

# 電子計算機による多数変電所一括自動操作の 一手法について\*

奈良 宏 一\*\*

辻 俊 彦\*\*\*

(昭和52年4月26日受理)

## A Method of Automatic Fault Recovery with Digital Computer in Power System

by Koichi NARA and Toshihiko TUJI

In a power system it is essential to recover a fault as quickly as possible when it is committed. So, many trials for automatic fault recovery have been done until today. But each of them was done by a device for exclusively special power system configuration.

In this paper, we propose a method of automatic fault recovery system having a digital computer, which operates many substation's apparatus simultaneously independent of power system's configuration by scanning the apparatus which shall be operated, and by judging the predecided condition of operation automatically.

The proposed method makes it easy to maintain software caused by adding and altering apparatus which constitute substations.

### 1. ま え が き

電力系統に事故が発生すると、系統に過負荷、周波数変動、電圧異常等を生じ、場合によっては停電に至る。過負荷や周波数変動、電圧異常については、それ相応の高速な処理が要求され、それに対する種々の装置が実用に供されている。停電に至った場合には一刻も早い復旧が社会的にも要求され、従来から、事故時操作の高速化・自動化が検討され、一部実用に供されてきている。電力系統における事故時自動復旧操作は、従来、特定の変電所毎に設置される特定の復旧操作手順を内蔵した自動復旧装置によってなされてきており、近年、電子計算機の目覚しい普及に伴って、一部に電子計算機またはマイクロプロセッサを利用してこのような自動操作が実施されてきている。

電子計算機を系統操作に導入した場合、多数変電所、大量データの処理が容易になる

\* 昭和51年度電気学会全国大会、第19回自動制御連合講演会(昭和51年11月)で発表

\*\* 北見工業大学電気工学科

\*\*\* 三菱電機株式会社電力系統システム部

反面、

- (a) 設備の増設・変更に伴う操作の増設・変更が容易で、だれにでもできること
- (b) 機器操作の事前シミュレーションによって操作の安全性の確認が可能なこと

という要求が新たに提起されてくる。これらの要求を満足しようとする場合、計算機内部における系統構成、系統状態の記憶が簡単であり、外部よりメンテナンスし易い形となっていることが望ましい。

それ故、本報告では、電子計算機を用いて多数変電所の操作機器を、変電所における機器の接続パターンによらず選択し、操作条件を判定して一カ所より集中操作する、増設・変更等メンテナンスの容易な一手法を提案するものである。

## 2. 電力系統開閉機器の検討

電力系統における開閉機器は変電所または開閉所に集中していると云える。したがって、系統操作は、マイクロには変電所または開閉所における機器の操作であると換言できる。

各変電所は、上位または下位の系統と送電線によって接続されており、密接な関係にあるが、二次系統または配電系統においては、変電所における受電端・負荷端がほとんどの場合、定まっておき、また、上位変電所の負荷端を送電線で接続される下位変電所の受電端と等価と見れば、二つの変電所を各々個別に操作しても、系統の操作における制限条件から操作誤りは発生しない。

以上から、本手法においては、個々の変電所の機器を個別に操作する方法をとった。

## 3. 操作手順の概要

通常、機器の操作は図1のような形でなされる。すなわち、事故発生を確認すると、自変電所の状況を調べ、全停なのか、フィーダが1回線のみOFFとなったのか、又は受電線が1回線のみOFFとなったのか等を確認し、自変電所の状況から操作すべき種類(例えば、全停操作、負荷復旧、電源復旧等)を確認すると、操作すべき機器を決定し、その機器の操作条件を判定して1機器の操作を行う。続いて、次の機器について同様にして操作を続行する形をとる。なお、操作種類の条件判定については、事故の発生によって決定されるものであり、本報告では、操作機器決定以降の論理を対象とする。

以下、順を追って説明する。

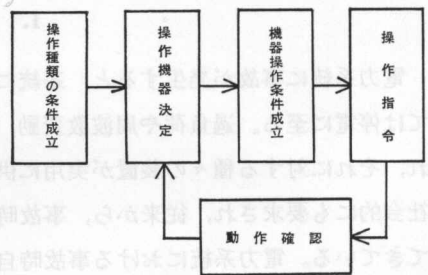


図1 機器操作手順

Fig. 1. Operation procedure of power system's apparatus.

