

DENCHUKEN REVIEW

需要家と電気事業のエネルギーを
トータルで考える
需要家の特性解明と省エネ新技術

電中研レビュー No.41 2000.11



財団法人 電力中央研究所

需要家と電気事業のエネルギーをトータルで考える

- 需要家の特性解明と省エネ新技術 -

編集担当 需要家エネルギー課題推進担当 浜松 照秀

巻頭言	（財）省エネルギーセンター専務理事 橋本 城二	2
電中研「需要家サービスに関する研究」のあゆみ		4
はじめに	横須賀研究所長 深田 智久	6
第1章 電気事業と需要家のエネルギーをトータルでとらえる研究の取り組み		7
1 - 1 電気事業と需要家		9
1 - 2 需要家サイドの研究の狙い		10
第2章 究極の省エネと快適性を目指した職住システムの展望		11
2 - 1 需要家のエネルギー消費構造の現状と展望		13
2 - 2 家庭用分野の新しいアプローチ		15
2 - 3 業務用分野でのエネルギー消費構造と課題		18
第3章 IT時代の家庭用エネルギー - 人間の行動解明と快適な省エネ -		21
3 - 1 消費者の意識・行動とエネルギー消費特性		23
3 - 2 住宅需要家のDSM施策効果		26
3 - 3 家庭用エネルギーシステム新技術		32
3 - 4 非侵入型電気機器モニタリングシステムの開発		38
第4章 効率的なエネルギー利用と快適な熱環境作り		
- 都市・業務用ビルを中心に -		45
4 - 1 業務用需要家の電力消費構造とDSM施策効果の解明		47
4 - 2 事務所ビルの室内熱環境の解析手法		50
4 - 3 ビルの空調・熱源新技術		55
4 - 4 都市熱環境とエネルギー消費		60
第5章 分散型電源を用いたオンサイトエネルギーシステム		65
5 - 1 オンサイトエネルギーシステムと分散型電源		67
5 - 2 マイクロガスタービン、固体高分子形燃料電池システムの展望		69
5 - 3 システムの省エネ・経済性評価		72

第6章 今後の研究展開と期待される成果	79
6 - 1 需要家サービスに関する研究ビジョン	81
6 - 2 今後の研究展開	83
おわりに ===== 理事 田中 祀捷	85
引用文献・資料等	86

先端技術コラム目次 =====

1. 暖房・給湯用の新蓄熱物質を探索する	37
2. 消費者をつかむ	42
3. エネルギーユーザ特性情報データベース	43
4. カプセル型氷蓄熱システムの性能を向上させる新しい過冷却解除剤 - 氷核活性細菌 -	59
5. リチウム二次電池による分散型電池電力貯蔵	77

情報通信技術の活用と省エネルギー - 今後の省エネルギーを一層推進するために -



近年のエネルギー需要の動向を見ると、98年度のエネルギー消費は景気の低迷から16年ぶりに前年比マイナスとなっていますが、民生・運輸部門のエネルギー消費は依然として堅調に伸び続け、両部門を合わせたエネルギー消費は我が国のエネルギー消費の半分超を占めています。したがって、最終エネルギー消費に対する政府の対策ケースである「2010年に原油換算4億kℓ目標」を達成し、今後の省エネルギーを着実に推進するためには、これらの部門における強力な対策が急務となっています。

過去の実績からみると、これらの部門は、価格による需要抑制効果が期待されにくいとされていた分野でした。しかし、最近において情報・通信技術の発達とともに新たなアプリケーションが開発され、消費者に正確な情報を迅速に提供することが可能になりました。リアルタイムにエネルギー消費量とその料金を計測・表示するメーターシステムの導入により、コスト意識の向上を通じた省エネルギー行動の促進が期待される状況になっているのです。

また、企業活動の環境面への貢献と経費節減による収益向上を、市場においても評価する動きが現れてきています。このような動きとあいまって、事業活動における環境保全コストを把握・公表し、「環境会計」の導入を検討する企業も増加しています。今後はこうした環境面、すなわち、環境負荷の低減という側面でも省エネルギーの進展が必要とされています。

こうした状況を踏まえ、エネルギー需要を社会的に望ましい形態へと変化させる手段である「DSM (Demand-side Management)」に着目し、コスト意識を通じて需要家自身によるエネルギー需要の管理・抑制を図るための手段を「次世代DSM」と位

置づけたうえで、その普及・促進を図っていくことは、供給制度の自由化によるエネルギー市場の効率化が進行している中で、省エネルギーの一層の進展に繋がっていくことが期待されます。

さて、次世代DSMには概して次のような内容があげられます。

まず、省エネ行動の具体化を支援するシステム・サービスとして、エネルギー使用機器制御システム、ESCO（Energy Service Company）、電気の利用効率化・料金メニューの多様化、環境会計等があります。ここであげるエネルギー使用機器制御システムは、エネルギー消費機器を内部・外部から通信回線等を用いて制御するものであり、他の新技術開発に伴う開発・導入が望まれるところです。これは、昨年「改正省エネルギー法」施行によりエネルギー消費機器（家電製品）にトップランナー方式が導入されて以来、機器そのものに対する技術開発と並行して進められていくものと予想されます。

また、コスト意識の向上を通じて期待される省エネルギーとして、コージェネレーション等を活用したエネルギーの有効利用や省エネ型建築物の改良を始め、家庭用・業務用の一般用途においても、その効果が期待されます。

省エネルギーセンターでは、今後、情報通信技術の進展をつうじて、エネルギー事業者と需要家・消費者が一体となった快適な生活を創造する省エネルギー型社会の実現に向けて積極的な活動を展開していきたいと考えています。これまでに、一般家庭に対して消費電力や料金の表示をリアルタイムに表示する簡便なシステム（省エネナビ）を開発し、モニタリング調査を行った結果、省エネ意識の向上と省エネ行動に相当の成果を確認しています。

このことから幅広く省エネ意識を向上させていくことは、民生部門における省エネルギー推進において大変重要であると確信しているところです。

財団法人 省エネルギーセンター 専務理事

橋 本 城 二

電中研「需要家サービスに関する研究」のあゆみ

西 暦	当 研 究 所 の 状 況	内 外 の 状 況
1957 S32	農電研究所発足	
1961 S36	アサクサノリの人工養殖研究開始	
1962 S37		原油（石油）輸入自由化、油主石従時代へ
1965 ~		大型自家発（石油火力）普及
1969 S39		LNG本格導入（環境対策）
1973.10 S48		第一次石油危機
1974 S49		通産省サンシャイン計画発足
1978 S53	太陽光発電の受託研究開始	
1979 S54		第二次石油危機 通産省ムーンライト計画発足 電力需要停滞（～1982）
1980 S55	需要開拓研究の開始	
1983 S58	ロードマネジメントのための需要・料金分析研究開始	
1984 S59	SHPの受託研究開始 ロードコンディショナ（LC）提案	
1985 S60	負荷平準化のための料金制研究開始	SHP研究組合設立
1986 S61	アークプラズマ研究開始 リチウム二次電池研究着手	コージェネの系統連繫技術要件ガイドラインの呈示
1987 S62	研究目標に 「新サービスの創出」を策定 遠赤外線加熱研究開始 電力カードの研究開始 高性能給湯ヒートポンプ研究開始 ロードコンディショナー特別研究室発足	モントリオール議定書 （特定フロンガスの削減合意）
1988 S63	魚工場研究開始	
1989 H1	電力カード事業化方策等の研究開始 家庭用給湯ヒートポンプ研究開始（電力・メーカ共研）	
1990.4 H2	負荷集中制御システム確立実証試験（需要家情報）受託研究開始	国連環境開発会議（地球サミット）

西 暦	当 研 究 所 の 状 況	内 外 の 状 況
1990.10 H2	太陽電池連系ロードコンディショナ開発実証試験開始	「地球温暖化防止行動計画」閣議決定 系統連系技術要件ガイドラインの改正
1991.10 H3		
1992 H4	放射冷房研究開始 企画部に「省エネルギー担当」設置 DSM需給マネジメント研究開始 発電設備設置需要家からの逆潮流許可 ニューサンシャイン計画・分散型電池電力貯蔵技術開発（10ヶ年）開始	
1993.3 H5	分散型電池電力貯蔵技術受託研究開始 電力コントローラ研究開始 熱環境シミュレーション研究開始	省エネルギー法改正 LIBES技術研究組合設立
1994 H6	地域・需要家サービス研究会設置	
1995 H7	統合資源計画（IRP）研究着手 自然冷媒ヒートポンプ研究開始	電気事業法改正（発電市場の自由化）
1996 H8	環境共生省エネ都市（ネットワーク都市）研究会設置	各電力IPP募集開始・入札
1997 H9	リチウム二次電池プロジェクト発足 非侵入型モニタリングシステム研究開始	電事審・電力負荷平準化対策検討小委報告 第3回気候変動枠組み条約締約国会議開催（COP3：京都会議） 二酸化炭素、代替フロンガス、ほか6種類の温室効果ガスの削減合意
.8	需要家サイド研究戦略検討会答申	
.10	需要家エネルギー課題推進担当設置	
.12		
1998 H10	需要家エネルギーの3ヶ年研究開始 CO ₂ 給湯ヒートポンプ共同研究（電力・メーカー）開始	マイクロガスタービン、固体高分子形燃料電池のニュース、マスコミを賑わす 電力需要停滞
1999.4 H11	都市街区熱環境研究開始 需要家意識・行動・エネ消費相関解明研究開始	改正省エネルギー法施行 （トップランナー方式採用）
2000.3 H12		電力の部分自由化（2000kW.2万V以上の大口需要家） 電力系エネルギー事業会社あいついで設立 通産省への電力供給をダイヤモンドパワー社が入札

はじめに

理事 横須賀研究所長 深田 智久



電気事業では、公益事業として温室効果ガスの排出抑制・コスト低減のために省エネルギー、負荷平準化の努力を行ってきた。特に、増大が続く民生用需要に対してどのように対応していくかは今後も重要な課題である。

一方、エネルギー業界においては電力コストダウンに向けた規制緩和が推進され、電気事業も自由化の時代を迎えつつある。このため、新しいエネルギーサービスを提供する需要家に直結した企業活動が重要となっているが、幅広い技術分野が関連している需要家サイドの研究・開発をどのように行っていくかが、電気事業にとって極めて重要となっている。

電力中央研究所における需要家に関わる研究は古く、1950年代に始まる農水産業分野での電気利用の研究にさかのぼることができる。1980年代からはロードコンディショナー、野菜・魚工場、ヒートポンプや電力マルチメニューなどの「電気利用技術」の研究を本格化し、平成9年10月から需要家サイドの研究を強化する一環として需要家エネルギー課題推進担当を設置し、全所的な体制で研究を行ってきた。

この電中研レビューでは、この課題推進担当のもとでの研究成果を、関連する基礎基盤研究の成果も含めて紹介する。おりしも2000年3月の大口需要家に対する小売自由化につづき、2003年には自由化範囲の見直しが行われることがすでに決まっており、本レビューが今後の需要家への新しいサービスを考える上での一助になれば幸いである。

第 1 章

電気事業と需要家のエネルギーを トータルでとらえる研究の取り組み

第1章 電気事業と需要家のエネルギーをトータルでとらえる研究の取り組み 目次

需要家エネルギー課題推進担当 浜松 照秀

1 - 1 電気事業と需要家	9
1 - 2 需要家サイドの研究の狙い	10



浜松 照秀（昭和45年入所）
昭和59年複合発電研究室長、平成3年エネルギー部長、平成7年研究開発部・研究開発担当部長、平成9年横須賀研究所副所長、平成10年需要家エネルギー課題推進担当併任、平成11年参事。発電所温排水冷却技術、低温ケーブル冷却技術、太陽熱発電、蒸気貯蔵発電、石炭ガス化等IGCC技術、ヒートポンプ技術など火力・エネルギー技術の研究に従事。
専門分野：機械工学・熱工学。

1 - 1 電気事業と需要家

エジソンは1878年10月ニューヨークで、コスト的にも技術的にも発電機・並列配電網と協調する高抵抗の白熱灯を発明し、明かりを提供するシステムと数多くの新技術を売る会社（現GE）を設立し、続いて設立した世界初の電力会社（現Con. Edison電力）がパールストリートに蒸気機関・直流発電機による石炭火力発電所を建設し、1882年に通電した。

一方、1878年3月25日、東京虎ノ門工部大学校において英国人エルトンは学生藤岡らとグローブ電池によりアーク灯を点灯してみせた。この驚きは起業家を動かし、1883年にはわが国でも移動式発電機と電灯をセットにした電力会社（東京電灯）が産声をあげ、1887年わが国初の発電所（電灯局）ができた⁽¹⁾⁽²⁾。

電気事業の最初は、このように「明かりの提供」であり、その後も人々にあまねく**明かりのサービス**を売ることであった。しかし電気エネルギーの用途の広さは無限といってもよいほどに拡大を続け、電気利用機器の製造販売と電気を供給する電気事業は別々となって、電力の自由化時代を迎えた今日まで、電気事業は「責任をもって電気を安全に供給する仕事を専門とする事業」という時代が長く続いた。

さて、わが国では、高度経済成長時代の最後に起きた二度の石油危機以後、一次エネルギーのうち産業用のエネルギー消費量が横這いに保たれている中で、民生用エネルギー需要は増加の一途である。

生活・職場の便利さや快適性、職場のOA機器など、職住生活の便益を追求する民生用エネルギー・電力の需要、そして電力化率（発電用エネルギー消費の対一次エネルギー比：現在40%）ともに、なお増加傾向にあり、省エネルギーの推進、電力系統の負荷率改善とそれらのための技術革新は、国、電気事業、国民を挙げての最重要課題となっている。

しかし、電気の供給システムが「自然独占」という理論？に沿って巨大化し、**電気の供給と消費が分化した時代が長く続いてきた結果**、電気事業と需要家のエネルギーをトータルでみて、省エネルギー推進や供給システムの負荷平準化を図る上で、以下のような問題点が浮上してきていると考えられる。すなわち、

需要家に関する情報やエネルギー消費特性、エネルギーライフスタイルがマクロな需要特性に隠されて、需給のきめ細かい評価・対応が容易でないこと、そして需要家所有のエネルギーシステムの最適化も容易ではないこと、電気を利用した省エネルギー技術（高効率な加熱器、エアコン、ヒートポンプなど）や、需要家自らが電源を所有して熱電エネルギーを自給する技術（ディーゼル、ガスエンジン、小型ガスタービン、新型燃料電池、新システム技術ほか）が出現してきているが、何がトータルで適切か未解明であること、

などが今後のエネルギー事情に関する施策や技術開発を考える上で重要な要素として注目される。

しかも、多種多様な発電用エネルギー資源の中で、天然ガスは、温室効果ガス（CO₂）の抑制とエネルギーの供給力の観点と豊富な資源の展望に支えられて、21世紀の中心的なエネルギー資源となろうとしている。

わが国ではLNG（現在年間4900万トン余輸入）を中心とする都市ガスインフラが成長しつつあり、天然ガス、プロパン、灯油などに加えて、各種化石燃料の転換・クリーン化技術の開発によりメタノール、ディメチルエーテルといったクリーンな合成炭化水素燃料の普及可能性も考えられている。

CO₂抑制、自動車排ガスクリーン化に向けて、**大口小口の民生用エネルギー需要家がクリーン燃料を、手軽に入手できる時代が到来**しようとしており、電気・熱エネルギーの生産・供給の基本技術や社会のインフラも用途、地域によっては根本から変化する可能性も出てきている。

一方で、世界的な規制緩和の波の中で、2000年3月21日、電気事業は大口小売の自由化策が発効し、ガス事業の自由化とも合わせてエネルギー事業のボーダーレス化が始まった。

このように、一次エネルギー源の構成の変化、規制や規格など社会システムの変化とともに、既存の巨大な電力供給システムに連系され、かつ自律的に運用される、ダウンサイジング化したエネルギーインフラが共存(?)するエネルギー利用技術の出現が、新時代をうかがっている。

1 - 2 需要家サイドの研究の狙い

電気事業は、明かりと電力供給システムをセットでサービスしたエジソンの時代を想起させるかのように、再び、エネルギーの生産・供給と消費をトータルで捉える時代を迎えた。そして今後は、全体をサービスとして提供し、需要家の便益を向上させながらわが国全体の課題である省エネルギーを推進する時代に突入した。

ただし現代は、地球環境と有限なエネルギー資源を守りつつ、豊かな経済社会を構築しなければならないという厳しい制約がある。

周知のごとく、エネルギー・電気の供給側は、資源確保・加工、発電、輸送・流通、全体システム、と極めて多岐の社会・人文科学、工学・技術で構築されているが、需要家サイド、消費システムも、これらに匹敵するほどの幅広い学術・技術が関わっている。しかもそれらはエネルギー・電気の絶対量が必要なのではなく、それがもたらす便益、付加価値であり、社会そのものでもある。必然、その研究も一見体系的な課題になりにくい。

さて、わが国全体の省エネルギー技術革新として、ムーンライト計画（当時）が発足し、各種のエネルギー利用効率向上のプロジェクトが推進されてきている。

さらに今日では、衆知の地球温暖化防止条約締約国による温室効果ガス削減の国際合意が形成され、需要家のエネルギー利用に関係の深い炭酸ガスおよびフロンガスの排出を削減しなければならない時代になった。また、減少が続く電力系統負荷率を2010年までに60%まで戻すという目標も国策として定められた⁽³⁾。

この30年間、産業用エネルギー消費は見事に抑えられている中で、民生用エネルギー消費、電力消費は国民の便益、快適性の追求により増加の一途である。

当研究所の需要家サイドの研究は、一次エネルギー消

費や電力需要の変遷に大きく動機づけられてきた。第二次石油危機後の3～4年間、電力需要が停滞する中で電気利用による省エネ、負荷平準化、電気の高度な利用の観点から種々の研究をスタートさせて、今日の研究の草創となっている。

このような背景のもとで、需要家が所有するエネルギー利用システムについて、省エネルギー、負荷平準化、需給相互便益を目指し、解明すべき事象や特性、開発すべき革新的技術を整理し、当研究所の取り組む課題について、以下のように考えた。

需要家の意識・行動様式・特性の把握と方策効果

- ・エネルギーライフスタイルとエネルギー消費実態・特性、(ロードサーベイ、新モニタリング技術)情報化エネルギーシステム
- ・エネルギー消費特性と方策効果
DSM・省エネの効果

エネルギーシステム基盤技術の開発

- ・需要家エネルギーシステムの計画・運用技術
- ・建物と周辺の熱・光環境特性、空調新技術
(ビル・街区の熱環境解明、放射利用空調)

革新的エネルギー技術の開発

- ・ヒートポンプ、蓄熱技術
(自然冷媒ヒートポンプ、新型の蓄熱材・物質)

オンサイト型熱電エネルギー技術の特性解明・評価

- ・小型ガスタービン、高分子燃料電池

本レビューは、需要家エネルギー課題推進担当のもとで最初のフェーズとして研究してきた成果を概観したものであり、大半は継続して研究中のものである。今後の成果も引き続き注目していただきたい。

第 2 章

究極の省エネと快適性を目指した 職住システムの展望

第2章 究極の省エネと快適性を目指した職住システムの展望 目次

横須賀研究所プラント熱工学部 上席研究員 岩坪哲四郎
経済社会研究所 上席研究員 浅野 浩志
情報研究所 上席研究員 鈴木 正
狛江研究所需要家システム部 上席研究員 中野 幸夫

2 - 1 需要家のエネルギー消費構造の現状と展望	13
2 - 2 家庭用分野の新しいアプローチ	15
2 - 3 業務用分野でのエネルギー消費構造と課題	18



岩坪哲四郎（昭和57年入所）
主に、高性能給湯ヒートポンプの開発、蒸気貯蔵・蓄熱システム、都市・家庭などのエネルギー需要分析に関する研究等に従事してきた。現在、ヒートポンプ、コージェネなどの各種エネルギー変換機器のシステム解析・評価に取り組んでいる。



浅野 浩志（昭和59年入所）
電気料金理論、デマンドサイド・マネジメント(DSM)、統合資源計画(IRP)、分散型資源、送電料金設定理論など効率的な電力供給システムの構成と運用に関する研究の他、エネルギー環境システムの分析と評価に関する研究に従事している。



鈴木 正（昭和51年入所）
コロナ放電などにより電気設備から発生する電波雑音に関わる研究に従事した後、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）に出向。昭和62年から需要家系情報通信システムと地域情報化に関する研究に従事。



中野 幸夫（昭和56年入所）
UHV交流・直流送電線の電気環境問題に関する研究に従事した後、赤外線加熱ならびに放射冷暖房に関する研究に従事。
平成4年以降、民生部門の省エネに関する研究にも取り組んでいる。

2-1 需要家のエネルギー消費構造の現状と展望

2-1-1 わが国全体のエネルギー消費構造と民生部門の重要性

わが国の最終エネルギー消費は、80年代半ば以降、原油価格の低位安定や豊かさを求めるライフスタイル等を背景に総量としては一貫して増加してきたが、1998年度には景気低迷の影響を受け産業部門が大きくマイナスになったことから、第2次石油危機以来16年ぶりに対前年比マイナス（-1.1%）に転じている。1999年度もこの傾向は続いているものと考えられるが、2000年に入り景気回復の動きを受け、猛暑の影響もあり8月25日に10社計最大電力を5年ぶりに更新するなど、エネルギー需要は比較的堅調に推移しており、長期的に見れば、今後も最終エネルギー需要の伸びを想定する必要がある。

エネルギー消費の動向を、産業、民生、運輸の3部門で見た場合、約5割を占める産業部門のエネルギー消費トレンドは、第一次（73年）・第二次（78年）石油危機以降ほぼ横ばいである。これに対して、残り5割を分け合う民生、運輸の2部門の最終エネルギー消費は着実に伸びており、最終エネルギー消費全体が対前年度比マイナスに転じた1998年度においても増加し

ている。現行の最終エネルギー消費・CO₂排出量の現行見通し（図2-1-1）にそって、1997年12月京都会議での温暖化ガス排出数値目標「2010年に1990年比マイナス6%」の達成を部門別に考えてみると、産業部門は産業構造変化や技術進歩からエネルギー消費の大幅な伸びは予想できない。したがって、残りの民生・運輸、特に消費増大ポテンシャルの大きい民生部門の省エネルギーをいかに実現していくかが問題である。

また、最終エネルギー消費の動向を、電力需要で見ると、産業用電力需要（約40%）が概ね横ばいで推移しているのに対して、家庭（約30%）・業務用（約30%）電力需要は増加傾向にあり、最近特に業務用電力需要が高い伸びを示している。これに伴い電力化率も民生部門を中心に上昇している。前述のように、今夏の電力ピーク更新に見られるように、今年は景気回復と猛暑の影響により電力需要の大きな伸びが予測されているとともに、今後も、情報化の進展、快適志向の高まりなどにより、民生部門を中心に2000年から2025年にかけて年率1.4%と総エネルギー需要を大幅に上回って伸びるものと予測されている⁽¹⁾。このように、省エネルギー推進、CO₂排出抑制の観点からは、負荷平準化の観点も含めて、電力需要にどのように対応していくかが極めて重要な課題と言えよう。

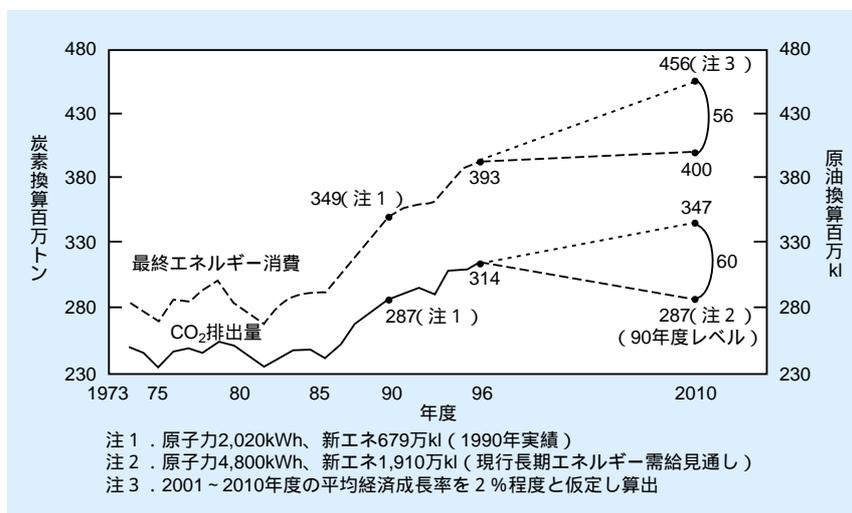


図2-1-1 最終エネルギー消費・CO₂排出量の実績と現行見通し

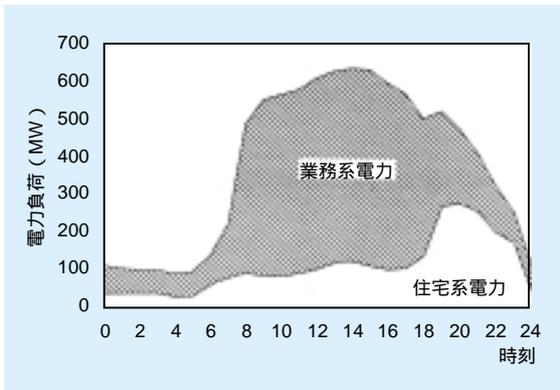


図2-1-2 仮想都市（民生用需要のみ）の夏季代表日負荷特性

2-1-2 都市、家庭レベルでエネルギー消費構造をとらえる

省エネルギー技術を考えるには、前述のわが国全体の議論だけではなく、それぞれの省エネルギー技術の適用対象に合わせて、よりミクロなエネルギー消費をとらえる必要があるが、その消費実態は良くわかっていないのが現状である。たとえば、地域熱供給、分散型電源などに対応するものとして、都市（60万人）の電力消費パターンを電中研で検討した結果を図2-1-2に示す⁽²⁾。このように業務分野と家庭分野では電力需要パターンが異なっており、これらの負荷が合成されて都市の電力需要となっている。

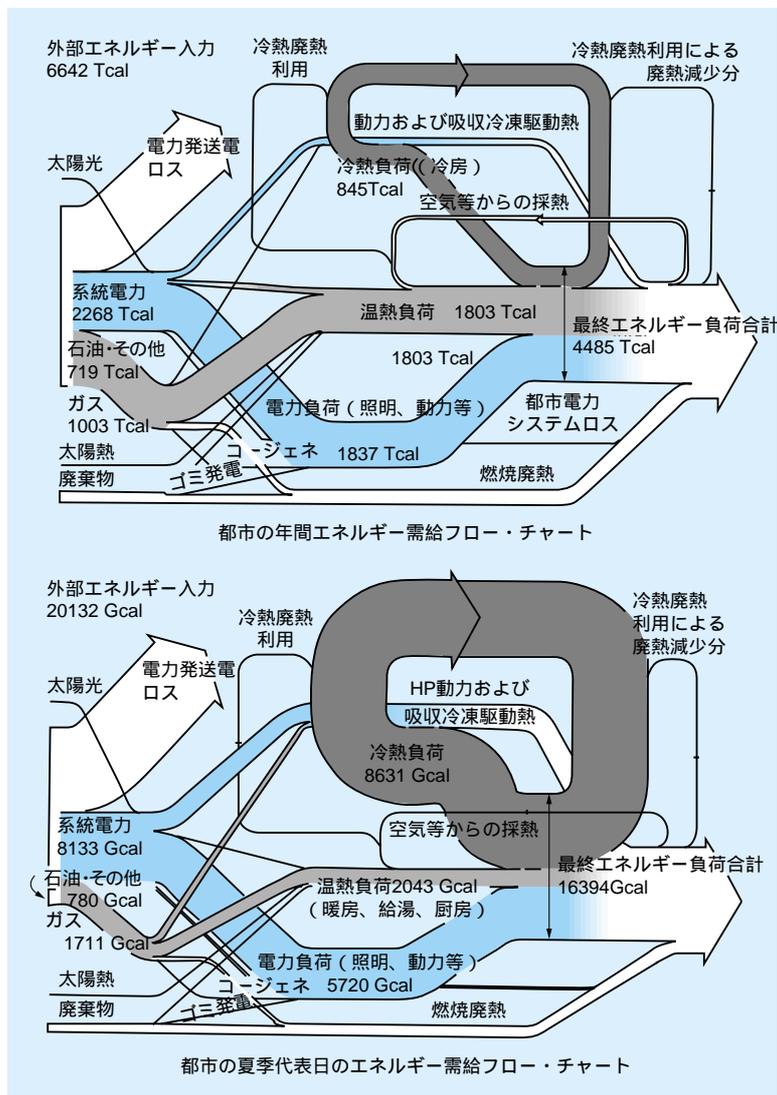


図2-1-3 仮想都市（民生用需要のみ）の年間および夏季代表日におけるエネルギー循環

さらに、電力だけでなく、ガスなど他のエネルギー需要も含めて都市レベルでのエネルギー需給を分析した結果を図2-1-3に示す。このエネルギー需給フローチャートでは、従来の分析では機器への投入エネルギーで評価されてきた最終エネルギー消費だけでなく、特に冷房（冷熱）でエネルギーユーザが利用するエネルギー負荷を分析しており、年間のエネルギー需要に対して、夏期代表日には冷熱負荷に占める割合が極めて大きいこと、温熱負荷に占めるヒートポンプ利用がまだまだ少ないことなどが分かる。

さらに、小さい家庭レベルでのエネルギー消費を考えてみると、1家庭の電力消費は機器のオン・オフに応じて極めてランダム、変動が激しいものであるのに対して、多数戸で見ると平均化されて、前述の都市レベルでの住宅電力負荷と同じような負荷となっている（図2-1-4）³⁾。一般に、家庭の電力負荷として考えられているのは平均化された負荷であるが、各家庭で省エネルギー技術を導入する場合は、ランダム・変動が激しく、かつ、各家庭ごとに特性が異なる負荷に対

応する必要がある。

このように、民生部門でのエネルギー消費を考えるには、平均的な消費特性だけではなく、各エネルギーユーザ個々の特性をとらえることが必要であり、使用されている機器、エネルギーユーザの意識などに踏み込んで、エネルギー需要をとらえていくことが重要である。

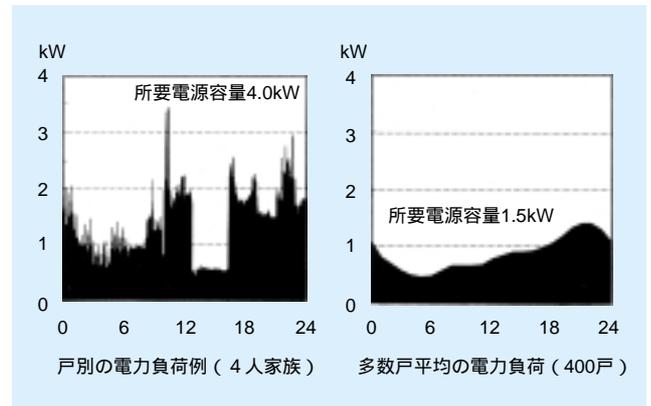


図2-1-4 戸別および平均の住宅電力負荷

2 - 2 家庭用分野の新しいアプローチ

2-2-1 今後も伸び続ける家庭用エネルギー消費

家庭部門のエネルギー消費は、1970年度から25年間で丁度2倍に増え、1997年度のが国最終エネルギー消費の14.0%を占める。これまで世帯数の増加(年間1.4%程度)や電化製品の普及・大型化・多機能化を背景に1995年度まで増加傾向で推移してきた⁴⁾。しかし、1996～98年度は主に気象要因により暖房、給湯需要が減少し、合計でやや減少している。

図2-2-1に世帯当たり用途別エネルギー消費を示す。用途別では、動力その他36%が最も多く、これは多様な家電機器の登場あるいは大型化の傾向を反映している。次いで、給湯29%、暖房26%、厨房7%と続き、稼働期間の短い冷房は年間エネルギーでは2%に過ぎない。

当然のことながら、エネルギー消費構造の地域差は大きく、暖房用消費が欧米並みの北海道では世帯当たりエネルギー消費量は、関東の1.7倍に達する⁵⁾。

家庭用エネルギー消費のエネルギー源別の内訳では電力が43%と最も多く、次いで灯油の25%、都市ガスの18%、LPGの12%となっている。世帯当たりエネルギー消費は、1990年～1998年で年率0.5%と低い伸びにとどまるが、同期間の電力消費の伸びは2.1%と大きい。図2-2-2に示すように電力の68%が冷房機器、冷蔵庫、照明器具、テレビの4つの機器で消費されている。

以上はあくまで実際には存在しない日本平均のエネルギー消費の形であり、各家庭でのエネルギーの使われ方は世帯属性や生活様式によりさまざまであり、詳しくは3-2節を参照されたい。

家庭用需要の特徴は、所得の上昇によりエアコンが各部屋に設置されるように所得効果が大きく、エネル

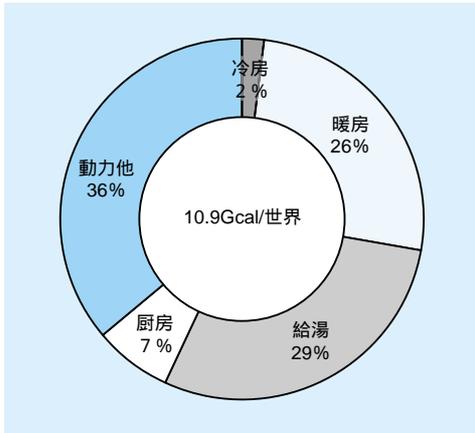


図2-2-1 家庭における用途別エネルギー数⁽⁶⁾

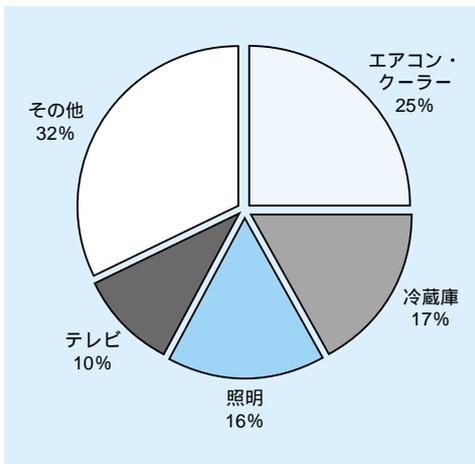


図2-2-2 家庭における機器別電力消費⁽⁷⁾

ギー価格にかかわらず一貫して伸びてきた。今後10年間は世帯数が伸びることもあり、年率1.1%で最終エネルギー消費が増加することが予測されている⁽¹⁾。特に利便性が高く、自由化により電力価格の実質的な低下が期待されるため、電力需要の伸びは1.7%と大きい。総電力需要に占める家庭部門のシェアは2010年度には、1997年度より2%ポイント大きくなり、28.7%と予想されている。高齢化、快適志向、外食の増加等ライフスタイル(生活行動の特徴)の変化がエネルギー消費に影響を与えている。

COP3合意を踏まえた温暖化ガス排出抑制(2010年度に1990年度比マイナス6%を目標とする)への取組み上、エネルギー消費が伸び続ける家庭部門での省エネルギー対策が強化されようとしている。家庭部門のエ

