

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。

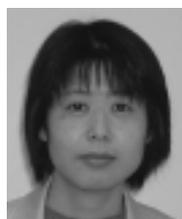
鈴木 正 (12ページに掲載)



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ろう。

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

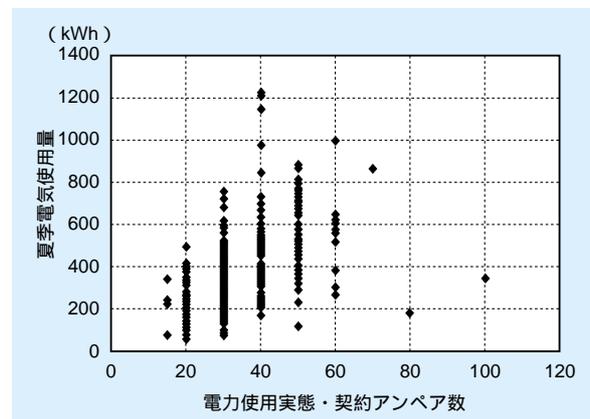


図3-1-3 契約アンペア別電気使用量

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

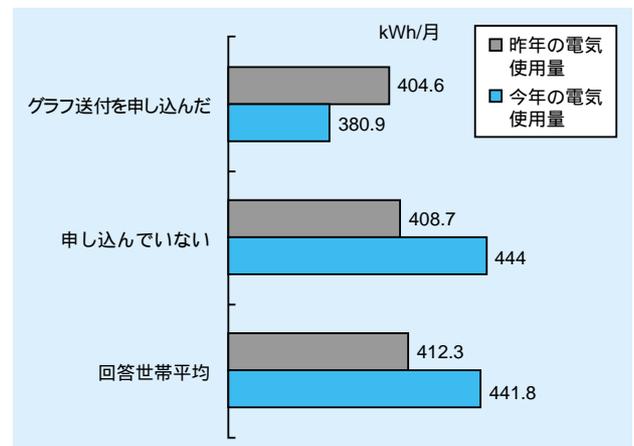


図3-1-2 データ送付申請の有無による電気使用量の違い

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と思っている「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」ことの影響でもあったと考えられる。「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

