

500 kV変電所における知識工学を応用した 運転支援システム

Operation Supporting Systems for 500 kV Substations

電力系統での変電所は、発電所と負荷の間に位置し、電力系統ネットワークのかなめとなるものである。特に500 kV基幹系変電所の役割は重要で、構成する設備とともにその運用に当たっては高い信頼性が要求され、近年、コンピュータによる監視制御の自動化が進められている。変電所運転業務のなかで事故時の対応は最も重要であり、運転員の的確かつ迅速な判断が要求される。このため、知識工学を応用した運転支援システムの開発を行った。

その1号機として、関西電力株式会社新生駒変電所に日立制御用計算機HIDIC-V90/50による監視制御システムが納入され、運用を開始した。本システムには平常時の監視制御に加え、知識工学を応用した事故時の運転支援のほか、運転員の訓練を目的とした学習機能が具備されている。

長谷川泰三* *Taizō Hasegawa*
 進 雅美* *Masami Shin*
 丸山 彰** *Akira Maruyama*
 川上潤三*** *Junzō Kawakami*
 森 和広**** *Kazuhiro Mori*

1 緒 言

近年、電力系統の大規模化、複雑化に伴い、コンピュータによる監視制御の自動化が進められており、また電力機器設備及び保護装置などの機能向上、信頼性向上により、現実の系統事故の発生は極めて少なくなっている。併せて、運転員の若年化も進んでおり、事故経験も減少してきている。

このような状況から、この事故対応を的確に行うためにはベテラン運転員のノウハウを生かした運転支援システムが有効な対策となってきている。

1.1 運転支援システムの適用業務

現在の系統事故発生時の運転員の対応業務のフローを図1に示す。このフローのうち、事故状況把握(事故点、事故様相想定)と応急処置には特に的確性と迅速性が要求されるところであり、近年の電力供給信頼性に対する要請の高まりと設備規模の増大とともに、現状の運転方法では運転員の負担が増大し、ヒューマンファクタによるトラブルの発生につながる遠因ともなりかねない。また、この業務が最もベテラン運転員のノウハウを必要とするところである。

1.2 知識工学の応用

現在の計算機による運転支援システムでは、プログラムロジックによりその機能を実現しているが、時の経過につれて設計当初に考慮されていなかった特殊条件や処理方式の変更が出て、年々、大規模なプログラムロジックの増・改造を行っている。

プログラムロジック方式の場合、ケースバイケースの特殊条件をすべてロジックで実現することは困難で、なんらかの形で割り切りを行うため、最終的には運転員の高度な判断を必