ネルギー消費は、個人の生活様式に大きく影響され、必ずしも経済合理性のみで決まるわけではないため、市場そのものをエネルギー効率化するMarket Transformation(市場の改変)の考え方が有効である。具体的には、DSMプログラムのようにある特定の事業者がある特定の期間に実施する省エネ施策ではなく、需要家、省エネ機器製造者、販売業者、建築業者など省エネ市場に参加するあらゆる主体が省エネ投資の市場障壁を低くする方策を総称する。

わが国では、1999年改正省エネ法で施行された家電機器等の省エネルギー基準がその代表例である。例えば、特定機器に指定されたヒートポンプ型のエアコンの場合、目標年度におけるエネルギー効率を現在よりも出荷平均で63%改善することとされており、消費者自身が意識しなくてもある程度の省エネが自動的に実現される。とはいえ、これは省エネのボトムラインであり、消費者自身が省エネ型機器を積極的に購入できるような情報が提供され、意識が高まることが望ましい。しかし、意識に訴えるだけでは省エネ行動は持続しないため、きめ細かい料金情報など制度などを活用して省マナーに結び付くモニタリングシステム、エネルギー管理システムの開発・普及が急務である。

2-2-2 ITの進展と環境意識の高まり

2000年3月末時点でインターネットの普及率は23.7%に達しており、今後もパソコンや通信コストの低下により増加傾向が続くと見られる(日経BP社「インターネット普及率調査2000年春」)。家庭のIT化はどのように進み、エネルギーの使い方にもどのような影響を及ぼすか。エネルギーの分野ではシステム化による省エネルギーが目的として明確であるため、その導入効果に対してコストがそれほど大きくなければ、各世帯で判断できよう。宅内に光ファイバーや同軸ケーブルなど通信専用線を張り巡らせるホームバスは工事が大変であり普及しなかった。そこで必ず配線されている電力線や配線不要の無線、赤外線を用いてホームネットワークを組む方式が有望視されている。主要な家電機器ごとの電力消費を表示して省電力に役立てたり、火災報知機等と連動させて非常時に機器の電源を切ったり、外出先から自宅の機器の監視制御を可能とする。

将来は実時間料金的なものも家庭に適用され、快適性を保ちながらコスト最小化できるような運転モードが自動的に選択されるようになる。

上記の新技术が浸透する一方、次のような消費者の意識の変化も今後の家庭用エネルギーの選択に大きな影響を与えよう。健康志向の高まりとともに、50歳以上では3～4割の主婦が、価格が高くとも有機栽培野菜を買おうと答え（農水省調査）、食品添加物をできる限り使わない商品を買って求める人が増えている。これと同じ動きがエネルギーの分野でも見られ、電気料金の節約ではコストの回収が難しい太陽光発電システムを設置したり、風力等環境負荷の小さい再生可能エネルギー建設に寄附するグリーンファンド設立の動きが見られる。このような環境意識の高い消費者のニーズに応えるためにも、家庭においてもIT技術を活用した、エネルギー有効利用のための技術的・制度面のバックアップが必要である。

2-2-3 電気事業の経営環境変化と新しい需要家サービス

世界的な規制緩和の流れを受け、我が国でも平成12年3月に特別高圧需要家（受電電圧20kV、使用電力2MW以上）に対する電力の小売りが自由化され、また、3年後をめぐりに自由化の範囲拡大が検討されることになっている。このような背景を受け、今後、家庭用需要家部門でも競争力強化を目指した、きめ細かな料金制度の設定や関連情報の提供などが実施されると考えられる。

一方、電力小売り自由化の規制緩和により電気事業に課せられていた兼業規制が緩和され、電気事業の企業特性を活かした各種新規事業が展開されつつある。

先に述べた、

- ・今後も伸び続ける家庭用エネルギー消費
- ・ITの進展（インターネットの普及）と環境意識の高まり

と電気事業の経営環境変化から、今後の家庭用需要家に対して、以下の新たなサービスや機能が必要となる。

a) 電気事業の競争力強化

新サービスの提供

- ・きめ細かな料金制度の設定
（例えば、供給コストを反映した実時間料金）
- ・電気使用データの提供
（大型機器や屋内回路別の時間別使用実績データをホームパソコンへ出力）
- ・最適な料金制度の提案
（使用実績データをもとに最適な料金制度を選定）
- ・各種省エネ情報の提供や省エネのアドバイス
（例えば、使用実績データを使用した機器運転モード変更による省エネ・省マネーシミュレーション）
など
- ・需要家対応業務の効率化
- ・自動検針、ロードサーベイ
- ・転入居、契約変更処理
など

b) 新規事業展開

電気事業が有する資源（人材、土地、建物、設備）やブランド力（需要家の信頼感）を活用し、グループ企業や一般企業と必要に応じて共同で、事業を展開する。事業内容については、今後の検討が必要と思われる。

この分野で先進的な活動を行っている四国電力^(株)のOpenPLANET IPAプロジェクト⁽⁸⁾では、新サービスとして、

- ・省エネルギー
電気エネルギーの無駄な使用の排除、節約、夏季ピーク低減などをねらいに、住宅内のセンサーを利用して不要な照明や保温の停止、住人の意図を反映した省エネ制御、電力会社からのDSM指令にもとづくエアコン温度の設定変更などを行う。

のほか、新規事業に対応するものとして、

- ・防犯・防災
非常災害や不法侵入などから住人の安全や財産を守ることをねらいに、住宅内のセンサーや放送電波などから情報を収集し、住宅内の家電機器を適切に制御する。
- ・高齢者の生活支援
高齢者世帯、独居老人や障害者の生活支援をねらいに、健康管理のための基礎データや生活パターンなどを収集、チェックするとともに、留守でも

ないのに水道が全く使用されていない場合などの異常状態を検知した場合は、家族や関連機関などに通報する。

の実証実験が行われた。

高度情報化社会の到来で、家庭生活はこれまでと異なる利便性、効率性、快適性を手にいれるようになる。エネルギーサービスの面でも新しいアプローチが試みられようとしている。

2 - 3 業務用分野でのエネルギー消費構造と課題

2-3-1 業務用エネルギー需要の特徴

1998年度の業務部門の最終エネルギー消費は、1891PJ（4883万石油換算kℓ）で、最終エネルギー消費の13%を占める。業務部門のエネルギー消費は経済活動と相関が大きく、1965年度には7%程度であったシェアが経済成長とともに1998年度には13%まで増加している。エネルギー源としては電力が選好されおり、1998年度で電力構成比は45.9%に達する。表2-3-1に示す用途別エネルギー消費量をみると、電力固有の動力・照明用が1990年度の33.0%から1998年度の39.7%とシェアを伸ばしている⁽⁴⁾。この背景には事務所ビルの床面積の増大と全業種にわたる情報化の進展があげられる。他の用途で大きいのは、暖房の25%前後、給湯用途の22%であるが、これらの需要は飽和傾向にあり、床面積当たりの消費原単位は減少傾向にある。冷房用途は家庭用に比べて大きいものの、1990年代に入り、機器普及が一巡し、気象変動の範囲内でシェアは7～8%で安定している。

業務用電力需要は2267億kWh（1998年度）で、業務

部門はエネルギーに占める電力の割合が大きいため、最終エネルギー消費におけるシェアの約2倍の24.8%を占める。2000～2010年度の電気事業用電力需要の伸びは1.8%と予測され、とりわけ業務用の伸びは顕著で3.1%とGDPの約1.8倍のペースである⁽⁶⁾。これは経済のサービス化、OA化の進展や競争導入による電気料金値下げの影響が大きいと見られる。

業務部門には、産業部門の管理部門(事務所ビル)および電気・ガス・運輸業を除く第三次産業が含まれ、非常に多種多様な業種を含む。図2-3-1に9業種別のエネルギー消費の推移を示す。シェアを伸ばし、かつ大きいのは、卸・小売業と事務所ビルで、それぞれ1998年度で業務部門エネルギーの21%、18%を占める。続いて、ホテル、病院、学校の順となり、多くの需要家サービスに関する分析でもこれらの業種に焦点を当てることが多い。業務部門のエネルギー消費は、業務活動指数として床面積と相関が高い。

2-3-2 事務所ビルのエネルギー消費特性

業務用需要の契約電力の業種別の内訳は、事務所・

表2-3-1 用途別エネルギー消費原単位⁽⁶⁾

	(1998年度)						(10 ³ kcal/m ² , %)	
	暖房用	冷房用	給湯用	厨房用	動力用	合計	構成比	
電力	4.3	13.2	0.0	0.0	112.6	130.1	45.9	
ガス	5.3	4.8	18.4	18.9	0.0	47.4	16.7	
石油	56.2	3.3	36.4	0	0.0	95.9	33.8	
石炭	1	0.0	4	1.5	0.0	6.5	2.3	
太陽熱	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	3.8	1.3	
合計	66.8	21.3	62.6	20.4	112.6	283.7	100.0	
構成比	23.5	7.5	22.1	7.2	39.7	100.0		

注：太陽熱には、地熱、熱を含む。

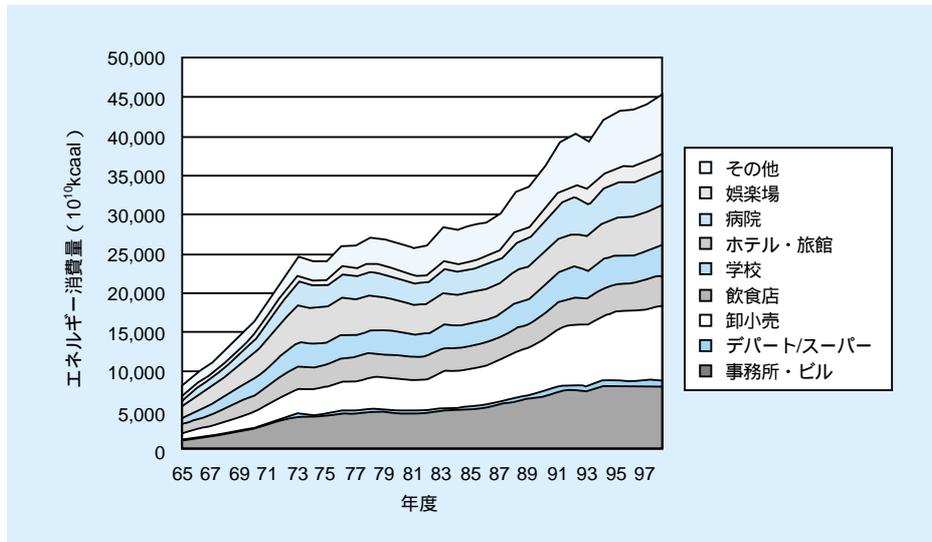


図2-3-1 業種別エネルギー消費量の推移⁽⁶⁾

官公署が27.9%（1998年度、通産省調べ）と最も多く、ついで百貨店・商店の22.2%となっている。事務所ビルでは冷暖房用および空調動力用のエネルギー消費が、全エネルギー消費の半分近くを占める⁽¹⁰⁾。

図2-3-2に床面積3000m²程度の小規模事務所ビルの電力・熱負荷パターンを示す⁽¹¹⁾。これは通常事務所ビルの場合で、インテリジェントビルの場合、LAN等のベースロードが大きい。事務所ビルにおけるインテリジェント化は、OA機器・照明等の内部負荷を増やし、さらに空調による電力需要の増大が夏季ピーク電力を押し上げる原因になる。事務所ビルにおけるOA機器類の電力消費は、エネルギー消費の16%に達する⁽¹²⁾。4章で詳しく分析するように、業務部門では事務所ビルの空調負荷に焦点を当てた研究が中心である。

一方、1998年時点で事務所ビルの95%（床面積比）がネットワーク化されているように、夜間も稼働する機器数が増え、ビルの電力負荷は平準化している傾向も見られる。負荷平準化と同時に待機時電力削減などエネルギーマネジメントの導入も急がれる。

2-3-3 業務施設別エネルギー消費特性

わが国では分散型エネルギーシステムのコーディネーション利用がエネルギー効率および環境保全の観点から望ましく、5章で取り上げる需要家設置型の分散型エネルギーシステムの導入ポテンシャルは、需要

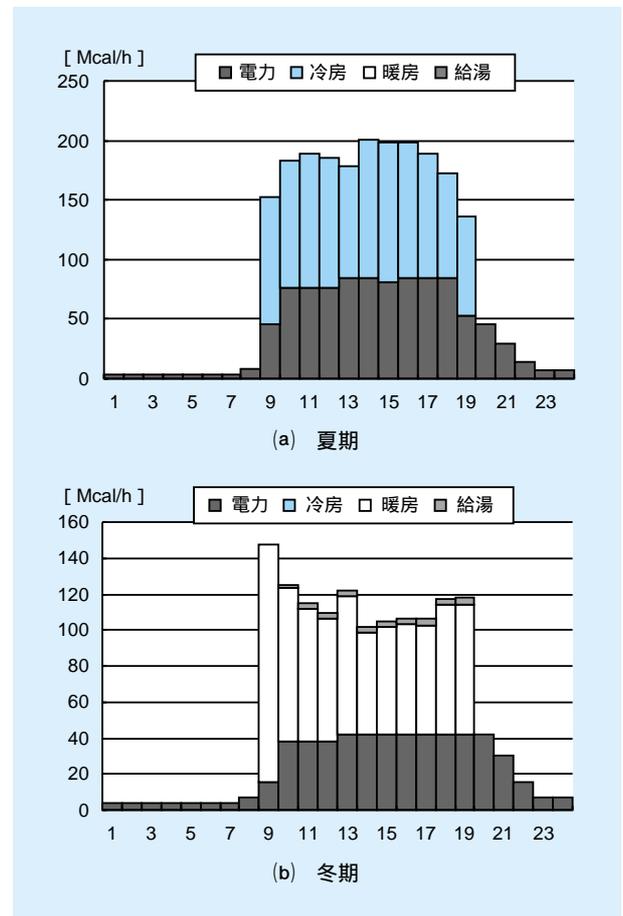


図2-3-2 事務所ビル（床面積3000m²程度）の電力・熱負荷パターン⁽¹¹⁾

家の熱・電力需要の時間特性に大きく依存する。

空気調和・衛生工学会の資料から1987年～1998年に新規竣工した建物の規模別分布を調査した。床面積3000m²程度の小規模建物と7000m²程度の中規模建物毎のエネルギー消費原単位を表2-3-2に示す。同じ建物用途でも業務様態が異なるため(ホテルの中規模では宴会設備などが増えるため、給湯需要比率が大きくなる)原単位は規模に関して比例的に変化するとは限らない。

業務用の代表的な需要家種別に季節別の電力日負荷率と熱電力需要比率を比較する(表2-3-2)。

- 1) 事務所：昼間のみ電力負荷があり、日負荷が低い。中間期の熱需要は小さい。
 - 2) ホテル：日負荷率の季節間格差が大きい。
 - 3) 店舗：日負荷率が低い。夏期の冷房需要を除けば、季節間格差は小さい。
 - 4) 病院：日負荷率が高い。給湯需要が大きく、熱需要比率が大きい。
- 5章ではこのような需要特性の異なる施設別にオンサイトエネルギーシステムの経済性を評価している。

表2-3-2 需要家種別日負荷率と熱電力需要比率

	延床面積 [m ²]	電力 [MWh/年]	冷房 [Gcal/年]	暖房 [Gcal/年]	給湯 [Gcal/年]	最大負荷		電力需要日負荷率			熱電比率			
						エネルギー [Mcal/h]	電力 [kWh/h]	夏期	冬期	中間期	夏期	冬期	中間期	
事務所	小規模	2,906	291	122	87	6	201	98	47.9%	55.6%	55.6%	54.3%	60.1%	22.9%
	中規模	7,027	842	410	219	15	635	284	47.9%	55.6%	55.6%	57.9%	56.7%	23.1%
ホテル	小規模	2,764	323	113	135	35	190	100	46.3%	85.9%	80.0%	54.1%	65.2%	34.5%
	中規模	7,351	1,087	532	591	268	759	325	46.3%	85.9%	80.0%	63.2%	72.2%	45.4%
店舗	小規模	3,291	691	296	59	8	488	239	44.8%	45.8%	45.8%	53.3%	31.7%	22.1%
	中規模	7,103	1,623	764	183	36	1215	561	44.8%	45.8%	45.8%	55.7%	38.5%	24.8%
病院	小規模	3,165	142	19	108	127	127	39	59.5%	75.8%	85.0%	46.5%	81.3%	66.6%
	中規模	6,969	694	351	560	555	636	188	59.5%	75.8%	85.0%	60.2%	81.9%	69.6%

第 3 章

3

IT時代の家庭用エネルギー

人間の行動解明と快適な省エネ

経済社会研究所	上席研究員	浅野 浩志
経済社会研究所	主任研究員	土屋 智子
情報研究所	上席研究員	鈴木 正
広報部	課長	吉光 司
横須賀研究所プラント熱工学部	主任研究員	斎川 路之
横須賀研究所プラント熱工学部	主任研究員	土屋 陽子
狛江研究所需要家システム部	上席研究員	中野 幸夫
狛江研究所需要家システム部	上席研究員	市川 建美

3 - 1	消費者の意識・行動とエネルギー消費特性	23
3 - 2	住宅需要家のDSM施策効果	26
3 - 3	家庭用エネルギーシステム新技術	32
コラム	：暖房・給湯用の新蓄熱物質を検索する	37
3 - 4	非侵入型電気機器モニタリングシステムの開発	38
コラム	：消費者をつかむ	42
コラム	：エネルギーユーザ特性情報データベース	43

浅野 浩志 (12ページに掲載)



土屋 智子 (昭和62年入所)
 地域モデル開発を経て、地域開発、電力価格等に関する社会調査に従事。現在は、家庭用需要家の実態調査のほか、環境・エネルギー問題に関する意識調査やコミュニケーション手法の研究に携わっている。

鈴木 正 (12ページに掲載)



吉光 司 (昭和57年入所)
 配電計画の研究に従事した後、需要家系情報通信ネットワーク、需要家対応業務の遠隔処理や新しいサービスを提供するための端末技術、電力の有効利用を支援手法などの研究に従事してきた。



斎川 路之 (昭和61年入所)
 圧縮式ヒートポンプの研究開発や新型火力発電システムの評価研究に従事してきた。現在は、自然冷媒CO₂を利用したヒートポンプの研究開発、燃料投入型分散型電源による熱電供給システムの適用性評価研究に取り組んでいる。



土屋 陽子 (平成6年入所)
 入所以来、火力発電所から排出される二酸化炭素の回収を目的としたガス分離膜の試作など、材料開発に従事。現在は、新規蓄熱材料の探索や蓄熱システムの高性能化に取り組んでいる。

中野 幸夫 (12ページに掲載)



市川 建美 (昭和45年入所)
 原子力電源を含む電力システムの安定運用の解析・評価に長く従事してきた。近年は、需要地に導入が予想される分散型電源の特性分析、需要地系統(分散型電源の導入を前提とした配電系統)の安定運用、エネルギー運用管理に関する研究を進めている。

3 - 1 消費者の意識・行動とエネルギー消費

3-1-1 消費者を“知る”ことの難しさ

当研究所における需要家研究でもっとも不十分なものは、需要家に関する研究である。これは、電気事業が長い間「作れば売れる」という恵まれた市場環境にあり、いかに効率的に電力を生産するかが重要な研究課題とされていたためである。しかし今後は、「だれに、いかに売るか」が電気事業の経営課題となり、そのための研究が求められよう。

しかし、消費者を“知る”ことは非常に難しい。厳しい競争市場に直面している多くの企業は、何十年前から「消費者」に関わる調査や研究を続け、様々なマーケティング手法が「消費者」分析に用いられてきた。しかし、定量的統計的な手法によって消費者をいかに細かく分類しても「何が売れるのか」は予測困難で、マーケティングの理論や手法は「何故売れたか」を後付的に検証してきたとの感がある。近年では、街頭での観察やインタビューなどの少人数の定性的なデータによる分析を重視する傾向が強まっている。消費者のニーズが十人十色から、一人十色へ、時と場と状況に応じて変化するようになったために、適切な人々を集めることができれば、ある時と場と状況でのニーズ把握は少人数のデータでも可能になったからである。ただし、定性的分析の基礎には、定量的な分析で得られた消費者に関する膨大な情報があることに留意しなければならない。

電力需要の場合、日本全体やある地域の家庭用電力需要は、所得水準、電力価格、気象要因、前年の需要によって99%以上説明できる。しかし、これを冷房や照明といった用途別に分析しようとする、ライフスタイルの変化や地域特性を考慮しなければならなくなる。さらに世帯単位の電力需要を分析しようとする、家族構成や暮らし方の特徴を検討しなくてはならない。例えば、**図3-1-1**は契約アンペア別に夏季の1ヶ月の電気使用量をあらわしたものであるが、40A契約では使用

量に6倍以上の開きがある。使用量の少ない家庭と多い家庭では、電力に対するニーズもしくは電気によってもたらされる効用（快適な室温や照明や家事の負担軽減など）が異なっていると考えるべきであろう。

電気はあらゆる家庭に普及している「財」であり、あらたな需要を生み出すのは非常に難しい。きめ細かな調査と分析とデータの蓄積に基づくきめ細かなサービス提供が重要となる。

ここで紹介する研究は、機器の保有と使用時間に関するデータを細かく収集するとともに、そのような使用状況を生み出す背景を探るためにエネルギー消費に関わる意識や考え方をとらえる調査を行い、世帯単位でのエネルギー消費の構造を分析するというものである⁽¹⁾。まず、機器の保有と使用時間がどのような要因によって影響を受けているかを分析し、次に機器の保有や使用時間と世帯単位の電気・ガス使用量との関係を分析した。

3-1-2節では、電気使用量の分析結果をもとに、消費者意識がどのような影響を与えているかについて解説する。3-1-3節では、エネルギー消費に関連する生活場面ごとの考え方や行動からライフスタイルを分類し、その多様性について議論する。3-1-4節では、家電製品の利用実態から、今後需要が伸びそうな分野について整理するとともに、エネルギー消費構造の分析が電気

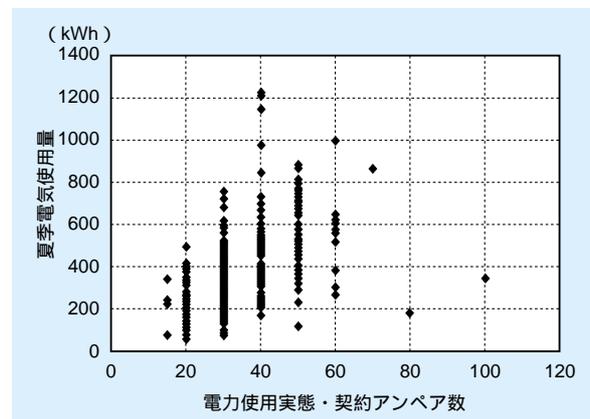


図3-1-3 契約アンペア別電気使用量

事業経営にとってどのような役割を果たしうるかについて述べ、当研究所の今後の研究計画を紹介する。

3-1-2 消費者意識は電気使用量を左右するか

電気やガスは、それ自体を購入しているというより、電気やガスを利用する機器を使用することによって消費をしている。従って、消費者意識やライフスタイルは、消費者が自分の判断で使用頻度や使用時間を変えることのできる機器の使用状況にもっともよく表われる。

照明や厨房・家事等に関わる個別の機器の使用頻度もしくは使用時間に関する要因分析を行ってみると、冷房時間において消費者の意識が明確な影響力をもっていた。冷房時間に影響を及ぼした意識とは「クーラーやエアコンがないと夏は暮らせない」「夜涼しくて十分に睡眠をとれる」といった“冷房を肯定的に考える”意識である。

一方、夏季における省エネ行動の実施は冷房時間とは関係なかった。これは、省エネ実施率の高い世帯は年齢が比較的高く、世帯人数が多い、住宅が広い、所得が比較的高いなど、世帯全体の冷房使用時間が増大する要因も揃っていたためと考えられる。特に、子供が高校生以上で自宅で自由に冷房を使っている場合には、いかに回答者自身が省エネに心掛け、冷房を使わなくても、世帯全体では使用時間が大きくなる。冷房使用時間を抑制している要因は、省エネ実施率ではなく、電気使用量のお知らせに掲載されている前年同月の使用量を省エネに役立てているかどうかであった。

冷房時間は、夏季の1ヶ月あたり電気使用量の最も重要な要因であり、“冷房を肯定的に考える”人ほど電気使用量が多いといえる。逆に、前年同月の使用量といった個々の世帯に特有で具体的な情報は、冷房時間を抑制し、夏季の電気使用量を減少させる。

この個々の世帯に特有な情報提供の効果は、冬季調査においても確認されている。夏季調査において年間使用量データの送付サービスについて知らせておき、冬季調査でデータ送付を依頼したかどうかをたずねた。わずか8%であるがデータ送付を依頼した世帯があり、うち6割がデータを見て「省エネをもっと心掛けよう

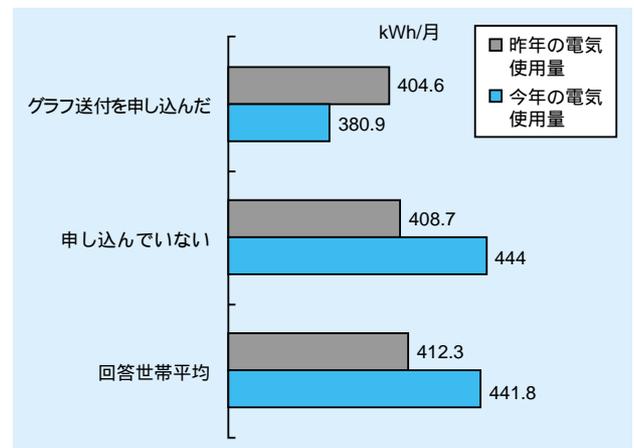


図3-1-2 データ送付申込の有無による電気使用量の違い

と思った」と答えている。図3-1-2は、データ送付を申し込んだ世帯と申し込まなかった世帯の冬の電気使用量を比較したものである。全体として1年前よりも電気使用量が増加しているにもかかわらず、データ送付を申し込んだ世帯は平均20kWh、約5%使用量が減少した。暖房に関わる省エネ実施率では冬季の電気使用量に違いがなかったことから、データ送付を申し込んだ世帯では冷暖房に関わらず世帯の省エネに取り組んだと考えられる。

データ送付を申し込んだ世帯の省エネ実施率は特に高いわけではなく、一般的な省エネ情報は他の世帯も見聞きしていると考えられることから、具体的な行動に結びつくには、個々の世帯に対応したきめ細かな情報提供が効果的であるといえよう。年間使用量のデータ送付サービスは世帯全体の需要を抑制したが、適切な情報提供を行えば、ピークカットに結びつく行動を引き起こすことも可能であろう。

3-1-3 ライフスタイルは多様化しているか

ここでは、家事など家電製品を用いる生活場面においてどのような行動・考え方をもっているかをたずねたデータを用いて、エネルギー消費におけるライフスタイルの分類を紹介し、エネルギー消費との関連を示す。

まず、回答のパターンからライフスタイルに関わるとされた因子は、手作り料理への志向、温水や水の使い方、冷暖房、衣類の機械乾燥への考え、コスト意識、

TVの見方、掃除に代表される家事の頻度であった。これを用いて分析したところ、4つのライフスタイルにまとめられた。まず、手作り料理が好きで献立は家族の健康に配慮し、掃除や洗濯はほぼ毎日するという「家事重視型」、次に温水をあまり使わず節水に努め、冷暖房の使用も控えめな「節約型」、逆に温水・冷暖房をよく使う「ゆとり型」、最後に料理や掃除は好きでよくするが環境や健康に特に配慮するわけではなく、水は流しっぱなし、機械乾燥は有用、冷暖房がないと暮らせないと考えている「快樂型」である。図3-1-3に4タイプの月ごとの電気使用量を示す。

図3-1-3をみると、4タイプの特徴が月ごとの電気使用量によく表われていることがわかる。調査期間を通じて最も平均使用量の多いのは「ゆとり型」であり、特に冷暖房使用時期での他グループとの差が大きい。これは「ゆとり型」のライフスタイル上の特徴でもあるが、このタイプの社会属性として家族人数が多い、比較的住宅が大きい、所得や回答者の年齢が高いという特徴があることから、前節で述べた世帯全体の冷房時間が長くなる要因「個室で冷暖房を使う高校生以上の子供がいる」ことの影響でもあると考えられる。「快樂型」と「節約型」は比較的電気使用量が同じであるが、「快樂型」には単身世帯が多く、「節約型」には2人以上世帯が多いことから、一人あたりの電気使用量は快樂型の方がかなり多い。面白いことに、冷暖房使用に際して「光熱費が気になる」と答える割合は「節約型」よりも「快樂型」の方が多い。これは、若い単身者が多く、所得が低いために光熱費が負担になっているためと考えられるが、彼らは省エネをして光熱費

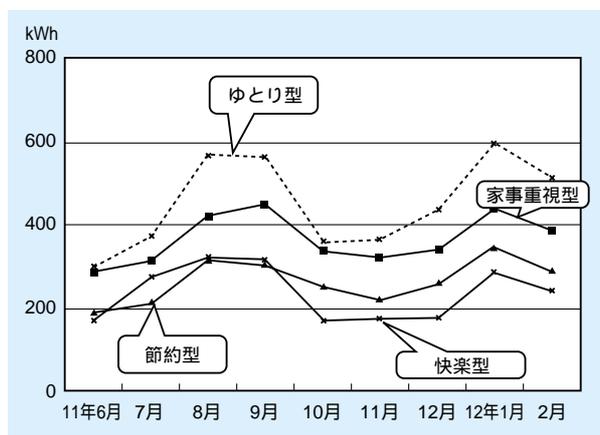


図3-1-3 ライフスタイル別1ヶ月の電気使用量

を削減するという行動には至らないことを示唆している。

ところで、ライフスタイルは多様化しているのだろうか。今回の分析では4つのタイプに分類したが、実は「家事重視型」に入る世帯が8割を占めている。エネルギー利用に関わる生活行動と意識だけに限って言えば、それほど多様化しているとはいえない。掃除や洗濯ではほとんどの世帯が機器を保有し、個人の嗜好よりも家庭生活上の必要性が優先されるためと考えられる。

3-1-4 エネルギー利用の提案に向けて

多様化していないとはいえ、ライフスタイルは世帯の電気使用量を左右する要因のひとつである。ただし、前節で説明したように、住宅面積や所得、家族人数、世帯構成なども電気使用量に大きな影響を与える要因であり、これらの要因を総合的に考える必要がある。図3-1-4は、97年調査の夏季データを用いて、世帯の電気使用量を分析した構造モデルの推定値と実測値のグラフである。このモデルの決定係数は0.67であり、バラツキの大きい世帯単位のデータを扱ったものとしては電気使用量をよく説明している方である。ただし、図3-1-4に示すように、使用量の多い世帯での推定値と実測値との乖離が大きく、さらなる改良を試みている。

このような構造モデルによって電気使用量の決定要因を明らかにできると、決定要因に関わるデータを集めるだけで当該世帯の電気使用量の推定値を出すことができる。推定値が実際の使用量より多ければ、何が増加要因かを指摘し、より有効なエネルギー利用をア

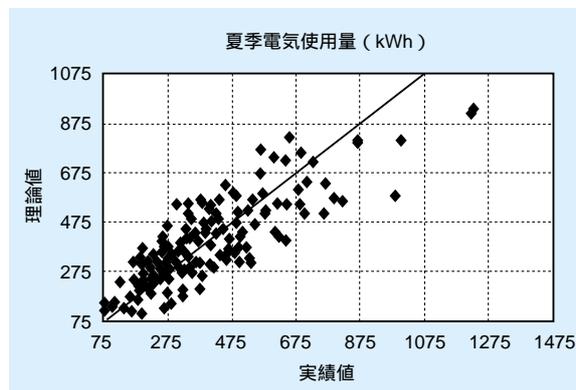


図3-1-4 夏季電気使用量の推定結果による理論値と実測値

デバイスできよう。特に、構造モデルにはライフスタイルに関わる要因を加えることができるため、例えば「節約型」には「節約型」の、「快樂型」には「快樂型」の暮らし方や意識に合ったアドバイスが可能となる。

従来、このようなアドバイスには、個々の機器のエネルギー使用量を計測することが必要と考えられていた。確かに、計測データは正確な分析を可能とするが、時間と費用と人手がかかり、対象世帯にも負担をかけるという問題があった。これをアンケートやヒアリングによるデータで行えるようになれば、インターネットを通じたコンサルティングも可能となろう。

さらに当研究所では、より詳細なデータに基づくコンサルティングを可能とするため、屋外から機器の使用状況を推測するシステムを開発中である（本章3-4節参照）。このようなモニタリングシステムとインターネットを組み合わせれば、計測データによるコンサルティングさえ可能となる。

米国の電力会社では、顧客獲得のための付加価値サービスのひとつとして、エネルギーマネジメントサービスを実施している。例えば、タンパ電力では商業ユ

ーザーに電気・ガス・水道などの使用状況を、照明・動力といった用途や使用場所別に確認するソフトを無料で配布するサービスを行っている。希望するユーザーは通信を利用して利用データを電力会社に送り、アドバイスや関連機器の斡旋などを受けられる。このようなしくみを家庭用に行うとすれば、情報技術を活用した低コスト化が必要であり、モニタリングと分析ツールの開発が求められる。

モニタリングやツール開発の際に注目しなければならないのは、技術の高度化よりも消費者ニーズである。どんな情報やアドバイスを欲しいと思っているか、を把握し、それらを提供するためのシステムを開発することが重要であろう。当研究所では、分電盤レベルで家庭の電気使用量を測る調査を実施中である。この計測システムではパソコンで各分岐回路ごとの使用量を確認したり、1日単位・月単位の使用量を表示したりできる。計測データの収集とともに、システムが提供する様々な情報の有用性や今後のコンサルティングに対する要望などを把握し、当研究所の研究開発や電気事業への提案に活かしたいと考えている。

3 - 2 住宅需要家の DSM 施策効果

3-2-1 デマンドサイド・マネジメント(DSM)とは

九州電力は、福岡において興味深い試験を行った。電力会社と需要家を双方向の通信で結び、さまざまな電力情報をタイムリーに提供したとき、需要家はいかなる需要調整行動をとるか把握できる試験である（詳細は3-2-3参照）。この試験結果から、一般家庭の三分の一は夏季午後1時から5時のピーク帯に通常の二倍ないしは四倍という高いピーク帯価格に合理的に反応し、その使用量を抑制した。また、三分の一の需要家は価格が高いと認識しながらもエアコンの温度設定を変えるなどの需要調整が面倒なため、直接制御など電力会社側で自動的に調整してくれる方を選好し、残り三分の一の消費者は料金インセンティブには無反応であっ

た。これは、省エネに対する一般的な消費者の認識と行動の分布においてもみられる傾向である。したがって、ある一定の消費者層に価格体系や適切な情報提供によって省エネや負荷平準化を図っていくことは有効である。

デマンドサイド・マネジメント(DSM)は消費側と供給側が互いに協調し、負荷率向上と省エネルギーを推進し、社会発展、環境改善に寄与するための活動である(図3-2-1)。DSMの目的は大きくエネルギー効率改善(省エネルギー)とロードマネジメント(負荷管理)に分けられる。エネルギー効率改善は、機器や建物のエネルギー効率を高め、エネルギー利用による利便性や快適性を損なわないように、エネルギー消費量を節減することである。この種のDSMは事業者の減収になるため、必ずしも電気事業者が実行するには適さない。したがって、一般的には電気事業ではなく政府

