

■ 研究論文 ■

業務用蓄熱式空調システムの普及と 夏季最大電力需要への影響の分析

Analysis on Impacts from Wide-Spread Use of Thermal Storage
in the Commercial Sector on Utility System Peaks

前田 章*・鈴木 建哉**・長尾 英二***

Akira Maeda・Tatsuya Suzuki・Eiji Nagao

(1994年7月4日 原稿受理)

Abstract

This paper presents mathematical models that help estimate the impact from wide-spread use of heat pumps with thermal storage systems on electricity system peaks in a utility area. First, we develop a model that estimates the electricity demand for air conditioning in the commercial sector. The model is based on data analysis that foretells the electricity required for air conditioning per floor space. The amount required is inversely proportional to the size of the commercial building. Secondly, we estimate the demand reduction possible through thermal storage in the building. The electricity demand model and the reduction estimate together show that a utility company could have cut down on its system peak by approximately 1GW if it had strongly promoted thermal storage systems in the commercial sector over the past 7 years.

1. はじめに

日本の電力会社各社においては、毎年の設備投資を削減するために夏季最大需要（システムピーク）を低減することが重要な課題の一つとなっている。現在、多くのシステムピーク低減に寄与し得る機器の開発・普及促進が行われている。中でも、蓄熱式ヒートポンプ空調システムは、蓄熱調整契約や季節別時間帯別料金といった制度面からのバックアップのもと、各種の蓄熱方式（水蓄熱方式、氷蓄熱方式等）の高効率化・低コスト化のための技術開発、導入促進のためのコンサルティング活動が盛んに行われている。

蓄熱式空調システムが普及するにしたがってシステムピークがどのような影響を受けるかを分析することは、電力設備計画の観点から非常に重要な課題となるが、現在のところ、これを扱った研究例は少ない。

本研究は、関東圏において蓄熱式ヒートポンプ空調システムの普及が電力供給者のシステムピークに与える影響を評価することを目的とする。はじめに、業務用冷房電力需要と需要家の規模（延床面積）の関係、業務用需要家の延床面積の分布を分析する。これらの分析に基づいて、システムピーク発生時の業務用空調電力需要を推定する方法を示す。次に、個々の需要家レベルでの蓄熱機器導入による冷房用最大電力需要の削減率を分析し、蓄熱式ヒートポンプ空調システムの普及のインパクトを算定する方法とその具体例を示す。

なお、蓄熱式ヒートポンプ空調システム概略については、付録1を参照されたい。

2. 業務用冷房需要データの分析

本章では、調査データを利用して業務用の夏季冷房用電力需要を分析し、冷房用熱需要および電力需要が、

* 東京電力開発計画部 副主任

** " " 副長

*** " " 課長

〒100 東京都千代田区内幸町1-1-3

第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス

(1994年1月27, 28日) にて発表

需要家ビルの規模すなわち延床面積の関数となっていることを示す。始めに、冷房用熱需要と需要家ビルの空調対象延床面積（付録3参照）の関係を分析する。つぎに、熱需要と電気とを結びつける係数（ヒートポンプの成績係数：COP）と需要家ビルの空調対象延床面積の関係を分析する。熱需要をCOPで除すことにより、空調用電力需要が計算できることになる。

2.1 冷房用熱需要の分析

一般に冷房用の熱需要には、外気温等の気象条件、ビルの構造・材質等の物理的な条件、当該ビル内での発生熱に関係する業務内容等、が影響を与えると考えられる。我々は、こうした観点から、付録2に示したデータの統計分析を試みた。その結果、業務内容ないしは業種の影響については、統計的に有為な結果は得られなかった。一方、気象条件とビルの物理的な条件については、都心の平均気温と当該ビルの空調対象延床面積を説明変数にした重回帰分析により、熱需要との相関が認められた。そこで、以下のような分析を進めることとした。

夏季ピーク時における冷房用熱需要を分析するために、付録2の29事例の中から16事例のデータを利用した。これらのデータは、計測年月日および計測日数がバラバラで、単純に比較できない。そこで、各事例の比較条件をそろえることが必要である。各事例毎に、各計測日の15時における関東地方平均気温を説明変数にして、回帰直線を作った。そこから、32度、30度、28度における空調対象延床面積当たりの熱需要を想定した。

関東圏で電力需要の最大値（システムピーク）が得るのは、平均外気温が32度前後の時であることから、我々は、この32度における熱需要についてさらに分析を進めることにした。