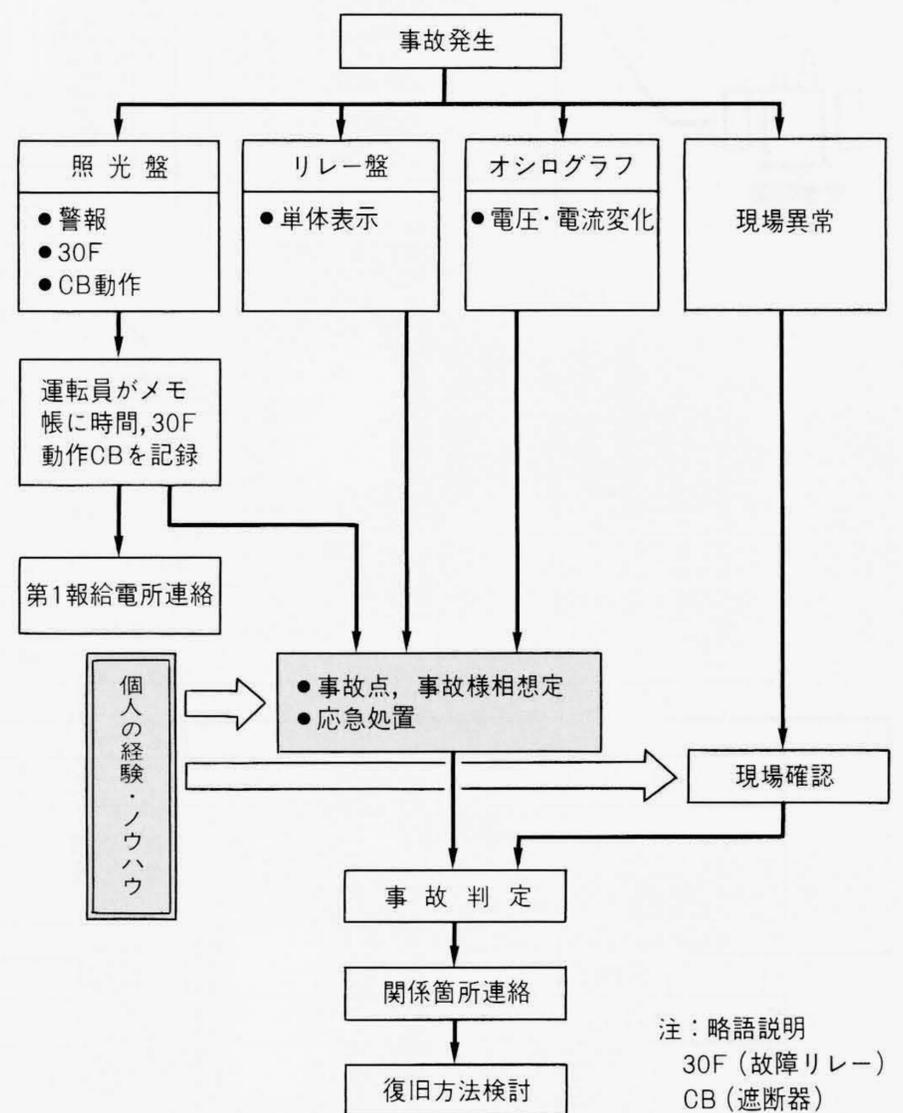


図1 従来の事故対応業務フロー 事故発生時の対応業務のうち、事故点、事故様相の想定及び応急処置の方針決定を知識工学導入の対象としている。

* 関西電力株式会社工務部 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所日立研究所 工学博士 **** 日立製作所関西支店

要とするケースが出てくる。

この点を解決するため、今回ベテラン運転員のノウハウを生かすことのできる知識工学を応用することにした。これによって、予想される効果としては下記のものが考えられる。

- (1) 事故時の対応の漏れ、個人のばらつきがなくなる。
- (2) 運転員のノウハウの共有化と伝承が可能となる。
- (3) 事故発生から復旧までの時間が短縮される。

2 システムの概要

運転支援システムは、図2に示すように専用CRT(ディスプレイ装置)操作卓として、500 kV変電所内の既設監視制御システムに併置され、運転員に詳細監視情報の提供、記録の自動化、事故時のガイダンス表示、及び既設制御機故障時の機器制御バックアップを行うものである。

