停電損失を考慮した事故時負荷復旧順序の決定手法*

――しゃ断器投入時間を考慮した場合――

奈良宏一**
山城迪**

(昭和56年4月28日受理)

Determination of The Load Restoration Sequence Taking into Account The Cost of Interruptions Electrical Service

— Taking into Account The Operating Time of Circuit Breakers —

by Koichi NARA and Susumu YAMASHIRO

In this paper, the authors propose a method for determining the load restoration sequence taking into account the cost of interruptions electrical service, under conditions where the time for operating circuit breakers to restore a load exceeds the time required to increase the generators' electrical power up to meet the demand. To find the sub-optimal solution to this problem, it is formulated as a nonlinear 0-1 programing, and it can be solved by the lexicographical enumeration procedure.

An example demonstrates that the proposed method is effective for restoring the load, because the cost of interruptions electrical service using the suboptimal solution of the proposed method is lower than that with the traditional solution which uses load priorities.

It seems to be impossible to apply the proposed method to real large power systems through a real-time on-line computer, because the solution by this method takes too much computing time, unless a more effective bounding algorithm can be developed. Nevertheless it is effective to apply the proposed method to the determination of the load restoration sequence for some hypothetical faults in power systems through a off-line computer.

1. まえがき

停電による損失(以下「停電損失」と呼ぶ)は負荷の種別ばかりでなく停電の継続時間や大きさによっても変化する[10),11)]。したがって,電力系統事故時に,停電負荷をその優先順位によ

---

* 昭和55年電気学会全国大会で発表

** 北見工業大学電気工学科

り復旧する手法[5),6)]が必ずしも全体の停電損失を最小にしているとは限らない。このような観点から筆者らは，全考察期間に亘る停電損失の累積値を最小にすることを目的とした負荷復旧順序決定手法について提案してきた[2),3)]。

これらの提案では，しゃ断器操作による負荷母線充電に要する時間が，発電機が負荷の復旧単位 Δ だけ出力を増加するために要する時間より小さいという仮定がなされていた。しかし，水力発電機が多い系統では，発電機出力の立上りが極めて早く，必ずしもこの仮定が成立っているとは限らない。

一方，筆者らは，事故時，停電負荷を線路または機器に過負荷を生ずることなく最小回数のしゃ断器操作で復旧する手法[7)~9)]について提案してきた。

本稿では，この負荷復旧のための最小操作回数を用いた，しゃ断器の操作時間が発電機出力立上り時間に比べて無視できないと仮定した場合の停電損失最小化を目的とした負荷復旧順序決定問題[1)]の定式化とその解法について述べる。しかし，以下に提案する解法では，個々の負荷単位にしゃ断器操作回数最小のルートを検出し，それに従ってしゃ断器を投入する方法をとっているので，真の最適解は得られず，求められる解は準最適解にすぎない。もちろん，同様の方法で真の最適解を得ることも可能であるが，準最適解を選んだのは次の理由による。すなわち，真の最適解を得るためには，しゃ断器操作順序について，すべてのしゃ断器のあらゆる組合せ（事故による開放しゃ断器の総数を c とすると $c!$ 通り）を考える必要があり，たとえば，事故による開放しゃ断器の総数を20としても約 10^{18} 通りの演算を必要とし，現在の電子計算機の能力では非現実的であること，および，真の最適解と準最適解とでは停電損失の大きさにほとんど差がないことからである。

以下，２章では，問題を非線形計画問題として定式化し，３章では，その辞書的列挙法による解法について述べている。最後に，４章で簡単な例題を示し考察を加えている。

2.　問題の定式化

2.1　前提条件

本論文では，以下に述べる６つの前提条件のもとに定式化を行っている。

(1)　負荷の大きさは一定の量 Δ の整数倍で与えられるものとする。（すなわち，負荷は Δ 単位に分割可能である。以下，分割された負荷の一つ一つを「分割負荷」と呼ぶ。）

