

# 負荷集中制御システム実証試験

## Demonstration of Centrized Load Control System

柿 本 仁 司\*

Hitoshi Kakimoto

### 1. まえがき

近年の電力需要は、空調機器等の普及により、特に夏季の昼間に集中し、昼夜間及び季節間の需要格差は年々広がる傾向にある。また、年負荷率も年々低下していることから、ピーク需要の抑制及び深夜需要の創成を図ることによって負荷率を向上させることが課題となっている。

このような背景から九州電力では、負荷の平準化を図るため、1986年から国（NEDO）の委託を受けて負荷集中制御システム実証試験を実施している。本プロジェクトは、お客さまの快適性を損なわず電気機器を電力会社が直接制御し、負荷平準化効果と実用性を検証するものである。

また、伝送路を共用して、配電線の開閉器制御などの新技術の開発・検証も進めている。

### 2. 実証試験の概要

負荷平準化をはかる方策として、夜間電力需要のボトムアップ、昼間電力需要のピークカット及び昼間ピーク需要の夜間シフトが考えられるが、本プロジェクトでは、ボトムアップ方策として電気温水器を深夜の負荷ボトム時間帯に通電する制御、ピークカット方策としてはエアコン（住宅用、業務用）電力を昼間ピー

ク需要時に抑制する制御、ピークシフト方策としては深夜電力により蓄熱・蓄電したエネルギーを昼間ピーク時に放熱・放電する制御を試みた。

試験サイトには、住宅・商店・工業地域が混在する一地域を選定し、6kV配電線1回線で供給できる範囲とした。（サイト面積約0.8km<sup>2</sup>、お客さま契約口数3.115口、最大電力7.540kW）

具体的な試験項目及び試験機器の数は表1のとおりである。

### 3. 実証試験システム構成

システムは図-1のとおり、制御センター、電算機、使用者端末間に光伝送路を採用。

幹線系の分岐点には中継器を設置し信号を分岐増幅する。分岐数は最大3分岐とした。各中継器には最大8台の分配器を接続し、各分配器には4光引込線を接続できるよう設計した。分配器にはシステム価格低減・信頼性向上のために電気光変換せずに直接光レベルで分岐する方式（パッシブ形）を導入した。使用者端末（HTU）には、複数の負荷機器の制御、情報通信、計測機能を持たせ、センター電算機の処理量低減をはかった。試験用エアコン（336台）には、制御ユニットを設け、室温計測や制御に対する使用者の反応（制御拒否ボタン設置）が収集できるようにした。

表1 実証試験の規模

目的	実証内容	試験項目	H4年度末 試験規模
お客さま 負荷機器の 集中制御	1. 深夜負荷のボトムアップ	深夜温水器制御	118台
	2. 昼間負荷のピークカット	住宅用・業務用エアコン制御	336台
	3. 家庭用電池による負荷平準化	ロードコンディショナーシステム	2台
		蓄電エアコンシステム	1台
	4. シフト可能機器の集中制御（ピークシフト）	水蓄熱エアコン制御	2台
5. 分散型電源連係制御	太陽光発電システム連係制御	1台	

