

制御用計算機による全デジタル式 自動負荷調整システム

All Digital Economic Load Dispatching and Control System

三上彦三* 長廻圭介* 中野修一**
Hikoza Mikami Keisuke Nagasako Shuichi Nakano
平河内良樹** 坪井宏文**
Yoshiki Hirakoji Hirofumi Tsuboi

要 旨

制御用計算機の急速な進歩と高信頼度化により、これを電力系統運用自動化に適用する試みが各電力会社において行なわれている。

このたび日立製作所は中国電力株式会社との共同研究により、わが国では初めての全デジタル式自動負荷調整システムを完成し、実運用にはいった。

ここではシステム構成、機器構成、対象業務の概要について述べる。

1. 緒 言

最近の電力系統は、ますます大規模、複雑化してきており、一方では電力の質的向上に対する要求がますます大きくなってきている。このため電力系統の運用に当たっては、合理的、経済的な運用と事故時の速応的判断処理が必要であり、信頼度の高い制御用電子計算機を使用した総合自動化が要求されている。たとえば安定した電力を供給するためには、電力需要の増加に伴って発電量の調整容量を増加していく必要があるが、火力の発電容量と水力の発電容量の比率を比べると、火力のほうが近年ますます高まってきており、電力調整の主体も、しだいに火力発電所へと移ってきている。火力発電所は、ボイラ、タービンおよび自動燃焼系などの特性から、水力発電所に比べて、出力の変化幅、変化速度にきびしい制約があり負荷制御を行なうにはこれらの制約条件をじゅうぶん考慮しなければならない。そのうえで、出力変化の容易な水力発電所と協調制御を行なう必要がある。

このため、常に現在までの制御経過を記憶しながら、それに基づいた最適解を求める必要があり、従来のアナログ形の制御装置あるいはオペレータによる手動運用では、しだいに困難になってきている。

今回、これらの負荷調整はもちろん、オフライン ELD、電圧無効電力制御などを総合的に制御用計算機で処理することが計画された。中国電力株式会社と日立製作所との共同研究により、HITAC-7250 を使用した全デジタル式負荷調整システムが完成し、運用にはいったのでその概要について述べる。

2. 自動負荷制御システムの構成と機器概要

2.1 システム構成

図1に自動負荷制御システムの構成を示す。

大別すると人間の頭脳のように電力系統の運用、操作を決定する機能をもった中央処理装置およびその補助を行なう周辺装置、中央給電指令所の諸設備と中央処理装置との結合を行ない、必要なデータの授受を行なうプロセス入出力装置、デジタルサイクリックテレメータで送られてくる電力系統諸情報の整理を行なうデータ交換装置(既設)、これと中央処理装置とを結合し、必要情報の授受を行なう通信制御装置、システム全体を監視、制御する給電用コンソール、計算機からオペレータへの指示に用いるロギングタイプライタ、

