

1 経済的負荷配分計算

(水火併用の電力系統における最適需給計画)

猪苗代 勉, 高橋 理, 木村正行(東北大電通研)

1. 緒言

電力系統の経済運用の問題は、電力需用の増加に対する合理的、経済的系統構成、設備拡充の問題と、既設設備の経済的な系統運用の問題の二つに大別されよう。これらはオペレーションズリサーチの方法を用いて取扱うことができると考えられる。一般に現在のところ電力系統の経済運用の問題と呼ばれているのは、経済的負荷配分の問題で後者に属するものである。この問題は、かなり古くから論ぜられてはきたが、系統が拡大複雑化するにつれて、また計算装置が発達してきたことにより、近年その研究、実用化が活発に行われている。

こゝでは、系統の経済運用を経済的負荷配分の問題に限定して考える。この問題は、負荷を各発電所にどのように分担させれば、需用端における電力の総括原価を最小にしうるかという最小値問題に帰着する。その目安としては、一応発電原価、送変電原価および送電損失を取り上げることが考えられるが、前二者の経済分析は必ずしも簡単ではない。そこで、通常は負荷配分によつてもつとも影響される火力の燃料費が経済性の目安として取り上げられ、送電損失や水力発電所の水は、上手な運用によつて、火力の燃料費を減らしうる為の要素という形で評価される。以下この考え方にしたがうことにしよう。

上記の考え方に従えば経済的負荷配分の問題は、考察する期間における火力の総燃料費を最小にする問題となり、これは一般に変分問題となる。この問題に対しては種々の数値計算法が考えられているが、その最も代表的なものは Gradient 法及び Dynamic Programming 法である。ここでは Gradient 法に強制制限法を併用した数値計算法について述べる。

2. モデル系統

4つの火力発電所と1つの水力発電所からなる系統について考える。また送

電損失は無視する。但し火力発電所は、A、B 2つのグループに分け、A 発電所 2 と B 発電所 2 からなるものとする。又考察する期間は一年とし、時間帯の中を 1ヶ月の上、中、下旬で区別する。したがって 1 年は 36 時間帯に分割される。さらに時間帯により運転すべき発電機種及び台数は予め定められているものとする。(表 I 参照)

各時間帯の負荷 P_L 及び水力発電所貯水池への流入流量 J は表 I に示す如くであるとする。

火力発電所特性 A 及び B グループの発電機を次に示す諸式で示されるとする。但し火力燃料費を ${}_u F$ 、火力出力を ${}_u G$ 、suffix u を時間帯の番号とする。(単位、 G ; MW, F ; 千円。)

A グループ

発電機 1 台のとき

$$\left. \begin{aligned} {}_u F_A &= 15 + 2 {}_u G_A + 4 {}_u G_A^2 \\ 30 &\leq {}_i G_A \leq 140 \end{aligned} \right\} \quad (1a)$$

発電機 2 台のとき

$$\left. \begin{aligned} {}_u F_A &= 30 + 2 {}_u G_A + 2 {}_u G_A^2 \\ 60 &\leq {}_u G_A \leq 280 \end{aligned} \right\} \quad (1b)$$

B グループ

発電機 1 台のとき

$$\left. \begin{aligned} {}_u F_B &= 30 + 1.5 {}_u G_B + 3 {}_u G_B^2 \\ 10 &\leq {}_i G_B \leq 60 \end{aligned} \right\} \quad (2a)$$

発電機 2 台のとき

$$\left. \begin{aligned} {}_u F_B &= 60 + 1.5 {}_u G_B + 1.5 {}_u G_B^2 \\ 20 &\leq {}_u G_B \leq 120 \end{aligned} \right\} \quad (2b)$$

水力発電機の特性を次の試式で示されるとする。但し時間帯 i における出力及び使用水量をそれぞれ ${}_u P$ 、 ${}_u Q$ 、時間帯 i の始め貯水量を ${}_i S$ とする。(単位、

P ; MW, Q ; 糶日, β ; MW/糶日, S ; 糶日)

$${}_u P = {}_u Q {}_u \beta \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} {}_u \beta &= a_0 + b_0 {}_u \tilde{S}, \quad {}_u \tilde{S} = \frac{1}{2}({}_u S + {}_{u+1} S) \\ {}_{u+1} S &= {}_u S + ({}_u J - {}_u Q - {}_u \delta) {}_u h \\ a_0 &= 500 \times 10^{-3}, \quad b_0 = 0.1675 \times 10^{-3} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

使用水量 Q の上下限, \bar{Q} 及び \underline{Q} は,

$$\left. \begin{aligned} \bar{Q} &= a_1 + b_1 {}_u \tilde{S} + C_1 {}_u \tilde{S}^2 \\ a_1 &= 45, \quad b_1 = 0.04, \quad C_1 = -6 \times 10^{-6} \\ \underline{Q} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

貯水池容量 S の上下限, \bar{S} 及び \underline{S} は,

$$\left. \begin{aligned} \bar{S} &= 6,000 \quad \text{糶日} \\ \underline{S} &= 0 \quad \text{糶日} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

貯水池端点

$$S_1 = {}_{37} S = 2000 \quad \text{糶日} \quad (7)$$

3. 計算式

考慮する期間を n 時間帯に分割し, 各時間帯の中は一般にはそれぞれ異なるものとし ${}_u h$, $u=1, 2, \dots, n$ とする.

この場合の考慮する期間の全燃料費 C は次式で与えられる.

$$C = \sum_{u=1}^n \{ {}_u F_A ({}_u G_A) + {}_u F_B ({}_u G_B) \} {}_u h \times 24 \quad (8)$$

但し h は日単位であり, F は 1 時間当りの燃料費である.

経済的負荷配分の問題は次の電力連続(需給バランス)の条件, 全使用水量一定の条件及び貯水量, 使用水量, 火力出力等に対する制限条件のもとで(8)

式の全燃料を最小にする問題となる.

電力連結の条件

$${}_u P_R - ({}_u G_A + {}_u G_B + {}_u P) = 0 \quad u=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

全使用水量一定の条件

$$\sum_{u=1}^n ({}_u Q + {}_u \delta) {}_u h - Q_T = 0 \quad (10)$$

但し Q_T は予め指定された全使用水量 (端点条件より決まる), ${}_u \delta$ は貯水量が上限を超えたときの溢水である.

各種制限条件

$$\left. \begin{array}{l} \underline{S} \leq {}_u S \leq \bar{S} \quad \underline{Q} \leq {}_u Q \leq \bar{Q} \\ \underline{G} \leq {}_u G \leq \bar{G} \end{array} \right\} \quad u=1, 2, \dots, n \quad (11)$$

但し \bar{Q} , \underline{G} , \bar{G} は一般に時間帯により異なるものとした.

各種制限条件の取扱いに関しては後述する強制々限法を用いて, 別個に取扱うこととし (次章参照), (8) 式の C を (9), (10) 式の条件のもとに最小にする問題は, Euler-Lagrange の乗数を用いることにより

$$\begin{aligned} I = C + \sum_{u=1}^n {}_u \lambda \{ & {}_u P_R - ({}_u G_A + {}_u G_B + {}_u P) \} \\ & + \mu \{ \sum_{u=1}^n ({}_u Q + {}_u \delta) {}_u h - Q_T \} \end{aligned} \quad (12)$$

で定義される I を最小にする問題に変換される. ここに ${}_u \lambda$ 及び μ は Euler-Lagrange の乗数である.

(12) 式の極値の必要条件は,

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial I}{\partial {}_i G_A} = 24 {}_i h \frac{d {}_i F_A}{d {}_i G_A} - {}_i \lambda = 0 \\ \frac{\partial I}{\partial {}_i G_B} = 24 {}_i h \frac{d {}_i F_B}{d {}_i G_B} - {}_i \lambda = 0 \end{array} \right\} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (13)$$

$$\frac{\partial I}{\partial {}_i Q} = \frac{-\partial}{\partial {}_i Q} \sum_{u=1}^n {}_u \lambda {}_u P + \mu {}_i h = 0 \quad (14)$$

$i=1, 2, \dots, n$

経済的負荷配分の問題では通常制限条件, 特に貯水量, 使用水量, 火力出力等の上下限が解となる時間帯がかなり多く, かつ (13), (14) 式の内容が一般に複雑なので, (13), (14) 式を (9), (10) 式と連立して解くことは, 非常に困難であるので, 数値計算法として Gradient 法がよく用いられる. 以下に Gra-

dent 法による計算法について述べる。

この方法では先づ初期値として独立変数に制限条件にかからないような値を与える。この場合は使用水量， ${}_uQ$ 火力出力 ${}_uG_A$ ， ${}_uG_B$ の値も同様にして定める。(9) 式の需給バランスに対する修正（次章参照）を行なつた後で，次式により火力発電所間の最適分担を求める。

$$\left. \begin{aligned} \Delta_i G_A &= k' (\bar{\lambda}_i - \lambda_{iA}) \\ \Delta_i G_B &= k' (\bar{\lambda}_i - \lambda_{iB}) \end{aligned} \right\} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (15)$$

但し， k' は計算した経験から適当に決められた常数

$$\left. \begin{aligned} \bar{\lambda}_i &= \frac{1}{2} (\lambda_{iA} + \lambda_{iB}) \\ \lambda_{iA} &= \frac{d_i F_A}{d_i G_A}, \quad \lambda_{iB} = \frac{d_i F_B}{d_i G_B} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

(15) 式によつて火力出力を修正し，さらに修正された値を用いて(15)式の計算を事実上収斂と見做されるまで繰返す。(次章参照)

但し火力の全出力 ${}_iG$ は常に一定とする。

$${}_iG_A + {}_iG_B = {}_iG = \text{一定} \quad (17)$$

水力に関しては(15)式の計算が収斂したときの $\bar{\lambda}_i$ を用い次式により使用水量を修正する。

$$\begin{aligned} \Delta_i Q &= -k \frac{\partial I}{\partial {}_i Q} = -k \left\{ -\frac{\partial}{\partial {}_i Q} \sum_{u=1}^n {}_u \bar{\lambda}_u P + \mu_i h \right\} \\ &= -k \{ -{}_i r + \mu_i h \} \end{aligned} \quad (18)$$

(但し， ${}_i r$ 及び μ の計算式は後述する。) k は比例常数

(18)式で修正された使用水量について(10)式の条件を満足するよう修正し，これを用いて水力出力を計算し，(9)式の需給バランスの条件から新たな火力の全出力 ${}_iG = {}_iG_A + {}_iG_B$ を計算する。これが1回の繰返し計算となる。この繰返し計算を全燃料費 C が収斂するまで繰返す。(諸制限条件の取扱いに関しては，次章参照)

(18) 式の ${}_i r$, μ は次のようにして計算される。時間帯 $i-1$ 以前の水力出力は ${}_i Q$ に無関係であるから、

$${}_i r = \frac{\partial}{\partial {}_i Q} \sum_{u=1}^n u \lambda_u P = \sum_{u=i}^n u \lambda \frac{\partial u P}{\partial {}_i Q} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial {}_i P}{\partial {}_i Q} &= {}_i H + {}_i Q \frac{\partial {}_i H}{\partial {}_i Q} \\ &= {}_i H - \frac{b_0}{2} i h \end{aligned} \quad (20)$$

$$\frac{\partial u P}{\partial {}_i Q} = {}_u Q \frac{\partial u H}{\partial {}_i Q} = -{}_u Q_u h b_0 \quad u=i+1, \dots, n \quad (21)$$