\*九州電力㈱配電部総合自動化担当課長  
〒810 福岡市中央区渡辺通2-1-82

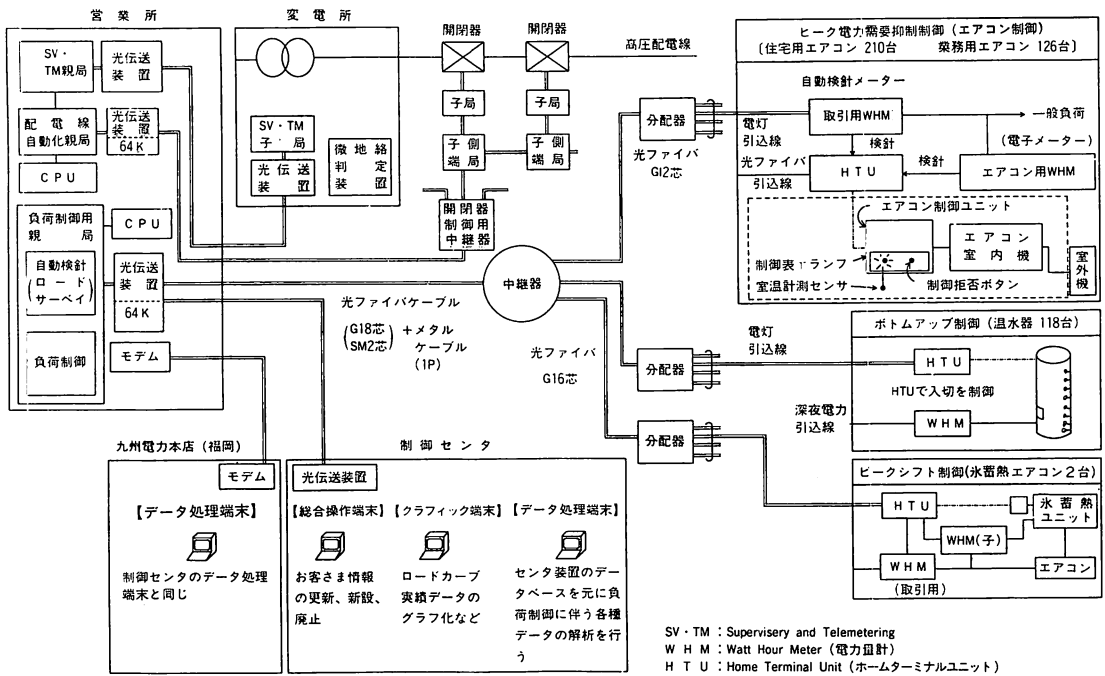


図-1 実証実験システム

### 4. 制御方法

#### 4.1 温水器のボトムアップ制御方法

深夜時間帯のボトムアップを図るための制御方法には、温水器の沸き上がりに必要な通電時間を実測し制御する手法と、通電時間を予測し制御する手法がある。

##### (1) 通電時間実測による制御

温水器の必要通電時間を計測し制御する方法には、個々の温水器を個別に投入制御する個別制御と、ボトム時刻を中心に温水器を通電させるボトム移行制御がある。

##### a. 個別制御

温水器の必要通電時間を実際の温水器から入手し、個別の温水器の通電開始時刻を制御する。

##### b. ボトム移行制御

温水器が計算した必要通電時間から、ボトム時刻を中心に通電時間を2等分するよう通電開始時刻を制御する。

##### (2) 通電時間推定による制御

##### a. 群制御

ある外部要因により温水器の通電時間を推定し、ランク別にグループ分けを行い、グループ毎に通電

時刻を制御する。

#### 4.2 エアコン電力のピーク抑制制御方法

エアコンの制御方法としては、エアコンへの電力供給を間欠的にON-OFFする方法と、エアコンの設定温度を変化させ、エアコンの稼働率を低下させる方法がある。

##### (1) ON/OFF制御

稼働中のエアコンを制御センターから強制的にON/OFFし、グループごとにON/OFFをずらすことで、全体的な最大負荷を抑制する。(図-2参照)

##### (2) 温度制御

稼働中のエアコンの設定温度を制御センターから上昇させ稼働率を低下させることで全体的な最大負荷を抑制する。(図-3参照)

