系統復旧操作に関する知識の数理計画法的分析と評価

正員 駒井 研二 (三菱電機)

正員 坂口 敏明 (三菱電機)

1. ま え が き

電力系統の運用制御の自動化は定常時ではかなり進んでいるが、事故後の復旧操作は運転員に大きく依存しており、系統復旧操作の自動化が系統制御の重要課題である。系統復旧制御^{(1)~(4)}については、数理計画法を利用した解析的な方法⁽²⁾⁽³⁾と、知識工学的な方法⁽⁴⁾とが知られている。

数理計画法を利用した方法では、系統復旧問題を制約条件と目的関数という形で数式表現をして、一定のアルゴリズムにより与えられた制約条件を満たす目的関数が最大または最小の解を求める。数理計画法で求められた解は、数式表現された問題の最適解であることが保証されている。しかし、現実の系統復旧問題を制約条件と目的関数という形で表現することは困難であり、復旧問題を完全に表現する定式化はまだなされていない。また、表現できたとしても最適解が許容できる計算量の範囲内で求められない可能性がある。

経験豊かな運転員は、運用規則や過去の経験や電力系統の物理法則などに関する知識を利用して推論を行い、事故時の復旧操作を決定している。運転員が行っているのと同様な知識による推論を計算機に行わせるのが、知識工学的な方法である。系統復旧に知識工学的な方法が有効であり、系統復旧の知識ベースシステムが開発されつつある。しかし、知識で求める復旧操作は許容解ではあるが、最適性は保証されていない。

知識による復旧方法と数理計画法による復旧方法とを比較することにより、

- (i) 復旧に使用する知識が数理計画法的のどのような意味をもつかを分析すること

- (ii) 系統復旧問題の数理計画法の問題としての定式化をより明確なものにすること

の2点が本論文の目的である。系統復旧の知識ベースシステムは、文献(4)の方法を発展させたものを使用する。系統復旧は数理計画法の問題として完全には定式化できないが、送電線などの容量制約と復旧後の系統を放射状にするという制約が存在すること、復旧後系統としては供給支障量が少なく事故前の系統構成に近い系統構成が望ましいことはわかっている。そこで、それだけの条件を考慮して系統復旧の数理計画法で解くための定式化を行い、分枝限定法を利用した解法のアルゴリズムを与えている。本論文の方法の特徴は、復旧後系統として存在し得るすべての放射状系統を探索して最適解を求める点である。放射状の系統構成という制約条件の取扱いが難しいために、文献(2)では放射状要素という概念を導入して、あらかじめ系統を放射状化して問題を単純化している。

知識による復旧結果と数理計画法による復旧結果とを比較して、

- (i) 知識による復旧では知識により効率的な探索をして数理計画法での最適解が得られていること
- (ii) 復旧問題は数理計画法を適用するための制約条件と目的関数が明確に表現しにくい問題であるが、これらをより明確にするうえで両者の比較が有効であること

の2点が判明した。

2. 分枝限定法を使用した系統復旧問題の数理計画法的解法

〈2・1〉 系統復旧問題の定式化 系統復旧問題として、二次系統の復旧問題を取上げる。変圧器や送電線には容量制限があり、復旧後の系統構成を放射状にするという制約がある。復旧後系統としては、供給支

Analysis and Evaluation of Human Knowledge for Power System Restoration by Mathematical Programming Method. By Kenji Komai, Member & Toshiaki Sakaguchi, Member (Central Research Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.).

駒井研二：正員，三菱電機(株)中央研究所
坂口敏明：正員，三菱電機(株)中央研究所

表 1 数理計画法の問題としての定式化
のための変数

Table 1. Variables that are used for formulation of power system restoration as mathematical programming problem.

