

広域運用を支える水力総合制御システム

New Hydro-electric Power Station Control System

三輪 嘉彦* *Yoshihiko Miwa* 伊藤 裕司** *Yûji Itô*
佐藤 正明** *Masaaki Satô* 山野辺 登*** *Noboru Yamanobe*



電源開発株式会社中地域制御所制御室

中地域制御所は近畿，東海，北陸地方での電源開発株式会社の水力発電所，変電所，ダムなどを集中監視制御する。系統監視盤によって電気設備の運転状況が把握できるほか，大画面ディスプレイによって水系運用に必要な詳細情報が入手できる。

情報化社会の発展に伴って電気エネルギーはますます重要になってきている。

このたび運用を開始した電源開発株式会社中地域制御所は，近畿，東海，北陸地方での電源開発株式会社の水力発電所，変電所，ダムなどを集中して監視制御する集中制御所であり，同社が所有する4か所の地域制御所の中で最大規模のものである。

発電機の運転，系統の切換などをCRTディスプレイで行う基本の監視制御機能に加えて，電力設備の点検の作業計画の策定，エキスパートシステムを使用した停電時などの復旧操作，他の電力会社との情報交換などの機能を持っており，電力の安定供給の要(かなめ)としての役割を果たしている。

* 電源開発株式会社 中地域制御所 ** 日立製作所 大みか工場 *** 日立製作所 電力事業部

1 はじめに

近年、水力発電はピーク時の負荷対応や、夜間の余剰電力備蓄など電力系統の需給バランスを保つうえで重要な地位を占めている。

そのため水力発電所では、発電力の制御を行うだけでなく、雨量、河川流量、ダム水位など自然や環境も考慮したきめ細かい運用を行う必要がある。しかし、複数の水力発電所が河川流域に設けられていることから、その運用は相互の影響を考慮して総合的に行う必要がある。

このたび運用を開始した電源開発株式会社中地域制御所(以下、中地域制御所と言う。)では、最新の計算機技術や情報伝送技術を用いて広域に分散する水力発電所・変電所・周波数変換所設備を集中監視制御し、電力設備の総合効率向上、運転業務の軽減を図ることを目的としている。

中地域制御所は、天竜川水系、庄川水系、九頭竜川水系、手取川水系、新宮川水系、紀ノ川水系の各発電所と名古屋変電所および佐久間周波数変換所を集中監視制御するものである。その監視制御対象を表1に示す。

中地域制御所は電源開発株式会社の4か所の地域制御所の中で最大規模であり、50/60 Hzの両系統を連系する佐久間周波数変換所、および新豊根発電所などの大規模揚水発電所を監視制御する重要な集中制御所である。したがって、監視制御システムとして高信頼性の確保、および誤操作の防止、そして事故時の早期復旧のための支援などに特に注力することが求められる。

高度な信頼性確保には、具体的に以下の方針を立てて対応した。

- (1) 広範囲な監視制御対象を2グループ化して、オペレータの負担を軽減
- (2) 計算機、伝送装置、電源装置のシステム二重化

表1 中地域制御所の監視制御対象
電源開発株式会社の4か所の地域制御所の中で、中地域制御所はその規模が最大である。

項 目	内 容
発 電 所	24か所
発 電 機	43台
発 電 総 容 量	3,251.6 MW
送 電 線	70回線
変 電 所	認可出力1,400 MVA
周 波 数 変 換 所	認可出力300 MVA
ダ ム 制 御 所	6 か所
ダ ム	21か所

- (3) エキスパートシステムによる事故復旧支援
- (4) 伝票自動読み込み、自動ファクシミリによるオペレータの作業軽減

ここでは、これらについて具体的に述べる。

2 システム概要

中地域制御所のシステム構成を図1に示す。

中地域制御所は、前処理計算機(HIDIC V90/45)2台と制御用計算機(HIDIC V90/75)2台を中核とし、情報伝送装置、記憶装置、LAN、電源装置などを含めた二重化システムを構成して高信頼性を実現している。また、処理性・保守性の向上策として事故復旧支援用エキスパートシステム、OCR、ファクシミリ装置をワークステーションに配置し分散型のシステム構成とした。