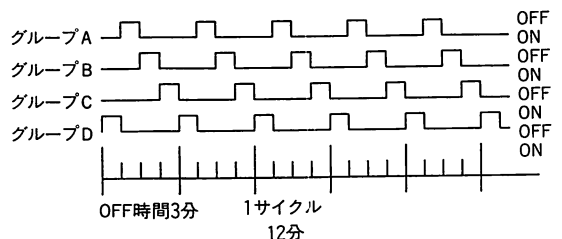


図-2 ON/OFF制御の考え方

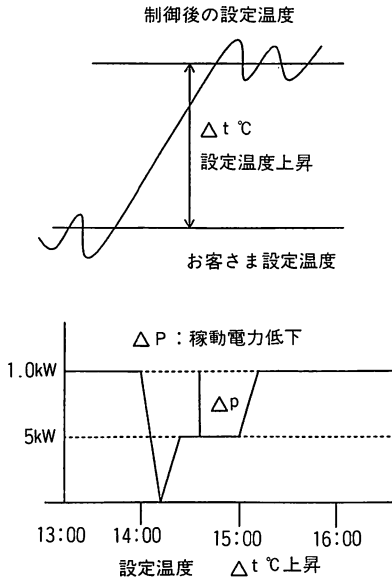


図-3 温度制御の考え方

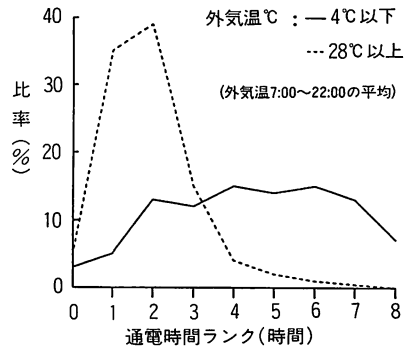


図-4 外気温別温水器通電時間分布グラフ

5. 温水器制御実証試験結果

5.1 温水器の負荷実態

(1) 温水器の使用状況

四季の温水器容量別の平均通電時間及び、平均消費電力量を表2に示す。この表により、定格容量の違いによる通電時間の相違はあまりみられないこと、また通電時間と消費電力の相関は極めて高いことがわかる。

(2) 外気温別の通電分布

平均気温と温水器の通電時間分布を図-4に示す。1日の平均気温と温水器の通電時間分布との相関をみると、気温が高いほど通電時間は短く、例えば1日の平均気温が28℃以上の場合、通電時間2時間以内に7割強が集中している。逆に気温が低いほど通電時間は長く、1日の平均気温が4℃以下の場合、通電時間の分布は4～6時間の通電に約6割が集まり、全体的になだらかな形となる。

(3) 温水器の機能

現在市販されている温水器にはマイコン型、一般型、

第2深夜型の3タイプがある。

a. マイコン型

温水器内部に湯温を計測する温度センサーを有し、各センサーからの情報をもとに沸き上がりに必要な通電時間を計算し、深夜時間帯の終了時間である7時に沸き上がるよう通電を開始する。また、5段階程度の温度設定機能を有し、お客さまの使用に合わせたメニューが選択できる。

b. 8時間通電一般型

沸き上がり温度が85℃に固定されており、23時～1時間の間に通電を開始し、沸き上がりまで最大8時間通電する。

c. 第2深夜型

沸き上がり温度が85℃に固定されており、1時～3時間の間に通電を開始し、沸き上がるまで最大5時間通電する。

これに対し、今回実証試験に用いた過水器は、8時間通電タイプのマイコン型をベースに以下の改造を行った。

① 残湯温度センサーの追加

残湯量を正確に計測するために、温度センサー3個から8個へ増す。

② 必要通電時間の計算精度向上

温度センサー点数の増加により必要通電時間の

表2 四季の温水器容量別平均通電時間

温水器定格容量		4月春	8月夏	11月秋	1月冬
電平均時間通	5.4 kW	2.8H (167)	1.5H (91)	3.0H (180)	3.7H (223)
	4.4 kW	2.7H (162)	1.5H (92)	2.8H (169)	3.5H (210)
消費電力量		1,534kWh	806kWh	1,546kWh	1,906kWh

注：( )内は分単位表示

精度向上.

③ 端末装置 (HTU) との通信機能

温水器の制御を行うHTUを介して制御センターからの投入指令を実行.

(4) 温水器普及による深夜ロードカーブ

サイト内の現状の温水器普及率は4.5%である. 温水器のタイプを通電時間/マイコンの有無/定格容量で5種類に分け, タイプ別に普及率を割り当て, サイト内での無制御の場合のシミュレーションを行った結果が図-5である. 図から温水器普及による深夜のボトムアップは, 冬期は9~10%程度で夏期は1~2%程度である.

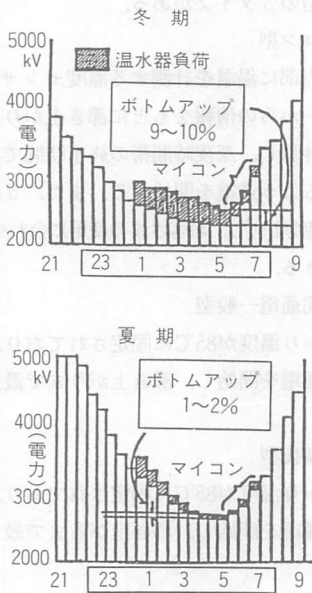


図-5 温水器普及によるボトムアップ率

5.2 温水器制御による制御効果

(1) 個別制御による制御効果

各季節の制御効果実績を表3に示す. 各用語は次の通りである.