{SOURCE}: 復旧前の状態での電源ノードの集合
{OUTAGE}: 復旧前の状態での停電ノードの集合
N : 全ノード数
N_s : 電源ノードの数, ノード $1 \sim N_s$ を電源ノードとし, ノード $N_s+1 \sim N$ を停電ノードとする
G_p : 電源ノード p の供給可能電力量
L_q : 停電ノード q 内に存在するすべての負荷の合計
n : 全ブランチ数
(p, q) : ノード p からノード q に向かうブランチ
F_{pq} : フロー変数。ブランチ (p, q) を流れる電力の大きさで, 常に非負の値であり, $F_{pq} > 0$ ならば, 必ず $F_{qp} = 0$ である
C_{pq} : フロー F_{pq} の最大許容値
x_{pq} : ブランチ変数, $x_{pq} = 1$ ならばブランチ (p, q) が接続されていることを意味する。そのときには必ず $x_{qp} = 0$ である
$\{IN_q\}$: ノード q に入るブランチ (p, q) の集合
$\{OUT_p\}$: ノード p から出るブランチ (p, q) の集合
{BLACK}: 復旧後も停電のまま残るノードの集合
{RESTORE}: 復旧された停電ノードの集合

障量が少なく事故前の系統に近いものが望ましい。これらの知識を使用して, 問題の定式化を行う。

定式化のための変数を表 1 のように定義する。電力系統は一種のグラフであるが, 系統設備をノード, 系統設備間の遮断器をブランチと考えている。電力が流れる向きを考慮して, 1 個の遮断器に 2 個のブランチを対応させる。停電設備に隣接している健全な系統設備で停電設備に送電できるものを電源または復旧電源と呼び, 停電設備と電源とが考慮すべき全ノードであり, 電源から停電設備へのブランチと停電設備どうしを結ぶブランチが考慮すべき全ブランチとなる。送電線や変圧器には容量制限が存在するが, ブランチが入るノードに対応する系統設備の容量制限をそのブランチの容量制限とする。復旧電源に電力を送っている送電線と変圧器の中で, 容量制限と実際の送電量の差の最小値がその復旧電源の供給可能電力量となる。

復旧後系統の評価値として, 供給支障量と事故前の系統との類似度が存在しているが, 数理計画法の問題として定式化するのに, これらをどのような形の多目的問題として扱えばよいかは解明されていない。ここでは便宜的に, 供給支障量の最小化を主目的とし, 事故前の系統に近づけることを副目的とする。供給支障量が最小である解が複数存在する場合にのみ, 事故前の系統との類似度を考慮する。

負荷の優先順位は考慮しないで, 供給支障量としては復旧後も停電のまま残る負荷の単純和を使用する。事故前の系統との類似度の評価関数として, 復旧後系

統での事故前とは異なるノードから受電しているノードの数を使用する。供給支障量を最小にすることが目的であるから, 目的関数は次のようになる。

$$\sum_{q \in \{\text{BLACK}\}} L_q \longrightarrow \min \dots\dots\dots (1)$$

制約条件の中で, フローバランスは次のように表現される。

$$\sum_{(p, q) \in \{IN_q\}} F_{pq} - \sum_{(q, p) \in \{OUT_q\}} F_{qp} = L_q, \\ q \in \{\text{RESTORE}\} \dots\dots\dots (2)$$

ブランチの容量制約は次のように表現される。

$$F_{pq} - C_{pq} x_{pq} \leq 0, \\ p = 1, \dots, N, (p, q) \in \{OUT_p\} \dots\dots (3)$$

復旧電源の容量制約は次のように表現される。

$$\sum_{(p, q) \in \{OUT_p\}} F_{pq} \leq G_p, \quad p = 1, 2, \dots, N_s \\ \dots\dots\dots (4)$$

放射状の系統制約とは, 各ノードが 1 個のブランチからしか電力の供給を受けてはならないことを意味するので, 次のように表現される。

$$\sum_{(p, q) \in \{IN_q\}} x_{pq} \leq 1, \quad q = N_s + 1, \dots, N \dots (5)$$

