

一次エネルギーの供給制約及び環境規制を 考慮した電力系統の最適運用計画 (第5報)*

— 近似解法, 厳密解法及び DP 法の比較 —

中 村 陽 一**

山 城 迪**

(昭和57年9月30日受理)

Optimum Operation Scheduling under Constrained Supply of a Primal Energy and Constrained Environmental Pollution (Part 5)

— Comparison between Approximate Method,
Strict Method and DP Method —

by Yoichi NAKAMURA and Susumu YAMASHIRO

In the references 1), 2), we reported the optimum operation scheduling method which would satisfy the many constraints such as the different acceptable levels of pollution at each area, and the constraints imposed by the different quantities of the different types of fuel used. In this paper, this method is called the approximate method. In the references 3), 4), we reported the optimum operation scheduling method which would satisfy a global emission constraint of each area. We call this the strict method in this paper. Another method which uses the dynamic programming method was reported in references 5).

In this paper, we compare these methods of calculation. These methods are applied to a model system, and our results are summarized as follows. The approximate method is 3~60 times superior to the other methods concerning the calculating time and memory domain. Moreover, the calculating error of the approximate method is only 0~0.3%. The Strict method and DP method can not satisfy the many constraints because of their increasing quantity of calculations. But using our method, it is possible to satisfy these constraints.

1. ま え が き

筆者らは、火力発電所の一次エネルギー(燃料)に供給量制約がその燃料の種類ごとに与えられ、また発電所の立地点ごとに環境規制(NO_2 累積排出量規制)が与えられた場合の最適運用

* 電気四学会北海道支部連合大会で発表予定(昭和57年10月)

** 北見工業大学電気工学科

法について文献 1), 2) 等で報告した。以下ではこの計算手法を近似解法と呼ぶことにする。

また、系統全体で一括して環境規制を受けた場合の最適運用法について文献 3), 4) 等に報告した。以下ではこの計算手法を厳密解法と呼ぶことにする。

その他、ダイナミックプログラミング法 (DP 法) を用いた計算手法も開発し、文献 5) に報告した。

本論では、これらの各計算手法をモデル系統へそれぞれ適用する。その試算結果により、計算時間、使用語数、計算誤差等の面から近似解法の有効性を検討する。

2. 近似解法^{1), 2)} の概略

2.1 目的関数

NO₂ 排出量制約、燃料供給量制約に応じて I 種類の発電機グループを考える (例えば、第 1 グループ: A 地域で重油供給量制約の対象となる発電機グループ、第 2 グループ: B 地域で NO₂ 排出量制約の対象となる発電機グループ、……)。送電損失を無視して (1) 式の目的関数 ϕ を考える。

$$\phi = \mathbf{MFN} + (\mathbf{P} - \mathbf{MG})\lambda + \mu(\mathbf{Y} - \mathbf{DFN}) \quad (1)$$

ここで、 \mathbf{M} , \mathbf{N} は要素がすべて 1 のベクトルである。 \mathbf{F} の要素 f_{mn} は第 n 時間帯の m 号機の運転費であり (2) 式から得られる。 \mathbf{P} の要素 P^n は第 n 時間帯の負荷であり、 \mathbf{G} の要素 g_{mn} は第 n 時間帯の m 号機の出力である。 \mathbf{Y} の要素 y_i は第 i 発電機グループが受ける制約の制約値とし、その制約の受ける量 (すなわち NO₂ 排出量または燃料消費量) を R_{mni} とすると (3) 式となる⁶⁾。(3) 式の発電機定数 d_{im} を要素とするマトリックスが \mathbf{D} である。 λ , μ はラグランジュの未定乗数を要素とするベクトルである。

$$f_{mn} = \begin{cases} a_m + b_m \cdot g_{mn} + c_m \cdot g_{mn}^2 & (g_m \leq g_{mn} \leq \bar{g}_m) \\ fS_m & (g_{mn} = 0) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 a_m , b_m , c_m は発電機定数であり、 \underline{g}_m , \bar{g}_m は出力上下制限を示す。 fS_m は停止時間に比例する起動費⁷⁾である。

$$R_{mni} = d_{im} \cdot f_{mn} \quad (3)$$

2.2 発電機の解・並列の効果の計算法

ある起動停止パターンのもとで (1) 式を最小にすると、その起動停止パターンのもとの最適運用が得られる。以下で導く「解・並列の効果」を利用して、この起動停止パターンをより最適な起動停止パターンへ変更する。

