

系統運用高度化を実現するインテリジェント 中央給電指令所システム

New Energy Management System of Central Load Dispatching Center

吉川元庸* Motonobu Yoshikawa 野本正明** Masaaki Nomoto
中田祐司** Yûji Nakata 工藤博之*** Hiroyuki Kudô



将来の系統状態を監視する画面

関西電力株式会社の中央給電指令所システムはサーバ・EWS(Engineering Workstation)をベースにした分散型のEMS(Energy Management System)である。特に、ヒューマンインタフェースには、運用者にわかりやすいグラフィカルな画面を採用し、現在および将来の系統状態の判断が容易にできる。

電力系統監視制御計算機システムは、従来の集中型から新しい分散型システムに移行している。分散型システムは拡張性、柔軟性が優れているが、信頼性や性能を確保する技術が必要である。そのため、国際標準のオペレーティングシステム、ネットワーク、ソフトウェアをベースとした分散型システムのソフトウェアアーキテクチャを開発した。

このたび開発した関西電力株式会社の中央給電指令所システムでは、このソフトウェアアーキテクチャ上に潮流制御支援などの高機能応用ソフトウェアを適用することにより、システムはコストパフォーマンスに優れているだけでなく、高度運用を支援するインテリジェントシステムとなっている。

* 関西電力株式会社 電力システム室 ** 日立製作所 大みか工場 *** 日立製作所 日立研究所

1 はじめに

従来、給電所・制御所システムは、独自のオペレーティングシステムを持つ制御用計算機による集中型のアーキテクチャで構成していた。しかし集中型システムは、機能の高度化や新たな機能追加に際し、中核の計算機の大規模化やシステムの早期リプレイスが必要となり、経済的な負担が大きい。

一方、技術の発展はサーバとEWSを用いた分散型のシステムの構築を可能とし、中央給電指令所システムから下位の制御所まで柔軟性のある分散型に移行しつつある。

この新しい給電所・制御所システムに求められる要件は以下のとおりである。

(1) 拡張性、柔軟性

将来の給電運用変化に柔軟に対応できる拡張性に優れたライフサイクルの長いシステムであり、段階的なシステム構築が可能なこと

(2) 標準環境

オペレーティングシステム、ネットワークなど固有のメーカーへの依存性を低減し、国際標準、業界標準をベースとすること

(3) 信頼性

給電制御所の責務である、(a)電力供給バランスの確保、(b)周波数、電圧、安定度の維持、(c)停電の最少化、故障時の早期復旧を実現するシステム信頼性の確保

(4) 高機能、高性能

運用計画や運用評価などの給電運用支援機能が充実していること

(5) 高度なヒューマンインタフェース

運用者にとって使いやすく操作性に優れていること

今回、これらの要件を実現した新しい中央給電指令所システムを開発した。ここでは、その内容について述べる。

2 関西電力株式会社の中央給電指令所プロジェクト

関西電力株式会社は、関西地区2府4県の顧客に電気を供給するため、発電、送電、配電業務を行っている。最大電力は1995年時点で31,520 MWである。

関西電力株式会社の給電業務は、需給制御と500 kVから275 kVの系統監視を実施する中央給電指令所(以下、中給と略す。)と、基幹系統給電所および8か所の支店給電所から成る階層構成で行われている。

関西電力株式会社の中給システムは、系統監視機能、

経済負荷配分制御機能、周波数制御機能を持ち、汎(はん)用計算機と制御用計算機から成る集中型システムとして1980年代に構築され運転されてきた。1990年代初めに中給機能の高度化のため、サーバ・EWSから成る分散システムをベースとしたEMSへのシステム更新の活動を開始した。

新EMSへの移行は、以下のステップに分けて行われる。

(1) ステップ1：1995年

系統監視、数値監視機能を中心とする分散EMS基盤の構築と需要想定支援および作業停電調整支援

(2) ステップ2：1997年

新需給制御、電圧・安定度監視機能、発電機運用計画機能の拡張およびオンライン入力情報の拡大

3 システム構成

システムは、サーバとEWSをFDDI(Fiber Distributed Data Interface)・イーサネット※1)で接続したクライアント・サーバ構成とし、入力サーバ、監視サーバ、ファイルサーバ、ヒューマンインタフェースEWSで構成する。

