

電力負荷曲線(ロードカーブ)の実績推計について

本告光男・田中庸平・久野源三

概要

電気事業では公益私企業の性格上、供給責任とコスト低減の二律背反する目標を同時に満足させるため、的中率の高い電力需要想定をすることが要求され、契約種別別・産業(用途)別・電圧別の電力負荷曲線による想定方法がその有力手段となっている。

筆者らは、想定結果の的中率を向上させるために不可欠である、高精度の電力負荷曲線の実績推計に取り組んだ。まず、分析によって、標本調査を要するものを洗い出し、コスト当りの精度向上を狙った標本設計・標本抽出を行なった。ついで、調査結果に対して論理的なエラーチェックを行なった後、調査時間のずれを修正し、全社拡大についても精度向上に意を尽した。なお、人間系によるミスを防止するため、現場調査以外の全作業をすべてコンピュータ・システム化し、信頼度向上と省力化をはかった。

1. はじめに

電気はストックの利かない商品であり、かつ、生活に欠かせないエネルギーであるので、どの時点においても(供給力)≥(需要)の関係を満足しなければならない。したがって、電力の供給力としては(年間最大需要+予備力)をもたなければならないと同時に、経済性が追求される。

年間最大需要の予測には過去の時系列データから予測する方法などもあるが、昨今の社会情勢は冬ピークから夏ピークへのシフト、産業構造の変化、家庭へのクーラーの急速な普及など、年々需要構造は大きく変化しており、さらにきめ細かな予測が要求されている。そのための実績把握の手段として、電力負荷曲線(ロードカーブ)の実績推計は不可欠なものである。また、このロードカーブ

を推定することは電力関係諸計画の基礎的な情報としてきわめて重要である。

今回、従来から行なわれていた契約種別々、産業(用途)別、電圧別のロードカーブの作成方法を体系化し、あわせて統計的な方法を具体的に展開し精度の向上をはかり、総合的なシステムとしたのでここに紹介する。

2. システムの概要

このシステムの全体像を図1に示す。以下、この図に沿って説明する。

3. 事前検討

ロードカーブ作成に当り、その方法を検討した結果、3つのグループに大別できる。

(1) 標本調査種別グループ

年々の変化が大きく、標本調査を必要とする5つの契約種別。

(2) 大口契約種別グループ

需要家から8月第4水曜日の時刻別電力使用実績を入

ひとココメント

電力需要について送電端でのトータルの負荷は正確に測定できる一方、需要は広く散在しているため需要の種別ごとのロードカーブすなわち任意の時刻における需要種別ごとの負荷構成を計測することは大変むずかしい。

本研究は、トータルのロードカーブを与えたいうでの需要種別ごとのロードカーブを求める合理的方法を、より実践的な立場から示したことに主たる意義があるように思う。現実にはこういう負荷予測を行なっている電気事業担当者にとって、調査費用をおさえながら、精度高く想定を行なうことができ、さらには策定作業のシステム化までなされているということは大いに参考となるものであろう。(森清 堯)

もとおり みつお、たなか ようへい、くの げんぞう 中部電力(株)

手できる4つの契約種別。

(3) 非調査種別グループ

年々のロードカーブのパターンの変化が少ない10種の契約種別。

3.1 サンプルング方法の検討

標本調査を行なう5つの契約種別について、どのような層別法が良いか検討した。記号について以下のよう

N ; 全社需要家数

k ; 層別の数

N_i ; 層 i の需要家数

n ; 標本数合計

n_i ; 層 i の標本数 $n = \sum n_i$

μ ; 1 需要家当りの平均使用電力量

μ_i ; 層 i の 1 需要家当りの平均使用電力量

σ^2 ; 1 需要家当りの使用電力量の分散

σ_i^2 ; 層 i の 1 需要家当りの使用電力量の分散

x_{ij} ; 層 i からとった j 番目のサンプルの電力量

\bar{x}_i ; 層 i の 1 需要家当り使用電力量の標本平均

\bar{x} ; 1 需要家当りの使用電力量の標本平均

(1) 層別をした場合

誤差率 $\epsilon = (\text{真値} - \text{推定値}) / (\text{真値})$
 $= (\sum N_i \mu_i - \sum N_i \bar{x}_i) / (\sum N_i \mu_i)$