$\partial\phi/\partial g_{mn} = 0$ より出力 g_{mn} は (4) 式となる。

$$g_{mn} = \frac{1}{2 \cdot c_m} \cdot \left(\frac{\lambda_n}{1 - \sum_i \mu_i \cdot d_{im}} - b_m \right) \quad (4)$$

m 号機を解列したとき、 l 号機の出力が Δg_{ln} 増加し、 λ_n が $\Delta \lambda_n$ 増加し、 μ があまり変化しないならば (4) 式より (5) 式が得られ、需給バランス制約より (6) 式が得られる。

$$\Delta g_{ln} = \frac{\Delta \lambda_n}{2 \cdot c_l \cdot (1 - \sum_i \mu_i \cdot d_{im})} \quad (5)$$

$$g_{mn} = \sum_l \Delta g_{ln} \quad (6)$$

(5), (6) 式から $\Delta \lambda_n$ を消去すると (7) 式となる。

$$\Delta g_{ln} = \frac{g_{mn}}{c_l \cdot (1 - \sum_i \mu_i \cdot d_{im}) \cdot \sum_m \frac{1}{c_m \cdot (1 - \sum_i \mu_i \cdot d_{im})}} \quad (7)$$

このとき、 l 号機および m 号機の運転費増加量 Δf_{ln} 、 Δf_{mn} はそれぞれ (2) 式より (8), (9) 式となる。

$$\Delta f_{ln} = \Delta g_{ln} \cdot b_l + \Delta g_{ln} \cdot c_l \cdot (2 \cdot g_{ln} + \Delta g_{ln}) \quad (8)$$

$$\Delta f_{mn} = f S_m - f_{mn} \quad (9)$$

また、このとき第 i 発電機グループが制約を受けた量に関して、それぞれ $d_{il} \cdot \Delta f_{ln}$ 、 $d_{im} \cdot \Delta f_{mn}$ だけ増加することになる。(8), (9) 式の Δf_{ln} 、 Δf_{mn} を要素とするベクトルを $\Delta \mathbf{F}$ とすると、この制約を受けた量の増加量は系統全体で $D \Delta \mathbf{F}$ となる。結局、第 n 時間帯で m 号機を解列し、かつ $D \Delta \mathbf{F}$ だけ減少したときの累積運転費の減少量 (解列の効果) ΔH_{mn} は (10) 式となる。

$$\Delta H_{mn} = (\mu D - M) \Delta \mathbf{F} \quad (\because \partial MFN / \partial y_i = \mu_i)^8 \quad (10)$$

m 号機の並列の効果は以下のようにして求める。 m 号機を並列する前の λ_n の値に対する m 号機の出力を g'_{mn} ($\neq 0$) とすると、需給バランスは (6) 式左辺を $-g'_{mn}$ とすることにより得られる。すなわち、 m 号機を並列したときの l 号機の出力増加量 Δg_{ln} は (7) 式右辺分子の g_{mn} を $-g'_{mn}$ とすることにより得られる。この出力増加量を用いることにより、 l 、 m 号機の運転費増加量 Δf_{ln} 、 Δf_{mn} はそれぞれ (8), (9) 式により得られる。

$$\Delta f_{mn} = a_m + b_m \cdot (g'_{mn} + \Delta g_{mn}) + c_m \cdot (g'_{mn} + \Delta g_{mn})^2 - f S_m \quad (9')$$

(8), (9)' 式の Δf_{ln} 、 Δf_{mn} を要素とするベクトルを $\Delta \mathbf{F}$ として並列の効果は (10) 式により計算できる。