2.1 ハードウェア構成

ハードウェアの構成は、次のような特徴を持つ。

- (1) 制御用計算機2台によるデュプレックス構成をとっている。常用系計算機により、常時オンライン業務をすべて処理し、待機系計算機は、オンライン情報を取り込みながら常用系計算機の障害発生時に備える。2台の計算機には障害発生時にも処理中の作業が引き継げるように共有メモリ(GM)を持つ。
- (2) 前処理計算機2台で制御用計算機と同様にデュプレックス構成をとっている。前処理計算機は常に変化する設備の状態や系統電圧・ダム水位などの数値を処理し、高速に変化を検出する機能を担い、制御用計算機の負荷分散、子局回線状態などの監視を行っている。通常、2台の制御用計算機と前処理計算機は直列に接続しているが、例えば、1系の制御用計算機と2系の前処理計算機の故障のような場合にも、オペレータの操作によってクロス接続して対応できるようにしている。
- (3) 系統状態を示す総合監視盤では、表示の高速化を図るため、前処理計算機から表示情報を直接出力するような構成としている。
- (4) 制御監視室の配置では大規模な系統を監視するため、人間工学的検討をしたうえで、各制御卓の形状、色、配置を決めた。同様に制御室内の各機器(総合監視盤、制御卓ほか)の配置、床や壁を含めた室内の総合配色についてもデザイン的な考慮を加えた。
- (5) 操作卓は、常時運転に使用する運転長卓、次席卓ー1、三席卓ー1、次席卓ー2、三席卓ー2の5台とメンテナンス卓1台で構成する。メンテナンス卓は、制御用計算機二重故障の場合に前処理計算機と接続し、直接監

