

電力潮流の最適化 (第7報)*

山城 迪**

中村 陽一**

(昭和53年4月28日受理)

Optimization of Power Flow (Part 7)

by Susumu YAMASHIRO and Yoichi NAKAMURA

In the reference (1), the authors discussed the optimization of power flow (active and reactive power flow) by DC method in which we neglected the restriction on the voltage magnitude and the capacity of reactive power supply.

In this paper, we describe the formulation of the problem and the optimization algorithm which can consider those restrictions by penalty method and some results of its application.

1. ま え が き

筆者等は文献(1)で、直流法潮流計算(DC法)による有効・無効電力潮流の最適化に関して、母線電圧の大きさ及び無効電力供給容量の制約を無視した場合についての基礎的考察と簡単な試算例について述べてきた。今回、これらの諸制約を考慮して、ペナルティ・コスト法を用いた問題の定式化と最適化のアルゴリズムについて述べ、また、その適用例についても報告する。

2. 問題の定式化

2.1 電力方程式

ノード i における複素電力 \dot{W}_i は、電圧を $\dot{V}_i = V_i e^{j\theta_i}$ 、ノード・アドミッタンス定数を、 $\dot{Y}_{ij} = Y_{ij} e^{j\theta_{ij}}$ とすると

$$\dot{W}_i = P_i + jQ_i = \dot{V}_i \bar{I}_i = \dot{V}_i \sum_j \overline{\dot{Y}_{ij} \dot{V}_j} = \sum_j V_i V_j Y_{ij} e^{j(\theta_i - \delta_j - \theta_{ij})} \quad (1)$$

$$P_i = \sum_j V_i V_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2)$$

$$Q_i = \sum_j V_i V_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (3)$$

また、 $\dot{Y}_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$ とすると

* 電気学会全国大会で発表(53年4月)

** 北見工業大学電気工学科

$$\begin{aligned} \dot{W}_i &= \dot{V}_i \bar{I}_i = \sum_j \dot{V}_i (G_{ij} - jB_{ij}) \bar{V}_j \\ &= \sum_j V_i V_j \left[\left\{ \cos(\delta_i - \delta_j) G_{ij} + \sin(\delta_i - \delta_j) B_{ij} \right\} \right. \\ &\quad \left. + j \left\{ \sin(\delta_i - \delta_j) G_{ij} - \cos(\delta_i - \delta_j) B_{ij} \right\} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

$$P_i = \sum_j V_i V_j \left\{ \cos(\delta_i - \delta_j) G_{ij} + \sin(\delta_i - \delta_j) B_{ij} \right\} = \sum_j V_i V_j F_{ij} \quad (5)$$

$$Q_i = \sum_j V_i V_j \left\{ \sin(\delta_i - \delta_j) G_{ij} - \cos(\delta_i - \delta_j) B_{ij} \right\} = \sum_j V_i V_j H_{ij} \quad (6)$$

ただし, $F_{ij} = \cos(\delta_i - \delta_j) G_{ij} + \sin(\delta_i - \delta_j) B_{ij}$

$H_{ij} = \sin(\delta_i - \delta_j) G_{ij} - \cos(\delta_i - \delta_j) B_{ij}$

全系統内の有効電力損失 PL は (5) 式より

$$PL = \sum_i P_i = \sum_i \sum_j V_i V_j G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (7)$$

2.2 ペナルティ・コストを考慮した目的関数

ノード電圧の大きさ及び無効電力供給源の容量制約を考慮した場合の目的関数を次に定義する。

$$\Phi = \sum_n F_n(G_n) + \sum_m z_m + \sum_l w_l + \lambda(PL - \sum_i P_i) + \sum_l \gamma_l(Q_l - q_l) \quad (8)$$

$$\text{ここで, パラメータ (制御変数) 制約} \quad \underline{G}_n \leq G_n \leq \bar{G}_n, \quad \underline{V}_m \leq V_m \leq \bar{V}_m \quad (9)$$

$$\text{関数 (状態変数) 制約} \quad \underline{Q}_m \leq Q_m \leq \bar{Q}_m, \quad \underline{V}_l \leq V_l \leq \bar{V}_l \quad (10)$$

F : 発電機の燃料費

PL : 全系統の有効電力損失

G : " の出力

z : Q の制約に関するペナルティ・コスト

V : 電圧の大きさ

w : V " "