(1) 分散・オープンシステム

従来の集中型システムの課題には、(a)システム構築の初期設計時に決定された機能や性能が固定されて拡張性に乏しい、(b)将来の機能拡張を考慮すると当初よりも大型の計算機の導入が必要となり初期投資が大きい、(c)メーカー独自の専用オペレーティングシステムやインタフェースのため、容易に他メーカーの製品と結合できないなどがあげられる。

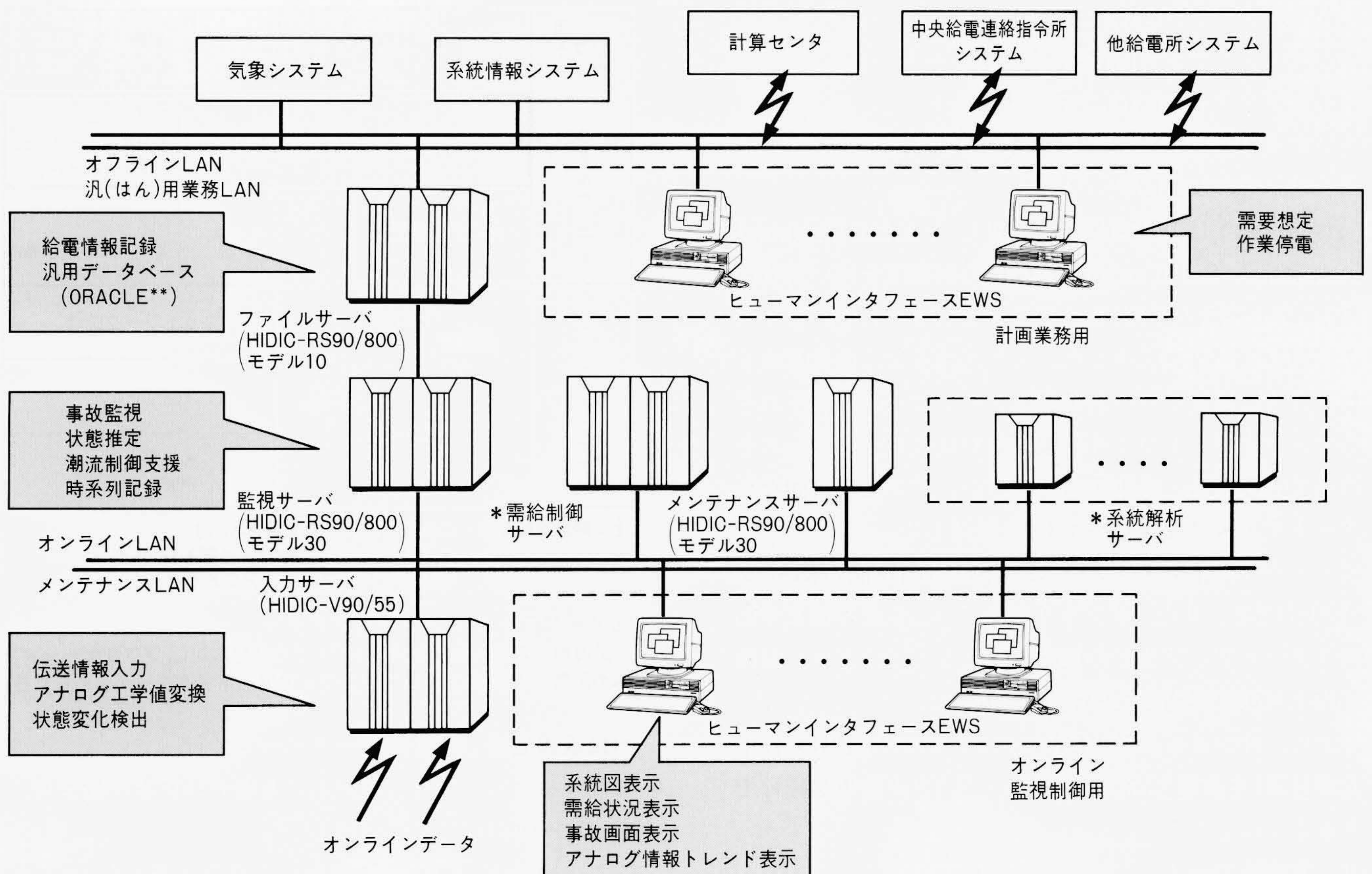
上記の課題を解決するためには、表1に示すような水平垂直の拡張性を持ったシステムでなければならないと考える。新EMSの基本設計フィロソフィーは、水平垂直の拡張性があるシステムを実現する分散・オープンシス