すべてのブランチ (p, q) に対して適当な順番を付けて, その順番にブランチ変数 x_{pq} を集めたベクトルを $\mathbf{X}$ とする。ベクトル $\mathbf{X}$ はブランチの接続状態を表し, ベクトル $\mathbf{X}$ を決めれば {BLACK}, {RESTORE} が決まり, (2) 式を末端ノードから順次適用して, $x_{pq} = 1$ であるすべてのブランチの F_{pq} が求められる。系統復旧問題は, (2) ~ (5) 式の制約条件式のもとで, (1) 式を最小にする $\mathbf{X}$ を求めるという組合せ最適化問題として定式化されたことになる。

(2.2) 分枝限定法による最適解探索アルゴリズム

ブランチの接続状態を表すベクトル $\mathbf{X}$ の次元はブランチの数 n であり, その各要素の取り得る値は 0 と 1 のどちらかである。従って, ベクトル $\mathbf{X}$ は 2^n の異なる状態を取り得る。 n の数が大きくなると, $\mathbf{X}$ の取り得る状態の場合の数が爆発的に大きくなるので, 全数チェックで最適解を求めることは不可能であり, 最適解を求めるための効率的な探索のアルゴリズムが必要である。

本節で説明するアルゴリズムは, 2^n の異なる状態の中から制約条件を満たす状態だけを探索して, 分枝限定法により効率的に最適解を求めるアルゴリズムである。

(1) 可能解だけを探索する方法 すべてのブランチが接続されていない状態を初期状態とする。初期状態からブランチを接続していき, 状態を遷移させる。更にブランチを接続できる状態は復旧の中間段階

表 2 系統復旧の中間段階としての状態に固有な変数

Table 2. Variables that characterize state as middle step of power system restoration.

ON-POWER(j):	状態 j で既に復旧されている負荷の総和
OFF-POWER(j):	状態 j で既に復旧不可能である負荷の総和
OUTAGE-POWER(j):	状態 j で復旧できるかどうかまだ決まっていない負荷の総和
DIFF-CONFIG(j):	状態 j で事故前と異なるノードから受電しているノードの数
{RESTORE(j):}	状態 j で既に復旧されたノードの集合
{BLACK(j):}	状態 j で既に復旧不可能となったノードの集合
{SOURCE(j):}	状態 j での電源ノードの集合
{OUTAGE(j):}	状態 j での停電ノードの集合
{NOW-TO(j):}	{OUTAGE(j):} の中で {SOURCE(j):} に属するノードから出て自分に入るブランチが存在するノードの集合
{ON(j):}	状態 j で既に接続されているブランチの集合
{OFF(j):}	状態 j で既に接続しないことに決まったブランチの集合
{NOW(j):}	状態 j で新たに接続される可能性があるブランチの集合、つまり {SOURCE(j):} に属するノードから出て {OUTAGE(j):} に属するノードに入るブランチの集合
{YET(j):}	状態 j でまだ接続するかどうか決める必要がないブランチの集合、{OUTAGE(j):} に属するノード間を結ぶブランチの集合
{FLOW-LIMIT(j):}	状態 j での電源ノードに対する供給可能電力量に対する制約条件の集合、各要素は電源ノードのリストと供給可能電力量をリストにして表現する、初期状態では電源ノード 1 個のリストとその供給可能電力量とのリストだけである、初期状態以外での複数個の電源ノードが同じノードから受電している場合には、それらのノードの供給可能電力量の和が制限される
$G_p(j)$:	状態 j での電源ノード p の供給可能電力量
{OUT $_p(j)$:	状態 j での電源ノード p から出ている {NOW(j):} に属するブランチの集合
{IN $_q(j)$:	状態 j での停電ノード q に入る {NOW(j):} に属するブランチの集合
{OPERATOR(j):}	状態 j に適用できるオペレータの集合