(20), (21) 式を (19) 式に代入して

$${}_i r = {}_i H - \frac{b_0}{2} i h - \sum_{u=i+1}^n {}_u Q_u h b_0 \quad (22)$$

μ については、 ${}_i Q + \Delta {}_i Q = {}_i Q'$ を修正された使用水量とすると、 ${}_i Q'$ についても (10) 式が成立つことが必要であるから (溢水は通常は起らないので簡単のため無視する。)

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^n {}_i Q'_i h - Q_T \\ &= \sum_{i=1}^n ({}_i Q + \Delta {}_i Q)_i h - Q_T = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

(23) 式に (10) 式を代入すると

$$\sum_{i=1}^n \Delta {}_i Q_i h = 0 \quad (24)$$

上式に (18) 式を代入すれば

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^n \{-k(-{}_i r + \mu_i h)\}_i h \\ &= k \sum_{u=1}^n {}_i r_i h - k \sum_{i=1}^n \mu_i h^2 = 0 \\ \therefore \mu &= \frac{\sum_{i=1}^n {}_i r_i h}{\sum_{i=1}^n {}_i h} \end{aligned} \quad (25)$$

4. 強制々限法及びフローチャート

4.1 強制々限法

水火力系の経済運用計算においては、すでに述べたように多くの制限条件を考慮しなければならない。グラディエント法による計算においては、制限条件をどう処理するかによつて計算手順及び計算時間が大きく左右される。本文では強制々限法について、その考え方、計算方法及び計算例について検討したところを述べる。この方法には厳密に最小値を求めるといふ意味では数学的に必ずしも厳密でない部分もあるが、制限条件を処理するのに融通性があり、計算手順も比較的簡単なので実際的方法であると考えられる。

グラディエント法は既に述べたように、独立度数はそれぞれグラディエントの対応する成分(偏微分係数)に比例して修正される。このとき修正が繰返される過程で独立変数及び従属変数の修正値が制限値を超える場合が生じてくる。強制々限法とは、独立変数及び従属変数が制限を超えた修正をうける場合、強制的に制限値にとどめる方法をいうのである。したがつて制限値にとどめるための具体的方法は、いろいろと考えられるわけである。しかし、基本的な考え方は次の3項目に要約されよう。

- ① 独立変数が制限値を超えた場合には、単に制限値に止める。
- ② 従属変数が制限値を超えた場合には、制限値に止まるように独立変数の制限を行なう。
- ③ 修正にあつて独立変数及び従属変数が制限値を超えないよう考慮する。

上述したところから明らかなように、従属変数が制限値を超えた場合の修正は独立変数の修正にまでもとることが必要であり、フローチャートにおいては、各従属変数の修正のために独立変数の修正を含む小グループを形成することになる。(フローチャート参照)

以上述べたところから強制々限法においては独立変数の強制々限は簡単であるから制限条件が最も問題となる量を独立変数にとるのが得策である。

以下に使用水量及び火力出力を独立変数とした場合の本計算における制限条件の取扱いについて述べる。

4.2 制限条件の取扱い方

以下には個々の制限条件の取扱い方の要点について述べる。

(註) 修正は何度も繰返されるので、ここでは何回目の修正ということには無関係に、その都度の修正における前後の関係を明らかにする意味で、修正前の量 X に対して、修正された量を $\overset{I}{X}$ で表わすことにする。

(1) 使用水量の上下限に対する修正

$$\left. \begin{array}{l} \underline{Q} \leq {}_i Q \leq \bar{Q} \quad \rightarrow \quad \overset{I}{Q} = {}_i Q \\ {}_i Q < \underline{Q} \quad \rightarrow \quad \overset{I}{Q} = \underline{Q} \\ \underline{Q} > {}_i Q \quad \rightarrow \quad \overset{I}{Q} = {}_i Q \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4.2.1)$$

$i=1 \sim n$ (但し $n=36$ で以降も同様)

(2) 使用しうる全水量の制限に対する修正

使用水量が制限値を超えた場合には制限値に固定され、またやむを得ず溢水を生ずる場合も起る。今、 ${}_u \delta$ を時間帯 u の終りにおいて生じた溢水とすると使用水量及び溢水の考慮する期間における総和 $\sum_{u=1}^n ({}_u Q + {}_u \delta)$ が使用しうる全水量 Q_T に等しくなるように修正する。このための修正の一方法として、修正された使用水量を $\overset{I}{Q}$ とおくと

$$\left. \begin{array}{l} \overset{I}{Q} = {}_i Q + \frac{1}{n'} \Delta Q \\ \Delta Q = Q_T - \sum_{u=1}^n ({}_u Q + {}_u \delta) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4.2.2)$$

(4.2.2) 式の物理的意味は、次の如くである。

(i) ΔQ が正の場合

使用水量を増すことが必要であるが、使用水量を増すことによつて明らかに制限条件が犯される時間帯、こゝでは使用水量が上限以上 (${}_i Q \geq \bar{Q}$) 又は火力出力が下限以下 (${}_i G \leq \underline{G}$) となつている時間帯を除き、その残りの時間帯を n' とすると n' に属する時間帯の使用水量を一律に $\Delta Q / n' > 0$ だけ増す。

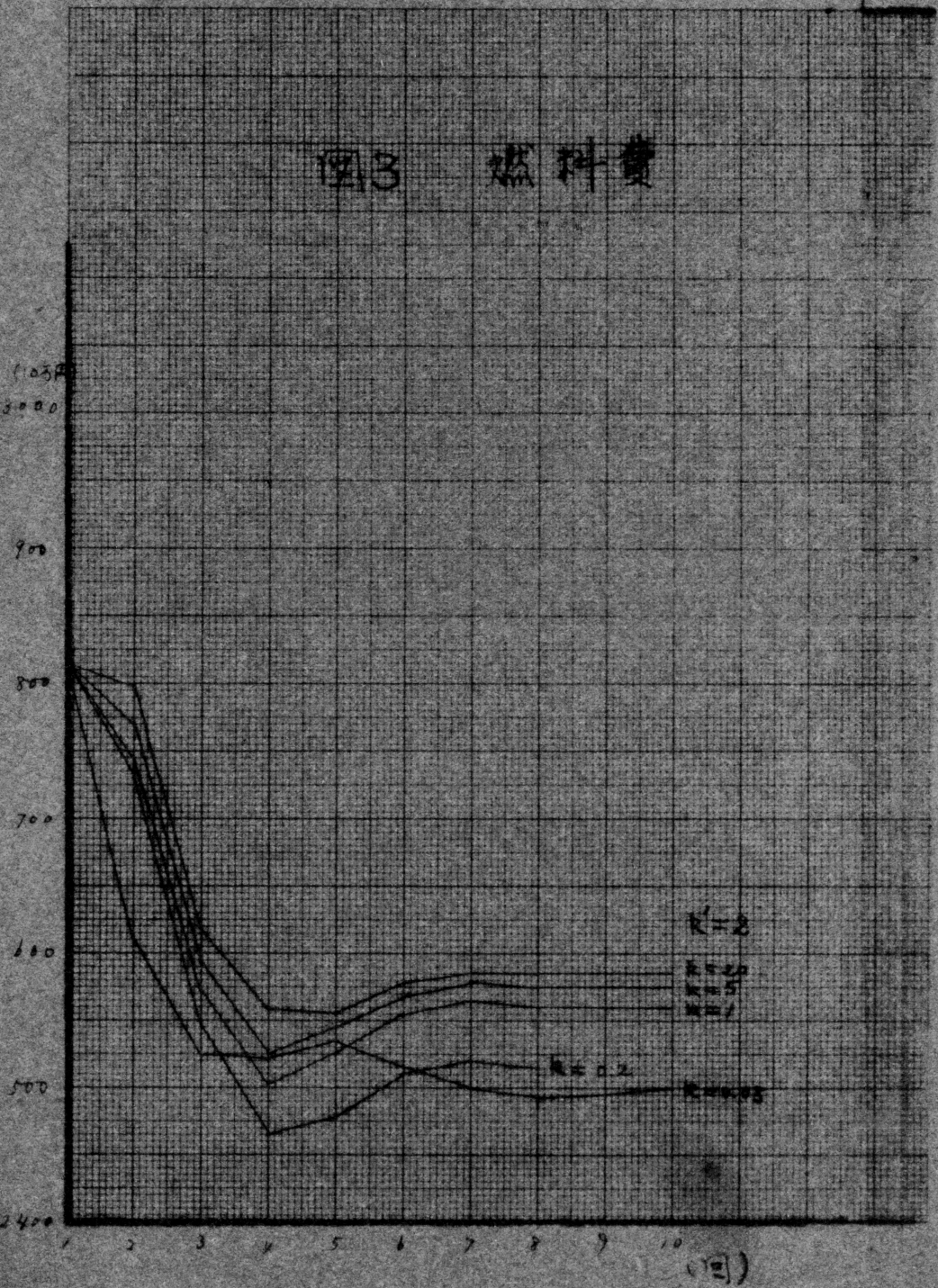
(ii) ΔQ が負の場合

(i)と同様の考え方で ${}_i Q \leq \underline{Q}$ 又は ${}_i G \geq \bar{G}$ となつている時間帯を除いた残りの時間帯数を n' とすると、 n' に属する時間帯の使用水量を一律に $\Delta Q / n' < 0$ だけ増す。

(3) 貯水量の上下限に対する修正

経済的負荷配分の計算 (東北大)

図3 燃料費



記号表

- u_Q 水力発電所の使用水量
- u_{GA} A 火力発電所の火力出力
- u_{GB} B " " }
- u_S 貯水池容量
- u_J 貯水池への流入流量
- u_P 水力出力
- u_F 火力燃料費
- u_{Pa} 需給バランスにおける負荷
- Q_T 総使用水量
- \bar{X} 上限 (UPPER LIMIT)
- \underline{X} 下限 (LOWER LIMIT)

正誤表

	誤	正
1 a	$30 \leq u_{GA} \leq 140$	$30 \leq u_{GB} \leq 140$
1 b	$60 \leq u_{GA} \leq 280$	$60 \leq u_{GB} \leq 280$
2 a	$10 \leq u_{GB} \leq 60$	$10 \leq u_{GA} \leq 60$
2 b	$20 \leq u_{GB} \leq 120$	$20 \leq u_{GA} \leq 120$
(3)	$u_P = u_Q u_\beta$	$u_P = u_Q u_H$
(4)	$u_\beta = a_0 + b \cdot u_S$	$u_H = a_0 + b \cdot u_S$
(15)	$i\lambda_A = \frac{d_i F_A}{d_i G_A}$	$i\lambda_A = 24 \cdot k \frac{d_i F_A}{d_i G_A}$
	$i\lambda_B = \frac{d_i F_B}{d_i G_B}$	$i\lambda_B = 24 \cdot k \frac{d_i F_B}{d_i G_B}$
(4.2.5)	$i\bar{Q} = iQ + \Delta u_S (u-1-u')$	$i\bar{Q} = iQ + \Delta u_S / (u-1-u')$
(4.2.6)	$i\bar{Q} = iQ - \Delta u_S (n-u-u'+1)$	$i\bar{Q} = iQ - \Delta u_S / (n-u-u'+1)$
(4.2.3)	$u_S = u_{-1} S + u_{-1} J - u_{-1} Q - u_{-1} \delta$	$u_S = u_{-1} S + (u_{-1} J - u_{-1} Q - u_{-1} \delta) \cdot k$

