

# 変電所運転保守支援システム

## Operation and Diagnosis Assisting System for Substations

電力供給の要(かなめ)である変電所のうち154 kV以下のものは無人化され、遠方の監視制御システムによって集中制御されてきている。一方、基幹系超高压変電所では、その規模の大きさと重要性から運用には高い信頼性が要求され、運転保守支援システムを各変電所に個別に導入する傾向が強まっている。

変電所運転保守支援システムは、変電所全体を監視制御するほか、事故発生時での運転員への的確かつ迅速な支援を行うことにより、事故の早期復旧に寄与する。さらに、変電所内の各設備の保守診断を実施することで、事故の未然防止を図るなどのインテリジェント機能を持つシステムである。

開発したシステムは、すでにその一部が基幹系変電所に導入され、運用の段階に入っている。

藤川歳幸\* Toshiyuki Fujikawa

山田 洋\*\* Hiroshi Yamada

中山桂司\*\*\* Keiji Nakayama

### 1 緒 言

高度情報化の進展、生活環境の電力依存度の増大により、電力の安定供給に対する要請はますます強くなってきている。なかでも変電所は、送配電網の要(かなめ)であり、その役割はきわめて重要である。日立製作所では早くから変電所の高信頼化、デジタル化、センシング技術と、予測診断技術の開発に取り組んできた。これらの技術と、長年にわたり培った電力向け制御用計算機システム技術を融合することにより、これまでの監視制御の機能に加え、事故点の推定、復旧手順提示などの運転支援機能やセンサ情報を基にした予測保全機能、巡視点検の支援機能を有機的に結合した総合的な次世代変電所運転保守支援システムの開発を進めてきている。開発の成果はすでにその一部について、基幹系の変電所に導入している状況にある。

本稿では、次世代変電所運転保守支援システムの構成と、キーテクノロジーである機器監視センサ、変電所構内光LAN、マンマシンインタフェースおよび知識処理の現状と動向について述べる。

### 2 次世代変電所運転保守支援システム

#### 2.1 システムに期待される機能

変電所向け支援用計算機システムは、ハードウェアおよびソフトウェアの進歩に伴い、初期の運転記録用データロガーからCRT付き監視システム、さらには計算機主体の監視制御システムへと機能が拡大してきた。これからは、変電所全体

にわたる運転および保守を支援するシステムとして、ますますその役割が重要になってくると考えられる。

次世代変電所運転保守支援システムの機能、およびキーテクノロジーとその開発状況を表1に示す。

#### 2.2 システム構成例

次世代運転保守支援システムの構成例を図1に示す。

このシステム全体としては、大きく分けて下記の四つの部分から構成されている。

##### (1) 変電機器設備

変圧器や遮断器単体およびガス絶縁開閉装置には、運転操作のための制御保護装置に加えて、機器監視装置が設置されている。この機器監視装置では、センサによって故障や異常の兆候を常時監視している。また、センサで検出されたデータはこの装置に保存蓄積され、計算機で分析されて機器の予測診断に使用される。

##### (2) 光情報伝送

高速情報伝送、耐ノイズ性の要求を満たすため、光LANなどのデジタル伝送方式を採用している。

各変電設備の詳細監視・制御情報を中央の情報処理装置に送る情報の神経系統であり、非常に重要な役目を担っている。

##### (3) 中央情報処理装置

変電所全体の情報を集中管理し、リアルタイムでの監視・制御および運転支援の判断を実施する。計算機システムは二重化して信頼性を向上させるとともに、運転支援向けの知識

\* 日立製作所 大みか工場 \*\* 日立製作所 国分工場 \*\*\* 日立エンジニアリング株式会社

表1 次世代変電所運転保守支援システムに期待される機能  
従来の監視制御機能に加え、予測保全支援機能、事故異常時の対応支援機能、保守支援機能の充実への期待が大きい。

機能	仕様	キーテクノロジー	開発状況
監視	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 系統の電圧、潮流、周波数などの管理値の自動監視および警報表示</li> <li>● センサ情報の監視</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 伝送</li> <li>● センサ, 伝送</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎</li> <li>○</li> </ul>
操作(制御)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CRT上のスケルトンに示す機器をライトペンなどで操作</li> <li>● 定形操作(全停電操作, 母線停止, バンク停止など)の自動化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● マンマシン</li> <li>● マンマシン, 伝送</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎</li> <li>◎</li> </ul>
操作票作成	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CRT上のスケルトンからの操作票の作成, 登録および操作票の模擬実行</li> </ul>	—	◎
記録・統計	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 給電記録(日報・月報), 操作記録の自動化</li> <li>● 事故記録(30F・遮断器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</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎</li> <li>◎</li> </ul>
電圧管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 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</li> </ul>	—	◎
予測保全支援	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機器異常兆候の診断</li> <li>● 異常様相, 部位, 原因推定</li> <li>● 巡視点検ガイド, 処置ガイド</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 診断アルゴリズム</li> <li>● 知識処理</li> <li>● マンマシン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎</li> <li>◎</li> <li>○</li> </ul>
事故時支援	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 事故個所判定, 原因推定</li> <li>● 復旧ガイド</li> <li>● 巡視点検ガイド, 処置ガイド</li> <li>● 自動復旧操作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 診断アルゴリズム</li> <li>● 知識処理</li> <li>● マンマシン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎</li> <li>◎</li> <li>◎</li> <li>△</li> </ul>
巡視点検支援	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 日常巡視, 点検ガイド</li> <li>● 巡視点検記録</li> <li>● ロボットによる点検</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● マンマシン</li> <li>● ハンディ端末</li> <li>● センサ, ロボット</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>△</li> </ul>
日常業務支援	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 訓練, シミュレーション</li> <li>● データ解析</li> <li>● 上位システム結合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● マンマシン</li> <li>● ワークステーション</li> <li>● 伝送</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎</li> <li>○</li> <li>◎</li> </ul>
メンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 知識ベース, データベースメンテナンス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ワークステーション</li> </ul>	◎

