電力系統事故部位判定システム

竹中 道夫(たけなか みちお)　岡田 良一(おかだ りょういち)　田中 美苗(たなか みなえ)

1 まえがき

近年，電力エネルギーへの依存度が高まるにつれて，電力供給の信頼度向上に対する要求が高くなってきている。この要求を満たすために，電力系統に事故が発生し供給支障（停電）となった場合は，一刻も早くこれを解消することが必要となる。このとき重要なことは，停電区間を使用可能な区間（事故波及区間）と使用不可能な区間（事故区間）に判別する事故部位判定である。この判定は，迅速かつ正確に行うことが要求される。このため，日常的に運用者への系統復旧訓練が行われているが，事故時の緊迫した状態で電力系統やその保護継電装置（以下，リレーという）動作などの幅広い知識を必要とするため，運用時にその判定を支援するシステムの開発が強く望まれていた。

富士電機では，知識工学手法を適用した電力系統事故部位判定システムを開発し，四国電力(株)の系統制御所計算機システムに納入した。現在，本システムは実運用に供されている。本稿では，この事故部位判定システムについて述べる。

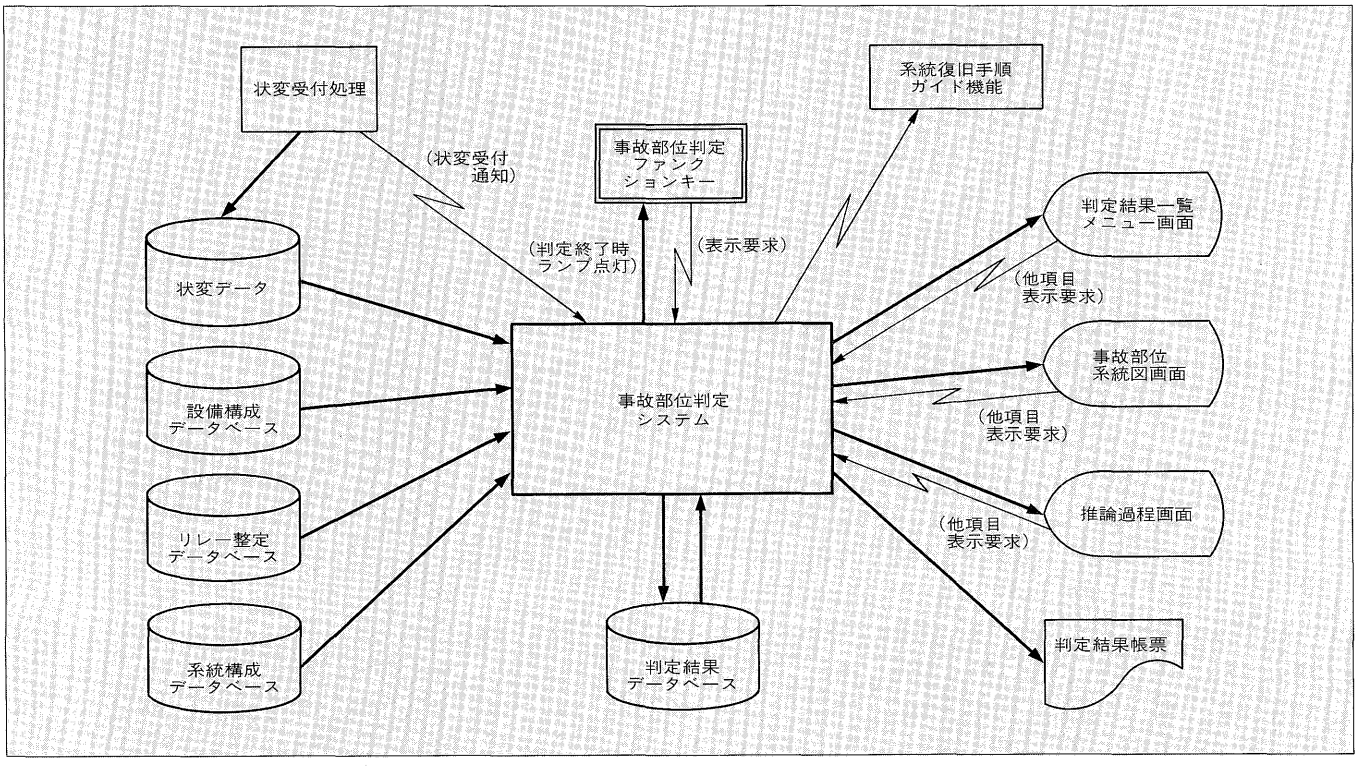
2 システムの概要

本システムは，スーパーミニコンピュータ A-600 を二重化したデュプレックス方式で運用している電力系統監視制御システムの1機能として組み込まれている。

2.1 機 能

本システムは，制御所の計算機システムに取り込まれる

図1 事故部位判定システムの機能概要図

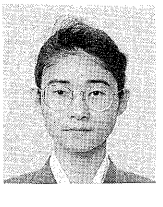


竹中 道夫

昭和56年入社。主に電力分野向けAIツール，応用ソフトウェアの開発に従事。現在，富士ファコム制御(株)システム本部第一システム部課長補佐。

岡田 良一

平成元年入社。電力系統制御用コンピュータシステムのAI適用ソフトウェアの設計，製作に従事。現在，富士ファコム制御(株)システム本部第一システム部。



田中 美苗

平成3年入社。電力分野へのAI適用システムの開発に従事。現在，富士ファコム制御(株)システム本部第一システム部。

リレーやCB（Circuit Breaker）の動作情報とデータベースに定義された系統設備情報を基に事故部位，事故種別，事故相，リレー動作の正当性などを判定する。判定結果は，事故部位を示す系統図画面および事故部位ごとにリレー動作の正当性を示す推論過程画面に表示する。また，事故部位判定結果表示画面にて事故部位を選択決定することにより，事故による供給支障や過負荷を解消する復旧系統を立案する復旧手順ガイド作成機能を起動することができる。**図1**に本システムの機能概要図を示す。