制約 \mathbf{Y} が厳しい値で与えられたために最初の起動停止パターンでは \mathbf{Y} が実現できない場合は、(11) 式による解列の効果を用いて \mathbf{Y} の実現できる起動停止パターンを求める。

$$\Delta H_{mn} = -E Z D \Delta \mathbf{F} \quad (11)$$

ここで、 \mathbf{E} は削減必要量を表わすベクトルであり、 $D F N - \mathbf{Y}$ の計算で得られるベクトルの負の要素を 0 で置きかえ、かつ転置することにより得られる。 \mathbf{Z} は対角行列で、その要素の逆数 $1/Z_{ii}$ は NO_2 排出量及び燃料消費量 (すなわち $D F N$ の各要素) である。つまり、(11) 式から得られる解列の効果は m 号機を解列することによる減少量 ($-D \Delta \mathbf{F}$) へ、削減必要割合 ($E Z$) の

重み付けを与えて求めることになる。

2.3 起動停止パターンの変更法

(10)式または(11)式により求めた解・並列の効果 ΔH_{mn} の中の最大値を $\overline{\Delta H}$ とする。ある余裕を ε (≥ 0) 用いて式(12)の不等式を考える。

$$\Delta H_{mn} \geq \begin{cases} \overline{\Delta H} - \varepsilon & (\overline{\Delta H} \geq 0) \\ -\varepsilon & (\overline{\Delta H} < 0) \end{cases} \quad (12)$$

ΔH_{mn} が(12)式を満足するとき第 n 時間帯で m 号機を解列, または並列することにより起動停止パターンの変更を行う。すなわち, 最大の効果 ($\overline{\Delta H}$) との差が ε 以下であるような変更をすべて考えることにする。

(12)式を満足する発電機の解・並列が最小停止時間⁷⁾の制約により不可能な場合は次の手順²⁾を用いる。すなわち, (12)式を満足する発電機の解・並列を含み, かつ最小停止時間の制約を満足するような起動停止パターンの変更をすべて考慮する。最小停止時間を時間帯幅で割り, 時間帯数に換算した値を T とする。(12)式を満足する ΔH_{mn} が m 号機の解列を示している場合, 上記「最小停止時間を満足するような変更のすべて」は最大 T 種類となる。また, ΔH_{mn} が m 号機の並列を示している場合は最大 4 種類となる。

2.4 計算手順

近似解法による計算手順をまとめると次のようになる。

- Step 1: ある適当な起動停止パターンを設定する。
 Step 2: 与えられた起動停止パターンのもとで(1)式を最小化する。
 Step 3: (7)式により Δg_{tn} を計算する。
 Step 4: m 号機が並列している場合は(8), (9)式より, 解列している場合は(8), (9)'式より ΔF を計算する。
 Step 5: 制約 Y が満足できている場合は(10)式より, 満足できていない場合は(11)式より ΔH_{mn} を計算する。
 Step 6: (12)式により新たな起動停止パターンを求める。
 Step 7: Step 6 で得られたすべての起動停止パターンについて(1)式の最小化が行われていれば計算終了。残っている起動停止パターンがあれば Step 2 へ。

3. 厳密解法^{3),4)}の概略

3.1 目的関数

電力系統が燃料供給量制約, 累積 NO_2 排出量制約のうち1種類のみ規制された場合について, (13)式の目的関数 ϕ' を考える。

$$\phi' = \mathbf{MFN} + (\mathbf{P} - \mathbf{MG})\lambda + \mu_i \cdot (Y_i - \sum_n \sum_m R_{mni}) = \sum_n \phi^n + \mu_i \cdot Y_i \quad (13)$$

ここで R_{mni} および ϕ^n は(3)式および(14)式となる。

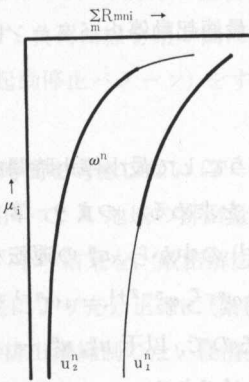
$$\phi^n = \sum_m f_{mn} + (P_n - \sum_m g_{mn}) \cdot \lambda_n - \mu_i \cdot \sum_m d_{im} \cdot f_{mn} \tag{14}$$