### 4. 系統構成の記憶

#### 4.1 系統構成の記憶

系統構成の記憶は、機器の ON/OFF を接続マトリクスの形で記憶することによって行う。接続マトリクスは機器をノードとする方法と、線路・母線・変圧器をノードとする方法とが考えられる。このいずれを採用してもかまわないが、ここでは、機器を選択する時簡単なように、機器をノードとする方法をとった<sup>1)</sup>。(付録2参照)

説明を簡単にするため、図2のような機器構成を考える。図2の機器構成は、機器をノードとしてグラフに描くと、図3のように表すことができる。図3のグラフにおいて、電源と負荷を明確にするため、電源端をマスタソース、負荷端をマスタシンクに接続して電源または負荷を指定している。

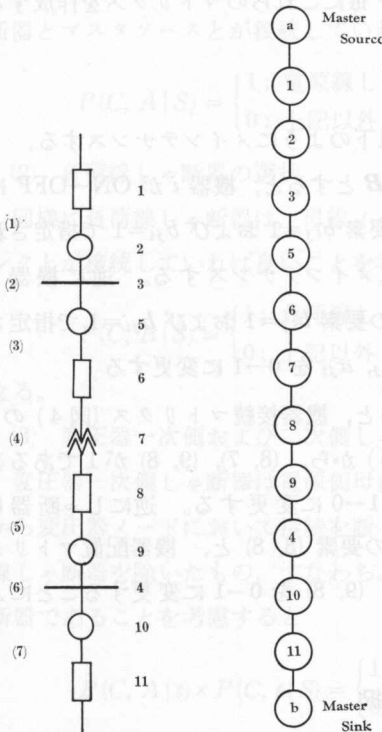


図2 機器構成例

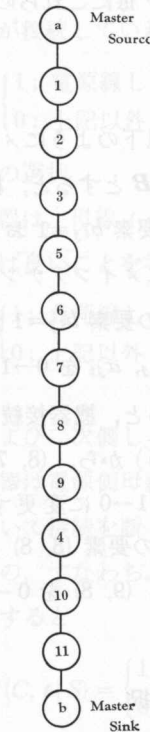


図3 接続グラフ

Fig. 2. An example of apparatus' connection. Fig. 3. Connection graph.

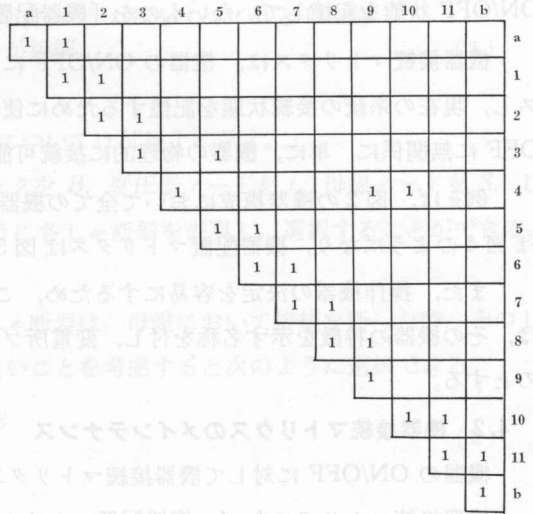


図4 機器接続マトリクス

Fig. 4. Apparatus' connection matrix.

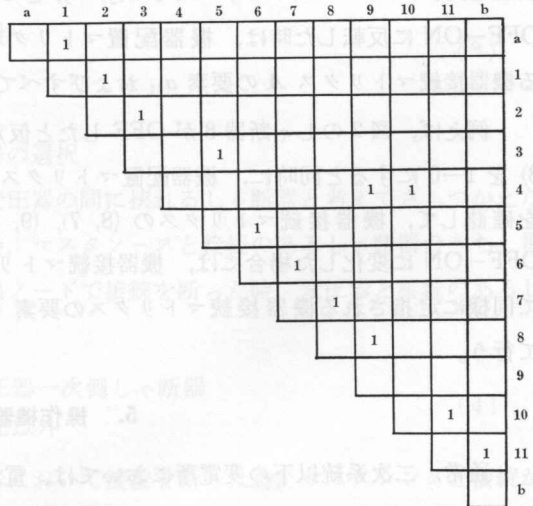


図5 機器配置マトリクス

Fig. 5. Connectable apparatus matrix.

