負荷集中制御システム実証試験（中間報告）

正員 柿 本 仁 司 （九州電力株式会社）

非会員 福 井 康 博 （九州電力株式会社）

非会員 吉 武 淳 一 （九州電力株式会社）

Demonstration Test of Centralized Load Control System

Hitoshi Kakimoto, Member (Kyushu Electric Power Co., Inc.)

Yasuhiro Fukui, Non-member (Kyushu Electric Power Co., Inc.)

Junichi Yoshitake, Non-member (Kyushu Electric Power Co., Inc.)

The maximum power peak has sharpened in recent years in accordance with the widespread use of air conditioners and other such equipment. Additionally, the gap between power demand during the day and night, as well as that among the seasons, is widening, while the annual load factor is on the decline. These factors prevent the effective use of generating facilities and are driving costs up. Countermeasures in the form of the promotion of load leveling from the demand side have become a national priority.

It was in these circumstances that the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) officially requested that Kyushu Electric Power Co., Inc. (KEPCO) develop load leveling technology for the future. For eight years starting in 1986, KEPCO conducted a demonstration test in which it directly controlled customer water heaters and air conditioners in a district in the city of Kagoshima. In addition, the company started a test in 1994 to demonstrate load leveling effects through indirect load control in a district in the city of Fukuoka. This load control involved providing customers on the demand side with their own load curves, electricity charge data, and other information so that they would themselves experiment with electricity use.

This paper will outline the Centralized Load Control System demonstration test and discuss system configuration and the 1996 test results of indirect load control that generated effects such as a peak reduction of 0.1kW per household.

キーワード：負荷平準化，間接負荷制御，ロードサーベイ，制御効果，光・同軸ハイブリッドシステム

1. まえがき

夏季昼間に発生する最大電力は，社会生活水準の向上に伴う快適志向を反映し，空調設備の普及拡大により着実な伸びを示してきた。特に近年においては，深夜需要の開拓にもかかわらず，電力需要の昼夜間及び季節間格差が拡大すると共に，年負荷率（平均電力／最大電力）も低下の傾向にある。この昼夜間及び季節間格差拡大，並びに年負荷率の低下は，設備利用率の低下につながり，ひいては供給コストへの悪影響が懸念されており，従来にも増して負荷平準化の必要性が高まっている。当社においても一般の需

要家を対象とした時間帯別電灯料金制度，蓄熱式負荷機器の普及などを進めているが，今後はさらに効果を得る方策を模索していかなければならない。

このような状況から当社では負荷平準化を図るため昭和61年から平成5年までの8年間，鹿児島市の一地域で需要家の温水器やエアコンを電力会社から遠隔操作する直接負荷制御試験を行い，直接負荷制御による負荷平準化効果を検証した。さらに平成7年度より福岡市の一地域において，本稿で紹介する負荷集中制御システム実証試験を開始した。これは，新たな負荷平準化方策として，需要家自身のロードカーブや電気料金の情報等を需要家へ提供し，需要家

自らが電気の使い方を工夫する間接負荷制御、並びに需要家のエアコンに対して直接負荷制御を実施することにより、効率的な負荷平準化を進めようという試験である。

また、この負荷集中制御システムは、電力会社と需要家を結ぶ（双方向通信）ネットワーク網を構成することから、将来のマルチメディア社会への対応も指向するものである。

本論文では、負荷集中制御システム実証試験の概要とシステム構成、及び平成8年度の試験結果について記述する。

なお、本試験は、当社が新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けて実施しているものである。

2. 実証試験の規模

〈2・1〉 実証試験の概要

今回の実証試験の概要を表1に示す。

本試験においては、負荷制御の対象を低圧電灯需要家とした。これは、まず、電灯負荷のピーク発生は図1に示すように21時頃であるが、夏季の昼間にも全社電力需要の約30%を占めている。次に、低圧電灯以外の産業用や業務用需要家には、既に負荷平準化のメニューである各種の調整契約（季節別時間帯別契約等）の普及を進めており、その効果もある程度確認できている。このため、今回低圧電灯の需要家を対象として試験を実施することとした。

〈2・2〉 実施戸数の妥当性と負荷曲線の精度

試験の実施戸数として同一試験グループの需要家数を400戸程度とした。これは、制御効果の評価方法として、同一気象条件下において、制御グループと無制御グループ間のロードカーブを比較（図2）し、効果を顕在化させる必要があり、ロードカーブの等価性を検証したうえで1グ

図1 夏季の全社負荷と電灯負荷
Fig. 1. Overall Load and Lighting Load of KEPCO in Summertime.