2.1 運転支援システムの構成

運転支援システムの構成を図3に示す。

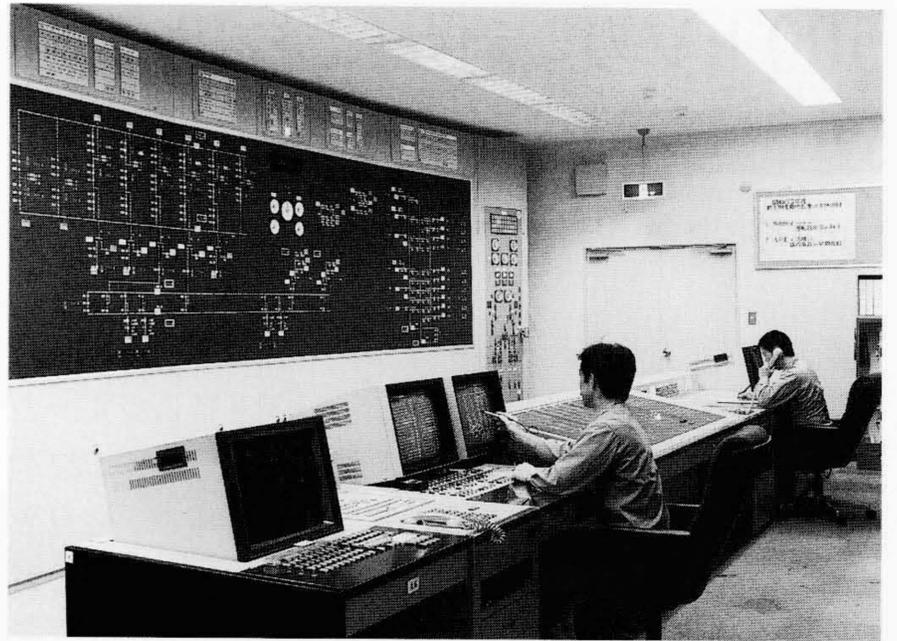
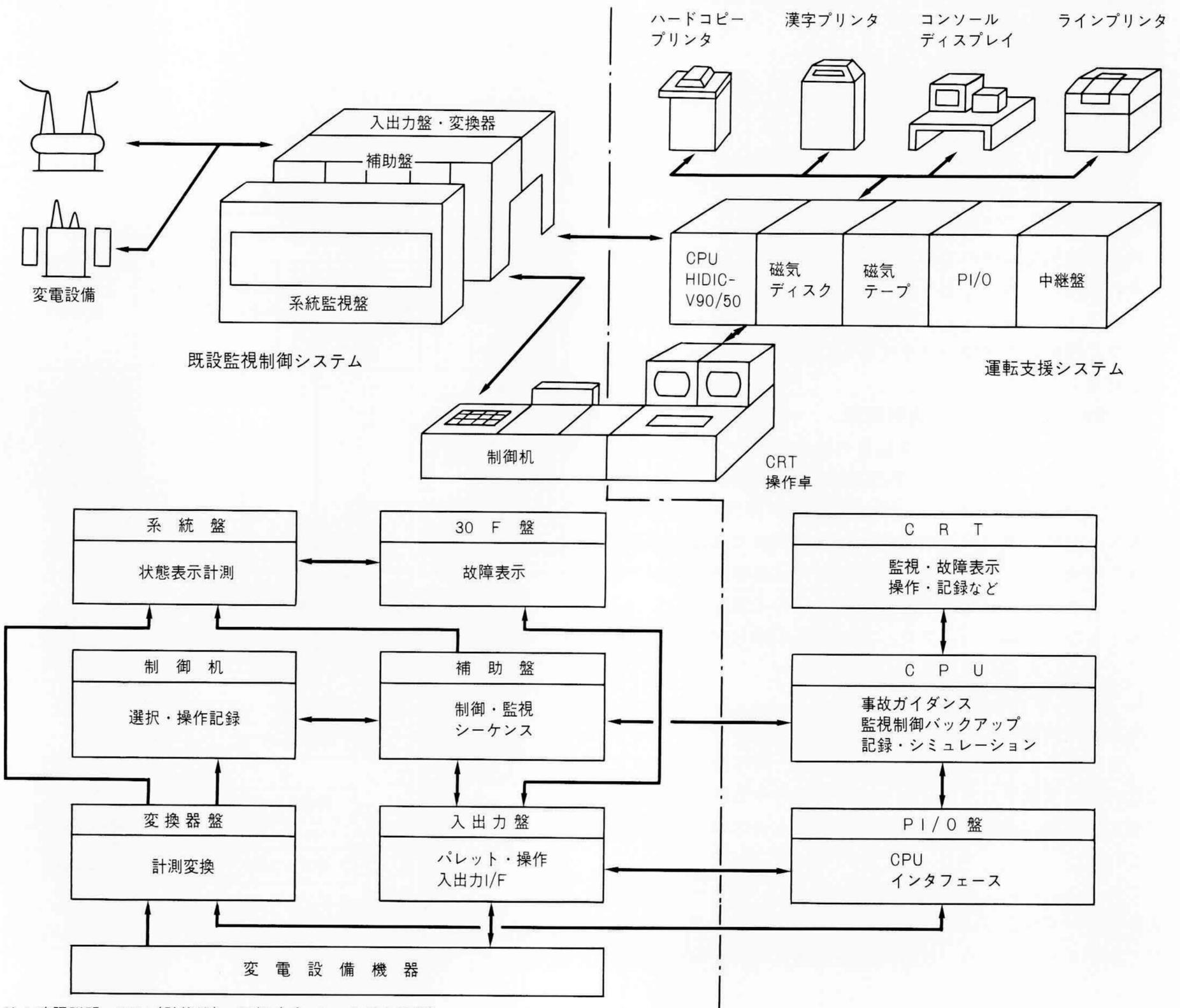


図2 関西電力株式会社新生駒変電所の制御室 既設監視制御システム(系統盤, 制御機)に運転支援システム(CRT(ディスプレイ装置)操作卓)が併置されている。



注：略語説明 CPU(計算機), PI/O(プロセス入出力装置)

図3 運転支援システムの構成 既設監視制御システムのバックアップと事故ガイダンス、記録を目的としている。

- (1) 漢字CRT 2台をセットで使用(1台でスケルトン表示, もう1台でメッセージ表示)し, 監視, 操作を効率よく運用できるよう工夫されている。また, 仮想大画面をスクロール機能で表示することによって広域監視を容易にしている。
- (2) 事故ガイダンスとしてCRTに表示される設備機器の確認項目はハードコピープリンタに出力し, 運転員はこれを現場に持って行き, チェックシートとして使用できる。
- (3) 操作記録, 給電記録は漢字タイプライタで読みやすい形で印字出力される。

2.2 運転支援システムの機能概要

変電所での運用業務の基本は, 時々刻々変動する電力系統の状況を的確に把握し, 状況の変化に対応して適切な処置を行うことである。本システムの機能概要を表1に示す。

本システムは従来の監視, 制御, 記録に加え, 電圧管理, 事故ガイダンス, 学習システムの機能を設けた。

(1) 電圧管理

系統の電圧を常に監視し, 管理値を外れた場合に, 操作すべき最適な調相設備機器を選定し, 運転員の操作支援を行うものである。

(2) 事故ガイダンス

変電所内に事故が発生したとき, 動作したリレー情報をもとに事故状況を把握し, 運転員に対し確認, 処置すべき項目をCRTに表示出力する。

(3) 学習システム

運転員の系統事故時対応の学習を目的として, 事故時の入力情報を模擬することによって事故ガイダンスを動作させ, 平常時から運転員自ら学習を行う。

3 知識工学の導入

本システムでは系統事故発生時の事故状況把握に関し, ベテラン運転員のノウハウを生かすため, 知識工学の導入を図った。以下, その知識作り, 推論方式に関して変圧器本体の例を述べる^{1)~4)}。