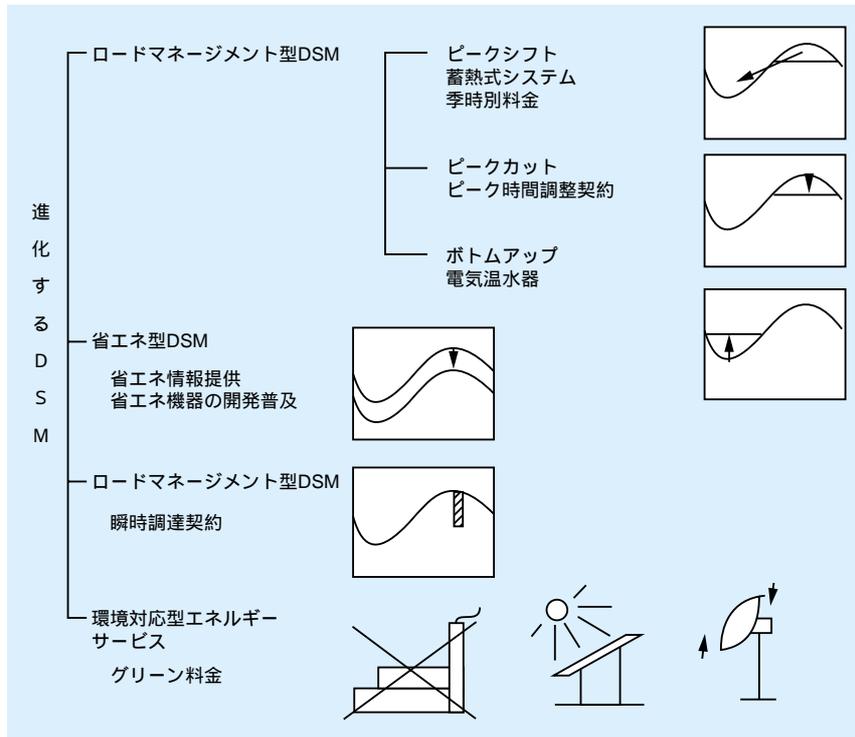


図3-2-1 進化するDSM

の担うべき領域のDSMとされている。一方、ロードマネージメントは、伝統的な負荷平準化、すなわち、ピークカット、ピークシフト（ピーク時からオフピーク時への需要の移行）、谷間需要創成（深夜電力利用が典型）の三つの負荷曲線変化を目的とする。代表的な例は、エアコンなどピーク負荷の原因となる機器を電力会社から直接通信媒体を通じてオン・オフ制御する「直接負荷制御」と、需要家との契約により需給逼迫時に自動的にあるいは需要家側の判断で需要調整を行う「負荷遮断可能料金」である。

さらに第三のタイプのDSMとして、信頼度調整型DSMというべきものが電力市場自由化の動きの中で、再注目されている。具体的には、現在の瞬時調整契約など、電力系統の需給逼迫時に即応して瞬時に負荷を遮断するかわりに電気料金をその負荷調整の努力に応じて割引くものである。供給側からみると、短期的にピーク電源に代替する。すでに小売自由化が進んでいる英国や米国では、供給側の不確実性が増えている中で、このリスクを管理するために負荷遮断契約の役割が重要になりつつある。これらは電力品質の低下と料金割引を組み合わせたDSMであるが、一方、パソコンなど情報機器の普及により僅かな電力品質低下を嫌う需

要家も多数存在する。このように供給する電力品質により料金を可変とするプライオリティ・サービス（品質別電力供給）は、今後、配電サービスの向上や情報通信・制御技術の進展とともにその拡大が検討されよう。

小売レベルの自由化は、消費者にとっての選択の幅を拓げるもので、電力品質以外にも商品差別化の対象として環境適合性も考えられる。既存の火力発電に比して、環境負荷の相対的に小さい再生可能エネルギー起源の電力をグリーン電力と称し、割高ではあるが、環境保護に熱心な消費者層に選んでもらうように、料金メニュー（グリーン料金）に含んでアピールしている。わが国でも太陽光発電システム設置に対する政府助成策への応募が多数あったことから、グリーン電力への関心は決して低くないものと考えられる。

3-2-2 情報提供によるDSM

エネルギー産業への競争導入により、電気事業は従前以上に費用効果的な資源の計画・運用および魅力的な顧客サービスの提供が求められており、情報技術（IT）や価格メカニズムを活用した需要方策（DSM）は

その有力なツールである。情報提供プログラムは需要家の行動の結果を電力消費量ないしは電気代としてフィードバックし、需要家自身のエネルギー診断評価能力を高める。そのためには、理解しやすくある程度正確な情報がタイミングよく入手できることが前提となる。エネルギー供給者からエネルギーユーザーへの最も簡便な伝達手段は検針票を用いて月当たりの使用量情報を提供することであり、最も進んだ伝達手段はインターネット等双方向の電子的な通信である。東京電力は、検針票に前年同月の各需要家の使用量を表示したり、シェイプアップカルテと呼ばれる契約電力別の平均電力消費量と比較できる情報を提供している。これにより3-1節で述べたように約5%の省電力効果がみられた。また、省エネルギーセンターは平成10年度から全国800世帯の家庭に毎月の電力消費量の累積値を長時間で金額表示（近似値）するモニターを設置し、その効果を調査している（省エネルギー実態調査事業）。これは主に省電力を目的としたもので、必ずしも系統の負荷平準化に結び付くとは限らないが、夏季ピーク時のエアコンやその他の機器使用の工夫を促すことも期待される。1999年8月までに回収された784世帯の使用実績データを分析した結果、設置前に比べて約20%の使用電力量を削減している（次世代DSM検討委員会、平成12年7月）。

このように現在、電力使用量や料金表示に対する一般家庭の関心の高まりに応じて、電力会社等はインターネットを通じて月毎の使用量や簡単な省エネルギー診断機能を提供し始めている。

3-2-3 情報提供によるピーク負荷調整効果

このような情報提供プログラムの最も大規模で緻密なデータを蓄積した負荷集中制御試験データに基づき、当所は家庭用需要家の情報提供に対する需要調整行動を実証分析した。

(1) 試験概要

九州電力は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けて、福岡市西区周船寺・今宿地区において負荷集中制御システム実証試験を平成7年度から11年度の7月～9月の平日に実施した。電灯契約

（時間帯別契約、深夜電力契約を除く戸建て）の需要家約1200口を対象とし、約400口ずつ以下の3グループに分けて、試験前の夏季平均負荷をほぼ等価にした。

1) 間接負荷制御試験（間接制御と略称）

電力会社と需要家間を伝送路で結び、需要家宅内に設置した宅内表示器（テレビ）を通して、ピーク時間帯料金を模擬したピーク抑制試験協力金、需要家の電力使用状況（負荷カーブ等）、電気利用工夫アドバイス等の情報を提供し、それらの電力負荷に与える影響を検証する。表3-2-1に示すように、毎年料金設定方法を変えて試験を実施した。

2) 直接負荷制御試験（直接制御と略称）

上記試験と基本的に同様に電力会社から需要家に情報提供し、かつ、エアコンを直接制御し、負荷平準化効果を検証する。

3) 統制群（ロードサーベイ）

情報提供なしで、電気使用量を毎時計測し、上記2グループの負荷と比較する。

10年度までの直接制御試験では、間接制御と同様に試験協力金を与えた上で、電力会社からの直接制御を行ったが、制御効果は間接制御より小さかった。これは、直接制御グループの需要家が自主的に需要調整を行う必要性をあまり感じなかったためと考えられる。このため、11年度は既に電気使用の工夫が定着している間接制御グループの半数に新たに直接制御試験を実施した。また、10年度まで直接制御グループに参加していた半数を11年度は間接制御グループに組み入れた。ただし、このグループには料金4倍の試験料金単価を適用せず、使用量などの電力情報のみ与えた。

(2) 電力需要関数モデル

ピーク抑制協力金を受け取る可能性のある家計（間接制御グループ）の効用最大化問題は、次式で表すことができる^{(2), (3)}。

$$\max. U(E_p, E_o, Z) \quad (1)$$

$$E_p, E_o, Z$$

$$\text{s.t. } P(E_p + E_o) - \alpha [K(E_p + E_o) - E_p] + Z \leq M,$$

$$\text{if } k > E_p / (E_p + E_o)$$

$$P(E_p + E_o) + Z \leq M, \text{ if } k \leq E_p / (E_p + E_o)$$

E_p : 毎月のピーク時間帯（平日13～17時）の電力

表3-2-1 負荷制御試験における需要家グループ分け

グループ	平成 7年	8年	9年	10年	11年
A11 (A3) 82世帯	ロードサーベイ (LS)	間接負荷制御 平日ピーク帯： 13：00～17：00 試験料金単価： 2倍 (23 46円/kWh)	間接負荷制御 平日ピーク帯： 14：00～15：00 試験料金単価： 4倍 (23 92円/kWh)	間接負荷制御 平日ピーク帯：なし 試験料金単価： 1倍 (23円/kWh)	間接負荷制御 平日ピーク帯： 13：00～17：00 試験料金単価： 4倍 (23 92円/kWh) タイムリーな情報提供
A12 64世帯					直接負荷制御 平日ピーク帯： 13：00～17：00 試験料金単価： 4倍 (23 92円/kWh) ON/OFF制御 設定温度一律制御 (28)
A21 (A3) 81世帯					間接負荷制御 平日ピーク帯： 13：00～17：00 試験料金単価： 4倍 (23 92円/kWh) タイムリーな情報提供
A22 72世帯					直接負荷制御 平日ピーク帯： 13：00～17：00 試験料金単価： 4倍 (23 92円/kWh) ON/OFF制御 設定温度一律制御 (28)
B1 143世帯	ロードサーベイ (LS)	間接負荷制御 平日ピーク帯： 14：00～15：00 試験料金単価： 4倍 (23 92円/kWh) ON/OFF制御 設定温度一律制御 (28)	直接負荷制御 平日ピーク帯： 13：00～17：00 試験料金単価： 4倍 (23 92円/kWh) 設定温度一律制御 (26) 設定温度一律制御 (27)	間接負荷制御 平日ピーク帯：なし 試験料金単価： 1倍 (23円/kWh)	
B2 148世帯					直接負荷制御 平日ピーク帯： 13：00～16：00 試験料金単価： 4倍 (23 92円/kWh) ON/OFF制御 設定温度一律制御 (28)
C 332世帯			ロードサーベイ (LS)	ロードサーベイ (LS)	ロードサーベイ (LS)

(注) 表記の世帯数は本報告の集計及び分析に有効であった世帯数 (合計922世帯)。A11とA21をあわせて、A3とし、価格効果の分析対象とする。

消費量

- Eo : 毎月のオフピーク時間帯の電力消費量
- Z : 毎月の合成財の消費量 (価格 = 1)
- U : 毎月の効用
- M : 毎月の所得
- k : 平成 7年同月におけるピーク時間帯の電力消費シェア
- S : ピーク抑制協力金の単価 (試験料金単価 - 現行料金単価、69円/kWh)
- P : 現行の電気料金単価

上記より以下の電力需要関数を導出し、価格効果および情報獲得効果を計測する。

$$\ln(E_p/E_o) = \ln B + aA - (b - a) \ln(\text{incent}) \quad (2)$$

Bは効用関数のパラメータから、incentはピーク抑制協力金から計算される。需要家は、月別の電力消費量や1時間ごとの電力消費量に関する情報などを、宅内表示器を通じて容易に獲得することができる(表3-2-2)。宅内表示器を通じて提供される情報に対するアクセス頻度の指標をAとする。図3-2-2に情報内容(番組)別に月あたりのアクセスした日数の割合を示す。情報へのアクセスが多い番組は、当日と前日の1時間毎の電力量比較であり、およそ10日に1日の割合でアクセスしている。月別電力使用量については1ヶ月に2日程度のアクセスである。番組情報の提供を開始した平成8年と比べると全体的にアクセス割合が低下しており、

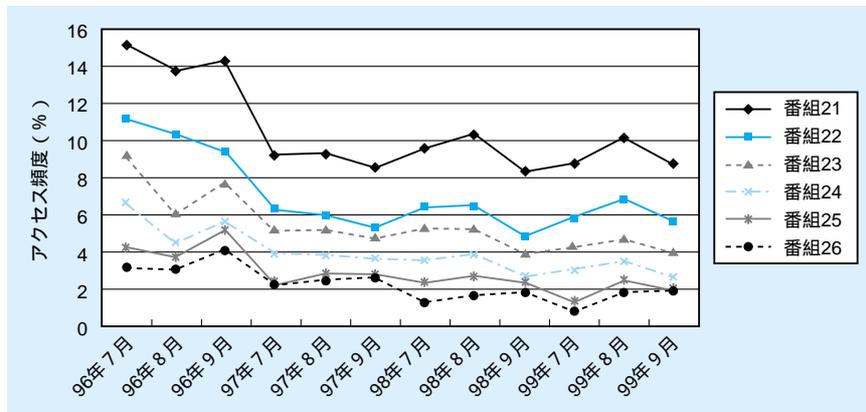


図3-2-2 情報アクセス頻度

表3-2-2 情報内容

番号	番組の内容
21	1時間毎の電力量のグラフ：当日と前日との比較
22	1時間毎の電力量のグラフ：当日と任意に指定した日との比較
23	1時間毎の電力量のグラフ：当日と前々日との比較
24	1時間毎の電力量のグラフ：前日と任意に指定した日との比較
25	月別電力使用量のグラフ
26	月別電力使用量の表

表3-2-3 電力需要関数の推定結果（11年）

項目	係数値
定数項 (lnB)	- 2.277 ** *
ln (incent)	- 0.019 *
世帯人数 (人)	- 0.039 ** *
昼間在宅人数 (人)	0.033 ** *
高齢者人数	0.064 ** *
床面積 (100m ²)	- 0.043 ** *
契約容量アンペア	0.002 ** *
ピーク帯最高気温の月平均	0.021 ** *
電力情報アクセス指標：A	- 0.171
A * ln (incent)	0.108

注：** 両側1%で有意、* 両側5%で有意

電力情報に対して習熟してきたことが推察される。

(2)式の推定にあたって、誤差項を加えるとともに、ピーク比率に影響を及ぼすと思われる世帯属性や家電機器の保有などの要因についても考慮する。

ピーク抑制協力金が電力需要に及ぼす影響を計測するため、次式で定義される指標

$$= \ln(E_p/E_o) / \ln(r, r) \quad S/P \quad (3)$$

を用いる。は、電力情報をまったく獲得しない状態で、協力金単価と現行料金の比率が1%変化した場合に、ピークとオフピークの電力量比率が何パーセント変化するのかを示している。

(3) 価格効果の計測結果

表3-2-3は、間接制御グループと統制群(332件)を対象に(3)式の需要関数を一般化最小二乗法で推定した結果である⁽⁴⁾。ピーク抑制協力金の効果(価格効果)は5%の水準で統計的に有意である。昼間在宅人数、高

齢者人数、契約アンペア、ピーク帯の最高気温はピーク比率を引き上げ、世帯人数や住宅床面積はピーク比率を引き下げる効果を持つことがわかる。

宅内表示器の利用回数が、ピークとオフピークの需要比率に及ぼす影響については後述する。

表3-2-3の結果をもとに計測した(3)式のと価格によるピークカット制御効果を表3-2-4に示す。がいずれの年も負で有意に計測され、かつその絶対値がある程度安定していることから、価格効果は持続している。ピーク帯価格を4倍にする試験協力金は、系統ピーク時の家庭用需要の約4~5%を削減しうることを示す。

(4) 電力情報の効果

電力情報を獲得することによって、需要家はピーク

表3-2-4 価格効果の時系列変化

試験実施年	価格効果	価格効果 [W]	同左比率 [%]
8年	-0.080	35	4.4
9年	-0.041	19	3.9
10年	-0.064	31	5.2
11年	-0.042	20	4.0

抑制に伴う便益（料金インセンティブ）をより正確に計算することができ、最適なピーク比率を実現することができる。最適なピーク比率は、電力情報がない状態と比べて高い場合と低い場合の2つのケースが考えられる。電力情報の獲得によってピーク比率が低下する場合、情報を持たない需要家が、料金インセンティブに対して過小に反応していることになる。このケースでは、情報を獲得することによってピーク比率をより一層低下させ、多くのインセンティブを得ることができる。これに対して、電力情報の獲得によってピーク比率が上昇する場合、情報を持たない需要家が、料金インセンティブに対して過大に反応していることになる。このケースでは、電力情報を獲得することによって過大な反応は抑制される。どちらのケースに該当するのかは、情報効果のうち、(2)式中に示す正の効果 ($a' \ln(\text{incent})$) と負の効果(a)の大きさに依存する。

表3-2-5をみると、平成10年を除いて、電力情報の効果はピーク比率を引き上げていることがわかる。平成10年では、ピーク比率を低下させている。平成10年において負の情報効果が支配的であるとの結果は、他の年における正の情報効果が支配的であるとの結果と

表3-2-5 電力情報がピーク比率に与える影響

試験実施年	電力情報の効果		
	$a + a' \ln(\text{incent})$	a	$a' \ln(\text{incent})$
平成8年	0.147	-0.510	0.657
平成9年	0.185	-0.368	0.553
平成10年	-0.212	-0.571	0.359
平成11年	0.082	-0.171	0.253

対照的である。いずれにせよ、電力情報の効果については有意でない場合が多く、協力金の効果においてみられた頑健性は確認できていない。

需要家は部屋別やエンドユース別電力消費量などより詳細な追加的な情報を提供されない限り、経年的にアクセス頻度が低下するものと考えられる。

このような情報提供による省エネルギー行動の誘導については電力会社も関心を持っており、東京電力は2000年夏季から機器毎の使用量を把握するための表示・記録システムを家庭に設置し、その効果を検証している。

3-2-4 次世代 DSM システムの開発に向けて

上記の負荷集中制御試験では、直接制御方式のエアコンを除いては、需要家がマニュアルで機器をコントロールするため、ピーク時の負荷調整には限界がある。そこで、家庭でさえも大規模な工場やビルと同様に部屋毎あるいは主要機器毎にセンサーやコントローラを設置して、価格や気象条件等の外部からの信号と需要家自身の快適性や経済性の選好に応じて建物全体のエネルギー管理を自動化すれば、より一層の負荷平準化効果や省エネルギー効果をあげることができる。これまでは、自動化のコストが高く、普及していなかったが、現在、Open PLANET、ECHONET等の情報通信インフラ技術を活用した実用的な次世代 DSM システムが開発されつつある。また、当所においても電力コントローラやH Aシステムから提供される家電機器の利用実態情報などをもとに、主要家電機器の自動運転や利用者への機器利用アドバイスをを行う電力有効利用支援システムを開発している。このようなシステムが導入されれば、電力会社と需要家間で用途別電力負荷の実時間での把握が可能になり、日負荷レベルより短時間の負荷平準化が可能となり、運転予備力の効率化も見込まれる。本節で解説したような双方向のエネルギー管理システムと電力需要方策、さらに分散型電源との組合せが従来未開拓であった家庭用 DSM システムを本格的に実用化し、総合的なエネルギー効率化と環境負荷削減に寄与することが大きく期待される。

3 - 3 家庭用エネルギーシステム新技術

3-3-1 エネルギー情報統合サービスシステム

電中研では、将来の家庭への情報技術（IT）技術の本格的な普及を想定して、情報を活用したエネルギー有効利用と新たなサービスを提供する「エネルギー情報統合サービスシステム」の研究開発を1993年から開始した。

図3-3-1にエネルギー情報統合サービスシステムの構成を示す。このシステムは、電力供給に係わるサービスや関連業務に止まらず、一般の情報通信サービスの実施も対象としている。システムは、以下の3つのサブシステムから構成されている。

- ・電力コントローラ
電力の使用に関するデータの計量・計測、漏電時の事故回路自動検出・切り離しなど新しいサービスの提供や電力会社の社員が家庭を訪問して処理をしている業務の遠隔処理を行う電力用端末
- ・マルチメディア屋内通信システム
外部から提供される種々の通信・放送サービスや家庭内の通信を、テレビ受信用同軸ケーブルを用いて実施する屋内通信システム
- ・電力有効利用支援システム

利用者の快適性や利便性を損なうことなく、省エネと料金節減を図るように電力利用を支援するインテリジェントなソフトウェア

以下にこれらの概要を示す。

(1) 電力コントローラ^{(5),(6),(7)}

IT技術の本格的な普及が進めば需要家までの情報ネットワークが整備され、これを用いた自動検針が可能となる。このため、電力コントローラは、現在屋外に設置されている電力量計を屋内分電盤装置（契約用ブレーカ、漏電遮断器、分岐ブレーカ）と一体化させた構造とし、通信機能、制御機能などを付加した。このことより、筐体や電源等の共有化や、電力量計部の設置環境面でのスペックダウンが可能となり、コンパクト化、低コスト化が図れる。また、新たな設置スペースを必要としないこと、現在の電力量計設置スペースが不要となることなど、需要家の受容性の向上も可能となった。

電力コントローラの機能を表3-3-1に示す。

屋内分電盤装置との一体化により、屋内分岐回路別の電力使用情報の収集と分岐回路毎のブレーカ制御が可能となり、新しい需要家サービスが提供できる。

需要家対応業務の遠隔制御によって、需要家にとっ

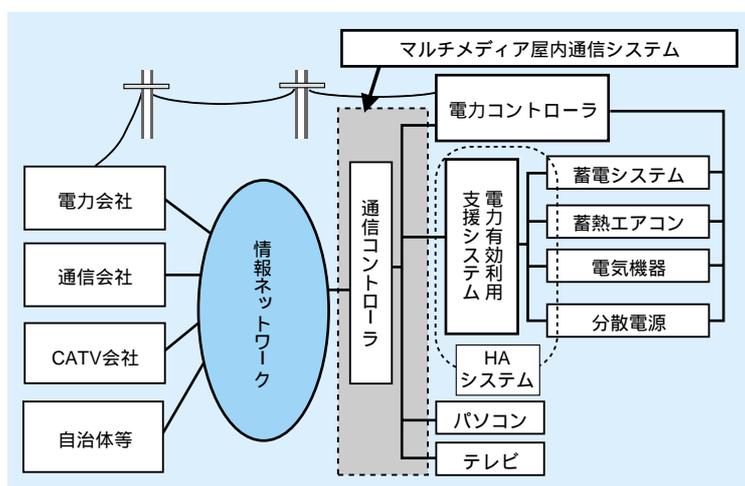


図3-3-1 エネルギー情報統合サービスシステムの構成

表3-3-1 電力コントローラの機能

<p>新たなサービス</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・アンペアオーバー時の分岐ブレーカ優先順位制御 契約電流超過時に一定時間の警報後、需要家が事前に設定した優先順位により屋内配線分岐線ブレーカを制御し、使用電流を契約値内に抑制して屋内全停を防止する。 また、現在の使用電流値の情報を提供する。 ・漏電発生時の事故分岐線の自動検出・切り離し 発生時に、需要家の確認後、事故分岐線を自動的に検出し切り離す。その後、健全な分岐線へ送電を行う。 ・電力使用実績データの提供 過去の分岐線別の使用実績データ（電力量、料金）を提供する。 																				
<p>需要家対応業務の遠隔処理</p>	<table border="0"> <tr> <td>・電力量計量</td> <td>使用電力量と分散電源からの余剰電力量の時間帯別計量</td> </tr> <tr> <td>・自動検針</td> <td>計量結果の返信</td> </tr> <tr> <td>・電気料金の遠隔設定</td> <td>料金制度・契約変更時の料金単価・適用時間帯の変更</td> </tr> <tr> <td>・料金情報表示</td> <td>料金単価とその適用時間帯表示</td> </tr> <tr> <td>・契約変更</td> <td>契約電流値の遠隔設定</td> </tr> <tr> <td>・転入居処理</td> <td>料金計算と主ブレーカの投入開放</td> </tr> <tr> <td>・絶縁抵抗測定</td> <td>屋内回路の絶縁抵抗計測</td> </tr> <tr> <td>・供給電圧調査</td> <td>供給電圧の常時計測</td> </tr> <tr> <td>・停電計測</td> <td>停電、瞬時電圧低下の計測</td> </tr> <tr> <td>・ロードサーベイ</td> <td>需要家の負荷状態計測</td> </tr> </table>	・電力量計量	使用電力量と分散電源からの余剰電力量の時間帯別計量	・自動検針	計量結果の返信	・電気料金の遠隔設定	料金制度・契約変更時の料金単価・適用時間帯の変更	・料金情報表示	料金単価とその適用時間帯表示	・契約変更	契約電流値の遠隔設定	・転入居処理	料金計算と主ブレーカの投入開放	・絶縁抵抗測定	屋内回路の絶縁抵抗計測	・供給電圧調査	供給電圧の常時計測	・停電計測	停電、瞬時電圧低下の計測	・ロードサーベイ	需要家の負荷状態計測
・電力量計量	使用電力量と分散電源からの余剰電力量の時間帯別計量																				
・自動検針	計量結果の返信																				
・電気料金の遠隔設定	料金制度・契約変更時の料金単価・適用時間帯の変更																				
・料金情報表示	料金単価とその適用時間帯表示																				
・契約変更	契約電流値の遠隔設定																				
・転入居処理	料金計算と主ブレーカの投入開放																				
・絶縁抵抗測定	屋内回路の絶縁抵抗計測																				
・供給電圧調査	供給電圧の常時計測																				
・停電計測	停電、瞬時電圧低下の計測																				
・ロードサーベイ	需要家の負荷状態計測																				

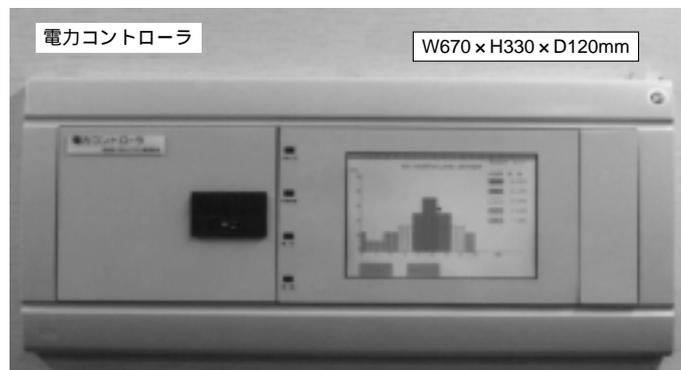


図3-3-2 試作した表示操作器一体型電力コントローラの外観

では電力会社職員等の訪問により行われていたサービスの迅速化が、電力会社にとっては需要家対応業務の効率化が可能となる。

至近年の実用化を想定して、単独動作が可能なよう、電力コントローラ自体に表示操作機能を持たせた試作機を図3-3-2に示す。今後、種々の情報機器・システムが家庭内に普及した場合、電力コントローラには、電力関係の情報を計量・計測・処理する機能のみを持たせ、表示操作等の機能は需要家の所有するパソコン等で行うことになると考えられる。

(2) マルチメディア屋内通信システム^{(8),(9)}

家庭への情報ネットワークとしては、現在、有線電話網、携帯電話・PHS網、CATV網が、開発中のものとして、高速インターネットサービス用高速無線や高速配電線搬送などがあり、最終的な光網を含め、その普及を見極めることは困難である。また、移行過程に

おいては多様なネットワークが混在することも考えられる。このような多様な外部ネットワークに対応できる家庭内通信システムとして、電中研ではマルチメディア屋内通信システムを提案している。

図3-3-1に示すように、この通信システムは、インターネットなどのパソコンデータ、テレビ信号など高速広帯域信号を対象としており、以下で構成される。

- ・通信コントローラ
外部ネットワークとのインターフェース機能を実施する。
- ・伝送路
配線済みのテレビ受信用同軸ケーブルを使用する。テレビ信号の伝送に利用されていない周波数帯域を基本的に周波数多重により利用し、情報で伝送する。電力コントローラ、電力有効利用支援システム（HA親機）、パソコン間のデータ伝送用として伝送速度10Mbps屋内LANが利用できる。

この屋内LANに必要な同軸ケーブル上の多重信号からLAN信号を分離する中間ユニットを開発し、機能を実証した。

(3) 電力有効利用支援システム^{(10),(11),(12)}

今後、供給コストを反映した実時間料金など、よりきめ細かな料金制度の設定が予想され、これら制度のメリットを活用するシステム作りが重要と考えられる。電力有効利用支援システムは、利用者の快適性や利便性を損なうことなく、このメリットを活用した料金節減と省エネを目指したソフトウェアである。

システムの機能を図3-3-3に示す。システムは、外部ネットワーク経由でインターネットなどにより提供される天気予報や料金情報と、電力コントローラやHAシステムから提供される家電機器の利用実態情報などをもとに、エアコンなど主要家電機器の運転と分岐回路毎の負荷曲線（時間毎の電力使用量）を予測する。この予測結果をもとに、主要家電機器の自動運転、蓄電システムの最適充放電運転、利用者への機器利用アドバイスを行う。

このシステムの特徴は、家庭毎にまた季節や年代の経過とともに変化する家電機器の使用状況を使用実績を分析・学習して予測する手法にある。実家庭での測定結果をもとに、開発した手法により、1年間のエアコンの運転を予測した場合の正解率は82%であり、負荷曲線の予測も相関係数0.75の結果となった。これらの予測値をもとに蓄電システムを運転した場合と、負

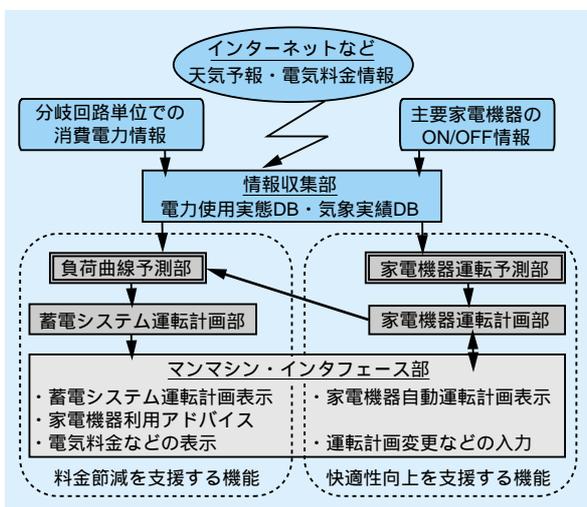


図3-3-3 電力有効利用支援システムの機能

荷実績をもとに事後的に最適運転した場合とを、時間帯別料金制度のもとでのシミュレーションにより料金面で比較したところ、ほぼ同一の値となり、予測の有用性が明らかとなった。

3-3-2 CO₂ ヒートポンプの基礎研究と実用化^{(13), (14), (15)}

オゾン層保護・地球温暖化防止の観点から、代替冷媒の探索・開発が必要になっている。このような状況の下、オゾン層保護を契機に、HFCを主要な代替冷媒として開発を進めてきたアメリカや日本に対し、ヨーロッパでは、フロンのような合成物ではなく自然界に存在する物質をヒートポンプの冷媒として見直す動きが始まり、最近ではCOP3の結果もあり、自然冷媒が世界的に注目を集めるようになった。

電力中央研究所では、種々の自然冷媒を比較・検討した結果、毒性・可燃性の無い二酸化炭素（CO₂）に注目し、これを利用したヒートポンプの可能性を評価するための研究を1995年に開始した。

CO₂は毒性・可燃性がなく、熱的に安定で不活性という大きな利点があり、加えて地球温暖化係数はフロンの千分の1程度である。ただし、空調や給湯用に使うと作動圧力が非常に高く、かつサイクルの高圧側が超臨界状態になるという特性をもつ。フロンではサイクルの低圧が5bar、高圧が25bar程度であるのに対し、CO₂ではそれぞれ30bar、100bar程度と、耐圧設計が必要となるが、逆に圧力が高いということは、濃くて重いガスが流れるというであり、要素機器を小型化できる可能性がある。

このような特徴を有するCO₂の冷媒としての可能性を評価するために、以下の検討が必要と考え研究を進めてきた。

- ・ CO₂ヒートポンプサイクルの効率の把握・評価
- ・ CO₂ヒートポンプの挙動把握・制御方法の検討
- ・ 超臨界CO₂の伝熱流動特性の解明

まず、CO₂サイクルの効率に関しては、サイクル計算により把握・評価した。その結果、図3-3-4に示すように、給湯用では、フロンより高い成績係数（給湯出力/圧縮機電気入力）が得られること、特に、従来のフロンでは不可能であった電気温水器並の高温給湯

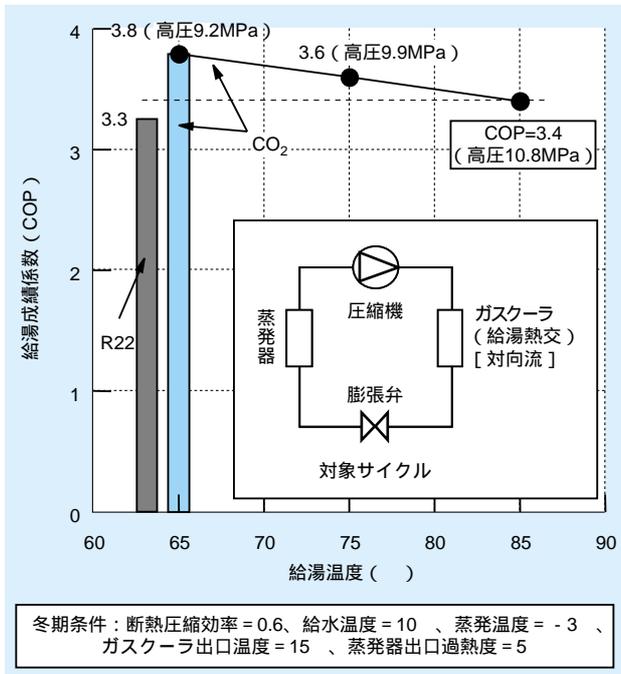


図3-3-4 給湯サイクル計算結果

(85 程度)においても高い効率を得られることが明らかになった。CO₂では、高压側が超臨界になるため凝縮はおこらず、除熱とともに温度が徐々に低下していく。従って、給湯器のような加熱温度幅が大きい場合、加熱熱交換器を対向流とすることで熱交換温度差によるエントロピロス小さくすることができるため、高い成績係数が得られる。

一方、空調用では、単純な比較では、フロンより成績係数は低下するが、サイクル上の工夫等種々の方策により、フロンと同程度の成績係数が得られることが分かった。

次にサイクルの挙動や制御方法に関しては、CO₂のヒートポンプ（図3-3-5）を試作し、熱源や熱負荷の温度・流量等を変化させる実験を行った。これらを変化させた場合のサイクル各点の圧力や温度等の変化は、フロンを使ったサイクルとほぼ同様であること、また、サイクル全体の制御方法に関しても、従来のフロンに使われている電子式膨張弁とインバータ駆動の圧縮機による方式が使えることが明らかになった。

さらに、超臨界CO₂の伝熱に関しては、CO₂ループに伝熱試験部を設け実験により把握した。メカニズム解明等の課題は残るものの、超臨界CO₂の熱伝達率は十分大きく、CO₂用のガスクーラー（フロンでは凝縮器）