※1) イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の商品名称である。

表1 水平垂直拡張性

システムには、水平方向の拡張性と垂直方向の拡張性が要求される。

水平方向の拡張性	応用ソフトウェアの変更なしに、サーバやEWSの増設、分割ができる。
垂直方向の拡張性	応用ソフトウェアの変更なしに、サーバやEWSを上位、最新機種にグレードアップできる。



注：* (将来設置予定)，** ORACLEは、米国Oracle Corporationの登録商標である。

図1 システム構成

システム構成と機能分担を示す。この構成により、垂直構成の拡張性(各サーバごとのアップグレード)と水平方向の拡張性(サーバやEWSの台数の追加)を実現する。

テムの構築である。このためには、国際標準や業界標準のサーバ、EWS、オペレーティングシステム、ネットワークの採用とそれらをベースとしたソフトウェア構築が不可欠である。

具体的に採用した標準を以下に示す。

- (a) オペレーティングシステム：UNIX^{※2)}
 - (b) ネットワーク(LAN)：FDDI・イーサネット
 - (c) ネットワークプロトコル：TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)，UDP (User Datagram Protocol)/IP
 - (d) グラフィカルインタフェース：Motif^{※3)}，X11^{※4)}
- システムはサーバとEWSをLANで結合した構成とし

ており、応用ソフトウェアは各サーバに分散配置されている。これら分散配置された複数の応用ソフトウェアは、LANを経由して相互に連系されている(図1参照)。

(2) ネットワーク

サーバ・EWSを結合するLANには二重化されたイーサネットを用い、オンラインサーバ間は将来のサーバ間通信データの増加を予測して、FDDIを採用した。

TCP/IPとUDP/IPがサーバ・EWS間のデータ通信に採用されている。特にオンラインアナログ情報とデジタル情報はUDP/IPですべてのEWSに配信されているため、EWSの台数や表示画面数などがサーバやLANの負荷に影響を与えない。

このオンライン情報のUDP送信には、通番管理によるメッセージ消失時の自動リカバリー機能が組み込まれている。

送受信されるデータの種別に従って以下に示す独立のLANを準備したネットワーク構成とし、異業務によるLANへの影響を最少化している。

※2) UNIXは、X/Open Company Limitedがライセンスしている米国ならびに他の国における登録商標である。
 ※3) Motifは、Open Software Foundation, Inc.の商標である。
 ※4) X11は、米国the Massachusetts Institute of Technologyが開発したソフトウェアである。

- (a) オンラインLAN：FDDI
- (b) メンテナンスLAN：イーサネット
- (c) オフラインLAN：イーサネット
- (d) 汎用業務LAN：イーサネット

(3) サーバおよびEWS

サーバには、UNIX を搭載した RISC (Reduced Instruction Set Computer) 採用の制御用サーバである RS90 シリーズ 計算機 (主メモリ：256 M バイト，ディスク 1.4 G バイト) を採用した。入力サーバは二重化構成とし，さらに監視サーバおよびファイルサーバは，それぞれオンライン・オフライン機能の中核のデータベースを持っているため，二重系のサーバからアクセス可能なミラードディスク (2.4 G バイト) を採用した。

ヒューマンインタフェース EWS には高性能の RISC タイプ EWS を，また，オンライン系には，電源の強化や自動スタートアップなどの機能を備えることにより，信頼性向上対策を実施した EWS を採用した。

また，オンライン系の EWS には卓単位に UPS (無停電電源装置) を設置し，電源の切替時にも系統監視が続行できるようにした。

(4) 信頼性の向上

複数台設置される EWS を除き，サーバおよび LAN は二重化構成とし，故障時には瞬時のバックアップによってオンラインデータの欠損を生じさせない二重化構成とした。