㊸温水器負荷を除くボトム電力

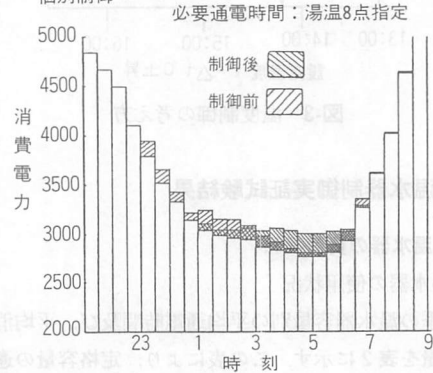
㊹無制御時のボトムアップ電力: 温水器普及によるボトムアップ電力

㊺制御時のボトムアップ電力: 制御によるボトムアップ電力

$$\text{㊻制御効果} = \frac{\text{㊺} - \text{㊹}}{\text{㊸}}$$

表から個別制御による制御効果は, 冬期に5%, 夏

制御シミュレーション(実績) 92年7月20日 月曜日  
個別制御



必要通電時間: 湯温8点指定

日付	7月20日	5:30	2770KW	100.0%
出力対象:実績		5:00	2822KW	101.8%
表示方法:重ね描き		5:00	3000KW	108.3%
制御方法:個別制御			(対無制御)	106.3%
分割数:			予想ロードカーブ	
縦軸範囲:	2000.0~5000.0			

7月13日 月曜日

図-6 個別制御による制御実績 (夏期)

表3 季節の個別制御効果

		冬期 1月26日	春期 4月13日	夏期 8月11日	秋期 11月10日
温水器がない場合	ボトム電力㊸ (kW)	2.381	2.251	2.662	2.138
	ボトム電力㊹ (kW)	2.603	2.388	2.672	2.278
温水器がある場合 (無制限)	ボトムアップ率	9.3%	6.1%	0.4%	6.5%
温水器を制御した場合	ボトム電力㊺ (kW)	2.735	2.523	2.862	2.423
	ボトムアップ率	14.9%	12.1%	7.5%	13.3%
制御効果 [ ㊻ = $\frac{\text{㊺} - \text{㊹}}{\text{㊸}}$ ]		5.6%	6.0%	7.1%	6.8%

期に8%程度得られ、特に夏期の制御効果が高いことがわかる。また、図-6に実際の個別制御結果を示す。個別制御は深夜ボトム帯の平準化効果が高いことがわかる。

(2) ボトム移行制御による制御効果

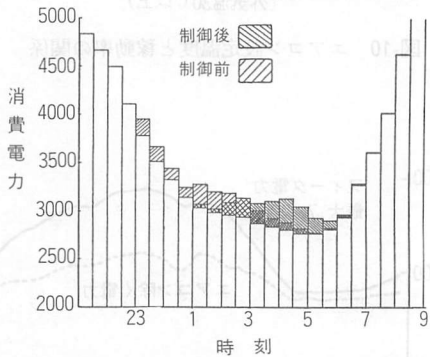
ボトム移行制御は、マイコン型温水器の必要通電時間計算結果から、予め定めたボトム時刻(制御の中心時刻)を中心に通電時間を2等分するよう、温水器の投入時刻を制御する。今回、試験対象として市販のマイコン型温水器を対象に制御を実施した。表4にボトム移行制御実績を示す。表から、冬期に2%、夏期に5%程度の制御効果が得られ、特に夏期の制御効果が高いことがわかる。また図-7に実際のボトム移行制御

結果を示す。制御は制御時刻5:30(ボトム時刻)により実施した。ボトム時刻前に温水器が通電しているが、これは市販のマイコン型温水器の通電時間計算値の精度が低い(残湯過度センサー数が上部に3個のため、残湯量が加味されていないこと)ためである。この制御方法は、現行のマイコン型温水器の通電開始ロジックを変更することで、自律型の制御が可能である。

(3) 群制御による制御効果

通電時間の推定による群制御は、個別制御を実施したときの実測値からシミュレーションによって求めることにより実施した。すなわち制御効果や沸き上がり不足率をサイト内の実際の温水器の通電時間とフィード電力を用いて求めた。表5に各季節の制御効果実績を示す。表から群制御による制御効果は3~6%程度ある。しかしながら、制御による沸き上がり不足(湯切れ)は冬期で3~18%、夏期で2~10%程度発生する。

制御シミュレーション(実績) 92年7月20日 月曜日  
ボトム移行制御 ボトム時刻 5:30  
必要通電時間:湯温1点指定



日時 : 7月20日 温水器除く電力  
出力対象 : 実績 5:30 2770Kw 100.0%  
表示方法 : 重ね描き 無制御時の電力  
5:30 2786Kw 100.5%  
制御方法 : ボトム移行制御 制御時の電力  
分割数 : 6:00 2906Kw 104.9%  
縦軸範囲 : 2000.0~5000.0 (対無制御) 104.3%  
予想ロードカーブ  
7月13日 月曜日

