

博士論文

省エネルギー・サービスプロバイダにおける
モニタリングデータ分析に関する研究

迫 博司

はじめに

1990年代初頭のバブル経済崩壊以降、人々のエコに対する関心は飛躍的に高まり、もはや個々におけるエコ対策は常識となりつつある。

また、国際社会においても、地球温暖化による様々な現象は年々深刻化し、温暖化防止に対する取り組みは世界共通の重要課題となり、エネルギー分野などでの技術の開発・普及に関しては、1992年5月に採択された国際連合枠組条約のなかでも先進国間におけるコミットメントとして謳われている。

我が国でも、“エネルギーの見える化”と“省エネルギー制御”の普及のため、2012年に経済産業省の施策により「BEMS アグリゲータ制度」が導入された。

しかしながら、開始から2年間の成果としては当初掲げた目標に遠く及ばず、2014年からは、BEMS アグリゲータ制度を変更した「エネマネ事業者制度」が開始されている。

筆者は、はからずもこのような時代背景と併行するかのよう、20年以上に亘り国内外で省エネルギー建築の設備設計及びその性能検証を実践してきた。

省エネルギー建築物の更なる普及と定着を目指すことは、まさにエネルギー資源の乏しい日本の将来の一端を担うことであり、時代に則したテーマであると考えます。

本論文は、『建築物とエネルギー消費の関係』に焦点をあて、経験を通じて様々な見地から課題を得、研究したことをまとめたものである。

特に既存建物の省エネルギー化の重要性について着目し、その普及と推進のため、エスコ事業者とは異なる観点から、『省エネルギー・サービスプロバイダ・モデル』を構築した。

尚、東京大学生産技術研究所 特任研究員(当時) 馬郡 文平氏(現東京大学生産技術研究所 特任講師)が開発した「既存建築における省エネルギー・CO₂削減のためのリアルモニタリング及び最適化制御に関する開発研究」(2011年)に基づいたエネルギーモニタリングツールを活用し、140棟以上の既存建物のエネルギー・モニタリングを実施した。

これらのデータの中から137棟のデータを活用し、建築設備毎にどの程度の省エネルギー化の余地と可能性があるのかを分析、考察した。

具体的には、電力・熱のデマンド分析、発生頻度、運転効率などの視点で分析し、ベンチマークの設定と省エネルギー化の余地を考察した。

また、分析の結果、本モデルを活用するために必要な課題を抽出し、その課題についてモニタリングデータをもとに方策を検討した。

分析対象のエネルギー及び設備は、電力や地域冷暖房(DHC)のデマンド及び空調・換気に関するものを対象とした。

メーカーの製品本体に由来する性能により、エネルギー消費が決まってしまう照明やエレベータ、或いはユーザーの使い方にエネルギー消費量が依存するコンセント電源は、対象外とした。

目次

はじめに	1
1 章 研究背景と目的	5
1.1 社会的研究背景と既往の研究	5
(1) 建築物のエネルギー消費と社会的課題	5
(2) 新築建物着工ボリュームと既存建物ボリューム (既存建物に手がついていない)	5
(3) 建築のライフサイクルコスト上の建築設備とエネルギーに関する課題	6
(4) 建築のライフサイクルを通じたステークホルダーの課題	7
(5) 既存建物の省エネルギー化に関する市場と施策	8
(6) 省エネルギー診断事業者の診断結果の実行性の課題	9
(7) 市場が拡大しない ESCO 事業の動向と課題	11
(8) 普及が進まない BEMS アグリゲータの動向と課題	13
1.2 技術的研究背景と既往の研究	13
(1) 診断技術の課題	13
(2) コミッショニングの課題	15
(3) 建築設備のエネルギー・モニタリングの課題	15
(4) カーボンメトリックに関連する国内外の認証制度と課題	15
(5) ベンチマークの設定に関する課題	16
1.3 研究の目的と構成	18
1.4 用語の定義	20
2 章 エネルギー・モニタリングデータを活用した省エネルギー制御・改修の普及のための 設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルの構築	21
2.1 設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルの考え方	21
2.2 エネルギー・モニタリングの手法	22
2.3 ESCO 事業と設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルの違い	23
2.4 建築所有者に対する設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデル活用の モチベーション	27

3 章	建築設備のエネルギー利用効率の分析によるエネルギー削減余地の分析	28
3.1	エネルギー・モニタリングデータを活用した設備機器及びシステム効率に関する分析と評価	28
3.1.1	電力デマンドの分析と評価	28
3.1.2	地域冷暖房（DHC）デマンド分析と評価	36
	(1)P 複合施設	36
	(2)Y 銀行	43
	(3)K 病院	46
3.1.3	空調熱源運転効率の分析と評価	49
	(1) ガス焚吸収式冷温水機に関するケーススタディー K ビル	49
	(2) ガス焚吸収式冷温水機に関するケーススタディー I ビル	53
	(3) ヒートポンプチラーに関するケーススタディー DL-K ビル	57
3.1.4	空調 2 次側機器運転効率の分析と評価	62
	(1) 空調機運転効率に関するケーススタディー M 市役所	62
	(2) 外調機運転効率に関するケーススタディー T 図書館	67
3.1.5	ビル用マルチ運転効率の分析と評価	71
	電気ヒートポンプエアコンに関するケーススタディー L ビル その 1～9	
3.2	建築設備のエネルギー消費効率の分析のまとめ	78
	(1) 非効率な設備機器順	78
	(2) 設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルに適した設備	79
4 章	エネルギー・モニタリングデータに基づく熱源設備の設計仕様と実負荷の差異分析	81
4.1	既存熱源設備の容量の余裕率と建築設備の運転管理の現状	81
4.2	中央式熱源の容量の設計仕様と実負荷の差異分析	82
4.2.1	新築時の熱負荷計算結果と熱源容量の設定	82
4.2.2	熱負荷の変動要因	84
4.2.3	建物所有者との熱負荷変動要因に関する合意事項	85
4.2.4	改修時の熱負荷計算結果と熱源容量の設定	85
4.2.5	新築時と改修時の熱負荷計算結果と、エネルギー・モニタリングデータによる考察	87
4.2.6	設計仕様と実負荷の差異分析による経済効果と、本モデルへの適用及び普及の可能性	87

5 章 簡易なモニタリングデータを説明変数とするエネルギー消費量予測についての考察	90
5.1 エネルギー消費量予測の仮説	90
5.2 電気式熱源のエネルギー消費量予測手法の考察	91
5.3 ガス式熱源のエネルギー消費量予測手法の考察	96
5.4 電気式ヒートポンプエアコンのエネルギー消費量予測手法の考察	99
5.5 電力デマンド予測の考え方による熱デマンドの予測の検証.....	102
6 章 結論と今後の研究課題	106
6.1 結論.....	106
6.2 今後の研究課題.....	111
参考文献	113

謝辞

1章 研究背景と目的

1.1 社会的研究背景と既往の研究

(1) 建築物のエネルギー消費と社会的課題

我が国のエネルギー消費量は年々増加し（図 1-1）、東日本大震災の教訓から、効率的かつ一層安全で信頼性の高いエネルギー利用が求められるようになった。

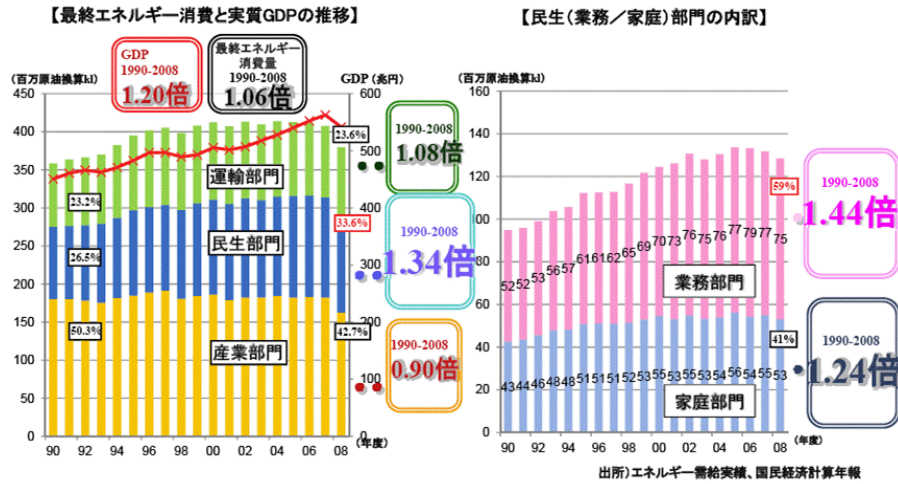


図 1-1 エネルギー消費の動向

更に、エネルギー価格の上昇は、日本の産業の重要な課題であり、安価で安定的なエネルギー供給と利用への対策が望まれている。

(2) 新築建物着工ボリュームと既存建物ボリューム（既存建物に手がついていない）

国土交通省総合政策局建築統計室の2014年3月31日の発表では、2014年1月1日現在で、日本国内の既存建物は、約73億2,631万㎡の規模となっている。そのうち、住宅が約54億9,587万㎡で全体の75%、非住宅は約18億3,044万㎡で、全体の25%となっている。

[10]

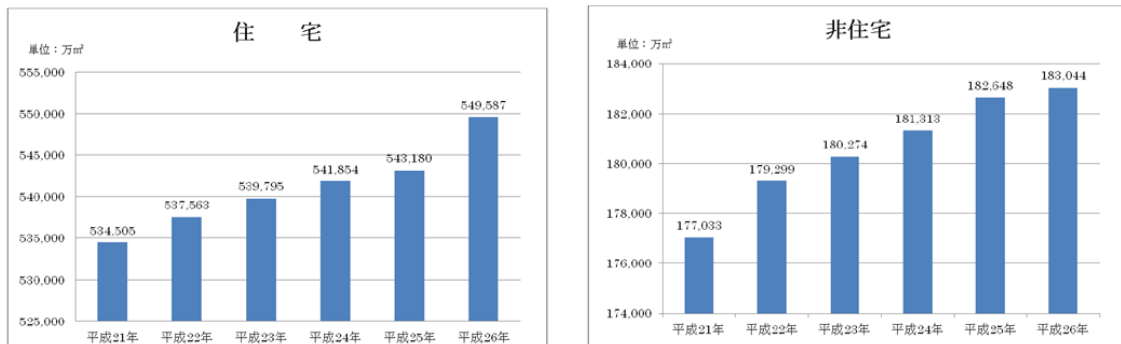


図 1-2 既存建物の延床面積

[10] 国土交通省 建築物ストック統計（2014年1月1日現在）の公表

一方、2013年4月～2014年3月の1年間の非住宅の着工延床面積は、4,767万9千㎡で、非住宅の既存建物全体に対する新築の割合は2.6%であり、既存建物の省エネルギー化は、重要であるといえる。

(3) 建築のライフサイクルコスト上の建築設備とエネルギーに関する課題

建築のライフサイクルコストは、その大半が運用段階の費用と言われている。筆者が設計・施工・竣工後のエネルギー消費量実績を検証した事例を下記に示す。

本事例は、延床面積16,563㎡の省エネルギー技術を広範囲に検討して、採用した東京都内に立地する本社オフィスビルである。

表1-1の予測・実績の欄に示す省エネルギー技術を採用している。その結果、1990年代の標準的仕様で設計・運用した場合のエネルギー消費量は、60年間にかかるライフサイクルコスト全体の約70%を占めており、省エネルギー技術を採用した場合には、同期間で全体の63%となっている。いずれにしても、運用段階でのエネルギー・コストが、非常に大きな割合を占めていることが分かる。(図1-3) [2]

表 1-1 採用した省エネルギー技術

項目	標準	予測・実績
電力	照明電力の低減	・自動調光なし ・照明器具FL40W
	搬送動力の低減	・定風量ファン ・ポンプ台数制御
ガス	蓄熱負荷の除去、蓄冷	・無対策
	外気の有効利用	・法定外気の導入
	外気負荷の低減	・全熱交換機なし
	熱源システムの効率化	・冷温水切替型熱源 ・熱源の分割設置なし
上下水	上水利用量の低減	・上水利用 ・標準型器具

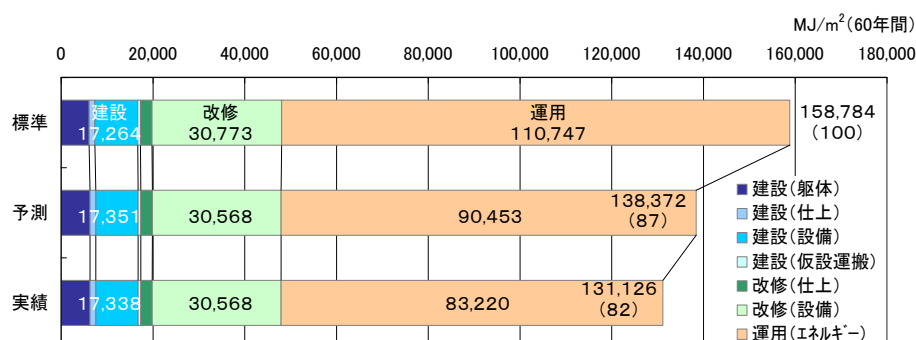


図 1-3 標準仕様建物と省エネルギー技術を採用した建物の 60 年間 1 次エネルギー消費量比較

[2] 高井啓明、迫博司、半澤久；大日本印刷 C&I ビルの環境・設備計画と実施，空気調和・衛生工学，2000.11，pp.17～31

(4) 建築のライフサイクルを通じたステークホルダーの課題

新築建物または改修建物の設計プロセスにおいて、建築設備設計者の多くは、省エネルギー性能に関し検討を重ねながら設計を進める。また、建築設備施工者は、設計仕様に基づいて建物竣工時に設備の性能確認を行う。

そして両者に共通する大きな関心事の一つは、竣工後に建物所有者や建物利用者から、温熱環境や明るさなどの快適性に関してクレームが出ないようにすることにある。

だが、建築設備運転の最適化は、ビルの竣工後の利用実態を把握して初めて可能となるため、竣工後に建物利用者からクレーム等を受けない限り、建築設備の実際の運転状況を知る機会は少ない。

しかも、設計事務所は設計図書の作成、施工者は新築工事または工事金額が大きな改修工事がビジネスの主な対象であるため、建物の竣工から建築設備がリニューアルされるまでの約 20 間は、建築設備の運転方法が検証されたり、最適化されたりする機会が少ないことが現状にある。

言い換えれば、竣工後の 20 年間は、建物のエネルギー・マネジメントが、ビジネス領域から取り残されているということである（図 1-4）。[3]

近年、一部の建物では、ESCO 事業者(Energy Service Company の略)による省エネルギー改修が行われているが、これらの改修事業は、投資効果のある大規模なビルや省エネルギー効果の大きい設備に限定されることが多い。

そのうえ、ESCO 事業者は、改修後のエネルギー消費量のモニタリングを精緻に行わないことが多く、改修後は十分な検証やチューニングが行われなかったことも少なくない。

よって、ESCO 事業者による省エネルギー改修を行ったあとも、非効率運転を続けていることが多い。

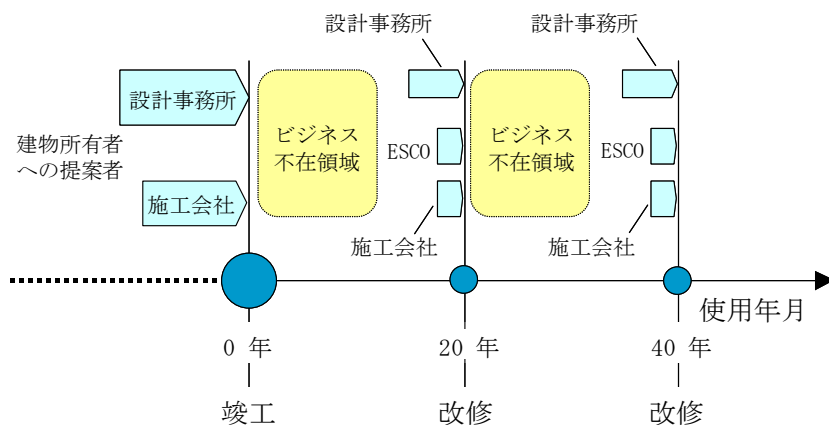


図 1-4 建物のライフサイクルと省エネルギーに関するステークホルダー

[3] 迫博司、野城智也 他; 既存建物のエネルギー・モニタリングによる CO2 排出量削減可能性に関する研究, 日本建築学会 第 26 回 建築生産シンポジウム, 2010

(5) 既存建物の省エネルギー化に関する市場と施策

既存建物の省エネルギー化を推進するため、省庁主導で、各種の規制及び助成が行われている。

規制に関しては、既存建物のエネルギー消費量を抑制するため、「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）」において、エネルギー消費量の報告、削減努力目標の提出を義務付けている。

エネルギー管理指定事業所

第一種エネルギー管理指定工場等・・・エネルギー消費量 原油換算 3,000kL/年以上
第二種エネルギー管理指定工場等・・・エネルギー消費量 原油換算 1,500kL/年以上
特定連鎖化事業者・・・加盟店のエネルギー消費量の合計 原油換算 1,500kL/年以上

また、助成に関しては、以下のようなものがある。

①経済産業省 資源エネルギー庁：エネルギー使用合理化等補助事業

省エネルギー改修または省エネルギー制御を付加することで、建物全体の1%以上または原油換算で500kL以上を削減する改修工事が対象
1/3～1/2 補助

②経済産業省：ネット・ゼロ・エネルギー・ビル実証事業

新築・増築及び改築の建物の場合、建物全体の標準年間1次エネルギー消費量を30%以上削減できること
1/3～2/3 補助

③国土交通省：建築物省エネ改修等推進事業

躯体（外皮）の省エネ改修を行うことを前提に、建物全体におけるエネルギー消費量が15%以上削減できる改修工事が対象
1/3 補助

これらの助成は、既存建物の省エネルギー改修を促すために、主に設備機器の高効率化、先進的な省エネルギー設備・システムの導入、建物の断熱性能の向上など建物のハードに関する助成が中心である。

エネルギー・モニタリングと省エネルギー制御に関する助成は、①の資源エネルギー庁のエネルギー使用合理化等補助事業のみであり、既存建物の運用方法の改善や、既存設備の省エネルギー制御に関する助成は少ない。

(6) 省エネルギー診断事業者の診断結果の実行性の課題

既存建物の省エネルギー化のために、以下のような省エネルギー診断事業がある。

- ①公益財団法人 東京都環境公社 クール・ネット東京 (図 1-5) [11]
- ②一般財団法人 省エネルギーセンター (図 1-6、1-7) [12]



図 1-5 省エネルギー診断事業者のパンフレット(クール・ネット東京)

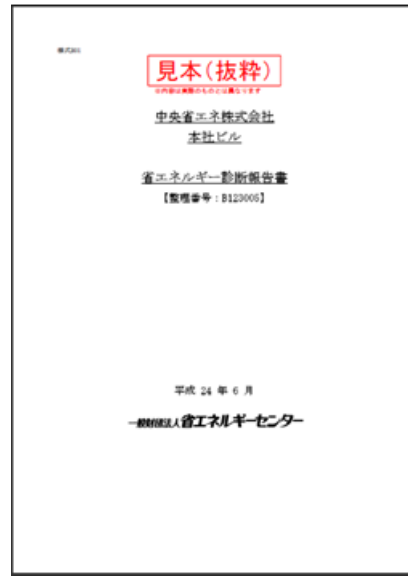


図 1-6 省エネルギー診断事業者の報告書見本表紙(省エネルギーセンター)

1 診断結果の概要とまとめ

診断地	中央省エネ株式会社 本社ビル	平成23年6月24日(金)
出典者	診断者: 東京エネ エネルギーサービスセンター 省エネ推進課 S.A.S.S. 省エネ大野 悠三郎 (敬称略)	報告者: (印) 藤原太郎 (印) 藤原太郎 (敬称略) 入下藤三郎

1. エネルギーの使用状況

ビルの一般的な指標である坪単位のエネルギー使用量(エネルギー原単位)は、昨年事業報告ページに示すように1,358kWh/m²で、庁舎としては平均的結果にあります。省エネの実行面では「温暖化実行計画」があり、数値目標も示されています。残念ながらその先のグレードダウンがないので数値改善や実行主体が明確でなく、従ってフォローアップができません。省エネ実行計画も作って下さい。

年間使用エネルギーの約80%が電力であり、年間傾向として2、8月に電力使用の突出があることから、空調設備を対象にした改善対策に注力すると効果が大きいです。なお、庁舎は竣工後30年を経過していますが、空調設備の更新以外は到来設備のままです。機密改造や更新を含む改善には絶好の機会であり、庁舎リフレッシュ計画策定時に省エネ改善も取り入れるようご検討願います。

2. 改善概要の概要

① 運用面で最も特効するのは換気の見直しです。庁舎内環境測定結果では、管理するCO2濃度が高く、換気過多の傾向が見られます。更には、始業時間に先立ち空調のウォーミングアップ運転をしていますが、現在はこの時間帯も換気運転をしています。これを是正すると、全体電力使用量の2.8%の省エネが見込めます。この対策は費用を要しませんので、優先実行されるよう希望します。

② 投資策としては、照明の高効率化が最も大きい効果に合致します。試算では2%を超えます。ただし、投資回収年数が8.8年とやや長くなりますが、員庁舎の場合照明設備の更新時期にあり、更新に際し高効率化(LED化)を行えば十分実効可能なものと考えます。

③ 電力料金に影響する最大電力需要は、ビルでは一般に空調により発生します。最大電力需要を低減する手段としてデマンドコントローラがあり、その導入をお奨めします。これを活用して空調運転を調整し、最大電力需要を抑制します。更に、当地区の場合、電力危機に備えて省エネの策に加え、電力の最大需要抑制が求められる事象があります。デマンドコントローラを採用するなど乗り切っていくべくご要望します。

3. その他

① 現場巡回時に、室内空調負荷軽減のための暖房ガラスに遮光フィルム採用の可能性につき説明になりました。報告書作成にあたり検討しましたが、投資回収年数が高いものになりました。

報告書作成	エネルギー使用合理化専門員	(印) 藤原太郎 (印) 藤原太郎
連絡先	省エネエネルギーセンター 省エネ推進課	ビルビル入下藤三郎
連絡先	TEL: 03-6342-3018	担当

一般財団法人 省エネルギーセンター - 1 - B123005

2 エネルギー使用状況と分析(1/2)

建物概要	用途: 一般事務所	使用形態: 日中専断	構造: その他
延床面積	15,100 m ²	建築年数	3,000年
標準階高	3.00 m	階上: 2階	階下: 1階
平均: 10人/坪	人数: 200名(10人)		

エネルギー	エネルギー使用量	(割合)	原単位	エネルギー原単	CO ₂ 排出量
使用状況	kWh/年	%	kWh/(m ² ・年)	kg-CO ₂ /年	kg-CO ₂ /年
購入電力	714	27.66%	0.047	1.750	41.003
燃料・熱	63	2.42%	0.004	0.166	2.963
合計	777	29.09%	0.051	1.916	44.022

一般事務所のエネルギー原単位の分布と貴事業所の比較

図1は平成13～21年度に省エネセンターが省エネ診断を実施した230件の一般事務所の延床面積とエネルギー使用量の関係を示す。各事業所の年度別当りのエネルギー使用量(原単位)と、全事業所原単位の小さなものから順に並べた時の各事業所の百分位との関係を図に示す。貴事業所の原単位(1,342kWh/m²・年)は、74.9%に位置する。同様の事業所であれば原単位が小さいほど省エネが導入できることになる。実際には、一般事務所であっても利用形態や稼働状況等が異なるため、この順位割合で単純に評価できるものではないが、一つの参考とし、原単位低減に取り組んでいただきたい。

省エネルギー管理状況

図2はエネルギー管理に関する4区分25項目について省エネ推進課、環境部、総務部、施設課の取組状況(項目詳細は「表3」ページ参照)を説明したものである。各区分の取組がよいことも重要だが、図の形状の種類(区分)による点数の差にも注目していただきたい。

一般財団法人 省エネルギーセンター - 2 - B123005

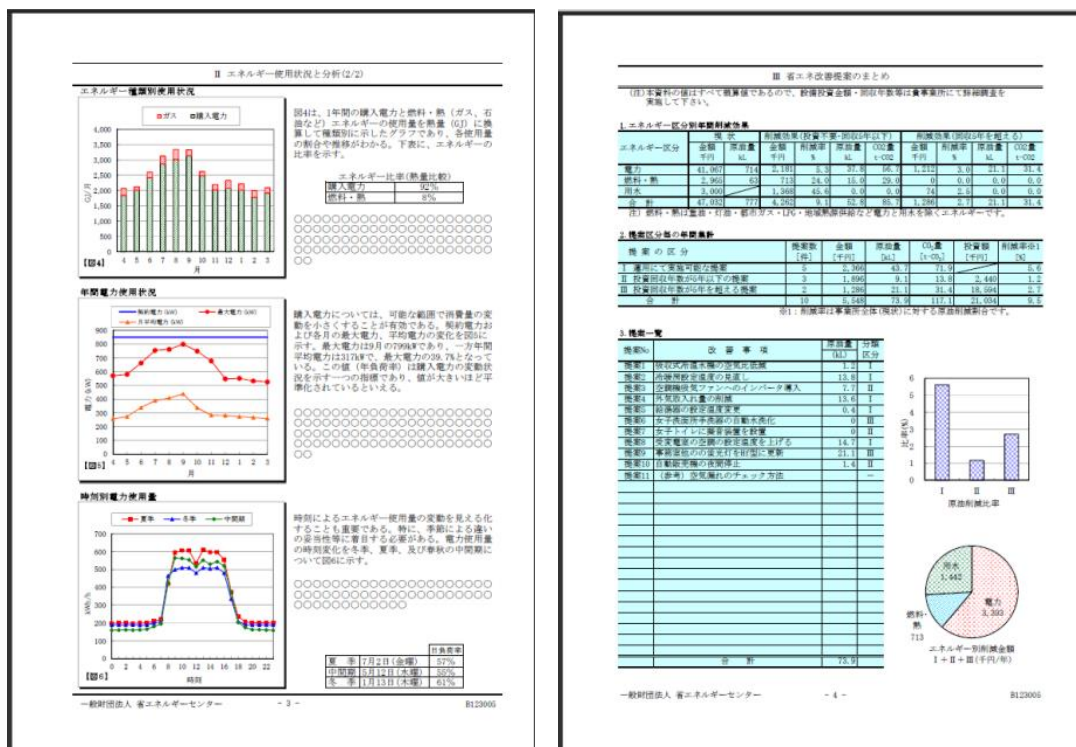


図 1-7 省エネルギー診断事業者の報告書見本本文抜粋(省エネルギーセンター)

[12] 省エネルギーセンター;省エネルギー診断事業者の報告書見本

これらの診断事業は、建物所有者から専門の技術者が診断申込を受けて建物を調査し、その結果をもとに、運用改善や省エネルギー改修の費用対効果などを、建物所有者やテナントに対して報告・説明を行うものである。

診断手順は、

- ①過去の月別エネルギー消費量の把握・分析
- ②既存建物の竣工図の把握
- ③建物管理者または建物所有者への建物利用状況ヒアリング
- ④建物調査（機械室、居室など）
- ⑤診断内容の検討、診断結果報告

が一般的である。省エネルギー診断事業者によって診断項目は異なるが、建物の利用方法を改善する運用改善から、小規模・大規模な省エネルギー改修まで多岐にわたる。

しかし、取扱うエネルギーデータが、月別データであるため、機器の運転効率などの把握は難しい。

また診断が無料であるため、事業者が安易に診断申込をし、診断を行うものの、診断の結果、費用を要する省エネルギー改修の提案に対しては、予算化ができていないため、なかなか実行されないことが課題である。

(7) 市場が拡大しない ESCO 事業の動向と課題

ESCO 事業は、1996 年の事業開始から市場を徐々に拡大してきた。2003 年には、市場規模は 350 億円に達している。しかし、2009 年には、経済の低迷により、100 億円を割るまでに縮小した。その後、右肩上がりとはなっていない。(図 1-8) [13]

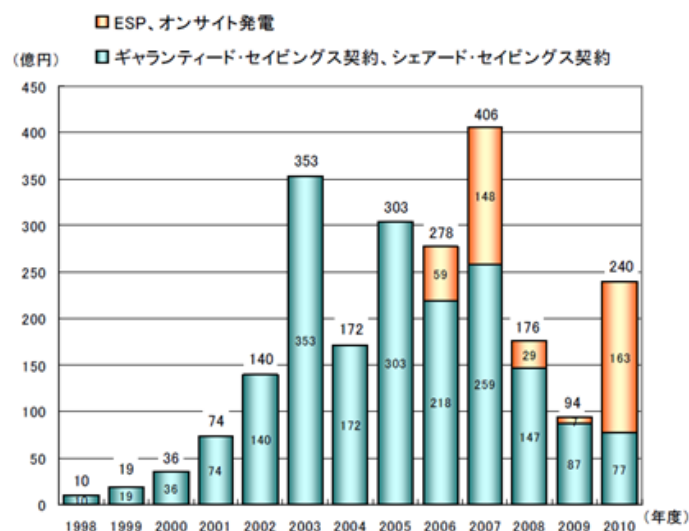


図 1-8 ESCO の市場経過

[13] 一般社団法人 ESCO 推進協議会

ESCO 事業は、顧客が資金調達を行うギャランティード・セイビング契約と ESCO 事業者が資金調達を行うシェアード・セイビング契約の 2 種類があるが、シェアード・セイビング契約の方が契約金額は大きい傾向にある。[13]

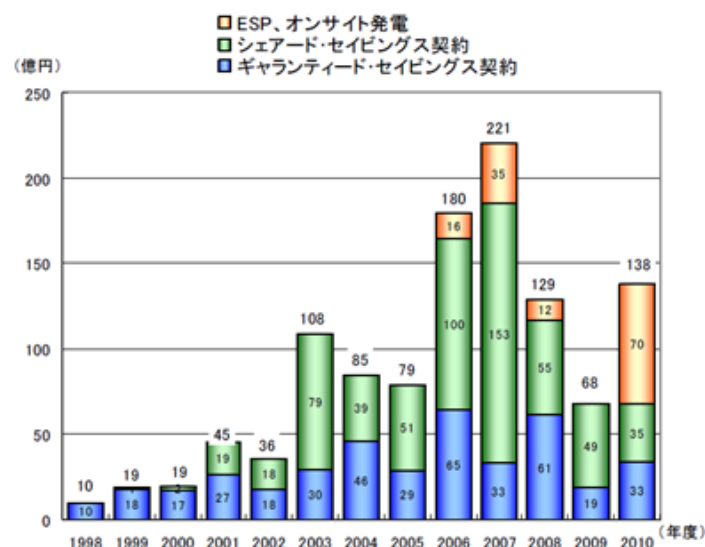


図 1-9 ESCO の市場経過

[13] 一般社団法人 ESCO 推進協議会

ESCO 事業者は、投資金額が一定規模を上回る事業または投資回収年の短い省エネルギー手法を主体に提案するため、投資対象が限定され、広範囲な省エネルギー化の普及には限界がある。

図 1-10 の採用技術からは、改修が簡易なポンプファンのインバータ化が最も採用件数が多いことが分かる。その他では、外気取入、CO2 制御、冷凍機更新、照明器具の高効率化、BEMS の導入が多くなっている。



図 1-10 ESCO の採用技術

[13] 一般社団法人 ESCO 推進協議会

省エネルギー効果の検証については、モニタリングにかかる費用、検証の手間、分析技術者の不在などの要因により、十分にされているとは言えない。

また、筆者による ESCO 事業者への融資を長年行っている金融機関へのヒアリングによれば、削減実績が補償金額より下ぶれした時に、ベンチマークとした基準エネルギー消費量の変更を主張する ESCO 事業者と削減補償を主張する建築主との協議が難航することが多いとされ、このことも普及の障害となっていると思われる。

(8) 普及が進まない BEMS アグリゲータの動向と課題

エネルギーの見える化と省エネルギー制御の導入は、2012 年の経済産業省の施策による「BEMS アグリゲータ制度」により、普及に向けた状況にある。

本施策は、東日本大震災後の電力需給逼迫対策として、主にビル管理者が不在の中小ビルを対象としており、インターネットを通じ遠隔操作でビル設備の省エネルギー制御、電力需給逼迫時のアグリゲータによる一斉制御及び計測・制御内容の WEB での見える化をすることが狙いである。

政府は、本制度を利用してシステムを導入する場合の工事費用に対して、補助金を最大 50%（限度額 250 万円）として、普及拡大を狙った。

しかし、2012 年の制度開始からの 2 年間の成果としては、経済産業省が当初掲げた 65,000 件の目標に対して、1/10 程度の約 6500 件の導入に留まった。

普及を阻害する要因としては、補助金の上限額を 250 万円としたことにより、導入するシステムの規模が限られ、思うように削減効果が得られなかったこと、また投資回収年数は短くても実際のエネルギー費用削減金額が小さいことで、建築主の投資のモチベーションが低かったことがあげられる。

そのため、ESCO 事業の空白域の小規模建物の省エネルギー化を普及する迄には至っていない。

1.2 技術的研究背景と既往の研究

(1) 診断技術の課題

省エネルギー診断は、日報・月報・年報のエネルギー消費量記録の確認及び運転管理者へのヒアリング、現地の設備の設置状況の確認により行っている。

しかし、主な省エネルギー診断の実施団体である省エネルギーセンターやクール・ネット東京の診断エンジニアのほとんどは外部委託であり、エンジニアの所属は、設計事務所、施工会社などである。各診断エンジニアは、自身の専門領域に関しては精通しているものの、他分野では専門性に欠けるという問題点がある。そのため、診断会社は独自に診断エンジニアの教育を行ったり、診断実施時は機械設備エンジニアと電気設備エンジニアの 2 名で診断を実施したりしている。

表 1-2 に、三菱総合研究所作成の診断技術項目のリスト（抜粋）を示す。省エネルギー診断項目は 100 以上の技術要素あり、診断エンジニアが、各要素技術を建物毎に適用可能か判断するためには、非常に広範囲な技術力が必要になる。

表 1-2 省エネルギー診断項目(抜粋)

対策区分	対策番号	対策名		
		対策概要		
熱源・搬送	運用	1	ボイラの燃料空気比改善 燃焼用空気の過剰送風による燃焼温度や燃焼効率の低下を防ぐため、熱源負荷の状況に応じて空気比を調整する(低く抑える)。	
		2	蒸気ボイラの運転圧力の調整 蒸気ボイラの過剰圧力による過剰な燃焼を防ぐため、運転圧力を調整する。	
		3	ボイラ等の停止時間の電源遮断 燃焼制御装置の待機電力を削減するため、ボイラ等の停止時間の電源を遮断する。	
		4	冷水水出口温度の調整 冷水発生機などの冷水水出口温度を年中一定のままにせず、冷暖房軽負荷時など、こまめに調整し、熱源機器の運転効率を高める。	
		5	冷却水設定温度の調整 冷却水設定温度を、冷房負荷ピーク時と軽負荷時期できめ細かく調整し、冷凍機熱源設備の機器効率を向上させる。	
		6	熱源台数制御装置の運転発停順位の調整 気象条件や時間帯による冷暖房負荷に応じて熱源の最適な運転台数になるように運転発停順位を調整し、熱源機器の運転効率を高める。	
		7	冷水ポンプの冷水水流量の調整 冷水ポンプの冷水水の過剰流量(ポンプ動力の過剰運転)を防ぐため、冷暖房負荷に応じて冷水水流量を調整する。	
		8	蓄熱システムの運転スケジュールの調整 夜間電力を活用して蓄熱した熱量で昼間の負荷を処理し、昼間の空調運転時間をできるだけすくなくするよう運転スケジュールを調整する。	
		9	インバータ設定値の見直し 熱源・搬送設備等に設置されたインバータの設定値を最適なものに変更する。	
		10	冷水蓄熱槽のロス改善 蓄熱時の冷水の放熱ロスの低減を図る。	
		11	冷水水の混合損失の防止 4管式配管システムの場合、空調機内の温水や冷水コイルからの放熱による混合損失防止のために、冷房期は温水運転を停止する。	
		12	配管等からの冷媒等の漏えい防止のための点検・整備 冷媒等の循環に用いられている配管等から、温室効果を持つ冷媒が漏洩するのを防ぐために、点検・整備を行う。	
設備	熱源機等	13	高効率ボイラの導入 ボイラの燃焼排熱を空気又は給水予熱に利用し、かつ定格時空気比が1.2以下で、効率が90%以上のものを導入し、省エネ化を図る。	
		14	コージェネレーションの導入 自家発電機によって電気を供給するとともに、発電に伴って発生する排熱を冷暖房や給湯等に利用するコージェネレーションを導入する。	
		15	高効率吸収式冷水機・冷凍機の導入 定格運転時の成績係数(COP)が1.1程度以上の吸収式冷水機もしくは定格COPが1.2程度以上の吸収式冷凍機を導入する。	
		16	高効率ターボ冷凍機の導入 定格運転時に成績係数(COP)が6程度以上の冷凍機。高効率インペラ、高効率伝熱管、高効率フロート弁、低損失・長寿命軸受、低損失増速ギア等の採用により従来機種より20%以上の効率向上が実現可能。	
		17	熱回収(冷温熱同時取出し型)ヒートポンプの導入 冬期や夏期に冷暖房同時需要があるビルなどに、冷暖房同時に対応可能で高効率の熱回収ヒートポンプを導入し、省エネ化を図る。	
		18	地中熱利用システムの導入 地中や地下水等が持つ温度と外気との温度差エネルギーをヒートポンプで回収し、冷暖房、給湯に利用するシステムを導入し、省エネ化を図る。	
		19	太陽熱利用設備の導入 再生可能エネルギーシステムの一つである太陽熱利用設備を導入し、空調などの燃焼エネルギーとCO2排出量を削減する。	
		20	高効率マルチエアコンの導入 圧縮機やファンに可変速モータを採用したり、圧縮機の性能や室外機・室内機の熱交換性能等を向上させたマルチエアコン。個別空調システムとして使用される。	
		21	高効率熱源機器への更新(対策番号13~20以外) 更新時期を迎え、効率が低下した熱源機器を、省エネ効果の高い高効率の熱源機器に更新し、熱源エネルギー消費量を削減する。	
		22	蓄熱システムの導入 夜間等の軽負荷時に、割安な夜間電力を利用するヒートポンプ等の熱源機を運転して熱を製造・蓄熱し、ピーク時間帯に放出するシステム。ピーク負荷を削減するとともに、熱源機の部分負荷運転頻度の削減により省エネ化を図る。	
		23	省エネ型の冷却塔への更新 更新時期を迎え、効率が低下した冷却塔を省エネ型の製品に更新し、冷却塔ファンのエネルギー消費量を削減する。	
		搬送系等	24	蒸気配管・蒸気バルブ・フランジ等の断熱強化 蒸気等の熱損失を防ぐため、保温されていない配管やバルブ等に保温力カバー(ジャケット式も含む)を付ける。
			25	蒸気漏れ等の配管・バルブの更新 蒸気バルブや負荷設備等での蒸気漏れによる熱損失を防ぐため、蒸気漏れがある配管やバルブ、老朽配管、不良配管などを取り替える。
			26	蒸気ドレンの回収 蒸気配管や各種装置から発生する蒸気ドレンを排出する際にトラップやドレン回収ポンプ等により熱を回収し、給水予熱等に有効活用する。
			27	ポンプ台数制御の導入

(2) コミッショニングの課題

2000年頃から、日本国内においても建築設備のコミッショニングの必要性が指摘・認識されてきた。2004年には、特定非営利活動法人 建築設備コミッショニング協会が設立され、コミッショニングの普及が始まった。コミッショニングには、主に新築時の性能検証と既存建物の性能検証に分類される。

いずれの場合も、設計・施工・ビル管理などの関係者とは別に、第三者的な立場の者が建築設備の性能検証を行う。新築時であれば設計要求の省エネルギー性能を達成しているか、また既存建物においては、運転管理上のエネルギーロスや非効率な運転が無いかを検証し改善の提案を行う。

また、このようなコンサルティングに対し、国内の契約慣例においては、フィーを支払う習慣が希薄である。そのため大変重要な検証・提案であるコミッショニングが行われている建物は限定的であり、多くの建物は、現在も非効率な状態で運転されている場合が多いと考えられる。