3.1 知識の構成

変電所の事故診断を行うため, 図4に示すように知識ベースを変電所機器の構成, リレー機能を定義する固定情報と細かい事故点を発見するための推論情報により構成した。

(1) 構成定義

推論対象である設備の構成を定義する。

(例) 「変圧器」は「一次側回路」, 「変圧器本体」, 「二次側回路」, 「三次側回路」, 「中性点回路」及び「雑回路」で構成される。

(2) リレー機能定義

リレーの保護範囲を定義する。リレーが動作した場合, それだけで判明する事項を定義する。

定義形式は, 「リレー」は「どこ」に「何」が発生した場合に動作するという形でなされる。

(例) 「87」は「一次側回路」又は「二次側回路」若しくは「三次側回路」に「主回路故障」が発生した場合に動作する(「87」はリレーの名称)。

(3) 推論規則

表1 運転支援システムの機能概要 今回, 項目6.及び7.の機能に知識工学を応用した。

項目	概略仕様
1. 監視	● 系統の電圧・潮流・周波数などの管理値の自動監視及び警報表示
2. 操作(制御)	● CRT上のスケルトンに示す機器をライトペンなどで操作 ● 定型操作(全停電操作・母線停止・バンク停止など)の自動化
3. 操作票作成	● CRT上のスケルトンからの操作票の作成, 登録及び操作票の模擬実行
4. 記録	● 給電記録(日報・月報)・操作記録の自動化 ● 事故記録(30F・CB動作などの事故情報・事故操作・事故前後の系統状態・事故速報)の自動化
5. 電圧管理	● 500 kV電圧を管理値内に維持するための必要調相設備容量の選定
6. 事故ガイダンス	● 30F, CB動作・電圧・潮流から事故・障害の内容, 確認事項, 処理内容及びスケルトン上の故障点などのCRT画面表示
7. 学習システム	● シミュレータ機能による事故想定訓練 ● 事故ガイダンス用CRT表示メッセージのCRT入力によるメンテナンス

注: 略語説明 CRT(ディスプレイ装置)

リレー機能定義で与えられた情報を更に詳しく, 具体的に説明する規則である。

定義形式は「どこ」に「何」が発生したという情報があるならば, 更にそれは「そのどこ」で「どのようなこと」が起きた可能性がある, という形でなされる。

(例) 「変圧器本体」に「主回路故障」が発生した場合, 「本体」で「内部故障」が起きた可能性がある。「変圧器本体」に「主回路地絡」が発生した場合, 「本体」で「二次巻線地絡」が起きた可能性がある。

3.2 推論方式

事故点の推論は, 以下の手順で実行される。

(1) 中間仮説の導出(保護範囲の導出)

与えられた動作リレー名と知識ベースのリレー機能定義から, おおまかな事故点を推定する。

(2) 最終仮説の導出(事故点の導出)

上記の中間仮説の結果と推論規則により, 更に細かい範囲で可能性のある事故点を探索する。

(3) 仮説の絞り込み(最も可能性のある事故点の決定)