32度における熱需要データを、横軸：空調対象延床

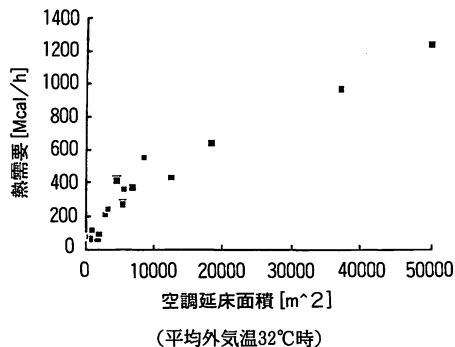
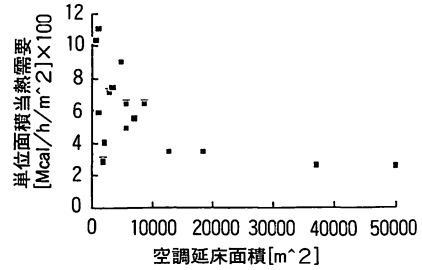


図-1 ビル内空調用熱需要と空調対象延床面積



(平均外気温32℃時)

図-2 単位面積当り空調用熱需要と空調対象延床面積

面積 [m²]、縦軸：熱需要[Mcal/h] としてプロットしたものが、図-1である。同じく、縦軸：単位空調対象延床面積当たり熱需要 [Mcal/h/m²] x100としてプロットしたものが、図-2である。

ここで我々は、次のような回帰モデルを設定して、回帰分析を行なった。

$$\frac{D}{X} \times 100 = a + b \cdot \ln(X) \tag{2-1}$$

D：夏季外気温32度における冷房用熱需要 [Mcal/h]

X：需要家ビル内空調対象延床面積 [m²]

分析結果を表1に示す。表1中の「切片」, 「X1」がそれぞれ(2-1)式中の a, bである。

一般に、仮定したモデルの妥当性は、補正R2、分散分析表中のF値及び有意F、回帰係数のt統計及びP値などから判断される。表1では、補正R2がやや低いものの他の指標が良好な値を示しているため、(2-1)式のモデルが妥当であると判断できる。

2.2 ヒートポンプの成績係数 (COP)

次に、熱需要と電力負荷を結び付ける係数：成績係

表1 回帰分析結果

回帰統計					
重相関R	0.6689				
重決定R ²	0.4474				
補正 R ²	0.4080				
標準誤差	2.065				
観測値	16				
分散分析表					
	自由度	2乗和	平均2乗	F	有意F
回帰	1	48.39	48.39	11.33	0.0046
残差	14	59.75	4.268		
合計	15	108.2			
	係数	標準誤差	t統計	P値	下限95% 上限95%
切片	17.81	3.609	4.934	0.00018	10.07 25.34
x1	-1.419	0.4213	-3.367	0.0042	-2.322 -0.5150

数について分析する。

成績係数 (COP) の一般的な定義は次の通りである。

$$COP = \frac{T_o}{0.86E_i}$$

T_o : ヒートポンプによる熱供給量 [Mcal]

E_i : ヒートポンプへの投入電力量 [kW]

付録2の29事例の内、ヒートポンプの電力使用量データと蓄熱機器への熱供給量データとが同時に計測されているものは、9事例しかない。この9事例について、次のように平均成績係数 (\overline{COP}) を定義する。

$$\overline{COP} = \frac{T_s}{0.86E_c}$$

ここに、 \overline{COP} : 時間毎COPの平均値

T_s : 蓄熱機器への熱供給量[Mcal/h]

E_c : ヒートポンプの電力消費量[kW]

これは、COPの一般的な定義に比べて、建物内配管に伴うエネルギーロス等をふくみ、ビル全体での電力/熱間の変換効率を表す形になっている。

このCOPを各事例毎に計算し、横軸: 空調対象延床面積 (ln スケール)、縦軸: \overline{COP} としてプロットしたものが、図-3である。

これに対して、次のモデルを想定して回帰分析を行った。

$$\overline{COP} = c + d \cdot \ln(X) \tag{2-2}$$

X : 需要家ビル内空調対象延床面積 [m^2]

分析の結果は、表2の通りである。表2中の「切片」, 「x1」がそれぞれ(2-2)式中のc, dである。表からもわかるように各指標、特に補正R2の値があまり良好とはいえない。そこで我々は他のモデル (ln-ln, 2次式等) での回帰分析もいくつか試みた。その結果、残差の分布、回帰係数の安定性等の観点から(2-2)式

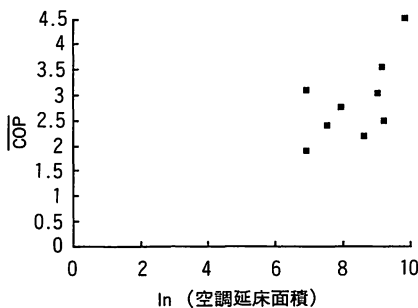


図-3 \overline{COP} と空調対象延床面積 (ln スケール)