2.2 特　徴

本システムは，以下の特徴を持っている。

(1) リレーの機能を保護範囲と時限に置き換え，リレー動作の有無，リレーの使用・不使用，CT（Current Transformer）の位置と方向，CB動作状況などを考慮したリレー間の保護協調関係を系統探索により導出し，事故部位を判定する。

(2) 停電区間と停電ブロック（動作CBで囲まれた停電区間の組合せ）に分けることにより単純事故および多重事故を判定する。

(3) 500kVから6kV母線までの広範囲の系統設備を対象としている。

(4) 判定理由としてCBの誤動作・誤不動作，リレー動作の正当性とその理由を提示する。

(5) 送電線，変圧器は3分割して事故部位を判定する。

(6) 制御所計算機システムの他機能と同一CPUで動作する組込み形である。

(7) 再閉路情報を考慮した判定をしている。

3 推論処理の概要

3.1 リレー機能の表現方法

本システムでは，リレーの動作原理を保護範囲と時限で表現している。**表1**に保護範囲と時限の表現例を示す。

保護範囲は，自区間の何%を保護するという形で表現している。例えば，距離リレーの保護範囲は主保護で80%，後備2段で120%，後備3段で200%程度に整定されている。これらは，それぞれ自区間内，相手電気所母線まで，さらに次区間の相手電気所母線までの事故を検出したいという要求により整定された数値である。このようなことから本システムでは，リレーの保護範囲整定に対して柔軟に対応できるよう，送電線や変圧器などのブランチにあたる設備を1/3単位で考えるようにした。また，CT位置も考慮することで，より一層の判定精度向上を図っている。

時限は，実整定値を用いている。HOC，OCなどの限時特性のあるリレーは，時限が一意に決定できないので，保護範囲に応じて段階的に時限を定義することで対応している。

保護範囲，時限，CT位置，動作時にトリップさせるCBなどのリレー機能に関する情報は，外部にリレー整定データベースとして登録することによってメンテナンスを容易にしている。

表1　保護範囲と時限の表現例

リレー名	保護範囲	時限（ms）	継電方式
DCrS	1	0	差動式
BPS	1	0	
DZ1S	2/3	0	距離式
DZ2S	4/3	600	
DZ3S	7/3	1,500	