であり、それ以上ブランチを接続できない状態は復旧後系統である。各状態に固有な量を表す変数を表 2 のように定義する。各状態では停電ノード間のブランチは接続されていないものとし、電源ノードから出て停電ノードに入るブランチだけをその状態に新たに接続することを考える。

ある状態 j について、その状態に接続可能なブランチの組合せをすべて求める。そのために、制約条件 (2)~(5) の変形を行う。停電ノード間のブランチは接続されていないため、接続されるブランチを流れる電力は、復旧される停電ノードの負荷と等しいので、各ブランチの容量制約を表す (3) 式は、次のようになる。

$$L_q x_{pq} - C_{pq} x_{pq} \leq 0, (p, q) \in \{NOW(j)\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

電源ノードの容量制約の中で、1 個の電源にだけ関するものは次のように表現される。ここに、{OUT $_p(j)$ }

は状態 j での電源ノード p から出ている {NOW(j):} に属するブランチの集合であり、 $G_p(j)$ は状態 j での電源ノード p の供給可能電力量である。

$$\sum_{(p, q) \in \{OUT_p(j)\}} L_q x_{pq} \leq G_p(j), \quad p \in \{SOURCE(j)\} \dots\dots\dots (7)$$

複数個の電源の供給電力量の和が制限されている場合には、(7) 式の左辺を複数個の電源ノードについての和にし、右辺を複数個の電源の供給電力量の和の制限値にすればよい。放射状の系統制約を表す (5) 式は、次のようになる。ここに {IN $_q(j)$ } は、状態 j での停電ノード q に入る {NOW(j):} に属するブランチの集合である。

$$\sum_{(p, q) \in \{IN_q(j)\}} x_{pq} \leq 1, q \in \{NOW-TO(j)\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

{NOW(j):} に属するブランチ (p, q) に対して適当な順番を付けて、その順番にブランチ変数 x_{pq} を集めたベクトルを $\mathbf{Y}$ とする。{NOW(j):} に属するブランチの個数を n' とする。(6)~(8) 式をまとめて行列表現すると次式が得られる。

$$[A]\mathbf{Y} \leq \mathbf{b} \dots\dots\dots (9)$$

全ブランチ数 n が大きい場合でも、各状態で接続を考慮すべきブランチの数 n' はたかだか 5, 6 程度であり、(9) 式を満たす $\mathbf{Y}$ のすべての値は、全数チェック的な方法により求めることができる。

状態 j に接続可能なブランチの組合せと 1 対 1 に対応させて、状態を遷移させるオペレータを作る。制約条件を満たす状態の変化にだけオペレータが存在しているので、可能解だけをすべて含む状態のツリーができる。各オペレータに固有な量を表す変数を表 3 のように定義する。{SOURCE(j):} から出ているブランチはすべてその接続の可能性が検討されているので、オペレータ m が復旧する {NEW-SOURCE(m):} だけが新しい状態の電源ノードとなる。状態 j の電源ノード p により停電ノード q を復旧したとすると、ノード q が新しい状態 k の電源ノードとなるが、その供給可能電力量 $G_q(k)$ は次式で求められる。

$$G_q(k) = \min(G_p(j), C_{pq}) - L_q$$

状態 k の複数個の電源ノードが、状態 j の同じ電源ノードから受電する場合には、それらの状態 k の電源ノードの供給電力量の和が、状態 j の電源ノードの供給可能電力量からそれらのノードの負荷の和を引いた値に制限される。放射状の系統構成という制約のために {NEW-SOURCE(m):} に入る {YET(j):} に属するブランチは、接続することが許されなくなる。また、オペレータ m を適用した後の状態で {NEW-

SOURCE(m) から到達できない停電ノードが存在する場合には、それらの停電ノードを復旧することができなくなり、それらのノード間のブランチも接続する

表 3 状態を変化させるオペレータに固有な変数
Table 3. Variables that characterize operator that transform state.

