

系統運用技術特集

電力系統を日々運用する系統運用部門では、発電設備と流通設備を一体運用することにより、低廉で信頼性の高い電力供給に努めております。

系統運用部門の技術としては、需要と供給のバランスをはかる「需給技術」、お客さまへ電気を届けるためのネットワークの安定運用をはかる「系統技術」、発電所の監視・制御や運用を支援する「給電制御システム技術」に大別されます。今号では、これらの分野の代表的な技術を紹介いたします。

需給技術

需給技術には、発電機点検計画や燃料調達計画と組み合わせ、先行き2年程度の電力需給均衡を図るための需給計画に関わる技術と、月間・週間・翌日等の詳細な運用計画を立案・運用する短期の需給運用に関わる技術があります。これらの需給計画および需給運用技術は相互に連携・補完しあいながら、最適な需給運用を実現しています。

1 需給計画技術

現在、長期の需給計画における最大の課題は、「電力需要の伸びの鈍化に加え、電力自由化の進展により需要動向の不透明さが増す中、近年運転開始した碧南火力4、5号機など低コスト火力ユニットの高稼働運転を確保しつつ、年間885万t受入のLNGをいかに有効に発電・消費するか」であると言えます。また、異常高気温時の需要急増、大型電源のトラブルなどの需給変動等への対応力に優れ、かつ安定性、経済性のある供給態勢の確保も重要な課題です。

このような需給計画上の諸検討に今や不可欠な戦力となっているのが需給計画策定のために開発された需給計画システムです。本システムは、年間レベルのマクロ的な計画でありながら、水力、火力、原子力発電機の各種運用制約・条件をより詳細に反映することにより、実運用に極めて近いシミュレーションができるシステムであり、特に以下の特徴を有しています。

8760時間別の電力需要想定

年間計画の諸元である年間送電端需要、各月三日最大電力から、各週平均電力へと順次需要を展開し、詳細なシミュレーションに必要な8760時間の電力需要プロフィールを自動的に作成することができます。

火力発電機の運用上の特性を考慮した運用計画

詳細な火力発電機の運転条件（DSS可否、出力変動幅、火力性能曲線等）や、燃料種別毎のカロリー単

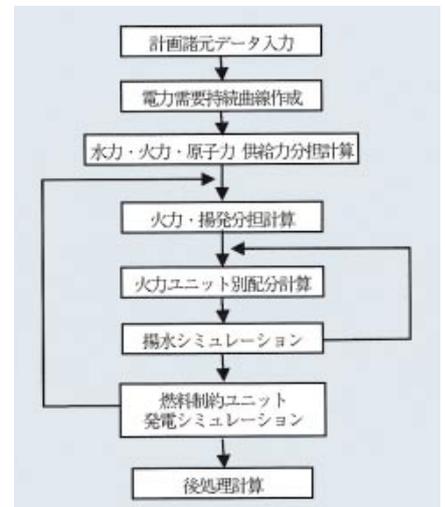
価・熱効率特性を模擬し、実運用に近い日別の並列優先順位で供給力態勢を決定した上で、等増分燃料費法により火力ユニットの最経済な出力配分を計算します。

揚水発電機の運用上の特性を考慮した発電計画

揚水発電機の運転条件、上池・下池の容量等の設備制約を考慮した上で、経済運用・供給力確保・余剰対応といった各種揚水運用の目的別に揚水シミュレーションを計算します。

燃料制約を考慮した火力発電機の運用計画

火力発電機には、で述べた発電機個別の特性に加え、例えばLNG基地では限られたタンク容量の中で配船・受入計画と燃料消費計画を整合させるなど、燃料制約も考慮する必要があります。本システムでは、先ず燃料制約なしの条件で火力の供給力態勢を決定し経済性を評価した上で、燃料制約のあるユニット毎に発電量の焼き増し・焼き減らしを計算することで、年間または月別の燃料制約をも考慮することができます。



第1図 需給計画シミュレーションのブロック図

2 需給運用技術

短期の需給運用計画では、年間の需給計画を受け、水系運用や発電機の作業あるいは発電機の起動停止スケジュールなど、日単位あるいは時間単位の綿密な計画を策定し、日々の需給運用へつなげます。特に、日々の経済運用を追求するためには、石炭火力機の高稼働運転、LNG火力機の弾力的な運用および揚水機のみめ細かな運用が非常に重要となります。