図-7 ボトム移行制御による制御実績(夏期)

表4 ボトム移行制御による制御効果

	春期	夏期	秋期	冬期
制御効果 (%)	2.2	4.4	2.0	1.2

6. エアコン制御実証試験結果

6.1 エアコン負荷の実態

(1) エアコンの使用実態

ある時間帯に使用されているエアコンの割合(使用率)は、住宅用エアコンでは夜間にピークが発生し、業務用エアコンでは昼間にピークが発生する。(図-8参照)また、使用率は外気温が高くなるに従って増加する傾向を示しているが、その傾向は住宅用エアコンに顕著に見られる。業務用エアコンの使用率の伸びは外気温30℃を越えるあたりから鈍くなっている。

表5 群制御結果

	冬 期 (1月)			夏 期 (8月)		
	制御効果 (%)	湯切れ発生率 (%)	必要追焚き時間 (分)	制御効果 (%)	湯切れ発生率 (%)	必要追焚き時間 (分)
電子量から通電時間推定	2.8	3.5	23	4.9	1.9	2
家族数から通電時間推定	4.3	15.0	45	5.1	4.7	29
給水量から通電時間推定	5.6	17.7	59	5.2	9.4	37

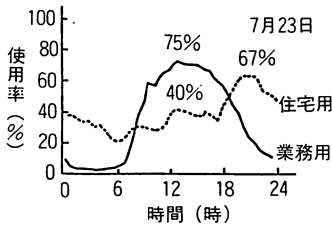
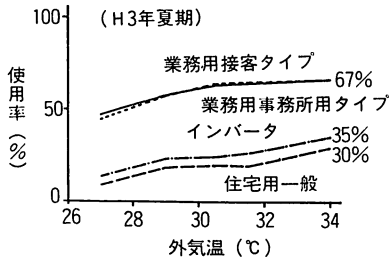


図-8 外気温とエアコンの使用率の関係



(2) エアコンの稼働実態

ある時間に使用されているエアコンの定格容量に対する負荷電力の比率をエアコン稼働率と定義する。図-9は外気温とエアコン稼働率の関係を示す。図から、エアコン稼働率は外気温が高くなると上昇し、しだいに100%に近づく傾向にあること及び、インバータエアコンと一般型エアコン（非インバータ型）とを比較すると、インバータ型は一般型に比べ20%程度稼働率が低いことがわかる。これはインバータエアコンは、室温がエアコンの設定温度に近づくと出力を調整し消費電力を低下させることに起因する。

また、エアコン稼働率は、外気温が同程度の場合、エアコンの設定温度に左右される。つまり、設定温度が高い場合は稼働率は低下し、逆に低い場合は上昇する。この傾向を示したのが図-10で、外気温が30℃以上の場合のエアコン設定温度と稼働率の相関を表す。この図から、インバータエアコンの方が設定温度上昇による稼働率の低下が顕著であることがわかる。

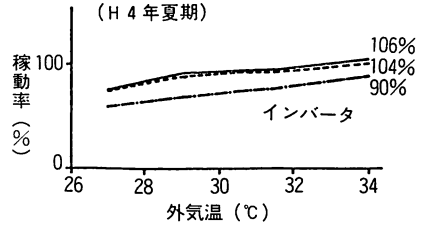


図-9 外気温とエアコン稼働率の関係

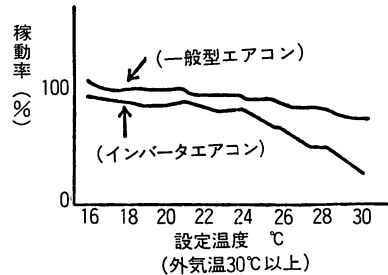


図-10 エアコン設定温度と稼働率の関係

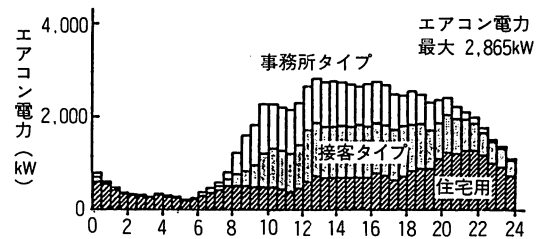
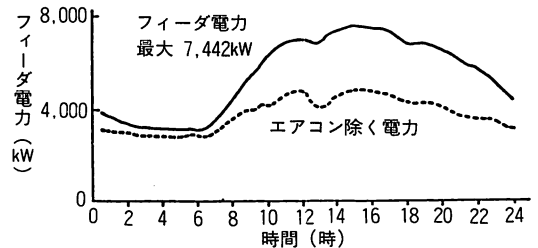