図3を接続マトリクスの形に描くと、図4のように描くことができる。接続マトリクスは機器  $i$  と機器  $j$  が接続の場合、その要素  $a_{ij}=1$ 、非接続の場合、その要素  $a_{ij}=0$  となるようなマトリクスである。今、接続の方向を考慮しなければ、図4は明らかに対象マトリクスであり記憶は半分で良い。また、接続マトリクスの主対角線上の要素  $a_{ii}$  は機器  $i$  の ON/OFF 状態の記憶に用いる。

今、同様の接続マトリクスをもう一種類準備し、混乱を避けるため、主対角線上の要素に機器の ON/OFF 状態を記憶したものを「機器接続マトリクス」、主対角線上の要素に機器の ON/OFF 状態を記憶していないものを「機器配置マトリクス」と呼ぶことにする。

機器接続マトリクスは、機器の ON/OFF によって対応するノードの記憶をメンテナンスし、現在の系統の接続状態を記憶するために使用し、機器配置マトリクスは、機器の ON/OFF に無関係に、単に、機器の物理的に接続可能な配置を記憶するために使用する。

例えば、図2の機器構成において全ての機器が ON であれば、その機器接続マトリクスは図4のようになり、機器配置マトリクスは図5のようになる。

また、操作機器の決定を容易にするため、これらのマトリクスの主対角線上の各要素には、その機器の特徴を示す名称を付し、変電所ブロック毎にこれらのマトリクスを作成するものとする。

## 4.2 機器接続マトリクスのメンテナンス

機器の ON/OFF に対して機器接続マトリクスを以下のようにメンテナンスする。

機器接続マトリクスを  $A$ 、機器配置マトリクスを  $B$  とすると、機器  $i$  が ON→OFF に反転した時、 $A$  の要素  $a_{ii}$  と、機器配置マトリクス  $B$  の要素  $b_{ij}=1$  および  $b_{ji}=1$  で指定される機器接続マトリクス  $A$  のすべての  $a_{ij}$ ,  $a_{ji}$  を 1→0 にメンテナンスする。逆に機器  $i$  が OFF→ON に反転した時は、機器配置マトリクス  $B$  の要素  $b_{ij}=1$  および  $b_{ji}=1$  で指定される機器接続マトリクス  $A$  の要素  $a_{ii}$  およびすべての  $a_{ij}$ ,  $a_{ji}$  を 0→1 に変更する

例えば、図2のしゃ断器8が OFF したと仮定すると、機器接続マトリクス(図4)の(8, 8)を1→0にすると同時に、機器配置マトリクス(図5)から、(8, 7), (9, 8)が1であることを確認して、機器接続マトリクスの(8, 7), (9, 8)も1→0に変更する。逆にしゃ断器8が OFF→ON に変化した場合には、機器接続マトリクスの要素(8, 8)と、機器配置マトリクスで同様に定指される機器接続マトリクスの要素(8, 7), (9, 8)を0→1に変更することによって行う。

## 5. 操作機器の選択

通常、二次系統以下の変電所においては、電圧階級によって変電所の構成がほとんど同様であり(特に配電用変電所)、ある MAX の操作順序を決めると、全ての変電所の操作順序が、それに包含されるような変電所グループがあると考え得る。ある変電所に指定される機器がな

い場合には、その機器の操作はしないと考えれば、その MAX の操作順序で、グループに含まれるすべての操作が可能であると考えることができる。

一方、操作順序は、すべての変電所について変電所の機器構成に関係なく特定の機器を選択しようとする、例えば、1号変圧器二次側しゃ断器、電源線1号線しゃ断器、負荷線1号線しゃ断器といった一般的な指定で行う必要があり、この一般的な指定から、操作すべき機器を選択しなければならないことになる。

そのため、今、 $P(X, Y|t)$  を次のように定義する。

$$P(X, Y|t) = \begin{cases} 1; \text{接続マトリクス上の } t \text{ 行 } t \text{ 列をすべて } 0 \text{ とした時} \\ \quad \text{ノード } X \text{ と } Y \text{ が接続} \\ 0; \text{上記以外} \end{cases} \quad (1)$$