また、以下では具体的な例として Y_i は排出量制約を、 R_{mni} は排出量を表わすものと考える。

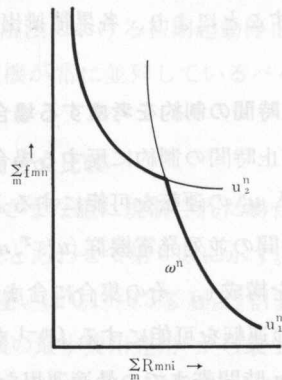
3.2 最適運用決定法

(13)式を最小化するとき最適運用が得られるが、最適運用を与える起動停止パターンがすぐには決定できないために、最適運用を与える μ_i も決定できない。そこで、さまざまな $\mu_i (\leq 0^0)$ のもとで(14)式を最小化し、それを各 μ_i のもとで合計し ($\sum_n \phi^n$ を求め)、(13)式の最小化を図る。

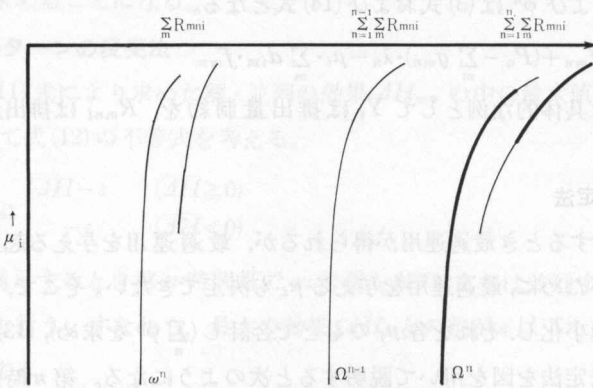
この最適運用決定法を図を用いて説明すると次のようになる。第 n 時間帯においてさまざまな並列発電機群を考え、これらを $u_1^n, u_2^n, \dots, u_m^n$ とする。第 n 時間帯の負荷 P_n に対し、さまざまな μ_i のもとで(14)式を最小化する。そのときの系統全体の排出量 ($\sum_m R_{mni}$) に対する μ_i および系統全体の運転費 ($\sum_m f_{mn}$) の特性は一般に第1, 2図のようになる。各排出量に対し最適な(すなわち、最小運転費を与える)並列発電機群を選んだときの特性を ω^n とすると、第1, 2図の太線となる。次に第1時間帯から第 n 時間帯までの累積運転を考える。第 $n-1$ 時間帯までの各累積排出量に対し最適な起動停止パターンを選び、その起動停止パターンによる特性を Ω^{n-1} とする。以下では Ω^{n-1} は第3, 4図に示すような特性であるとする。第4図において Ω^{n-1} の縦軸(運転費)は第 $n-1$ 時間帯までの累積運転費 ($\sum_{n=1}^{n-1} \sum_m f_{mn}$) である。また、第1, 2図で示した ω_n の特性を第3, 4図にも示してある。ただし $\sum_m R_{mni}$ 軸、運転費軸のスケージングは第1, 2図のそれを縮小して示している。ここで、第4図の ω^n の縦軸は第2図に示したとおり、第 n 時間帯における系統全体の運転費 ($\sum_m f_{mn}$) である。(13), (14)式から、まず第3図の排出量について合計する。つまり、 ω^n と Ω^{n-1} について μ_i の等しいものどうし合計し、 $\sum_{n=1}^n \sum_m R_{mni}$ (第 n 時間帯までの累積排出量) と μ_i の特性を求める。運転費についても同様に μ_i の等しいものどうし合計し、累積運転費 ($\sum_{n=1}^n \sum_m f_{mn}$) と μ_i の特性を求める。この2つの特性から $\sum_{n=1}^n \sum_m R_{mni}$ (累



