

季時別料金制下における重電機製造業の 電力需要調整の評価*

キーワード：ロードマネジメント，季時別料金制，プロセス
モデル，重電機製造業，電力負荷特性

浅野 浩志 佐賀井 重雄
山地 憲治

〔要旨〕

スケジューリング・シミュレーション型のプロセスモデルを開発し、重電機製造工場をケーススタディの対象として電気料金構造に対する負荷の反応評価を試みた。予備的な考察から当該重電機製造工場においては季時別料金制によって操業計画の変更（リスケジューリング）が費用効果的になる操業ステップは大型発電機の試験ステップに限られることが明らかになったので、試験ステップに着目して料金制による負荷移行効果を解析した。試験ステップについては季時別料金制の採用によりそのステップの使用電力量の20～30%がピーク期からオフピーク期へ移行することが確認されたが、工場の年間を通しての全需要に与える影響はそれほど大きくはならない。今後は需要家側が蓄熱式空調、自家発電設備変更を含む総合的な季時別料金制対応策をとることを考慮した評価、および供給側がよりきめ細かい時間帯や料金差の設定、あるいは年間ベースではない弾力的な契約など、更に革新的な料金制度を提供する場合の検討が必要と考えられる。

- はじめに
- 重電機器産業およびタービン発電機製造プロセスの概要
- モデルの定式化とデータ
 - モデルの概要
 - 入力データ
- 電気料金構造とリスケジューリング
 - 試験ステップを除く製造ステップのリスケジューリング
 - 試験ステップのリスケジューリング
- 結語

1. はじめに

電力需要を積極的に望ましい方向へ誘導するロードマネジメントが、新しい電力経営方策の一つとして注目されている。なかでも、季時別料金制はロードマネジメントの重要な手段として注目され、現在適用需要家の拡大が図られつつある。本研究の目的は、電力消費形態が技術的要因と密接に結びついている産業用電力需要の料金制度に対する反応を、生産プロセスに基

づいた需要家行動モデルにより予測することである。すなわち、料金体系が与えられたとき、需要家が最も経済合理的な行動をとると仮定して、モデルを用いて電力負荷パターンを求める。特に産業用需要家は、生産コストの低減に敏感であるので、このシミュレーションの結果

* 本研究に当たっては、電力中央研究所内にロードマネジメント研究会を設置した。主査の東京大学工学部茅陽一教授をはじめ同研究会のメンバーから有益なコメントを頂いた。また、データの作成に際しては（株）東芝の長嶋勝三郎、長沼義隆両氏の全面的な協力を得た。ここに深甚の謝意を表す。

は現実の需要家の動きによく対応すると期待される。

このような観点から、著者らは最初の事例研究として典型的な素材産業である高炉一貫製鉄所の反応についての検討結果を報告した^{[1]~[2]}。今回は、加工組立て型産業の代表事例として電気機械工業を取り上げ、その中で、家電等の量産型ではなく受注生産を基本とする、重電機工場を検討の対象とした¹⁾。本報告における需要家行動モデルは、生産コスト最小化を目的とするスケジューリング問題として定式化する。基本製造工程およびエネルギー・電力消費構造を表す生産プロセスのモデルを作成し、人件費や電気料金構造等の投入要素価格の条件下で、所与の製品出荷量を最小コストで生産する準最適操業計画を求める。仮定する電気料金構造を変化させて、それに対する需要家の操業計画を介して、どのように電力負荷パターンが影響されるかを検討する。

2. 重電機器産業およびタービン発電機製造プロセスの概要

我が国の電気機械の生産額（従業員 30 人以上）が全製造業に占める割合は 17%（1985 年）に達しており、約 39 兆円である。電気機械の生産額のうち重電機器（原動機を除く）は 15% を占めており、その生産額は 5.7 兆円である^[3]。電気機械製造業全体の購入電力（1985 年）は約 183 億 kWh、重電機製造業で約 25 億 kWh である^[4]。電気機械製造業は 1986 年度の大口電力需要（9 電力会社計）の約 8% を占めている^[5]。電気機械製造業は、エネルギー多消費産業でないものの、リーディング・インダストリーとして電力需要に対して少なからぬ影響を持っている。