ループの必要戸数を決定した。例えば、600戸の需要家を対象として、図3に示すように1グループ当たりの戸数を150戸、200戸、300戸として任意にサンプリングすると、1グループ当たりの戸数が増えるに従い、グループの平均ロードカーブに等価性が認められる。更に、昼間ピーク帯（13時から17時）における平均電力を基に、(1)式で求めたグループ毎のロードカーブの誤差率とグループの戸数の関係をグラフ化したものを図4に示す。

$$\text{ピーク帯の平均電力誤差率 } E (\%) = \frac{|x - \bar{x}|}{\bar{x}} \times 100 \quad \cdots (1)$$

$\bar{x}$: 全需要家におけるピーク帯の1戸当たり平均電力

x : 任意にグループ化したピーク帯の1戸当たり平均電力（グループ間の最大または最小値）

表1 実証試験の概要
Table 1. Outline of Demonstration Test.

項目	内 容
(1)試験期間	平成7年度～平成11年度（5年間）…… 7月から9月の平日
(2)実施場所	福岡市西区今宿，周船寺地区（当社前原営業所管内）
(3)実施内容	<p>低圧電灯契約の需要家を対象</p> <ul style="list-style-type: none"> 間接負荷制御試験 <ul style="list-style-type: none"> 電力会社と需要家間を伝送路で結び、需要家に設置した宅内表示器（テレビ）を通して、 <ul style="list-style-type: none"> 需要家の電気使用状況 電気使用工夫アドバイス ピーク電力調整に協力した場合の需要家メリット 等の情報を提供することにより、需要家の電気使用がどのように変化するかを検証する。 直接負荷制御試験 <ul style="list-style-type: none"> 上記試験と同様に電力会社から情報提供し、需要家自らが電気機器の使い方を工夫するとともに、需要家のエアコンを電力会社から制御し、負荷平準化効果を検証する。 ロードサーベイ試験 <ul style="list-style-type: none"> （需要家の電気使用量を毎時間計測する。）
(4)実施規模	<p>1,200戸程度</p> <ul style="list-style-type: none"> 間接負荷制御試験 …………… 400戸程度 直接負荷制御試験 …………… 400戸程度 ロードサーベイ試験 …………… 400戸程度

で与えられる。今回、試験結果データの信頼度を95%、誤差率を5%とし、これを満足するためには図4に示すように400戸程度必要であることがわかった。したがって、同一試験グループの需要家数を400戸程度とした。

一般的に、サンプル数は統計上得られる結果の精度によって規定され、次式によって求められる。

$$N \geq \frac{1}{4} \left\{ \frac{Z \left(\frac{\alpha}{2} \right)}{E} \right\}^2 \quad (2)$$

$Z \left(\frac{\alpha}{2} \right)$: 信頼係数, 信頼度95%のとき1.96
 E : 相対精度 (平均値に対する誤差率)

図2 評価手法の概略図
Fig. 2. Overview of Evaluation Methods.

図3 1グループの戸数変化に伴う
ロードカーブの比較

Fig. 3. Comparison of Load Curves Accompanying Variation in Household Number of Single Groups.

この式を用いるとサンプル数は385戸以上ということになり、同一試験グループの需要家数は400戸程度必要であることがわかる。

図4 需要家戸数とロードカーブの誤差率
Fig. 4. Customer Household Number and Load Curve Error Rate.