(2)　一度投入した負荷の再しゃ断は行わない。

(3)　発電コスト，送電損失の最小化は考慮せず停電損失の最小化のみを考慮する。

(4)　負荷の大きさは停電前，中，後を通して変らないものとする。

(5)　発電機の脱落があった場合は，脱落発電機の系統並列を第１優先として，その後に負荷の復旧を行うものとする。

(6)　停電負荷に相当する発電機出力の増加は有限時間以内に得られるものとする。

2.2 停電損失最小化問題

分割負荷の総数を n, 発電機出力が $j\Delta$ だけ増加した時点に分割負荷 i が投入されたと仮定したときの停電損失を F_{ij} で表わすと, 全分割負荷の累積停電損失を最小化する問題は, 発電機出力上昇に制約がある場合も考慮すると, 一般に次のような最小費用流量問題として定式化される[2]。

〔目的関数〕

$$F=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n'}F_{ij}x_{ij}\longrightarrow 最小 \tag{1}$$

〔制約条件〕

$$\left.\begin{array}{ll}\displaystyle\sum_{i=1}^{m}x_{ij}=a_j & (\text{for } j=1,2,\cdots,n')\\ \displaystyle\sum_{j=1}^{n'}x_{ij}=b_i & (\text{for } i=1,2,\cdots,m)\\ x_{ij}\geqq 0 & (\text{for } i=1,2,\cdots,m,\ j=1,2,\cdots,n')\end{array}\right\} \tag{2}$$

ただし,

$$x_{ij}=\begin{cases}1: 分割負荷\ i\ を時刻\ u_j\ で投入したとき\\ 0: 上記以外\end{cases}$$

F_{ij}: $F_{ij}=F_i(t_i)$ (3)

t_i: $t_i=u_j+t_{iers}$ (4)

u_j: 復旧順序計算開始時点を0とした総増加発電機出力が $j\Delta$ に達するまでの相対時間

t_{iers}: 分割負荷 i の脱落時点から復旧順序計算開始までの時間

m: $m=n-n_d$ (5)

n_d: 同じ停電損失を持つ分割負荷が複数個ある場合, それを一本の制約条件式にまとめたために消去された条件式の数

b_i: i 番目の式にまとめられた条件式の数で $\sum_{i=1}^{m}b_i=n$ を満足する。

a_j: $a_j=L_k/\Delta$ (6)

L_k: 時点 j で最低限とらねばならない負荷の大きさ。ただし, L_k は Δ の整数倍とする。

n': $\sum_{j=1}^{n'}a_j=n$ を満足する最小の正の整数

2.3 しゃ断器投入時間を考慮した停電損失最小化問題

(4) 式の t_i は発電機出力上昇によってのみ制約を受けると仮定されている。ところが, 実際には, 分割負荷 i を復旧するためのしゃ断器投入に要する時間が発電機出力が Δ だけ増加するために要する時間を超えることもあり得, その場合には t_i はしゃ断器投入時間によって支配されてしまう。このような現象は, 水力発電機のような出力の上昇が非常に早い発電機によっ

て電源のほとんどが構成されている系統において起り得る。

このような場合，分割負荷 i が投入される時刻 t_i は，しゃ断器投入に要する時間も考慮して次式のように定義されねばならない。

$$t_i=t'_j=\begin{cases} t_j & (t_j-t'_{j-1}\geqq t_{cij}) \\ t'_{j-1}+t_{cij} & (t_j-t'_{j-1}<t_{cij}) \end{cases} \tag{7}$$

ただし，

$t_j=t'_{j-1}+$(発電機出力が $\varDelta$ だけ増加するのに要する時間)

t_{cij}：時点 $(j-1)$ までの系統の接続パターンが知られているときに，時点 j で分割負荷 i を投入するときのしゃ断器操作に要する時間で，文献 7)～9) に示す方法によって計算されるしゃ断器操作回数から求められる。

すなわち，$(j-1)$ 番目の分割負荷が復旧された時刻から，発電機の総増加出力が $j\varDelta$ に達する時点 j の時刻までの時間が分割負荷 i を復旧するために必要なしゃ断器の投入に要する時間よりも大きいときには，t_i は発電機出力の上昇に要する時間 u_j で決定され，逆に小さいときには，しゃ断器投入に要する時間 t_{cij} によって決定されている。