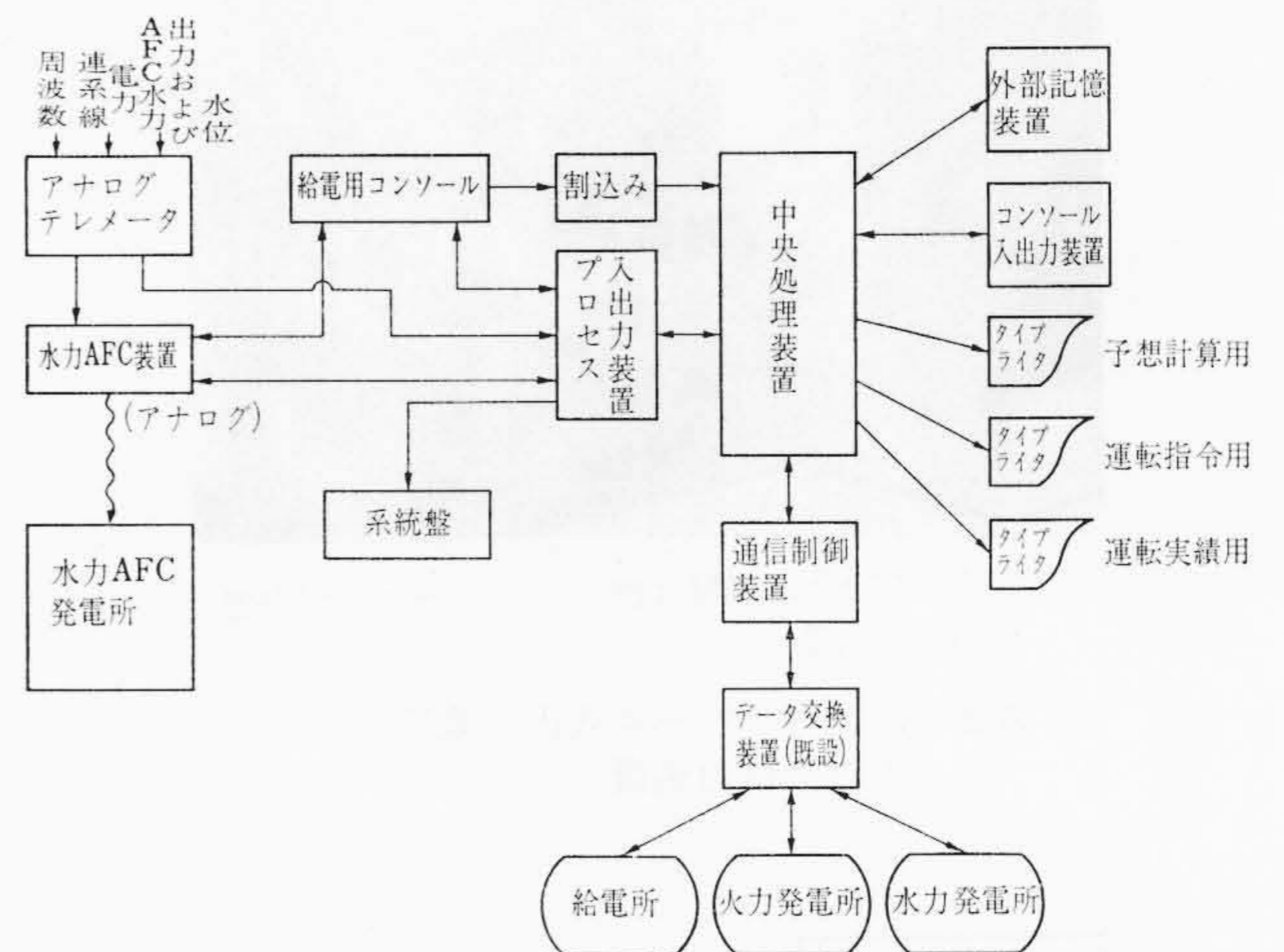


図1 自動負荷制御システム構成図

計算機の保守時およびダウン時のバックアップ機能を有するアナログ AFC 装置から成っている。

本システムにより直接制御される発電所数は、当面、水力発電所5個所、揚水発電所1個所、火力発電所4個所である。

このうちの水力5個所については、アナログ AFC 装置によっても制御可能となっている。

直接制御されない火力に対しては、中央処理装置による経済負荷配分結果が支店給電所まで自動的に伝送され、そこから各火力発電所に電話指令される。

本システムの特長は次のとおりである。

- (1) 全デジタルの制御を行なっている。
- (2) 火力発電所の制御を行なう場合、出力変更上の制約条件を考慮して円滑に出力を調整する手法(先行予測制御手法)を取り入れている。
- (3) 水火力の負荷分担の協調をじゅうぶん考慮している。
- (4) 水力の運用を逆調整池水位制御、貯水使用水量制御を含めてすべて自動化している。
- (5) オンライン制御のあき時間にオフライン計算(翌日発電予想計算)を行ない、その結果をベースとして取り入れたオンライン制御を行なっている。
- (6) システムと運用者との情報交換が確実、容易に行なわれるようにしてある。