とすると,

$E(\epsilon) = 0$

$V_1(\epsilon) = (\sum N_i^2 \sigma_i^2 / n_i) / (\sum N_i \mu_i)^2$ ①

$\sum n_i = n$ の制約下で $V_1(\epsilon)$ を最小にする n_i のとり方は、

ラグランジェの未定乗数法より求まり、
 $N_1 \sigma_1 / n_1 = N_2 \sigma_2 / n_2 = \dots = N_k \sigma_k / n_k = \lambda$

λ ; ネイマン比となる[1]. ①式より、

$n = V_1(\epsilon) \cdot (\sum N_i \mu_i)^2 / \lambda^2$ ②

(2) 層別をしない場合

同様に、 $\epsilon = (N\mu - N\bar{x}) / N\mu$

$V_2(\epsilon) = \{\sigma^2 / (n \cdot \mu^2)\}$ ③

③式より、

$n = (\sigma / \mu)^2 / V_2(\epsilon)$ ④

(3) 層別方法の比較

層別方法としてつぎの3つとその組合せを考える。

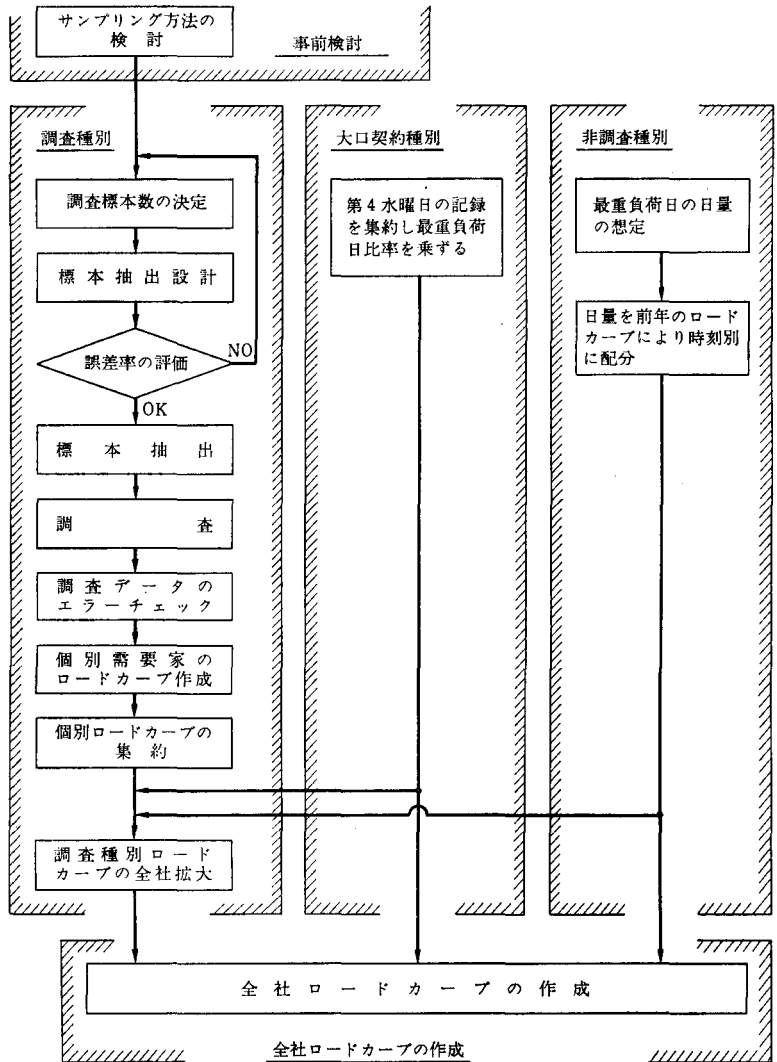


図1 ロードカーブ実績推計システムの全体像

- 支店(社)別に層別
 - 容量別に層別
 - 地区特性別(繁華街, 商業地, 市内住宅地, 等)に層別
- 全社の時刻別使用電力量データはないので, その代用として8月検針分の月間電力量を用いて検討した結果を表1に示す。