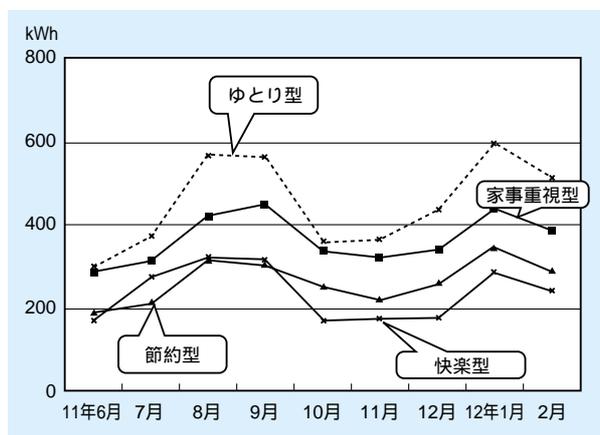


図3-1-3 ライフスタイル別1ヶ月の電気使用量

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

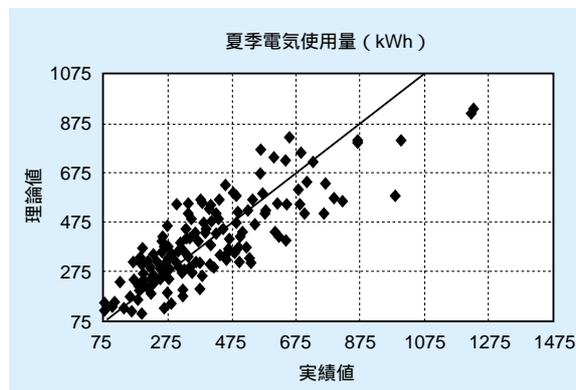


図3-1-4 夏季電気使用量の推定結果による理論値と実測値

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

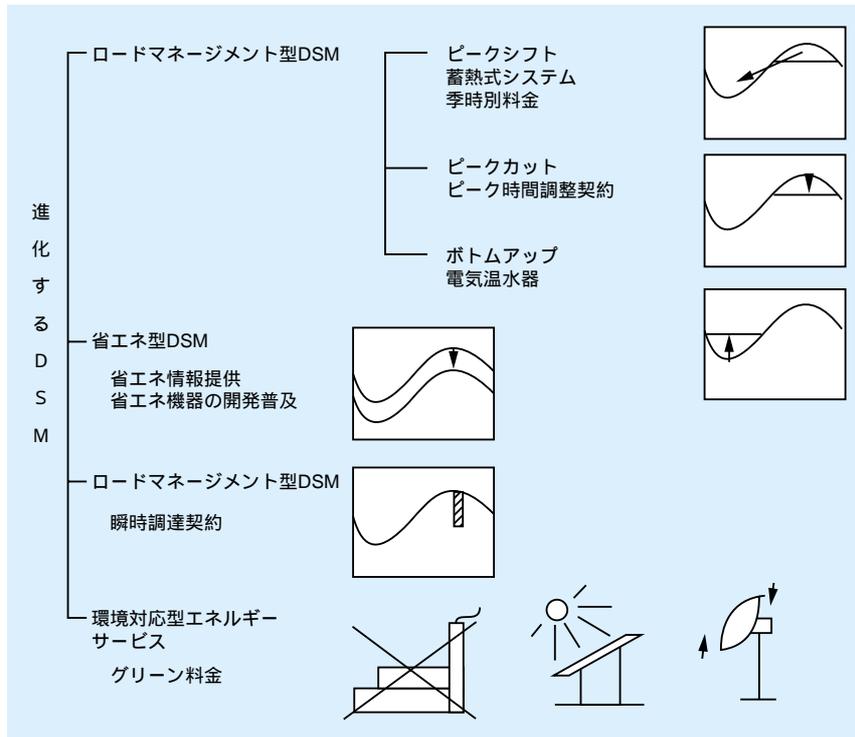


図3-2-1 進化するDSM

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べて、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実時間で金額表示（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)	直接負荷制御 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、

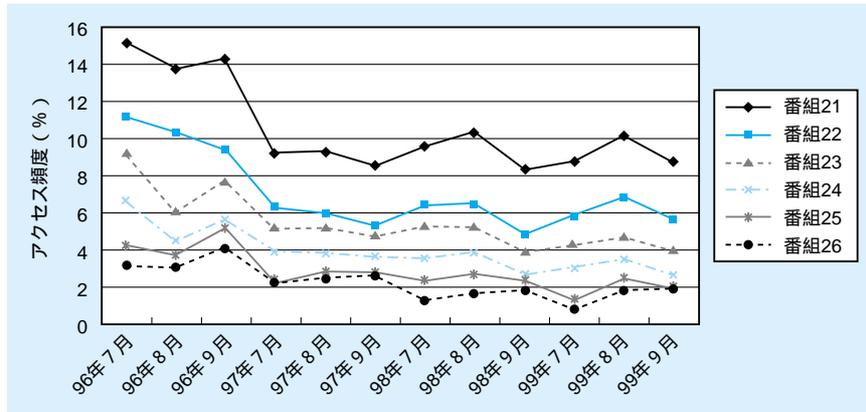


図3-2-2 情報アクセス頻度

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

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

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 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

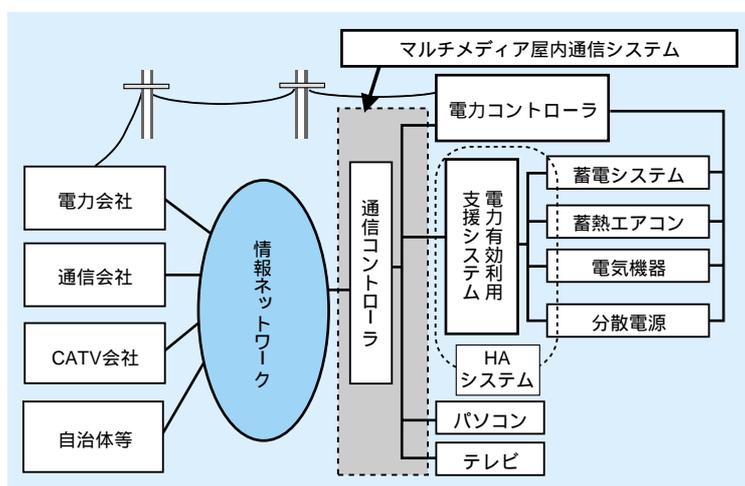


図3-3-1 エネルギー情報統合サービスシステムの構成

表3-3-1 電力コントローラの機能

新たなサービス	<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。 																				
需要家対応業務の遠隔処理	<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																				