Q : 無効電力

γ : ラグランジュの未定乗数

P : 有効電力

λ : " "

q : 負荷の無効電力

$\bar{\cdot}, \underline{\cdot}$: 上・下限を示す。

また, 添字 m, l, n, i はノード番号を示し, 各々

$$\begin{aligned} m \in M (\text{電圧制御母線の集合}) & \quad l \in L (\text{負荷母線の集合}) \\ n \in N (\text{発電機母線の集合}) & \quad i \in T (\text{全母線の集合}) \end{aligned} \quad (11)$$

以下に, 目的関数の右辺各項について詳しく述べる。

(a) 第1項 (総燃料費)

$$F_n = a_n + b_n G_n + c_n G_n^2 \quad (a, b, c \text{ は定数}) \quad (12)$$

(b) 第2項 (Q の制約に関するペナルティ・コスト)

$$z_m = \begin{cases} \mu_m (Q_m - \bar{Q}_m)^2 & Q_m > \bar{Q}_m \text{ の場合} \\ \mu_m (\underline{Q}_m - Q_m)^2 & Q_m < \underline{Q}_m \text{ " } \\ 0 & \underline{Q}_m \leq Q_m \leq \bar{Q}_m \text{ " } \end{cases} \quad (13)$$

ここで、 μ はペナルティ・コストを決定する際の制約違反量に掛かる係数である。

(c) 第3項 (V の制約に関するペナルティ・コスト)

$$w_l = \begin{cases} \mu_l (V_l - \bar{V}_l)^2 & V_l > \bar{V}_l \text{ の場合} \\ \mu_l (\underline{V}_l - V_l)^2 & V_l < \underline{V}_l \text{ " } \\ 0 & \underline{V}_l \leq V_l \leq \bar{V}_l \text{ " } \end{cases} \quad (14)$$

(d) 第4項 (有効電力の需給バランスに関するコスト)

(e) 第5項 (負荷ノードの無効電力バランスに関するコスト)

3. 最適化のアルゴリズム

3.1 目的関数最小化の必要条件

(5), (6) 式から分るように、 P 及び Q はノード電圧の大きさ (V) と位相角 (δ) の関数で表わされるが、文献(1)でも述べた通り、 P と δ 、また、 Q と V の強い結びつきを考慮して、(5), (6) 式を

$$\begin{aligned} P_i &= P_i(V, \delta) \Rightarrow P_i(\delta)_{V=\text{const}} \\ Q_i &= Q_i(V, \delta) \Rightarrow Q_i(V)_{\delta=\text{const}} \end{aligned} \quad (15)$$

の如く、 P を δ のみの、また、 Q を V のみの関数として扱うと、 $P_i = G_i$ (ノード i の負荷) の関係から、 $\Phi = \Phi(G, \lambda, \gamma, Q, V)$ を最小にするための必要条件は

$$\frac{\partial \Phi}{\partial G_n} = \frac{\partial F_n}{\partial G_n} + \lambda \left(\frac{\partial PL}{\partial G_n} - 1 \right) = 0 \quad n \in N \quad (16)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} = PL - \sum_i P_i = 0 \quad i \in T \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial Q_m} &= \sum_i \frac{\partial \Phi}{\partial V_i} \frac{\partial V_i}{\partial Q_m} = \sum_i \left\{ \left(\sum_m \frac{\partial z_m}{\partial V_i} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sum_l \frac{\partial w_l}{\partial V_i} + \lambda \frac{\partial PL}{\partial V_i} + \sum_l \frac{\partial \gamma_l Q_l}{\partial V_i} \right) \frac{\partial V_i}{\partial Q_m} \right\} = 0 \quad m \in M \end{aligned} \quad (18)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \gamma_l} = Q_l - q_l = 0 \quad l \in L \quad (19)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial V_i} = \sum_m \frac{\partial z_m}{\partial V_i} + \sum_l \frac{\partial w_l}{\partial V_i} + \lambda \frac{\partial PL}{\partial V_i} + \sum_l \frac{\partial \gamma_l Q_l}{\partial V_i} = 0 \quad i \in T \quad (20)$$

