

東北電力株式会社向け
中央給電指令所自動化システム
Central Dispatching Control System for Tohoku Electric Power Co., Inc.

電力系統の拡大、複雑化に対処するため、計算機制御システムが盛んに導入されてきている。これらシステムは、ハイアラキー状の巨大な制御システムを構成し、その中枢に当たる中央給電指令所システムの指令のもと、安定した電力の供給に各々の役割を果たしている。

このたび、東北電力株式会社の中央給電指令所に、日立制御用計算機HIDIC V90/50及び汎用計算機HITAC M-160Hから成る計算機制御システムを導入、旧システムとリプレースした。新システムは制御用・汎用計算機の各々の特長を生かし、中央給電指令所システムに要求される種々の機能を、最新鋭のハードウェア及びソフトウェアにより実現している。

松岡 俊司* Shunji Matsuoka
遠藤為治郎* Tamejirô Endô
森田 憲一** Ken'ichi Morita
塩永 凱夫** Yoshio Shionaga
下鳥 正昭*** Masaaki Shimotori

1 緒 言

電力系統は貯蔵が利かない、すなわち、発生と同時に消費される電力を、広い地域に供給する機能を備えており、かつ年々増大、複雑化するという特徴がある。この電力系統を安定に制御し維持してゆくため、計算機による自動化システムが導入されて以来既に約20年が経過している。東北電力株式会社の自動化システムは、図1に示すように、中枢に中央給電指令所、県ごとに系統制御所、地域ブロックごとに集中制御所を設置し、ハイアラキー構成をとっている。特に中央給電指令所は、電力系統全体の需要と供給のバランスを維持し、質の高い電力を経済的かつ安定に供給する役割を果たしている。このたび中央給電指令所の既設システムをリプレースし機能拡張を図るため、制御用計算機HIDIC V90/50 2台と、汎用計算機HITAC M-160H 1台から成る最新の中央給電指令所自動化システムを導入した。このシステムは1984年2月から運用を開始しており、幅広い機能、使いやすいマンマシンインタフェース、優れた信頼性及び保守性を実現している。以下にその構成、機能、特徴について説明する。

2 システムの概要

中央給電指令所は、長期的な需要の予測に基づく経済的な発電計画を行なう需給運用計画、この需給運用と作業停止などを考慮し主要な系統の運用を決める系統運用計画、リアルタイムで発電と負荷のバランスを保ち、かつ経済性を追求する有効電力制御、主要な系統の状態、安定性をチェックし操作員に警報する監視、事故発生時の系統の安定性をチェックする想定事故計算、各種のオンラインで収集されたデータを編集し記録する記録統計などの業務・計算を実施している。これら業務の詳細は表1に示すとおりで、高解像度カラーCRT(Cathode Ray Tube)、ライトペン、キーボード及び押しボタンスイッチを備えた制御卓から対話式に実施される。図2に中央給電指令所の指令室を示す。

2.1 ハードウェア構成と特徴

本システムは図3に示すハードウェア構成から成り、次のような特徴をもっている。

- (1) 制御用計算機2台と汎用計算機1台を組み合わせることにより、信頼性と応答性に優れ、かつ随時次々に発生するバッチ処理も実行できる柔軟性をもつシステムを実現した。制御用計算機と汎用計算機への業務分担は表1に示すとおりであるが、次の原則に基づいて決められている。
- (a) 高速応答性を要求される発・変電所及び系統制御所とのデータ送受信、マンマシン処理などは制御用計算機により実施する。
- (b) 電圧潮流計算、安定度計算、統計処理のような比較的長い計算時間を要する処理は、汎用計算機によって実施する。
- (c) 信頼性を考慮し、汎用計算機が1週間以内の停止をしても制御用計算機からのデータ受渡し業務を継続できるよ