(3) 建築設備のエネルギー・モニタリングの課題

スマートメータは、現在電力会社を中心として導入が進められており、従来の訪問型の人的検針業務を、遠隔操作で自動化すること、更には、需要家側へのデータ提供、送電側からのデマンドレスポンスサービスの提供を前提として、規格が議論されている。

ちなみに、計測単位は30分毎で、計測したデータを通信する仕様としている。

一方、建築設備の省エネルギー化の検証に必要なデータは、

熱源の運転効率の分析： 起動時分析には30分データは不適、1分データが必要

インターバル運転・インバータ制御： 1分毎のデータが必要

などであり、スマートメータは事業用建物の省エネルギーのためのモニタリングツールとしては、計測間隔が長すぎるため不向きと言える。

また、事業用建物に中央監視が設置されている場合は、制御は1分データをもとに行われているものの中央監視の記録や外部出力は、1時間データとなっている場合が一般的である。

精緻な省エネルギー・モニタリングには、1分データを取得し、その解析が重要と考えられる。

(4) カーボンメトリックに関連する国内外の認証制度と課題

EUでは、Energy Performance of Building Directive “EPBD”が、2002年に施行され2010年に改訂されている。この規定では、建物のエネルギー性能算定手法が定義され、エネルギー性能証明書（Energy Performance Certificates (EPCs)）の策定を求めている。このEPCsは、建物建設時、売買時、賃貸借契約時に作成、さらには、2010年からは、不動産契約の書類に示すだけでなく、不動産取引の広告にも提示するように求めている。EPCsは、建物をA~Gの7つに分類して性能表示を行っている。省エネルギー性能の表示

は、単位面積当たりの年間エネルギー消費量で表示している。

米国の LEED は、評価対象により 5 つのツールから構成されている。カーボンメトリックの視点では、建物のエネルギー消費性能を評価項目毎に加点評価し、その合計点でプラチナ／ゴールド／シルバー／その他の 4 つにラベリングされる。そのため、エネルギー消費量の定量的な取扱いは含まれていない。[4]

日本国内では、総合的環境性能評価ツールとして CASBEE がある。CASBEE の概念は、建物の評価内容を、「環境負荷」と「環境品質・性能」に分けて同時に評価し、環境効率を算出することにある。評価建物は、環境効率の値によって、S・A・B+・B・C の 5 つに区別されランキングされる。総合的な評価ツールとして、また建物の評価ツールとして、建築業界には浸透しているが、不動産価値評価へ反映するまでには至っていない。

これは、不動産価値が土地の価値及び省エネルギー性能を含まないデュー・デリデンスの環境レポートに依存しており、エネルギー消費量が、不動産価値に反映されていない不動産取引の慣例によるところが大きい。

[4] 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会 米国・欧州における省エネルギー政策について 2013 年 11 月 5 日

(5) ベンチマークの設定に関する課題

エネルギー消費量のベンチマークとして最も用いられているものに、建物のエネルギー消費量原単位がある。

一般社団法人日本ビルエネルギー総合管理技術協会が、毎年発行している「建築物エネルギー消費量調査報告」は、多くの建物のエネルギー消費量を統計処理したもので、ベンチマークの一つとして利用されている貴重な報告書である。

同報告書の第 36 報で、2000 m²以上の 922 建物の平成 24 年 4 月～25 年 3 月のエネルギー消費量について、集計・分析を行っている。

本研究に関連するエネルギーデータとして、下記の内容が掲載されている。

- ①建物用途別エネルギー消費量原単位（年間 1 次エネルギー消費量／延床面積）
- ②建物用途別・エネルギー別のエネルギー消費量と延床面積の相関
- ③地域別、年代別、階数別のエネルギー消費量と延床面積の相関
- ④契約電力と年間電力消費量の相関
- ⑤用途別契約電力と年間電力消費量の相関

また、設備容量、室内温度、空調運転時間なども、集計・分析を行っている。

- ⑥熱源容量の原単位
- ⑦搬送動力の原単位
- ⑧冷暖房運転日数
- ⑨室内設定温度

などがある。

これらの統計・分析データは、広範囲な建物のデータを取り扱っており貴重なデータである。しかし、ベンチマークとして利用する場合は、建物用途別エネルギー消費量原単位が唯一の比較対象であり、建物全体のエネルギー消費量を相対的に比較する指標として活用するに留まっている。[14]

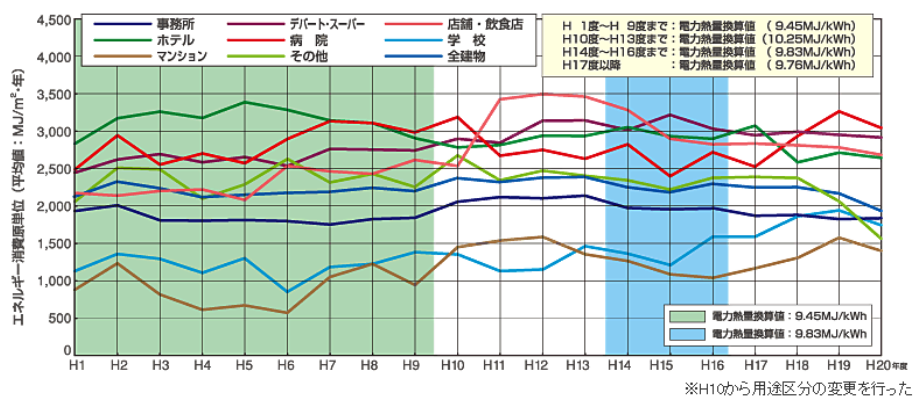


図 1-11 年度別用途別エネルギー消費量原単位グラフ

[14] 建築物エネルギー消費量調査報告第 30 報

1.3 研究の目的と構成

本研究は、はじめに既存建物の省エネルギー化の普及に向けて、ESCO 事業と異なり、普及性の高いと考えられるモニタリングデータを活用した省エネルギー・サービスプロバイダを定義した。そして、省エネルギー・サービスプロバイダに用いるモニタリングツールを活用し 137 棟の 1 分データを収集し、制御や改修による省エネルギー手法と省エネルギー量の定量化により既存建築設備の省エネルギー化の余地を明らかにすることを目的とする。さらに、省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルを電力・熱のデマンドレスポンスに適応するためのベンチマークの考え方を明らかにすることを目的とする。

序論 1 (第 2 章) では、エネルギー・モニタリングデータを活用した建築設備の省エネルギー・サービスプロバイダを定義する。本章では、ESCO 事業との違い、及び、モニタリングデータを 1 分で取り扱う意義や多点同時計測の意義について論じる。

本論 1 (第 3 章) では、省エネルギー・サービスプロバイダの電力デマンドレスポンスへの適用のため、電力デマンドのベンチマークの分析と推定を行う。また、建築設備のシステム毎に、エネルギー利用効率の分析によりエネルギー削減余地を分析する。

本論 2 (第 4 章) では、第 3 章のモニタリングデータの分析から、課題として抽出した設計仕様と実負荷の差異について分析し、改修時の設計仕様の在り方を明らかにする。

本論 3 (第 5 章) では、第 3 章の電力デマンドのベンチマークの分析の知見に関して、空調エネルギーへの適応性について論じる。具体的には、エネルギー・モニタリングデータを活用して空調エネルギー消費量 (空調負荷) の予測を簡易なデータ分析により可能かどうかを分析する。簡易な分析により空調エネルギー消費量の予測が可能となれば、熱のデマンドレスポンスにおけるベンチマーク設定と熱デマンドの抑制余地の分析が可能となる。そこで、外気温度や空調消費エネルギー量などのモニタリングデータ等を説明変数として、エネルギー消費量予測を目的変数とし、省エネルギー・サービスプロバイダへの適応手法を明らかにする。

研究の構成を、図 1-12 に示す。



図 1-12 研究の構成

1.4 用語の定義

- ・ BEMS アグリゲータ：平成 24 年度から実施された経済産業省の補助事業「エネルギー管理システム導入促進事業」において、中小ビル等に BEMS を導入するとともに、クラウド等によって自ら集中管理システムを設置し、中小ビル等の省エネを管理・支援する事業者を示す。
- ・ ESCO 事業者：顧客の光熱水費の使用状況の分析、改善、設備の導入といった初期投資から設備運用の指導や装置類の保守管理まで、顧客の光熱水経費削減に必要となる投資の全て、あるいは大部分を負担し顧客の経費削減を実施する。これにより実現した経費削減実績から一定額を報酬として受け取り、5～20 年の長期間をかけて投資を回収、利益を確保する。
- ・ ベンチマーク：ECSO や設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルのサービスによる削減対象とするエネルギー消費量の基準値、または、光熱水費の基準額。
- ・ エネルギー管理支援サービス事業者（エネマネ事業者）：導入された省エネルギー設備・システムや電力ピーク対策に寄与する設備・システムなどに対して、EMS を導入し、エネルギー管理支援サービスを通じて工場・事業場等毎の省エネルギー事業を支援する事業者を示す。

2章 エネルギー・モニタリングデータを活用した省エネルギー制御・改修の普及のための設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルの構築

2.1 設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルの考え方

設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルは、建物所有者以外の動産所有会社が、建物所有者の設備に対して、省エネルギー制御の導入または省エネルギー改修を自社負担で実施し、改修後のエネルギー削減実績と契約条件の報酬割合に基づき、報酬を建物所有者から受け取るモデルである。(図 2-1)

エネルギー削減実績の算出に際しては、1分毎のエネルギー・モニタリングデータに基づき、省エネルギー改修の有無及び制御の有無によりその差異を演算する。そのため、気象変動や建物稼働率及び室内利用方法などの変動要因によりエネルギー消費量が削減した場合でも、エネルギー削減量が過剰に演算されることはない。一方、建物稼働率の上昇などによりエネルギー消費量が多くなった場合には、制御による削減量と稼働率の上昇によるエネルギー消費量の上昇分が明確に区別される。

契約期間は、5年~10年程度としている。この間のメンテナンスは、全て省エネルギー・サービスプロバイダが負担する。また、省エネルギー・サービスプロバイダは、建物所有者に対して、エネルギー・モニタリングデータやエネルギー消費量削減効果を、WEBにて随時閲覧することも可能としている。運用開始後に、エネルギー削減実績が確認した後は、建物所有者は、契約期間中においても、設定した経過年数後は、随時、残価格にて動産所有会社より設備を買い取ることができる。

上記の契約条件は、省エネルギー・サービスプロバイダの早期の収益確定を可能とするとともに、建物所有者に対しても、早期に削減効果を楽しむしくみとしている。

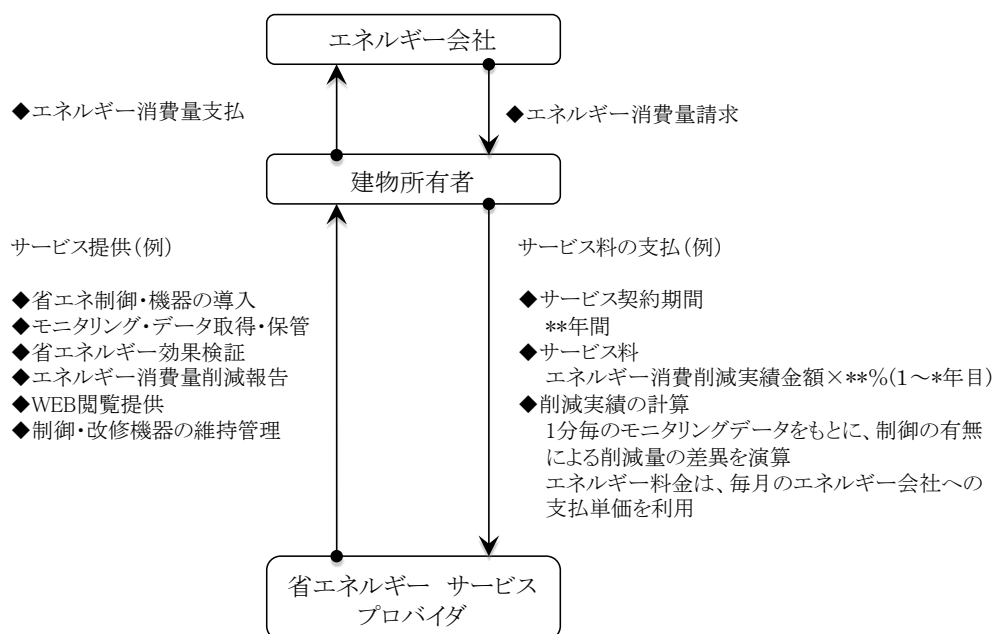


図 2-1 省エネルギー・サービスプロバイダ・モデル

2.2 エネルギー・モニタリングの手法

本モデルで用いたエネルギー・モニタリングの手法は、馬郡 文平氏（現東京大学生産技術研究所特任講師）著の「既存建物における省エネルギー・CO2削減のためのリアルタイムモニタリング及び最適化制御に関する開発研究」（2011年）の4章リアルタイム・データモニタリングにおける技術体系の構築を用いている。[1]

モニタリングの機器及び構成を下記に示す。

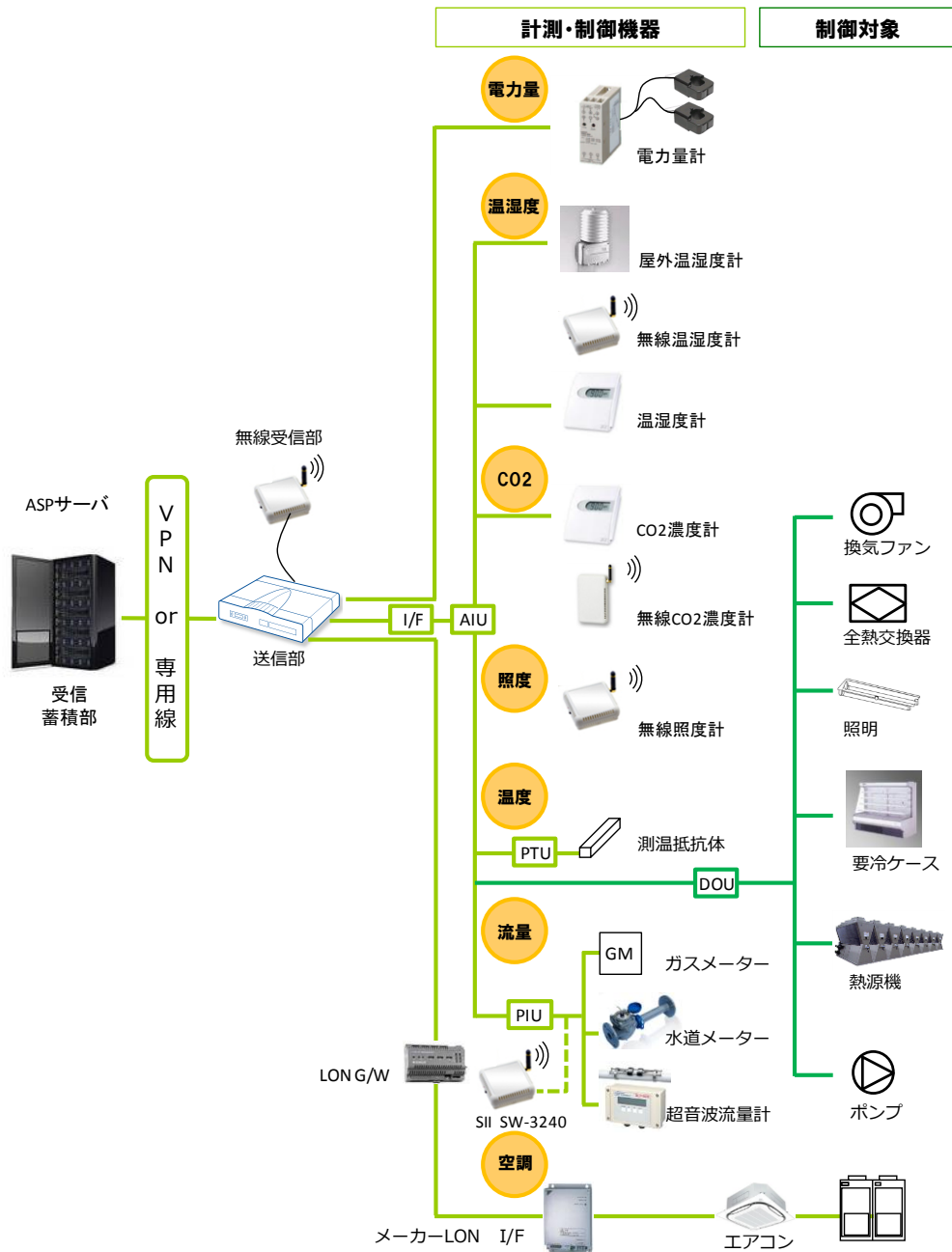


図 2-2 エネルギー・モニタリング・制御の構成

計測機器は、メーカーの汎用既製品を用いた。また制御は、送信部に制御プログラムを導入した。計測・制御のデータは、1分毎に収集し、受信蓄積部に蓄積した。[5]

[5] 馬郡文平、野城智也、迫博司 他; AI ネットワークシステムを活用した最適化コントロールに関する研究 見える化と分散・統合制御によるエネルギー利用の最適化、

日本建築学会・情報システム技術委員会 第35回情報・システム・利用・技術シンポジウム,2012

2.3 ESCO 事業と設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルの違い

本モデルは、ESCO 契約と類似しているが、下記の点に違いがある。

(1) ベンチマークの設定方法

ESCO 事業者のベンチマークは、省エネルギー改修工事を行う前のエネルギー使用量及び光熱水費を基に設定される。その設定方法は、多くの場合、過去 3 年間における年間平均基準量、基準額をベースラインとして予定削減費用を想定し、そこから報酬部分を割り出し、確定した報酬を毎月受領するというものである。

また、省エネルギー改修工事を行う前と行った後の光熱水費を比較した場合、下記の要因が、光熱水費の削減費用に影響を及ぼすことがある。

- ①外気温湿度などの天候変動要因
- ②建物稼働率の変動要因（稼働日数、稼働時間）
- ③テナント入れ替え等による室内利用方法の変動要因
- ④改修工事以外の設備機器の劣化
- ⑤改修工事以外の設備のメンテナンス状況

ESCO 事業では、上記の変動要因が大幅にあった場合、その都度、建物所有者と ESCO 事業者間で協議が必要になる。

しかし、設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルでは、1分毎にエネルギー・モニタリングデータを収集しているため、削減効果は、制御を行っている 1分データと制御を行っていない 1分データを比較演算して算出することができる。

1時間データと1分データの違いを、3章 1.2(1)P 複合施設で取り扱ったモニタリングデータを事例として図 2-3 に示す。電力消費量は、昼 12 時に最大電力の 6740kW となっている。図 2-3 左の毎時の電力消費量グラフからは、一日の消費電力のトレンドと建物毎の内訳が分かる。一方、各建物の 1分毎の電力消費量を基に、同様のグラフを作成した図 2-3 右は、毎分 200・300・500kW などの消費電力が記録されている。1時間の最大電力の 6740kW が、毎分均等に消費されていれば、1分あたりの電力消費量は 112kW となるが、実際の毎分の電力消費量は、100~500kW まで大きく変動していることが分かる。後述する省エネルギー制御

を行った場合の1分単位のデータを用いることで、1時間評価では検証できない効果を検証することが可能である。また、図2-3の1分データは既存の中央監視からデータを取得しているが、100kWhが計測単位となっているため、100kWh未満の詳細な電力消費傾向の把握が困難である。1時間データと1分データでは、データの粒度についても検討が必要であることが分かる。

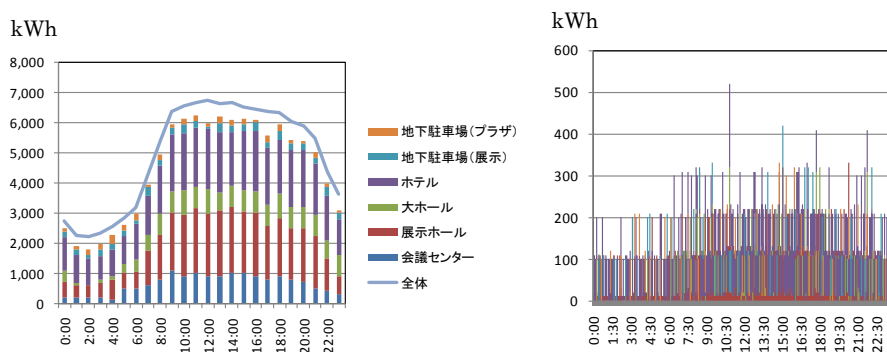


図 2-3 電力消費量における1時間データと1分データの違い

また、3章 1.4(1)M 市役所で後述する事例では、分単位で空調機を一時停止させてファン動力と導入外気量の削減を行っている。ACU-3は、数分間の空調機停止後に運転開始した時の還気温度が27°C以下で推移している。ACU-4は、停止制御を行わない状態で、還気温度が27°Cを超えており、停止制御が難しいことが分かる。AHU-3においては、ファン動力、及び、室内外エンタルピを計測することで、制御の有無によるエネルギー削減効果が精緻に検証できる。

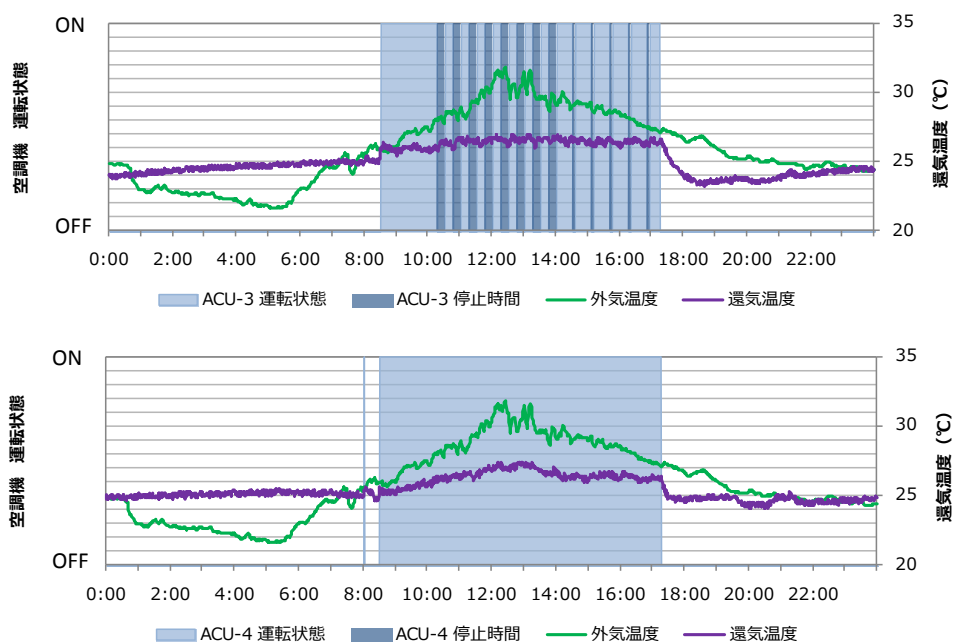


図 2-4 ACU-3・4 外気温度と還気温度変化(2013年7月22日)

また、モニタリングデータを用いて 1 分単位の制御の有無により外気量やファン動力、熱源 COP に関して省エネルギー効果を演算するため、省エネルギー効果に対する機器劣化の要因は、同一の劣化状況として演算することができる。

これらのことから本モデルは、5 項目の変動要因を排除しているという点に大きな違いがある。

(2) 契約期間と削減実績報告・チューニング

ESCO 事業者の契約期間は、長い場合 20 年の契約もあるが、本モデルは、プロバイダー側の維持管理リスクの低減のため、最長でも 10 年程度としている。

また、削減量の報告は 1 ヶ月毎を原則とし、毎月省エネルギー実績の検証と運転方法の改善による省エネルギー量の上積みのためのチューニングを行うこととしている。

図 2-5 の事例では、改修後の空冷ヒートポンプチラーの 1 分データに基づく製造熱量、COP を収集し、既存水冷チラーの同一期間の実績から当該期間に必要な冷房負荷に対して、既設と新設の COP の違いによって削減効果を算出し報告している。この COP の違いは計測時点での機器の劣化を含んだ数値となっている。また、新設熱源さらに、導入チラーの COP が定格より低い値となっている点に関して、月次報告の中で熱源流量の調整などの改善方法を提示している。

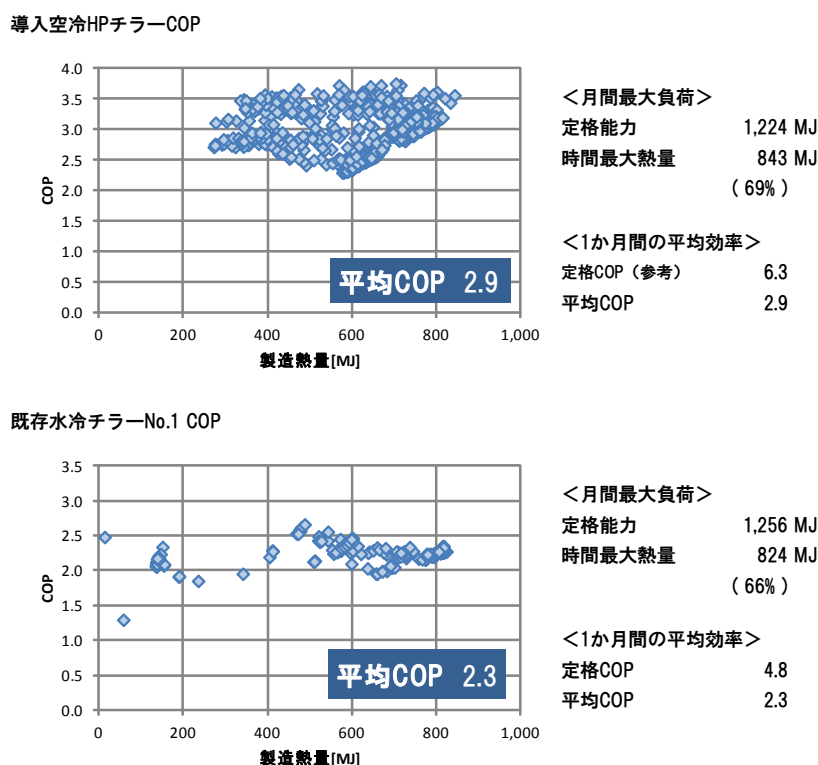


図 2-5 月次の省エネルギー実績の検証事例

(3) WEB サービス

本モデルでは、1分データを取得し、リアルタイムモニタリングを可能としている。そのため、エネルギー・モニタリングデータや削減効果を、リアルタイムで確認することが可能である。

図 2-5 のようにエアコンの運転時間、空調設定温度、室内温度などをリアルタイムに WEB 画面で確認することが可能である。

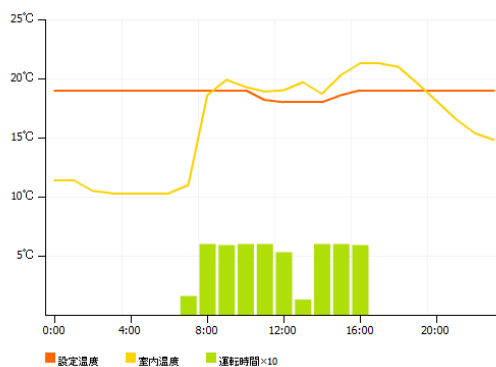


図 2-6 エアコンの利用状況 WEB 画面例

以上のことから、本モデルと ESCO の違いを表 2-1 にまとめた。

表 2-1 本モデルと ESCO の違い

		本モデル	ESCO
契約期間		5年～10年	5～20年
ベンチマーク		施設運用時の制御の無の時間のモニタリング・データ	過去3年のエネルギー
建物への制約	気象条件変動時	なし	あり
	建物稼働率変動時	なし	あり
	室内利用方法の変動時	なし	あり
	改修設備以外の設備機器の劣化	なし	あり
	改修設備以外の設備機器のメンテナンス状況	なし	あり
モニタリング・データ		1分データ	原則1時間データ
WEB閲覧サービス		あり	原則なし
削減報告		原則1ヶ月毎	原則1年毎

さらに、ESCO 事業は、1 建物に対して省エネルギー改修投資を実施することを原則としている。しかし、省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルは、インターネットを介して複数建物に対して同時にモニタリングを実施できるため、電力や熱のデマンドレスポンスの制御、効果検証を行うことが可能である。

2.4 建物所有者に対する設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデル活用のモチベーション

本モデルは、建物所有者にとって、費用負担、契約上のリスクが殆どないと言える。初期投資は、省エネルギー・サービスプロバイダが負担する。

ESCO 事業と違い、

- ・ 固定報酬制でないため、削減実績がなければ、費用を支払う必要がない。
- ・ 建物稼働率の変更により削減実績が固定削減報酬額を下回った場合も協議を行うような煩雑さがない。

また、1 章の様々な社会的背景などから、建物所有者は、エネルギー費用の抑制、CO₂ 排出量の抑制が求められている。

建物所有者の立場には、以下のような本モデル採用のモチベーションがある。

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| ①エネルギー単価の上昇抑制 | 2011 年 3 月の東日本大震災以降の単価上昇対策 |
| ②エネルギー経費の抑制 | コスト削減の必要性 |
| ③CO ₂ 排出量の抑制 | 法規的な削減要求への対応 |
| ④改修・制御予算の課題 | 自己資金による導入が困難 |

そのため、建物所有者の視点から見ても、本モデルを活用するモチベーションは高いと考えられる。

一方、建物所有者が、契約に際して懸念すると想定される項目としては、以下の点が考えられる。

- | | |
|--------|----------------------|
| ①削減量演算 | 正当に削減量が演算できているかの確認方法 |
| ②室内環境 | 改修・制御により室内環境への影響の有無 |
| ③機器劣化 | 制御により建物所有者側の機器の劣化の有無 |
| ④運転管理 | 既存の運転管理方法、管理者への負担の有無 |

3章 建築設備のエネルギー利用効率の分析による、エネルギー削減余地の分析

3.1 エネルギー・モニタリングデータを活用した設備機器及びシステム効率に関する分析と評価

3.1.1 電力デマンドの分析と評価

(1) 概要

2011年の夏は、同年3月11日の東日本大震災の影響により、東京電力・東北電力管轄において、電力需給が逼迫する状況となった。そのため、政府は、最大電力デマンド（本報では、1時間当たりの電力消費量を電力デマンドとして取扱う）を2010年比15%以上の削減を要求する電力使用制限令を、契約電力500kW以上の建物に対して、2011年7月1日から施行した。

2011年の夏は、法令施行決定から実施までの時間が短かったため、建物毎のきめ細かい電力デマンドの抑制対策の十分な検討時間が無かった。そのため、運用において共通で実施できる最大電力デマンド抑制対策を、より多くの建物で実施する必要があった。

既往の研究では、2011年夏の電力デマンドの抑制実績を報告するものは多いが、建物群を対象に電力デマンド抑制の特徴を考察した研究はみられない。本報は、大手金融機関の所有する東京電力・東北電力管轄の契約電力50kW以上500kW未満、更に500kW以上の高圧受電建物120棟の建物を対象に、建物群の電力デマンドの抑制結果の特徴を分析し、建物群で電力デマンドを取扱う場合の抑制効果について考察する。具体的には、120棟に対して、1分毎の電力消費量をリアルタイムで計測、インターネットを通じて、一元的にモニタリングを行い、その電力消費量の分析を行った。

次に、電力デマンドのベンチマークの在り方について考察・分析する。[6]

(2) 対象建物と電力デマンド抑制対策の概要

対象建物は、東京電力管轄100棟、東北電力管轄20棟の合計120棟である。対象建物の立地を、図3-1に示す。建物規模は、約19万㎡の大規模建物から約800㎡の小規模建物まで多岐にわたり、その平均延床面積は、約18,000㎡である。建物用途は、108棟がオフィス主体のビルで、ホテル、集合住宅、複合商業施設、研修センター、データセンターも含まれている。（表3-2）



図3-1 対象建物の分布（赤プロットは契約電力500kW以上、黄色は契約電力50kW以上500kW未満）

(3) 電力デマンド抑制対策概要

120 棟で実施した電力デマンドの抑制対策を表 3-1 に示す。

対策の実施については、建物所有者から、建物の設備管理者とテナントに対して書面で依頼した。共用部は全ての建物で実施したが、専用部に関しては、テナントの判断により実施の有無を決定したため、専用部の正確な実施状況の把握には至らなかったが、時節柄、多くのテナントが実施したと考えられる。

表 3-1 電力デマンドの抑制対策

エリア	対策項目
共用部	空調の停止
	換気機器の一部停止
	照明の70%程度の間引き点灯
	給湯の停止
	出退社時間以外のエレベータの一部運転停止
専用部	空調設定温度の緩和
	照明のこまめな消灯・間引き点灯
	離席時の0A機器の電源オフ
	コピー機の節電モードへの切替
	待機電源のオフ
	階段利用の推奨

(4) 電力デマンドの発生傾向の分析

120 棟には、リアルタイムの電力消費量モニタリングの実施とあわせて、電力デマンドを予測し、予測値が管理値を超えた場合に、警報メールを現地のビル管理者（不在の場合は、予め決めたビル利用者）へ送信するシステムを導入した。2011 年の夏は、電力デマンド予測値が 2010 年の契約電力の 85%を超えた場合に、警報メールを送信することとした。ビル管理者が常駐している建物では、メール受信後に一部の機械を停止するなどの電力デマンド抑制の対策が実施された。しかし、ビル利用者へのメール送信では、その対策が実施できなかった。

120 棟の 2010 年の契約電力と 2011 年夏の最大電力デマンドの発生日及び最大電力デマンドを、表 3-2 に示す。最大電力デマンドの集計対象期間は、電力使用制限令の 2011 年 7 月 1 日～9 月 9 日の期間としている。集計対象は、電力使用制限令の対象外の時間である休日・夜間を含む 24 時間のデータを含んでいる。

契約電力 500kW 以上の 37 棟の最大電力デマンドの 2010 年の契約電力に対する平均削減率は、27.5%であった。また、500kW 未満の 83 棟の最大電力デマンドの平均削減率は、27.0%であった。建物毎に最大電力デマンドの対契約電力比率をみると、101.5%から 17.9%まで様々である。（電力使用制限令の対象期間では、契約電力 500kW 以上の 37 棟全てが 15%の電力デマンド抑制を達成している。）これらの削減率の差には、以下のような建物の利用状況の違いや気象条件に起因する項目と、本年実施した電力デマンド抑制対策に起因する項目が含まれていると考えられる。

①建物の利用状況・気象状況に起因する項目

- ・ 2010 年と 2011 年のテナント入居率の差
- ・ 2010 年の契約電力と 2010 年の最大電力デマンドとの差
(2010 年の契約電力に対する最大電力デマンドの余裕の有無)
- ・ 2010 年までに行っていた省エネルギー運用の実施状況
(十分な省エネルギー対策の実施の有無)
- ・ 2010 年と 2011 年の外気条件の差

②電力デマンド抑制対策に起因する項目

- ・ 表 3-1 の電力デマンド抑制対策の実施範囲

上記の①建物の利用状況に起因する項目が、建物毎に違うため、建物毎の電力デマンドの抑制効果の考察は難しいと考える。建物利用状況の詳細が確認できた建物のうち、建物 No65 は、空きテナントが 2010 年夏に入居となったため前年の電力デマンドを超えていたことが分かった。また、建物 No98 は、十分な省エネルギー運用と契約電力の削減を 2010 年に行っていたため、2011 年には削減余地の無い建物であった。

表 3-2 2011 年夏の電力デマンド抑制実績

ビル No	契約電力	最大電力量	最大電力量	対契約電力量比率	建物種別*1	分類*2	ビル No	契約電力	最大電力量	最大電力量	対契約電力量比率	建物種別*1	分類*2
	kW	発生日	kWh					kWh	kW	発生日			
1	7,100	7月12日	5800	81.7%	オ	⑥	61	295	9月5日	231	78.3%	オ	④
2	6,984	8月9日	5556	79.6%	オ	⑥	62	281	8月18日	227	80.8%	オ	④
3	6,000	7月5日	4720	78.7%	オ	③	63	278	7月11日	218	78.4%	オ	④
4	6,000	8月18日	2460	41.0%	オ	④	64	274	8月18日	198	72.3%	オ	④
5	5,040	7月11日	3084	61.2%	オ	④	65	270	7月27日	274	101.5%	オ	④
6	4,512	8月18日	4308	95.5%	ホ	②	66	261	8月18日	130	49.8%	オ	④
7	4,512	8月22日	2900	64.3%	オ	③	67	248	8月18日	199	80.2%	オ	④
8	3,528	8月17日	2860	81.1%	オ	④	68	241	7月15日	187	77.6%	オ	④
9	2,651	7月12日	1762	66.5%	オ	④	69	239	7月15日	180	75.3%	オ	④
10	2,640	7月2日	2030	76.9%	デ	①	70	239	7月14日	185	77.4%	オ	④
11	2,500	8月9日	650	26.0%	オ	④	71	229	8月11日	193	84.3%	オ	④
12	2,200	8月3日	1637	74.4%	オ	⑥	72	222	7月11日	174	78.4%	オ	④
13	2,180	9月9日	1770	81.2%	オ	④	73	220	8月17日	152	69.1%	オ	④
14	1,892	9月2日	1505	79.5%	オ	④	74	220	7月11日	172	78.2%	オ	③
15	1,860	7月9日	1635	87.9%	オ	⑥	75	219	7月1日	102	46.6%	オ	④
16	1,709	8月9日	1379	80.7%	オ	④	76	218	7月7日	155	71.1%	住	⑤
17	1,657	8月8日	1244	75.1%	オ	④	77	213	8月17日	175	82.2%	オ	④
18	1,416	7月11日	1100	77.7%	複	④	78	213	8月29日	172	80.8%	オ	④
19	1,190	8月10日	812	68.2%	複	⑥	79	201	9月5日	155	77.1%	オ	④
20	1,176	8月19日	868	73.8%	オ	⑥	80	197	8月19日	130	66.0%	オ	④
21	1,140	8月18日	905	79.4%	オ	④	81	197	8月18日	134	68.0%	オ	④
22	1,080	8月18日	813	75.3%	オ	④	82	193	7月14日	157	81.3%	オ	④
23	1,022	9月5日	778	76.1%	研	⑤	83	193	7月11日	159	82.4%	オ	④
24	912	8月18日	711	78.0%	オ	④	84	190	8月19日	136	71.6%	オ	④
25	888	8月18日	590	66.4%	オ	④	85	174	7月13日	146	83.9%	オ	④
26	797	8月18日	542	68.0%	複	④	86	169	8月17日	116	68.6%	オ	④
27	768	8月18日	586	76.3%	オ	④	87	165	8月4日	62	37.6%	オ	④
28	759	8月11日	538	70.9%	オ	②	88	161	7月19日	131	81.4%	オ	③
29	720	7月11日	458	63.6%	オ	⑥	89	159	7月19日	127	79.9%	住	④
30	696	8月18日	595	85.5%	オ	④	90	158	8月18日	122	77.2%	オ	④
31	680	7月14日	564	82.9%	オ	④	91	147	8月17日	118	80.3%	オ	④
32	672	8月10日	487	72.5%	オ	④	92	139	8月17日	71	51.1%	オ	④
33	624	8月8日	494	79.2%	オ	④	93	138	8月15日	89	64.5%	オ	④
34	624	8月18日	454	72.8%	オ	④	94	137	8月17日	120	87.6%	オ	④
35	552	8月15日	448	81.2%	オ	④	95	135	8月27日	83	61.5%	オ	④
36	528	7月4日	387	73.3%	オ	③	96	133	8月17日	111	83.5%	オ	④
37	518	8月15日	406	78.4%	オ	④	97	127	7月11日	100	78.7%	オ	④
38	492	8月18日	323	65.7%	オ	④	98	113	8月18日	114	100.9%	オ	④
39	482	9月9日	297	61.6%	オ	③	99	112	7月4日	89	79.5%	オ	④
40	458	9月8日	298	65.1%	研	④	100	111	8月31日	90	81.1%	オ	④
41	454	7月11日	363	80.0%	オ	④	101	107	8月17日	70	65.4%	オ	④
42	444	8月18日	356	80.2%	オ	④	102	106	8月18日	89	84.0%	複	⑥
43	408	8月10日	369	90.4%	住	②	103	104	8月22日	60	57.7%	オ	④
44	403	8月10日	313	77.7%	オ	④	104	92	8月17日	59	64.1%	オ	④
45	402	8月8日	254	63.2%	オ	④	105	90	8月17日	73	81.1%	オ	④
46	392	7月15日	320	81.6%	オ	④	106	83	7月11日	58	69.9%	オ	④
47	389	7月13日	286	73.5%	オ	④	107	79	8月18日	50	63.3%	オ	④
48	371	7月19日	261	70.4%	オ	④	108	79	8月18日	69	87.3%	オ	④
49	367	7月11日	219	59.7%	オ	④	109	78	7月29日	19	24.4%	複	④
50	360	7月12日	286	79.4%	オ	④	110	75	8月15日	38	50.7%	オ	④
51	358	8月18日	243	67.9%	オ	⑥	111	75	8月15日	43	57.3%	オ	④
52	350	8月18日	233	66.6%	オ	③	112	74	8月18日	54	73.0%	オ	④
53	342	8月18日	237	69.3%	オ	④	113	67	8月15日	12	17.9%	オ	④
54	325	7月16日	259	79.7%	オ	④	114	66	7月13日	53	80.3%	オ	⑥
55	322	8月15日	232	72.0%	オ	②	115	61	8月16日	40	65.6%	オ	④
56	307	7月19日	216	70.4%	オ	④	116	61	8月15日	45	73.8%	オ	④
57	306	7月11日	272	88.9%	オ	④	117	61	7月19日	18	29.5%	オ	④
58	305	7月11日	247	81.0%	オ	④	118	57	8月20日	32	56.1%	オ	④
59	301	8月25日	241	80.1%	オ	④	119	56	8月2日	37	66.1%	オ	④
60	300	7月15日	192	64.0%	オ	③	120	50	8月2日	11	22.0%	オ	④