なお、 $X$  と  $Y$  の接続の有無の判定方法については付録1に示す。

ここで、マスタソースを  $A$ 、マスタシンクを  $B$ 、変圧器ノードを  $t$ 、母線ノードを  $S$ 、しゃ断器ノードを  $C$  と仮定すれば、以下のように各しゃ断器を表現し、選択することができる。

#### (1) 電源線しゃ断器の選択

図2からもわかるように一般に電源線しゃ断器は、母線において接続を断った時、そのしゃ断器とマスタソースとが接続していれば良いことを考慮すると次のように選択できる。

$$P(C, A|S) = \begin{cases} 1; \text{電源線しゃ断器} \\ 0; \text{上記以外} \end{cases} \quad (2)$$

#### (2) 負荷線しゃ断器の選択

同様に負荷線しゃ断器は、母線ノードにおいて接続を断ったとき、そのしゃ断器とマスタシンクとが接続していれば良いことを考慮すると

$$P(C, B|S) = \begin{cases} 1; \text{負荷線しゃ断器} \\ 0; \text{上記以外} \end{cases} \quad (3)$$

となる。

#### (3) 変圧器一次側および二次側しゃ断器の選択

変圧器一次側しゃ断器は電源側母線と変圧器の間に挟れるしゃ断器と考えてさしつかえないから変圧器ノードにおいて接続を断った時、マスタソースと接続のあるしゃ断器のうち、電源線しゃ断器を除いたもの、すなわち、母線ノードで接続を断った時、変圧器と接続のあるしゃ断器であることを考慮すると

$$P(C, A|t) \times P(C, t|S) = \begin{cases} 1; \text{変圧器一次側しゃ断器} \\ 0; \text{上記以外} \end{cases} \quad (4)$$

同様に変圧器二次側しゃ断器は、変圧器において接続を断った時、マスタシンクと接続があるしゃ断器のうち、母線ノードで接続を断った時、変圧器と接続があるしゃ断器であることを考慮すると

$$P(C, B|t) \times P(C, t|S) = \begin{cases} 1; & \text{変圧器二次側しゃ断器} \\ 0; & \text{上記以外} \end{cases} \quad (5)$$

として選択することができる。

この方法によれば、同様に、他の目的のしゃ断器も自由に選択可能である。

また、1号線、2号線等の区別は、上記手法によって選ばれた複数のノードについて、機器接続マトリクスの主対角要素  $a_{ii}$  に付された名称 (Key) によって判断することが可能である。

### 6. 制限条件 (操作条件) の判定

操作機器が選択されると、その機器を操作する前に、機器の操作条件が満足されているか否かを判定する必要がある。

各機器の操作条件については、表1のように、各機器対応に変電所共通の操作条件テーブルを設け、操作しようとする変電所の機器についてこれら操作条件が満足されているか否かの判定を行う。表1は電源線しゃ断器をONする場合の条件の例である。

表1 制限条件(操作条件)テーブル  
Table 1. Table of operational condition

母線側 LS ON	1
線路側 LS ON	1
線路電圧あり	1
線路周波数正常	1
線路に $V_0$ なし	1
(予備)	
( " )	
( " )	

条件判定のソフトウェア概念図を図6に示す。すなわち、選択された機器に関する操作条件を機器名称を記憶する2値情報テーブル(機器のON/OFFを1/0の2値で記憶し、その記憶に関する情報を一括管理するテーブル)をKeyとして、電圧、電流等に関する情報を記憶する数値情報テーブルや機器接続マトリクスから情報を操作条件テーブルに集め、すべての条件を満足した段階で、操作指令を