この結果から, 容量による層別の効果がとくにいちじるしく, 支店(社)別, 地区特性別の効果があまりないことが判明した。

4. 標本調査種別のロードカーブ作成

4.1 調査標本数の決定

誤差率の評価によって決定される。場合によっては, 予算制約があったり, 重点調査種別の割増を行なう。

表 1 層別方法の検討結果

	誤差率の標準偏差			サンプル倍数(倍)		
	従量 甲乙	従量 丙	低圧	従量 甲乙	従量 丙	低圧
層別しない	1.421	6.402	11.056	1.604	2.295	3.321
容量別	1.131	4.510	6.566	1.016	1.139	1.171
地区特性格	1.417	6.328	10.986	1.595	2.242	3.279
支店別	1.418	6.323	10.909	1.597	2.239	3.233
地区・容量	1.130	4.436	6.422	1.014	1.102	1.120
支店・地区	1.413	6.243	10.669	1.586	2.182	3.092
支店・容量	1.128	4.445	6.442	1.011	1.106	1.127
支店・地区・容量	1.122	4.226	6.067	1.000	1.000	1.000

4.2 標本抽出設計

需要家を契約種別々、産業(用途)別、容量別に層別し、各層からの抽出需要家数を n_{kjl} とすると、信頼度95%のときの誤差は次式で与えられる。

$$\epsilon_k^h(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^{j_k} \sum_{l=1}^{l_k} N_{kjl}^2 \sigma_{kjl}^2 / n_{kjl}}}{\sum_{j=1}^{j_k} \sum_{l=1}^{l_k} \mu_{kjl} N_{kjl}^h} \times 1.96 \times 100 \quad (5)$$

ただし、

ϵ_k^h ; k 契約種別、時刻 h の誤差率

j_k ; k 契約種別の産業(用途)数

l_k ; k 契約種別の容量区分数

N_{kjl} ; k 契約種別、 j 産業、 l 容量区分の全需要家数

n_{kjl} ; k 契約種別、抽出需要家数

μ_{kjl}^h ; k 契約種別、時刻 h の平均使用電力量

σ_{kjl}^h ; k 契約種別、時刻 h の使用電力量の標準偏差

$\mu_{kjl}^h, \sigma_{kjl}^h$ は前年のロードカーブ調査結果から推定し、抽出需要家数を決めるとネイマン比より各時刻別に n_{kjl} が求まるが、それらについて⑤式から誤差率を計算し、

$$\text{Max}_{h,k} \epsilon_k^h \longrightarrow \text{Min}$$

となるものを選ぶ。

ただし、 $h \in \{\text{ピークとなりうる時間帯}\}$

4.3 標本抽出

(1) 調査方法

調査員は午前8時から午後8時まで毎時1回ずつと、翌朝8時に与えられた需要家を順次まわり電力量計の指示値を記録する。

調査期間は最重負荷日となる可能性のある期間とした。

(2) 調査員1人当たりの調査需要家数 n_p の決定

○コストメリットから n_p は大きいほうがよい。

○精度のうえでは毎時ちょうど時間に調べるのが理想

的である。調査時刻のずれは補正するものの、 n_p が大きくなれば時間ずれも大きくなり精度は悪くなる。

n_p を決定するに当たり、後述の抽出方法によって抽出された需要家を、われわれORマンが調査員と同じ条件でまわってみた。その体験から1人15戸が限度であることがわかった。

(3) 需要家抽出の方法

調査する需要家の位置がバラバラに離れていては移動に時間がかかり、調査員も大変であるし精度も悪くなる。また、手作業による標本抽出ならば距離が近い需要家を選ぶことはそれほど困難ではないが、

機械的に行なうことは一般にむずかしい。幸い、当社の需要家コードは、検針日別・検針順につけられているので、これを利用し、抽出比率の高い契約種別のデータが多く存在するところから集中的に抽出することとした。