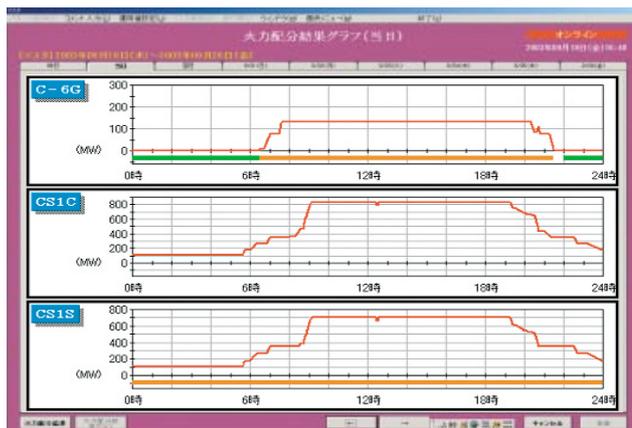
系統運用部では、よりきめ細かな経済運用を目指し、ラグランジュ緩和法と動的計画法（以下DP法、Dynamic Programming）を用い、あらゆる運用制約を考慮した上で、発電機の理想的な起動停止スケジュールを自動決定できる新しい短期需給運用システムを2002年度に導入しました。

ラグランジュ緩和法とは、ある制約条件下で目的関数の値を最小とする解を求める手法です。本システム

では需給運用上の制約として、需給バランス、運転予備力、LNG消費量、貯水池水位などを与え、全発電機の燃料費および起動費の総和を最小にできる発電機の組み合わせを求めることができます。

また、ラグランジュ緩和法において、発電機毎の運用を部分問題の解として求めるためDP法を適用しています。これは、発電機の運転状態と計算期間、及び各運転状態におけるノードコスト（停止時は起動損失、運転時は燃料費）からなる状態遷移図を作成し発電機が取りうる経路とそのコストを全て探索しその中から最もコストの小さい経路を発電機の起動停止計画とするものです。発電機運転の状態遷移の制約には、最小運転・停止時間、同時起動禁止、起動停止回数などを与え実際の運転状態を反映しています。

更に、各LNGタンクレベル制約を考慮したLNG火力機の自動持替計算機能や揚発単価を考慮して揚水を効果的に活用する揚水式水力発電機運用の自動計算機能も備えています。



第2図 火力配分結果グラフ画面

系統技術

発電所とお客さまを結ぶ送電ネットワークでは、送電線や変圧器に流れる電力や電圧を常に運用限度以内に保つとともに、雷などにより送電ルートの一部が遮断されても安定した送電を継続することが求められます。これらを支える系統技術にはさまざまな分野がありますが、ここではその代表的な技術を紹介します。

3 系統安定化制御技術 ～SSC・TSC～

2003年8月14日、米国北東部で史上最悪となる約6180万kWもの大停電が発生しました。その38年前の1965年にも日本（関西電力御母衣）と米国（ニューヨーク）で大停電が発生しております。当社では、この2つの事故を契機に、系統安定化制御技術を確立してきました。

(1) SSC (System Stabilizing Controller)

系統故障などにより系統が2つに分断されたとき、それぞれの系統の周波数維持を目的とした安定化制御を行い、広域停電の防止を図るシステムがSSCであり、1968年に初めて開発・導入されました。その後、各種の改良が重ねられ、1995年には500kV第二外輪系統の建設およびそのループ運用に対応した系統安定化対策のため、オンライン集中演算型のCSCシステム (Concentrated System Stabilizing Controller) として集大成されています。