上記の最終仮説の結果, 推論された事故点の候補を以下の規則で絞り込み, 最も可能性のある事故点を決定する。

(a) 得られた「事故点」のなかで, 動作したすべてのリレーに関係するものがあれば, これを最も可能性の高い「事故点」とする。

(b) 上記の規則に当てはまるものがない場合, 関係するリレーの数がいちばん多い「事故点」を最も可能性の高い「事

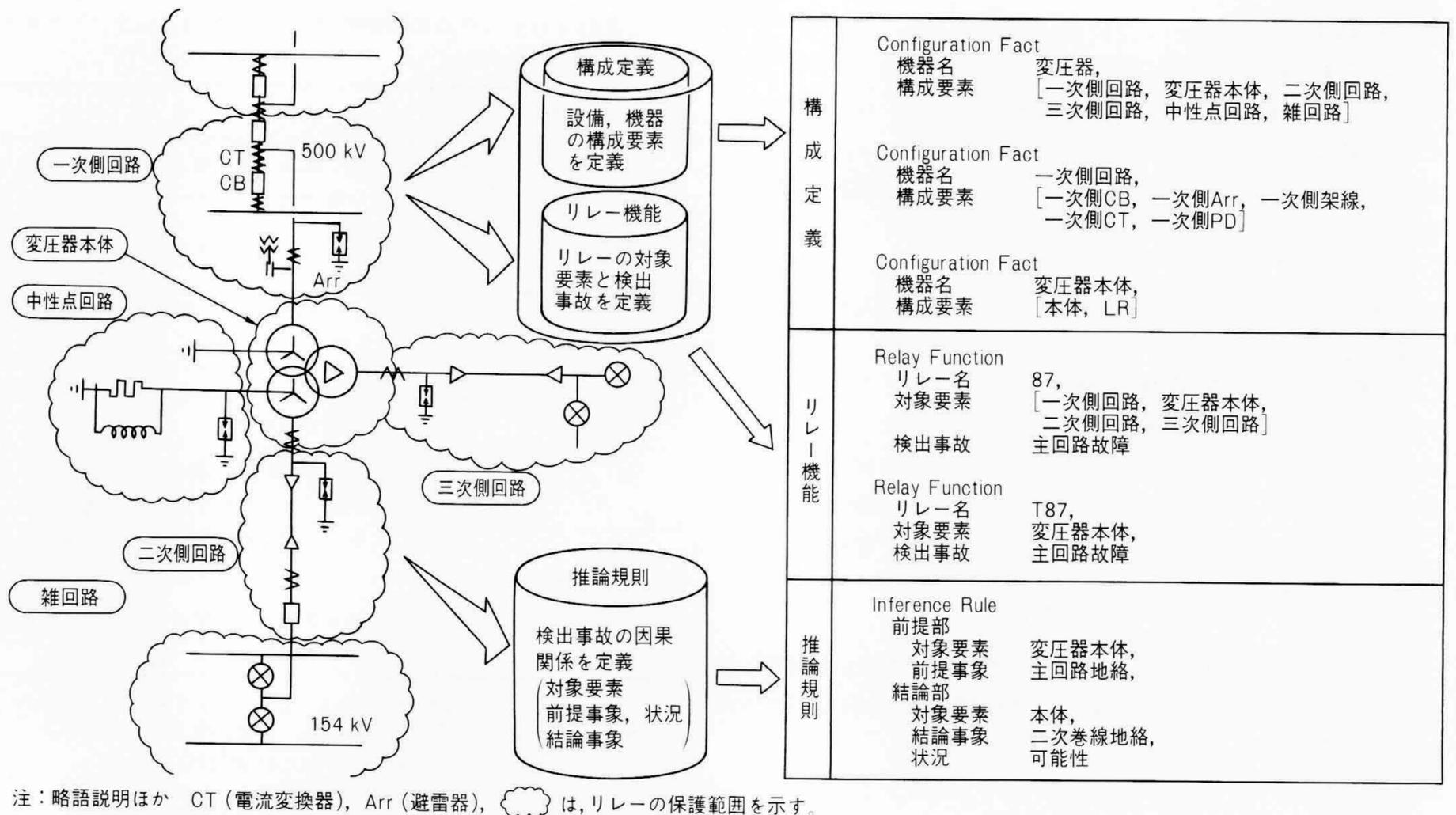


図4 知識ベースの分類と具体例 変圧器の事故状況把握に必要な知識ベースを分類し、具体的に定義した。

故点」とする。

(c) 仮説の中で包含関係が発見できたものは、より包含されるほうを「事故点」とする。この時点で設備の構成定義が利用される。

「リレー：87, T87, 87G, S51N動作」の場合の具体的な推論過程を図5に示す。

3.3 知識ベースと推論結果

本システムで作成した各変電設備の知識ベースの数と、この知識をもとにすべてのリレーの動作に関し推論した結果、得られた事故ケース数を表2に示す。

3.4 オンラインシステムへの導入

このようにして開発した知識ベースと推論方式を、特に知識処理対応でない一般の制御用計算機でも高速に処理できるシステムとして実現させるため、図6のようにしてオンラインシステムへの導入を図った。

- (1) 高速に知識処理を行える大規模な汎用計算機で、知識ベースを入力し、推論エンジンを構築した。
- (2) まず、机上であらかじめ考えられる幾つかの事故ケースを準備し、推論を行う。その結果をベテラン運転員にチェックしてもらい、誤っている場合には知識ベースと推論エンジンを修正し、再度推論を行う。

これを繰り返して知識ベースと推論エンジンの充実を行っていき、完成させた。

(3) 次に、すべてのリレー動作を自動的に順次発生させ、模擬実行させた。その結果、実証された推論結果に関してだけリレーの組合せと事故様相をラインプリンタに出力させた。

(4) 最後に、出力されたリレー動作の組合せをオンライン処

理可能なようにテーブル化し、制御用計算機にローディングした。

(5) 実際の事故時に制御用計算機では、下記のようにして事故の推論を行う。

- (a) 事故時に動作したリレーを検出し、リレー動作の組合せとして整理する。
- (b) これを前述のテーブル化されたリレー動作の組合せと比較し、一致する事故ケースを検索する。
- (c) 検索された事故ケースを基に該当する事故箇所、事故様相を決定し、CRTに運転支援ガイダンス情報を表示出力する。