{NEW-ON(m)}	: オペレータ m が新たに接続するブランチの集合
{NEW-SOURCE(m)}	: オペレータ m が新たに復旧する停電ノードの集合、これらのノードが、オペレータ m が生成する状態の電源ノードとなる
{NEW-BLACK(m)}	: オペレータ m を適用すると復旧不可能となる停電ノードの集合
{NEW-OFF(m)}	: {NEW-ON(m)} を接続することにより、接続することが許されなくなるブランチの集合、{NOW(j)} の中で {NEW-ON(m)} に含まれないブランチの集合と、{NEW-SOURCE(m)} に入るブランチの集合と {NEW-BLACK(m)} のノード間のブランチの集合の和
NEW-ON-POWER(m)	: {NEW-SOURCE(m)} に属するノードの負荷の総和
NEW-OFF-POWER(m)	: {NEW-BLACK(m)} に属するノードの負荷の総和
NEW-DIFF-CONFIG(m)	: オペレータ m を適用すると事故前と異なるノードから受電することになるノードの数

図 1 分枝限定法による最適解探索アルゴリズム
Fig. 1. Search algorithm for optimum solution by branch and bound method.

ことが許されなくなる。

(2) 分枝限定法による最適解探索アルゴリズム

前項で述べた方法により、可能解のすべてを含む状態のツリーを得ることができる。このツリーの中で最適解を効率良く探索するためには、最適解に到達する可能性が高いと予測される状態から順に探索し、最適解に到達できないと判明した状態は探索しなければよい。これが分枝限定法である。分枝限定法による探索のアルゴリズムを図1に示す。各状態の OFF-POWER(j) は、その状態でブランチの接続条件や電源の容量制約のために復旧できないと既に判明している停電ノードの負荷の総和であり、その状態から生成される状態の供給支障量の下限を与えている。{OUTAGE(j)=NIL} 状態は復旧後系統に対応し、OFF-POWER(j) が供給支障量になる。

3. 知識による系統復旧方法の概要

文献(4)の知識ベースによる復旧方式を発展させたものが、本章で説明する系統復旧方法である。一般的に妥当と認められている系統復旧の手順を知識ベースにまとめている。知識による系統復旧では、決められた手順に従って復旧操作を段階的に決定していき、決定した操作を変更することはない。系統復旧の手順の概略は次のようなものである。ここで、電源とは健全な母線、送電線または変圧器の中で停電設備に送電できるもののことである。

(1) 停電母線に隣接する電源により、停電母線を復旧する。その際、事故前に受電していたものを優先的に使用する。電源の供給可能電力量が復旧される母線の負荷の総和よりも小さい場合には、あらかじめ決められた順番に従って負荷を切離して母線を復旧する。

(2) 過負荷のために切離された送電線を、他の母線を使用して復旧する。

(3) 手順(1)、(2)を復旧できる設備がなくなるまで繰返す。

(4) 電源が複数個存在する場合には、供給可能電力量の大きい電源を使用する。

4. 知識による復旧と数理計画法による復旧の比較

〈4.1〉 事故前の状態 図2に事故前の系統状態を示す。表4に送電線と変圧器の容量制限を示す。表5に各設備の負荷量を示す。送電線の容量はその送電線の両端を流れる電力の平均とし、途中に負荷が存在している送電線には、許容値に負荷量の半分を加えた

図 2 事故前の状態

Fig. 2. Power system configuration before fault.

表 4 送電線と変圧器の容量制限
Table 4. Loading limits of lines and transformers.

設備名	許容値	設備名	許容値
T 1 A	300	L 3 A	182
T 1 B	300	L 3 B	182
T 1 C	300	L 4 A	72
L 2 A	101	L 4 B	72
L 2 B	101	L 10	202

表 5 各設備の負荷量

Table 5. Loads of power system equipments.