表2 回帰分析結果

回帰統計						
重相関 R	0.6185					
重決定 R ²	0.3826					
補正 R ²	0.2944					
標準誤差	0.6587					
観測値	9					
分散分析表						
	自由度	2乗和	平均2乗	F	有意F	
回帰	1	1.882	1.882	4.338	0.0757	
残差	7	3.037	0.4338			
合計	8	4.919				
係数 標準誤差 t統計 P値 下限95% 上限95%						
切片	-0.9135	1.833	-0.4983	0.6316	-5.248	3.421
x1	0.4525	0.2172	2.083	0.071	-0.0611	0.9664

が最も良いモデルであると判断した。

以上の分析により、この事例の範囲では業務用冷房電力需要 (夏季午後14時~15時, 外気温32度) $E(X)$ を空調対象延床面積 X の関数として次のように記述できることになる。

$$E(X) = \frac{D(X)}{0.86COP} \tag{2-3}$$

3. システムピーク時業務用冷房電力需要

前章の回帰モデルを用いて電力供給者の受け持ち区域内における業務用冷房電力の総需要を求めるには、需要家の延床面積の分布を知る必要がある。本章では、はじめに建設統計データより、延床面積の分布密度関数を設定する。これを用いて、電力供給者の夏季最大需要 (システムピーク) 発生時の業務用空調電力需要を算定する。

3.1 業務用延床面積の密度分布の推定

ある床面積 $X [m^2]$ よりも大きい延床面積をもつ需要家の割合を関数: $F(X)$ で表し、これを延床面積分布関数と名付ける。また、ある床面積 $X \sim X+dX$ の範囲にある需要家の割合を関数: $f(X) dX$ で表し、これを延床面積分布密度関数と名付ける。この両者には、次のような関係がある。

$$F(X) = \int_x^{\infty} f(t) dt \tag{3-1}$$

$$F(X)_{X \rightarrow +0} = 1$$

統計データから延床面積分布関数 $F(x)$ を推定し、これを微分することによって、延床面積分布密度関数 $f(x)$ を求める。延床面積分布については、文献[1]の「構造別・床面積規模別着工建築物床面積 (1990年)」のデータを利用して、図-4のような分布を得た。

これを次のモデルで回帰分析した。結果は表3の通

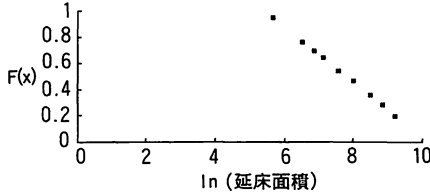


図-4 業務部門延床面積分布

表3 回帰分析結果

回帰統計						
重相関 R	0.9996					
重決定 R ²	0.9993					
補正 R ²	0.9992					
標準誤差	0.0066					
観測値	9					
分散分析表						
	自由度	2乗和	平均2乗	F	有意F	
回帰	1	0.4737	0.4737	10712.0	2.07E-12	
残差	7	0.0003	4.4227E-05			
合計	8	0.4740				
	係数	標準誤差	t統計	P値	下限95%	上限95%
切片	2.1564	0.0157	136.83	9.10E-15	2.119	2.193
x1	-0.212	0.0020	-103.49	8.48E-14	-0.2169	-0.2072

りである。

$$F(X) = \alpha + \beta \cdot \ln(X) \quad (3-2)$$

表3中の「切片」, 「x1」がそれぞれ(3-2)式中の α , β である。各指標はきわめて良好な値を示していることがわかる。ここから、延床面積分布密度関数 $f(x)$ は

$$f(x) dx = \frac{|\beta|}{X} dx \quad (L \leq X \leq U) \quad (3-3)$$

$$0 \quad (0 \leq X < L, U < X)$$

where $\int_L^U f(X) dx = 1$

(U, L はモデルが物理的な意味を持つ上下限) と推定される。

3.2 業務用冷房電力需要の算定方法

以上の分析結果を基にして、電力供給者のシステムピーク発生時の業務用冷房電力需要を算定する。

単位面積当たりの冷房用電力需要: $E(X)/X$

延床面積分布密度関数: $f(X) dx$

t年における延床面積の総計: Kt

空調対象床面積の比率(付録3. 参照): $h (= 0.61)$

空調に占めるヒートポンプの普及率: pt

とするとき、冷房用電力需要 [kW] は、次のように書ける。

$$\int_L^U \frac{E(X)}{X} p.h.k.f(X) dx \quad (3-4)$$

これは、式(2-1) (2-2) (2-3) (3-3) より、次のように書き直せる。

$$p.h.K. \frac{1}{86} |\beta| \int_L^U \frac{a + b \ln(X)}{c + d \ln(X)} \frac{dx}{X} \quad (3-5)$$

ここで、変数変換: $\ln(X) = Z$ を用いれば、上式は解析的に計算することができるようになる。我々のモデルが $\ln(X)$ で組み立ててきた理由の一つはこの解析的な扱いやすさにある。以上より、

t年度の電力供給者システムピーク発生時の業務用冷房電力需要[kW] =

$$p.h.K. \frac{1}{86} |\beta| I \quad (3-6)$$

但し、

$$I = \frac{b}{d} \ln\left(\frac{U}{L}\right) + \frac{b}{d} \left(\frac{a}{b} - \frac{c}{d}\right) \ln\left(\frac{\ln(U) + d}{\ln(L) + d}\right)$$