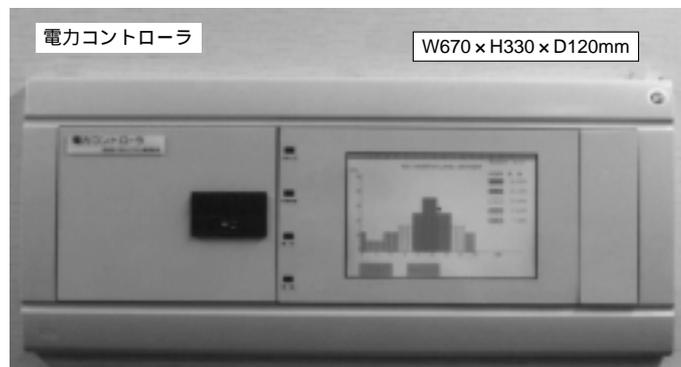


図3-3-2 試作した表示操作器一体型電力コントローラの外観

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

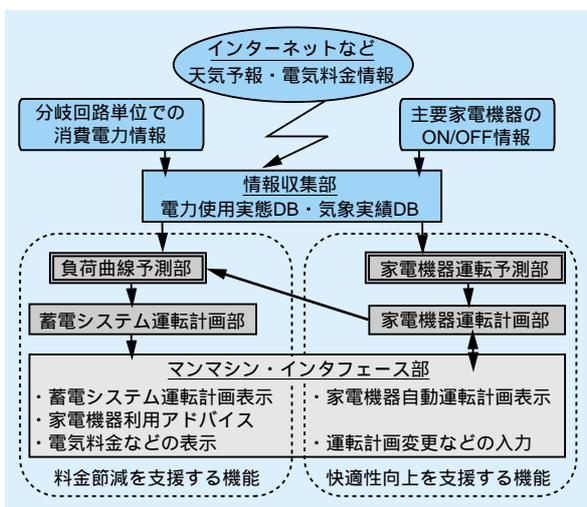


図3-3-3 電力有効利用支援システムの機能

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

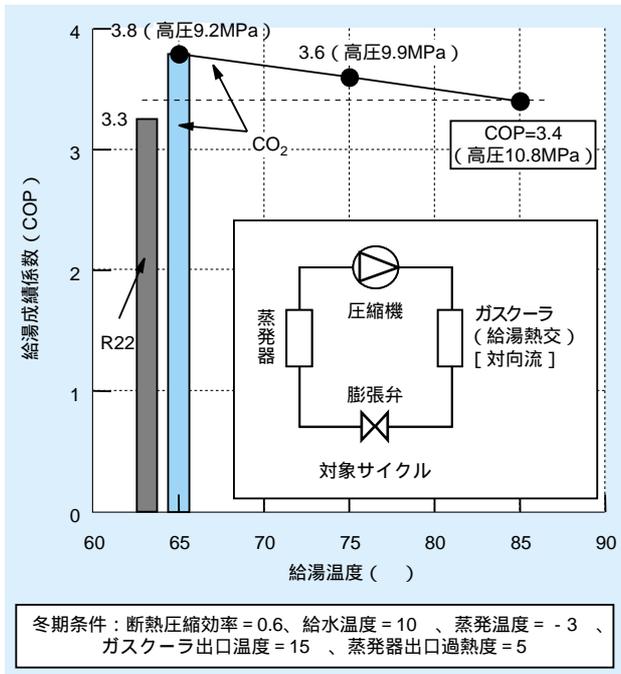


図3-3-4 給湯サイクル計算結果

(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

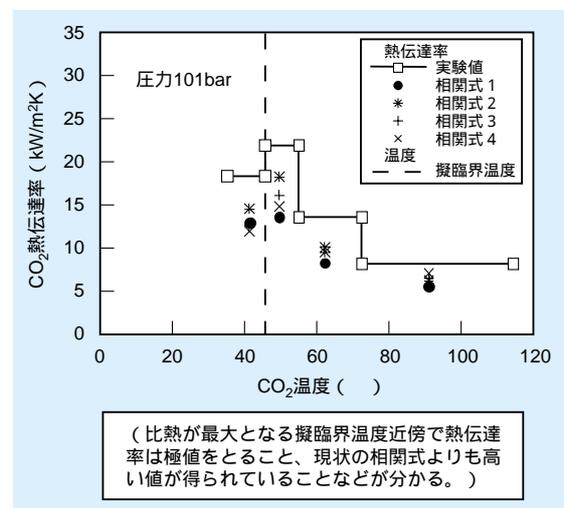