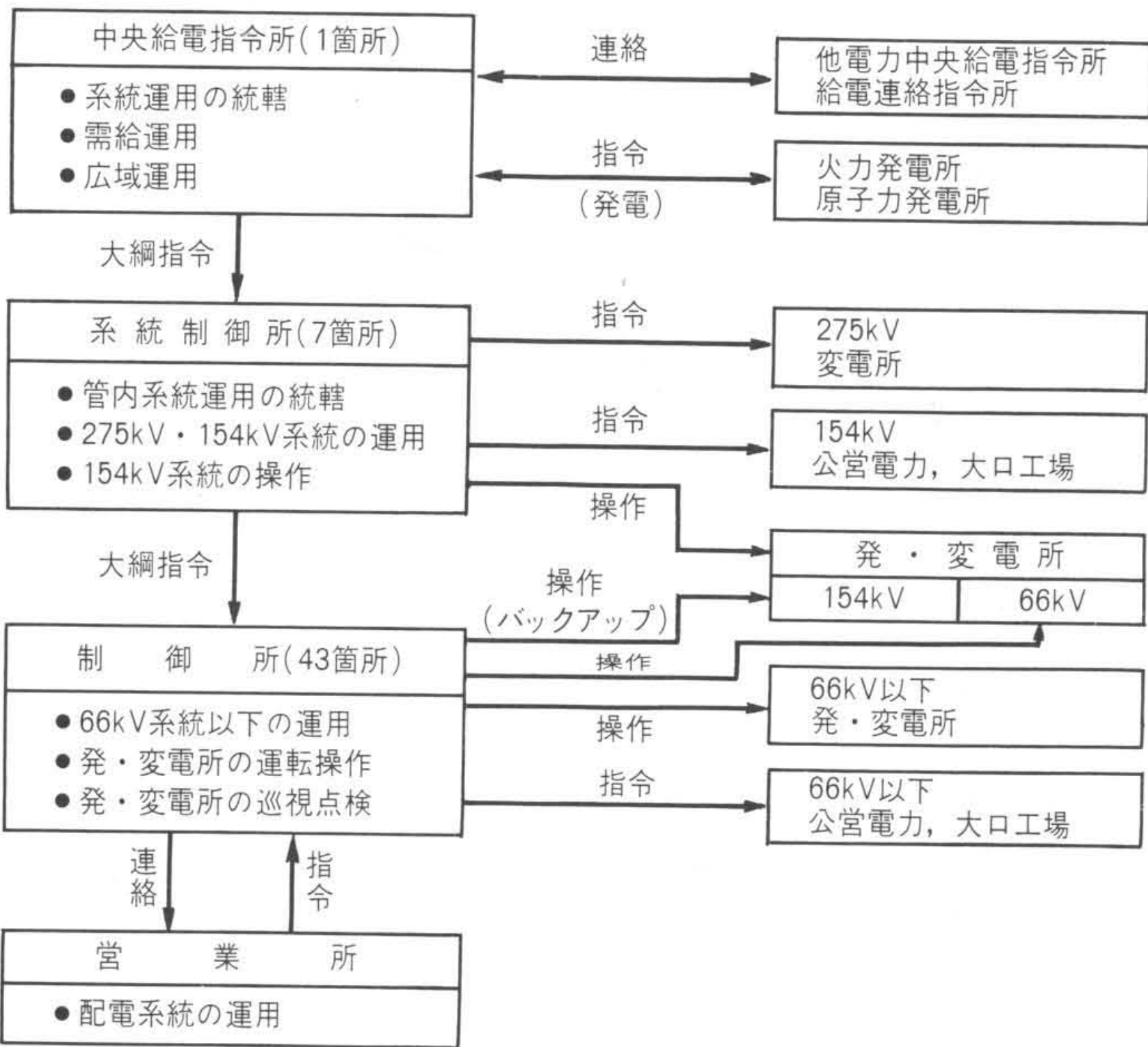


図1 電力系統制御ハイアラキー構成 第1レベルの中央給電指令所、第2レベルの系統制御所(県単位)、第3レベルの制御所が、各々連絡を取りながら割り当てられた監視制御を実施する。

* 東北電力株式会社技術部 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所ソフトウェア工場

表 1 主要業務の内容及び計算機への割当て 各業務の概要及び制御用計算機，汎用計算機への割当てを示す。

No.	業 務	小 分 類	内 容	実施計算機	
				汎用	制御用
1	需給運用計画計算	月間需給運用計画計算	翌月分の需要，出水予測に基づき，月間の燃料消費目標量を充足する火力ユニットごとの経済的出力配分計算	○	—
		週間需給運用計画計算	翌週分の需要，出水予測に基づき，週間の燃料消費目標量を充足する火力ユニットごとの経済的出力配分計算	○	—
		日間需給運用計画計算	翌日分の需要，日間燃料消費目標量に基づく経済的な水力，火力の経済的出力配分計算	—	○
2	系統運用計画計算	四半期，月間，週間系統運用計画計算	需給運用計画と作業停止計画を条件とした各代表断面の予想潮流，電圧計算	○	—
		日間系統運用計画計算	日間需給運用計画と作業停止計画を条件とした各代表断面の予想潮流計算	—	○
3	有 効 電 力 制 御	LFC(自動周波数制御)	短周期の需要変動に対応して，系統周波数と連系線潮流を維持するための発電出力フィードバック制御	—	○
		EDC(経済負荷配分制御)	長周期需要変動に対する需給バランス維持のための，需要予測に基づく火力出力の先行的な制御	—	○
		ループ潮流制御	オンライン系統情報による送電損失最小化のための，位相調整器のタップ値計算と制御	—	○
4	監 視	系統監視	系統構成，電圧，潮流状態の自動監視による状態変化，運用目標値違反の警報とCRT(Cathode Ray Tube)への状況表示	—	○
		需給監視	総需要，連系線潮流偏差など，需給状態の自動監視による運用目標値違反の警報とCRTへの状況表示	—	○
		気象監視	気象協会の気象情報，会津制御所の只見阿賀系出水状況など，気象情報のCRT表示	—	○
		状態変化監視	系統構成変化，運用目標値違反など，CRTへの時系列内容表示及び系統図上への表示	—	○
5	想 定 事 故 計 算	信頼度監視	オンライン系統情報による想定事故後の潮流過負荷，供給支障有無の自動チェックと警報，CRT表示	—	○
		簡略想定事故計算	系統運用計画計算データやオンラインのデータに基づく対話形による想定事故後の対策検討計算	—	○
		精密想定事故計算	系統運用計画計算データや任意データに基づく潮流計算，過渡安定度計算，定態安定度計算	○	—
6	記 録 ・ 統 計	給電記録	系統制御所，東京電力株式会社，電源開発株式会社，日本気象協会とのデータ自動伝送に基づく日間の運用実績の集計と作表・作図	○	○
		運用記録	オンライン総需要予測誤差，自動化システム運用実績の記録の作表，作図	○	○
		給電統計	保存された日間の給電記録をもとに，旬間，月間，期，年間の統計計算と作表，作図	○	—



図 2 中央給電指令所指令室 常時3人のオペレーターがCRT，ライトペンを用いて対話形式で監視・制御を実施する。

う，制御用計算機にデータ格納エリアを1週間分準備する。

(d) 情報システム室の汎用計算機とのデータ送受信は，計算機の親和性を考慮し汎用機により実施する。

(e) 両方の計算機で参照するデータは，一度の入力により各々のデータベースに格納されるように設計し，データの一元管理を図る。

(2) 2台の制御用計算機は，二重化された共有メモリを参照できる構成としている。この共有メモリにリアルタイムデータを常に確立することにより，各々の計算機が独立に並行して処理を実施できるようにし，高速応答性を実現した。また片系停止時は，健全系が全業務を実施できるようにし，高信頼度を実現した。

(3) レーザビームタイプの漢字プリンタを使用することにより，漢字だけでなく，グラフや系統図も美しく見やすい形で出力することができる(図4参照)。

(4) 系統制御所，日本気象協会とはハイレベル手順あるいはベーシック手順でデータを送受信している。これら送受信は，制御用計算機の負荷軽減のためFEP(フロントエンドプロセッサ)により処理した。

