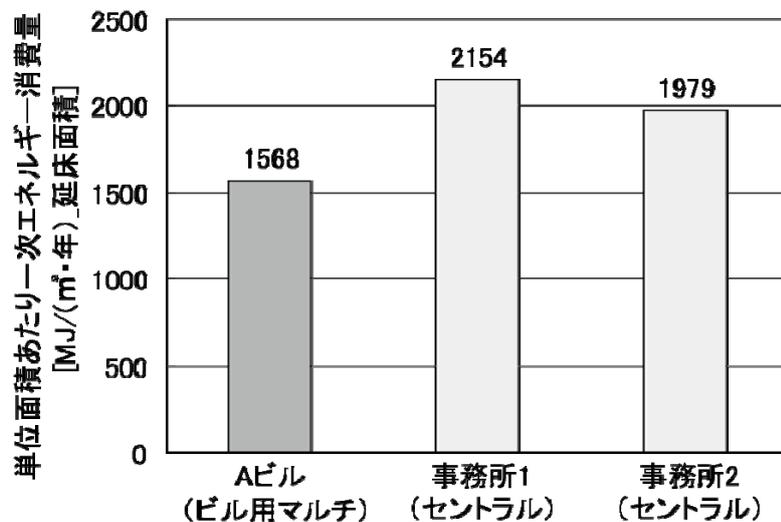


図-2-29 延床面積あたりの一次エネルギー消費量比較

表-2-7 比較対象とした事務所の概要

	Aビル	事務所1	事務所2
所在地	東京都港区	東京都港区	東京都千代田区
延床面積(m <sup>2</sup> )	33,351	54,214	50,290
階数(地上/地下)	15階/2階	28階/4階	31階/2階
熱源システム	ビル用マルチパッケージ型 空調システム	吸収式冷温水機 +ターボ冷凍機・氷蓄熱	吸収式冷温水機 +ターボ冷凍機・氷蓄熱
空調システム		AHU(VAV)	AHU(VAV)
竣工年		2003	2005

表-2-8 想定冷却・加熱総合効率

	想定冷却総合効率	想定加熱総合効率
事務所1	1	0.6
事務所2	1	0.6

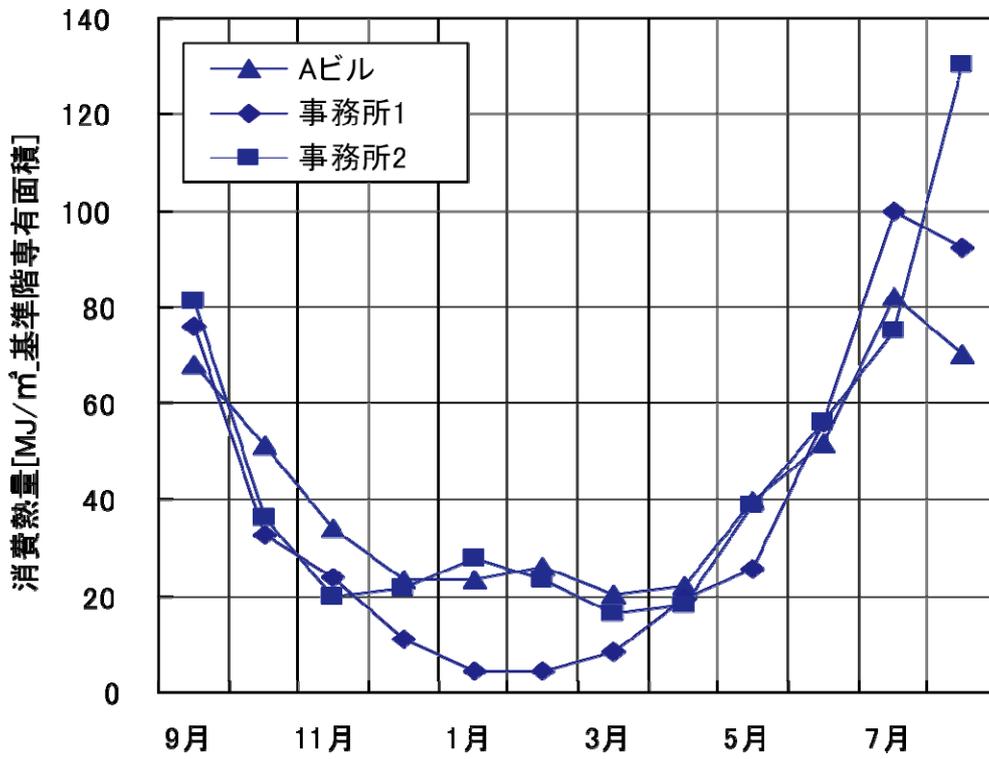


図-2-30 オフィス基準階空調消費熱量比較

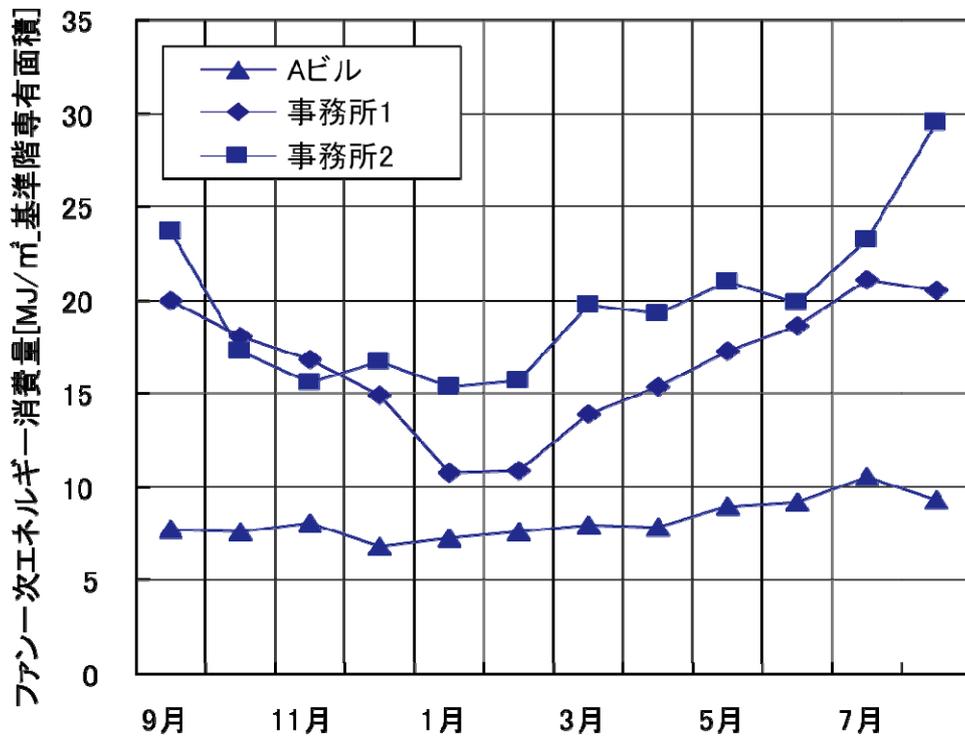


図-2-31 オフィス基準階ファン電力消費量比較

$$\text{基準階システムCOP} = \frac{\text{基準階消費熱量(加熱+冷却)}}{\text{(基準階ファン電力量+基準階の想定熱源エネルギー消費量)}} \quad \text{----- (10)}$$

$$\text{想定エネルギー} = \frac{\text{基準階消費熱量}}{\text{想定冷却・加熱総合効率}} \quad \text{----- (11)}$$

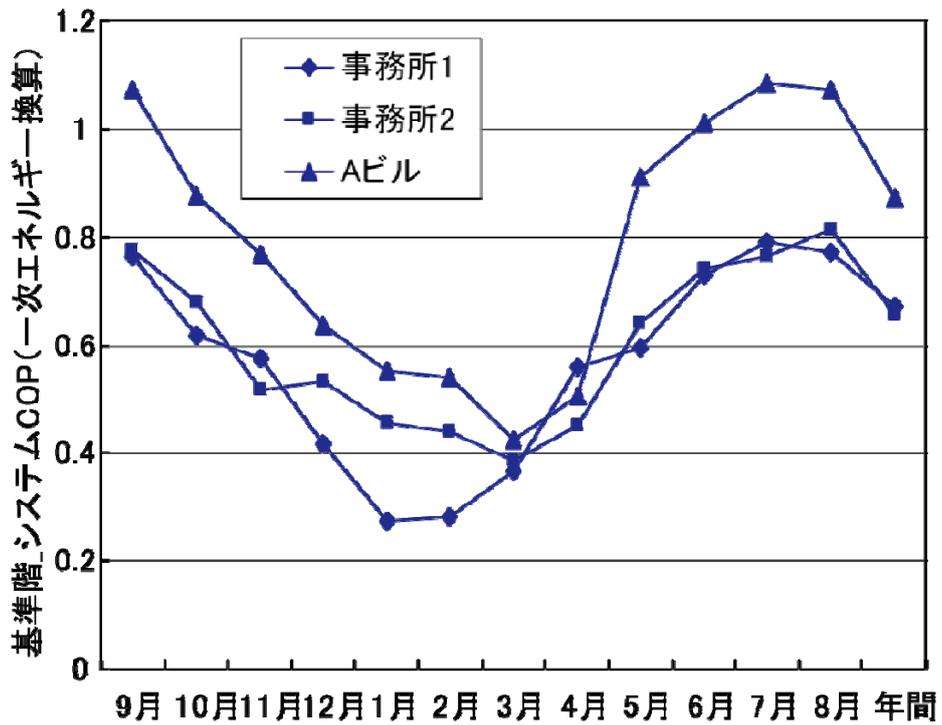


図-2-32 空調システムエネルギー効率比較(オフィス基準階)

## 2.5 その他ビル用マルチパッケージ空調システムの機器特性の性能検証

### 2.5.1 タスク系統の人感センサ制御の効果検証

図-2-33 に 8 階各ゾーンおよびフロア全体における個々の人感センサが「不在」検知の割合とそれに伴うタスク系統室内機の Off 割合、さらにタスク系統室外機 1 台分の人感センサ (計 6 点の) 同時「不在」検知割合、とそれに伴うタスク室外機圧縮機の Off 割合を示す。この検討は、平日のコアタイム (7 時～18 時) のデータを使用している。なお、人感センサ「不在」となるたびにタスク系統空調機 On/Off を繰り返した場合、タスク系統空調機の制御基盤 (ROM の溶解) が劣化するため 15 分間状態保持している。そのため不在の割合とタスク系統空調機の割合に大きな乖離がある。

また、個々の人感センサと連動してタスク空調機が Off した割合は、8 階オフィス全体平均で 20～30% 程度となった。これは、人感センサの制御周期 (10 秒) とタスク系統室内機の機械保護のための発停時間の偏差 (On は 1 分、Off は 10 分) の違いによるものである。空気搬送動力の省エネルギー性を評価すると、タスク系統室内機 1 台当たりの送風機動力は 85W であるため、8 階オフィスフロア全体の評価としては、空調面積あたりの年間一次エネルギー削減量はおおよそ  $7.7\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{年}$  となった。

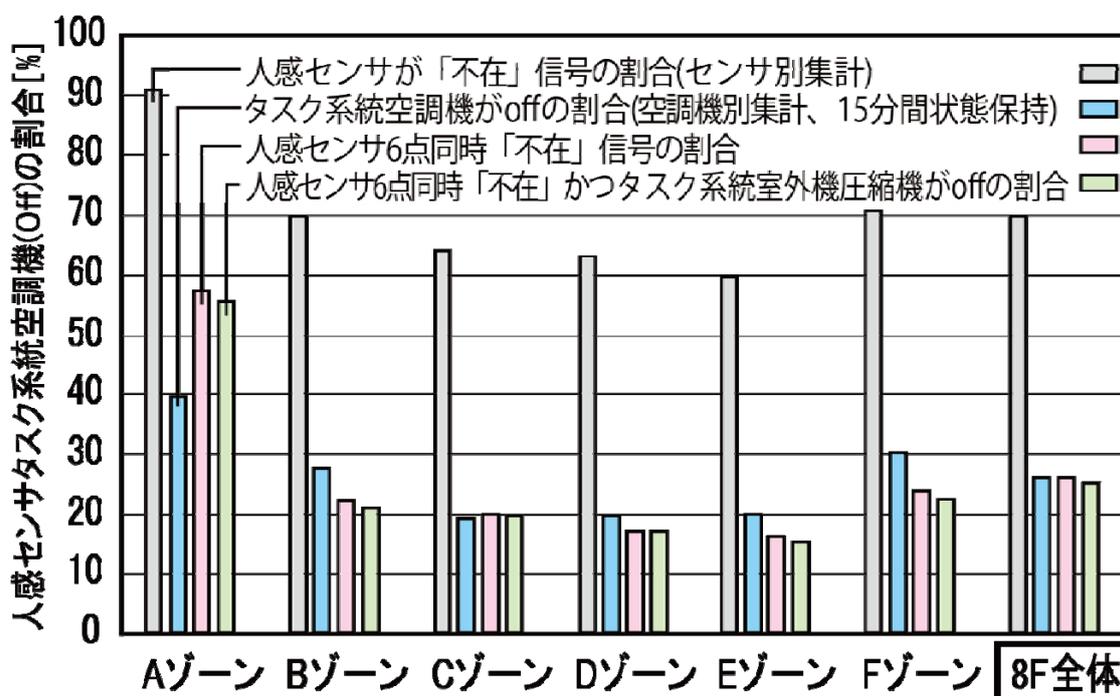


図-2-33 各ケースのセンサ Off 割合

## 2.5.2 タスク/アンビエント空調の季節別時刻別の挙動

図-4-34に夏期(2008年7月25日)、中間期(2008年4月11日)、冬期(2008年1月15日)の8FのBゾーンにおけるタスク系統とアンビエント系統の給気温度および能力推定値、電力消費量の時刻別変化を示す。

夏期においてはタスク系統の能力推定値が高く、立ち上がり時には瞬時の能力増加により、室温を安定させており、ビル用マルチパッケージ型空調システムの負荷に対する即答性を示している。一方、アンビエント系統は給気温度一定制御であり、2008年度に給気温度を緩和(高く)する運用としたため、タスク系統と比較して能力推定値が低いものの、終日一定した稼動となっている。冬期においてはタスク系統の能力推定値が立ち上がり時に大きくなり、外乱による変動が確認でき、その後はあまり能力を発揮していない。アンビエント系統は夏期と同様、終日一定稼動しており、計画通りの負荷分担が行われているものと推測される。また、中間期はタスク、アンビエント系統ともに負荷率は小さいが、室温の安定し電力消費量がほとんど無いことから外気による利得効果があると推察される。

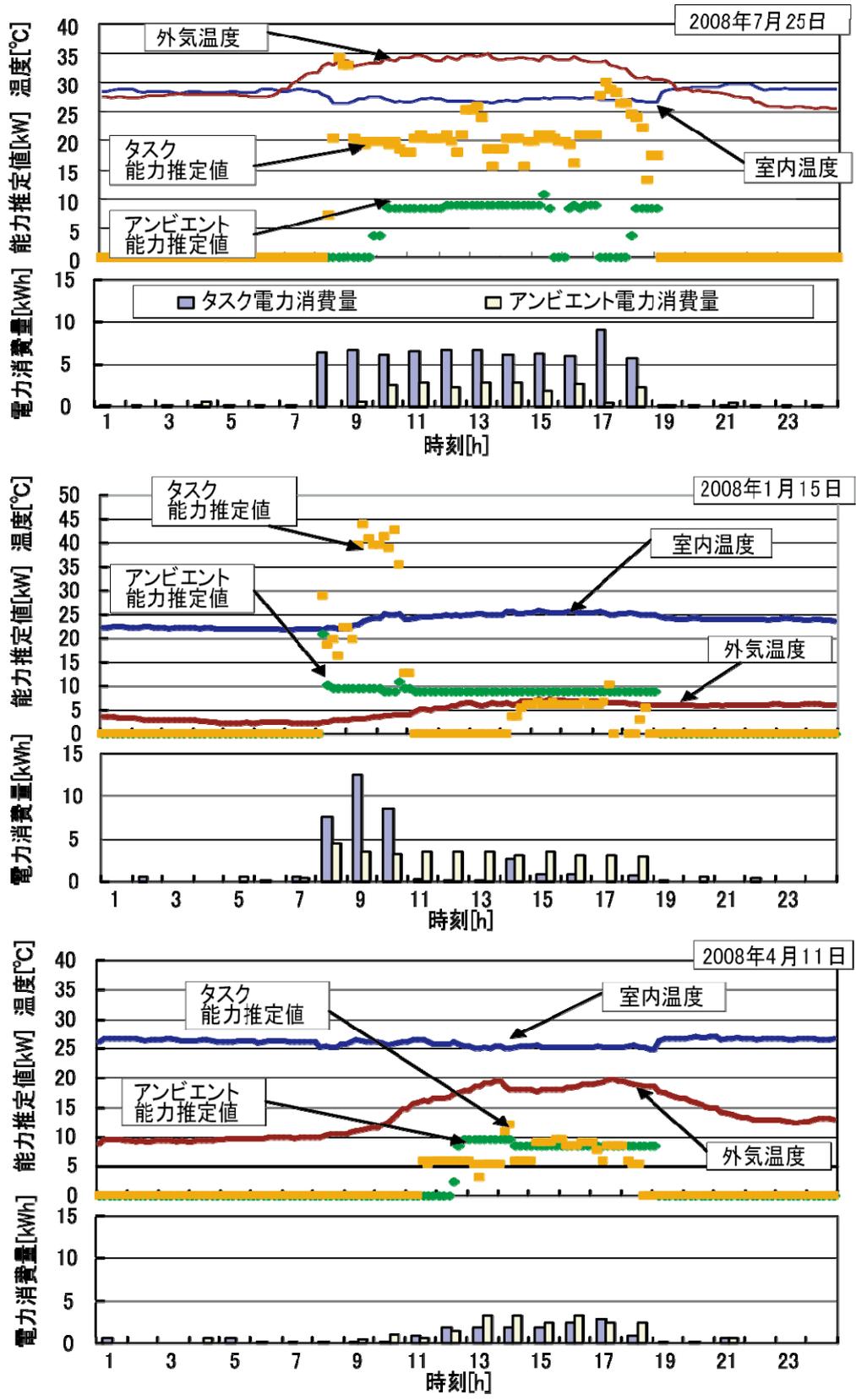


図-4-34 8階\_B系統におけるシステム挙動時系列変化

### 2.5.3 冷暖房同時運転に関する性能検証

#### (1) 冷暖房同時運転時におけるエネルギー消費などの性能検証

冷暖同時システムにおける問題として、室内機(ゾーン間)相互での異設定による過剰な冷房、暖房による混合損失があげられる。

本建物においては、アンビエント系統とタスク系統を分離しているが、アンビエント給気温度設定の緩和により、系統別の温度設定による混合損失は発生していない。しかし、同一タスク系統における室内機間の混合損失については局所的に発生している。

本建物に採用した冷暖房同時運転可能なビル用マルチパッケージ型空調システムでは、室内機と室外機間の熱移動に加えて、異モードの室内機間の熱移動も可能になっている。この機構により、**図-2-35**に示すような冷暖房同時運転を行う。同システムでは、異モード室内機間の熱交換を優先して活用し、能力不足分を圧縮機の仕事量にて補う運転を行うため、別系統にて(室外機を分けて)、冷房と暖房の熱供給を行う場合に比べて、理論上エネルギー消費量がおよそ1/2になる特長がある。

**図-2-36**に8F タスク系統の屋外機の運転モード割合を示す。タスク系統においては、2008年1、2月のAゾーン、2、3月のB、E、Fゾーンならびに3、4月のE、Fゾーンにおいて冷暖同時モードでの運転が多数確認される。A、B、F系統については、同一ゾーン内に部署間の間仕切りがあるため、運転の傾向が異なっており、同時モードの存在は許容できる。しかしながら、E系統においては同一空間内での隣接する屋内機で冷暖同時運転がなされており、エネルギーの浪費が懸念された。そこで、このゾーンの各屋内機運転モードにおけるエネルギー消費量と能力推定値の実態を検討した。

冷暖房同時運転が比較的多く発生していた8階Eゾーンにおける2008年3月のタスク系統を取り上げ、混合損失の影響を検討した。同ゾーンの運転モードは、居住者からの要求により、窓面積が大きい角部分でほぼ終日暖房、その他は冷房となっていた(**図-2-37**)。

運転モード	全室合計負荷			室外ユニット(運転動力の目安値)		
	(相当馬力) 冷房負荷	(相当馬力) 暖房負荷	(相当馬力) 装置負荷	外気への放熱 (相当馬力)	外気より吸熱 (相当馬力)	圧縮機動力比 (相当馬力比)
<b>A 全冷房運転</b> 	20	0	20	20	0	100
<b>B 冷房主体 / 一部暖房運転</b> 	15	5	20	10	0	70
<b>C 冷房≒暖房運転</b> 	10	10	20	0	0	47

図-2-35 冷暖房モード別想定負荷割合における動力比

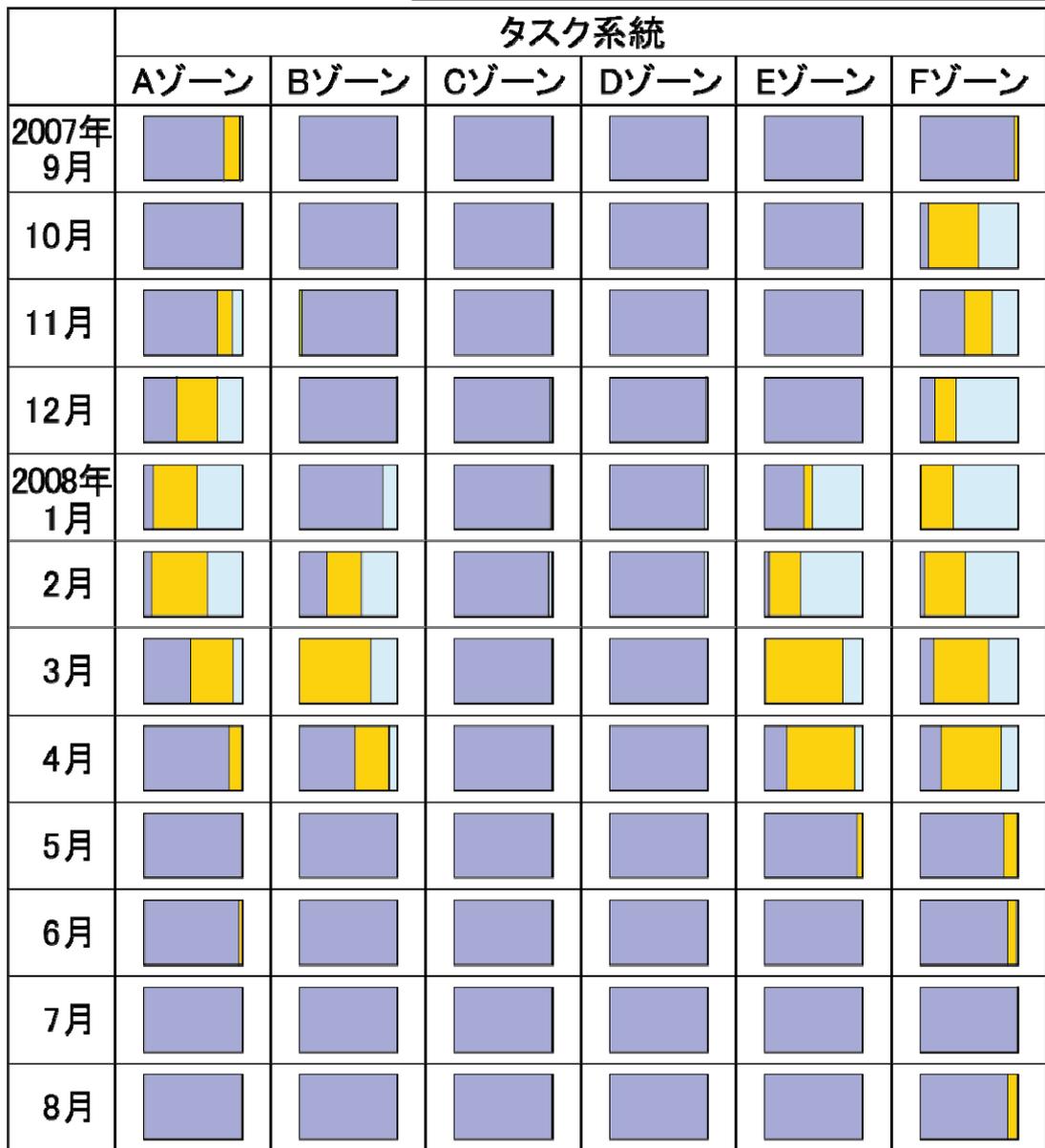


図-2-36 タスク系統室外機の運転モード割合

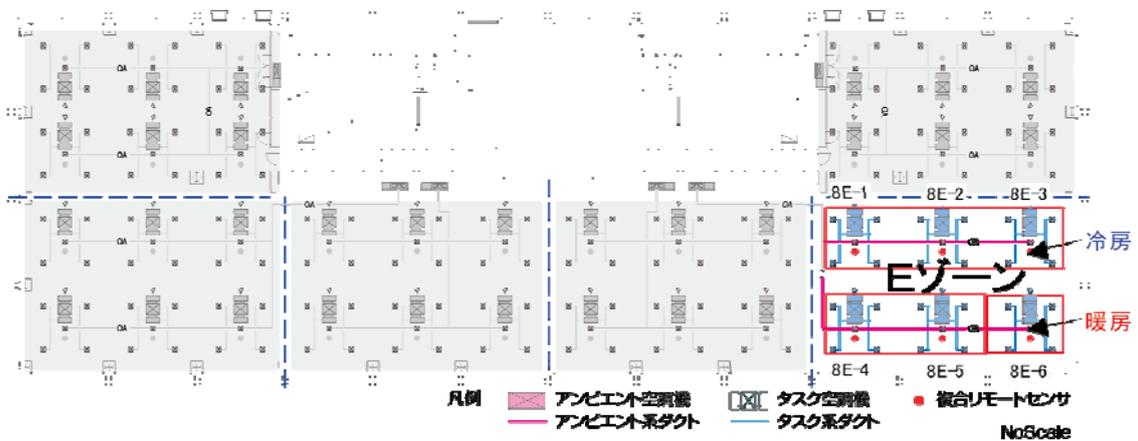


図-2-37 8階-Eゾーンの冷暖同時運転状況

図-2-38に示すように、冷暖房同時運転は常時発生しておらず、例えば、暖房時の朝の立ち上げ運転後のように室内温度が低い状態から高い状態に変化する過程において発生する傾向がみられた。「通常運転」とは冷暖房が混在していない状況を示す。この結果を踏まえ、冷暖房同時運転時において、必要最小限の空調能力(≒冷房能力と暖房能力の差分)を差し引いた残りの能力が、混合損失を発生させるおそれのある過剰冷房と過剰暖房になり得ると仮定し、混合損失の最大発生量を推定した。

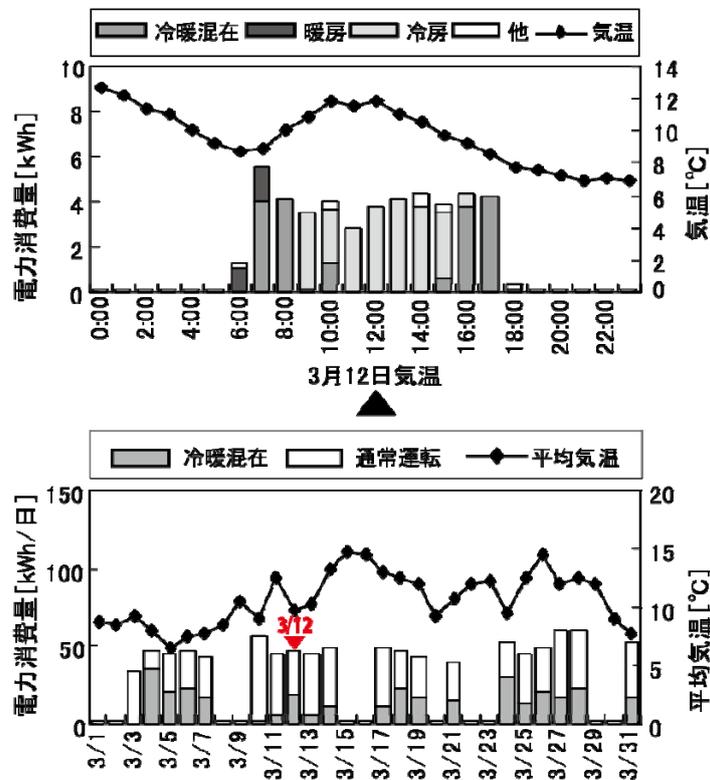


図-2-38 冷暖同時運転状況

最大発生量の算出結果を表-2-9に示す。結果より、計算対象日(2008年3月12日)においてその発生量は、8階タスク系統電力消費量の2.5%程度となっている。

BEMS データより演算した参考値として、図-2-39に冷暖房同時運転時の COP を示す。室内機間の熱移動の効果により COP は高く維持されていた。室内機間の熱移動による効果は、混合損失による損失電力量の低減にも寄与していると推定される。

表-2-9 冷暖同時運転状況

	混合損失の最大発生量		8階タスク系統 消費電力量
	損失電力量	損失率	
Eゾーン	130kWh/月	2.5%	5,197kWh/月

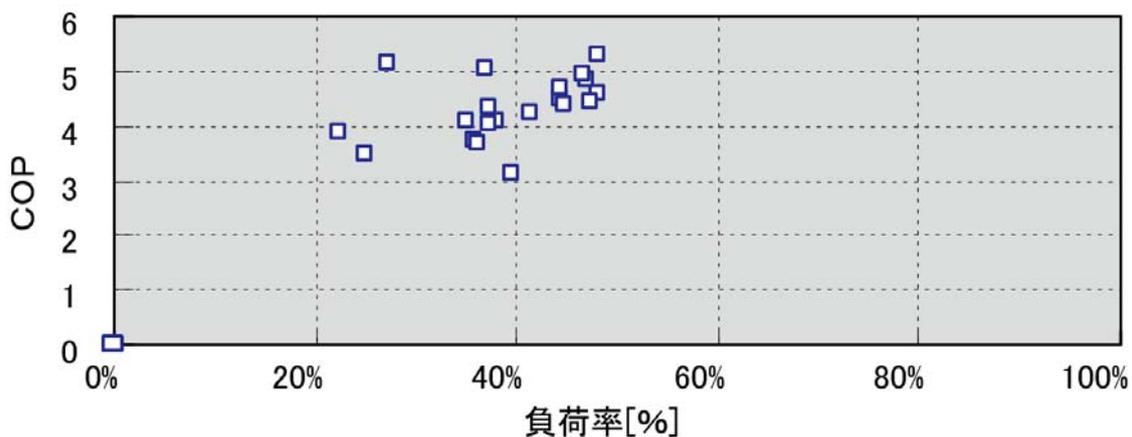


図-2-39 冷暖同時運転時 COP

## 2.6 室内環境評価

### 2.6.1 BEMSによる通年室内環境評価

本建物のオフィスエリアを対象に室内環境の実態についてBEMSにより常時計測を行っている。代表点として2008年2月、4月、7月における8階Cゾーンの温度計測データを図-2-40に示す。

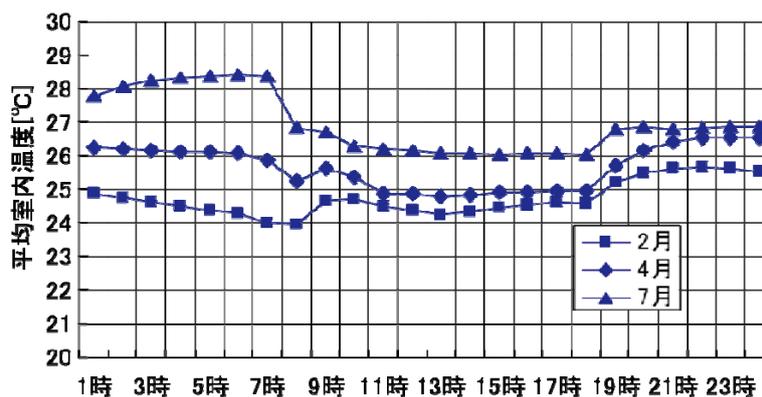


図-2-40 8階Cゾーン月別時刻別平均室内温度

さらに、通年にわたって室内環境計測を行っているもののBEMSでは測定が困難な温度分布や気流などに対して、より詳細な室内環境計測を季節毎に行い以下に評価している。

### 2.6.2 温熱環境、気流環境測定

ビル用マルチパッケージ型空調システムによるタスク/アンビエント空調の室内環境を詳細に評価するため、夏季(2007年8月22日～26日)に温熱・気流環境を測定し、冬季(2008年1月15日～18日)は温熱環境の測定を行った。夏季・冬季ともに、基準階である8階を対象に測定を行った。図-2-41に測定点および測定項目を示す。

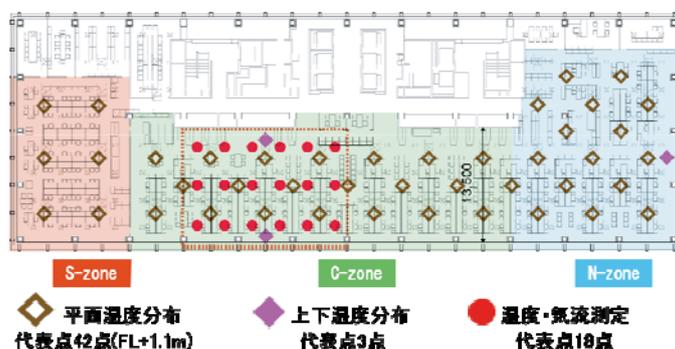


図-2-41 測定項目および測定点

(1) 温熱環境測定結果

① 平面温度分布

図-2-42に2007年8月23日の13時台および2008年1月17日の13時台の平面温度分布を示す。夏季は冬季と比較して平面温度分布がついており、タスクシステムによる局所的な空調効果が確認できた。一方冬季は、空間全体で温度分布は見られず、概ね24℃前後となり、22℃の設計条件に対して2℃程度高い運用で安定していた。

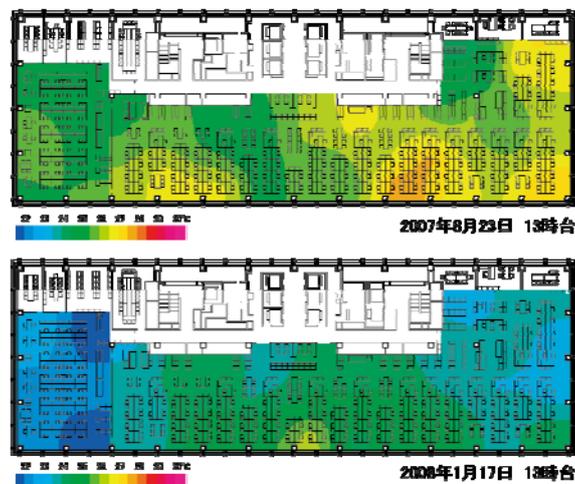


図-2-42 オフィス内平面温度分布

② 上下温度分布

図-2-43に2007年8月23日および2008年1月17日の上下温度分布の測定結果を示す。上下温度の測定点は、FL+0.1, 0.6, 1.1, 1.7mの4点で測定した。

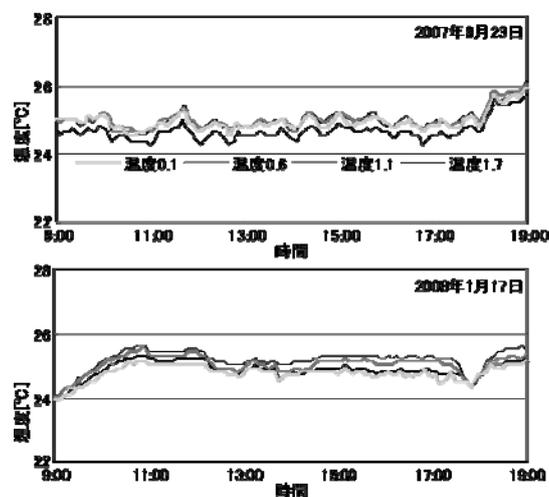


図-2-43 オフィス内上下温度分布

夏季の上下温度差は小さく、実測期間を通して ASHRAE55-2004基準である0.1m と1.7m の温度差は3℃以内を十分に満足していた。冬季は1日の温度変動はあるものの、上下温度差は夏季と同様に3℃以内となり、上下温度差のつきやすい冬期としては、良好な温熱環境と評価できる。

③ タスク系統吹出口給気温度の居住域温度への影響評価

図-2-44に2007年8月22日および2008年1月16日のタスク吹出口温度と居住域 (FL+1.1m) の温度測定結果を示す。夏季および冬季を通じて、室内機のサーモ・オンとともに吹出温度が10℃程度急降下する傾向が見られるが、気流選択型吹出口により居住域への過度なドラフトが避けられ、居住域 (FL+1.1m) の温度環境に大きな影響は見られず、緩やかに空調されていることが分かった。

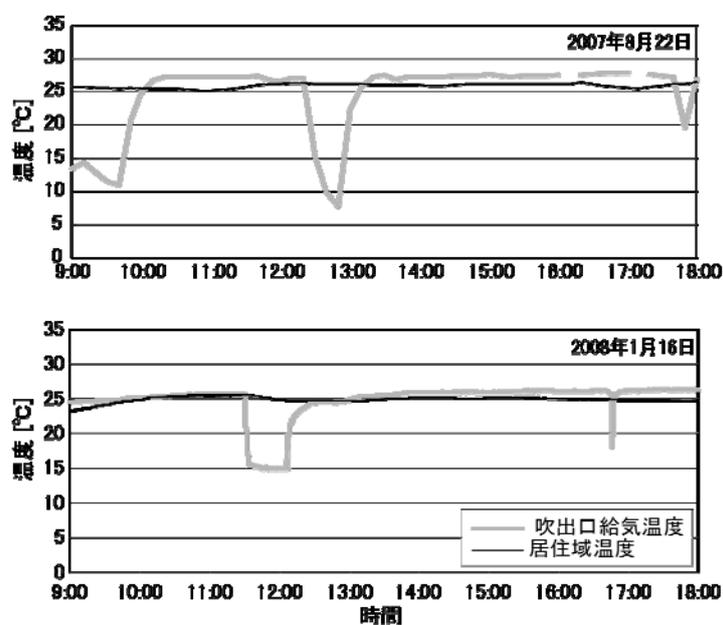


図-2-44 吹出口温度と居住域温度

(2) 気流環境測定結果

① 気流速度分布

冷房による気流を評価するために、夏季の気流分布測定点を図4.2-6に示す。2007年8月22日～25日の実測期間中、平均気流速度はおおむね0.2m/s 以内の静穏気流環境であり、最大でも0.25m/s を下回っていた。また、高さごとの顕著な差は表れなかった。また、同一測定点において、吹出口の形状を拡散モードから指向型気流モードに変更させた測定結果を図-2-45に示す。測定点と吹出口の場所が等しい測定点9における拡散性吹出と指向性吹出の結果を比較すると、居住域の FL+1.1m 近傍で、拡散吹出時は0.1～0.15m/s、指向性吹出時は0.2～0.25m/s となり、おおむね0.1m/s の気流の上昇が見られた。計測中の負荷状況により吹出し

温度が変動し、計画時の居住域0.4m/sには達していないものの、拡散性と指向性との気流選択性で居住域の気流環境への影響が確認できた。

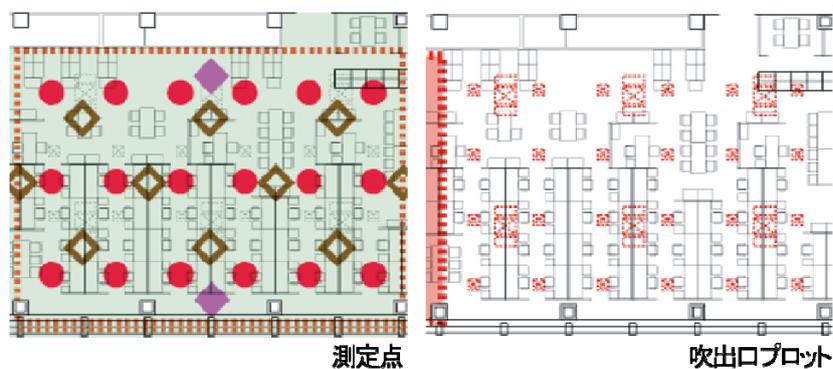


図-2-45 気流分布測定と吹出口との位置関係

② 気流分布性能指標(ADPI)による評価

夏季に測定した空気温度、気流速度より、各測定点における有効ドラフト温度を求め、図-2-46にその分布を示す。また、有効ドラフト温度からADPI(有効ドラフト温度が一定基準を満たす測定点の割合)を求めた結果を表4.2-1に示す。算出に必要な修正空気温度、温度補正などはANSI/ASHRAE Standard 113-20052を参照した。結果よりほぼ全設定点でADPIは90%を超えており、良好な気流環境になっていたことが確認できた。