この方法は、地区特性による差があまりないことから許容される。

4.4 調査

調査は専門の調査会社へ委託しており、調査がきちんと行なわれているかどうかを抜取検査で確認している。

4.5 調査データのエラーチェック

調査需要家の8月の契約容量・使用電力量を付加し、以下のエラーチェックを行なった。

- (1) ある時間帯の使用電力量 \leq 契約容量 \times 時間 $\times 1.2$
(2割のオーバーロードを許容)
- (2) 調査日 \times 日量 $\times 15 \leq$ 8月月量 \leq 調査日 \times 日量 $\times 31$
(使用電力量の多い時期に調査しているから)
- (3) 契約容量 $\times 2 \leq$ 調査日 \times 日量 \leq 契約容量 $\times 24$
- (4) メーター指示値が時間経過順に大きくなっていること

4.6 個別需要家のロードカーブ作成

(1) 調査時間ずれの修正一電力量の時間帯別配分

調査時間のずれは、図2に示すように2つのパターンに分類でき、それぞれの時間帯別配分電力量は、前年のロードカーブを用い以下のように求める。

○パターン1 $A_h = a$

○パターン2 $A_{h+l} = P_{h+l} t_{h+l} a / (\sum_{j=0}^{k+1} P_{h+j} t_{h+j})$

$$0 \leq l \leq k+1$$

$$k \neq 0 \text{ のとき } t_{h+k} = 60(\text{分})$$

ここで P_h ; 前年のロードカーブ

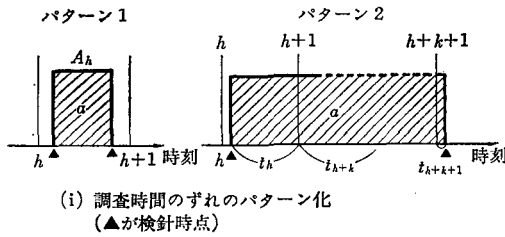
h ; 時刻

A_h ; h 時間帯への配分電力量

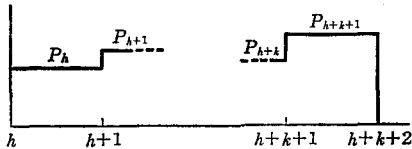
a ; つぎの検針時点までの使用電力量

(2) 各時間帯別の電力量の計算

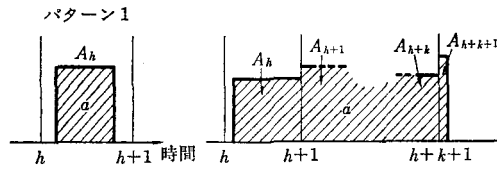
(1)で求めた同一時間帯内の電力量の総和。



(i) 調査時間のずれのパターン化 (▲が検針時点)



(ii) 昨年のロードカーブのパターン



(iii) 調査時間のずれの補正後のロードカーブ

図 2 調査時間のずれの補正方法

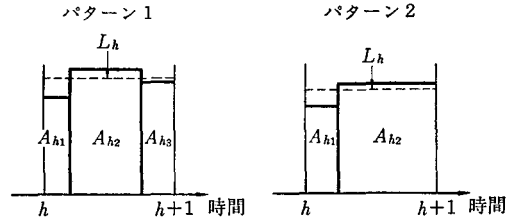


図 3 同一時間帯の電力量の和

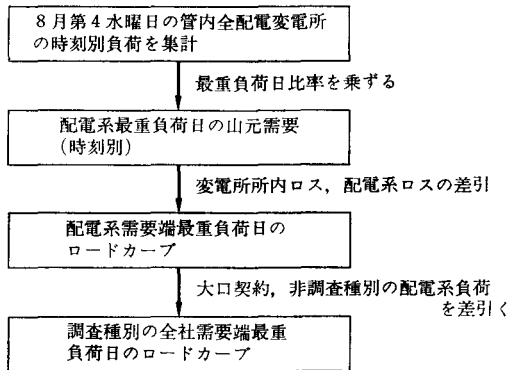


図 4 調査種別の全社ロードカーブの求め方

図 3 のパターン 1 では $L_h = A_{h1} + A_{h2} + A_{h3}$

パターン 2 では $L_h = A_{h1} + A_{h2}$

4.7 個別ロードカーブの全社拡大

(1) 調査種別の全社トータル負荷(時刻別)