時間帯 u の初めの貯水量を ${}_uS$ で表わしているから

$${}_uS = {}_{u-1}S + {}_{u-1}J - {}_{u-1}Q - {}_{u-1}\delta \quad (4.2.3)$$

で与えられる。したがって ${}_uS$ が制限値を $\Delta_u S$ だけ超えた場合には使用しうる全水量一定の条件を考慮すると、時間帯 $1 \sim u-1$ の間において使用水量を $\Delta_u S$ だけ増し、時間帯 $u \sim n$ の間において使用水量を $\Delta_u S$ だけ減らす必要がある。修正の一方法として、次の方法が考えられる。先ず $\Delta_u S$ を計算する。

$$\left. \begin{aligned} \bar{S} \leq {}_uS \leq \bar{S} &\rightarrow {}_u\bar{S} = {}_uS \\ \bar{S} < {}_uS &\rightarrow {}_u\bar{S} = \bar{S} \\ \underline{S} > {}_uS &\rightarrow {}_u\underline{S} = \underline{S} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2.4)$$

$$\Delta_u S = {}_uS - {}_u\bar{S}$$

(i) 貯水量が上限を超えた場合 ($\Delta_u S > 0$)

時間帯 $u-1$ 以前の時間帯 i ($1 \leq i \leq u-1$) においては

$${}_i\bar{Q} = {}_iQ + \Delta_u S (u-1-u') \quad \dots\dots\dots (4.2.5)$$

$$u' \approx u-1$$

時間帯 u 以後の時間帯 i ($u \leq i \leq n$) においては

$${}_i\bar{Q} = {}_iQ - \Delta_u S (n-u-u''+1) \quad \dots\dots\dots (4.2.6)$$

$$u'' \approx n-u+1$$

(但し、フローチャートにおいては $u-1-u' = u_1$, $n-u-u''+1 = u_2$ と置いた)

但し

① 時間帯 $u-1$ 以前で貯水量が下限以下となる時間帯が存在する場合、すなわち ${}_kS \leq \underline{S}$, $2 \leq k \leq u-1$ が存在する場合には (このような時間帯が2つ以上あるときは、そのうちで $u-1$ に最も近い時間帯を k とおく), u' は ${}_kS$ の以前の時間帯数 ($k-1$) と $k \leq i \leq u-1$ の間で ${}_iQ \geq \bar{Q}$ 又は ${}_iG \leq \underline{G}$ となる時間帯数との和を表わすものとする。 ${}_kS \leq \underline{S}$ が存在しない場合には $k=1$ とおけばよい。したがって (4.2.5) 式は時間帯 $1 \sim u-1$ において u' に属する時間帯を除い

た残りの時間帯に $\Delta_u S$ を均等に分担させることを意味する。 u' に属する時間帯の使用水量を増せば、上の説明から明らかなように、貯水量の下限、火力出力の下限及び使用水量の上限等の制限条件のうち、いずれかがおかされることになる。

② u'' は $u \leq i \leq n$ の間で ${}_i Q \leq \underline{Q}$ 又は ${}_i G \geq \bar{G}$ となつている時間帯の数である。したがつて(4.2.6)式は時間帯 $u \sim n$ の間で \underline{Q} 又は \bar{G} の制限にかかつていない時間帯の使用水量を一律に $\Delta_u S / (n - u + 1 - u'')$ だけ減らすことを意味する。

(ii) 貯水量が下限を超えた場合 ($\Delta_u S < 0$)

時間帯 $u - 1$ 以前の時間帯 i ($1 \leq i \leq u - 1$) においては、

$${}_i^I Q = {}_i Q + \Delta_u S / (u - 1 - u''') \dots\dots\dots (4.2.7)$$

$$u''' \neq u - 1$$

時間帯 u 以後の時間帯 i ($u \leq i \leq n$) においては

$${}_i^I Q = {}_i Q - \Delta_u S / (n - u + 1 - u''') \dots\dots\dots (4.2.8)$$

$$u''' \neq n - u + 1$$

但し

① 時間帯 $u - 1$ 以前において貯水量が上限を超える時間帯が存在する場合、すなわち ${}_k S \geq \bar{S}$ 、 $2 \geq k \geq u - 1$ が存在する場合は(このような時間帯のうち $u - 1$ に最も近い時間帯を k とおく)、 u''' は ${}_k S$ 以前の時間帯数($k - 1$)と $k \leq i \leq u - 1$ の間で ${}_i Q \leq \underline{Q}$ 又は ${}_i G \geq \bar{G}$ となる時間帯数との和である。 ${}_k S \geq \bar{S}$ が存在しない場合は $k = 1$ とおけばよい。

② u'''' は $u \leq i \leq n$ の間で ${}_i Q \geq \bar{Q}$ 又は ${}_i G \leq \underline{G}$ となつている時間帯数である。

(iii) ${}_u \delta$ の定義

${}_u \delta$ は正ならば溢水、負ならば水の不足を表わす。 ${}_u \delta$ が正の場合は次のように定義される。(4.2.5)式及び(4.2.6)式における $\Delta_u S > 0$ は時間帯 $u - 1$ の終りの貯水量が上限を超えた量である。したがつて使用し得る全水量一定の条件を考慮すると、時間帯 $1 \sim u - 1$ の間で使用水量を $\Delta_u S$ だけ増し、時間帯 $u \sim n$ の間で使用水量を $\Delta_u S$ だけ減らすことが必要である。

もし(4.2.5)式の $u' = u - 1$ ならば、時間帯 $1 \sim u - 1$ のうち何れも制限条件のため使用水量を増すことが不可能となる。又もし(4.2.6)式で $u'' = n - u + 1$ ならば、時間帯 $u \sim n$ のうち何れも制限条件のため使用水量を減らすことが不可能である。この場合には、時間帯 $u - 1$ で溢水を超すことになるから、 $u-1\delta$ の定義は(4.2.5), (4.2.6)式において

$$u' = u - 1 \text{ 又は } u'' = n - u + 1 \text{ ならば}$$

$$u-1\delta = \Delta_u S \quad \text{-----} \quad (4.2.9)$$

となる。したがって $u\delta$ は時間帯 u における溢水であり(4.2.9)式の u を $u+1$ で置きかえると

$$u' = u \text{ 又は } u'' = n - u \text{ ならば}$$

$$u\delta = \Delta_{u+1} S \quad \text{-----} \quad (4.2.9)'$$

$u\delta$ が負の場合も同様にして(4.2.7), (4.2.8)式において、

$$u''' = u - 1 \text{ 又は } u'''' = n - u + 1 \text{ ならば}$$

$$\Delta_{u-1}\delta = \Delta_u S \quad \text{-----} \quad (4.2.10)$$

したがって $u\delta$ は

$$u''' = u \text{ 又は } u'''' = n - u \text{ ならば}$$

$$u\delta = \Delta_{n+1} S \quad \text{-----} \quad (4.2.10)'$$

となる。

時間帯 i に対して以上(i), (ii)及び(iii)の計算が終つてから次の時間帯に移り、順次この操作を繰返す。

(4) ${}_iP$, ${}_iH$, ${}_i\bar{Q}$ の計算

(5) 需給バランスにおける電力連続の条件に対する修正

$$\Delta {}_iP_R = {}_iP_R - ({}_iP + {}_iG_B + {}_iG_A)$$

$\Delta_i P_R \neq 0$ ならば ${}_i G_B$ と ${}_i G_A$ に先ず等分に分担させる。

$$\Delta_i P_R > 0$$

$$(i) \quad {}_i G_B < {}_i \bar{G}_B \quad \text{且つ} \quad {}_i G_A < {}_i \bar{G}_A$$

$$\rightarrow \quad {}_i \overset{I}{G}_B = \frac{1}{2} \Delta_i P_R + {}_i G_B, \quad {}_i \overset{I}{G}_A = {}_i G_A + \frac{1}{2} \Delta_i P_R$$

$$(ii) \quad {}_i G_B \geq {}_i \bar{G}_B \quad \text{且つ} \quad {}_i G_A < {}_i \bar{G}_A$$

$$\rightarrow \quad {}_i \overset{I}{G}_B = {}_i G_B, \quad {}_i \overset{I}{G}_A = {}_i G_A + \Delta_i P_R$$

$$(iii) \quad {}_i G_B < {}_i \bar{G}_B \quad \text{且つ} \quad {}_i G_A > {}_i \bar{G}_A$$

$$\rightarrow \quad {}_i \overset{I}{G}_B = {}_i G_B + \Delta_i P_R, \quad {}_i \overset{I}{G}_A = {}_i \bar{G}_A$$

$$(iv) \quad {}_i G_B \geq {}_i \bar{G}_B \quad \text{且つ} \quad {}_i G_A \geq {}_i \bar{G}_A \rightarrow (7)$$

$$\Delta_i P_R < 0$$

$$(i) \quad {}_i G_B > {}_i \bar{G}_B, \quad {}_i G_A > {}_i \bar{G}_A \rightarrow {}_i \overset{I}{G}_B = {}_i G_B + \frac{1}{2} \Delta_i P_R, \quad {}_i \overset{I}{G}_A = {}_i G_B + \Delta_i P_R$$

$$(ii) \quad {}_i G_B \leq {}_i \bar{G}_B, \quad {}_i G_A > {}_i \bar{G}_A \rightarrow {}_i \overset{I}{G}_B = {}_i \bar{G}_B, \quad {}_i \overset{I}{G}_A = {}_i G_A + \Delta_i P_R$$

$$(iii) \quad {}_i G_B \geq {}_i \bar{G}_B, \quad {}_i G_A \leq {}_i \bar{G}_A \rightarrow {}_i \overset{I}{G}_B = {}_i G_B + \frac{1}{2} \Delta_i P_R, \quad {}_i \overset{I}{G}_A = {}_i G_A$$

$$(iv) \quad {}_i G_B \leq {}_i \bar{G}_B, \quad {}_i G_A \leq {}_i \bar{G}_A \rightarrow (7)$$

(6) 火力の上下限の判定と修正

$$(i) \quad {}_i \underline{G}_x \leq {}_i \overset{I}{G}_x \leq {}_i \bar{G}_x \rightarrow {}_i \overset{II}{G}_x = {}_i \overset{I}{G}_x$$

$$(ii) \quad {}_i \underline{G}_x > {}_i \overset{I}{G}_x \rightarrow {}_i \overset{II}{G}_x = {}_i \underline{G}_x$$

$$(iii) \quad {}_i \bar{G}_x < {}_i \overset{I}{G}_x \rightarrow {}_i \overset{II}{G}_x = \bar{G}_x$$

(但し x は A 或いは B)