図3-3-5 CO₂ヒートポンプ伝熱ループ試験装置

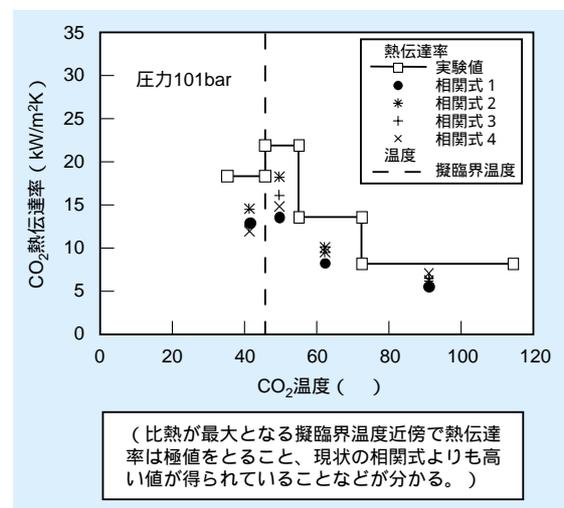
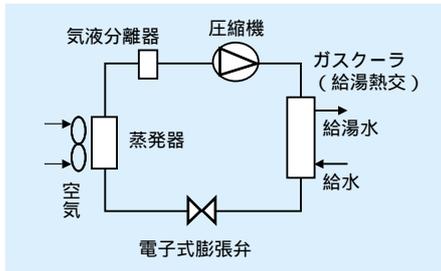


図3-3-6 超臨界CO₂の熱伝達率試験結果

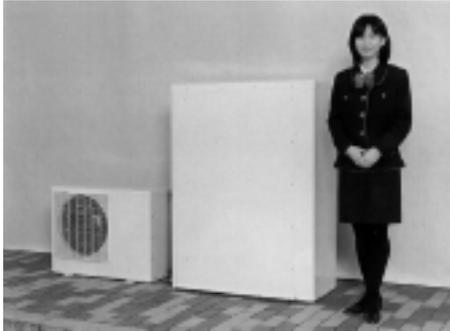
は小型化が可能であることが分かった（図3-3-6）。

以上の基礎的な研究成果から、CO₂はヒートポンプの冷媒として十分利用可能であること、特に給湯用に関しては、サイクル上の特別な工夫をしなくても高い成績係数が得られるため将来有望であることが明らかになった。

上に示した基礎的な研究成果を踏まえ、1998年9月、東京電力と電力中央研究所は、CO₂冷媒サイクル技術や圧縮機技術を保有するデンソーと、住宅給湯分野の省エネを目指し、CO₂冷媒給湯器の開発を開始した。要素技術の開発を着実に進め、圧縮機を含む要素技術開発にほぼ目処が得られ、2000年1月時点、全国5箇所で試作機によるフィールド実証試験を実施中である。図3-3-7に開発したシステムの概要を示す。サイクル構成



a) 開発機のサイクル構成



左：ヒートポンプユニット (81×31×64cm)
右：貯湯槽 (95×40×130cm、200リットル)

b) 開発機の概観

図3-3-7 開発した住宅用CO₂ヒートポンプ給湯器

は、基本的な4つの要素からなる単純なサイクルである。空気熱源で、スクロール圧縮機を搭載している。また、定格の給湯能力は4.5kWで、これは電気温水器のヒーター容量を参考に設定している。実験室におけるこれまでの試験において、-20 という低外気温でも90 の給湯が可能であることを確認しており、寒冷地においても利用できると考えている。現在のところ、季節ごとの給湯負荷から年間平均の成績係数を試算した結果、3.0以上の成績係数が得られる見込みである。

CO₂冷媒は、以上示したように給湯用はもちろんのこと、空調や乾燥等他分野へも適用できる可能性を秘めている。電力中央研究所では、CO₂の特徴を真に活かしたシステムとするための伝熱等基礎現象の解明や空調用サイクル高効率化のための膨張動力回収技術の可能性評価等、今後とも鋭意、研究開発を進めて行く予定である。

コラム 暖房・給湯用の新蓄熱物質を探索する

夜間の余剰電力を使って冷熱を氷として蓄えておき、その熱を昼間のビル空調に利用する蓄熱技術は、電力の負荷平準化に大きく寄与する。こうした蓄熱技術は、主に、夏場の冷房ピークへの対応として検討されてきたが、一方で、民生用エネルギー消費に占める暖房・給湯用熱需要の比率は高く、今後、こうした温熱系蓄熱に関する研究も重要になると考えられる。

暖房・給湯を目的とした蓄熱材として利用可能なものに、無機塩、共晶化合物、パラフィンなどが検討されている。実際の蓄熱運転では繰り返し融解・凝固を行うことから、再結晶性に優れ、過冷や相分離の影響を受けないパラフィン系が有効であると考えられるが、こうした有機物質では無機系の材料に比べ融解潜熱が小さいといった短所がある。そこで、パラフィン系、つまりアルカンの置換基効果による融解潜熱の向上を目指し、コンピュータシミュレーションによる物質探索を試みている。

計算機処理能力の飛躍的な進歩と、汎用ポテンシャル及びプログラムの開発により、近年、コンピュータシミュレーションは身近な研究ツールになりつつある。扱える物質系や現象の応用計算には制約があるものの、実験に先駆け新規物質の構築とその物性予測が可能となれば、材料開発において非常に有効であると考えられる。

シミュレーションの手法の一つである分子動力学法は、任意に構築した系について粒子間に働く力から全粒子を運動させ、目的とする物性（融点、

融解潜熱）を導くというものである。つまり、分子動力学法とは実際に測定し得ないことを、それに相当する架空の物質系について計算機上で実験を行っていることに他ならない。図はパラフィンの一成分であるノルマルオクタンについて、温度の上昇に伴い物質が溶ける様子を表したスナップショットである。このように、粒子の座標位置を追跡することによって計算機上で融解現象を扱うことができ、これから物質の融点が予測可能となる。また、粒子間に働くエネルギーを計算していることから、系の内部エネルギー変化を見積もることで、融解に伴う潜熱も求めることができる。パラフィン系についてシミュレーションから求めた融点及び融解潜熱を表に示す⁽¹⁷⁾。

表 パラフィン系の融点及び融解潜熱

物質名	融点 [K]		融解潜熱 [kJ/mol]	
	計算値	実測値	計算値	実測値
C ₈ H ₁₈	200 ~ 210	216.4	19.8	20.7
C ₁₀ H ₂₂	210 ~ 220	243.5	12.1	28.8
C ₁₂ H ₂₆	230 ~ 240	263.6	36.4	36.9
C ₁₄ H ₂₈	260 ~ 270	279.0	65.8	45.1
C ₁₆ H ₃₄	250 ~ 260	291.3		53.3

このように、シミュレーションによる物性予測の可能性が見出されたので、今後は、新規蓄熱物質の開発を念頭に分子構造に着目した物質の構築とその物性予測を行う予定である。

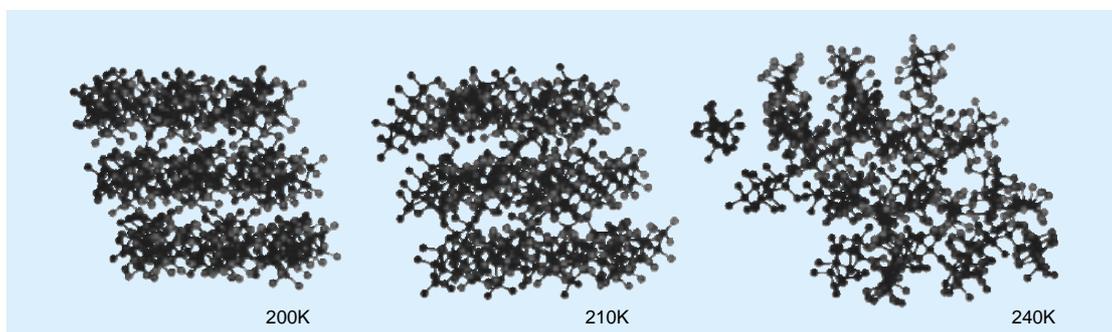


図 ノルマルオクタン (n-C₈H₁₈) の融解シミュレーション⁽¹⁶⁾

3-4 非侵入型電気機器モニタリングシステムの開発

3-4-1 非侵入型電気機器モニタリングシステム

需要家の保有する電気機器の構成や使用実態に関する情報は、負荷率悪化の要因分析、需要変化の予測、きめ細かな季時別料金システムの構築、DSM (Demand Side Management) の効果の評価、需要家への各種サービスの提供等を行う上で重要である。需要家の電気の使用実態に関する測定はロードサーベイと呼ばれ、需要家の給電線の入口付近にセンサを設置して総消費電力を測定する場合と、下流に接続されている電気機器にセンサを設置して、機器ごとのオン・オフの状態や消費電力を測定する場合がある。

従来、電気機器ごとの使用実態を測定するためには、需要家の中に立ち入って電気機器や給電回路にセンサやデータ収録装置を取付ける必要があった。この方式は需要家の中に立ち入ることから侵入型 (Intrusive) と呼ばれ、既にいくつかの測定装置が開発されている。当研究所でも図3-4-1に示すような小型で使い勝手のよい消費電力測定記録装置を開発している⁽¹⁸⁾。しかし、このような方式では、需要家内に測定装置を設置するための作業や、場合によっては工事が必要となり、コストがかさむ。さらに工事やデータ回収に関連して需要家に負担を強いる等、課題も多い。また、需要家夫々では自由な電気の使い方をするため、電気の平均的な使用実態を把握するには、数百戸単位でロードサーベイを実施する必要がある。このため、工事やコスト、需要家への負担などを極力抑えた方法が望まれる。すなわち、需要家の中へ侵入することなく、電気機器ごとの、あるいは用途ごとの電気の使用実態を測定する方法が望まれる。この方式は非侵入型 (Non-Intrusive) と呼ばれ、図3-4-2にイメージを示すように、需要家の中に立ち入らず、需要家の給電線入口位置における測定で得られる情報のみから、内部の電気機器の動作状態を推定するものである。



図3-4-1 消費電力測定記録装置
(163mm(H)×104mm(W)×70mm(D))

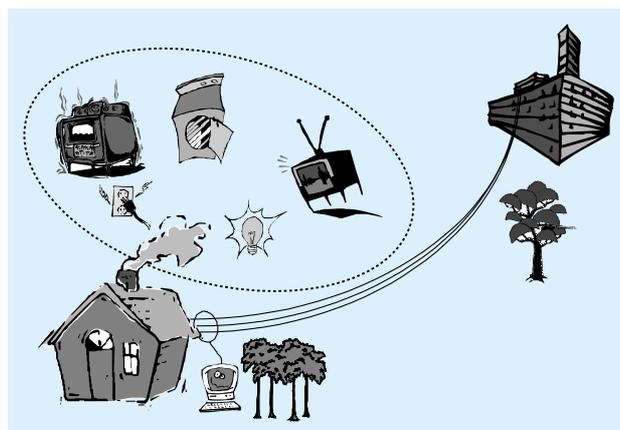


図3-4-2 非侵入型電気機器モニタリングシステムのイメージ

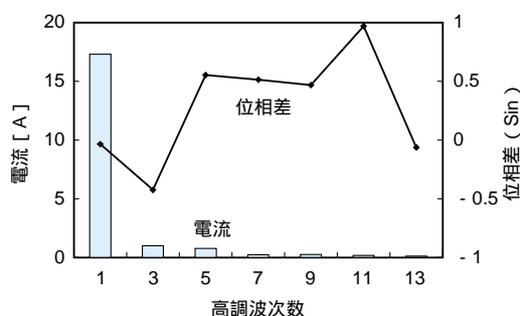
3-4-2 基本原理 - 電気機器から発生する高調波パターンの認識 -

電気機器のスイッチを入れると給電線に電流が流れる。一般にこの電流は基本周波数 (50Hzあるいは60Hz) の成分のみからなる正弦波ではなく、その機器の回路と動作状態に応じた固有のひずみ (高調波) を含んでいる。このことは複数台の電気機器が下流に接続されている場合も同様で、電気機器の動作状態の組合せに

応じた固有の高調波が含まれている。したがって、給電線入口位置で測定される高調波と機器の動作状態の組合せとの相関をあらかじめ何らかの方法で学習することによって、給電線入口位置で得られる情報のみから下流に接続された電気機器の動作状態を推定することができる。

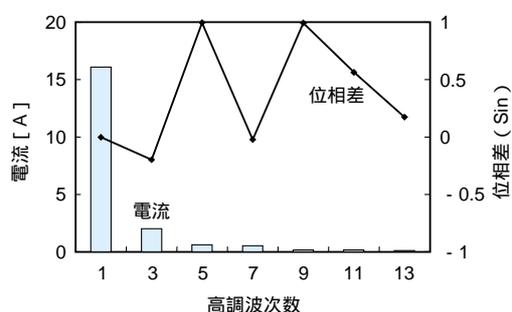
図3-4-3は図3-4-4の測定回路を用いて測定した高調波の例である。図3-4-3の中の上表に電気機器の動作状態の組合せを示してある。グラフは基本波（第1次）ならびに第3次から第13次までの奇数次の高調波の電流値と基本波電圧に対する夫々の位相差を示している。位相差は角度を正弦値で表している。図3-4-3の(a)と(b)

	A	B	C	D	E	F
	インバータ エアコン	インバータ 冷蔵庫	従来型 冷蔵庫	白熱灯	蛍光灯	テレビ
ON/OFF 状態	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF
消費電力 [W]	998	0	0	600	180	0



(a) 高調波パターンの例(1)

	A	B	C	D	E	F
	インバータ エアコン	インバータ 冷蔵庫	従来型 冷蔵庫	白熱灯	蛍光灯	テレビ
ON/OFF 状態	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON
消費電力 [W]	952	0	0	600	0	79



(b) 高調波パターンの例(2)

図3-4-3 測定した高調波パターン

の比較からわかるように、ほぼ同等の基本波（第1次）電流、つまり総消費電力がほぼ同じでありながらも、高調波電流と位相差のパターンは、電気機器の動作状態の組合せによって大きく異なる。電気機器の組合せやそれらの動作状態の組合せを変えて、このような高調波データを測定し、そのデータを用いてニューラルネットワークなどのパターン認識手法を学習させることで電気機器個別の動作状態を推定するシステムを構築できるものと期待される。

ここでは、パターン認識手法として、表3-4-1に示すように、二つのカテゴリー（ニューラルネットワークとラージマージンクラシファイア（LMC））に属する夫々二つの方法を使用している。図3-4-5は従来からあるニューラルネットワークと新しい手法であるラージマージンクラシファイアの違いを概念的に示している。

ここで図内の白丸と黒丸が電気機器のオンとオフに夫々対応するとして、白丸と黒丸を判別する直線を見つけることを考える。白丸と黒丸の直径の大きさはそのデータの出現頻度を示すものとする。図の左側に示すニューラルネットワークでは、出現頻度の高いデータ（大きな白丸と大きな黒丸）を重視して判別境界線

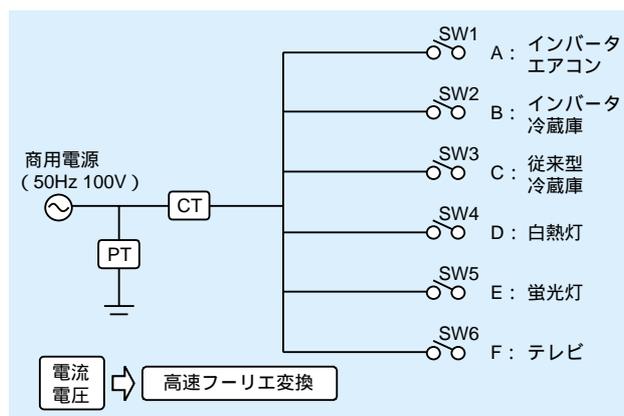
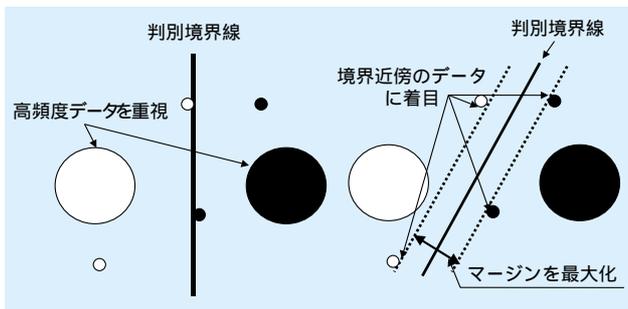


図3-4-4 家庭需要家を想定した高調波パターンの測定回路

表3-4-1 使用したパターン認識手法

カテゴリー	パターン認識手法	記号
ニューラルネットワーク (バックプロパゲーション)	シグモイド関数ネットワーク	SFN
	ラジアルベース関数ネットワーク	RBFN
ラージマージンクラシファイア (LMC)	サポートベクターマシン	SVM
	アダプスト (-Arc)	-Arc



(a) ニューラルネットワーク (b) ラージマージンクラシファイア

図3-4-5 データ判別の概念

を引くのに対して、右側のラージマージンクラシファイアは判別の難しい、つまり白丸と黒丸の境界に近いデータに着目して判別のための境界線を引く。図3-4-5の(a)および(b)において、判別境界線はいずれもすべての白丸、黒丸を正しく判別している。しかし、左側のニューラルネットワークでは、判別境界線の近傍にある白丸あるいは黒丸は左右に少し移動するだけで、判別境界線を越えてしまい、誤った判別をすることになる。これに対し、右側のラージマージンクラシファイアでは、判別境界線に近いデータが少々移動しても正しい判別を行える。なお、表3-4-1に示した各手法では、シグモイド関数（SFN）やラジアルベース関数（RBFN、SVM、-Arc）などの非線形な関数を利用して複雑な判別境界線を設定している。

以上のような基本原理に基づいて構成した非侵入型電気機器モニタリングシステムの基本システムの動作手順を図3-4-6に示す。まず、パターン認識手法を学習させるため、いくつかの学習データを用意する。学習データは入力側データと出力側データのセットになっている。前者は需要家の給電線入口位置で測定した総負荷電流に含まれる基本波（第1次）ならびに第3次から第13次までの奇数次高調波の電流値と基本波電圧

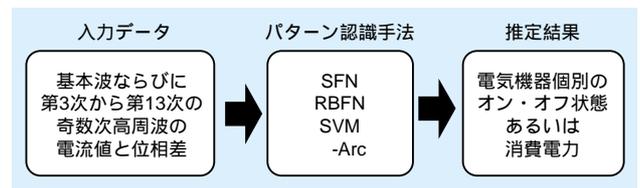


図3-4-6 基本システムの動作手順

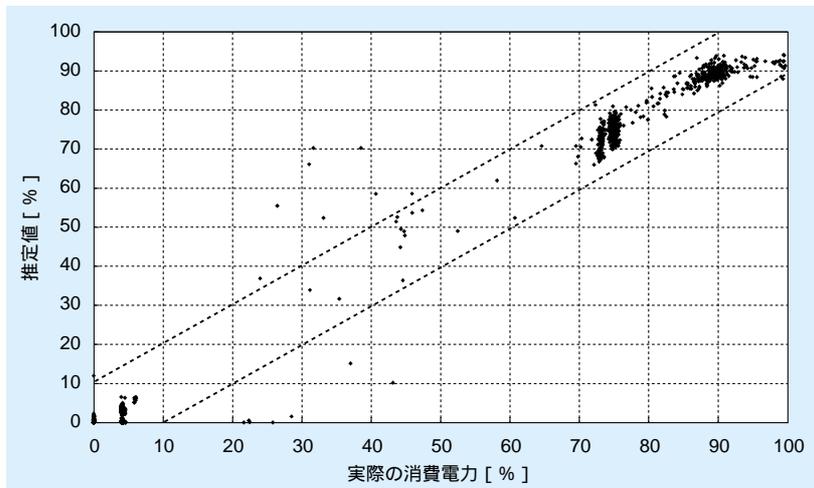
に対する夫々の位相差である。また、後者は入力側データに対応する電気機器個別の動作状態（オン・オフどちらの状態にあるのかということ、あるいは何Wの電力を消費しているかということ）である。あらかじめ、これらの学習データをパターン認識手法に与え、学習を完了させておく。こうすることで、次に学習データの入力側データとは異なるデータが入力データとしてパターン認識手法に与えられても、パターン認識手法はその入力データに対応する電気機器個別の動作状態を推定結果として出力する。このようなシステムを構築することで非侵入型電気機器モニタリングシステムをつくることができる。

学習データとは異なるいくつかのテストデータを用意し、その入力側データを入力データとして、学習を完了したパターン認識手法に与え、推定結果として出力された電気機器個別の動作状態をその正解と比較してシステムの性能を評価した。12個のテストデータを用いて電気機器個別のオン・オフ状態の推定を行った結果が表3-4-2である^{(19),(20)}。推定結果の正解率で示してある。表からわかるように、ラージマージンクラシファイアの一種である -Arcはどの電気機器に対しても100%の正解率で動作状態（オンまたはオフ）を推定できた。

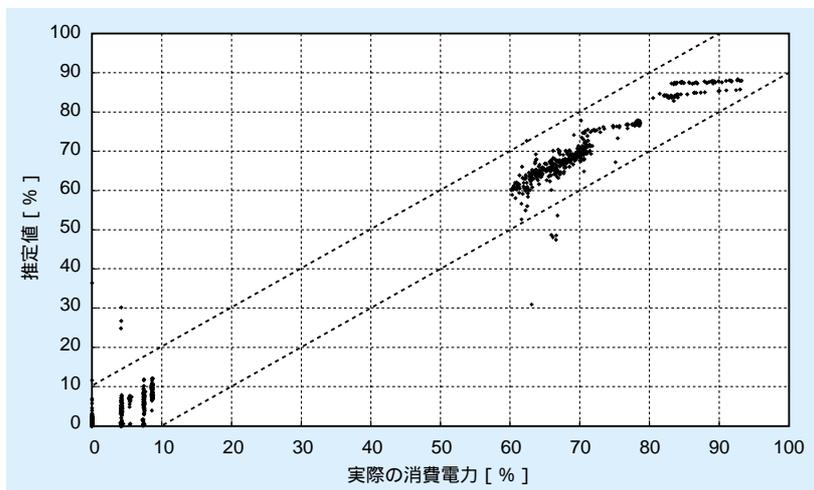
同様に、電気機器個別の消費電力を推定した結果を図3-4-7に示す。これはインバータエアコン、インバータ冷蔵庫、白熱灯、蛍光灯、テレビを組合わせて

表3-4-2 電気機器のオン・オフ状態の正解率

	A	B	C	D	E	F	平均
	インバータエアコン	インバータ冷蔵庫	従来型冷蔵庫	白熱灯	蛍光灯	テレビ	
SFN	99%	100%	73%	83%	100%	98%	92%
RBFN	100%	100%	86%	100%	100%	100%	98%
SVM	100%	100%	92%	100%	100%	100%	99%
-Arc	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%



(a) インバータエアコン



(b) インバータ冷蔵庫

図3-4-7 電気機器の消費電力の推定結果

動作させた場合の結果であるが、インバータエアコンとインバータ冷蔵庫の結果のみ示してある。使用したパターン認識手法はシグモイド関数ネットワーク(SFN)である。図の横軸が電気機器の実際の消費電力を、縦軸が推定結果を示している。いずれの軸も電気機器の定格電力で正規化してある。図内の二本の破線で囲まれた領域が推定精度 $\pm 10\%$ の領域である。いずれの電気機器についても、1500個用意したテストデータのうち95%以上が $\pm 10\%$ の推定精度内に納まった⁽²¹⁾。

3-4-5 今後の展開

以上のように、実験室における小実験では、新しい原理に基づく非侵入型電気機器モニタリングシステム

の実現可能性を確認できた。今後は、多種多数の電気機器についてこの手法の適用可能性を検討する予定である。また、並行してプロトタイプシステムを製作したい。

この非侵入型電気機器モニタリングシステムは、実現化に向けて動き出している各種需要家情報ネットワーク構想の中にコンフリクトなく導入可能と考えられ、また、これらの構想の実現によって普及が進むと期待される。このシステムは家庭需要家を対象にしたロードサーベイへの適用にとどまらず、電気機器の異常動作の検知へも適用可能と考えている。また、業務用需要家を対象とすれば、ESCO (Energy Service Company) 事業における簡便な計測ツールとしての可能性も秘めている。

コラム 消費者をつかむ

「良くても売れない」 日経ビジネスは8月21日号で「よい商品」が売れないわけを特集した。「消費者をつかみきれしていない」ために、広報や営業戦略が十分機能していないというのが、この特集の結論である。

「良い電気が売れない」「良い電気を作っている会社の業績が伸びない」 本格的な市場競争の時代がくれば、こんな特集が組まれるかもしれない。そして、消費者をつかんだ電力会社とそうではない企業との明暗がはっきり示されるかもしれない。消費者に選択権が与えられると、どんなことが起こりうるのだろうか。

色つきの電気を売る

パソコンといえばアイボリー。白物家電が機能も色もデザインも多彩になっていったにもかかわらず、パソコンはなかなかアイボリーから変化しなかった。そこに登場したのがimacである。丸みを帯びたすっきりしたボディに透明感のある鮮やかな色。「毎日使うものだから、気に入った色にしたい」という消費者意識を的確に捉えた商品開発戦略である。imac自体の売れ行きもさることながら、パソコンまわりの備品の色がimacカラーに席卷されていることから、いかに消費者の潜在的なニーズをとらえた商品開発だったかがわかるだろう。

一般に、商品の普及率が高まると、色・デザイン・機能などの多様化が進む。増大する需要に対して多くの企業が参入し、商品の差別化戦略がとられるためであるが、消費者側の個性化志向の影響も少なくない。だとすれば、最も日常的な財である「電気」が競争市場で多様化しない理由はない。例えば、北海道電力の「ドリーム8」は深夜料金のひとつだが、ネーミングひとつで新しい「商品・サービス」として認知されたのではないだろうか。

電力版imacの候補のひとつは「グリーン電力」制度である。当研究所の調査[†]によれば、首都圏の主婦の7割が、新エネルギー開発を進めるために割増料金を支払う制度が導入された場合、「契約したい、料金によっては契約したい」と答えている。

[†] 1999年度首都圏の400世帯を対象に実施したアンケート調査。

電気料金の値上げは困るが、グリーン電力の割増料金なら支払ってもよい。このような消費者の反応は、物価の上昇は困るが、有機野菜やおいしい水は少々割高でも購入する、という行動に通じるものがある。消費者は、有機野菜やミネラルウォーターが健康にどれだけ効果があるかを正確に知っているわけではないが、それらの消費は満足感を与えるのである。安くて、安定していて、滅多に停電しない「良い」電気に加え、消費者に満足感を与える商品としての、付加価値をもった多彩な電気を開発することが求められる。

“あなた”の電気を送る

月尾嘉男東京大学教授は93年の著書「贅沢の創造」で、情報技術を駆使した一品種一生産の可能性を述べている。月尾教授の描いた社会はそのままで実現されたものもあれば、そうでないものもある。例えば、衣服の個人仕様はそれほど普及していない。しかし、インターネットを通じて、自分だけの掘り出し物を探す若者は増えているという。様々な分野で個人仕様が進まない理由のひとつは、普通の人には「どんな物が欲しいか」を明確に表現できないからである。つまり、個人仕様の商品を注文するには、ばくぜんとしたニーズを形に表現してくれるコンサルタントが必要なのである。

電力会社が提案する多様な料金メニューやサービスが受け入れられるかどうか、各家庭に最適な料金メニューをアドバイスするしくみが機能するかどうかに関わっている。というのも、一般の世帯は、どのように電気を使っているのかよくわかっておらず、料金メニューのメリットを理解しにくいからである。

多様な個人に対応するサービスはこれまではコストがかかりすぎて不可能だった。しかし、情報技術の発達は、効率的なOne to Oneマーケティングを可能にする。米国の電力会社では、大口顧客に対するアカウントマネージャーや、住宅用顧客対応のコールセンターの充実などで、顧客の獲得・維持に努力している。国内でも、自由化に直面した銀行がコールセンターを活用した顧客獲得に懸命である。電気事業の場合も、いかに魅力的な“あなた”向けのサービスを提案できるかが重要になるだろう。

コラム エネルギーユーザ特性情報データベース

エネルギーユーザ特性情報とは

需要家エネルギー関連の研究には、電気および熱の利用者すなわちエネルギーユーザに関するさまざまな情報、また、エネルギーを使用するための機器やシステムに関する情報が不可欠である。近年は、需要家自らが化石燃料や自然エネルギーを変換して電気エネルギーおよび熱エネルギーを得ることの出来る分散型の電源やエネルギー源も登場しており、これらに関する情報も必要である。

エネルギーユーザ特性情報データベースの特徴

情報を集積し、多量の情報の中から望みの情報を検索する機能を備えたデータベースは、情報の共有や有効利用に適している。

開発を進めているエネルギーユーザ特性情報データベースの特徴は次の3点である。

- (1) 多様な形態の情報
- (2) フレキシブルな検索
- (3) パスワード保護

多様な形態の情報

エネルギーユーザ特性情報（データ）には、例えば、住宅需要家の年・月・日間の消費電力量、エネルギー機器の仕様・特性のように表形式やグラフ化された数値データ、様々な需要家の行動様式・パターンをまとめた表形式の文章データ、また、図面や写真など、多様な形態がある。

本データベースでは、あらゆる形態のユーザ特性情報を格納することが出来る。また、情報の検索を容易にするため、データ毎にキーワードや概要を表す短文などの標識を付けて格納する。

フレキシブルな検索

データベース利用者とのインターフェイスとなる検索エンジンには、当所の情報研究所が開発した「みつけるぞう」を適用した。これにより、利用者が入力したキーワードはもちろんのこと、それに近いキーワードを含むデータを候補として表示し、効率的な検索を支援する。

パスワード保護

本データベースは電力会社など所外の機関からも参照できるようにすることを念頭に開発を進めている。このため、研究開発の過程にあるデータなど開示に差し支えのあるデータについてはパスワードにより保護できるようにする。

プロトタイプデータベースの開発

これまでに、住宅需要家の年間のエネルギー消費データや、近年開発が進み実用化・普及の動向が注目されているマイクロガスタービンなどの分散型電源の特性データなどを格納し、プロトタイプデータベースとしての機能検証を進めている（図1）。

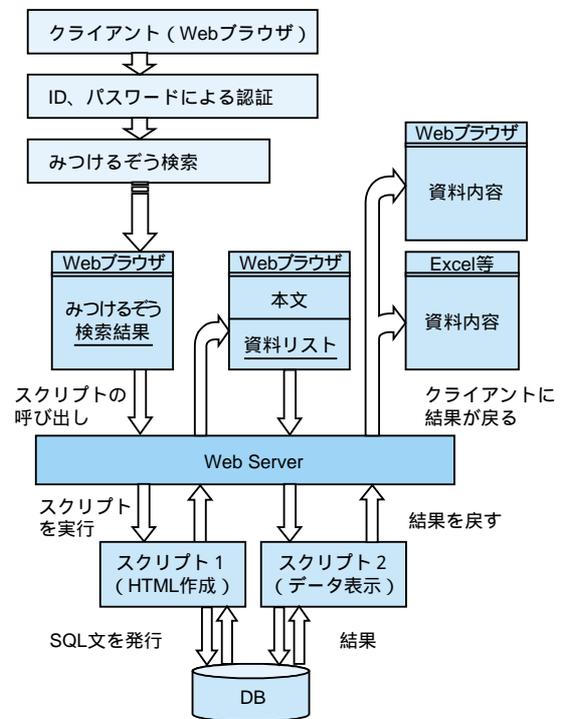


図1 エネルギーユーザ特性情報データベースの構成

第 4 章

効率的なエネルギー利用と快適な熱環境作り

都市・業務用ビルを中心に

狛江研究所需要家システム部	上席研究員	中野 幸夫
狛江研究所需要家システム部	主任研究員	宮永 俊之
経済社会研究所	上席研究員	浅野 浩志
経済社会研究所	主任研究員	高橋 雅仁
横須賀研究所プラント熱工学部	上席研究員	岩坪哲四郎
横須賀研究所プラント熱工学部	主任研究員	長谷川浩巳
横須賀研究所プラント熱工学部	主任研究員	橋本 克巳
我孫子研究所環境科学部	主任研究員	田村 英寿
狛江研究所需要家システム部	研究員	占部 亘

4 - 1 業務用需要家の電力消費構造とDSM施策効果の解明	47
4 - 2 事務所ビルの室内熱環境の解析手法	50
4 - 3 ビルの空調・熱源新技術	55
コラム：カプセル型氷蓄熱システムの性能を向上させる新しい過冷却解除剤 - 氷核活性細菌 -	59
4 - 4 都市熱環境とエネルギー消費	60

中野 幸夫（12ページに掲載）



宮永 俊之（昭和63年入所）
 オフィスなどの室内空間を対象に、熱環境の予測、居室者の温熱感評価および省エネ策の効果予測を行うプログラムの開発を行ってきた。現在は、プログラムの高度化の一環として、照明エネルギーの削減を念頭においた室内光環境の予測手法を開発している。

浅野 浩志（12ページに掲載）



高橋 雅仁（平成7年入所）
 統合資源計画やエンドユース分析などの需要家方策の費用便益分析手法、および負荷平準化機器の普及策に関する事例研究に従事してきた。現在は、電力自由化に関連して、競争的市場に適合した電源計画手法に関する研究に取り組んでいる。

岩坪哲四郎（12ページに掲載）



長谷川浩巳（平成元年入所）
 入所以来、ヒートポンプや蓄熱、コージェネレーションなど、熱エネルギー利用分野の省エネ研究に従事。現在は、蓄熱材の探索や蓄熱システムの高性能化に取り組んでいる。



橋本 克巳（平成5年入所）
 主に二段圧縮式給湯ヒートポンプの開発と、都市・家庭などへのエネルギー供給に関する研究等に従事してきた。現在、ヒートポンプ、コージェネ等の各種エネルギー変換機器のシステム解析・評価に取り組むと共に、CO₂ヒートポンプの開発研究に取り組んでいる。



田村 英寿（平成5年入所）
 東京23区等の大都市域を対象に、数値シミュレーションによる熱環境の実態把握や緩和策の導入効果予測に携わってきた。現在は、都市中心部の街区スケールを対象に、建物・緑地の配置やエネルギーシステムの導入にともなう屋外熱環境の改善効果予測に取り組んでいる。



占部 亘（平成10年入所）
 都市熱環境の改善がもたらす、空調エネルギー消費の削減に関する研究を行っている。これまでに、日射反射効果の試算を行った。現在は、屋上緑化効果の試算に取り組んでいる。

4 - 1 業務用需要家の電力消費構造と DSM 施策効果の解明

4-1-1 統合資源計画

需要家方策（DSM）を計画・実施するにあたり、その費用便益性や環境負荷影響などを事前評価しておく必要がある。DSM を普及させることで、電源などの供給能力を抑制できるため、DSM は電力会社側の資源の代替手段、いわば需要側の資源と見なすことができる。

電源設備や送配電設備などの供給サイドの資源と全く同じ土俵で、DSM のみならずコージェネレーションや再生可能エネルギー源など需要サイドの代替資源を評価する統合資源計画（Integrated Resource Planning、IRP）という考え方が欧米で検討・実施されてきた。