*1 オ:オフィス、ホ:ホテル、住:集合住宅、複:複合商業施設、研:研修センター、デ:データセンター *2 分類は、図3の①～⑥を示す

建物種別件数:オフィス108件 ホテル1件 集合住宅3件 複合商業施設5件 研修センター2件 データセンター1件

分類別件数: ①1件 ②4件 ③8件 ④93件 ⑤4件 ⑥10件

(5) 電力デマンドの発生傾向の分析

電力デマンド抑制の状況を把握するため、120棟の電力デマンド発生傾向の分析を行った。2011年7月1日から9月9日までの毎時の電力デマンド実績データ(N=71日×24時間=1704)を降順に並べ、電力デマンドの発生傾向を把握した(図3-2左グラフ)。

電力デマンド降順では、図中の左上の突出した電力デマンドの発生状況や一般的なオフィスの稼働時間に相当する平日午前9時から午後6時の9時間のN=459時間(N=平日51日×9時間=459)までの電力デマンドの平準化状況、さらにN=495時間以降の時間帯の電力デマンドの発生状況を中心に考察した。

また、同期間で最大電力デマンド発生日の電力デマンドの1日の変化(図3-2右グラフ)を併せて考察した。その結果、120棟の電力デマンド降順は、93建物が④に分類され、全部で6パターンに分類できることが分かった。(表3-2、図3-2)

①電力負荷平準建物(ビルNo10 電算センター 1建物)

大型電算センターでは、電力デマンドの変化が非常に少ない。経時変化においても、昼と夜の電力消費量の差が小さい。最大電力デマンドは契約電力の77%に抑制している。

②電力負荷緩やかに右下がり建物(大型ホテル他 4建物)

大型ホテルでは、電力デマンドは、緩やかに右肩下がりになっている。経時変化においては、朝7時と夜22時にピークが発生している。契約電力比率では、95%となっているが、電力使用制限対象時間では、84%に抑制している。

③ピーク抑制建物(建物No7 自社使用オフィス他 8建物)

自社オフィスは、電力デマンド抑制対策の実施を行いやすい。そのため、オフィス稼働時間のN=459附近までの電力デマンドは、平準化している。電力デマンド発生日の経時変化においても、8時~18時の電力消費量は平準化されている。最大電力デマンドは、契約電力の64%であった。

④ピーク発生建物(建物No27 テナントオフィスビル他 93建物)

テナントオフィスビルは、テナント専用部の電力デマンド抑制対策の実行が難しいため、電力デマンドの抑制幅が少ない。電力デマンドは、外気温度やテナントの利用状況に大きく影響される。電力デマンド降順では、図の左上の突出した電力デマンドが発生し、電力デマンドは右肩下がりの特性となっている。最大電力デマンドは、契約電力の76%に抑制している。

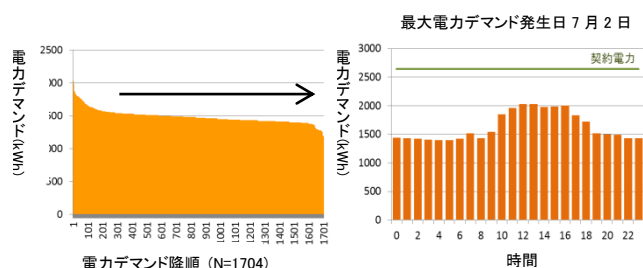
⑤休館対応建物(建物No23 自社研修施設他 4建物)

本建物は自社研修施設で、営業時間、営業日を自社で設定できる建物である。電力デマンドが懸念される7月1日~8月28日までは、全館休館としている。8月29日以降は、研修施設の利用が再開されるため、287時間までに電力デマンドの山が発生している。運転稼働期間の電力デマンドは、76%に抑制されている。尚、休館としている期間では、13%に抑制していることとなる。

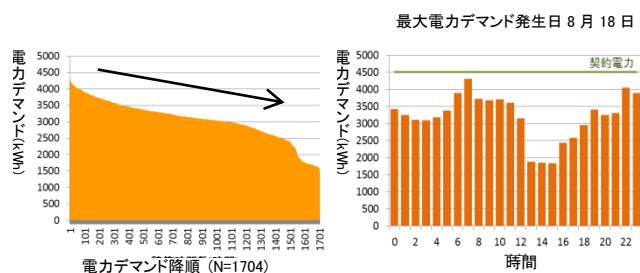
⑥夜間電力平準化タイプ(建物No19 蓄熱システム他 10建物)

本建物は、商業施設のため昼の電力デマンドの発生状況は、テナントオフィスビルと同様に右肩下がり傾向となっている。しかし、夜間の時間は、データセンターのように電力消費が平準化している。これは電気熱源により夜間に蓄熱運転を行っていることに起因する。本建物の最大電力デマンドは、68%に抑制している。テナントオフィスビルの76%に対して大きく電力デマンドを抑制できていることは、蓄熱システムによる運用の影響があるものと考えられる。

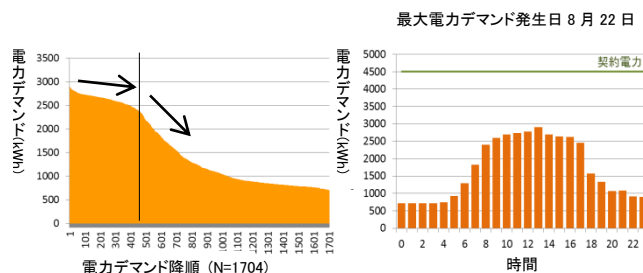
①電力デマンド平準建物(ビル No10 電算センター)



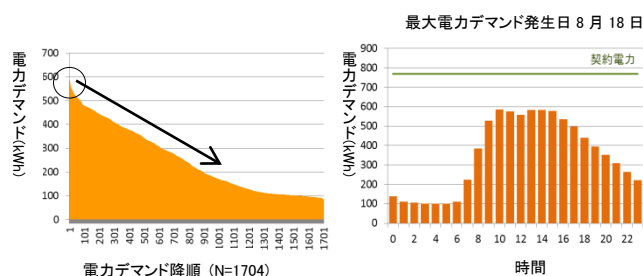
②電力デマンドが緩やかに右下がり建物(建物 No6 大型ホテル)



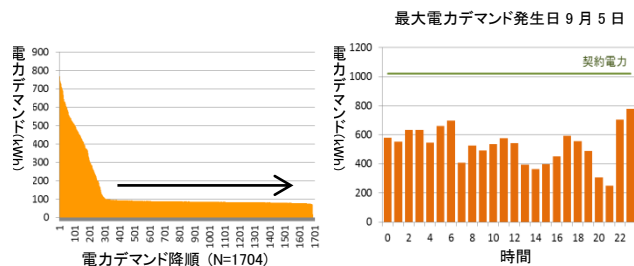
③最大電力デマンド抑制建物(建物 No7 自社使用オフィス)



④最大電力デマンド発生建物(建物 No27 テナントオフィスビル)



⑤休館対応建物(建物 No23 自社研修施設)



⑥夜間電力デマンド平準化建物(建物 No19 蓄熱システムを有する大型商業施設)

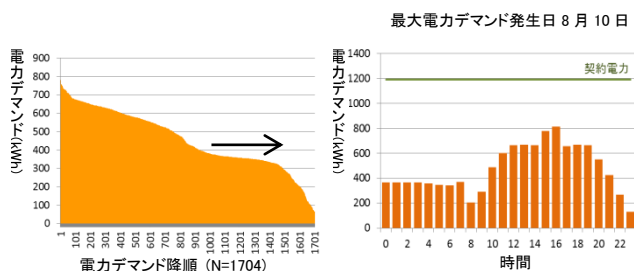


図3-2 電力デマンドの降順と電力デマンド発生日の電力デマンドの経時変化

(6)最大電力デマンドと電力消費量の分析

2011年夏の最大電力デマンド発生日の24時間の電力消費量と契約電力、及び2011年夏の最大電力デマンドを単位面積あたりに換算し、相関を分析した。対象建物は、120建物全てとし、契約電力500kW以上の大型建物と契約電力500kW未満の小口建物に分類して行った。

その結果、契約電力と1日の電力消費量には、120建物全体で $R^2=0.56\sim0.58$ と強い相関は無かった。しかし、電力デマンド抑制の対策を行った2011年夏の最大電力デマンドの発生した日の1日の電力消費量と最大電力デマンドの間には、120建物全体で $R^2=0.85\sim0.90$ 、オフィスのみの108建物で $0.87\sim0.89$ の強い相関があることが分かった。

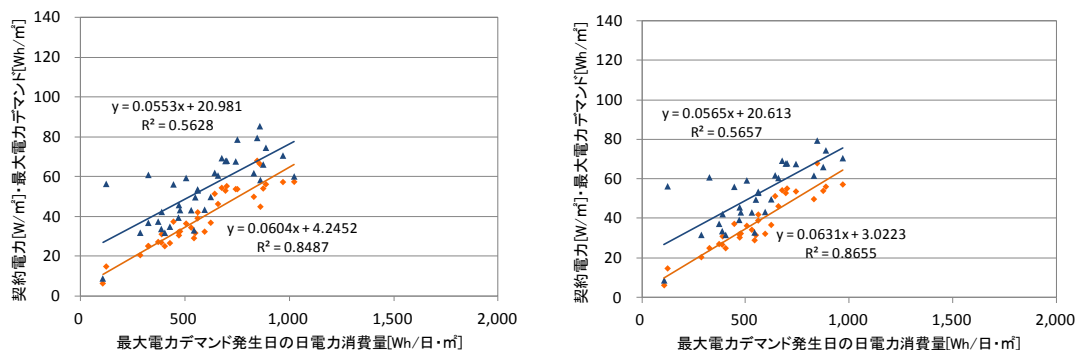


図3-4 契約電力・2011年夏の最大電力デマンドと24時間電力消費量の相関
(契約電力500kW以上 全体37建物(左) オフィスのみ31建物(右))

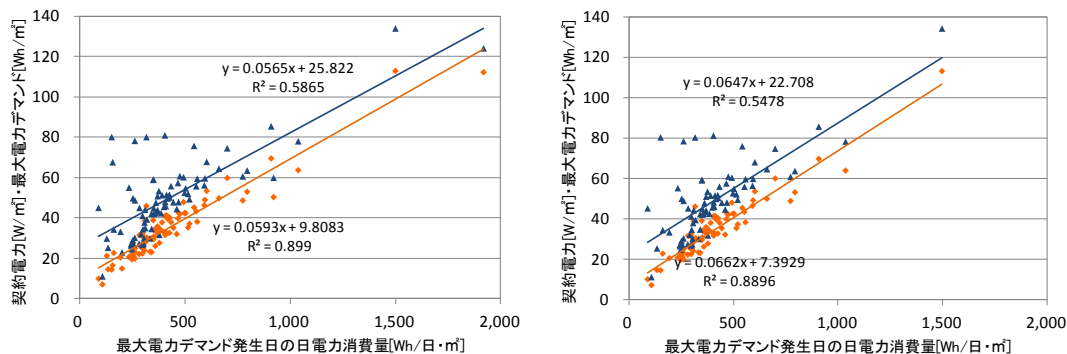


図3-5 契約電力・2011年夏の最大電力デマンドと24時間電力消費量の相関
(契約電力 500kW 未満 全体 83 建物(左) オフィスのみ 77 建物(右))

この結果から、表 3-1 の電力デマンド抑制対策及び電力デマンドの予測、警報メール送信を行う建物において、一日の電力消費量に相関して、最大電力デマンドが推定できると考えられる。この推定値をベンチマークとして複数建物のデマンドレスポンスによるピーク電力削減効果の検証が可能になる。

本章の知見

- ①電力デマンドの発生傾向は、1日あたりの最大電力消費量と電力デマンドに強い相関があるため、1日あたりの最大電力消費量から電力デマンドの予測が可能である。
- ②上記の傾向は、オフィス主体の建物に適用可能と考えられる。
- ③上記からオフィス主体の建物の電力デマンドのベンチマークとして、下記の相関式が適用できる。

契約電力 500kW 以上の建物

最大電力デマンド kW =

$$0.0631 \times \text{最大電力デマンド発生日の日電力消費量 kW} + 3.0223$$

契約電力 500kW 未満の建物

最大電力デマンド kW =

$$0.0662 \times \text{最大電力デマンド発生日の日電力消費量 kW} + 7.3929$$

[6] 迫博司、野城智也、馬郡文平; デマンドレスポンスに資するリアルタイムモニタリングを用いた建物群の電力デマンドマネージメントの有効性に関する考

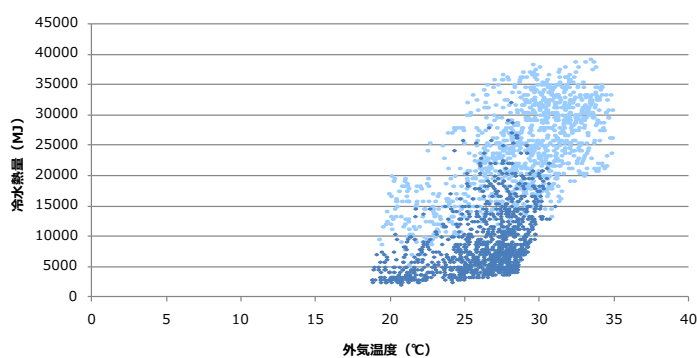
3.1.2 地域冷暖房（DHC）デマンド分析と評価

横浜市に立地する3建物について、2012年4月～2013年3月までの1年間の冷水・蒸気の消費熱量について分析し、省エネルギーの可能性を考察した。

(1) P 複合施設

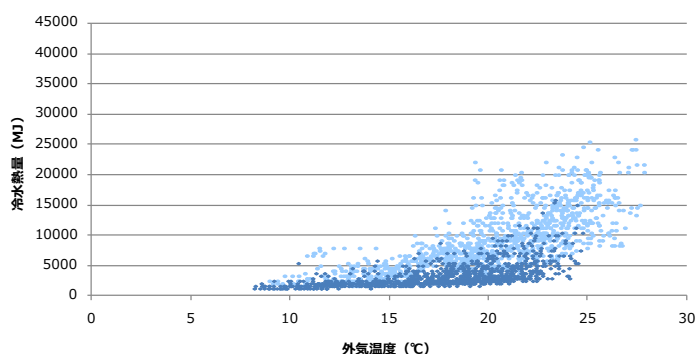
P 複合施設は、延床面積約 29 万 m²の大規模複合施設である。敷地内にホテル棟（延床面積 71,277m²）、国立ホール棟（16,723m²）、会議センター棟（31,224m²）、展示ホール棟（51,990m²）の各棟があり、各棟は、ペDESTリアンデッキ（70,847m²）と地下駐車場（47,207m²）で連結して配置されている。ケーススタディビルは、その用途上、昼夜・年間を通じて利用されている。冷暖房・給湯用の熱は、地域冷暖房施設（DHC）より敷地内の1ヶ所から引込み、各建物に冷熱・蒸気を供給している。[7]

冷水消費量は、外気温度の上昇に伴い消費量が増加している。また、夜間においても4000MJ（315RT）近い冷熱消費量があることが分かる。外気温度が15℃を下まわっても、昼の時間帯は、夏期の夜間と同様の冷熱消費量があることが分かる。（図3-6、図3-7）



凡例：濃い青のドットは、0～8時・20～24時を示す。薄い青のドットは、左記以外の時間を示す

図3-6 Pビル DHC 冷水消費熱量と外気温度の相関(2012年7月1日～9月30日)



凡例：濃い青のドットは、0～8時・20～24時を示す。薄い青のドットは、左記以外の時間を示す

図3-7 Pビル DHC 冷水消費熱量と外気温度の相関(2012年4月～6月、2012年10月)

冷水消費量の降順ヒストグラムでは、契約熱量に対して、緩やかな右肩下がりの消費量となっており、冷熱の最大デマンドが、通常の冷熱量に比べて大きいことが分かる。

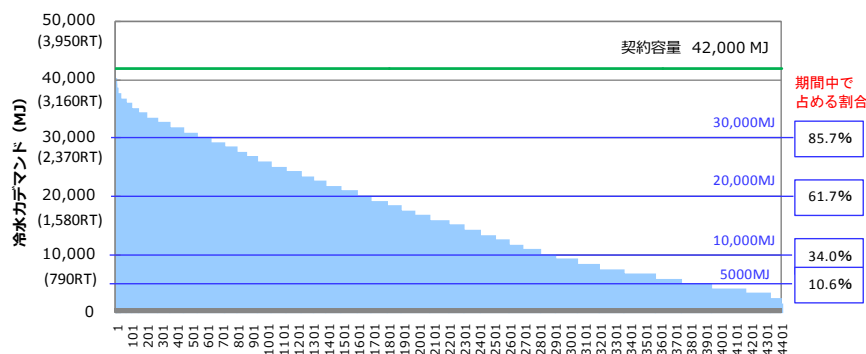
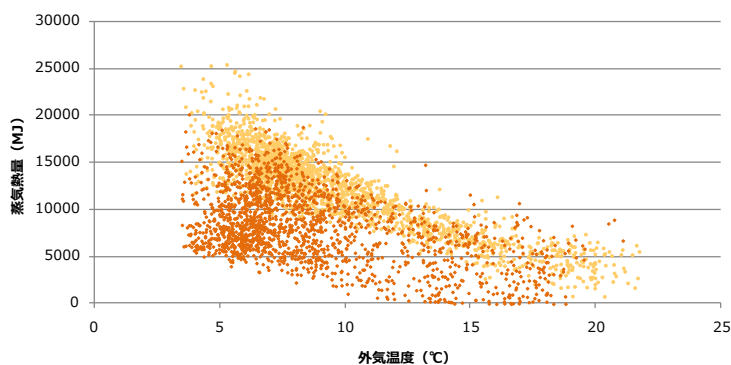


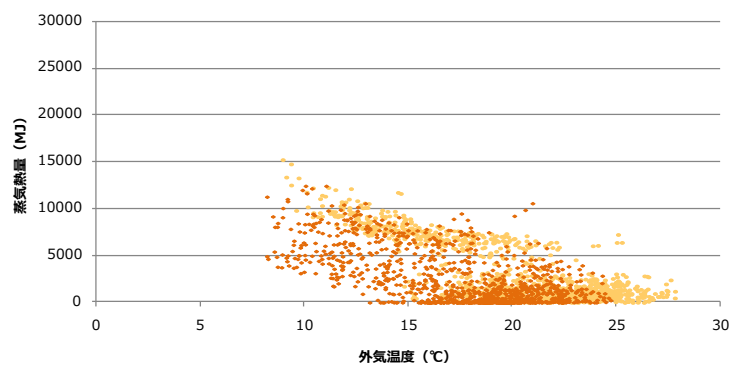
図 3-7 Pビル DHC 冷水消費熱量発生降順ヒストグラム(2012年7月1日～9月30日)

蒸気消費量は、外気温度の低下と共に大きくなっている。また、ホテル等の夜間の蒸気消費があるため、冬期夜間の蒸気消費量も大きくなっている。



凡例：濃い橙色のドットは、0～8時・20～24時を示す。薄い橙色のドットは、左記以外の時間を示す

図 3-8 Pビル DHC 蒸気消費熱量と外気温度の相関(2011年11月～2012年3月)



凡例：濃い橙色のドットは、0～8時・20～24時を示す。薄い橙色のドットは、左記以外の時間を示す

図 3-9 Pビル DHC 蒸気消費熱量と外気温度の相関(2012年4月～6月、2012年10月)

蒸気消費量の降順では、冷水消費量の降順に比べて、グラフ上の左側に突出したデマン

ドが発生していることが分かる。

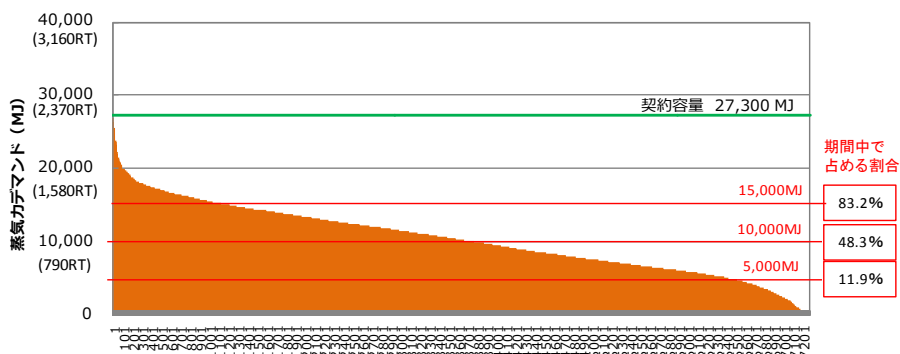


図 3-10 Pビル DHC 蒸気消費熱量発生降順ヒストグラム(2011年11月～2012年3月)

P複合施設は、用途の違う複数建物から構成されているため、建物毎に消費量特性を分析した。計測年度は、2009年11月～2010年10月とし、年間を通じた冷水消費傾向を分析した。この期間の外気温度を図3-11に示す。また、この期間の冷熱ピーク熱量は、約45,000MJ、温熱ピーク熱量は、約26,000MJであった。

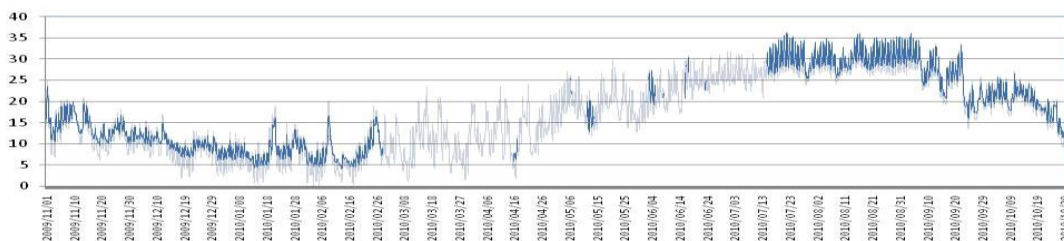


図 3-11 外気温度の変化(2009年11月1日～2010年10月31日)

建物全体の外気温度と冷熱の消費量の傾向の把握を試みた。外気温度別に1時間データ1年分、8,760のデータをプロットした結果を、図3-12に示す。水色が夏期・中間期の昼(4/1～11/14, 8:00～20:00)、緑が夏期・中間期の夜(同, 20:00～8:00)、ピンクが冬期の昼(11/15～3/31, 8:00～20:00)、青が冬期の夜(同, 20:00～8:00)を示す。

図3-11に示す外気温度と冷熱量の間には、夏期の昼に相関がある。一方、同じ夏期の夜は、外気温度の変化に伴う冷熱需要の相関は、昼ほどは高くない。また、図3-11からは、外気温度が15℃を下回る中間期から冬期にかけて、昼夜ともに非常に少ない冷熱消費があることが分かる。そこで、冷熱量の時間毎の発生頻度を集計した結果を、図3-12に示す。図3-11の丸印で囲んだ外気温度15℃以下で発生している5,000MJ以下の小さな冷熱需要は、年間の71%の時間を占めていることが分かる。この小さな冷熱需要は、外気温度が15℃以

下の外気冷房可能な時期に発生している。本建物の最大冷熱需要は、45,000MJである。この最大熱量に対して、5000MJの冷熱需要は11%に相当する。しかし、本建物の冷水ポンプは、大型のポンプを分割設置しているため、このような小負荷に適した容量となっていない。そのため、小負荷時には搬送温度差が小さくなり、搬送動力のロスと搬送による配管からの熱ロスによるエネルギー消費の効率低下が発生する。

更に、24 時間冷熱を消費しているエリアを特定するため、運転管理者へのヒアリングを実施したところ、一部の小部屋のファンコイルなどのために、24 時間冷水送水を行っているエリアがあることが判明した。

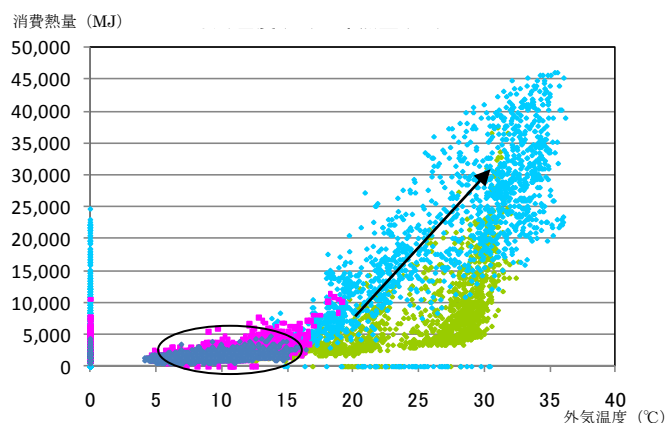


図 3-11 外気温度と冷熱量の相関

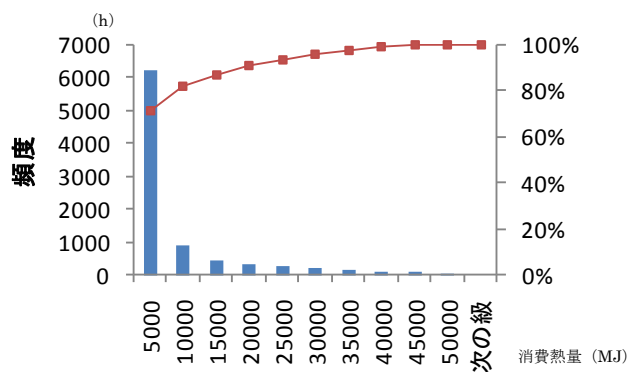


図 3-12 冷熱量の発生頻

本建物の熱のピークデマンド分析のために、各棟の電力消費量の特性の把握を行った。図 3-13 に、各棟の電力消費量と施設全体の電力消費量の関係を、1 時間データを 1 年分集計した結果を示す。国立大ホールや会議センターは、プロットが四角エリアに分布し、各施設の電力デマンドが、施設全体の電力デマンドにあまり影響していないことが分かる。また、ホテルは、データ欠損部分があったが、ホテル電力デマンドと施設全体の電力デマンドは、幅のある緩やかな相関となっている。一方、展示ホールに関しては、展示ホールのデマンドと施設全体のデマンドに、他の棟と違う強い相関があることが分かる。このこ

とから、本施設の電力デマンド抑制は、展示ホールのデマンドコントロールを行うことが有効であると言える。具体的な対策としては、展示ホール用の定風量の大型空調機のファン出力を一時的に抑制するか、或いは、ファンを数分間一時停止するなどの方法が考えられる。

また、ホテルのデータの中には、赤線の四角で囲ったエリアに、データ欠損があった。散布図を用いて、各棟の電力消費量と施設全体の電力消費量の関係を把握する場合は、本欠損の影響は、小さいと考えられるが、他の分析においては、致命的な場合も有り得る。

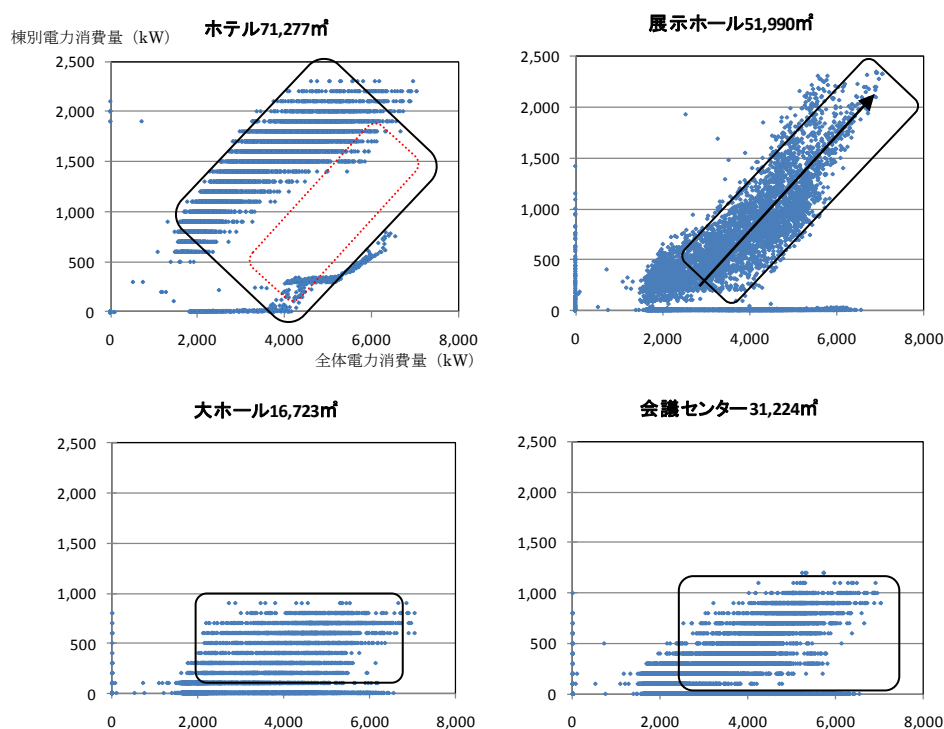


図 3-13 全体電力デマンドと各棟の電力デマンドの相関

図 3-14 に、各棟の冷熱デマンドと施設全体の冷熱デマンドの関係を、1 時間データを 1 年分集計した結果を示す。国立大ホールや会議センターは、各施設の冷熱デマンドが、施設全体の冷熱デマンドにあまり影響していないことが分かる。一方、展示ホールに関しては、展示ホールのデマンドと施設全体のデマンドとの相関が、他の施設より強いことがわかる。このことから、本施設の冷熱デマンドマネージメントは、電力と同様に、展示ホールのデマンドコントロールを行うことが有効であると言える。

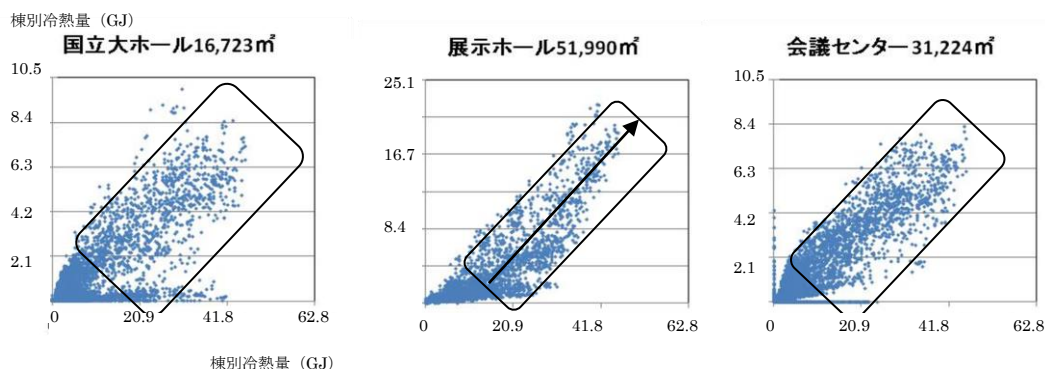


図 3-14 全体冷熱デマンドと各棟の冷熱デマンドの相関

冷熱デマンドマネージメントの可能性を検証するために、冷熱ピークデマンドに近いエネルギー消費となった 2010 年 9 月 2 日の経時変化を検証した。

同じ日の冷熱消費量は、時間最大冷熱消費量が 45,200MJ となっている。図 3-15 の毎時の冷熱消費量グラフからは、電力と同様に、各々建物の時間毎の消費熱量の把握しかできない。そこで、毎分の冷熱消費量を建物毎にデータを分解した結果を、図 3-16 に示す。国立大ホールと会議センターは、昼間の建物利用時間帯の冷熱消費量が安定しているのに対し、展示ホールの冷熱消費量は、630~1050MJ/min とかなりの変動あることが分かる。このデータからは、展示ホールの冷房制御が必要な熱需要量に対してオーバーシュートし、過剰な冷熱量が投入されていることが予測できる。実際に、展示ホールの空調機の仕様を確認したところ、展示ホールの空調機は、導入外気量が一定であり、展示ホールの催事や入場者人数にあわせて、導入外気量を制御することで、大幅な冷熱デマンドの抑制と省エネルギー化が可能であることが分かった。また、展示ホールのデマンドを抑制・制御することは、建物全体のデマンドマネージができることになる。

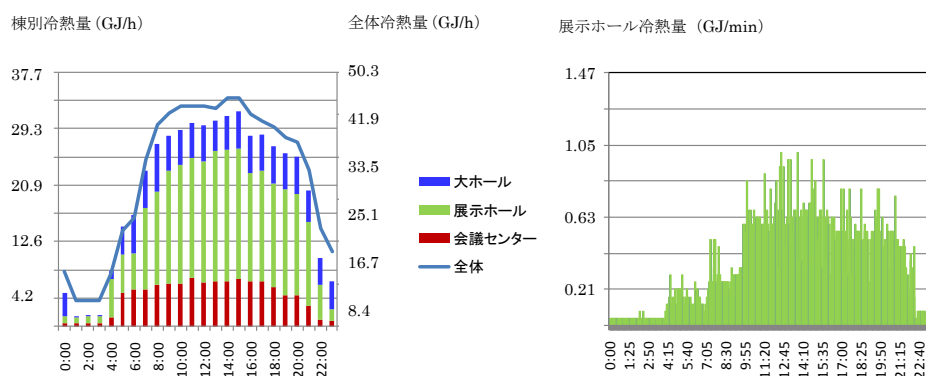


図 3-15 冷熱ピークデマンドの経時変化

(左グラフ:全体の毎時データ、右グラフ:展示ホールの毎分データ)

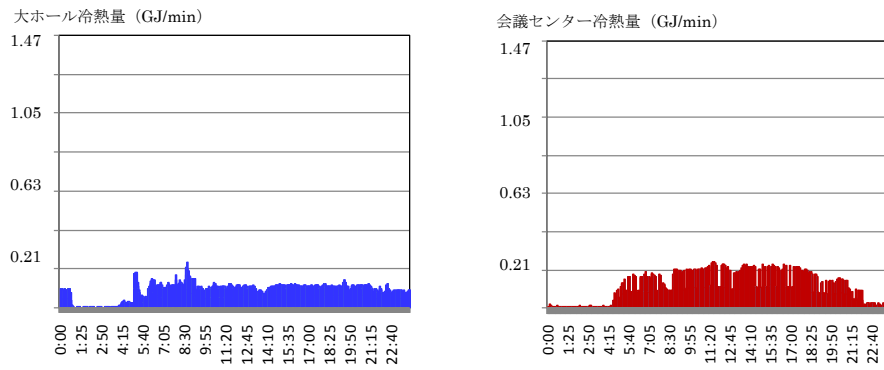


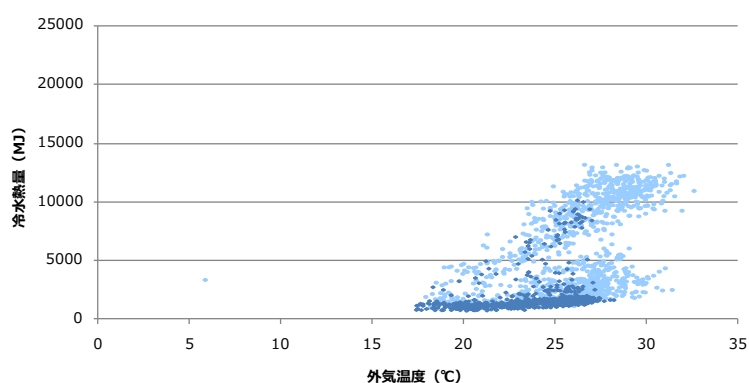
図 3-16 冷熱ピークデマンドの経時変化
(左グラフ:大ホールの毎分、右グラフ:会議センターの毎分)

[7] Hiroshi Sako, Tomonari YASHIRO, Bumpei MAGORI, Hayato FUJII, Minkyu SON;

Heuristic energy use optimization methodology by energy use monitoring system Case study on large-scale complex building operation, SB11 CD-ROM, Oct.2011

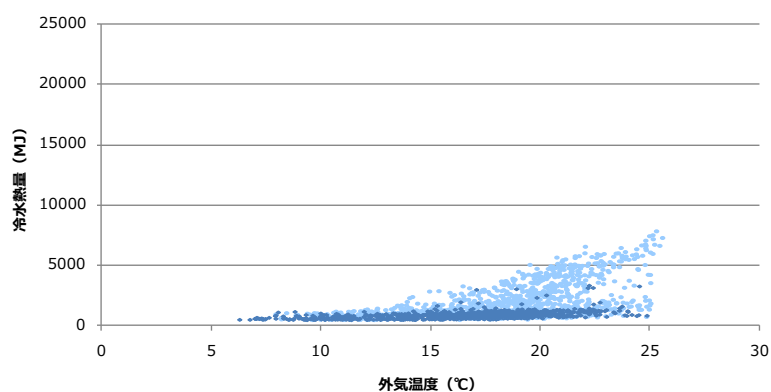
(2)Y 銀行

Y 銀行は、1993 年 7 月に横浜市に竣工した延床面積 86,181 m²の金融機関のビルである。建物は、地下 3 階地上 28 階の S 造で、1・2 階を銀行の営業フロアとして利用し、その他のフロアを自社オフィスとして利用している。空調熱源は、DHC の冷水・蒸気を利用している。P 複合施設と同様に、外気温度の上昇に伴って冷熱消費量が相関して上昇している。しかし、オフィスの用途上、夜間特に中間期の夜間の冷熱消費量は、非常に小さい値となっている。(図 3-17、図 3-18))



凡例：濃い青のドットは、0～8 時・20～24 時を示す。薄い青のドットは、左記以外の時間を示す

図 3-17 Y 銀行 DHC 冷水消費熱量と外気温度の相関(2012 年 7 月 1 日～9 月 30 日)



凡例：濃い青のドットは、0～8 時・20～24 時を示す。薄い青のドットは、左記以外の時間を示す

図 3-18 Y 銀行 DHC 冷水消費熱量と外気温度の相関(2012 年 4 月～6 月、2012 年 10 月)

冷水消費量の降順のヒストグラムでは、P 複合施設と違い低負荷の時間が非常に長くなっている。契約熱量 19,900MJ に対して、2500MJ の低負荷の時間が集計期間の全体時間の 57%を占めていることが分かる。(図 3-19)