調査種別の全社ロードカーブの求め方を図 4 に示す。

(2) サンプルロードカーブの全社拡大

拡大方法として口数比, 契約容量比, 電力量比が考えられ, これらの 1 次結合によるものとする。まず第 1 に, 日電力量(日量)を調整する。

○日量の調整

口数比 $D = \alpha_1 (\sum_k d_k \cdot N_k / n_k)$

契約容量比 $D = \alpha_2 (\sum_k d_k \cdot Y_k / y_k)$

表 2 日量調整係数の算出結果

拡大方法	全口数	全契約 kW	全月量
	サンプル口数	サンプル契約 kW	サンプル月量
従量電灯 甲乙	1681.6	1650.7	1593.3
従量電灯 丙	1202.2	1302.3	1392.1
低圧電力 一般	1522.8	1452.1	2020.5
業務用電力	20.4	16.8	22.6
高圧電力 甲	32.9	28.5	35.6
日量調整係数 α_i	0.93	1.02	0.86

電力量比 $D = \alpha_3 (\sum_k d_k \cdot M_k / m_k)$

D ; 調査種別の全社需要端日量

d_k ; 契約種別 k のサンプル日量計

N_k ; " 全社口数

n_k ; " サンプル口数計

Y_k ; " 全社契約容量

y_k ; " サンプル契約容量計

M_k ; " 全社月間電力量

m_k ; " サンプル月間電力量計

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$; 日量調整係数

この結果を表 2 に示す。

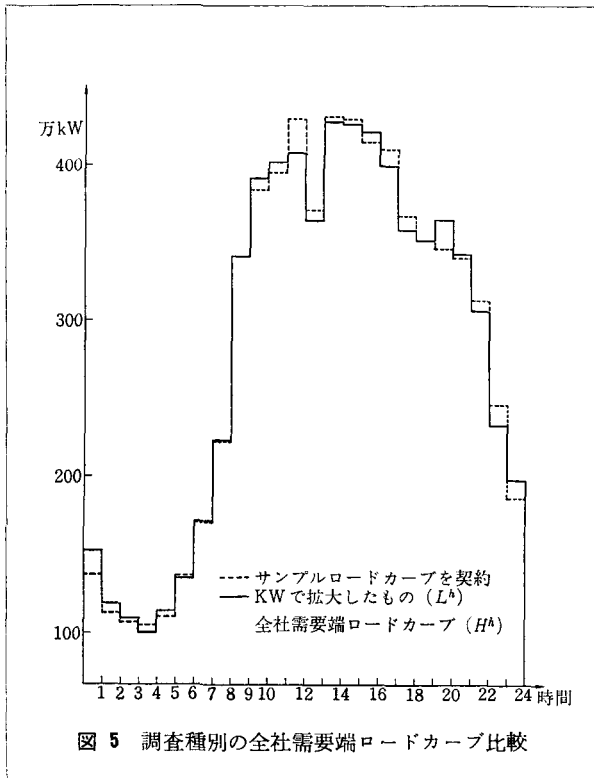
○時刻別負荷量の調整——契約種別々ロードカーブを求めると。

調査種別の全社拡大後のロードカーブ L^h を口数比・契約容量比・電力量比の 1 次結合で想定する。

$L^h = w_1 \alpha_1 (\sum_k l_k^h \cdot N_k / n_k) + w_2 \alpha_2 (\sum_k l_k^h \cdot Y_k / y_k) + w_3 \alpha_3 (\sum_k l_k^h \cdot M_k / m_k) l_k^h$; 契約種別 k の時刻 h のサンプル負荷計 w_1, w_2, w_3 ; ウェイト $w_1 + w_2 + w_3 = 1$

ウェイト w_j は, 調査種別の全社ロードカーブ H^h と調査種別の全社拡大後ロードカーブ L^h との差 ($e^h = H^h - L^h$) ができる限り小さくなるように求めればよい。