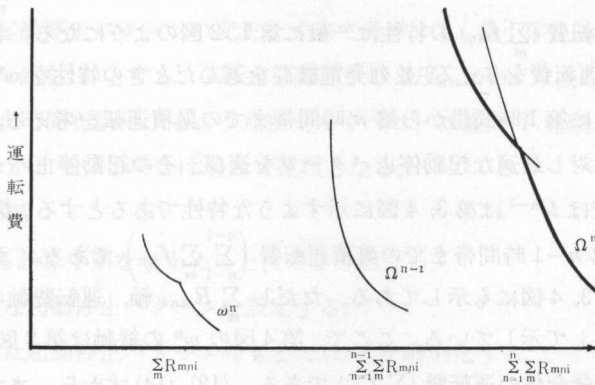
第1図 第 n 時間帯における排出量— μ_i 特性



第2図 第 n 時間帯における排出量—運転費特性



第3図 累積排出量— μ_i 特性



第4図 累積排出量—累積運転費特性

積排出量)—累積運転費 $\left(\sum_{n=1}^n \sum_m f_{nm}\right)$ の特性が得られ、例えば第4図のようになる。各累積排出量について最小な運転費を選び(つまり最適な起動停止パターンを選び)、これを Ω^n とすると第4図の太線となる。従って第3図の Ω^n も太線で示したように得られる。この手順を第1時間帯からくり返すことにより、各累積排出量に対する最適起動停止パターンによる最適運用が得られる。

3.3 最小停止時間の制約を考慮する場合

Ω^n が最小停止時間の制約に反する場合は、次のようにして最小停止時間を満足する運用を求め直す³⁾。まず、 u_1^n の運転を可能にするような Ω^{n-1} を求める。つまり、第 $n-T$ 時間帯から第 $n-1$ 時間帯の間の並列発電機群 $(u_1^{n-T}, u_2^{n-T}, \dots, u_{n-1}^{n-1})$ の中から、 u_1^n の運転を保証するような発電機群の集合を構成し、その集合に含まれる範囲で $\omega^{n-T}, \omega^{n-T+1}, \dots, \omega^{n-1}$ を求める。これらの ω により u_1^n の運転を可能にする Ω^{n-1} を求められるので、以下 u_2^n, u_3^n, \dots と求め最小停止時間を満足する第 n 時間帯までの最適運用を求めることができる。

4. DP 法による解法

燃料供給量制約および累積 NO₂ 排出量制約がそれぞれ 1 種類ずつのみ与えられた場合について、DP 法を用いた最適運用決定法を導く。系統負荷、燃料消費料、NO₂ 排出量、発電機出力をそれぞれ離散値化し、各量について q, r, s, t 番目の値を各々 qP, rY_1, sY_2, tG とする。負荷 qP 、燃料消費量制約 rY_1 、NO₂ 排出量制約 sY_2 に対し、1 号機から m 号機までの発電機で最適並列発電機群を構成したときの運転を $m\omega(qP, rY_1, sY_2)$ とすると (15)~(17) 式の漸化式を解いて求めることができる。

$$m\omega(0, 0, 0) = 0 \tag{15}$$

$$m\omega(qP, rY_1, sY_2) = \infty \quad qP, rY_1, sY_2 \leq 0 \tag{16}$$

$$m\omega(qP, rY_1, sY_2) = \min_{tG} \left\{ f_m(tG) + m-1\omega(qP-tG, rY_1 - d_{1m} \cdot f_m(tG), sY_2 - d_{2m} \cdot f_m(tG)) \right\} \tag{17}$$

ここで、 $f_m(tG)$ は m 号機が tG の出力で運転したときの運転費で (2) 式より得られる値とする。

次に第 1 時間帯から第 n 時間帯までの連続した運用で、累積燃料消費量制約 rY_1 、累積 NO₂ 排出量制約 sY_2 を満足する最適運用を $n\Omega(rY_1, sY_2)$ とすると (18), (19) 式の漸化式を解いて得られる。

$$1\Omega(rY_1, sY_2) = M\omega(P_1, rY_1, sY_2) \tag{18}$$

$$n\Omega(rY_1, sY_2) = \min_{kY_1, lY_2} \left\{ M\omega(P_n, kY_1, lY_2) + n-1\Omega(rY_1-kY_1, sY_2-lY_2) \right\} \tag{19}$$

ここで、 M は系統内に設置された全発電機台数、 P_n は第 n 時間帯の系統負荷である。

5. モデルシステムを用いた試算による各計算手法の比較

発電機特性を第 1 表へ、制約の種類と燃料消費量、NO₂ 排出量特性を表わす D マトリックスを第 2 表へ示す。負荷曲線を第 5 図に示す。近似解法における初期起動停止パターン (2.4 節 Step 1 における起動停止パターン) をすべての発電機が常に並列しているパターンとして以下の計算を行った。