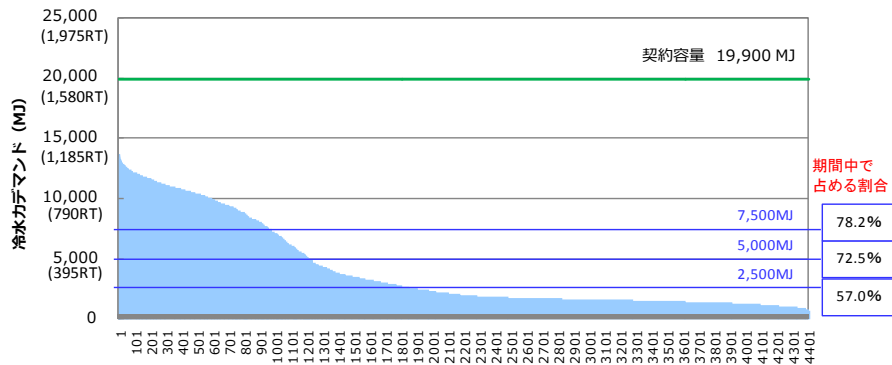
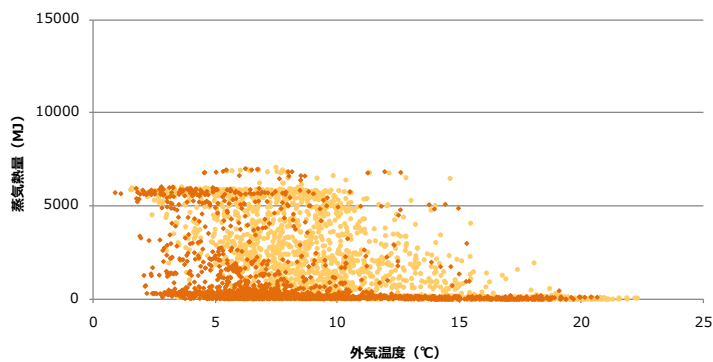


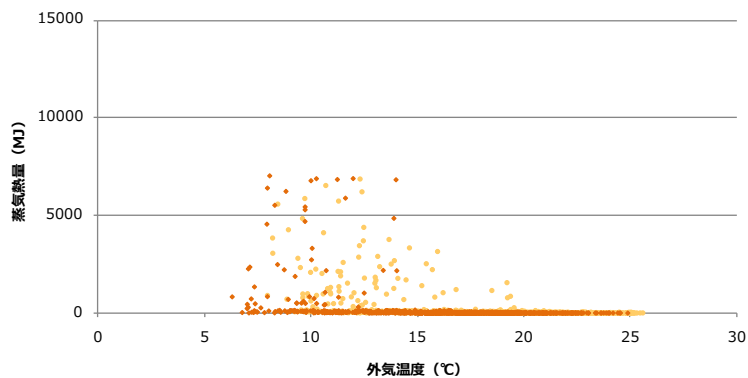
図 3-19 Y 銀行 DHC 冷水消費熱量発生降順ヒストグラム(2012 年 7 月 1 日～9 月 30 日)

蒸気消費量は、外気温度が低下しても一定の消費量までしか増えていない。オフィスでの内部発熱が大きく、外気温度の低下による暖房負荷が、内部負荷と相殺されていると考えられる。また、中間期の蒸気消費量もゼロに近い値となっている時間が多い。



凡例：濃い橙色のドットは、0～8時・20～24時を示す。薄い橙色のドットは、左記以外の時間を示す

図 3-20 Y 銀行 DHC 蒸気消費熱量と外気温度の相関(2011 年 11 月～2012 年 3 月)



凡例：濃い橙色のドットは、0～8時・20～24時を示す。薄い橙色のドットは、左記以外の時間を示す

図 3-21 Y 銀行 DHC 蒸気消費熱量と外気温度の相関(2012 年 4 月～6 月,2012 年 10 月)

蒸気熱量のデマンド降順ヒストグラムでも、蒸気消費量は少なく消費している延べ時間も短くなっている。オフィスでは、内部発熱が大きいいため、暖房負荷が小さくなっていることが要因と考えられる。(図 3-22)

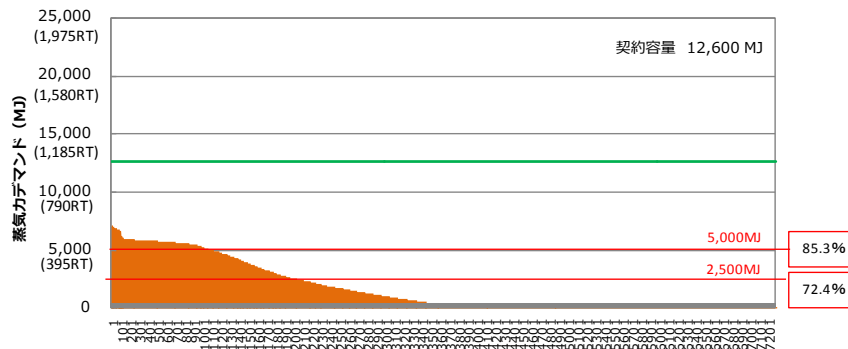


図 3-22 Y 銀行 DHC 蒸気消費熱量発生降順ヒストグラム(2011 年 11 月～2012 年 3 月)

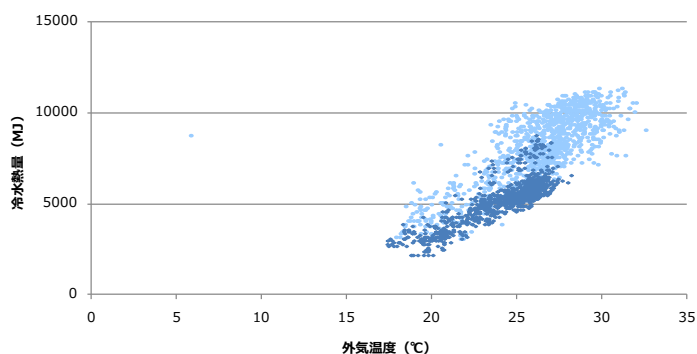
(3) K病院

K病院は、1995年8月に横浜市に竣工した延床面積42,277 m²の総合病院である。

建物は、地下3階地上13階のSRC造で、外来と緊急医療対応、入院病棟を有している。空調熱源は、DHCの冷水・蒸気を利用している。

図3-23に夏期の外気温度と冷水消費量の相関を示す。前述の2建物と同様に、外気温度の上昇にともない冷水熱量の消費が増加している。また、3建物の中では、外気温度と冷水消費量の相関が一番強くなっており、外気温度の影響が一番受けていることが分かる。これは、病院という用途上、建物への取り入れ外気量が比較的多く、且つ一定量を導入していること、また、病室などはガラス開口部が多いため、日射の影響を受けやすいことなどが考えられる。

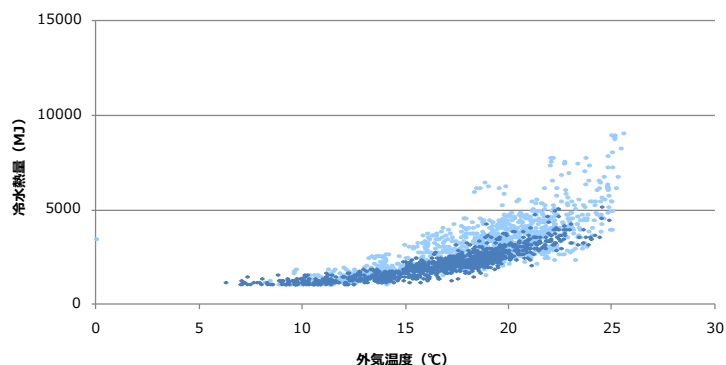
また、24時間稼働しているため、昼間と夜間の冷熱消費量の傾向が同じようになっている。



凡例：濃い青のドットは、0～8時・20～24時を示す。薄い青のドットは、左記以外の時間を示す

図3-23 K病院 DHC 冷水消費熱量と外気温度の相関 (2012年7月1日～9月30日)

また、中間期の冷熱消費量は、外気温度が15°Cを下回る時間においても、一定の冷熱消費量があることが分かる。これは、手術室の前室など過冷却する必要がある部屋があることなどに冷熱需要があることが考えられる。



凡例：濃い青のドットは、0～8時・20～24時を示す。薄い青のドットは、左記以外の時間を示す

図3-24 K病院 DHC 冷水消費熱量と外気温度の相関(2012年4月6月、2012年10月)

冷水デマンド降順ヒストグラムでは、前述の2建物と違い右肩下がりの傾向が小さいことが分かる。

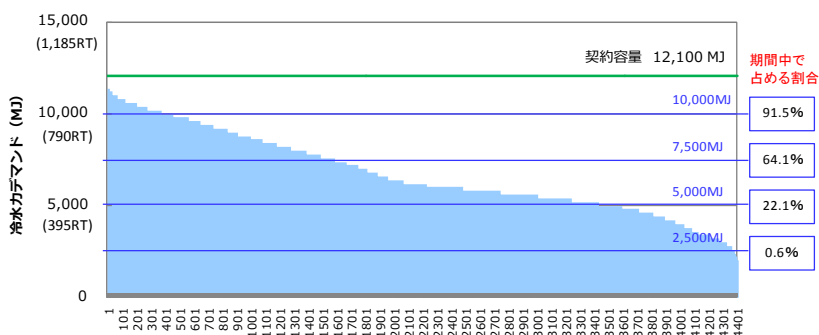


図 3-25 K 病院 DHC 冷水消費熱量発生降順ヒストグラム (2012 年 7 月 1 日～9 月 30 日)

蒸気消費量は、夏期・中間期ともに外気温度に関係なく 4000MJ/h 程度の一定の消費量があることが特徴となっている。これは、給水温度の変化はあるものの給湯負荷が一定量年間を通じてあるためと考えられる。

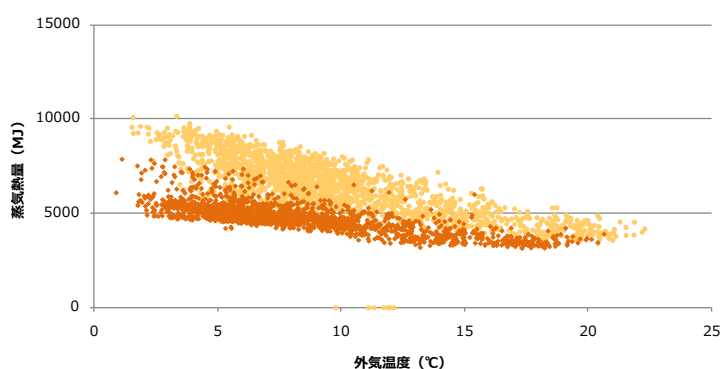


図 3-26 K 病院 DHC 蒸気消費熱量と外気温度の相関 (2011 年 11 月～2012 年 3 月)

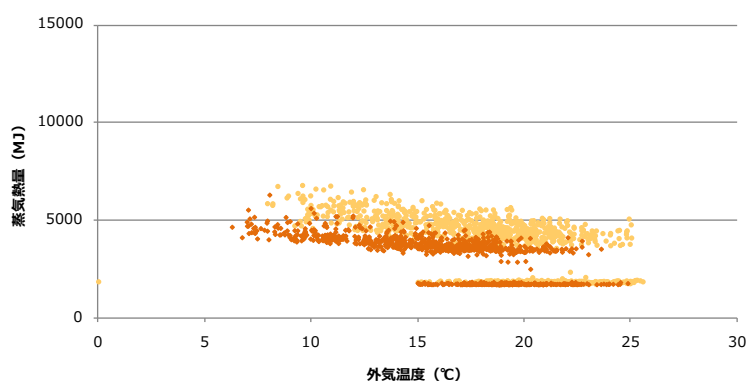


図 3-27 K 病院 DHC 蒸気消費熱量と外気温度の相関 (2012 年 4 月～6 月、2012 年 10 月)

蒸気デマンド降順ヒストグラムでは、冷水同様に前述の2建物と違い右肩下がりの傾向が小さいことが分かる。これは、昼夜を問わず蒸気消費量が一定量あることを意味している。

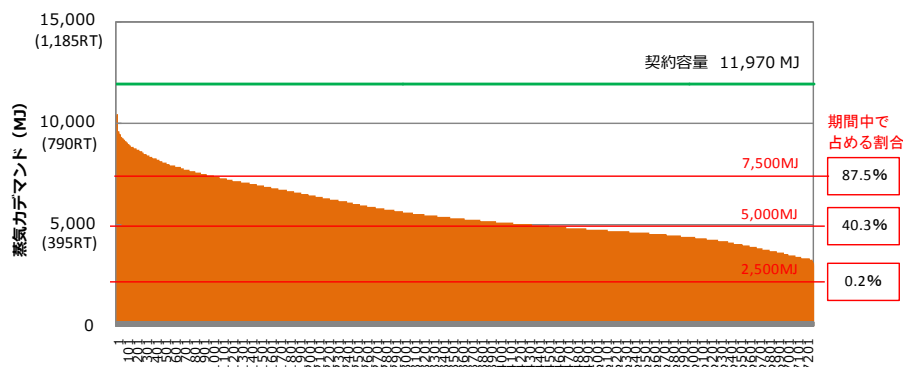


図 3-28 K 病院 DHC 蒸気消費熱量発生の降順ヒストグラム(2011 年 11 月～2012 年 3 月)

本章の知見

3つのケーススタディーから以下の省エネルギー・マネジメント手法が有効と考えられる。

①冷熱の低負荷運転時間の存在

展示ホール・会議センター・ホテル・国立大ホール、銀行、病院の全ての用途において冷熱の低負荷運転時間が非常に長い。高効率な小型熱源を各建物に設置することで、供給側の DHC 会社にとっては、長い管路を通じて冷水を送水することによる搬送動力の低減となり、需要家側にとっては、確実に温度差を確保することで、高効率に熱源を活用できる。個別熱源の効率に関しては、次章にて論じる。

②年間を通じた蒸気消費量の存在

病院では、年間を通じて蒸気消費量が一定量以上あり、排熱などの未利用エネルギーの活用が有効と考えられる。

③通常消費量に対して大きな冷水デマンドの存在

複合施設、銀行は、冷水の低負荷の時間が長いのに対して、冷水デマンドが突出する傾向があり、DHC 冷水デマンド制御が有効と考えられる。

本章からの課題

- ・データ欠損の取扱い方法は、検討されるべき課題である。

3.1.3 空調熱源運転効率の分析と評価

本章では、エネルギー・モニタリングデータを基に、中央式空調熱源のテナントオフィスビル2建物、自社オフィスビル1建物について、製造熱量と成績係数（COP）について分析を行った。COPは、単体COPとして、以下の計算により算出した。

単体COP

$$= (\text{熱源出入口温度差} (\Delta t) \times 1 \text{ 次ポンプ流量 (設計値)}) / \text{熱源本体の消費エネルギー}$$

(1) ガス焚吸収式冷温水機に関するケーススタディー Kビル

Kビルは、横浜市に1996年1月に竣工した。地下2階地上10階の延床面積27,811㎡の自動車整備場を併設するテナントオフィスビルである。空調熱源は、ガス焚吸収式冷温水機で、4Fに低層階ショールーム系統用冷温水機3台（3292MJ/h）、屋上に3~10階事務室系統用冷温水機8台（6964MJ/h）の合計11台（10256MJ/h）を設置している。冷暖房切替の2管式の配管系統のため、空調系統を6系統に分け、系統毎に熱源の冷温水の切替を可能とする構成となっている。また、冷温水ポンプは、1ポンプシステムで、各熱源に1次ポンプを設置している。

Kビルでは、熱源の改修の基礎データを取得するため、各熱源の運転状態・冷温水出入口温度・ガス消費量を2011年7月より1分データでモニタリングを行った。



写 3-1 屋上設置のガス焚吸収式冷温水機

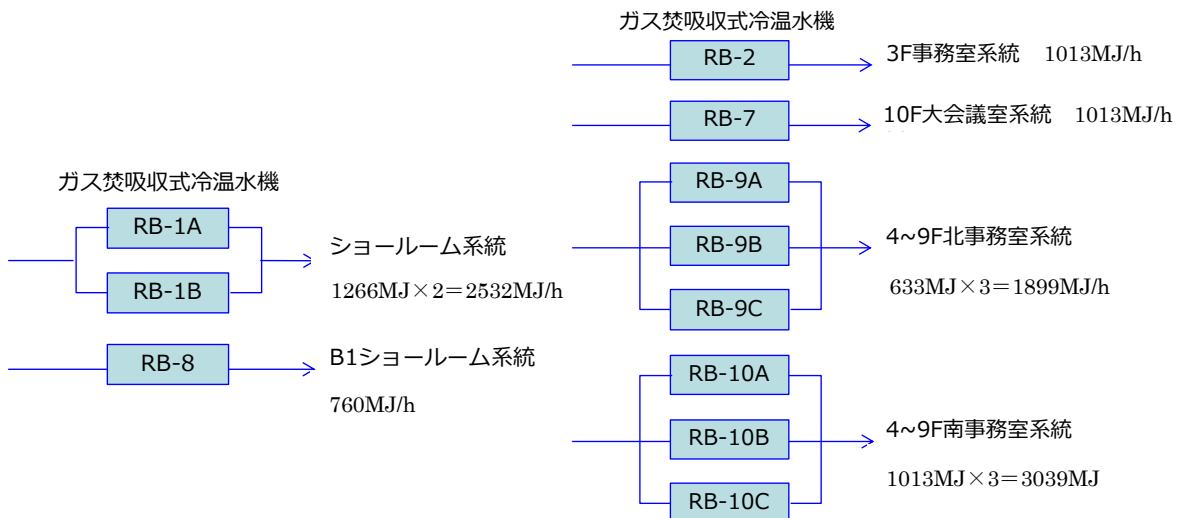


図 3-29 Kビルの空調熱源の構成

2012年10月～翌2013年9月末日までの1年間の冷房製造熱量の発生頻度分布を、図3-30に示す。

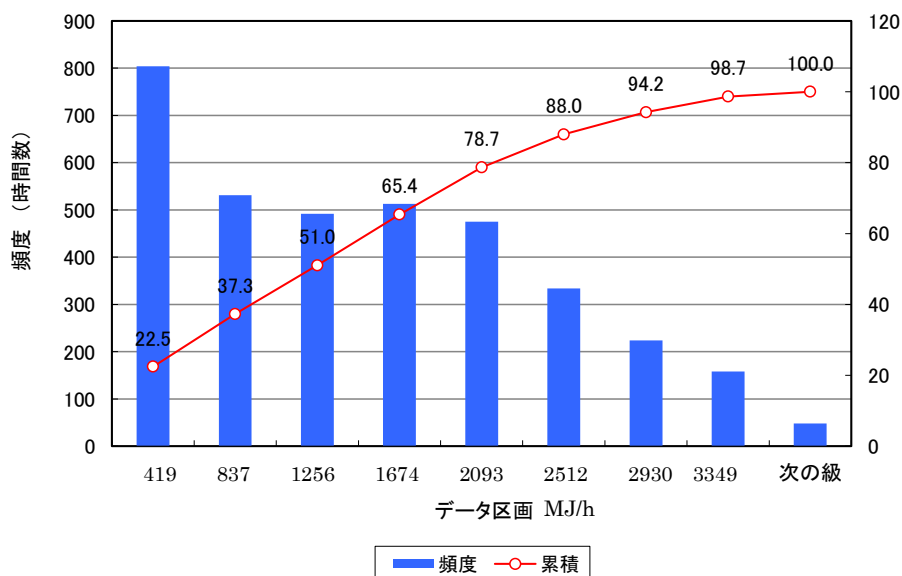


図 3-30 Kビルの冷房製造熱量の発生分布

ガス焚吸収式冷温水発生機の冷房定格出力合計が、10,256MJ/h (810RT) に対して、製造熱量が定格のわずか4%となる419MJ/h以下の時間が22.5%、定格の30%以下となる2,930MJ/h以下の時間が94.2%を占めている。また、熱源の冷房出力の合計10,256MJ (810RT) に対して、建物全体の冷房ピーク負荷は、上記の2013年の場合で3,767MJ/h (298RT、熱源負荷率37%)、2012年においても同様に3,642MJ/h (288RT、熱源負荷率36%)となっていた。

また、熱源の系統毎のCOPは、以下のようになっており、特に、RB-3 (3階事務室)、RB-7 (10階大会議室・食堂)、RB-9A、RB-9B、RB-9C (4～9F北側事務室)が、定格能力に対して低いCOPとなっていることが分かった。

RB-1A、RB-1B (ショールーム)

冷房出力	1266MJ/h (100RT) × 2	冷房定格 COP	1.02
	冷房時ガス消費量 26.95m ³ /h	実績平均 COP	0.87

RB-2 (3階事務室)

冷房出力	1013MJ/h (80RT)	冷房定格 COP	0.93
	冷房時ガス消費量 23.6m ³ /h	実績平均 COP	0.48

RB-7 (10F 大会議室・食堂)

冷房出力	1013MJ/h (80RT)	冷房定格 COP	0.93
------	-----------------	----------	------

	冷房時ガス消費量	23.6m ³ /h	実績平均 COP	0.40
RB-8 (B1F ショールーム)				
冷房出力	760MJ/h (60RT)		冷房定格 COP	0.69
	冷房時ガス消費量	23.85m ³ /h	実績平均 COP	0.65
RB-9A、RB-9B、RB-9C (4~9F 北側事務室)				
冷房出力	633MJ/h (50RT) × 3		冷房定格 COP	0.93
	冷房時ガス消費量	14.8m ³ /h × 3	実績平均 COP	0.61
RB-10A、RB-10B、RB-10C (4~9F 南側事務室)				
冷房出力	1013MJ/h (80RT) × 3		冷房定格 COP	0.93
	冷房時ガス消費量	23.6m ³ /h × 3	実績平均 COP	0.73

次に、2012年10月~2013年9月末日までの1年間の暖房製造熱量の発生頻度分布を、図3-31に示す。

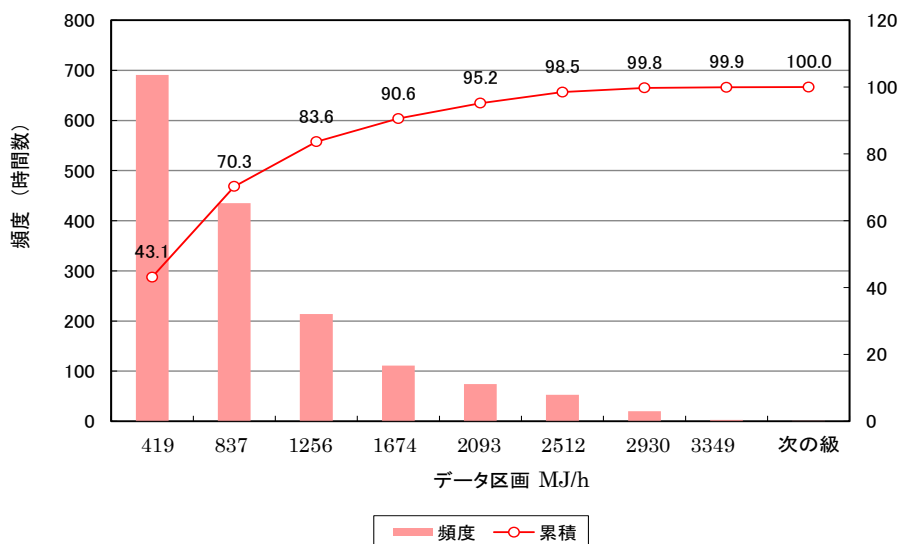


図 3-31 Kビルの暖房製造熱量の発生分布

ガス焚吸収式冷温水発生機の暖房定格出力合計 8,841MJ/h に対して、定格の 5%以下となる 419MJ/h 以下の時間が 43.1%、定格の 25%以下となる 2093MJ/h 以下の時間が 95.2% を占めていた。また、熱源の暖房出力の合計 8,841MJ/h に対して、建物全体の暖房ピーク負荷は、2013年 3,868MJ/h (熱源負荷率 44%)、2012年 3,596MJ/h (熱源負荷率は 41%) となっていた。

また、熱源の系統毎の COP は、以下のようになっており、特に RB-1A・1B (ショールーム)、RB-7 (10 階大会議室・食堂)、RB-8 (B1F ショールーム)、RB-9A、RB-9B、RB-9C (4~9F 北側事務室) が、定格能力に対して低い COP となっていることが分かった。一方、

RB-2（3階事務室）RB-10A、RB-10B、RB-10C（4～9F南側事務室）は、冷房時の実績COPは低かったが、暖房時は定格を若干上回る結果となっている。これは、熱量計算において、冷温水流量に設定流量を用いていることによる数値の誤差、及び計測誤差によるものと考えられる。

RB-1A、RB-1B（ショールーム）

暖房出力	1,030MJ/h×2	暖房定格 COP	0.83
暖房時ガス消費量	26.95m ³ /h	実績平均 COP	0.60

RB-2（3階事務室）

暖房出力	10,300MJ/h	暖房定格 COP	0.76
暖房時ガス消費量	23.6m ³ /h	実績平均 COP	0.83

RB-7（10F大会議室・食堂）

暖房出力	824MJ/h	暖房定格 COP	0.76
暖房時ガス消費量	23.6m ³ /h	実績平均 COP	0.36

RB-8（B1Fショールーム）

暖房出力	911MJ/h	暖房定格 COP	0.83
暖房時ガス消費量	23.85m ³ /h	実績平均 COP	0.57

RB-9A、RB-9B、RB-9C（4～9F北側事務室）

暖房出力	515MJ/h ×3	暖房定格 COP	0.76
暖房時ガス消費量	14.8m ³ /h ×3	実績平均 COP	0.66

RB-10A、RB-10B、RB-10C（4～9F南側事務室）

暖房出力	824MJ/h ×3	暖房定格 COP	0.76
暖房時ガス消費量	23.6m ³ /h ×3	実績平均 COP	0.84

(2) ガス焚吸収式冷温水機に関するケーススタディー I ビル

I ビルは、愛媛県松山市に 1998 年 8 月に竣工した延床面積 13,523 m²の地下 2 階地上 8 階建の金融機関の本社オフィスビルである。空調熱源は、ガス焚吸収式冷温水機と空冷ヒートポンプチラーで、屋上に、ガス焚吸収式冷温水機 120RT×3 基と空冷チラー100RT×1 基の合計 4 基 460RT (5823MJ) 設置している (写 3-2)。冷温水配管は、冷暖房切替型の 2 管式で、2 次ポンプシステムにて、冷温水を空調機及びファンコイルユニットに送っている。

I ビルでは、熱源の改修の基礎データを取得するため、各熱源の運転状態・冷温水出入口温度・熱源ガス消費量・熱源電力消費量を 2012 年 7 月より 1 分データでモニタリングを行った。



写 3-2 屋上設置のガス焚冷温水機

2013 年 7 月～9 月の夏期 3 ヶ月間の最大冷房負荷は 2,567MJ/h (203RT) で、定格冷房能力の 44%であった。また、2012 年の夏期 3 ヶ月間での最大冷房負荷は、8 月 13 日 (月) の 2619MJ、定格熱源容量の 45%で、ほぼ同様の熱量となっていた。いずれも 8 月のお盆休み明けの月曜日の朝に、最大冷房負荷が発生していた。本建物は、外気導入量を最小化する制御を導入済みのため、外気温度の上昇よりも、長期休暇による室内温度の上昇、及び、躯体蓄熱負荷により、お盆休み明けの朝に、最大冷房負荷が発生していると考えられる。(図 3-32)

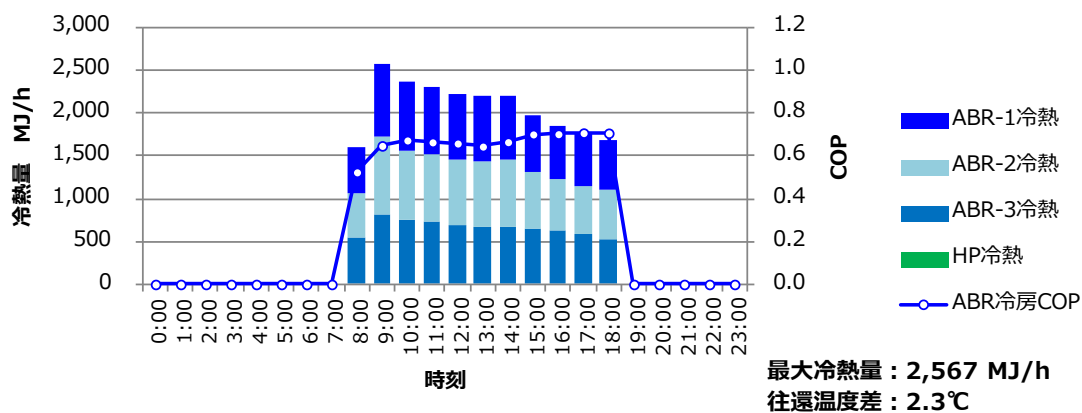


図 3-32 冷房負荷ピーク発生日(2013 年 8 月 19 日(月))

熱源の定格 COP は 0.93 であるが、2013 年夏期 3 ヶ月間データの平均 COP は、0.56 であった。特にガス焚吸収式冷温水機 3 台の合計定格能力 4,557MJ に対して、1 台能力の 1,519MJ より小さい負荷の時に、COP の低下が大きくなっている。これは、熱源が 2 台となり運転負荷率が 50%程度となることで、熱源 COP の悪い運転負荷率となったためと考えられる。(図 3-33)

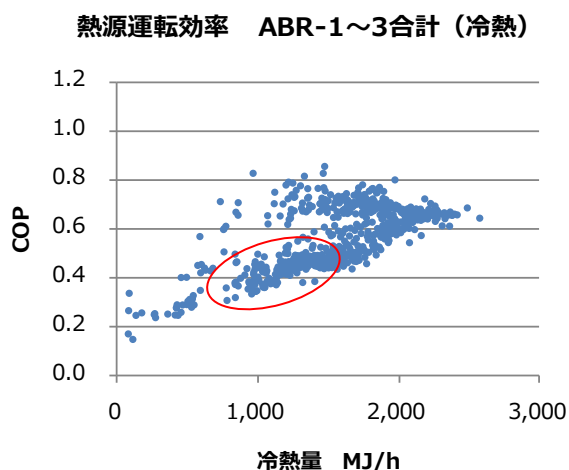


図 3-33 1ビルの冷房負荷と COP(2013 年 7 月 1 日～9 月 30 日)

次に、夏期 3 ヶ月間の製造冷熱量の発生頻度分布を集計した。その結果全体の 55%の時間帯が 1600MJ 以下の製造熱量であり、定格の熱源能力の 1 台分相当であることが分かった。また、夏期ピークの数時間の冷熱を抑制することができれば、最大冷房負荷は、2400MJ 以下に抑えられることが分かった。(図 3-34)

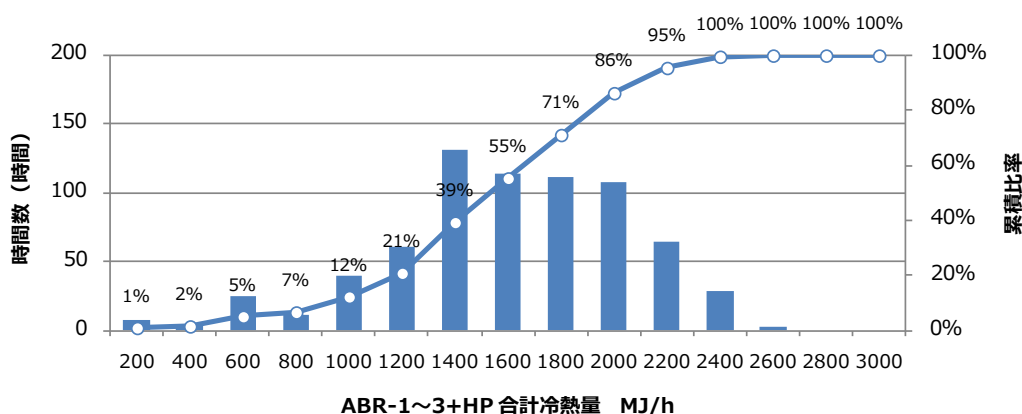


図 3-34 1ビルの冷房負荷発生頻度(2013 年 7 月 1 日～9 月 30 日)

暖房負荷についてデータを集計した結果を図 3-35～36 に示す。

2013 年 12 月～2014 年 3 月までの冬期 4 ヶ月間の最大暖房負荷は 2,440MJ/h で、定格冷房能力 5,253MJ の 48%にあたる 2,440MJ であった。最大暖房負荷は、2014 年 2 月 17 日（月）の朝に発生している。これは、外気温度の低下と週末（休日）の空調停止により、室内温度及び躯体が冷えたことによると推測される。

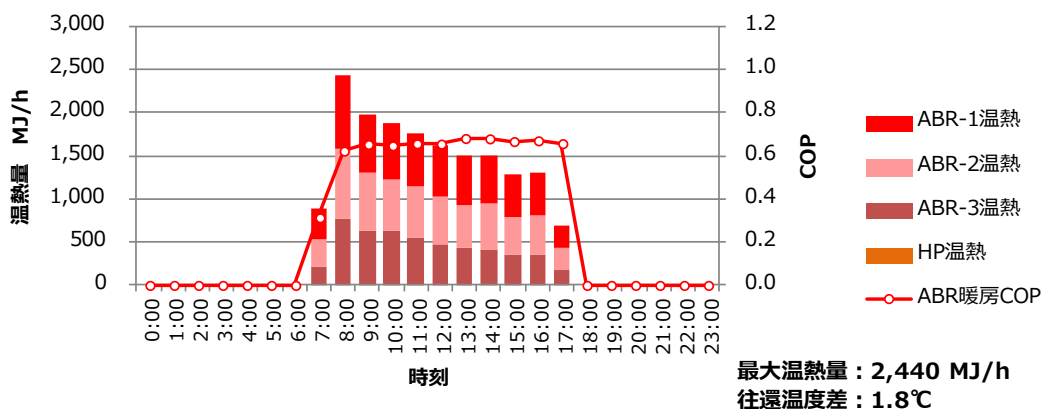


図 3-35 暖房負荷ピーク発生日(2014 年 2 月 17 日(月))

熱源の定格 COP は 0.83 であるが、冬期 4 ヶ月間データの平均 COP は、0.61 であった。冷房の期間データと違い、製造熱量による COP の差はほとんどない。しかし、定格 COP に対して実績 COP は低い値に留まっている。

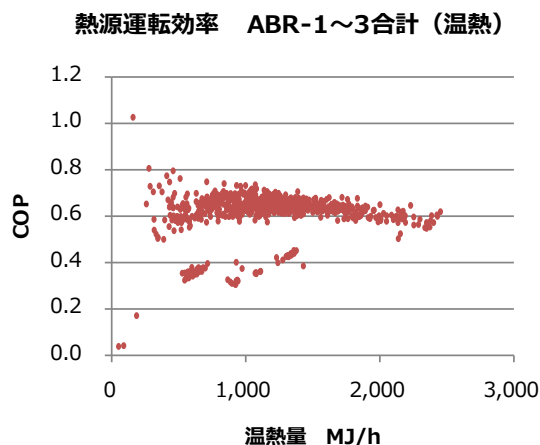


図 3-36 Iビルの暖房負荷と COP(2013 年 12 月～2014 年 3 月)

次に、冬期 4 ヶ月間の製造温熱量の発生頻度分布を集計した。その結果、全体の 83%の時間帯が 1600MJ 以下の製造熱量であり、定格の熱源能力の 1 台分相当であることが分かった。夏期の集計結果以上に、製造温熱量は小さい値で分布している。オフィスビルの場

合は朝の暖房立上り以降は、暖房要求熱量が少ないためと考えられる。

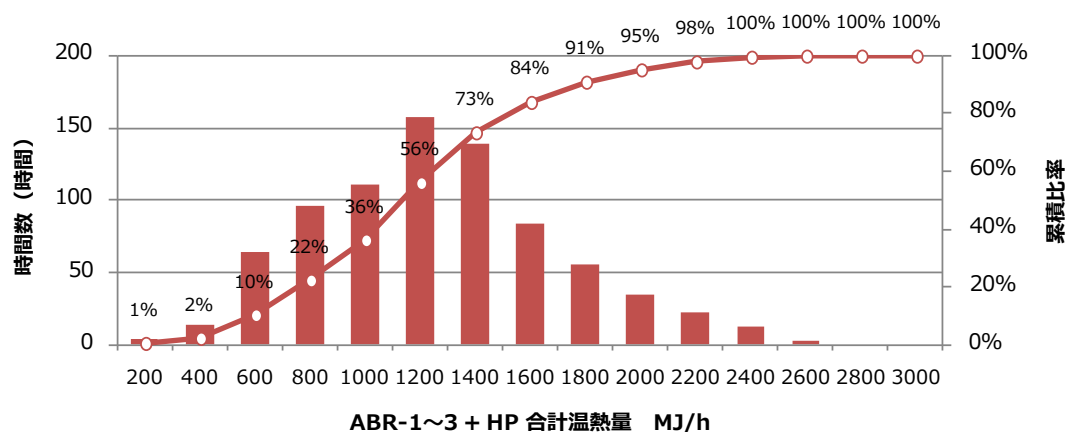


図 3-37 1ビルの暖房負荷発生頻度(2013年12月1日~2014年3月31日)

また、本建物には4台の熱源があるが、空冷チラー100RT×1基は、年間を通じて使われていなかった。

(3) ヒートポンプチラーに関するケーススタディー DL-Kビル

DL-Kビルは、千葉県柏市に1986年12月に竣工した地上7階建、延床面積8,136㎡のテナントオフィスビルである。空調配管は2管の冷暖房切替型で、各階に空調機を設置している。

2012年春には、既存の空冷ヒートポンプチラー305kW×4基(合計1,220kW・4,392MJ)から空冷モジュールチラー150kW×6基(合計900kW・3,240MJ)に改修工事を行っている。ビル管理会社の運転管理記録によると、2012年春の熱源改修で、従来の空冷ヒートポンプチラーの最大運転台数が3基であったため、熱源容量を1基削減(定格容量26%削減)したとされている。



写 3-3 改修前後のヒートポンプチラー(左:改修前、右:改修後)

2012年12月1日～2013年9月30日までのエネルギー・モニタリングデータをもとに、最大熱負荷、製造熱量、COPについて分析した。冷房負荷ピーク日の熱源機COPは、定格COP=4.79に対して2.8～4.3で推移していた。(図3-38)

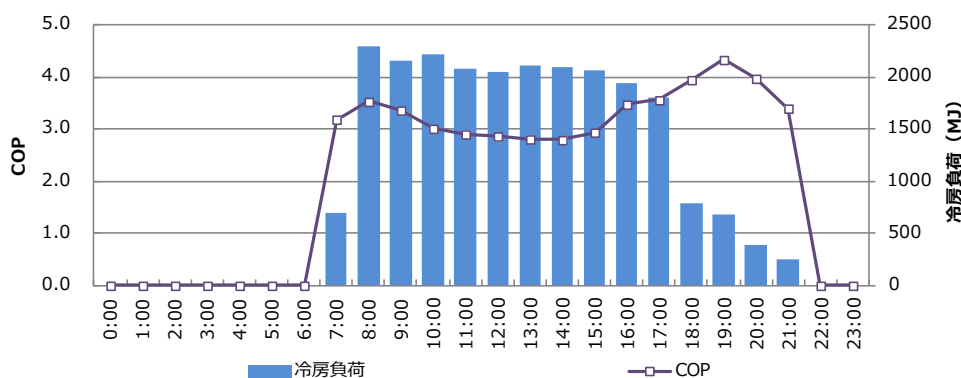


図 3-38 最大冷房負荷発生日(2013年7月8日(月))の製造熱量とCOP

熱源定格冷房能力 3240MJ に対して、最大冷房負荷は 2300MJ (定格の 71%) であった。これは、改修前の熱源定格冷房能力 4,392MJ に対して 52%の負荷率となる。

また、平均 COP は 3.83 (定格 COP=4.79) であった。期間平均 COP は定格 COP に対して低めであったものの、負荷 10%程度の低負荷時にも COP が高く、冷房負荷に関わらず COP は概ね 3.0~5.0 だった。最も冷房 COP が高かったのは、定格冷房能力の 30%程度で運転している時だった。

また、赤丸の印をつけた 800~1000MJ にプロットが少なくなっている。これは、運転モジュールの増段設定により 800MJ 以上の熱が必要な場合に直ぐに増段せずに、送水温度が上昇して十分な負荷が発生してから増段していると考えられる。(図 3-39)