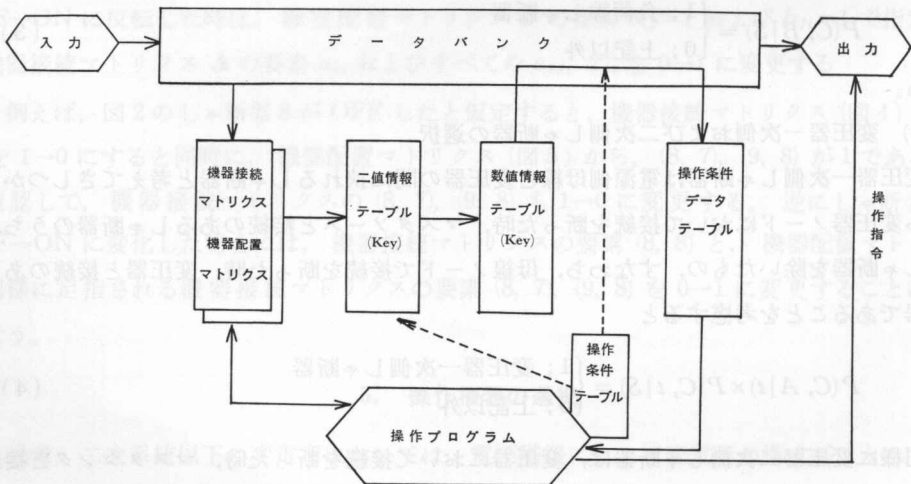


図6 操作条件判定の概念図

Fig. 6. Judging of operational condition.



行えば良い。

## 7. 操作シミュレーション

前述のように、本手法においては、機器接続マトリクスにおいて現在の系統構成をメインテナンスしながら操作を行うことから、操作シミュレーションを行う場合には、シミュレーション用の機器接続マトリクスを準備することによって可能である。

また、もし操作条件を判断しながら操作シミュレーションを実施したい場合には、シミュレーション用の操作条件テーブルを準備し、操作条件作成のためのシミュレーション用プログラムを付加すれば簡単に可能である。

## 8. む す び

本報告において、電力系統事故時に、系統構成を機器をノードとした接続マトリクスで表現し、そのマトリクスの主対角要素に機器の ON/OFF 情報を記憶し、その要素に付した名称を Key として、あらかじめ全変電所共通に作った操作種別毎の操作順序に従って、操作機器を機器構成によらず選択し、操作条件を判断しながら自動操作する手法について報告した。

本手法によると、機器の増設・変更は機器配置マトリクスと機器接続マトリクスを増設・変更するのみで良く、また、シミュレーションを実施する場合も、シミュレーション用に、機器接続マトリクスと条件判定テーブルおよび条件作成プログラムを付加するのみで良く、増設・変更およびシミュレーションが容易かつ独立に可能であることがわかった。

本手法においては、機器配置マトリクスと機器接続マトリクスを、機器をノードとしたマトリクスの形で表現したが、これは、線路、母線、変圧器をノードとしたマトリクスで表現しても同様であることを確認した。その場合の例については、付録 2 に示した。

おわりに、一連の研究においてたえず御指導いただき、有益な助言を賜っている北海道大学工学部電気工学科小池東一郎教授、長谷川淳助教授に深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) B. A. Carre' 他: Proc. IEE Vol. 119, No. 8, August 1972.
- 2) 奈良・辻・寺田: 昭和 51 年度電気学会全国大会講演論文集, 814.
- 3) 奈良・辻・寺田: 第 19 回自動制御連合講演会論文集 (昭和 51 年 11 月), 3042.

上記のように、線路、母線、変圧器をノードとしたマトリクスで表現し、機器をノードとしたマトリクスで表現しても同様であることが確認された。本文の手法に比べ、処理が幾分複雑になる。

## 付 録 1

ノード間連結の求め方について<sup>1)</sup>

今、 $n$ ノードのグラフの接続マトリクス  $A=[a_{ij}]$  において指定されたノード  $x, y$  に関し

$$P(x, y) = \begin{cases} 1; & x \text{ と } y \text{ が接続されている} \\ 0; & x \text{ と } y \text{ が接続されていない} \end{cases} \quad (\text{付 1.1})$$

と仮定する。

また、そのすべての要素が最初0であるようなベクトル  $r=(r_1 r_2 r_3 \dots r_n)$  および最初  $n-1$  個の空欄を持っているようなノード番号リストを仮定し、次の手順で接続を調べる。

Step. 1 ノード番号リストに整数  $x$  を入れ  $r_x=1$  とする。

Step. 2 ノード番号リストに数字が入っているなら、リストから  $i$  を取り去り、整数  $j$  ( $i+1 \leq j < n$ ) に対して  $a_{ij}=1$  かつ  $r_j=0$  であるならノード番号リストに整数  $j$  を入れ  $r_j=1$  とする。