したがって，しゃ断器投入時間をも考慮した場合の問題は，次のような非線形計画問題として定式化されなければならない。

〔目的関数〕

$$F=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n'}F_i(t'_j)\cdot x_{ij}\longrightarrow 最小 \tag{8}$$

ただし，

$$t'_j=\begin{cases} t_j & (t_j-t'_{j-1}\geqq t_{cij}) \\ t'_{j-1}+t_{cij} & (t_j-t'_{j-1}<t_{cij}) \end{cases} \tag{9}$$

〔制約条件〕

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{m}x_{ij}=a_j && (\text{for } j=1,2,\cdots,n') \\ &\sum_{j=1}^{n'}x_{ij}=b_i && (\text{for } i=1,2,\cdots,m) \\ &x_{ij}=0 \text{ or } 1 && (\text{for } i=1,2,\cdots,m,\ j=1,2,\cdots,n') \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

ここで，(2) 式の 3 番目の式と (10) 式の 3 番目の式が異るのは，(1), (2) 式では $x_{ij}\geqq 0$ としても多くの場合 x_{ij} の整数解が得られる保障があったが，(9), (10) 式では $x_{ij}\geqq 0$ とした場合に x_{ij} が整数解となる保障が全く得られないからである。

3. 問題の解法

3.1 非線形 0–1 計画問題の解法

(9), (10) 式の問題は $F_i(t'_j)$ が非線形であり，さらに x_{ij} が 0 か 1 しかとらないため，非線形 0–1 計画問題になっている。

非線形 0–1 計画問題の解は基本的には組合せ計画法 (Combinatorial Programing) によらねばならない。一般には，組合せの数の減少を図るために多段決定過程の各段において，以後に最適解を生じる可能性の少ない状態を除くための適当な基準を用いる方法がとられる。すなわち，動的計画法 (Dynamic Programing Method：以下 DP 法と略す)，分枝限定法 (Branch and Bound Method：以下 BAB 法と略す)，バックトラック法または辞書的探索法(Lexicographical Enumeration Procedure：以下 LE 法と略す) などである[12]。

このうち，DP 法の適用には最適性の原理 (Princeiple of Optimality) が成立する必要がある。本問題の場合，ある段におけるしゃ断器投入に要する時間が過去におけるしゃ断器の投入パターンに依存し，さらに，過去の負荷復旧順序がその段の累積停電損失に影響を与えるため，最適性の原理を満足させることが困難である。したがって，DP 法の適用は別の定式化によらない限り不可能であり，解法として BAB 法か LE 法を選択することになる。

本問題では，両手法共に適用可能であるが，BAB 法を用いても，

① 分枝限定操作に制約条件式の情報を有効に利用し得ないので LE 法に比べて演算効率が悪い。

② n の増加に伴い，実規模系統では記憶容量が制御用小型計算機の領域を超えてしまう。

ことなどから，BAB 法を用いるよりは LE 法を用いるのが適切であると考えた。

3.2 辞書的探索法

LE 法はバックトラック法とも呼ばれ，次のようにして本問題へ適用可能である。

変数 X を，

$$X = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} \cdots\cdots & x_{1n'} \\ x_{21} & x_{22} & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots\cdots & x_{mn'} \end{vmatrix} \tag{11}$$

で定義し，その要素 x_{ij} を順に 0 または 1 に辞書的順序に固定して，0 と 1 のすべての組合せを作る。可能解は(10)式を満足するものであるから，この組合せのうち(10)式を満足する組合せ（これらの集合を S とおく）のみを考慮の対象とすれば良い。集合 S の中から最適解を探索することによって解を求めることができるが，この手順は以下のように説明できる。

いま，$X_j^k \in S$ を $m \times n'$ マトリクスとして次のように書き表わす。

$$X_j^k = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} \cdots x_{1,(j-1)} & x_{1j} & 0 \cdots\cdots 0 \\ x_{21} & \cdots\cdots\ x_{2,(j-1)} & x_{2j} & 0 \cdots\cdots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ & & x_{kj} & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots\cdots\ x_{m,(j-1)} & x_{mj} & 0 \cdots\cdots 0 \end{vmatrix} \tag{12}$$