統合資源計画は、従来の電源計画や流通設備計画の中で、DSM や環境外部性を明示的に考慮した上で、供給サイドと需要サイドの資源を費用便益性や環境負荷、事業リスクなどの多様な指標で統合的に評価し、不確実な環境下での社会的費用を最小化ないしは社会厚生を最大化するシステム計画手法である。社会全体にとって望ましい電力システムを構築することを目的としている。

米国では、1992年に全ての州で IRP の適用を求める法律が制定された（エネルギー政策法、EPA Act）。EU では、IRP 指針草案が作られたが、米国の IRP があまりに規制主導のため、直ちに承認はされず、市場志向型 IRP へ転換させるための議論がなされ、パイロットプログラムが実施された。現在、デンマークおよびオランダで本格的に IRP が導入されている。

我が国において、DSM を普及させて社会的に望ましい電力需要構造へ誘導するために、今後 IRP に基づいた需要家方策の検討が必要であると考えられる。我が国のエネルギー事情や需要家の行動を反映した日本型 IRP の確立が求められる。

事業会社の私的費用最小化から社会全体での費用最小化あるいは社会厚生最大化を目指す点で統合資源計画は公共政策の色彩が強い。このため、小売部分自由化以降、電力供給市場への競争原理導入の増大が予想

されるため、電力会社の私的利潤追求に基づく市場経済的手法と社会全体での効用を追求する IRP 的手法の両立を図ることが今後需要家方策を実施していく上で最大の課題になる。

4-1-2 IRP モデルの開発とピークシフト機器の普及方策への適用

ピークシフト型 DSM は、負荷移行を促す DSM 機器やプログラムを普及させることで、ピーク電力需要を抑制し、供給能力および供給コストを削減することを目的とする。供給コストの削減は、電気料金の低廉化につながるため、電力会社の事業経営のみならず、国民経済的にも望ましい DSM である。夏季ピーク需要が先鋭化し、負荷率改善が必要な我が国の電力需要に適切な DSM であるといえる。

当研究所では、供給サイド資源（新設電源）と需要家サイド資源（ピークシフト型 DSM）を電源計画の中で同時に最適化できる統合資源計画の原型モデルを開発した（図 4-1-1）⁽¹⁾。モデルは、DSM によって、供給者側に発生する事業費用や料金収入変化を考慮した上で、事業収支（＝収入－費用）を最大化するような DSM の普及助成金や導入規模を求める。但し、事業収支最大化を実行する際、DSM 導入に伴う需要家の費用便益が減少しないように制約を課しており、これがこのモデルの特徴である。モデル内で DSM の受容関数を明示的に考慮することにより需要家側の費用便益を表現している。受容関数は、需要家の DSM 投資回収年数に対する選好度の分布で表し、回収年数が短い程 DSM 参加率が上昇する。

事例研究として、事務所ビルに対する蓄熱式空調システムの普及支援策を取り上げ、モデルの有用性を検討した。対象範囲は全国大で、対象期間は 1994～2014 年度である。試算を通じて以下の事項が明らかになった。

(1) 電力会社側の費用便益における料金減収分の占める割合が大きいため、DSM の最適な普及規模や普及支援

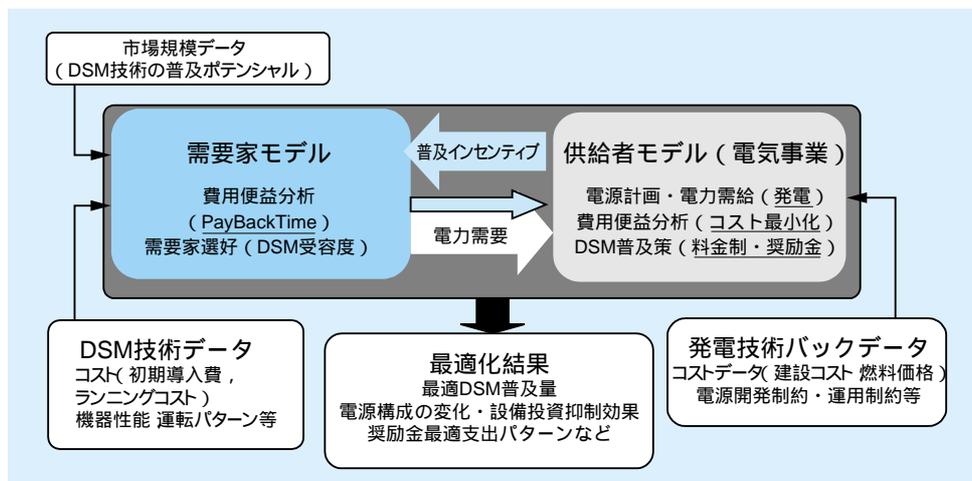


図4-1-1 統合資源計画モデル (電中研)

金はそれに大きな影響を受ける。つまり、DSMによって電力会社側に電源計画の繰り延べ便益が発生するが、料金減収がそれを上回れば電力会社自身がDSMを支援するインセンティブは発生しない。

(2)しかし、DSM機器価格に量産効果が期待できる場合、短期的には費用便益性が低いDSMでも、長期的には量産効果による費用便益性の改善が期待できるため、電力会社自身がDSMを支援するインセンティブが発生する。

普及対象を小規模ビル向けの小型蓄熱式空調システムに絞り、その量産効果を仮定した試算ケースにおいて、習熟係数が0.8の場合、1994～2014年度20年間に於いて全国大で約240万kWのピークシフトを得た(小規模ビル導入量上限の50%)。それに伴い、電源計画も順次繰り延べられる(図4-1-2)。

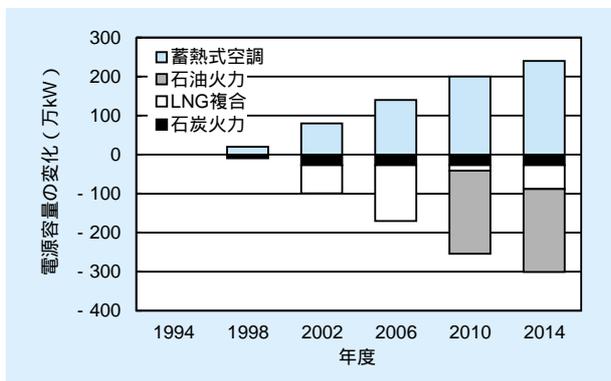


図4-1-2 IRPモデル試算例：DSM普及による電源容量の変化

量産効果を考慮した場合の普及奨励金の最適支出パターンについては、計画期間初期に奨励金を厚くし(3.4～4万円/kW)後期に奨励金を下げる(0.3～1.2万円/kW)という結果を得た(図4-1-3)。普及後の量産効果を先取りして、普及初期に奨励金を厚くする。量産効果が期待できるDSM機器では、助成策設計の際にその量産効果を折り込んだ分析が必要であることを示唆している。

4-1-3 省エネ投資とグリーン電力への選好

負荷管理型DSMのみならず、省エネルギープログラムやグリーン電力制度などの環境対応型DSMを含め、需要家サービスの開発を検討する上で、需要家機器への投資選好やサービスへの受容性を定量的に把握する

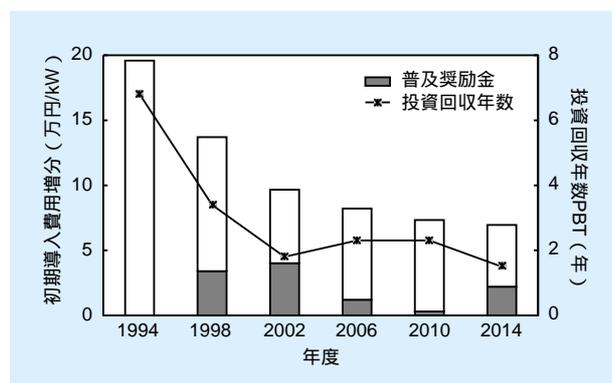


図4-1-3 IRPモデル試算例：普及奨励金の最適支出パターン

ことは大変重要である。しかし、業務部門を対象に需要家サービスへの選好を定量的に調査した例は、公開資料としては極めて少ない。

当研究所では、関東近辺1都8県内[†]に事業所がある企業と自治体を対象に、平成12年3～4月にアンケートにより、業務用需要家の省エネルギー対策への選好とグリーン電力への支払い意志額(WTP)を調査した⁽²⁾。調査方式は、電話での事前依頼に承諾した需要家へ調査票を郵送する方法を採った。業務部門の代表的業種を偏りなく網羅しつつ330件の回答を得た(有効回収率=54.0%)。

(1) 省エネ・省コスト機器への投資選好

新たにエネルギー機器を導入する際、省エネ型機器を選択するか、また選択するならば何年間の投資回収年数を期待するか尋ねたところ、「省エネ機器を選択してもよい」という事業所が全体の80.9%と圧倒的に多く、業務用需要家が省エネ機器へ潜在的な投資選好は大きいことが分かる。

期待する投資回収年数を業種別で見ると、「事務所・官公署」や「大学・短大」「文化施設」「病院・大規模」などの公共施設が期待する回収年数が3.16～3.68年と全体平均3.06年よりも長く、一方、民間企業が期待

する回収年数は平均よりも短く2.00～2.80年であった。省エネ投資については、公共施設の方が民間施設よりも積極性が高い(図4-1-4)。

(2) グリーン電力への支払い意志額

グリーン電力への支払い意志額について、需要家の使用電力量の30%をグリーン電力で供給する仮想的なグリーン電力サービス「グリーン30」を調査対象者に提示し、現在の電気代の何%アップまでならば、これを購入するか尋ねた。全体で68.5%の事業所が「価格次第では購入してもよい」と回答しており、グリーン購入希望者の平均アップ率は2.45%であった。法人向け(業務用需要家)のグリーン電力市場が立ち上がる可能性が高いことが分かった。

業種別に支払い意志額を見ると、省エネ投資選好の場合と比べて、両者に明確な相関は見られず、グリーン電力購入に関しては公共施設だけでなく民間施設も積極性が高いと言える。「小売業・コンビニ」「文化施設」が、各々5.6%、4.86%と高い支払い意志額を示している(図4-1-5)。

今後、エネルギー産業自由化の進展によりエネルギー源を越えた需要の囲い込みなどエンドユースレベルでの競争が激化していく。ここでは、事務所の空調需

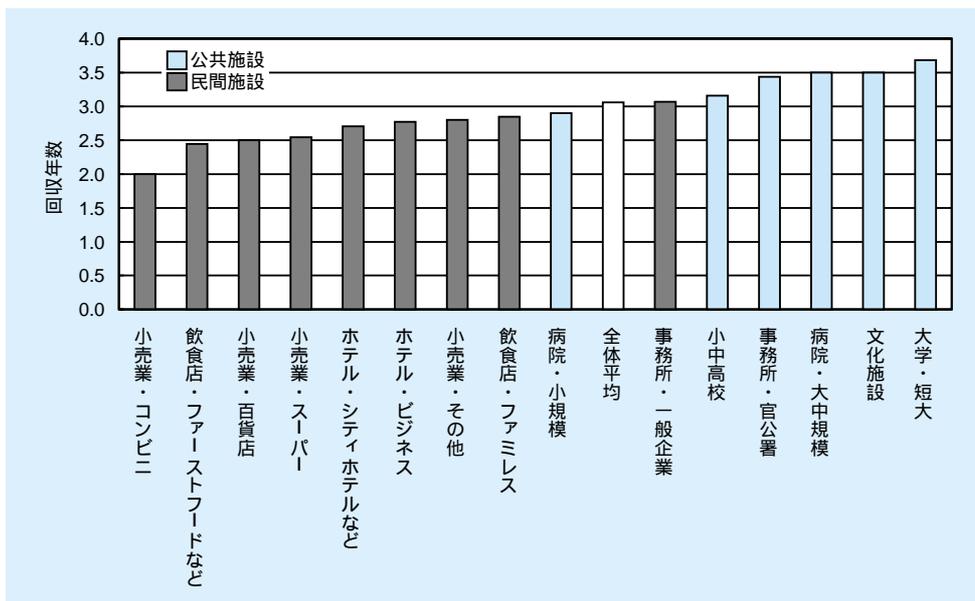


図4-1-4 省エネ投資に期待する回収年数

[†]東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、茨城県、栃木県、山梨県、群馬県、静岡県

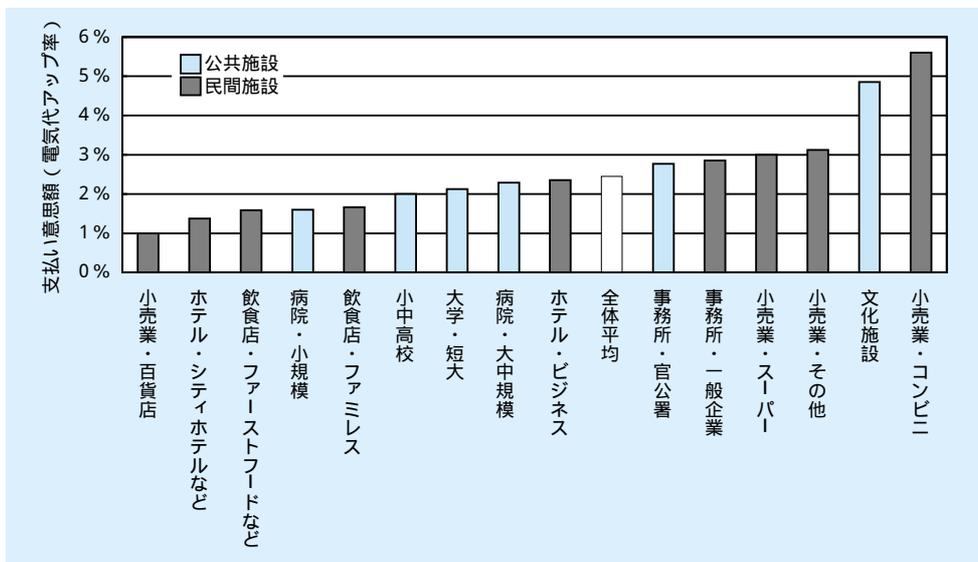


図4-1-5 「グリーン30」への支払い意思額（現在の電気代からのアップ率）

要を例に需要家のエネルギー選択行動結果を分析したが、今後は、電気式の蓄熱機器対非蓄熱機器の選択のみならず、電気機器対非電気機器、あるいはグリーン

電力も視野に入れて、非価格要因も含めて分析していく必要がある。

4-2 事務所ビルの室内熱環境の解析手法

4-2-1 快適かつ省エネなオフィス環境つくりのために

事務所ビルでは、近年、パソコンなどのOA機器などの著しい普及とそれらから発生する熱を処理するために空調用の電力消費が増え続けており、地球環境保護や都市部への電力安定供給の観点から、それを削減することが社会的に強く求められている。

こうした強い省エネ要請の一方で、オフィスにおけるワーカーの温熱快適性についてはあまり配慮されていないようである。それを裏付けるように、彼らの多くは、冷暖房時の室温に対して、「暑い」「寒い」「温度ムラが大きい」といった不満をもらしている⁽³⁾し、非常に仕事がしやすくなると感じている要素を「空調設備の改善」である⁽⁴⁾と述べている（図4-2-1）。不満だらけの熱環境のもとでは労働生産性の低下は免れない。ワーカーの給与とエネルギーコストを比較すれば、彼

らの生産性を向上させることと省エネのどちらを優先するべきかは自明であろう。省エネにまして、より温熱的に快適な就業環境を提供することが優先されるべ

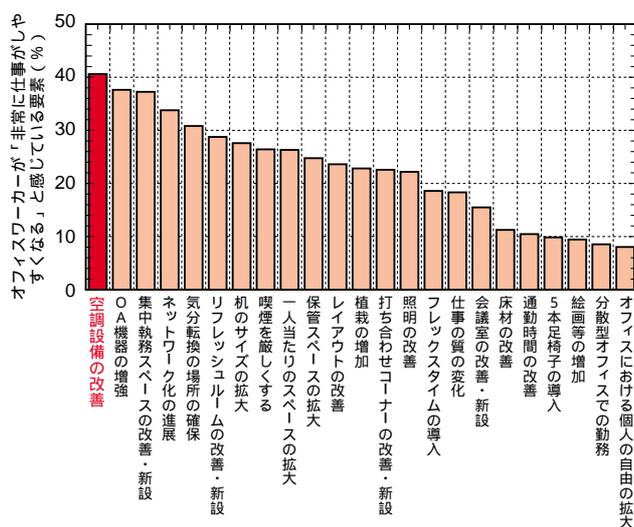


図4-2-1 オフィスワーカーが「非常に仕事がしやすくなる」と感じている要素

きである。ただし、快適性を追求するあまりに空調用エネルギーを浪費することは前述の社会的要請に逆行するものであり、未然に防がねばならない。すなわち、今後の事務所ビルにおけるオフィス環境づくりは、一見相反するワーカーの温熱快適性と省エネを両立させるように行われるべきである。

では、温熱快適性と省エネを両立させるために、具体的にはどうすればよいか。オフィス環境は、人間、建物構造、設備などに関わる多くの熱・幾何学的要因が複雑に絡み合い、相互に影響を及ぼしながら形成される。まずはオフィス内の熱環境の成り立ちや仕組みをきちんと理解しておく。その上で人体の快適性や具体的な方策を論じるべきである。そのためには、人間とその周囲環境との相互の熱的な影響を数値シミュレーションによって予め定量的に把握し、それで得た知見をオフィスの空間構造やレイアウト、空調設備の設計に応用することが近道であると考えられる。すなわち、気温やオフィス内の温度分布、ワーカーの温熱感覚などを定量的に評価できる手法を確立する必要がある。

このような目的でつくられたプログラムは従来多数存在する。その多くがゼネコンや住宅会社等で開発されたプログラムである。しかし、それらが今回の目的を達成するために必ずしも満足いく性能を備えたものとは言えない。そこで、当研究所は、「快適性かつ省エネなオフィス環境づくり」を支援するのに必要な課題のうち、従来のものに欠如している下記を盛り込ん

だ独自の手法（以後、熱環境評価プログラムとよぶ）の開発を進めてきた。

- ・人体と周囲環境の熱的相互作用（対流、伝導、放射、蒸発による伝熱現象）の解明
- ・人体の温熱感指標の定量的表現

本プログラムの最大の特長は、人体の温熱感覚に大きな影響を及ぼすにも関わらず従来無視に近いかたちあるいはかなり雑に扱われてきた放射による伝熱を適切に扱えるようにした点にある。本節では、このプログラムの内容について述べる。

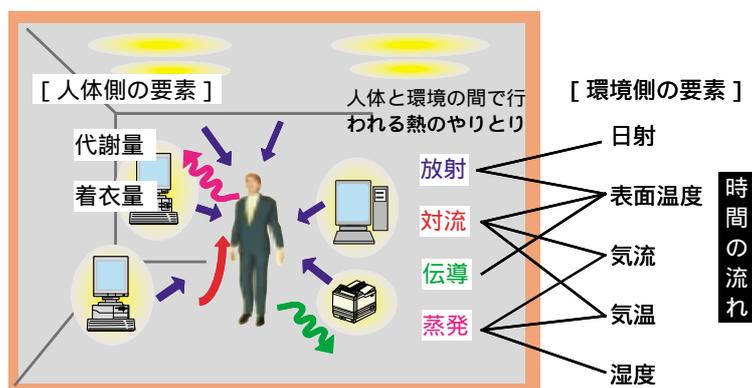
4-2-2 熱環境評価プログラム

(1) 人体と周囲環境との熱交換とプログラムの概要

当研究所で開発した熱環境評価プログラムは、人体とその周囲環境との間の対流、伝導、放射、蒸発による伝熱を解析し、室内の熱環境を適切に模擬し、人体の温熱感覚を定量的に評価できる。プログラムの概要を理解するには、人体と周囲環境との熱交換と温熱感覚を規定する要素の関係を見ておく必要がある。この関係を図4-2-2に示す⁽⁵⁾。この図からわかるように、人体と周囲環境との間の熱のやりとりや温熱感覚に影響を及ぼすのは、単に気温だけではない。以下に示す様々な要素があげられる。

人体側の要素としては

- (ア) 代謝量



*1代謝量 人体の活動状況によって体内で生じる熱のこと。激しい運動をしているときは量が多く、気温が低くても寒さを感じない。

*2着衣量 衣服の素材形状によって熱の出入りが変化する。着衣量が増すほど、気温の変化による影響は少ない。

図4-2-2 人体と周囲環境との熱交換と温熱感覚を規定する要素の関係

(イ) 着衣量

環境側の要素としては

(ウ) 気温

(エ) 気流

(オ) 湿度

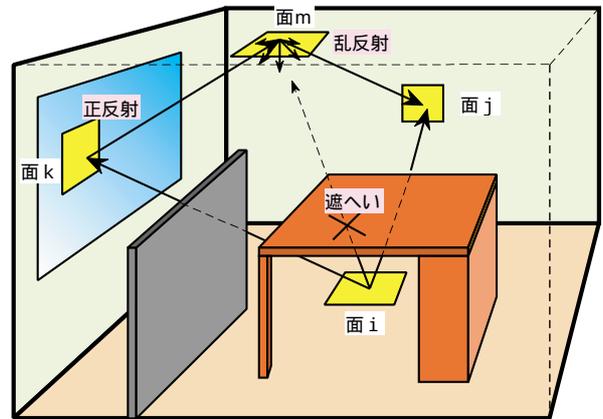
(カ) 放射 (室内の表面温度などと深く関係する)

がある。上記の人体側・環境側の要素は、人体と周囲環境間の対流、伝導、放射、蒸発による伝熱と複雑に関係しており、それぞれの量を決定する。本プログラムでは、上記の伝熱の要素をすべて考慮した熱バランス式を解くことによって、室内の気温、気流および表面温度の分布などを時間の流れに沿って計算できるようにした。これら計算結果から人体の放熱量を計算し、温熱感覚を予測できる(この過程の詳細を、(3)と(4)で後述する)。本プログラムの最大の特長である人体と周囲との放射伝熱の扱い方について(2)で詳しく説明する。

(2) 物体間の放射伝熱量の計算

放射伝熱とは、赤外線は可視光線と同じように空間を伝わり、到達した物体に赤外線が直接吸収されて熱を伝えることである。接触によって生じる対流や伝導による熱の伝わり方とは異なる。途中で障害物があると赤外線が遮られるので、熱が伝わらない。また、鏡のような反射体があると赤外線は反射して向きを変え移動する(図4-2-3)。

オフィスには様々な形の障害物や反射体が立体的に配置され、互いに熱的影響をおよぼし合っているため、放射伝熱現象は複雑化する。「冷えた窓」による冷放射、「日射を吸収して焼けた壁」によるほてり等に代表されるように、放射伝熱は人体の温熱感に大きな影響を及ぼす。したがって快適なオフィス環境をつくるためには、ワーカーを含め、室内にある全ての発熱源の発する赤外線、窓から室内へ入射する日射が、家具や壁などでの吸収や反射を経て、室内各所の温度をどのように上昇させるかをあらかじめ知ることが重要である。併せて、ワーカーまわりの熱環境を評価するための人体モデル、温熱感を評価するための指標を検討することも、前記の解析結果を効果的に活用する上で重要である。しかしながら、これらを精度よく、かつ、効率的に実現する方法はこれまでほとんど見あたらなかった。そこで、当研究所では任意の形をした物体間の赤



面 i から射出され、面 j に到達する赤外線は、さまざまな経路をとる。

図4-2-3 空間内の赤外線移動の様子

外線による熱移動(放射伝熱)量を的確に解析するプログラムを開発した⁽⁶⁾⁽⁷⁾。このプログラムは、従来広く使用されている光線追跡法を改良した独自アルゴリズムを基礎として構築されている。これに、障害物による遮へい、空間内の多重反射および波長に対する物体表面の反射や吸収特性を考慮でき、少ないメモリと計算時間で高精度な結果が得られるよう工夫を施している。さらに、従来開発されている対流と伝導による熱移動のプログラムを組み込み、室内各部の温度分布を時間の流れを考慮しつつ詳細に解析できるようにした。また、屋外から屋内への熱伝導や日射の侵入の過程を時間の流れを考慮しつつ詳細に模擬できるように、躯体の熱応答の時間遅れや蓄熱の効果、隣接する周囲のビルによる日射の遮へいや周囲のビルからの熱放射の影響を解析に取り込めるようにした。冷房のための電力需要がもっとも大きくなる気象条件の日を対象に、密集した街区の中に建っている事務所ビルの中間階(4F)のオフィス内の壁面温度分布変化を解析した事例を図4-2-4に示す。

(3) 熱環境を評価するための人体モデル

人体表面から周囲へ放出される熱量は、人間が暑い、寒いなどと感じる温熱感と密接に結びついた重要な量である。したがってオフィスの熱環境を適切に評価するには、適切な人体モデルを用いて人体からの放熱量を計算する必要がある。当研究所は、室内環境の評価のための人体モデルを新たに開発した⁴²⁶⁾(図4-2-5)。

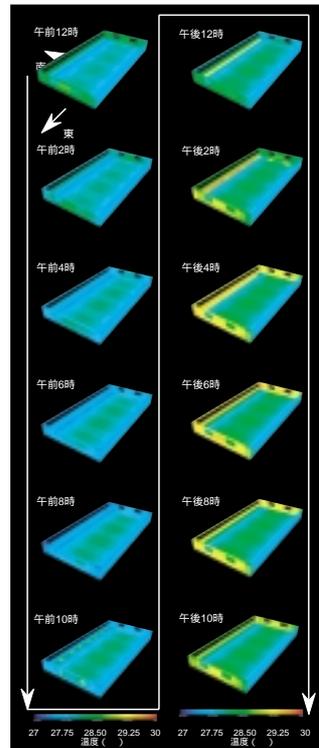
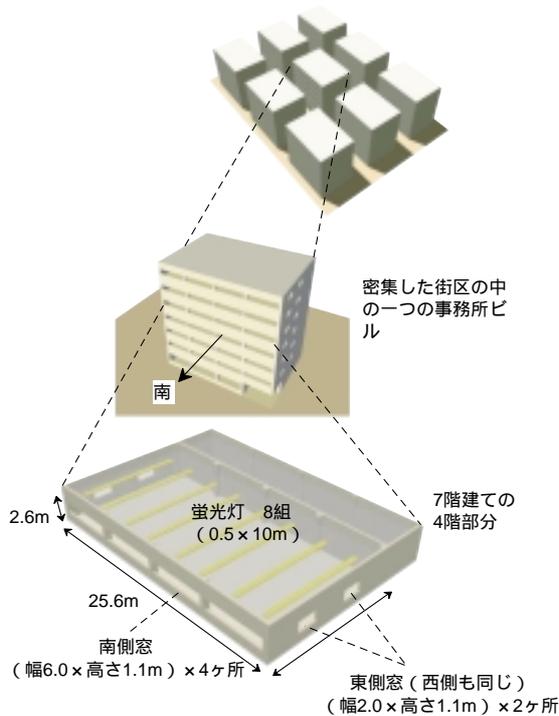


図4-2-4 事務所ビルの居室内の温度分布変化の解析事例

このモデルは、形状を工夫した円柱と直方体を組み合わせて作成した比較的単純な形をしているが、実質的な体表面積、および、人体表面形状を、実際の人体に近い値で表現できることを確認している。皮膚の温度分布については被験者の実測データを使用しており、人体からの放熱量を的確に模擬するように工夫している。この人体モデルを解析モデルに組み込み、解析し、人体の皮膚温度や人体周囲の熱環境に関わる詳細な情報を評価することができる(図4-2-6)。現状では、適用できる場面が限られるが、今後、姿勢や着衣量を自

由に変えることができるようにするなど実用的なモデルへの発展を目指す予定である。

(4) 人体の温熱感覚の推定

人間は活動状態に応じた量の熱を放射、対流、伝導によって放出される顕熱あるいは呼吸、発汗によって放出される潜熱のかたちで体外に放出することで体温を調節する。周囲の熱的な条件によって放熱がさまたげられると暑く、また、必要以上に放熱が促進されると寒く感じる。放熱量を求めて温熱感を定量化する研究が欧米を中心に行われ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、現在ではいくつかの温熱感指標[†]が広く用いられるようになった。しかしながら、この研究では人体は空間に浮かぶ点で表現されるなど極端に簡略化されるため、人体と壁面などとの空間的な位置関係が適切に表現できず、放射による放熱量の計算が困難であった。このことによって、温熱感を適切に評価できない恐れがあった。そこで、前述した人体モデルを用いて計算した放熱量をもとに、従来の温

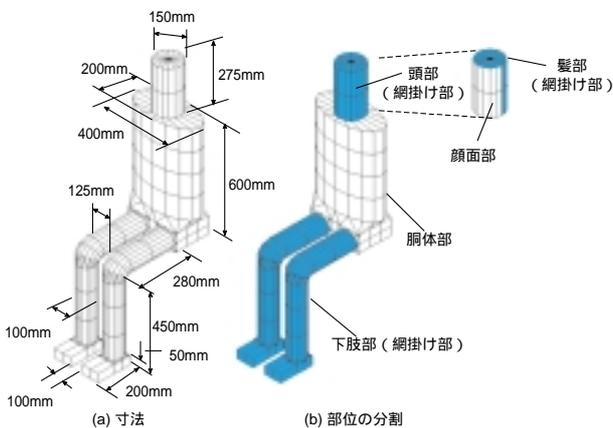


図4-2-5 室内環境の評価のための人体モデル

[†]代表的な温熱感指標として、デンマークで開発されたPMV(予想平均申告)がある⁽⁹⁾。気温・湿度・気流速度・平均放射温度(周囲の固体表面温度分布の平均値)、人体の着衣および作業の程度から計算できる温熱感指標で、-3(寒い)~0(どちらでもない)~+3(暑い)の値で表現される。

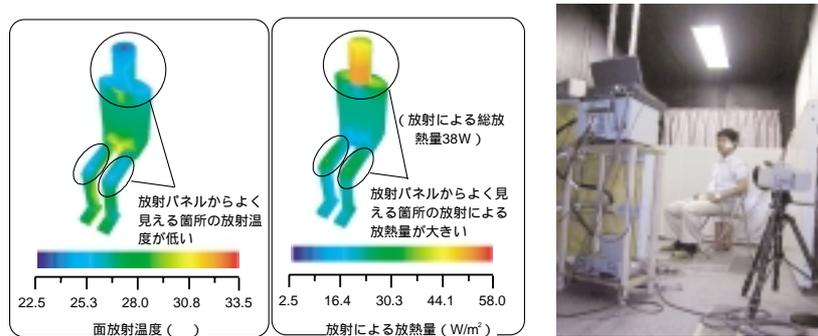


図4-2-6 人体モデルを用いた評価結果（天井パネルによって冷房された居室内における事例）

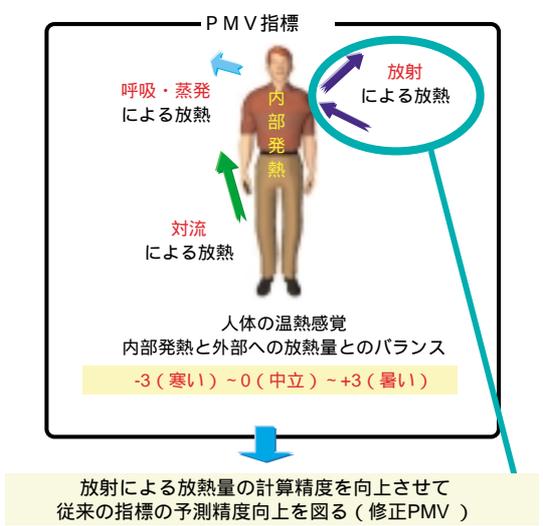


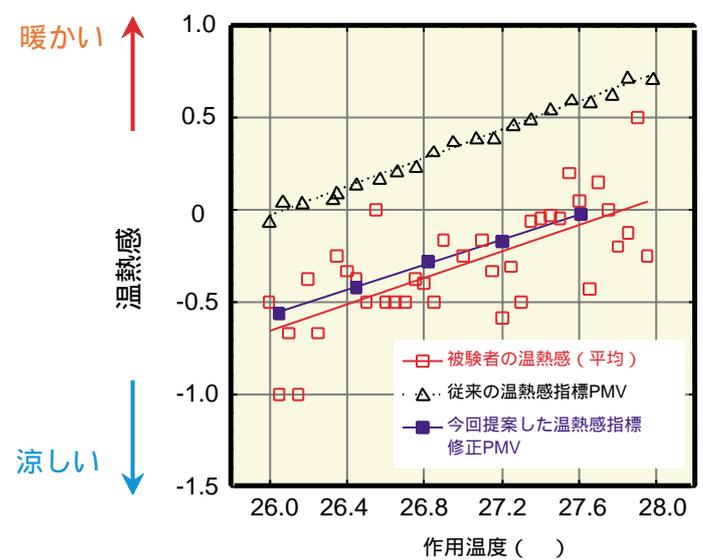
図4-2-7 PMV指標の修正方法

熱感指標PMVを修正する方法を考案した（図4-2-7）。

考案した温熱感の修正指標の妥当性を調べるために、一定の環境に制御された室内において、百数十名の被験者に温熱感をアンケート調査した。この結果、従来の温熱感の指標より今回開発した修正指標のほうが被験者の温熱感をよりの確に表していることがわかった（図4-2-8）。

4-2-3 今後の進め方

オフィスを対象とした室内の熱環境およびワーカーの温熱快適性を定量的に評価するための熱環境評価プログラムを開発した。今後は、快適性と省エネを両立させるオフィス環境づくりに役立ててゆきたい。当面



（放射と空気の両方が人体に与える影響を評価する温度指標）

図4-2-8 PMV指標と修正指標の比較事例

の適用先として、電気事業が進出しつつある建物品質評価格付け事業やESCO事業での利用を念頭に置く。

また、事務所ビルにおける空調や照明のスケジュール等を今回開発したプログラムに取り込んで、熱環境をより現実に近いかたちで解析できるようにしたり、プログラムを空調設備設計に的確に反映させるための

検討を進める予定である。さらに、事務所ビルにおいて空調について大きなエネルギー消費量を占める照明に着目し、昼光の利用等による照明エネルギーの省エネを念頭において光環境の解析手法を新たに開発し、実用性の観点から他の類似した手法との差別化を図りたい。

4 - 3 ビルの空調・熱源新技術

4-3-1 氷蓄熱式放射冷房システムの提案

放射冷房は放射伝熱を主体にした冷房方式で、従来の対流伝熱を主体にした冷房方式に比して不快な冷気の流れがほとんどなく、快適で静穏な室内熱環境を実現できる方式である。当研究所では放射冷房に氷蓄熱を組合せた氷蓄熱式放射冷房システムを事務所ビル用の新しい空調システムとして提案してきた。氷蓄熱の特長を十分に活かした新しい空調方式を開発することで氷蓄熱の普及を支援するためである。また、氷蓄熱を利用することによって放射冷房そのものの性能を向上させることも意図している。

提案する氷蓄熱式放射冷房システムのコンセプトを図4-3-1と表4-3-1にまとめた。図4-3-1に示すように、屋上の氷蓄熱槽には夜間電力を利用したヒートポンプによって氷として冷熱が蓄えられる。昼間の冷房時に