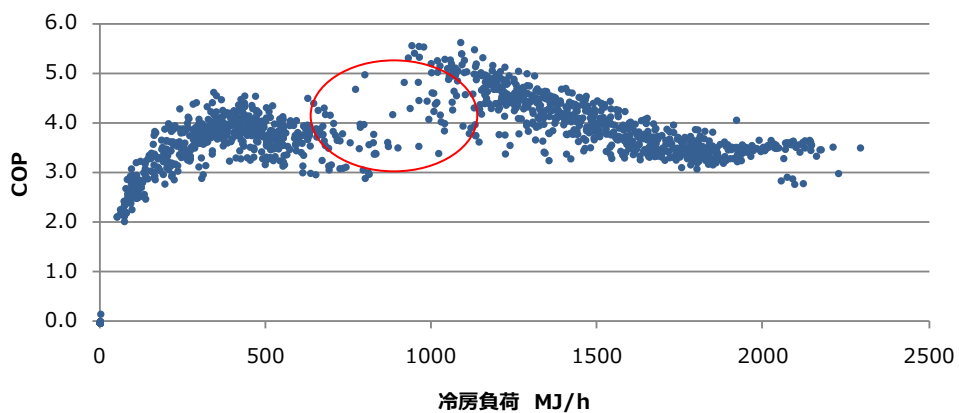


図 3-39 冷房負荷と COP の相関(2013 年 7 月 1 日~9 月 30 日)

熱源運転時の送水温度は約 9°C だった。往還温度差が計画値 5°C に対して 70%程度の 3.5°C であることから、最適運転台数より多い台数の熱源が運転している可能性がある。(図 3-40)

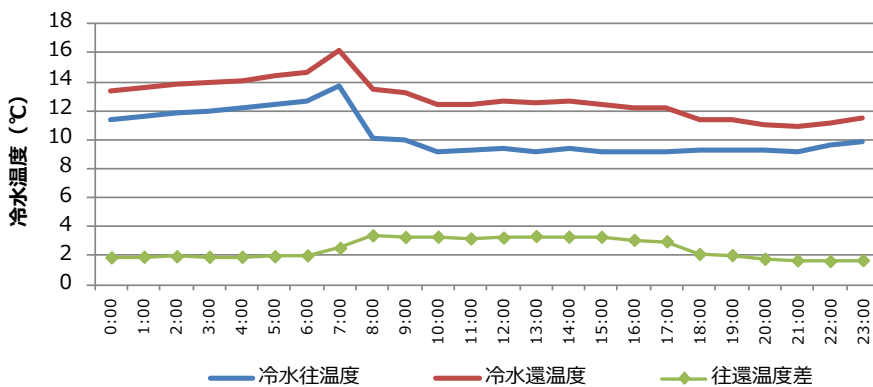


図 3-40 最大冷房負荷発生日(2013 年 7 月 8 日(月))の冷水送還水温度の経時変化

暖房負荷ピーク日の熱源機 COP は定格 COP=3.41 に対して、2.3~2.8 で推移していた。
 (図 3-41)

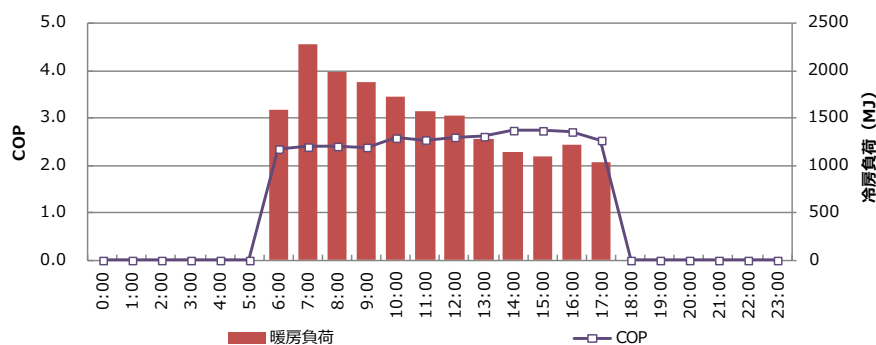


図 3-41 最大暖房負荷発生日(2013年1月4日(金))の製造熱量と COP

熱源定格暖房能力 3240MJ に対して、最大暖房負荷は 2300MJ (定格の 71%) であった。
 また、改修前の熱源定格暖房能力 4,392MJ に対しては 52%となる。平均 COP は 2.43 だっ
 た。(定格 COP=3.41) 暖房負荷に関わらず COP は概ね 2.0~3.0 だった。(図 3-42)

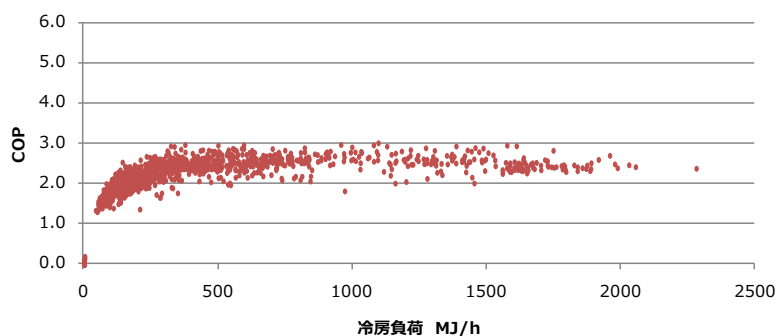


図 3-42 暖房負荷と COP の相関(2012年12月1日~2013年2月28日)

熱源運転時の送水温度は約 41°C だった。往還温度差は、冷房時と同様に計画値 5°C に対
 して 70%程度の 3.5°C だった。

以上の運転実績から、熱源改修前の熱源容量 1220kW から 900kW に 26%削減したもの
 の、実際の最大熱負荷は 2300MJ であり、改修前 1220kW (4,319MJ) の 52.3%の熱量で
 あることが分かった。(図 3-43)

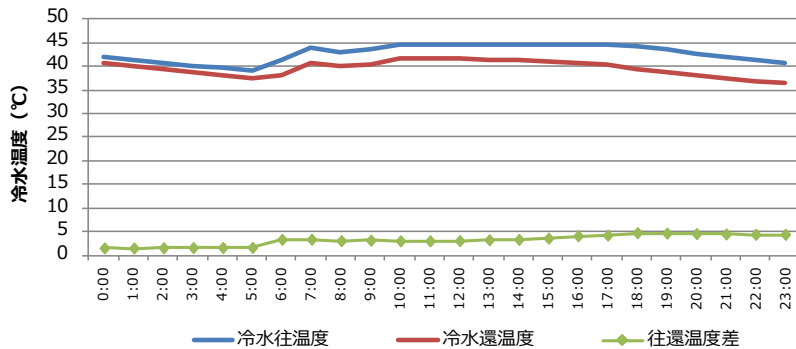


図 3-43 最大暖房負荷発生日(2013 年 1 月 4 日(金))の冷水送還水温度の経時変化

本章の知見

4つのケーススタディーからは、以下の傾向を把握することができた。

① 熱源の容量に対して、実負荷は 50%未満であり、熱源容量は過大であることが多いと考えられる。

- (1) ガス焚吸収式冷温水機 K ビル 冷房時 37%・暖房時 44%
- (2) ガス焚吸収式冷温水機 I ビル 冷房時 45%・暖房時 48%
- (3) ヒートポンプチラー DL-K ビル 冷房時 52%・暖房時 52%

②熱源の運転効率は、熱源の定格 COP に対していずれも低い値である。特にガス焚吸収式冷温水機の COP 実績は低くなっている。

これは、①の熱源容量が課題であることから、熱源の運転時の負荷率が低い状態で運転していることに大きな原因がある。よって、改修時にモニタリングデータに基づいて、低負荷時に高い COP を維持できる仕様の熱源を導入することで、大幅な省エネルギー化が可能になると考えられる。

- (1) ガス焚吸収式冷温水機 K ビル 冷房時 0.40~0.87
(定格冷房時 0.93~1.02)
暖房時 0.36~0.84
(定格暖房時 0.76~0.83)
- (2) ガス焚吸収式冷温水機 I ビル 冷房時 0.56・暖房時 0.61
(定格冷房時 0.93. 暖房時 0.83)
- (3) ヒートポンプチラー DL-K ビル 冷房時 3.83・暖房時 2.43
(定格冷房時 4.79. 暖房時 3.41)

熱源のベンチマークと本モデルへの適用

熱源のベンチマークは、熱源単体 COP で論じることができる。そのため、本モデルへの適用の場合は、既存熱源の COP と改修後の熱源の COP にて省エネルギー効果を検証する必要がある。

改修前後の削減効果実績は、以下の計測に基づくことでモニタリングデータを用いて精緻に算出することができる。

①改修前の COP 算出

4 つのケーススタディーのように、冷房期間の平均 COP、暖房期間の平均 COP を計測する。

②改修後の製造熱量演算

改修後は、冷房製造熱量・暖房製造熱量を、モニタリングデータに基づき 1 時間毎に演算

③改修後に演算する改修前のエネルギー消費量

改修後の冷暖房の製造熱量を、改修前の COP で割戻して、改修前の製造熱量を演算

④改修後のエネルギー消費量

電力、ガスなどの消費量のモニタリング

⑤削減効果の演算

③－④により、改修前後の省エネルギー効果を算出

また、改修後もモニタリングデータを活用し、逐次 COP を演算することで、熱源の台数制御設定や送水温度の設定のチューニングが可能であり、さらなる省エネルギー効果を生み出すことが可能になる。

課題 4

熱源の必要容量が、定格能力に対して 50%以下となっている。設計仕様と実負荷の差異分析による原因確認、今後の改修時の設計手法の構築が重要と言える。

本課題に関して、第 4 章にて論じる。

3.1.4 空調 2 次側機器運転効率の分析と評価

空調 2 次側設備機器のうち、エネルギー消費量の多い空調機・外調機について、庁舎・図書館の 2 建物について、エネルギー消費傾向と省エネルギー化の余地について分析した。省エネルギー手法としては、以下の 2 つの手法を用い、省エネルギー量と室内環境の変化を確認した。

- ①空調機の間欠運転 空調機を 10 分間運転／5 分間停止などを繰り返す間欠運転
または、冷温水コイル前後の温度が設定温度以下の場合
空調機を一時停止する運転
- ②外調機の CO₂ 濃度 室内 CO₂ 濃度が設定の値以上で外調機運転、設定以下で
停止とする間欠運転

空調機の間欠運転制御は、ファンインバータ制御の代用として取り入れている。ケーススタディーの 4 建物は、いずれも空調機から吹出口までのダクトが長いため、インバータによる変風量制御を実施した場合、ダクト末端の吹出風量の不足が懸念されるためである。

空調 2 次側機器の省エネルギー量の算出は、一定送風量・一定外気量の運転を標準的なエネルギー消費量とし、下記のように演算した。

$$\begin{aligned} & \text{毎時の外気負荷の削減分 (各外調機の合計) [kcal/時]} \\ & = \Sigma (| (\text{外気エンタルピー} - \text{送風エンタルピー}) | [\text{kcal/kg}] \times \text{比重} \\ & 1.2[\text{kg/m}^3] \times \text{風量} [\text{m}^3/\text{min}]) / \text{運転時間}[\text{分}] \times (60[\text{分}] - \text{運転時間}[\text{分}]) \\ & * \text{ダンパー制御の場合は、運転時間の代わりにダンパー開時間を使用} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{空調機・外調機におけるファン動力の削減分} \\ & (\text{各空調機・外調機、排気ファンの合計}) [\text{kWh/時}] \\ & = \Sigma (\text{電力量計}[\text{kWh}]) / \text{運転時間} [\text{分}] \times (60[\text{分}] - \text{運転時間}[\text{分}]) \end{aligned}$$

(1) 空調機運転効率に関するケーススタディー M 市役所

M 市役所は、1978 年 3 月に東京都に竣工した。地下 1 階、地上 6 階の延床面積 7795 m² の総合庁舎である。建物は、7 台の空調機・外調機で空調している。空調運転時間は、平日 8 時～17 時 (ACU-6 のみ 8 時～21 時 30 分) で、夏期冷房期間は、6 月 1 日～9 月末、冬期暖房期間は、12 月 1 日～4 月初旬としている。室内温熱環境に関しては、建物所有者と夏期 28℃を上限、冬期 20℃を下限として省エネルギー制御を行うことを合意の上、省エネルギー制御を導入した。

表 3-3 M市の空調機・外調機の概略仕様

対象機器		消費電力(kW)	外気風量(m ³ /h)	送風機風量(m ³ /h)
ACU-1	空調機(1・2階東)	15	4,488	22,440
ACU-2	空調機(1階ロビー・B1F)	11	9,060	16,470
ACU-3	空調機(1階西)	8	7,620	13,800
ACU-4	空調機(2・4階西)	15	17,880	32,470
ACU-5	外調機(3・5階)	8	17,325	17,325
ACU-6	外調機(4階)	6	9,040	9,040
合計		62	65,413	111,545

各々の空調機が、2013年1月～12月の一年間に消費しているファン動力、外気負荷は、以下ようになっていた。

これらの負荷に対して、各空調機を20分間運転／10分間停止の間欠運転（または、15分間運転／15分間停止）を行い省エネルギーの削減効果と室内環境の変化を計測した。(図3-44)

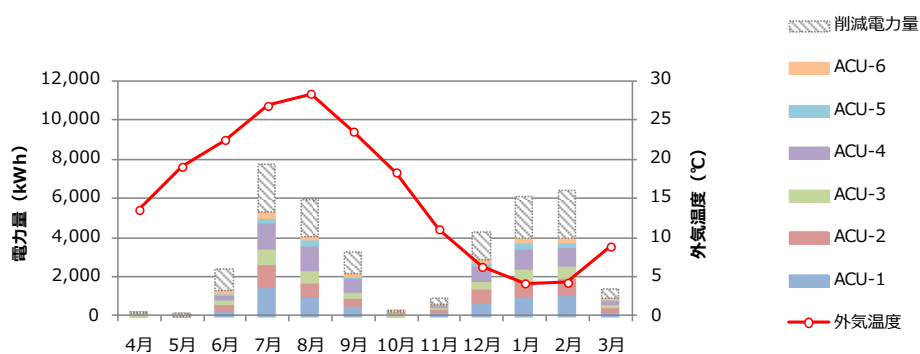


図 3-44 月別空調ファン動力消費量と削減電力量(2013年1月～12月)

年間のファン動力は、38,918kWh/年であり、間欠運転により25,381kWh/年(▲35%減)に削減されていることが分かる。(図3-45)

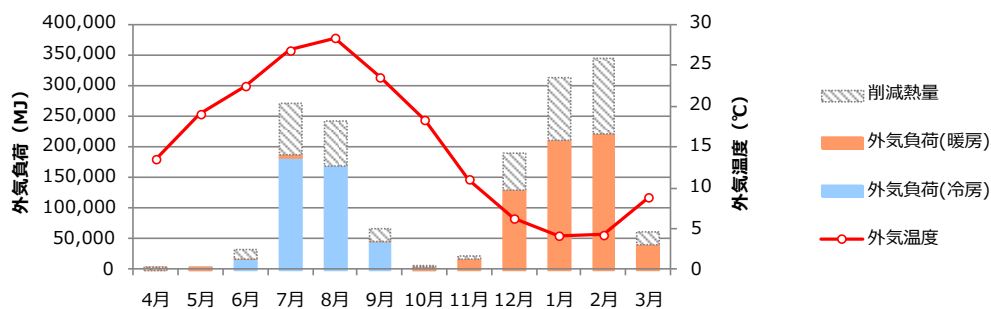


図 3-45 月別外気負荷と削減量(2013年1月～12月)

年間の外気負荷は、室内温湿度計測値の平均から、夏期 26℃56%、冬期 21℃42%と計測外気エンタルピから算出した。外気負荷は、1,548,077MJ/年であり、間欠運転により外気導入量が減ることで、1,041,579MJ/年 (▲33%減) に削減している。

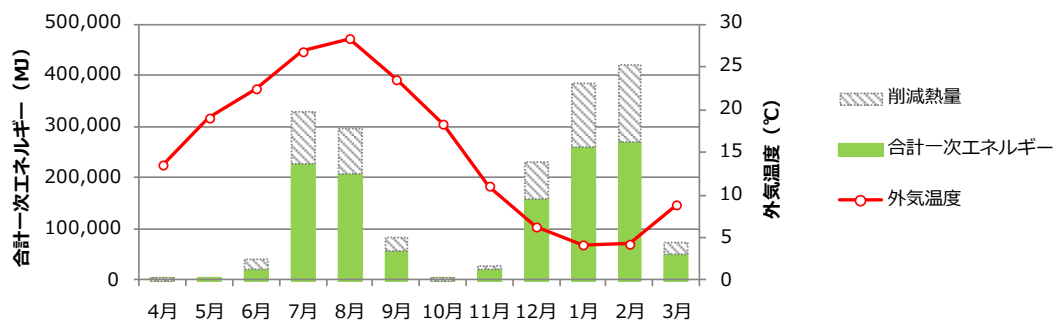
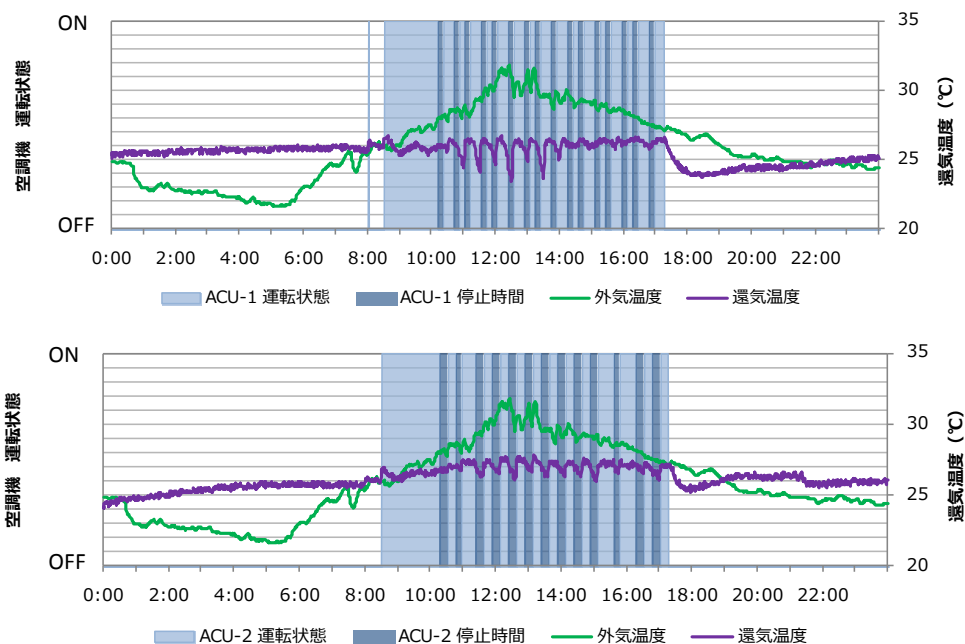


図 3-46 月別一次エネルギー消費量と削減量(2013年1月～12月)

ファン動力と外気負荷は、電力換算係数 9.76MJ/kWh、ガス換算係数 45MJ/N m³を用い、ガス消費量は、計測熱量に COP0.8 を用いて一次エネルギーを計算した。年間一次エネルギー消費量は、1,891,517MJ/年となり、間欠運転により、1,272,645MJ/年 (▲33%減) に削減されている。

まず、冷房時の室内環境の変化について、外気温度の高い 2013 年 7 月 22 日に空調機の還気温度で確認した。室内の管理温度の上限は、28℃としている。



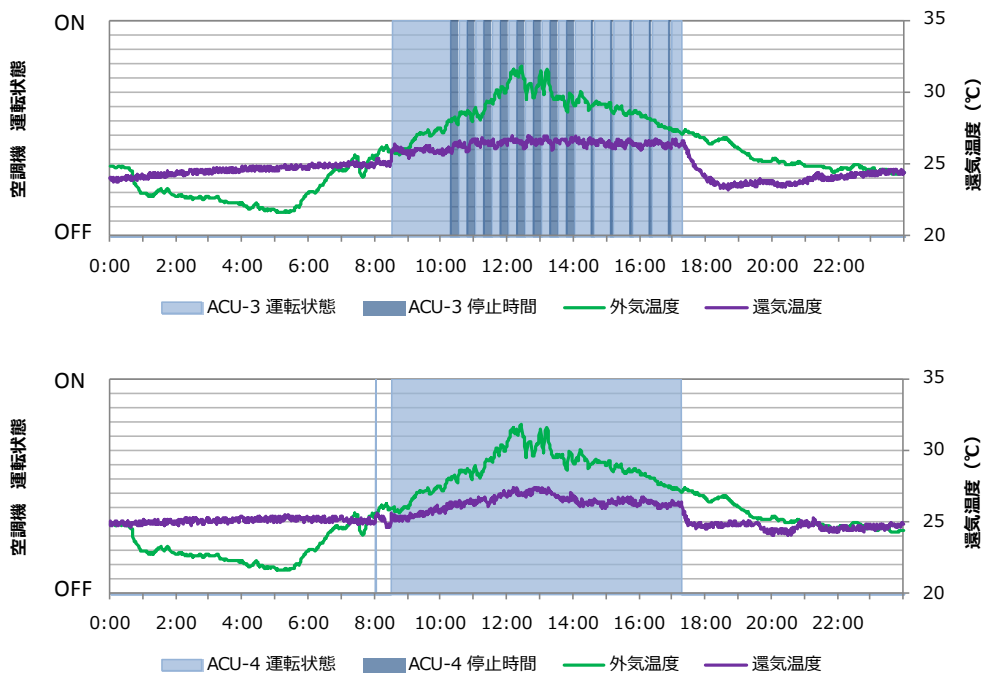
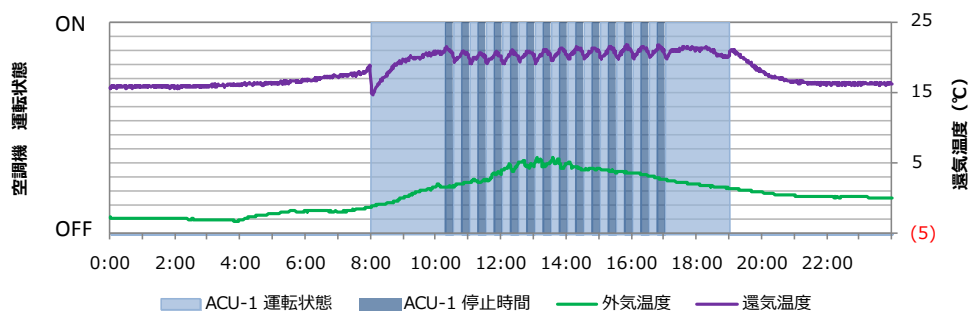


図 3-47 ACU-1～4 外気温度と還気温度変化(2013 年 7 月 22 日)

ACU-1・3 は、空調機停止後、運転開始の還気温度が 27°C以下で推移している。また、ACU-2 は、28°C以下で推移していることが分かる。ACU-4 は、停止制御を行わない状態で、還気温度が 27°Cを超えており、停止制御が難しいことが分かる。

次に、暖房時の室内環境の変化を外気温度の低い 2014 年 2 月 6 日に空調機の還気温度で確認した。室内の管理温度の下限値は、20°Cとしている。

ACU-1・3 は、8 時の空調起動後、室内温度が上昇し、10 時 30 分の制御開始までに、20°C または 17°Cまで室内温度が上昇している。その後、制御を行い、20°Cまたは 16°C程度の温度を維持している。また、ACU-2・4 は、朝の空調起動後及び制御終了後の時間帯でも、室内温度が 16°Cまたは 14°Cになっている。これは、空調暖房能力の不足も考えられるが、制御時間帯においても、16°Cまたは 14°Cを維持しているため、制御による温度低下は殆どないと言える。



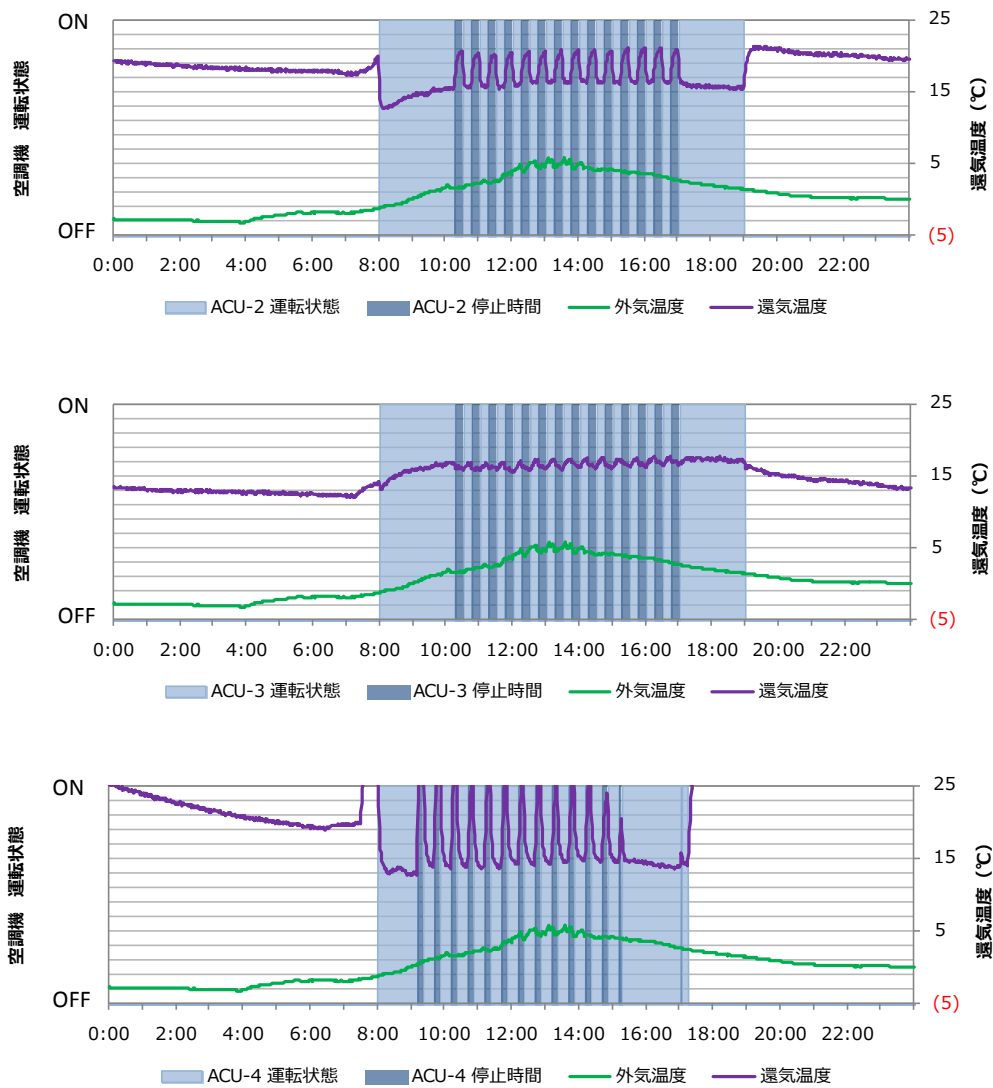


図 3-48 ACU-1~4 外気温度と還気温度変化(2014年2月6日)

(2) 外調機運転効率に関するケーススタディー T 図書館

T 図書館は、1996 年 12 月に岐阜県に竣工した。地下 1 階、地上 8 階の延床面積 9241 m² の図書館である。建物は、2～3 階の図書館エリアを、2 台の空調機で空調している。建物は、9:00～21:00（図書館は 10:00～20:00）に開館し、毎週月曜日と年末年始 6 日間は休館日となっている。

表 3-4 制御対象の空調機仕様

	空調対象エリア	送風ファン	換気ファン	送風量
AHU-1	1階ロビー	7.5kW	5.5kW	11,750m ³ /h
AHU-2	2・3階図書室	18.5kW	15.0kW	34,850m ³ /h

上記の機器及びエリアに対して、以下の 2 つの省エネルギー制御を行った。

①空調機の低負荷時停止制御

冷温水コイル前後の送風温度が 2℃未満の時に、空調機を 10 分間自動停止し、ファン動力を削減。

*ただし、CO₂ 濃度が 900ppm 以下の場合

②CO₂ 濃度制御

室内 CO₂ 濃度が 900ppm 以上の時に、外気ダンパー30%開。700ppm 以下で閉。

図 3-49 に 2012 年 7 月 21 日の AHU-1(1F 系統空調機)のインターバル制御状況を示す。図中の藻緑地で表示の時間帯は空調機の運転時間、白地の時間帯は停止制御時間を示す。室内負荷が少ない時間帯(コイル前温度 - 給気温度 の差が 2℃以下)は、空調機を停止している。

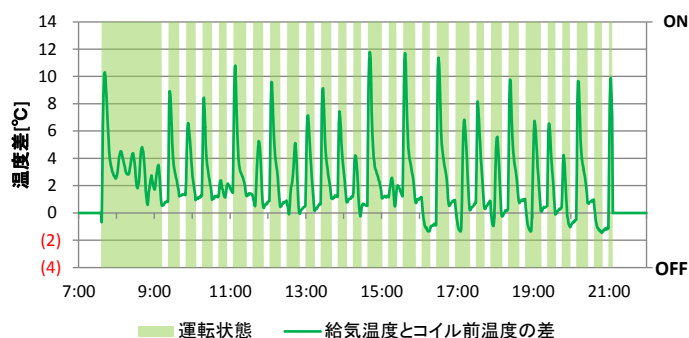


図 3-49 2012 年 7 月 21 日の AHU-1 インターバル制御状況

また、図 3-50 に、同日の AHU-1(1F 系統空調機)の冷房負荷を示す。空調機を停止することで、冷房負荷の削減が図られていることが分かる。

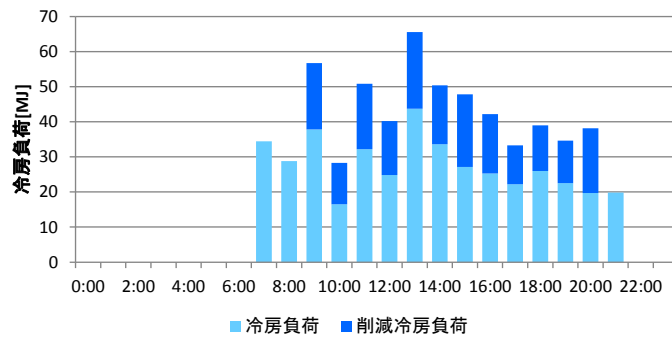


図 3-50 2012 年 7 月 21 日の AHU-1 冷房負荷と削減負荷

次に、2012 年 8 月 17 日の AHU-2(2・3F 系統空調機)の CO₂ 制御状況を示す。(図 3-51) 濃緑地の時間帯は、外気ダンパー0%、藻緑地の時間帯は外気ダンパー30%運転時間を示す。図 3-52 に同日の AHU-2(2・3F 系統空調機)の冷房負荷を示す。室内の CO₂ 濃度を適正に保ちながら(1,000ppm 以下)外気の導入量を抑え、冷房負荷の削減が図られていることが分かる。

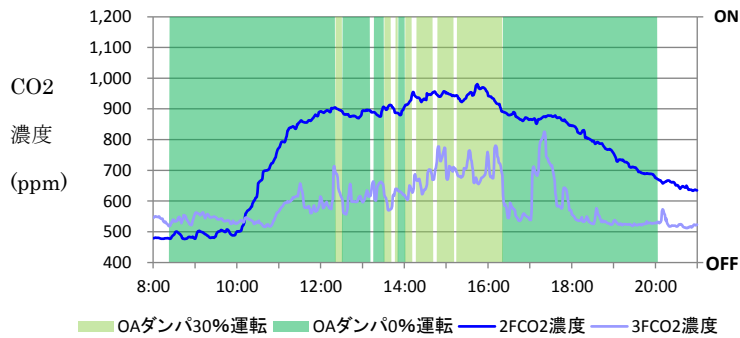


図 3-51 2012 年 8 月 17 日の AHU-2 CO₂ 制御状況

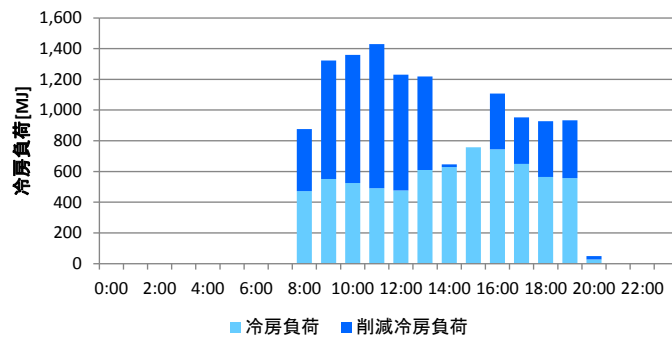


図 3-52 2012 年 8 月 17 日の AHU-2 冷房負荷と削減負荷

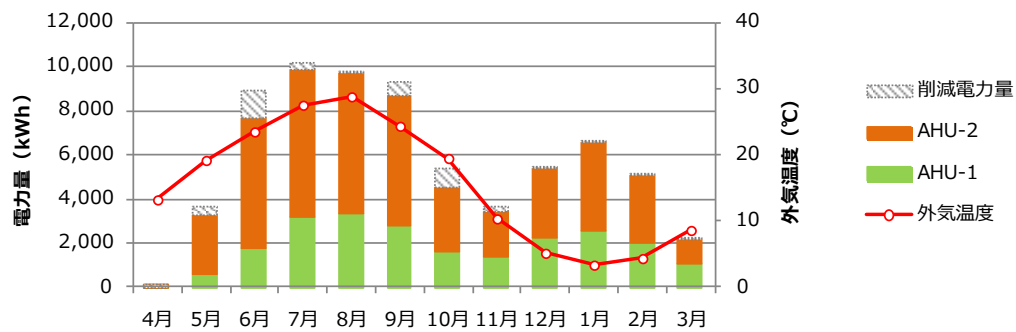


図 3-53 ファン動力と削減効果(2013 年 4 月～2014 年 3 月)

年間のファン動力は、70,033kWh/年に対し、4.5%減の 66,199kWh/年であった。

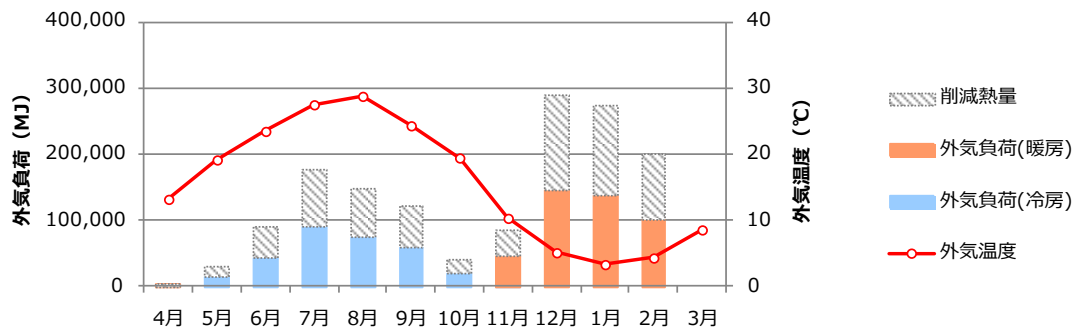


図 3-54 外気負荷と削減効果(2013 年 4 月～2014 年 3 月)

年間の外気負荷は、1,035GJ/年に対し、29.6%減の 729GJ/年であった。特に、外気温度の高い夏期と外気温度の低い冬期の削減量が大きくなっている。外気負荷は、屋外エンタルピと室内エンタルピの計測値を用いて、送風量と比重の積にて計算している。

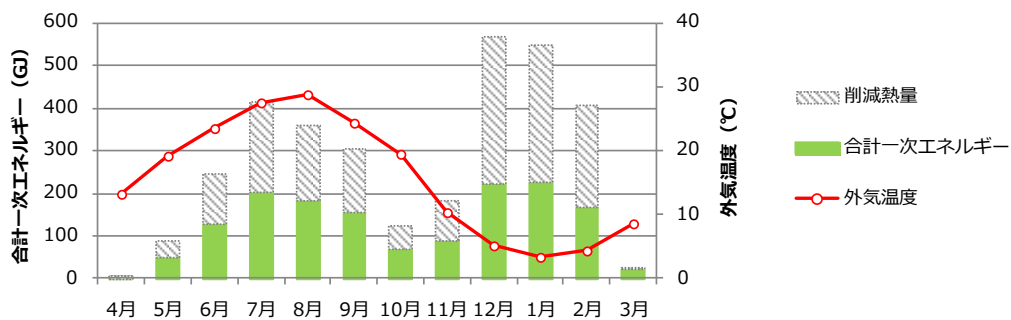


図 3-55 ファン動力と外気負荷の 1 次エネルギーと削減効果(2013 年 4 月～2014 年 3 月)

ファン動力の一次エネルギー換算値 9.76MJ/kWh 及び外気負荷に電気熱源の COP2.3 を用いてファン動力と外気負荷を一次エネルギーとして評価した。年間の一次エネルギーは、3,258GJ/年に対して、54%削減の 1,505GJ/年となった。

本章の知見

空調 2 次側設備のエネルギー削減余地がある

- (1) 空調機運転効率 M 市役所 一次エネルギー換算 33%程度の削減が可能
- (2) 外調機運転効率 T 図書館 一次エネルギー換算 54%程度の削減が可能

特に、外気負荷の削減は、大きく、本モデルへの適用性は高いと考えられる。

3.1.5 ビル用マルチ運転効率の分析と評価

電気ヒートポンプエアコンに関するケーススタディー Lビル その1~9

ビル用マルチエアコンの運転効率に関し、動力消費量の発生傾向、動力負荷の最大負荷の発生傾向について分析し、省エネルギー化の余地を検証する。

今回の計測・制御対象のLビルの立地は、寒冷地の金沢から温暖湿潤な沖縄まで日本各地に分布している。建物の規模は場所によってまちまちであるが、熊谷を除き全て新築のS造の建物である。1階は大手総合建材メーカーのショールーム、2階または3階に自社使用の事務所が入居しているビルである。

各々の建物は、室内温度がPMV演算により目標PMVの値になるよう自動的に変更するプログラムや、屋内機が数分毎に冷房と送風、暖房と停止の自動切替えを行うなど省エネルギー化を図るプログラムを導入している。

輪番運転の省エネルギー効果は、以下のように試算した。

- ・動力トランスの電力消費量を1分毎に計測
- ・上記の電力消費量を通常運転時（制御OFF時）と輪番運転時（制御ON時）に区分し、集計
- ・通常運転時（制御OFF時）及び輪番運転時（制御ON時）の毎分平均電力消費量を、各々1時間毎に算出
- ・削減電力量は、上記の毎分平均電力消費量の差（＝制御OFF時と制御ON時の差）に、輪番運転時間（制御ONした時間（単位：分））を乗じることにより算出。

各建物の延床面積、空調機容量を表3-5に示す。単位面積当たりの空調機能力は、竣工年が比較的古い熊谷を除くと185~230W/m²程度となっている。

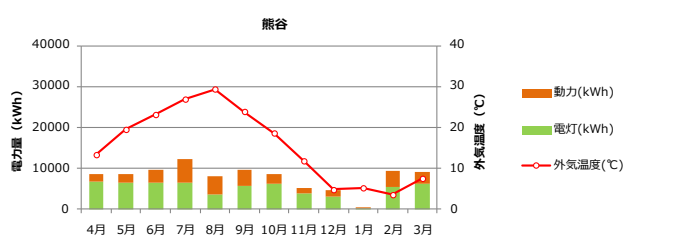
表 3-5 Lビル その1~9 各建物概要

		延床面積 (m ²)	竣工年	空調メーカー	空調機器容量 (kW)	空調機器容量 (W/m ²)
1	熊谷	956.60	2005年 8月	日立	164.3	171.8
2	立川	2,747.00	2013年 1月	ダイキン	625.6	227.7
3	甲府	1,351.00	2013年 1月	ダイキン	262.6	194.4
4	金沢	2,266.00	2011年12月	ダイキン	454.0	200.4
5	箕面	3,285.00	2012年 9月	ダイキン	702.6	213.9
6	高松	2,229.08	2012年 6月	ダイキン	413.1	185.3
7	熊本	1,830.00	2012年 6月	ダイキン	403.6	220.5
8	鹿児島	1,658.00	2013年 1月	日立	353.5	213.2
9	沖縄	1,680.00	2012年 6月	ダイキン	385.4	229.4