ただし，

$$\left.\begin{array}{ll} x_{il}=1 & (\text{at } i\in I_{j-1},\ l\leqq j-1) \\ x_{kj}=1 & \\ x_{il}=0 & (\text{at } i\in \overline{I_{j-1}},\ l\leqq j-1) \\ x_{ij}=0 & (i\neq k) \end{array}\right\} \tag{13}$$

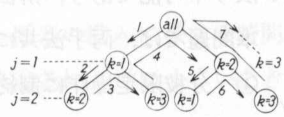
$$k\in \overline{I_{j-1}} \tag{14}$$

なお，I_{j-1} は $x_{i(l),l}=1$ であるような $i(1), i(2), \cdots, i(l), \cdots, i(j-1)$ を要素とする集合とする。もし，$j=4$ で $x_{11}=1,\ x_{32}=1,\ x_{53}=1$ であれば $I_{j-1}=(1, 3, 5)$ である。

探索は $k=1, j=1$ よりはじめて，j の depth-first で，

$$k=\min\{i\},\qquad i\in(\overline{I_{j-1}}\cap\overline{B_j}) \tag{15}$$

の k に対して分枝していくことによってなされる。ただし，B_j はそれ以前の分枝ですでに探索を終了した X_j^k の k の集合を表わしている。すなわち，図-1の探索木の例では，矢印に付した番号の順に探索していくことになる。この探索では，可能解をすべて網羅しているので，必ず，可能解集合 V の中の最適解 v^* を見い出すことができる。



図—1　探索の木の節点の探索順（$m=n'$ の場合）

いま，X_j^k から到達可能な部分解集合を V_j^k とすると，V_j^k の下界値は次式で与えられる。

$$E(V_j^k)=\sum_{l=1}^{j}\sum_{l'=1}^{m}F_{ll'}\cdot x_{ll'}+F'(V_j^k) \tag{16}$$

ただし，$F_{ll'}$ は分割負荷 l を時点 l' で投入した時の分割負荷 l の停電損失であり，$F'(V_j^k)$ は次の線形計画 (LP) 問題を解いて得られる解である。

〔目的関数〕

$$G=\sum_{l\in\overline{I_{j-1}}}\sum_{l'=j+1}^{n'}F_{ll'}\cdot x_{ll'}\longrightarrow\text{最小} \tag{17}$$

〔制約条件〕

$$\left.\begin{array}{ll} \displaystyle\sum_{l\in\overline{I_{j-1}}}x_{ll'}=a_{l'} & (l'=j+1, j+2, \cdots, n') \\ \displaystyle\sum_{l'=j+1}^{n'}x_{ll'}=b_l-b'_l & (l\in\overline{I_{j-1}}) \\ x_{ll'}\geqq 0 & (l\in\overline{I_{j-1}},\ l'=j+1, j+2, \cdots, n') \end{array}\right\} \tag{18}$$

ただし，b'_l：時点 j までに復旧された l に属する分割負荷の数

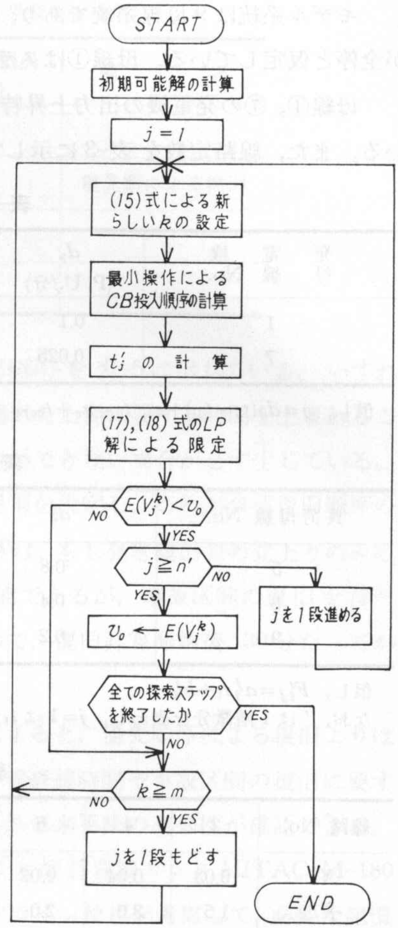
(16) 式の第1項は時点 j までの負荷復旧による停電損失の大きさを表わしており，第2項，すなわち，(17), (18) 式の解は時点 $j+1$ から先の (2) 式の制約条件を満す最小の停電損失を表わしている。(17), (18) 式にはしゃ断器投入時間による (9) 式の制約が含まれていないので，X_j^k より到達し得る可能解は (16) 式の値よりは小さくはなり得ないことがわかる。