注：開発状況 ◎印は実用化, ○印は開発中, △印は今後を示す。

処理機能を内蔵した計算機システム構成を特徴とする。そのほか、万一計算機システムが停止したときにも、最小限の監視・制御ができるように、バックアップ用監視制御盤を設置している。

(4) 運転員マンマシンインタフェース

CRT操作卓には、迅速・的確なリアルタイム運転を目的として、監視・制御および運転支援機能を持たせている。保守支援には、データベースや知識ベースの追加・変更に対話処理に優れ、多様な画面表示のできるワークステーションを採用している。ハンディターミナルからは、巡視などのデータ入力が可能である。系統監視盤に加えて、大形ディスプレイを採用し多様な情報表示を可能としている。

そのほか、記録業務用としてプリンタなどの各種入出力装置を備えている。

3 キーテクノロジー

次世代変電所インテリジェントシステムの構成に不可欠なキーテクノロジーの関連を図2に示す。

設備のセンシング技術、変電所構内のデジタル化した光分散ネットワーク、知識処理、運転性を重視したマンマシンインタフェースなどが、主なキーテクノロジーになると考えられる。

以下、各キーテクノロジーの現状と動向について説明する。

3.1 センサ技術<sup>1)</sup>

変電所の主機は、変圧器とガス絶縁開閉装置である。これらに関するセンサ技術は、絶縁特性、開閉特性、通電特性といった機能単位で開発し、高感度・高精度化を図ってきた。ガス絶縁開閉装置に関するセンサの例を図3に示す。

図3(a)の周波数解析による微小放電検出技術では、絶縁特性診断用静電結合電極センサを用いた、スペクトル分析により数ピコクーロンの微小な内部放電の検出が可能である。

新設のガス絶縁開閉装置では、オフライン診断用に標準装備されるようになってきた。

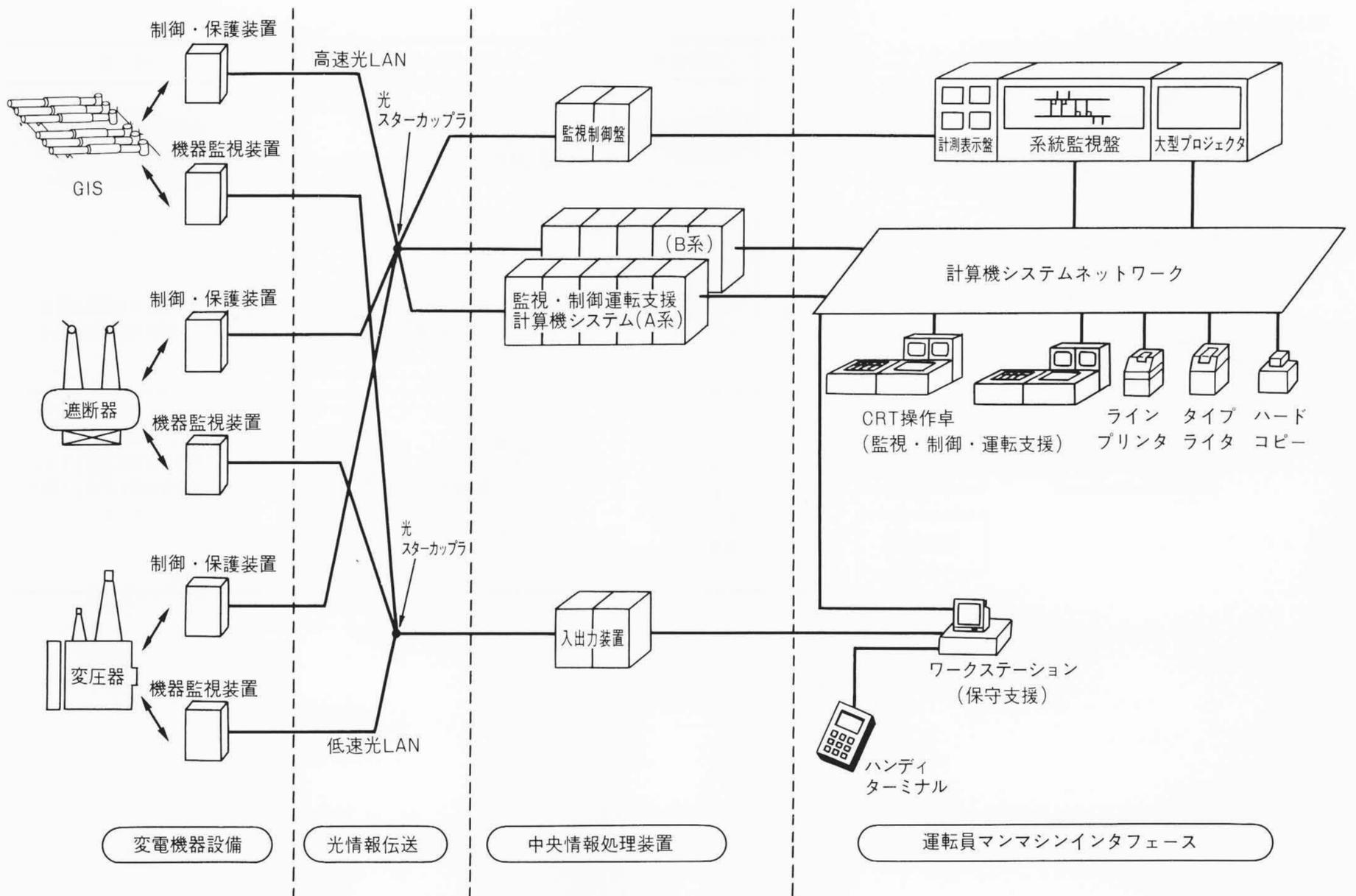
図3(b)の振動解析による通電異常検出技術では、容器壁に取り付けた加速度センサの情報を利用する。通電に伴い発生する電源周波数の整数倍の成分に着目して異常の有無を診断する。この方法により、日射や天候などの環境条件に影響を受けず、高感度に接触部の異常を検出できる。