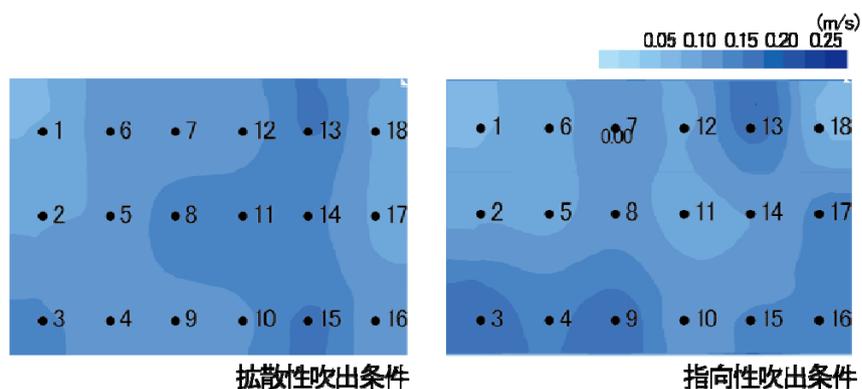


図-2-46 気流分布測定結果

## 2.7 まとめ

ビル用マルチパッケージ型空調システムに対して空気調和・衛生工学会においては質で劣るとの考えが主流であり、従来本格的な研究委員会がなかった。一方で、マーケットではビル用マルチパッケージ型空調システム主流となりつつある。建設会社の自社ビルではショールーム化する傾向があり、中央熱源を基軸とした複雑なシステムとすることが多い。

筆者は、設備設計責任者として敢えてビル用マルチパッケージ型空調システムを採用し、それを高度利用するコンセプトのもと省エネルギーや快適性の向上を目指した。Aビルに適應するにあたり、適切なシステム構築により、省エネルギー性も室内環境も中央熱源空調方式と比較遜色が無いシステム構築を目指した。その予測に対してコミッシング計画に対応したBEMSを構築し、性能検証を実践した。初年度のイニシャルコミッシングのみならず、継続的なコミッシング活動を実施している。ビル用マルチパッケージ型空調システムの能力推定値を継続的に出力する仕組みを構築し、BEMSに継続的に収集、高度化設計の予測に対して検証を実施した。これはビル用マルチパッケージ型空調システムの性能検証の先駆例として空気調和・衛生工学会技術賞受賞などにおいて評価されている。

本章におけるコンプレッサーカーブ法による性能評価に関する研究では、ビル用マルチパッケージ型空調システムを用いた建物において、空調システムCOPを向上させる工夫を行い、年間にわたる性能評価を実施し、以下の知見を得た。

- 1) アンビエント系統の平均負荷率は約26%、タスク系統の平均負荷率は36%であり、いずれもさらに負荷率を向上させる余地があることが確認できた。アンビエント系統は外気処理のため、給気温度制御サーモオフにも関わらず送風機の稼働時間が長いことなどにより相対的にシステムCOPが低くなる。一方、タスク系統は人感センサによるOn/Offの効果もあり、負荷率が高くなっている。しかし、設計計画、装置負荷を適切に小さくするなど両系統共にさらなる負荷率向上の工夫が必要である。
- 2) コンプレッサーカーブ法による対象建物全体における年間システムCOPは、二次エネルギー基準2.18であり、この数値は二次側空気搬送動力も含めた年間システムCOPとして高い数値と言えるが、暖房期のシステムCOPの向上、および外気処理を主体とするアンビエント系統の年間システムCOP向上が今後の課題である。暖房のCOPは、冷房時と比較して約半分程度の数値となっており、圧縮機そのものの性能向上が必要である。外気処理機については圧縮機の制御の工夫の改善が求められる。
- 3) 設計における機器選定の余裕率が過大に設定される傾向があり、それに伴う非省エネルギー運転となっていることが確認された。妥当な余裕率の設定が省エネルギー上重要であることが確認された。省エネルギー性や快適環境の実現は確認できたが、設計条件や分散熱源であるため、過大な容量設定により非省エネ運転が課題であることが確認された。

### 3. 空調設計条件および機器選定の余裕率による 省エネルギー・温熱環境への影響

### 3. 空調設計条件および機器選定の余裕率による省エネルギー・温熱環境への影響

#### 3.1 研究の目的

2章においては機器選定が過大であることが非省エネルギー運転の原因となっていることが確認された。これを受けて、モデル建物に対してビル用マルチパッケージ型空調システムのシミュレーションツールにより、負荷計算条件や機器選定の安全率などを変化させ、その省エネルギー性能や温熱環境への影響、ならびにイニシャルコストの変化を評価した。エネルギーの側面のみならず、室内温度を中心とする居住環境への影響について同時にかつ総合的に評価を行った。ケーススタディを通じて今後の空調計画条件のあるべき方向性を示した<sup>17)18)</sup>。

#### 3.2 検討概要

図-3-1にシミュレーションを中心とする検討フローを示す。室内発熱密度を変化させた各ケースにおいて、ピーク負荷の算出と装置容量の設定、時刻別年間負荷の算出、室内温度の算出、エネルギー消費量の算出、およびイニシャル・ランニングコストを算出した。なお、ピーク負荷計算は、MicroPEAK2010を用いた。

選定された装置容量より、時刻別の年間熱負荷計算を行った。外気処理方法はシステム容量算出に影響が大きいことから、全熱交換器と外気処理空調機の2方式に分けて検討を実施した。この計算結果を用いて、装置容量が不足による、未処理負荷が発生する場合の室内環境状態およびその時間数の評価を行った。

同時に年間熱負荷計算結果を境界条件として、LCEM ツール Ver. 3.0<sup>19)</sup>を利用してエネルギー消費量を算出し、エネルギー性能についての評価を行った。

最後に、算出されたエネルギー消費量よりランニングコストとイニシャルコストの評価を行い、総合評価を実施した。

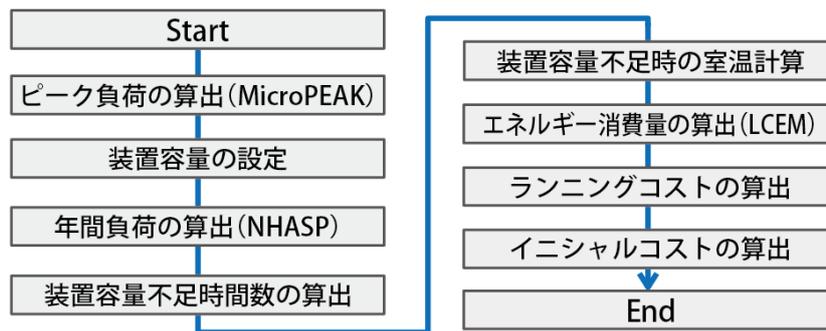


図-3-1 検討フロー

### 3.3 検討モデルと計算条件

#### 3.3.1 建物概要、空調システム概要

検討対象とした建物は、2章同様 A ビルであり、ビル用マルチパッケージ型空調システムが採用されている<sup>8)</sup>。図-3-2に基準階平面図を示す。基準階フロアは、6つのゾーンに分かれており、その各ゾーンにビル用マルチパッケージ型空調システムの室外機が1つ設置されている。それらのゾーンはさらに6つのエリアに分かれており、各エリアに1つの室内機が設置されている。なお、各ゾーン間、各エリア間に間仕切り壁は設定していない。計算対象としたのは基準階1フロアであるが、一部評価はそのうちDゾーンを中心に行っている。

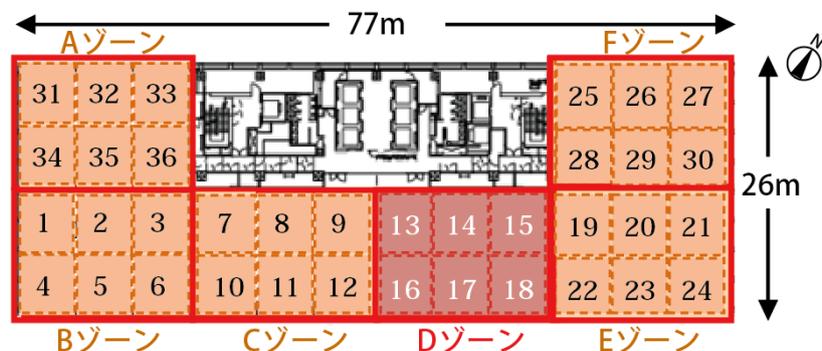


図-3-2 基準階平面図

表-3-1に運転条件を示す。平日は通常運転、土日曜は運転停止とした。外気は、東京の標準気象データ(1990年代)を用いた。

各内部発熱のスケジュールデータを表-3-3に示す。年間熱負荷計算では、ピーク負荷計算の内部発熱スケジュールに対し、実績値などに配慮して発熱量を抑えるよう見込むことが多い。本研究では発熱密度の実態値を想定し、抑えた。

例えば、ペリメータ12番とインテリア9番の間で非空調時間帯に0.5回/h換気されることとした。ただし、コーナー部の4~5番、23~24番、26~27番、ならびに31~32番は計算上ペリメータ間での換気とした。

表-3-1 空調運転条件

	設定温度 [°C]	設定湿度 [%]	絶対湿度 [g/kg]	予熱時間	運転時間
冷房設定	26	50	10.6	1 時間	9:00 ~ 19:00
暖房設定	22	40	6.6	2 時間	9:00 ~ 19:00

表-3-2 負荷計算スケジュールデータ(ピーク・年間計算共(%))

時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
照明	冷房	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	50
	暖房	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	25
人体	冷房	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	50
	暖房	0	0	0	0	0	0	0	25	25	25	13
機器	冷房	20	20	20	20	20	20	20	100	100	100	75
	暖房	5	5	5	5	5	5	5	25	25	25	6.3
室間換気	50	50	50	50	50	50	50	50	0	0	0	0

時刻	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
照明	冷房	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0
	暖房	50	50	50	50	50	50	0	0	0	0	0
人体	冷房	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0
	暖房	25	25	25	25	25	25	0	0	0	0	0
機器	冷房	100	100	100	100	100	100	20	20	20	20	20
	暖房	25	25	25	25	25	25	5	5	5	5	5
室間換気	0	0	0	0	0	0	50	50	50	50	50	50

### 3.4 余裕率と内部発熱密度についての考察

2章において、機器選定に相当な余裕があり、それが非省エネルギーに繋がっていることが分かった。ここでは、主に内部発熱の性能検証による分析例を示すことで適切な余裕とすることの重要性を示唆することを目的にまとめた。

#### 3.4.1 機器選定上の余裕について

- ① 内部発熱条件を過大に設定(コンセント・照明)
- ② 在室人員を最大に想定
- ③ 機器選定上能力補正以上にも単純な安全率など、さまざまな余裕を見込む

このうち①照明による発熱や、コンセント負荷など内部発熱条件の実態については次節3.4.2で述べる。②在室人員については在席率の実態について事例として2.4.3にて示した。ここでの在席率は30%程度であったが、一般には空調負荷計算では100%見込んでいる。実際にオフィスに在館した場合においても、人は会議室、食堂、リフレッシュコーナーなど移動するので過大であることが考慮される。③は単純に安全を見込むことが設計の習慣となっているが、省エネルギー上必ずしも大は小を兼ねない実態が理解されていないことも背景にある。

これらいずれも全てにわたって余裕率が過大となっていることが非省エネルギー運転の原因となっている主な課題である。室内熱負荷計算における余裕にはその他、外界気象条件における余裕などがあげられる。

#### 3.4.2 内部発熱密度の実態把握について

##### (1) Aビルにおける内部発熱の分析

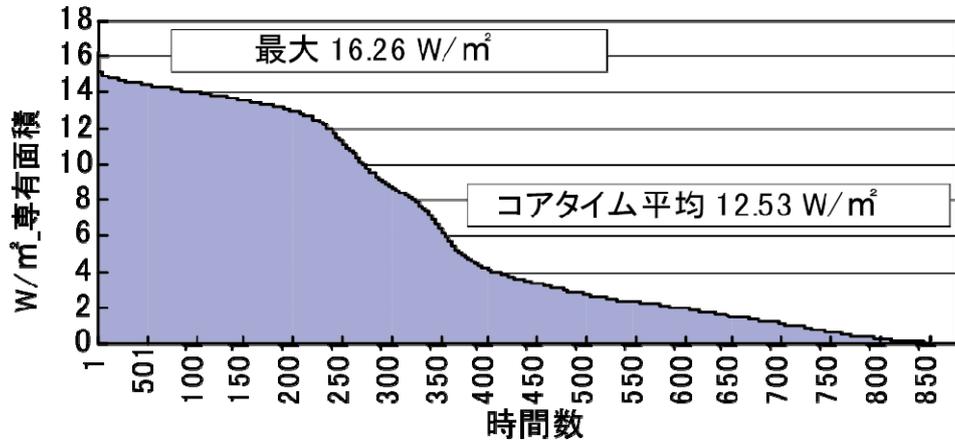
Aビルにおいては、建物全体での用途別のエネルギー消費量実態を評価した。オフィス専有部における照明、OAコンセント、その他コンセント、空調動力の電力消費量の実績値を図-3-3～図-3-6に示す。OAコンセントの負荷内容は、専有部における事務関連機器のパソコン、FAX、プリンタ等であり、その他コンセントの負荷内容は、電動ブラインド、室内機、プロジェクタ、壁付コンセントである。空調動力については、空調タスク系統及びアンビエント系統の室外機合計電力消費量である。なお、ここでは、基準階1フロアだけではなく、オフィス専有部分全体(2階～9階)でのエネルギー消費量の分析を行っている。

照明(Hf 蛍光灯)の最大値は約17W/m<sup>2</sup>専有面積であり、コアタイムの平均値は約13W/m<sup>2</sup>専有面積であった。また、OAコンセントの最大値は、約11W/m<sup>2</sup>専有面積、コアタイムの平均値は約9W/m<sup>2</sup>専有面積、その他コンセントにあっては、最大5W/m<sup>2</sup>専有面積、コアタイムの平均でも約3W/m<sup>2</sup>専有面積であった。いずれも季節間の影響は少なく、照明コンセントの負荷変動は、人員の変動が生じる夜間や休日に生じている。特に深夜や休日等の人のいない時間帯で

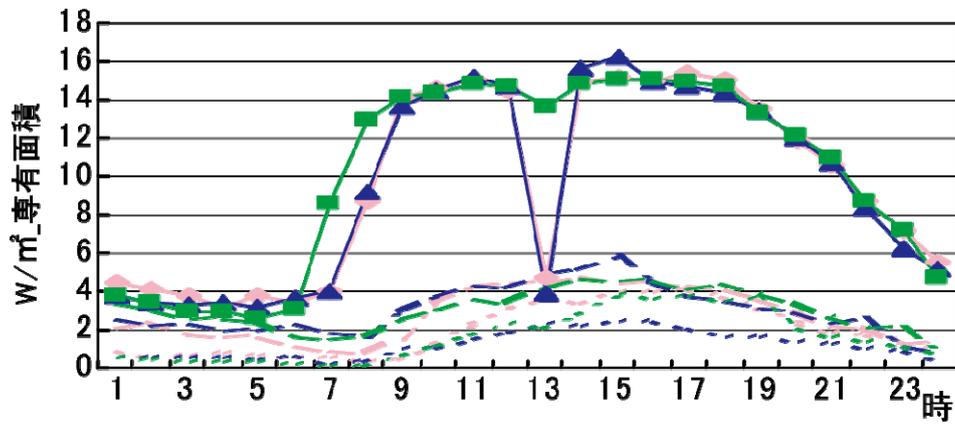
はコンセント系で合計約3W/m<sup>2</sup>専有面積、照明約2W/m<sup>2</sup>専有面積の電力が消費されており、事務関連機器の待機電力の大きいことが分かる。照明では、昼の一斉消灯および人感センサ連動による On/Off 及び調光制御の影響により、若干の電力消費量の削減が見られた。空調動力は、季節、昼、夜及び空調立ち上がり時間により大きく変動しており、その最大値は、冬季連休明けの立ち上がりに生じていた。空調装置選定用負荷設計条件は、照明20W/m<sup>2</sup>専有面積、コンセント30W/m<sup>2</sup>専有面積としていたが、運用の最大値において余裕があり、その設計値に対する割合は、照明で約81%、OA コンセントで約36%であった。

図-3-7にオフィス専有部床面積あたり消費電力発生頻度分布を示す。照明では14W/m<sup>2</sup>専有面積、コンセントでは9W/m<sup>2</sup>専有面積を中心とした分布と、照明・コンセントともに3W/m<sup>2</sup>専有面積以下に集中した分布と大きく2つの傾向に分類できる。

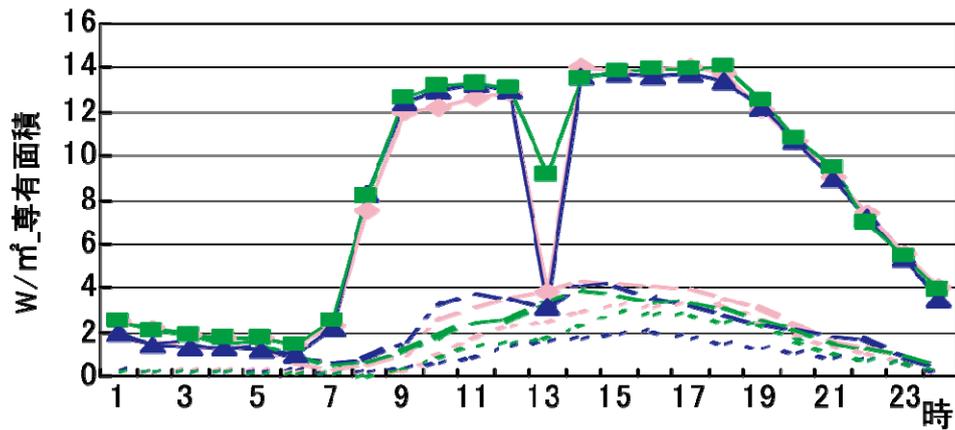
一方で、空調動力は14W~24W/m<sup>2</sup>専有面積を中心とした頻度分布を示しており、これらは定格電力消費量の17~29%の分布である。また、4W/m<sup>2</sup>専有面積以下の分布も非常に多くなっているが、これらは、圧縮機非稼働時の夜間におけるクランクケースヒータの起動及び換気運転時のファン動力となっている。特にクランクケースヒータについては、夏季はほとんど不要であると思われるが、夏季の夜間の電力消費量が多いことから、空調機器の待機電力についても削減に向けた努力が重要であることがわかる。



降順グラフ



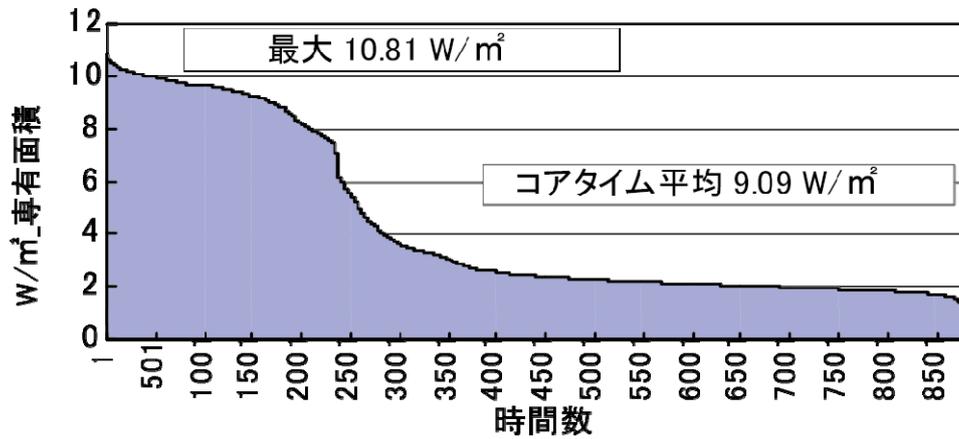
時刻別最大値



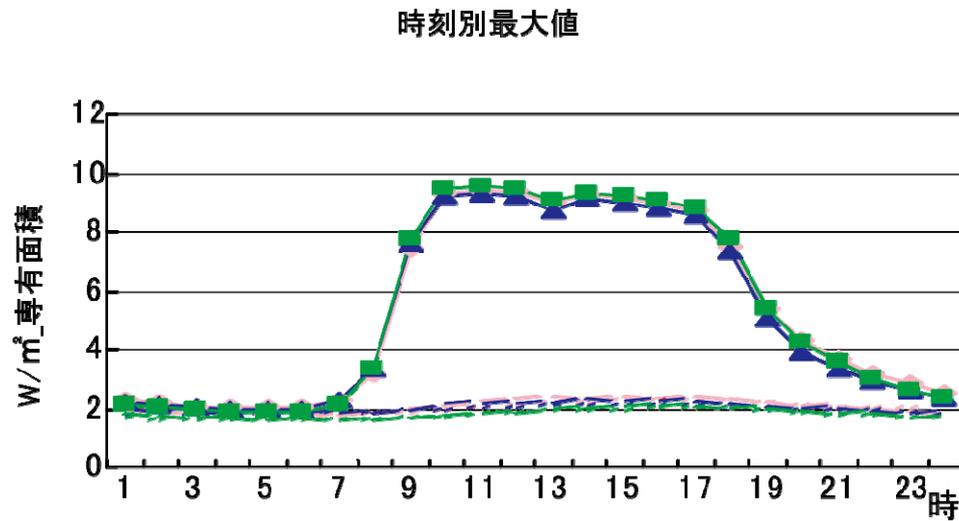
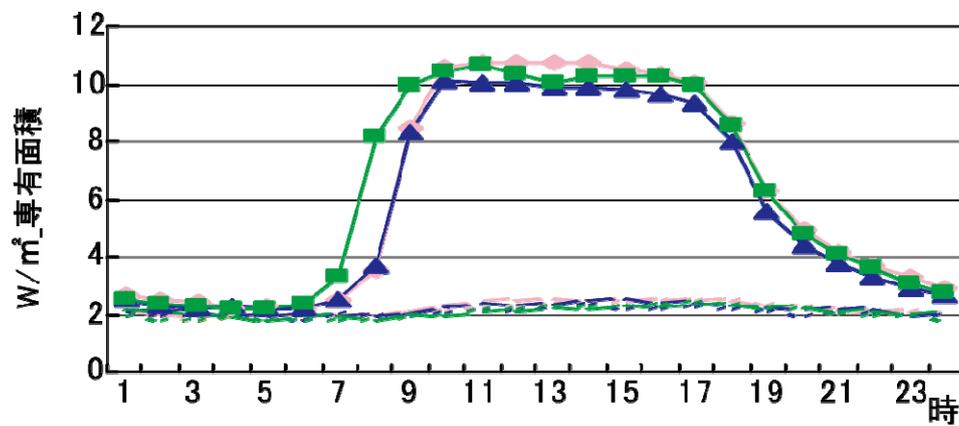
時刻別平均値

凡例	2月平日	2月土曜	2月日曜
	—●—	- - -	...
	—▲—	- - -	...
	—■—	- - -	...

図-3-3 オフィス専有部分のエネルギー消費実績\_照明

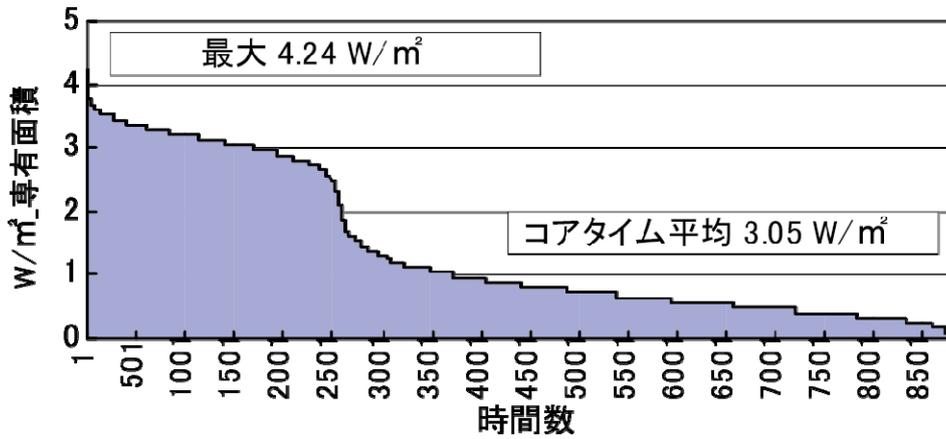


降順グラフ

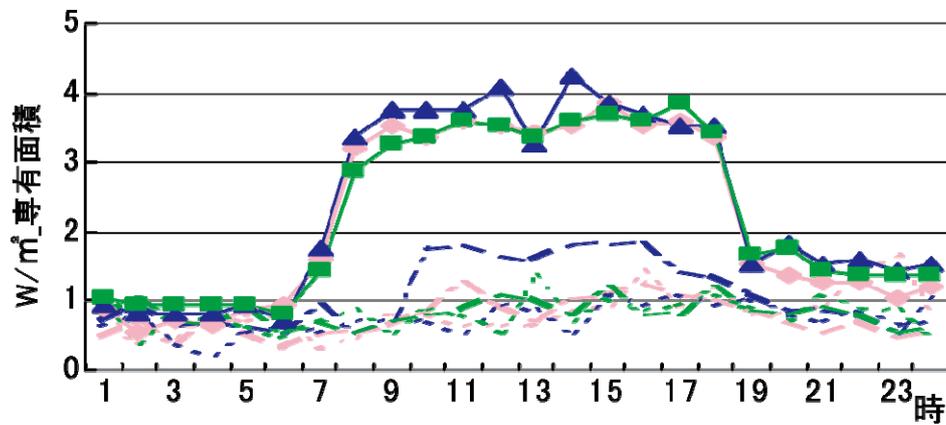


凡例	2月平日	2月土曜	2月日曜
	7月平日	7月土曜	7月日曜
	11月平日	11月土曜	11月日曜

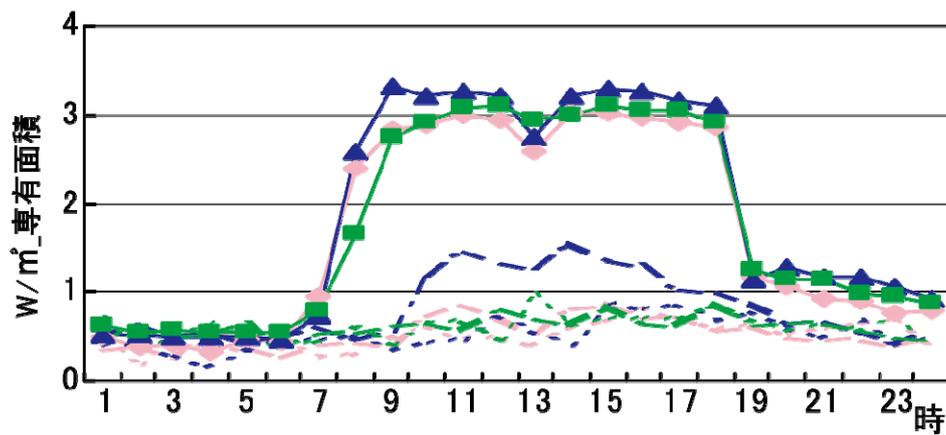
図-3-4 オフィス専有部分のエネルギー消費実績\_OA コンセント



降順グラフ



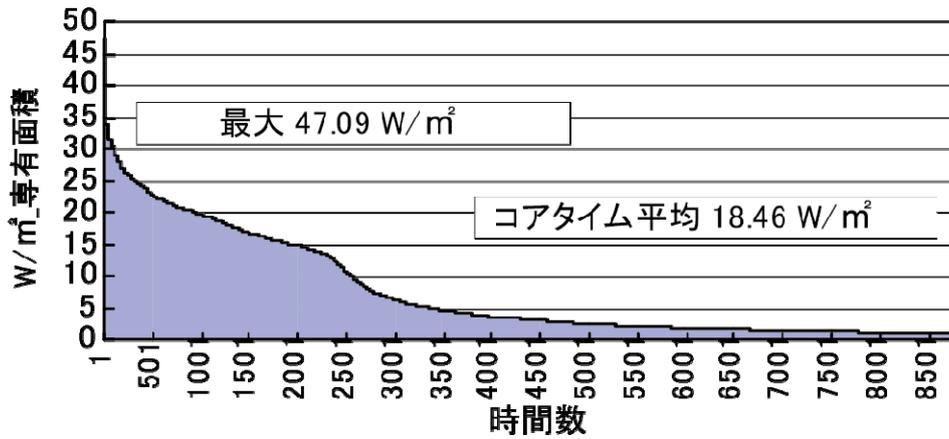
時刻別最大値



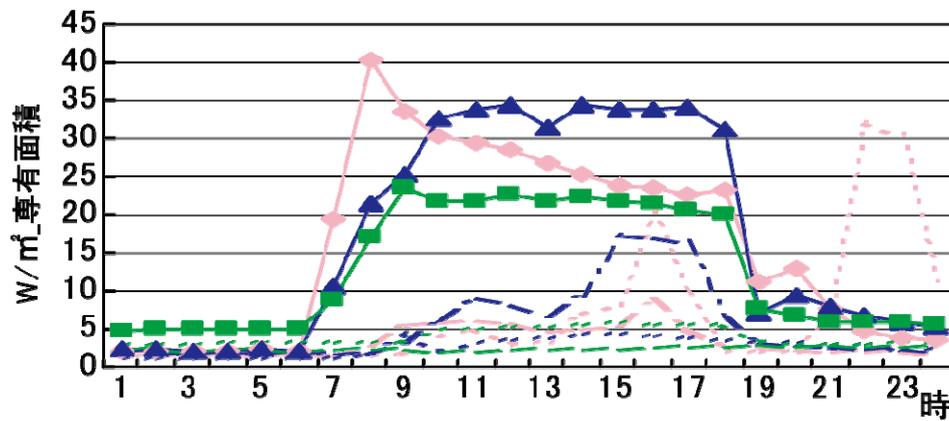
時刻別平均値

凡例	2月平日	2月土曜	2月日曜
	—●—	- - -	⋯
	—▲—	- - -	⋯
	—■—	- - -	⋯

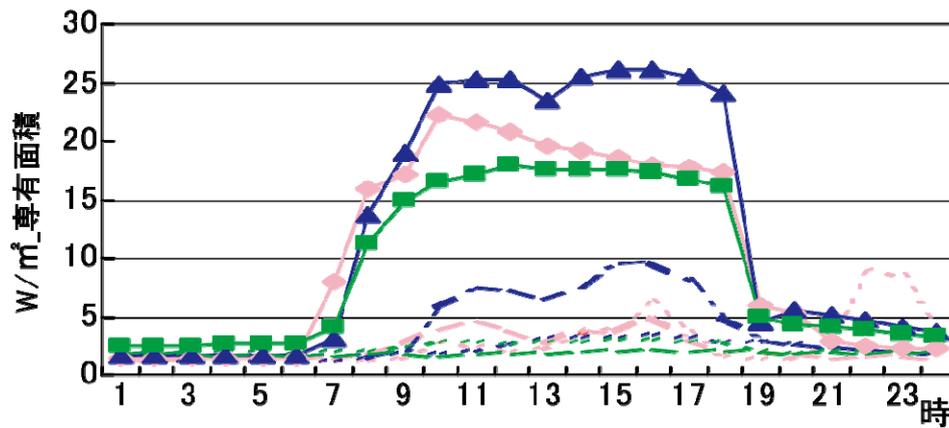
図-3-5 オフィス専有部分のエネルギー消費実績\_その他コメント



降順グラフ



時刻別最大値



時刻別平均値

凡例					
—○—	2月平日	---○---	2月土曜	---○---	2月日曜
—▲—	7月平日	---▲---	7月土曜	---▲---	7月日曜
—■—	11月平日	---■---	11月土曜	---■---	11月日曜

図-3-6 オフィス専有部分のエネルギー消費実績\_空調動力

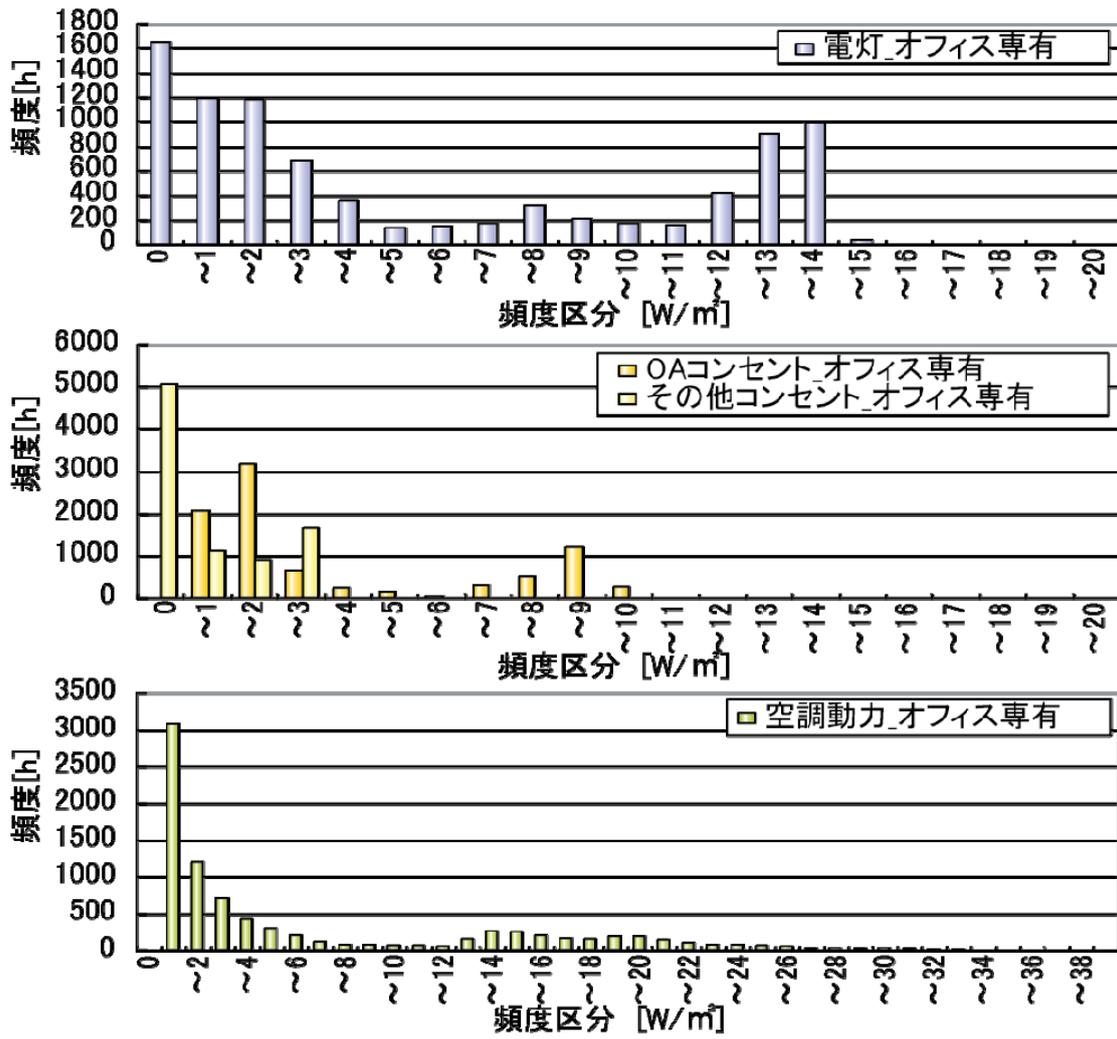


図-3-7 オフィス専有部床面積あたり消費電力発生頻度分布

(2) Bビルにおける内部発熱の分析

Bビル<sup>20)</sup>における2003年6月～2004年5月の1年間のオフィス専有部内の照明およびコンセント消費電力の実績値を図-3-8～図-3-11に示す。Bビルの概要を表-3-3、表-3-4に示す。Bビルは地域熱源を受け入れるビル用マルチパッケージ型空調システムであるが、オフィスの内部発熱については、共通する実態と考えて分析・評価した。照明とコンセントは一般に同一の分電盤から供給されることが多く、消費電力を区分して計量することは困難であるが、Bビルオフィスでは空調負荷に関わるこれらの電力消費実態を明らかにするため、それぞれ別々に計量し、毎時の積算値としてBEMSで収集・記録するよう計画している。

“照明”はベース照明のみが対象であり、標準としてHf型高効率照明器具(設計照度700Lx)に調光システムを採用している。“コンセント”は0Aフロアから専有部内へ供給された合計の電力量である。

図-3-12から、照明・コンセント共、消費電力の発生に時間的なばらつきと空間的なばらつきが大きく表れていることが分かる。なお、A階は受付や会議室、B階は一般事務室、C階はコールセンター、D階は役員関係諸室となっている。特にコンセント消費電力はフロア間のばらつきが非常に大きく、最も負荷密度の高いC階で最大16.4W/m<sup>2</sup>、専有部全体では最大8.5W/m<sup>2</sup>となっている。照明はコンセントと比較すると安定しており、専有部全体で最大15.6W/m<sup>2</sup>となっている。これらを総合した専有部全体の照明+コンセントでは、最大23.4W/m<sup>2</sup>となっており、TE-21の実績値に非常に近い実績であった。照明では、仕様変更を行った一部の階で設定した負荷条件を上回っているが、照明+コンセントでは、空調室負荷計算条件にはまだ十分な余裕があることが考察される。

① オフィス電力消費量

計画時に想定したオフィス床面積当たりの最大消費電力43.1W/m<sup>2</sup>に対して、実績値は34.5W/m<sup>2</sup>であった(図-3-11)。計画時に想定した需要率が実態よりも大きかったことも考えられ、実績値は想定値をおよそ20%下回っている。

表-3-3 Bビルの建築概要

■建築	
主用途	オフィス、ホテル
所在地	東京都港区
敷地面積	15,659m <sup>2</sup>
	延床面積 79,819.38m <sup>2</sup>
	オフィス専有部分 34,503.81m <sup>2</sup>
	ホテル専有部分 26,430.96m <sup>2</sup>
	共用部分 17,107.90m <sup>2</sup> (駐車場含む)
階数	地下4階/地上38階
最高高さ	172m
構造	S造(CFT構造)
竣工	2003年4月