図-11 配電線電力に占めるエアコン負荷の割合

表 6 外気温別エアコン負荷比率推移

外気温 (°C)	28	29	30	31	32	33	34
エアコン 負荷 (kW)	1,836	2,362	2,583	2,739	2,859	2,991	3,133
エアコン負荷の伸び率 (%)		28.6	9.3	6.0	4.4	4.6	4.7
配電線 負荷 (kW)	6,050	6,590	6,900	7,090	7,240	7,380	7,540
配電線負荷の伸び率 (%)		8.9	4.7	2.8	2.1	1.9	2.2
エアコン 負荷比率 (%)	30.3	35.8	37.4	38.6	39.5	40.5	41.6

(3) エアコン負荷の占める割合

試験サイト内には約3,000台のエアコンが設置されており、総容量は約5,000kWである。この内、エアコン336台(容量490kW)をサンプルとして試験しており、その比率は約10%である。試験用エアコンの使用率及び稼働率から配電線内のエアコン負荷を推定したのが図-11である。また、エアコン負荷は外気温の上昇と伴に増加することから、外気温別のエアコン負荷比率の推移を示したものが表6である。この表から、外気温が34℃以上(夏期最大時)の場合、エアコン負荷は全体の42%程度を占める。また、外気温が30℃程度までは1℃上昇につき約9%の割合でエアコン負荷が増加するも、30℃を越えたとエアコン負荷の伸びは3%程度と低くなる傾向を示す。

6.2 エアコン制御による使用者の反応

(1) エアコン停止時の反応

図-12は、エアコン停止時の室温上昇と使用者の反応(キャンセル率)を示す。稼働中のエアコンを制御センターから強制的に停止させた場合、3分後に業務

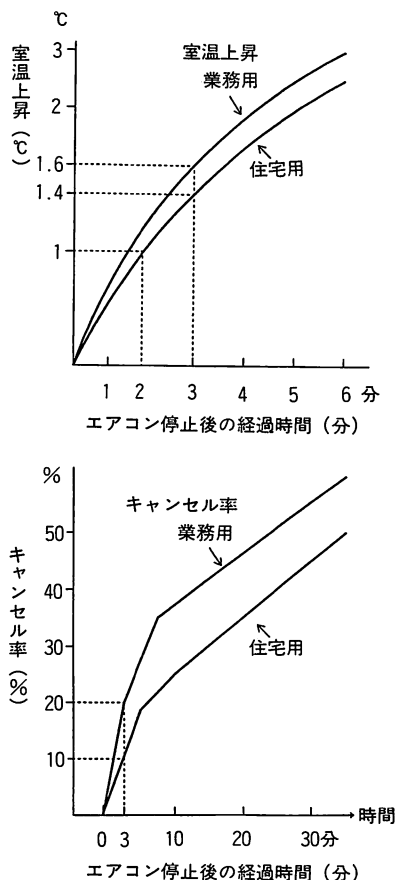


図-12 エアコン停止時の室温上昇と使用者の反応

用エアコンで1.6℃、住宅用で1.4℃の室温上昇が見られた。(ただし、室温は、室中央部での実測値)特に客の出入りの多い業務用が室温上昇も大きく使用者の拒否反応(キャンセル率)も業務用が住宅用よりも高い数値を示した。

使用者の反応については、エアコンを全く制御せず、通常運転していても3分間で業務用で20%、住宅用で10%の使用者が暑いと感じ制御拒否ボタンを押してキャンセル反応を示している。エアコンを全て停止した場合、このキャンセル反応は3分後に20%に達する。つまりエアコンを停止できる時間は3分程度と考えられる。