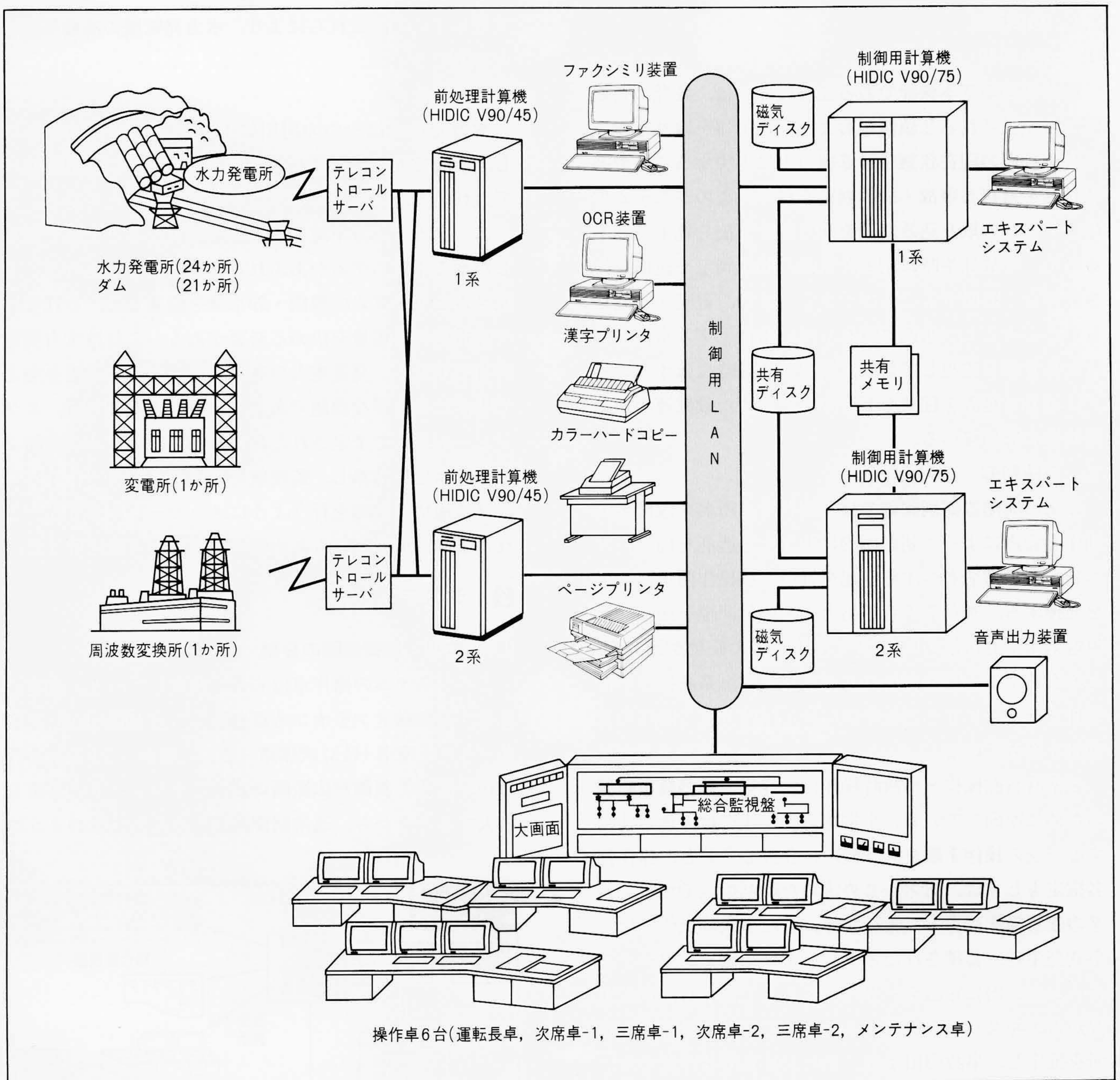


図1 中地域制御所システム構成

制御用計算機“HIDIC V90/75”，前処理計算機“HIDIC V90/45”各2台によるデュプレックス構成としている。また、ファクシミリ装置、OCR、エキスパートシステムを設置している。

視制御を行うバックアップ機能を持つ。

(6) 事故復旧支援用エキスパートシステムは専用のワークステーション(3050G/DT)で実行される。制御用計算機の処理量が増大する事故発生時にも、復旧手順などの推論計算を高速に処理するために、計算機を分けて専用ワークステーション化した。

(7) 大画面高精細ディスプレイ装置では、水系運用に欠かせない降水情報、発電情報、河川情報、ダム情報など

を表示する。

(8) OCRでは、作業伝票の入力軽減のため、文字認識による伝票自動読み込みを行い、制御用計算機に設備作業情報を登録、画面表示する。

(9) ファクシミリ装置では、関係電力所へ運用情報、事故・故障速報などを手動または自動的にファクシミリ配信し、従来のオペレータによるファクシミリ送信作業を軽減し、運用情報の伝達漏れを防止する。

2.2 機能概要

(1) 系統監視

集中制御の基本機能である監視機能では、各発・変電所から伝送される2値情報および数値情報を取り込み、系統、設備の現在状態を計算機の中に再現することで系統状態を監視し事故・故障判定を行う。このシステムでは、データの取り込み処理を前処理計算機で集中処理するため、事故発生時は制御計算機の事故判定や復旧操作を遅滞なく処理することができる。また、電圧・電流はもちろんのこと、水系に特有な河川水位・ダム水位などの数値情報も監視しており、管理値逸脱時にはオペレータに適切な処置を促すなど、水系を含めた設備運用の高効率化に努めている。

(2) 系統制御

従来の開閉器個別制御では、操作時に所名・設備名・動作を音声によって制御所内に出力する機能を備え、オペレータや指令者へ注意喚起を行い、誤操作防止に効果を発揮する。またこの音声出力は、通信回線を通じて対象電気所にも送信され、双方で操作内容の確認が行える。この音声による操作内容のアナウンスは、系統操作の合理性をチェックする誤操作防止機能と相まって操作の信頼性を高めている。

平常時自動操作と事故時操作はオペレータの負担軽減のために準備している。平常時自動操作では、通常使用する一連の操作手順を計算機内に登録しておき、操作件名指定もしくは、あらかじめ決めた時刻指定でオペレータの確認操作によって実行する。また事故時操作では、事故発生時、蓄積されたオペレータの知識を、ワークステーション内に知識データベースとして保存し、事故状況からエキスパートシステムによって事故原因や事故個所を推定し、事故復旧手順、初期対応操作を作成する。オペレータは事故原因と復旧内容を確認し、迅速な復旧に対処できる。

これにより、平常時はオペレータの負担軽減と標準操作手順による誤操作防止が期待できる。また、昨今の系統信頼性向上策により、オペレータが事故を経験する機会が少なくなっている状況で、エキスパートシステムによる知識の継承は、これからの系統事故復旧の要となっていくものと思われる。