(5) 各入出力装置を二重化されたシリアル入出力ループに接続してケーブルの減少を図った。各ハードウェア機器の特徴及び機能を表2に示す。

2.2 ソフトウェア構成と特徴

本システムのソフトウェア構成は図5に示すとおりで，次に述べるような特徴をもつ。

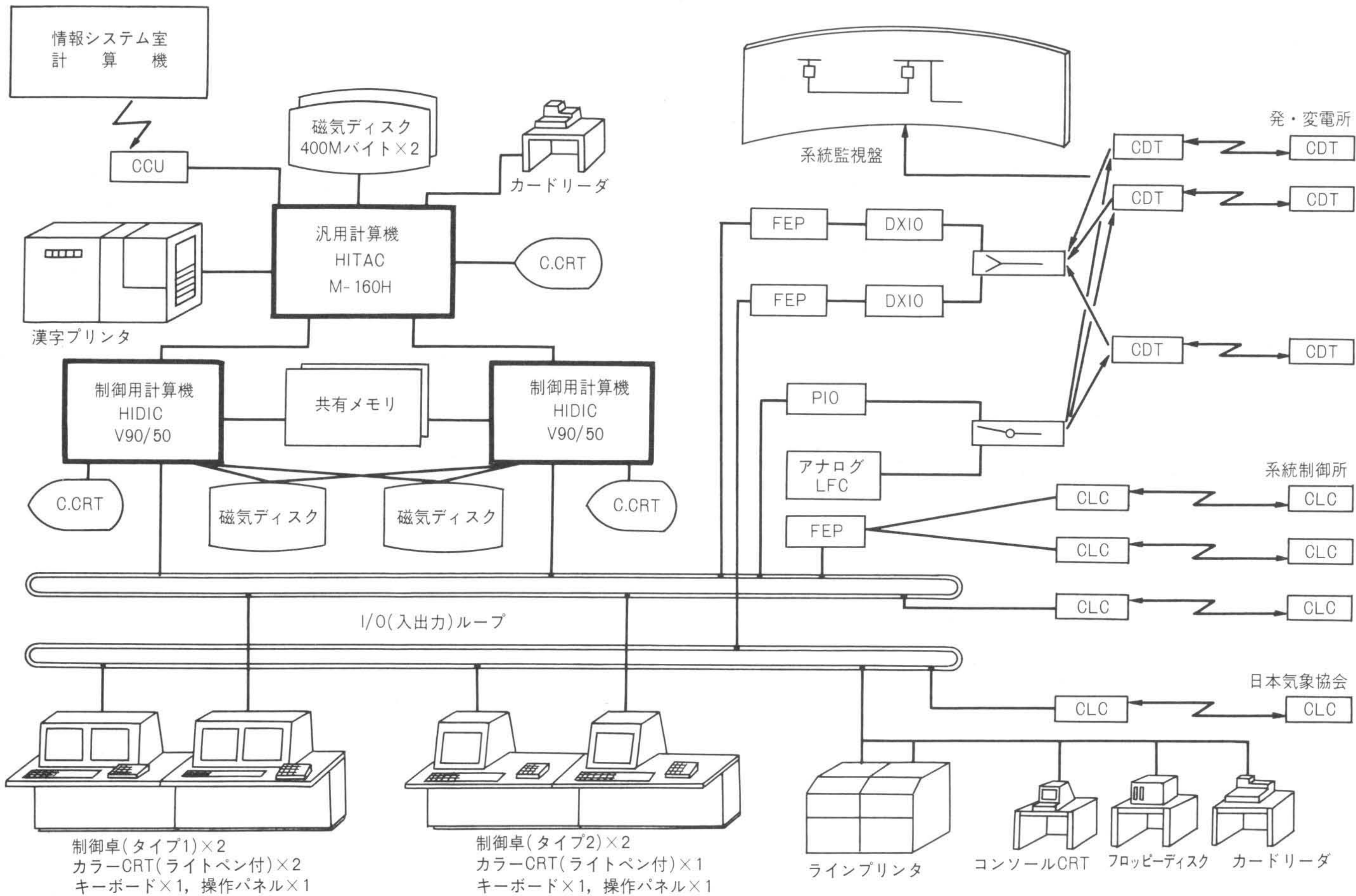
- (1) 各入出力データに電気所，設備，個別機器により一義的に決定されるコードを付加し，このコードを用いて入力データ処理及びマンマシンインタフェース処理決定を行なっている。各アプリケーションソフトウェアもこのコードを使用しており，ソフトウェアの構成が明快で保守性に優れたシステムとなっている。
- (2) 情報システム室の計算機で計算された月間需給運用計画をファイル転送により汎用計算機に入力し，ここで週間需給運用計画に展開後，制御用計算機に転送し，そこで日間スケジュールを計算するというように，オペレータ手動入力を極力減少させ，必要なデータが自動的に流れてゆくようにした。
- (3) マンマシンインタフェースを制御用計算機側に1本化することにより，オペレータに制御用計算機・汎用計算機の2種の計算機が存在を意識させないようにした。
- (4) 印字だけでなくCRT表示にも漢字を表示し，オペレータにとって分かりやすく，使いやすいマンマシンインタフェースを実現した。

3 主要業務とその特徴

本システムは，監視，記録，統計処理などの基本的な業務に加えて，計算をベースとする中央給電指令所特有の業務を実施している。これら業務の主要なものについて以下に概要及び特徴を説明する。

(1) 週間需給運用計算

需要及び出水の予想に基づき，情報システム室の計算機により与えられる週間の燃料消費目標量を制約条件として，火力グラ



注：略語説明
C.CRT〔コンソールCRT(Cathode Ray Tube)〕, CDT(サイクリック情報伝送装置), CLC(通信制御装置), CCU(通信制御装置), FEP(前置計算機)
DXIO(データ交換入出力装置), PIO(プロセス入出力装置), LFC(負荷周波数制御装置)

図3 ハードウェア構成 制御用計算機はFEPを介して発・変電所、系統制御所とデータを送受信する。マンマシンインタフェース処理は制御用計算機により、計算・記録統計処理は汎用計算機により実施される。