(7) 火力がすべて制限に拘束されている場合 ($\Delta_i P_R$ の $\Delta_i Q$ への変換)

$$(i) \quad \Delta_i P_R > 0, \quad iQ < i\bar{Q} \rightarrow i\bar{Q} = iQ + \Delta_i Q \rightarrow (1) \rightarrow (2) \rightarrow (3)$$

$$(ii) \quad \Delta_i P_R > 0, \quad iQ \geq i\bar{Q} \rightarrow \Delta_i Q_R \text{ のプリント}$$

$$(iii) \quad \Delta_i P_R < 0, \quad iQ > i\underline{Q} \rightarrow i\underline{Q} = iQ + \Delta_i Q \rightarrow (1) \rightarrow (2) \rightarrow (3)$$

$$(iv) \quad \Delta_i P_R < 0, \quad iQ \leq i\underline{Q} \rightarrow \Delta_i P_R \text{ のプリント}$$

$$(\text{但し } \Delta_i Q = \Delta_i P_R / iH)$$

(8) 火力間の最適分担

火力の上下限による修正とラグランジェの乗数 $i\tilde{\lambda}$

$$(i) \quad \left. \begin{array}{l} iG_B \leq iG_B \leq i\bar{G}_B \\ iG_A \leq iG_A \leq i\bar{G}_A \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} i\bar{G}_B = iG_B \\ i\bar{G}_A = iG_A \end{array} \right. \rightarrow i\tilde{\lambda} = \frac{1}{2}(i\lambda_B + i\lambda_A)$$

$$(ii) \quad \left. \begin{array}{l} iG_B \leq iG_B \leq i\bar{G}_B \\ iG_A > iG_A \text{ (又は } iG_A > i\bar{G}_A) \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} i\bar{G}_A = iG_A \text{ (又は } iG_A) \\ i\bar{G}_B = iG - (iG_A \text{ 又は } i\bar{G}_A) \end{array} \right. \rightarrow i\tilde{\lambda} = i\lambda_B$$

$$(iii) \quad \left. \begin{array}{l} iG_B < iG_B \text{ (又は } iG_B > i\bar{G}_B) \\ iG_A \leq iG_A \leq i\bar{G}_A \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} i\bar{G}_B = iG_B \text{ (又は } i\bar{G}_B) \\ i\bar{G}_A = iG - iG_B \text{ (又は } i\bar{G}_B) \end{array} \right. \rightarrow i\tilde{\lambda} = i\lambda_A$$

$$(iv) \quad \left. \begin{array}{l} iG_B > iG_B \text{ (又は } i\bar{G}_B < iG_B) \\ iG_A > iG_A \text{ (又は } i\bar{G}_A < iG_A) \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} i\bar{G}_B = i\bar{G}_B \text{ (又は } i\bar{G}_B) \\ i\bar{G}_A = i\bar{G}_A \text{ (又は } i\bar{G}_A) \end{array} \right.$$

$$\Delta_i G = (iG_B + iG_A) - iG$$

$|\Delta_i G| \leq \varepsilon$ の場合

$$\left. \begin{array}{l} i\bar{G}_B \geq i\bar{G}_B \\ i\bar{G}_A \geq i\bar{G}_A \\ i\bar{G}_A > i\bar{G}_B \end{array} \right\} \left(\begin{array}{l} i\bar{G}_B \geq i\bar{G}_B \\ \text{或いは} \\ i\bar{G}_A < i\bar{G}_A \end{array} \right) \left(\begin{array}{l} i\bar{G}_B < i\bar{G}_B \\ \text{或いは} \\ i\bar{G}_A < i\bar{G}_A \end{array} \right) \rightarrow i\tilde{\lambda} = i\lambda_A$$

$$\left. \begin{array}{l} {}_i\bar{G}_B \geq {}_i\bar{G}_B \\ {}_i\bar{G}_A \geq {}_i\bar{G}_A \\ {}_i\bar{G}_A < {}_i\bar{G}_B \end{array} \right\} \left(\begin{array}{l} {}_i\bar{G}_B < {}_i\bar{G}_B \\ \text{或いは } {}_i\bar{G}_A \geq {}_i\bar{G}_A \end{array} \right) \text{或いは} \left. \begin{array}{l} {}_iG_B < {}_i\bar{G}_B \\ {}_iG_A < {}_i\bar{G}_A \\ {}_iG_B > {}_i\bar{G}_A \end{array} \right\} \rightarrow {}_i\tilde{\lambda} = {}_i\lambda_B$$

$|\Delta_i G| > \varepsilon$ の場合

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_i G \geq 0 \\ {}_iG_B \geq {}_i\bar{G}_B \\ {}_iG_A \geq {}_i\bar{G}_A \end{array} \right\} \left(\begin{array}{l} \Delta_i G < 0 \\ \text{或いは } {}_iG_B \leq {}_i\bar{G}_B \\ {}_iG_A \leq {}_i\bar{G}_A \end{array} \right) \rightarrow \left. \begin{array}{l} {}_iG_B = {}_iG_B - \Delta_i G / 2 \\ {}_iG_A = {}_iG_A - \Delta_i G / 2 \end{array} \right\} \dots (9)$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_i G \geq 0 \\ {}_iG_B \geq {}_i\bar{G}_B \\ {}_iG_A < {}_i\bar{G}_A \end{array} \right\} \left(\begin{array}{l} \Delta_i G < 0 \\ \text{或いは } {}_iG_B \leq {}_i\bar{G}_B \\ {}_iG_A > {}_i\bar{G}_A \end{array} \right) \rightarrow {}_iG_B = {}_iG_B - \Delta_i G$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_i G \geq 0 \\ {}_iG_B < {}_i\bar{G}_B \\ {}_iG_A \geq {}_i\bar{G}_A \end{array} \right\} \left(\begin{array}{l} \Delta_i G < 0 \\ \text{或いは } {}_iG_B > {}_i\bar{G}_B \\ {}_iG_A \leq {}_i\bar{G}_A \end{array} \right) \rightarrow {}_iG_A = {}_iG_A - \Delta_i G$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_i G > 0 \\ {}_iG_B < {}_i\bar{G}_B \\ {}_iG_A < {}_i\bar{G}_A \end{array} \right\} \left(\begin{array}{l} \Delta_i G < 0 \\ \text{或いは } {}_iG_B > {}_i\bar{G}_B \\ {}_iG_A > {}_i\bar{G}_A \end{array} \right) \rightarrow \text{HALT}$$

(9) 総燃料費の計算

10 ラグランジエの乗数 μ , グラディエント法による使用水量の修正

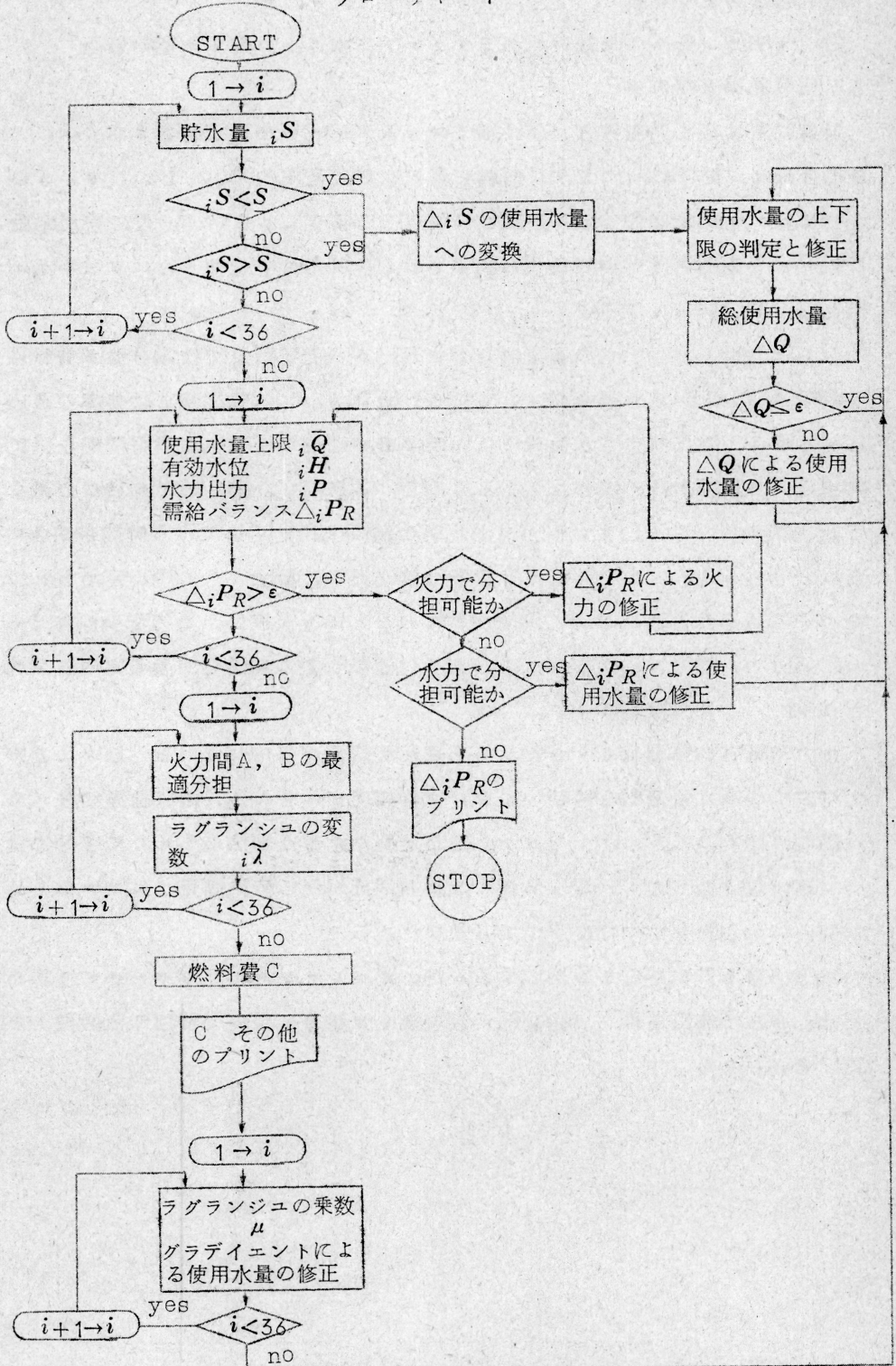
5. 計算結果及び考察

計算結果は図3乃至図8に示す如くである。(18)式の比例常数 k が $k=0.05$ の場合には, 図3に示すように燃料費 C の収斂は比較的速い。しかし $k=5$ の場合には, C は振動的となり収斂は $k=0.05$ の場合より悪い。一般に使用水量, 貯水量, 火力出力等が制限条件に拘束される時間帯が多くなる程, k は小さめにえらぶのが得策であろう。