季時別料金制下における重電機製造業の電力需要調整の評価

1986 年のタービン発電機の製作実績は、51 台、総容量 11,000 MW で、輸出減が大きく利いたため総容量は 5 年平均の 9 割であった^[6]。対象工場のタービン発電機製作能力は年産約 5,000 MW に達するが、近年の出荷容量は 2,500 MW 程度にとどまっている。当該工場の主要出荷製品は、原動機、回転電気機械、原子力機器と多岐にわたるが、生産額の大きさおよび電力需要調整の観点から、大型タービン発電機をモデルでスケジューリングを行う対象製品とし、その他の製品の操業計画は固定する。生産形態は、受注生産方式を基本とし、受注から出荷まで 15~18 カ月と長期を要する。また、大型機器はオーダーおよび製造設備が少なく、スケジューリングが重要である。

事例工場の電力供給はすべて買電で賄われており、1986 年度の消費電力量は 5,790 万 kWh、生産高に対する電力コスト割合は約 1.2% である。電力需要の大きな変動要因は試験電力および冷房需要である。昼間に操業が集中し、しかも契約電力の 40~50% に達する試験電力を使用するため、年負荷率は 25%（1986 年度）とかなり低く、電力調整の余地が大きい。試験頻度は 2 件/月程度とそれほど多くはないが、必要な人員は少なく、夜間・休日シフトが期待できる。

製造プロセス計画は有限個の可能な経路の中から、最良のものを一つ選ぶという組合せ論の問題である。問題の規模を適切に設定するために、いかに作業工程を分割するかが鍵である。ここでは、電力需要、工数等のデータが十分な信頼性をもって計測されるレベルまで、表 2.1 に示すように製造工程を主要工程、ステップ、

1) 家電工場、半導体工場等については別途調査検討中である。

表 2.1 製造工程の階層構造

	数	例 1	例 2
主要工程	3	総組立	ロータ組立
ステップ	23	電気試験	シャフト
工程 (アクティビティ)	36~	短絡試験	スロット加工

アクティビティの3つの階層構造にブレークダウンする。まず、全製造プロセスは、ステーター、ローター、総組立の大きく3つの主要工程に分割される。ステーター主要工程では、タービン発電機の外形をなす固定子を製作する。ローター主要工程では、回転子を製造し、総組立主要工程で、これらの部品を組立て、電気特性試験を経て出荷する。電力消費のそれほど大きくないステップにおいては、ステップレベルで工数等所要入力パラメータを定義した。ステーター、ローター、総組立の主要工程ごとのステップ数はそれぞれ、7, 12, 4 で全ステップ数は23である。負荷調整上特に重要な電気試験ステップは、アクティビティレベルで所要入力パラメータを定義した。それぞれのタイムスパンは、主要工程で40日~7カ月、ステップで3日~4カ月、アクティビティで1日程度である。

3. モデルの定式化とデータ

3.1 モデルの概要

製造工程と操業上の特徴から、次のように長期、短期の階層的計画問題として定式化することが適切と考えられる。

- 1) 長期生産計画：各生産ステップを単位として年間の操業計画を立てる。
- 2) 製造ステップ計画：各ステップについて生産実施の時間的なプログラムを作成する。

長期の生産計画は、所定の期間において製品

の受注に伴って生ずる各ステップの作業をある評価基準の下で割付けるジョブショップ問題として定式化可能である。評価基準としては、スケジューリング理論における最短処理時間などが考えられる。今回は実例を参考にシナリオ設定したので、この長期生産計画はモデル化の対象としない。多くのステップで季時別料金制に伴う操業計画変更が繰り返される場合には整数計画法やグラフ解法を応用した最適化問題としての定式化が考えられる。

一方、短期の製造ステップ計画では、長期生産計画の結果を満足するように、どの仕事を、どの順序で、どの生産設備でいつ加工するかという詳細な実行計画を立てる。このときの目的関数は電力コストと労働コストとからなる短期操業コストである。さらに、電力コストは従量料金とダイヤモンド料金（基本料金）からなる。一般的に機械工業は、負荷率が低いので、電力コストに占めるダイヤモンド料金分がかなり大きい。

製造ステップ計画の計画期間は1カ月程度とする。1週間を週日（月~金曜日）、週末（土~日曜日）に分け、また、1日を第1ペリオド（8:00~12:30）、第2ペリオド（12:30~17:00）、第3ペリオド（17:00~22:00）、第4ペリオド（22:00~8:00）に分ける。