は氷蓄熱槽から1～4の冷水が各階にある空調機に供給される。空調機ではその冷水を利用して低温低湿の空気を作り、それを天井に設置された金属製の放射冷房パネルと天井スラブとの間に吹き込む。冷却されたパネルは、居室者やOA機器、床面や壁面等からの熱放射を吸収することで冷房を行う。また、吹き込まれた冷気は窓側端部から室内に供給され、換気とペリメータの熱処理に使われる。このシステムでは、氷蓄熱の採用によって供給冷水温度を通常の水蓄熱のものより低い1～4とすることができ、これによって搬送動力の低減が見込める。同時に除湿能力が向上した分、低湿な空気を室内に供給することができる。従来より低い湿度の空気を供給する分、室内の温度を従来より高めても放射冷房の効果とあいまって同等の冷感感が得られることが期待される。また、室温を高めた分だけ外部からの侵入熱負荷を低減させ、省エネになる可能性がある。さらに、放射パネル冷却後の低温低湿空

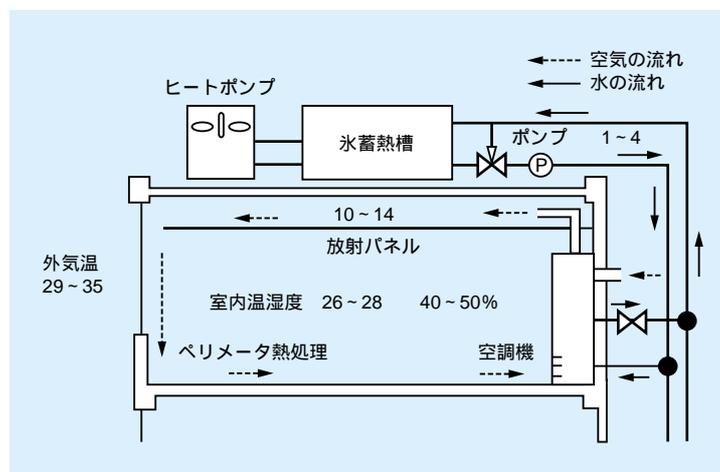


図4-3-1 氷蓄熱式放射冷房システムの概念図

表4-3-1 氷蓄熱式放射冷房システムの五つのアイデア

負荷平準化への寄与 省エネルギーへの寄与 ・搬送動力低減 ・侵入熱負荷の低減 ・熱エネルギーのカスケード利用 温熱快適性の向上 放射冷房の性能向上 ・結露防止 ・熱負荷追従特性改善 イニシャルコストの軽減	・氷蓄熱の採用 ・氷蓄熱の採用による低温冷媒供給 ・温度高め、湿度低めの室環境設定 ・放射パネル冷却後の低温低湿空気を再利用 ・放射冷房の採用 ・氷蓄熱から得られる低湿空気を室内に供給 ・放射と対流のハイブリッド方式を採用 ・大温度差利用による搬送系容量の低減 ・ダクトレス方式の採用
---	--

気を室内に供給することで放射冷房の欠点である結露の危険性を確実に防止できるものと期待される。その上、これによって本質的にあまり大きくない放射冷房パネルの除熱能力を補い、空調システムとしての熱負荷追従特性も改善されることが見込まれる⁽¹⁾。

図4-3-2は、提案する氷蓄熱式放射冷房システムを導入したモデル事務所ビル（延べ床面積3,300m²）の負荷平準化効果、省エネルギー性能、ランニングコスト、イニシャルコストのシミュレーション結果である。氷

蓄熱式放射冷房システムは、氷蓄熱をもたない放射式と比較して、3割強のピークカット、1割の省エネ、3割の電気料金の節約が期待される。氷蓄熱式としなければ放射式はエネルギー的にもランニングコスト的にもメリットは見出せない。氷蓄熱式放射冷房システムの夏季ピーク電力最大値および年間消費電力量は氷蓄熱をもつ対流式とほぼ同等である。また、両者の投資回収年もほぼ同等である。これらから、氷蓄熱の採用を前提にした場合、放射冷房がもたらす温熱快適性

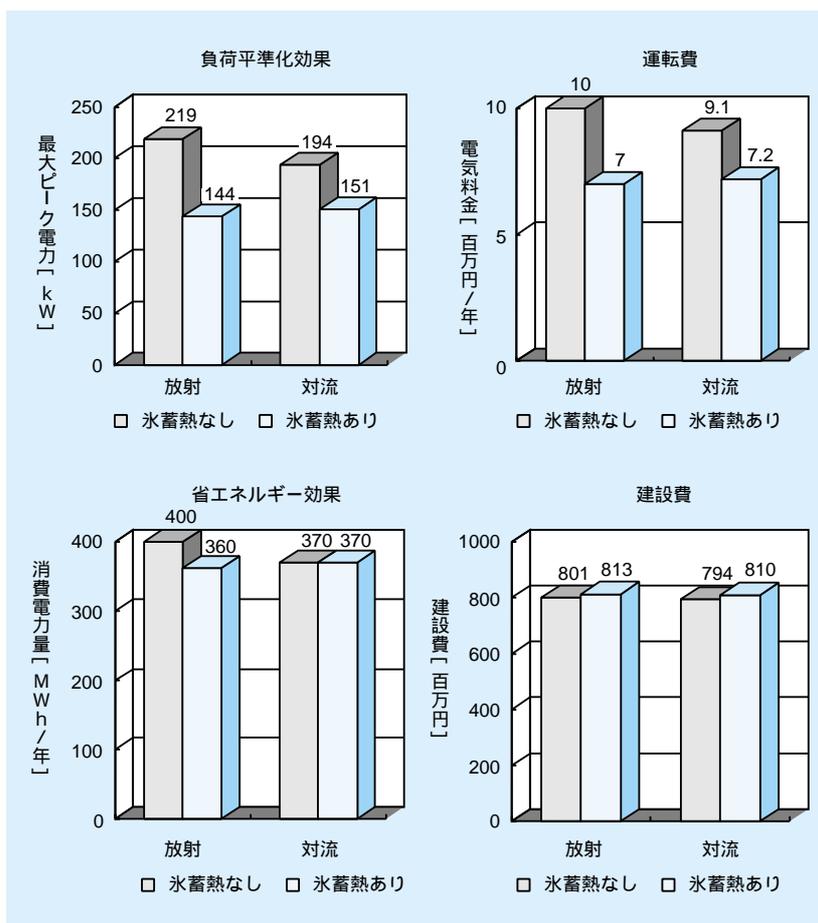


図4-3-2 氷蓄熱式放射冷房システムを導入した事務所ビルの評価結果



図4-3-3 放射冷房システムを設置した実験室

等を考慮すると本システムの市場競争力は高いと考
えている¹²⁾¹³⁾。現在、提案するコンセプトに基づいた放射
冷房システムの実規模装置（図4-3-3参照）を試作し、
温熱快適性の確認等のほか、システムの制御法の開発
など、実験的な検討に取り組んでいる。

4-3-2 業務用空調システムの運転シミュ レーション・評価手法

業務用空調システムでは、エネルギー源として電気、
ガスのいずれを用いるかをはじめとして、熱源機器
（ヒートポンプチラー、ビルマルチ、蓄熱システム、ガ
ス吸収式、ガスエンジンヒートポンプ、コージェネ等）、
冷房・暖房負荷、さらに、蓄熱システムでの蓄熱容
量・コージェネでの発電容量など、システム選択肢な
らびに設計パラメータが極めて多い。このため、空調
システムの設計を行うためには、運転シミュレーショ
ンを行って想定される負荷に対してシステムがどのよ
うに運転されるかを予測することが必要である。その
結果をもとに、エネルギー消費量・エネルギーコス
ト・負荷平準化効果などを求め、システムの評価、最
適化を行うことが可能となる。電力中央研究所では、
このような設計・評価を行うため運転シミュレーショ
ン手法を開発しビルの業務用空調地域熱供給など各種
システムの評価を行ってきた。

空調システムの評価では、一般的には、まず最大空
調負荷をもとにシステム設計を行い、次に12ヶ月代表
日の空調負荷について1日の運転シミュレーションを
行い、それらの合計として、エネルギー消費量を求め

ている。

電力中央研究所では、12ヶ月代表日の運転シミュレ
ーションを表計算ソフトを用いて各時刻の機器の運転状
況・エネルギーバランス（図4-3-4）を作成している¹⁴⁾。
この計算では、まかなうべき基本的には、空調負荷に
対して、ヒートポンプなどの各熱源機器の出力を充当
することにより、各機器の必要な運転パターン・台数
を求めている（図4-3-5）。これまで、蓄熱式ヒートポ
ンプ、ガス吸収式の比較、氷蓄熱ビルマルチ、ガスエ
ンジンヒートポンプ、給湯ヒートポンプ、マイクロGT
システムなどの運転シミュレーションを行いシステム
構成、評価、最適化に関するノウハウを蓄積してきて
いる。

月代表日の負荷を用いる手法の問題点は、実際には
日ごと負荷は異なり月代表日からの負荷のバラツキが
生じることである。このことは、特にコージェネのよ
うに熱負荷だけでなく電力負荷にも対応するシステム
の場合に、電力負荷は他の空調負荷と傾向が異なり、
システム設計上も電力と熱のバランス（熱電比）が重
要であるため特に重要な問題となる。電力中央研究所
では、冷房・暖房・給湯・電力について地域内での自
給率を高めた地域熱供給システムを対象に365日（8760
時間）の運転シミュレーションを行う専用プログラム
を開発し、評価を行っている¹⁵⁾。これらのコージェネお
よび空調システムの運転シミュレーションについては、
マイクロガスタービン、PEFCなどの最新の技術を入れ
ていながら、今後、手法の高度化を図っていく予定
である。

設備種別	単位	時刻	時刻																								合計	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
工場内空調設備	電力	Qe(kWh)	19.11	17.09	17.50	17.50	19.00	17.50	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	730.00
	冷熱	Qc(kWh)	39.33	37.51	37.51	39.00	37.51	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	1410.00
	暖房	Qh(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	除湿	Qd(kWh)	0.01	1.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
工場外空調設備	MFCF排熱吸収式	Qe(kWh)	1.44	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	32.64	
	入/出風機	Qe(kWh)	0.01	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	
	空調機	Qe(kWh)	2.71	2.48	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	61.66	
	空調機	Qc(kWh)	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02	72.36	
工場外空調設備	空調機	Qe(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	空調機	Qc(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	空調機	Qh(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	空調機	Qd(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
工場外空調設備	空調機	Qe(kWh)	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	243.36	
	空調機	Qc(kWh)	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	26.16	
	空調機	Qh(kWh)	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	26.16	
	空調機	Qd(kWh)	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	10.14	243.36	
工場外空調設備	空調機	Qe(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	空調機	Qc(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	空調機	Qh(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	空調機	Qd(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
工場外空調設備	空調機	Qe(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	空調機	Qc(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	空調機	Qh(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	空調機	Qd(kWh)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

図4-3-4 日間運転シミュレーションの計算シート

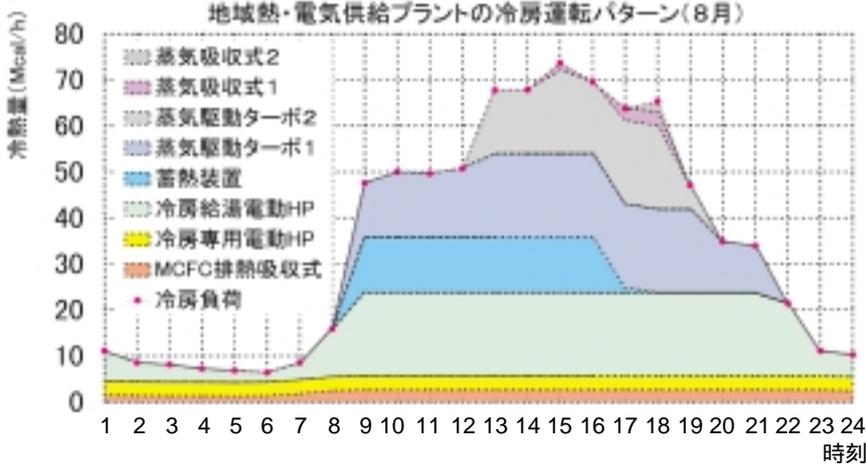


図4-3-5 日間運転シミュレーションの計算結果

コラム カプセル型氷蓄熱システムの性能を向上させる新しい過冷却解除剤 - 氷核活性細菌 -

カプセル型氷蓄熱システムは、潜熱蓄熱物質である水(氷)を密封したカプセルを蓄熱槽内に充填し、冷凍機や空調機等と結合して蓄・放冷熱 (= 製氷・解氷) するシステム (図1) である。カプセルの周囲を流れる熱搬送流体 (= エチレングリコール水溶液等) との熱交換性能が良く、システム構成が単純で、蓄熱槽の大容量化が容易である等の長所を持つ。

一般に、カプセル内に密封された水は、温度が融点 (= 0) 以下になっても凍らない、いわゆる「過冷却状態」になり易い。また、カプセル内の水は各カプセル毎に独立しているため、蓄熱槽内に充填された全てのカプセルを凍らせるためには、蓄冷熱が完了するまで凍結開始に必要な低い温度に熱搬送流体を保たなければならない。しかし、熱搬送流体を冷やす冷凍機の蓄冷熱 COP は、凍結開始温度 (= 過冷却解除温度) が 1 度低くなるごとに約 3 % も低くなること、当研究所の試算によりわかった (図2)。

よって、水の凍結開始温度を上げることがカプセル型氷蓄熱システムの性能向上の決め手となり、そのための最も有効な手段が「過冷却解除剤」の添加である。これまで実用化されてきたカプセル型氷蓄熱システムにおいては、過冷却解除剤としてヨウ化銀 (AgI) が利用されてきた。しかし、高

価で劇物であることから、より安価・安全で過冷却解除能力の高い物質が望まれている。

そこで、当研究所では、様々な物質を添加した水について、凝固・融解の繰り返しによる過冷却解除能力の評価試験を行ない、「氷核活性細菌」が有望であることを確認した (図3) (6)。

現在、滅菌方法等の異なる各種氷核活性細菌の過冷却解除能力評価試験を行っており、それをもとに氷核活性細菌のカプセル型氷蓄熱システムへの適用可能性を評価する予定である。

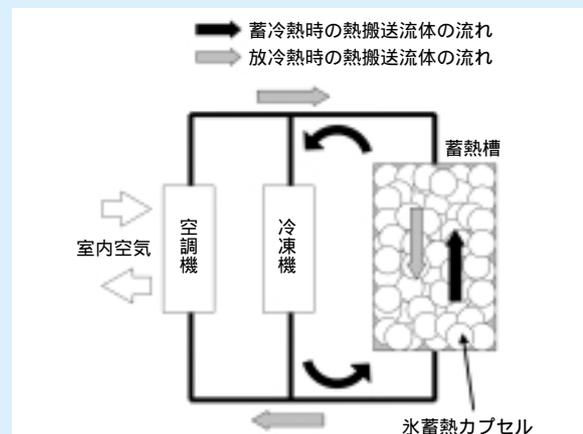


図1 カプセル型氷蓄熱システムの構成概略

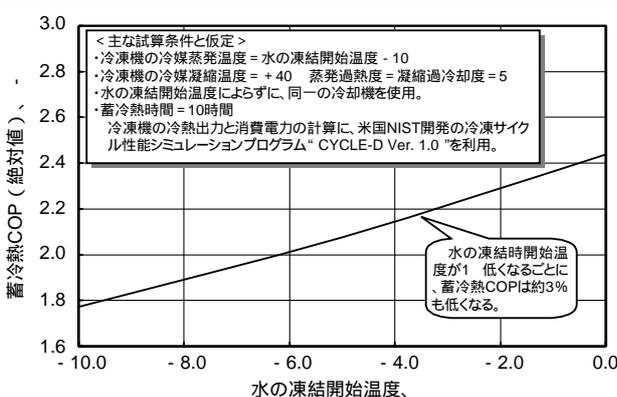


図2 カプセル内の水の凍結開始温度が冷凍機の蓄冷熱COPに及ぼす影響の試算結果

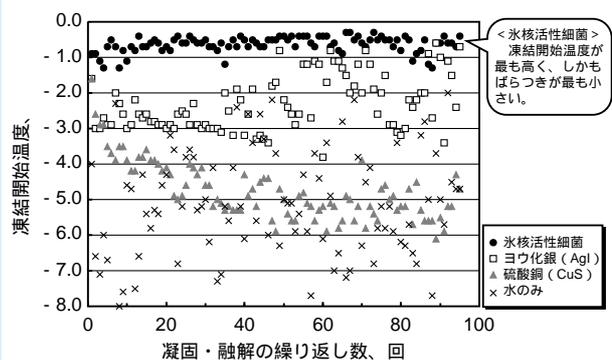


図3 代表的な過冷却解除剤に関する過冷却解除能力の評価試験結果

4 - 4 都市熱環境とエネルギー消費

4-4-1 はじめに

「ヒートアイランド」は、都市特有の温暖化を表す言葉として広く定着しつつある。夏場のヒートアイランドは、真夏日や熱帯夜を増加させることで都市生活における快適性を低下させるとともに、都市部のエネルギー消費の増大にも密接に関連している。例えば、東京都では真夏の最高気温が1℃上昇すると、平日の最大電力需要は約160万kW増加する。すなわち、ヒートアイランドによる都市の高温化がエネルギー消費を助長し、さらには電力需要ピークを先鋭化させ負荷率を低下させる要因になっている可能性がある。

ヒートアイランドを緩和するためには、その主要な成因といわれている「緑地の減少や人工舗装面の増加に伴う地表の熱特性変化」や「エネルギー消費に伴う人工排熱の発生」に着目し、これらを緩和する方策が考えられる。具体的には、屋上緑化や透水性舗装による蒸発熱の増大、白色塗装による日射反射の増大、省エネ技術の導入による人工排熱削減などが挙げられる。

さらに、都市の熱環境緩和を考える上で無視しえないもう一つの重要な要因が、地上付近の風・日射・長波放射を変化させる「建物」である。建物の存在を考えた上で屋外空間を上手に活用しながら対策技術を導入することで、さらなる熱環境改善、省エネ、負荷平準化につながることも期待できる。

こういった対策の導入効果を都市において実証するためには、実験規模の大きさや屋外実験条件の不安定性など、多くの困難をともなう。このため、数値シミュレーションによる効果の評価が有効である。ここでは、「都市全域スケール」、「建物スケール」の2つの空間スケールを設定し、建物の存在を考慮した対策技術の導入効果について数値シミュレーションによって検討を行った事例を紹介する。

4-4-2 建物の上空に熱を逃がす

- 都市全域スケールでの検討事例 -

(a) 広域を対象とした解析の重要性

ヒートアイランドは、地域毎の地形や風系などの環境下で形成される現象である。このため、例えば海風・陸風・弱風時などの時間帯毎にヒートアイランドの強さや現れ方は異なる。また、ある地域における熱的な変化は、熱の移流を通じて風下側の地域の熱環境をも変化させる。したがって、ヒートアイランド緩和策を論じるにあたっては、都市域程度の広い空間スケールに視点をおいた検討を行うことが重要である。

こうした背景から、ここではヒートアイランドを広域的に解析できる三次元数値モデル（以下、ヒートアイランドモデル）を実在する大都市である東京23区に適用して、主に建物と建物間の気温に着目して、人工排熱の削減等の施策による熱環境緩和効果について評価を行った。詳細については、文献(14)、(15)を参照されたい。

(b) 建物効果を考慮できる広域モデル

このヒートアイランドモデルは、電力中央研究所で開発したものであり、地形・土地被覆・人工排熱の分布を考慮して、地上から高度約5000mまでの三次元風速・温位・比湿等の空間分布およびそれらの時間変化を計算することが可能である。大気中の水平分解能は1～数km程度であるが、地表は数100m程度の分解能で計算できる。また、地表の水平メッシュ内での平均的な建物の密度や高さを変数として放射や風の遮蔽効果を考慮することによって、人間が屋外活動を営む建物と建物間の熱環境を評価できる点に特徴がある（図4-4-1）。なお、このモデルを東京23区に適用した計算結果と東京都一般環境大気測定所のデータを比較して、両者が概ね一致することを確認している。

(c) 建物間の気温分布はどうなっているか

晴天弱風の真夏日であった1996年8月22日14時にお

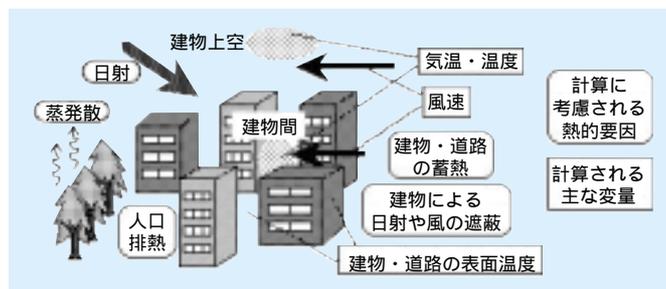


図4-4-1 解析に使用した三次元数値モデルの概要
(計算に考慮される熱的要因と主な計算変量)

ける建物の屋上のすぐ上（以下、建物直上）および建物と建物との間（以上、建物間）の気温分布の計算結果が図4-4-2である。

建物直上では、東京23区内のうち北部～北西部の地域で気温が最も高い。これは都心で暖められた空気が海風によって内陸に流されることなどが原因と考えられる。

一方、建物間では、全体的に建物直上よりも気温が高いことに加え、都心や副都心でも気温が高くなるという特徴が見られる。これは、図4-4-3に示すようにエネルギー消費に伴う人工排熱の放出量が都心や副都心で特に多く、建物間の風の通りが悪いために、この熱が上空に移動せずに建物間にたまりやすいことが一因となっている。

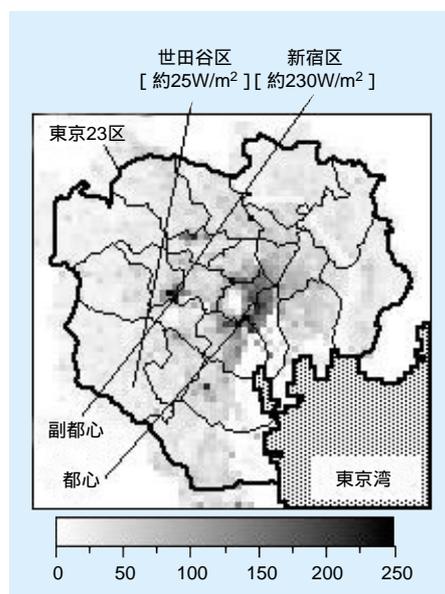


図4-4-3 夏場の東京23区における日中14時の人工排熱分布

(d) 人工排熱放出の工夫で熱環境を緩和する

続いて、先の計算条件を基準として、人工排熱に着目した施策を都市内に導入したときに熱環境がどの程

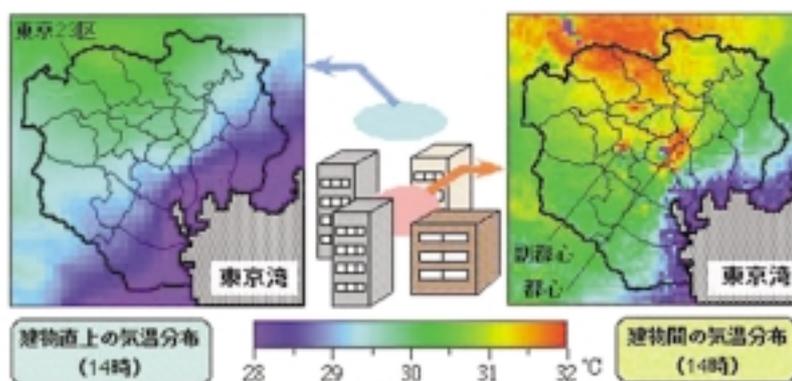


図4-4-2 真夏日の東京23区における建物直上および建物間の気温分布の計算結果
(ここでいう建物直上とは、建物の屋上のすぐ上を指す)

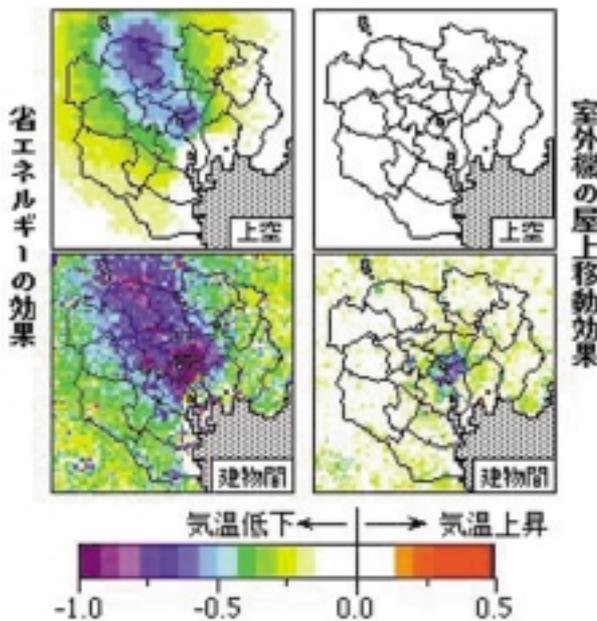


図4-4-4 東京23区を対象としたヒートアイランド緩和効果の緩和効果の試算結果（真夏日の日中14時）

度緩和されるかを試算した。

まず、省エネ策を導入して人工排熱を50%削減した場合、建物間では建物直上の約2倍の気温低下が見られ、都心の建物間気温が約1.5℃下がること示された（図4-4-4(1)）。この気温低下が夏場の冷房需要を減らし、新たな省エネを生み出すことが期待される。

続いて、壁側のエアコン室外機を屋上に移動した場合を想定し、建物間で放出される人工排熱の50%を建物直上に直接放出させた場合、都心の建物間では先の省エネ策を導入した場合の半分程度気温が低下することが示された（図4-4-4(2)）。

建物が密集し排熱量も多い都心の建物間は、日中に熱が籠って高温化しやすい。しかし、省エネや排熱の放出位置を工夫することによって熱環境を改善できることが示された。この知見は、今後、分散型電源などの排熱源が都市内に普及した場合にも応用できる。

4-4-3 日射を反射することの功罪 - 建物スケールでの検討事例 -

4-4-1項で述べたように、ヒートアイランドの緩和は、都市熱環境の改善のみならず、負荷平準化や省エネルギーにも寄与するものと期待される。都市熱環境の改

善がエネルギー消費に及ぼす影響を評価するため、電力中央研究所では、建物周辺の熱環境と建物のエネルギー消費とを結びつける数値シミュレーションモデルの開発を行っている⁽⁹⁾。

このモデルは、4-4-2項で述べた都市全域スケールのシミュレーション結果などから街区周辺の境界条件を引継ぎ、建物周辺の熱環境と建物のエネルギー消費を求める建物スケールの数値シミュレーションである。このモデルでは、図4-4-5に示すように、対流や建物間の放射や反射の影響を考慮することによって、建物の空調負荷を評価できる。

この熱環境数値シミュレーションを用いて、ヒートアイランド緩和方策の一例として都市の日射反射率を増加させた場合について、負荷平準化と省エネルギー効果を評価した。ここで考える日射反射率の増加は、アメリカを中心に開発されている日射反射塗料⁽¹⁰⁾を想定している。この塗料は、様々な工夫によって、日射反射率を0.8以上に増加させている。数値シミュレーションの解析対象として、東京の大手町のように、ビルが密集している地域を想定し、ビル密集市街地をモデル化した。この市街地にある全てのビルの屋上面や外壁面の日射反射率を、0.3（通常のコンクリート表面）から0.8（塗料表面）に増加させた場合について、真夏の冷房負荷の増減をシミュレーションした。

この結果、図4-4-6に示されるように、屋上面のみ日射反射率を増加させた場合には、冷房負荷ピークが4%減少した。一方、外壁面のみ日射反射率を同様に増加させた場合には、冷房負荷ピークが7%増加し、逆効果

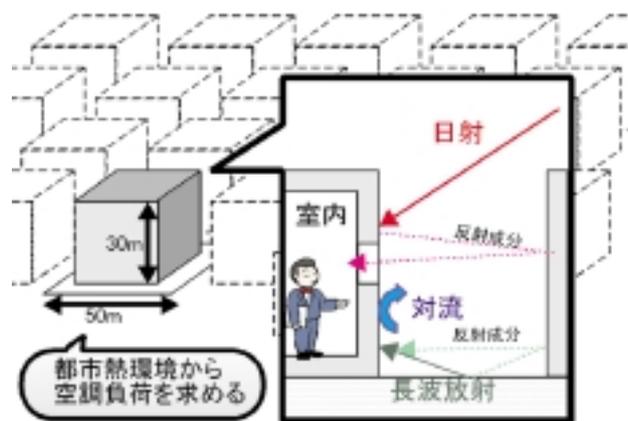


図4-4-5 都市街区スケールの数値シミュレーション

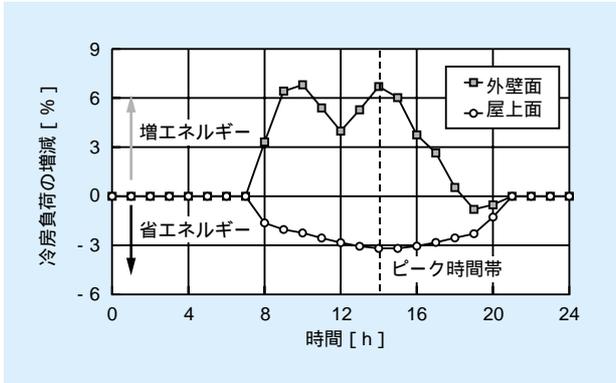


図4-4-6 日射反射率の増加による冷房負荷の削減効果

となった。これは、周囲のビル外壁で反射された日射の一部が窓を通して室内に入るためである。なお、図4-

4-6は、日射反射率を増加させない場合のピーク冷房負荷を基準値として、冷房負荷の増減を百分率で表したものである。

このように、日射を反射させることによって冷房負荷の増加などのデメリットを生じさせる可能性もあり、周囲の状況をよく考慮して行う必要がある。今後は、数値シミュレーションによって、屋上植栽による緑化や通風の促進など、他のヒートアイランド緩和方策の負荷平準化・省エネルギー効果を評価していく予定である。また、これらの結果を用いて、ヒートアイランド緩和方策の費用対効果の分析にも活用する予定である。

第 5 章

5

**分散型電源を用いたオンサイト
エネルギーシステム**

第5章 分散型電源を用いたオンサイトエネルギーシステム 目次

狛江研究所需要家システム部	上席研究員	市川	建美
狛江研究所需要家システム部	上席研究員	七原	俊也
横須賀研究所プラント熱工学部	主任研究員	齋川	路之
経済社会研究所	上席研究員	浅野	浩志
経済社会研究所	主任研究員	今村	栄一
狛江研究所リチウム二次電池プロジェクト	リーダー	岩堀	徹

5 - 1	オンサイトエネルギーシステムと分散型電源	67
5 - 2	マイクロガスタービン、固体高分子形燃料電池システムの展望	69
5 - 3	システムの省エネ・経済性評価	72
コラム	リチウム二次電池による分散型電池電力貯蔵	77

市川 建美（22ページに掲載）



七原 俊也（昭和54年入所）
主に、需給計画手法の分散型電源の評価、エネルギーシステムの検討などの研究に従事してきた。現在、太陽光・風力発電の出力特性の分析や風力発電の電力系統に及ぼす影響などに関する研究に取り組んでいる。

齋川 路之（22ページに掲載）

浅野 浩志（12ページに掲載）



今村 栄一（平成元年入所）
新エネルギー技術をはじめとする各種分散型電源技術の技術評価・経済性評価に関する研究に従事。特に需要家サイドにおけるエネルギー供給利用の最適化分析と普及分析に取り組んできた。現在は、各種分散型電源技術・電気利用技術間競争を考慮した最適化分析に取り組んでいる。



岩堀 徹（昭和46年入所）
原子力、火力の腐食を研究後、昭和59年よりロ・ドコンディショナ - など需要家設置の分散型電池電力貯蔵装置の研究開発に取り組み、リチウム二次電池などの開発・性能評価などに従事している。

5 - 1 オンサイトエネルギーシステムと分散型電源

5-1-1 オンサイトエネルギーシステムと分散型電源

オンサイトエネルギーシステムの構築のために、マイクロガスタービンや燃料電池などを分散型電源として利用することが注目されている。本節では、分散型電源の側面から見たオンサイトエネルギーシステムの動向と位置づけなどについて概観する。

分散型電源という用語は、慣用的に使用されているものの、定義はきわめて曖昧であり、容量が数kWの太陽光発電から容量が10万kWを超える火力発電所などまで幅広い設備を指す言葉として使用されているのが実態である。分散型電源に当たる英語はdistributed generationないしはdispersed generationであるが、これについても「需要家の近くに分散して配置される多数の小規模な発電機などからなる」程度の意味とされている^{(1)†}。

一方、分散型電源は、コージェネレーションに代表される燃料投入型、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー型、廃棄物発電などの未利用エネルギー型、蓄電池などの電力貯蔵型に分けることもできる。連系技術の観点から見ればこれらには共通する点も多いが、オンサイトエネルギーシステムの面から見た特性は非常に異なっている。すなわち多くの場合、オンサイトエネルギーシステムの対象とされるのは燃料投入型の設備であり、信頼度向上等を主目的とする場合には電力貯蔵型の装置も対象となる。自然エネルギーについても、たとえば太陽光発電とディーゼル発電など他の発電方式と組み合わせることを考える場合には、オンサイトエネルギーシステムの一つと見なされることはあるが、一般にはこのような場合は少数であろう。

† 特に区別する場合にはdistributed generationは電気事業用としての利用を含むどちらかといえば大型の設備、dispersed generationは需要家でのオンサイト利用を含むどちらかといえば小型の設備を指すとされている¹。

5-1-2 分散型電源の導入見通し

太陽光発電、風力発電、燃料電池発電、民生用コージェネレーションなどの分散型電源について、既設の設備容量、潜在導入量、様々な見通しにおける導入量の想定を表5-1-1に示す。

同表によれば、分散型電源の実際的な潜在導入量としては民生用コージェネレーション（天然ガス利用）が2,600～5,200万kW、廃棄物発電が500～730万kW、太陽光発電が4,200～8,400万kW、風力発電が250～500万kW程度とされている⁽²⁾。一方、既設の電源容量は民生用コージェネレーション（天然ガス利用）が83万kW（1998年）、廃棄物発電が95万kW（1997年）、太陽光発電が9万kW（1997年）、風力発電が3万kW（1998年）程度である⁽³⁾。既設容量と潜在量との格差は、民生用コージェネレーションで2.5～5千万kW、太陽光発電で4～8千万kWと大きいため、民生需要家への設置が予想されるこれらの動向が今後の分散型電源の導入量を大きく左右すると考えられる。

5-1-3 分散型電源を用いたオンサイトエネルギーシステムの位置づけ

分散型電源を用いたオンサイトエネルギーシステムが有効か否か、どのような場合に有効かについては、様々な意見がある。これは一つには大型計算機がパソコンに駆逐されたのと同様の変化が電力システムでも起こるなどの議論、さらにはsmall is beautifulに代表される情緒的な議論と現実的なデータに基礎をおく技術論が混在しているためである。また、これは精緻な分析を試みようとする現実的かつ緻密な条件設定が必要となるためでもある。