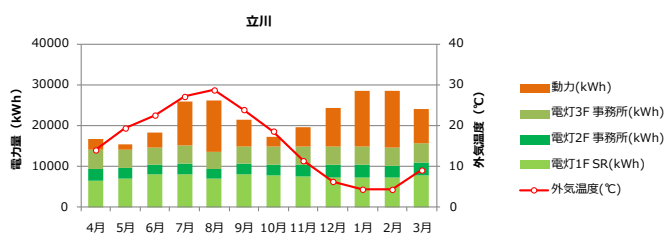
次に、各建物の電灯トランスと動力トランスの月別電力消費量の集計結果を、図3-56に

示す。各図の右側に記載のデータ欠損率は、1分データ（365日×24時間×60分=525,600データ）の中の欠損割合を示している。熊谷・甲府・金沢は、データ集積部のトラブルがあったため欠損率が高くなっている。その他の建物は、欠損率は2%未満となっている。本章では、データ欠損部分はデータ補完せずに収集データから考察を行うこととする。

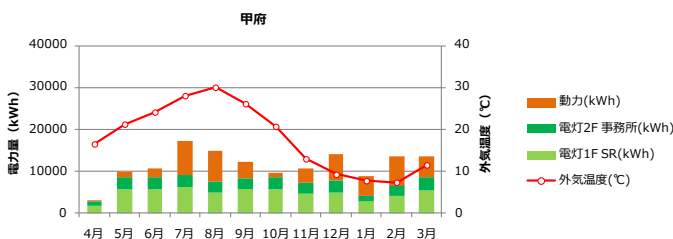
計測した動力トランスの負荷は、ビル用マルチエアコンの屋外機とエレベータである。エレベータは各建物1台或いは2台設置しているが、ビル用マルチエアコンに比べてその負荷はかなり小さいため、本報では動力トランス負荷をビル用マルチエアコンの負荷と見立てて、電力消費量の傾向を分析した。



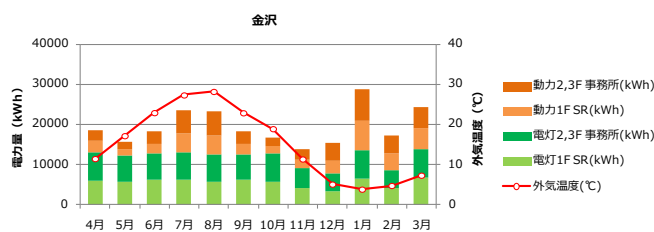
データ欠損率 24.4%



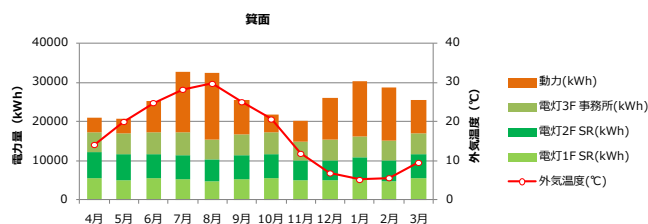
データ欠損率 1.9%



データ欠損率 20.0%



データ欠損率 9.5%



データ欠損率 1.4%

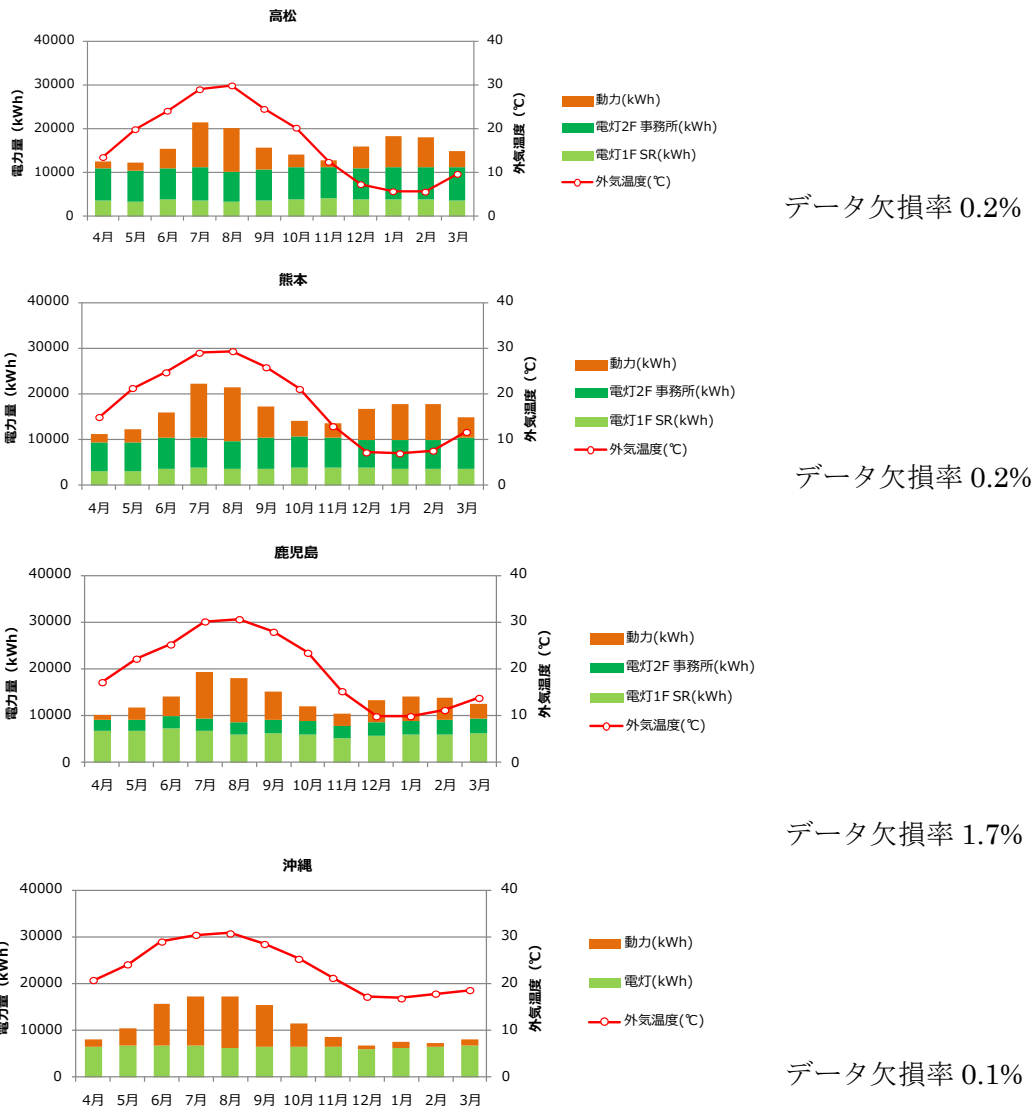


図 3-56 Lビル 9 建物の月別電力消費量とデータ欠損率(2013 年 4 月～2014 年 3 月)

大きな欠損があった 3 つの建物を除くと、電灯負荷は年間を通じて各月共ほぼ同じ消費量で推移している。一方、動力負荷は、沖縄を除き外気温度の変化に合わせて夏と冬に消費量が大きくなっている。

建物規模が違うため、消費量を原単位化したものを表 3-6 に示す。

電灯電力消費量は、沖縄を除くとほぼ $60\sim 66\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ に集中している。また、動力電力消費量は、実消費量で、 $27\sim 40\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ に集中し、電灯と比べて建物の違いによる差が大きい。動力消費量について、省エネルギー制御による削減分を試算に加えると、実消費量平均 $33.4\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年} + \text{制御による削減量 } 7.9\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ の合計で $41.3\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ となっている。

表 3-6 Lビルエネルギー消費量

		電灯電力消費量 (kWh/年)	電灯電力消費量 (kWh/㎡・年)	動力電力消費量 (kWh/年)	動力電力消費量 (kWh/㎡・年)	制御による削減量 (kWh/年)	制御による削減量 (kWh/㎡・年)	動力消費量の割合 *制御による削減含む (%)
1	熊谷	60,951	63.7	33,292	34.8		0.0	35.3%
2	立川	176,544	64.3	89,490	32.6	19,991	7.3	40.6%
3	甲府	88,339	65.4	50,799	37.6	14,535	10.8	49.2%
4	金沢	142,220	62.8	92,155	40.7	10,104	4.5	43.5%
5	箕面	196,690	59.9	113,096	34.4	27,663	8.4	45.7%
6	高松	131,901	59.2	59,680	26.8	17,008	7.6	40.8%
7	熊本	121,423	66.4	73,656	40.2	21,059	11.5	49.2%
8	鹿児島	107,742	65.0	57,071	34.4	8,459	5.1	39.6%
9	沖縄	78,769	46.9	55,527	33.1	11,698	7.0	49.8%
	平均	813,069	60.5	448,519	33.4	105,878	7.9	44.1%

また、単位面積当りの合計電力消費量の平均は 101.8kWh/㎡で、そのうち動力消費量は、平均で 44.1%となっている。

この集計データから、ビル用マルチエアコンの動力を省エネルギー制御で運転した場合、約 19%の削減ができていていることが分かる。

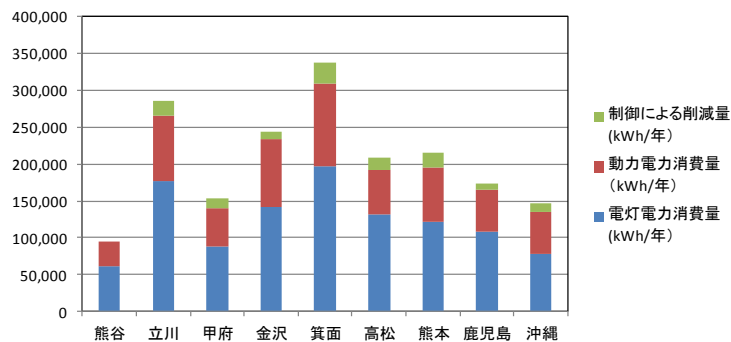


図 3-57 建物別年間電力消費量内訳(2013年4~2014年3月)

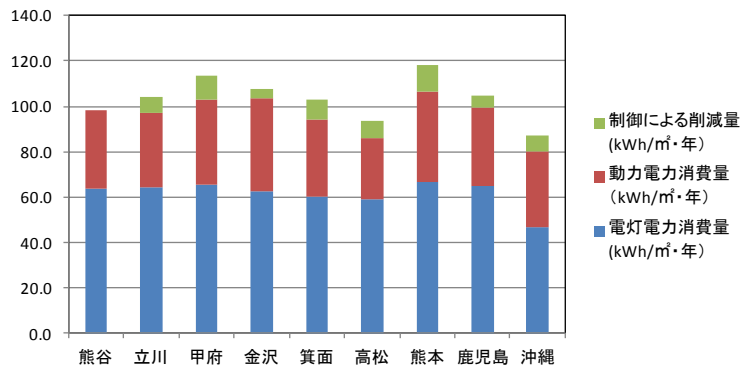


図 3-58 建物別年間電力消費量の単位面積あたりの内訳(2013年4~2014年3月)

Lビルその5 箕面の建物において、外気温度とエアコン電力消費量の相関、及びエアコン屋外機動力の最大値を分析した。Lビルその5 箕面のエアコンリストを表3-7に示す。

表 3-7 Lビルその5 箕面のエアコンリスト

室外機	台数	冷房能力 [kW]	定格電力[kW]	
			冷房	暖房
AC-1	1	95.0	30.9	28.7
AC-2	1	136.0	44.2	38.7
AC-3	1	125.0	40.5	37.0
AC-4	1	125.0	40.5	37.0
AC-5	1	109.0	34.8	31.2
AC-6	1	109.0	34.8	31.2
合計	6	699.0	225.7	203.8

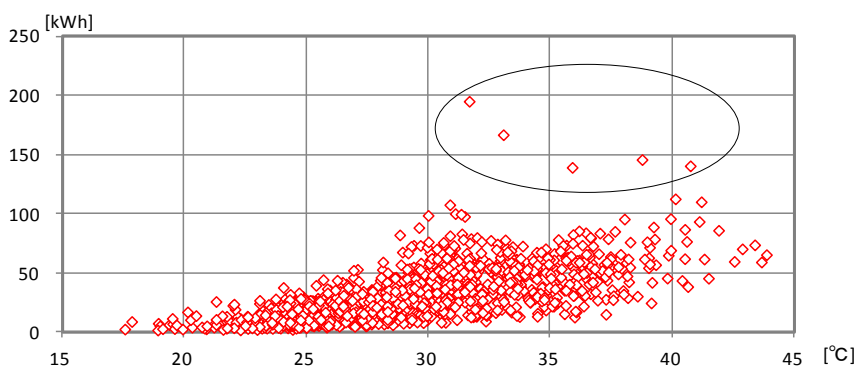


図 3-59 2013 年 7～9 月の外気温度と動力電力消費量の相関

夏期の動力電力消費量は、外気温度と相関があるといえる（図 3-59）。外気温度は、屋上に設置した外気温湿度計の計測値を用いているが、屋上屋根面の放射温度の影響で、実際の温度より高めになっている可能性がある。丸印で囲った 5 時間のデータは、外気温度と空調動力の相関から乖離している。この 5 時間のデータが発生している 2013 年 8 月 19 日の経時変化を図 3-60 に示す。

2013 年 8 月 19 日（月）は、お盆休み明けの初営業日で、躯体そのものの温度と室内温度共に高くなっている状態からエアコンを起動したため、エアコンに過負荷がかかり、電力消費が最大になったと推測される。また、計測電力は、エレベータを含む動力電力消費量のため、お盆休み明けの初営業日のため、エレベータの稼働率が高くなっていたことも考えられる。

また、図 3-59 の丸印で囲った 5 時間を除けば、動力電力消費量は 100kWh 超であり定格電力の半分以下に分布していることが分かる。

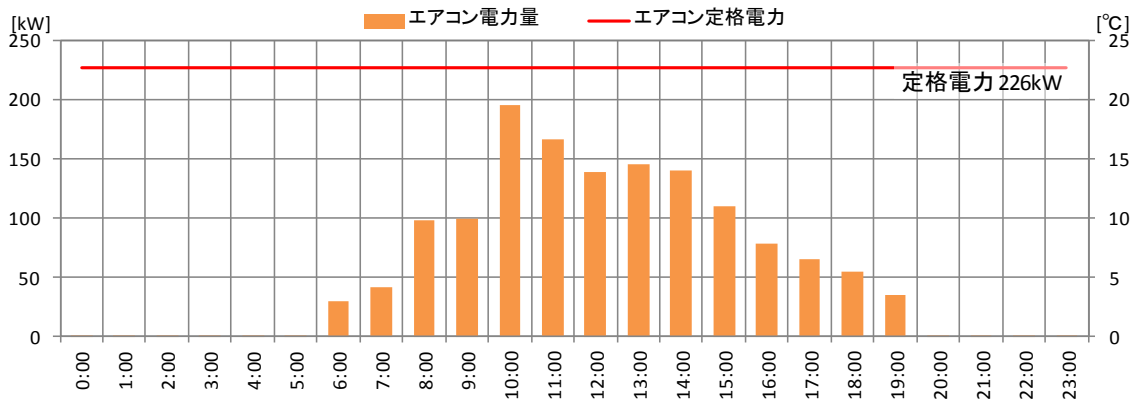


図 3-60 2013 年 8 月 19 日(月)の動力電力消費量の経時変化

夏期と同様に、冬期の動力電力消費量は、外気温度との相関があると言える。(図 3-61) また、最大電力発生日の 2013 年 2 月 14 日は、外気温度が低い空調立ち上り時間帯に、最大電力が発生しているが、夏期と同様に定格電力に半分程度の電力消費に留まっている。(図 3-62)

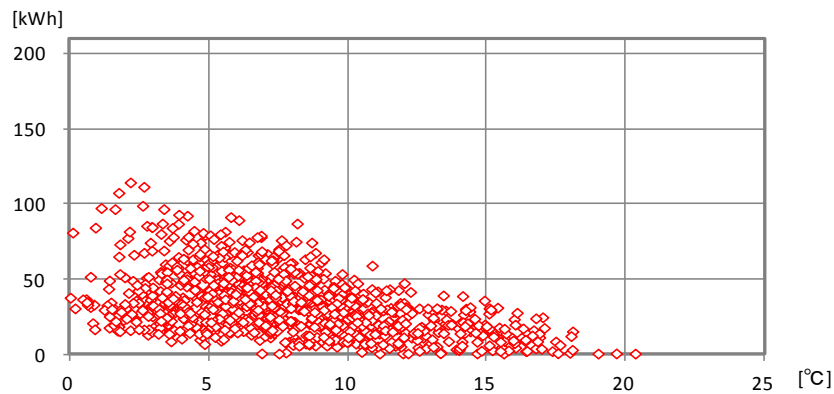


図 3-61 2013 年 12 月～2014 年 3 月 外気温度と動力電力消費量の相関

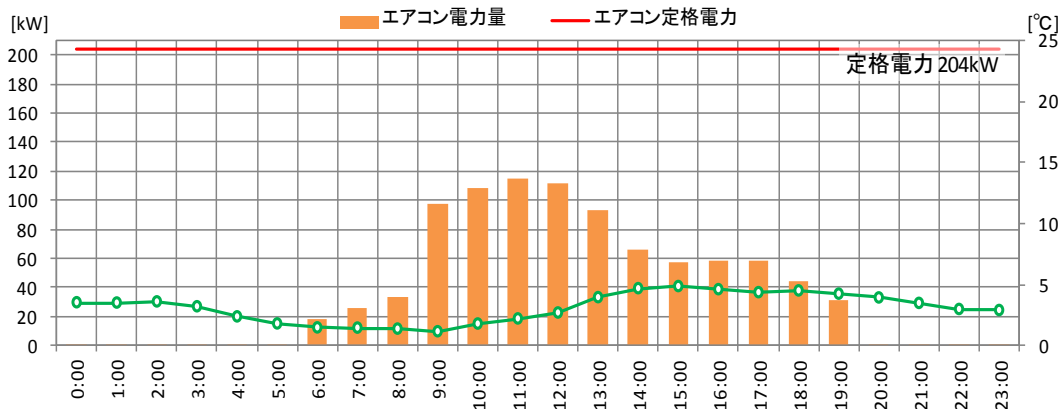


図 3-62 2014 年 2 月 14 日(金)の動力電力消費量の経時変化

本章の知見

① ビル用マルチエアコンは、27~40kWh/m²・年の電力消費量となっている。
また、空調動力の19%程度は、輪番運転などの省エネルギー制御により削減が可能と考えられる。

ただし、室内温度は26℃を上限として輪番運転を行ったが、平面温度分布に関しては詳細に確認する必要がある。

②ビル用マルチエアコンは、中央熱源と同様に、空調能力が過大な容量となっている可能性があり、実負荷は設計仕様の約半分程度に留まっている。

しかし、即冷・即暖の性能を優先する場合と最大空調負荷にて機器容量を決定する場合で、必要な機器容量は異なると言える。

本章からの課題

- ・データ欠損の取扱い方法は、検討されるべき課題である。

3.2 建築設備のエネルギー消費効率の分析のまとめ

(1) 非効率な設備機器順

3.1 で、以下のエネルギー消費傾向を分析、評価した

3.1.1 の電力デマンドの分析と評価では、電力デマンドの発生傾向は、1日の最大電力消費量と強い相関があり、日最大電力消費量から電力デマンドが予測できることが分かった。

3.1.2 の地域冷暖房（DHC）デマンド分析と評価では、3つの建物毎に熱需要が異なるため、省エネルギー化の手法も異なることが分かった。

3.1.3 の空調熱源運転効率の分析と評価では、熱源容量に対して実際の熱負荷は、いずれの建物においても50%未満であり、既存建物の熱源容量が過大であることが分かった。

また、熱負荷が熱源容量に対して小さいために、熱源のCOPが定格より大幅に小さいことが分かった。特にガス焚冷温水機の冷房時の実績COPは、定格COPの43~60%という低い値であった。また、ヒートポンプチラーの冷房時の実績COPは、定格COPの80%であった。

3.1.4 の空調2次側機器運転効率の分析と評価では、空調機の省エネルギー運転制御において、1次エネルギー換算で33%程度の省エネルギー化が可能、また外調機の省エネルギー制御も54%の省エネルギー化が可能であった。

3.1.5 のビル用マルチ運転効率の分析と評価では、空調動力負荷の19%程度の削減が省エネルギー制御で可能であることが分かるが、中央熱源のように設備容量が過大である可能性は低いと考えられる。

これらケーススタディーから、既存建物における非効率な設備としては、

- ①ガス焚冷温水機：COPが43%~60%低い
- ②ヒートポンプチラー：COPが80%低い
- ③外調機：必要外気量との比較からは、54%の1次エネルギーの抑制が可能
- ④空調機：必要動力との比較からは、35%の1次エネルギーの抑制が可能
- ⑤ビル用マルチエアコン：約20%の省エネルギー制御が可能

と考えられる。

以上の検証結果を、省エネルギー化の余地として体系的に図3-63にまとめた。本論文のスコープである空調設備の熱源・空調2次側・デマンド毎に省エネルギー化の余地の検証項目、検証結果の判断指標、省エネルギー化の余地、そして省エネルギー化の手法例を記載した。この体系を用いることで、建築設備に精通していないエンジニアでも、既存建物の空調設備の省エネルギー化を実践可能となる。

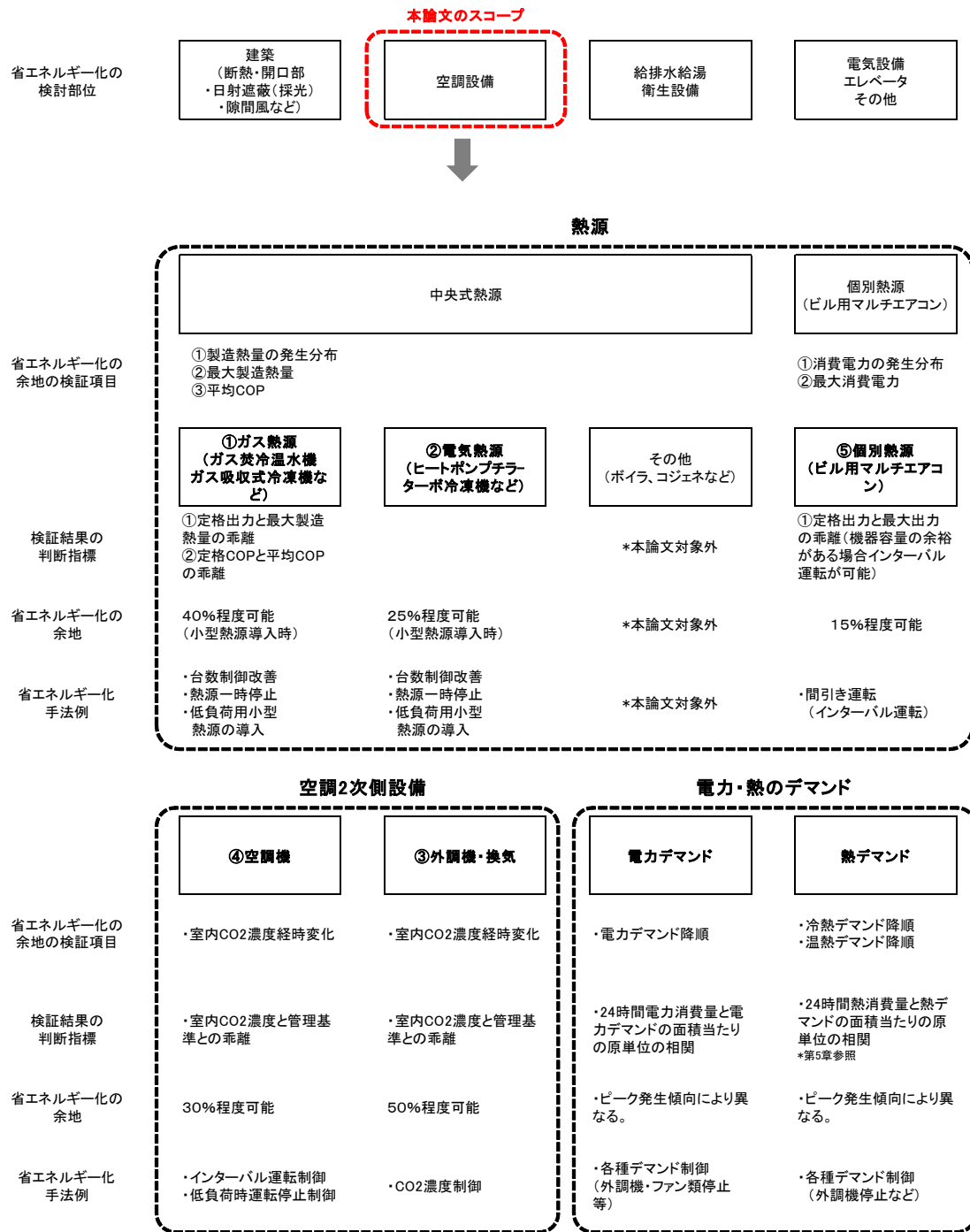


図 3-63 省エネルギー化の余地検証のためのストラクチャー

(2) 設備の省エネルギー・サービスプロバイダ・モデルに適した設備

本モデルでは、モニタリングによる削減実績の立証が非常に重要である。また、建物の利用方法に追従しやすい設備、例えばビル用マルチエアコンなどは、本モデルには不向きであると考えられる。

また、改修時に本モデルを適用する場合において、投資対効果を大きくするためには、熱源容量のダウンサイジングにより投資費用を抑え、更に製造熱量の発生頻度分布にあわせて、熱源の COP を向上させる計画が重要であると考えられる。

4章 エネルギー・モニタリングデータに基づく熱源設備の設計仕様と実負荷の差異分析

4.1 既存熱源設備の容量の余裕率と建築設備の運転管理の現状

建築設備の容量設定は、設計段階から各種の余裕率をもって設計されている（表 4-1）。導入外気量や熱負荷などの計算基準は、室内の最大収容人数、室内最大負荷の場合を前提としている。そのため殆どの建物で、換気・空調機器の設計容量が、利用実態と比べて過大になっている。また照明は、ランプ寿命がくるまでの劣化を考慮して設計しているため、竣工直後はおよそ 30%程度の過剰な照度となる。

しかし、建物の運転管理者が、これらの余裕率の考え方を把握していることはほとんどない。一方ビル管理者は、余裕率を持って設計された機器を、ON と OFF、または温度や圧力などのパラメータの設定を用いて、運転管理を行っている（図 4-1）。

表 4-1 設計スペックの余裕率の概要

設計スペックの構成要素	安全率の考え方
1. 法規的条件	
導入外気量	ビル管法が建基法より大きく設定
換気回数	条例等の基準が過大
フィルター性能	—
加湿能力	ビル管法が建基法より大きく設定
2. 建築計画の条件	
建物配置	—
外壁断熱性能	熱負荷計算で安全率考慮
開口部断熱性能	同上
3. 建物利用条件	
設計照度	劣化を考慮
最大照明負荷	最大負荷と実負荷にかい離
最大コンセント負荷	最大負荷と実負荷にかい離
最大機器負荷	最大負荷と実負荷にかい離
最大在室人員	最大人員と実人員にかい離
建物利用時間	—

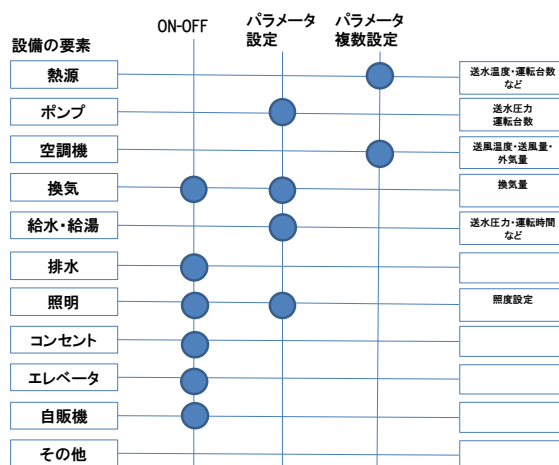


図 4-1 建築設備の運転設定方法

4.2 中央式熱源の容量の設計仕様と実負荷の差異分析

熱源設備は、通常最大熱負荷計算に基づき、外気温度・室内発熱・外皮負荷の最大値によって計算し、更に機器劣化による能力ダウンを安全率として上乘せして容量を決定しているが、第3章1・3の4建物の熱源の運転効率の分析と評価の結果から見ると、4建物全てにおいて、熱源の容量と実負荷の間に大きな乖離があった。

一般的な熱源改修では、新築時と同様の熱負荷計算を行うため、既存熱源と同等の能力となることが多い。しかし、改修時に既存建物のエネルギー消費量データを活用し、熱源容量の設計仕様と実負荷の差異分析を行うことで、熱源容量をダウンサイジングすることが可能である。熱源容量のダウンサイジングは、建築主の投資費用・原価償却費用の抑制が可能であり、更にエネルギー消費量データを活用し、部分負荷時の運転効率を改修仕様に盛り込むことで、改修後の熱源の運転効率を上げることが可能となる。その結果、エネルギー費の抑制も実現できると考えられる。

本章では、3章1・3で取り上げたKビルをモデルに、熱源設備容量の設計仕様と実負荷の差異を分析する。

4.2.1 新築時の熱負荷計算結果と熱源容量の設定

Kビルの新築時の熱源負荷計算の条件を、表4-2に示す。

外気条件は、設計時の1996年の横浜の最高外気条件TAC2.5（空気調和衛生工学会誌(40巻、7号)による。乾球温度は、過去7年間、6～9月の4ヶ月間の観測値における、24時刻別の危険率2.5の値のうちの最高温度から換算し、湿球温度も最高乾球温度と同一時刻の露点温度から換算）を採用している。

室内温湿度設定は、夏期26°C50%、冬期22°C50%である。乾球温度としては、一般的な設定といえるが、設定湿度は、夏期は低め冬期は高めに設定されている。

内部発熱については、ショールームはエリアによって違いがあるが、80～134W/m²と高い設定となっている。また事務室や会議室の照明も、29W/m²と当時のオフィスビルとしては、高い設定となっている。共用部の照明は、アクリカカバー付照明器具を採用していることもあり52W/m²と高い値が採用されている。人員密度は、事務所0.15人/m²は一般的といえるが、導入外気量の30m³/h・人に関しては、保健所の指導している25m³/h・人より多い設定となっている。

これらの条件と建築設計のガラス開口部、躯体の断熱仕様を、熱負荷計算ソフトIPAC（『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（社団法人 公共建築協会編集）』に基づく熱負荷計算及び集計計算を用いた熱負荷ソフト）に入力し、冷房負荷と暖房負荷を算出している。

表 4-2 Kビルの新築時の熱負荷計算条件と熱負荷、及び、決定熱源容量

外気条件	夏期：32.2°CDB 63.5%RH	冬期：0.6°CDB 31.7%RH
外気負荷	309kW (88RT)	

室内設計条件	夏期：26.0°CDB 50.0%RH	冬期：22.0°CDB 50.0%RH
--------	---------------------	---------------------

内部発熱条件	ショールーム	事務所	大会議室	共用部・廊下
照明	80~134 W/m ²	29 W/m ²	29 W/m ²	52 W/m ²
コンセント	18 W/m ²	35 W/m ²	18 W/m ²	0 W/m ²
人体	0.20 人/m ²	0.15 人/m ²	0.40 人/m ²	0.1~0.2 人/m ²
外気量	30 m ³ /h・人	30 m ³ /h・人	30 m ³ /h・人	0 m ³ /h・人

必要能力	冷房負荷	2,294 kW	(652RT)
	暖房負荷	1,060 kW	
決定熱源	冷房負荷	2,848 kW	(810RT)
	暖房負荷	2,317 kW	

熱負荷計算結果の内訳を、図 4-2 に示す。

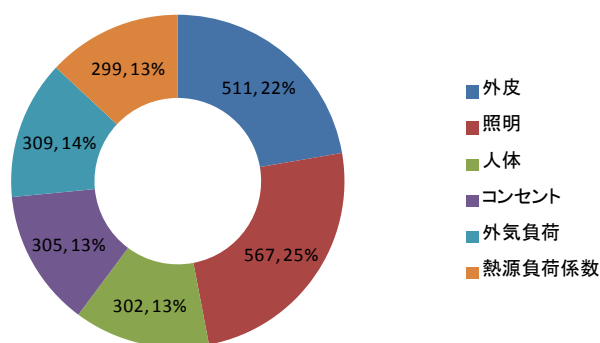


図 4-2 熱負荷の内訳 (図中の数値は、熱負荷 kW と全体に対する割合%を示す)

新築時の熱負荷の内訳は、ガラス開口部や躯体部分の負荷である外皮が 22%、照明が 25%、人体が 13%、コンセントが 13%、外気負荷が 14%となっている。更にこれらの合計の負荷に熱源負荷係数として 15%の安全率を見ている。これらの負荷は、設計条件を 100%として計算した結果である。

尚、熱源の容量決定には、15%の安全率を考慮した上記の熱負荷計算結果 2294kW に対し、24%の余裕をもって 2848kW (810RT) を選定している。この余裕率は、熱源の仕様・ラインナップにより、必要容量を満足する機器を選定することで生まれる余裕率と、将来の機器能力劣化を考慮して設計者が判断して決める余裕率によって決定されている。

4.2.2 熱負荷の変動要因

熱負荷の実態は、外皮、照明、人体、コンセント、外気の各負荷が変動して発生している。空調 2 次側設備である空調機やファンコイルユニットは、これらの負荷の最大値の合計に基づいて選定する必要があるが。しかし、熱源の選定に際しては、これらの負荷を 100% として選定した場合、実負荷との乖離が非常に大きくなる。

例えば、自席のあるオフィスエリアと社内の会議室や社員食堂などは、人員の入室率が高い場所で、照明・人体・コンセントの熱負荷が発生するものであり、全ての場所で、同時に熱負荷が発生するわけではない。

また、K ビルでは、明るさセンサーによる自動調光を行っている。熱負荷計算において、 $29\text{W}/\text{m}^2$ の負荷を採用しているが、実際には自動調光により照明負荷は絞られている。筆者が、設備設計を行い 1998 年に竣工、その後照明電力の性能検証を行った D ビルの事例では、机上照度 700 ルクス設計条件で、K ビルと同様の Hf32W 型のランプを自動調光したところ、建物の照明電力消費量は昼間で $10\sim 11\text{W}/\text{m}^2$ 、夜間でも $15\text{W}/\text{m}^2$ の消費電力となった。また、図 4-3 に示す定格電力消費量は、机上面を 700 ルクスとするための定格消費電力を示しており、照明器具 100% の場合の電力消費量は、 $20\text{W}/\text{m}^2$ である。

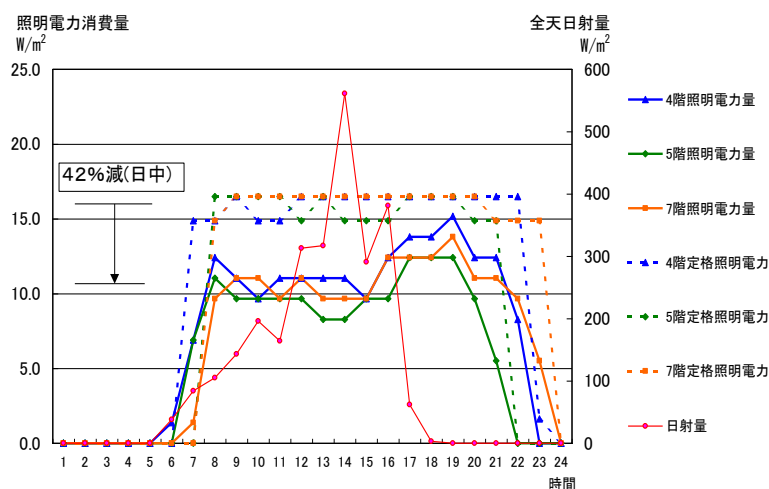


図 4-3 明るさセンサーを用いた照明電力消費量の実測事例(D ビル)

同様に、筆者が設備設計を行い 2008 年に竣工、その後、照明とコンセントの電力消費量の傾向把握を行った N ビルの事例を図 4-4 に示す。照明の仕様は、D ビルと同様であり、照明電力消費量は、 $10\text{W}/\text{m}^2$ 以下で推移している。また、コンセント電力は、3 階のみ $20\text{W}/\text{m}^2$ 近い値となっているが、2 階・4 階は、 $10\text{W}/\text{m}^2$ 以下で推移している。3 階のオフィスは、着席率の高い開発部門が入居し、人員密度は、 $0.16\text{人}/\text{m}^2$ であり、K ビルの設計条件と人員と

しては同等となっている。これらの事例からコンセント電力は、設計条件の $35\text{W}/\text{m}^2$ に対して、 0.15 人/ m^2 の人員の着席率が高いエリアで $20\text{W}/\text{m}^2$ 程度であり、営業部門など着席率が低いエリアは、 $10\text{W}/\text{m}^2$ 以下であった。

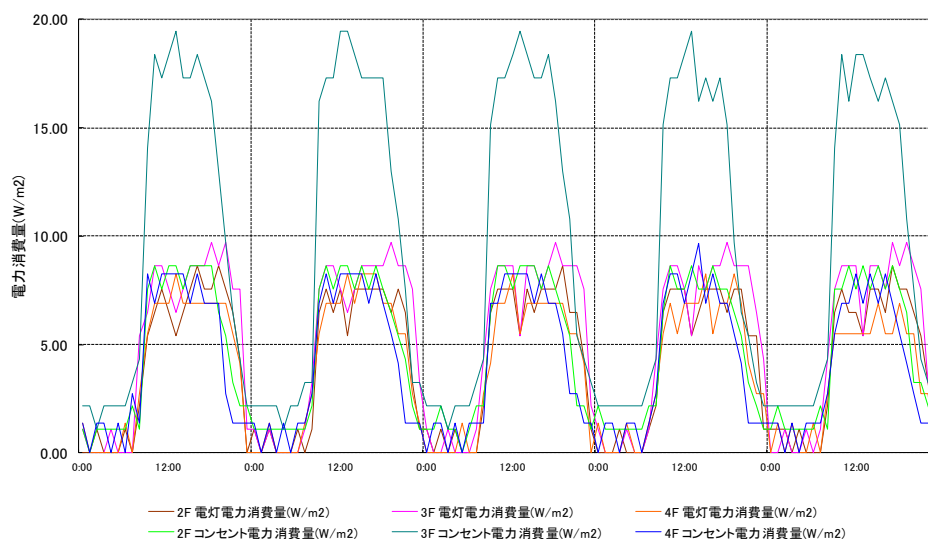


図 4-4 明るさセンサーを用いた照明、及び、コンセント電力消費量の実測事例(Nビル)
(2008年9月1日(月)~9月5日(金))

また、竣工時と現在では、地球温暖化または都市のヒートアイランド化に伴い、設計外気条件も違ってきている。設計外気条件の違いは、外皮負荷、外気負荷の増加要因となる。

4.2.3 建物所有者との熱負荷変動要因に関する合意事項

4.2.2 の変動要因をふまえ、改修時の熱源用の空調熱負荷計算に関しては、建物所有者と事前に以下の項目について協議し合意しておく必要がある。

- ①建物の各室の利用用途
(将来の用途変更の有無を含む)
- ②照明の照度の考え方
(明るさセンサーを設置している場合は、調光後の電力消費を利用すること)
- ③コンセント負荷の負荷率の考え方
- ④建物内の人員の移動を考慮した人体発熱のあり方
- ⑤設計外気条件の見直し

4.2.4 改修時の熱負荷計算結果と熱源容量の設定

4.2.3 の熱負荷計算の条件を建物所有者と合意のうえ、新築時と同様の最大熱負荷計算を行った。

- ①建物の各室の利用用途は、現状のままとする。
- ②照明電力消費量は、現状の照度を維持するためのものとする。
- ③コンセント負荷は、同時使用率を 50%とする。
- ④共用部（廊下などを含む）の人員は、専用部の人員の移動を想定しゼロとする。
- ⑤設計外気条件は、最新の TAC2.5 を利用する。