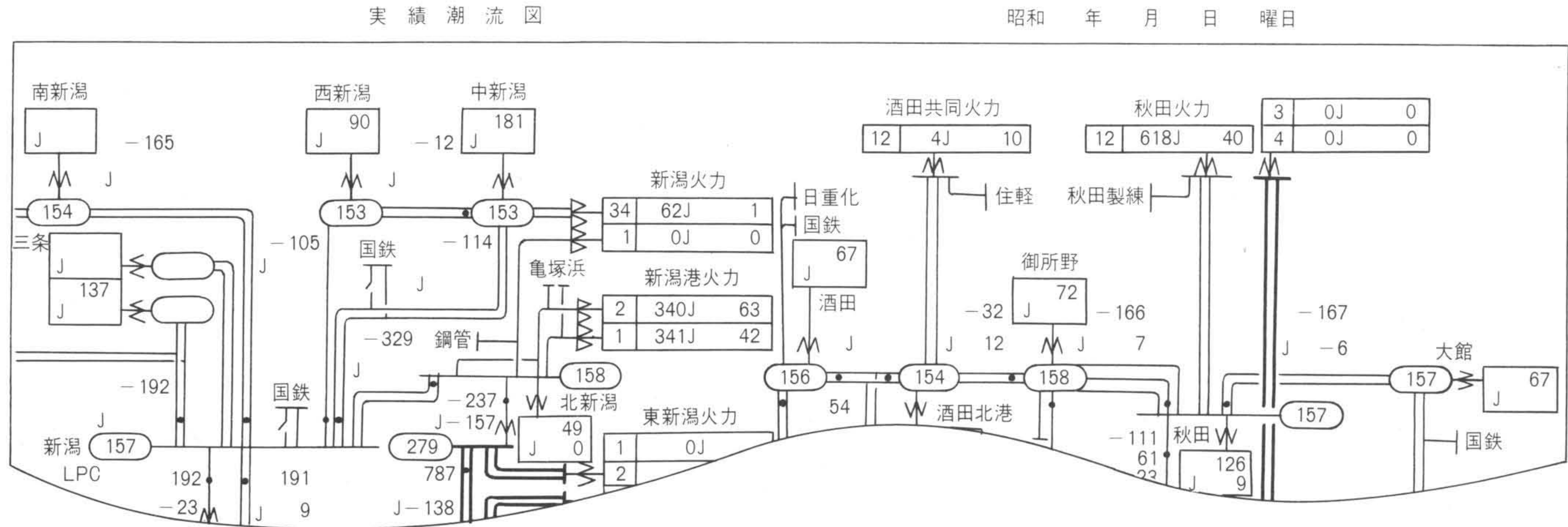


図4 漢字プリンタ(レーザビームプリンタ)による印字例 2,730行/分の高速かつ低騒音のプリンタにより、鮮明な印字が得られる。

ジェント法^{*)}により火力の発電計画を計算する。

(2) 日間需給運用計算

オペレータが入力した各時点の予想需要に対応した発電スケジュールを、水力グラジエント法と等増分費用法により計算する。すなわち、只見川・阿賀野川の直列水系水力発電所運用と火力発電所の運用を水力、火力併用の経済負荷配分計

算により計算する。

(3) 有効電力制御

有効電力制御は次のステップにより実施される。

(a) 日間需給運用計算により計算した24時点の発電スケジュールを、5分刻みのスケジュールに展開する。

(b) 各時点での瞬時の等増分費用配分による経済負荷配分は、需要変動の急な時間帯では、火力の応答速度制限から需給アンバランスとなることに注目し、図6に示すように先行時点の需要予想に基づいて、火力機の応答速度の範囲で割り当てを実施するようにしている²⁾。具体的には1日

※) 水力、火力併用の経済負荷配分で、ある期間の使用水量を一定として解くのが水力グラジエント法であるが、使用水量の代わりに、火力の燃料総使用量を一定として解くのが本手法である。