3.2 入力データ

主な外生条件と入力パラメータは対象とした工場の協力を得て以下のように設定した。 n 個の仕事（製番） $J_i, i=1, \dots, n$ はそれぞれ m_i ($\leq m$) 個の手順（アクティビティ）で構成されており、各手順 a_{ij} は m 台の機械 $M_j, j=1, \dots, m$ のいずれか1つによって処理されるものとする。各アクティビティに対し以下のようなデータが与えられているものとする。

μ_i : J_i の各手順を処理するために使用される

機械の順序をベクトルで表現したもの

p_{ri} : J_i の r 番目手順の処理時間 [hr]

r_i : J_i の開始可能時刻

d_i : J_i の締切時刻

$D_{ij}(a_{ij})$: 所要電力需要 [kWh/hr]

$L_{ij}(a_{ij})$: 所要労働力 [man*hr/hr]

e_p, e_o : 電力価格 [¥/kWh], p: peak, o: off
-peak

w_p, w_o : 賃金率 [¥/(man*hr)]

n_l : 期間内の操業移動可能なオフピーク時間
帯数, $l=we, n$; we =週末昼間, n =週日
深夜

N_{we}, N_n : 期間内の操業移動可能なオフピー
ク時間帯の集合

コスト・パラメータを表3.1に示す。入力条件として最も重要な料金体系、時間帯別賃金率については2ケースを設定し、感度解析を行う。曜日別・ペリオド別に季時別料金を設定し、ピーク・オフピークの従量料金比を季時別料金I

表 3.1 コスト・パラメータ

(A) 電気料金体系

時間帯区分	基本料金 [¥/kW・月]	従量料金 [¥/kWh]	
		季時別料金制 I	II
1 8:00~12:30	1,550	12.15	11.67
2 12:30~17:00	1,550	12.15	11.67
3 17:00~22:00	1,550	12.15	11.67
4 22:00~8:00	0	6.08	7.78

週末(土, 日)は全日オフピークとする。

均一料金制: 従量料金=10.8 [¥/kWh]

基本料金=1,550 [¥/(kW・月)]

(B) 賃金体系

時間帯区分	割増し率 I		割増し率 II	
	週日	週末	週日	週末
1 8:00~13:30	1	1.4	1	1.8
2 12:30~17:00	1	1.4	1	1.8
3 17:00~22:00	1.3	1.4	1.7	1.8
4 22:00~8:00	1.51	1.61	2	2.1

週日昼間の単価=1,324 [円/時]

季時別料金制下における重電機製造業の電力需要調整の評価

では2, 季時別料金IIでは1.5とした。比較のために用いる使用時間帯によらず一定の均一料金としては特別高圧契約の料金(5万kW以上)を参考にした。なお, 基本料金は季時別料金制と均一料金制で等しいと仮定し, 季時別料金制のオフピーク時間帯にはダイヤモンド料金を課さない。また, 労働時間帯別賃金率については夜間, 休日の割増し率を賃金率IIでは賃金率Iの1.3倍とし, 平日常勤の賃金水準は電気機械製造業の常用労働者給与(1985年)から算出した[7]。

4. 電気料金構造とリスケジューリング

4.1 試験ステップを除く製造ステップのリスケジューリング

ローターバランス試験ならびに電気試験ステップを除くステップについて季時別料金制導入による操業計画変更が起こり得るか簡単な検討を行う。大型タービン発電機の製造ステップは23あるが, そのうち部品の組立て, 塗装等大きな電力を消費しないものが12あり, リスケジューリングの検討対象から外す。この節では残り11ステップのうち, ローターバランスおよび電気試験の2ステップを除く施盤, 加熱炉等を使用する9ステップを対象にリスケジューリングの可能性を考察する。

リスケジューリング対象アクティビティを選択するための簡単な指標を定義する。すなわち, あるアクティビティを電気料金のピーク時からオフピーク時へ移行するとき, それに伴う人件費増に比して電力コスト節減が大きいという条件は次のように書ける。

$$D_{ij}p_{ri}(e_p - e_o) \geq L_{ij}p_{pi}(w_p - w_o) \quad (1)$$

ダイヤモンド料金は合成負荷に対してのみ意味

を持ち、ローターバランス試験、電気試験以外は操業移行の最大電力への影響は小さいので、ここでの電力コストは従量料金のみとする。いま、操業の移行に関しては、週日昼間（第1～2ペリオド）から週末昼間へ、週日の昼間から深夜（第4ペリオド）へ、の2通りが考えられる。