(6) 以上のようにして、一般の制御用計算機で、知識工学を応用したオンラインシステムを実現することができた。

4 ガイダンス機能

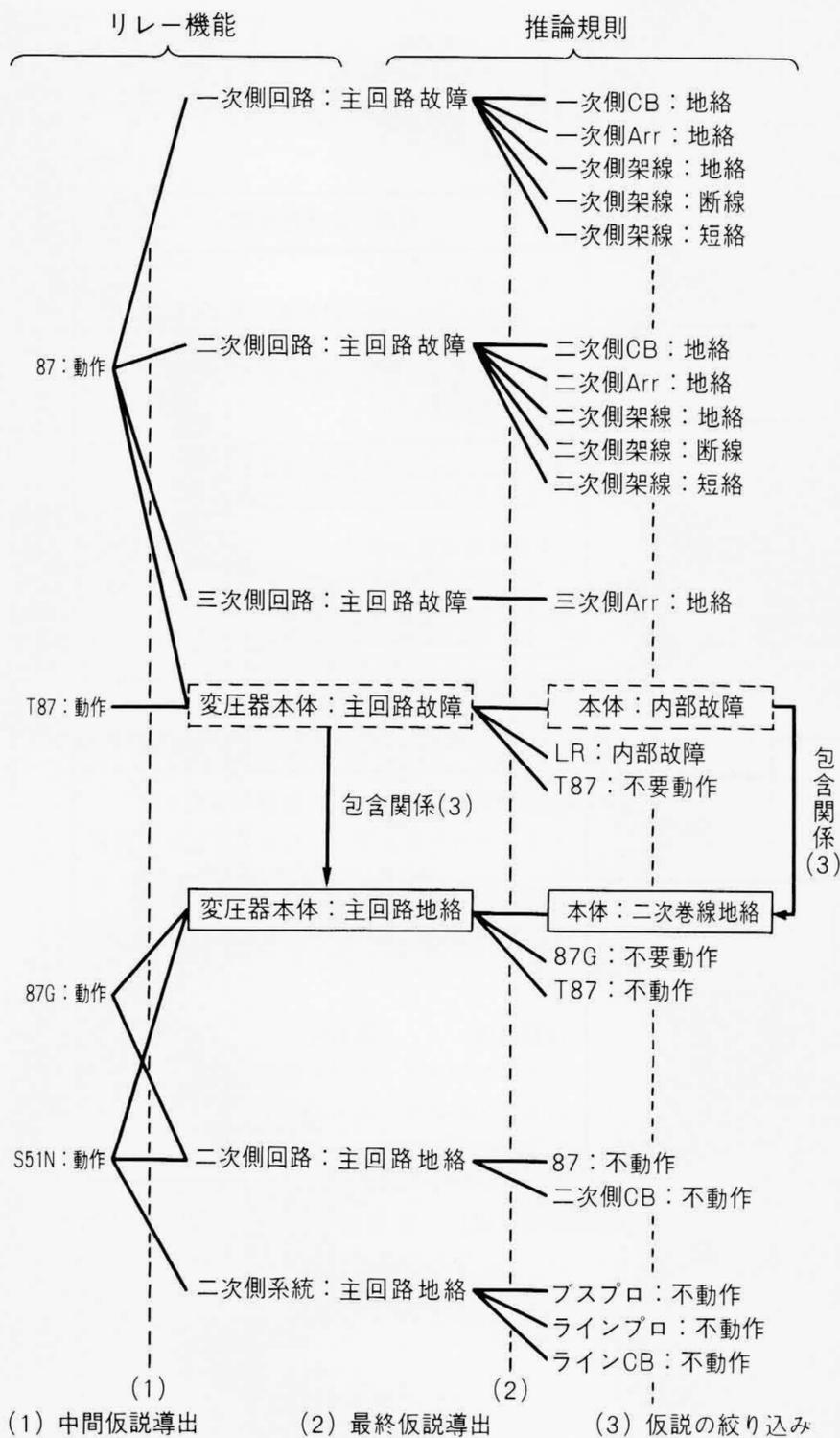
本システムの事故発生時の、ガイダンスに関する基本的な処理フローを図7に示す。

(1) 事故が発生してリレーが動作すると、監視制御システムから警報が鳴動される。

(2) これに対し、運転員が制御機の「警報停止」のスイッチを押すと、自動的にCRTに事故の状況を知らせる画面が表示される。

(a) スケルトン画面(発生した事故設備のスケルトンにトリップした遮断器とその停電範囲を表示する。)

(b) 事故状況把握画面(動作したリレー、遮断器、事故前後の電圧、電流値など発生した事故状況を把握するのに必要な情報を表示する。)



(1) 中間仮説導出 (2) 最終仮説導出 (3) 仮説の絞り込み
注：略語説明
87 (差動継電器), T87 (変圧器比率差動継電器)
87G (地絡比率差動継電器), S51N (変圧器地絡過電流継電器)