写真-3-1 Bビル外観

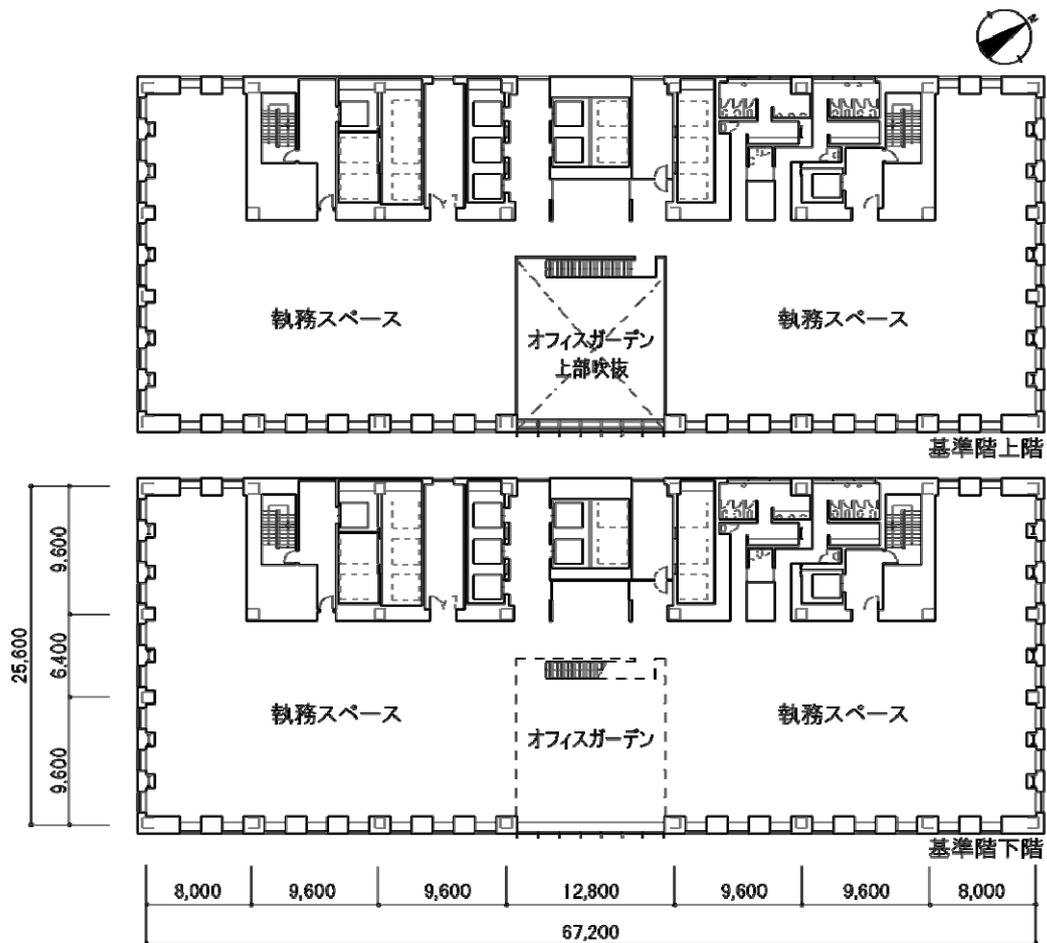


図-3-8 オフィス基準階平面図

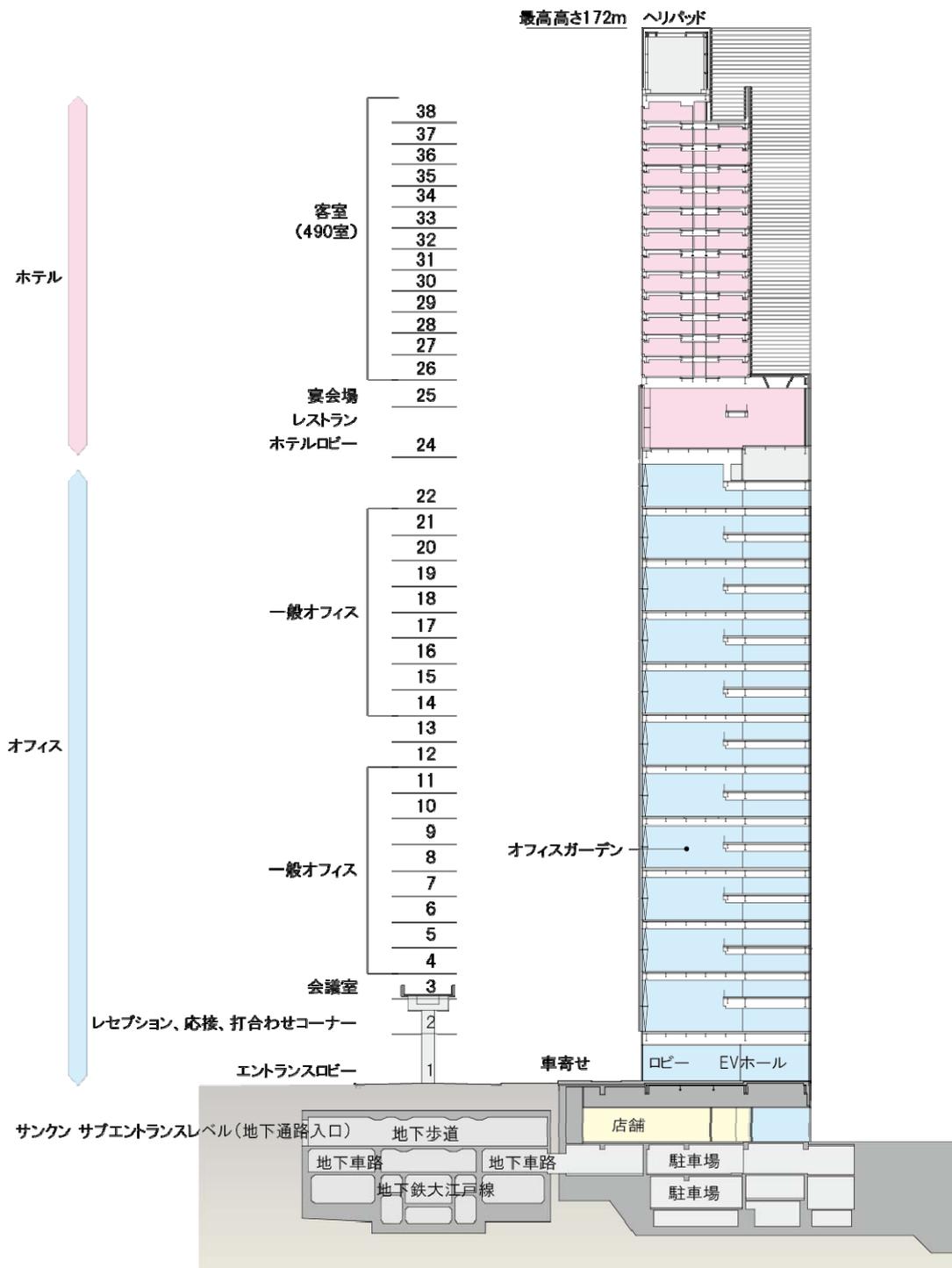
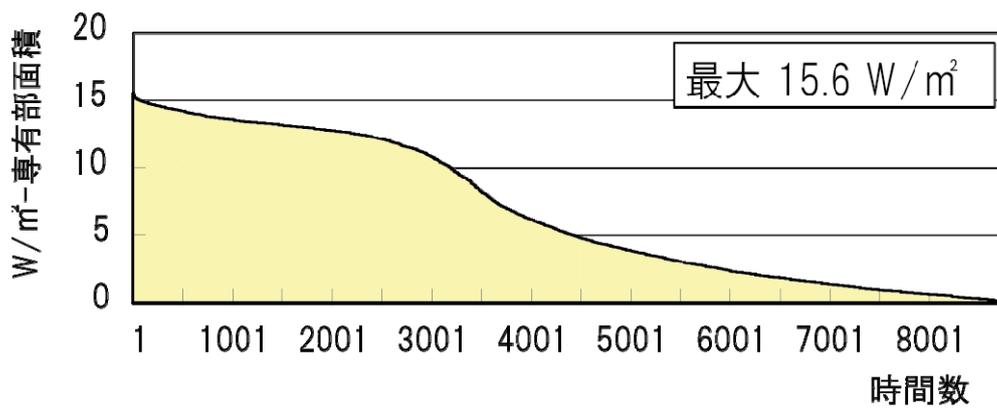
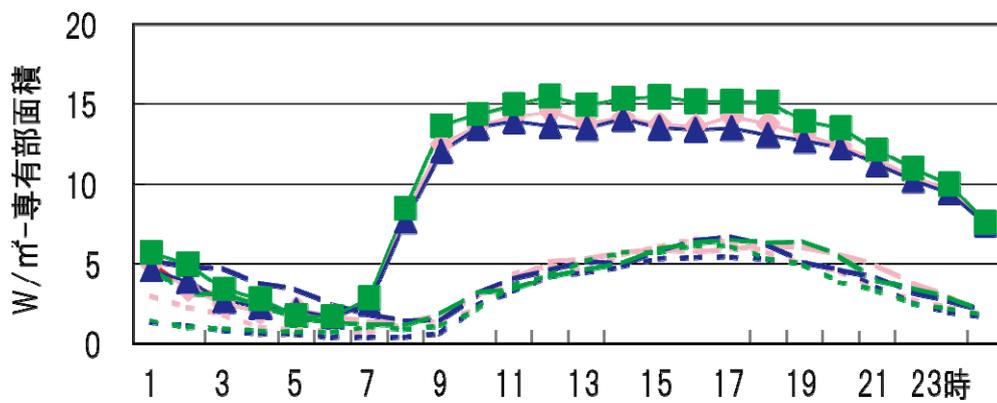


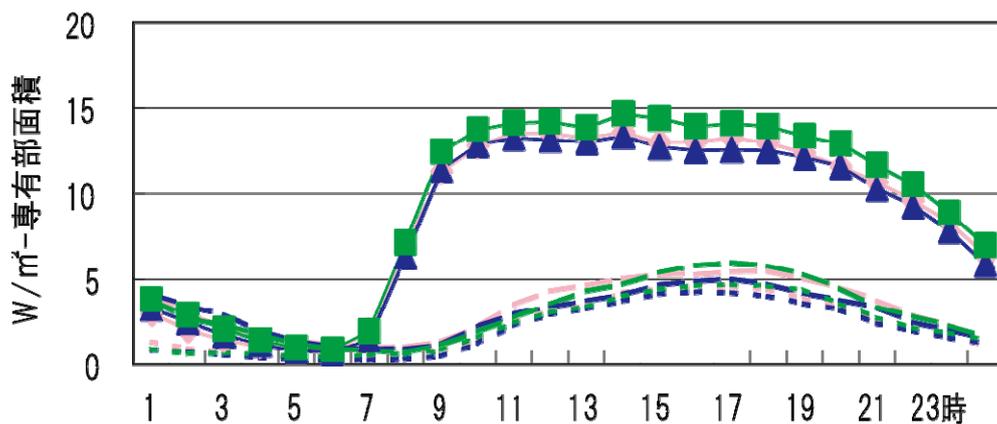
図-3-9 断面構成



降順グラフ



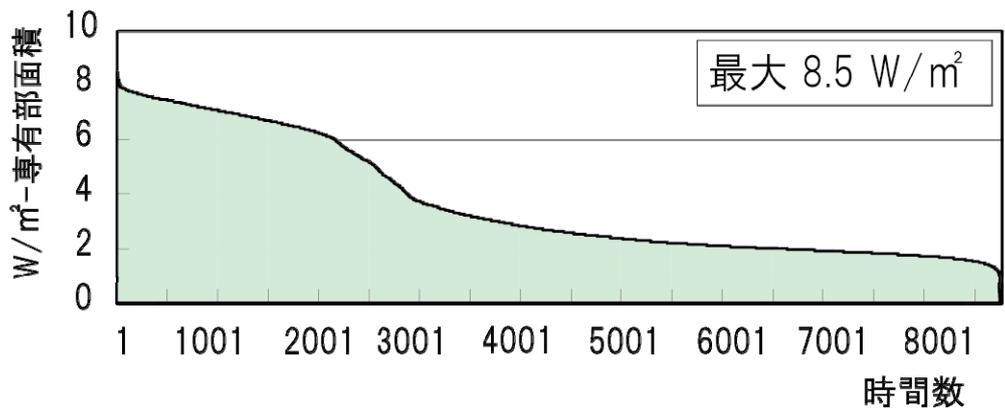
時刻別最大値



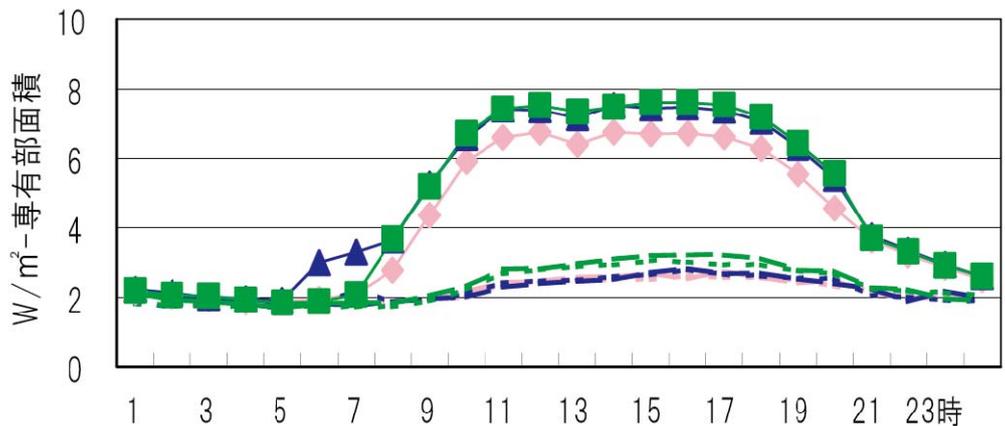
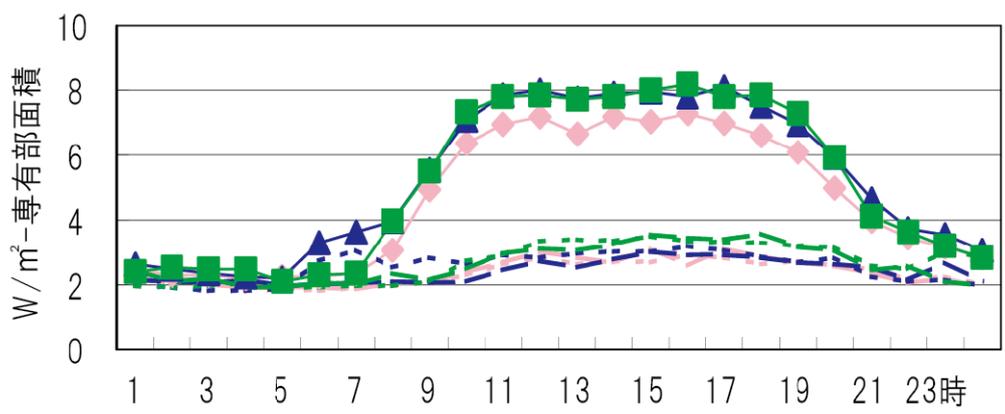
時刻別平均値

凡例	2月平日	2月土曜	2月日曜
	—●—	- - -	...
	—▲—	- - -	...
	—■—	- - -	...

図-3-10 時間当たりオフィス照明消費量実績(2003.06~2004.05)

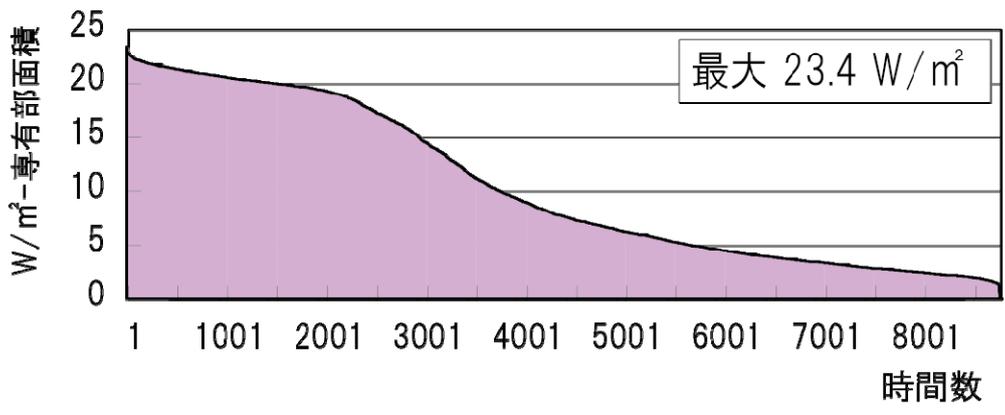


降順グラフ

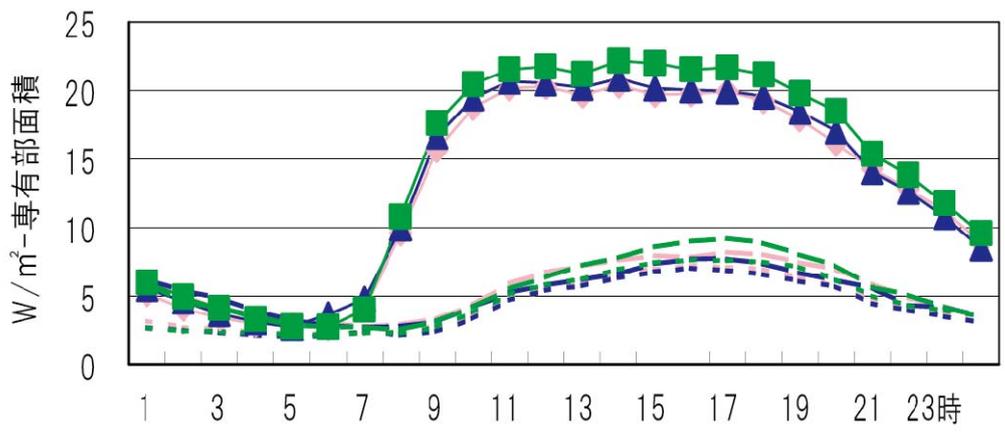
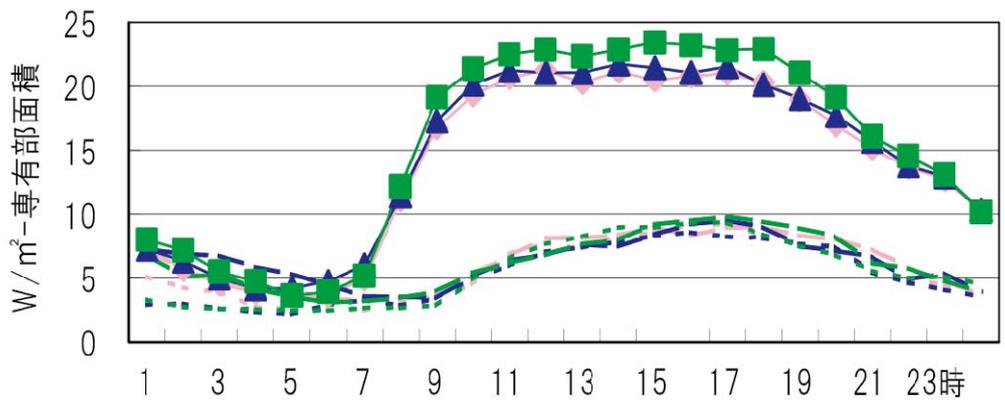


凡例	2月平日	2月土曜	2月日曜
	—●—	- - -	...
	—▲—	- - -	...
	—■—	- - -	...

図-3-11 時間当たりオフィスコンセント消費量実績 (2003. 06~2004. 05)

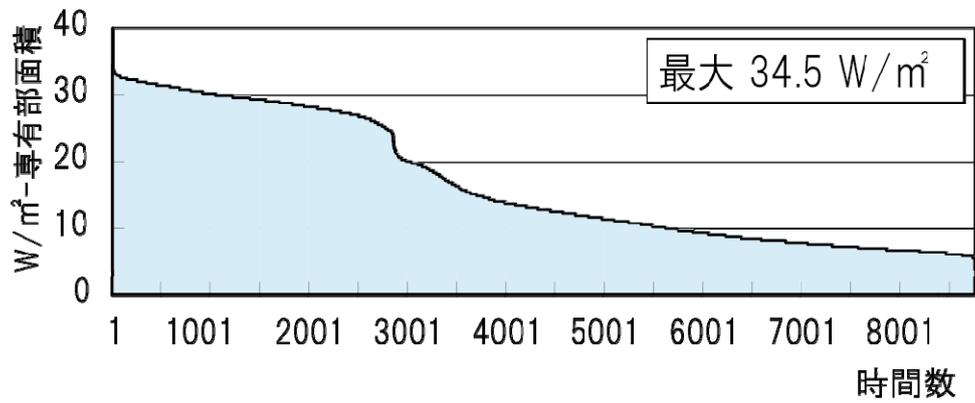


降順グラフ

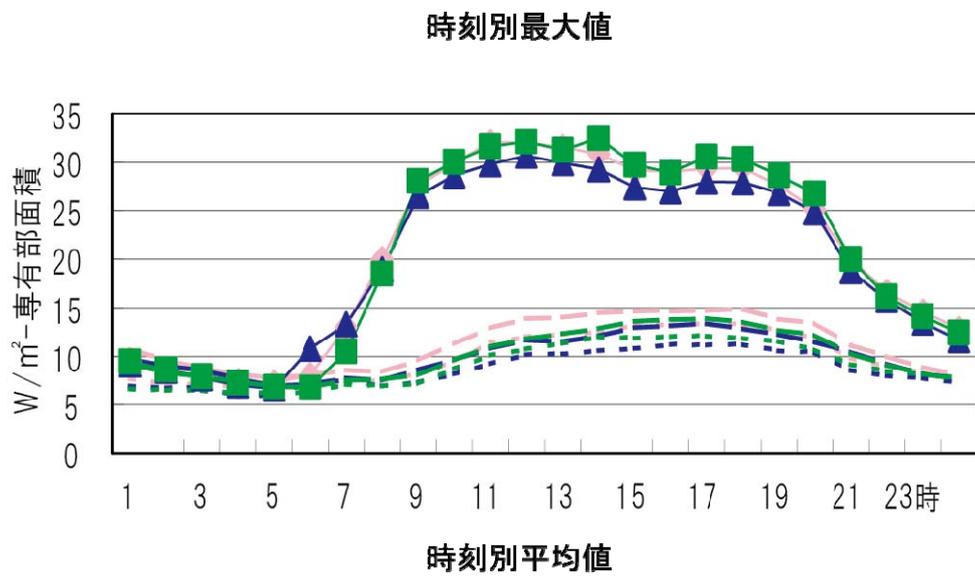
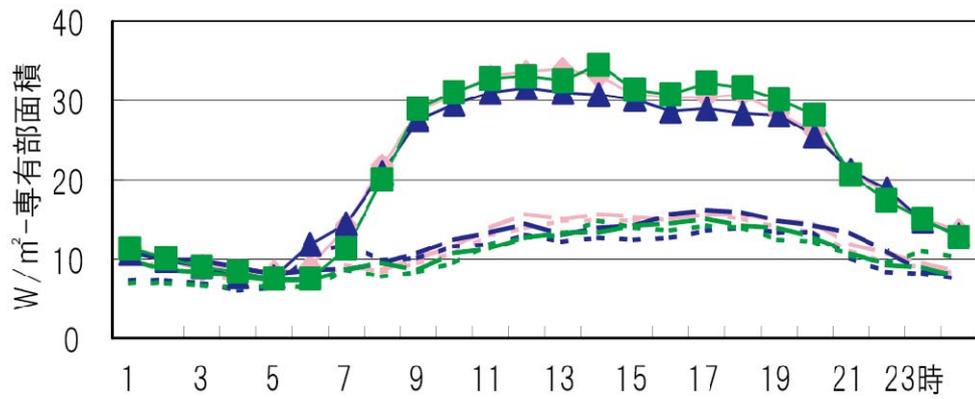


凡例	—○—	2月平日	---○---	2月土曜	...○...	2月日曜
	—▲—	7月平日	---▲---	7月土曜	...▲...	7月日曜
	—■—	11月平日	---■---	11月土曜	...■...	11月日曜

図-3-12 時間当たりオフィス照明・コンセント消費量実績(2003.06~2004.05)



降順グラフ



凡例	2月平日	2月土曜	2月日曜
	—●—	- - -	· · ·
	—▲—	- - -	· · ·
	—■—	- - -	· · ·
	—●—	- - -	· · ·
	—▲—	- - -	· · ·
	—■—	- - -	· · ·

図-3-13 時間当たりオフィス電力消費量実績(2003.06~2004.05)

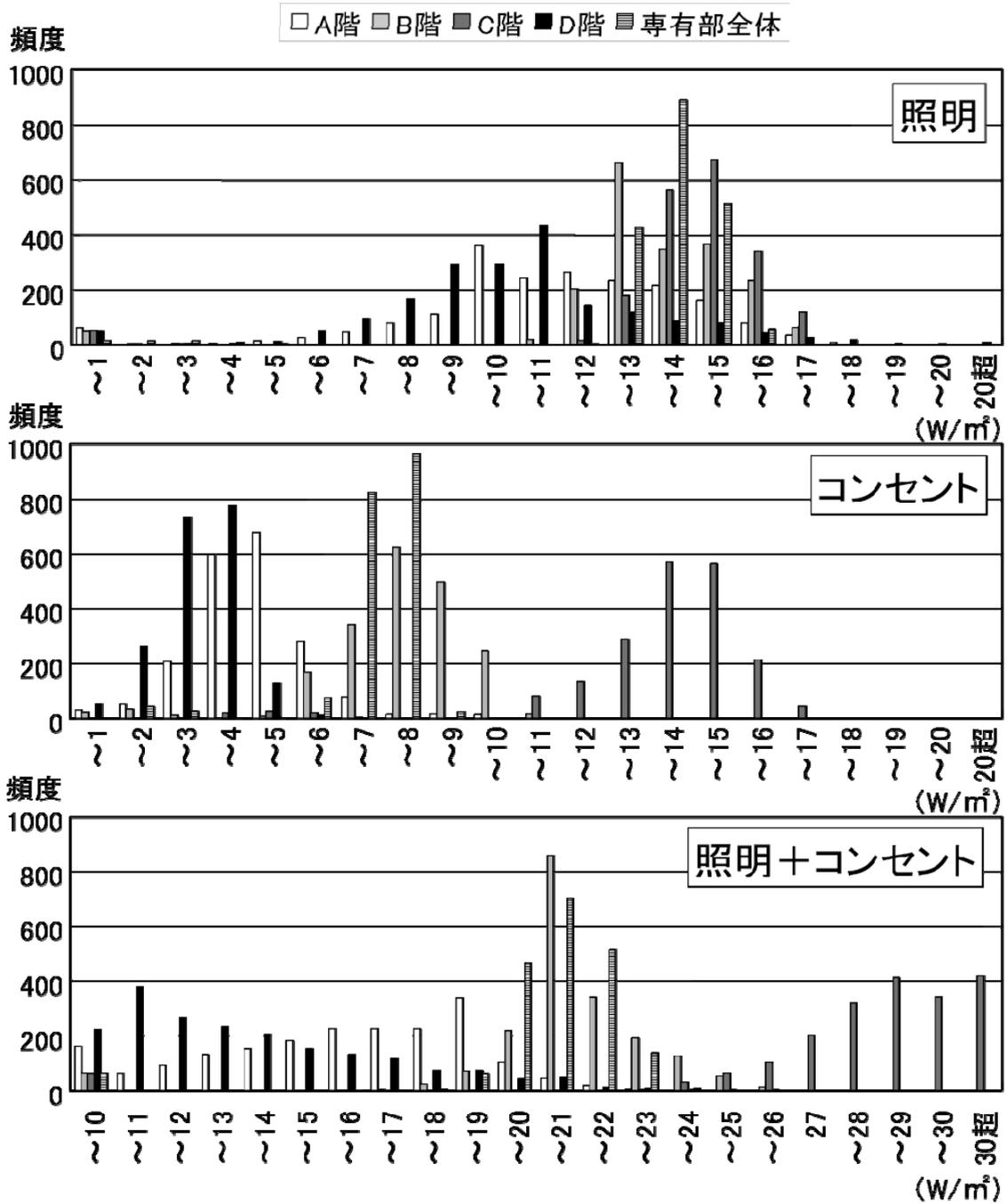


図-3-14 代表階およびオフィス全体の専有部床面積当たり消費電力発生状況  
(平日10~17時)

(3) 東日本大震災前後における建物エネルギー消費量の変化について

Aビルにおいては東日本大震災以降緊急節電対応を実施し、2010年3月～2011年2月を「節電前」、2011年3月～2012年2月を「節電後」として、用途毎の電力消費量の推移を分析し、両者の比較評価を行った。夏季と冬季のピーク日(電力デマンド発生日)における時刻別・項目別の電力消費量推移から、照明の削減による効果が大きいことを把握した。空調設備などに配慮し、設定温度を変えずに外気導入量低減を行ったが、電力消費量の削減効果は微小であった<sup>21)</sup>。

節電前後の夏季および冬季のピーク電力量の変化を図-3-15に示す。

節電後の1時間夏季ピーク電力量(2011年8月10日11時)は、節電前の夏季ピーク電力量(2010年8月10日11時)と比較して26%削減された。削減比率は、共用部照明が85%と最も削減され、次に専有部照明41%、次いでコンセント電力24%や空調動力が削減された。

冬季ピークの時刻別消費電力量変動は、節電前、節電後共に朝の立ち上げ時間9時に最大値が生じており、その後減少している。節電前の冬期空調運用は電力デマンド値抑制のため深夜に空調を部分運転していたが、節電後は、省エネルギーに配慮して深夜空調運転の運用は実施しなかった。その結果、夏季最大電力量よりも冬季の方が大きくなった。ビル用マルチパッケージ型空調システムは冬季の立ち上がり時に最大電力量を消費する傾向があり、節電運用にあたっては暖房立ち上げ運転の工夫が重要であることが分かった。

節電前後の年間消費電力量の比較を行った。年間消費量比較を図-3-16に示す。節電後の年間消費電力量は全体で21%削減となった。削減率の大きい項目は、60%削減の共用部照明、30%削減の専有部照明・コンセント電力と大きくなっている。一方、専有部空調は12%削減と全体削減率よりも小さかった。また、対象建物は社員食堂があり厨房関連が節電運用により大きな電力量削減効果が得られた。

節電前の要素別の比率は、夏季ピーク時は空調動力が40%、専有部照明が20%と多くを占めていたが、節電後は、専有部照明が15%と大きく減少し、空調動力が41%と最大となっている。



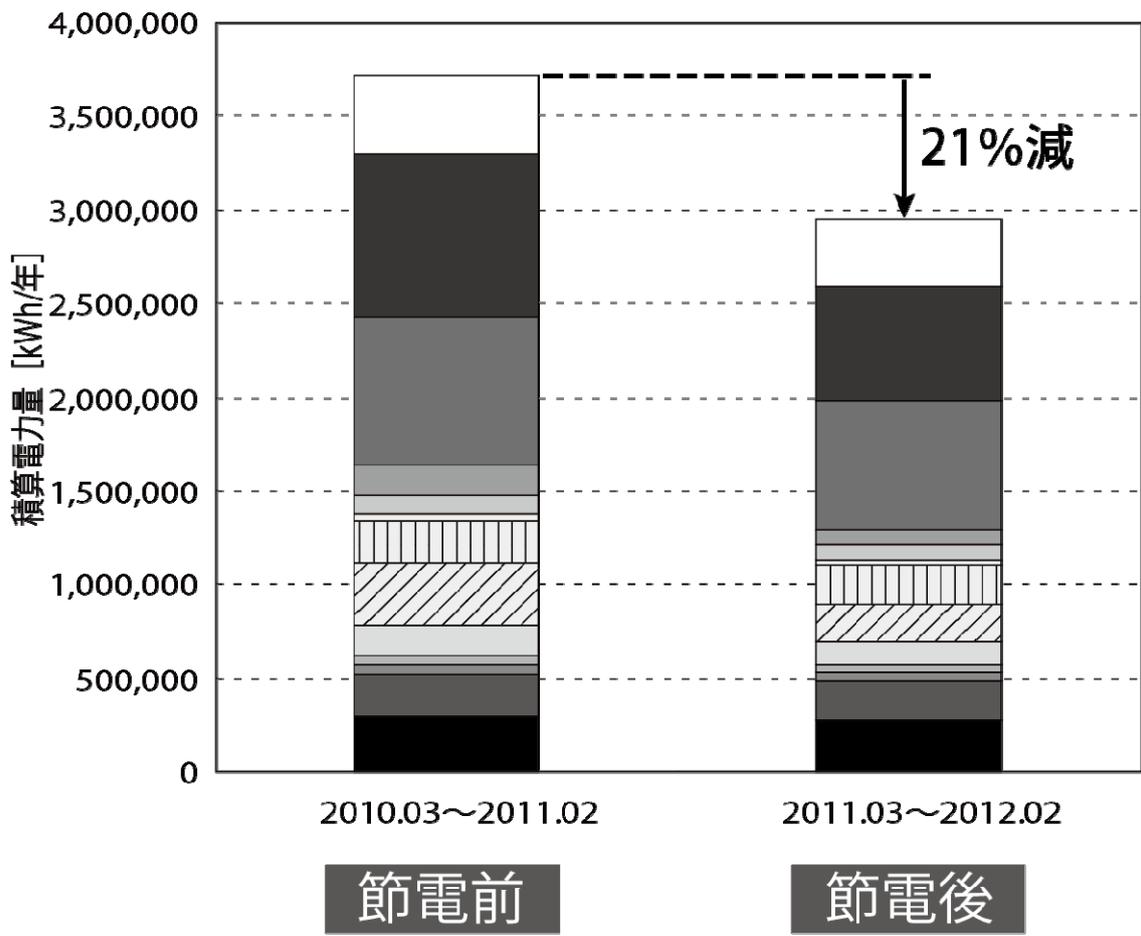
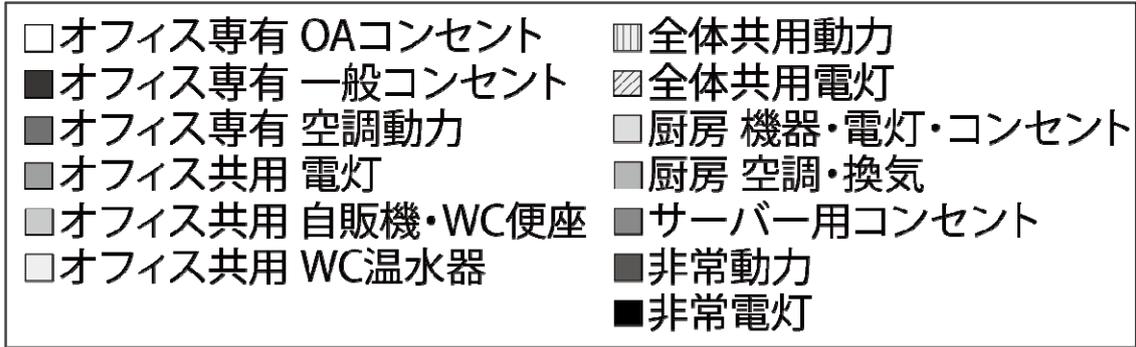


図-3-16 節電前後の年間積算電力量比較

同様に、節電前後のオフィス専有部の消費電力原単値の比較を夏季ピークについて図-3-17、冬季ピークについて図-3-18に示す。冬季の消費電力原単値については今後 LED 照明への更新や、暖房立上げ時間の前倒しなど空調運用の最適化によりさらに抑制されることが考えられる。

建物全体の単位面積当たりのエネルギー使用量は最大で49.4W/m<sup>2</sup>、平日コアタイム(7~19時)平均26.2W/m<sup>2</sup>となった(図-3-19)。東日本大震災後も机上面照度の適正化(500lx程度)など、オフィスの節電運用は現時点でも定着している。

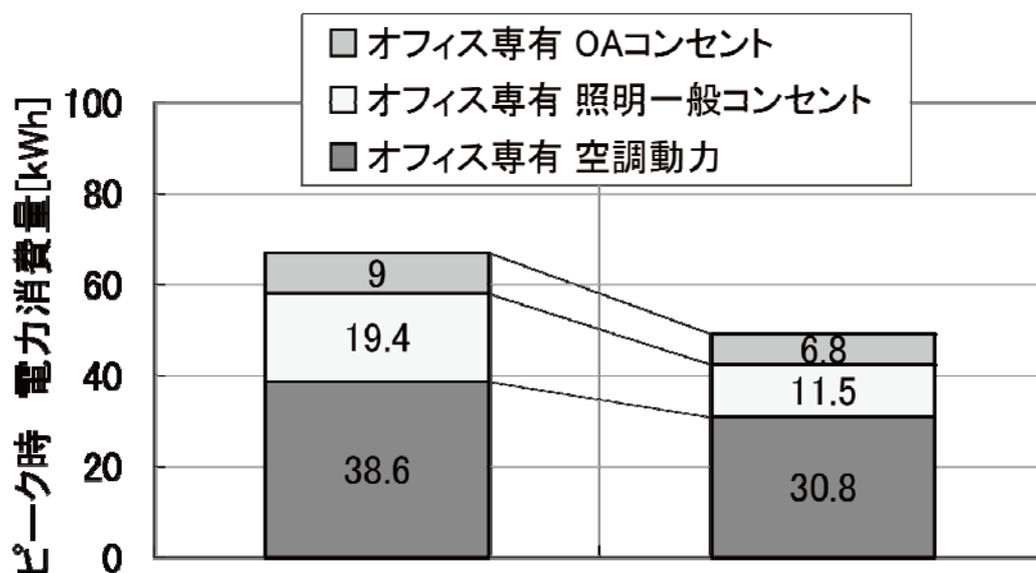


図-3-17 オフィス専有部分夏季ピーク現単値の変化

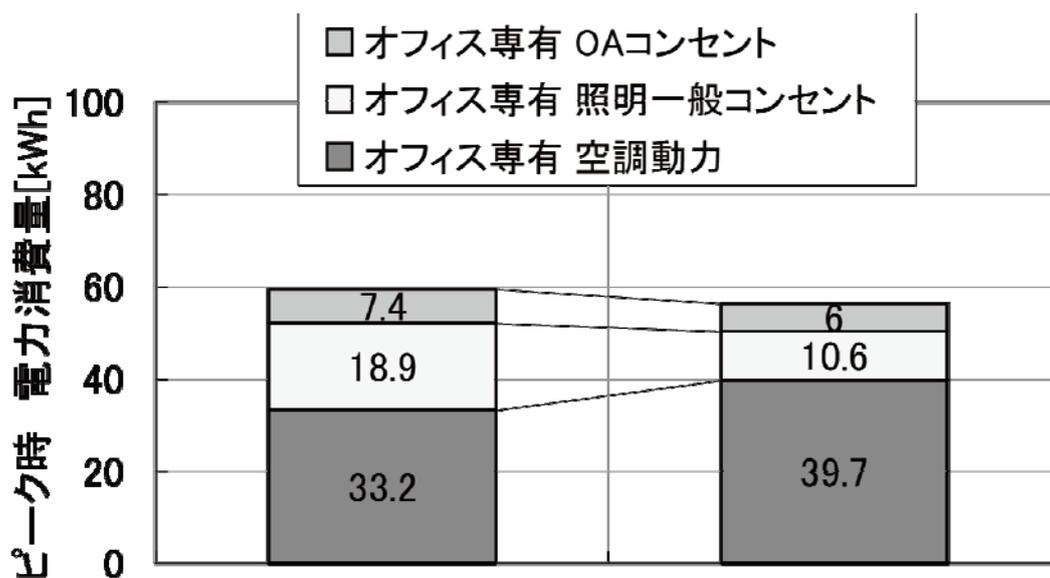


図-3-18 オフィス専有部分冬季ピーク現単値の変化

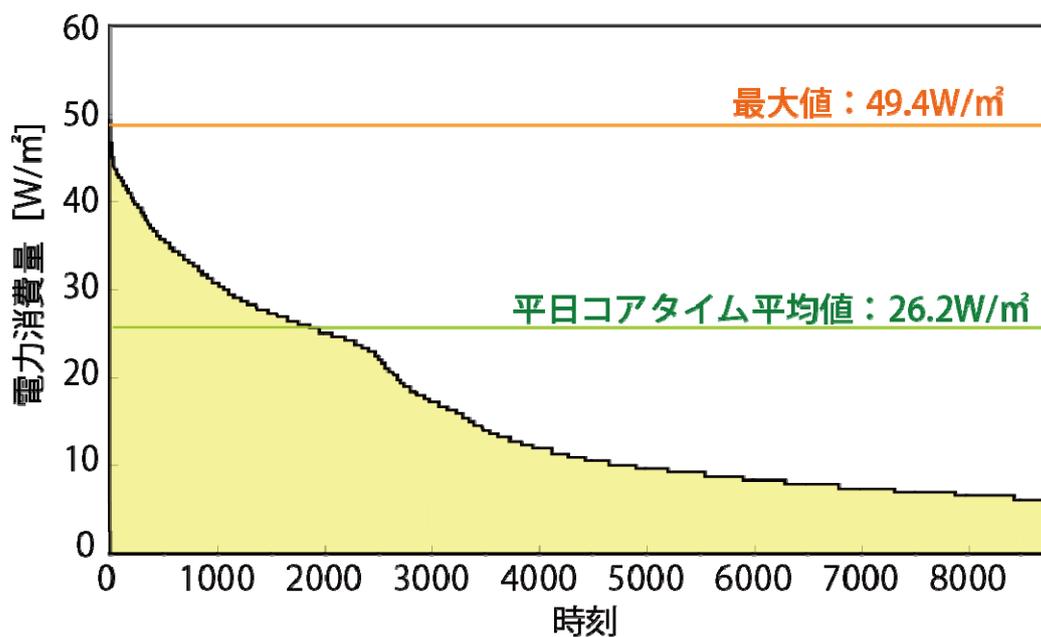


図-3-19 単位面積当たりのエネルギー使用量(2011年)