3. 実証試験システム

本章では、今回の実証試験で採用したシステムについて記述する。

<3・1> システムの概要

今回のシステム構成を図5に示す。

このシステムは、負荷準化、将来のマルチメディア社会を指向するため双方向通信方式を採用しており、制御センター（営業所）に設置する電算機、負荷制御親局（以下親局）、データ解析サーバ、文字放送作成装置、及び需要家に設置するホームターミナルユニット（以下HTU）、宅内表示器、多時間帯対応電子メータ（以下WHM）、さらに、データ解析箇所（本店、営業所）に設置するデータ解析端末によって構成される。制御センターと需要家間の伝送路は現在普及しつつある都市型CATVと同じく、光ケーブルと同軸ケーブルを用いたハイブリッドシステムで構成され、64Kbpsの通信速度により表2に示すような情報通信を行っている。

この通信手法として、毎時間のWHMの検針値を基に、情報を毎時間タイムリーに需要家別に配信可能とするボーリング・セレクトイング方式を採用している。さらに、各需要家へ設置したHTUに個別アドレスとグループアドレスを持たせることで、センターから需要家毎の検針やグループ毎の画像表示等の通信を可能としている。

また、需要家にとって有益な情報が何かを探るため、需要家が望む情報内容を把握する必要がある、番組毎に視聴率を収集可能としている。

図5 システム構成

Fig. 5. System Configuration.

表2 制御センター～需要家間の通信内容
Table 2. Description of Communications Between
a Control Center and Customers.

通信先	項目	内容
制御センター⇕需要家	需要家の使用電力量 (ロードカーブ)	需要家のロードカーブを毎時間タイムリーに配信する
	試験用料金	試験グループ毎に試験用料金単価を毎日配信する
	アンケート	試験グループ毎にアンケート内容を毎日配信する
	試験内容の説明	全需要家同時に動画にて試験目的等の内容を放送する
	一般テレビ放送	全需要家同時に一般テレビ放送、文字放送を再送信する
需要家⇕データ制御	WHM 検針	需要家のWHM指針値を毎時間収集する
	アンケート結果	需要家がアンケートに回答した結果を毎日収集する
	宅内表示器の番組視聴率 (使用頻度)	電力会社からの情報に対する需要家視聴回数と時間を毎時間収集する

＜3・2＞ 個別機器の概要

(1) 電算機

電算機は、需要家へ設置した機器の監視、検針データの収集、及び需要家への情報の配信、管理機能をもたせた装置である。

正時毎に需要家のWHM検針を実施し、それを基に需要家のロードカーブを配信している。また、文字放送作成装置で作成した各種情報（需要家へのお知らせ等）もあわせて配信可能としている。

(2) 親局

親局は、電算機の処理速度向上のため、本来電算機がもつHTUとの通信処理機能を分離させた装置で、電算機からの検針、制御命令に基づきHTUへの指令送信と、HTUからの応答を中継して電算機に返信する伝送装置である。また、電算機のシステムダウン時にはデータバックアップ機能をもたせている。

HTUとの通信には、エラー検出能力にすぐれたHDL C (High-level data link control) の通信プロトコルを採用している。

(3) HTU

HTUは、配下にWHMや宅内表示器等を接続し、電算機の処理量低減のためWHMとの検針、宅内表示器との情報通信機能をもたせた装置である。WHMとの通信では、高速処理は必要でなくコスト低減のため、カレントループ方式を採用し、1,200bpsの伝送速度としている。また、

CPUは、親局との高速通信とWHMとの低速通信を行う必要があるため、親局との通信用CPUとWHMの検針値や宅内表示器の番組視聴率の情報を処理する内部処理用CPUの2つを設けた。

(4) 宅内表示器

宅内表示器は、電力会社から需要家への情報を表示、情報毎に視聴率をカウント、及びアンケートへの回答入力機能をもたせた装置で、テレビと画像端末から構成される。テレビは市販の10インチのテレビで、画像端末は文字放送のチューナーも備えているため一般放送、文字放送を受信できる。

また、電算機から配信されるアンケートやロードカーブなどの情報を保存しており、需要家が見たい時に見たい番組をすぐに見れるようにしている。

(5) WHM

WHMは、3季節(冬・夏・その他)×5時間帯の電力量計量と、季節・時間帯の遠隔設定が可能な通信機能をもたせた装置である。

(6) データ解析システム

データ解析システムは、電算機が収集したデータを一元的に管理し、任意に、しかもリアルタイムにデータを解析できる機能をもたせたシステムで、データ解析サーバとデータ解析端末から構成される。