となる。

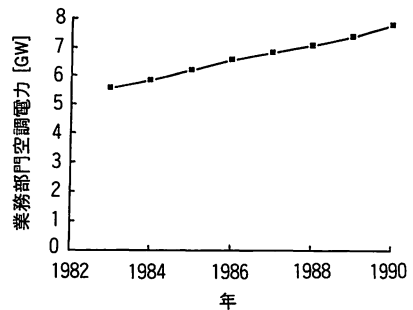
3.3 算定例

a) 業務部門延床面積の総計 (Kt)

日本全国の業務部門延床面積については、文献[2]に推計がある。一方、文献1.の「建築着工都道府県別床面積・年度系別」データから、当該電力供給者(1都8県)の全国比率を計算し、平均値0.37を得た。これより、受け持ち区域内の業務部門延床面積の総計を推計することができる。(Kt: 386.28~475.82×10⁶ m², 1983~1990年)

b) 業務部門におけるヒートポンプ普及率 (pt)

業務部門におけるヒートポンプの普及状況についての信頼すべきデータは大変少ない。辛うじて、文献[3]には、「年代別空調方式の推移」として、1983年~1990



(電力供給者システムピーク発生時)

図-5 業務用冷房電力需要の推移

年についての方式別冷凍トンが記されている。ここから、ヒートポンプを使用する機器の占める割合を計算し、普及率とした。(pt: 0.717~0.810, 1983~1990年)

以上より1983年~1990年について当該電力供給者のシステムピーク時の業務用冷房電力需要を算定した。その結果を図-5に示す。

4. 蓄熱式空調システム普及のインパクト

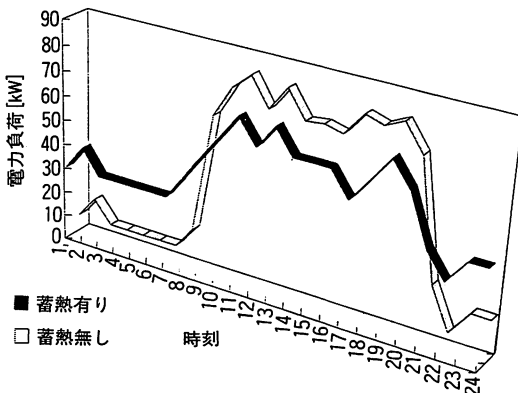
本章ではまず始めに、一需要家当りでは蓄熱機器導入に伴い概ね何%の電力需要ピーク削減になるかを検討する。簡単な数理計画モデルと調査データの両面から分析し結果を比較する。この結果に基づいて、蓄熱式空調システム普及により引き起こされる当該電力供給者の夏季最大需要(システムピーク)の低減の可能性を算定する。

4.1 蓄熱システム導入行動の分析

蓄熱式ヒートポンプ空調システムの導入は、需要家にとっては、1) 割安な夜間電力利用によるランニングコストの削減、2) ヒートポンプ容量の縮小による設備コストおよび電力基本料金の削減、等の経済的メリットがある。一方、電力会社にとっては、昼間から夜間への電力負荷移行に役立ち、系統全体から見た場合は負荷平準化と最大電力需要の低減に貢献する。

一需要家が蓄熱システムを導入した場合の一日の電力負荷パターン変化の一例を、図-6に示す。

図では、13時~15時の間に15kW~25kWの負荷が低減している。当該電力供給者の年間最大電力需要(システムピーク)が8月後半の13時~15時の間に発生することを考えると、この時間帯における一需要家当



(蓄熱式ヒートポンプ採用需要家の運転実績調査(付録2) 中の一需要家の夏季の例)

図-6 蓄熱システム導入による日負荷曲線変化

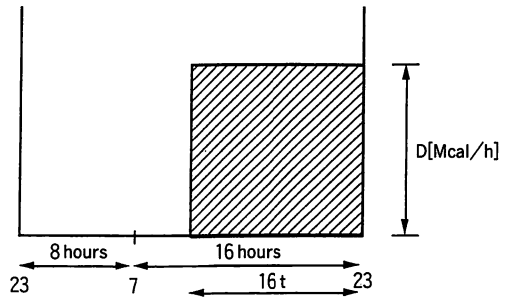


図-7 熱需要モデル

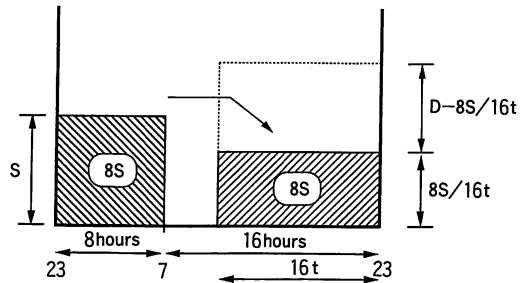


図-8 蓄熱槽運用モデル

り負荷低減の積み重ねが、電力系統全体のピーク削減につながることになる。蓄熱システムの導入によるピーク時間帯での負荷低減は一需要家当り約50%であると経験的に言われている。以下ではこの一需要家当りのピーク負荷低減を簡単な最適化モデルで検討してみる。