小規模電源の活用を図るべきという考え方を迎れば、古くはクリスチャンセンによる米国における電源のスケールメリットへの疑問の提示⁽⁴⁾、エイモリー・ロビン

表5-1-1 分散型電源導入量の想定例

	対象年度	太陽光発電	風力発電	民生用天然ガスコジェネ	廃棄物発電	発表年度
主要な連系電圧		低圧	高圧、特高	高圧	特高	
既設設備容量 ¹⁾		9.13万kW (1998.3)	3.16万kW (1998.12)	82.68万kW (1998.9)	95.4万kW (1998.3)	
潜在導入量(物理的境界) ²⁾		17,300万kW	3,500万kW	10,326万kW	1,464万kW	2000
潜在導入量(実際的境界) ³⁾		4,200～8,400万kW	250～500万kW	2,581～5,163万kW	500～732万kW	
潜在量想定の方		住宅用、公共施設用などに分けて積算。住宅用は日当たりの良い一戸建て住宅戸数などをもとに算定。	農地利用、自然公園などを考慮し、風況が優れた利用可能な土地面積をもとに算定。	天然ガスによる供給比率を想定。家庭用ではガス給湯器と同等の普及度合いとして、業務用では事務所等の需要量をもとに算定。	焼却可能な一般・産業廃棄物の量と発電効率をもとに算定。	
総合エネ調(基準ケース) ⁴⁾	2010	23万kW	4万kW	813万kW ⁵⁾	213万kW	1998
総合エネ調(対策ケース) ⁴⁾	2010	500万kW	30万kW	1,002万kW ⁵⁾	500万kW	
新エネ導入大綱	2000	40万kW	2万kW	1,452万kW ⁶⁾	200万kW	1994
新エネ導入大綱	2010	460万kW	15万kW	1,912万kW ⁶⁾	400万kW	
基本政策小委(新エネ強化ケース) ¹⁾	2030	17,000万kW	750万kW	—	—	1996

(注) 1. 新エネルギーデータ集(平成11年度版)
 2. 総合エネルギー調査会新エネルギー部会資料(2000年1月)
 3. 物理的境界潜在量の内訳: 家庭用1,408万kW、業務用: 8,918万kW(産業用4,955万kW)
 4. 総合エネルギー調査会需要部会中間報告(1998年6月)
 5. 蒸気タービンを除く全てのコジェネレーション。燃料電池コジェネも含む。
 6. 産業用を含む。
 7. 総合エネルギー調査会基本政策小委員会中間報告(平成9年)。現実性に不十分な点のある想定との注釈有り。石油換算k値を注3の総合エネ調報告の比率をもとにkW換算。

スの提唱した「ソフト・エネルギー・パス」⁵⁾などに端を発すると考えられる。

しかし最近の分散型電源に関わる動きは、マイクロガスタービン発電や固体高分子型燃料電池などの革新技术が現れてきていること、その他の技術についての技術開発が進んできたことに起因していると考えられる。このような状況にあって、米国を中心にオンサイトエネルギーシステムを含む分散型電源の導入ビジョンについての盛んな議論が始められている。たとえば米国のコンサルタントであるヨハン・パイフェンバーは、分散型電源の導入は次の四段階からなるだろうと予想している⁶⁾。すなわち分散型電源の導入には、

- ① 熱利用が可能な需要家(コジェネレーション)への導入
 - ② 負荷率が(当該用途の一般的な需要家より)高い需要家への導入
 - ③ 供給コストの高む需要家への導入(発送配電部門の分離なども契機となる)
 - ④ 電力輸送設備への設備投資節減のための導入
- の四段階があり、番号が若い用途ほど早期の導入が見込まれる形態、番号が大きい用途ほど市場規模の大きい導入形態としている。これらのうち①、②は需要家

サイドのニーズによる導入形態であるが、③、④と進むにつれ電力システムサイドからのニーズとも合致してくると考えている点に特徴がある。ただしオンサイトエネルギーシステムと考えうるのは、①から③までの用途である。

また最近、米国では、規制緩和の進行ともあいまって、このような分散型電源の考え方を押し進めた分散型電気事業(distributed utility)のような考え方も提唱されている⁷⁾。これは当面の問題への対応としても、電力システムサイドからも分散型電源を積極的に利用することにより、電気事業全体の設備投資や運用にメリットを見いだせる有望な選択肢となる可能性があることを指摘している点では上記と同様であるが、さらに今後、規制緩和の進展に伴い需要家のエネルギー選択の自由が広がった場合、分散型電源が需要家により選択される可能性があり、いわば「分散型電気事業」と呼ぶような供給形態が出現することを予測している。

5-1-4 む す び

技術的に見る限り電力設備には規模の経済が存在する。しかし小型ガスタービン、燃料電池、太陽光発電

のように比較的、規模の経済の効果が小さく、技術の進歩が著しい技術が現れてきていること、上記ではあまり触れなかったが分散型電源・貯蔵を設置する誘因として信頼度向上などありうることを考えると、分散型電源を用いたオンサイトエネルギーシステムも将来

の1つの選択肢となる可能性がある。このような状況にあつて、オンサイトエネルギーシステムの将来展望について、様々な側面から広範な検討を実施することが必要となろう。

5 - 2 マイクロガスタービン、固体高分子形燃料電池システムの展望

分散型電源の多くは、得られる電力だけでなく熱エネルギーを有効に利用することが省エネルギーの観点から重要であり、このような利用が実現しやすい需要地（都市部地域）に偏在して設置されるものと予想する。

ここでは、需要地内に分散的、かつ数多く導入される可能性のあると考えられているマイクロタービンと固体高分子型燃料電池を取り上げた。

(a) マイクロガスタービン

マイクロガスタービンは、小容量のガスタービンと発電機を組合せたもの（以下、MGTと略記）であり、現在までに実用化されているのは、電気出力で概ね30kW級～300kW級である。さらに排熱回収装置を組み合わせたコージェネレーションシステムもある。

タービン本体の軸構成には、一つのタービンで空気圧縮機と発電機を駆動する一軸式と、空気圧縮機と発電機を別々のタービンで駆動する二軸式とがある。タービンと発電機は、軸直結のものと、減速器を介して結合されるものがある。

発電機を駆動するタービンの定格軸回転数は、概ね4～12万rpmと機種により異なるが、ほとんどのものが、10万rpm前後の高速である。電気出力75kW以下の米国製機種の中には、従来の潤滑油軸受に必要な油循環や冷却用の補機システムの省略によるシステムの簡略化、コンパクト化を目的に、空気軸受を使った機種もある。空気軸受けは、軍事用に開発され民間に開放

された技術であり、民生用としては新規技術であるため、MGT全体の信頼性ととも、空気軸受の信頼性等の確認が必要と考えられる。

なお、タービン軸に発電機を直結させるタイプの電気出力は、空気軸受けが支え得るタービン発電機重量の制約から、100～150kWが上限と考えられている。開発・実用化動向、運用特性、利用形態の調査・分析の結果を述べる⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

(1) MGTの開発・実用化動向

米国では、開発が進められてきた一部の機種が商品として市場に投入され、メーカーとユーザによる試験運用を通しての性能や長期信頼性の確認・検証の段階に入ったと見なされる。

一方、国内では、電力会社およびガス会社が、技術的、経済的な成立性を評価するために、商用機あるいはプレ商用機を用いた運転試験を進めている。

また、関連機器メーカーなどは、海外から導入した発電専用機をベースに、コージェネレーションシステムなどの開発を進めている。特に50kW前後の小容量機については、様々な形態のシステムの開発を計画している。

(2) MGTの運用特性

Capstoneの28kWを例として、これまでに報告されている結果をまとめると以下の通りである。

・起動ボタンを押してから指令の後、定格出力に達する迄の時間は約4分と短い。

- ・ 0 ~ 28kW まで約 40 秒間と、極めて高速で上昇する。
- ・ 発電効率は設計値 26 % に対してやや低い。
- ・ 高調波は基準値と同程度である。
- ・ NO_x は約 60 % 以上の出力において設計値 (9ppm 以下) より極めて少ない。

今後、環境制約が強まるため、MGT についても NO_x の排出を極力抑制した運転、すなわち、NO_x 排出が相対的に高くなる低出力領域の運転を避けることが望ましいと考える。

MGT の仕様概要を、他の化石燃料を使用する分散型電源と比較して表 5-2-1 に示す。

単純サイクル型 MGT は、発電効率は低いが、構成がシンプルであり、タービンからの排ガス温度が高いため、排熱利用が容易であるなどの特徴がある。

一方の再生サイクル型 MGT は、タービンからの排ガスを用いてタービンへの給気温度を高めるための熱交換器 (再生器) を備えている。これにより、発電効率が向上するが、再生器の排ガス温度は必然的に低くなるため、排熱の効率的な利用には技術開発が必要である。

(3) MGT の利用形態

MGT の燃料費は海外と比較して高いこと、また、発電効率は再生サイクル式でも約 25 % であることから、従来型発電システムに比べて省エネ性がかなり低く、わが国において MGT を発電専用として利用することは一般的ではない。なお、セラミック技術の適用により発電効率を高める研究開発を支援しているが、その目標は 40 % であり、従来型発電システムと比較して飛躍

的に高い効率ではない。

このため MGT は、省エネ性の観点から、以下のように排熱を有効に活用するコージェネレーションシステムを指向する必要がある。

- ・ 単純サイクル MGT からのホットな排ガス (約 600) を活用する。
- ・ 単純サイクルと比較して発電効率は高いが排ガス温度の低い再生サイクル MGT でも、例えば、効率の高い排熱回収装置の開発、排熱回収ボイラへの助燃バーナの付加、などにより排熱回収効率を向上させ、総合熱効率の向上を図る。

(b) 固体高分子形燃料電池

一部実用化が始まっているリン酸形燃料電池 (PAFC) をはじめとする燃料電池は、今後導入が進む分散型電源の一つと考えられている。

各種の燃料電池の特徴は表 5-2-2 に示すと通りであり、需要地における分散型電源の観点からは、中容量電源としての溶融炭酸塩形燃料電池 (MCFC)、住宅用コージェネレーションシステムとしての固体高分子形燃料電池 (PEFC)、さらに将来的には MGT と組み合わせたハイブリッドコージェネへの適用も含め固体酸化物形燃料電池 (SOFC) にも注目する必要があると考えられる。

以下では、PEFC の開発・実用化動向、運用特性、利用形態の調査・分析の結果を述べる⁽⁹⁾。

表 5-2-1 マイクロガスタービンなどの小容量分散型電源の仕様概要

(燃料投入型、発電出力：概ね 30 ~ 300kW)

	マイクロガスタービン		ガスエンジン	ディーゼルエンジン
	単純サイクル	再生サイクル		
発電効率 (%)	約 15	約 25	約 30	約 35
排熱回収効率 (%)	約 40 ~ 60	約 55	約 50	約 35
総合効率 (%)	約 55 ~ 75	約 80	約 80	約 70
排ガス温度 ()	約 600	約 260	約 500 ~ 600	約 400
主な排熱回収形態	蒸気	温水	温水 + 蒸気	温水
起動時間	約 4 分		約 30 秒	左記と同等
系統連系形態	インバータ または発電機		発電機	発電機
燃料	都市ガス、LPG、灯油など		都市ガス、LPG	重油
NO _x (ppm)	約 10 ~ 30		約 40	約 700

表5-2-2 各種燃料電池の特徴、分散型電源としての位置付け

燃料電池	主な発電容量	発電効率	技術開発状況 (技術課題)	分散型電源としての 主な位置付け
PAFC	100kW ~ 1MW	36% (常圧) 42% (加圧)	実用化には目処 低コスト化 信頼性向上	小型・中型分散型電源 ただし、他方式の燃料電池の優位性が高い。
MCFC	1 ~ 1000MW	45 ~ 65%	実証試験段階 高性能化、長寿命化、 低コスト化	中型・大型分散型電源、 集中型火力
SOFC	数kW ~ 数十kW	45 ~ 65%	基礎研究 ~ モジュール開発	住宅用コージェネ等、 マイクロGTとの組み 合わせも
PEFC	1kW ~ 300kW級	30 ~ 40% (改質ガス使用)	開発が急速に進展 低コスト化 信頼性向上	住宅・業務用コージェネ

(1) PEFCの運用特性

住宅用に限られたことではないが、PEFCシステムに共通な運転上の問題となりうる事項の一つとして、起動特性がある。

PEFC本体は、常温での起動が可能であり、出力変更の応答性が速い。しかし燃料改質器については、例えば水蒸気改質方式によるメタノール改質器の起動時間は20分以上と長く、適用対象によっては制約となる。加温して温態停止状態を維持するには、そのためのエネルギーが別途必要となる。このため、数分オーダーの短縮を目指し、部分酸化改質方式(POX)の開発が行われている。

また、PEFC本体の寿命には、改質後の水素燃料に残存する微量のCOが大きく影響するため、改質特性向上など長寿命化のための技術開発も行われている。

(2) PEFCの利用形態

PEFCも、従来型発電システムに比べて現状では発電効率が低く、排熱回収技術を組み合わせ、コージェネレーションシステムとして利用するのがわが国では一般的と考える。

① 個別住宅への適用

戸別住宅用については、米国では発電出力が3 ~ 7 kWのシステムが開発されている。日本では一般に住宅における最大電力は概ね1 ~ 2 kW程度であることを考慮して、高い設備利用率を確保するため、米国より発電出力の小さい1kW級PEFCを用いたコージェネレーションシステムが開発されている。

その基本構成は、PEFCのほか、燃料改質装置、インバータ、排熱回収装置、貯湯槽、補機としての商用系

統との連系保護装置、給湯用ポンプ等となる。

住宅用PEFCコージェネレーションシステムには貯湯槽は不可欠と考える。例えば、発電出力1 kWのPEFCの熱出力を1 kWと仮定すると、15 の水道水から50 の温水を得る場合の湯量は0.4リットル/分程度であり浴槽の給湯栓からの通常の湯量10リットル/分と比較して極めて少なく、浴槽のための必要量に厨房等での利用分も含めて大容量の貯湯槽に予め貯湯しておく必要がある。

ちなみに、水温15 の場合、湯温40 、湯量16リットル/分の給湯が可能な16号ガス給湯器の熱出力は約28kWである。また、貯湯容量460リットルの電気温水器の沸上げヒータの容量は5.4kWである。

貯湯槽の容量を小さくし、小容量のガス給湯器等の追い焚き装置を付加する方法も考えられるが、システムが複雑になるばかりではなくスペースがさらに増えることとなる。現状のガス給湯器や電気温水器と省エネ性、経済性、スペース性等の観点から総合的に検討する必要がある。

② 業務用等への適用

業務用としては、250kW級のPEFCであれば、湯量も50 で100リットル/分程度となるため、多量の給湯を要する業務への適用が考えられる。また、低温吸収冷凍機と組み合わせたコージェネレーションシステムの開発も行われており、事務所ビル等の空調システムへの適用も予想される。

(c) 今後の展望と課題

需要地に次第に導入されると考えられる分散型電源

については、ここで述べたMGTとPEFCだけでも、発電専用、コージェネレーション利用として種々のシステムの開発が進められている。

分散型電源の大半は個々の需要家により導入されると予想されることから、電源の設置・運用管理を集中的、統一的に実施してきた従来と異なり、例えば省エネルギーが後退するなどの好ましくない状況が懸念される。

一方で、近年進歩の著しいIT技術を用いて需要家とエネルギー供給者（またはプロバイダ）を結んで分散型電源群を集約化し、双方に便益のある省エネ性や経済性も高いバーチャルな集中型電源を構成し、運用することが考えられる。また、集中型電源と分散型電源（上述の集約化された分散型電源群を含む）の協調運用も重要である。

5-3 システムの省エネ・経済性評価

5-3-1 分析評価の概要

ここでは、一例としてMGTを取り上げ、事務所ビルの空調システムに適用することを想定し、その省エネ性と経済性の概略評価を行う。

先に述べたようにMGTには単純サイクル型と再生サイクル型とがあり、再生サイクル型は発電効率は比較的高いが排熱温度が低くなるため主に温水回収となるという制約がある。次項の評価例では、以下の2つのシステム構成例を対象に評価を行なっている。

- (1) MGTに再生器バイパス機能をもたせ、可能な限り高温の排ガスを得られるような運用を行い、排熱は蒸気として回収し、効率的に空調に利用する。
- (2) 再生サイクル型MGTの排熱は温水で回収し、温水直接利用および温水吸収式冷凍機の利用により空調を行なう。吸収式冷凍機は、性能的に、コスト的に既存の大容量機並みのものが開発されているとする。

5-3-2 評価例

(1) 蒸気熱回収による空調用熱電供給システムの評価

一般に、これまでに実用化されているガスタービンは、発電効率は低いが、排熱が全て排ガスから得られ、かつその温度も高い。しかし、MGTは、再生サイクルの採用により発電効率を向上させているため、排ガス温度が低く効率的な冷熱供給は困難と考えられる。そこ

で、再生器バイパス機能により、高温排ガスが得られるMGTによる熱電可変型のシステムを検討対象とした。

図5-3-1に再生器バイパス付MGTの概要を示す。

MGT熱電供給システムの適用対象は、事務所ビルとした。これまで事務所ビルでは、その熱負荷が冷熱を主体とすることなどのため、熱電供給システムはほとんど導入されていない。しかしながら、MGTのような新技術の出現により、事務所ビルに熱電供給システムが普及する可能性がある。また、現行の空調方式は事務所ビルの規模によって大きく異なり、小規模ビルではビルマルチエアコン等による冷媒直接搬送方式、大規模ビルではガス吸収式等による冷温水搬送方式が主流である。このため、大規模ビルの代表として延床面積1万m²、小規模ビルの代表として3千m²を評価の対象とした。

評価においては、はじめに供給対象建物の月代表日

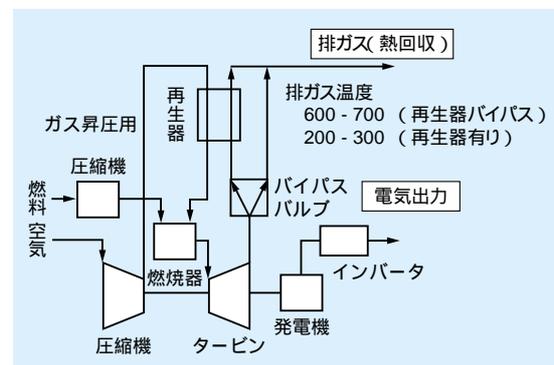


図5-3-1 再生器バイパス機能付MGTの概要

およびピーク日の電力負荷および熱負荷を計算し、次にピーク日等の負荷を基に、MGT 熱電供給システムおよび従来システムの試設計を行い、システムの設備コストを算定した。なお、MGT の設備コストは、メーカー情報等から、10万円/kW と設定した。

つぎに、試設計したシステムの各月代表日におけるエネルギーバランスを計算し、ガス・系統電力の使用量を求め、各月の運転日数を与えて年間の値を算出し、システムの省エネ性や経済性を評価した。なお、MGT による熱電供給システムは、複数台の MGT からなり、まず、熱負荷を賅えるように、再生器バイパスを行う MGT の運転台数を決め、これにより、高温の排ガスを得て蒸気を生成、吸収式冷凍機により冷房を行う（暖房の場合は蒸気と温水を熱交換する）。不足する電力は、ベースを系統電力で賅い、残りを再生器有の発電専用 MGT により賅う。図 5-3-2 に 1 万 m² 事務所ビル用の熱電可変 MGT 熱電供給システムの概要を示す。MGT の発電容量は、対象建物のピーク負荷をほぼ賅える容量とした。

延床面積 1 万 m² の事務所ビルの場合⁽¹⁰⁾

経済性の指標である単純償却年数（設備コストの差を年間のランニングコスト差で割った値。この値が 5 年程度以内であれば経済性が成立するとされている）は、3.6 年となった。一方、一次エネルギー消費は、1.2 倍と大きい（図 5-3-3）。

試算対象の MGT 熱電供給システムでは、年間を通して一定量以上のガスが消費されるため安価なガス料金制度を利用でき、経済性が高くなっている。一方、

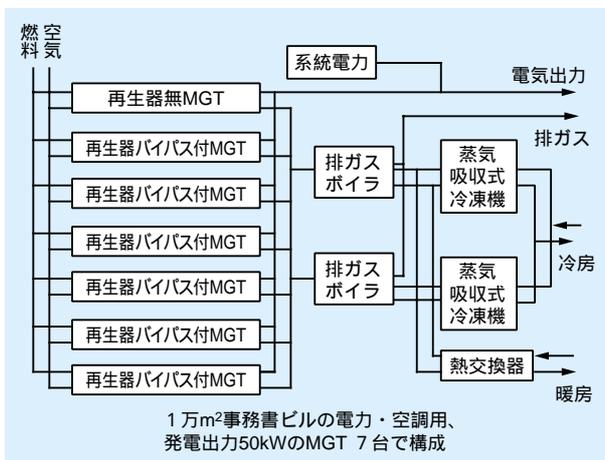


図 5-3-2 熱電可変型 MGT 熱電供給システム

MGT の発電効率は 15 %（再生無）～ 30 %（再生有）LHV と低く、系統電力の需要端での効率 35 % HHV にはるか及ばないため、システムの省エネ性は低い。単純償却年数の限界を 5 年程度とすると、今回の条件である MGT 設備コスト 10 万円/kW、ガス平均単価 41.7 円/Nm³ が成立すれば、競合の可能性は十分にあると判断された。ただし、系統連系用リレー盤や機械室等が必要と判断された場合や、安価なガス料金（空調 A 契約）が利用できない場合には、経済性が悪化し、競合が困難となる。

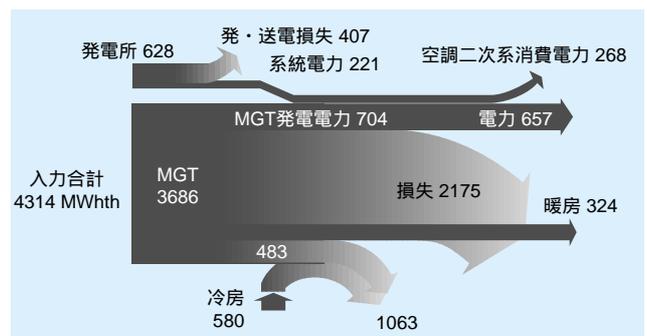
延床面積 3 千 m² の事務所ビルの場合

経済性が成立する可能性は極めて低いという結果となった。これは、MGT 熱電供給システムのうち、熱供給を行う部分の設備コストが非常に高くなっているのに対し、従来システム（ビルマルチエアコン等）が安価なためである。なお、省エネ性は 1 万 m² の場合と同様に低い。

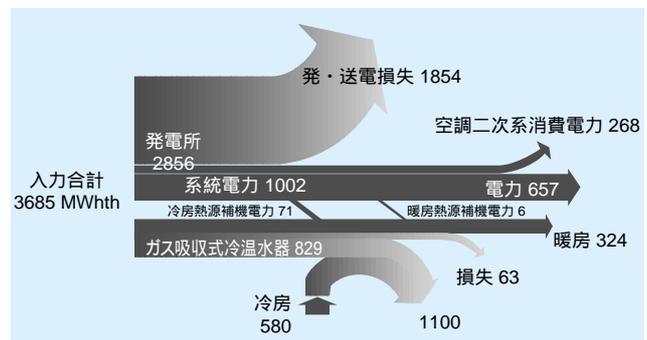
(2) 温水吸収式冷凍機と温水利用による空調⁽¹¹⁾

・評価手法の概要

MGT の経済性を評価するに際して、以下の 2 点を念



a) MGT 熱電供給システムの年間エネルギーフロー



b) ガス吸収式 + 系統電力システムの年間エネルギーフロー

図 5-3-3 各システムの年間エネルギーフロー（1 万 m² 事務所ビル用）

頭に置きつつ評価を行う。

- ① 需要家におけるエネルギー利用を「受電、ガス受入」から「需要(電力、冷房、暖房、給湯)」に至るプロセスとして捉え、
- ② MGTをはじめとする各種機器類の規模と運用を最適に設計することで、需要家の年間総経費を最小とする。

1点目の需要家におけるエネルギー利用をプロセスとして捉えた場合のエネルギーフローは図5-3-4の様に表すことができる。ここで、2種類のシステム構成を提示したのは、既に空調機が設置されている既設建物と空調機器構成を自由に設計できる新設建物とでは、MGTの利用方法や空調機器構成には差が生じると考える事が出来る。

既設建物では、ヒートポンプやビルマルチといった機器を中心に既に空調システムが構築されており⁽¹²⁾、この構成を大きく変更することは難しい。したがって、

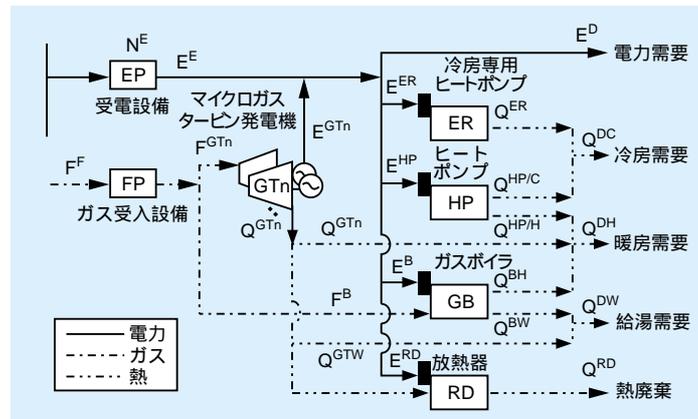
空調システムの変更を伴わずにMGTを設置しようとすると、MGT排熱の利用方法は限定されたものとなるか、発電専用のシステムとして利用するしかなくなる。

2点目の最適設計による需要家の年間総経費最小化については、需要家の年経費構成を以下の様に目的関数として定義し、0-1混合整数計画手法[†]による分析を行う。

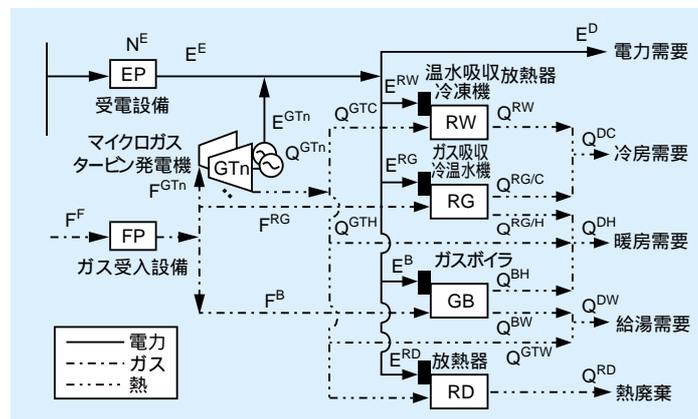
$$[\text{エネルギーコスト支出(電気料金、ガス料金)}] + [\text{各種構成機器 (MGT、空調機器等) の年経費}]$$

より正確な評価を行うためには、MGTなどの保守費用を考慮する必要があるが、保守費については情報が

[†] 設計変数がすべて連続変数である場合の線形計画問題にたいして、設計変数の一部に不連続な整数変数が含まれるものを混合整数計画問題と呼び、不連続な整数変数の一部に0または1しかとらない、特殊な変数(0-1変数)を含むときに0-1混合整数計画問題と呼ぶ。



a) 既設建物向システム構成



b) 新設建物向システム構成

図5-3-4 MGTを利用した需要家におけるエネルギーシステムフロー

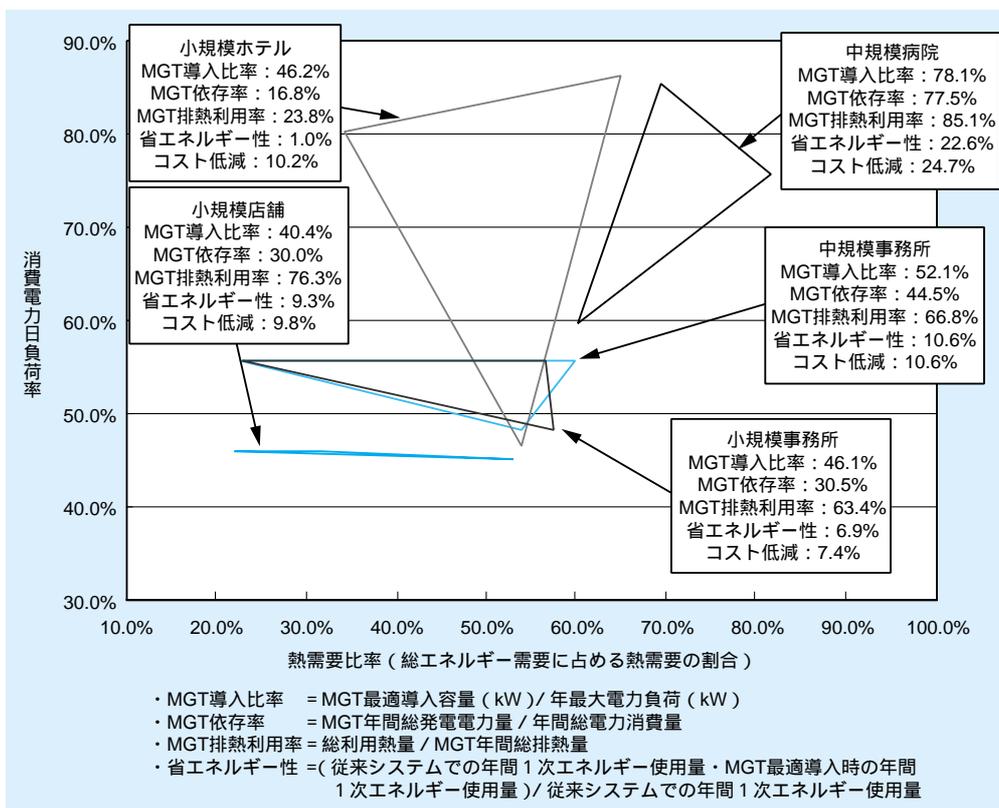


図5-3-5 新設モデル需要家における需要特性とMGT導入の関係

少なくここでは考慮していない。また、MGTの部分負荷特性が不明確であること、現状の市販MGTがコンピューターインターフェースを用いての台数制御が行えることを踏まえて、MGTの部分負荷運転は行わず、台数制御を行うこととして、分析を行った。したがって、以下に述べる分析結果はMGTにとってかなり有利な条件の下での評価例となる。

・分析評価の結果

上述した、最適化手法を用いて単機容量28kWのMGTの最適導入容量およびコスト低減・省エネ性を分析した。対象とした建物は小規模(延床面積: 3000m²程度)及び中規模(延床面積: 7000m²程度)のモデル需要家とし、MGT価格は将来目標価格の10万円/kW、温水吸収式冷凍器等の価格は大容量機の価格^{(13),(14)}と同程度であると想定した。

分析評価の結果、得られた知見は以下の通りである。

- (1) MGT最適導入容量は、需要特性により異なり、最大電力負荷の40%~80%程度の容量となる。季節間での負荷特性の差が少なく(図5-3-5中の頂点が夏期・冬期・中間期各々の代表日の値を表す三角形が

小さい)、日負荷率と熱需要比率の高い(右上に寄っている)新設需要家(病院)ではMGT導入比率は78%と大きくなる。熱需要の比率が高くて、季節間での負荷特性の差が大きい(図5-3-5中の三角形が大きい)需要家(ホテル)では最大電力負荷の46%程度が最適導入規模になる。

- (2) 事務所のように、施設規模が大きくなるとMGTの台数制御による電力追従運用が容易になり、MGTの最適導入規模は数ポイント上昇する。
- (3) 熱電併給型MGT導入による年間総経費低減効果は7%~24%と需要家によって大きな差が生じる。省エネルギー性についても4%~21%となった(図5-3-5)。
- (4) 主として既設建物に設置される発電専用MGTの場合には、MGT排熱利用による経費低減効果が期待できないため、MGT最適導入容量は小さくなる。導入比率・依存率共に排熱利用タイプの30%~50%程度となる(表5-3-1)。また、排熱利用タイプの場合と異なり、日負荷率・熱需要比率の低い需要家での導入可能性が高くなる。

表5-3-1 MGTタイプによる導入規模への影響

	小規模店舗		小規模ホテル	
	発電専用タイプ	熱電併給タイプ	発電専用タイプ	熱電併給タイプ
MGT年間稼働率	16.5%	35.1%	3.4%	15.1%
MGT依存率	21.4%	69.8%	2.1%	19.1%
MGT導入比率	35.3%	65.7%	18.0%	42.0%
MGT排熱利用率	-	6.8%	-	5.8%

5-3-3 分析評価のまとめ

以上に示した事務所ビルを対象とした評価例では、経済性については規模が大きいほどメリットのある結果となった。しかし、MGTの系統連系装置に要する費用、運転・保守に要する費用を除外した評価であるため、これらの費用の要否、程度によっては経済性が左右されることとなることに注意を要する。

一方、省エネ性については、吸収式冷凍機など排熱を回収・利用するための機器の性能によって左右される結果となった。

また、ここに示した評価例は、一事例を対象とした概略的な評価の結果であり、実際に導入を検討する場合には、実機の効率や長期信頼性評価を十分に行うとともに、各種条件（利用用途、建物条件、適用エネルギー料金他）等を個別に考慮する必要がある。

コラム リチウム二次電池による分散型電池電力貯蔵

1970年代に入ると社会のあらゆる分野で電化が進み始め、昼夜間、季節間の電力需要の差が見られるようになり、負荷平準化のために夜間電力貯蔵の必要性が認識されるようになった。1970年後半から1980年代に米国のBEST計画や日本のムーンライト計画で、負荷平準化を目的にナトリウム-硫黄、亜鉛-塩素、亜鉛-臭素、レドックス・フロ-電池などの「新型電池」による電力貯蔵装置の開発が開始された。それらは大規模(1000kW級)で、電気事業用の配電用変電所への設置を目的としたものであった。それらの開発と東京電力(株)などの開発成果により近年ナトリウム-硫黄電池等による電力貯蔵装置が配電用変電所などに設置されるようになった。

一方、電気事業側設置ではなく家庭など需要家側設置の小規模分散型電池電力貯蔵装置の概念「ロードコンディショナー(LC)」を当研究所は1984年に提案し、その開発を進めてきた。分散型電池電力貯蔵は「需要家は安価な夜間電力を昼間に利用でき、電気事業は夜間電力需要創出と昼間のピーク抑制による負荷平準化」が期待できるコンセプトであるが近年、電力の規制緩和・自由化を背景とした種々の電力品質を有する電源の導入可能性、情報化に伴う無停電へのニーズ等から「電力品質確保」、さらには「自然エネルギー発電出力の平滑化」、夜間電力貯蔵や電気自動車への利

用によるCO₂排出抑制などの「環境改善」も期待されるようになっている。

分散型電力貯蔵用候補電池として、当研究所はリチウム二次電池に着目し、その性能評価と大容量化・長寿命化に取り組んできた。リチウム二次電池は原理的に常温作動で高い変換効率、軽量・コンパクトが望めるものであるが、1984年当時ボタン型電池が開発途上であり、そのエネルギー貯蔵用への大容量化は夢の話であった。当研究所はLC用の1/5スケールの25Whセルの試作に成功し(90年)、鉛電池の3倍のエネルギー密度を達成したことなどより負荷平準化用リチウム二次電池の開発が国のニューサンシャイン計画で「分散型電池電力貯蔵技術開発」として採り上げられ、NEDO/LIBES研究組合の受託研究で本格的な開発が1992年より10年計画として開始された。当研究所は受託研究ではトータルシステム研究を分担し、赤城試験センターにおいては性能評価試験を実施中である。プロジェクト後半の平成10年度に「性能評価」が実施され、表は当研究所が明らかにしたモジュールの到達性能である。開発目標は研究開発基本計画で定められたものであり、例えば定置型(家庭用LC)では20kWh級のLCシステムを想定し、基本構成単位電池とし、2kWh級モジュール、システム重量・体積とし各々が400ℓ温水器の半分程度に収まる様な電池の重量・体積エネル