試験以外で最も電力消費の大きいステップはローターステップ#2（ローターシャフトのロット機械加工）である。ここで使用する旋盤の定格電力は120[kW]で、平均電力は時間稼働率50%を仮定すると60[kW]である。(1)式を用いて週日から週末へシフトするときのブレークイブ・ピーク/オフピーク従量料金差を求めると：

$$e_p - e_0 = I_{ij}(w_p - w_0) / D_{ij} = 17.7 [\text{¥/kWh}]$$

すなわち、操業時間帯移行の最も条件の緩い週末昼間へのリスケジュールでさえピーク/オフピーク従量料金差は、17.7[¥/kWh]以上必要となる。この季時別料金制を実現するとすれば、ピーク/オフピークの料金比が10以上で、かつ収入中立的な均一料金が15[¥/kWh]程度となり現状では考えられない。

その他の機械加工ステップで同様なブレークイブ kW/man ならびにピーク/オフピーク従量料金差を求めると：

ステーターステップ#2

$$B_{we} = 19 [\text{kW/man}], e_p - e_0 = 28.3 [\text{¥/kWh}]$$

ローターステップ#1

$$B_{we} = 16 [\text{kW/man}], e_p - e_0 = 33.1 [\text{¥/kWh}]$$

となり、現状なみの料金水準、賃金体系を前提とすると、季時別料金制導入による生産コスト削減は困難である。以上の予備的な検討結果からリスケジュール・モデルを使った詳細な考察対象をローターバランス試験および電気試

験ステップに焦点をあてる。

4.2 試験ステップのリスケジュール

1ヵ月程度の製造ステップ計画を扱えるスケジューリング・シミュレーションモデルのプロトタイプ（パソコン上で実行可能）を開発した。このモデルでは、計画期間の各時間帯（1日4期モデル）に作業を実行するかどうかを0-1で割当てると、計画期間にわたる電力負荷パターン、電力コスト、労働コストを計算する。このモデルはタービン発電機の全工程に適用可能である。

計画事例として、3台のタービン発電機の電気試験、1台の水車発電機の電気試験、および2台のタービン発電機のローターバランス試験の6台の製品試験を含む月の実操業計画を選んだ。ただし、簡単化のため水車発電機の電気試験およびタービン発電機のローターバランス試験の操業計画は固定し、3台のタービン発電機についてスケジューリングを行う。電気試験ステップのアクティビティ構成は、3台共通で初期耐圧試験から発注者立合い試験までの9アクティビティである。シミュレーションに用いたアクティビティ・データを表4.1に示す。

操業計画には十分な余裕があり、かつ電気試験の納期が固定されているため、完了時刻最小化等の通常のスケジューリングにおける評価基準はあまり意味がなく、むしろ対応策を作成する際の目的関数は電力コストと労働コストからなる短期運転コストとする。対応策を決めるアルゴリズム（スケジューリング・ルール）は、基本的には操業制約条件のもとでリスケジュールに伴う人件費増に比して電力コスト節減が大きいアクティビティについてのみシフトすることである。ここでの電力コストは従量料金のみを考える。なお、以下のアルゴリズムは最

表 4.1 試験ステップのアクティビティ・データ

(A) アクティビティ・セット

製番 activity no.	T/G1, T/G2, T/G3	H/G	R/B1	R/B2
1	初期耐圧	初期耐圧	R/B I	R/B I
2	準備	R/B I		
3	昇圧	R/B II		
4	短絡	準備		
5	開放	開放		
6	定数測定	短絡		
7	R/B I	準備		
8	R/B II	定数測定		
9	立合い	(立合い)		

(B) アクティビティ・データ

製番 activity no.	T/G1			T/G2			T/G3			H/G			R/B1			R/B2		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	9	1	6	9	1	6	9	0.5	6	9	3	6	45	2	6	63	3	6
2	9	0	4	9	0	4	4.5	0	4	9	4	6						
3	9	2	6	9	1.5	6	4.5	0.5	6	9	4	6						
4	9	5	6	9	4.5	6	4.5	1	6	9	0	4						
5	9	3	6	9	2.5	6	4.5	1	6	9	6	6						
6	9	2	6	9	2.5	6	9	1	6	9	6.5	6						
7	9	2	6	9	2	6	9	1	6	9	0	4						
8	9	2	6	9	2	6	9	1	6	9	4	6						
9	9	3	10	9	3	10	9	1	10	9	—	—						