設備名	負荷量	設備名	負荷量
L 2 A	10	L 7 A	20
L 2 B	87	L 7 B	30
L 3 A	20	L 9 A	30
L 3 B	20	L 9 B	41
L 4 A	36	L 10	40
L 4 B	20	L 11	35
L 5 A	50	L 12	30
L 5 B	50	—	—

量まで送電端から送電できることとする。

〈4・2〉 両方法の結果が一致する事故の例 図 2 の系統状態で T1B, T1C に事故が起き、その両端の遮断器がトリップされたとする。事故直後の系統状態が図 3 であり、B2B と B2B から受電している L2B L3B, L4B, L5B が停電する。停電している設備は破線で書かれている。復旧電源となり得る系統設備は B2A, B3B, B5, B6 であり、これらの供給可能電力量を表 6 に示す。この事故ケース 1 の復旧後系統は、数理計画法による方法と知識による方法とで一致しており、図 4 が復旧後系統である。この事故に対してはすべての停電設備を復旧することができるが、図 4 が事故前に最も近い系統構成である。復旧された設備は

図 3 事故ケース 1

Fig. 3. Fault case No. 1.

図 4 事故ケース 1 の復旧後系統

Fig. 4. Restoration result of fault case No. 1.

表 6 事故ケース 1 での電源の供給可能電力量
Table 6. Power supply limits of sources in fault case No. 1.

電源名	供給可能電力量
B 2 A	149.0
B 3 B	999.9
B 5	137.0
B 6	156.0

一点鎖線で書かれている。

(1) 事故ケース 1 の数理計画法による復旧 図 4 の復旧後系統が得られるまでの探索の結果を図 5 に示す。初期状態から 15 個の状態が生成されるが、その中の 6 個の状態だけしか子の状態を生成していない。分枝限定法により効率的に最適解が得られている。

(2) 事故ケース 1 の知識による復旧 復旧手順 (1) により B2B が B2A を電源として復旧することが考えられる。T1A が過負荷となるために、L2B,

図 5 事故ケース 1 の探索結果

Fig. 5. Search result of fault case No. 1.

L3B, L4B, L5B をすべて接続したまま B2B を復旧することはできない。どれかの送電線を B2B から切離さねばならないが、負荷を切離す順序は、L2B, L4B, L3B, L5B と決められているので、L2B を切離しての B2B の復旧が試みられる。今度は過負荷が発生しないで B2B, L3B, L4B, L5B が復旧される。復旧手順(2)により L2B が B5 を電源として復旧され、すべての停電設備が復旧される。

(3) 事故ケース 1 での両方法の比較と検討 知識による復旧で B2B から負荷を 1 個だけ切離す方法は四とおりあるが、その中で T1A が過負荷とならないのは、L2B を切離す場合だけである。負荷の切離しの優先順位がうまく決められているので、知識による復旧では早く数理計画法の最適解が得られる。知識による復旧では、事故前の系統構成に最も近い 2 個の系統構成だけを考慮しており、知識による復旧が供給

図 6 事故ケース 2

Fig. 6. Fault case No. 2.

表 7 事故ケース 2 での電源の供給可能電力量
Table 7. Power supply limits of sources in fault case No. 2.

電源名	供給可能電力量
B3B	999.9
B6	156.0

支障量の最小化よりも、事故前の系統構成に似せて復旧することを優先させていることがわかる。

〈4.3〉両方法の結果が異なる事故の例 図 2 の系統状態で T1A, T1B, T1C に事故が起き、その両端の遮断器がトリップされたとする。事故直後の系統状態が図 6 であり、B2A, B2B, L2A, L2B, L3A, L3B, L4A, L4B, L5B, B5, L11 が停電する。復旧電源となり得る系統設備は B3B, B6 であり、これらの供給可能電力量を表 7 に示す。この事故ケース 2 の復旧後系統は、数理計画法による方法と知識による方法とで異なる。

(1) 事故ケース 2 の数理計画法による復旧 数理計画法により求まる供給支障最小な解が図 7 である。まず、L2A, L2B が B6 を電源として復旧され、L4A, L4B が B3B を電源として復旧される。更に、B2A が L2A を電源として復旧され、B2B が L4B を

図 7 事故ケース 2 の数理計画法による復旧後系統

Fig. 7. Restoration result of fault case No. 2 by mathematical programming method.