(3) 自動給電、スケジュール運転

水力発電機は、ダム水位が平水時では自動給電制御により、中央給電指令所からオンライン制御される。また、発電機の並・解列の自動制御をスケジュール運転制御で

実現している。これらにより、水力発電機の高効率運転が実現できる。

(4) 運用計画

水力発電所は一つの河川に上流から下流に複数存在し、上流で発電に使用した水は下流のダムに時間を追って流れ込み、下流ダムの水位が増加することになる。さらに、上流ダムと下流ダムの規模が異なると上流で使用した水で下流のダムがあふれることもありうるので、上流ダムと下流ダムの規模・貯水量を勘案して、それぞれの発電機の発電量を定める必要がある。これは水力発電特有の現象で、発電電力の有効利用、ダムの運用を考えた場合には重要な課題である。運用計画処理では、スケジュール運転で予定された発電量から、各ダムの時間ごとの貯水量を計算し、監視値を超過する場合は、オペレータに適切な処理を行うようにメッセージを発する。これにより、従来よりもきめ細かい運用が可能になった。

3 システムの特長

3.1 監視・制御範囲の分割

このシステムの操作卓は6台で構成している。通常の監視・制御はメンテナンス卓を除く5台(運転長卓、次席卓-1、三席卓-1、次席卓-2、三席卓-2)で行われるが、監視・制御が広範囲に及んでオペレータの負担も増大することから、通常制御卓別、水系別に次のように