1) 熱需要モデル

需要家の熱需要を図-7のように仮定する。ここでの時間帯区分は、当該電力供給者の業務用蓄熱調整契約の時間帯区分である。実際の熱需要の時間変動を単純化し、16 t [hours] の間、 D [Mcal/h] で一定であるものとする。一日の全熱需要は、 $16 t D$ [Mcal] となる。ここで t は昼間の需要時間率である。

2) 蓄熱槽運用モデル

この熱需要を満たすために、需要家は図-8のような蓄熱槽の運用を行なうものとする。ここではあくまでも理論的な分析が目的であるので、a) 夜間に蓄熱した熱エネルギーは昼間に完全に使いきる、b) 蓄熱と放熱に伴うエネルギーロスも無視する、と仮定する。従って、夜間に蓄熱された熱エネルギー: S [Mcal/h] \times 8 [hours] は昼間の全需要 $16t D$ の一部となる。

3) コストモデル

需要家の抱えるコストは、a) 契約料金、b) 電気

料, c) ヒートポンプ設備コスト, d) 蓄熱槽設備コストである。これらを数式で記述すると, 次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{Total Cost} = & (P_d + P_h) \frac{\text{Max} \left\{ S, D - \frac{8S}{16t} \right\}}{0.86 \text{ COP}} \quad (4-1) \\ & + P_o \frac{8S}{0.86 \text{ COP}} + P_p \frac{\left(D - \frac{8S}{16t} \right) 16t}{0.86 \text{ COP}} \\ & + P_s \cdot 8S \end{aligned}$$

但し,

- Pd : 電力基本料金 [yen/kW]
- Po : オフピーク時電気料金 [yen/kWh]
- Pp : ピーク時電気料金 [yen/kWh]
- Ph : kW当たりのヒートポンプ設備コスト [yen/kW]
- P_s : Mcal 当たりの蓄熱槽設備コスト [yen/Mcal]

4) 最適計画問題

需要家はコストを最小化するように, 契約電力, ヒートポンプ容量, 蓄熱槽容量を決定するものと仮定する。したがって, 需要家の行動は, 次の最適計画問題として記述できる。

$$\begin{aligned} \text{Total Cost} \rightarrow & \text{Min}_{(t)} \quad (4-2) \\ \text{constraints : } & S \geq 0 \\ & D - \frac{8S}{16t} \geq 0 \end{aligned}$$

5) ピーク削減の理論値

このモデルを用いて, 需要家の電力需要ピークの削減を計算する。

蓄熱導入の分析に際して不確定な要因が二つ考えられる。最も不確定な要素は, 蓄熱槽のコスト (P_s) である。蓄熱槽のタイプ (水蓄熱/氷蓄熱) や設置スペースはビルの構造等個々の需要家の条件に大きく依存する。そのため, ビルの改築工事等を含む蓄熱槽の設置に要するトータルコストは, 個々の需要家によって大きく変化することが予想される。

もう一つ不確定な要因は, 需要家ごとの熱需要のパターンである。上記のモデルでは, これを需要時間変数とし, $t (0 < t \leq 1)$ として表現した。

以上二つの要因をパラメータにとり, ピーク削減率を計算した結果が, 図-9である。横軸: 昼間の需要時間率 (t), 縦軸: ピーク削減率 で, それぞれは, 蓄熱槽設備コストの低めケース, 高めケースである。図からわかるとおり, ピーク削減率の曲線は, 双曲線になる。これは, 現行の料金体系では昼夜の価格差

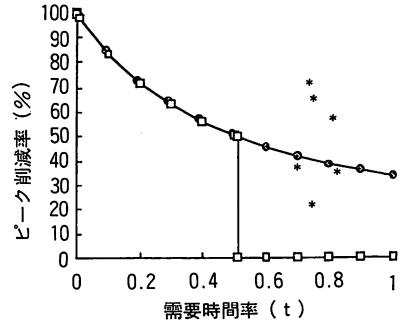


図-9 蓄熱によるピーク低減 (一需要家当たり)