図 8 事故ケース 2 の知識による復旧後系統

Fig. 8. Restoration result of fault case No. 2 by knowledge.

図 9 事故ケース 2 の探索結果

Fig. 9. Search result of fault case No. 2.

電源として復旧される。L5A, L3B が復旧されないままに残る。

(2) 事故ケース 2 の知識による復旧 この事故の場合には最初には復旧手順(1)は適用できず、復旧手順(2)により L2A, L2B, L4A, L4B が復旧される。ここで初めて復旧手順(1)が適用でき、B2A が供給可能電力量が最大の L2A により復旧されるが、過負荷のために L3A が切離される。そして、B2A を電源として B2B が復旧されるが、過負荷のために L3B, L5B が切離される。復旧手順(1), (2)のどちらも、これ以上は適用できないで、L3A, L3B, L5B, B7, L11 が復旧されないままに残る。

(3) 事故ケース 2 の両方法の比較と検討 事故ケース 2 の探索結果を図 9 に示す。数理計画法では 86 個の状態を探索して最適解を求めているが、知識による方法では図 9 中で太線で示された知識による探索経路上の 6 個の状態だけしか考慮していない。知識による復旧では知識により探索の範囲が狭められている。両方法の復旧後系統が異なるが、数理計画法による復旧後系統は実際には許されない。B2A, B2B は同一変電所にある母線であり、実際の運用では 1 変電所が 2 電源から受電することはない。1 変電所は 1 電源からしか受電してはならないと明記された知識が存在するのではないが、知識による復旧では 1 変電所が 2 電源から受電するような復旧操作は行われない。このように知識による復旧結果と数理計画法による復旧結果とを比較することにより、系統復旧の明確には意識されていない制約条件を見つけたことができ、両方法の比較は数理計画法の定式化を現実的(運用者が妥当と感ずるような解が最適解として求まること)なものにするのに有効であることがわかる。

5. 結 論

系統復旧の知識が数理計画的にどのような意味をもつかを分析し、系統復旧の数理計画法の問題としての定式化をより明確にするため、知識による復旧方法と数理計画法による復旧方法との比較を行った。そのために、既にわかっている系統復旧の知識から、数理計画法で解くための定式化を行い、分枝限定法を利用した解法を与えた。知識による復旧結果と数理計画法による復旧結果とを比較して、次の 2 点が判明した。

(i) 知識による復旧では知識により効率的な探索をして数理計画法での最適解が得られていること。

(ii) 復旧問題は数理計画法を適用するための制約条件と目的関数が明確に表現しにくい問題であるが、これらをより明確にするうえで両者の比較が有効であること。

なお、知識による方法と数理計画法とを併用することにより知識を定量的に評価することが可能となり、その評価を利用してより良い知識ベース作成への応用が期待される。

(昭和 61 年 11 月 17 日受付, 同 62 年 2 月 21 日再受付)

文 献

- (1) 鈴木・幅:「事故時系統自動操作論理の開発」, 電学論 B, 93, 323 (昭 48-8)
- (2) 鈴木・児玉・小林・石塚:「二次系統の復旧時系統自動操作論理」, 同上 B, 97, 111 (昭 52-3)
- (3) 奈良・山城・小池:「ループを含む系統へ適用可能な復旧時自動操作論理」, 同上 B, 104, 133 (昭 59-3)
- (4) 松本・坂口:「知識ベースに基づく電力系統復旧方式の決定法」, 同上 B, 103, 175 (昭 58-3)
- (5) 駒井・坂口:「電力系統運用に関する知識の数理計画的な分析と評価」, 第 7 回数理計画シンポジウム (昭 61)