また，二重化サーバのバックアップはそれぞれ入力サーバ，監視サーバ，ファイルサーバ単位で行い，1 サーバの故障が他のサーバの系切替を発生させない構成とした。

LAN 障害時，システムは二重化された LAN を健全な通信ルートに自動的に切替える制御機能も備えている。

(5) ソフトウェアアーキテクチャ

アプリケーションは，図 2 に示すような階層構造で構築している。すべてのサーバ・EWS でこの階層構造は同じであり，アプリケーションはデータベースアクセス機構を通してサーバ間のデータを共有でき，データのネットワーク経由での参照やサーバ間データの一致化など，分散データベース固有の手続きから解放されている。

アプリケーションはクライアントサーバの環境で動作し，他のサーバとは独立にサーバの能力を最大限に使い，高速に高機能を実現する。

リアルタイム性を保障するため，電力系統モデルデータベースおよび現在状態データベースの複製を，各サーバ

応用ソフトウェア	系統監視	潮流制御支援		状態推定	事故監視
ミドルウェア	データベースアクセス機構			電力向けヒューマンインタフェース共通プラットフォーム	
	データ資源管理	データベース		GUI X Window System*	
基本ソフトウェア	分散支援		ネットワーク管理		
	UNIX		TCP/IP など		
			イーサネット FDDI		

注：略語説明など GUI (Graphical User Interface)
* X Window System は，米国 X Consortium, Inc. が開発したソフトウェアである。

図 2 ソフトウェアアーキテクチャ
計算機システムの基本ソフトウェアの変化に対し，アプリケーションへの影響度を最少化するソフトウェアアーキテクチャが求められる。

に重複配置した分散データベースで行っている。この分散データベースは，自動的に複製データを一致させ，重複データの同一性を保障する。

この分散データベース機構が，クライアントサーバシステムの最大の問題点の一つである，クライアントからのデータベースサーバへのアクセス集中を回避し，また，応用ソフトウェアやグラフィカル ユーザー インタフェースの応答性を飛躍的に向上させた。

4 応用ソフトウェア

新中給システムの応用ソフトウェアの一覧を表 2 に，機能の一覧を表 3 にそれぞれ示す。

今回開発した応用ソフトウェアの特徴について以下に述べる。

(1) 需要想定支援

7 手法 (トンプソン検定を用いた重回帰分析法，自動的に統計データに重み付けを行う条件検索法，総需要一括計算，支店ごとの気象情報から支店ごとの予測を行う支店積み上げ法など) で需要を予測し，それぞれの予測結果をユーザーに提示するようにした。また，予測日が過去の予測誤差の大きかった日の特徴と一致する場合は，運用者にガイダンスを提示するとともに，予測日の需要パターンを類似度で自動検索し，類似度を予測精度情報として提供するなど，需要予測の精度を向上させた。

(2) 作業停電調整支援

月間から 3 年先までの作業データを，各所からオンラ

表2 応用ソフトウェアの概要

新EMSに搭載される応用ソフトウェアの一覧を示す。これらの増強が段階的に行われる。

機 能	内 容
系統監視	平常時監視機能(状態変化監視, 充停電判定, 数値監視) 事故監視機能(系統事故判定, 安定化装置動作監視)
状態推定	オンライン情報を基に, 系統状態に整合性のある誤差が最少となる数値データを推定する(FDLS法)。
需要想定支援	翌日から1週間先までの24時点の総需要を, 過去の実績と気象予測データから想定する。
作業停電調整支援	月間から3年先までの作業に対し, 作画機能によって系統構成の作成, 系統信頼度の評価, 作業線票の作成を支援する。
潮流制御支援	10時間先までの需給状態および系統構成を予測し潮流を求め, 15分単位に平常時および想定事故時の系統信頼度の評価を行う。
メンテナンス	ワークステーションでの単線図の作画により, すべての電力設備データを作成する。*
電圧・安定度監視	電圧安定度および過渡安定度の監視をオンライン情報を基に数時間先まで行い, 系統の安定化を支援する。*
新需給制御	火力発電機の動特性を考慮した配分計算を用いて, 経済性や応答速度確保に優れた制御を行う。*
発電所運用計画	週間・翌日の発電機の最適な起動停止計画をDP法を用いて立案する。*
事故復旧支援	事故発生時の緊急操作, 事故復旧方針策定を支援する。*

注：略語説明など
FDLS(Fast Decoupled Weighted Least Square Method)
DP(Dynamic Programming)
* (今後拡張を予定している機能)