表 リチウム電池モジュールの性能評価結果

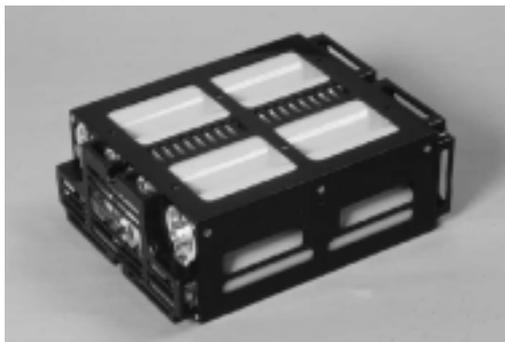
定置型	電池系	ニッケル・コバルト系		マンガン系	
	開発目標	試験結果	達成度	試験結果	達成度
電池電力容量(kWh)	2	2.14	達成	2.04	達成
重量エネルギー密度(Wh/kg)	120	116	97%	100	84%
体積エネルギー密度(Wh/l)	240	174	73%	213	89%
エネルギー変換効率(%)	90	96.7	達成	97.1	達成
サイクル寿命(サイクル)	3500	700(継続中)*		700(継続中)	
移動体用	電池系	ニッケル・コバルト系		マンガン系	
	開発目標	試験結果	達成度	試験結果	達成度
電池電力容量(kWh)	3	3.55	達成	3.17	達成
重量エネルギー密度(Wh/kg)	150	142	95%	107	72%
体積エネルギー密度(Wh/l)	300	229	76%	198	66%
出力密度(W/kg)	400	592	達成	416	達成
エネルギー変換効率(%)	85	96.3	達成	96.6	達成
サイクル寿命(サイクル)	1000	600(継続中)		400(継続中)	

* : 1セル取換

ギー密度、10年間毎日運用の3500サイクル、システム効率として、揚水を上回るための電池効率などとして電池性能目標が決められた。移動体用（電気自動車用）では、ガソリン乗用車なみの一充電走行距離（400km）、生涯走行距離（10～20万km）、加速性能を達成可能な電池性能を想定した。定置型と移動体用で、各々正極材料としてニッケル・コバルト系とマンガン系を用いるリチウム電池（4電池系）を開発した結果、家庭用LC（20kWh）や電気自動車（45kWh）の基本モジュール電池（2～3kWh）が製作でき、まずまずの軽量・コンパクト化が達成されており、電気自動車（EV）用の加速性能を支配する出力密度も高いことが示されている。さらに、電池の変換効率が鉛やニッケル・水素電池の75～85%に比べ96%以上と極めて高いことが特筆される。図は開発した4種類のリチウム電池モジュール写真を示す。最終評価の13年度にむけて、さらに改良が図られており確実に開発目標に近づいている。さらに、11年度には基本計画に、20kWh級LCや45kWh級EV

より小規模な中容量電池システムによる「早期実用化」が追加され、受託で開発した電池系の中容量電池を搭載したミニLL（ロードレベリング）装置や小型EVなどの運転試験研究も12年度後半から赤城試験センターで開始準備中である。夜間電力貯蔵によりCO₂排出抑制効果を得るためには、現行の昼・夜間発電のCO₂排出原単位を考慮すると、貯蔵装置全体の効率として、75～80%以上が望ましいとされていることから、電池として96%以上の高効率のリチウム二次電池による分散型電池電力貯蔵は環境調和型電池電力貯蔵装置の最有力候補として注目されている。

所内研究では、リチウムイオン電池を搭載した超小型EVを用い走行時電池性能評価手法を確立し、走行試験を開始するとともに電池材料に着目した劣化機構の解明、短期間に寿命を推定する方法なども開発中であり、リチウム電池の特徴を活かした分散型電池電力貯蔵の実用化支援研究を推進している。



定置型ニッケル・コバルト系



定置型ニマンガン系



移動体用ニッケル・コバルト系



移動体用マンガン系

図 評価試験を行ったモジュール電池

第 6 章

今後の研究展開と期待される成果

第6章 今後の研究展開と期待される成果 目次

粕江研究所需要家システム部 部長 橋本 栄二

粕江研究所需要家システム部 上席研究員 七原 俊也

6 - 1 需要家サービスに関する研究ビジョン	81
6 - 2 今後の研究展開	83



橋本 栄二（昭和44年入所）
電力品質など配電技術，太陽光発電など分散型電源系統連系技術，高調波対策技術および電気利用技術などに関する研究に従事している。

七原 俊也（66ページに掲載）

6 - 1 需要家サービスに関する研究ビジョン

(1) 需要家サービス分野における研究開発のロードマップ

将来の動向が見通せない不確実性の時代と言われながら、消費者ニーズは確実に変化している。あらゆる企業は、この消費者ニーズの動向を見極めながら、企業が存続するための将来戦略を懸命に模索しているといえよう。エネルギー分野においては、世界の潮流は、環境と調和したエネルギー利用であり、情報と融和したエネルギー利用である。これに対応したエネルギー戦略を有した企業が、自由化の中で生き残れる企業といえよう。

21世紀中葉までの需要家サービス分野を展望すると、人と環境に優しく、人々の多様な要求に応えうるエネルギーと情報の総合サービスネットワークの構築が望まれる。その構築に向かってチャレンジしていくことが重要であろう。

このような視点から、電力中央研究所では、21世紀中葉に向けた需要家サービス分野の研究開発の目標として、次のようなロードマップを考えた。

- ① (環境・顧客に優しい) 電気・情報の複合サービスシステムの構築 (2010年)
- ② (顧客が主体となる) エネルギー・情報の総合サービスシステムの構築 (2030年)
- ③ (地域が自律可能な) エネルギー・情報の自律サービスシステムの構築 (2050年)

まず、第一段階として2010年までに、現在の需要家サービス・インフラをベースに電気・情報技術を発展させて環境と顧客に優しい電気・情報システムを構築するとともに、利便性の高い電気の利用システムを構築していくことである。次の第二段階は、2030年までに、電気、ガス、熱、水道、情報などのライフラインを環境インパクト・ミニマムおよび変換・輸送エネルギー・ミニマムの条件を満たすような、統合されたエネルギー・情報システムの実現を目指すシナリオが考えられる。その後、2050年までに、先端的な技術を援用して、地方、地域、ビル、家庭のそれぞれの単位で、

可能な限りエネルギー自立ができる分散型自給システムを完成させるシナリオが適切であろう。

これらのインフラを構築していく技術は、揃っているか、揃いつつある。その内①、②を構築していくに当たり、キー技術になるのは、需要地設置電源(分散型電源)、給電ネットワーク技術、情報通信技術等である。このような背景では、現時点でのコンセプト構築は充分行えるばかりでなく、各時点において実現は可能であると考えられる。

(2) 「環境・顧客に優しい電気・情報の複合サービス・システムの構築」の研究目標

現在、需要家サービス分野の新しい展開に利用可能な技術シーズは、マイクロガスタービンなどの需要地設置電源(分散型電源)、パワーエレクトロニクスを活用した給電ネットワーク技術、および情報通信技術であろう。これらを適用した2010年までの第一段階の研究目標として以下の項目があげられる。

- ① 時代にマッチした電気・情報のマルチメニュー・サービス
- ② 高効率の新しい給電方式
- ③ 停電の少ないロバストな給電ネットワーク構成オプション
- ④ 新しい高効率な電気・熱利用技術・方式
- ⑤ 電気・熱サービス事業におけるリサイクルのあり方

当面取り組むべき上記の課題について以下に概観する。

(i) 時代にマッチした電気・情報のマルチメニュー・サービス

需要家における双方向電力フローによる電気料金算定、季時別料金体系における電気の効率的利用法の情報提供、その他需要家に必要な情報の提供などのサービスインフラのあり方を提言し、必要な技術開発を行う。

- ・電力ネットワークと情報ネットワークの連携・協調

電力ネットワークシステムと情報ネットワークシステムの融合により、需要家ニーズに見合った電力と情報を統合してサービスする技術を開発する。

・スマート・メータ（メータリング・ビリング）

双方向計量・季節別時間帯別計量などの機能を持つメータ（インターフェース）を開発し、各種料金制度に対応した遠隔によるメータリング・ビリング手法を確立する。さらに、需要家ニーズに見合った付加価値サービスを提供できるメータ（インターフェース）を考案する。

（ii）高効率の新しい給電方式

需要地設置型電源のグリーン化および高効率化を図るとともに、効率向上のために配電昇圧の可能性を探索するとともに、必要な技術開発を行う。

・分散型電源

クリーン・エネルギーである太陽光発電や風力発電、化石燃料の高効率利用が可能な燃料電池やマイクロガスタービンの分散型電源の積極的な導入を支援するために必要な技術開発をソフト・ハードの両面から行う。あわせて、将来有望な技術オプションについて開発を行う。

・20kV/200,400V 配電への移行

需要密度の増大、配線の輻輳化の解消を目的とした高効率を実現する配電のため、配電昇圧は必須である。現在のシステムからスムーズに移行するため、分散電源を含む400V/200V級配電システムの運用・制御および保護技術を開発する。100Vから200Vへ移行するとき共用の期間があるので、誤用が起らない200Vのコンセントの開発が必要である。それに併行して運用制御および保護技術の開発を行うことが望ましい。

（iii）停電の少ないロバストな給電ネットワーク構成オプション

どのような配電ネットワークが経済的でロバストなのかを明らかにし、可能性のあるいくつかのオプションを提案していく必要がある。

・自然災害に強い配電ネットワーク（雷害、台風、地震、雪害）

事象発生確率にマッチした、より進んだ確率的手法、および災害時に復旧し易い系統構成を実現する手法等を開発するとともに、特定地域の希望に即した供給信頼度を有するネットワークを構築する。

・分散型電源の影響を極小化するネットワーク

電力品質、潮流調整などの面から分散型電源の連系が容易であり、その影響を極小化できるネットワーク（需要地ネットワーク）を構築する。またさらに分散型電源が増大した場合のネットワークとして、電力貯蔵を含むネットワーク構成の基本理念を検討すべきである。

（iv）新しい高効率な電気・熱利用の方式・技術

電気や熱の効率的利用方式を探索・提案しながら、省エネ・高効率エネルギー利用システムを構築し、高効率社会の実現の一助とするとともに、生活者への快適環境を提供する。

・ヒートポンプ・蓄熱・コージェネ

自然冷媒によるヒートポンプ・蓄熱の高効率化・小型化・低コスト化に関する着実な取り組みを行うとともに、これら技術の適用分野の拡大を図る。さらに、これらの技術やコージェネレーション技術（マイクロガスタービンや燃料電池）を組み合わせ、より高効率で利便性の高いシステムを設計・評価する手法を開発する。

・電気自動車

将来の交通機関の省エネルギー化・インテリジェント化に備えて、二次電池や燃料電池で駆動する電気自動車のあり方を検討するとともに、高効率で環境に優しい電気自動車の実証を行っていく必要がある。また人間・環境に優しい交通システムを開発する必要がある。

・快適な熱環境の提供

オフィスビルなどを対象に、勤務者に快適な熱環境を提供するための空間設計を行うツールやそれに必要な各種技術を開発する。

・効率の高い電気利用機器

快適な照明空間を高効率で実現できる照明機器など、様々な電気利用機器のための基礎技術の開発を行う。

（v）電気・熱サービス事業におけるリサイクルのあり方

最も着手しがたい研究対象ではあるが、リサイクルは時代の要請である。この分野を開拓し研究展開を図る必要がある。

たとえば、エネルギー面からのみならず、社会的な要因などの視点にも注視しつつ、多面的なりサイクル手法・フローの総合的な評価を行い、望ましいリサイ

クル社会の構築に必要なオプションを提案していく必要がある。

(3) ビジョンの実現に向けての体制

このような需要家サービス分野のロードマップにしたがって研究開発を展開する場合、当研究所では保有する人的資源を最大限に活用することが優先される。

(1) シーズ&ニーズ

これまで需要家サービス分野においては、エネルギーを効率的に発生し、需要家に届けるとともに、そのエネルギーを上手に利用する情報と手段を提供することにあった。しかしながら、情報通信分野における消費者のニーズは、明らかに他人との差別化、個々の個性にあった自分のツールを保有する方向にある。エネルギー分野に関して、今後は、経済性の追求と同時に、他との差別化等、情報通信分野と同様なニーズが生じるものと考えられる。現実にはグリーン料金制度に参加する需要家や、コスト高にもかかわらず太陽光発電を設置する需要家が増加していることからこのことが伺える。

このようなニーズに応えたサービスを実現する手段として、マイクロガスタービンや固体高分子型燃料電池など小型で高効率期待できる分散型電源技術がある。

これらの分散型電源が大量に導入されても影響を受けないフリーアクセス可能な給電システムの構築がキー技術となり、これを実現するためのシーズとして、高機能化、低コスト化が進んでいるパワーエレクトロニクス技術、および高度な情報通信技術がある。

これらのシーズを組み合わせる技術こそ、今後の需要家サービス部門に期待される研究開発項目であり、前節で述べたビジョンの趣旨である。

(2) 短期研究計画と期待される成果

需要家部門における研究ビジョンを達成するため、

現在、当研究所のこの分野では「電気」の川下の技術研究者を主として内包しているが、それに加えて、エネルギー・情報の総合サービスを提供する未来技術分野に人材を確保していくことが望ましい。しかしこのような広範な分野の全てを網羅することは困難なので、競争と協力の原則による他の研究機関との連携の方策を探索していく必要がある。

6 - 2 今後の研究展開

当研究所では、当面の2001年～2005年までの5ヶ年の研究計画を策定した。ここでは、特に需要家構内と需要地域におけるエネルギーサービスに関わる計画について概要を紹介する。

(i) エネルギー・電力需給のシステム分析

コストダウンや技術革新の動向など不確定要素は残るものの、ビジョンで述べたように、マイクロガスタービン(MGT)や固体高分子形燃料電池(PEFC)などのように小規模店舗や一般住宅にも適用可能な分散型電源が大量に普及する可能性がある。また、助成型の負荷平準化方策でなく、情報技術(IT)と宅内通信インフラを活用した省エネアドバイザリーシステムなど新しい需要家サービスが注目されている。

このような背景をベースに、当研究所がこれまでに培ってきた情報提供によるDSMの効果分析手法などの知見を用いて、エネルギー競争時代における新たな総合エネルギーサービスを提案する。

また、個別需要家のエネルギー最適化のみならず、PEFCなど分散型電源が大規模に普及した時の電源計画やネットワーク投資、国レベルのCO₂排出量に与える影響を評価する。さらに自由化が進展した時の送電設備投資のあり方など電力市場における新たな費用配分ルールについて検討し、電気事業の経営課題である自由化が経営に及ぼす影響を事前に評価する。これらの研究を通じて得られた成果は、電力会社の実務で活用できるようシステム化を図る。

(ii) 住宅・ビルの快適環境設計技術の開発

産業用電力需要が低迷する中で、オフィスビルや家

庭におけるいわゆる民生用の電力需要は、着実な伸びを示している。したがって、我が国全体ならびに電気事業にとって有効な省エネルギーや負荷平準化を実現するためには、民生用に使用されているエネルギーをターゲットにすることが重要な鍵となる。

民生用の電力需要の中でも、電力需要のピークの伸びは、空調に要するエネルギーが大半を占めているといえる。近年、急速に普及しているOA機器の発熱が、空調エネルギーの伸びに拍車をかけている。

また、2000年4月に住宅品質確保促進法が施行され、住宅構造、温熱環境、遮音性等の品質項目について、第三者機関が格付けすることとなった。

このような背景にあって、当研究所は、省エネルギーや負荷平準化を図りつつ、快適な温熱環境を維持することを目的とした、温熱環境評価プログラムを開発してきた。今後は、このプログラムの普及を図るとともに照明環境の評価手法を開発し、作業性に富んだ快適なオフィスビルの実現に向けた研究を推進する。

また、需要家において新たなエネルギーサービスを提供するためには、需要家内の電気機器の使用実態を把握することが不可欠である。このような実態調査を容易に行うため、需要家内に立ち入ること無く、需要家に供給している引込線の電流と電圧を測定することで、屋内の電気機器の使用実態を個別に測定できる非侵入型モニタリングシステムを開発する。

このような研究によって得られる成果は、省エネルギー診断、快適性診断など電気事業におけるESCO事業にも展開できるものと考えている。

(iii) 都市環境調和技術

ヒートアイランド化による都市部の気温上昇が、夏場の地域環境の悪化やビル等建築物の冷房エネルギー消費の増加の一因になっていると指摘されている。従来の排熱に加えて、今後は化石燃料投入タイプの分散型電源の排熱が、さらに都市部の気温上昇を招く恐れがある。ヒートアイランド現象の抑制対策として、排熱の抑制はもとより建物の屋上緑化や白色塗装、街路緑化、建物配置の工夫などがあげられている。

このような対策の有効性や新たな対策手法の開発を

行うため、当研究所では分散型電源や蓄熱システムの排熱を考慮できる建物周辺部の熱環境予測手法の開発を行う。

具体的には、2 km四方程度の地域を対象として、気温、湿度、風速などを計算できる街区熱環境予測数値モデルを開発する。また、建築物と街区間の熱移動や日射の侵入などを考慮した建築物内の熱環境評価手法を開発する。

これらの研究成果により、ヒートアイランド現象の効果的な抑制対策や各種省エネルギー方策の評価が可能となり、街区全体における省エネルギーや負荷平準化の実現に寄与する。

(iv) 住宅・ビルの省エネ革新技術

省エネルギー機器として期待されているヒートポンプ、および負荷平準化やピーク需要抑制技術としての蓄熱システムのより一層の高効率化やコストダウン技術開発は、電気事業の経営課題の一つである。

特に、ヒートポンプについては、フロン系冷媒の生産全廃、排出が規制されることから、環境にやさしい新たな冷媒を使用する技術開発が急がれている。

当研究所では、このような背景から毒性、可燃性がないCO₂を冷媒とするヒートポンプの開発に着手、基礎的な研究成果をベースに家庭用給湯ヒートポンプの開発を進めている。今後は、CO₂冷媒ヒートポンプの高性能化のための伝熱基礎現象の解明等の基礎研究も含めて、空調用ヒートポンプのフロンに代る自然冷媒方式の研究開発を推進する。

蓄熱に関しては、カプセル蓄熱技術をベースに、新しい温熱蓄熱材の物性予測手法の開発を進めてきた。今後は、さらにシステム・機器技術、蓄熱物質の両面から高性能化を目指して研究開発を進めていく。

また、ヒートポンプや蓄熱システムに加えてコジェネレーション熱利用機器を含むいわゆるエネルギー利用機器に関して、普及は進んでいるものの、有効性を評価する手法、技術の確立が熱望されている。このため、当研究所の中立研究機関としての立場を活かして、エネルギー利用機器の性能評価手法を開発する。

お わ り に

理事 首席研究員 田中 祀捷



わが国を含む先進国は、栽培有機資源（リサイクル資源）から採掘鉱物資源（非リサイクル資源）への移行により、エネルギー資源の多消費文明を築いてしまった。そのため、資源枯渇と地球温暖化が危惧されるようになった。今後は、エネルギー寡消費で豊かな社会を建設することを目指すべきであろう。

そのためには、種々の高効率エネルギー転換技術や省エネルギー技術を開発すると同時に、革新的技術を開発して、社会をエネルギー消費のGNP弾性値が低い構造に変革していくことが必要である。そのためには、過去に

保持していた「もったいない」感覚や「物を大切にする」意識を復権するような意識改革を行うことも望ましい。

さて、現代の物質文明を単純化すると、先進国は「プレ脱工業化システム文明」にあり、開発途上国は「工業化システム文明」にある。エネルギー寡消費に向かっていくとすれば、この二つの文明の衝突が起こる恐れがある。この衝突を、政治・経済・技術的に、回避し共存共栄の道を探っていかなければならないが、その中でも情報技術やバイオ・遺伝子技術といった技術革新をもって根源的な解決を与えてくれるように行動していかなければならない。

本レビューのテーマである「需要家と電気事業のエネルギーをトータルでとらえる」ことは、情報技術という新しいツールを用いて、供給者と需要者のコミュニケーションを良くし、エネルギー寡消費で豊かな社会を建設することに通じるものである。エネルギーという「米」を、「資源・エネルギーを大切にする」ことを意識しつつ、リサイクル技術も含む革新技術を用いて、どのように料理するかが問われているといえる。本分野の積極的な取り組みが期待される。

引用文献・資料等

第1章

- (1) T. P.ヒューズ、「電力の歴史」平凡社、1996
- (2) 安達、「エネルギー産業の歴史と現状」エネルギータイムズ社、1992
- (3) 通産省、「電力負荷平準化対策の今後の在り方（中間報告）」電事審負荷平準化小委、1997

第2章

- (1) 服部恒明、大河原透、加藤久和、人見和美、永田豊、星野優子、若林雅代「2025年までの経済社会・エネルギーの長期展望」、電中研研究報告Y990018、2000年5月
- (2) 岩坪哲四郎、橋本克巳「都市のエネルギー需給分析と省エネ都市の省エネ負荷平準化効果の評価」、電力中央研究所研究報告W96018、1997年5月
- (3) 篠原靖志、吉光司「電力有効利用支援システムの開発（その1）」、電中研研究報告R98008、1999年6月
- (4) 通産省：総合エネルギー統計
- (5) 住環境計画研究所：家庭用エネルギーハンドブック、省エネルギーセンター、1999
- (6) エネルギー経済統計要覧、2000
- (7) 平成11年度電力受給の概要
- (8) <http://www.openplanet.co.jp/index.htm>
- (9) 服部恒明、大河原透、加藤久和、人見和美、永田豊、星野優子、若林雅代「2025年までの経済社会・エネルギーの長期展望」、電中研研究報告Y990018、2000年5月
- (10) 空気調和・衛生工学会、58巻、11号
- (11) 今村栄一、浅野浩志「中小規模業務用需要家におけるマイクロガスタービンの最適導入計画」、電中研研究報告Y00003、2000年6月
- (12) 三田寺要治、田中昭雄、中上英俊、上村民男「オフィスビルにおけるOA機器のエネルギー消費実態」、第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、2000年1月

第3章

- (1) 土屋智子、山野紀彦、小杉素子「ライフスタイルの家庭用エネルギー消費に及ぼす影響分析」、電中研研究報告Y98018、1999年
- (2) 浅野浩志「家庭用間接負荷制御実験における情報提供とピーク抑制協力金の効果分析」、電中研研究報告Y97008、1998年4月
- (3) 浅野浩志「間接負荷制御試験における価格効果の持続性の分析」、電中研研究報告Y99004、1999年6月
- (4) 浅野浩志、今中健雄「間接負荷制御試験におけるピーク抑制効果と発電設備繰り延べ効果」、電中研研究報告Y00001、2000年5月
- (5) 吉光司、鈴木正「需要家情報ネットワークの開発（その1）- 需要家対応業務の遠隔処理に関する検討 - 」、電中研研究報告R93010、1994年3月
- (6) 吉光司、竹下和磨、鈴木正「需要家情報ネットワークの

開発（その2）- 需要家対応業務の遠隔処理のための電力コントローラの基本設計 - 」、電中研研究報告R94011、1995年3月

- (7) 吉光司「需要家情報ネットワークの開発（その3）- 需要家対応業務の遠隔処理と新たな需要家サービスのための電力コントローラの開発 - 」、電中研研究報告R95015、1996年6月
- (8) 竹下和磨、鈴木正「需要家情報ネットワークの開発（その4）- マルチメディア通信システムの基本構成 - 」、電中研研究報告R95016、1996年3月
- (9) 下門信太郎、鈴木正、吉川真紀子、柳瀬晋、深津欣也「テレビ受信同軸ケーブルを用いた屋内マルチメディアLANシステムの開発」、電気学会 通信研究会資料No. CMN-98-32、1998年6月
- (10) 吉光司「需要家情報サービスシステムの開発（その1）」、電中研調査報告R96026、1997年6月
- (11) 篠原靖志、吉光司「電力有効利用支援システムの開発（その1）」、電中研研究報告R98008、1999年6月
- (12) 吉光司、篠原靖志、浅利真宏「家庭用電力有効利用支援システムの開発 - 電力有効利用支援のための機能の開発とその評価 - 」、電中研研究報告R99011、2000年5月
- (13) 斎川路之、橋本克巳、長谷川浩巳、岩坪哲四郎「CO₂ヒートポンプサイクルの効率把握と挙動・制御に関する検討」、電中研研究報告W98004、1999年3月
- (14) 橋本克巳、斎川路之、岩坪哲四郎「超臨界CO₂の熱伝達率に関する実験的研究」、第37回日本伝熱シンポジウム講演論文集、Vol. I、2000年
- (15) M. Saikawa, K. Hashimoto, CRIEPI; T. Kobayakawa, K. Kusakari, TEPCO; M. Ito, H. Sakakibara, DENSO Co., 2000, Development of Prototype of CO₂ Heat Pump Water Heater for Residential Use, Proceedings of 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids
- (16) 安田陽子、岩坪哲四郎「潜熱蓄熱物質探索に向けたコンピュータシミュレーションによる分子設計手法の調査・評価」、電中研研究報告W97013、1998年3月
- (17) 土屋陽子、岩坪哲四郎、長谷川浩巳「潜熱蓄熱物質に向けたコンピュータシミュレーションによる物性予測」、電中研研究報告W99009、1999年12月
- (18) 特許「小型消費電力測定装置」第3056046号、平成12年4月14日登録
- (19) 由本勝久、中野幸夫「非侵入型モニタリングシステムの開発（その1）- ニューラルネットワークによるインバータ機器の同定 - 」、電中研研究報告T98045、1999年5月
- (20) 小野田崇、Gunnar R_tsch、中野幸夫、由本勝久「非侵入型モニタリングシステムのための電気機器オン・オフ状態同定手法の開発」、電中研研究報告R99004、2000年3月
- (21) Y. Amano, K. Yoshimoto, Y. Nakano, and B. Kermanshahi, "Artificial Neural Nets for Non-Intrusive Load Monitoring", International Conference on Electrical Engineering 2000 (ICEE2K), A-3-06, July 24-28, 2000.

第4章

- (1) 高橋雅仁、浅野浩志、永田豊「統合資源計画モデルの開発と蓄熱式空調プログラム普及方策への適用」、電中研研究報告Y97021、1998年9月
- (2) 高橋雅仁、浅野浩志「業務用需要家の省エネルギー対策とグリーン電力に関する意識調査」、電中研研究調査資料Y00909、2000年7月
- (3) (財)電力中央研究所編「トリレンマ問題群 どうなる地球環境 温暖化問題の未来」、電力新報社、pp.241、1998年9月
- (4) 社団法人ニューオフィス推進協議会 調査研究部会：期待されるオフィス像 オフィスワーカーにとって働きやすいオフィスとは？、pp.2、1994年3月
- (5) 梅干野晃「住まいの環境学 快適な住まいづくりを科学する」、放送大学教育振興会、pp.174、1996年3月
- (6) 宮永俊之、中野幸夫「放射冷房による居住熱環境の改善に関する研究 第1報：遮へいを考慮した形態係数の高精度計算法と熱環境解析への応用」、日本建築学会計画系論文集、No.518、pp.37-44、1999年4月
- (7) 宮永俊之、中野幸夫「拡散面と鏡面からなる三次元閉空間内の放射伝熱 改良型光線追跡法を用いた計算方法」、日本機械学会論文集、65巻、635号B編、pp.240-247、1999年7月
- (8) 宮永俊之、占部亘、中野幸夫、梅干野晃「放射冷房による居住熱環境の改善に関する研究 第2報：熱放射環境評価のための居室者の簡易型モデル」、日本建築学会計画系論文集、日本建築学会計画系論文集、No.526、pp.51-58、1999年12月
- (9) Fanger, P.O.: Thermal Comfort, Copenhagen Danish Technical Press, 1970
- (10) ASHRAE STANDARD : Thermal Environment Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE 55-1981
- (11) 宮永俊之、大沼敏治、中野幸夫、松木直子、岡建雄、「氷蓄熱式放射冷房システムの開発(その1) - 温熱快適性に及ぼす放射および湿度の影響評価 -」、電中研研究報告T95075、平成8年6月
- (12) 中野幸夫、宮永俊之、大沼敏治、「氷蓄熱式放射冷房システムの開発(その2) - エネルギー消費特性とランニングコスト -」、電中研研究報告T96028、平成9年5月
- (13) 中野幸夫、宮永俊之、「氷蓄熱式放射冷房システムの開発(その3) - イニシャルコストをふまえた総合評価 -」、電中研研究報告T97067、平成10年5月
- (14) 岩坪哲四郎、橋本克巳「都市のエネルギー需給分析と省エネ都市の省エネ負荷準化効果の評価」、電力中央研究所研究報告：W96018、1997年5月
- (15) 橋本克巳、岩坪哲四郎、斎川路之、長谷川浩巳、三巻利夫「地域エネルギー供給システム設計評価手法の検討」、電力中央研究所研究報告：W95031、1996年3月
- (16) 土屋陽子、長谷川浩巳、岩坪哲四郎「カプセル型氷蓄熱システムの高性能に向けた技術開発 - 過冷却の影響評価と解除剤の探索 -」、電中研報告W99010、2000年3月
- (17) 水鳥雅文、田村英寿「東京23区における夏季人工排熱分

布の時空間特性」、電中研調査報告U99022、1999年

- (18) 田村英寿、水鳥雅文「建物周辺における熱環境予測手法の開発(その2) - 東京23区を対象とした数値シミュレーション」、電中研研究報告U99022、1999年
- (19) 占部亘、宮永俊之、中野幸夫「日射反射率の増加による冷房負荷の削減 - ビルのエネルギー消費に及ぼす都市熱環境の影響評価 -」、電中研研究報告T99077、2000年6月
- (20) たとえば、Berdahl, P., Bretz, S. E. " Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials, Energy and Building, Vol.25, No.2, pp.149-158, 1997.3

第5章

- (1) H.L. Willis and G.B. Rackliffe, " Introduction to Integrated Resource T&D Planning ", An ABB Guidebook, ABB, 1994
- (2) 「新エネルギーの潜在性と経済性」、総合エネルギー調査会新エネルギー部会資料、平成12年1月
- (3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、「新エネルギーデータ集(平成11年度版)」
- (4) L.R. Christensen and W.H. Greene, " Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation, " Journal of Political Economy, Vol. 84, No. 4, pp.655-676, 1976
- (5) エイモリー・ロピンス著、室田泰弘・榎屋治紀訳、「ソフト・エネルギー・パス」、時事通信社、1979
- (6) J. Pfeifenberger, et al., " What is in the Cards for Distributed Resources, " Energy Journal, Special Issue, 1997
- (7) Joseph Iannucci, et al. (Distributed Utility Associates), " Distributed Utility Perspectives, " A White Paper Prepared for the IEA Working Party on Renewable Energy, 1999
- (8) 分散型発電研究会「マイクロガスタービン電源の開発・実用化動向と研究課題」、電中研研究調査資料T99902、1999年
- (9) 市川建美、斎川路之、岩坪哲四郎「マイクロガスタービンと固体高分子型燃料電池の開発動向と運用特性」、電中研研究調査資料T99921、2000年
- (10) 斎川路之、高橋徹、岩坪哲四郎、浜松照秀、市川建美「マイクロガスタービン(MGT)による熱電併給システムの評価 - 床面積10000m²事務所ビルに適用した場合の経済性・省エネ性 -」、電中研研究調査資料W99901、1999年
- (11) 今村栄一、浅野浩志「小規模業務用需要家におけるマイクロガスタービンの最適導入計画」、電中研研究報告Y00003
- (12) 今村、浅野「自家用発電システムの設置動向調査」、電力中央研究所調査報告Y97018、1998年
- (13) 「空調調和衛生工学便覧 II 空調設備編」、空調調和・衛生工学会編
- (14) 「総合エネルギー調査会 省エネルギー基準部会エアコンディショナー判断基準小委員会中間とりまとめ」、<http://www.miti.go.jp/feedback-j/isair00j.html>、通産省

既刊「電中研レビュー」ご案内

- NO. 32 「人間と技術の調和に向けて ヒューマンファクター研究 」1995. 3
- NO. 33 「放射線ホルミシス 研究の意義と取り組み 」1996. 3
- NO. 34 「ガスタービン研究 高効率発電の主役を担う 」1997. 1
- NO. 35 「地下の探査・可視化技術」1997. 5
- NO. 36 「送電線コンパクト化技術の開発 高分子材料の適用 」1998. 3
- NO. 37 「乾式リサイクル技術・金属燃料FBRの実現に向けて」2000. 1
- NO. 38 「大気拡散予測手法」2000. 3
- NO. 39 「新時代に向けた電力システム技術」2000. 6
- NO. 40 「原子燃料サイクルバックエンドの確立に向けて」2000. 11

編 集 後 記

本年3月に発電部門に続いて電力の小売の部分自由化が行われるようになりました。電気は現代生活に欠かすことができないエネルギーであり、情報の媒体でもあります。このような機会に需要家のみでなく電気事業のエネルギーをトータルでとらえ、より豊かで便利な生活や産業活動に役立てることを目的として本電中研レビューを作成いたしました。

本レビューでは、これまで当研究所が研究してきた需

要家のエネルギー使用特性、情報技術を取り入れた快適さとエネルギー効率の向上、地域まで考えたエネルギー効率の向上など広いテーマを取り上げています。21世紀は環境と分散化の世紀といわれていますが、本レビューがその扉を開く端緒となれば幸いです。

最後になりましたが、(財)省エネルギーセンター専務理事橋本城二様には、大変示唆に富んだ巻頭言をいただき、心よりお礼申し上げます。



電中研レビュー NO.41

平成12年11月29日

編集兼発行・財団法人 電力中央研究所 広報部
〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1 [大手町ビル7階]
☎ (03) 3201-6601 (代表)
E-mail : www-pc-ml@criepi.denken.or.jp
<http://criepi.denken.or.jp/index-j.html>
印刷・株式会社 電友社

本部 / 経済社会研究所 〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1 ☎ 03 3201-6601 我孫子研究所 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 ☎ (0471) 32-1181
狛江研究所 / 情報研究所 / 原子力情報センター 横須賀研究所 〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂2-6-1 ☎ (0468) 36-2121
ヒューマンファクター研究センター / 低線量放射線研究センター / 事務センター 赤城試験センター 〒371-0241 群馬県勢多郡宮城村苗ヶ島2567 ☎ (027) 283-2721
〒201-8511 東京都狛江市岩戸北2-11-1 ☎ (03) 3480-2111 塩原実験場 〒329-2801 栃木県那須郡塩原町関谷1033 ☎ (0287) 35-2048



古紙配合率50%の再生紙を使用しています