よりも基本料金の方が設備導入規模に強い影響を与えるからである。この同一の双曲線上で導入されるかされないかの境界が, 蓄熱槽設備コスト (P_s) で決まる形になる。すなわち, P_sが高いケースでも, 需要時間率 (t) が低い場合, 小さい設備容量で対応でき, そのコストが蓄熱システムを導入しない場合の昼間の電力基本料金の増分より少なくてすむため, 需要家は蓄熱システムを導入することになる。しかし需要時間率 (t) が高くなり, 設備容量が増加するとこれら導入のコストメリットがなくなるため, 蓄熱システムは導入されない。図-9の場合, この境界が約 t=0.5 となっている。P_sが高くなるとこの境界が双曲線状を左に移動し, 逆にP_sが低くなると右に移動することになる。したがって t を固定して考えた場合, P_sの値によってピーク削減率は0かこの曲線上の値かのどちらかとなる。

需要家のほとんどは, 昼間の時間帯で4時間~12時間 (t=0.25~0.75) にわたり熱需要がある。こうした需要家が蓄熱システムを導入した場合 (すなわち, 導入がコストに見合うと判断した場合), その導入規模は, 熱需要ピークの約65%~40%になることが推測される。このことは, 次に示す調査データの分析から得られるピーク削減率が論理的に妥当なものであるかどうかの判断に大いに役立つといえる。

4.2 調査データとの比較

次に, 付録2の29事例のデータから, ピーク削減率を計算して, 理論モデルの結果と比較する。ピーク削減率の計算のためには, 時間毎のヒートポンプの電力使用量データ, 蓄熱槽への熱供給量データ, さらに蓄熱槽に対する熱需要量データが必要である。この3つが測定されている事例は29事例のうち, 6事例であった。この6事例それぞれについて, 蓄熱槽に対する熱

需要データを前章で定義するCOPで除し、蓄熱システムがなかったと仮定した場合の電力需要を毎時間ごとに計算した。これと時間毎のヒートポンプ電力使用量データとの差をとることにより、蓄熱システムによる電力需要パターンの変化を計算することができる。この変化の12時～17時までの平均をピーク削減率とする。これらを、需要のある時間数を昼間時間数(16)で除した値をtとして、事例毎にもとめた。さらに、これらを図-9に併せてプロットした。基本統計量(平均と分散)は次の通りである。

昼間需要時間率：平均=0.7677 標準偏差=0.0178
 ピーク削減率：平均=47.33 標準偏差=8.353
 前セクションの最適化モデルによる理論分析の結果と平均値がほぼ一致することがわかる。

4.3 夏季システムピーク削減効果

現在蓄熱式ヒートポンプの普及率はあまり高くなく、電力供給者の全需要に比べれば大変小さい。そこで、ここでは、過去において積極的に導入が図られたと仮定して、最大限どれだけの最大電力需要削減に寄与しえたかを推定してみる。

前章にて1983年～1990年にかけての当該電力供給者システムピーク発生時の業務用冷房電力需要の推定値を計算した。いま仮に、1983年から新設される業務用建物でヒートポンプ式の空調が採用される場合、その全てが蓄熱装置を併設する「蓄熱式ヒートポンプ空調」と仮定する。この場合、1983年以降の業務用冷房電力需要の推定値の年増加分に対して、前節または前々節で計算した一需要家当りのピーク削減が累積されることになる。この削減率を前節で算出したピーク削減率の平均0.47と仮定して、蓄熱式ヒートポンプの普及によって影響を受けた当該電力供給者システムピーク

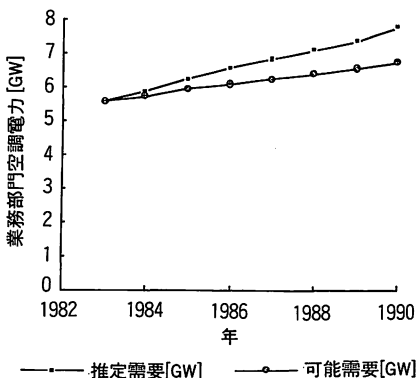


図-10 蓄熱式空調普及に伴うシステムピーク低減

表4 蓄熱式空調普及のシステムピーク低減寄与率

年	全系ピーク [GW]	低減分 [GW]	全系ピーク低減寄与率(%)
1983	33.6	0.00	
1984	35.7	0.128	0.36
1985	36.8	0.301	0.82
1986	37.7	0.463	1.23
1987	40.1	0.580	1.45
1988	42.0	0.702	1.67
1989	43.7	0.836	1.91
1990	49.3	1.028	2.08

ク発生時の業務用冷房電力需要を算定した結果が、図-10である。7年間で、累積約1GWの低減が可能であったことがわかる。

さらに、当該電力供給者システムピークに対する比率を計算し、システムピーク低減への寄与率とする。その推定結果を表4に示す。7年間で最大2.1%のシステムピーク低減の可能性があり得たことがわかる。