さて，いま，さらに可能解の一つを既知とし，その目的関数の値を v_0 としよう。すると，もし，X_j^k の時点で，

$$E(V_j^k) \geqq v_0 \tag{19}$$

であるならば X_j^k より先の分枝操作を行っても $v \geqq v_0$, $(v \in V_j^k)$ であるから，既知の可能解よりも目的関数の値が改善されることはあり得ないことになる（この操作を「限定」と呼ぶ）。したがって，図-1 の探索木において，X_j^k を示す節点以降の j に関する探索を省略して，1段手前の j から (15) 式によって計算される新らしい k について探索を続行すれば良い。

以上の手順をまとめると，本問題に適用される LE 法は図-2 のフローチャートのようになる。



図―2　辞書的探索法のフローチャート

3.3 初期可能解の計算

LE 法では可能解が一つでも求められているならば収束が極めて早くなることが知られている。したがって，初期可能解が何らかの方法で見い出せるならば，それを初期解として計算を進めると効率が良い。本問題の場合，次の手順によって初期可能解を決定できる。

① (9) 式を無視して，(8), (10) 式を解く。すなわち，(1), (2) 式で与えられる線形計画問題を解く。

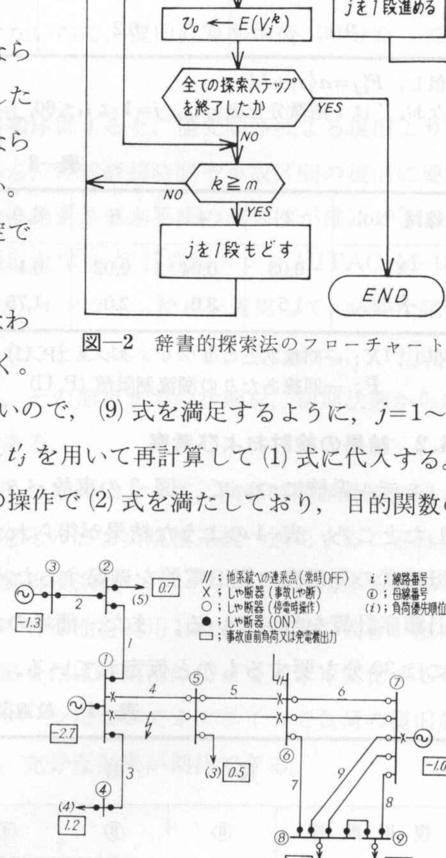
② ①より得られた解は (9) 式を満足していないので，(9) 式を満足するように，$j=1 \sim n'$ について順に t'_j を計算し，(3) 式を新らしい t'_j を用いて再計算して (1) 式に代入する。

①，②の手順によって得られた解 x_{ij} は，①の操作で (2) 式を満たしており，目的関数の値，すなわち (1) 式の F は，②の操作で (9) 式の制約を満している。したがって，この時の F は可能解であり，これを停電損失の初期値 v_0 とすることができる。

4. 簡単な例題

4.1 モデル系統

以上の手順を図-3 に示す簡単な系統に適用してみる。



図―3　モデル系統

モデル系統は9母線系統であり，線路4の片回線で事故が発生し，母線⑤，⑥，⑦，⑧，⑨が全停と仮定している。母線①はスラック母線であり健全系の電力の過不足を吸収している。