インおよび手入力で取り込み, 作業時の潮流図を作成し, 作業時の信頼度評価を行う。また, 作業の期間を線表で表示し, 重複作業のチェック, 作業の集約, 作業日時の変更を実施する。

この機能により, これまで手作業で行っていた作業要求件名の集約・整理を自動化するとともに, 作業実施可能時期や実施の際の対策を提示することができる。

(3) 潮流制御支援

潮流制御支援機能は, 10時間先までの潮流状態を15分間隔で予測し, 各時間断面で系統信頼度を提示して, 運用者に総合的な系統運用を支援することを目的とする。

潮流制御支援機能では以下の情報を運用者に提示する。

- (a) 各時間断面での1回線事故時の線路潮流違反, および2回線事故時の線路潮流違反, 安定化装置動作の

表3 機能一覧表

新EMSを構成する機能の一覧を示す。

項 目	内 容
基本機能	・伝送系通信 ・現在データベース更新 ・データ収集および変換 ・時系列数値記録 ・アラーム・イベント処理 ・加工計算 ・数値監視 ・電源系統グループ作成 ・充停電処理 ・事故検出 ・事故設備判定
系統解析機能	・潮流計算 ・最経済負荷配分 ・ループ対応制約付き最経済負荷配分 ・短絡計算 ・供給力予測機能 ・火力・揚水発電機差し替え機能 ・想定事故計算 ・感度計算 ・母線負荷予測 ・状態推定
その他	・負荷予想 ・作業線票表示機能 ・系統図, トレンドグラフなどヒューマンインタフェース ・系統図作画 ・データ ユーザー メンテナンス機能

有無

- (b) 各時間断面での供給予備力
(c) 各時間断面での融通電力可能量
(d) 違反解消のための発電機運用変更による増分コスト
また, 送電線事故および母線事故などを想定し, これら事故発生後の系統での上述した系統信頼度も合わせ提示する。

潮流制御支援の特徴的な機能である潮流予測機能と融通中継可能量算出機能について以下に述べる。

(a) 潮流予測機能

供給力の予測に必要な総需要値や関係点潮流の予想値などを翌日予想計算結果から自動入力するとともに, 予想精度を向上させるため, 総需要予想値は過去1時間前までの実績から15分ごとに自動補正させる。また, スケジュール遅れなどで現状系統とミスマッチが発生した場合, 火力・揚水発電所の運転スケジュールを自動補正する機能もある。