変圧器に関しては、油中ガス分析手法が有用であり、分析結果から絶縁機能、通電機能の診断が可能である。また、CO<sub>2</sub>+COの濃度と絶縁紙の機能的強度との相関性を利用し、変圧器の残存寿命を推定することが可能となってきた。

これらの判定を容易に行えるようにしたエキスパート診断ツールも開発が進んでおり、データベースの充実を図っている。

3.2 光LAN

運転・保守支援システムでは、機器監視情報と制御・保護システムの情報が組み合わされる。通常、前者は屋外の機器近傍に設置される機器監視現地盤から送られてくる。また、保護制御装置も屋外に分散配置され、変電所構内にLANが構築されるようになってきた。両者の情報には、量および質に



注：略語説明 GIS (ガス絶縁開閉装置), LAN (狭域ネットワーク), CRT (ディスプレイ装置)

図1 次世代変電所運転保守支援システム構成例 変電機器設備, 光情報伝送, 中央情報処理装置, 運転員マンマシンインタフェースの四つの主要なサブシステムから成る大規模なシステムとなっている。

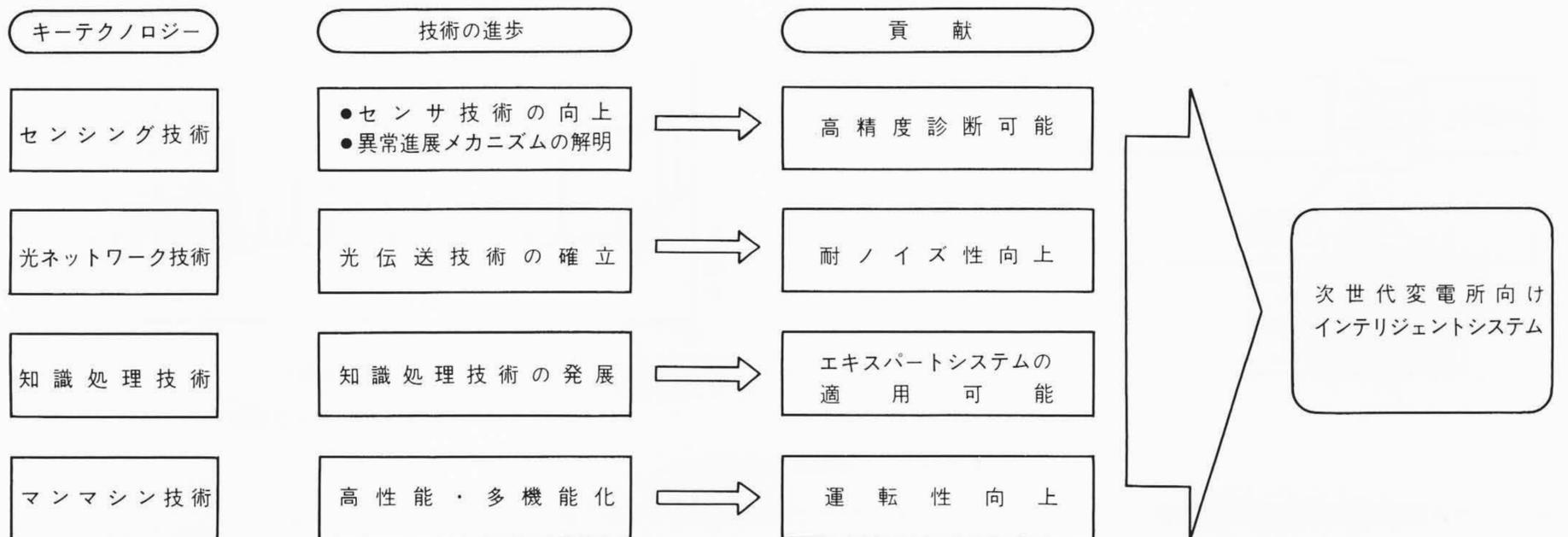
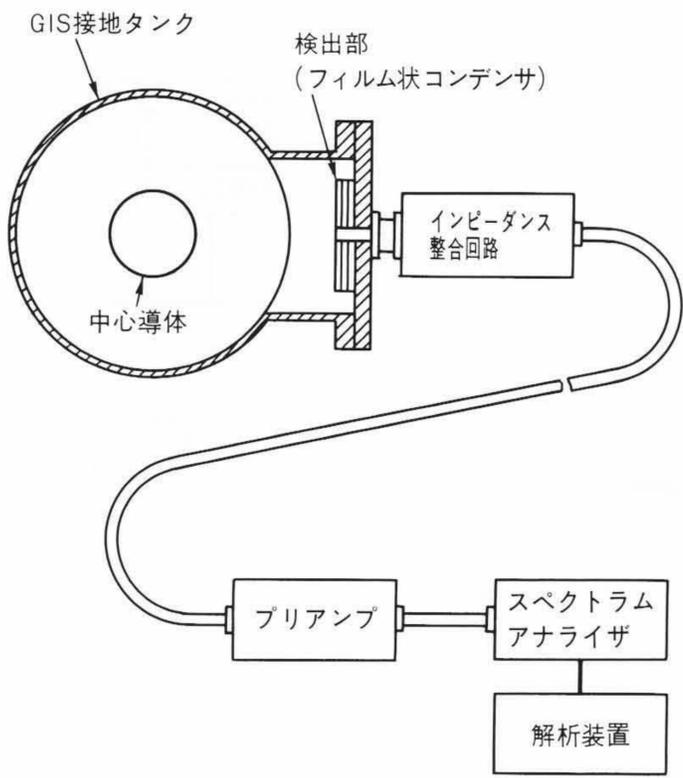