(2) ON/OFF制御時の反応

無制御時のキャンセル率からOFF時間3分を求めた。ON時間は、グループ別に分割してサイクリックに制御するためOFF時間3分の倍数とし、9分、12分、15分、18分と組合せON/OFF制御試験を行った。表7に各パターン毎のキャンセル率を示す。無制御時におけるお客さまのキャンセル率は業務用で20%、住宅用で10%程度であることから、業務用で80%程度、住宅用で90%程度の制御参加率を確保するためには、制御パターンをして、業務用で15分ON/3分OFF、住宅用で12分ON/OFFが適する。しかしながら業務用でも接客業種ではキャンセル率が高きびしい反応を示している。

図-13は、ON/OFF制御による室温上昇を示す。ON/

表7 キャンセル率(%) (ON/OFF制御)

ON時間	業務用	住宅用
9分	(53) 37	20
12分	(47) 35	16
15分	(40) 28	16
18分	(35) 28	16

注: ( ) は接客業種再掲

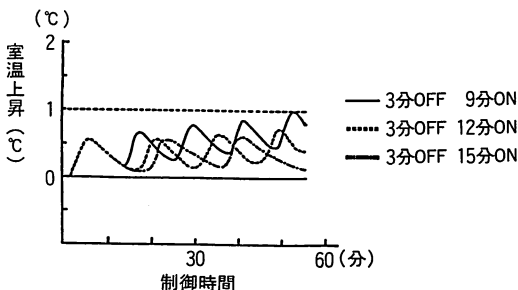


図-13 ON/OFF制御による室温上昇

表8 制御キャンセル率

	2℃上昇	3℃上昇	4℃上昇
住宅用一般型	22	27	29
住宅用インバータ型	15	16	30

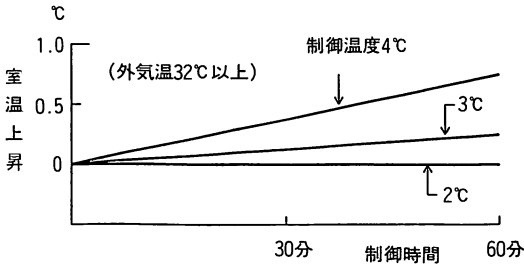


図-14 温度制御による室温上昇傾向

OFF制御を行った場合、室温もON/OFFサイクルに合わせて昇降をくり返しながら次第に上昇する。1時間のON/OFF制御において室温上昇はキャンセル率から0.5℃以下に押さえなければならない。

(3) 温度制御時の反応

温度制御によるお客さまの反応（キャンセル率）を表8に、また室温上昇傾向を図-14に示す。キャンセル率を極力押えること及び、温度上昇を0.5℃以下とし、最大限の制御効果を得るためには、設定温度3℃

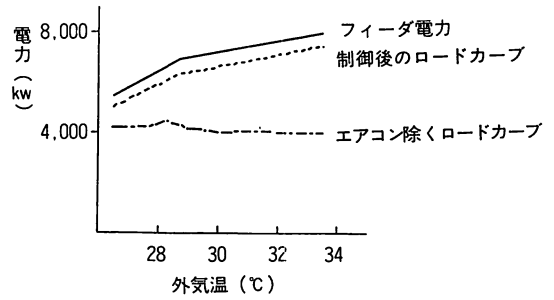


図-15 外気温別ピークフィーダ電力抑制効果

上昇が最適である。

6.3 エアコン制御によるピーク電力抑制効果

(1) ON/OFFによる削減効果

業種、外気温別に制御パターンを設定してON/OFF制御を実施した結果を示したのが表9である。外気温が32℃以上と高い場合、全エアコン電力2.617kWの内、294kWを削減できる結果を得た。このようにして外気温別に制御効果をシミュレーションしたものが図-15である。この結果から、ピーク時においてフィーダ電力の4～5%をON/OFF制御によって抑制できることになる。

以上求めてきたシミュレーション結果を、1992年7

表9 業種・外気温別制御結果

制御パターン表 ON/OFF時間 (単位:分)		外気温 ランク ℃									
		28未満		28～30		30～31		31～32		32以上	
グループ		ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
1	住宅一般	9	3	9	3	12	3	12	3	12	3
2	住宅インバータ	9	3	9	3	12	3	12	3	12	3
3	接客タイプ業務	12	3	12	3	15	3	15	3	15	3
4	事務タイプ業務	12	3	12	3	15	3	15	3	15	3
5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ピークフィーダ電力 kW		6,120		7,206		7,206		7,206		7,530	
エアコン使用電力 kW		1,129		1,807		2,076		2,114		2,617	
削減電力 kW		120		70		97		123		294	