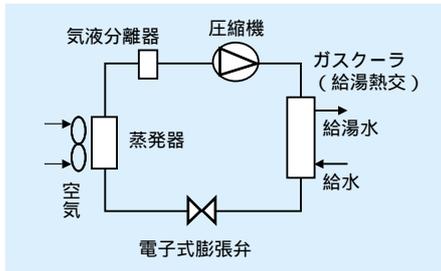


図3-3-6 超臨界CO₂の熱伝達率試験結果

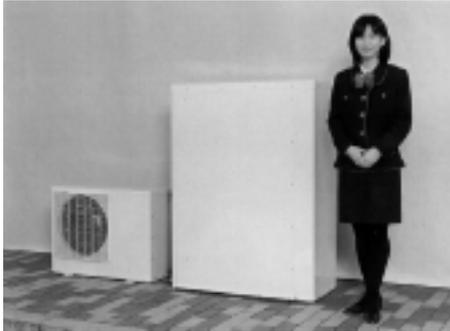
は小型化が可能であることが分かった（図3-3-6）。

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箇所を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。

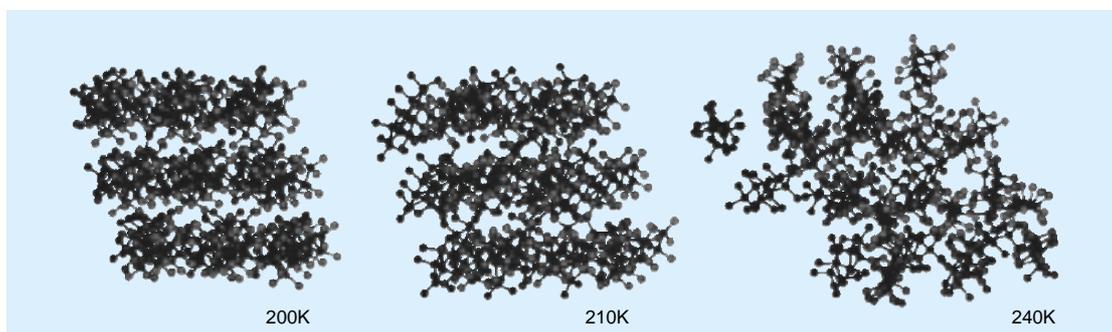


図 ノルマルオクタン (n-C₈H₁₈) の融解シミュレーション⁽¹⁶⁾

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))