CSCには以下の主要な特徴があります。

集中型システムによる高速制御

500kV電気所の端末装置と愛知変電所に設置された中央演算装置を高速通信回線で結び、分離系統発生から200ミリ秒という高速制御を行います。

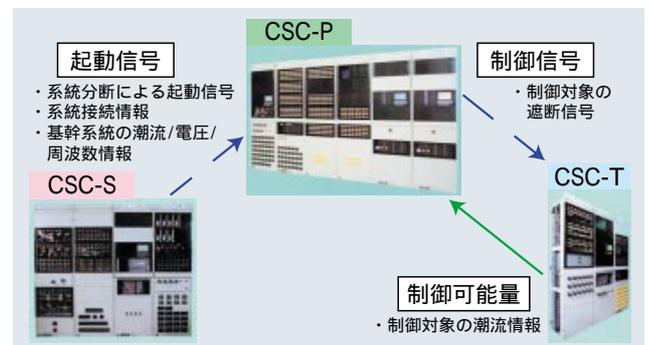
系統の自動認識および多重故障への適応

基幹系統の開閉器の入切情報から系統接続状態を自動認識し、単一故障は勿論、多重故障で分離系統が発生した場合にも適応できます。

オンラインTSCとの協定制御

オンラインTSCからの発電機遮断情報を受け、本系統側の周波数低下を防ぐ協定制御も行います。

CSCのシステム構成を第3図に示します。



第3図 基幹系CSCシステムの構成

(2) TSC (Transient Stability Control)

1975年、主幹系統・電源系統の過渡安定度維持対策として、高速に電源遮断を行うことで系統脱調を未然防止するTSCが導入されました。その後、長年の技術開発を経て、1995年に世界で初めてとなるオンライン演算型の過渡安定度維持装置（オンラインTSC）が開発・導入されました。この功績により当社は、2003年6月にエジソン電気協会より第44回エジソン賞を受賞しました。

オンラインTSCは、電力系統の現在の状態を給電情報網によって収集し、その情報をもとに多数の想定事象に対して詳細な過渡安定度計算を行い、安定化対策を実施します。系統状態をシステム自らが認識し、想

定事象（想定故障）に対する系統安定化対策を事前に策定する機能を備えている点が最大の特徴です。

以下に、オンラインTSCの特徴を示します。

理想的な安定化制御

数分周期の実系統のオンライン情報をもとに精度の高い安定度計算を実施し安定化制御を行うため、必要最小限の発電機遮断量で確実な安定度維持が図れます。

任意の系統形態に対応

並列発電機の変更、ループ・放射の系統運用形態の変更、作業時の特殊系統などにも自在に適応できます。

保守・運転者負担の軽減

系統形態が変更になっても整定変更のための諸計算や運転員のSW操作は不要です。

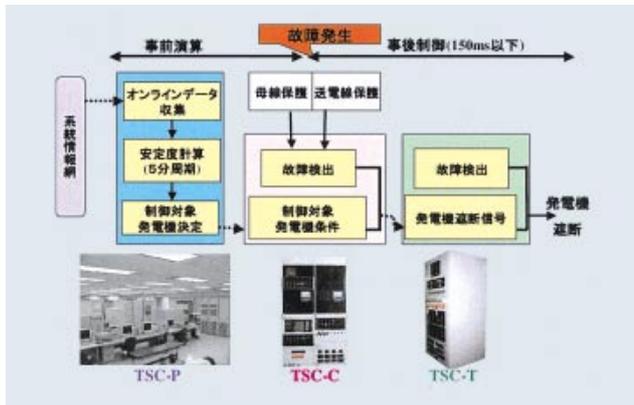
支援情報の提供

本来の系統安定化制御は勿論、系統が安定な場合はCPUの余力を活用して、電制が必要になるまでの潮流余裕値を運転員に提供します。

高信頼度設計

単純な2系列では無く、ハードウェア・ソフトウェアとも異なるメーカーで構成される異機種2系列を採用し、両系の演算結果を比較することで、確実な過渡安定度対策を実現しています。

オンラインTSCのシステム構成を第4図に示します。



第4図 オンラインTSCシステムの構成

4 電圧制御技術 ～VQC～

基幹給電制御所システムには、500kV・275kV基幹系統の電圧・無効電力を効果的に監視・制御する機能（VQC）が備えられています。VQCは、1971年に日本で初めての中央オンライン制御方式として導入され、1999年には更に改良を加えたVQCが開発・実用化されています。