以上の推定では、1983年以降の床面積増加を全て建物の新設であると仮定しているが、実際の増加分は新設と廃棄の差によって決まることになる。したがって、より正確な推定のためには建物の廃棄を考慮に入れる必要があり、図-10や表4の数値はやや正確さに欠けることは否定できない。しかし、オーダーとして大きな相違は無いと想像される。業務用空調電力が夏季システムピークを大きく押し上げていると推測される近年、こうした蓄熱式空調システム普及の影響の試算は大変興味深く、政策的観点からも重要な意味を持つものである。

5. おわりに

業務用蓄熱式ヒートポンプ空調の普及が電力供給者の夏季最大需要(システムピーク)に与える影響を評価するための方法論を提示した。

はじめに、当該電力供給者での調査データを分析し、業務用冷房電力需要を需要家の規模(延床面積)の関数としてモデル化した。このモデルは、熱需要のモデルと成績係数(COP)のモデルからなる。こうした分析結果は、他に例がなく、極めてオリジナリティーが高いと思われる。次に、建設統計データを用いて業務用需要家の延床面積分布を分析し、その分布関数をモデル化した。以上の分析から、夏季システムピーク発生時における業務用冷房電力需要を推定した。

さらに、需要家個々人の蓄熱式ヒートポンプ空調シ

表5 蓄熱式ヒートポンプ運転実績調査概要

No.	Electricity Consumption ^{*)}								Thermal Energy ^{**)}											
	Daily Loud Data				Monthly Data				Daliy Load Duta				Monthly Data				Anual Data			
	Total	Night	Day	Terms	Total	Night	Day	Terms	Total	Th-Ld	Th-St	Terms	Total	Th-Ld	Th-St	Terms	Total	Th-Ld	Th-St	Terms
1	C	C	C	89/8, 90/1	C	C	C	89/4-90/3	C	C	C	89/8, 90/1	C	C	C	89/8, 90/1	I	I	I	89/6-90/2
2		C	C	89/8, 89/1	C	C	C	88/10-89/9	C	C	C	89/8, 89/1	C	C	C	89/8, 89/1	C	C	C	89/1-89/12
3	C			88/7, 89/1	C	C	C	88/4-89/3	C	C	C	88/8, 89/1					C	C	C	88/4-89/3
4		C	C	86/8, 87/2	C	C	C	89/4-90/3		C	C	86/8, 87/2								
5		C	C	86/7, 86/12	C	C	C	89/4-90/3		C	C	86/7, 86/12						I	I	
6		C	C	89/8, 89/21		I	I	88/10-89/9	C	C	C	89/8, 89/2	C	C	C	89/8, 89/12	C	C	C	88/10-89/9
7		I	I	90/2	I	I	I	90/6-91/3	I	I	I	90/3	C	C	C	90/8, 90/11		I	I	90
8		C	C	90/8						C		90/8		C		90/8				
9		C	C	88/8, 88/12C		C	C	88/4-89/3		C	C	88/8, 88/12		C	C	88/8, 89/1		I	I	88/6-89/3
10		C	C	86/8, 87/2	C	C	C	89/4-90/3		C	C	86/8, 87/2								
11	C	C	C	90/8					C	C	C	90/8								
12					C	C	C	89/4-90/3	C	C	C	87/8, 88/2	C	C	C	87/8, 88/2				
13					C	C	C	89/4-90/3			C	87/8, 88/2		C		87/8, 88/2			C	87/4-88/3
14		C	C	90/8, 90/1	I	I	I	89/4-90/3		C		90/8, 90/1	C	C	C	90/8, 90/1	I	I	I	90
15	***)I		C	85/8, 86/2	C	C	C	89/4-90/3	C	I	I	85/8, 86/2					C	I	I	85/10-86/9
16					C	C	C	89	C	C	C	89/8, 89/1								
17									C	C	C	87/8, 88/2					I	I	I	87/6-88/2
18					C	C	C	88/3-89/2	C	C	C	88/7, 8	C	C	C	88/8, 89/1	C	C	C	88-89
19		C	C	87/9, 88/2	C	C	C	87/4-88/3	C	C	C	87/9, 88/2								
20		C	C	89/5, 7, 8	C	C	C	90/4-91/3	C	C	C	89/7, 90/1							C	89/4-90/3
21					C	C	C	88-89			C	88/8, 89/1	C	C	C	88/8, 89/1	I	I	I	88/7-89/3
22					C	C	C	87/12-88/11					I	I	I	87/12, 88/81		I	I	87-88
23		C	C	90/8	C	C	C	89/12-90/3			C	90/8			I	90/8			I	90
24	I	C	I	89/2, 89/7	C	C	C	89/1-89/12		C	C	89/2								
25		C	C	89/6, 8, 9	C	C	C	89-90	C		C	89/8, 11	I		I	89/8				
26					C	C	C	87/4-88/3					C	C		86/12, 87/81		I		86-87
27																				
28					C	C	C	89/4-90/3												
29					C	C	C	89/4-90/3							C	90/1, 8			I	90

C—Complete data
I—incomplete data
Black means so data.