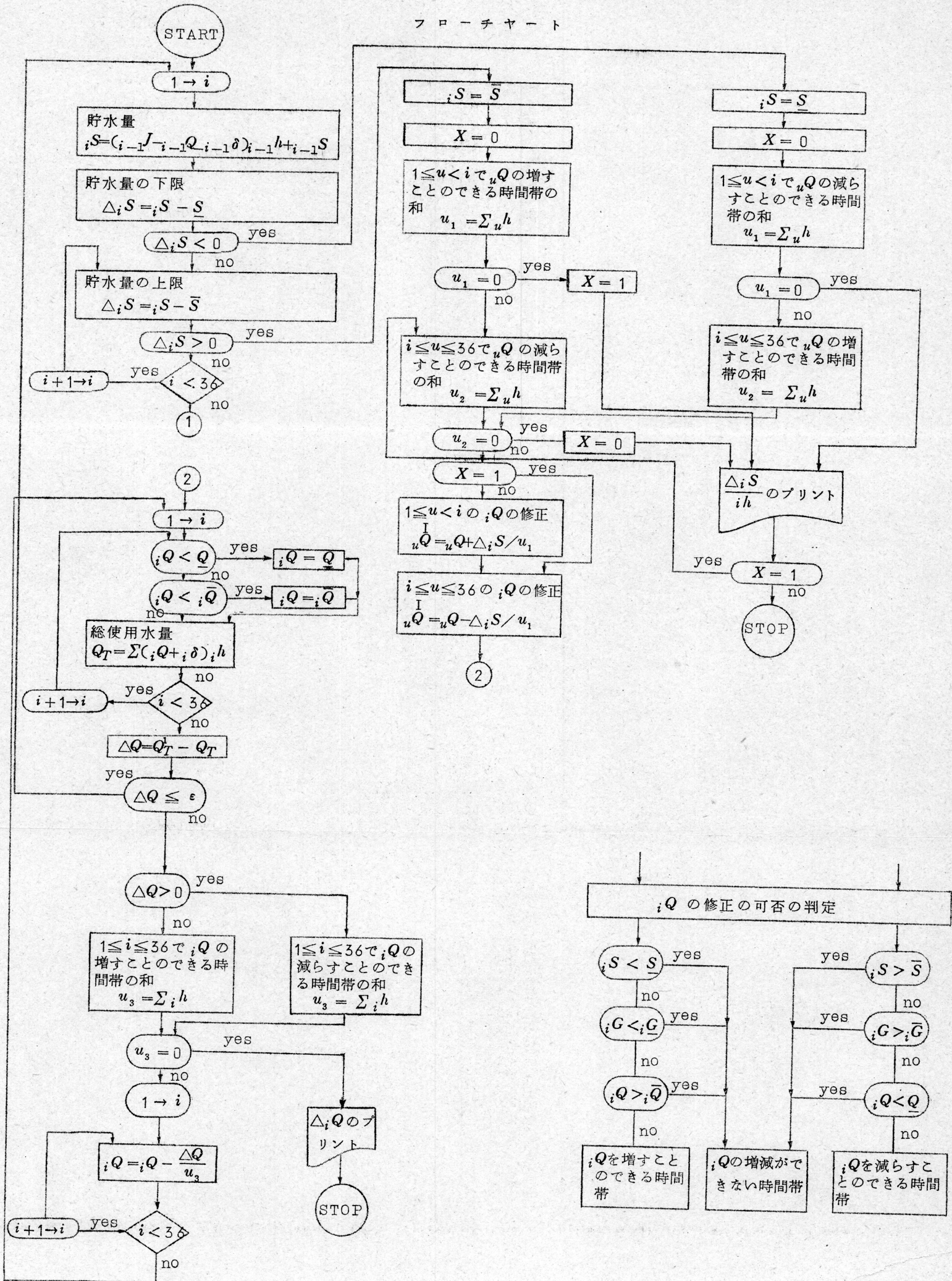
火力出力はAグループの発電所とBグループの発電所とでは増分燃料費特性 ($d_i F/d_i G$) がかなり異なっているため, 負荷の小さい時間帯では能率の悪いA発電所が下限に拘束され負荷の多い時間帯では能率のよいB発電所が上限に拘束される傾向が強く表われている。(図5, 6参照)。図3の燃料費 C の減少が比較的少ないのも, 火力出力が上下限の制限に拘束されている時間帯が多いためと考えられる。火力発電機の運転台数は表Iに示すように予め定められており, この運転台数が最適に決められているという保証は, この場合は与えられていない。図5, 6からみてさらによい運転台数の組合せがあるように考えられるが, ここではふれない。

水力発電所は初期値よりかなり修正された結果が得られている。図9より水力発電所は高水位運転を持続しようとする傾向がみられる。流入流量の多いのは期間の始めのほうだけであるが(図2参照)水位は期間のかなりの部分に亘つて高水位に保たれている。ただ貯水量の端点が低い値に固定されているため, 期間の始めと終りで水位が下つているのである。

以上簡単な考察を行なつたのであるが, オペレーションズ リサーチの立場からは, さらに制限条件, 火力運転台数を変えた場合について検討する必要があると考えられる。



フローチャート



Handwritten text, possibly a list or notes, located in the upper left quadrant of the page. The text is faint and difficult to decipher.

Handwritten text, possibly a list or notes, located in the upper right quadrant of the page. The text is faint and difficult to decipher.

Handwritten text, possibly a list or notes, located in the lower left quadrant of the page. The text is faint and difficult to decipher.

Handwritten text, possibly a list or notes, located in the lower right quadrant of the page. The text is faint and difficult to decipher.

表 I

年間需給計算入力データ

月	旬	火力制限値 MW				貯水池流入量 iJ 総日	負荷 P_R MW	使用水量 iQ 総日	時間帯 ih 日数
		B		A					
		$i\bar{G}_B$	iG_B	$i\bar{G}_A$	iG_A				
4	上	140	30	120	20	100	200	71	10
	中	〃	〃	〃	〃	150	〃	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	180	〃	〃	〃
5	上	〃	〃	〃	〃	180	〃	〃	〃
	中	〃	〃	〃	〃	180	〃	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	150	〃	〃	11
6	上	〃	〃	〃	〃	120	230	〃	10
	中	〃	〃	〃	〃	100	〃	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	90	270	〃	〃
7	上	〃	〃	〃	〃	60	〃	〃	〃
	中	280	60	〃	〃	60	400	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	60	〃	〃	11
8	上	〃	〃	〃	〃	50	〃	〃	10
	中	〃	〃	〃	〃	60	470	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	60	〃	〃	11
9	上	〃	〃	〃	〃	60	〃	〃	10
	中	〃	〃	〃	〃	60	〃	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	70	330	〃	〃
10	上	〃	〃	60	10	50	〃	〃	〃
	中	〃	〃	〃	〃	40	〃	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	30	〃	〃	11
11	上	〃	〃	〃	〃	50	360	〃	10
	中	〃	〃	〃	〃	50	〃	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	50	〃	〃	〃
12	上	〃	〃	〃	〃	45	〃	〃	〃
	中	〃	〃	〃	〃	45	〃	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	45	420	〃	11
1	上	〃	〃	120	20	30	〃	〃	10
	中	〃	〃	〃	〃	30	370	〃	〃
	下	〃	〃	〃	〃	30	〃	〃	11
2	上	〃	〃	〃	〃	60	450	〃	10
	中	〃	〃	〃	〃	60	〃	〃	10
	下	〃	〃	〃	〃	60	〃	〃	8
3	上	〃	〃	〃	〃	20	420	79	10
	中	〃	〃	〃	〃	20	〃	79	〃
	下	140	30	〃	〃	70	200	71	11

表

iG	iG_B	iG_A	iP
+ .11587+03	+ .95867+02	+ .20000+02	+ .84195+02
+ .10917+03	+ .89166+02	+ .20000+02	+ .90861+02
+ .93516+02	+ .73516+02	+ .20000+02	+ .10652+03
+ .78995+02	+ .58995+02	+ .20000+02	+ .12097+03
+ .71089+02	+ .51089+02	+ .20000+02	+ .12896+03
+ .71570+02	+ .51570+02	+ .20000+02	+ .12845+03
+ .10718+03	+ .87182+02	+ .20000+02	+ .12290+03
+ .11223+03	+ .92234+02	+ .20000+02	+ .11732+03
+ .15594+03	+ .13594+03	+ .20000+02	+ .11406+03
+ .17233+03	+ .14000+03	+ .32334+02	+ .97666+02
+ .31402+03	+ .28000+03	+ .34023+02	+ .85977+02
+ .28582+03	+ .26582+03	+ .20000+02	+ .11418+03
+ .32772+03	+ .28000+03	+ .47725+02	+ .72275+02
+ .38960+03	+ .28000+03	+ .10960+03	+ .80403+02
+ .35599+03	+ .28000+03	+ .75987+02	+ .11401+03
+ .39018+03	+ .28000+03	+ .11018+03	+ .79823+02
+ .38593+03	+ .28000+03	+ .10593+03	+ .84069+02
+ .25899+03	+ .23899+03	+ .20000+02	+ .71014+02
+ .28606+03	+ .26606+03	+ .20000+02	+ .43935+02
+ .30025+03	+ .28000+03	+ .20251+02	+ .29749+02
+ .25818+03	+ .24318+03	+ .10000+02	+ .71824+02
+ .31880+03	+ .28000+03	+ .38799+02	+ .41201+02
+ .30206+03	+ .28000+03	+ .22064+02	+ .57936+02
+ .29295+03	+ .28000+03	+ .12947+02	+ .67053+02
+ .28336+03	+ .27336+03	+ .10000+02	+ .76638+02
+ .28054+03	+ .27054+03	+ .10000+02	+ .79464+02
+ .33670+03	+ .28000+03	+ .56700+02	+ .83300+02
+ .32951+03	+ .28000+03	+ .49513+02	+ .90487+02
+ .27874+03	+ .25074+03	+ .20000+02	+ .99263+02
+ .26445+03	+ .24445+03	+ .20000+02	+ .10555+03
+ .34331+03	+ .28000+03	+ .63312+02	+ .10669+03
+ .34453+03	+ .28000+03	+ .64525+02	+ .10547+03
+ .34793+03	+ .28000+03	+ .67931+02	+ .10207+03
+ .32410+03	+ .28000+03	+ .44103+02	+ .95897+02
+ .33886+03	+ .28000+03	+ .58857+02	+ .81143+02
+ .12947+03	+ .10947+03	+ .20000+02	+ .70526+02

燃料費：+.42493+07

(收斂値)

II

iS	iQ	$i\bar{Q}$	$i\delta$
+ .20000+04	+ .10093+03	+ .10093+03	+ .00000-39
+ .19907+04	+ .10422+03	+ .10422+03	+ .00000-39
+ .24485+04	+ .10995+03	+ .10995+03	+ .00000-39
+ .31490+04	+ .11152+03	+ .11152+03	+ .00000-39
+ .38338+04	+ .10718+03	+ .10718+03	+ .00000-39
+ .45620+04	+ .97890+02	+ .97891+02	+ .00000-39
+ .51352+04	+ .88648+02	+ .88649+02	+ .00000-39
+ .54437+04	+ .82548+02	+ .82557+02	+ .00000-39
+ .56232+04	+ .78584+02	+ .78617+02	+ .00000-39
+ .57374+04	+ .67122+02	+ .73009+02	+ .00000-39
+ .56662+04	+ .59308+02	+ .78917+02	+ .00000-39
+ .56731+04	+ .79734+02	+ .81797+02	+ .00000-39
+ .54560+04	+ .51153+02	+ .84779+02	+ .00000-39
+ .54445+04	+ .56838+02	+ .84523+02	+ .00000-39
+ .54761+04	+ .81592+02	+ .87087+02	+ .00000-39
+ .52386+04	+ .57874+02	+ .89643+02	+ .00000-39
+ .52598+04	+ .60908+02	+ .89503+02	+ .00000-39
+ .52508+04	+ .50888+02	+ .87354+02	+ .00000-39
+ .54419+04	+ .30775+02	+ .82503+02	+ .00000-39
+ .56341+04	+ .20374+02	+ .77138+02	+ .00000-39
+ .58304+04	+ .49233+02	+ .77358+02	+ .00000-39
+ .56188+04	+ .28231+02	+ .77270+02	+ .00000-39
+ .58365+04	+ .38965+02	+ .72396+02	+ .00000-39
+ .59469+04	+ .44686+02	+ .69846+02	+ .00000-39
+ .60000+04	+ .51096+02	+ .69970+02	+ .00000-39
+ .59390+04	+ .53412+02	+ .72233+02	+ .00000-39
+ .58549+04	+ .56669+02	+ .75433+02	+ .00000-39
+ .57266+04	+ .63217+02	+ .81905+02	+ .00000-39
+ .53944+04	+ .72565+02	+ .91171+02	+ .00000-39
+ .49688+04	+ .82190+02	+ .10076+03	+ .00000-39
+ .43947+04	+ .87977+02	+ .10657+03	+ .00000-39
+ .41149+04	+ .90647+02	+ .10930+03	+ .00000-39
+ .38084+04	+ .91387+02	+ .11093+03	+ .00000-39
+ .35573+04	+ .92654+02	+ .11155+03	+ .00000-39
+ .28308+04	+ .88508+02	+ .10738+03	+ .00000-39
+ .21457+04	+ .83246+02	+ .10213+03	+ .00000-39
+ .20000+04			