5.1 最小停止時間を考慮しない ($T=0$ とする) 場合の比較

近似解法を用いて、A 地域の排出量のみがさまざまな値に規制された場合について、 $\varepsilon=0.1$ として試算した。その結果を、厳密解法による結果とあわせて第 6 図に示す。図から明らかなように、近似解法により充分正確に (累積運転費の違いは 0.1~0.3% 程度) 計算できることが確認できた。また、排出量規制のない経済運用 (第 6 図の最小費用運用) から最小排出量運用まで、厳密解法と、ほぼ同じ範囲にわたってそれぞれの規制値に対する最適運用が得られている。このことから、制約 Y を満足できない場合の (11) 式による解列の効果の計算法の有効性が得ら

第1表 発電機定数

発電機 No.	$f=a+b\cdot g+c\cdot g$ [千円/時]			g_m	$\overline{g_m}$	起動費 [千円/時]
	a	b	$c\times 1000$	[MW]	[MW]	
1	56.137	5.598	0.216	27	101	2.0
2	45.626	5.009	6.269	27	101	2.2
3	61.538	4.782	5.668	27	99	4.6
4	85.573	4.813	2.543	37	222	4.6
5	53.454	5.507	0.083	37	232	3.9
6	36.923	5.491	0.221	27	99	4.6
7	54.530	4.454	0.340	37	220	3.9
8	61.281	4.686	0.472	37	236	5.2
9	184.760	6.225	1.811	144	344	—
10	184.760	6.225	1.811	144	344	—
11	151.719	5.471	1.170	144	344	—
12	151.719	5.471	1.170	144	344	—

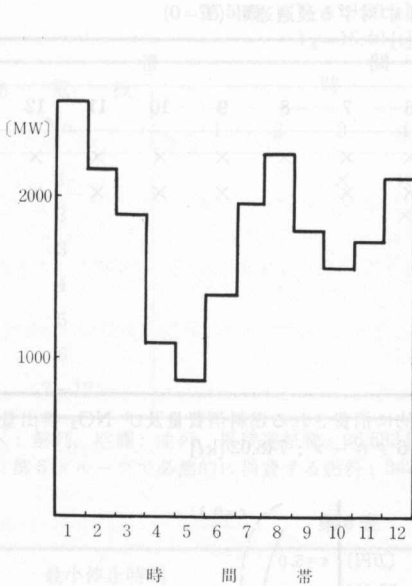
注) 9~12号機はベース火力として常に並列する。

第2表 Dマトリックス

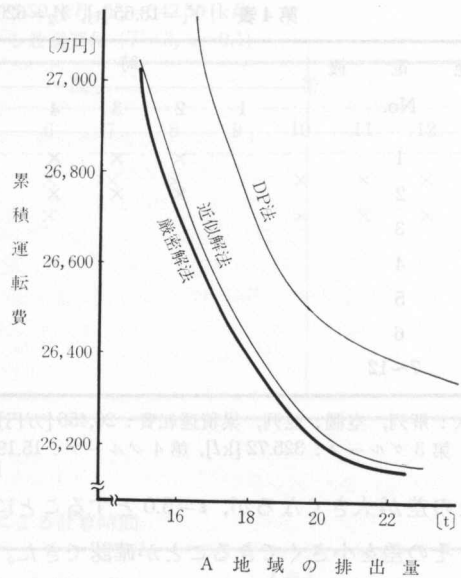
立地点 発電機 グループ	A 地域			B 地域	
	1	2	3	4	5
制約の種類 発電機 No.	NO ₂ 排出量	重油 消費量	LNG 消費量	NO ₂ 排出量	重油 消費量
1	0.400	0	0.00982	0	0
2	0.401	0	0.00966	0	0
3	0.122	0	0.01323	0	0
4	0.111	0.00625	0	0	0
5	0	0	0	0.107	0.00600
6	0.121	0	0.01356	0	0
7	0	0	0	0.105	0.00614
8	0.118	0.00595	0	0	0
9	0	0	0	0.130	0.00577
10	0	0	0	0.130	0.00583
11	0.147	0.00492	0	0	0
12	0.147	0.00512	0	0	0

れた。

近似解法により得られた経済運用を第3表に示す。次に、A地域のNO₂排出量と重油消費量が制約された場合の近似解法による最適運用を第4表に示す。DP法により第4表と同じ制約に対する最適運用を求めたところ、その累積運転費は26,641 [万円]であった。この累積運転費の違いはDP法による場合の値の離散値化(その間隔はそれぞれ20 [MW], 60 [kg], 1.4