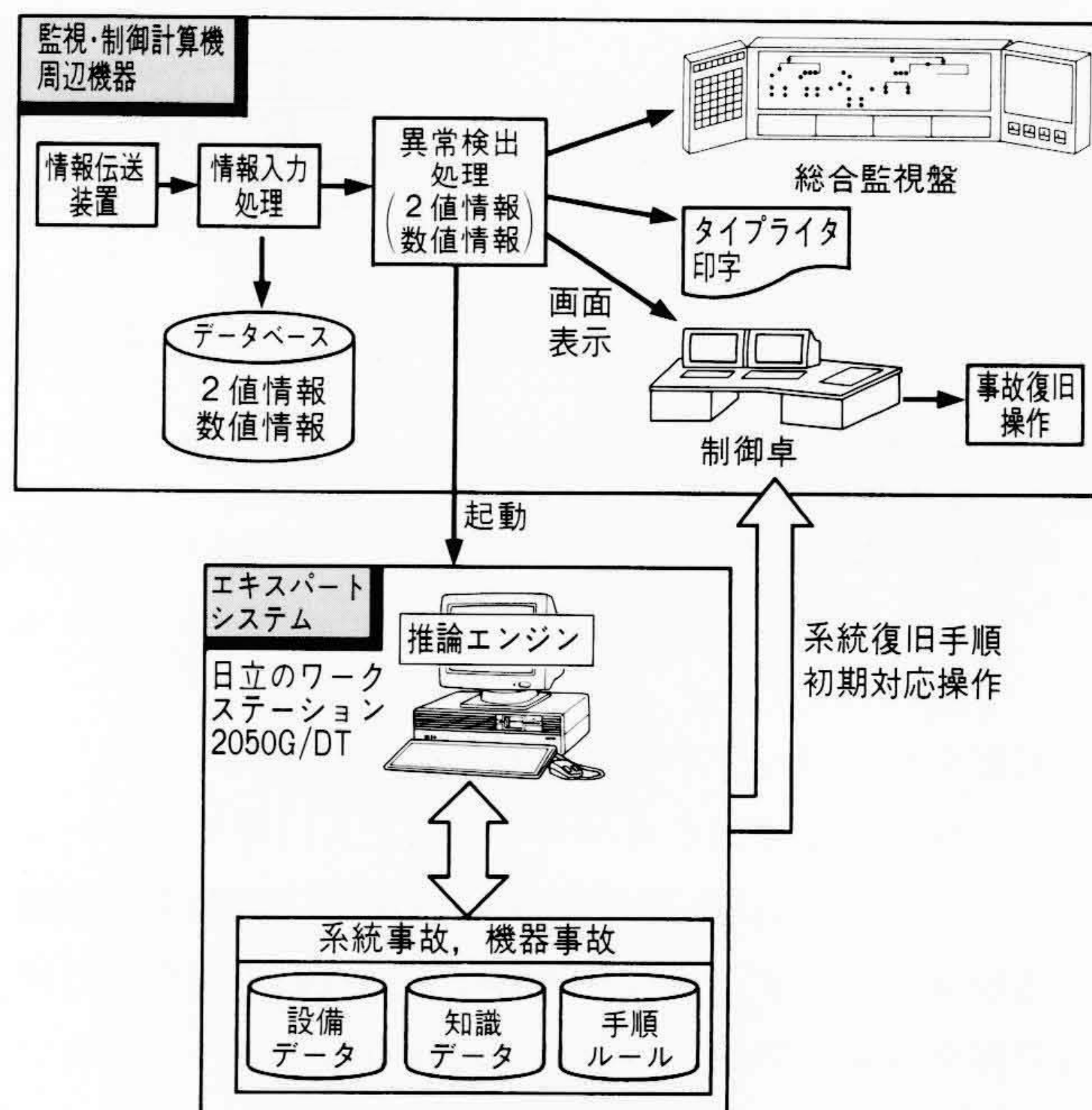


図2 エキスパートシステムの位置づけ
ワークステーション“2050G/DT”で構築しており、制御用計算機の機能と負荷を分担する分散構成としている。

監視・制御範囲を分割している。

- (1) 次席卓－1，三席卓－1はAグループ(庄川，九頭竜川，手取川，新宮川，紀ノ川水系)の監視・制御を行う。
- (2) 次席卓－2，三席卓－2はBグループ(天竜川水系および名古屋変電所，佐久間周波数変換所)の監視・制御を行う。
- (3) 運転長卓は他4卓の操作を統括して監視，モニタを行う。

なお，事故多発時や同一系統の操作が全卓で重複した場合，他グループの系統の監視・制御もできるようにバックアップ機能を備えている。

3.2 事故時系統操作における業務支援

集中制御の規模拡大に際し，自動化の拡大と質的向上を図り，電力系統設備事故時の迅速な状況把握と復旧の支援を行うために次のようなエキスパートシステムを組み込んでいる。エキスパートシステムのハードウェアではワークステーション“2050G/DT”を使用しており，制御用計算機，前処理計算機と機能および処理を分担する分散構成としている。

このシステムのエキスパートシステムの位置づけを図2に示す。

(1) 機器事故時の業務支援

発・変電所構内の主要機器，水，油，空気系統，所内機器などの事故時で，該当事故状況および事故発生時の系統状態，気象，季節などから，以下のものを推論し，ガイダンス表示することにより，オペレータへの初期対応業務支援を行う。

- (a) 推定事故個所，(b) 推定動作Ry，(c) 連絡先，(d) 緊急操作事項，(e) 事故部位判定時間

機器事故エキスパートシステムを構築するための知識データ(上記の推定事故個所などのデータ，条件判定データ)では，頻繁に行われる保護継電器装置などの設備更新に対応するために，追加・変更などのメンテナンスが可能となっている。

機器事故推論時に使用する情報を表2に，緊急操作のガイダンス例を表3にそれぞれ示す。

(2) 系統事故時の業務支援

送電線遮断器トリップ事故発生時，該当系統内の全開閉器状態，Ry動作状態から発電機復旧を含めた系統の復旧操作を推論し，復旧操作手順を作成する。この推論は以下の基本復旧方針に基づいて構築された知識を使用して行われる。

- (a) 事故前系統に復旧することを大原則とする。
- (b) 系統の切り離し，復旧は大電源から行うものとする。
- (c) 回線，号機の復旧順序は若い番号からとする。
- (d) 投入装置の有無による送電線の使用順序は，(i) 系統並列装置・ループ投入装置の無いCB，(ii) 系統並列装置・ループ投入装置のあるCBとする。
- (e) 復旧にあたっては再送電，並列，受電，併用などの判定も行う。

また，上記の基本知識のほかに系統特有，あるいは電気所特有の運用知識もあり，これは特殊知識として定義され，系統事故エキスパートシステムはこれら基本知識，特殊知識で構築している。系統事故エキスパートシステ

表2 機器事故推論時に使用する情報
機器事故エキスパートシステムで推論時に使用する情報を示す。オンライン情報，オペレータ設定情報などの計算機内情報がある。

種 別	使 用 す る 情 報	使 用 目 的
オンライン情報	集約故障情報	関連する30Fとの組合せによって故障個所を推定
	機器運転状況，系統状態情報	運転モード，シーケンス状況による動作リレーの推定，系統波及などの判断
	有効・無効電力	調速装置，励磁装置などの判定
	電圧(線路，母線，発電機)	励磁装置，励磁回路，系統波及などの判定
	系統周波数	系統波及などの判定
	水系情報(ダム水位)	調速装置，水位計などの判定
	保護継電器使用情報	保護継電器装置の判定
計算機内情報	設備作業状況	充電部接近による事故，誤操作などの判定
	気象状況	温度の急変による故障の判定，降雨による地絡
	カレンダー	季節(梅雨，昼，夜など)に伴う湿度による地絡判定
知 識 デ ー タ	集約故障情報と動作リレーの関係	集約故障情報の個別判定
	発電変電所別設備状況	動作リレー，故障範囲，状態を推定
	発電変電所の特殊性(設備面，運用面)	
	保護リレーの保護範囲	