〈注〉保護範囲は，自端子からどの範囲を保護するかを各区間（設備）の長さを1とした長さで示す。

3.2 推論処理の流れ

本システムの推論処理概略フローを**図2**に示す。各処理フェーズの内容について以下に述べる。

(1) 停電状況認識処理

本処理では，停電状態の機器情報，動作リレー情報，リレー整定情報などから停電設備に関する系統モデルを生成する。この系統モデルと推論途中の情報は，オブジェクト指向に基づく階層型知識で表現している。

(2) 全体事故状況判断

第1ステップでは，健全系でのリレー誤動作やCB誤動作・誤不動作などを判定する。第2ステップでは，以下の手順で停電ブロックとその組合せを生成する。

(a) 健全系統（充電している系統と停電状態でも事故点がないことが明確な系統）に囲まれた独立した停電領域を全停電区間とする。

(b) 全停電区間を開CBまたは末端機器で囲まれる区間である停電区間に分割する。

(c) 全停電区間において，一つの事故点で停電する可能性のある停電区間を組合せ停電ブロックとする。

(d) 全停電区間を網羅する停電ブロックの組合せを生成

図2　推論処理概略フロー

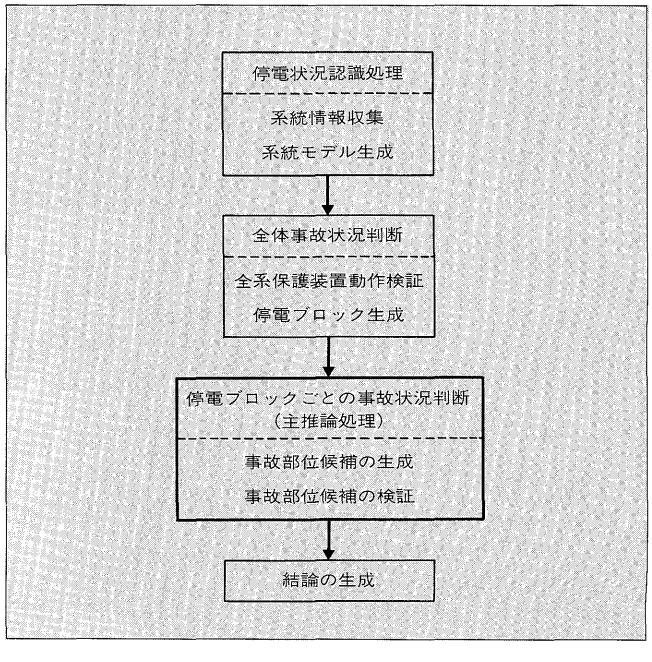
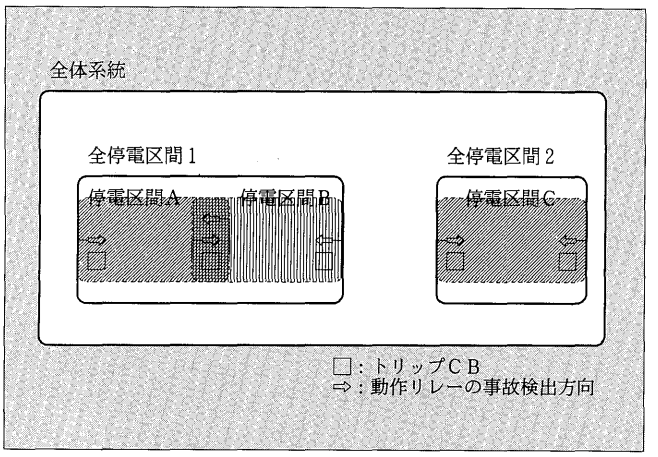


図３　全停電区間と停電区間の認識概念図



する。

図３に全停電区間と停電区間の関係の概念図を示す。全停電区間１の場合，停電ブロックは｛停電区間Ａ｝と｛停電区間Ｂ｝と｛停電区間ＡとＢを合わせた区間｝の三つできる。停電ブロックの組合せは，〔｛停電区間Ａ｝，｛停電区間Ｂ｝〕と〔｛停電区間ＡとＢを合わせた区間｝〕の二つできる。つまり，これは停電区間ＡとＢに一つずつ事故がある場合と，停電区間ＡとＢを合わせた区間に一つ事故がある場合を仮定している。

(3)　停電ブロックごとの事故状況判断

停電ブロックごとに事故部位候補の生成と検証を行う。事故部位候補生成では，一つの停電ブロックには一つの事故点しか存在しないという前提で，停電ブロック内の動作リレーの保護範囲の重なりから事故部位を仮定する。