表10 制御効果 (外気温32℃以上)

制御	区分	制御	$\left[ \frac{\text{全体負荷に対する}}{\text{エアコン負荷比率 (\%)}} \right] \times \left[ \frac{\text{制御による負荷}}{\text{カット率 (\%)}} \right]$	制御効果 (%)
ON/OFF 制御	業務用	3分OFF 15分ON	30 × 10～12	3.0 ～ 3.6
	住宅用	3分OFF 12分ON	10 × 14～16	1.4 ～ 1.6
温度 制御	業務用	3℃上昇	30 × 3	0.9
	住宅用	3℃上昇	10 × 3	0.8



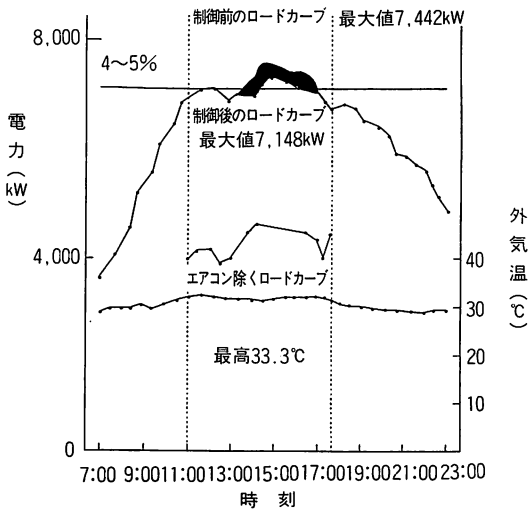


図-16 フィーダ電力にみるエアコン制御効果

月23日のサイトの配電線にあてはめて見ると図-16のようになり、無制御時のピーク電力7.442kWに対しON/OFF制御を実施した場合7.148kWに抑制される。

この時間帯のエアコン使用率からみて、業務用エアコンのON/OFF制御が最も効果がある。

#### (2) 温度制御による削減効果

設定温度3°C上昇の場合の制御効果を表10に示す。表から最大電力抑制効果は、業務用、住宅用を合わせピーク電力の1.7%程度であり、電力抑制効果はON/OFF制御の半分程度である。

### 7. 実証試験の評価

温水器制御の結果、次の点が明らかとなった。

- ① 温水器普及によるボトムアップ効果は、冬期大、夏期大である。
- ② 個別制御により5~8%のボトムアップ効果が得られる。
- ③ ボトム移行制御により1~5%のボトムアップ効果が得られる。また、マイコン型温水器の通電開始機能を変更すれば、ローカルにボトムアップ効果が期待できる。
- ④ 群制御により3~6%のボトムアップ効果が得られるが、制御により沸き上がり不足(湯切れ)が発生する。

発生する。

エアコン制御の結果からは、次の点が明らかとなった。

- ① ON/OFF制御の方が温度制御よりもピークカット効果が高い。
- ② 使用者に受け入れられる制御パターンは、ON/OFF制御で業務用15分ON/3分OFF、住宅用12分ON/3分OFF。また、温度制御では設定温度3°C上昇である。
- ③ 住宅用エアコンよりも、業務用エアコンの方が制御効果が大きい。ON/OFF制御で住宅用は1.4~1.6%業務用で3.0~3.6%のピークカット効果。
- ④ 温度制御では、インバータエアコンの制御効果が高い。

### 8. 実用化への課題

現在までの実証試験結果ら、実用化に向けて次の項目について取り組む必要がある。

#### ① 自律制御型住宅用エアコンの研究開発

住宅用エアコンは昼間ピーク時の使用変動が大きくセンターからの集中制御に適さない。従って、今後は次のような機能追加を検討。

- ・最大電力を抑えるパワーセーブ機能
  - ・人の在室、不在を感知できる機能
  - ・人のいる部屋中央部の室温を計測して制御する機能
  - ・使用者の体感を記憶し、最適設定温度に自動調整する機能
- ② 小型蓄熱・蓄電エアコンの開発
  - ③ コスト及び信頼性からみた最適伝送手法の検討
    - ・光伝送、無線、配電線搬送等の比較

### 9. むすび

本実証試験は1994年3月まで実施する予定であるが、実証試験で得られたデータは今後の省エネ機器の開発、負荷制御システム構築にとって大変有益なデータを提供してくれるものと思われる。また、制御用光伝送路を多目的に利用することによりシステムの実用化の可能性も大きくなると思われる。