(20) 式を満足する解は (18) 式も満足するから (16)~(20) 式を次のベクトル形式でまとめることができる。

$$\left[\frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{G}_n} \right] = \left[\frac{\partial F_n}{\partial \mathbf{G}_n} + \lambda \left(\frac{\partial PL}{\partial \mathbf{G}_n} - \mathbf{I} \right) \right] = \mathbf{0} \quad (n \text{ 次の列ベクトル}) \quad (21)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} = PL - \sum_i P_i = \mathbf{0} \quad (22)$$

$$\left[\frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{V}_m} \right] = \left[\frac{\partial \sum_m z_m}{\partial \mathbf{V}_m} + \frac{\partial \sum_l \omega_l}{\partial \mathbf{V}_m} + \lambda \frac{\partial PL}{\partial \mathbf{V}_m} + \frac{\partial \sum_l \gamma_l Q_l}{\partial \mathbf{V}_m} \right] = \mathbf{0} \quad (m \text{ 次の列ベクトル}) \quad (23)$$

$$\left[\frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{V}_l} \right] = \left[\frac{\partial \sum_m z_m}{\partial \mathbf{V}_l} + \frac{\partial \sum_l \omega_l}{\partial \mathbf{V}_l} + \lambda \frac{\partial PL}{\partial \mathbf{V}_l} + \frac{\partial \sum_l \gamma_l Q_l}{\partial \mathbf{V}_l} \right] = \mathbf{0} \quad (l \text{ 次の列ベクトル}) \quad (24)$$

$$\left[\frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{r}_l} \right] = [\mathbf{Q}_l - \mathbf{q}_l] = \mathbf{0} \quad (\quad " \quad) \quad (25)$$

ここで $\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_m \\ \mathbf{V}_l \end{bmatrix}$ であり (21)~(25) 式から最適な発電機出力及びノード電圧の大きさを決定することができる。

3.2 (23) 式の展開

いま、電圧制御母線を $i \in M$ で表わすと (23) 式の各項は次のようになる。

第 1 項に関して

$$\frac{\partial z_m}{\partial V_i} = \frac{\partial z_m}{\partial Q_m} \frac{\partial Q_m}{\partial V_i} = \alpha_m \frac{\partial Q_m}{\partial V_i} \quad m \in M \quad (26)$$

ここで

$$\alpha_m = \begin{cases} 2\mu_m (Q_m - \bar{Q}_m) & Q_m > \bar{Q}_m \text{ の場合} \\ 2\mu_m (Q_m - \underline{Q}_m) & Q_m < \underline{Q}_m \text{ " } \\ 0 & \underline{Q}_m \leq Q_m \leq \bar{Q}_m \text{ " } \end{cases} \quad (27)$$

また、(6) 式より

$$\frac{\partial Q_m}{\partial V_i} = \begin{cases} V_m H_{mi} & i \neq m \text{ のとき} \\ 2V_i H_{ii} + \sum_{j \neq i} V_j H_{ij} & i = m \text{ " } \end{cases} \quad m \in M \quad (28)$$

(27), (28) 式から (26) 式は

$$\frac{\partial z_m}{\partial V_i} = \begin{cases} \alpha_m H_{mi} V_m & i \neq m \\ \alpha_i (2V_i H_{ii} + \sum_{j \neq i} V_j H_{ij}) & i = m \end{cases} \quad (29)$$

$$\therefore \frac{\partial \sum_m z_m}{\partial V_i} = \sum_m \alpha_m \frac{\partial Q_m}{\partial V_i} = \sum_{m \neq i} \alpha_m H_{mi} V_m + \alpha_i (2V_i H_{ii} + \sum_{j \neq i} V_j H_{ij}) \quad (30)$$

ここで

$$\sum_{j \neq i} V_j H_{ij} = \sum_{m \neq i} V_m H_{im} + \sum_l V_l H_{il} \quad l \in L \quad (31)$$

とすれば

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sum_m z_m}{\partial V_i} &= \sum_m (\alpha_m H_{mi} + \alpha_i H_{im}) V_m + \sum_l \alpha_i H_{il} V_l \\ &= \sum_m B'_{im} V_m + A'_i \end{aligned} \quad (32)$$