(1) VQCの制御方式概要

VQCは、潮流やCB情報、発電機運転状態などのオ

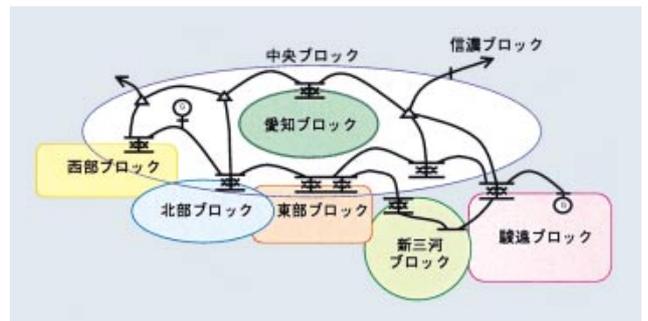
ンライン系統情報を用い、任意に設定した監視点の電圧や無効電力潮流が目標値以内に収まるように、電圧・無効電力制御機器（火力発電機および揚水式発電機の無効電力、500/275kVの変圧器タップ（LRT）、基幹系統変電所の調相設備）を用いて制御します。なお、この一連のVQC演算および制御機器への指令は1分周期で行われています。

(2) VQCの特徴

系統ブロック別制御

VQCでは、500kV系統はループ運用、275kV以下系統は放射状運用を基本としていることに着目して、500kV系統は中央ブロックとして全系を1つのブロックとし、275kV系統は系統別にブロック化して制御対象を分割した系統ブロック別制御を行います。

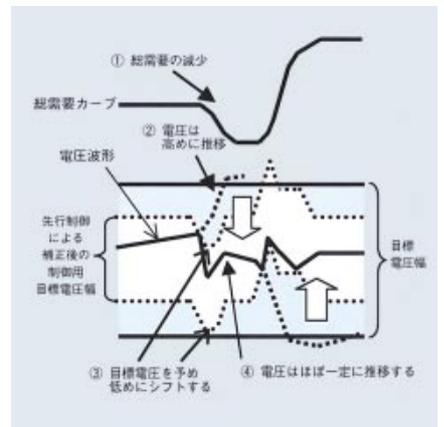
また、275kV以下系統の監視点やVQC制御機器がどの系統ブロックに属するかは、系統変更の都度に接続状態を調べ、それぞれが属する系統ブロックを自動的に認識させ、監視点の電圧を許容値以内に収めるために、最も効果がある機器を求める感度定数法をブロック単位に適用し制御する方法を採用しています。



第5図 VQCの系統ブロック別制御のイメージ

先行制御機能

需要急変時間帯における電圧偏差を改善するため、総需要の予想変化傾向に合わせて需要急変時には監視点の目標電圧を事前にシフトさせ、先行的に制御する手法を採用しました。具



第6図 VQCの先行制御機能のイメージ

体的には、数分後に総需要が減少する時間帯は目標電圧を低めに、総需要が増加する時間帯は目標電圧を高めにシフトします。（第6図）

(3) VQCの効果

系統ブロック別制御、先行制御機能により、負荷急変時でも運転員の補助操作の必要がほとんどなく、運転員の負担軽減に貢献しています。また、どの時間帯も基幹系統の電圧変化が小さく、変圧器タップの動作回数の減少や調相機器動作回数の減少などの効果が確認されています。

5 系統解析技術 ～PSA・COMPASS～

電力系統の解析は、運用方針の立案や安定化制御装置等の計画・運用値決定及び故障解析等、系統の安定運用を図るうえで今や不可欠な技術となっています。系統解析の方式としては、電力系統をミニチュア化した装置で電気現象を再現するアナログ解析と、コンピュータ上で電力系統を数値モデルとして再現するデジタル解析があり、当社では両方の解析環境を整備して、それぞれの特性を生かした解析を実施しています。

(1) アナログ解析

アナログ解析を行う専用設備であるアナログシミュレータ（以下PSA：Power System Analyzer、第7図）は、500kV第二外輪系統構築によるループ運用を多角的に検証するため、1992年に設置されました。その後も、様々な系統現象解析や安定化装置の研究開発に活用され、近年ではカタルや中国の電力系統解析など国際的な活動にも活用されています。

PSAでは、送電線・変圧器を抵抗・コイル・コンデンサ等の電氣的素子で、発電機や負荷をCPU制御によるアンプで構成し、定格電圧50Vのミニチュア電力系統で系統故障現象などを直接シミュレーションします。このため、1ミリ秒以下の過渡的な過電圧現象から、数十分に及ぶ長時間の系統動特性まで広く検証を行うことができます。