表

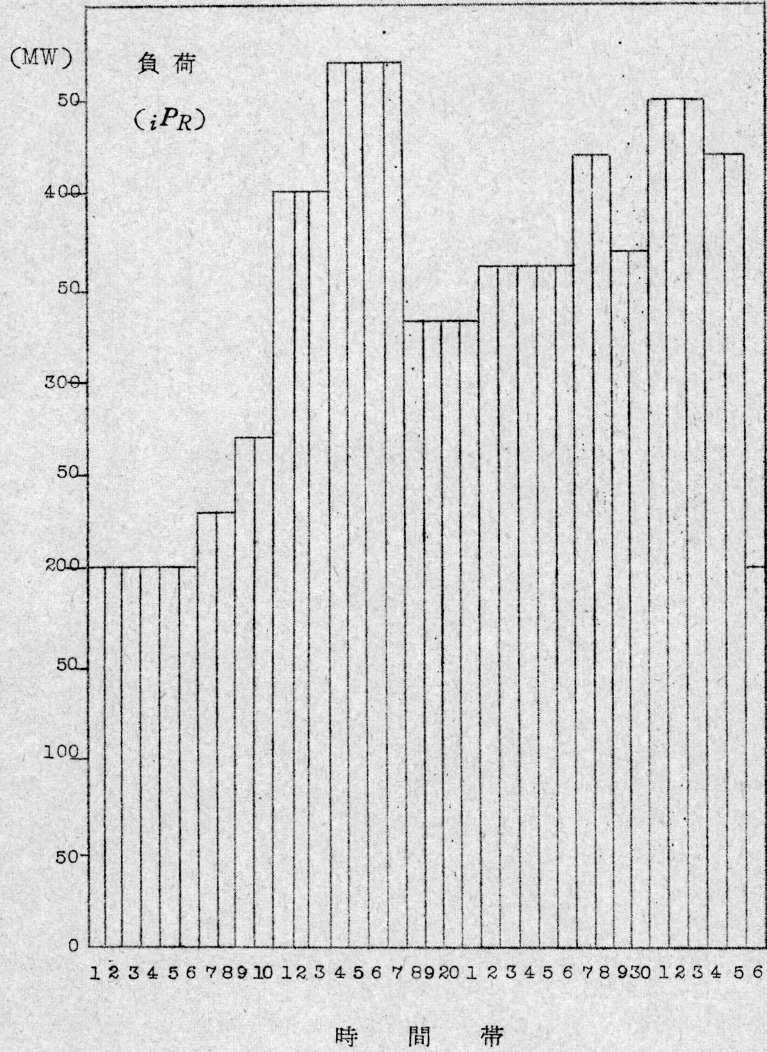
iG	iG_B	iG_A	iP
+ .11650+03	+ .96500+02	+ .20000+02	+ .83500+02
+ .11231+03	+ .92312+02	+ .20000+02	+ .87687+02
+ .10143+03	+ .81425+02	+ .20000+02	+ .98575+02
+ .88025+02	+ .68025+02	+ .20000+02	+ .11197+03
+ .74625+02	+ .54625+02	+ .20000+02	+ .12537+03
+ .63319+02	+ .43319+02	+ .20000+02	+ .13668+03
+ .92686+02	+ .72686+02	+ .20000+02	+ .13731+03
+ .10324+03	+ .83242+02	+ .20000+02	+ .12676+03
+ .16173+03	+ .14000+03	+ .21732+02	+ .10827+03
+ .17533+03	+ .14000+03	+ .35327+02	+ .94673+02
+ .30565+03	+ .28000+03	+ .25645+02	+ .94355+02
+ .30598+03	+ .28000+03	+ .25979+02	+ .94021+02
+ .30634+03	+ .28000+03	+ .26840+02	+ .93160+02
+ .37769+03	+ .28000+03	+ .97686+02	+ .92314+02
+ .37502+03	+ .28000+03	+ .98019+02	+ .91981+02
+ .37835+03	+ .28000+03	+ .98353+02	+ .91647+02
+ .37867+03	+ .28000+03	+ .98671+02	+ .91329+02
+ .23846+03	+ .21846+03	+ .20000+02	+ .91539+02
+ .23878+03	+ .21873+03	+ .20000+02	+ .91221+02
+ .24068+03	+ .23068+03	+ .10000+02	+ .89320+02
+ .24381+03	+ .23381+03	+ .10000+02	+ .86190+02
+ .27641+03	+ .26641+03	+ .10000+02	+ .83587+02
+ .27779+03	+ .26779+03	+ .10000+02	+ .82214+02
+ .27916+03	+ .26916+03	+ .10000+02	+ .80840+02
+ .28080+03	+ .27080+03	+ .10000+02	+ .79203+02
+ .28270+03	+ .27270+03	+ .10000+02	+ .77302+02
+ .34469+03	+ .28000+03	+ .64694+02	+ .75306+02
+ .34748+03	+ .28000+03	+ .67481+02	+ .72519+02
+ .30097+03	+ .28000+03	+ .20965+02	+ .69035+02
+ .30462+03	+ .28000+03	+ .24623+02	+ .65377+02
+ .38670+03	+ .28000+03	+ .10670+03	+ .63301+02
+ .38702+03	+ .28000+03	+ .10702+03	+ .62934+02
+ .38730+03	+ .28000+03	+ .10730+03	+ .62698+02
+ .35252+03	+ .28000+03	+ .72519+02	+ .67481+02
+ .35859+03	+ .28000+03	+ .78587+02	+ .61413+02
+ .14779+03	+ .12779+03	+ .20000+02	+ .52208+02

燃料費+.42814+07

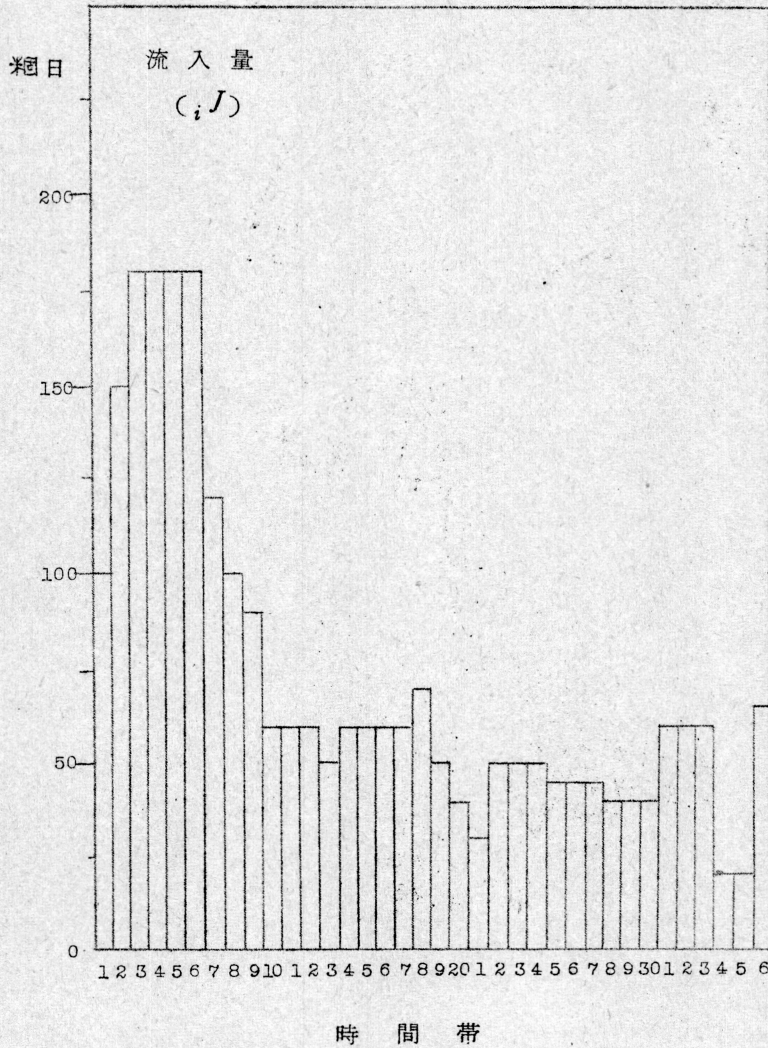
(初期値)

III

iS	iQ	$i\bar{Q}$	$i\delta$
+ .20000+04	+ .10000+03	+ .10100+03	+ .00000-39
+ .20000+04	+ .10000+03	+ .10462+03	+ .00000-39
+ .25000+04	+ .10000+03	+ .11054+03	+ .00000-39
+ .33000+04	+ .10000+03	+ .11036+03	+ .00000-39
+ .41000+04	+ .10000+03	+ .10350+03	+ .00000-39
+ .49000+04	+ .10000+03	+ .91316+02	+ .00000-39
+ .54500+04	+ .95814+02	+ .81626+02	+ .00000-39
+ .56919+04	+ .86545+02	+ .76360+02	+ .00000-39
+ .58264+04	+ .72641+02	+ .71732+02	+ .00000-39
+ .60000+04	+ .63011+02	+ .69480+02	+ .00000-39
+ .59699+04	+ .63011+02	+ .70433+02	+ .00000-39
+ .59393+04	+ .63011+02	+ .71422+02	+ .00000-39
+ .59067+04	+ .63011+02	+ .73913+02	+ .00000-39
+ .57766+04	+ .63011+02	+ .76291+02	+ .00000-39
+ .57464+04	+ .63011+02	+ .77206+02	+ .00000-39
+ .57133+04	+ .63011+02	+ .78109+02	+ .00000-39
+ .56832+04	+ .63011+02	+ .78958+02	+ .00000-39
+ .56531+04	+ .63011+02	+ .78399+02	+ .00000-39
+ .57230+04	+ .63011+02	+ .79244+02	+ .00000-39
+ .55929+04	+ .63011+02	+ .84074+02	+ .00000-39
+ .53623+04	+ .63011+02	+ .91179+02	+ .00000-39
+ .49997+04	+ .63011+02	+ .96282+02	+ .00000-39
+ .43695+04	+ .63011+02	+ .98681+02	+ .00000-39
+ .47394+04	+ .63011+02	+ .10088+03	+ .00000-39
+ .46093+04	+ .63011+02	+ .10323+03	+ .00000-39
+ .44292+04	+ .63011+02	+ .10560+03	+ .00000-39
+ .42491+04	+ .63011+02	+ .10766+03	+ .00000-39
+ .40510+04	+ .63011+02	+ .10983+03	+ .00000-39
+ .37209+04	+ .63011+02	+ .11137+03	+ .00000-39
+ .33908+04	+ .63011+02	+ .11157+03	+ .00000-39
+ .30276+04	+ .63011+02	+ .11105+03	+ .00000-39
+ .29975+04	+ .63011+02	+ .11093+03	+ .00000-39
+ .29674+04	+ .63011+02	+ .11081+03	+ .00000-39
+ .29433+04	+ .71011+02	+ .10917+03	+ .00000-39
+ .24332+04	+ .71011+02	+ .10366+03	+ .00000-39
+ .19231+04	+ .63011+02	+ .10038+03	+ .00000-39
+ .20000+04			