<3・3> システムの通信シーケンス

電算機とHTU間の通信シーケンスとして、以下の3種類のパターンを設けた。

- (a) 随時通信(個別HTUとの単発的な通信:非定期的な個別ロードサーベイ情報や電子メータの検針情報)
- (b) 一斉通信(複数のHTUとの同時通信:アンケートや省エネ情報等の同一情報)
- (c) 定例通信(個別HTUとの連続的な通信:定期的な個別ロードサーベイ情報や電子メータの検針情報)

図6にその一例として定例通信におけるシーケンスパターンを示す。

注1: () の時間は需要家へ1画面の情報を送信する場合のデータ受け渡し時間

注2: 1~nはHTUアドレス

図6 電算機とHTU間の通信シーケンス(定例通信)
Fig. 6. Sequence of Communications Between Computers and HTUs. (periodical communication)

4. 実証試験結果

本章では、平成8年7月1日から9月30日の平日に実施した試験結果について記述する。

<4・1> 試験概要

平成8年度の試験は、図7に示すように約800戸の需要家を対象にそれぞれ400戸づつ間接負荷制御グループ(制御グループ)とロードサーベイグループ(無制御グループ)に分け、間接負荷制御グループには図8に示す情報を提供した。また、ロードサーベイグループには、使用電力量のみを計測し情報提供は行わなかった。なお、400戸の間接負荷制御グループについては、料金格差の反応を見るためピーク時間帯(13時から17時)の電気料金単価を試験的に仮設定し、200戸には現行料金単価の2倍、残り200戸には4倍を宅内表示器に表示した。なお、200戸のグループは、試験開始前(電力会社から何も情報を与えない時期)ロードカーブに等価性が見られるように電力使用量等の条件を合わせた。

制御効果は、各グループを比較した場合の1グループの平均電力の差から求めた。

図7 試験実施内容
Fig. 7. Description of Test Execution.

図8 需要家への情報提供内容
Fig. 8. Information Provided to Customers.

＜4・2＞ ロードサーベイ結果

（1）試験期間の気象状況

福岡地方においては、7月中旬から下旬にかけ30℃を超える真夏日が続き8月2日に当社の最大電力を更新した後、8月14日の台風通過後は、気温、最大電力とも下降傾向となった。

（2）ピーク時間帯電力と気温の関係

ピーク時間帯電力と気温の相関を図9に示す。ピーク時間帯電力は、ピーク帯気温と強い相関があることがわかる。26℃～33℃までの気温上昇とピーク時間帯電力との相関をみると、一次的に強い相関があることがわかりこの区間における回帰係数によると、気温が1℃上昇するごとに1戸当たり平均70W程度増加することがわかる。また、ピーク時間帯電力は気温が20℃付近で最低となり、気温が下降するにつれて再び増加することがわかる。

さらに、電力使用量の詳細分析のため、家電機器毎に電力使用量を計測した需要家50戸におけるエアコンと冷蔵庫のピーク時間帯電力と気温の相関を表したものを図10、11に示す。エアコンと冷蔵庫のピーク時間帯電力は気温と強い相関があることがわかる。エアコン負荷について、25℃～32℃までの気温上昇とピーク時間帯電力との相関をみると、この区間における回帰係数により気温が1℃上昇すると1台当たり平均60W程度増加することがわかる。また、冷蔵庫についてもエアコンと同様に気温が1℃上昇すると1台当たり平均7W程度増加することがわかる。以上により、気温に対するピーク時間帯電力増加の主要因としてはエアコン等の空調負荷と冷蔵庫の負荷によるものであることがわかる。

（注）グラフ内の数式は26℃～33℃における回帰直線を表す。

図9 1 需要家当たりのピーク時間帯電力と気温の相関（サンプル数：400戸）

Fig. 9 Correlation Between Power Consumption during Peak Period and Outside Temperature (sample size: 50 households)