図2 次世代変電所インテリジェントシステムのキーテクノロジー 最新の技術の進歩が、次世代変電所インテリジェントシステムの基盤となっている。

差があるため、一般には伝送系が、制御・保護の高速系と機器監視の低速系の2種類で構築される。この構成イメージは図1に示している。伝送路としては、ノイズ環境の厳しい変

電所構内へ設置するため光伝送路が適しており、光スターカップラを用いた光LANを標準仕様としている。今後上位系となる監視・制御運転支援CPUと保守支援CPUとの間の結合仕

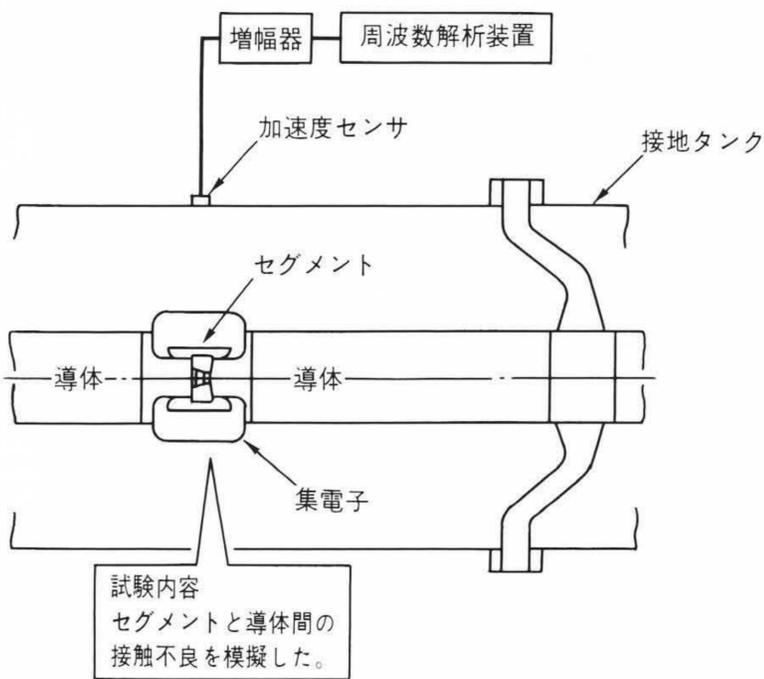


(i) 検出器の構成

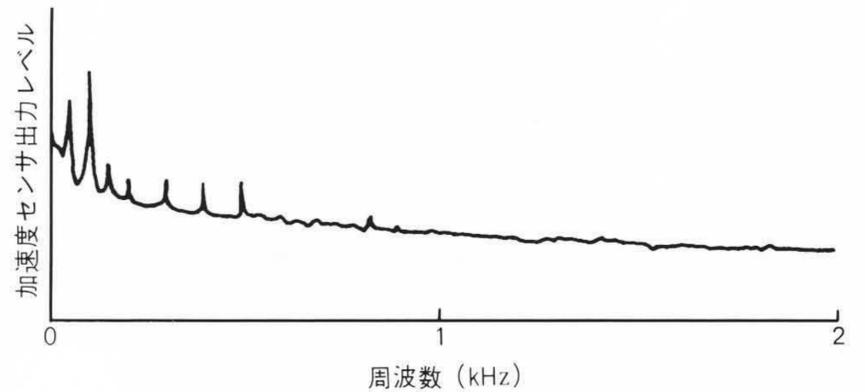
測定条件	周波数スペクトラム	特徴
① 外部部分放電 (印加線) $Q=400 \text{ pC}$		GIS外で発生する部分放電は、レベルが大きいても周波数が50 MHz以上の成分は少ない。
② 内部部分放電 $Q=8 \text{ pC}$		GIS内で発生する部分放電は、750~1,500 MHz帯に現れる。
③ ①+② 外部と内部部分放電が重畳		GIS内外で同時に発生しても、GIS内部分放電を区別して検出することが可能である。