これらの実態のように内部発熱は、従来の設計条件よりも大幅に小さい。ここでの照明器具の消費電力の評価は Hf 型蛍光灯で評価したが、照明器具の LED 化は急速に進んでいる。LED 照明の普及により、さらに照明消費電力は削減されている。

LED 照明を採用した後述の D ビルでは約  $6\text{W}/\text{m}^2$  (図-4-48) となっており、激減している。東日本大震災後に定着したオフィスの節電運用に適応した余裕率を小さく見直すことが急務である。また、在室人員密度なども含め過大な熱負荷計算結果、さらに機器選定上の余裕率も過大となる傾向である。非効率な運転を回避するためには、適正な空調負荷の設計条件を設定するとともに、過大とならない余裕率をもった室内機および室外機共に装置負荷選定が重要である。

## 3.5 検討ケース

3.4.2 において、空調負荷計算ならびに、機器選定において「余裕」が見込まれることを実測評価などを通して定量的に示した。これらの分析を通して室内発熱密度の計算条件を設定した。

表-3-4 に室内発熱密度検討ケースを示す。検討ケースは、実務上有意なケースとして内部発熱条件は次に示す。大、中、小、極小の4ケースを設定した。発熱密度「大」は現在もテナントオフィスとしての商品性を考慮して広く採用されている。標準設計条件、「小」はコンセント発熱など運用実態に適合したもので本社ビル系では近年採用される条件、「中」はその中間とした。「極小」は照明をLED+タスク/アンビエントとするなど最新の省エネルギービルを指向した設計条件を設定し、それぞれの条件によって選定されたピーク選定時熱負荷をA～Dとした。なお室内環境の設定条件は、空調については冷房時 26℃、湿度成り行き、暖房時 22℃40%、照度は大から小は 750lx、極小はアンビエント照明 350lx、タスク照明 350lx として設定した。

選定時熱負荷については、室内発熱密度だけでなく、3.4 において考察した余裕率を考慮した検討もあわせて行った。文献<sup>17)</sup>における研究成果として、図-3-20 に対象建物における2008/4/1～2009/3/31 の年間最大定格容量に対する空調運転時間帯を抽出した室外機負荷率と室外機頻度区間積算電力消費量の関係を示す。室外機の負荷率は約30～40%が中心となっている。相対度数で見ると、負荷率50%で90%以上と負荷率50%以下の運転になっていることが分かる。負荷率60%で98%、負荷率80%ではほぼ100%とかなり余裕がある。さらに、文献<sup>22)</sup>では東日本大震災以降での内部発熱条件は一層小さくなっていることが確認されている。これらの室外機の機器選定における同時使用としての余裕率が相当高いことにより、余裕率を変化させるスタディも実施した。図-3-20 は1つの計測事例によるものであるが、本研究の余裕率検討の参照値とした。

国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修「建築設備設計基準(平成21年版)」<sup>23)</sup>における、室内冷房負荷の集計、顕熱の集計値には、ダクト表面からの負荷、空気漏洩による負荷等を考慮して余裕係数1.0～1.1、空調機やファンコイルユニットの送風機運転を考慮して送風機負荷係数1.05を乗じて補正するとある。また、室内暖房負荷の集計、顕熱の集計値には、ダクト表面からの負荷、空気漏洩による負荷等を考慮して余裕係数1.0～1.1、朝の予熱負荷を考慮して間欠運転係数1.0～1.1を乗じて補正するとある。経験則として顕熱負荷に0～10%、さらに送風機発熱として5%、暖房時の予熱として10%の余裕を見込むこととしている。

本研究での「余裕率」とは、ビル用マルチパッケージ型空調システムは中央熱源方式と比較してダクト長が短いこと送風機発熱は中央熱源と比べ相当に小さいことなど経験則的な余裕は評価せず、ビル用マルチパッケージ型空調システムが熱源分散のために過大に選定されている現状に対して、設計条件の余裕、熱源の同時稼働率の余裕、その他の余裕を余裕除去

率として定義し「余裕率」として、最大熱負荷を 1.0 として余裕の削減が可能と考え、1.0 から削減できるものとして定義した。

余裕率のパターンは、図-3-4 の事例より 1.0、0.8、0.6、0.5 と設定した。また、なお、本研究におけるビル用マルチパッケージ型空調システムの装置負荷選定にあたっては、後述する図-3-21 のフローに従い経年係数、能力補償係数を見込んでいる。実務においては熱負荷計算に対し、メーカーの設定された機器容量は製造上段階的であり、さらに余裕を見込むことになるが、本研究では、より汎用的な結果を導くため、装置熱負荷に上記の補正を見込んだものを機器容量とした。

表-3-5 に室内発熱密度と装置容量計算ケースを示す。表-3-4 の室内発熱密度ごとのピーク選定時熱負荷計算と余裕率の検討ケースの一覧を示す。選定時熱負荷計算に余裕率を乗じたものが各ケーススタディの装置容量としている。

また、年間熱負荷は表-3-6 に示すように、上記ケーススタディにより、選定された装置容量に対し、室内発熱密度はピーク負荷計算と同様に装置容量 A に対しては、年間計算の発熱密度は CASE1 (発熱密度大) としている。同時に装置容量 B に対しては CASE2、装置容量 C に対しては CASE3、装置容量 D に対しては CASE4 としてケーススタディを行った。それぞれのケース表記は、「装 A\_余 1.0」とし、装 A は、装置容量パターン (A~D)、余 1.0 は余裕率パターン (1.0~0.5) を示し、たとえば、装置容量 C、余裕率 0.6 の場合には、「装 C\_余 0.6」と表記する。外気処理方式は、外調機と全熱交換器方式の 2 種類にてシミュレーションを実施した。

表-3-4 室内発熱密度検討ケースと負荷計算による装置容量

室内発熱密度	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
発熱密度	大	中	小	極小
照明 [W/ m <sup>2</sup> ]	20	15	15	5
照明	Hf 蛍光灯 (調光なし)	Hf 蛍光灯 (調光あり)	Hf 蛍光灯 (調光あり)	LED 照明 (タスクアンビエント照明)
人員密度 [人/ m <sup>2</sup> ]	0.2	0.125	0.125	0.125
機器発熱 [W/ m <sup>2</sup> ]	30	30	15	10
選定時熱負荷 装置容量	装 A	装 B	装 C	装 D

表-3-5 余裕率条件

ピーク熱負荷計算 室内発熱密度	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
ピーク装置容量	装置容量 A	装置容量 B	装置容量 C	装置容量 D
余裕率検討条件	1.0, 0.8, 0.6, 0.5	1.0, 0.8, 0.6, 0.5	1.0, 0.8, 0.6, 0.5	1.0, 0.8, 0.6, 0.5

表-3-6 年間熱負荷ケーススタディ計算条件

年間熱負荷 計算装置	装置容量 A × 余裕率	装置容量 B × 余裕率	装置容量 C × 余裕率	装置容量 D × 余裕率
年間熱 負荷計算 室内発熱密度	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4

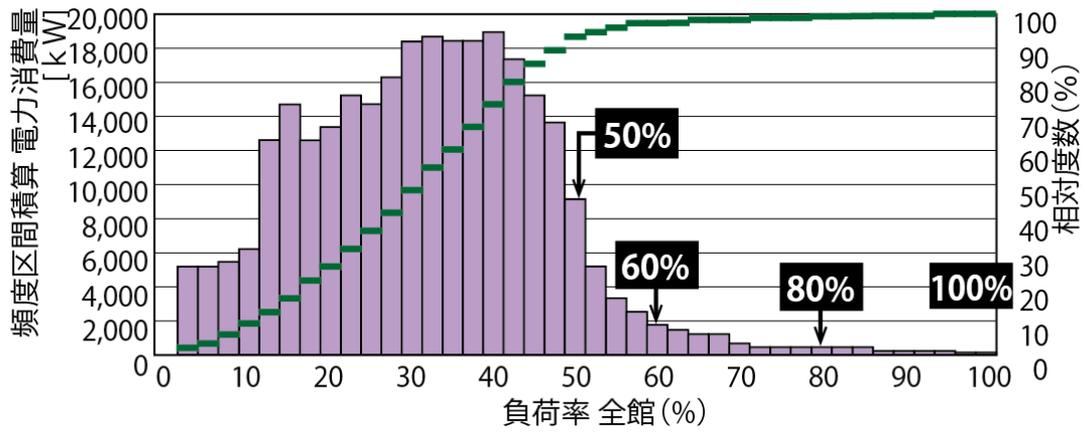


図-3-20 Aビルの室外機負荷率と室外機頻度区間積算電力消費量の関係<sup>17)</sup>

## 3.6 計算結果

### 3.6.1 選定時熱負荷計算

#### (1) 外調機方式

外調機方式では外調機により室内熱負荷の一部処理している。モデル建物の外調機の設定は夏季20℃、冬季22℃で運用されている。本スタディでは、同じ条件とするために外調機の吹き出し状態は、夏季は26℃50%の等エンタルピー上で19.7℃湿度90% (13.1 g/kg)、冬季は22℃40%で吹き出すことと設定した。外気導入量は(各エリアの面積)×各ケースの人密度(人/m<sup>2</sup>)×30m<sup>3</sup>/h・人とした。室外機は室負荷と外気負荷を足した全熱で選定した。図-3-21に外調機の場合の機器選定フロー図を示す。

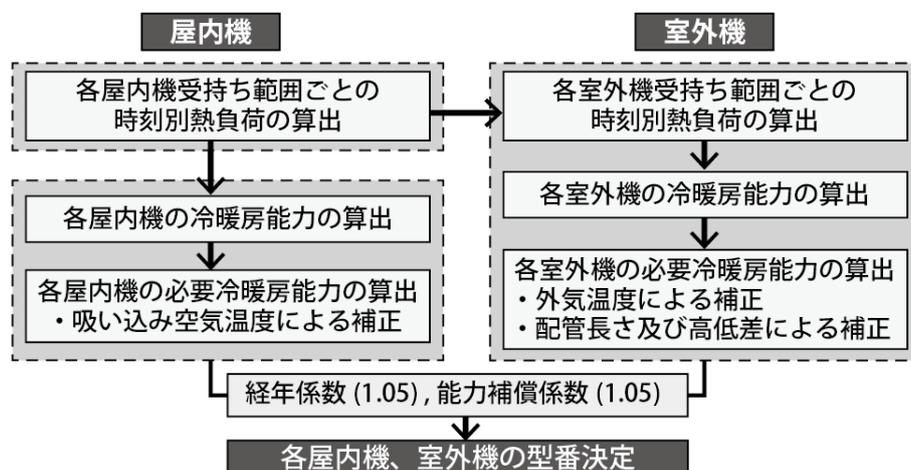


図-3-21 外調機 機器選定フロー図

#### (2) 全熱交換器方式

全熱交換器は、熱交換効率を顕熱 55%、潜熱 40%と設定し、室内機で室負荷と外気負荷を処理することとし、外気導入量などは外調機方式と同じとした。

室内機・室外機の冷媒管長さ及び室内・屋外機の高差による補正を行った。室内吸い込み空気温度による補正には室内設定温度を用いるとし、外気温度による補正、経年係数、能力補償係数による補正を行うことで室外機の必要冷暖房能力を算出している。これらの補正は実務上実施されるため本研究においても加算した。

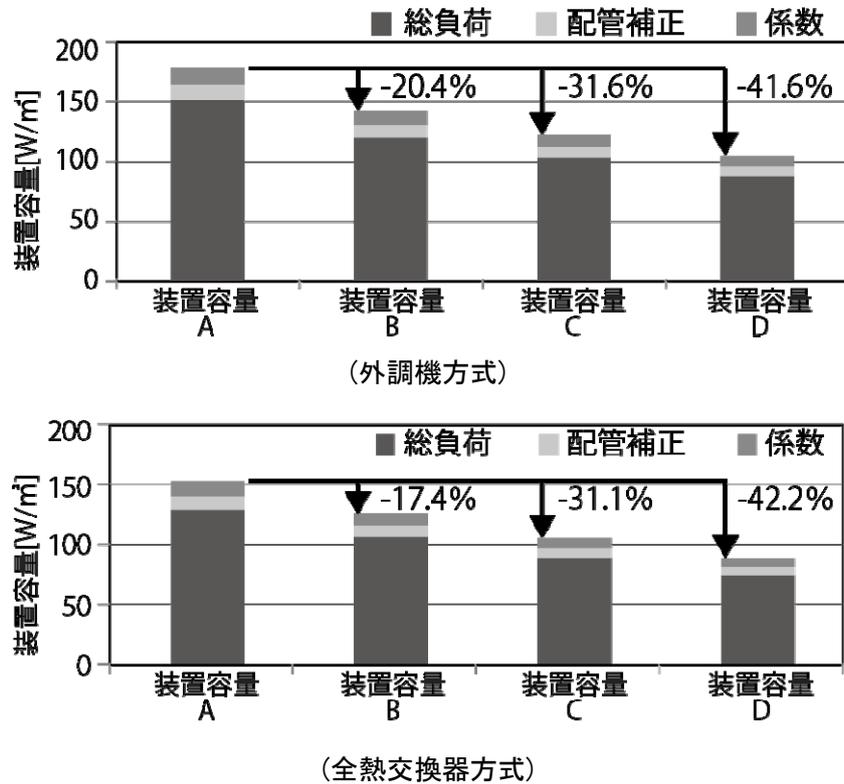


図-3-22 室外機系統Dゾーンにおける装置容量

図-3-22 に外調機、全熱交換器別の室外機系統Dゾーンにおける選定時熱負荷A~Dの選定時熱負荷算出結果を示す。表-3-7に、室内発熱密度を変化させた場合の選定時熱負荷A~Dの室外機容量の算出結果を示す。実際の機器選定においては、製造メーカー、機種ごとに容量のランクは異なるが、本研究においては省エネルギー性能の傾向を把握するために、装置負荷を補正した容量を装置容量とした。現行の一般テナントオフィスの設備容量に対して、より実態に近い発熱密度を反映しているCASE3・装置容量Cにおいて30%以上の選定時熱負荷削減が見込まれる。さらに、省エネルギー設計条件CASE4・装置容量Dでは40%以上の選定時熱負荷削減となった。

表-3-7 発熱密度 CASE1~4 装置容量 (W/m<sup>2</sup>)

	CASE1 装置容量A		CASE2 装置容量B		CASE3 装置容量C		CASE4 装置容量D	
	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
室外機zoneA	157.2	-130	126.1	-107	110.7	-102	95.5	-110
室外機zoneB	157.6	-114	126.5	-91.3	110.3	-86.3	95	-94.5
室外機zoneC	150.9	-101	120	-78	103.2	-73.9	88.1	-81.3
室外機zoneD	150.9	-101	120	-78	103.2	-73.9	88.1	-81.3
室外機zoneE	154.3	-118	124.4	-95.4	107.3	-89.8	92.8	-98.6
室外機zoneF	151.4	-130	120.2	-107	104.9	-102	89.7	-110

(外調機方式ケース)

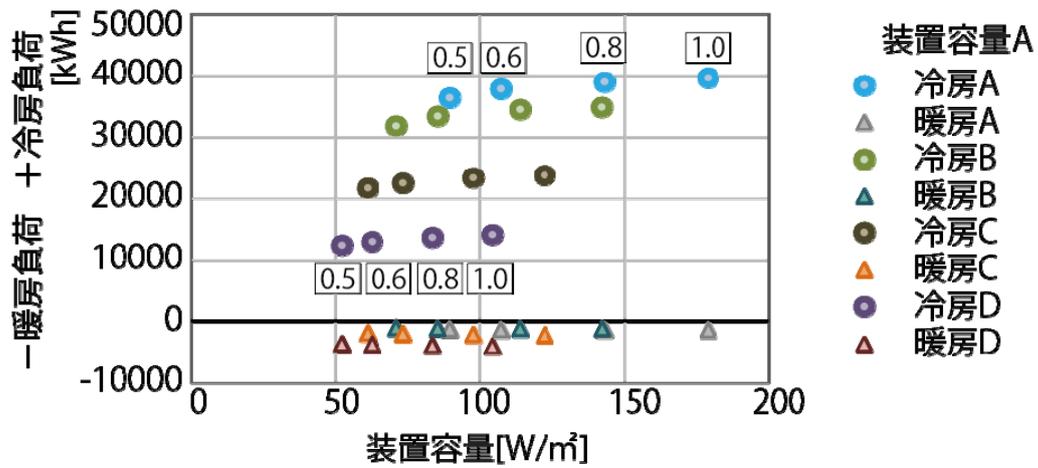
	CASE1 装置容量A		CASE2 装置容量B		CASE3 装置容量C		CASE4 装置容量D	
	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
室外機zoneA	134.9	-93.8	112.2	-84.7	95.8	-81.5	81.6	-90.3
室外機zoneB	135.3	-78	112.6	-69	95.5	-68	81.1	-74.8
室外機zoneC	128.7	-64.6	106.2	-56.5	88.6	-55.6	74.3	-62.4
室外機zoneD	128.7	-64.6	106.2	-56.5	88.6	-55.6	74.3	-62.4
室外機zoneE	132.8	-82.1	111.1	-73	93.3	-69.9	79.5	-78.7
室外機zoneF	129.1	-93.9	106.6	-84.8	90	-81.6	75.7	-90.4

(全熱交換機方式ケース)

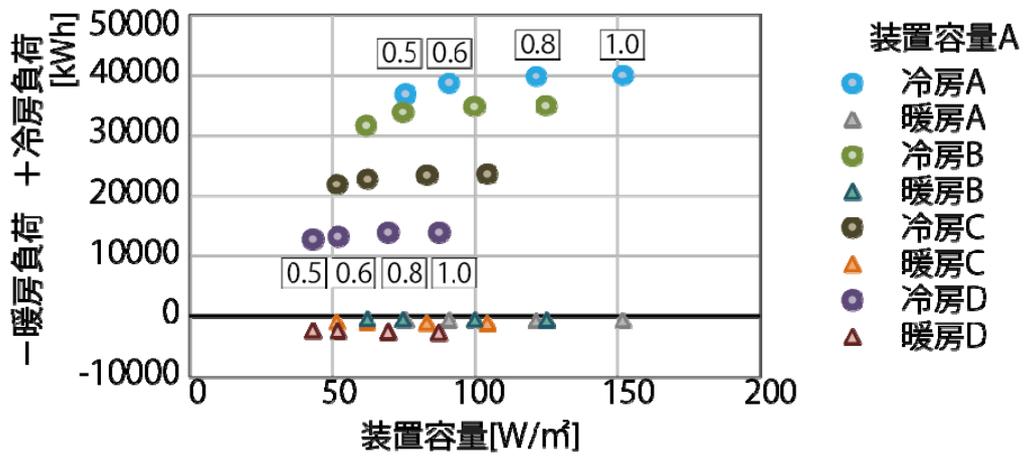
### 3.6.2 年間負荷計算

外気処理方法を含めた熱負荷の計算、および未処理負荷による室内温度の影響を検討するため、鹿島建設所有の NHASP を用いた。NHASP は鹿島建設で開発したツールであり、建築設備技術者協会により公開されている HASP<sup>24)</sup> に対して室温の出力が出来る機能を付加したものである。

図-3-23 に全ケースの選定時熱負荷と年間冷暖房負荷との関係を示す。図-3-24 に月別熱負荷の比較を示す。本建物の負荷傾向は、室内発熱密度が特に大きい場合には冷房主体の負荷傾向となる。室内発熱密度にかかわらず、選定時熱負荷の余裕率が小さくなるに従い、未処理負荷が発生するため年間の熱負荷は小さくなっており、2 つの外気処理方法ともに同じ傾向である。室内発熱密度が小さくなるに従い、冷房主体であった負荷傾向が、徐々に暖房負荷が増えることが分かる。

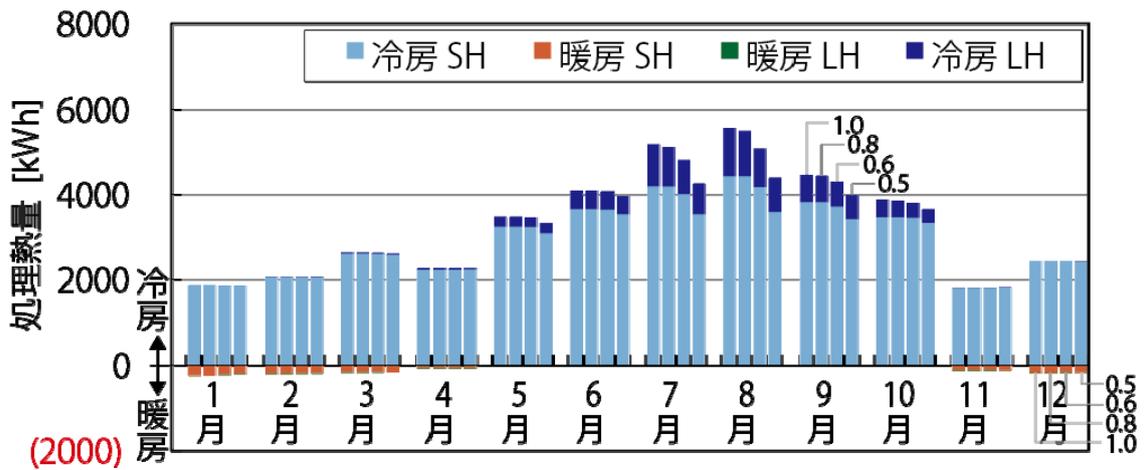


(外調機方式)

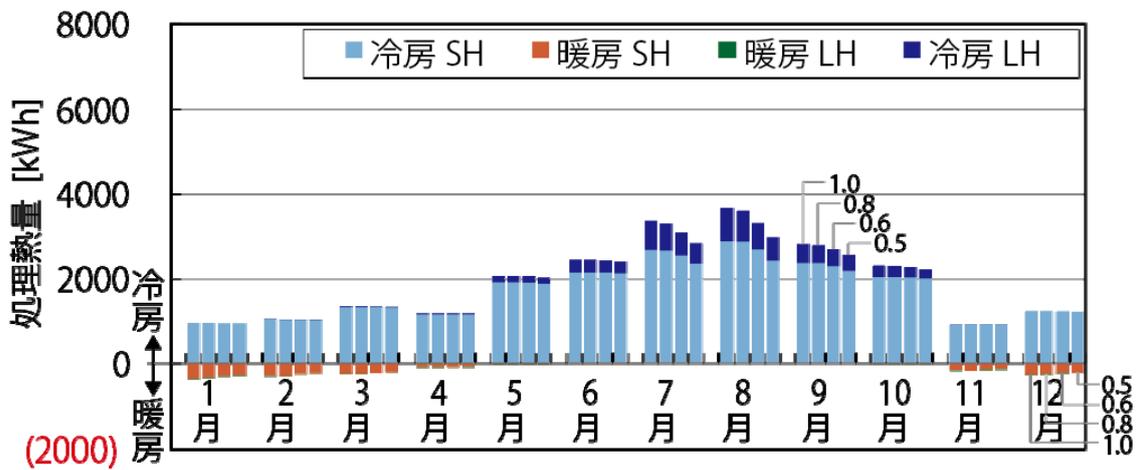


(全熱交換器方式ケース)

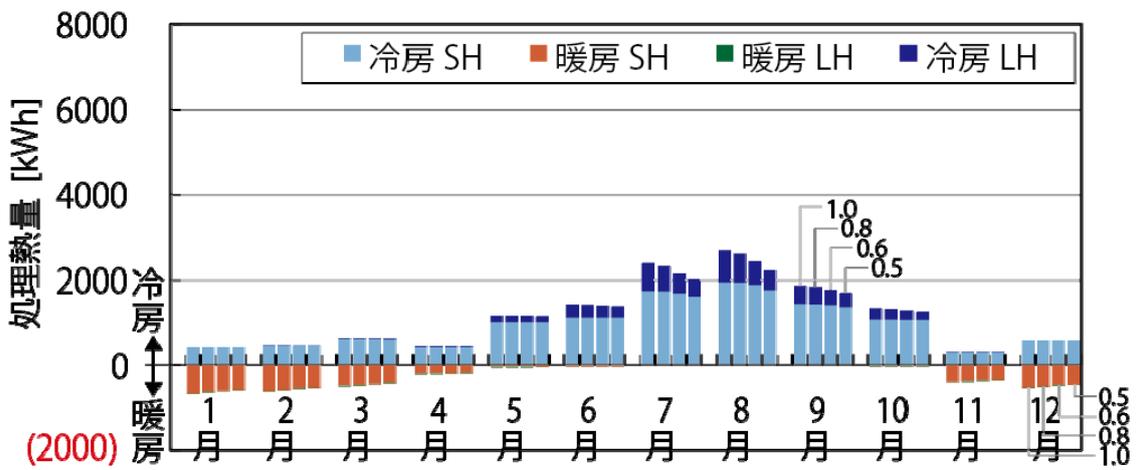
図-3-23 全ケースの装置容量と年間冷暖房負荷との関係



装 A\_余 1.0-0.5 全熱交換器方式



装 C\_余 1.0-0.5 全熱交換器方式



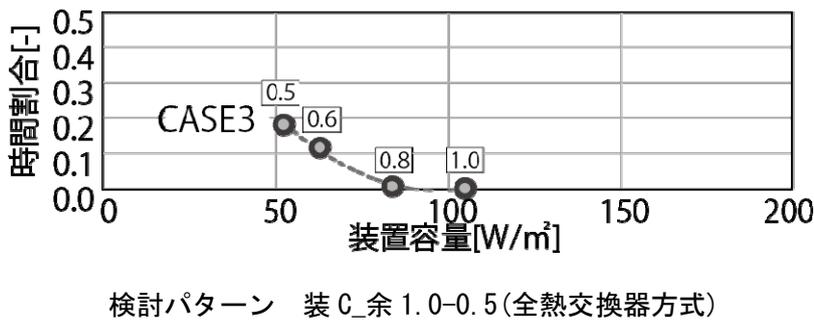
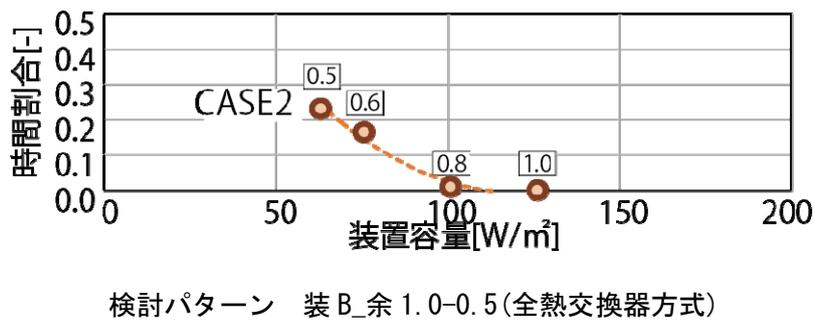
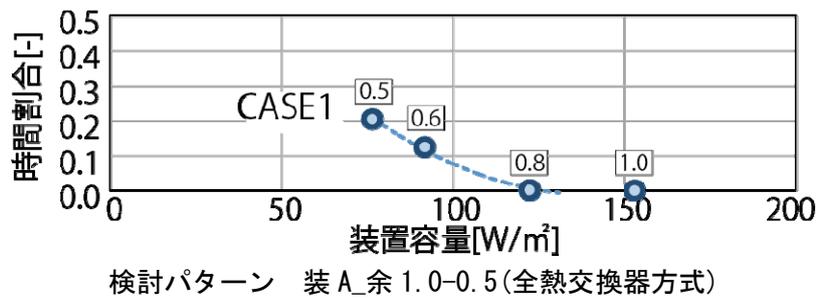
装 D\_余 1.0-0.5 全熱交換器方式

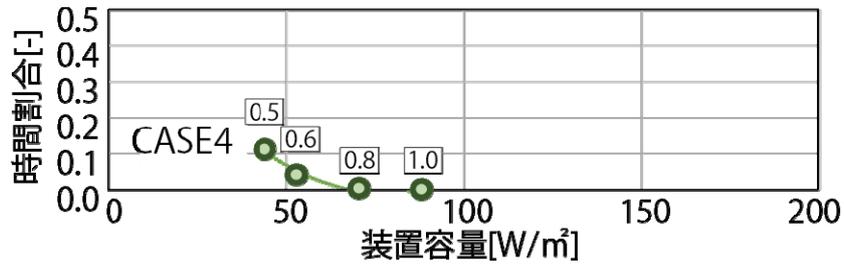
図-3-24 年間熱負荷

### 3.6.3 超過時間数と代表室温度の算定

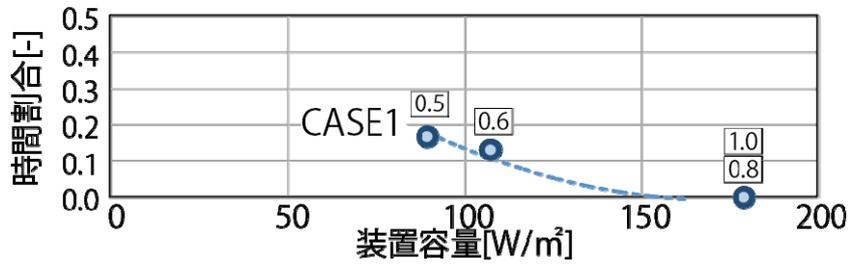
NHASP で算出された室内温度を用いて表-3-2 に示す室内設定温度未処理負荷による条件を満足できない時間数を集計した。図-3-25 に装置容量と超過時間数の関係を全熱交換器方式、外調機方式のそれぞれについて示す。集計対象とした室は窓に面したエリアとした。なお、横軸に装置容量、縦軸に時間数割合(比率)を示す。「装 A\_余 1.0-0.5」では、CASE4 のプロットが 4 つあり、選定時熱負荷の値が大きい順に余裕率 1.0、0.8、0.6、0.5 の時間割合を示す。

全空調運転時間が 2450 時間であるため、許容できる超過時間数の上限を 25 時間(超過時間割合 0.01)と設定する。全熱交換器方式では、装 A の場合余裕率 0.5 と 0.6、装 B の場合余裕率 0.5 と 0.6、装 C の場合余裕率 0.5 と 0.6、CASE4 の余裕率 0.5、装 D の場合 CASE4 の余裕率 0.5 が超えている。同様に、外調機方式では、装 A の場合余裕率 0.5 と 0.6、装 B の場合余裕率 0.5 と 0.6、CASE3 の余裕率 0.5、装 C の場合 CASE3 の余裕率 0.5 と 0.6、CASE4 の余裕率 0.5、装 D の場合 CASE4 の余裕率 0.5 と 0.6 が超えている。

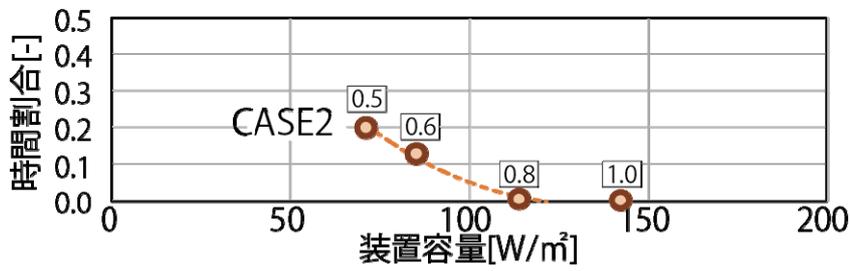




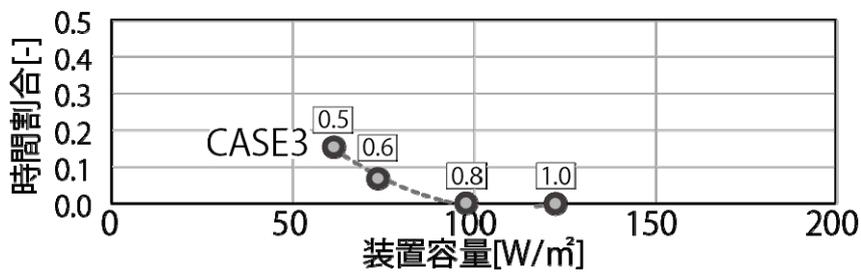
検討パターン 装D\_余 1.0-0.5(全熱交換器方式)



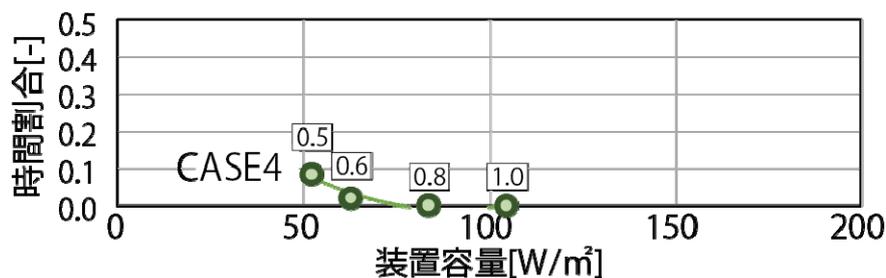
検討パターン 装A\_余 1.0-0.5(外調機方式)



検討パターン 装B\_余 1.0-0.5(外調機方式)



検討パターン 装C\_余 1.0-0.5(外調機方式)



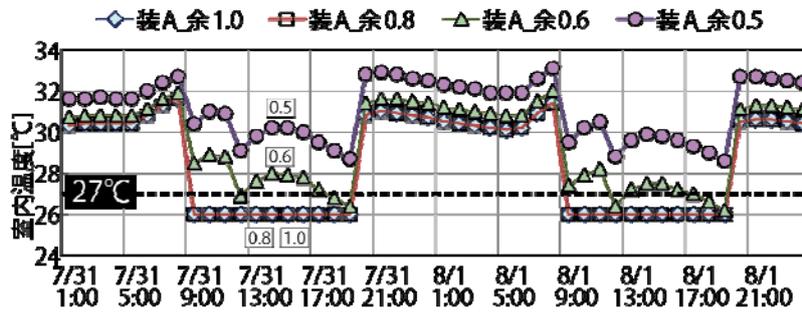
検討パターン 装D\_余1.0-0.5(外調機方式)

図-3-25 装置容量と超過時間数の関係

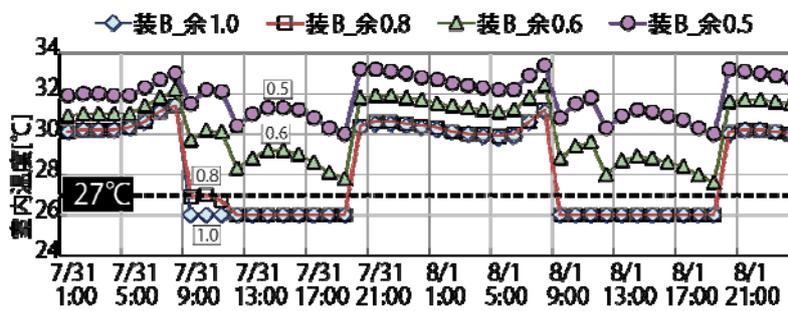
図-3-26に夏季ピークにおける室温計算結果を示す。「装 A\_余1.0-0.5」では、余裕率0.6、0.5で28℃を超えており、1.0、0.8では設定温度である26℃となっている。「装 C\_余1.0-0.5」では、余裕率0.5は29℃、余裕率0.6では28℃を超えており、余裕率1.0、0.8では27℃程度となっている。「装 D\_余1.0-0.5」では、余裕率0.5は28℃、余裕率0.6では27℃を超えており、余裕率0.8では26.5℃程度となっている。

図-3-27に年間の室内温度頻度分布を全熱交換器方式、外調機方式別に示す。全熱交換器、外調機ともに、装置容量Bの余裕率0.8以上において26℃を超える分布がほとんどなく環境として十分に満足していることがわかる。

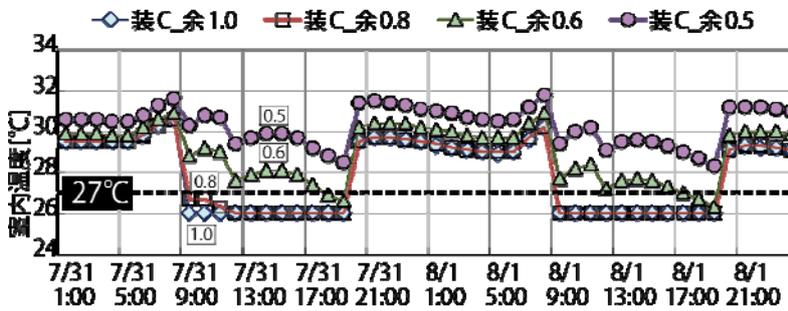
以上のことから、室内温度を確保しながら省エネルギー性能を向上することができると同時に、実態を反映した室内発熱密度である CASE2、装置容量 B を内部発熱条件の基本として選定時熱負荷を考えることが最も適切であると考えられる。年間のシミュレーションも同条件の CASE2において、余裕率0.8まで絞っても室内温度への影響が小さいと考えられる。



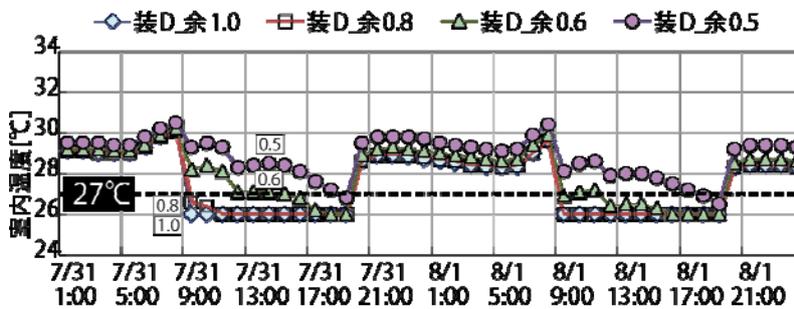
検討パターン 装A\_余1.0-0.5(全熱交換器方式)



検討パターン 装B\_余1.0-0.5(全熱交換器方式)



検討パターン 装C\_余1.0-0.5(全熱交換器方式)



検討パターン 装D\_余1.0-0.5(全熱交換器方式)

図-3-26 夏季ピーク日の室温計算結果(7/31~8/1)