ここで

$$A_i = \sum_l \alpha_l H_{il} V_l$$

$$B'_{im} = \alpha_i H_{im} + \alpha_m H_{mi}$$

従って、(32)式を第 i 列の要素とする列ベクトルとして、第1項は

$$\left[\frac{\partial \sum_m z_m}{\partial \mathbf{V}_m} \right] = [A_i] + [B'_{im}] [\mathbf{V}_m] \quad (33)$$

第2項に関しては、 $i \in L$ であるから $\partial \omega_l / \partial V_i = 0$ 。従って

$$\left[\frac{\partial \sum_l \omega_l}{\partial \mathbf{V}_m} \right] = \mathbf{0} \quad (34)$$

第3項に関して

$$\begin{aligned} \frac{\partial PL}{\partial V_i} &= 2 \sum_j V_j G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) = 2 \sum_m V_m G_{im} \cos(\delta_i - \delta_m) + 2 \sum_l V_l G_{il} \cos(\delta_i - \delta_l) \\ &= \sum_m B''_{im} V_m + A_i'' \end{aligned} \quad (35)$$

$$\text{ここで、} \quad A_i'' = 2 \sum_l G_{il} \cos(\delta_i - \delta_l) V_l, \quad B''_{im} = 2 G_{im} \cos(\delta_i - \delta_m)$$

(35)式を第 i 列の要素とする列ベクトルによって第3項は

$$\lambda \left[\frac{\partial PL}{\partial \mathbf{V}_m} \right] = \lambda [A_i''] + \lambda [B''_{im}] [\mathbf{V}_m] \quad (36)$$

第4項に関して

$$\frac{\partial Q_l}{\partial V_i} = V_l H_{li} \quad \therefore \quad \sum_l \tilde{r}_l \frac{\partial Q_l}{\partial V_i} = \sum_l \tilde{r}_l H_{li} V_l = A_i''' \quad (37)$$

(37)式を第 i 列の要素とする列ベクトルは

$$\left[\frac{\partial \sum_l \tilde{r}_l Q_l}{\partial \mathbf{V}_m} \right] = [\tilde{r}_l H_{li}] [\mathbf{V}_l] = [A_i'''] \quad (38)$$

(33), (34), (36), (38)式から(23)式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \left[\frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{V}_m} \right] &= [A_i] + [B'_{im}] [\mathbf{V}_m] + \lambda [A_i''] + \lambda [B''_{im}] [\mathbf{V}_m] + [A_i'''] \\ &= [A_i] + [B_{im}] [\mathbf{V}_m] = \mathbf{0} \end{aligned} \quad (39)$$

$$\text{ここで、} \quad A_i = \sum_l (\alpha_l H_{il} + 2\lambda G_{il} \cos(\delta_i - \delta_l) + \tilde{r}_l H_{li}) V_l \quad (40)$$

$$B_{im} = \alpha_i H_{im} + \alpha_m H_{mi} + 2\lambda G_{im} \cos(\delta_i - \delta_m) \quad (41)$$

いま、電圧制御母線の中で、ノード S を電圧基準母線を選ぶ場合は、 V_s は電圧制御母線の集合から除かれ(39)式の列ベクトルの次数は $(m-1)$ となり、(40), (41)式は次のようになる。

$$\begin{aligned} A_i &= (40) \text{式} + B_{is} \\ B_{is} &= \alpha_i H_{is} + \alpha_s H_{si} + 2\lambda G_{is} \cos(\delta_i - \delta_s) \end{aligned} \quad (42)$$

$B_{im} = (41)$ 式 ただし, $i, m \in M, i, m \neq s$

3.3 (24) 式の展開

いま, 負荷母線を $i \in L$ で表わすと (24) 式の各項は次のようになる。

第 1 項に関しては, $i \neq m$ であるから (29) 式を使って

$$\frac{\partial z_m}{\partial V_i} = \frac{\partial z_m}{\partial Q_m} \frac{\partial Q_m}{\partial V_i} = \alpha_m H_{mi} V_m, \quad c'_i = \sum_m \alpha_m H_{mi} V_m \quad (43)$$

$$\therefore \left[\frac{\partial \sum_m z_m}{\partial V_i} \right] = [c'_i] \quad (c'_i \text{ を第 } i \text{ 列の要素とする } l \text{ 次の列ベクトル}) \quad (44)$$