(ii) 検出結果例

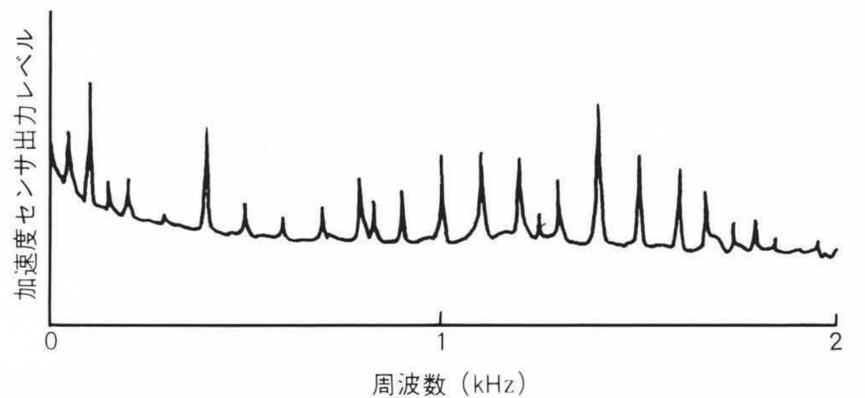
(a) 周波数解析による微小放電検出技術



(b) 振動解析による通電異常検出技術



(i) 正常時のタンク振動



(ii) 通電異常時のタンク振動

図3 ガス絶縁開閉装置の主な診断技術

各種の新しい診断技術が異常を兆候レベルで検出することを可能とした。

様を統一することにより、異メーカー間結合が可能となる。

### 3.3 マンマシンインタフェース<sup>2)</sup>

変電所の運転監視操作や事故障害発生時に、運転性の良いマンマシンを提供することが、運転保守支援システムには最も重要である。

以下、最近の入出力装置の動向について述べる。

#### (1) CRT

インテリジェント化した最近のCRT機能は下記のようなもので、多様な画面表示を可能としている。

(a) 広域監視を容易とする2画面(縦)×2画面(横)以上の

仮想大画面

- (b) 親しみやすい漢字表示
- (c) スタイラスペンなどの使いやすいカーソル移動デバイス
- (d) 単線図を1秒程度で高速に表示
- (e) トレンドグラフによる計測値の時間的推移表示
- (f) 事故区間や巡視場所を指示する機器の構造図などのグラフィック画面表示
- (g) 各種文字表示(反転文字表示, 網かけ表示, メモ機能など)
- (h) マルチウインドウ表示によって1CRTで複数の画面を同時に表示可能

(2) 大形ディスプレイ

従来のモザイク式の系統監視盤に代わるものとして、大形ディスプレイが採用されてきている。現在の代表例としては、液晶投射式ディスプレイ、高精細CRT投射式ディスプレイなどがある。両者の特徴比較を表2に示す。大形ディスプレイの採用によって、従来のモザイク式の系統監視盤では表示できなかった電力設備のさまざまな状況の色やシンボルの表示が可能となった。

これによって、電力系統をマクロ的、ミクロ的に幅広く監視することができる。具体的な特徴は下記のようなものである。

- (a) 表示機能
  - (i) 電源系統や停電設備を色分けにより表示
  - (ii) 事故設備のハッチング表示, 作業中シンボル表示
  - (iii) 事故発生時の日本語による警報表示
- (b) 伝言板機能
  - 運用者間の引継ぎ事項や系統の状況を伝言化して表示

(c) 電力系統全体表示

大形ディスプレイを複数利用し系統全体をワイド表示, 大形ディスプレイの点検・保守時には系統を縮小表示

(d) テスト機能

オンライン監視表示以外に、シミュレーション用としての表示も可能

(3) カラーハードコピー

CRT表示内容の高度化に伴い、スイッチの状態表示や設備の充・停電状態、さらには事故障害ガイドでの故障区間表示などについて、表示色の変化によって系統状態を表現することが常識化しており、このような画面情報の保存には、カラーハードコピーが不可欠となってきている。

現状では、A4サイズの印字に40~80秒程度要しており、この高速化が望まれる。

(4) レーザビームプリンタ

従来のインクリボンをたたいて印字するインパクト方式に代わって、レーザ光線による露光で文字を転写するノンインパクト方式のレーザビームプリンタが使われてきている。

この印字速度性能は1,250行/分程度であり、多量の帳票類を従来方式に対して約10倍程度高速に印字出力することが可能である。

(5) 音声入出力装置

音声出力装置は、異常や事故発生場所およびその内容を直接知らせることができ、表示装置と併用することで、さらに効果の高い監視機能を提供できる。また、一般業務上のお知らせなどにも利用できる。

音声入力装置は、話者を特定しない汎(はん)用のものが近い将来実用化される見込であり、画面切替、帳票印字などの

表2 大形ディスプレイの比較表 大形ディスプレイとして、カラー液晶投射式と高精細CRT投射式とが実用化されており両者を比較した。

		カラー液晶投射式大形ディスプレイ	高精細CRT投射式大形ディスプレイ	
画 面		110形(1:1) (横2,000×縦2,000)	110形(4:3) (横2,240×縦1,680)	70形(4:3) (横1,433×縦1,075)
スクリーン		透過式フラットスクリーン (フレネルレンズ付きタイプ)	透過形ブラックストライプ式	同 左
投射方式		光源, 1投射レンズ 背面投射方式	6管(液冷)方式 背面投射方式	3管(液冷)方式 背面投射方式
特 徴		光導体レーザによる液晶素子への熱書込み キセノンランプの背面投光による高輝度 ベクトル走査による表示	9形, 70度偏向, 液冷方式, 電磁フォーカス, 赤, 緑, 青各2本使用 高解像版レンズF=1.2	
可視範囲	水平	±30度	±45度	±45度
	垂直	±30度	±20度	±15度
解像度	水平	2,021本	1,280TV本	同 左
	垂直	2,021本	1,024TV本	同 左
表示色		7色	4,096色	同 左
消費電力		最大8kW	750W	550W
外形寸法		幅2,250×奥行2,230×高さ2,910(mm)	幅2,780×奥行2,435×高さ2,845(mm)	幅1,547×奥行1,106×高さ1,980(mm)

指示や入力データ指示などに利用できる。

(6) ワークステーション

データメンテナンスなどの入力作業は、オンライン業務とは独立しているため、ワークステーションの利用が進んでいる。また、最近の強力なグラフィック機能を利用することで、変電所構内の事故点などを三次元のグラフィックを用いて立体的に表示し、現場巡視などに活用することが可能である。