（注）グラフ内の数式は25℃～32℃における回帰直線を表す。

図10 使用中エアコン1台当たりのピーク時間帯電力と気温の相関（サンプル数：50台）

Fig. 10 Correlation Between Power Consumption during Peak Period and Outside Temperature with a Single Air Conditioner in Operation (sample size: 50 units)

（注）グラフ内の数式は25℃～32℃における回帰直線を表す。

図11 冷蔵庫1台当たりのピーク時間帯電力と気温の相関（サンプル数：50台）

Fig. 11 Correlation Between Power Consumption during Peak Period and Outdoor Temperature with a Single Refrigerator in Operation (sample size: 50 units)

(3) 季節負荷のロードカーブに占める割合

図12に示すように、住宅負荷においては、秋のロードカーブと夏のロードカーブの差、つまり季節負荷が15時時点で住宅負荷全体の約60%を占めており、要因としては前述のとおりエアコンや扇風機の空調負荷や冷蔵庫などの負荷が大部分を占めていると考えられる。実際に需要家が昼間に使用する頻度の高い機器は、アンケート結果から図13に示すように、テレビ・ビデオが約50%、扇風機が約35%、エアコンが約35%となっている。

図12 ロードカーブに占める季節負荷の割合 (住宅)
Fig. 12. Distribution of Seasonal Load Curve. (residential)

図13 夏期ピーク帯30℃以上の日における使用機器
Fig. 13. Breakdown of Appliances on Days of 30°C or Above During Summertime Peak.

<4・3> 間接負荷制御試験結果

(1) 間接負荷制御グループとロードサーベイグループの比較

制御効果は、制御（間接負荷制御グループ）、無制御（ロードサーベイグループ）両グループの1日平均ロードカーブの電力差から求めた。この結果、図14に示すように気温が30℃以上の場合、15時時点で制御グループの使用電力は、無制御グループに比べ1戸当たり平均100W程度少ないという結果が得られた。なお、図15に示すように試験開始前のピーク帯における両グループのロードカーブには電力会社からの情報は与えていないため差がなく、電力会社からの情報により需要家の意識が変化することがうかがえる。

図14 間接負荷制御・ロードサーベイグループのロードカーブ比較
〔夏期ピーク帯30℃以上の日（24日間）〕

Fig. 14 Comparison of Load Curves of Indirect Load Control and Load Survey Groups
(for 24 days on days of 30°C or above)

図15 試験開始前(6/24~6/28)のロードカーブ比較
Fig. 15. Comparison of Load Curves Before Test Commencement (6/24~6/28).

(2) 料金格差2倍グループと4倍グループの比較

制御効果は料金格差2倍、4倍グループの1日平均ロードカーブの電力差から求めた。その結果、試験開始前（平成7年度）の夏期ピーク帯30℃以上の日における両グループのロードカーブは、ピーク帯において差がほとんどみられなかったが、図16に示すように15時時点で4倍の格差をつけたグループの方が2倍のグループに比べ1戸当たり平均50W程度の制御効果が見られた。これは電気料金単価への価格意識の差がいくらか現れたものと考えられる。

図16 夏期ピーク帯30℃以上の日における料金格差別ロードカーブ比較

Fig. 16. Comparison of Differential Rate Load Curves on Days of 30°C or Above.

(3) 間接負荷制御による需要家行動

本試験において制御効果が認められた需要家の行動としては、アンケート結果から図17に示すように、情報提供を実施した需要家の約7割がエアコンの代わりに扇風機を使用するなど電気の使い方の工夫がみられた。

図17 夏期ピーク帯30℃以上の日における電気使用工夫

Fig. 17. Customer Electricity Usage on Days of 30°C or Above During Summertime Peak.

(4) 制御効果の分析

間接負荷制御グループの需要家についてさらに詳細に分析した。制御効果は、戸別に平成7年夏期のロードサーベイデータと平成8年夏期の間接負荷制御データの1日平均ロードカーブの電力差から求めた。なお、需要家の設備増加に伴う需要増はアンケートの結果、微増のため考慮しないものとした。

まず、需要家の電気料金と制御効果について述べる。平成7年夏期における1か月間の電気料金別に制御効果を比較すると図18のようになった。なお平成7年夏期における電気料金別需要家数の構成は図19のとおりであった。

図18 夏期ピーク帯30℃以上の日における電気料金別ロードカーブ比較

Table 18. Comparison of Differential Rate Load Curves on Days of 30°C or Above During Summertime Peak.