Note) *) Elecircity consumption for heat pumps and thermal storage devices.
(Total : Total electricity usage including lights, computers, etc.)

**) Thermal energy required for heatig & cooling.
(Total : Total energy required.

Th-Ld : Thermal energy load which is satisfied by thermal storage devices.
Th-St : Thermal energy storage which is chaged by heat pumps.)

***) The customer of No.15 introduced their storage devices in July, 1988. Thus the data includes sno impacts of storage devices.

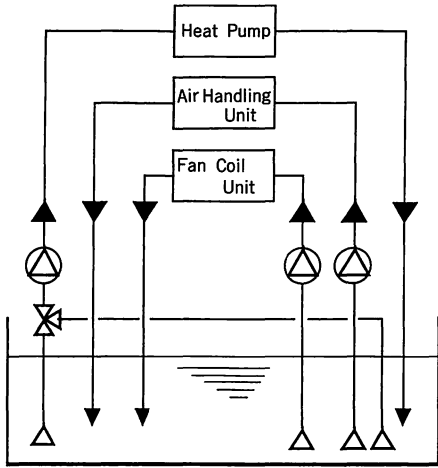


図-11 蓄熱式ヒートポンプ空調システムの概念図

システム導入行動を単純化された最適計画モデルで記述し、蓄熱式ヒートポンプ空調システム導入による需要家個々人のレベルの冷房用最大電力需要の削減率を分析した。この結果は、調査データからの計算値とよく一致した。最後に、これら個々人のレベルでの削減率を積み上げた形で、蓄熱式ヒートポンプ空調の普及によるピークカット効果をいくつかの仮定の下で試算した。

現在のところ、蓄熱式空調システム普及のシステムピーク低減効果を定量的に評価する手法は十分に確立されていない。本研究はそうした手法の一つの可能性を示すものである。今後より正確な推定を行うためには、より多くの調査データの蓄積が必要である。

付録1：蓄熱式ヒートポンプ空調システム

蓄熱式ヒートポンプ空調システムは、熱源機となるヒートポンプに蓄熱槽を組み合わせた空調システムである。(ヒートポンプとしては、電力で圧縮機を駆動するものが最も一般的であるので、本論文では特に断らない限り電気式のを単にヒートポンプと呼ぶこととする。)蓄熱空調の概念的な構成図を図-11に示す。通常の空調システムにおいては、ヒートポンプによって作られた冷水(または温水)が直接エア・ハンドリング・ユニットまたはファンコイルユニットへ送られる。これに対して蓄熱式では、冷水(または温水)はいったん蓄熱槽を介してから各ユニットへ送られることになる。

業務用では、ビル屋上にヒートポンプを、地下に蓄熱槽を設置し、業務用蓄熱調整契約を利用して、夜間

の割安な電力で冷水(夏季)または温水(冬季)を蓄え、昼間に空調用として使用する形が一般的である。蓄熱媒体として水を使う「水蓄熱」が最も普及しているが、「氷蓄熱」も利用されている。

付録2：蓄熱式ヒートポンプ採用需要家の運転実績調査

蓄熱システムの省エネルギーへの寄与を把握する目的で、関東圏の蓄熱式ヒートポンプ採用需要家の運転実績調査を電力供給者で行なった。1985年～1990年の6年間に渡って調査した需要家は29件で、それぞれについて、

- ビル空調設備の概要
- ヒートポンプおよび蓄熱槽の運転実績等を調査した。

この29件の需要家についての調査によって収集されたデータは、表5のとおりである。この表からわかるとおり、各件毎のデータ形式は統一されていず、計測日数も少ない。さらに、計測されたデータの中にも、やや信頼性に乏しいと考えられるものも多い。しかし、この種の調査は他に例がなく、蓄熱式ヒートポンプ空調の動向を知る上で大変貴重なデータの一つと考えられる。

付録3：ビル内空調対象延床面積について

一つのビル内で空調の対象となるスペースの合計を空調対象延床面積と呼ぶことにする。これは、ビルの延床面積の約5～7割であるが、需要家によって異なり一定していない。先に挙げた29事例の調査(内、空調対象延床面積とビル延床面積の両方のデータがあるものは、19事例)を分析した結果、次の数値を仮定することにする。

$$(\text{空調対象延床面積}) = 0.61x(\text{ビル延床面積})$$

なお、直感的には、この数値は需要家の業種により異なることが予想される。しかし、先の19事例からは、サンプル数が少ないこともあって、統計的に有意な差は見られなかった。

参考文献

- 1) 建設省
「建設統計要覧 平成6年度版」
(財)建設物価調査会(1994)
- 2) 日本エネルギー経済研究所
「エネルギー・経済統計要覧'94」
(財)省エネルギーセンター(1994)
- 3) 財団法人ヒートポンプ技術開発センター
「日本のヒートポンプ 1992年」
(財)ヒートポンプ技術開発センター(1992)