第 2 項に関して

$$i = l \text{ の場合} \quad \frac{\partial w_i}{\partial V_i} = \beta_i = \begin{cases} 2\mu_i (V_i - \bar{V}_i) & V_i > \bar{V}_i \text{ の場合} \\ 2\mu_i (V_i - \underline{V}_i) & V_i < \underline{V}_i \text{ " } \\ 0 & \underline{V}_i \leq V_i \leq \bar{V}_i \text{ " } \end{cases} \quad (45)$$

$$i \neq l \text{ の場合} \quad \beta_i = 0$$

$$\therefore \left[\frac{\partial \sum_l w_i}{\partial V_i} \right] = [\beta_i] \quad (\beta_i \text{ を第 } i \text{ 列の要素とする列ベクトル}) \quad (46)$$

第 3 項に関して

$$\frac{\partial PL}{\partial V_i} = 2 \sum_j V_j G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) = c''_i \quad (47)$$

$$\therefore \lambda \left[\frac{\partial PL}{\partial V_i} \right] = \lambda [c''_i] \quad (c''_i \text{ を第 } i \text{ 列の要素とする列ベクトル}) \quad (48)$$

第 4 項に関して

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = \begin{cases} V_i H_{ii} & i \neq l \text{ の場合} \\ 2V_i H_{ii} + \sum_{j \neq i} V_j H_{ij} & i = l \text{ の場合} \end{cases} \quad (49)$$

$$\therefore \frac{\partial \sum_i \gamma_i Q_i}{\partial V_i} = \sum_{i \neq i} \gamma_i H_{ii} V_i + \gamma_i (2V_i H_{ii} + \sum_{j \neq i} V_j H_{ij}) = \sum_i D_{ii} \gamma_i \quad (50)$$

ここで

$$D_{ii} = \begin{cases} V_i H_{ii} & i \neq l \text{ の場合} \\ 2V_i H_{ii} + \sum_{j \neq i} V_j H_{ij} & i = l \text{ の場合} \end{cases} \quad (51)$$

$$\therefore \left[\frac{\partial \sum_i \gamma_i Q_i}{\partial V_i} \right] = [D_{ii}] [\mathbf{r}_i] \quad ((50) \text{ 式を第 } i \text{ 列の要素とする列ベクトル}) \quad (52)$$

(44), (46), (48), (52) 式から (24) 式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \left[\frac{\partial \Phi}{\partial V_i} \right] &= [c'_i] + [\beta_i] + \lambda [c''_i] + [D_{ii}] [\mathbf{r}_i] \\ &= [C_i] + [D_{ii}] [\mathbf{r}_i] = \mathbf{0} \end{aligned} \quad (53)$$

ここで, $C_i = \sum_m \alpha_m H_{mi} V_m + \beta_i + \lambda \cdot 2 \sum_j V_j G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)$

3.4 最適化のアルゴリズム

これまで求めた最適化の必要条件 (21)~(25) 式は結局, (21), (22), (39), (53), (25) 式に等しいから, 文献 (1) で述べたように, まず (21), (22) 式をノード電圧の大きさ既知の条件のもとに解き, 位相角 δ を求める。次に, この δ を用いて, (53) 式の連立一次方程式の解として r_i を決定する。

$$\left[\frac{\partial \Phi}{\partial V_i} \right] = [C_i] + [D_{ii}] [r_i] = 0 \quad C_i, D_{ii} \text{ は定数} \quad (53)$$

r_i が求まると, (39) 式から電圧制御母線の大きさ V_m が同じく連立一次方程式の解で与えられる。

$$\left[\frac{\partial \Phi}{\partial V_m} \right] = [A_i] + [B_{im}] [V_m] = 0 \quad A_i, B_{im} \text{ は定数} \quad (39)$$