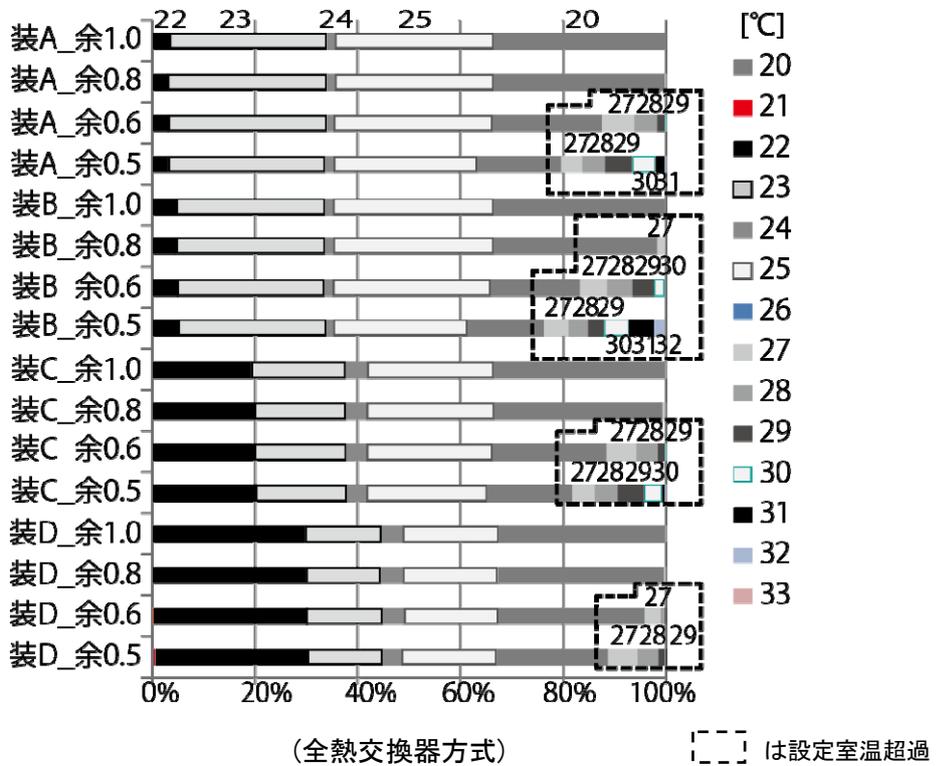
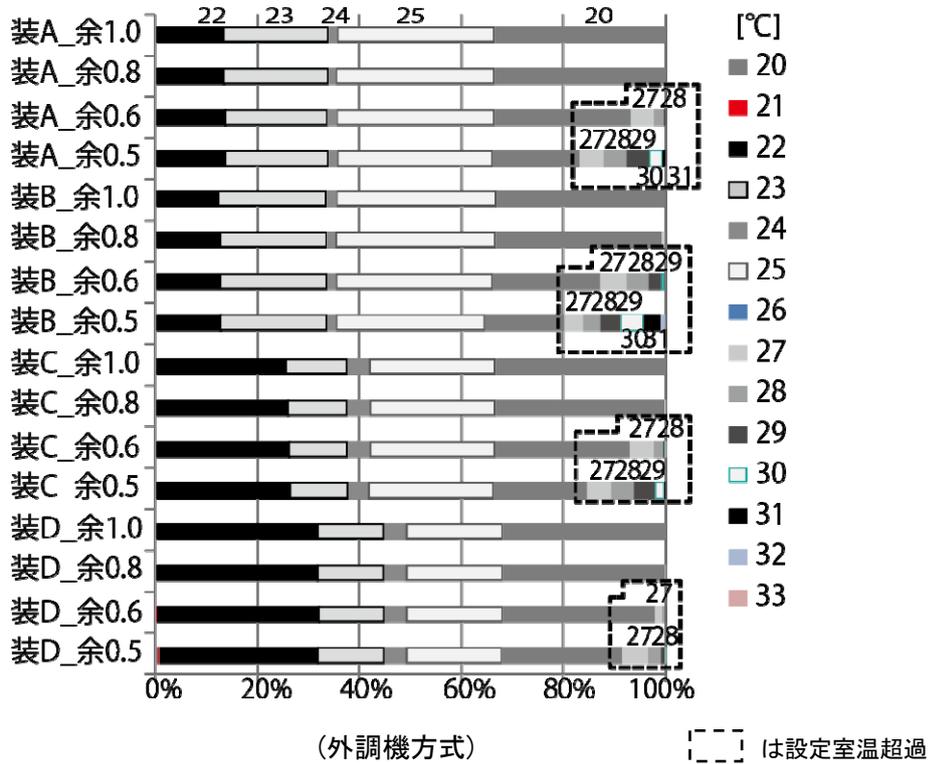


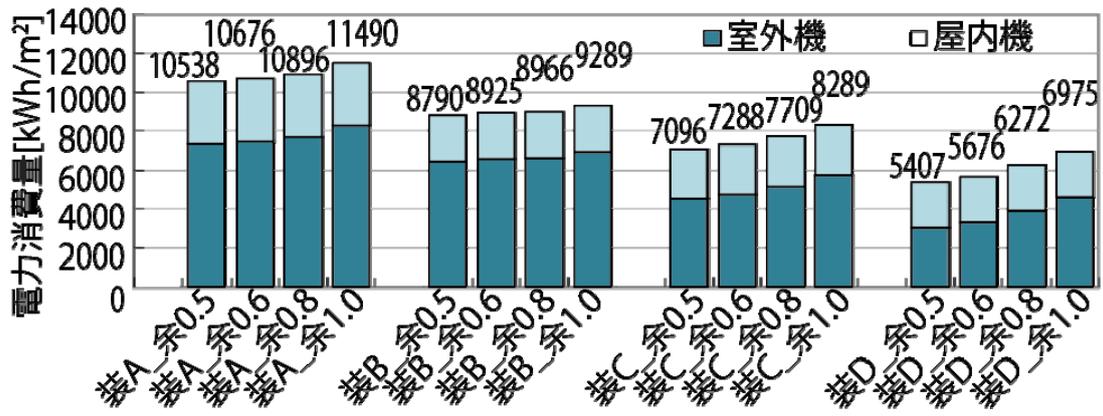
図-3-27 室内温度頻度分布(運転中のみ抽出)

### 3.6.4 エネルギー消費量の算定

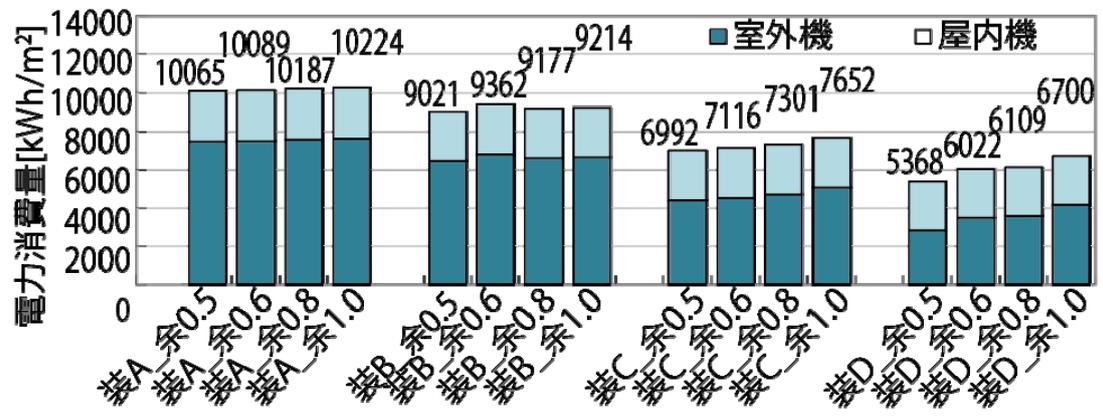
エネルギー消費量は、LCEM(ライフサイクルエネルギーマネジメント)ツール<sup>19)</sup>を利用して算出した。今回採用したシステムでは、ビル用マルチパッケージ型空調システムの加湿オブジェクト、冷暖同時オブジェクトが必要であったが、LCEM ツール Ver3.03 には組み込まれていなかったため、これらを新たに作成して検討を行った。ビル用マルチパッケージ型空調システムの加湿オブジェクトは、空調機(気化式加湿)オブジェクトを利用し、冷暖同時オブジェクトについては、BEST<sup>25)</sup>(The BEST Program: Building Energy Simulation Tool)で採用されている機器特性を利用して作成した。

図-3-28 に「装 A\_余 1.0-0.5」、「装 B\_余 1.0-0.5」、「装 C\_余 1.0-0.5」、「装 D\_余 1.0-0.5」の場合の外調機、全熱交換器別の電力消費量を示す。外調機の場合、室外機の余裕率を 1.0 から 0.5 と変化させるとエネルギー消費量も削減する。装置容量も A から D に変化させるとエネルギー消費量も削減している。これは、機器効率が低い負荷率で空調運転されること、特に効率が下がる負荷率 20%以下の On-Off 領域の運転が少なくなることの効果と考えられる。

未処理負荷による室温上昇のリスクを考慮したうえで、機器選定時には装置熱負荷は小さく設定することが好ましいと考えられる。特に、室内発熱密度 CASE3、4 である場合にその削減効果が大きい。この傾向は、全熱交換器方式も同様である。室内発熱密度が大である装置容量 A である場合に余裕率を下げるに従い、室外機が過負荷状態である時間数が多くなるため、発熱密度が中、小、極小の選定時熱負荷 B、C、D と比べると削減幅は大きくない。また、図-3-28 において「能力が足りないために処理熱量が低下した時間帯があり、結果的にエネルギーが減った影響」と「部分負荷効率の改善による影響」の大小については、たとえば「装 D\_余 0.5」と「装 D\_余 1.0」との比較では、図-3-29、図-3-30 に示すように前者が約 20%、後者が約 80%であり、部分負荷効率の改善による影響が全般的に大きいと考えられる。



(外調機方式)



(全熱交換器方式)

図-3-28 年間電力消費量

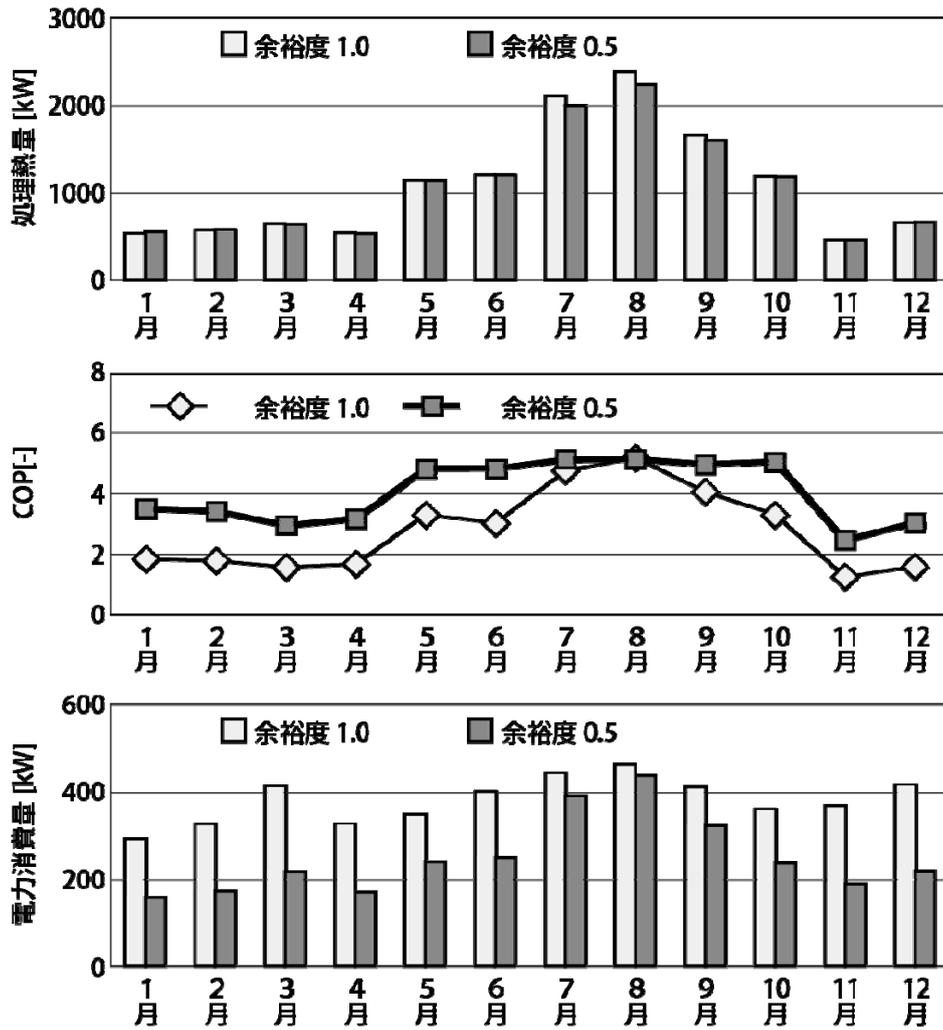


図-3-29 装D\_余裕0.5 (余裕率0.5)と装D\_余裕1.0 (余裕率1.0)の違い

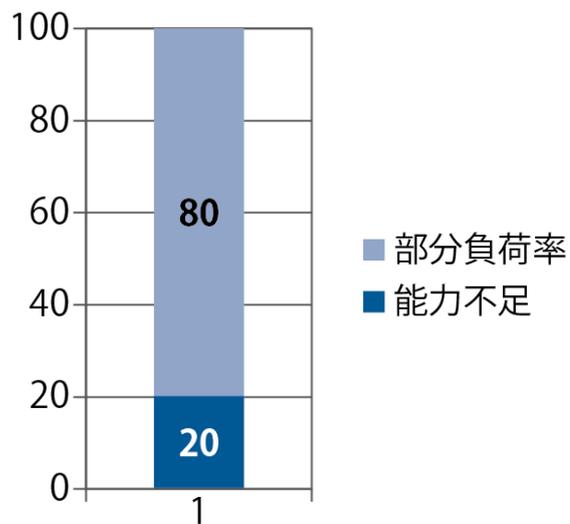


図-3-30 部分負荷効率の改善による影響

### 3.6.5 イニシャルコスト、ランニングコストの算定

図-3-31に外調機、全熱交換器における室内発熱密度や空調機器選定に影響のある部分のイニシャルコストを示す。イニシャルコストは日々刻々と変動しているが、傾向を把握するために設計概算を指数として算出した。外調機の装置容量Aを1.0として基準化している。コスト算出の内訳項目は、照明、分電盤、動力盤、幹線(単相、三相)、受変電(単相、三相)、空調(外気処理系統)、空調(冷暖同時室外機)と、1フロアにおける設備にかかるコストを想定したため、動力盤、幹線、受変電などのように建物全体にかかるものについては、1フロア相当に按分している。エネルギー消費量と同様であるが、装置容量がAからDになるにつれ大きくイニシャルコストが削減されていることがわかる。照明についてはケースDのみ、LED照明によるタスク/アンビエント照明と設定しているためアンビエント照明器具のコストが小さくなっている。

図-3-32に「装A\_余1.0-0.5」、「装B\_余1.0-0.5」、「装C\_余1.0-0.5」、「装D\_余1.0-0.5」の場合の外調機、全熱交換器別のランニングコストを示す。基本料金は考慮せず、電力の従量料金20円/kWhとして算出した。エネルギー消費量と同様の傾向があった

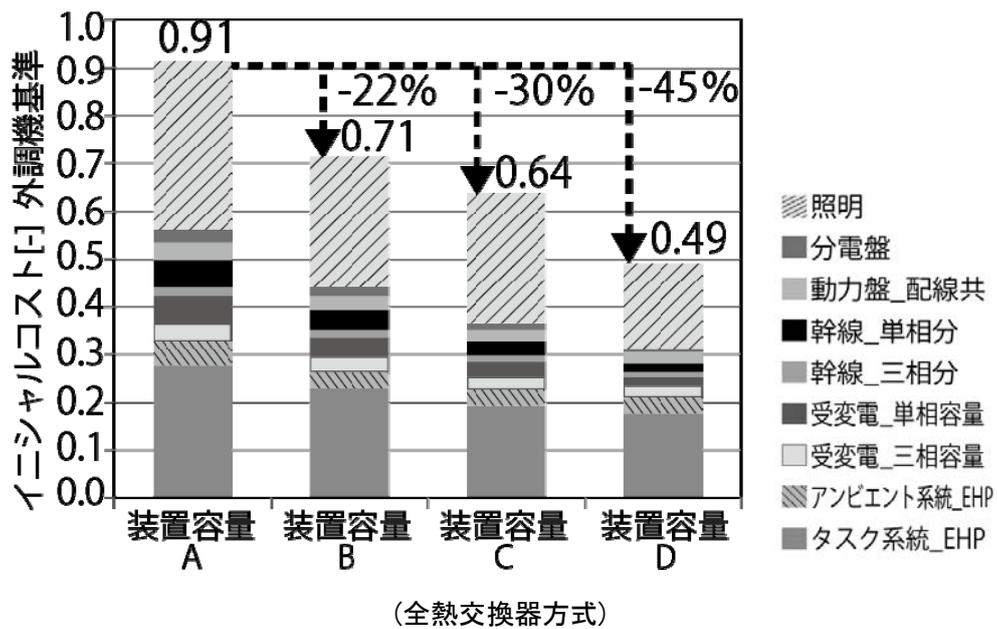
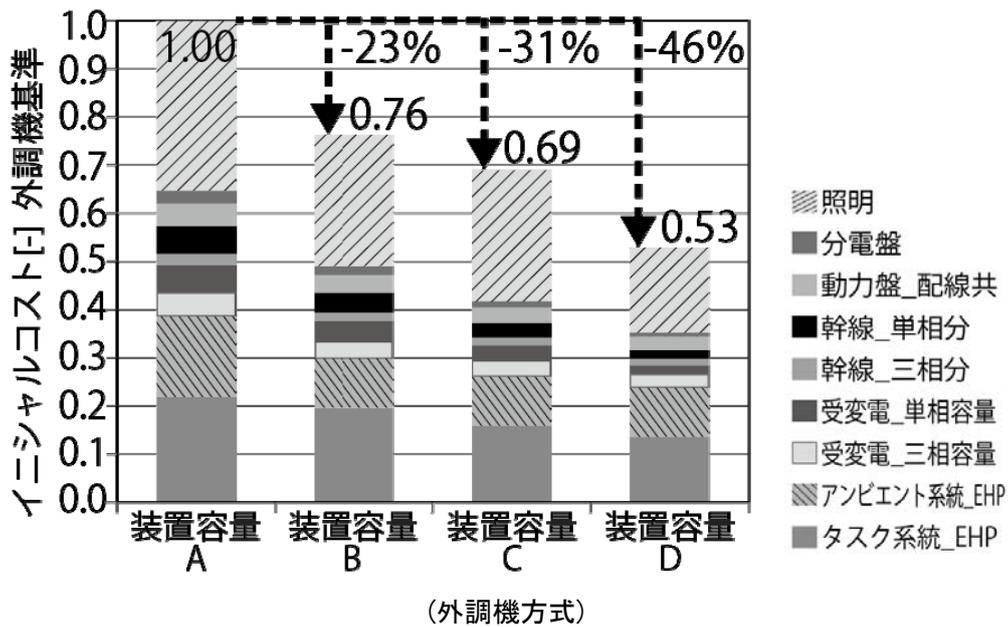
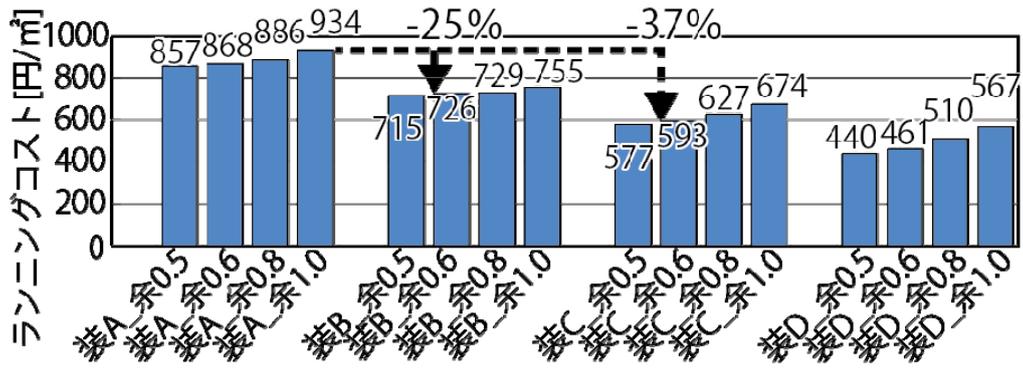
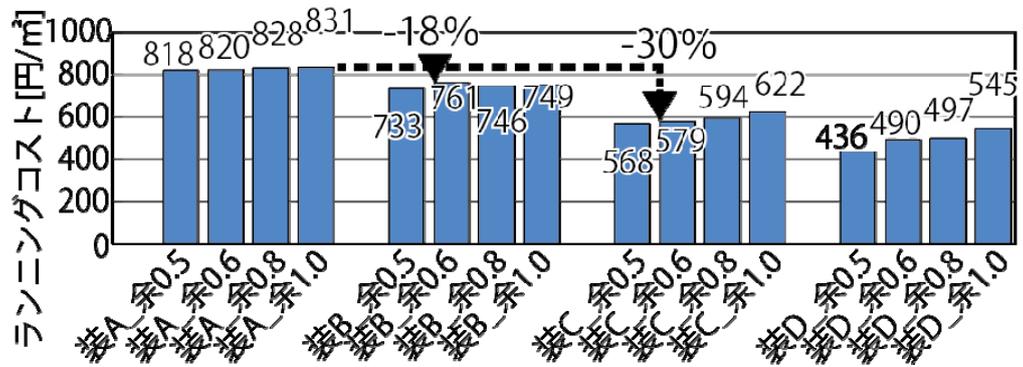


図-3-31 イニシャルコスト装置容量 A~D 計算結果



(外調機方式)



(全熱交換器方式)

図-3-32 ランニングコスト計算結果

### 3.7 まとめ

本章の研究は名古屋大学と鹿島建設の産学連携により進められ、筆者は企業側の責任者として推進をはかった。ビル用マルチパッケージ型空調システムパッケージ型空調システムにおける、シミュレーションを中心とした空調負荷内部発熱条件および機器選定の余裕率を変化させた場合の省エネルギー性能、室内温熱環境への影響ならびにエネルギーコスト・インシヤルコストのケーススタディを行い、以下の知見を得た。

- 1) 東日本大震災後の建物の節電運用による内部発熱抑制による冷房負荷の減少を考えた室内発熱密度を考慮すると、内部発熱条件は装置容量B(小、照明15w/m<sup>2</sup>、人員密度0.125人/m<sup>2</sup>、機器発熱15 w/m<sup>2</sup>)以下とすることが妥当と考えられ、本スタディでは従来と比較して装置容量Bの場合30%以上の空調機器容量削減が見込まれる。
- 2) 余裕率を考慮した場合、機器容量を最大空調負荷計算に対して小さく設定した場合室外機は高効率運転となり、ON-OFF 運転を避けられることからエネルギー性能が向上する傾向がLCEM ツールによるケーススタディにより分かった。
- 3) 余裕率のケーススタディにおいて、適切に機器を小さくした場合の、未処理負荷による室温超過の度合いの傾向を示した。装置容量Bにおいては、年間計算 CASE-1、2においては0.8以上の余裕率では大きな室内温度の上昇の問題が無いことが分かった。  
実際の設計において、妥当な内部発熱率と余裕率の設定により、快適環境と省エネルギーを達成することができると考えられる。本研究における余裕率0.8、すなわち20%削減という結果は、数値そのものに普遍性を主張するものではないが、余裕率を妥当に低く設定することが省エネルギー上、重要であることを示している。
- 4) 空調装置容量を小さくすることで、インシヤルコストは、空調機器のみならず受変電設備や幹線動力設備の削減につながり、大きなインシヤルコスト削減効果があることが確認された。

温熱環境を問題の無い範囲で若干の設定値を超えることを許容しながら、ビル用マルチパッケージ型空調システムに対して省エネルギー性と経済性を獲得する設計手法を示した。本研究の成果により、より省エネルギーに配慮した空調機器容量選定が推進されること、また建物の使われ方、グレード等に配慮した空調機器容量の選定に対する合意形成が進むものと考えられる。旧来の設計条件に引きずられること「設計条件と運用実態の乖離」が、非省エネルギー運転を起こしていること、適切な設計条件・余裕率とすることで、室温も維持し省エネルギーが実現できることを示した。これにより、ランニングコスト、インシヤルコストにも好ましい波及効果があることも示した。

#### 4. ビル用マルチパッケージ型空調システムパッケージ型 空調システムの適用と性能検証事例

## 4. ビル用マルチパッケージ型空調システムの適用と性能検証事例

本章では、ビル用マルチパッケージ型空調システムを用いたオフィス主用途の建築物に対して、知的生産性向上や ZEB の実現という課題に対して、空調システム構築や、その課題に対して性能検証を実施した<sup>26)</sup>。この2件のプロジェクトでは、2章の性能検証の知見のもとに、3章のシミュレーションで得られた妥当な設計条件、具体的には表-3-4 室内発熱密度検討ケース「CASE-3、小」と適切に設定し、性能評価をおこない、省エネ運用を検証した。ビル用マルチパッケージ型空調システムの高度利用の知見、適切な余裕率で、かつ筆者が設備設計責任者として設計、性能検証を実施した。表-4-1に示すように本章の2件のプロジェクト C ビル、D ビルにおけるビル用マルチ高度利用の概要について、2章で性能検証を実施した A ビルと対比して示す。

表-4-1 各ビルのビル用マルチパッケージ型空調機の高度利用

	Aビル (新築オフィス・ 省エネルギー指向)	Cビル (新築研究オフィス 知的生産性指向)	Dビル (既存オフィス改修・ ZEB化指向)
タスク/アンビエント の概念	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ビル用マルチによる天井からのタスク・アンビエント</li> <li>・外気負荷を中心とするベース負荷をアンビエント方式とし、照明負荷を計算上負担し一部レタン空気を戻すことで加湿性能の向上を目指している</li> <li>・タスク系統を「負荷追従」という概念で考え、かつ人感センサーでon/offする</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ビル用マルチによるシステム構成</li> <li>・天井からのタスク・アンビエント</li> <li>・Aビルと同じ負荷分担の考え方</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ビル用マルチによるシステム構成</li> <li>・高顕熱型ビル用マルチで空気式輻射空調を行い、タスク系統と考えた</li> <li>・外気処理はヒートポンプデシカント方式により除湿・加湿を実施し潜熱・顕熱分離空調とした</li> </ul>
タスク負荷系統の 方式及び負荷分担	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天井埋込型ビル用マルチによるシステム構成アンビエント以外で処理する変動する負荷への負荷追従処理と考える</li> <li>・高顕熱設定による省エネルギー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天井埋込型ビル用マルチによるシステム構成</li> <li>・Aビルと同じ追従型不可処理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天井埋込型ビル用マルチによるシステム構成</li> <li>・高顕熱型ビル用マルチを活用し、空気式放射システムを構築した</li> <li>・室内顕熱負荷を処理する</li> </ul>
アンビエント負荷 系統の方式及び 負荷分担	<ul style="list-style-type: none"> <li>・床置型ビル用マルチによるシステム構成</li> <li>・アンビエント系統はベース負荷を処理するものとし、コアタイムに運転する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中央熱源による外調機方式システム構成</li> <li>・アンビエント系統はベース負荷を処理するものとし、コアタイムに運転する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヒートポンプデシカント方式により、外気負荷を処理するとともに除湿・加湿を行う</li> </ul>
センシング方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・赤外線センサーによる在席検知によるタスク系統のon/off制御</li> <li>・居住居の温度を無線で検知し制御する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人密度を高精度で検知できる次世代型サーモパイル人感センサーでタスク系統のon/off制御を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人密度を高精度で検知できる次世代型サーモパイル人感センサーでタスク系統のon/off制御を行う</li> </ul>
BEMSによる データ収集	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ビル用マルチのコントローラを改裝し、全ての室外機的能力推定値をCC法で算出し出力する</li> <li>・上記を含めてBEMSにて設備情報を原則10分データで一元管理をする</li> <li>・空調の操作はOA等のネットワークと統合することでPCで可能とした</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設備情報、ビル用マルチ等電力量を含め原則10分データをBEMSに収集</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模なオープンネットワークを構築し、データを一元収集する</li> <li>・タブレット端末によりユーザーの「暑い」「寒い」などのアンケートを集めたり、操作を行うなどの試行を行った</li> </ul>

## 4.1 新築の事例(オフィス・研究所)

一般財団法人建築環境・省エネルギー機構(IBECE)の知的生産性研究委員会などにおいて知的生産性の向上に関する研究が行われ、技術立国としての我が国のオフィスのあり方への意識が高まっている<sup>11)12)</sup>。知的生産性研究委員会に設置された環境・設備部会において、オフィスのワークプレイスのさまざまな「場」(集中、コミュニケーション、リフレッシュ等)と温熱環境、光環境ならびに音環境等との関係性を調査し概念としてまとめられた<sup>13)</sup>。

2011年に竣工したCビル<sup>14)26)</sup>は研究オフィスであり、ワークプレイスとして多様な場に対して、求められる室内環境の性能について議論を行い、温熱環境、音環境、光環境を設定し、建築・設備計画に反映した。本建物の計画にあたってアクティビティに対して必要とされる空間と、求められる室内環境の関係のケーススタディを表-4-2に示す。表-4-2は知的生産性向上を目指した仮説に基づくものであり、汎用性を示すものではないが、本建物の環境性能の建築主と設計者間における合意形成のプロセスとしてまとめた。

竣工後、温熱環境を中心とする実測を行い、それぞれの場に求められる温熱環境が確保されていることを評価した。事務室については、眺望確保と日射制御を両立させる外部可動ルーバーや、執務者が自ら省エネルギー活動を実践するユーザ参加型自然換気、不在箇所の省エネルギーを図る次世代型人感センサを用いた照明/空調制御など、使用状況に応じた柔軟な制御により快適性を得るとともにエネルギー消費量を削減することが可能な働き方を実現する計画とした。また、知的生産性を高めることを目指した集中思考室については、放射効果とパーソナル気流を併用した空調計画により、好みに合わせた個別制御を可能とした。竣工後の温熱環境実測により、事務室、集中思考室ともに執務に適した環境であることを検証した。コミュニケーションの核として設定されたアトリウムは、上部の熱だまりやコールドドラフトによる環境悪化が想定され、事前のシミュレーションによる対策を実施したことにより快適環境を確保した。

表-4-2 求められる場と環境性能の設定

		求められる場、場に求められる機能		求められる環境		音環境	
		光環境・視環境		温熱環境			
集中	個	個人での集中作業 コンセントレーション 創造性を発揮する	集中思考室	明るさ感、外からの光 外への眺望、開放感	好みに合わせて個別制御 (温度、気流) 放射環境の改善	静かさ 周りに遮断される	
		執務空間 創造性を発揮する 研究開発の場 心地よさ	事務室 実験室 イノベーションルーム	まぶしさ防止 見通しが良い 明るさ感、外からの光 外への眺望、開放感	冬期加湿/夏期除湿 ユーザー参加の省エネ 窓際環境の改善 不在箇所への省エネ対応	オフィスに適した暗騒音レベル 周りの様子がわかる 鉄道騒音の遮断	
集中	リラックス	リフレッシュ ON/OFF 外とつながる	カフェ/アトリウム 食堂 ルーフトラス/屋上/ビオトープ	くつろぎ感 外への眺望	窓際環境の改善 極端な環境差を生じない 屋外でも涼しい	適度な喧噪感 自然の音	
		情報交換 回遊性/出会いを生む 仲間とつながる	食堂/食事スペース アトリウムのブリッジ オープンミーティングスペース	外からの光 見通しが良い くつろぎ感	連続空間の環境調整 個別環境の形成	周りの様子がわかる 適度な喧噪感	
集中	集い	セミフォーマルな会議 発想の共有 進捗確認	集中思考室 ラウンジ	まぶしさ防止 外からの光 外への眺望	好みに合わせて個別制御 (温度、気流)	静かさ 聴き取りやすさ	
		フォーマルな会議 知識の集結 共有を促進	ホール 会議室 プレゼンテーションルーム	まぶしさ防止 暗転 閉鎖的ではない	個別環境の形成 上下温度差が小さい 用途変更への対応	明瞭度/吸音 静粛性 鉄道騒音の遮断	

#### 4.1.1 対象建物と検証の目的

Cビルは、本社機能と研究開発機能を併設した建物である。この建物では、働く人の知的生産性を高め、創造性を最大限に発揮できる快適な職場環境を実現するとともに、自然換気や太陽光発電といった自然エネルギーを積極的に利用するなど多様な環境技術を採用して、高水準の環境配慮型オフィスとなるよう計画されている。2011年10月末に完成し、同年11月より使用されている(表-4-3、表-4-4、写真-4-1)。さまざまな知識創造を誘発させることを狙った建築空間が設けられており、それに対する空調システムとしてビル用マルチパッケージ型空調システムを適応した。

表-4-3 建築概要

建物用途	事務所・研究所
所在地	京都府向日市
敷地面積	9,917.36㎡
建築面積	4,772.77㎡
延床面積	16,318.49㎡
構造・階	高層棟:免震構造、SRC造/RC造/S造、地上7階 低層棟:RC造/一部S造、地上2階
最高高	29.45 m
工期	2010年8月～2011年10月

表-4-4 設備概要

熱源方式	空冷ヒートポンプモジュールチラー (475kW、5モジュール)
空調方式	事務室:タスク・アンビエント空調方式 アンビエント空調:単一ダクト定風量空調機 タスク空調:空冷HPマルチ型パッケージ方式 その他:空冷HPマルチ型/店舗用パッケージ方式 電気式ペリメータヒータ、床暖房
監視設備	中央監視設備、エネルギー見える化設備
排煙方式	全館避難安全検証法(ルートC)による蓄煙、 自然排煙

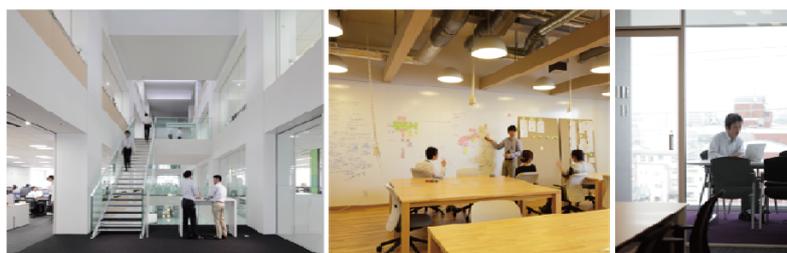
#### 4.1.2 執務スペースの建築計画

本計画の平面計画と断面計画を図-4-1、図-4-2に示す。執務スペースである事務室の窓が東面に配置されることとなり、空調負荷の増大が懸念された。そこで、事務室の東側の窓に対して、水平の庇と太陽光を追尾して制御される縦ルーバーを採用し、室内への日射の侵入を制御する計画とした。これにより、南北軸での建物配置による日射負荷の増加を相殺している(図-4-3、図-4-4)。

事務室は、オフィス内でのコミュニケーションの促進や見通しの良さ、組織変更への対応性などに配慮して、大部屋として計画した。図-4-5に示す事前アンケートにより、実験室と事務室を往来する研究者が多く、事務室の在席率の変動が予想されたため、空調は人感センサにより不在箇所の照明とタスク空調を自動でOFFするなど、省エネルギーにも配慮した。



前景



アトリウム

イノベーションルーム

集中思考室



食堂

パントリー

空中会議室

写真-4-1 Cビル外観・内観

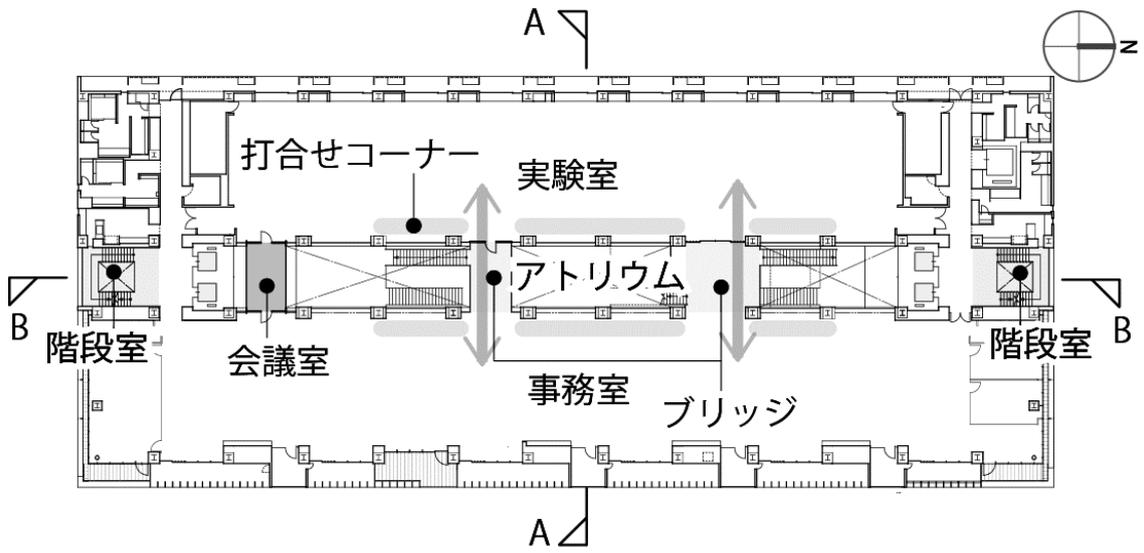
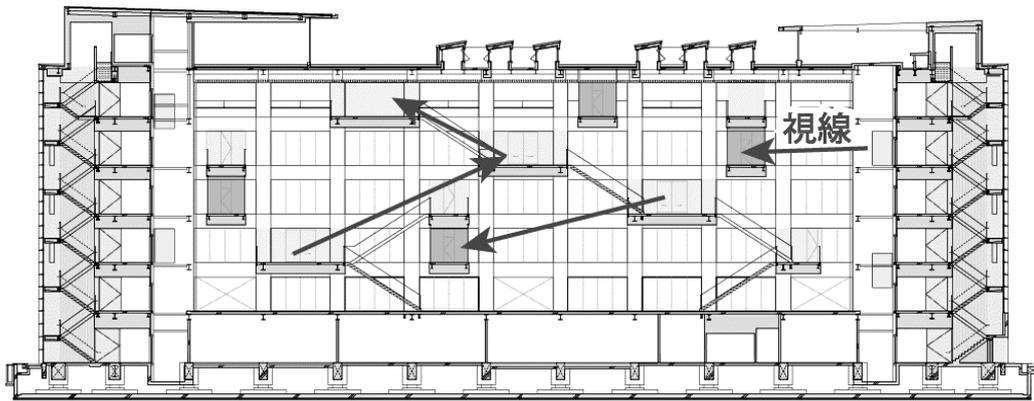


図-4-1 基準階平面図



B-B断面

図-4-2 アトリウム断面図

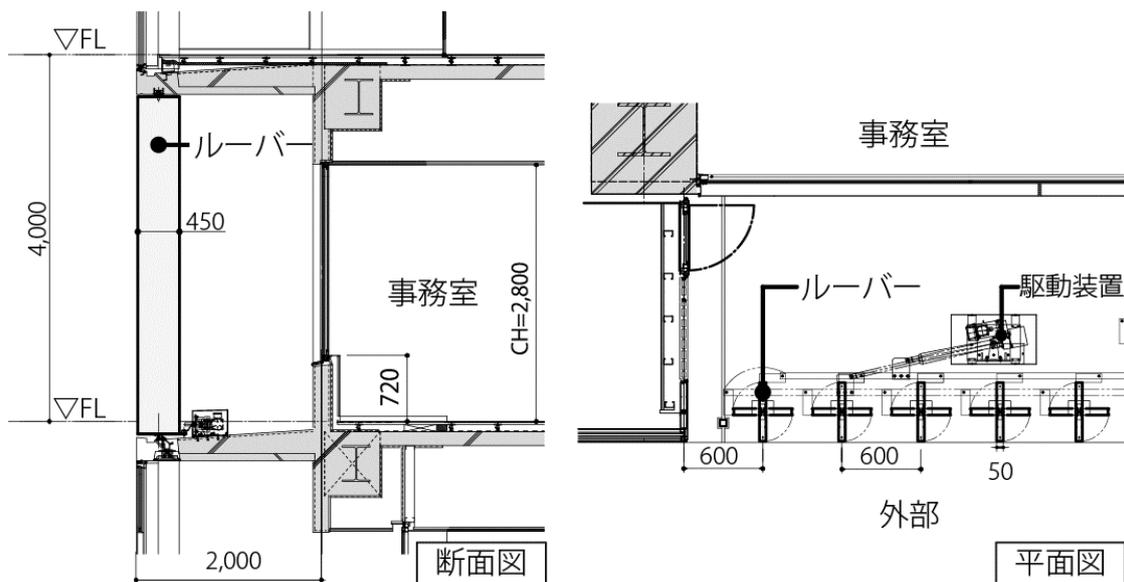


図-4-3 窓廻り詳細(断面図・平面図)

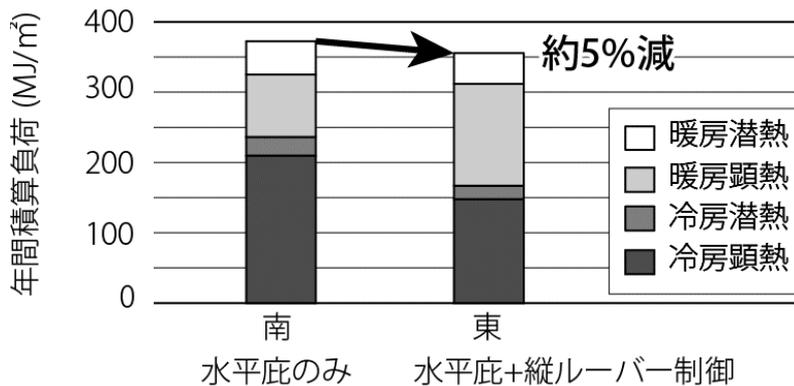


図-4-4 年間負荷の比較(南面と東面)