Step. 3 もし、 $r_y=1$  であれば  $P(x, y)=1$  として終了する。

Step. 4 もし、ノード番号リストに整数が入っていないなら (すべて 0)、 $P(x, y)=0$  として終了する。そうでなければ Step. 2 へもどる。

以上のようにして  $P(x, y)$  の値から接続の有無を判定できる。

## 付 録 2

## 系統構成を線路・母線・変圧器をノードとして記憶した場合の方法

## (1) 機器配置マトリクスと機器接続マトリクス

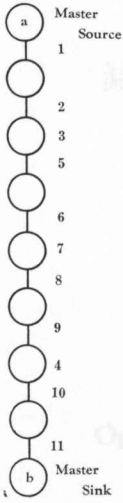
今、図2の機器構成を線路・母線・変圧器をノードとしてグラフに描くと付図1のようになる。これを接続マトリクスの形に描くと付図2のようになり、この場合、機器配置マトリクスと機器接続マトリクスとは同一のマトリクスとなる。付図2のマトリクスは、接続の方向を考えない限り対象マトリクスであるが、接続の有無の判定の便利のため、正方マトリクスとしてそのまま記憶する。

機器接続マトリクスのメンテナンスは、ノード  $i$  と  $j$  を接続する機器 ( $i, j$ ) の ON/OFF によるため、機器  $k$  が動作した時、機器  $k$  がノード  $i$  と  $j$  を接続する機器であることを、別に記憶した機器  $k$  の属性テーブルより求め、その動作の方向によって、機器接続マトリクス  $A$  の要素  $a_{ij}$  を  $1 \rightarrow 0$  または  $0 \rightarrow 1$  にメンテナンスする事によって行う。

## (2) 操作機器の選択

本文(1)式と同様に(付2.1)式を定義する。





付図1 接続グラフ

App. Fig. 1. Connection graph.

Master Source	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	Master Sink
(1)	1							
(2)	1	1						
(3)			1	1				
(4)				1	1			
(5)					1	1		
(6)						1	1	
(7)							1	1
Master Sink							1	

付図2 機器接続マトリクス

App. Fig. 2. Apparatus' connection matrix.

$$P(x, y|t) = \begin{cases} 1; & \text{ノード } t \text{ の全ての接続を断った時ノード} \\ & x \text{ と } y \text{ が接続} \\ 0; & \text{上記以外} \end{cases} \quad (\text{付 2.1})$$

但し、全ての接続を断つとは、ノード  $t$  と  $s$  が接続の時要素  $a_{ts}=1$  とするなら

$$a_{ts} = 0, \quad a_{st} = 0 \quad (\text{at } \forall s) \quad (\text{付 2.2})$$

とすることを意味する。

この時、 $A, B, C=(i, j), S, t$  を本文と同様の意味で定義するなら

$$P(A, i|S) \cup P(A, j|S) = \begin{cases} 1; & (i, j) \text{ は電源線しゃ断器} \\ 0; & (i, j) \text{ は上記以外} \end{cases} \quad (\text{付 2.3})$$

$$P(B, i|S) \cup P(B, j|S) = \begin{cases} 1; & (i, j) \text{ は負荷線しゃ断器} \\ 0; & (i, j) \text{ は上記以外} \end{cases} \quad (\text{付 2.4})$$

$$\begin{aligned} & \{P(t, i|S) \cap P(A, j|t)\} \cup \{P(t, j|S) \cap P(A, i|t)\} \\ & = \begin{cases} 1; & (i, j) \text{ は変圧器一次しゃ断器} \\ 0; & (i, j) \text{ は上記以外} \end{cases} \quad (\text{付 2.5}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \{P(t, i|S) \cap P(B, j|t)\} \cup \{P(t, j|S) \cap P(B, i|t)\} \\ & = \begin{cases} 1; & (i, j) \text{ は変圧器二次しゃ断器} \\ 0; & (i, j) \text{ は上記以外} \end{cases} \quad (\text{付 2.6}) \end{aligned}$$

として、電源線しゃ断器、負荷線しゃ断器、変圧器一次側しゃ断器、変圧器二次側しゃ断器を選択することが可能である。

上記のように、線路・母線・変圧器をノードとして接続マトリクスを構成しても本文と同様な論理が展開できるが、本文の手法に比べ、処理が幾分複雑になる。