注：略語説明 F(フリッカ付き故障表示)

表3 緊急操作ガイダンス
推論によって得られる緊急操作の一例を示す。

緊急操作項目	緊急操作表示例
故障点の切り離し	・〇〇へ連絡のうえ、〇〇号機停止せよ。 ・中給へ連絡のうえ、〇〇号機オフラインにせよ。
保安(予防)停止	・中給連絡のうえ、甲母線から乙母線に切替えよ。 ・所内を〇〇号機の系統から受電せよ。
代替機の運転	・〇〇号機代替運転せよ。 ・〇〇発電所の〇〇号機の出力を〇〇MWとせよ。
再起動操作	・中給連絡のうえ、〇〇号機再起動せよ。
操作禁止措置	・〇〇〇線CB操作禁止 ・〇〇発電所制御操作禁止

注：略語説明 中給(中央給電指令所)、CB(Circuit Breaker)

ムの知識例を表4に示す。

復旧手順では、通常の系統操作手順と同様に、手順実行操作によって実際に系統制御を実行し、自動復旧を行うことが可能である。手順実行にあたっては随時、実際の系統状態と照らし合わせて、矛盾している操作の場合にはガイダンス表示を行って操作を中断するなどのインターロックをかけ、制御信号の誤出力を防止している。

3.3 ヒューマンインタフェース

このシステムのヒューマンインタフェースの特長としては次のようなものがある。

- (1) 58インチの大画面ディスプレイに各水系状況、給電出力状況などを表示することにより、全運転員が同時に系統状況を把握することが可能となっている。
- (2) OCRで設備停止伝票の情報を計算機に取り込み、画面表示や作業開始前のアラーム出力を行うことにより、設備作業管理ができるようにした。なお、設備停止伝票の情報は中央給電指令所からオンラインで取り込むことも可能となっており、設備停止伝票処理の負担を軽減している。
- (3) 系統操作時には、音声出力によって操作内容を制御室内にアナウンスするとともに、ページングで発・変電所構内へ放送し、運転員の操作内容の再確認や現地作業員への注意喚起が行えるようにした。
- (4) ファクシミリ伝送装置を装備し、事前にあて先を登録してファクシミリ起動をかけることにより、事故速報などを複数個所へ自動送信する。また、毎朝9時15分に

表4 知識例
系統事故エキスパートシステムに構築した知識の一例を示す。下表は基本知識であり、このほかに系統・電気所特有の特殊知識がある。

知識種別	項目	詳細知識例
事故連絡に関する知識	連絡の必要性に関する知識	・構内事故発生時には給電連絡が必要 ・復旧操作機器(CB)が故障の場合給電連絡が必要
	事故復旧後の連絡に関する知識	・復旧操作終了後は中給に連絡が必要
事故時前提操作に関する知識	単独運転の発電機に関する知識	・発電機並列CBが「切」の場合、待機ポジションのある発電機は待機操作を、他の発電機は停止操作を行う。
	前提操作対象機器に関する知識	・両端または片端LSが「切」となっている遮断器は除く。 ・操作禁止指定がされている遮断器は除く。
操作優先順位に関する知識	作業中機器に関する知識	・事故前に停止中の送電線は復旧しない。 ・点検中の機器は復旧しない。
	再閉路装置に関する知識	・低速度再閉路装置使用中の復旧手順はCB自動投入の確認手順とする。 ・低速度再閉路装置不使用中の場合は通常のCB投入操作とする。

注：略語説明 LS(断路器)

管内運用状況、ダム運用状況を事前登録個所へ自動送信する。

4 おわりに

ここで述べた電源開発株式会社中地域制御所は、1994年4月に運用を開始して以来順調に運転を続けており、近畿、東海、北陸地方の水系に設けられた水力発電所群の総合的な効率運用に役立っている。

このシステムで採用した新しいエキスパートシステムによる業務支援に、実運用の中で運用者の経験と知識をさらに反映させ、より使いやすいものに発展させていく考えである。

参考文献

1) 藁科, 外: 基幹系統事故復旧エキスパートシステム, 電気学会論文誌B, 48~55(88~11), 108巻, 11号(1988)