表2 ハードウェア機器概要 各機器の特徴、機能を示す。

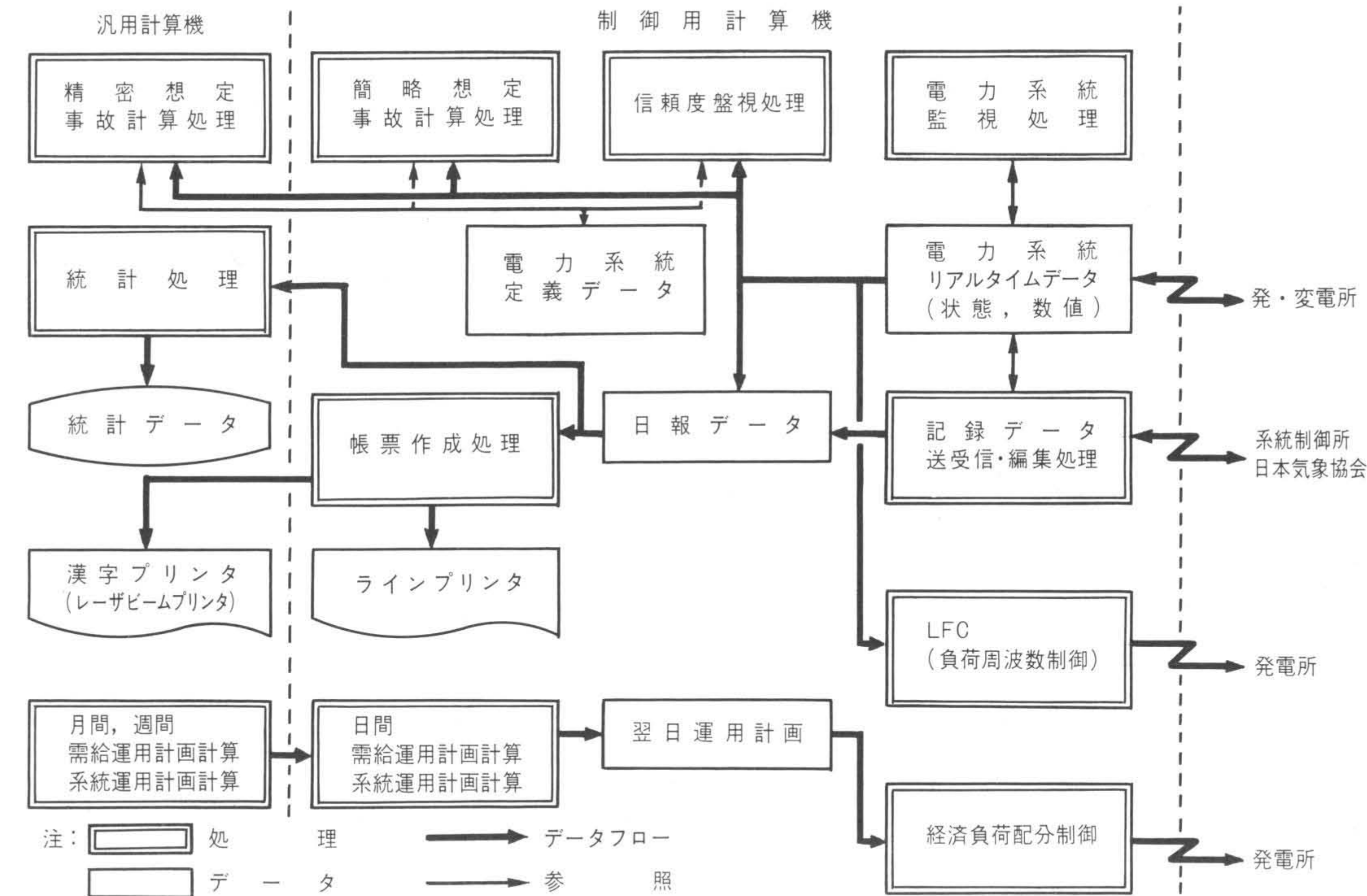
	機器名	数量	仕 様	機 能		機器名	数量	仕 様	機 能
汎 用 シ ス テ ム	中央処理装置	1 台	形名：HITAC M-160H 主記憶容量：2Mバイト チャンネル数：3チャンネル	●運用計画、統計、ソフトウェア開発などのバッチ業務を分担。 ●情報システム室との計算機連係	制 御 用 シ ス テ ム	CRT表示装置	6 台	表示色・文字数：7色、 4,032字 表示ブラウン管：20inカラー 任意画素：1,024種 入力装置：ライトペン、 キーボード	●ライトペンを活用した対話処理による、データの入力と計算結果の出力
	磁気ディスク記憶装置	2 台	可動バック磁気ディスク 記憶容量：400Mバイト 平均シーク時間：25ms	●プログラム及びデータを収納 ●ソースライブラリの履歴管理（システムのカードレス化）		CRTハードコピー	1 台	コピー速度：18秒/枚 サイズ：180mm×127mm	●CRT画面のコピー
	漢字プリンタ	1 台	レーザービーム電子写真方式 印刷速度：2,730行/分 収容文字数：8,000字	●運用計画、記録、統計などの結果を漢字使用書式付フォーマットやグラフ形式で出力		ラインプリンタ	2 台	印字速度：770行/分 文字種類：128種 最大印字数：132字/行	●計算結果の印字出力 ●ソフトウェア開発、メンテナンス時のリスト出力
	カード読取装置	1 台	読取速度：400枚/分	●ソースプログラム、データカードの入力		カード読取装置	1 台	読取速度：400枚/分	●ソースプログラム、データカードの入力
	カードせん孔機	1 台	オフライン手動形111文字（仮名付）	●プログラム及びデータカードのパンチ（制御用と共用）		監視制御卓	3 卓	操作・表示パネル、CRTキーボード、電話操作パネル付	●監視・制御などの当日運用業務
						運用計画卓	1 卓	操作、表示パネルCRTキーボード付	●計画業務、統計業務及びシステムメンテナンス
制 御 用 シ ス テ ム	中央処理装置	2 台	形名HIDIC V90/50 マルチプロセッサ方式 主記憶容量：2Mバイト 語長：32ビット	●制御、監視、記録などのオンラインリアルタイム処理業務を分担 ●2台の計算機を通常は業務分担させ、1台停止時は全業務を実施させるロードシェアデュプレックス構成	ス テ ム	DX-I/O （データ交換 入出力装置）	2 組み	伝送速度：I：I CDT用 600bps I：NCDT用 4,800bps 受信用 2 系列化、送信用 1 系列	●CPUとCDT間のデータ交換
	磁気ディスク記憶装置	2組み （4 台）	固定バック磁気ディスク 記憶容量：37.4Mバイト 平均シーク時間：25ms	●プログラム及びデータを収納		プロセス入出力装置	1 組み	DI（デジタル入力） DO（デジタル出力） AI（アナログ入力） AO（アナログ出力）	●接点及びアナログ情報の入出力
	フロッピーディスク装置	1 台	記憶容量：985kバイト 2ドライブ	●ソースプログラムの保存管理 ●ソフトウェア開発、メンテナンス ●システムのカードレス化		通信制御装置	1 組み	ベーシック手順用： 1,200bps ハイレベル手順用： 4,800bps	●系統制御所、気象協会とのメッセージ伝送用通信制御装置
	コンソール・CRT	1 台	表字文字：1,920 表示ブラウン：12in、モノクローム 文字種類：158種	●対話処理によるプログラム開発とシステムメンテナンス		電源分電盤	1 組み （2系統）	入力：3φ200V、出力：1φ100V、200V 受電容量：23.4kVA、 53.5kVA 順投分電回路 2 系統実装	●HITAC M-160H、H-V90/Aシステム用電源装置

数時点で最大6時間先までの需要予想に基づき火力出力を5分ごとに計算する。

この計算結果は長期EDC(Economic Load Dispatching Control：経済負荷配分制御)としてベース指令値の設定に利用される。

(c) 一方、前日予想された需要予想結果である需要予想基

準値は、現実の需要変動と異なるケースがある。このような場合5分先の需要を正確に予想し、これを先行したベース指令値とするため、適応的時系列予測方式³⁾を用いて、予想需要を現実の需要変動に合致するよう修正している。図7(a)、(b)は前日の需要予想基準値と修正後の5分先需要予測値を示し、自乗平均平方根が239MWから55MWに改善さ



れていることを示している。

(d) 5分ごとに5分先の需要を予想し、火力発電機の応答速度、燃料消費量を考慮して長期EDC出力を修正し、先行制御指令として出力する。これが図8に示す短期EDC指令である。