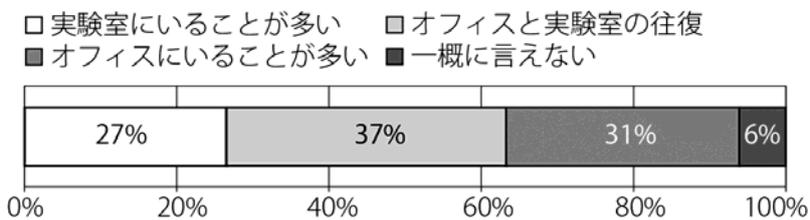


図-4-5 事務所-実験室滞在割合アンケート結果

### 4.1.3 事務室執務スペースの空調計画と検証結果

図-4-1に示す東側事務室の空調は、Aビルと同様にタスク/アンビエント空調方式としているが、アンビエント系統はスペースの制約等により中央熱源方式としている。空調機(以下AHU)によるアンビエント空調と、ビル用マルチパッケージ型空調システムによる変動負荷空調で計画した。二次側空調方式の概要を図-4-6に示す。外気負荷処理をメインとするアンビエント空調系統と変動負荷を処理するタスク系統で図-4-7に示す負荷分担を行うシステムとした。不在箇所のビル用マルチパッケージ型空調システムを停止することで、必要箇所のみでの負荷処理を行い、図-4-8に示す負荷削減効果を期待している。1フロアに対し、ベース系統を3ゾーンとし、変動負荷系統をインテリア11ゾーン、ペリメータ4ゾーンとした(図-4-9)。空調負荷計算条件は、3章でのケーススタディにおける「小」(表-3-4参照)とし、照明発熱 $15\text{w}/\text{m}^2$ 、コンセント発熱 $15\text{w}/\text{m}^2$ 、人員密度は $0.125\text{人}/\text{m}^2$ として算出した。

AHU(Air Handling Unit:空調機)にはコイルバイパス機構を組み込み、夏期には除湿優先を可能としている。また、中間期には外気冷房を行い、冬期には2段加湿により室内湿度を維持する計画としている。

なお、事務室に併設されている集中思考室は、PACを用い、一台の室内機によるパーソナル空調と空気式放射空調方式を採用している。

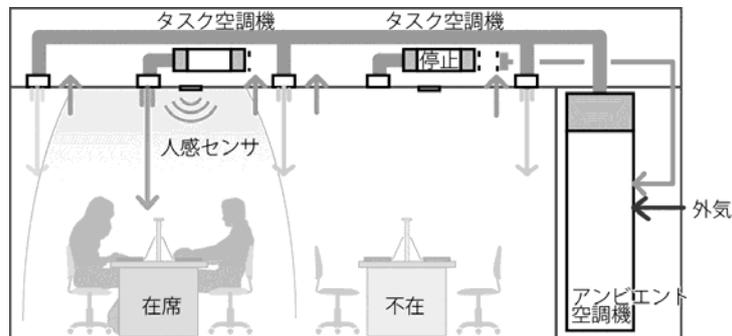


図-4-6 ベース・変動負荷空調方式概要

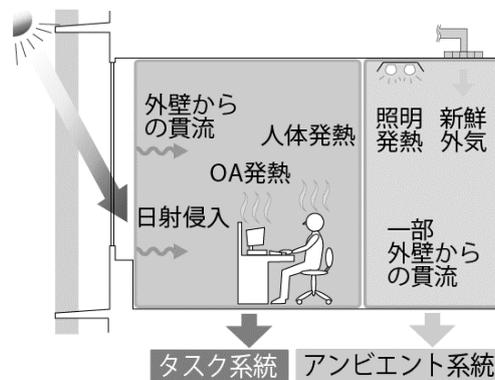


図-4-7 負荷分担概念

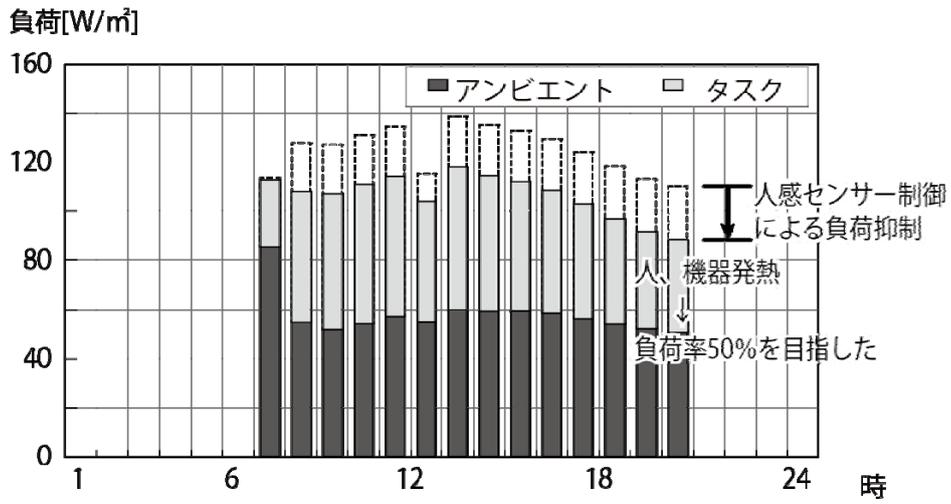


図-4-8 省エネルギー効果の狙い(Micro Peakによるシミュレーション結果)

- アンビエント空調機：4ゾーンAHU4台
- タスク空調機(インテリア)：11ゾーン室内機44台、室外機6台
- タスク空調機(ペリメータ)：4ゾーンPAC室内機4台、室外機2台

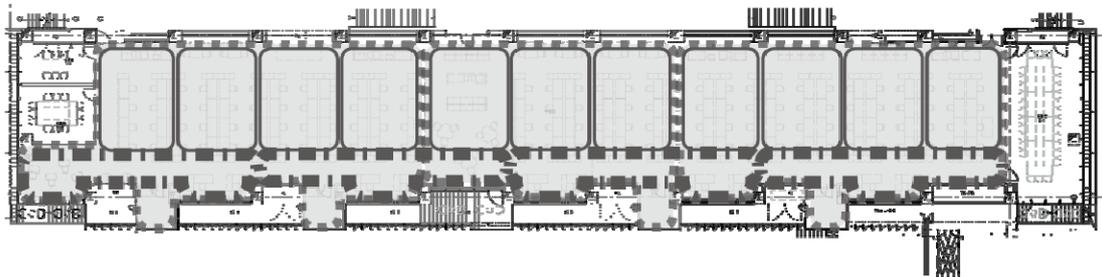


図-4-9 空調ゾーニング

(1) タスク/アンビエント方式による省エネルギー効果

図-4-10 に夏季代表日(7/25)の5階でのビル用マルチパッケージ型空調システム運転実績を示す。日中は人感センサの検知率が80%以上と高いことからすべての室内機が運転しているが、残業時間に入ると在席率に合わせて室内機の運転台数が削減されている様子が確認できる。

また、図-4-11 に同日の電力消費量を示すが、残業時間帯にアンビエント系統 AHU が停止し、在席箇所のタスク系統ビル用マルチパッケージ型空調システムのみが運転となることで、省エネルギー効果が得られていることが確認できる。アンビエント系統の残業時間停止による空気質(特にCO<sub>2</sub>濃度)の維持の確認はAビル、Cビルにおいて詳細計測で問題のないことを確認している。同日21時の室内温度を図-4-12 に示す。ビル用マルチパッケージ型空調システム稼働エリアの室温が適正にコントロールされている様子が確認できる(設定温度27°C)。

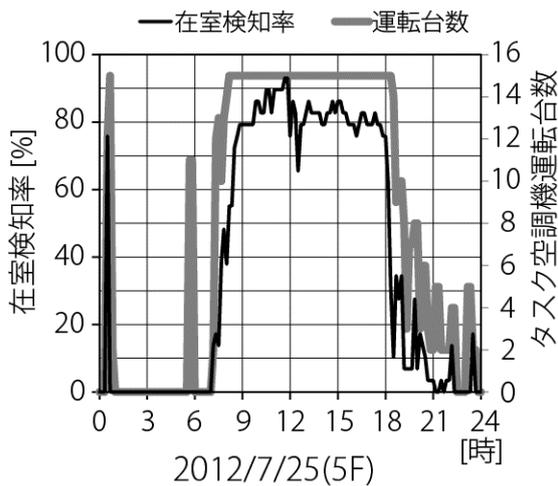


図-4-10 変動負荷系統稼働状況

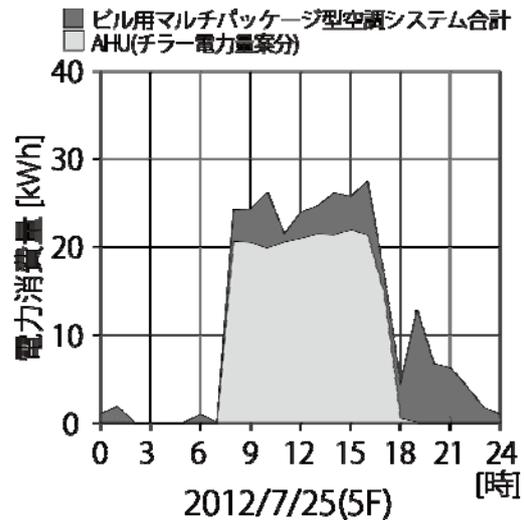


図-4-11 時系列電力消費量

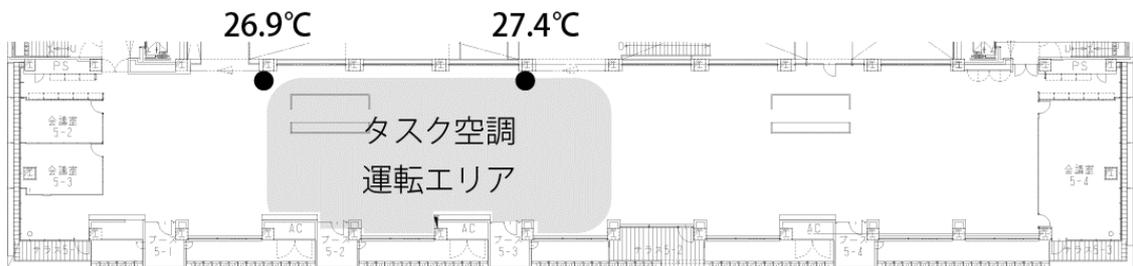


図-4-12 変動負荷停止時間帯の室内環境(2012/7/25 21:00)

(2) 外気冷房の運用実績

図-4-13 に、2012年6月～2013年5月の月ごとの外気冷房による負荷削減熱量を示す。外気負荷の削減熱量にあたっては10分ごとにBEMSに収集される。外気ダンパ開度、外気温湿度、室内温湿度データならびに空調機のインバータ周波数を用いて送風量を算出した。熱源の冷房/暖房切り替え時期から、外気冷房が有効であった時期は2012年6月、10月、2013年5月後半の3か月であった。図-4-14 に代表日(2012/6/5)の削減効果を時系列グラフで示す。6月における外気冷房による削減熱量は262MJであり、チラーでの負荷処理を約19%削減したことに相当する。

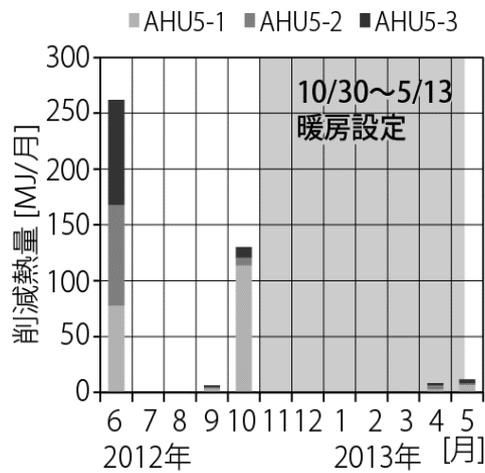


図-4-13 AHU 系統外気冷房効果

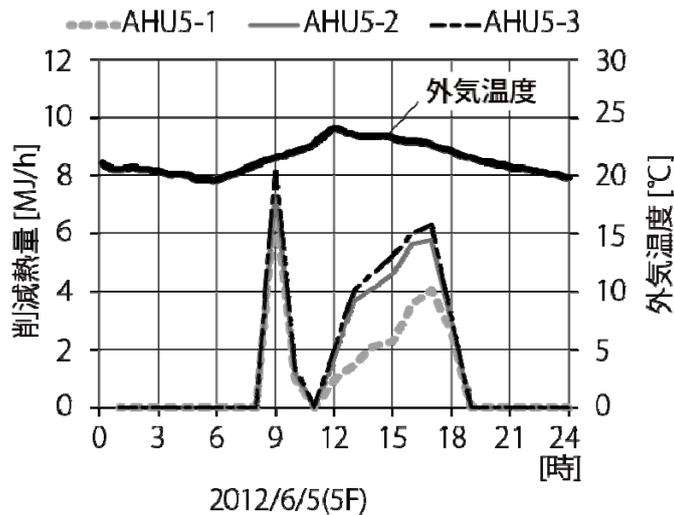


図-4-14 外気冷房時 AHU 送風機電力量の削減効果

(3) 夏季・冬季の湿度環境

外気処理はアンビエント空調機で行い、夏季の除湿と冬季の加湿に配慮した空調システムとして計画した。夏季は、AHU 内部に組み込んだバイパスダンパ制御により、除湿を優先させた制御を選択可能としている。除湿優先制御では、室内湿度による冷水弁制御で外気を除湿し、その後、コイルをバイパスさせた RA 空気と混合させて昇温した空気を室内へ供給する。RA バイパスダンパは室温により制御される。これにより、降雨時や設定温度が高め(27℃)の節電運用下でも湿度50%程度に保つことができた。室内温度制御時と湿度優先制御時の室内環境実測結果を図-4-15に示す。

冬季は室内湿度に合わせて、AHU に組み込んだ2段の加湿器を稼働させる。図-4-16に冬季代表日(2013/1/21)の湿度状況を示す。湿度の低い空調立ち上がり時には加湿器が2段運転し、室内環境が立ち上がると2段目の加湿弁が閉止し、1段目の運転となり、使用水量の無駄を防いでいる。空調時間帯の湿度は40~50%程度に保たれていることが確認できた。

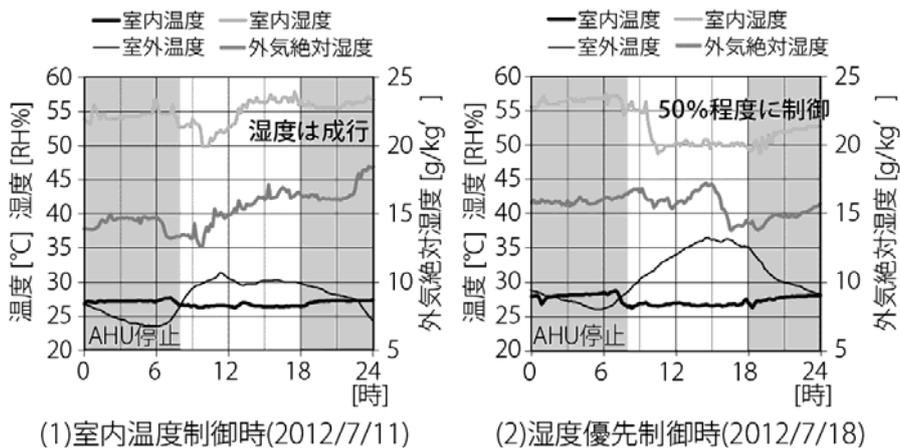


図-4-15 夏季代表日室内環境

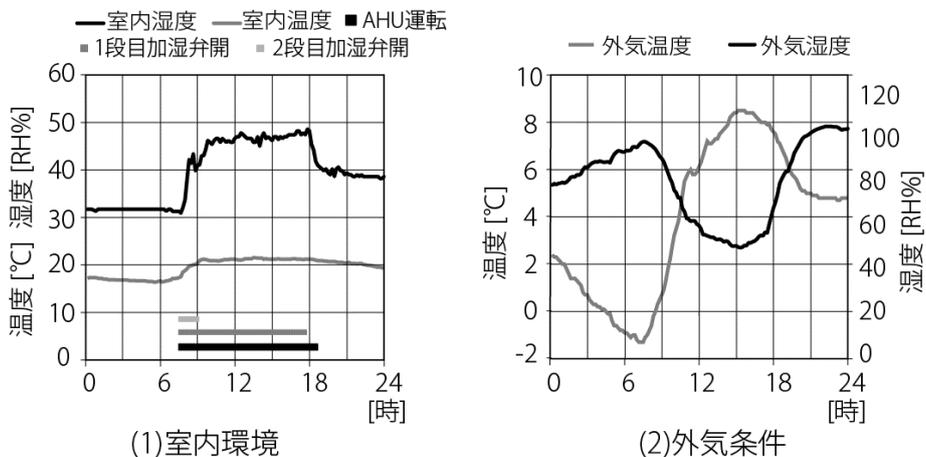


図-4-16 冬季代表日室内環境(2012/1/21)

#### 4.1.4 集中思考室の計画と検証結果

少人数での打合せや、個人での集中作業を行うための集中思考室を、各階事務室の東側に合計15部屋計画した(図-4-17)。平面図を図-4-18に示す。この部屋は、移動やコミュニケーションが発生するアトリウム側ではなく、集中作業が行いやすい東面外壁側に設置されている。扉を閉じることで事務室の喧噪から遮断されながらも、東側の全面ガラスにより開放感がある快適なスペースとして、集中作業に適した空間とした。中間期には、ルーバー内側のバルコニー状空間に面した窓の開閉により自然換気も可能である。

##### (1) 空調計画

このスペースは、集中作業に適した小面積の部屋であり、室内の表面積に対して窓面積が占める割合が大きく、窓面からのほてり感、冷放射が想定された。このため、ガラスをペアガラス(FL12+A10+FL12mm)とすることで断熱性を向上させるとともに、窓際に設置した自然対流型電気ヒータにより、冬季における窓面からの冷放射とコールドドラフト対策としている。夏季に対しては、ガラスに遮熱フィルムを張り、加えてロールスクリーンを設置することで日射負荷を低減している。

創造性を発揮できる執務環境として適正な温熱環境を確保するため、ビル用マルチパッケージ型空調システムを用いた放射効果とパーソナル気流と組み合わせ空調方式を採用し、快適感の向上に配慮した。図-4-19に空調システムの概要を示す。空調空気の供給は、微細孔のあいたメタル天井を利用した天井チャンバ給気方式とし、室内に供給される冷風と天井面からの放射効果による冷房システムとした。合わせて、同一系統のPAC室内機より分岐したダクトにより天井面に、執務者が好みで使用可能なパーソナル吹出口を設置し、気流による温熱環境改善が可能なシステムとした。被験者実験と鹿島技術研究所本館実験棟での実測により、非等温吹出でのパーソナル気流による快適感の向上効果について事前に確認を行い、本計画に適用した<sup>27)</sup>。

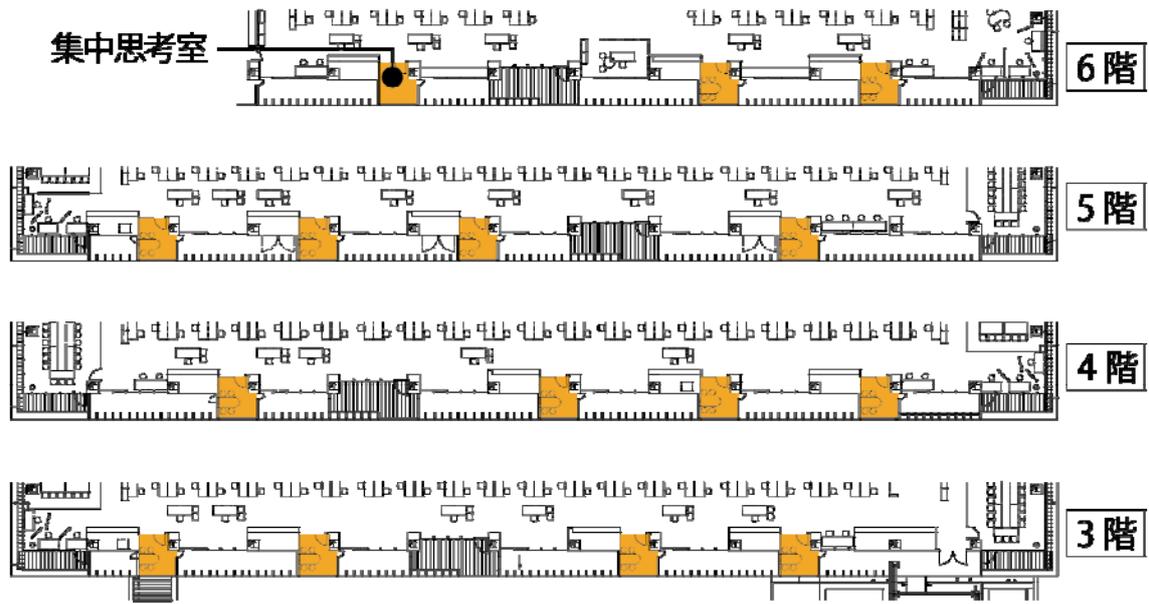


図-4-17 集中思考室の各階配置図

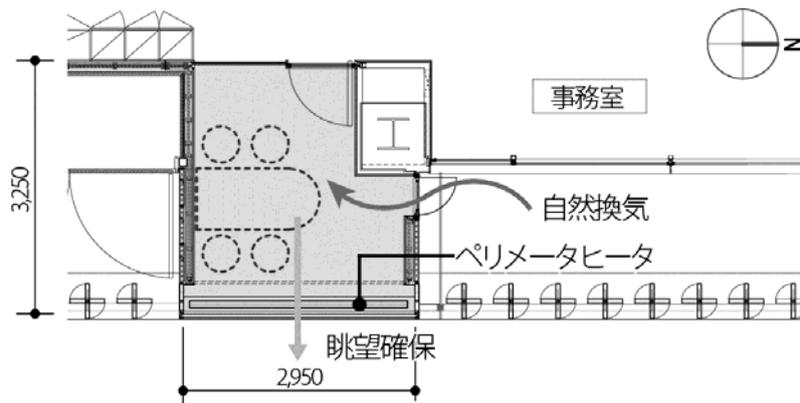


図-4-18 集中思考室平面図

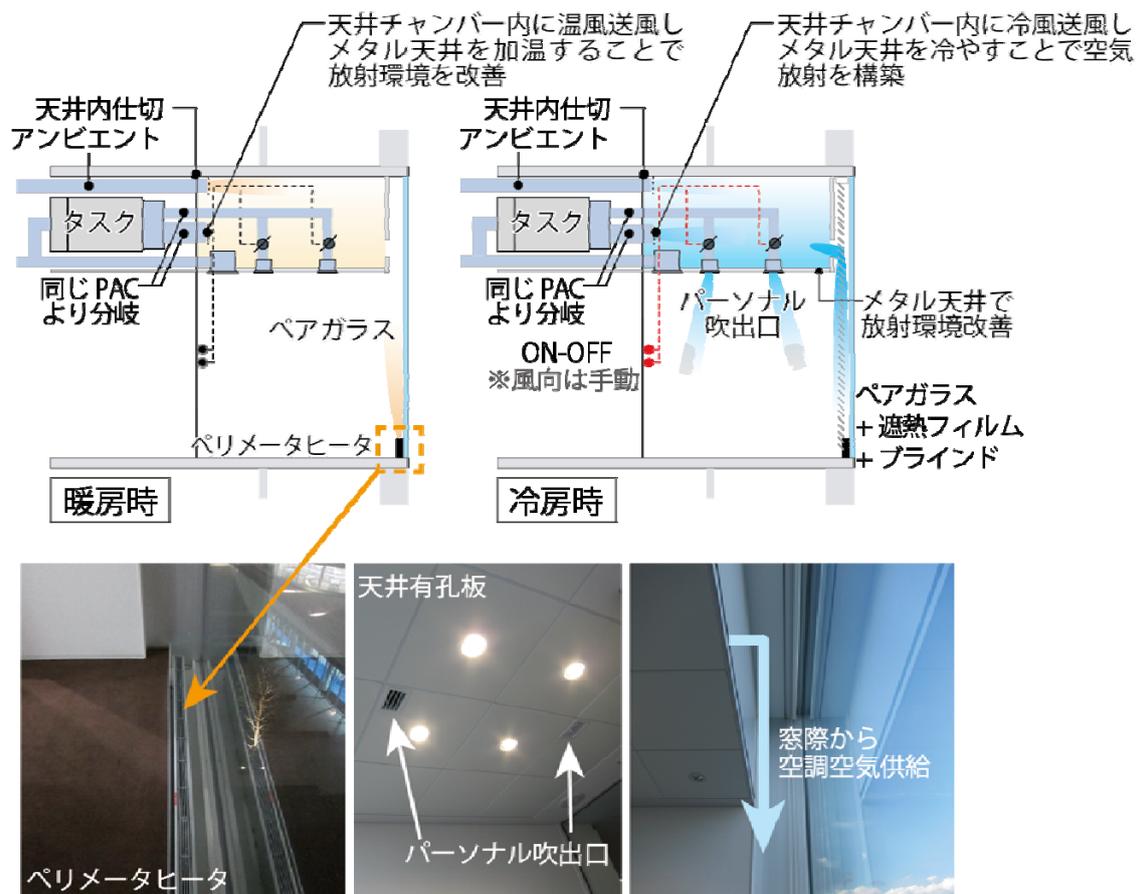


図-4-19 集中思考室空調システム概要

(2) 温熱環境実測の検証

5階集中思考室における温度分布・風速分布・放射環境などの測定を行い、冬季・夏季の運用時における温熱環境の検証を実施した。特に、冬季についてはペリメータヒータによる放射環境改善の効果を夏季においてはパーソナル吹出および天井有孔板の冷却による室内温熱環境への効果を把握した。以下に夏季温熱環境の検証結果を示す。

#### 4.1.5 夏季温熱環境の検証結果

##### (1) パーソナル吹出の効果

パーソナル吹出口直下で測定した風速を図-4-20(1)に、空気温度を図-4-20(2)に示す。吹出風速は3.5m/sであり、居住域では1m/s以下となっている。吹出温度は18℃程度であり、居住域では24～27℃程度である。床上1.1mでは26.4℃、0.76m/sであった。

パーソナル吹出の効果进行评估するため、温熱環境の評価指標 PMV (Predicted Mean Vote、予測平均温冷感申告) を算出した結果を図-4-21に示す。平均放射温度はグローブ温度と空気温度から算出した。パーソナル吹出なしの場合の風速は0.15m/s と仮定し、着衣量・代謝量については0.6clo、1.2met と想定した。「パーソナル吹出なし」と「あり」を比較した場合、PMV は0.91から0.31と、0.6程度中立側に改善し、非等温気流による温熱環境の改善効果が見られた。

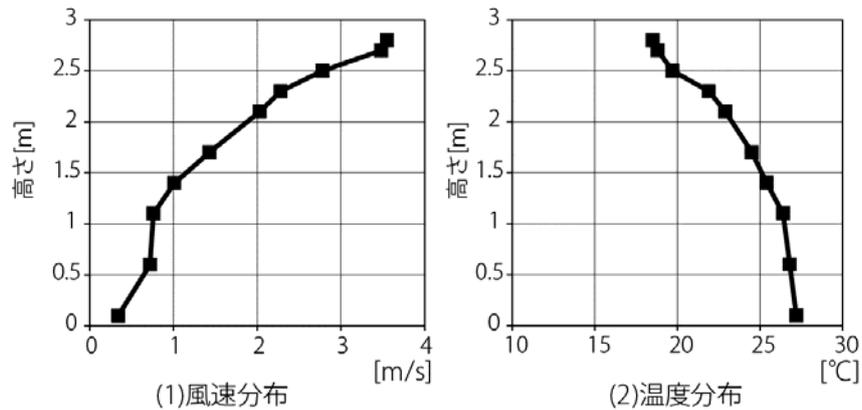


図-4-20 パーソナル吹出による風速・温度分布(夏季 2012/7/18)

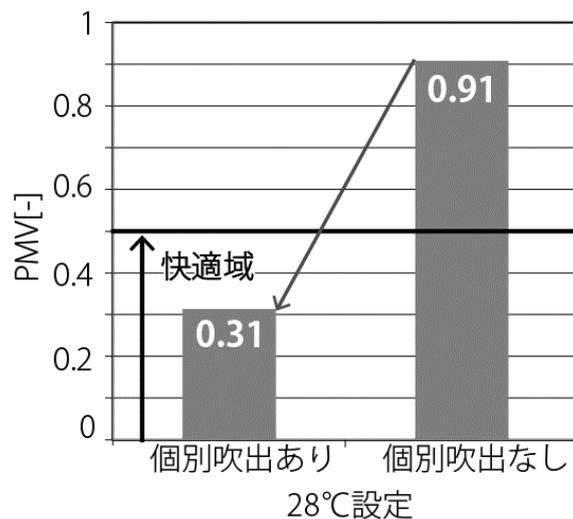


図-4-21 パーソナル気流の効果(夏季 2012/7/18)

(2) PACによる天井有孔板の冷却による放射の効果

7月18日12時における天井有孔板表面の熱画像を図-4-22に示す。測定時の室内空気温度は29.7℃であり、天井チャンバへの吹出温度は19.4℃であった。天井放射パネルは22~26℃程度、壁面温度は31℃程度、ブラインド温度は33.6℃である。天井放射パネルの効果进行评估するため、平均放射温度・作用温度を算出した(図-4-23)。天井放射パネルなしの場合の天井温度は床面・壁面の平均値とした。「天井放射パネルなし」と「あり」の場合で平均放射温度は室温に対して+1.7⇒+0.5℃(1.2℃低下)、作用温度は室温に対して+0.9⇒+0.2℃(0.7℃低下)となり、放射による体感温度低下の効果が見られた。

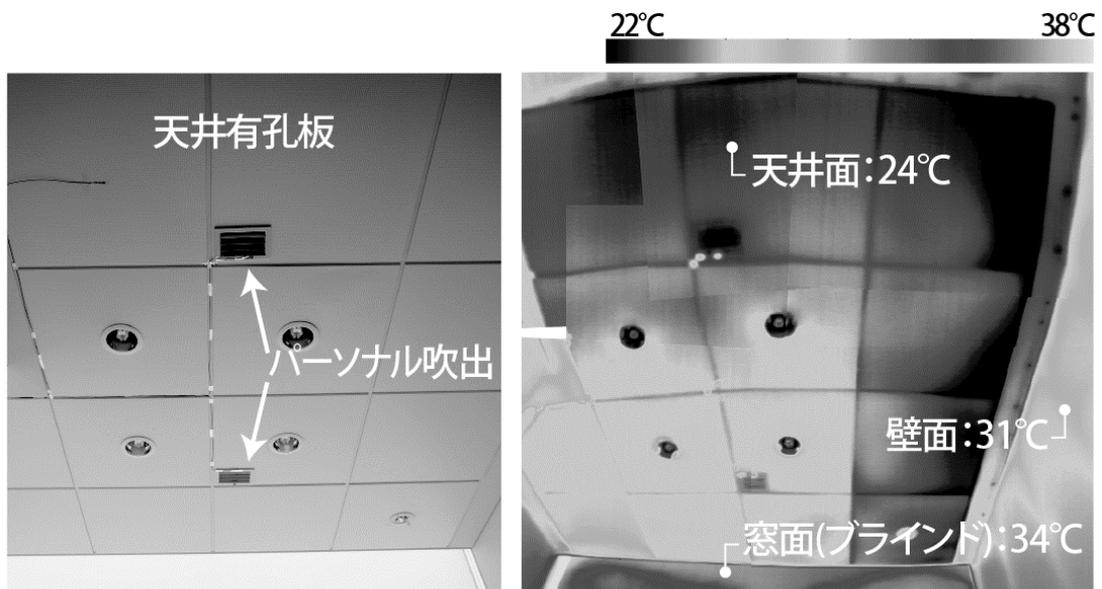


図-4-22 天井有孔板冷却による表面温度分布(夏季 2012/7/18 12:00)

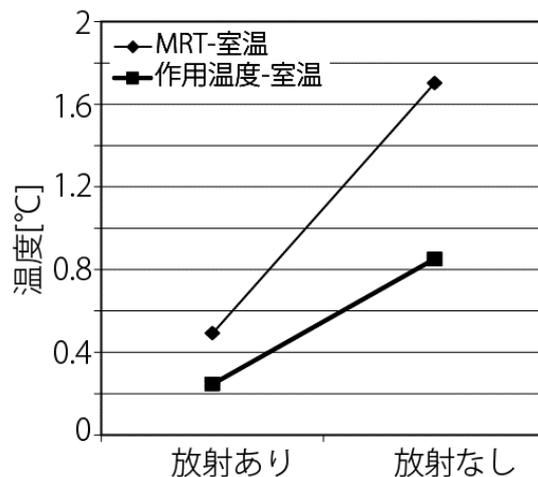


図-4-23 天井放射冷却の効果(夏季 2012/7/18)

#### 4.1.6 エネルギー消費実績

C ビルの2012年4月～2013年3月における年間一次エネルギー消費量は18,106GJ/年であり、単位面積あたりに換算すると1,132MJ/m<sup>2</sup>・年であった(図-4-24)。これは、DECC(非住宅建築物の環境関連データベース: Data-base for Energy Consumption of Commercial building、IBEC)統計値から算出した該当地域区分、同規模分類の事務所ビルでの平均一次エネルギー消費量と比較すると43%減の値であり、大幅な省エネルギー運用が実現できた。エネルギー消費量の内訳は、研究開発施設という特性から実験用途でのエネルギー使用が19%程度あり、その他主なものとして、空調で36%、照明で20%、コンセントで17%であった。

月別一次エネルギー消費量を図-4-25に示す。厨房、動力、照明、コンセントでのエネルギー消費量は年間を通して変動が小さい。衛生用途でのエネルギー消費量は、総量が小さいため変動量も小さいが、冬季に増加する傾向であり、給湯負荷の影響と考えられる。外気温度の影響を受ける空調でのエネルギー消費量は夏期と冬期に増加し、中間期はピーク時の20～50%程度まで減少する傾向であった。太陽光発電による月別の年間発電量を図-4-26に示す。2012年5月末以降に系統連係を開始し、2012/5/30～2013/5/29までの総発電量は36,784kWhであった。これは、年間使用エネルギーの約2%に相当する。

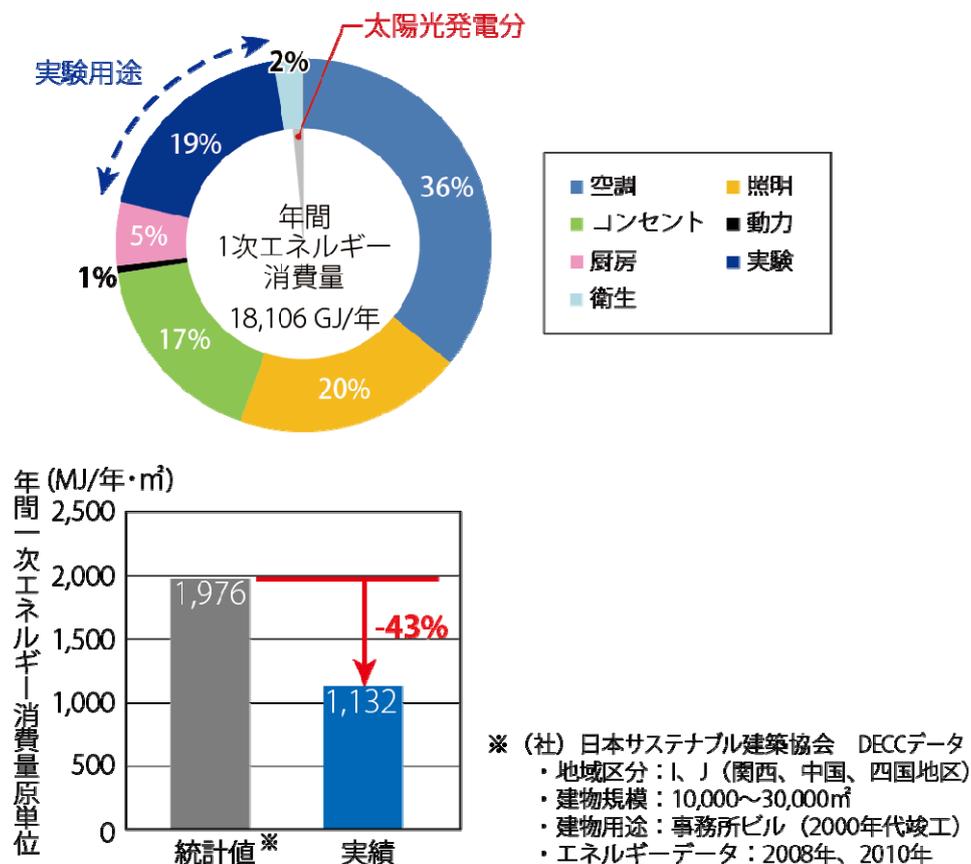


図-4-24 年間一次エネルギー消費量(内訳とベンチマーク比較)

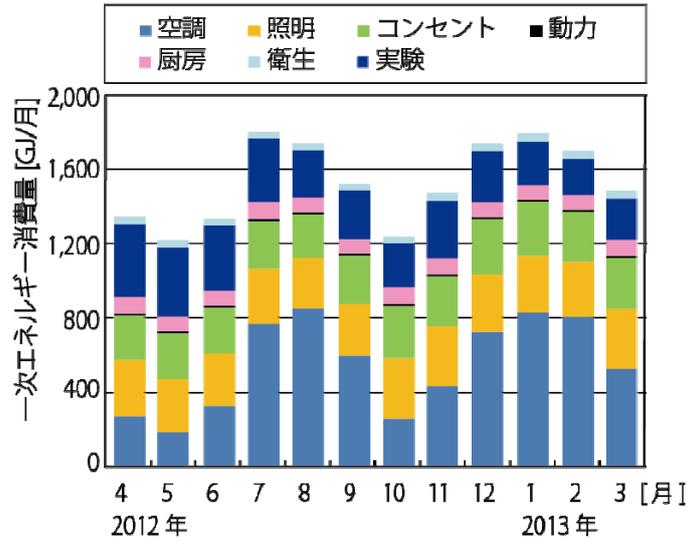


図-4-25 月別一次エネルギー消費量

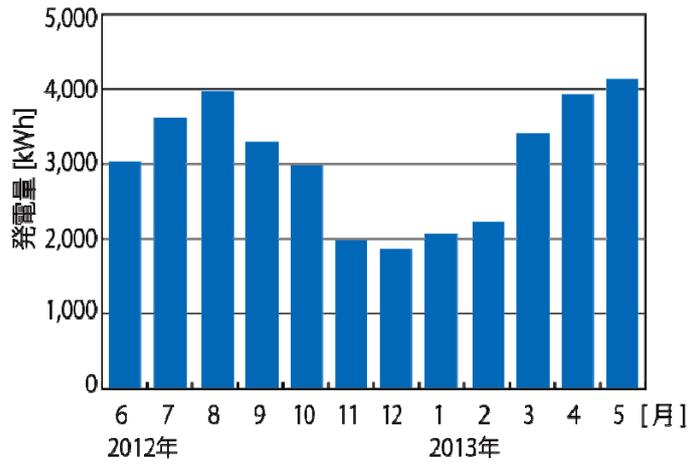


図-4-26 月別発電量

#### 4.1.7 知的生産性に関する評価

知的生産性と温熱環境・省エネルギーの関係性について田辺らの調査研究<sup>28)</sup>において詳しく例示されている。本報では、入居一年後の2012年11月にSAP(Subjective Assessment of Workplace Productivity 一般社団法人日本サステナブル建築協会<sup>29)</sup>)の内容を含んだPOE(Post Occupancy Evaluation)を実施し、入居後の評価を行った。調査誤差などの評価は実施しておらず、参考情報として示す。SAPは、光/温熱/空気質/音/空間の5つの環境要素に対して、満足度や作業への影響を回答させるアンケート方式の評価手法である。図-4-27に集計結果の一例を示す。仕事の効率が上がったという回答が約30%、アイデア発想/気づきが向上したという回答が約56%となっており、新しい建物が創造性を発揮できる場であることが推測できる。また、図-4-28に事務室における作業への集中のしやすさ、コミュニケーションの取りやすさについての集計結果を示すが、『しにくい』側の回答が非常に少なくなっている。短期間のアンケート調査であり、知的生産性向上そのものを示すものではないが、集中/コミュニケーションに適した執務環境であることが推測される。