各製番において、a：処理時間 [時]，b：所要電力 [MW]，c：所要人員 [人]，T/G：タービン発電機，H/G：水車発電機 R/B：ローターバランス

適スケジュールを保証するものではなく、1方向探索の局所最適解にすぎないことに注意する必要がある。スケジューリングで考慮される操業制約条件は次の6つである。

操業制約条件

- 1) 処理順序
- 2) 立合い試験は固定 (納期)
- 3) 着手可能日は1日までなら前倒し可能
- 4) 1日の作業時間は9時間 (通常の勤務時間) 以内
- 5) 同種のアクティビティの重複を避ける
- 6) 一般電力と合わせた電力負荷が契約電力を越えない

いま、3台の製品に関する試験が並列して処理され、かつ納期がずれている実例ケースをス

タート点として、次の2つのアルゴリズムにより最適スケジュールを探索する。つまり、製品内のアクティビティを電力多消費の順に優先して処理を割当てる方式 (アルゴリズムA) と、製品間の公平性を考慮して同一種類のアクティビティを納期の早い製品順に割当てる方式 (アルゴリズムB) を考える。以下に、両アルゴリズムを記す。

アルゴリズムA

S1) 製番 (i) についてアクティビティ (a_{ij}) を $EL_{ij}=D_{ij}/L_{ij}[\text{kW/man}]$ の大きいものから順に並べ、これらを $a_{ij(k)}$ とする (k : 順位)。次の部分集合に分類する。

$$A_1 = \{a_{ij(k)} | EL_{ij} > B_n\}$$

$$A_2 = \{a_{ij(k)} | B_{we} \leq EL_{ij} < B_n\}$$

$$A_3 = \{a_{ij(k)} | B_{we} \geq EL_{ij}\}$$

ここで B_l は (1) 式より導かれるブレイクイーブン kW/man 条件で次式で与えられる。

$$B_l = (w_p - w_0) / (e_p - e_0) \text{ [kW/man]} \quad (2)$$

B_l : breakeven kW/man, $l = we,$
 n ; $we = \text{weekday} \rightarrow \text{weekend},$
 $n = \text{daytime} \rightarrow \text{night}$

S2) A_1 について次の条件を満たすように、 k の順番にしたがってアクティビティ $a_{ij(k)}$ を割当てる。

- 1) 上記の操業制約条件を満足する。
- 2) if $k \leq n_{we}$ then $a_{ij(k)}$ を最早 $t \in N_{we}$ に割当てる。
 if $n_{we} < k \leq n_{we} + n_n$ then $a_{ij(k)}$ を最早 $t \in N_n$ に割当てる。必ず、 $k \leq n_{we} + n_n$ である。

S3) A_2 について S2) と同様の順序で、次の条件を満たすようにアクティビティ $a_{ij(k)}$ を割当てる。

- 1) 上記の操業制約条件を満足する。
- 2) if $k \leq n_{we}$ then $a_{ij(k)}$ を最早 $t \in N_{we}$ に割当てる。
 if $n_{we} < k \leq n_{we} + n_n$ then $a_{ij(k)}$ を最早 $t \in N_d$ (週日昼間) に割当てる。

S4) A_3 について S2) と同様の順序で、次の条件を満たすようにアクティビティ $a_{ij(k)}$ を割当てる。

- 1) 上記の操業制約条件を満足する。
- 2) $a_{ij(k)}$ を最早 $t \in N_d$ に割当てる。

S5) 納期順に全ての製番について S2)~S4) を繰り返す。ただし、均一料金制下より尖鋭な電力需要のピークを生じる場合に限って、S4) $t \in N_d$ の無差別なペリオドにアクティビティを移動する。