第5図 負荷曲線



第6図 排出量規制に対する運転費 ($T=0$)

第3表 経済運用 ($T=0$)

発電機 No.	時間帯											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			×	×	×	×	×		×	×	×	
2				×	×	×			×	×	×	
3				×	×	×				×		
4				×	×	×						
5				×	×							
6				×	×							
7~12												

×: 解列, 空欄: 並列, 累積運転費: 26,165 [万円], 必然的に消費される燃料消費量及び NO₂ 排出量
 第1グループ: 23.00 [t], 第2グループ: 650.92 [kJ], 第3グループ: 393.83 [kJ], 第4グループ: 13.06 [t], 第5グループ: 652.37 [kJ]

[kJ] によるためであり, 近似解法の有効性が再び得られた。A 地域の排出量のみ制約された場合について DP 法による結果を第6図に示す。第6図の DP 法との比較から近似解法の有効性はより明確になった。

5.2 最小停止時間を考慮する場合の比較

1~9号機の最小停止時間を $T=3$ とした場合について, 近似解法により $\epsilon=0.1$ および $\epsilon=5.0$ として計算した。A 地域の排出量のみ制約された場合について, 厳密解法の結果とあわせて第7図に示す。図から一部の排出量規制に対しては近似解法の結果と厳密解法の結果が完全に一致しており, 近似解法の有効性が確認できた。また, $\epsilon=0.1$ では規制が厳しくなると厳密解

第4表 $Y_1=18.65$ [t], $Y_2=620.50$ [kJ] に対する最適運用 ($T=0$)

発電機 No.	時 間 帯											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2		×	×	×	×	×	×		×	×	×	×
3												
4				×	×							
5												
6												
7~12												

×：解列，空欄：並列，累積運転費：26,456 [万円]，必然的に消費される燃料消費量及び NO₂ 排出量
 第3グループ：325.72 [kJ]，第4グループ：15.19 [t]，第5グループ：748.02 [kJ]

法との差が大きくなるが， $\epsilon=5.0$ とすることによりその差を小さくできることが確認できた。

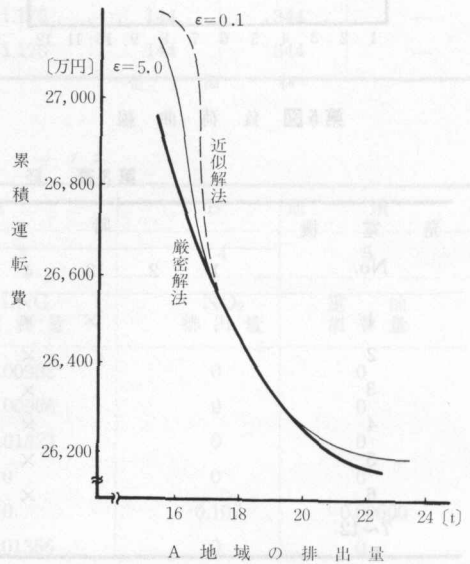
次に A 地域の NO₂ 排出量，各燃料供給量および B 地域の排出量が制約された場合の最適運用を第5表に示す。表から排出量や燃料供給量がそれぞれ各グループごとに与えられても，近似解法を用いることにより最適運用が得られることが再び確認できた。

5.3 各手法の計算量の比較

モデルシステムの試算例について所要計算時間を第6表に示す。T=0の場合，近似解法はDP法と比較して計算時間を1/60以下にできている。しかも充分正確な解が得られたことは5.2, 5.3節で述べたとおりである。次に T=3 とす

ることにより，T=0の場合と比較して厳密解法では約13倍の計算時間を要している。逆に近似解法では約1/2程度に減少している。厳密解法では各時間帯で最小停止時間を満足するという条件のもとで，最適運用をくり返し求め直さなければならない。それに対し，近似解法では起動停止パターンの最適化を最小停止時間を満足する変更の中から選んでいる。第7図と第6表の結果から，近似解法における最小停止時間に対する計算手法の有効性が得られた。また，所要記憶容量はおおよそ近似解法 0.1×10^6 バイト，厳密解法 6×10^6 バイト，DP法 7×10^6 バイトであった。つまり，記憶容量の面でも近似解法の有効性が確認できた。