検証では，仮定された事故部位に関してリレー動作シミュレーションにより，動作すべきリレーおよび保護協調関係を求める。これと実際の動作状況を比較することによって，リレーの正動作，誤動作などを判定し，事故部位を決定する。このとき，各リレー動作の判定理由を付加する。例えば，正動作と判定されたリレーでは，保護範囲内，時限が妥当，使用中，背後電源ありなどの理由が付加される。これらは，運用者に分かりやすいものとしてある。

(4)　結論の生成

先に作成した停電ブロックの組合せに従って，停電ブロックごとに決定された事故部位を組み合わせることにより，最終的な事故部位判定結果を作成する。その際，以下の優先順位決定ルールに基づいて結論の表示順序を決定している。

(a)　検証時に判定された不正動作の少ない結論
　（不正動作リレー数が一つ以下の候補のみ採択する）

(b)　組み合わせた事故部位の少ない結論

(c)　復旧操作において重大事故とされる事故部位の結論

4　推論実行例

実際の事故例で推論処理の流れを説明する。**図４**に事故発生後の系統図，**表２**にその事故が発生したときの状態変化（状変）情報を示す。ここに示した事故は，Ａ電気所の○○線 1L の CB 事故によって母線保護リレーと送電線保護リレーが同時に動作した事故である。

(1)　停電状況認識処理

この事故によって停電した○○線 1L，Ａ電気所の甲母線とそれらに接続する CB，CT，リレー情報を系統モデルとして生成する。

(2)　全体事故状況判断

この事故では，リレーとそれが動作させるべき CB が正しく動作しているため，健全系でのリレー誤動作や CB 誤動作・誤不動作は該当するものはない。

図４　例題事故の状況系統図

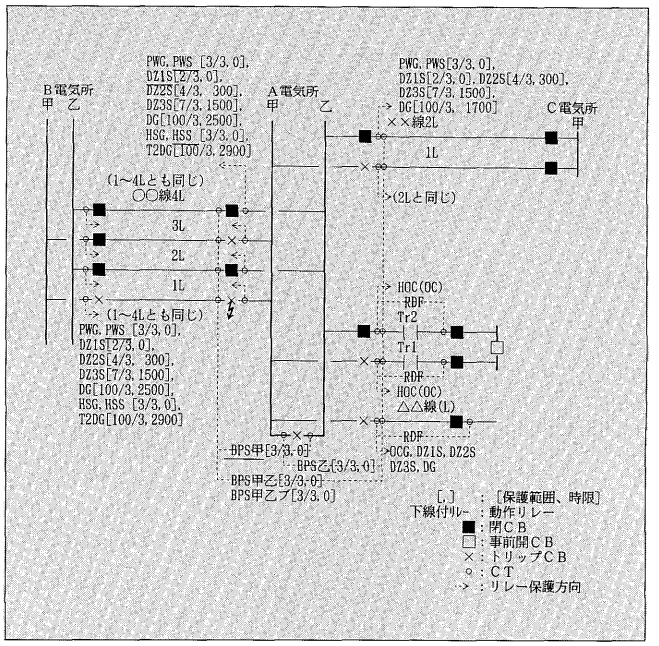


表２　例題事故時の状変情報

時　刻	電気所名	機器名	データ名	状　態
0″	B電気所	○○線 1L	短絡 Ry	動　作
			CB	切
	A電気所	○○線 1L	短絡 Ry	動　作
			CB	切
		○○線 3L	CB	切
		△△線（L）	CB	切
		No.1 配 Tr	一次 CB	切
		66kV 甲乙プスタイ	CB	切
		××線 1L	CB	切
		66kV 甲乙プス	BP 短絡	動　作
5″	B電気所	○○線 1L	PW 短絡	動　作
			事故相 R-S	動　作
10″	A電気所	○○線 1L	PW 短絡	動　作
			選択短絡	動　作
			短絡１段	動　作
			甲遮断(BPS)	動　作