第7図 PSAを構成する系統モデル装置

(2) デジタル解析

デジタル解析の代表格である安定度解析計算では、送電系統をノード・ブランチで構成されるアドミッタンス行列で、また発電機の動的特性を微分方程式や伝

達関数モデルで数値的に表現し、これを積分計算して時間シミュレーションを行います。かつて安定度解析計算は、計算時間や使用メモリの関係からワークステーションや大型計算機で実施していましたが、近年の計算機技術の進歩によりパソコンでの実行が可能となっています。

一方、系統解析計算を実施するためには、数万点に及ぶデータを正確に作成・入力することが不可欠であり、解析データの管理に多大な労力を要します。このため、パソコンでの安定度解析を支援するシステム（COMPASS）を当社とグループ企業の（株）シーティアイにて独自に開発し、業務の効率化ならびに計算精度向上を図っています。

以下にCOMPASSの主な特徴を示します。

系統解析プラットフォームの一元化

電中研の系統解析プログラムシリーズ（L法・Y法・S法等）は勿論、世界的な系統解析プログラム（PSS/E等）も本システムから一元的に解析が可能です。

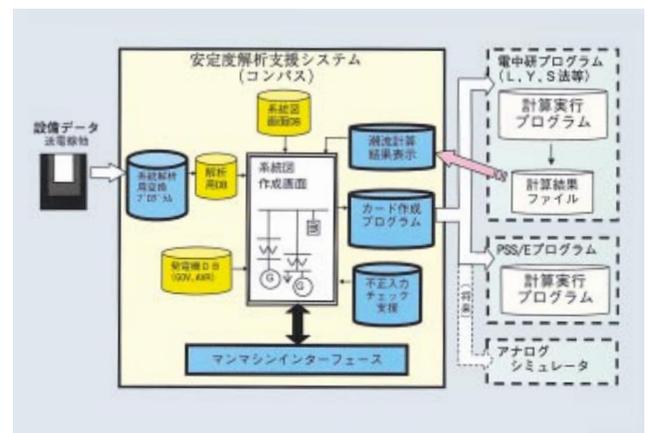
系統解析の自動化

系統解析プログラムを本システムからマクロ操作し、計算結果をフィードバックしながら系統安定度限界を求める機能など、系統解析の自動化が図られています。

データ入力の省力化・確実化

系統図を描画して対話形式でデータ入力ができるMMI、不正入力データチェック機能、工務部門で開発した系統計画支援システムとの設備データの連携機能などにより、データ入力が大幅に省力化されると同時に、データ信頼性の飛躍的な向上も図られています。

なお、現在COMPASSはデジタル解析のみを取り扱っていますが、今後は本システムを介してアナログシミュレータも一元的に解析できる環境の構築を目指し、研究開発を行っています。



第8図 COMPASSのシステム構成

給電制御システム技術

給電制御所に設置されているコンピュータシステムには、リアルタイムに発電所を監視・遠隔制御するオンライン給電制御システムと、作業調整や潮流チェックなど事前の運用計画立案のためのオフライン運用支援システムがあり、高効率で高信頼度な系統運用を支えています。

6 オンライン給電制御システム技術

当社の支店給電制御システムの第一世代システムは、発電所の遠隔監視制御をコンピュータを用いて大規模集中化する方針のもとで、1977～84年に設置されました。その後1989～98年に第二世代システムへの取替を経て、2003年に第三世代システムへの取替の初号機として、岐阜給電制御システムが運用開始しました。