これより、電気料金が12,000円未満の需要家（47％）と25,000円以上の需要家（6％）においては、あまり制御効果はみられなかったが、18,000円から25,000円の需要家（13％）においては、顕著な制御効果がみられた。（15時時点で1戸当たり平均130W程度）

図19 電気料金別需要家数の構成

Fig. 19. Breakdown of Customers by Type of Rate.

次に、間接負荷制御グループの需要家には、ピーク帯において現行料金単価より割高な試験用電気料金単価情報を提供しており、その需要家反応と制御効果について述べる。試験用電気料金単価に対する需要家の反応結果（アンケートにより実施）を図20に示す。これより電気使用を工夫する行動をとった需要家が2倍のグループよりも4倍のグループのほうが多く、電気料金単価に対する意識の違いがわかる。また、図21に示すように、15時時点で「非常に高い」と思ったのでなるべく電気を使わないようにした」と回答した需要家は、「高いと思ったが使わざるを得なかった」と回答した需要家に比べ明らかに制御効果がみられた。

図20 試験用電気料金単価に対する需要家の反応
Fig. 20. Customer Reaction for Test Rate Unit.

(a) 「非常に高いと思ったのでなるべく電気を使わないようにした」需要家

(b) 「高いと思ったが使わざるをえなかった」需要家

図21 夏期ピーク帯30℃以上の日における
需要家反応とロードカーブ比較

Fig. 21. Comparison of Customer Reaction and Road Curves
on Days of 30°C or Above During Summertime Peak.

5. おわりに

今回の試験では、需要家にロードカーブや試験用料金単価等の電力情報を提供することにより、需要家の電気使用工夫を誘導することができ、ある程度制御効果を検証することができた。しかしながら、約3か月間のデータであり、今後詳細に分析するためには、さらに試験を継続し、数多くのデータを蓄積することによって精度の高い結果を得る必要がある。

また、今回、需要家において電気使用工夫がわからない、あるいは毎日の行動に煩わしさを感じる等の意見がみられた。このため、平成9年度は、間接負荷制御と併用して電力会社から需要家のエアコンを制御することで、需要家の電力使用工夫を補完する方法も実施する。このことで、更に大きな制御効果が予想される。

最後に、本システムは将来のマルチメディア社会への対応を指向するものである。今後の課題として、その技術的可能性と利用方法を模索しながら、負荷平準化システム実用化のためのシステム検討が必要である。

(平成9年2月12日受付、同9年7月24日再受付)

- (1) 松本保・柿本仁司：「負荷集中制御実証試験（エアコン制御）」、平3 電気学会電力・エネルギー部門大会、No.32
- (2) 柿本仁司・永野浩文：「負荷集中制御実証試験（温水器制御）」、平5 電気学会全大、No.1369
- (3) 柿本仁司：「料金インセンティブによる間接負荷制御実証試験」、平7 第5回DA/DSM国際シンポジウム
- (4) 柿本仁司：「情報通信システムを活用した負荷制御について」、平7 DA/DSM国際シンポジウム
- (5) 浅野浩志：「コインシデンス曲線を考慮したDSMプログラムの効果評価」、平8 電気学会全大、No.1413

柿本 仁司 (正 員) 1950年8月22日生まれ。74年3月熊本大学電気工学科卒業。同年九州電力(株)入社。配電オンラインシステム開発を経て、現在主として配電総合自動化システムの開発・実証試験に従事。現在同社配電部課長。

福井 康博 (非会員) 1956年5月16日生まれ。80年3月大分大学電気工学科卒業。同年九州電力(株)入社、現在に至る。配電総合自動化業務に従事。現在同社配電部副長。

吉武 淳一 (非会員) 1964年6月25日生まれ。87年3月九州工業大学電子工学科卒業。同年九州電力(株)入社、現在に至る。配電総合自動化業務に従事。