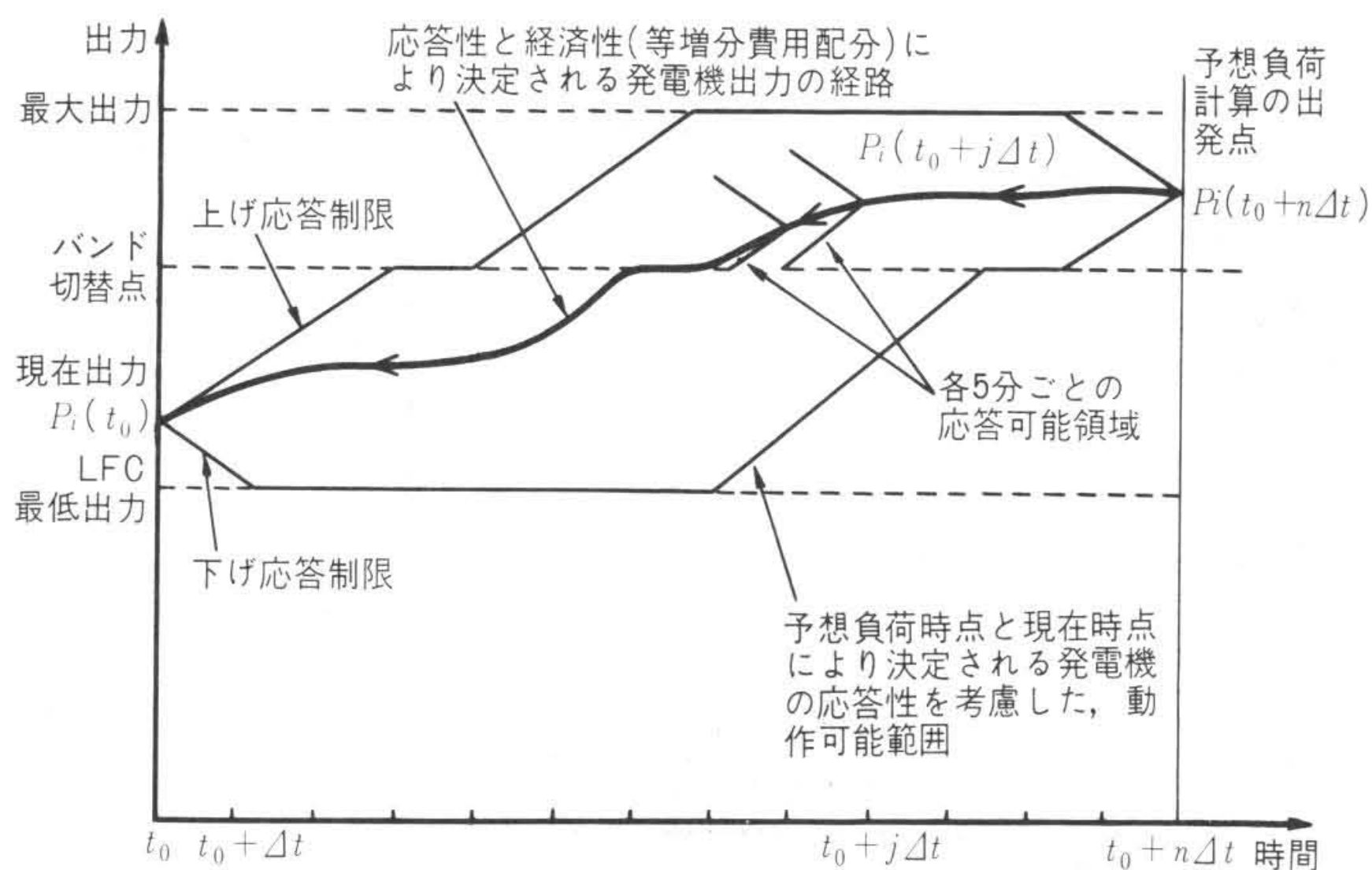


図6 発電機の応答性を考慮した火力機負荷配分 先行時点の出力に応答速度の制限を守りながらたどり着けるように、後進形で発電出力経路を定める(参考文献3)参照)。

(e) 周波数変動、連系線潮流の変動に対しては、図8に示すフィードバック制御であるLFC(Load Frequency Control: 負荷周波数制御)を実施している。制御モードとしてはFFC(Flat Frequency Control), FTC(Flat Tie line Control), TBC(Tie line Bias Control)があり、それに加えて時差補正、系統分離時のLFC機能ももっている。

旧システムでは、LFCをアナログ装置で実施していたが、今回のデジタル化により、長期EDCから短期EDC, LFCの一貫制御を可能にした。

(3) 想定事故計算

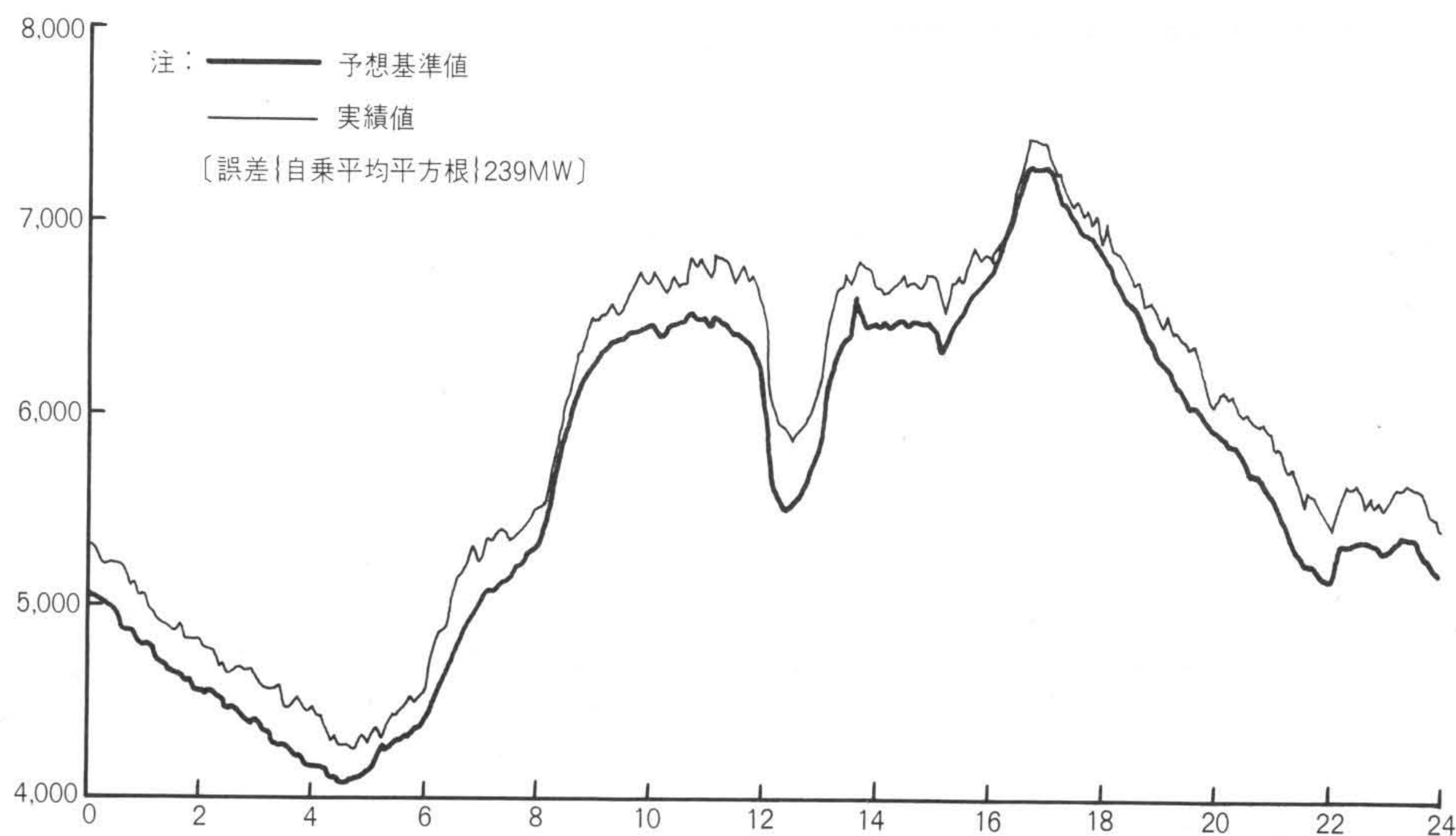
想定事故計算は、系統運用計画計算で用いる潮流計算をベースとして、想定事故に対応していかに系統の状態が変化するか、安定性は保たれるかなどをチェックする機能であり、次の3種類の計算から成る。