☒ 2



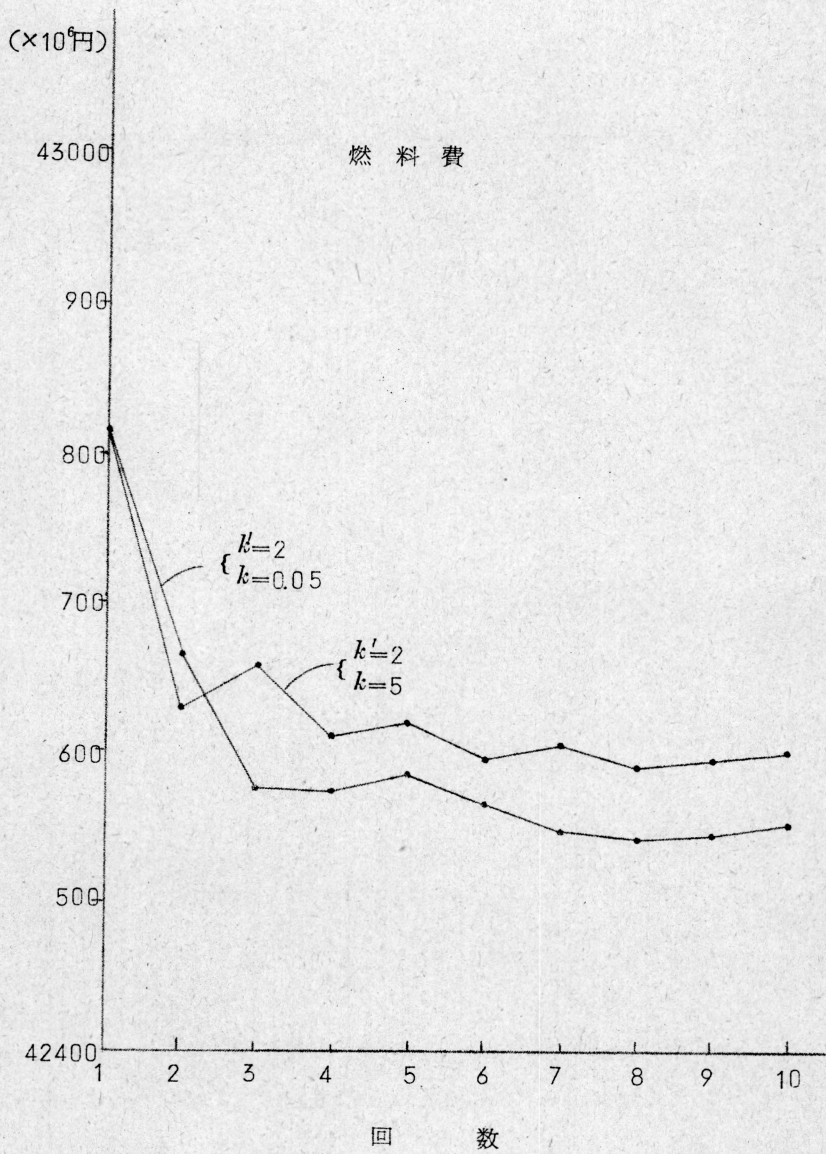
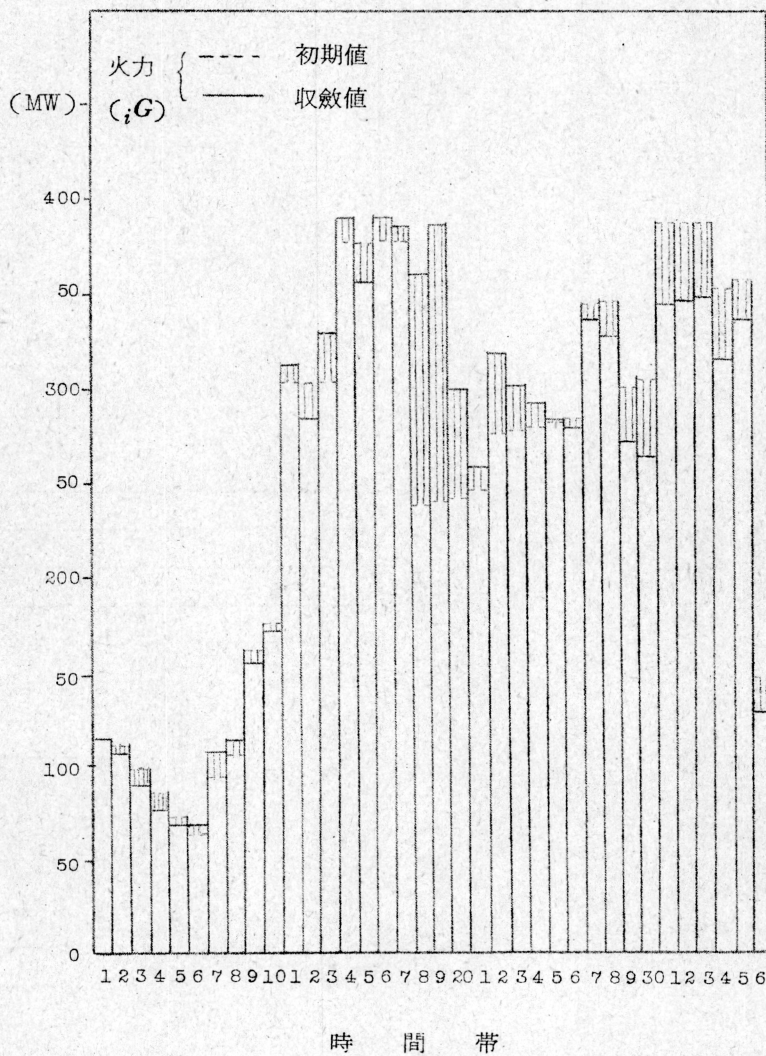


図 4



A火力 (G_A)
 初期値 (---)
 収斂値 (—)