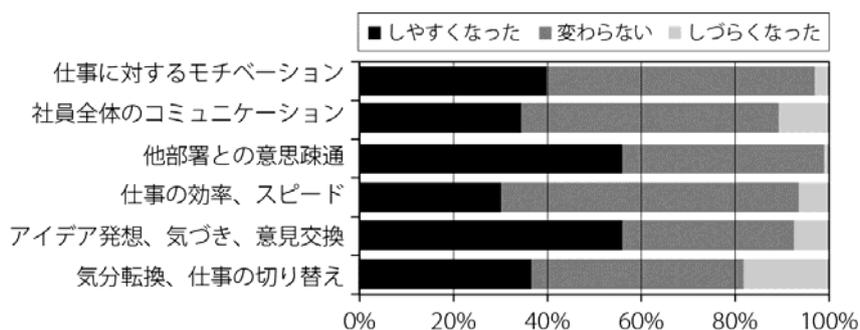


図-4-27 POEによる評価

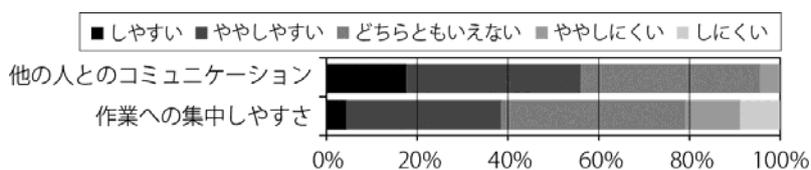


図-4-28 事務室での作業性評価

#### 4.1.8 本建物性能検証のまとめ

- 1) C ビルでは、創造性を発揮させる建物の実現をコンセプトとして、顧客と設計者によるプロジェクトチームを結成し、基本となるワークスタイルの把握のため、アンケートでのアクティビティ分析を実施した。その結果を基に、事務室や集中思考室、アトリウムなど、知的生産性の向上に資する多様な場を用意し事務室のタスク/アンビエント空調や集中思考室におけるパーソナル空調や空気式放射空調などビル用マルチパッケージ型空調システムを高度に利用した。また、それぞれの場に求められる環境性能と課題を整理し、シミュレーションによる検証や、新規システム開発などを行い、対応するビル用マルチパッケージ型空調システムの高度利用を実施した。
- 2) これにより、事務室においては、眺望の確保と快適な温熱環境の両立を実現した。また、効果的な空調方式を検討したアトリウムや、上下温度分布が少ないなど、快適な環境が実現できていることを確認した。竣工後のPOE評価により、約56%の方から「アイデア発想/気づきが向上」したという回答が得られるなど、知的生産性の向上に寄与できる建物である可能性を示唆している。
- 3) 本検証においては知的生産性と省エネルギーとの関係性などを明示するものではないが、本建物で用いられた建築的/設備的手法は、汎用的な技術で作り込まれおり、今後ますます重要となっている省エネルギー性と知的生産性の両立と、その向上に資するケーススタディとして、新たに計画される知的生産性を目指した建物へ展開できると考えている。

## 4.2. 既存改修の事例(オフィス)

### 4.2.1 対象建物と検証の目的

国が策定した「低炭素社会に向けた住まいと住まい方の推進に関する工程表」<sup>15)</sup>の中で、中長期的な取組みとして ZEB ビジョンが挙げられている。また、2014年4月に策定された「エネルギー基本計画」の中でも ZEB の実現が記載されている。竣工から27年を超える D ビルを対象に様々な ZEB を指向した省エネルギー技術を導入し、運用段階における効果の定量化をはかり、適用技術の汎用化を目指した<sup>30)31)</sup>。

D ビルにおける実証研究では、既存建物を対象とし、比較的短期間で開発が可能であり、かつ経済合理性の高い次世代技術を開発適用し、将来の ZEB 実現はかることをめざした。エネルギー消費量のうち過半を占める空調設備を中心に開発し、次世代センサを適用した高効率なビル用マルチパッケージ型空調システムを構築した。また、太陽光発電(PV)とリチウムイオン蓄電池を活用した充放電制御を実施し、供給側/負荷側の変動に応じた空調における商用電力利用の最小化を図った。

#### 4.2.1.1 実証試験概要

実証試験を行った D ビルは、1989年に建設された、地下1F・地上9F 建、延床29,468㎡のオフィスビルである。改修における ZEB 化は、設備機器スペースや改修工事の難易度において達成が難しいと考えられた。計画当初フィージビリティスタディを行った項目を表-4-5に示す。外装に関わる改修については、工事費や工事期間、ならびにその省エネルギー効果を総合的に考え、遮熱フィルムを貼ることにとどめた。

表-4-5 Dビル ZEB改修フィージビリティスタディと採否

項目		概要	FSによる採否
エコ・デザイン	次世代人感センサー利用 タスクアンビエントLED照明	天井アンビエント照明をLED照明パネル（600mm角）に改修（アンビエント照度 350lx設定）	○
		人感センサーによる照明のオンデマンドコントロールシステムを新設	○
		LEDタスクライトを新設（タスク照度 350lx設定）	×
	潜熱顕熱分離空調システム	高顕熱型ビル用マルチ+ヒートポンプデシカントパッケージ空調機に改修	○
		人感センサーによる空調自動制御	○
		タスクアンビエント空調	○
建築計画における省エネルギー	ファサード改良による自然換気	×	
エコ・ワークスタイル	省電力シンクライアントPC	個人席PCを廃止し電力消費量の少ないシンクライアント型情報端末装置を採用しOA用電力と空調負荷を低減	×
	最適な無線LAN環境の構築	省電力シンクライアントPC利用最適でセキュアな無線LAN環境を構築	×
	タブレットによる空調・照明アンケートを操作	空調や照明の満足度をインプットするとともに、照明の調色を選択	○
エネルギー・マネジメント	直流配電システム（照明用+PCコンセント用）	個人席情報端末用電源の直流配電システムを新設 天井照明用電源の直流配電システムを新設	×
	電力最適制御マネジメント	太陽光・Li-ionバッテリー・商用電力の需給最適制御により自然エネルギーの有効利用を図る	○
	エネルギー情報表示	改修フロアと既存フロアのエネルギー消費量の差異を情報モニターおよびイントラネットに表示	○
	B・OAシステム導入	BA・OAネットワーク連動により個人情報端末からの照明・空調制御システムを新設	○
再生可能エネルギー	太陽光発電装置新設	太陽光発電パネル（出力約30kW）を屋上に新設し当該フロアの商用電力と系統連系	○

適用技術は、難易度や費用対効果により採否を決めた。図-4-30 に示すDビルの6階事務室エリアについて、フロア約1,000 m<sup>2</sup>のうち、その1/2である500 m<sup>2</sup>にて改修工事を実施した。改修エリアの内観写真を図-4-31 に示す。

設計段階における目標の検証確認は、改修エリア/非改修エリアについて電力等のエネルギー消費量を用途別（照明、空調、コンセント）に計測した。両者は同じフロアで同じ業務形態であることから、開発技術の導入による電力消費量目標を定量的に図-4-32 に示すように、フィージビリティスタディとしての試算により50%削減と設定した。特に空調エネルギーは太陽光発電と充放電システムにより半減することを目標とした。

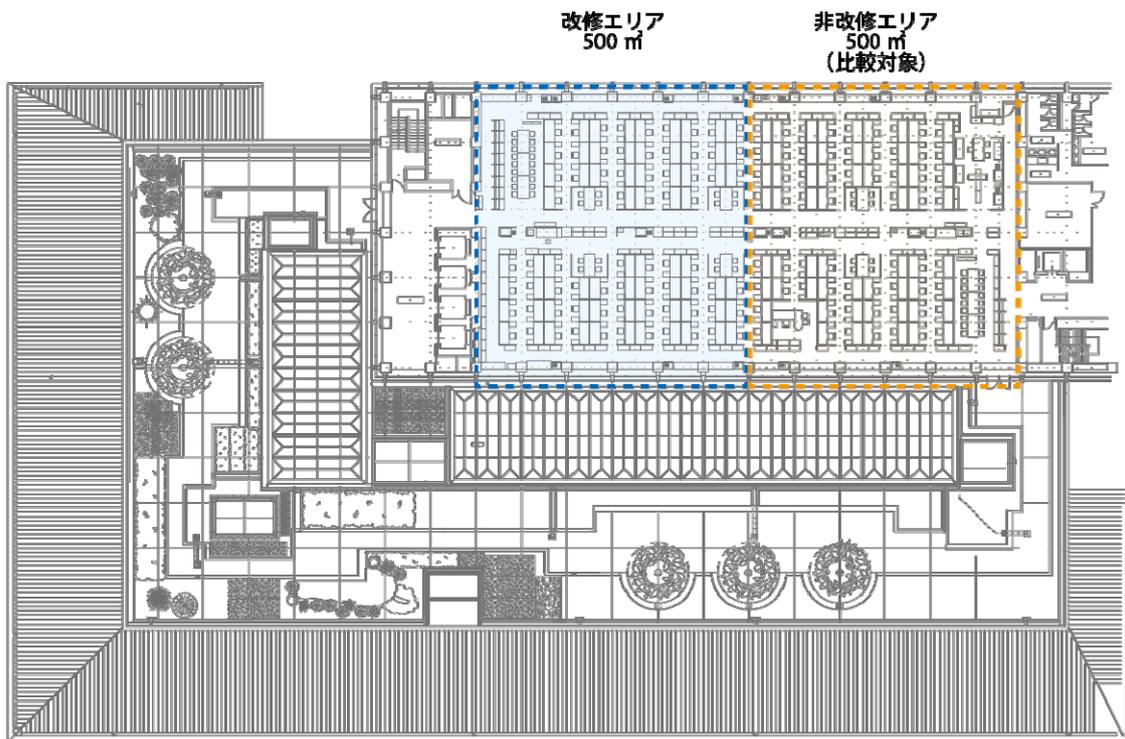


図-4-30 Dビル 6階平面図



図-4-31 改修エリア内観

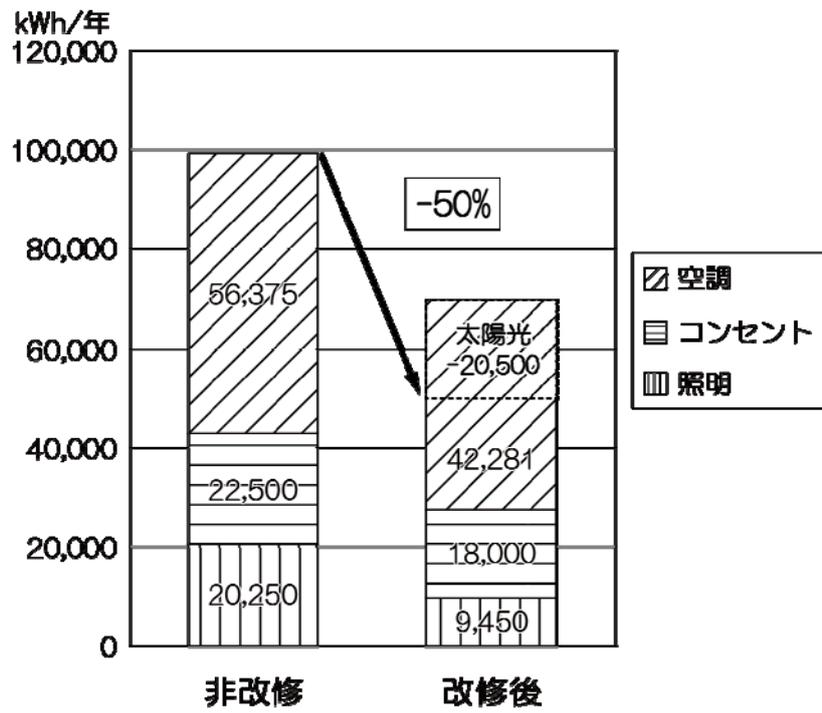


図-4-32 改修による年間エネルギー消費量目標試算(試算値)

#### 4.2.1.2 適用技術と全体システム

本実証試験での主な適用技術を図-4-33に示す。

ビル用マルチパッケージ型空調システムを用いた「空気式放射空調システムに用いるビル用マルチパッケージ型空調システムと床置型ヒートポンプデシカントパッケージ空調機を組み合わせた潜熱顕熱分離空調システム」、「グリッド天井対応の明るさ感演出LED照明」をはじめ、太陽光発電による電力をリチウムイオン蓄電池にて充放電することで電力供給を安定的に行う「スマート充放電制御システム」、「人密度検知人感センサによる空調・照明制御」、「エネルギーのリアルタイム見える化」、「汎用タブレット端末を利用したオフィス環境の最適化アプリ」などの技術を導入している。

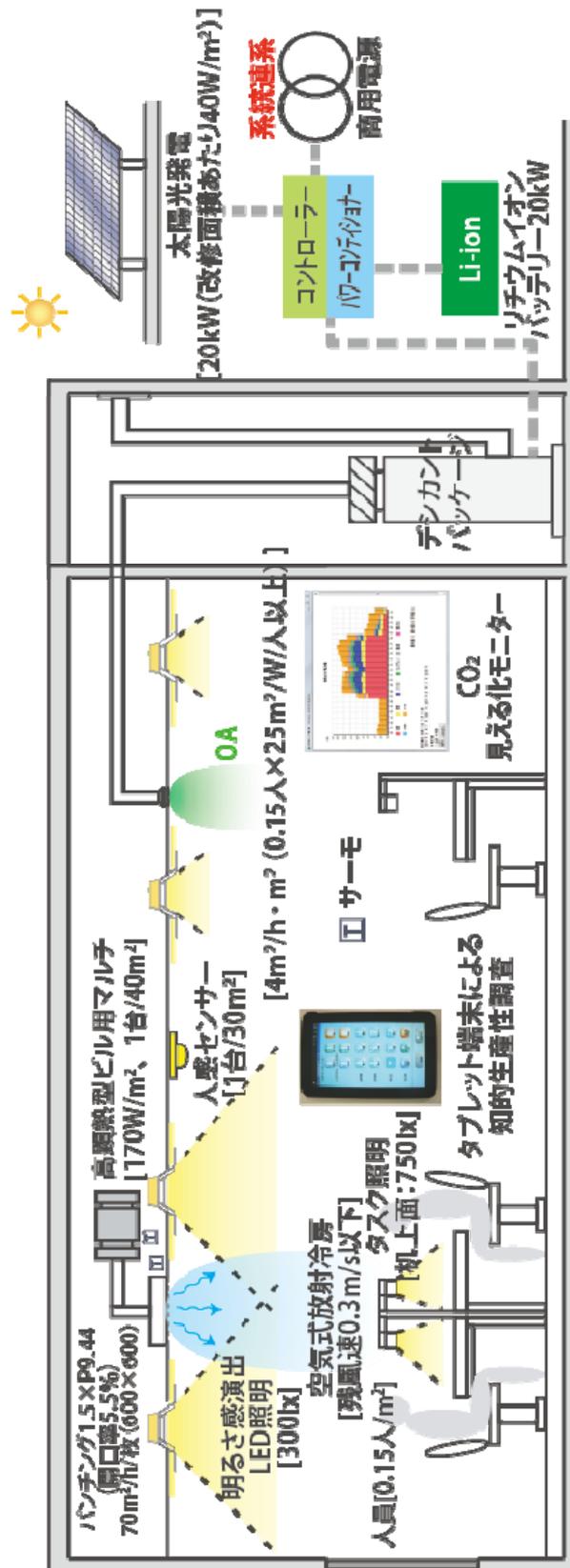


図-4-33 適用技術 全体システム図

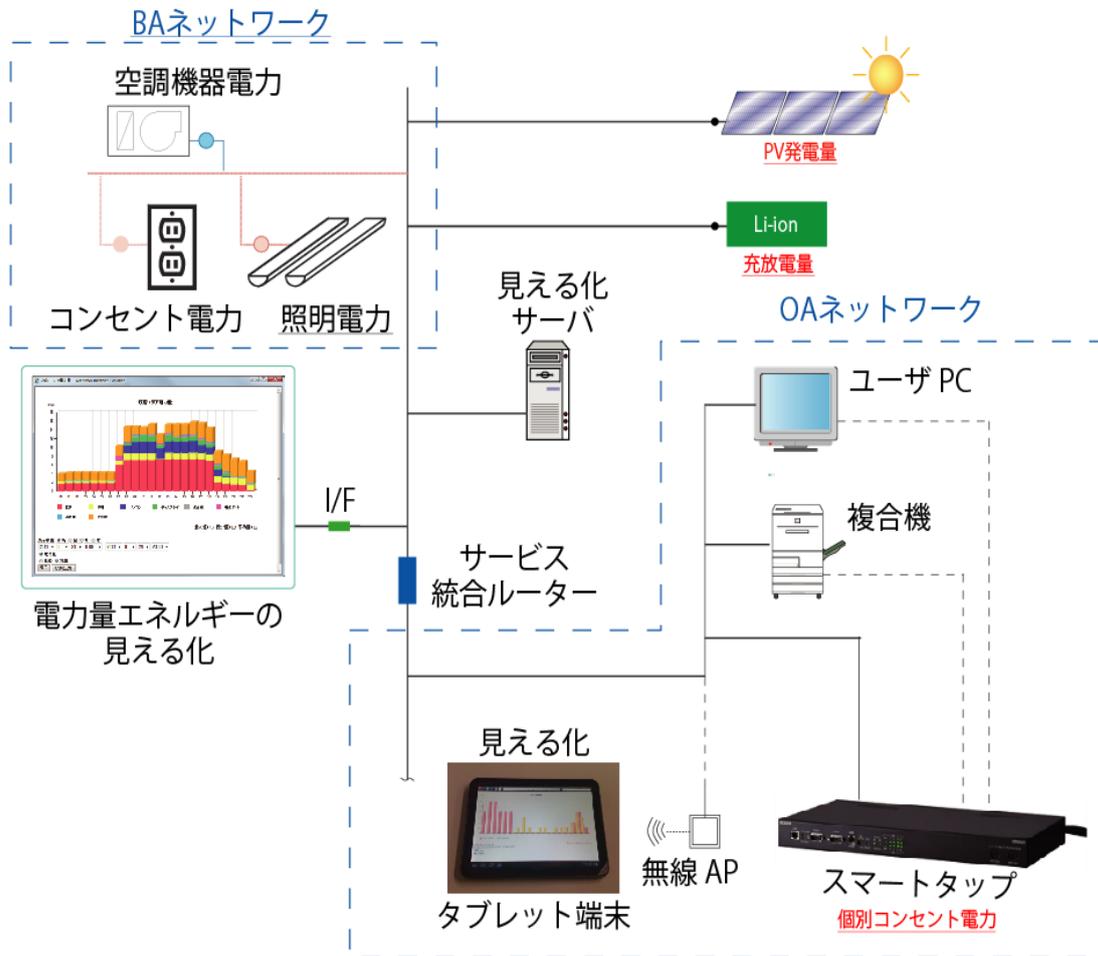


図-4-34 BEMS データ収集システム

## 4.2.2 適用技術の概要と実証

### 4.2.2.1 空気放射空調システム

#### (1) 空気放射空調システムの概要

図-4-35に空気放射空調システムを示す。本システムは、外気処理をヒートポンプデシカントパッケージ型空調機、室内負荷処理をビル用マルチパッケージ型空調システム（高顕熱型室内機）にて行う。ヒートポンプデシカントパッケージは $2,000\text{m}^3/\text{w}$ （圧縮機 $1.6\text{kW}\times 4$ ） $\times 2$ 台、高顕熱ビル用マルチパッケージ型空調システムは室内機 $2.5\text{HP}\times 12$ 台、室外機 $8\text{HP}\times 4$ 台（ $6.19\text{kW}/\text{台}$ ）とした。

室内機からの給気に天井面に設置したアルミ製の多孔板吹出口を使用することで、対流と放射を併用した空調を行い、冷房時は高めの設定温度でも冷涼な体感温度が得られることを意図している。また湿度制御を外気処理系統にて単独で行い、冷房時は室内設定温度を高く、暖房時は低く設定しても適度な湿度を保持することにより快適性が維持され、省エネルギー実現を目指している。空調負荷計算条件は、3章でのケーススタディにおける「小」（表-3-4参照）とし、照明発熱 $15\text{w}/\text{m}^2$ 、コンセント発熱 $15\text{w}/\text{m}^2$ 、人員密度は $0.125\text{人}/\text{m}^2$ として算出した。

外気処理のヒートポンプデシカントパッケージ空調機の吹き出しは、天井面のアネモスタット吹出口より送風する計画となっている。

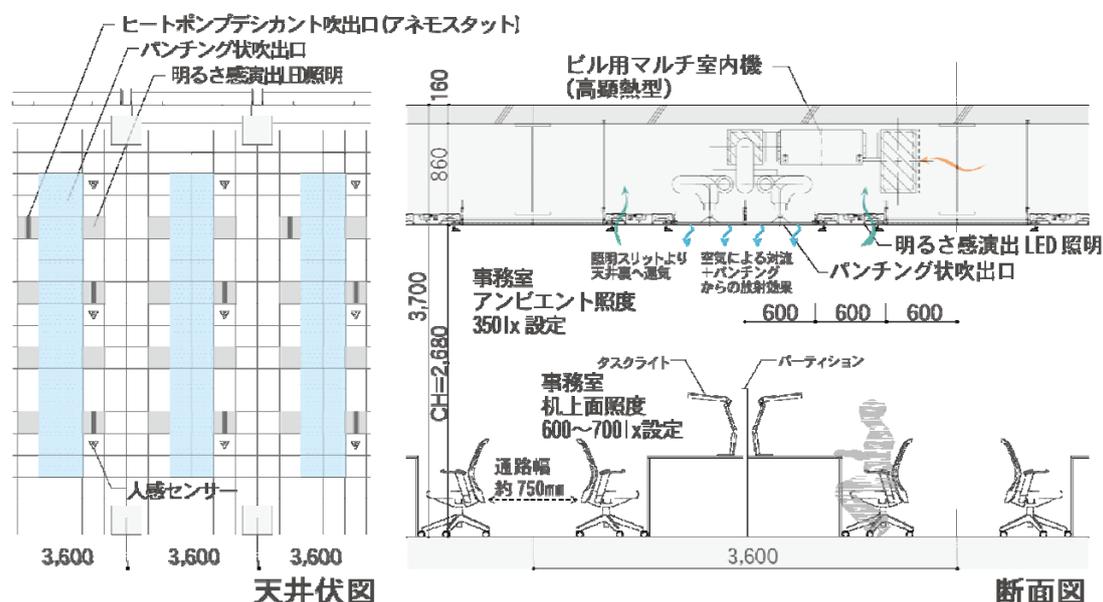


図-4-35 空気放射空調システム 概要

#### (2) 空気放射空調システムのエネルギー評価

改修エリアに導入する空気放射空調システムについて、事前検証としてエネルギー評価を行った。非改修エリアの既存空調であるセントラル熱源方式（地域冷暖房・蒸気吸収冷凍機+

AHU・FCU(Fan Coil Unit:ファンコイルユニット))、一般的なビル用マルチパッケージ型空調システム (EHP+外気処理パッケージ)と比較し、その性能を評価した。

表-4-6に解析条件を示す。解析ツールは、負荷計算にMicro-PEAK、Micro-HASP系を用いた。また、エネルギー計算にはLCEMツールを使用した。対象面積は改修エリア500㎡とし、既存システムの能力をベースとして機器選定を行った。季節設定は、夏季:6/1~9/30、中間期:4/1~5/31・10/1~11/30、冬季:12/1~3/31とした。

年間でのエネルギー消費量結果を図-4-36に示す。年間積算の一次エネルギー消費量として、既存空調(実際の受け入れ地域冷暖房の一次エネルギー実績値・蒸気吸収冷凍機+AHU・FCUには熱量計を検証用に増設)との比較で40%、空冷ビル用マルチパッケージ型空調システム(EHP+外気処理パッケージ)と比較し25%減少する結果となり、採用した空調システムの有効性が示された。

表-4-6 各ケースの設定条件・機器性能(対象は図-4-63の500㎡とした)

		AHU、FCU <sup>注)</sup> 蒸気吸収冷凍機	EHP+外調機	ヒートポンプ・デシカント パッケージ+ 高顕熱EHP
機器単体COP (一次エネルギー換算)	冷房	1.39	1.47	1.66
	暖房	0.87	1.45	1.49
外気量		2,000㎡	2,000㎡ 外気処理PAC	2,000㎡ DESICA
室内機		10,000㎡×1台 #400×24台	7.1kW×4台×4	5.6kW×5台×4
室内設定温度、湿度	夏季	26℃ 50%	26℃ 50%	28℃ 40%
	冬季	22℃ 40%	22℃ 40%	20℃ 40%

注)熱源については、受け入れ地域熱源の一次エネルギー、実績値および本建物の蒸気吸収式冷凍機の実績値を用いた。

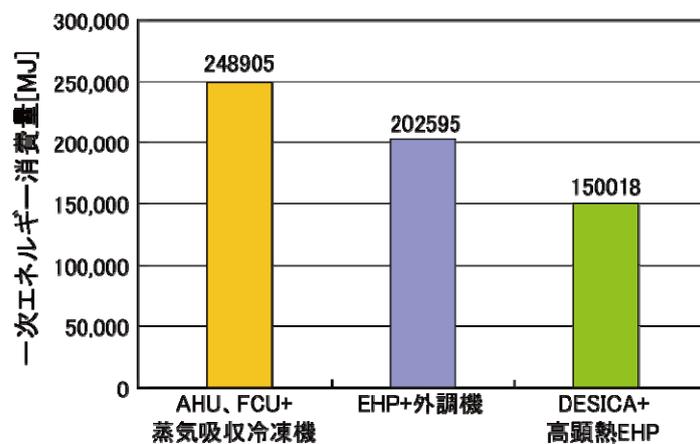


図-4-36 年間エネルギー消費量評価

### (3) 実験・シミュレーションによる室内環境予測

空気放射空調システムにおける室内環境性能を事前検証するため、(1)吹出口モックアップによる気流性状確認、(2)CFD(Computational Fluid Dynamics:数値流体力学)による室内環境評価を実施した。以下にその結果を示す。

#### ① 吹出口モックアップによる気流性状確認

空気放射型吹出口の気流性状及び多孔板表面における放射冷却効果を確認するため、環境試験室において実寸にてモックアップを作成し、性能試験を実施した。

多孔板吹出口は1枚当たり600mm×600mm(アルミ製)であり、開口率5.5%とした。試験体は吹出口4枚を正形状にて配置し、吹出風量35m<sup>3</sup>/h(一枚当たり)、吹出温度16℃、室内温度28℃にて測定した。

気流の可視化結果を図-4-37に示す。4枚同時に吹出すと、中央部が負圧となることで気流が相互に誘引され、居住域(FL+1.2m)での残風速が0.4m/s程度となった。またパネル表面温度は、ダクトからの吹出気流が直接当たるパネル中央部では17.5℃と低く、端部では20.5℃とばらつきがあるものの、パネル表面の冷却効果が確認された。

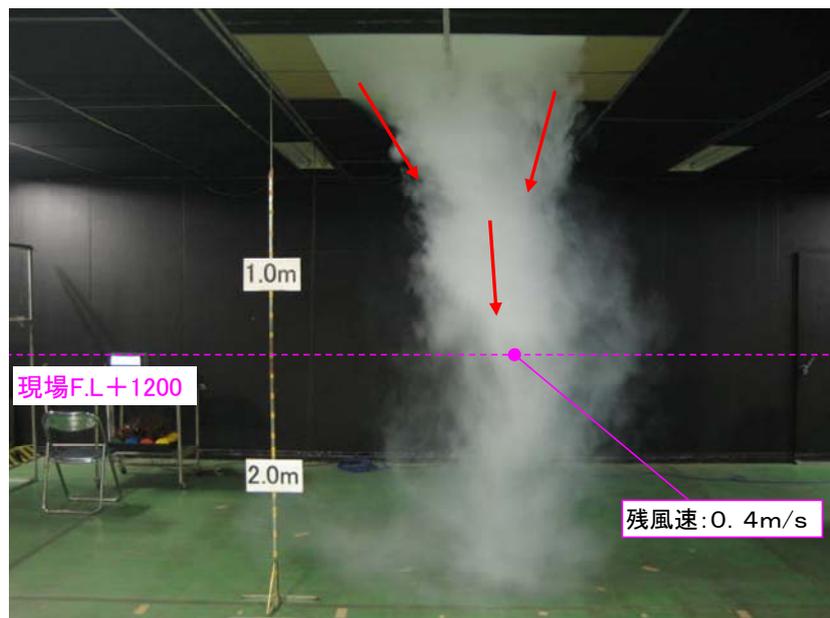


図-4-37 可視化試験 状況

② CFD による室内環境評価

計算モデルを図-4-38、解析条件を表-4-7 に示す。6 階事務室の個人席周りを再現したモデルとし、天井照明や家具・パーティション、PC、タスクライト等を配置した。計算領域は座席配置と天井器具配置を考慮して 1,800(X)×1,800(Y)×2,680(Z) (中心にて対象境界を使用し、1 座席分のみ解析) とし、人体は円筒形状にてモデル化を行った。

空調方式は、開発した多孔板吹出口による方式(以下、空気放射方式：風量は 600mm×600mm の多孔板 6 個で 300 m<sup>3</sup>/h)と一般的なアネモ吹出口 (1 箇所風量は 300 m<sup>3</sup>/h) による方式(対流方式)の 2 ケースとし、室温 28℃設定とした。

図-4-39 に居住域を人体モデルを中心に上記計算領域を半分に分割した 900(X)×1,800(Y)×2,680(Z) の解析結果を示す。対流方式では照明・PC 等からの発熱影響を受け、人体周辺での MRT (平均放射温度) が 30℃近くまで上昇している。空気放射方式では多孔板吹出口の放射冷却により、MRT が 28～28.5℃と 1℃以上低下していることが確認され、空気放射方式の効果が示された。

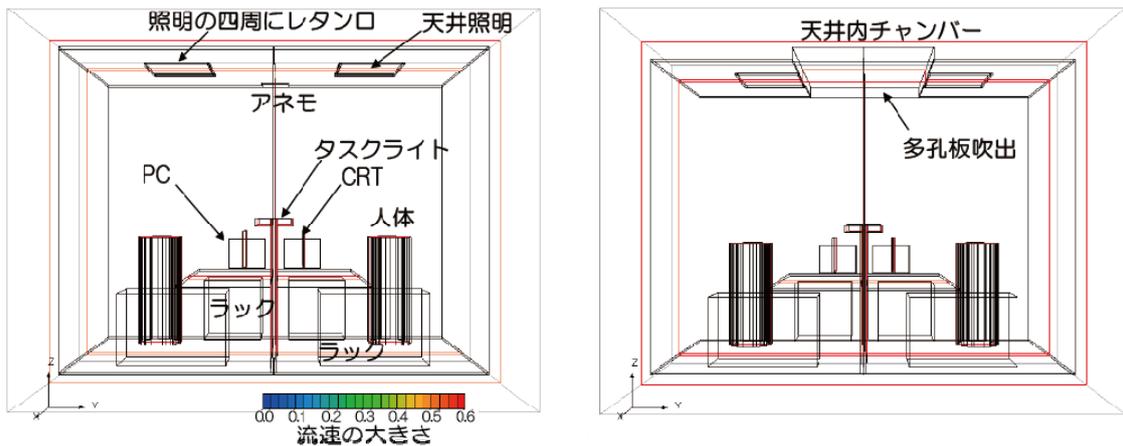


図-4-38 計算モデル(左：対流方式、右：空気放射方式)

表-4-7 解析条件

乱流モデル	: 低レイノルズ数モデル
境界条件	: 吹出口 105m <sup>3</sup> /h、22℃
発熱条件	: 人体 1 50W
	PC 42.5W
	CRT 24.2W
	タスクライト 34W
	照明 53W
	多孔板面 実験における圧力損失値を与えた (照明発熱については、50%を放射成分として床面・机上面に与えた)
各表面の長波放射率 : 0.9	

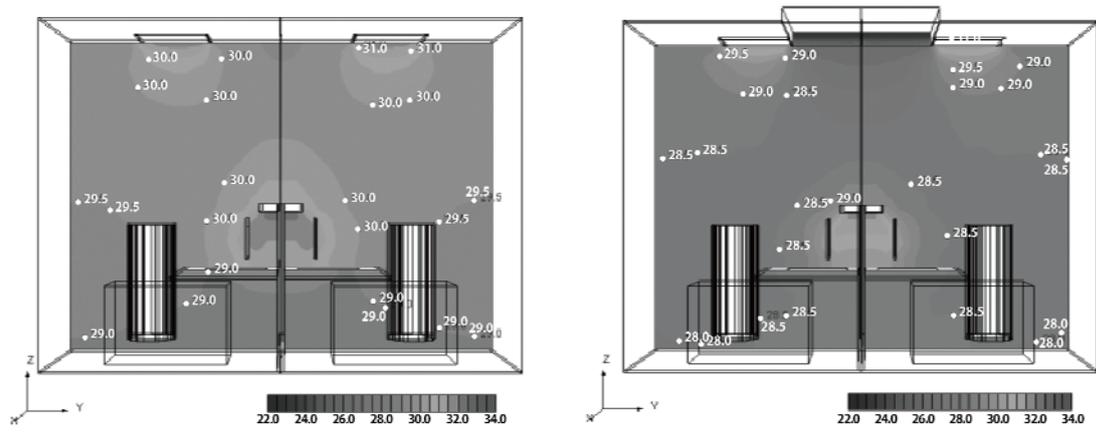


圖-4-39 MRT 解析結果(左：对流方式、右：空氣放射方式)

#### (4) 夏季測定概要と結果

測定場所は、改修工事を実施したCビル6階事務室エリアにて実施した。

改修エリア・非改修エリア各々にて、室内温度・湿度、風速などの項目で、2011年9月5日(月)～22日(木)まで代表点2点をデータロガーにより連続測定を行った。節電時の運用などを考慮し、設定温度・照度を変えたケースを設定した。また、温度・風速などの分布を確認するため、代表日に温度・風速の小型計測器による移動計測を実施した。室内の測定位置、測定状況を図-4-40に示す。

夏季結果は、9/7(27℃設定)の結果を述べる。

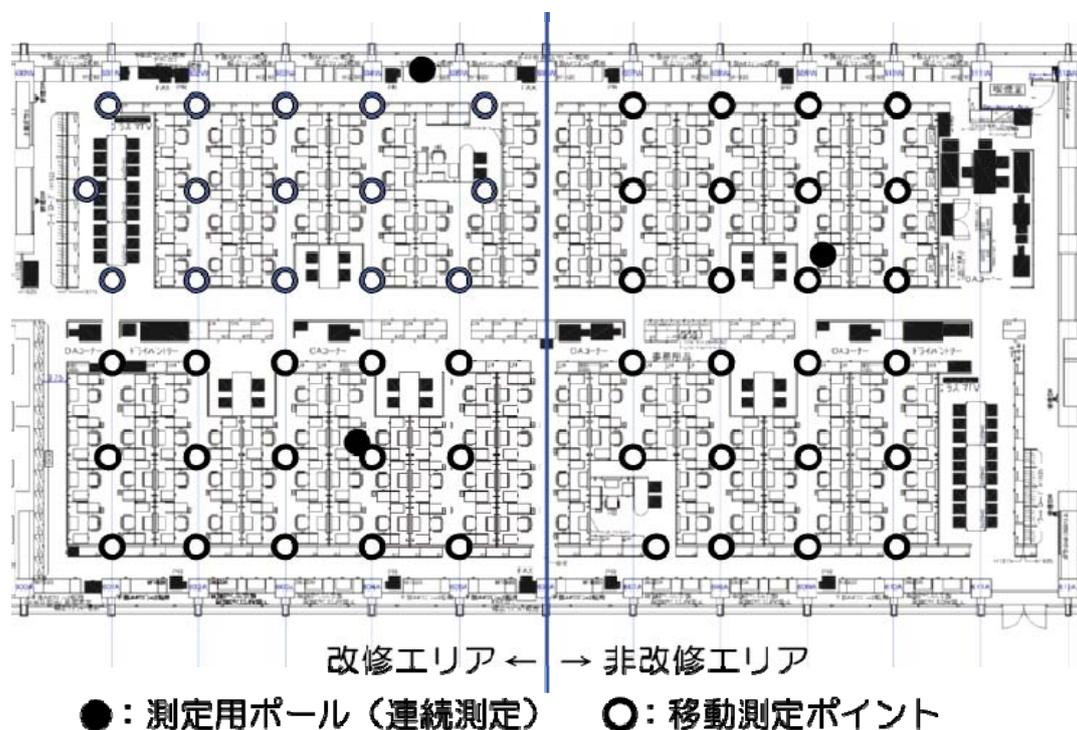


図-4-40 室内測定位置(連続・移動測定)

##### ① 外界気象条件

代表日である9/7は、最高気温30℃、水平面全天日射量1,000w/m<sup>2</sup>(最大)と典型的な晴天日であった。

##### ② 室内温度分布

図-4-41に移動測定による平面温度分布を示す。改修/非改修エリアとも設定温度は27℃とした。改修エリアでの室温は室使用開始前で27℃程度、空調時間帯で25～26℃程度と、設定温度に対してやや低めとなる。また、グローブ温度は室温とほぼ同値であり、照明器具や窓面からの熱放射の影響が多孔板面からの放射冷却でキャンセルされたと考えられる。非改修エリアでは、空調時間帯で26～27℃となっており、改修エリアよりやや高めとなった。但し、

平面温度分布をみると、全体ではほぼ同等の温度環境であったと考えられる。

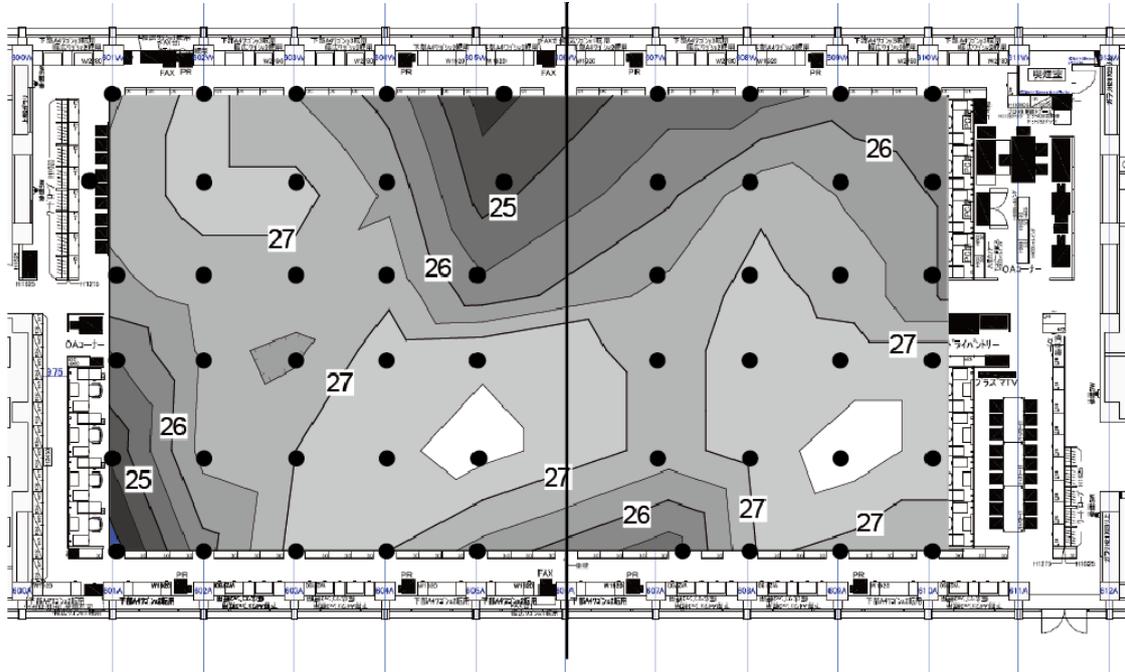


図-4-41 室内平面温度分布(冷房時 FL+1.1m)

③ PMV

図-4-42に改修・非改修エリアのPMV (1.0clo, 1.2met, 1.2kPa) を示す。改修エリアのPMVは0.7~1.0程度であり、非改修エリアの0.6~0.7程度よりやや高いが、暖房時の室内環境はほぼ同等であった。