図5 推論過程 動作したリレーから知識ベースに基づいて、事故状況を推論する。

表2 知識ベースと事故ケース 知識ベースは設備種別ごとに作成し、個別設備ごとにこの共通ルールを使用する。

区分	設備	ルール数	事故ケース
変圧器	500/275 kV	164	60
	500/154 kV	173	76
	275/77 kV	121	29
線路	500 kV	92	38
	275 kV	84	31
	154 kV	98	18
母線	500 kV	88	45
	275 kV	151	47
	154 kV	109	18
調相	154 kV	279	52
	77 kV	104	17
	22 kV	60	11
計		1,522	442

- (3) 以上により運転員は事故の状況を正確に把握し、次に行うべき処理を確認するため、制御機の“NEXT”のスイッチを押すとCRTにガイダンス情報が表示される。
- (a) 事故箇所推論画面(知識工学に基づく推論結果からスケルトン上に事故点と事故要因を表示する。)
 - (b) ガイダンス画面(事故状況をより詳細に把握するための確認項目、事故箇所を切り離すための応急処置、関係箇所への連絡内容と連絡箇所、構内巡視の場所と内容を表示する。)
- (4) このガイダンス機能により、運転員に対しタイムリーに的確な運転支援情報を提供でき、事故復旧の短縮化が図れる。