表 4-3 に上記の条件を反映した K ビルの改修時の最大熱負荷計算条件と計算結果を示す。

表 4-3 K ビルの改修時の熱負荷計算条件と熱負荷、及び、決定熱源容量

外気条件	夏期：33.1°CDB 61.0%RH	冬期：2.1°CDB 34.0%RH		
外気負荷	360kW (102RT) 16%増			
室内設計条件	夏期：26.0°CDB 50.0%RH	冬期：22.0°CDB 40.0%RH		
	ショールーム	事務所	大会議室	共用部・廊下
照明	80~134 W/m ²	15 W/m ²	29 W/m ²	52 W/m ²
コンセント	18 W/m ²	18 W/m ²	18 W/m ²	0 W/m ²
人体	0.20 人/m ²	0.15 人/m ²	0.40 人/m ²	0 人/m ²
外気量	30 m ³ /h・人	30 m ³ /h・人	30 m ³ /h・人	0 m ³ /h・人
必要能力	冷房負荷	1,663 kW	(472RT) 28%減	
	暖房負荷	1,203 kW	13%増	

最大熱負荷計算結果から冷房時の必要熱量は、28%減の 1663kW (472RT) となった。この結果をもとに熱源容量を竣工時の 2848kW (810RT) から 1793kW (510RT) と仮定し、次に冷房熱負荷の内訳を考察する。

冷房熱負荷は、照明負荷が 30%減、人体負荷が 22%減、コンセント負荷が 61%減となり、外気負荷は 12%増となった。

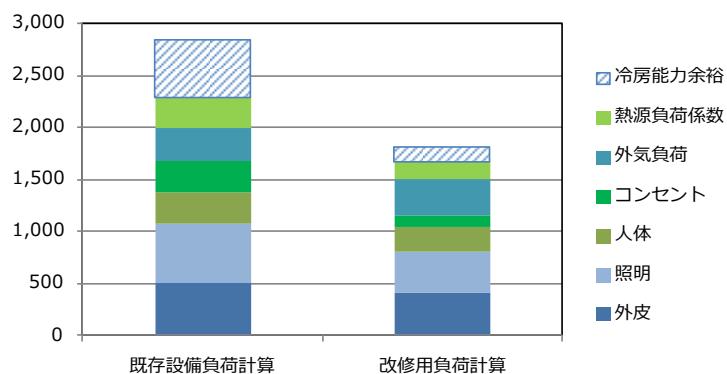


図 4-5 新築時と改修時の冷房熱負荷計算の差異と熱源の余裕率

尚、熱源の選定に関しては、従来の熱負荷計算時の熱負荷係数による安全率 15%を考慮している。

一方、暖房負荷は、内部発熱負荷の減少に伴い改修時の計算結果の方が、新築時より小さくなっている。しかし、熱源の容量決定は冷房負荷の方が大きいため、この差異は熱源決定をする際に影響を与えていない。

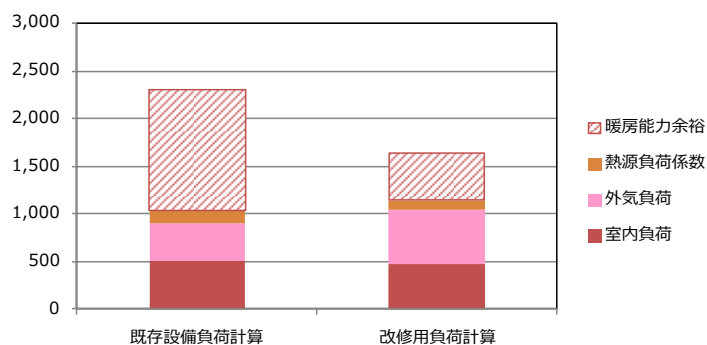


図 4-6 新築時と改修時の暖房熱負荷計算の差異と熱源の余裕率

4.2.5 新築時と改修時の熱負荷計算結果とエネルギー・モニタリングデータによる考察

既存熱負荷計算結果と改修用熱負荷計算結果及び 2012 年・2013 年のエネルギー・モニタリングデータによる冷房ピーク負荷計測結果の比較を、図 4-7 に示す。改修用熱負荷計算結果により、熱源容量を 1793kW (510RT) とした場合でも、過去の冷房ピーク負荷に対して十分な余力があることが分かる。

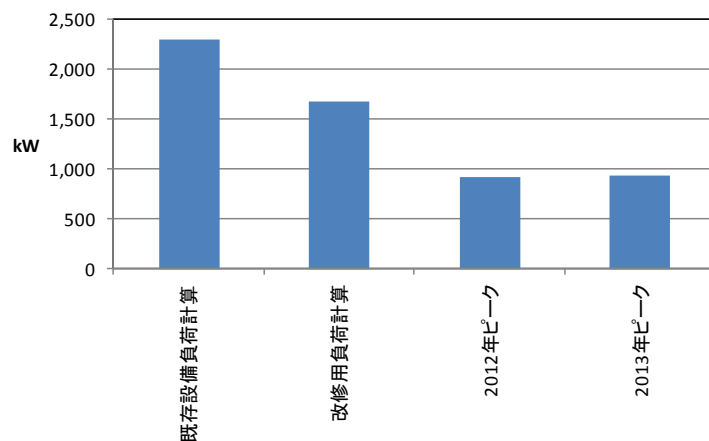


図 4-7 新築時と改修時の暖房熱負荷計算結果とモニタリングデータの比較

4.2.6 設計仕様と実負荷の差異分析による経済効果と本モデルへの適用及び普及の可能性

通常の改修では 2848kW (810RT) の熱源容量が必要とされるのに対し、設計仕様と実負荷の差異分析を行うことにより 63%の 1793kW (510RT) の容量に抑えられることは、建物所有者にとって、投資金額を約 30%削減ことと同じである。従来は、熱源の経年劣化

に伴う改修を投資対象として取扱うことは難しかったが、今後は、設計仕様と実負荷の差異分析を採用することで、劣化更新のための費用が、省エネルギー投資に代わる可能性がある。

3.1.3 章の空調熱源運転効率の分析と評価(2)でモニタリングを行った I ビルにおいても、K ビルと同様に設計仕様と実負荷の差異分析の検討を行った。

I ビルでは、冷暖房の熱源 4 台のうち、ガス焚冷温水機の 3 台を稼働して冷暖房を行っていた。そのため、既存の 1676kW (460RT) の熱源容量を 22%ダウンサイジングして、ガス焚冷温水機 3 台の 1266kW (360RT) に改修した場合の経済性評価を行った。

(表 4-4 提案 1)

エネルギー・モニタリングデータからは、熱源の定格 COP0.93 に対して、2013 年 7 月～9 月の実績平均 COP が 0.56 であること、また、夏期 3 ヶ月間 (7 月～9 月) の製造冷熱量の発生頻度分布からは、55%の時間帯が 1600MJ 以下の製造熱量であり、それは定格の熱源能力の 1 台分相当であったことから、低負荷時の COP 改善を改修計画案に盛り込んだ

(表 4-4 提案 2)

表 4-4 の提案 1 では、ダウンサイジング設計により投資金額を抑制している。しかし、投資回収期間については、改修に伴うガス焚冷温水機の COP が、既存と改修後とでは省エネルギー効果が 24%あるにも関わらず、21 年と長くなっている。これは、ESCO 事業の契約期間である 20 年に近いことが分かる。

一方、提案 2 では、低負荷時の低い COP を改善するため、電気式ヒートポンプチラーをダウンサイジング改修案に盛り込んだところ、改修費用は提案 1 より高くなるが、省エネルギー (費用ベース) により、69%の削減が可能になることが分かった。

また、第 1 章で記載したエネルギー使用合理化等補助事業を活用することで、投資回収期間は、6.4 年となることが分かる。

劣化更新が必要な熱源機器であっても、エネルギー・モニタリングデータによる熱源仕様と、実負荷の差異分析→ダウンサイジング設計→COP 改善のための熱源選定を行うことで、その費用は、省エネルギー投資となり得ると言える。

また、投資回収期間を 6.4 年程度にできるということは、本モデルに適用可能であり、多くの既存建物の熱源の省エネルギー化が可能になると言える。

表 4-4 Iビルのダウンサイジング改修と COP 改善の経済性評価

		現状	提案 1	提案 2
熱源構成		ガス焚冷温水発生機 ×3台 (360RT) 空冷HPチラー×1台 (100RT) 合計 460RT	現状と同じ熱源構成でダウンサイジング更新 ガス焚冷温水発生機 ×3台 (360RT) 既存空冷ヒートポンプチラーは撤去	ガス+電気のハイブリッド熱源化 高効率HPチラー<新設>×1台 (120RT) 高効率冷温水発生機<新設>×2台 (240RT) 既存空冷ヒートポンプチラーは撤去
システム概念図			 <small>* 2012年11月~2013年10月の計測結果より、施設全体の空調が賄える能力にダウンサイジングする。</small>	 <small>* 2012年11月~2013年10月の計測結果より、施設全体の空調が賄える能力にダウンサイジングする。</small>
エネルギー・環境性	年間電力消費量	— kWh/年	— kWh/年	83,003 kWh/年
	年間ガス消費量	91,046 m3/年	68,854 m3/年	21,468 m3/年
	CO2 排出量計	203 ton-CO2/年	154 ton-CO2/年	63 ton-CO2/年
	CO2 削減効果	— ton-CO2/年	-49 ton-CO2/年	-140 ton-CO2/年
	対現状 (削減率)	100 (0) %	76 (-24) %	31 (-69) %
経済性	光熱水料金計	14,100,000 円/年	10,660,000 円/年	5,300,000 円/年
	料金削減効果 (①)	— 円	-3,440,000 円/年	-8,800,000 円/年
	対現状比 (削減率)	100 (0) %	76 (-24) %	38 (-62) %
	イニシャルコスト	— 円	72,450,000 円	100,530,000 円
	補助金 (工事費×1/2) 撤去費は対象外	— 円	0 円	-44,150,000 円
	実投資額 (②)	— 円	72,450,000 千円	56,380,000 円
投資回収年数 (②÷①)	— 年	21.1 年	6.4 年	

本章の知見

熱源仕様と実負荷の差異分析により、改修時の熱源容量のダウンサイジングが、可能である。

この場合、以下の差異要因を明確にして、建物所有者と合意しておく必要がある。

また、モニタリングデータを活用し COP を改善する熱源構成とすることで、投資対効果が大幅に改善し、本モデルへの適用が容易になる。

建物所有者合意事項

- ① 建物の各室の利用用途
(将来の用途変更の有無を含む)
- ② 照明の照度の考え方
(明るさセンサーを設置している場合は、調光後の電力消費を利用すること)
- ③ コンセント負荷の負荷率の考え方
- ④ 建物内の人員の移動を考慮した人体発熱のあり方
- ⑤ 設計外気条件の見直し

5章 簡易なモニタリングデータを説明変数とするエネルギー消費量予測についての考察

3章では、電力最大デマンドは、一日の電力消費量との相関が強いことが分かった。このことは、電力デマンドレスポンスにおいて、複数の建物の電力消費量を一元的にモニタリングすることで、複数の建物の合計電力デマンドのベンチマーク設定が可能であり、このベンチマークから電力最大デマンドの抑制効果の検証が可能といえる。そこで、本章では、電力と同様に、簡易な説明変数を用いて空調エネルギー消費量の予測の可能性を検証する。電力と同様に、空調エネルギー消費量の予測が可能であれば、複数建物の空調エネルギー消費量のベンチマーク設定を行い、複数建物の熱融通による効果が定量化でき、熱版デマンドレスポンスの熱最大デマンドの抑制効果の検証が可能になる

5.1 エネルギー消費量予測の仮説

本章では、エネルギー消費量予測を簡易に行うことの可能性として、外気温度等を説明変数として、エネルギー消費量の予測の可能性を検討、考察する。具体的には、第3章で取扱った各種のエネルギー・モニタリングデータは、電力消費量と外気温度、DHC熱消費量と外気温度、熱源エネルギー消費量と外気温度において、冷房時は正の相関が、暖房時には負の相関があった。

そこで、①ヒートポンプチャラー、②ガス焚吸収式冷温水機、③電気ヒートポンプエアコンについて、相関分析により、2変数の間に線形関係の有無とその強さで判定することを試みた。

下記の相関係数の算出式を基に、エネルギー・モニタリングデータを用いて相関係数 R^2 が、0.7以上の強い相関となるデータの取扱い手法を考察する。

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

\bar{x} 、 \bar{y} はそれぞれデータ $x = \{x_i\}$ 、 $y = \{y_i\}$ の相価平均を示す

一方、エネルギー消費量は、下記の要因にて、影響をうける。

- ①外気温湿度
- ②日射量
- ②曜日による建物稼働の違い
- ③時間による建物稼働の違い

そのため、上記のうち、日射量は外気温度で代用できると仮定し、日射量を除く3要素を説明変数として相関分析を行った。

5.2 電気式熱源のエネルギー消費量予測手法の考察

3.1.3 (3) の DL-K ビルのエネルギー・モニタリングデータを用いて、ヒートポンプチラーのエネルギー消費量予測の検証を行った。

ヒートポンプチラーが運転している時間の外気温度とヒートポンプチラーの電力消費量、及び製造熱量の1年間の散布図を図5-1に示す。

冷暖房時の電力消費量は、外気温度との関係で相関はあるが、相関係数は高くないことが分かる。

冷房時の相関係数は、0.43 で二つの層に分かれており、暖房時の相関係数は、0.22 と低い。

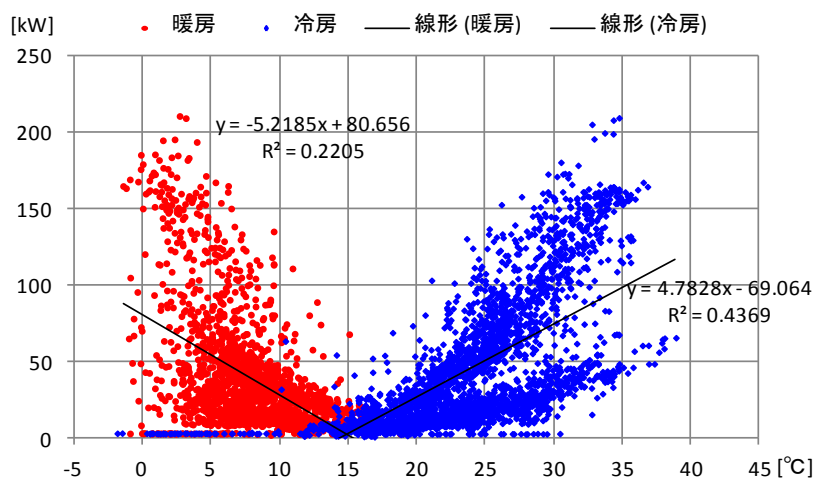


図 5-1 DL-K ビルの外気温度と熱源本体電力消費量の相関

次に、冷房時に関して同一のデータを曜日別に層別し相関係数を確認したところ、0.47 から 0.64 に分布していることが分かった。図 5-1 の相関係数より高くなったが、強い相関があるとは言えない。

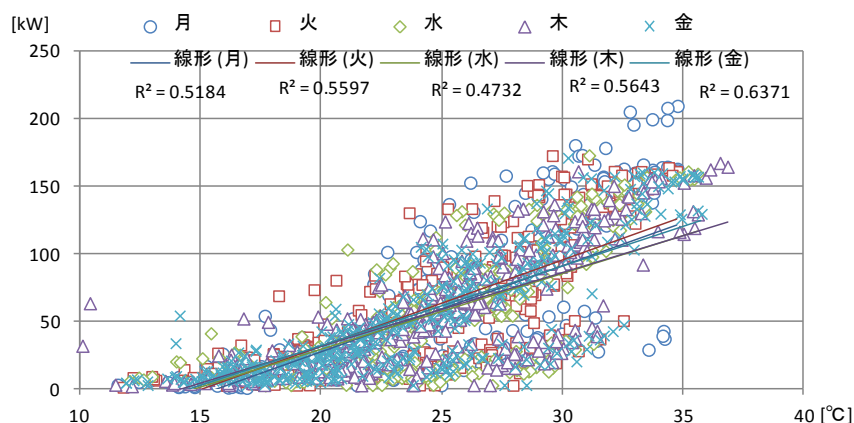


図 5-2 DL-K ビルの外気温度と熱源本体電力消費量の曜日別の相関(冷房)

さらに、内部発熱は時間によって着席率が違うことなどから、時刻別に相関を確認した。層別の時刻は、熱源起動の7時00分~7時59分から、残業時間に入る18時00分~18時59分までの各々1時間データで層別した。その結果、始業前の7時相関係数は0.63であったが、テナント各社の就業時間帯と思われる8時~18時の相関係数は0.76~0.85であったため、強い相関があることが分かった。

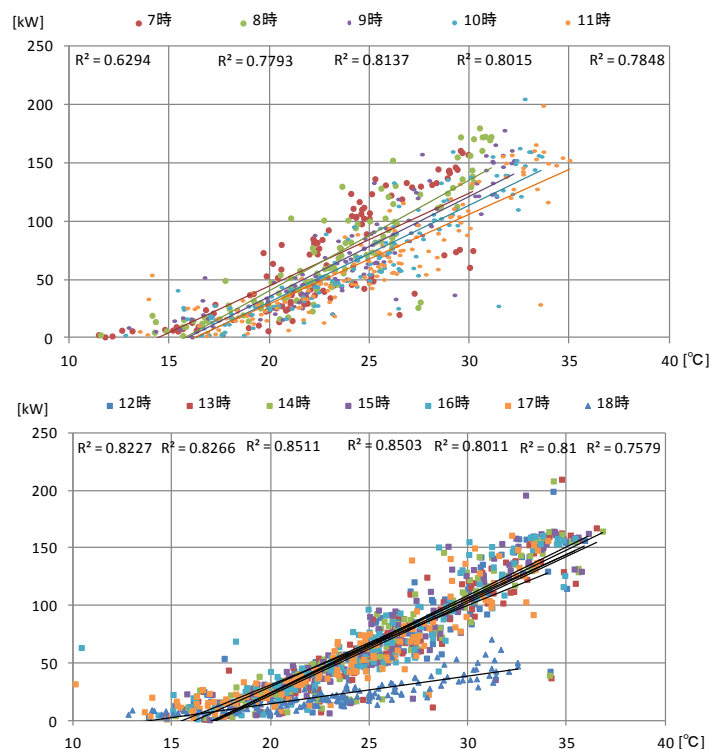
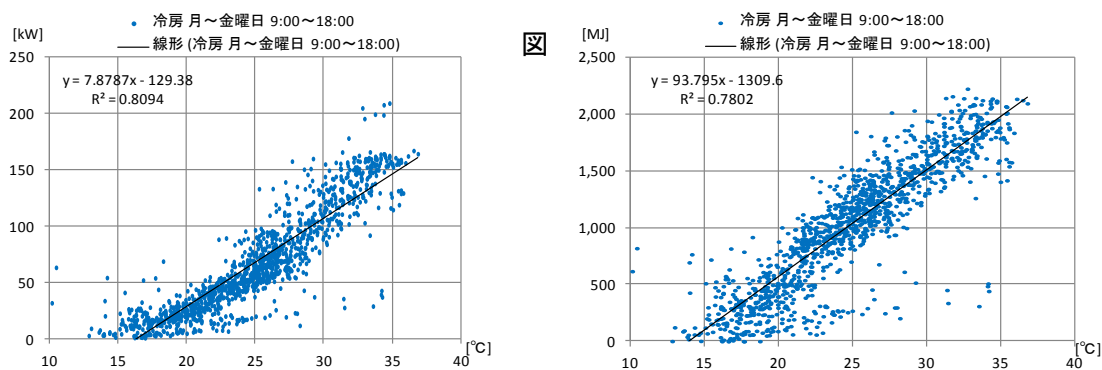


図 5-3 DL-K ビルの外気温度と熱源本体電力消費量の時刻別の相関(冷房)

9時~18時の相関が強いため、この時間の電力消費量と製造熱量の相関を比較検証した。その結果、相関係数は熱源本体電力消費量で0.81、製造熱量で0.78と、いずれも強い相関であることが分かった。



5-4 DL-K ビルの外気温度と熱源本体電力消費量(左図)と製造熱量(右図)の相関

次に、暖房時に関しても、冷房時と同様に時刻別の相関を確認した。同一のデータを曜日別に層別し、相関係数を確認した。暖房時の全データの相関係数 0.22 (図 5-1) に対して、曜日別相関係数は、0.19 から 0.34 に分布している (図 5-6)。また、月曜日は全体の相関係数より小さくなっていることが分かった。火曜日~金曜日は、相関係数は高くなったが、強い相関があるとは言えない。

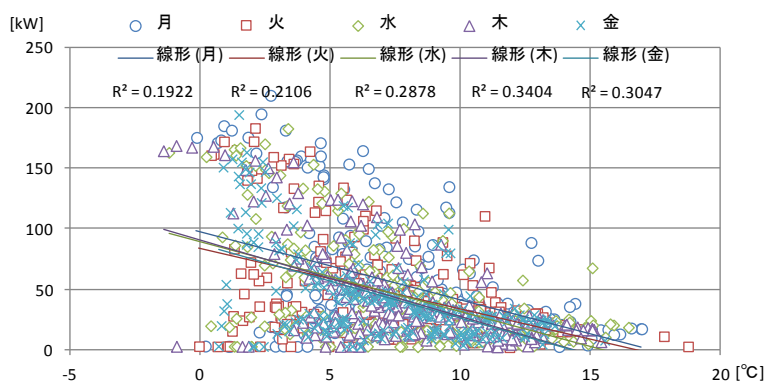


図 5-6 DL-K ビルの外気温度と熱源本体電力消費量の曜日別の相関(暖房)

更に、冷房時と同様、内部発熱の違いは、時間によって着席率などが違うと想定し、時刻別に相関を確認した。層別の時刻は、熱源起動の 7 時 00 分~7 時 59 から、残業時間に入る 18 時 00 分~18 時 59 分までの各々 1 時間データで層別した。

その結果、冷房時とは違い、始業前の 7 時相関係数は 0.61 であったが、テナント各社の就業時間帯と思われる 8 時~18 時の相関係数が 0.50~0.70 と低い相関となっていること、また、午前中より午後、更に午後でも時間が遅くなるほど相関が高くなることが分かった。(図 5-7)

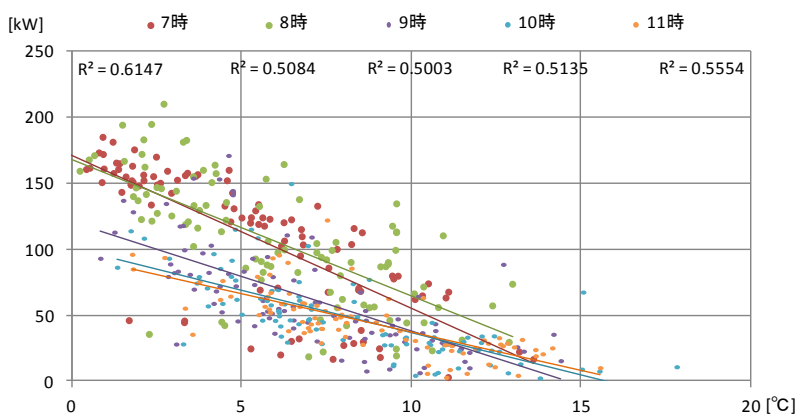


図 5-7 DL-K ビルの外気温度と熱源本体電力消費量の時刻別の相関(暖房)その1

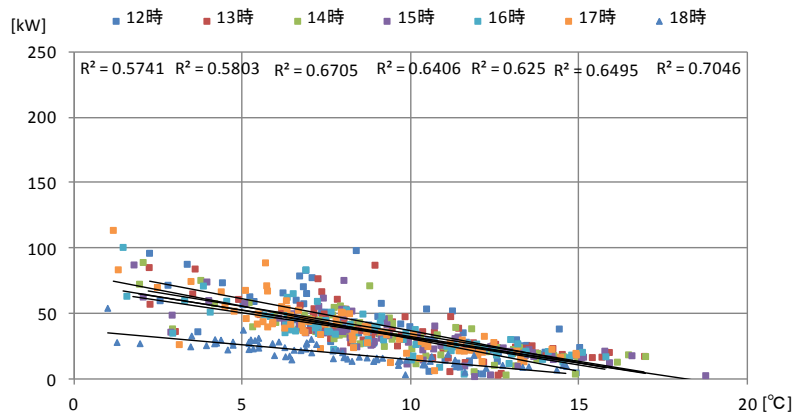


図 5-7 DL-Kビルの外気温度と熱源本体電力消費量の時刻別の相関(暖房)その2

9時~18時の相関は弱いですが、冷房時と同様にこの時間帯の電力消費量と製造熱量の相関を比較検証した。その結果、熱源本体電力消費量で0.54、製造熱量で0.48といずれも相関が強いとは言えないことが分かった。(図 5-8)

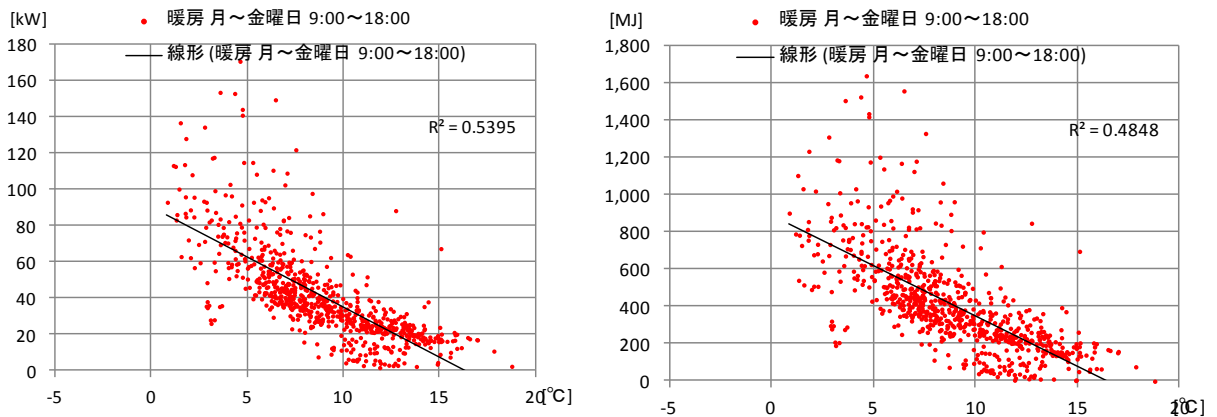


図 5-8 DL-Kビルの外気温度と熱源本体電力消費量(左図)と製造熱量(右図)の相関

次に、1-（想定値の9時00分~18時59分の合計値／実測値の9時00分~18時59分の合計値）の割合を誤差率と定義して、10時間の誤差率を集計した。その結果、4月26日（金）の中間期の電力消費量の誤差率が-8.4%、製造熱量の誤差率が-2.1%となった。しかし時刻別では、9時から13時頃までは、想定値が実測値を上回り、14時以降はその逆となる傾向があることが分かった。（図5-9）

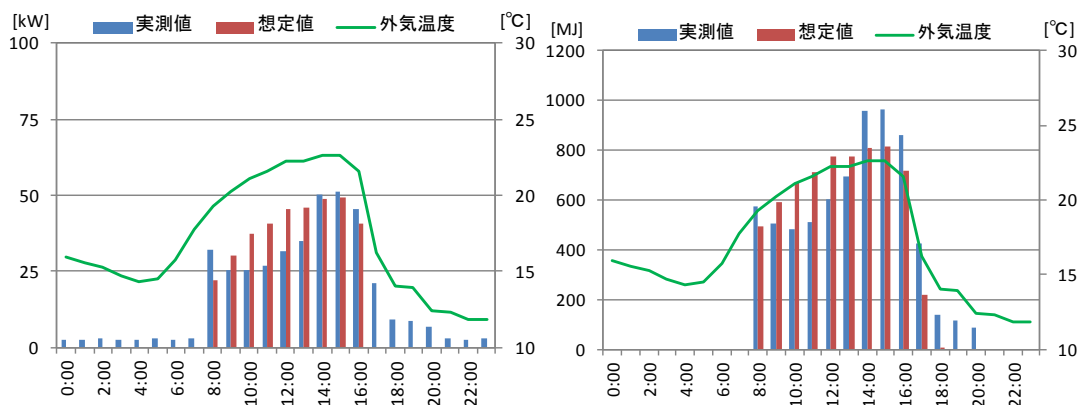


図 5-9 DL-Kビルの相関係数を用いた推定値と実測値の電力消費量・製造熱量の比較
(2013年4月26日(金))

また、7月12日（金）の夏期の誤差率は、電力消費量が+18.2%、製造熱量が+9.1%となった。時刻別の差異では、朝から実測値が予測値を上回る傾向があった。（図5-10）

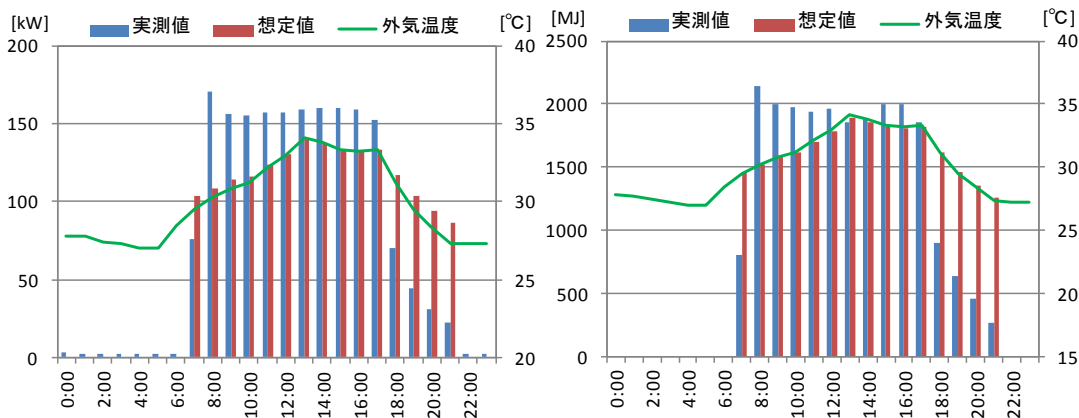


図 5-10 DL-Kビルの相関係数を用いた推定値と実測の電力消費量・製造熱量の比較
(2013年7月12日(金))

また、2月14日（金）の冬期の誤差率は、電力消費量が+20.8%、製造熱量が+7.2%となった。時刻別の差異では、特に午前中の暖房立ち上りの時間帯の実測値が、予測値を大きく上回る傾向があった。（図 5-11）

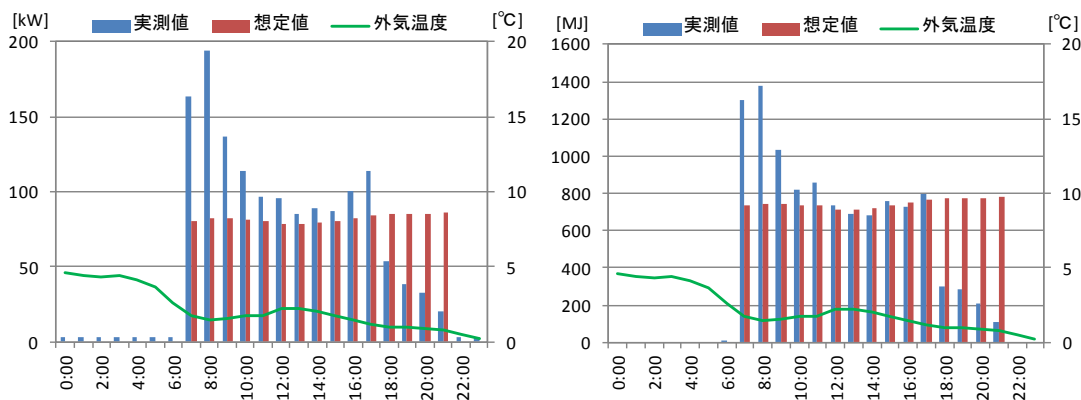


図 5-11 DL-Kビルの相関係数を用いた推定値と実測の電力消費量・製造熱量の比較
(2013年2月14日(金))

これらの結果から、電気式熱源のエネルギー消費量は、外気温度を説明変数とし、曜日別・時刻別に相関を確認することで予測の可能性があると言える。

しかし、時刻別の負荷予測に対しては誤差率が大きいため、1日の合計エネルギー消費量として取扱うべきと考える。本事例による誤差率は、±10%以内であるが、外気温度との相関係数が、熱源本体電力消費量で0.81、製造熱量で0.78と同等であったが、時刻別の評価から熱源電力消費量の予測精度は、製造熱量に比べて低いため、予測は製造熱量で行うべきと考える。

5.3 ガス式熱源のエネルギー消費量予測手法の考察

次に、3.1.3 (2) のIビルのエネルギー・モニタリングデータを用いて、ガス焚吸収式冷温水機のエネルギー消費量予測の検証を行った。

Iビルは、自社使用のオフィスビルであるため、5.2の結果も踏まえ、集計するデータは、平日の8時~18時のガス焚吸収式冷温水機が稼働している時間とした。外気温度とガス焚吸収式冷温水機のガス消費量の1年間の散布図を、図 5-12 に示す。

冷暖房時の電力消費量は、外気温度との相関はあるが、電気式熱源よりも相関係数が低いことが分かる。冷房時の相関係数は0.28、暖房時の相関係数は0.33と、いずれも小さい値である。

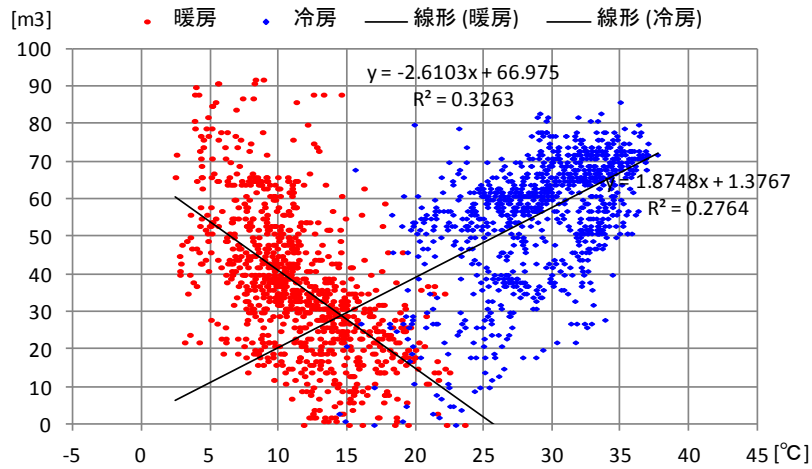


図 5-12 Iビルの外気温度と熱源本体電力消費量の相関

曜日別の層別では、図 5-12 の相関係数と大きな変化は無かった。(図 5-13)

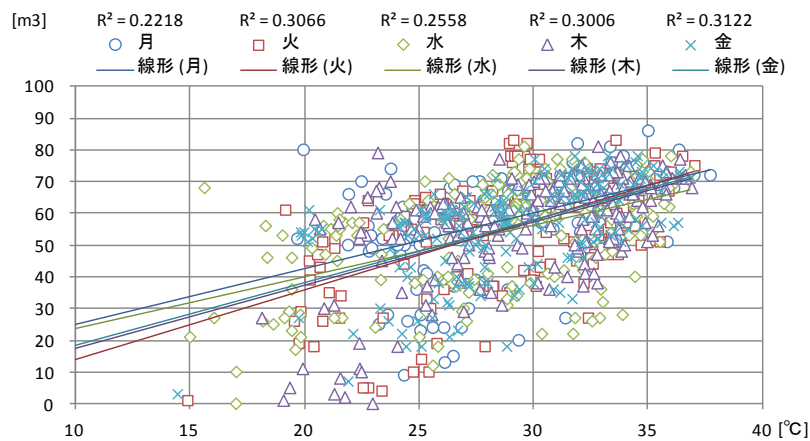
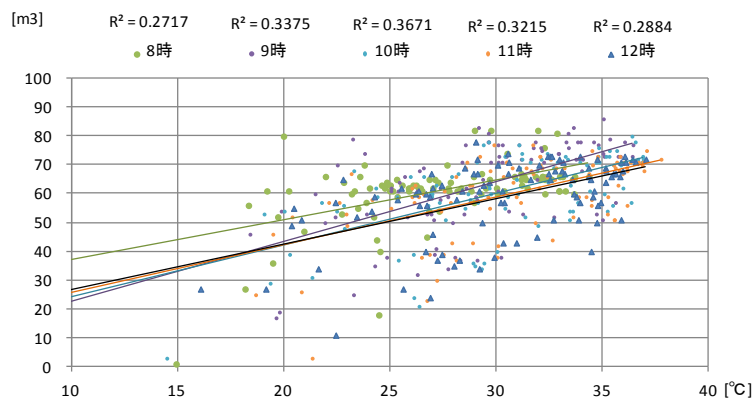


図 5-13 Iビルの外気温度と熱源本体ガス消費量の曜日別の相関(冷房)

時間別の層別でも、図 5-12 の相関係数と大きな変化は無かった。(図 5-14)



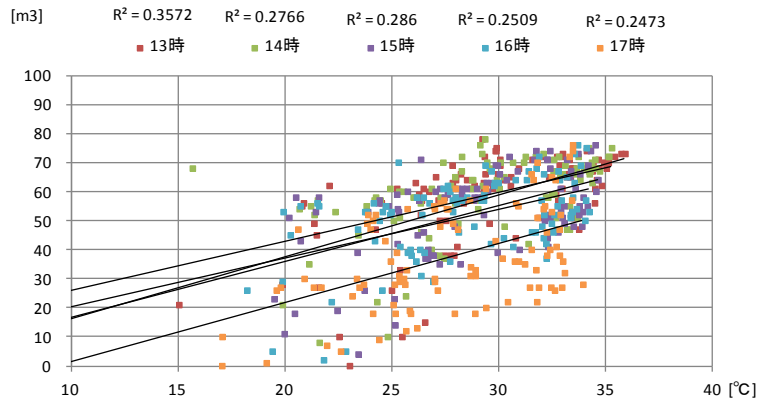


図 5-14 Iビルの外気温度と熱源本体ガス消費量の時刻別の相関(冷房)

曜日別・時刻別に層別した結果、外気温度とガス消費量の相関向上は見られなかった。しかし、外気温度と製造熱量の関係は、外気温度とガス消費量の相関に比べると高い値となっていることが分かる。(図 5-15)

このことは、ガス焚吸収式冷温水機は運転負荷率によって COP が大きく変動するため、製造熱量の予測精度が高い場合でも、その時の COP が変動することによりガス消費量の予測精度が低くなると考えられる。

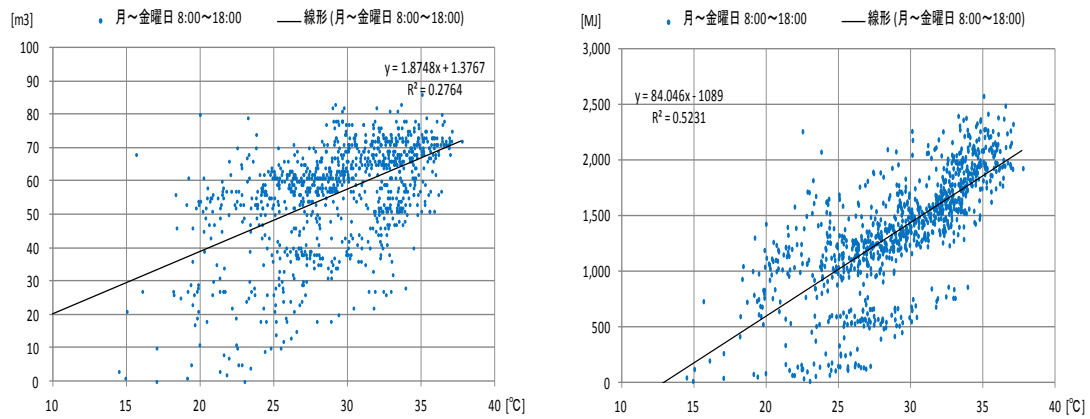


図 5-15 Iビルの外気温度と熱源本体ガス消費量(左図)と製造熱量(右図)の相関

5.4 電気式ヒートポンプエアコンのエネルギー消費量予測手法の考察

次に、3.1.5のLビルその6高松のモニタリングデータを用いて、電気式ヒートポンプエアコンのエネルギー消費量予測の検証を行った。

Lビル高松は、1階がショールームで、水曜日の定休日以外は、10時～17時にオープンしている。2階は自社使用のオフィスビルで、最終退社時間は20時である。そのため、データ分析の時間帯は、5.2の結果も踏まえ平日の8時～20時とした。外気温度と動力トランス電力消費量の1年間の散布図を、図5-16に示す。