(a) 信頼度監視

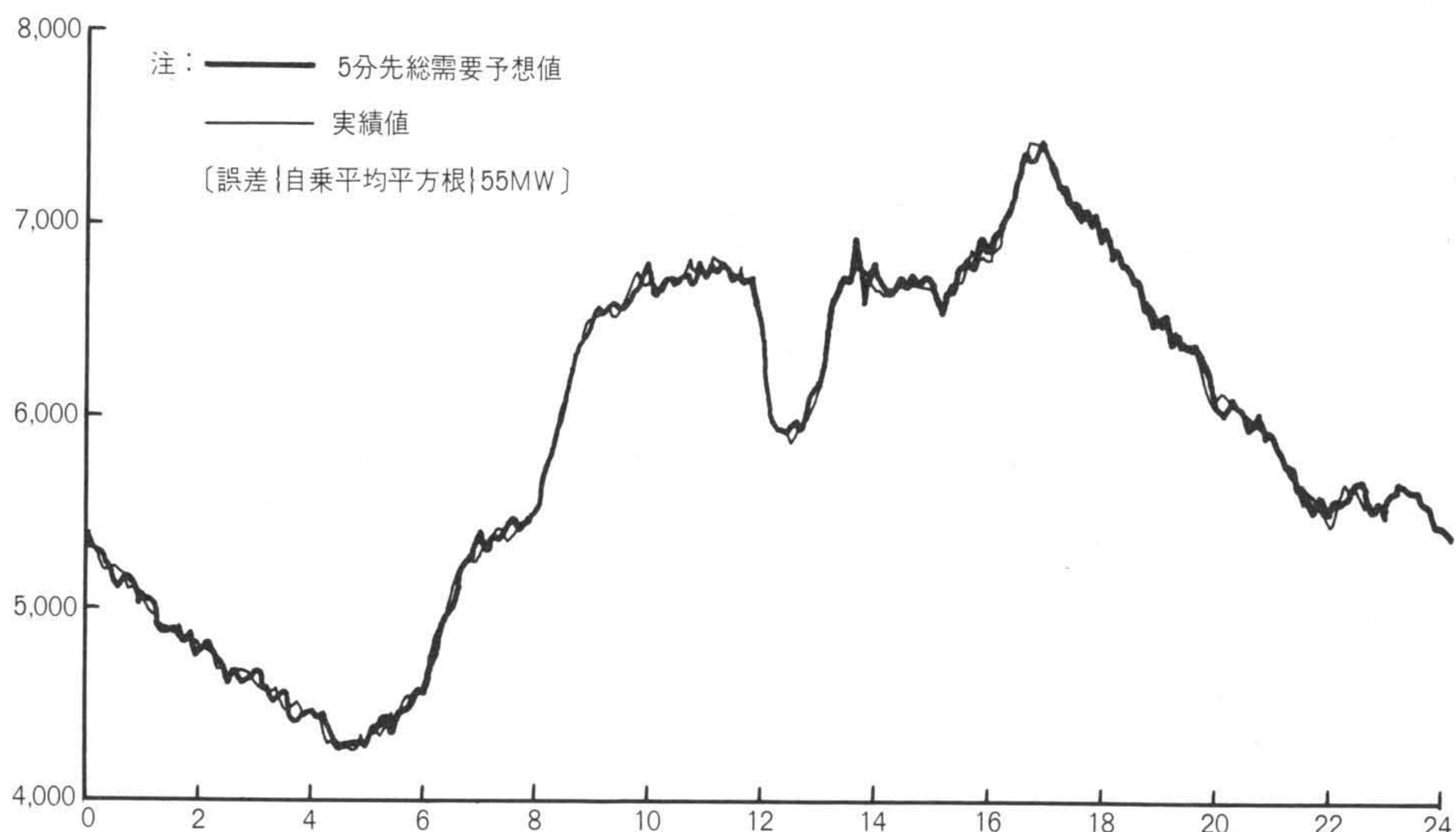
30分ごとにあらかじめ設定した想定事故に対し潮流計算(DCフロー法)を実施し、次に示す事故波及防止リレーの動作模擬を行ない、リレー動作と周波数計算を繰り返すことにより最終的な系統状態に至るまで計算を実施し、その間に発生する系統の動き、異常状態をオペレータに知らせる。

(i) 過負荷検出リレー(OL)

(ii) 事故波及未然防止リレー(SPC)



(a) 需要予想 (予想基準値)



(b) 需要予想 (5分先総需要予想値)