今 w_j を $\sum w_j = 1$ のもとで, 0.1, 0.2, ..., 1.0 と変化させて, 各ケースについて,



$e_k^h = L_k^h - \alpha_2 \sum_j l_{kj}^h Y_{kj} / y_{kj}$
 j は産業(用途)別を示す。
 誤差修正後のロードカーブは L_{kj}^h は、

$$L_{kj}^h = \alpha_2 l_{kj}^h Y_{kj} / y_{kj} \{1 + e_k^h / (\alpha_2 \sum_j l_{kj}^h Y_{kj} / y_{kj})\}$$

5. 大口契約のロードカーブ

全需要家から8月第4水曜日の時刻別使用電力量の実績データをいただき、それを契約種別々産業(用途)別電圧別に集約し、最重負荷日比率を乗じて求める。

6. 非調査種別のロードカーブ

8月の月量に最重負荷日の日量比率を乗じて最重負荷日の日量を想定し、これを前年のロードカーブにより毎時間に配分して求める。

7. 全社ロードカーブの作成

以上によって求めた需要端ロードカーブを基礎として、これに電圧別送電・配電ロス、送電変電所・配電変電所の所内ロスを加算し、送電端ロードカーブを求め、最重負荷日の実績と比較し、誤差を各契約種別々産業(用途)別電圧別ロードカーブに比例配

$$\frac{\text{Max}_i |e^h|, \sum_i |e^h|}{\text{Max}_i |e^h| / H^h}$$

を総合評価し妥当なウエイト w_j を決定する。

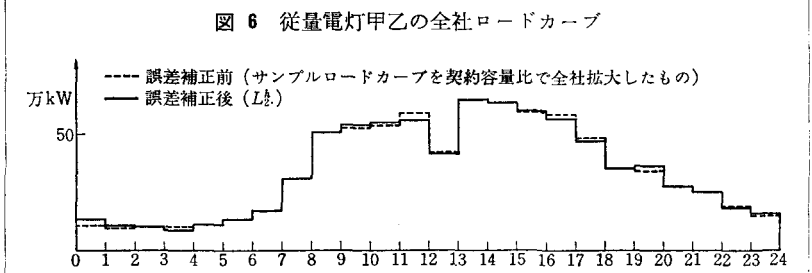
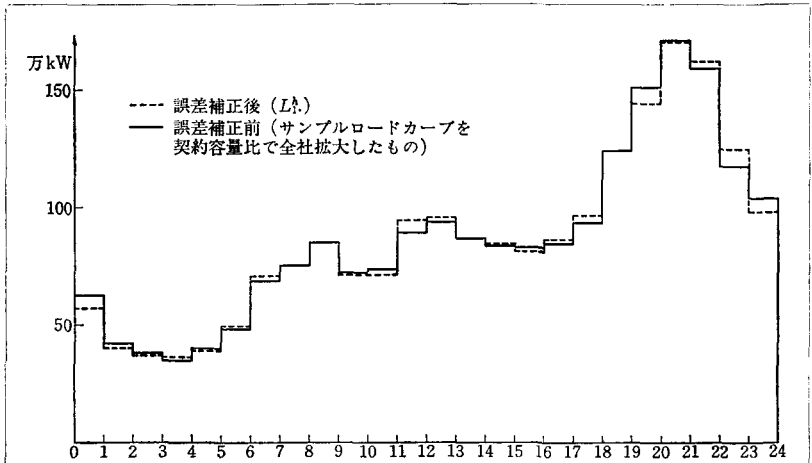
その結果、モデルの簡潔さも考慮して $w_2=1, w_1=w_3=0$ を採用、すなわち契約容量比で全社拡大した、 H^h と L^h を図5に示す。

ここで生じた各時間帯の誤差は各契約種別ごとの負荷の比で按分し、各契約種別々ロードカーブを求めた。誤差補正前と後を図6～図10に示す。

$$L_k^h = \alpha_2 l_k^h \cdot Y_k / y_k \cdot (1 + e^h / L^h)$$

(3) 産業(用途)別ロードカーブを求める。

契約種別ロードカーブから、契約種別々産業(用途)別ロードカーブにブレイクダウンするのも、(2)と同様に求める。誤差 e_k^h は、



分する。この結果を図11に示す。

8. まとめ

従来は精度の悪い点を経験者の勘でカバーしていたが、本システムにより精度はかなり改善され説得力のあるものとなった。さらに機械化による省力効果も大きい。

なお、本システムの続きとして、過去のロードカーブデータをもとに将来のロードカーブを予想するプログラムも別途作成し、営業部門の計画業務をサポートするシステムとなっているが、今回は割愛した。