アルゴリズム B

3つの製番を納期の順に J_1, J_2, J_3 と呼ぶ。 $m=9$ である。

S1) a_{11} について EL_{11}, B_n, B_{we} を計算し、操業制約を満足する範囲内で、

if $EL_{11} > B_n$ then a_{11} を最早 $t \in N_{we}$ に割当てる。

範囲内に N_{we} がなければ a_{11} を最早 $t \in N_n$ に割当てる。

if $B_n \leq EL_{11} < B_{we}$ then a_{11} を最早 $t \in N_{we}$ に割当てる。

範囲内に N_{we} がなければ a_{11} を最早 $t \in N_d$ に割当てる。

if $B_{we} \leq EL_{11}$ then 最早 $t \in N_d$ に割当てる。

S2) $a_{21}, a_{31}, a_{12}, \dots, a_{19}, a_{29}, a_{39}$ の順に S1) を繰り返す。

季時別料金制の効果を検討するために表 4.2 に示す 6 ケースを比較した。付表に各ケースの操業計画を示す。均一料金制下の実例ケースの操業計画と比較すると、季時別料金制下では週末・夜間操業が多くなっていることがわかる。週末・夜間操業に従事している作業員数は、均一料金制下では 6 人であるのに対して、季時別料金制下では最大 12 人に増える。表 4.3 に示すように、ブレイクイーブン kW/man の条件が緩やかなほど、ケース 1 に比してシフトしたアクティビティ数は多い。ケース 1 において全アクティビティ数 27 のうち 4 アクティビティがすでに週末に処理されるため、シフト可能なアクティビティ数は 23 あり、実際にシフトしたのは最小で 8 (ケース 6)、最大で 15 (ケース 2, 3) となっている。ケース 2 とケース 3 では異なるスケジューリング・アルゴリズムを適用しており、結果として得られた操業計画は同一ではないが、シフトしたアクティビティ数

表 4.2 比較ケース

	実例操業計画	最適化探索した操業計画	
	均一料金	季時別料金 I	季時別料金 II
賃金率 I	ケース 1	ケース 2 (A) ケース 3 (B)	ケース 4 (A)
賃金率 II	ケース 5	ケース 6 (B)	

() 内はアルゴリズム A, アルゴリズム B を意味する。

表 4.3 リスケジューリングの結果

	ブレークオープン kW/man [kW/man]		シフトしたアク ティビティ数	
	B_{we}	B_n	週末	深夜
ケース 2) [季時別 I, I, A]	87	111	6	9
ケース 3) [季時別 I, I, B]	87	111	6	9
ケース 4) [季時別 II, I, A]	136	174	6	6
ケース 6) [季時別 I, II, B]	174	218	2	6

B_{we} : 週日昼間 (第 1 ~ 2 ペリオド) から週末昼間へのブレークオープン kW/man

B_n : 週日の昼間から深夜 (第 4 ペリオド) へのブレークオープン kW/man

ケースについては表 4 を参照のこと。

は一致している。

図 4.1 に試験電力以外の一般電力負荷とあわせた形で電力負荷パターンを示す。ディマンド料金を含む電力コストの節約を正当に評価するためには、需要家の負荷全体で最大電力および電力消費量を捉える必要がある。一般電力負荷を料金制度にかかわらず、図 4.1 に示すように実績 (一般空調用負荷は相対的に小さいため除く) に基づいて設定すると、一般電力負荷は計画期間全体でピーク時間帯が 1,568 MWh, オフピーク時間帯が 1,137 MWh となる。実例操業であるケース 1 における最大電力は 16.5 MW であるが、季時別料金下ではいずれのケースにおいてもピーク時間帯の最大電力を 3 MW 削減している。そのかわり、オフピーク時間帯である土曜日に電力需要のピークが移動した。また、ケース 2 とケース 3 を比較すると、ケース