厳密解法で，2種類以上の制約に対する最適運用を求めようとすると，第1~4図が多次元空間における特性となり，その計算量は非現実的なものとなる。同様にDP法では3種類以上



第7図 排出量規制に対する運転費 (T=3)

第5表 $Y_1=18.20$ [t], $Y_2=575.50$ [kL], $Y_3=342.50$ [kL],
 $Y_4=16.40$ [t] に対する最適運用 ($T=3, \epsilon=0.1$)

発電機 No.	時 間 帯											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			×	×	×	×	×	×		×	×	×
2				×	×	×				×	×	×
3												
4												
5												
6												
7~12												

×: 解列, 空欄: 並列, 累積運転費: 26,683 [万円]
 第5グループで必然的に消費する燃料: 342.53 [kL]

第6表 各手法による計算時間

最小停止時間	$T=0$	$T=3$
本 手 法	4.26 秒 ($\epsilon=0.1$)	1.98 秒 2.39 秒 ($\epsilon=0.1$) ($\epsilon=5.0$)
厳 密 解 法	11.00 秒	2分21.07 秒
DP 法	4分20.79 秒	—

の制約, または最小停止時間を考慮した最適運用を求めることは現実的に困難となる。それに対し, 近似解法はこれらの問題を解決し, 同時に大幅な計算時間の短縮ができることが示された。なお, これらの計算時間, 記憶容量は北海道大学大型計算機センターの M 200 H を利用した場合の値で示した。

6. む す び

火力発電所に対し一次エネルギーの供給制約及び環境規則が与えられた場合について, 近似解法, 厳密解法, DP 法による解法を用いて最適運用を求めた。その結果, 文献 1), 2) に報告した近似解法は計算速度, 所要記憶容量の面で他の手法より約 3~60 倍優っており, 計算誤差の面でも充分有効であることを明らかにした。

最小停止時間の制約は従来計算量の増大の原因となっていたが, 近似解法で導入した手順では逆に減少できることを示した。厳密解法では立地点ごと, 燃料の種類ごとの制約に対し適用困難であり, DP 法では 3 種類以上の, または最小停止時間の制約に対し適用困難であるが, 近似解法は充分適用可能であることを具体的に示した。なお, モデル系統の試算は本学データステーションより北海道大学大型計算機センターの M 200 H を利用して行った。

終りに終始貴重な御指導を下さった北見工業大学学長小池東一郎博士に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 中村, 山城, 小池: “一次エネルギーの供給制約及び環境規制を考慮した電力系統の最適運用法”. 電気学会研究会資料, 電力技術研究会, PE-81-22, p. 41-50 (昭和56年7月).
- 2) 中村, 山城: “一次エネルギーの供給制約及び環境規制を考慮した電力系統の最適運用計画 (第4報)”. 北見工業大学研究報告, 投稿中.
- 3) 中村, 山城, 小池: “NO₂ 累積排出量規制に対する火力発電機の起動停止問題の一解法”. 電気学会論文誌 B 分冊, Vol. 102-B, No. 7, p. 415-422 (昭和57年7月).
- 4) 中村, 山城: “NO_x の累積排出量が制約された場合の火力発電機群起動停止問題 (第4報)”. 北見工業大学研究報告, Vol. 11, No. 2, p. 171-180 (昭和55年3月).
- 5) 中村, 山城: “一次エネルギーの供給制約及び環境規制を考慮した電力系統の最適運用計画 (第2報)”. 北見工業大学研究報告, Vol. 13, No. 1, p. 33-40 (昭和56年10月).
- 6) J. B. Cadogan and L. Eisenberg: “Environmental Control of Electric Power System” ISA, Transaction, 14 (1975).
- 7) 山城: “火力発電機群の起動停止問題の一解法” 電気学会論文誌 B 分冊, Vol. 93-B, No. 9, p. 391-398 (昭和48年9月).
- 8) D. A. Wismer and R. Chattergy: “Introduction to Nonlinear Optimization” Elsevier, North-Holland Inc. (1978).