〈注〉時刻は最初の状変を受け付けた時刻を０として制御所計算機システムに取り込まれた相対時刻

表３　例題事故の停電ブロックごとの事故部位候補

ブロック名	事故部位候補
停電ブロック１	①　○○線 1L（Ｂ電気所側） ②　○○線 1L（中央） ③　○○線 1L（Ａ電気所側）
停電ブロック２	①　Ａ電気所　甲母線 ②　Ａ電気所　△△線（Ｌ）CB ③　Ａ電気所　No.1 配 Tr 一次 CB
停電ブロック３	①　Ａ電気所　○○線 1LCB ②　○○線 1L（Ｂ電気所側） ③　○○線 1L（中央） ④　○○線 1L（Ａ電気所側）

〈注〉電源側 CB は，事故部位候補としない。

表４　例題事故の検証時のリレー判定結果

設置リレー ＼ 事故部位			停電ブロック１			停電ブロック２			停電ブロック３			
			①	②	③	①	②	③	①	②	③	④
Ｂ電気所	○○線 1L	PWG	－	－	－				－	－	－	－
		PWS	○	○	○				○	○	○	○
		DZ1S	－	－	－				－	－	－	－
		DZ2S	－	－	－				－	－	－	－
		DZ3S	－	－	－				－	－	－	－
		DG	－	－	－				－	－	－	－
		HSG	－	－	－				－	－	－	－
		HSS	－	－	－				－	－	－	－
		T2DG	－	－	－				－	－	－	－
Ａ電気所	○○線 1L	PWG	－	－	－				－	－	－	－
		PWS	○	○	○				○	○	○	○
		DZ1S	×	○	○				○	×	○	○
		DZ2S	－	－	－				－	－	－	－
		DZ3S	－	－	－				－	－	－	－
		DG	－	－	－				－	－	－	－
		HSG	－	－	－				－	－	－	－
		HSS	○	○	○				○	○	○	○
		T2DG	－	－	－				－	－	－	－
	BPS 甲					○	○	○	○	×	×	×
不正動作リレー数			1	0	0	0	0	0	0	2	1	1

○：正動作，×：誤動作，－：正不動作，ブランク：無関係
〈注〉①～④は，表３に示す事故部位候補に対応

停電ブロックは，以下の三つできる。

ブロック１：○○線 1L と両端の CB

ブロック２：Ａ電気所の甲母線とそれに接続する CB

ブロック３：ブロック１と２を合わせたブロック

停電ブロック組合せは，ブロック１と２のそれぞれに事故発生した多重事故の場合とブロック１と２を合わせた区間に一つの事故が発生した場合の２とおりとなる。

(3)　停電ブロックごとの事故状況判断

候補生成では，ブロック１，ブロック２，ブロック３のそれぞれについて各ブロックの動作リレーの保護重なりから事故部位候補を求める。それぞれ**表 3** に示す事故部位候補となる。

候補検証では，各事故部位候補から停電ブロックの末端までを探索し，その途中にあるリレーの保護協調関係を導出して動作の正当性を判定する。その判定結果を**表 4** に示す。ここで，停電ブロック３の②の候補は，不正動作が二つあるため棄却し，それ以外は事故部位とする。

(4)　結論の生成

最終的な結論は，停電ブロック１と２の事故部位を組み合わせた多重事故９個と停電ブロック３の単純事故３個の合計12個となる。この中で，第一順位に提示される事故部位は，先に示した優先順位により停電ブロック３のＡ電気所○○線 1LCB となる。

5　あとがき

運用の結果，本システムが以下の要件を満たしていることを確認できた。

(1)　迅速かつ的確な電力系統の事故部位が判定できる。

(2)　運用者に理解しやすい判定理由を提示できる。

(3)　リレー機能や設備情報を外部データベースにすることによって，設備増設などの系統変更に柔軟な対応ができる。

また，事故部位判定システムを実用化するうえで，リレー機能を保護範囲と時限で表現し，それを基に系統モデルをシミュレーションするという推論方法が，非常に有効であることを確認した。

最後に本システムの開発，実用化にあたってご指導とご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

(1)　木村享史ほか：保護装置動作シミュレーションを用いた事故部位判定エキスパートシステム，平成元年電気学会全国大会講演論文集，No.995（1989）

(2)　木村享史ほか：保護装置動作シミュレーションを用いた事故部位判定エキスパートシステムの開発，平成２年電力技術研究会，PE-90-75（1990）

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。