図7 需要予想 需要予想基準値及び5分先総需要予想値と実績との比較を示す。5分先総需要予想値は、適応的時系列予測により実績と良く一致しているのが分かる。

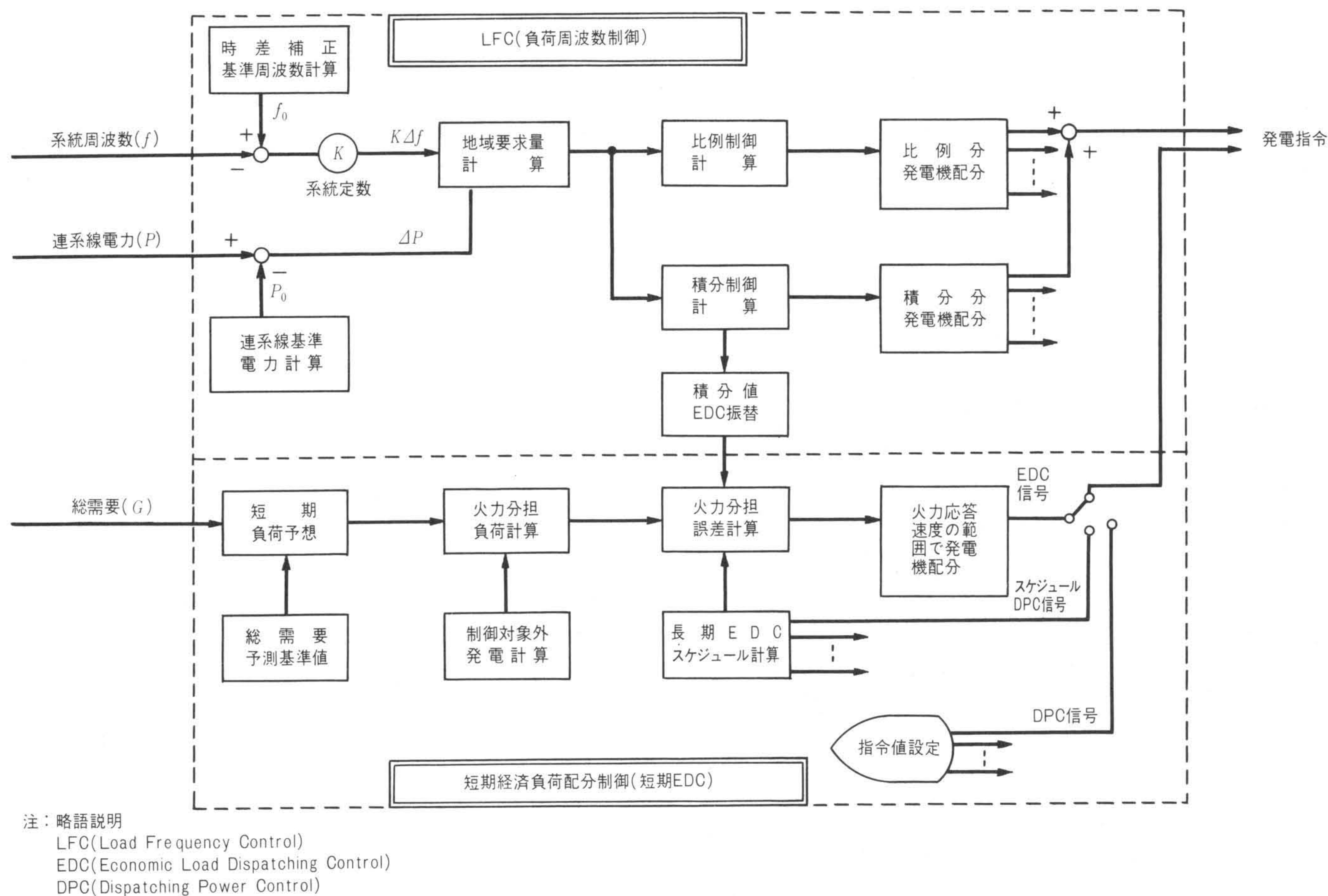


図8 負荷周波数制御及び短期経済負荷配分制御 負荷周波数制御はフィードバック制御、短期経済負荷配分制御は先行制御である。

(iii) ブロック制御事故波及未然防止装置(BSPC)

(iv) 周波数低下検出リレー(UF)

(v) 周波数上昇検出リレー(OF)

(b) 簡略想定事故計算

信頼度監視と同様、設定した事故に対する系統の動き、リレーの動作を潮流計算(DCフロー)をベースとして計算する。これは対話形により実施されるため、オペレータは任意の断面の系統状態の詳細を知ることができる。

(c) 精密想定事故計算

東北電力株式会社が系統計画及び運用検討に本店・支店で共通に使用している電力系統解析システム⁵⁾の一部のプログラムを導入し下記の計算モジュールを制御卓から対話形で使用できるようにした。計算の初期条件は、運用計画計算での任意の時点のデータ、保存データのいずれかから選択し、セットできる。

(i) 電圧潮流計算(悪条件対策付高速潮流計算法)⁶⁾

(ii) 過渡安定度計算(OL, SOR, ZR, HOC, UVR, UFRなどのリレー模擬を含む。)

(iii) 定態安定度計算⁷⁾(推移行列法及び ρ 法)

これら計算は特に新システムで強化された機能で、主に日勤の運用者により実施され、系統の作業停止や系統拡充時の運用計画に利用される。

4 結 言

東北電力株式会社の中央給電指令所自動化システムは、約2年半の開発、調整期間を経て、現在順調に稼動中である。汎用計算機と制御用計算機を組み合わせることにより、各々の長所を発揮した使いやすく、保守性に優れたシステムとなっている。

このシステムは既設システムをリプレースする形で設置したため、既設CDT(サイクリック情報伝送装置)とインターフェース、アナログLFC装置との切替え、約1箇月にわたる新旧両計算機システムの並行運転など、切替え上の問題点も開発途上で克服した。ソフトウェア面では、長期運用計画からLFC制御に至る一貫した経済負荷配分制御の確立、火力応答速度を考慮した発電機制御、過渡・定態安定度計算も含む運用計算の導入、保守用のデータベースゼネレータの導入など、最新のソフトウェア技術を適用している。

本システムは、今後の系統拡大、原子力導入などの変化にも十分対応できる能力を備えており、東北電力株式会社全体の電力系統の安定運用に大きく寄与するものと期待される。

終わりに、本システムに対して御協力、御指導をいただいた関係各位に対し厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 平河内, 外: 電力系統制御システムの高度化, 日立評論, 64, 417~422(昭57-6)
- 2) 機田: 負荷変動特性と発電機の応答性を考慮したオンライン火力機負荷配分法, 電気学会論文集, 56-B81(昭和56-11)
- 3) 河竹, 外: 適応的時系列予測方式, 電気学会論文集, 43-65(昭和43-8)
- 4) 久保木, 外: ループ送電系統における潮流制御最適化手法について, 電気学会論文集, 47-B45(昭和47-7)
- 5) 東北電力(株): 電力系統解析システム
- 6) 岩本, 外: 悪条件な電力系統に対する潮流計算法, 55-B14(昭和55-2)
- 7) T.Minagawa, et al.: Practical Assessment and Strategy for Improvement of Dynamic Performance of Power Systems, (CIGRE 26th Session 19.6, Group 32, No. 32-02)