冷暖房時の電力消費量は、外気温度との関係で、冷房時の相関係数は0.63、暖房時の相関係数は0.43と、冷房時の相関が高いと言える。

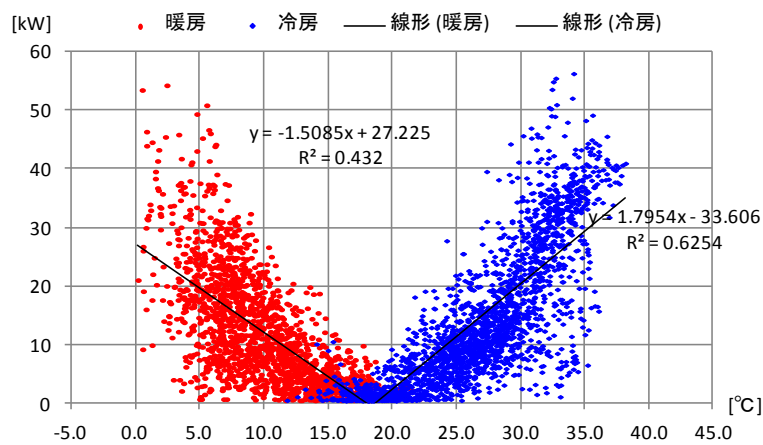


図 5-16 Lビル高松の外気温度と動力トランス電力消費量の相関

前章同様に、曜日別に相関係数を確認した。本建物は、月・火・木・金曜日は、ショールームとオフィスの両方を使っているが、土日は、ショールームのみ、水曜日はオフィスのみを利用している。そのため相対的には、水・土・日曜日の相関係数がその他の曜日より小さくなっている。

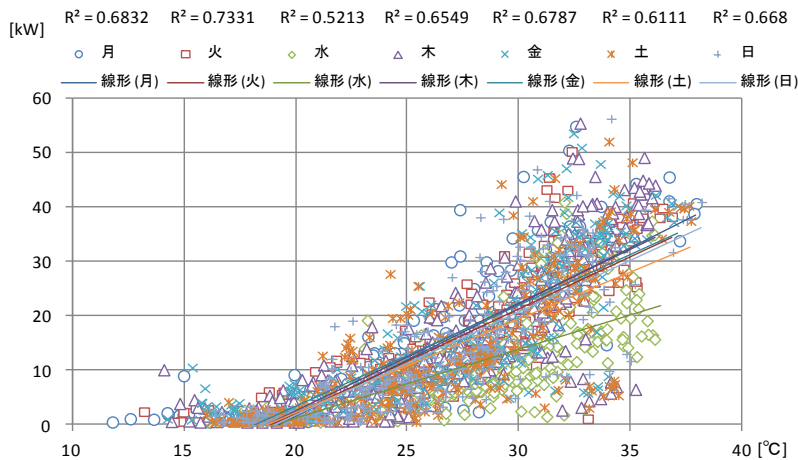


図 5-17 Lビル高松の外気温度と動力トランス電力消費量の曜日別の相関(冷房)

そこで、データ分析をショールームとオフィスの稼働時間が重なる 10 時~18 時、月・火・木・金曜日に絞り、曜日別の層別係数を分析した。相関係数は、10 時のみ 0.69 となったが、その他の時間は、全て 7.3 以上の強い相関があることが分かった。

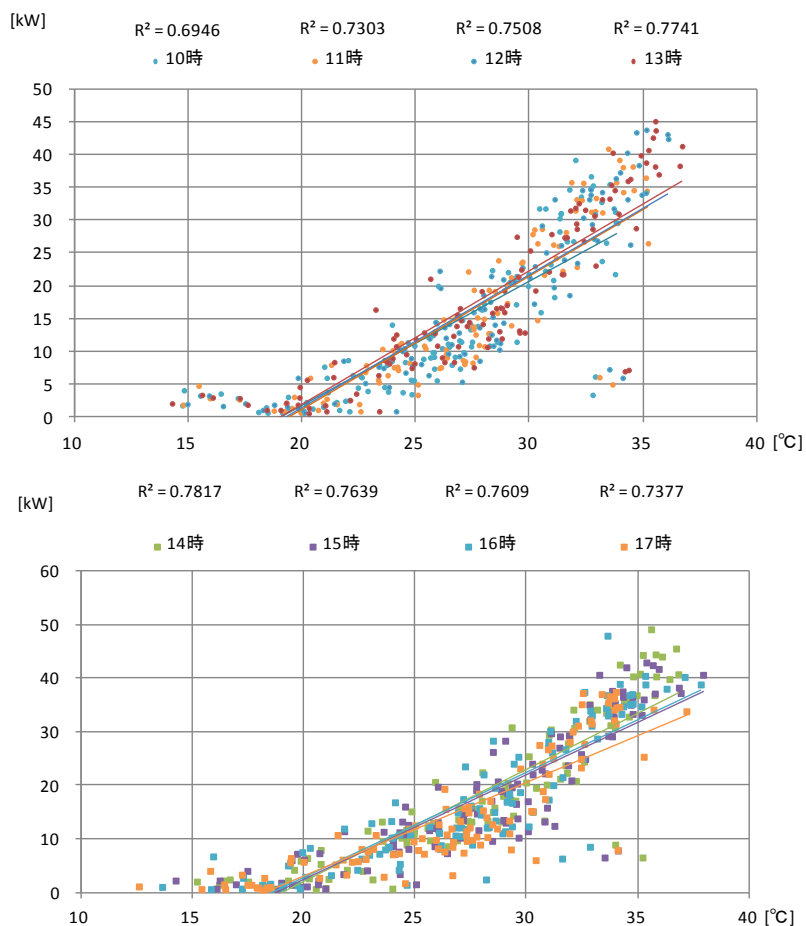


図 5-18 Lビル高松の外気温度と動カトランス電力消費量の時刻別の相関(冷房)

これらのデータの層別から、冷房・暖房ともに、10 時~18 時の月・火・木・金のみを集計対象として、相関分析を行った。

その結果、相関係数は 8 時~20 時の 365 日のデータ分析の相関係数(図 5-16)冷房時=0.63、暖房時=0.43 に対して、冷房時=0.75、暖房時=0.63 と大幅に大きくなった。

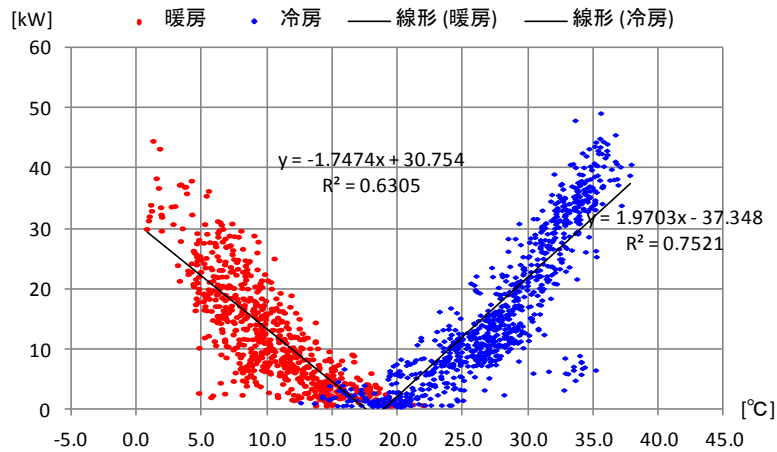


図 5-19 Lビル高松の外気温度と動カトランス電力消費量の相関(10時～18時 月・火・木・金)

冷房・暖房ともに、外気温度と時刻別・曜日別に層別した相関が強いことから、図 5-19 の相関係数を用いて、相関係数と外気温度から算出した想定値と実測値の差異を検証した。中間期、冬期、夏期の経時変化を図 5-20～21 に示す。中間期に暖房を行っている 2013 年 4 月 1 日の誤差率は -11.2% だった。9 時～11 時は、実績値が想定値より大きくなっているが、16 時以降は、外気温度の低下に伴い想定値が大きくなっているものの、実績値は小さな値となっている。これは、午前中に建物の蓄熱負荷などで暖房立上り時の負荷が発生し、夕方からは、外気負荷及び貫流負荷のみとなっていることなどが考えられる。冬期の 2 月 11 日の誤差率は、16.6% で、時刻別の傾向は、中間期と同様であった。

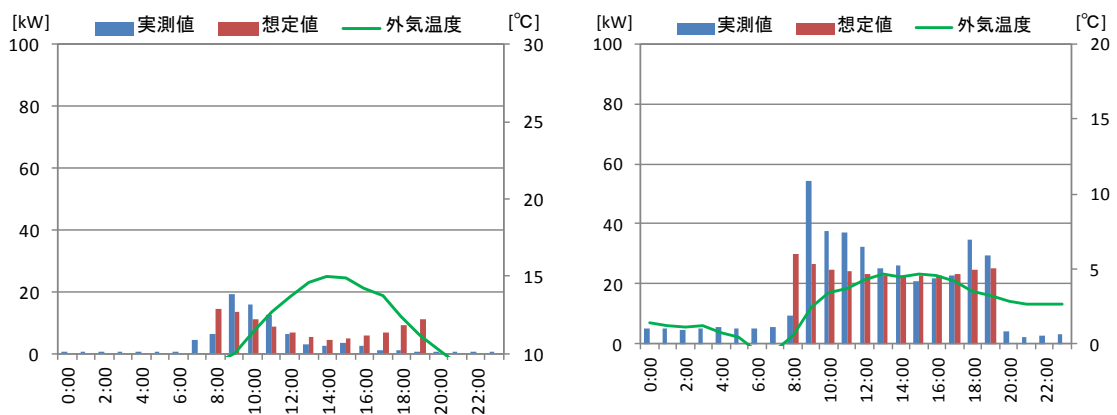


図 5-20 Lビル高松の相関係数を用いた推定値と実測値の電力消費量の比較
(2013 年 4 月 1 日(月)左、2013 年 2 月 11 日(火)右)

夏期の 2013 年 8 月 1 日の想定値と実績値の比較を、図 5-21 に示す。誤差率は、6.4%である。朝 9 時の実績が、想定値を大幅に上回っている。しかしその後は、夕方 18 時頃まで、想定値と実績値が近い値となっている。暖房時の比較と同様に、朝の空調起動時は、立上り負荷による実績値が大きくなっていると考えられる。

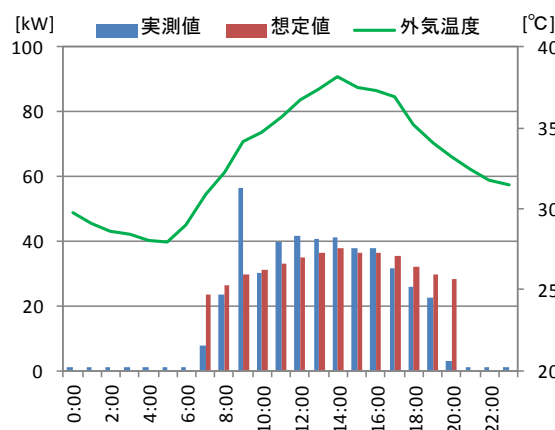


図 5-21 Lビル高松の相関係数を用いた推定値と実測値の電力消費量の比較
(2013 年 8 月 1 日(日))

5.5 電力デマンド予測の考え方による熱デマンドの予測の検証

前節までの検証において、外気温度を説明変数として時刻別の熱消費量予測が難しいが分かった。そこで、3 章 1.1 で用いた 24 時間の電力消費量と電力デマンドの相関が強いことから、熱消費量においても同様の関係性が存在するのか検証を行った。

分析対象は、前節で対象とした 3 建物とした。電力デマンドの分析では、120 建物の最大電力デマンド発生時の 24 時間電力消費量と最大デマンドの関係で評価したが、今回は 3 建物毎に 365 日の各日の 24 時間空調負荷と空調負荷デマンドについて相関を分析した。

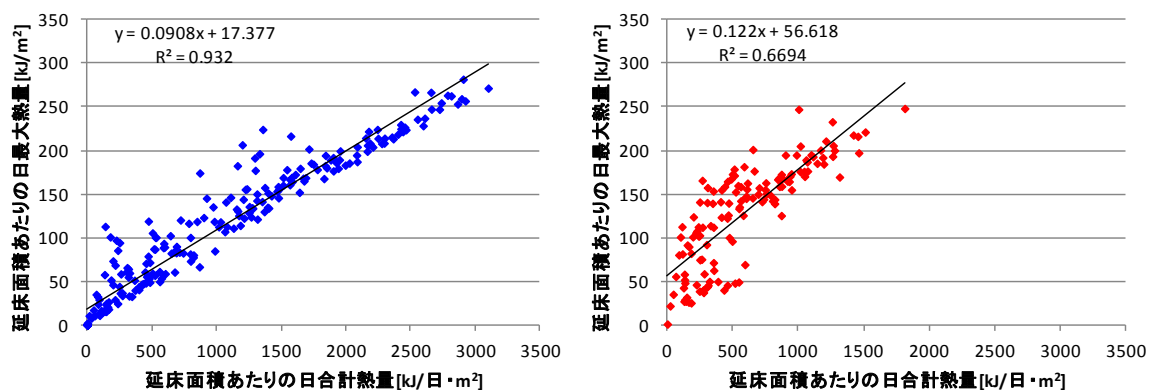


図 5-22 DL-KLビルの日合計熱量と同一日の最大熱量の比較
(左:冷房 右暖房)

冷房熱量は、相関係数 0.93 と極めて高い値となっている。一方、暖房の相関係数は 0.67 に留まっている。このことから電力デマンドと同様に、冷房空調開始からの冷房負荷の積算値の増加勾配によって、その日の最大冷房負荷の予測が可能であると言える。また一方、暖房においては、前節の暖房負荷の経時変化からも分かるように、暖房立ち上がり時の負荷は、躯体などの蓄熱負荷による変動が多いことから、一日の暖房負荷から最大暖房負荷を予測することは難しい。

同様に I ビルの 365 日の各日の 24 時間空調負荷と空調負荷デマンドについて相関を分析した。冷房負荷は、DL-I ビルの分析と同様に相関係数 0.93 と高い値となった。また、暖房時の相関係数も 0.86 と高い値となった。

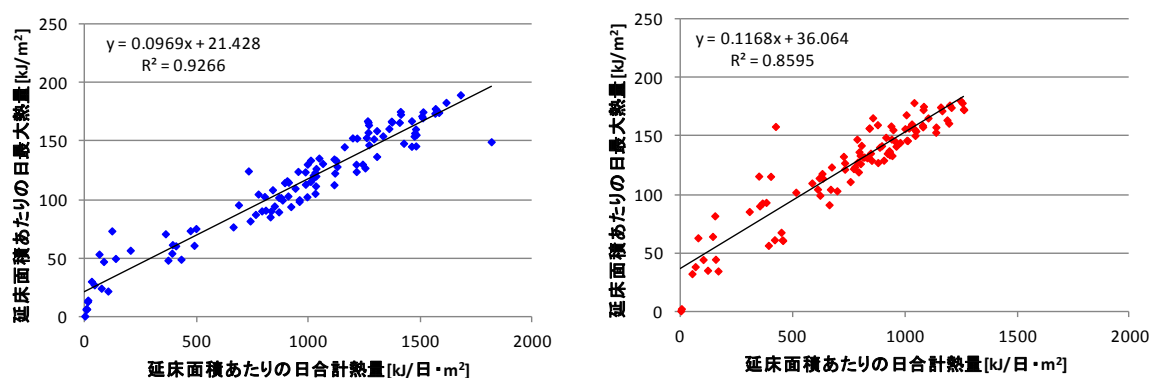


図 5-23 I ビルの日合計熱量と同一日の最大熱量の比較（左:冷房 右暖房）

また、L ビルその 6 高松の分析結果は、冷房負荷は、DL-I ビルの分析と同様に相関係数 0.93 と高い値となった。また、暖房時の相関係数も 0.84 と高い値となった。

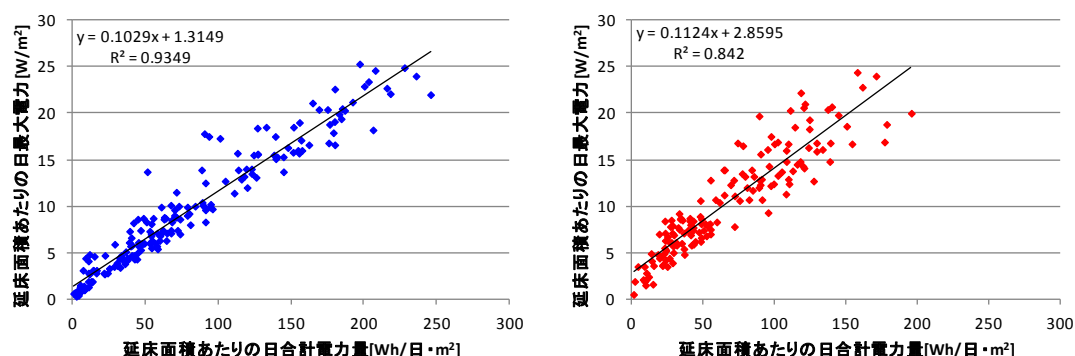


図 5-24 L ビルその 6 高松の日合計熱量と同一日の最大熱量の比較（左:冷房 右暖房）

これらの 3 建物は、いずれもオフィスを主用途とし、熱源システムは熱負荷に応じて熱を

製造する機器（ヒートポンプチラー・ガス焚吸収式冷温水機・ビル用マルチエアコン）である。また、熱負荷や最大熱負荷を面積あたりに原単位化するにあたり、いずれの建物も駐車場は含んでいない。そこで3建物を同一のグラフにまとめたものを図5-25に示す。24時間製造熱量の原単位と同日の最大熱量の原単位の発生傾向は、極めて近い傾向を示していることが分かる。

この分析からは、冷房デマンドは、日合計冷房熱量の面積当たりの原単位から

$$Y \text{ (延床面積あたりの最大冷房熱量 } \text{kJ/m}^2\text{)}$$

$$= 0.0945x \text{ (延床面積あたりの日合計冷房熱量 } \text{kJ/日} \cdot \text{m}^2\text{)} + 18.258$$

により予測できると言える。

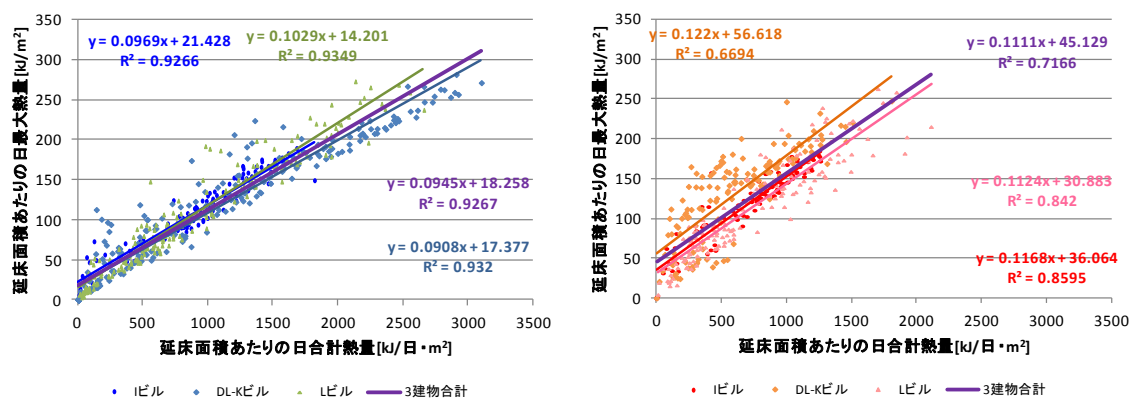


図 5-25 3建物の日合計熱量と同一日の最大熱量の比較（左:冷房 右暖房）

ただし、蓄熱システムやコ・ジェネレーションシステムを採用している建物などに関しては、さらに分析が必要と考える。

本章の知見

外気温度を説明変数とし、曜日・時間による層別を行うことで、空調エネルギーの予測は、下記のように取扱うことの可能性があることが分かった。

電気式熱源においては、建物の利用状況による層別を行うことで、冷房・暖房ともに、電力消費量・エネルギー消費量の予測精度が高い。

一方、ガス式熱源においては、熱源の COP の影響もあり、ガス消費量の予測は難しい。また、エネルギー消費量の予測値も、電気式熱源程は高くない。

電気式ヒートポンプエアコンにおいては、建物の利用状況による層別を行うことで、冷房・暖房ともに、電力消費量の予測精度が高い。

上記の予測値は、蓄熱負荷を考慮できないため、時刻別予測には適さない。特に、暖房時の時刻別予測には適用すべきではないことが分かった。

また、最大冷房負荷は、24 時間の冷房負荷と強い相関があり、冷房開始後の冷房負荷の積算値により、その日の最大冷房負荷の予測が可能であると言える。

その場合の近似式は、

$$\begin{aligned} Y & (\text{延床面積あたりの最大冷房熱量 } \text{kJ}/\text{m}^2) \\ & = 0.0945x \text{ (延床面積あたりの日合計冷房熱量 } \text{kJ}/\text{日} \cdot \text{m}^2) + 18.258 \end{aligned}$$

である。

建物毎に一日の合計冷房熱量から最大冷房熱量をベンチマークとし設定することで、複数建物において熱融通した場合の最大冷房熱量の削減効果が定量化できると言える。

6 章 結論と今後の研究課題

6.1 結論

(1)電力デマンドのベンチマーク

電力デマンドの分析と評価の分析結果から電力デマンドの発生傾向は、1日当りの最大電力消費量と強い相関があり、日最大電力消費量から電力デマンドが予測できることが分かった。

契約電力 500kW 以上の建物

最大電力デマンド kW=

$0.0631 \times \text{最大電力デマンド発生日の日電力消費量 kW} + 3.0223$

契約電力 500kW 未満の建物

最大電力デマンド kW=

$0.0662 \times \text{最大電力デマンド発生日の日電力消費量 kW} + 7.3929$

従来、電力デマンドは、毎時 0 分から 1 分毎の電力消費量の積算値の上昇勾配に基づき 0 分から 30 分までの 30 分間の電力デマンドを予測してきた。本研究において、1日当りの最大電力消費量と電力デマンドの相関が確認できたことは、電力デマンドをより早く精緻に予測できることであり、その活用手法は非常に有効性が高いと考える。また、本章で提示した相関係数は、電力デマンドのベンチマークともなり得る。日本国内の住宅・工場を除くすべての業務用ビルに対して、現在の電力デマンドが適正であるか判断することも可能となる。

(2)地域冷暖房 (DHC) の省エネルギー化の余地

3つの建物毎に熱需要が異なるため、省エネルギー化の手法も異なることが分かった。

DHC は、建物の利用状況に追随して熱を需要家建物に供給し続ける。そのため、需要家側は、自身の建物の熱の消費傾向を積極的に把握・分析しない限り、省エネルギー化を行うことはできない。本章の分析からは、建物毎の個別熱源であれば熱源を停止できる中間期や夜間に少量の熱需要があるために、大型のポンプを用いて非常に非効率に熱の消費をしている実態が分かった。また、本来、暖房となる外気温度 10°C 以下の冬季においても、少量の冷房負荷があり、そのため大型のポンプを用いて同様に非効率に熱を消費していることが分かった。DHC の小負荷時の非効率性については、本モデルによるモニタリングと熱利用効率の分析により大幅な省エネルギー化が可能と言える。

(3)空調熱源運転効率の省エネルギー化の余地

熱源容量に対して実際の熱負荷は、ケーススタディーのいずれの建物においても 50%未満であり、既存建物の熱源容量が過大であることが分かった。

これは長年設計の実務で用いられてきた最大熱負荷計算法に起因するものである。しかし、既存建物を改修などにより長期間利用する場合においては、本モデルを用いてエネルギー消費量を精緻にモニタリングすることで、利用実態にあわせた適正な仕様設定を行うことが可能である。

また、熱負荷が熱源容量に対して小さいため、熱源の COP が定格より大幅に小さいことが分かった。特にガス焚冷温水機の冷房時の実績 COP は、定格 COP の 43~60%という低い値であった。また、ヒートポンプチラーの冷房時の実績 COP は、定格 COP の 80%であった。これらの実績 COP は、適正な熱源容量と熱源の分割設置、及び、群発停により大幅に改善可能であると言える。

(4)空調 2 次側機器運転効率の省エネルギー化の余地

空調機の省エネルギー運転制御において、1 次エネルギー換算で 33%程度の省エネルギー化が可能、また外調機の省エネルギー制御も 54%の省エネルギー化が可能であった。

現在では、空調 2 次側機器に対してファンインバータ化や外気導入量の CO₂ 制御などの省エネルギー化が図られている。しかし、これらの省エネルギー化手法は、1990 年半ばの新築建物から導入された手法であり、築 20 年以上の建物には、殆ど採用されていない。一方、ファンインバータ化は風量を絞ると同時に送風圧力も低下する。そのためダクトの敷設長さが長い既存建物には送風空気がダクトの末端に到達しなくなる弊害もあり、設備改修時においてインバータ化の改修が難しい場合が多い。本章では、ファンのインターバル運転制御によりこの課題も解決した上で、築 20 年以上の建物に対して省エネルギー化が可能であることを示した。

(5)ビル用マルチ運転効率の省エネルギー化の余地

空調動力負荷の 19%程度の削減が省エネルギー制御で可能であることが分かったが、中央熱源のように設備容量が過大である可能性は低いと考えられる。

ビル用マルチエアコンは、熱負荷への追従性が高く中央式熱源と比べて即暖・即冷の性能が高い。そのため、輪番運転などの省エネルギー制御を行うことによりエアコンが機敏に反応してしまうため、省エネルギー効果が十分に発揮しづらいと言える。また、複数の屋内機毎に中央熱源に相当する屋外機を分散配置しているため、1 台毎の屋外機容量が中央式熱源と比べて小さい。そのため本モデルを適用する場合に、計測・制御の接続点数が多くなるため省エネルギー化のシステム導入費用が大きくなる。このことから本モデルの適用性は低いと言える。

(6)省エネルギー化の余地の検証ストラクチャー

これらのことから、既存建物における非効率な設備として、以下の省エネルギー化の余地の検証ストラクチャーが適用可能と考える。

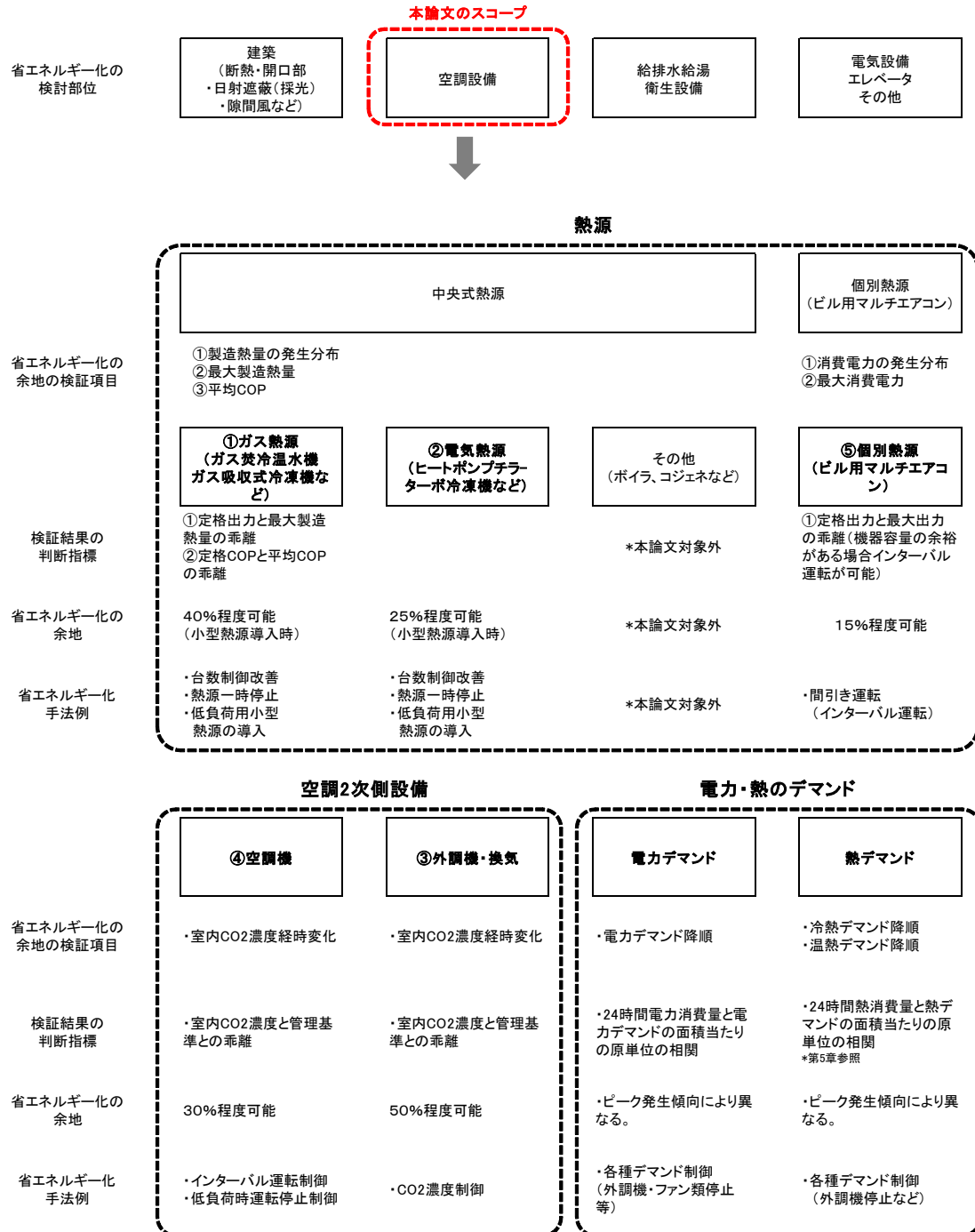


図 3-63 省エネルギー化の余地検証のためのストラクチャー

(7)改修時の熱源のダウンサイジングの余地と建築所有者との合意事項

熱源仕様と実負荷の差異分析により、改修時の熱源容量のダウンサイジングが、可能であることが分かった。

熱源仕様と実負荷の差異は、3.1.3 章の結論で述べたとおり、新築時の熱負荷計算に起因している。しかし、新築時の設計条件と現状の利用状況の差異を分析し、将来の建物利用状況も鑑みた上で、建物所有者と以下の項目について合意することで、改修時の熱源容量のダウンサイジングが可能である。

建築所有者との合意事項

①建物の各室の利用用途

(将来の用途変更の有無を含む)

②照明の照度の考え方

(明るさセンサーを設置している場合は、調光後の電力消費を利用すること)

③コンセント負荷の負荷率の考え方

④建物内の人員の移動を考慮した人体発熱のあり方

⑤設計外気条件の見直し

熱源容量のダウンサイジングは、建物所有者が従来知りえない情報と言える。建物所有者にとっては、改修投資費用の抑制だけでなく、固定資産の償却費用の抑制にもなり、その有効性は非常に高い。

さらに、3.1.3 章で述べたとおり、熱源仕様と実負荷の差異に起因して既存熱源の COP は低い状態で利用されている。熱源容量のダウンサイジングは、この低い COP の運転状態の改善ともなり、更なる省エネルギー化が可能と言える。その結果、熱源改修の投資対効果が大幅に改善し、本モデルへの適用が容易になる。

(8)空調負荷予測におけるデータの取扱手法

外気温度を説明変数とし、曜日・時間による層別を行うことで、空調エネルギーの予測は、下記のように取り合うことの可能性があることが分かった。

電気式熱源においては、建物の利用状況による層別を行うことで、冷房・暖房ともに、電力消費量、エネルギー消費量の予測精度が高いことが分かった。

一方、ガス式熱源においては、熱源の COP の影響もあり、ガス消費量の予測は難しい。また、エネルギー消費量の予測値も、電気式熱源程は高くない。

電気式ヒートポンプエアコンにおいては、建物の利用状況による層別を行うことで、冷房・暖房ともに、電力消費量の予測精度が高い。

しかし、外気温度を説明変数とした空調エネルギーの予測値は、時刻別予測には適さないことが分かった。特に、暖房時の時刻別予測においては、誤差が非常に大きい。このことは、本分析が、建物の蓄熱負荷を考慮できないことに起因している。

これらのことから外気温度を説明変数として電気熱源のエネルギー消費量を予測することと、3.1.1 電力デマンドの分析と評価の知見である日最大電力消費量から電力デマンドを予測することを組み合わせることで、外気温度から電力デマンドの予測の可能性が高いと考えられる。

また、最大冷房負荷は、24 時間の冷房負荷と強い相関があり、冷房開始後の冷房負荷の積算値により、以下の相関式によりその日の最大冷房負荷の予測が可能であると言える。

$$Y \text{ (延床面積あたりの最大冷房熱量 kJ/m}^2\text{)} \\ = 0.0945x \text{ (延床面積あたりの日合計冷房熱量 kJ/日} \cdot \text{m}^2\text{)} + 18.258$$

6.2 今後の研究課題

本研究を踏まえ、今後の研究課題は、以下の項目があると考ええる。

①エネルギー・モニタリングデータの欠損・データ精度の取り扱い

本研究の過程で、エネルギー・モニタリングデータの欠損が確認された。モニタリングにおいて、データ欠損の取り扱い方法は、今後検討すべき研究課題と考える。

また、センサー・計測機器である温湿度計・電力量計の計測精度についても、検証方法・中長期的な校正のあり方を定義する必要がある。

②省エネルギー化の余地として検証すべき建築設備

第3章で取扱った設備機器は、建築設備の全てを対象としたものではない。

例えば、中央式の給湯熱源などは、利用実態が十分に把握できているとは言い難い。給湯熱源は、ボイラなどの加熱容量と貯湯槽容量を給湯の同時使用率を設計者が想定して設計仕様を決定している。しかし、時間毎の給湯消費量の把握は殆ど行われていない。また、ボイラなどの加熱機器も自動運転のためどのような加熱負荷となっているか把握されていない。そのため本研究で用いたエネルギー・モニタリングデータを活用し分析すべき対象であると考ええる。本研究においては、中央式の給湯熱源のエネルギー・モニタリングデータが充分でなかったため分析対象外としたが、今後は同様の分析を実施していきたい。

③ベンチマーク設定の定義

本研究におけるベンチマークのあり方に関しては、第3章で少し触れるに留まっている。設備毎のベンチマークのあり方は、カーボンメトリックとして国際基準が議論されているが、筆者は外気条件・生活習慣・建物用途などの条件に加えて、多様で複雑な建築設備に対して、一義的なベンチマーク設定は非常に難しいと考えている。今後は、建築設備毎にベンチマーク設定を定義し、ベンチマークの取扱いに関する研究も広げていきたい。

④改修設計仕様

第4章で取り上げた設計仕様と実負荷の差異検証から分かるように、改修設計はエネルギー・モニタリングデータを活用した手法を確立すべきである。現在用いられている新築時の最大熱負荷計算法とは別に、エネルギー・モニタリングデータを用いた改修設計仕様を、学協会にて十分な議論を行い、その手法を定義することは非常に必要である。筆者も積極的に提案を行っていきたい。

⑤エネルギー消費量予測

第 5 章では、外気温度等を説明変数としてエネルギー消費量予測を試みた。しかし、日射や躯体蓄熱負荷については、外気温度のみを説明変数とする予測は難しいことが分かった。今後は、説明変数を複数項目設定して、エネルギー消費量予測の精度を検討していきたい。

参考文献

- [1]馬郡文平；既存建築における省エネルギー・CO₂削減のためのリアルモニタリング及び最適化制御に関する開発研究，東京大学学位論文，2011
- [2]高井啓明、迫博司、半澤久；大日本印刷 C&I ビルの環境・設備計画と実施， 空気調和・衛生工学， 2000. 11, pp. 17～31
- [3]迫博司、野城智也 他；既存建物のエネルギー・モニタリングによる CO₂ 排出量削減可能性に関する研究，日本建築学会 第 26 回建築生産シンポジウム，2010
- [4]総合資源エネルギー調査会；省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会 米国・欧州における省エネルギー政策について，2013. 11. 5
- [5]馬郡文平、野城智也、迫博司 他；AI ネットワークシステムを活用した最適化コントロールに関する研究 見える化と分散・統合制御によるエネルギー利用の最適化，日本建築学会・情報システム技術委員会 第 35 回情報・システム・利用・技術シンポジウム,2012
- [6]迫博司、野城智也、馬郡文平；デマンドレスポンスに資するリアルタイムモニタリングを用いた建物群の電力デマンドマネージメントの有効性に関する考察，日本建築学会技術報告集 第 19 巻 第 43 号，2013. 10, pp. 1171-1174
- [7]Hiroshi Sako, Tomonari YASHIRO, Bumpei MAGORI, Hayato FUJII, Minkyu SON ; Heuristic energy use optimization methodology by energy use monitoring system Case study on large-scale complex building operation, SB11 CD-ROM, Oct.2011
- [8]UNEP SBCI(Sustainable Buildings & Climate Initiative) ; Common Carbon Metric
- [9]伊藤雅人；不動産に関する「環境付加価値」の検討
- [10]国土交通省 建築物ストック統計（2014年1月1日現在）の公表
- [11]クール・ネット東京；省エネルギー診断事業者のパフレット
- [12]省エネルギーセンター；省エネルギー診断事業者の報告書見本

[13]ESCO 推進協議会；2010 年度 ESCO 市場規模調査結果

[14]日本ビルエネルギー総合管理技術協会；建築物エネルギー消費量調査報告第 30 報

[15]藤村昌弘他；個別分散空調システムの適正設計及び制御に関する研究（第 3 報）
EHP 高効率運転制御法の改良とその効果検証について, 空気調和・衛生工学会大会学術
講演論文集, 2014. 09

[16]熊野直人他；ビル用マルチエアコンの室外機最適運転省エネ制御に関する検証,
空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 214. 09

謝辞

本論文の執筆にあたり、2010年より長年にわたり東京大学 生産技術研究所 教授の野城智也先生にご指導を頂きました。野城教授には、技術論文となりがちな私の論旨を、学術論文として骨子をまとめるにあたり多大なご指導を頂きました。心中よりお礼申し上げます。

副査としてご指導頂いた加藤信介教授には、トレードオフの関係となる省エネルギーと室内環境の取り扱いの検討の重要性、空気調和・衛生工学会における活動の基本姿勢である現在価値の向上の視点における研究活動の在り方など、本論文の背景となる広い研究・技術分野でのご指導を多く頂きました。心よりお礼申し上げます。

副査としてご指導頂いた大岡龍三教授には、空調分野全般に関して既往研究を踏まえて時間をかけて詳細なご指導を頂きました。心よりお礼申し上げます。

副査としてご指導頂いた赤司泰義教授には、ESCO 事業と本論の省エネルギー・サービスプロバイダのモデルの違い、そして本モデルが今後普及することの重要性、及び、論文の新規性に関する指摘、ご指導を頂きました。心よりお礼申し上げます。

また、副査としてご指導頂いた掘田昌英教授には、本論の今後の汎用的な展開の必要性など、論文の今後の役割に関して詳細にご指導頂きました。心よりお礼申し上げます。

生産技術研究所特任講師の馬郡文平先生には、エネルギー・モニタリング分野の先駆的研究者としてエネルギー・モニタリングの意義を広範囲にご指導頂きました。お礼申し上げます。

また、エネルギー・モニタリングを実施させて頂いた建物を所有され、研究としてもご一緒させて頂いたパシフィコ横浜の大内さん、和田さん、第一生命保険の新井さん、LIXILの江藤さん、山下さん、岩井さん、スマート・リソースの渡邊さん、畑谷さん、丸山さんに、お礼申し上げます。その他、多くの建物所有者の方にご協力いただきましたこと、お礼申し上げます。

本論文を作成するにあたり、当時の私の所属していたエービルの水谷さん、藤井さん、野々山さん、大坪さん、高橋さん、武井さん、上山さん、風巻さんには、実務と研究の両立を支援して頂きました。お礼申し上げます。

最後に、休日、昼夜を問わず家庭のことを振り返らずに研究と実務に邁進する私を、精神的にも支えてくれた妻 久里子、長男 祐太郎、長女 明香に感謝します。