(7) ハンディターミナル

変電所内設備の巡視点検結果をハンディターミナルから入力し、保守支援システム側でそのデータを処理することにより、設備の予防保全管理に役立てることが可能である。

3.4 知識処理<sup>3), 4)</sup>

変電所の業務のうち、運転・保守に関する業務は熟練者の経験に負うところがきわめて多い。熟練運転者の高齢化や事故の発生頻度の減少により、技術の伝承が困難化していくという傾向に対し、知識処理の適用が非常に有力である。

(1) 運転支援面への知識処理の適用

事故が生じた場合の事故点、様相、復旧方法などを示し、軽微な不具合の場合には、保守点検要領などから導き出した修理方法を示し、平常時には運転員が事故時の対応方法習得を行う機能の実現。

(2) 保守支援面への知識処理の適用

最新のセンシング技術により、設備の状態をより正確に把握できるようになってきている。その傾向によって機器の障害・事故を事前に予測する機器の予測保全機能を実現でき、その結果、障害・事故が未然防止され電力をより安定に供給することができる。

以下に知識処理適用のエキスパートシステムの具体例として、変電所運転支援システム機能例について説明する。

(1) 基本推論フロー

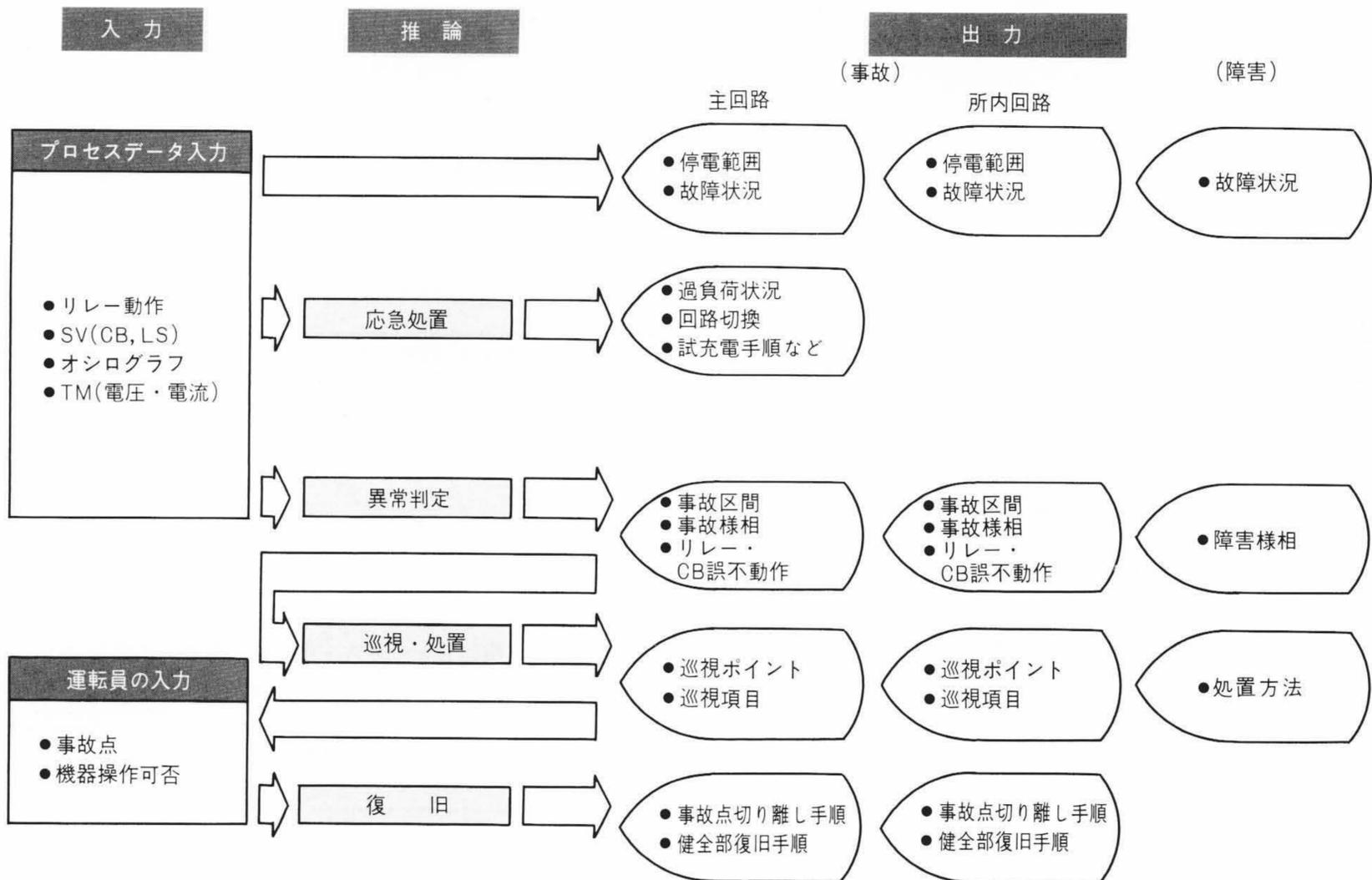
変電所で、送電線や機器などに事故・障害が発生した場合の処置業務には、

- (a) 状況の把握(停電範囲、故障種別など)
- (b) 応急処置(過負荷解消など)
- (c) 故障区間、故障機器判定
- (d) 事故点巡視(被害状況把握)
- (e) 復旧操作(事故区間の切り離し、波及停電設備の復旧)などがある。