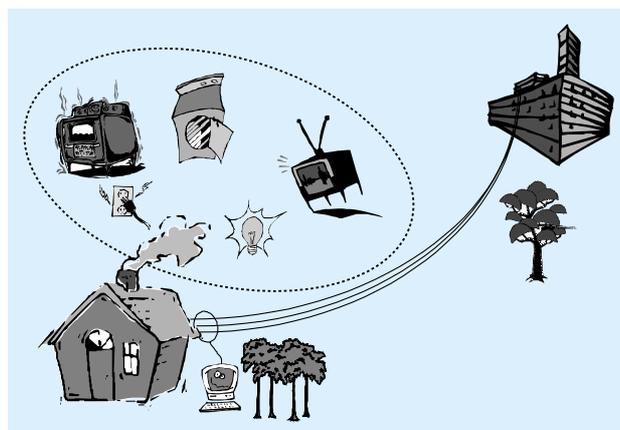


図3-4-2 非侵入型電気機器モニタリングシステムのイメージ

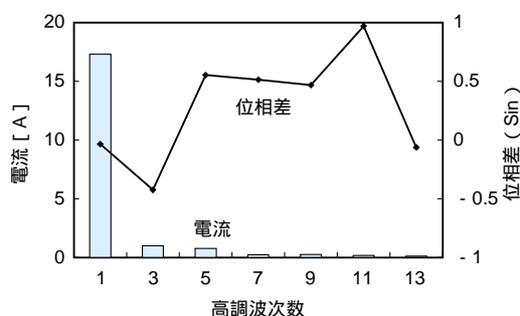
3-4-2 基本原理 - 電気機器から発生する高調波パターンの認識 -

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。

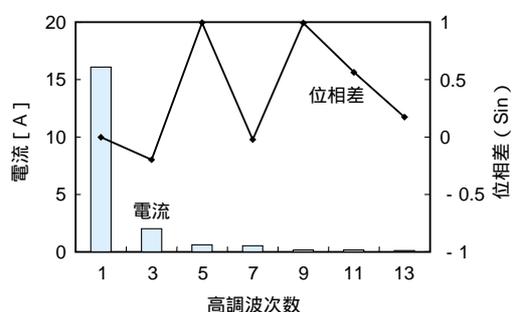
図3-4-3は図3-4-4の測定回路を用いて測定した高調波の例である。図3-4-3の中の上表に電気機器の動作状態の組合せを示してある。グラフは基本波（第1次）ならびに第3次から第13次までの奇数次の高調波の電流値と基本波電圧に対する夫々の位相差を示している。位相差は角度を正弦値で表している。図3-4-3の(a)と(b)

	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

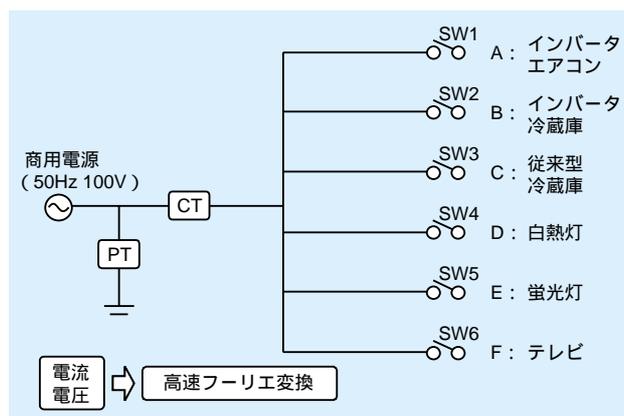
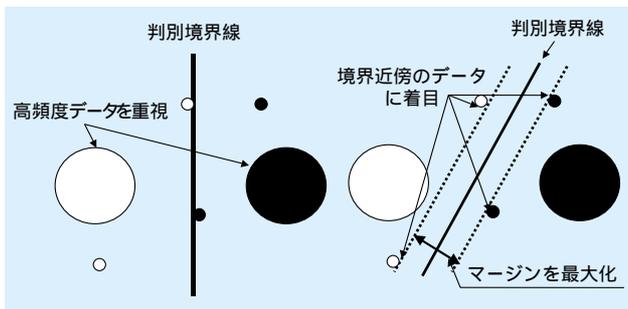


図3-4-4 家庭需要家を想定した高調波パターンの測定回路

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、 σ -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