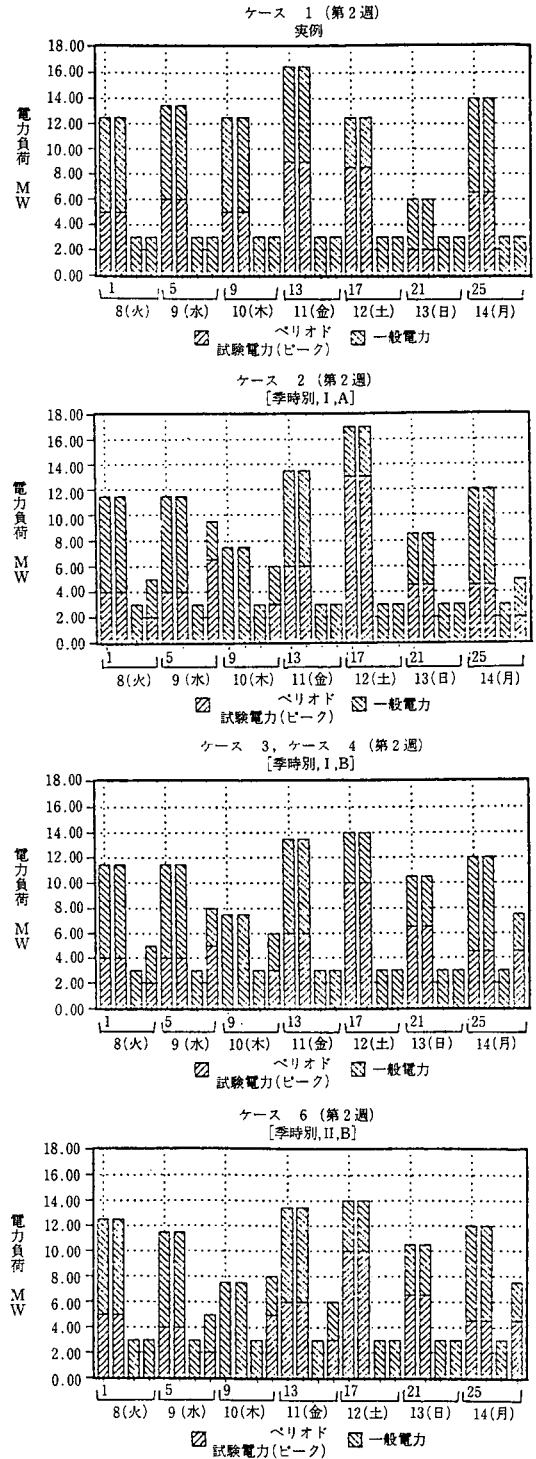


図 4.1 各ケースにおける電力負荷パターン
ケースについては表 4 を参照のこと

表 4.4 季時別料金制の効果

	電力負荷シフト効果		コスト内訳〔万円〕		コスト節約〔万円〕	
	ピーク kWh シェア〔%〕	シフト kWh 〔MWh〕	従量料金	労働コスト	A*)	B*)
ケース1)〔実例, I〕	77.7	—	1003.6	350.1	—	—
ケース2)〔季時別I, I, A〕	50.1	256.5	847.7	397.2	108.8	573.8
ケース3)〔季時別I, I, B〕	50.1	256.5	847.7	397.2	108.8	573.8
ケース4)〔季時別II, I, A〕	53.0	229.5	914.6	386.3	52.8	517.8
ケース5)〔実例, II〕	77.7	—	1003.6	374.9	—	—
ケース6)〔季時別I, II, B〕	55.9	202.5	880.5	429.2	68.8	533.8

*) A: 従量料金+労働コスト, B: A+ディマンド料金
ケースについては表4.2を参照のこと。

2は電力消費の大きなアクティビティを土曜日に集中的に割当てたために、負荷平準化の観点からすればケース3（アルゴリズムB）の方が望ましい。また、リスケジューリングによる負荷シフトは 203~257 MWh に達し、これは試験用電力量の 22~28%, 全電力量の 5.6~7.1% に相当する。

表4.4は、各ケースについて電力負荷シフト効果、ならびに計画期間（26日間）の生産コストの内訳を示している。ケース2とケース3における生産コストは等しく、時間外作業に伴う47万円の労働コスト増を十分上回る156万円の従量料金節約がもたらされる。電気試験ステップのリスケジューリングによるコスト削減額はディマンド料金節約とあわせて574万円に達し、現実の全電力コスト6,482万円（26日間）の8.9%に相当する。

また、一般電力を含めた全電力コストは従量料金で481万円、ディマンド料金で465万円を削減している。ただし、試験電力負荷パターンに対して収入中立の条件を課しているため、季時別料金Iを適用すると一般電力は負荷がそのままでも325万円の従量料金減をもたしていることに注意しなければならない。

従量料金比を1.5に設定した季時別料金II（ケース4）下では、シフトされるアクティビ

ティ数が少なくなるため、ブレイクイーブン条件から得られるコスト節約の直接効果（労働コスト+従量料金）は、ケース2に比して約半分の53万円に減少する。また、賃金割増し率を現状の1.3倍（ケース6）にすると季時別料金の従量料金比を小さくすることと等価で、直接効果はケース3より40万円減少する。

以上の簡単なシミュレーション計算の結果、現実的なコスト・パラメータの下で、タービン発電機製造の電気試験ステップにおいて生産コストの節約とオフピーク時間帯への負荷シフトが起こりうることが示された。負荷調整量は、最大電力の18%, 消費電力量の7%にのぼる。しかし、大型発電機の試験頻度はかなり変動するため、定常的にコスト節約の条件が満たされるとは限らない。そのため、年間ベースの料金契約では需要家が季時別料金制を選択するインセンティブは小さくなる恐れがある。