(b) 融通中継可能量算出機能

発電機出力や系統構成など運用状態を変更しない状

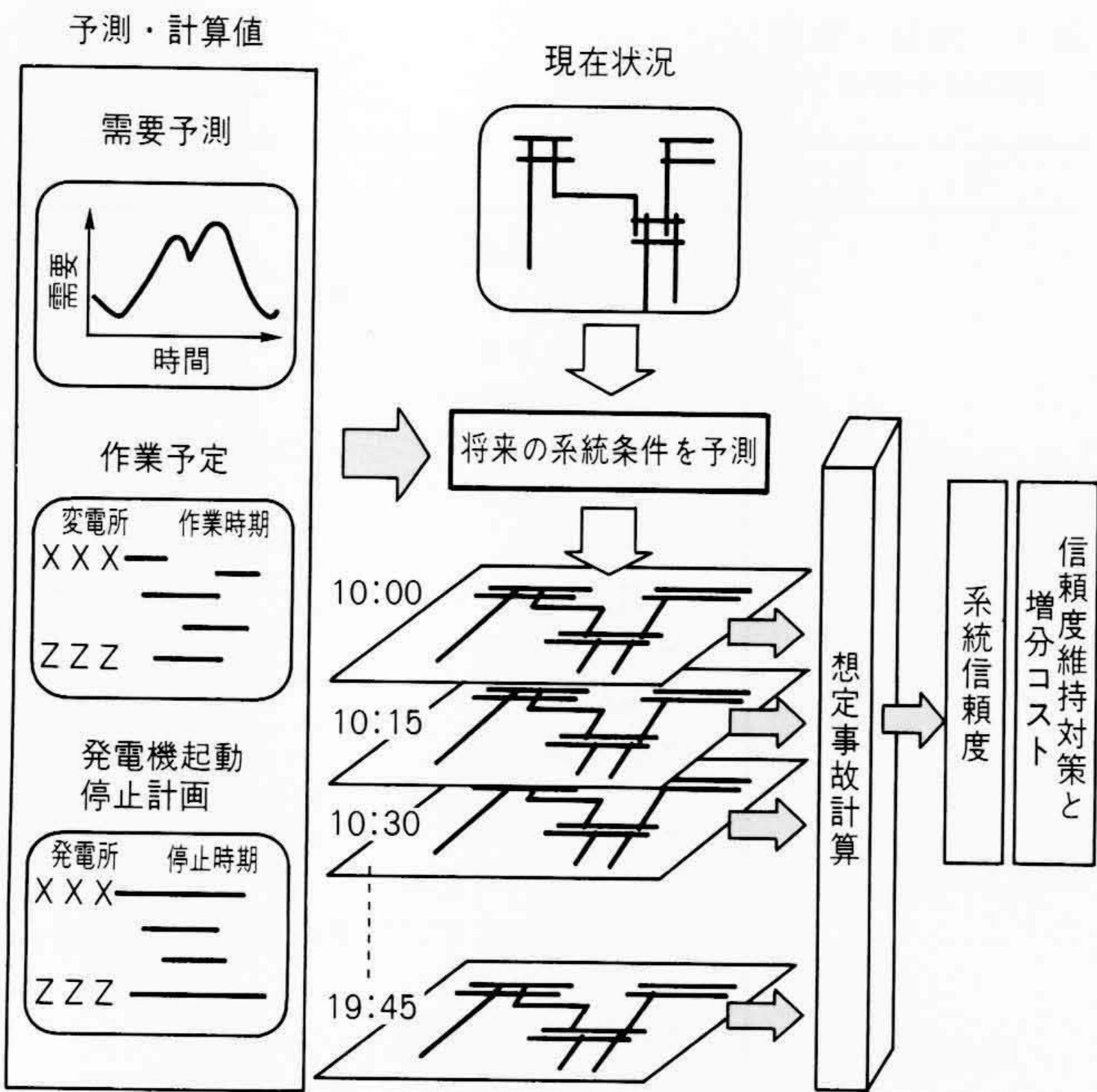


図3 潮流制御支援機能
刻々と変化する系統条件に対し、10時間先までの15分ごとの将来の系統状態の変化を予測し、系統信頼度を評価する。

況で、系統信頼度が維持できる限界融通中継可能量を算出する。また、融通中継を実施すると運用限度を逸脱する場合の対策として、系統切換や発電機持ち替えを実施した場合の信頼度改善状況や増分コストを10時間先まで15分間隔で算出する(図3参照)。

(4) 情報管理機能

運用計画業務で用いるデータは、ファイルサーバのデータベースにアクセスを行う。このデータベースには運用実績データが格納され、将来、多くのオフライン機能から参照されるため、汎用データベースであるORACLEを採用している。

(5) システム規模

新中給システムの規模および性能を表4に示す。

表4 新中給システムの規模と性能
大規模なデータを高速に処理する優れた性能としている。

項 目	内 容
オンラインアナログ量	15,000量
オンラインデジタル量	51,000量
アナログ値取り込み周期	3.4 s
デジタル状態処理レート	20 s当たり1,000状態
画面更新周期	5 s
単結図表示時間	1 s
状態推定周期	30 s
想定事故計算量	15分ごとに400事故

5 システム更新プロジェクトの概要

このプロジェクトでは、システム化に先立って約5年間の調査研究を行い、システムのフィロソフィーを確立し、新機能の研究開発を行った。

システム化にあたっては、関西電力株式会社内に計画部門および運用部門のスタッフからなる11名のプロジェクトチームを設立し、ソフトウェアとハードウェアのチームに分かれて、システム設計、機能仕様書のレビューおよび機能検証を担った。

6 おわりに

関西電力株式会社の新中給システムは、サーバ・EWSを用いた本格的なオープン・分散EMSとしては、わが国初のシステムである。将来の機能拡張に向けて、オンライン情報と系統運用情報の情報量拡大を計画し、新機能の増強を開始している。

EWSをはじめとするコンポーネントは今後もさらに高性能化が期待され、システムのライフサイクルは飛躍的に延長されると考える。

参考文献

1) 中田, 外: リアルタイム分散型データベースを用いた電力系統監視制御システム, 日立評論, 77, 7, 499~502(平7-7)