参考文献

- [1] デミング著, 齊藤ほか訳
:「調査における標本設計」
日科技連

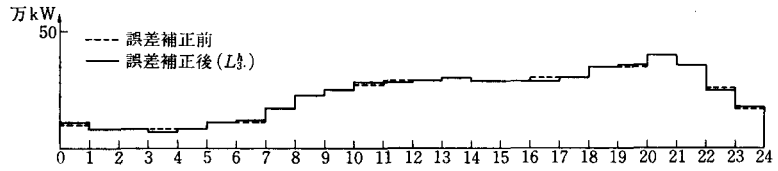


図 8 従量電灯丙の全社ロードカーブ

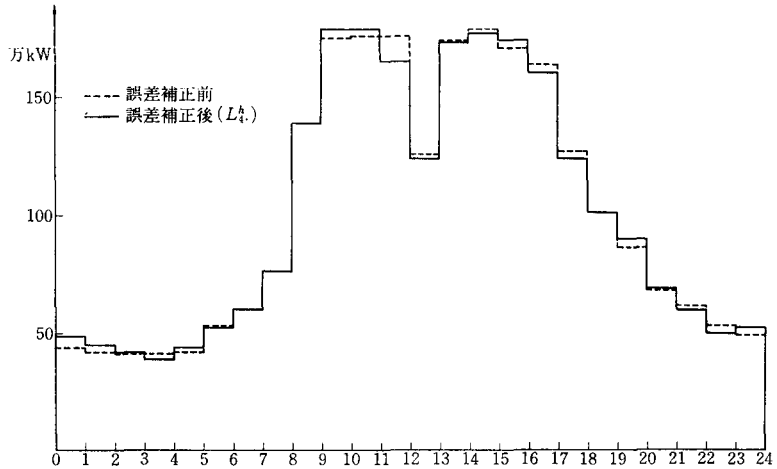


図 9 高圧電力甲の全社ロードカーブ

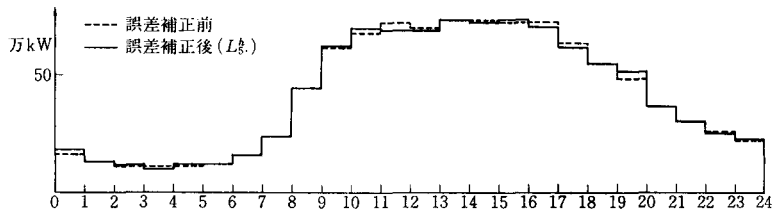


図 10 業務用電力 500 kW 未満の全社ロードカーブ

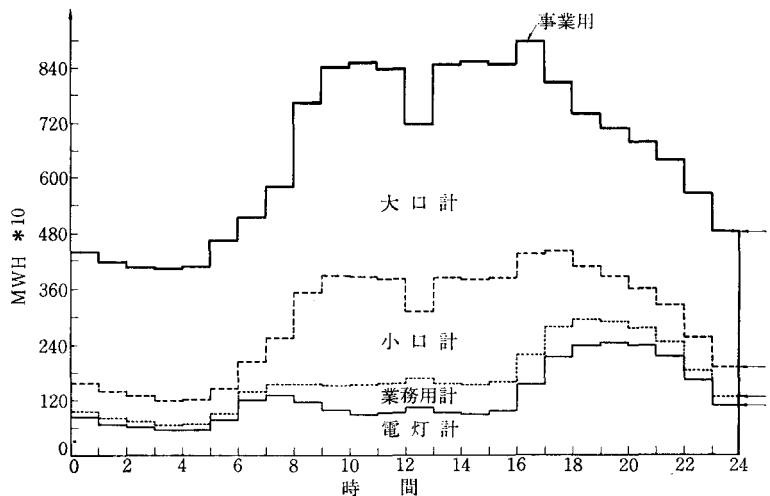


図 11 仕上りの全社ロードカーブ