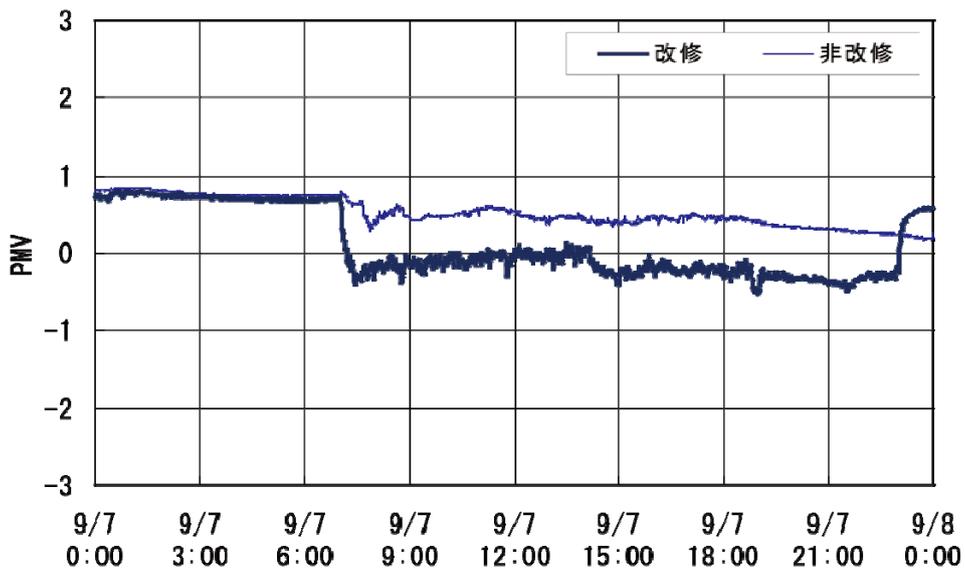


図-4-42 PMV 比較(冷房 Case2)

④ 座席周り 鉛直方向環境分布

図-4-43に改修エリア・吹出近傍の温度・風速分布を示す。冷房運転時(低温吹出の場合)では、吹出温度16.2℃に対して居住域(FL+1.1m)の温度が25.3℃、グローブ温度は25.9℃となっている。また、風速は多孔板吹出口の下部では0.2~0.3m/s程度の気流となった。実験結果より風速が小さくなったのは相互誘引を抑えるため、多孔板吹出口の一部に遮へい板を設置した効果によるものと考えられる。居住域近傍では上下温度分布が付きやすい状況であった。

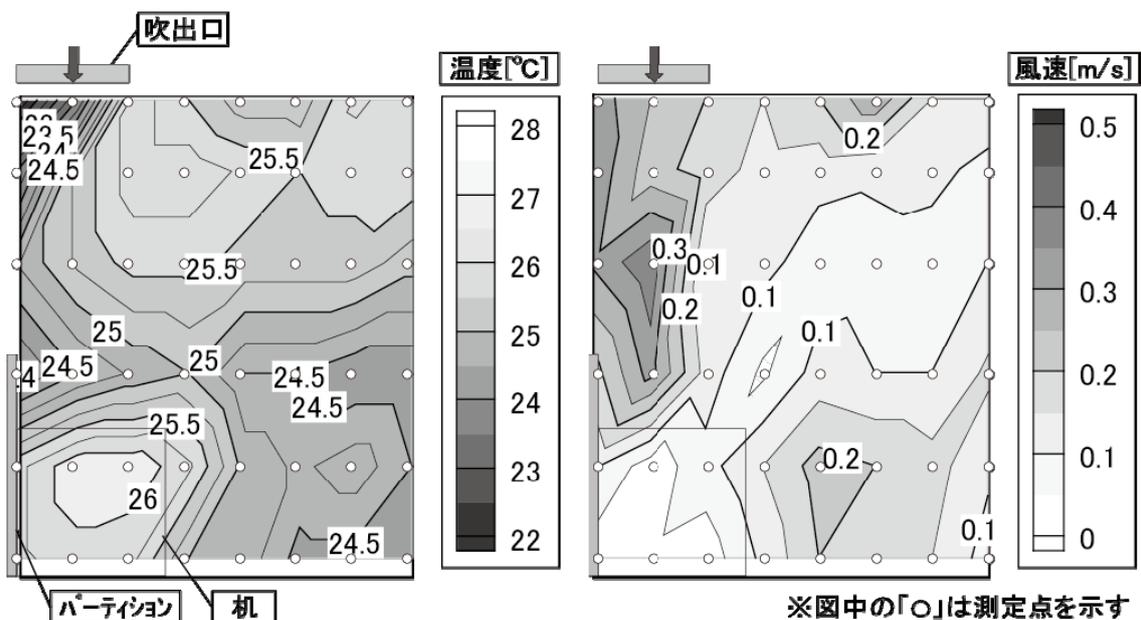


図-4-43 座席周り断面環境分布(冷房 Case2、左：温度 右：風速)

⑤ 表面温度熱画像

図-4-44にサーモカメラによるパネル表面温度の熱画像を示す。冷房吹出時のパネル表面温度は18~21℃程度、天井表面温度は26~27℃程度である。また風量バランスやチャンバ形状などの影響で、吹出口パネルに温度分布が生じている状況が確認された。

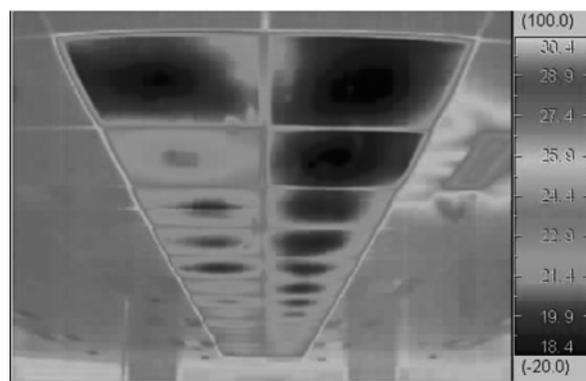


図-4-44 放射パネルの表面温度熱画像(冷房時)

#### 4.2.2.2 明るさ感演出LED照明

人の明るさの感じ方の概念を照明の配光計画に導入し、全体照度を低減させても明るさ感を損なわない文献<sup>16)</sup>に示す明るさ感を演出する照明器具を開発した。光源には省エネルギー効果の高いLEDを採用し、汎用性、展開性に配慮して近年のオフィスのシステム天井での標準仕様となっている600mm×600mmのグリッド天井対応型の器具を開発した。天井面から吊下げたアクリル製の羽根は器具本体からの入射光により羽根自体が発光することによる「ボンボリ効果」と羽根内部の反射光により天井面を照射する双方の効果により空間全体の明るさ感を向上させている。本実証試験では器具取付け間隔を1,800mmピッチ(3,600mmモジュールに1個の設置)としており、ベース照度300~350Lx程度でも空間全体では、明るさ感の高い光環境をもつ空間を実現できると考えられる

#### 4.2.2.3 次世代電力マネジメントシステムの運用結果

オフィスにおける再生可能エネルギー利用の最適な電力マネジメントシステムを構築するための知見を得ることを目的として開発・検証した。太陽光発電20kW、空調(屋外機定格容量約20kW)、リチウムイオン蓄電池14kWhを組合せ、それらを ZEB 電源盤で集約し、その電力情報を基に放充電コントローラで制御を行った<sup>31)</sup> (図-4-45)。

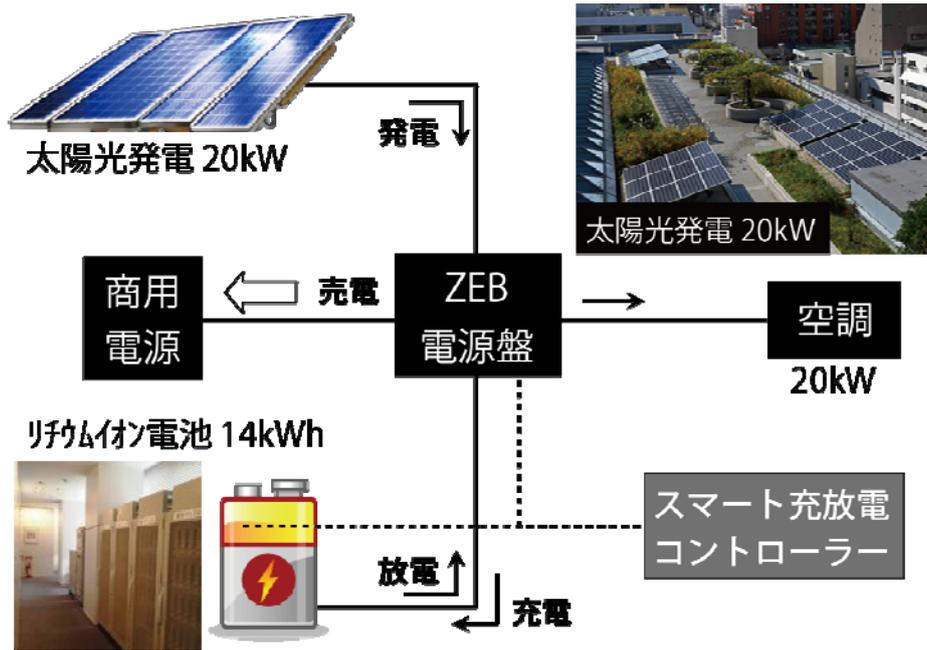


図-4-45 リチウムイオン蓄電池充放電制御システム概要

太陽光発電量と空調電力消費量をリアルタイムで比較し、太陽光発電余剰の際にはリチウムイオン蓄電池に充電し、逆に空調電力量が太陽光発電量を上回る際には、蓄電池からの放電を行うことで商用電源を最小化する放充電制御アルゴリズムを構築した。蓄電池容量の上下限の範囲で有効に制御することを試運転で確認した。

4～6月は月間で太陽光発電量の余剰が発生したが、空調負荷の大きくなる夏季や冬季には商用電源からの補給を多く必要とする結果となった。図-4-46の縦軸積算電力量、0より上の高さは空調負荷の消費電力量を示し、消費電力のうち供給電力の内訳を示している。PV 発電時に負荷にそのまま使用された電力を PV(使用)、余剰のうち蓄電池に充電されたものを蓄電池、太陽光も蓄電池電池電力もなく商用電源から供給された電力を商用電源としている。0より下のマイナス方向は、余剰となった太陽光発電電力の積算値を示しており、PV(余剰)に相当するだけの蓄電池容量があれば、商用電源に頼る部分を減らすことができ、特定負荷を再生可能エネルギーで賄う比率の向上を可能とすることが確認された。本実測では、実際には PV 余剰負荷の季節変動や太陽光の発電電力とその余剰電力バランスを考えれば、適正な蓄

電池容量は、年間通して蓄電池を有効活用できる条件で上限が定まってくる。容量を上げれば初期コストはその分かさむため、導入に向けては今後のリチウムイオン蓄電池の普及にコストの低廉化が期待される。また、課題としては、充放電による二重のDC/ACコンバータの変換ロスが約20%発生することがあげられる。

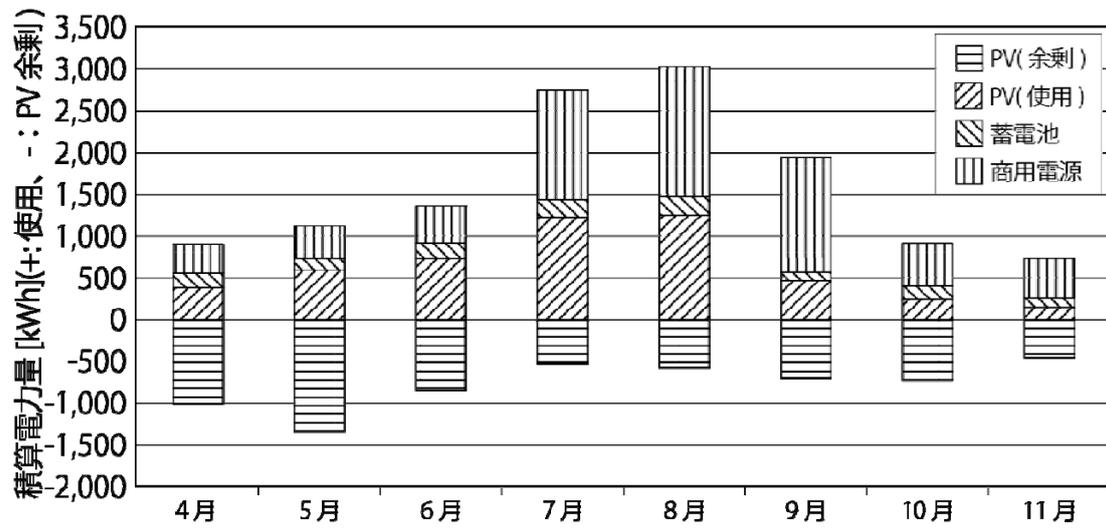


図-4-46 PV 電力使用状況と負荷への供給電力分析データ

### 4.2.3 年間一次エネルギー消費量と考察

Dビルの改修エリアの一次エネルギー消費量について、改修工事が完了した2011年9月から2013年1月までの各月で用途別(照明・コンセント・空調・太陽光発電)に計測結果をまとめた。なお、システム全体の評価は次世代電力マネジメントシステムの構築が完了した2012年2月～2013年1月までの12ヶ月とした(図-4-47)。この検証では、年間を通して改修部分の空調エネルギーは太陽光発電でキャンセル(ZEB化)するという意図があり、図-4-47の表現上、4～5月は空調消費エネルギーがゼロとなっている。

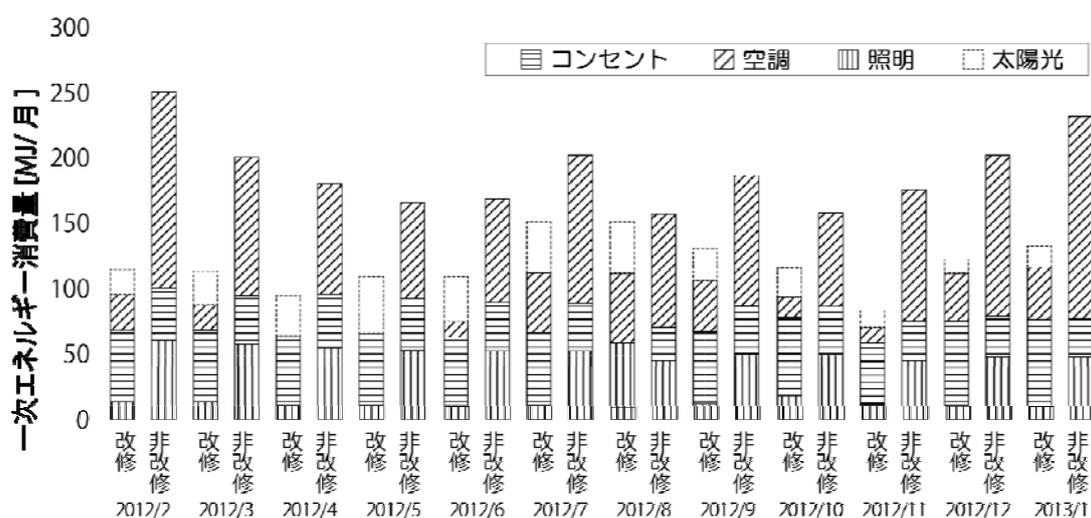
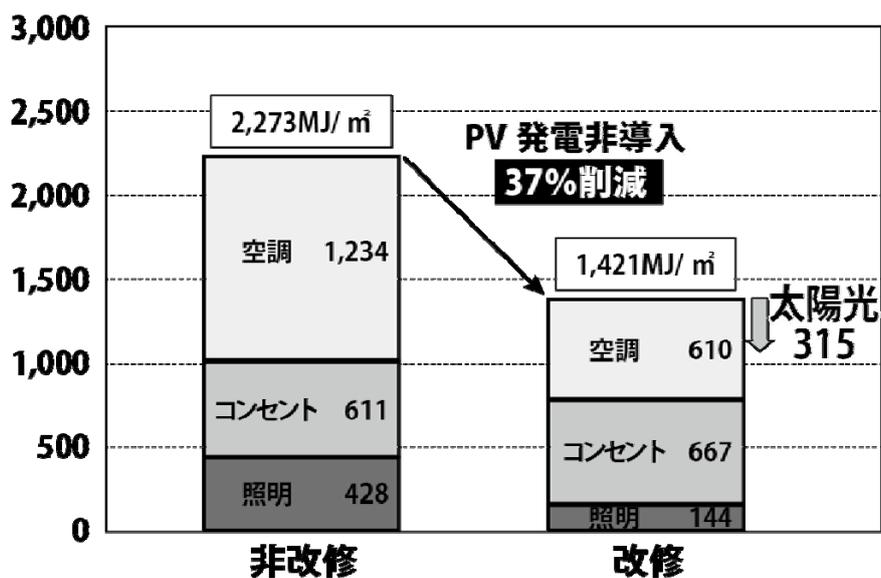


図-4-47 エネルギー消費量 月別内訳比較

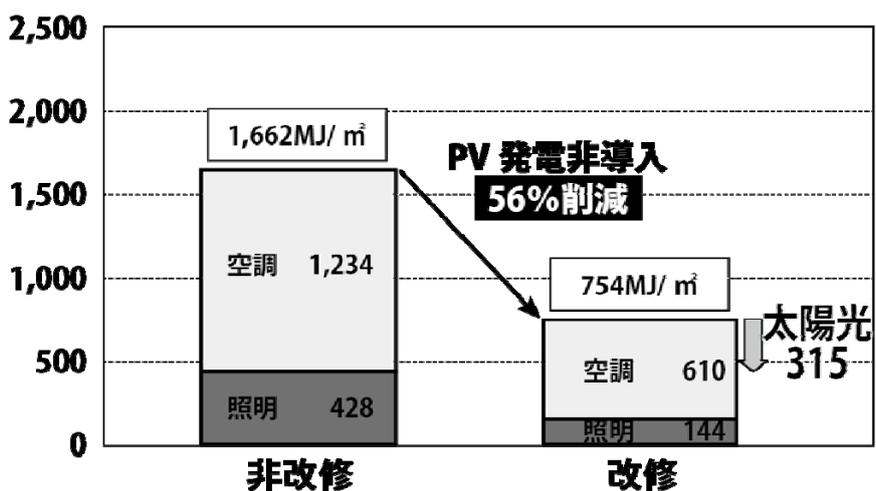
非改修エリアに関しては、既存の空調システムが中央方式(熱源：地域熱源(蒸気)+蒸気焚吸収式冷凍機+ターボ冷凍機、二次側：AHU(エアハンドリングユニット)+FCU(ファンコイルユニット)であるため、6階フロアで使用した蒸気・温水・冷水については個別に流量計を設置して、当該エリアでの消費量を算出した。また一次エネルギー換算に当たっては、地域熱源プラントの実績値等より熱源システム効率を冷房：0.80、暖房：0.63と設定した。

改修エリアの一次エネルギー消費量については、改修工事が完了した2012年2月から2013年1月までの各月で用途別(照明・コンセント・空調・太陽光発電)に測定し評価した。

結果を見ると、改修エリアでの年間一次エネルギー消費量は $1,421\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ 、非改修エリアでは $2,273\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ であり、両者を比較した削減率は37%となった(図-4-48(a))。なお、太陽光発電分を除くと37%の削減となる。また、空気調和・衛生工学会、ならびに経済産業省のZEB定義に従い、コンセントの消費電力を評価しない場合は、図-4-48(b)に示すように、基準値が $1,662\text{MJ}/\text{m}^2$ 、消費エネルギーが $754\text{MJ}/\text{m}^2$ となり56%の削減となる。



(a)実績値 (コンセント含む)



(b)実績値 (コンセント除く)

図-4-48 年間エネルギー消費量 削減効果(実績値)

特に照明システムにおける削減効果は大きく、非改修エリア年間合計で428.0MJ/m<sup>2</sup>・年であるのに対し、改修エリアでは143.9MJ/m<sup>2</sup>・年と、約66%の削減を達成している。これは、導入したアンビエント用LED照明や人密度センサによる削減効果に加え、併せて導入した明るさセンサを用いた調光による効果もあると考えられる。コンセント負荷については、当該オフィスが土木構造解析を行う部署が入居しており消費電力の大きいサーバーが設置されており、改修・非改修エリアともに比較的大きい。

空調システムに関しては、導入した空気式放射空調システムに用いるビル用マルチパッケージ型空調システムと床置型ヒートポンプデシカントパッケージ空調機を組合せた潜熱顕熱

分離空調システムにより、非改修エリア1,233.6MJ/m<sup>2</sup>・年に対して、610.5MJ/m<sup>2</sup>・年(太陽光パネルによる発電量を考慮しない値)と約50%の削減効果が得られた。既存部分と改修部分は同一空間で同じ利用形態にも関わらず空調の一次エネルギー消費量が大幅に削減できたのは、既存が地域熱源による中央熱源方式であるのに対し、改修部分がビル用マルチパッケージ型空調システムであることが大きく、さらにセンサによる制御や高顕熱運転によるところが大きいと考えられる。

新築のZEB指向建築のトップレベルの事例は図-4-49に示すように700~1,000MJ/m<sup>2</sup>・年程度と小さくなっている<sup>32)</sup>。DビルのZEB化改修をプロットするとNealyZEBに限りなく近いZEB Ready領域に位置することが確認できた。本研究では、実証実験としてZEB Readyを達成したが、既存建物の改修によるZEB化は、省エネルギー設備や太陽光発電設備の設置スペースの確保の難しさや、建築外装の改修に大規模な投資を要することからネット・ゼロ・エネルギー化にはまだ多くの技術革新や経済合理性の高い汎用技術の発展が必要である。

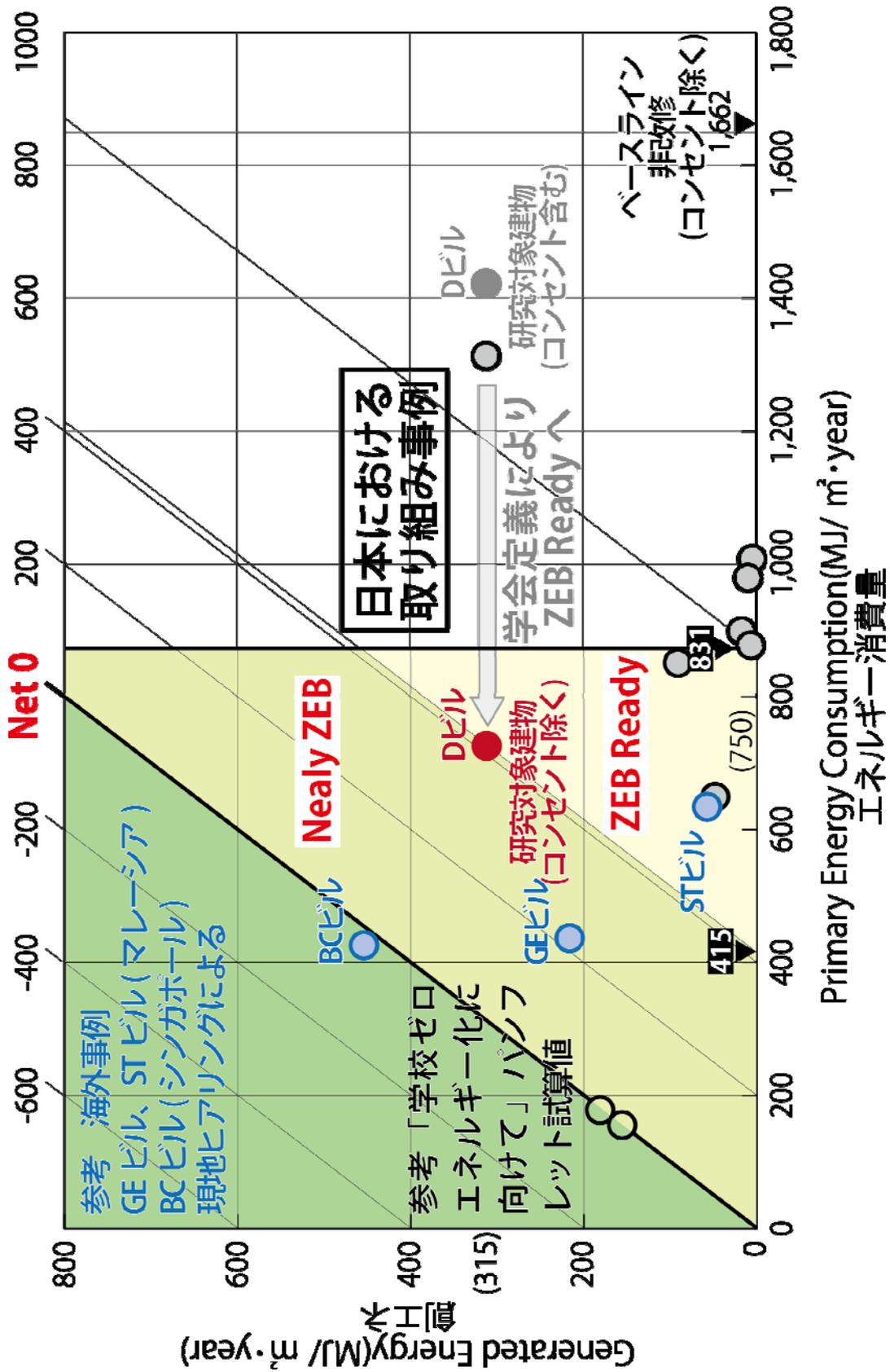


図-4-49 国内建築物における ZEB 指向建築実績調査<sup>27)</sup>

#### 4.2.4 本建物における性能評価のまとめ

D ビルにおける性能評価状況をまとめると以下の通りとなる。

- 1) ビル用マルチパッケージ型空調システムを用いた「空気式放射空調システムに用いるビル用マルチパッケージ型空調システムと床置型ヒートポンプデシカントパッケージ空調機を組み合わせた潜熱顕熱分離空調システム」に関して、シミュレーションによる事前評価や導入後のエネルギー・制御状態の検証、室内環境の実測調査・アンケートを実施し、本空調システムの導入効果を評価し、良好な結果が得られた。既存部分と改修部分は同一空間で同じ利用形態にも関わらず、特に省エネルギー効果が大きく、空調の一次エネルギー消費量が大幅に削減できたのは、改修部分がビル用マルチパッケージ型空調システムであることが大きく、さらにセンサによる制御や高顕熱運転によるところが大きいと考えられる。
- 2) 充放電制御コントローラ・リチウムイオン蓄電池・太陽光発電(PV)を組み合わせた「次世代電力マネジメントシステム」により、ビル用マルチパッケージ型空調システムの動力に充当する、制御ロジックの妥当性を検証した。また、測定結果より、蓄電池からの充放電特性や効率、負荷変動に対する容量設定に関する知見を得た。本検証の評価方法として年間の空調エネルギーを、太陽光発電をバッテリーによりキャンセルすることを目指したが、経済性やバッテリーの充放電ロスが大きいことなど課題が残る。
- 3) システム全体での一次エネルギー消費量として、2012年2月～2013年1月における改修エリアでの実績値は非改修エリア比で56%の削減効果を確認し、当初目標として設定した50%の削減目標を達成するとともに ZEB Ready の領域となった。

これらの結果から、今回開発したビル用マルチパッケージ型空調システムの高度利用などの有効性を検証できたものとする。

注) 本研究および実証は NEDO((独)新エネルギー・産業技術開発機構)による、省エネルギー革新技術開発事業実証研究(電力需給緊急対策)「次世代電力マネジメントシステムを活用した既存オフィスの ZEB 化技術の研究開発」として行われた。

## 5. 総括

## 5. 総括

非住宅建築における空調方式として、ビル用マルチパッケージ型空調システムが主流となる現状において、最少の消費エネルギーのもと快適な居住環境を確保するという課題を設定した。空調システムとしての効率評価や余裕率の考え方、また実建物での適用にわたっての知見を筆者が設備設計責任者として携わった業務や産学連携の共同研究において、シミュレーションやコミッショニングによる10年余りの継続的な研究を本論文にまとめた。建築主と設計者が適切な設計条件設定し、竣工後コミッショニングを行いさらなるスパイラルアップを目指した設計事例を示すことで、今後のビル用マルチパッケージ型空調システム設計手法や機器の運用の方向性についての有用な知見を示した。

1章では、本研究の目的について、社会的背景を含めビル用マルチパッケージ型空調システムの性能検証の重要性が高いことを示した。また、ビル用マルチパッケージ型空調システムの高度利用の手法としてタスク/アンビエント手法や、センサによる ON/OFF の取組みについても示した。非住宅建築における空調方式として、ビル用マルチパッケージ型空調システムが主流となる現状において、最少の消費エネルギーのもと快適な居住環境を確保するという課題に対して、空調システム効率評価や余裕率の考え方、また実建物での適用と性能検証に関する知見を研究成果の有用性を示した。

2章では、実建物におけるビル用マルチパッケージ型空調システムの COP などの性能評価により設備設計へのフィードバック可能な知見をまとめた。実運転における低負荷領域運転を回避することが重要であることが分かった。過大な機器選定により、非効率な ON/OFF 領域での運転が多くなる実態を示すことで適切な設計容量の設定が重要であることをまとめた。コンプレッサーカーブ法の性能評価により、適切な空調ゾーニング、系統条件、容量選定および運用管理により中央熱源方式と比較しても省エネルギーが期待されることを示した。

ビル用マルチパッケージ型空調システムに対して空気調和・衛生工学会においては、従来本格的に研究委員会活動がされておらず、ビル用マルチパッケージ型空調システムは中央熱源方式と比較し質で劣るとの考えが主流であった。一方で、マーケットではビル用マルチパッケージ型空調システム主流となっていたことを背景に、筆者が設備設計責任者として研究対象建物にビル用マルチパッケージ型空調システムを高度利用するコンセプトのもと採用した。適応するにあたり、適切なシステム構築により、省エネルギー性も室内環境も中央熱源式空調システムと比較し遜色が無いシステム構築を目指して作りこんだ。その予測に対して BEMS を用いたコミッショニング計画のシステム構築し、実践した。初年度のインシヤルコミッショニングのみならず、継続的なコミッショニング活動を実施している。ビル用マルチパッケージ型空調システムの能力推定値を継続的に出力する仕組みを構築し、BEMS に継続的に

収集、高度化設計の予測に対して検証を実施した。これはビル用マルチパッケージ型空調システムの性能検証の先駆例として評価されている。省エネルギー性や快適環境の実現は確認できたが、設計条件や分散熱源であるため、過大な容量設定による非省エネルギー運転が課題であることが確認された。

2章の研究は、ビル用マルチパッケージ型空調システムを用いた建物において初めて空気調和・衛生工学会学会賞技術賞にも選出された。その後、空気調和・衛生工学会にビル用マルチパッケージ型空調システムの研究委員会が設置され、筆者は設計部分の研究・執筆を担当し、委員会の研究成果は最終的には空気調和・衛生工学会のガイドラインとして出版された<sup>1)</sup>。

3章では、機器選定の余裕率についての考察を行い、内部発熱の実績などを示すことで、妥当な余裕率による機器選定が省エネルギーの観点から重要であることを示した。機器の選定に当たっては、建物の特性や建築主の利用形態を十分に合意形成した上で室内温熱環境を損なわない範囲で屋外機容量の余裕率を最小化することが重要であることが分かった。機器を適切に選択することは、初期設備費用を抑えるだけでなく、効率の良い運転ポイントでの年間運用により、総合的に省エネルギーで快適なシステムが構築できる可能性を示した。

本章の研究は名古屋大学との産学連携により進められ、筆者は企業側の責任者として推進した。ケーススタディの条件設定にあたっては実務上、有用なケースに絞り、事業者の要求条件に合わせたシミュレーションを実施することで、室温の上昇や装置容量の余裕について把握した。旧来の設計条件に引きずられること、すなわち「設計条件と運用実態のズレ」が、非省エネルギー運転を起こしていること、適切な設計条件・余裕率とすることで、室温も維持し省エネルギーを実現できることを示した。これにより、ランニングコスト、イニシャルコストにも好ましい波及効果があることも示した。今回のケーススタディでは装置容量を20%程度削減可能であることを示している。シミュレーションにあたり、躯体の熱容量、気象条件などの妥当性を確認したうえで、近年の建物の高断熱・日射遮蔽の傾向、照明やコンセント発熱が設計条件より低いエネルギー消費実態を考慮すると、本研究の分析結果の有用性は高いと言える。

4章では、ビル用マルチパッケージ型空調システムを適用したプロジェクト2件における性能検証事例を示し、空調システムへのさまざまな社会的な要求条件に適合できることを示した。主対象のAビル以外にも、B、Cビルにおいても高度利用をはかったうえで性能評価を実施し、将来に向けては、ZEBの実現に向けて、また知的生産性の確保、具体的には環境選択性などサービス性能向上ならびに快適性に関わる部分を整理した。4章の2件のプロジェクトでは、2章の性能検証の知見のもとに、3章のシミュレーションで得られた妥当な設計条件とすることで計画し、性能検証をおこない、省エネルギー運用を検証した。ビル用マルチパッ

ケーシング型空調システムの高度利用の知見のもと、適切な余裕率を設定し、筆者が設備設計責任者として設計、検証した。これらの設計手法は、建築主や建物利用者と利用形態の把握・合意形成ができる建物においては広く普及できると考える。テナントオフィスビルの商品企画としては、カタログ仕様の空調容量を簡単に下げられないという課題が残るが、本研究等の実態を示すことで徐々に過大な設計値が抑えられる傾向にあると考えられる。

ビル用マルチパッケージ型空調システムにおいても適切な手法により性能評価ができることを示し、空調システムとしてタスク/アンビエントなどの設計段階における工夫、余裕とリスクに関して十分な検討が重要であり、それにより高い省エネルギー、環境性能を発揮できることを示した。我が国の優位技術であるヒートポンプシステムの高度利用により、機器単体だけでなく、空調システム性能全体と捉え省エネルギーを推進することが重要であることが把握できた。一方空調システムとして、さらなる性能向上に向けて、設備設計の工夫やメーカーによる機器開発の努力の余地があることも把握できた。機器の日進月歩はあるものの、本研究で得られた知見は汎用性があり実効性の高いものと考えられる。運用状況を理解したうえで、総合的な経済性を示し余裕率についての建築主との合意形成が重要であることも明示した。メーカーへの依存ではなく、機器性能向上に向けて設計者からメーカーへの要請を行うとともに、さらなる技術革新に対する設備計画上の追従が重要である。

#### 【参考文献】

- 1) 空気調和・衛生工学会：ビル用マルチパッケージ型空調システムー計画設計から性能検証まで P37-39 2014. 11
- 2) 平岡雅哉：天井からのタスク空調実施例  
空気調和・衛生工学 第84巻 第4号 P651-658 2010. 08
- 3) 佐藤孝輔：個別分散型空調機の技術的課題と今後の展望  
空気調和・衛生工学 第82巻 第1号 P43-50 2008. 01
- 4) 廣田真史・渡邊激雄ほか：ビル用マルチパッケージ型空調システムエアコンの機能性能に関する研究 第1報：EHPにおける期間エネルギー消費  
日本冷凍空調学会論文集 Vol 24 No. 4(2007) P303-314
- 5) 加藤雄太・亀谷茂樹ほか：実運用時における熱フラックス計測による個別分散空調機の性能評価法  
空気調和・衛生工学会学術講演論文集 P1771-1774 2008. 08
- 6) 下田順一：コンプレッサーカーブ法による空調機能力計算とその応用  
平成18年度空気調和・衛生工学会大会ワークショップ 個別分散空調機の現状と性能評価 P6-11 2006. 09
- 7) 山田恭輔ほか：プローブ挿入法によるマルチパッケージ型空調機の運用実態調査  
平成25年度空気調和・衛生工学会論文集 No. 193 2013. 04
- 8) 空調シミュレーションにおける内部発熱、窓の熱性能に関する研究、建物の内部発熱・使われ方に関する実態調査と熱負荷・システムシミュレーション 2010. 10. 29
- 9) 空調シミュレーション法小委員会、空気調和設備委員会システム容量と建築・空調シミュレーション法小委員会 2013. 10. 29
- 10) 長澤浩司ほか：個別分散空調システムの現地性能計測手法に関する研究、空気エンタルピー法とコンプレッサーカーブ法の比較による精度の検証  
空気調和・衛生工学会学術講演論文集 P297-300 2010. 09
- 11) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構知的生産性委員会：建築と知的生産性一知恵を創造する建築一  
テツアドー出版 2011. 01
- 12) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構知的生産性委員会：知的創造とワークプレイス  
テツアドー出版 2011. 01
- 13) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構知的生産性委員会：報告書(案)(平成21年度)抜粋(P12-14、表4、図3、表5) 国土交通省
- 14) 平岡雅哉・神谷麻理子ほか：建築設備士 2012年6月号  
建築設備士協会 2012. 05
- 15) 経済産業省・国土交通省・環境省：低炭素社会に向けた住まいと住まい方の推進方策について、中間とりまとめ、別添 低炭素社会に向けた住まいと住まい方の推進に関する工程表 2012. 07
- 16) 平岡雅哉ほか：鹿島KIビルZEB化改修の計画と性能評価  
建築設備&昇降機 No. 104 2013. 07

- 17) 平岡雅哉ほか：ビル用マルチパッケージ型空調システムパッケージ型空調システムの性能評価に関する研究  
空気調和・衛生工学会論文集 No. 169 P13-20 2011. 04
- 18) 平岡雅哉ほか：空調設計条件および機器選定の余裕度による省エネルギー・温熱環境への影響に関する研究  
空気調和・衛生工学会論文集 No. 222 P13-21 2015. 09
- 19) 時田ほか：ライフサイクルエネルギーマネージメントのための空調システムシミュレーション開発 第1-3報  
平成17年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集 2005. 08
- 20) 長谷川俊雄・葛岡典雄・平岡雅哉ほか：汐留タワー 空気調和・衛生工学  
空気調和・衛生工学会 2005. 10
- 21) 平岡雅哉ほか：個別分散型ヒートポンプパッケージの高度利用に関する研究(その13) 東日本大震災前後のエネルギー特性の評価  
平成25年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集 2013. 08
- 22) 留目頁行ほか：電気機器の消費電力の実態と節電への提言(第2報)-実測データに基づいたOA機器の節電効果の評価-  
2012年電気設備学会全国大会論文集 2012. 08
- 23) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修：「建築設備設計基準(平成21年版)」
- 24) HASP(動的熱負荷計算・空調システム計算プログラム)<http://www.jabmee.or.jp/hasp/>
- 25) 外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発 その1 BEST 開発の背景と趣旨  
平成19年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集 2007. 09
- 26) 平岡雅哉ほか：知的生産性向上を考慮した多様なワークプレイスの環境性能の空調設備計画と性能検証  
日本建築学会技術報告集 第20巻 第46号 P1017-1022 2014. 10
- 27) 武政祐一ほか：天井吹出を用いたタスクアンビエント空調に関する研究(その1)～(その5)  
日本建築学会大会学術講演会 2009. 09
- 28) 田辺新一・平岡雅哉ほか：東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量(その1～4)  
日本建築学会学術講演会 2012. 09
- 29) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構、誰でもできるオフィスの知的生産性測定 SAP 入門  
テゾアドー出版 2010
- 30) 平岡雅哉ほか：ZEBを指向した建築物の改修実証試験における空調計画と検証  
日本建築学会技術報告集 第21巻 第47号 P209～214 2015. 02
- 31) 上村健ほか：スマート電力充放電制御システムの開発  
2012年電気設備学会全国大会学術講演会 2012. 09
- 32) 平岡雅哉ほか：日本のZEB指向建築の取組み(2)民間建築物の取組み 空気調和・衛生工学2014年1月号  
空気調和・衛生工学会 2014. 01

## 【謝辞】

本論文の構成および研究方針のご指導を名古屋大学大学院環境学専攻奥宮正哉教授にお受けして、作成することができました。

2章については、計画段階から検証にわたって早稲田大学創造理工学部建築学科田辺新一教授、富樫英介氏(現在、工学院大学)、ほか皆様からご指導いただき、研究成果をまとめることができました。性能評価については、ダイキン工業株式会社、加井隆重氏、橋本哲氏、西野淳氏の協力によりとりまとめることができました。

また、3章の研究の実施に当っては、名古屋大学大学院環境学研究科奥宮教授はじめ名古屋市立大学芸術工学研究科尹准教授との共同研究によるまとめることができました。また、MicroPEAK2010を用いた熱負荷計算等において中部電力株式会社 宮澤宏明氏(当時名古屋大学環境学研究科修士2年)の協力を得ました。

ここに関係する皆様に対して記して謝意を表します。