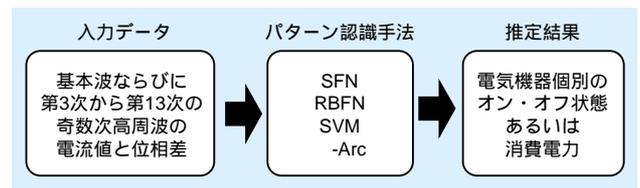


図3-4-6 基本システムの動作手順

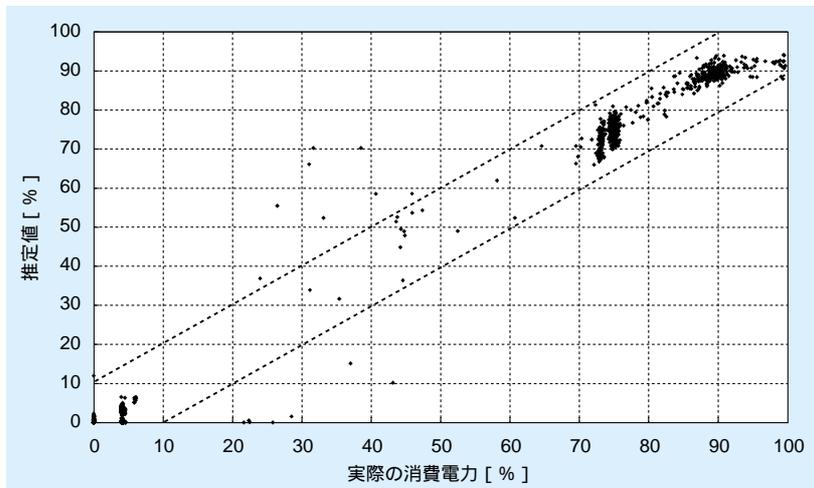
に対する夫々の位相差である。また、後者は入力側データに対応する電気機器個別の動作状態（オン・オフどちらの状態にあるのかということ、あるいは何Wの電力を消費しているかということ）である。あらかじめ、これらの学習データをパターン認識手法に与え、学習を完了させておく。こうすることで、次に学習データの入力側データとは異なるデータが入力データとしてパターン認識手法に与えられても、パターン認識手法はその入力データに対応する電気機器個別の動作状態を推定結果として出力する。このようなシステムを構築することで非侵入型電気機器モニタリングシステムをつくることができる。

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 σ -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。

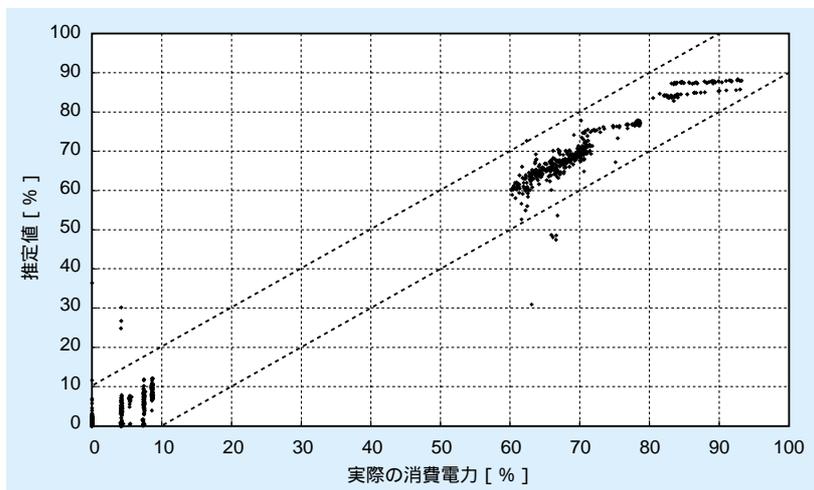
同様に、電気機器個別の消費電力を推定した結果を図3-4-7に示す。これはインバータエアコン、インバータ冷蔵庫、白熱灯、蛍光灯、テレビを組合わせて

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%
σ -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の形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）。

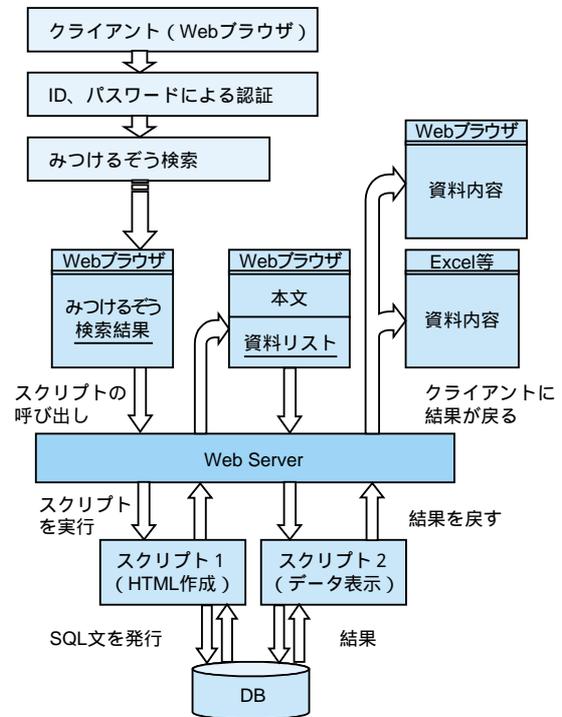


図1 エネルギーユーザ特性情報データベースの構成