また、変電所で発生する故障形態としては、主回路事故、所内事故、障害に大きく分類することができる。

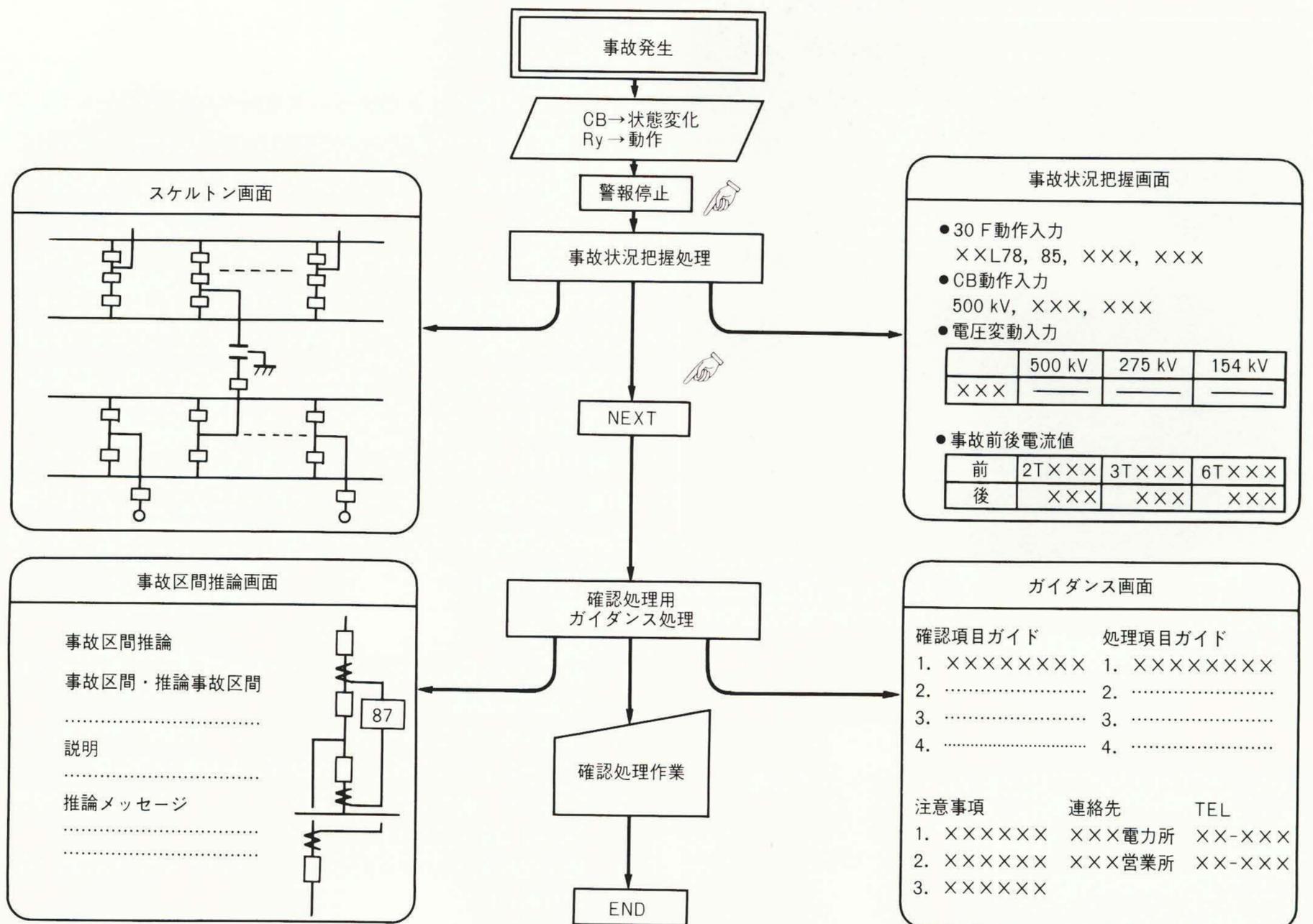
これらを総合した事故・障害ガイダンスシステムの推論処理の流れを図4に示す。

本システムの基本処理フローを図5に示す。遮断器の状態



注：略語説明 SV (スーパービジョン), CB (遮断器), LS (断路器), TM (テレメータ)

図4 事故・障害ガイダンスシステムの推論処理フロー プロセスデータ入力をもとに、矢印の方向に各推論が順番に処理され、対応したCRT画面に推論結果を編集表示する。



注：略語説明 Ry (リレー)

図5 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。

変化、リレー動作をキックにして事故ガイダンス処理が開始される。事故状況把握、スケルトン画面により、リレー動作、停電範囲などの入力情報が編集表示される。その後、入力情報から推論によって求められた事故区間などの推論結果が、運転員に提供される。

(2) 推論結果の画面表示

計算機内では、事故区間などの推論結果は文字情報として扱っており、これを運転員が迅速・的確に判断処理できるようにわかりやすく提供する必要がある。

そこで、より実際の設備構成に近いグラフィック画面を使って、そこに推論結果を表示したり、処置内容をフロー表示するなどして、視覚的に判断できるようマンマシン性をくふうしている。