5 システム導入による効果

知識工学を変電所監視制御システムに導入したことによって、ベテラン運転員のノウハウを十分生かすことができるようになり、次のような効果が期待できる。

- (1) 電力システムの信頼性向上
- (2) 事故発生時の迅速かつ的確な状況把握
- (3) 運転員の事故時の精神的負担軽減

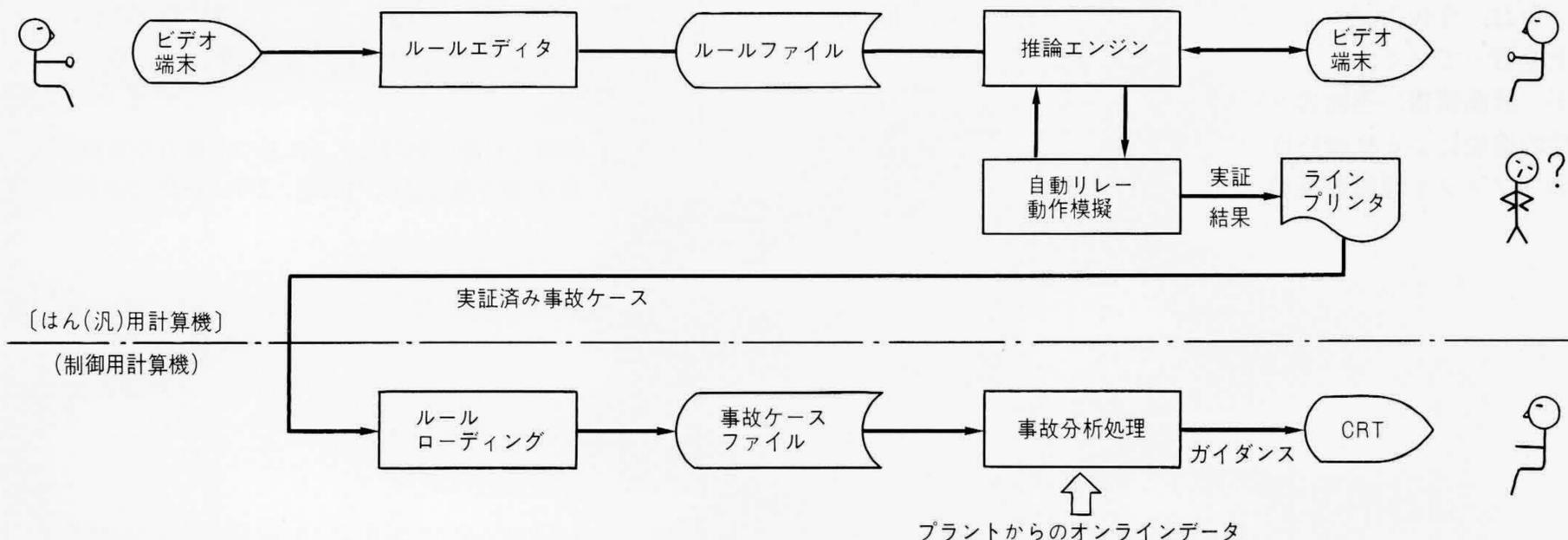


図6 知識ベースのオンラインシステムへの導入 はん(汎)用計算機で実証された事故ケースだけを制御用計算機に登録する。

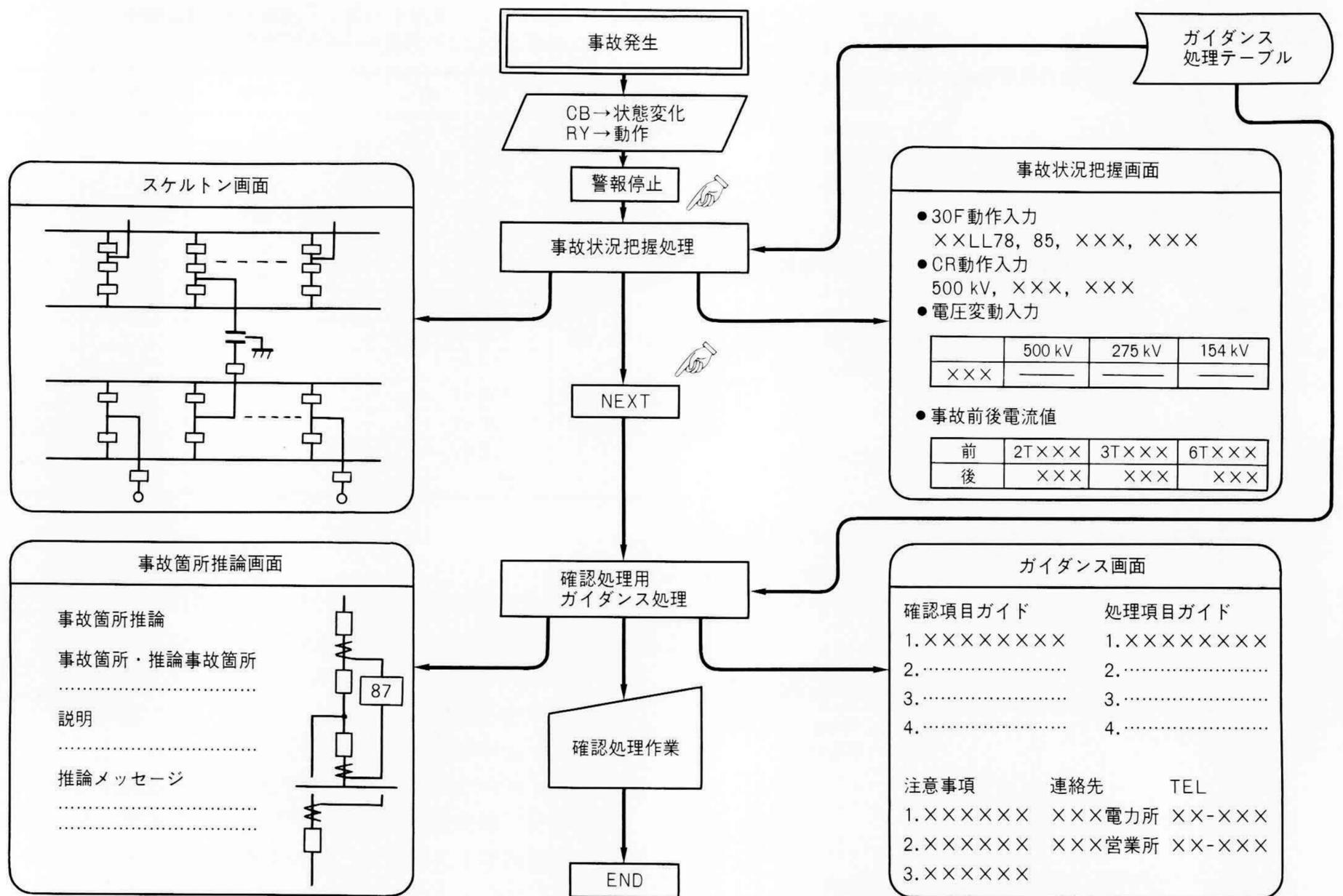


図7 事故ガイダンス基本処理フロー 事故発生時運転員は、CRTに表示される計算機の推論結果に従い、応急処置や現場確認などを行う。

(4) 学習システムによる運転員の技術レベルの向上

6 結 言

本システムは関西電力株式会社と日立製作所が、昭和61年度共同研究を行い、変電所監視制御に関する知識ベースと推論方式を開発し、その成果を関西電力株式会社新生駒変電所に運転支援システムとして実現したものである。昭和62年10月に運転を開始し、順調に稼動し運転員の好評を得ている。

なお、今後下記のような機能の強化を図り、推論性能の向上を行っていく。

- (1) 計測情報、遮断器状態、オシログラフ情報などの推論条件の追加による推論精度向上
- (2) ファジィ理論の採用

参考文献

- 1) 川上：系統故障区間の判定法，電気学会電力技術研究会，PE-83-55(昭58-7)
- 2) 福井，外：知識工学的手法を用いた系統故障区間の判定法，昭和59年電気学会全国大会(昭59-4)
- 3) 福井，外：状況に依存する知識に基づく電力系統故障区間の判別法，電気学会電力技術研究会，PE-85-102(昭60-7)
- 4) Fukui, et al.: An Expert System for Fault Section Estimation Using Information from Protective Relays and Circuit Breakers, IEEE Trans. Power Delivery PWRD-1, 4, 83(1986)
- 5) 福井，外：知識と対象の物理モデルに基づく電力系統故障区間の判別法，電気学会論文誌C, 107巻, 2号, 181~188(昭62-2)