V_m を求めたので, 負荷母線の電圧 V_i は (25) 式の潮流方程式から求める。

$$[Q_i - q_i] = 0 \quad (25)$$

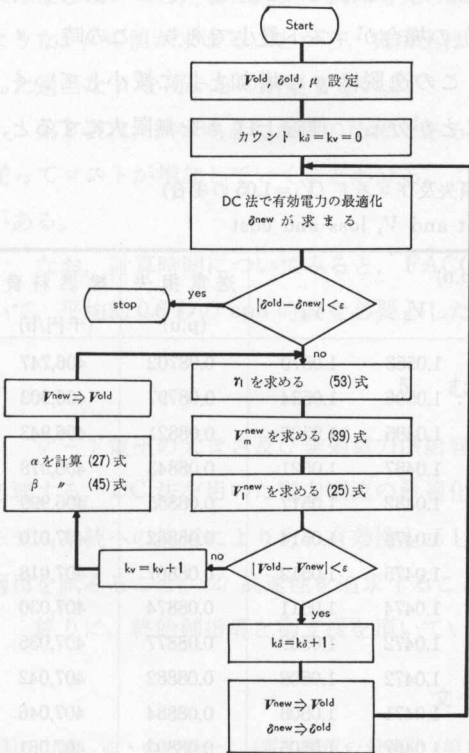
このように, (53), (39), (25) 式を計算する過程は, 適当な V に関して出発値を仮定しているので繰り返し計算により, 一定値に収束するまで上述の過程を反復し解を得るものとする。

以上を要約して, 第1図のフローチャートに最適化のアルゴリズムを示す。

4. モデル系統への適用例

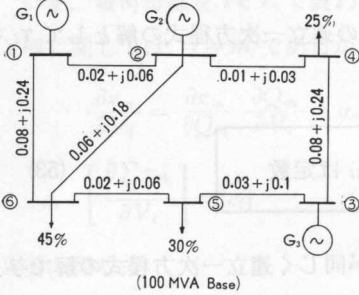
本手法を第2図のモデル系統に適用した結果を以下に述べる。ここでは, 基準ノードとして $s=1$, 電圧制御母線として $M=(2, 3)$, 負荷母線として $L=(4, 5, 6)$ を選んだ。

第1表は, ペナルティ係数 μ をパラメータとした時の母線電圧の大きさ, 送電損失および総燃料費を示したもので, 第3図はこれを図示している。なお, V の上下限值は各



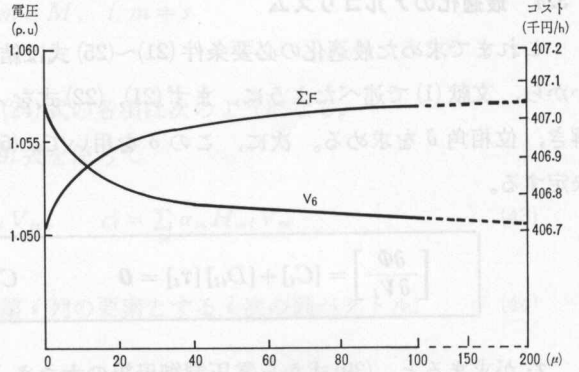
第1図 最適化手順

Fig. 1. Flow chart of optimization



第2図 モデル系統

Fig. 2. Model power system.



第3図 ペナルティ係数と電圧，コストの関係

Fig. 3. Relation between penalty coefficient and voltage, cost.

ノードとも各々 $\bar{V}=1.05$, $\underline{V}=0.95$ とし，また，無効電力の上下限は，ノード 2, 3 に対して $\bar{Q}=1$, $\underline{Q}=-1$ とした。

次に第2表は，電圧基準母線の大きさ V_1 をパラメーターとし，1.05~0.95 まで変えた時の各母線電圧，損失，総燃料費および繰返し回数（第1図参照）を示したものである。

まず，第1表から分ることは，無制約 ($\mu=0$) の場合がコスト最小であり，この時，ノード 5 および 6 の電圧が制限値 1.05 を越えており，この逸脱は μ の増加と共に減少していく。一方，コストの方は μ の増加と共に増えていくことが分る。理論上は μ を無限大にすると，

第1表 ペナルティ係数 (μ) と V , 損失及びコスト ($V_1=1.05$ の場合)