以下に、この新しい第三世代給電制御システムの概要を紹介します。

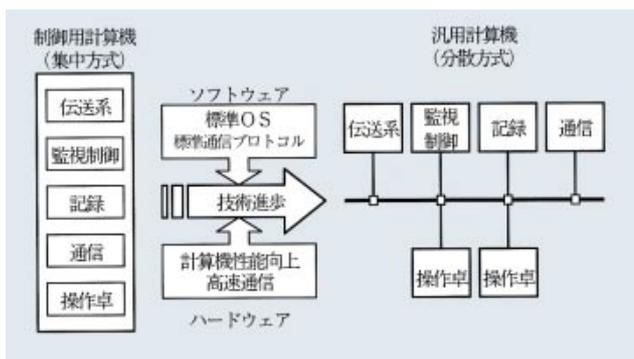
(1) 設計コンセプト

汎用計算機による分散型システム

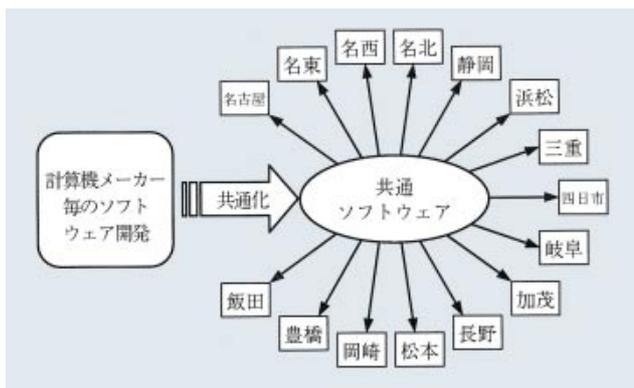
従来のリアルタイム用OSを搭載した制御用計算機によるシステム構成から、汎用OSを採用した汎用計算機を機能毎に分散配置してシステムを構築します。

ソフトウェアの共通化

従来、計算機メーカー毎に開発してきた業務ソフト



第9図 制御用計算機から分散型汎用計算機への転換



第10図 ソフトウェアの共通化

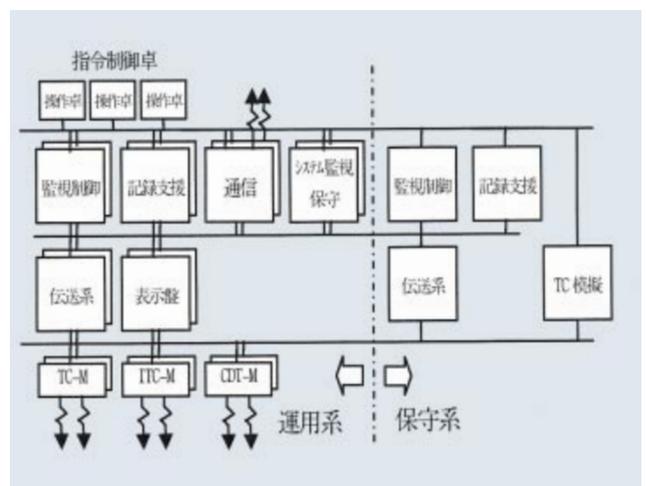
ウェアを共通化し、全社の支店給電制御システムに適用可能とするとともに、OSのバージョンアップや計算機の取替においても変更なく移植可能とします。

(2) システム構成

第3世代給電制御システムのシステム構成（第11図）には以下の特徴があります。

信頼度確保の観点から、運用系をフリーラン・デュアル方式による完全2系列構成とし、通常の構成制御は運用系でのみ行っています。

データおよびソフトウェアメンテナンスを行うことを考慮して設けた保守系は、単独1系列にて構成しています。



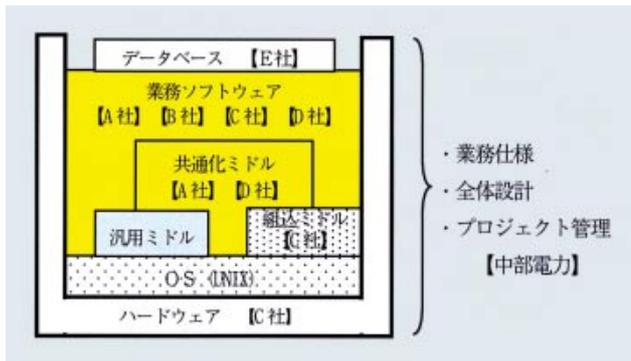
第11図 第3世代給電制御システムの構成

(3) 共通ソフトウェアの開発

共通ソフトウェアの開発にあたっては、競争原理を適正に機能させる目的から、複数メーカーで共同開発する「マルチベンダ体制」を採用しました。また、2号機以降については今回開発した共通ソフトウェアを自社供給します。具体的には、共通業務ソフトウェア製作4社、ミドルウェアのうち共通ミドルウェア製作2社、ハードウェア供給および電力ミドルウェアのうち組み込みミドルウェア製作1社、ならびにデータ作成1社の計8サブプロジェクト（5社）で構成しています。