母線①，⑦の発電機の出力上昇特性と脱落負荷の停電損失特性を各々 表-1，表-2に示している。また，線路定数を 表-3に示している。

表—1 発電機出力上昇特性

発電機母線 No.	d_g (P.U./分)	t_{g1} (分)	t_{gers} (分)	e_g (P.U.)	定格出力 (P.U.)
1	0.1	0.0	0.0	0.6	2.7
7	0.025	10.0	0.0	0.0	1.0

但し，$g=d_g(t_g-t_{g1})+e_g$, $t_g=u_g+t_{gers}$　　g：発電機出力，u_g：経過時間

表—2 停電損失特性

負荷母線 No.	a_i^1	b_i^1	a_i^2	b_i^2
5	0.8	0.0	0.36	26.0
8	0.4	40.0	0.4	40.0
9	0.2	20.0	0.49	2.6

但し，$F'_{ij}=a_i^j t_i+b_i^j$

なお，$'$ は1階微分を表わし，$j=1$ は $t_i \leqq 60$, $j=2$ は $t_i>60$ の場合である。

表—3 線路定数

線路 No.	2	4	6	8, 9	11, 12	14	16, 17	19, 20	21	22
X	0.03	0.04	0.02	0.1	0.1	0.1	0.16	0.16	0.2	0.05
$\bar{P}$	1.5	3.0	2.0	1.75	1.0	1.6	1.5	1.5	1.0	2.0

但し，X；一回線あたのリアクタンス (P.U)

$\bar{P}$；一回線あたりの潮流制限値 (P.U)

4.2 結果の検討および考察

モデル系統について，図-3の事故パターンからの負荷復旧順序を図-2の手順に従って計算したところ，表-4のような結果が得られた。ただし，2.1節の仮定(5)より，負荷復旧以前に母線⑦の発電機の復旧電源を確保するため，線路4, 5, 6の各1回線を復旧してから，負荷復旧順序計算を行っている。また，簡単のため，しゃ断器操作1回には0.5分，事故区間の復旧には30分を要するものと仮定している。

表—4 最適復旧順序と最小停電損失

	復	旧	順	序			累積停電損失 (千円)
復旧順序	⑧	⑧	⑨	⑤	⑨	⑨	3926
復旧時刻 (t_i)	5.0(分後)	10.0	14.0	30.0	42.0	62.0	

表—5　最適ケース以外の復旧順序と累積停電損失

復　旧　順　序	累積停電損失（千円）	備　考
⑧→⑧→⑤→⑨→⑨→⑨	4037	
⑧→⑧→⑨→⑨→⑨→⑤	4167	優先順による復旧
⑤→⑧→⑧→⑨→⑨→⑨	4360	
⑤→⑨→⑨→⑨→⑧→⑧	6491	

一方，優先順位による復旧も含め，他の代表的な復旧順序を表-5に示している。いずれの復旧順序によってもしゃ断器投入に要する時間が発電機出力上昇に要する時間を上まわることはないが，事故区間の投入によらない限り過負荷の解消ができない場合が必ず生じている。したがって，事故区間の投入に要する時間が負荷の投入時刻を決定し，これが負荷復旧順序の決定に影響を与えている。たとえば，表-4において負荷⑤は，もし発電機出力の立上りのみによって制限されるとすれば復旧計算開始後17分で復旧可能であるが，事故区間の復旧を待たない限り線路4（1回線）が過負荷のために復旧できないので，復旧計算開始後，30分たってから復旧されている。

表-4と表-5との比較から，本手法による復旧順序によると，優先順序による復旧よりは停電損失を約6％改善できることがわかる。もちろん，停電継続時間や事故区間の復旧に要する時間によって損失の減少率が変動はするが，上述の結果から本手法の有効性が確認できる。