Table 1. Penalty coefficient and V , loss and cost

ペナルティ係数 (μ)	ノード電圧の大きさ (p.u)						送電損失 (p.u)	総燃料費 (千円/h)
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6		
0	1.05	1.0433	1.0373	1.0423	1.0553	1.0570	0.08702	406,747
10	1.05	1.0406	1.0302	1.0391	1.0506	1.0534	0.08797	406,903
20	1.05	1.0399	1.0294	1.0383	1.0495	1.0527	0.08821	406,943
30	1.05	1.0394	1.0282	1.0377	1.0487	1.0521	0.08843	406,978
40	1.05	1.0391	1.0274	1.0374	1.0482	1.0517	0.08855	406,999
50	1.05	1.0389	1.0270	1.0371	1.0478	1.0514	0.08862	407,010
60	1.05	1.0388	1.0267	1.0370	1.0475	1.0512	0.08867	407,018
70	1.05	1.0386	1.0263	1.0369	1.0474	1.0511	0.08874	407,030
80	1.05	1.0386	1.0262	1.0367	1.0472	1.0509	0.08877	407,035
90	1.05	1.0385	1.0260	1.0367	1.0472	1.0509	0.08882	407,042
100	1.05	1.0384	1.0258	1.0366	1.0471	1.0508	0.08884	407,046
150	1.05	1.0382	1.0254	1.0363	1.0467	1.0505	0.08893	407,061
200	1.05	1.0382	1.0253	1.0363	1.0466	1.0504	0.08894	407,062
300	1.05	1.0381	1.0250	1.0362	1.0464	1.0503	0.08901	407,073

第2表 基準電圧 (V_1) と損失, コスト及び繰り返し回数 ($\mu=80$ の場合)

Table 2. Reference voltage and loss, cost and iteration count

V_1 (p.u.)	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	送電損失 (p.u.)	総燃料費 (千円/h)	k_d	k_v
1.05	1.03860	1.02616	1.03679	1.04727	1.05095	0.08877	407,035	2	19
1.04	1.03293	1.02659	1.03181	1.04474	1.04655	0.08870	407,042	1	10
1.03	1.02295	1.01655	1.02189	1.03485	1.03662	0.09034	407,330	1	13
1.02	1.01275	1.00617	1.01167	1.02462	1.02641	0.09207	407,636	1	13
1.01	1.00254	0.99578	1.00143	1.01439	1.01620	0.09386	407,952	1	13
1.00	0.99221	0.98519	0.99091	1.00339	1.00576	0.09572	408,281	2	15
0.99	0.98198	0.97476	0.98070	0.99357	0.99549	0.09672	408,618	2	13
0.98	0.97174	0.96430	0.97043	0.98326	0.98520	0.09959	408,966	2	13
0.97	0.96149	0.95382	0.96014	0.97294	0.97490	0.10162	409,326	2	16
0.96	0.95294	0.95000	0.95222	0.96703	0.96772	0.10281	409,550	1	8
0.95	0.95000	0.99500	0.94944	0.96498	0.96409	0.10333	409,655	2	4

注: $\varepsilon_d=0.0005$, $\varepsilon_v=0.0001$, 100 MVA Base, k_d 及び k_v は繰り返しカウント (第1図参照)

逸脱量は零になるが, これは収束計算の過程で振動を生じ, そのための対策を別に考慮しなければならないこと, また, 第1表にも見られるように, 制限値からの逸脱量が十分小さくなるような, μ の値が求まることから, 実用上は μ を無限大とするよりは, 収束の反復回数を考慮した適当な μ を用いるのが望ましい。

第2表は, $\mu=80$ とした時の結果であるが, 基準電圧 (V_1) を小さくすると, 損失が増え従ってコストが増加していくことが分る。この例では, $V_1=1.04\sim 1.05$ の近くに最適運用状態がある。

なお, 計算時間についてみると, FACOM-230-75 を用いて, (V 及び μ) の一組の値において, 平均約 0.6 秒の cpu 時間を必要とした。

5. む す び

ノード電圧の大きさ及び無効電力供給容量に対する制約をペナルティ・コスト法によって処理する, DC 法を用いた電力潮流の最適化問題の定式化と最適化アルゴリズムを示し, かつモデル系統への適用によりその有効性を示した。今後の検討課題として, (1) 大規模系統への適用を試みること。(2) 高速性を追求することの点が挙げられる。

終りに, 終始御指導と御支援を頂いている北見工大小池東一郎学長に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 山城 迪・中村陽一: (電力潮流の最適化 (第5報)), 北見工大研究報告, 第9巻2号 (1978).
- 2) 山城 迪: (直流法による電力潮流最適化), 電気学会論文誌 B 分冊, Vol. 99, No. 11 (1977).