この共通ソフトウェアの適用により、システム取替工事期間の短縮および費用の低減が図られるのと同時に、ソフトウェア処理の信頼性向上が期待されます。

今回開発した共通業務ソフトウェアは、それぞれ2005年度および2006年度にシステム取替が予定されている浜松給電制御システム、三重給電制御システムの取替工事への適用が決定しており、順次残り12箇所の給電制御システムの取替工事での適用も予定されています。



第12図 共通ソフトウェアの開発



第13図 第三世代岐阜給電制御所システム

7 オフライン運用支援システム技術

リアルタイムで制御する給電制御所システムに対して、運用計画支援システムはオフライン的に運用計画業務を支援するシステムとして1990年に開発・導入され、その後機能改良を加えながら、1999年には作業日程調整業務の効率化を図るための停止計画機能を開発し全支店へ展開しています。

現在、本店（中央給電指令所および基幹給電制御所）の運用計画支援システムとして、作業日程調整業務支援機能を2004年4月運用開始に向けて開発中であり、以下ではその概要について紹介します。

(1) 設計コンセプト

既設システム資産の有効活用

中給・基幹給制にはEWSで構成される既設の運用計画支援システムがあり、このシステム資産を極力活用して開発コストを抑えた設計としています。

各システム間のデータ連携

先に紹介した需給計画システムと短期需給運用システム、および運用計画支援システムはこれまで個別に開発されてきたため、データ連携が不十分でした。今回の開発にあわせて、これらのシステム間のデータ連携を強化し、長期から短期まで、需給運用から系統運用までの幅広い運用計画を総合的に支援する環境を整

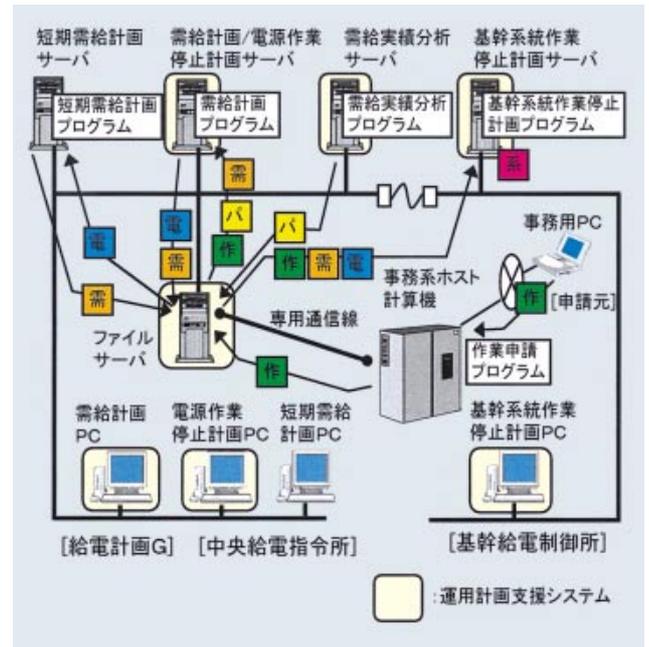
備します。

(2) システム構成

開発完了後の本店運用計画支援システムの構成（第14図）の特徴は以下のとおりです。

ファイルサーバを中継機として、各データを連携します。

需給計画と電源作業停止計画でサーバを共用します。



第14図 本店運用計画支援システムの構成

(3) 電源作業停止計画と需給計画の連携

発電機の定期点検などの電源作業停止計画と、発電機の最経済運用をはかる需給計画は、密接な関係にあります。しかし、発電機の経済運用と作業停止を全ての需給断面に亘って計算し最適計画を立案するには膨大な計算を要します。

今回開発する電源作業停止計画の自動日程調整機能は、最適化手法を適用して繰り返し計算により燃料制約や作業制約を遵守した日程計画案を作成しますが、この繰り返し計算を実用的な時間内で完了させるため、1日における火力ユニットの運転態勢はピーク時刻の1点のみで決定し、各時刻の出力配分は簡易計算にてシミュレートする簡略化手法を採用しています。

そのため、需給計画システムとロジック連携し、自動計算された日程計画案をもとに需給運用計画システムにより8760時間のシミュレーション計算を行い、実運用に即した各時刻断面の運用を評価します。また、この結果をもとに、基幹系統作業停止計画においては、需給計画と整合した潮流確認を行うことができます。