このシミュレーションに要した演算時間は北海道大学大型計算機センタ HITAC-M-180で約23秒であった。このように演算時間が長いのは，オンライン使用を考慮して，必要な記憶容量を節約するために分枝点の状態の記憶を省略したことによっている。すなわち，(19)式の限定条件が成立し，探索木の節点をもどった場合に，その節点までの状態を，初期状態から節点をたどりながら再計算しなければならないためである。

一方，限定方法にもよるが，n（＝停電負荷量/Δ）の増大によって，演算時間が最悪の場合$n!$に比例して増加していくことが考えられ，本手法をそのまま実規模系統へ適用することは演算時間の観点から困難と考えて良い。したがって，実規模系統へオンラインで適用するためめには，分枝限定解法[4]による場合と同様に，本問題の特殊性を利用したより効果の大きい限定方法を開発する必要があろう。なお，停電損失は季節または時間帯によって大きく変化するので，季節や時間帯をパラメータとし，種々の事故パターンについてオフラインで負荷の復旧順位を求めておくために本手法を利用するのであれば，充分な効果が期待できる。

5. あとがき

本稿では，発電機出力上昇に要する時間に比べて負荷復旧に要するしゃ断器投入時間が無視できないとした場合の停電損失最小化を目的とした負荷復旧順序決定問題について検討した。この準最適解を求める問題は非線形0-1計画問題となり，辞書式列挙法によりその解を求め得ることを示した。また，本手法による復旧により，優先順位による復旧よりも停電損失を小さくできることが例題より明らかにされ，本手法の有効性が確認できた。しかし，本手法の実規模系統におけるオンラインでの使用は演算時間の観点から困難であることがわかり，今後，より効果の大きい限定方法を開発する必要があることが明らかになった。なお，オフラインで，種々の想定事故に対し，あらかじめ負荷の復旧順序を決定しようとする場合には，本手法によっても充分な効果を期待できることがわかった。

おわりに，一連の研究において，日頃御指導を賜る小池東一郎北見工業大学学長，長谷川淳北海道大学工学部助教授に深謝申し上げます。

文　献

1) 奈良・小池：「停電損失を考慮した事故時負荷復旧順序の決定手法—遮断器投入時間を考慮した定式化—」，昭和55年電気学会全国大会，836 (1980).

2) 奈良・山城・小池：「停電損失を考慮した事故時負荷復旧順序の決定方法」，電気学会論文誌B分冊，Vol. 101-B, No. 2, p. 77 (1981).

3) 奈良・山城・小池：「停電損失を考慮した事故時負荷復旧順序の決定手法—発電機併入時刻および停電損失の変動を考慮した場合—」，電学会情処研究会資料，IP-80-29, p. 71 (1980).

4) 奈良・山城：「停電損失を考慮した事故時負荷復旧順序の決定手法—分枝限定解法の演算時間の検討—」，北見工大研報，Vol. 12, No. 1, p. 35 (1981).

5) 鈴木他：「二次系統の復旧時自動操作論理」，電気学会論文誌B分冊，Vol. 97-B, No. 3, p. 111 (1977).

6) 奈良・山城：「ループ投入による過負荷解消を考慮した事故時自動復旧操作手法」，北見工大研報，Vol. 10, No. 1, p. 65 (1978).

7) 奈良・小池：「ループ投入による過負荷解消を考慮した事故時自動復旧操作手法—操作回数最小化手法—」，昭和53年電気四学会北海道支部大会，64 (1978).

8) 奈良・小池：「ループ投入による過負荷解消を考慮した事故時自動復旧操作手法—操作回数最小化法(その2)—」，昭和54年電気学会全国大会，812 (1979).

9) 奈良・山城・小池：「ループ投入による過負荷解消を考慮した事故時自動復旧操作論理」，電気学会電力技術研究会資料，PE-81-43 (1981).

10) R. B. Shipley *et al.*: "Power Reriability Cost v.s. Worth". IEEE Trans. PAS-91, Sep./Oct., p. 2204 (1972).

11) E. M. Mackay & L. H. Berk: "Cost of Power Interruptions to Industry Survey Results" CIGRÉ 1978 Session 32-07 (1978).

12) たとえば，鍋島：「スケジューリング理論」，森北出版，p. 2 (1974).