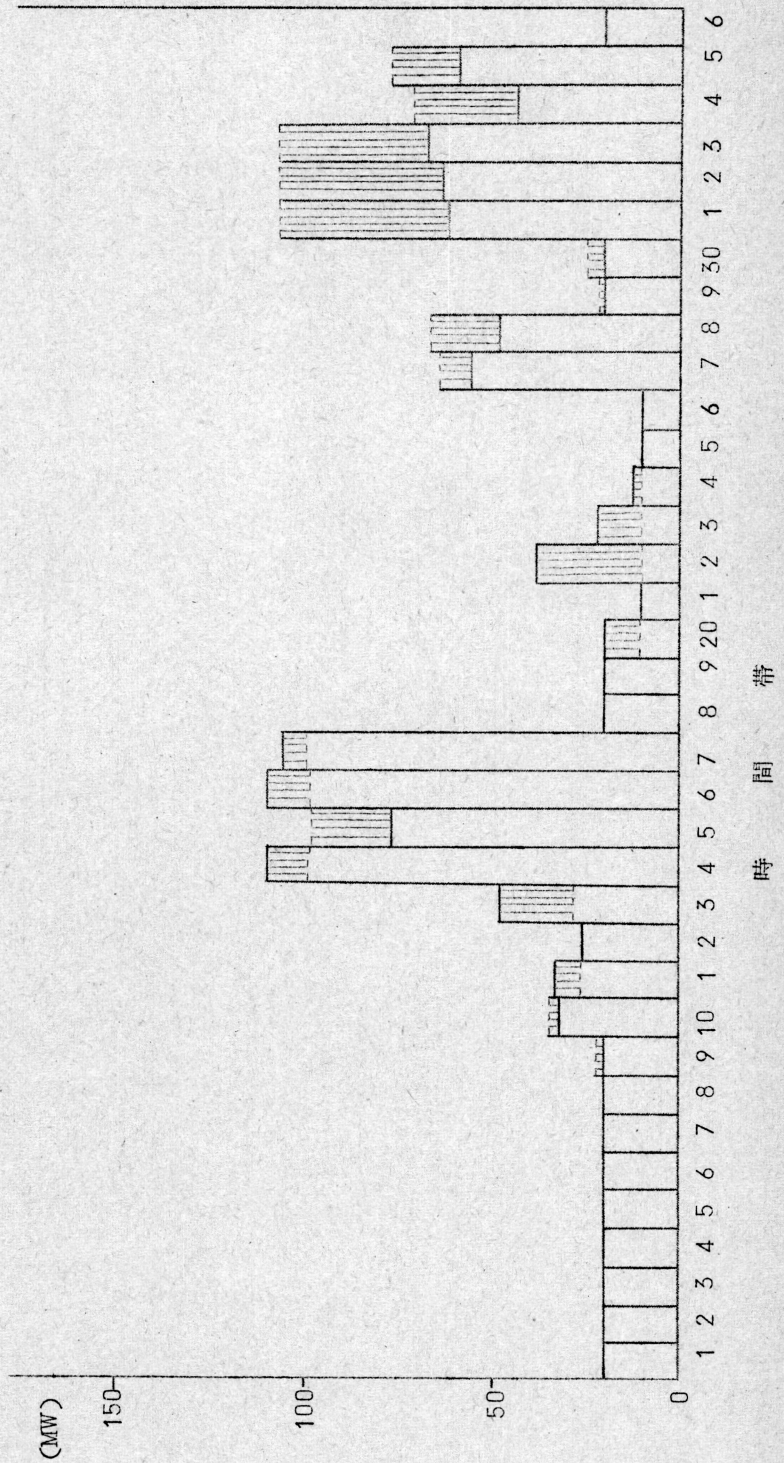


図 6

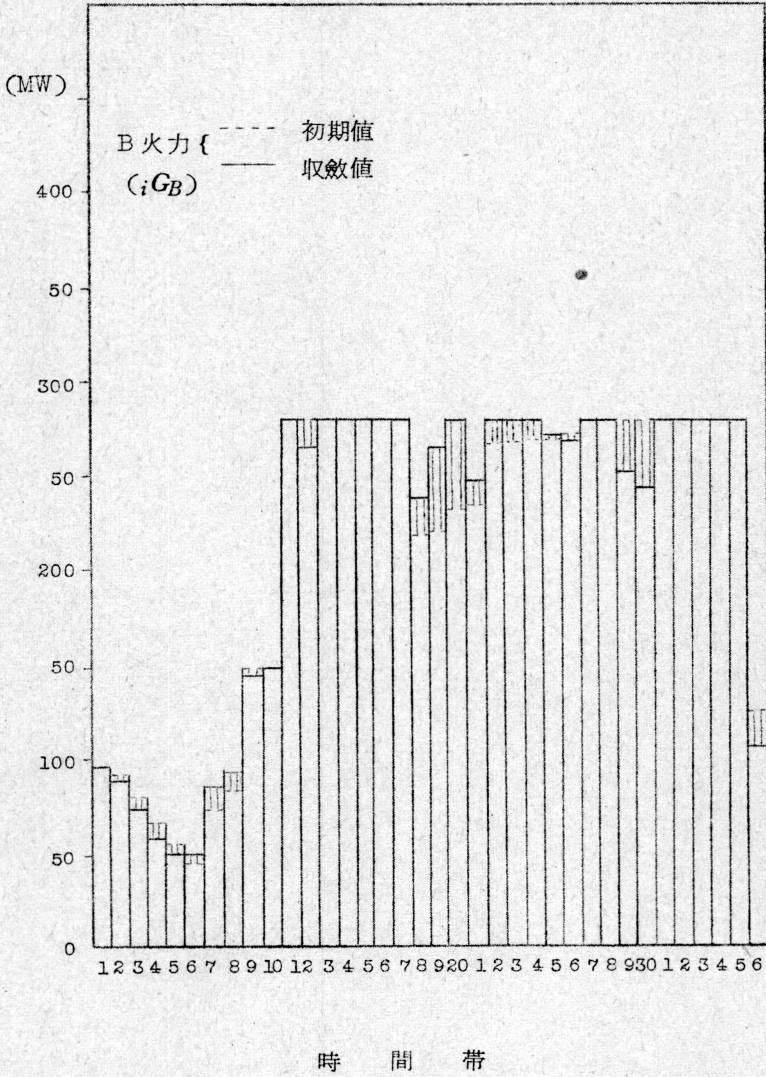


図 7

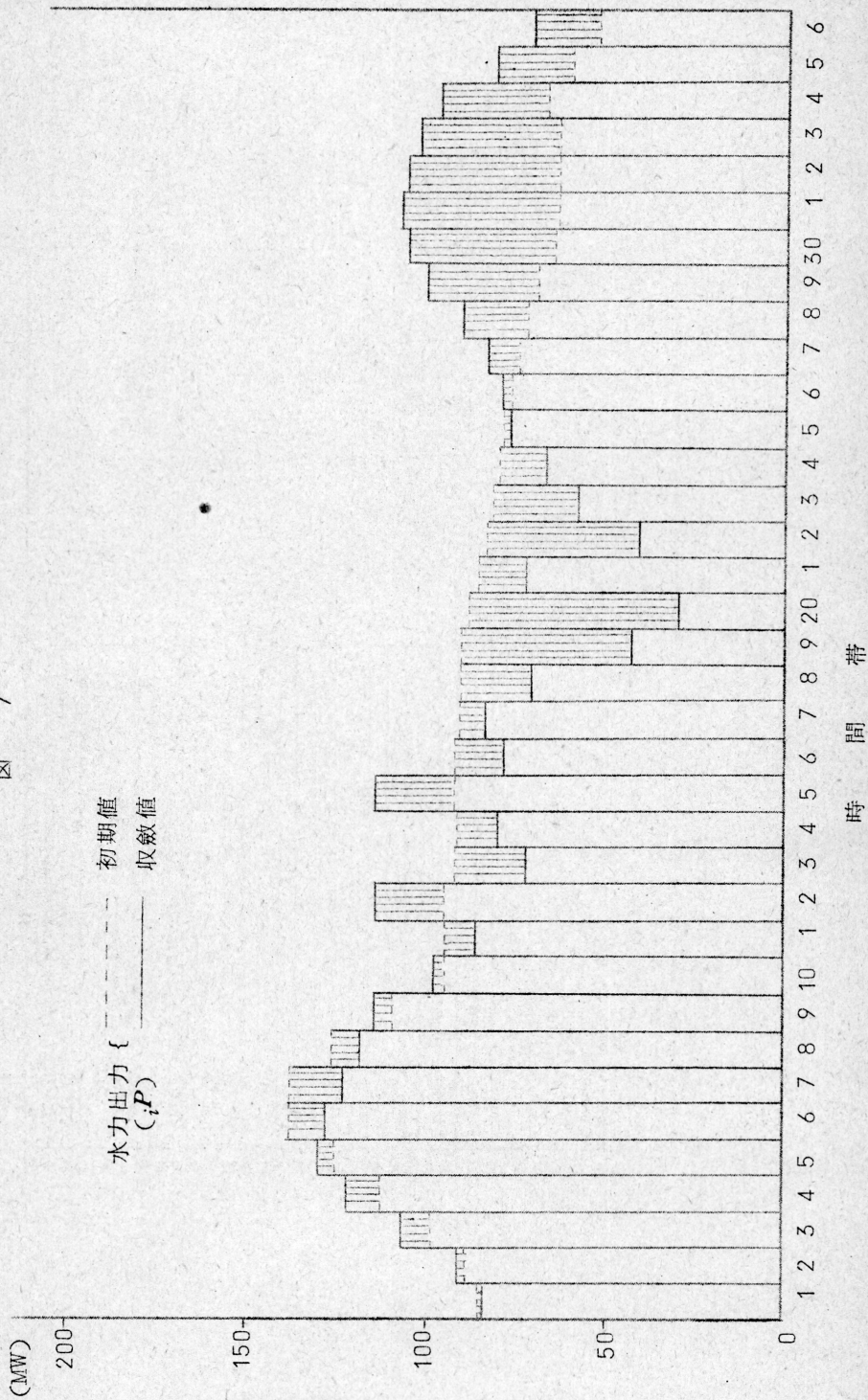


図 8

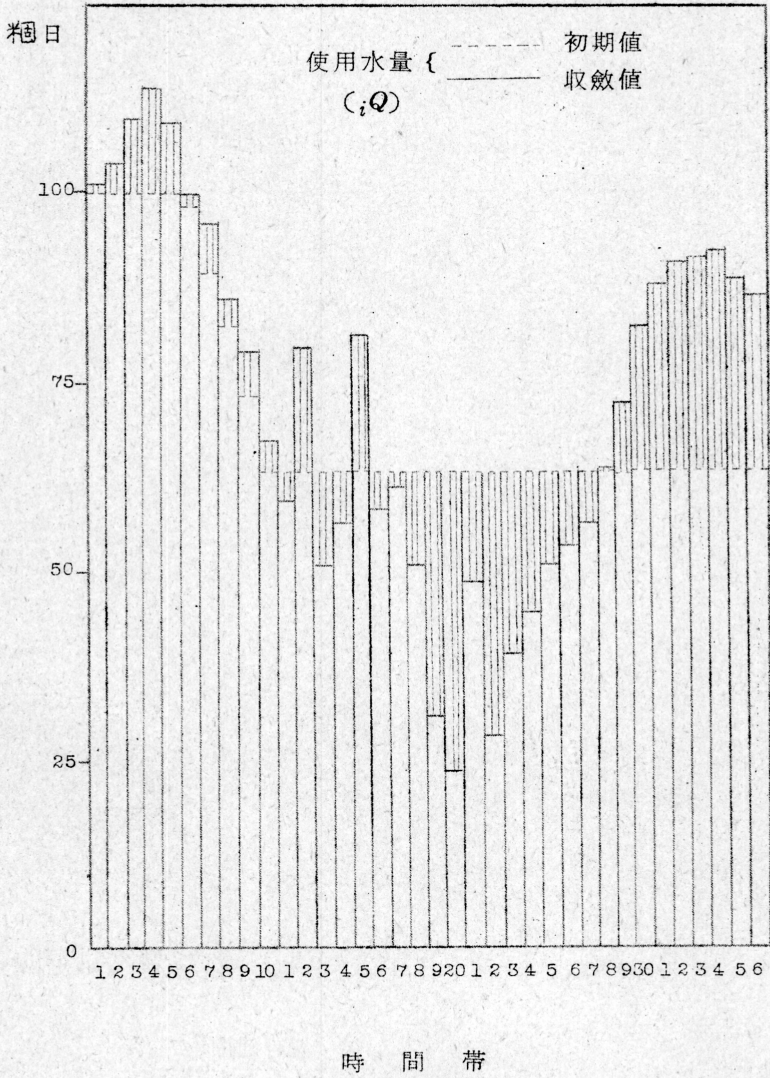
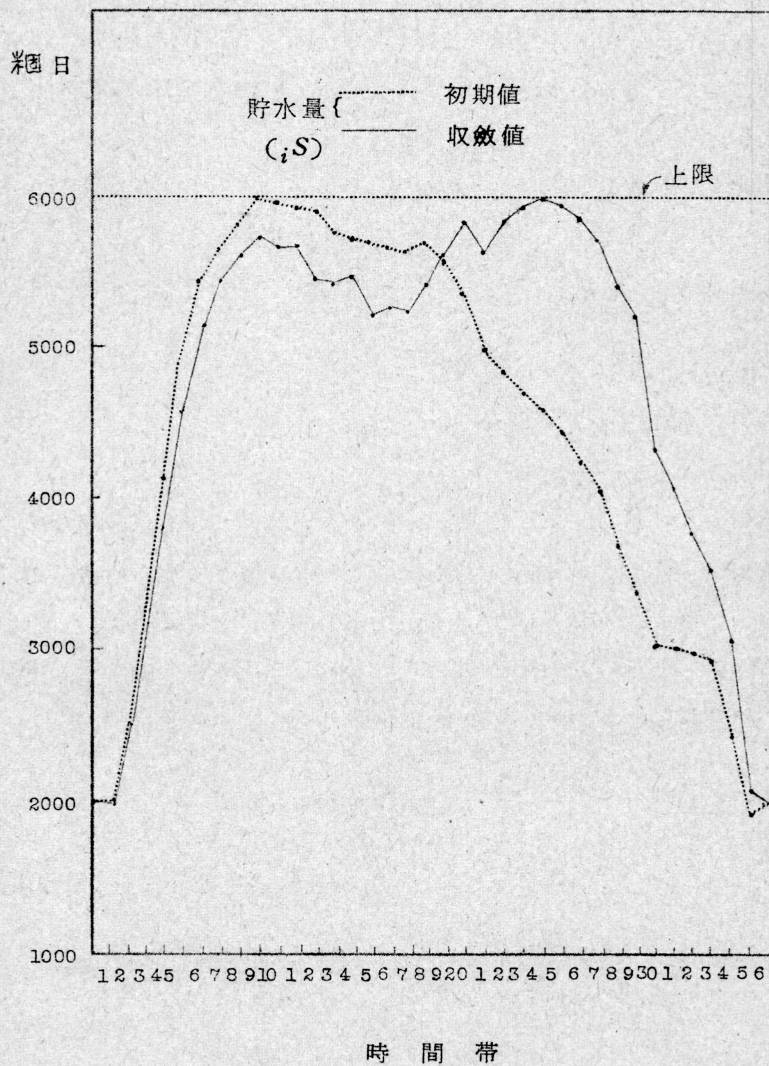


図 9



本 PDF ファイルは 1963 年発行の「第 4 回プログラミング・シンポジウム報告集」をスキャンし、項目ごとに整理して、情報処理学会電子図書館「情報学広場」に掲載するものです。

この出版物は情報処理学会への著作権譲渡がなされていませんが、情報処理学会公式 Web サイトに、下記「過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について」を掲載し、権利者の検索をおこないました。そのうえで同意をいただいたもの、お申し出のなかったものを掲載しています。

https://www.ipsj.or.jp/topics/Past_reports.html

過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について

情報処理学会発行の出版物著作権は平成 12 年から情報処理学会著作権規程に従い、学会に帰属することになっています。

プログラミング・シンポジウムの報告集は、情報処理学会と設立の事情が異なるため、この改訂がシンポジウム内部で徹底しておらず、情報処理学会の他の出版物が情報学広場 (=情報処理学会電子図書館) で公開されているにも拘らず、古い報告集には公開されていないものが少からずありました。

プログラミング・シンポジウムは昭和 59 年に情報処理学会の一部門になりましたが、それ以前の報告集も含め、この度学会の他の出版物と同様の扱いにしたいと考えます。過去のすべての報告集の論文について、著作権者 (論文を執筆された故人の相続人) を探し出して利用許諾に関する同意を頂くことは困難ですので、一定期間の権利者搜索の努力をしたうえで、著作権者が見つからない場合も論文を情報学広場に掲載させていただきたいと思います。その後、著作権者が発見され、情報学広場への掲載の継続に同意が得られなかった場合には、当該論文については、掲載を停止致します。

この措置にご意見のある方は、プログラミング・シンポジウムの辻尚史運営委員長 (tsuji@math.s.chiba-u.ac.jp) までお申し出ください。

加えて、著作権者について情報をお持ちの方は事務局まで情報をお寄せくださいますようお願い申し上げます。

期間：2020 年 12 月 18 日～2021 年 3 月 19 日

掲載日：2020 年 12 月 18 日

プログラミング・シンポジウム委員会

情報処理学会著作権規程

<https://www.ipsj.or.jp/copyright/ronbun/copyright.html>