5. 結 語

スケジューリング・シミュレーション型のプロセスモデルを開発し、重電機製造工場をケーススタディの対象として電気料金構造に対する負荷の反応評価を試みた。予備的な考察から重電機製造工場においては季時別料金制によって操業計画の変更（リスケジューリング）が費用

効果的になるステップは大型発電機の試験ステップに限られることが明らかになったので、試験ステップに着目して料金制による負荷移行効果を解析した。試験ステップについてはそのステップの使用電力量の 20~30% の移行可能性が確認されたが、工場の年間を通しての全需要に与える影響はそれほど大きくはならない。今後は需要家側が蓄熱式空調、自家発等設備変更を含む総合的な季時別料金制対応策をとることを考慮した評価、および供給側よりきめ細かい時間帯や料金差の設定、あるいは年間ベースではなく弾力的な契約など、更に革新的な料金制度を提供する場合の検討が必要と考えられる。


参考文献

- [1] 山地憲治, 浅野浩志, 佐賀井重雄: 産業用需要家のプロセスモデルの開発——鉄鋼業の事例——, 電力経済研究 No. 22 (1987).
- [2] 山岡博, 林武人, 茅陽一, 山地憲治, 浅野浩志, 佐賀井重雄: 鉄鋼業の電力需要調整モデル, 昭和 62 年電気学会電力技術研究会 (1987).
- [3] 通産省: 工業統計表 (1987).
- [4] 通産省: 石油等消費構造等統計表 (1987).
- [5] 電連: 電気事業便覧 (1987).
- [6] 日本電機工業会: 資料調査 重電機器・昭和 61 年版 (1987).
- [7] 労働省: 第 38 回労働統計年報 (1987).

(あさの ひろし
やまじ けんじ
経済部 エネルギー研究室
さがい しげお
情報システム部 経営情報研究室)

附表 各ケースの操業計画

	第1週目							第2週目						
	1 火	2 水	3 木	4 金	5 土	6 日	7 月	8 火	9 水	10 木	11 金	12 土	13 日	14 月
ケース1	T/G1	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8
[実例, I]	T/G2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
ケース5	T/G3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ケース2	T/G1	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8	
[季時別 I, I, A]	T/G2	-	-	-	-	-	1	2	3	-	4	5	-	
	T/G3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ケース3	T/G1	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8	
[季時別 I, I, B]	T/G2	-	-	-	-	1	2	-	-	-	3	4	5	
	T/G3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ケース4	T/G1	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8	
[季時別 II, I, A]	T/G2	-	-	-	-	-	1	2	3	-	4	5	-	
	T/G3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ケース6	T/G1	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8
[季時別 I, II, B]	T/G2	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	3	4	5
	T/G3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H/G	-	-	-	-	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8
*	R/B1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	R/B2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

 : 作業中または、作業待期中の時間帯

* : 今回の実験に関しては、固定、数字はアクティビティの番号を示す。

(注) : ケース1とケース5の日程は同じ。ケースについては表4.2を参照のこと。

付表 各ケース操業計画 (続き)

	第3週目							第4週目						
	15 火	16 水	17 木	18 金	19 土	20 日	21 月	22 火	23 水	24 木	25 金	26 土	27 日	28 月
ケース1	T/G1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[実例, I]	T/G2	2	3	4	5	6	7	8	9	-	-	-	-	-
ケース5	T/G3	-	25	45	6	-	-	-	7	8	9	-	-	-
	T/G1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ケース2	T/G2	-	-	-	6	7	8	9	-	-	-	-	-	-
[季時別 I, I, A]	T/G3	25	-	-	45	6	7	8	-	-	9	-	-	-
	T/G1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ケース3	T/G2	-	-	-	6	7	8	9	-	-	-	-	-	-
[季時別 I, I, B]	T/G3	25	-	-	45	6	7	8	-	-	9	-	-	-
	T/G1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ケース4	T/G2	-	-	-	6	7	8	9	-	-	-	-	-	-
[季時別 II, I, A]	T/G3	-	25	-	45	6	7	8	-	-	9	-	-	-
	T/G1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ケース6	T/G2	-	-	-	6	7	8	9	-	-	-	-	-	-
[季時別 I, II, B]	T/G3	25	45	6	7	8	9	-	-	-	9	-	-	-
	H/G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
*	R/B1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	R/B2	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1

■ : 作業中または、作業待期中の時間帯

* : 今回の実験に関しては、固定、数字はアクティビティの番号を示す。

(注): ケース1とケース5の日程は同じ。ケースについては表4.2を参照のこと。