事故発生時の事故箇所推論画面の例を図6に示す。これは、

- (a) ガス絶縁開閉装置の断面図を使った表現
- (b) ガス絶縁開閉装置の内部の機器を詳細に表現
- (c) 事故点を色がえによって区別し表示

を特徴としたCRT表示例である。

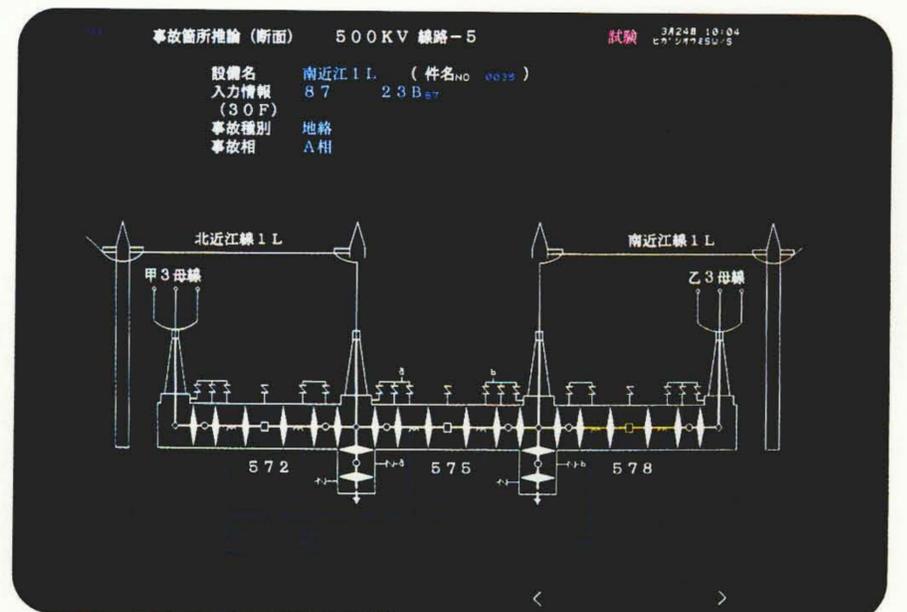


図6 事故箇所推論結果のCRT表示例 関西電力株式会社東近江開閉所納め運転支援システムでの、ガス絶縁開閉装置内部事故発生時の事故箇所推論の結果(黄部が推定された事故箇所)である。

次に、障害発生時での現場巡視ガイド画面の例を図7に示す。これは、

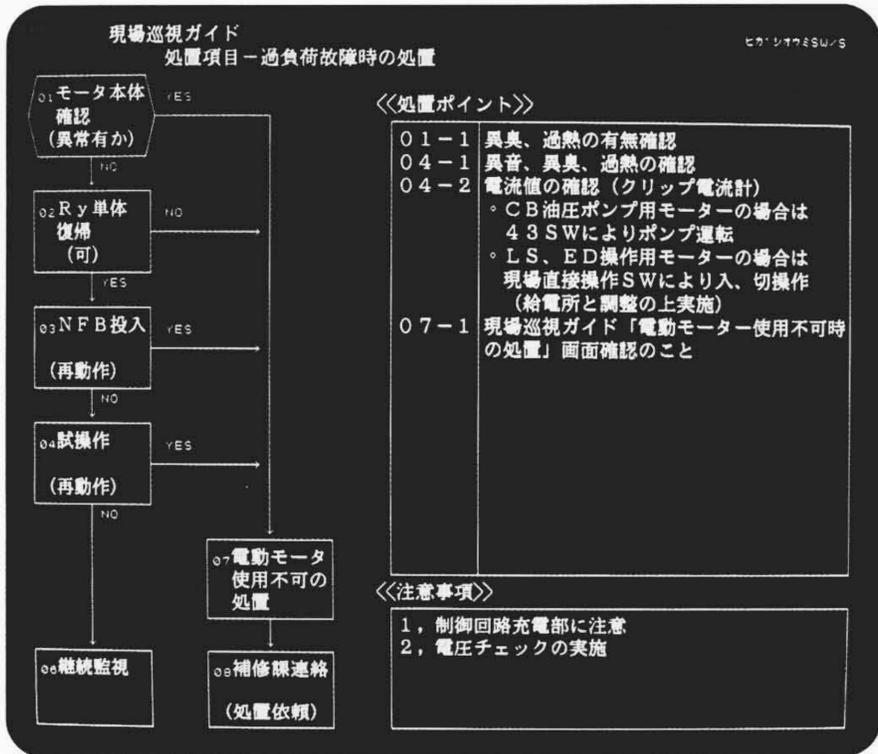


図7 現場巡視ガイドのCRT表示例 関西電力株式会社東近江開閉所納め運転支援システムでの、障害リレー動作発生時の現場巡視ガイドを示す。

- (a) 現場巡視での作業手順をフローチャートで表現
- (b) 巡視時の処置ポイントの表示
- (c) 一般的注意事項の表示

に特徴がある。

## 4 結 言

送配電網の要である基幹系の変電所への計算機システムの導入は、ますます促進される気運にあり、以上述べた新機能、キーテクノロジーの一部は実システムとして運用の段階に入ってきた。

今後のシステムの主機能となる予測保全機能については、これからの稼働実績によって機能の再評価を行い、充実させていく必要がある。また、運転保守に必要な支援情報が簡単に提示できるマンマシン機能の充実も重要であり、運用者の声を反映したシステムにしていく考えである。

終わりに、本稿で述べた次世代変電所運転支援システムの開発、実用化にあたりご指導いただいた東京電力株式会社殿、関西電力株式会社殿および四国電力株式会社殿に対し深く感謝する次第である。

## 参考文献

- 1) 山極, 外: 最近の変電設備における予測保全技術, 電気学会, B110, 5(1990)
- 2) 丸山, 外: 変電分野におけるコンピュータ利用, マンマシンインターフェイスの動向, 電気評論, 臨時増刊(1990)
- 3) 丸山, 外: 電力系統運転支援エキスパートシステム, 日立評論, 71, 8, 767~772(平1-8)
- 4) 森: 関西電力におけるAI技術導入の現状と未来, OHM, 55~65(1991-1)