* 中国電力株式会社

** 日立製作所大みか工場

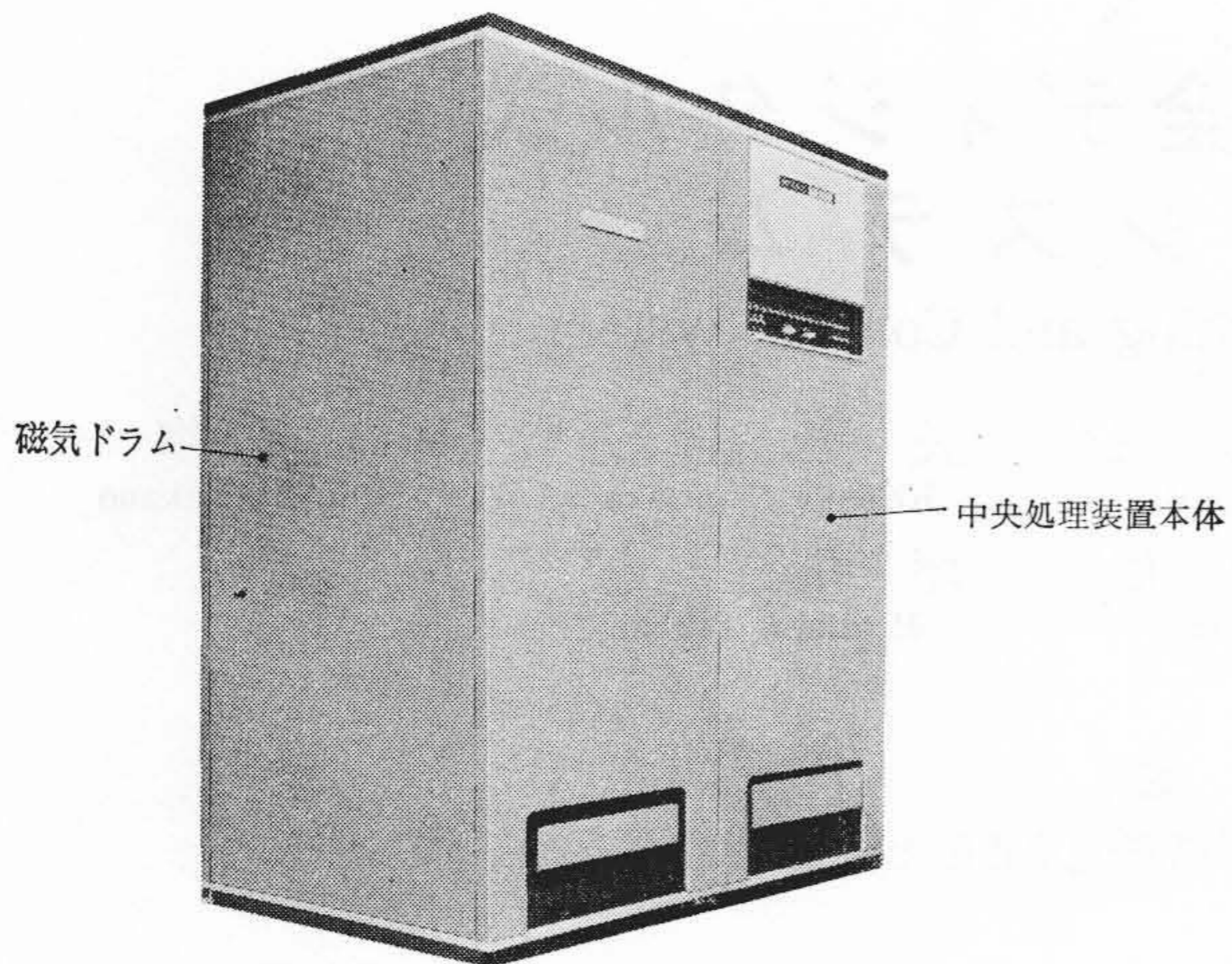


図2(a) 本体および磁気ドラム

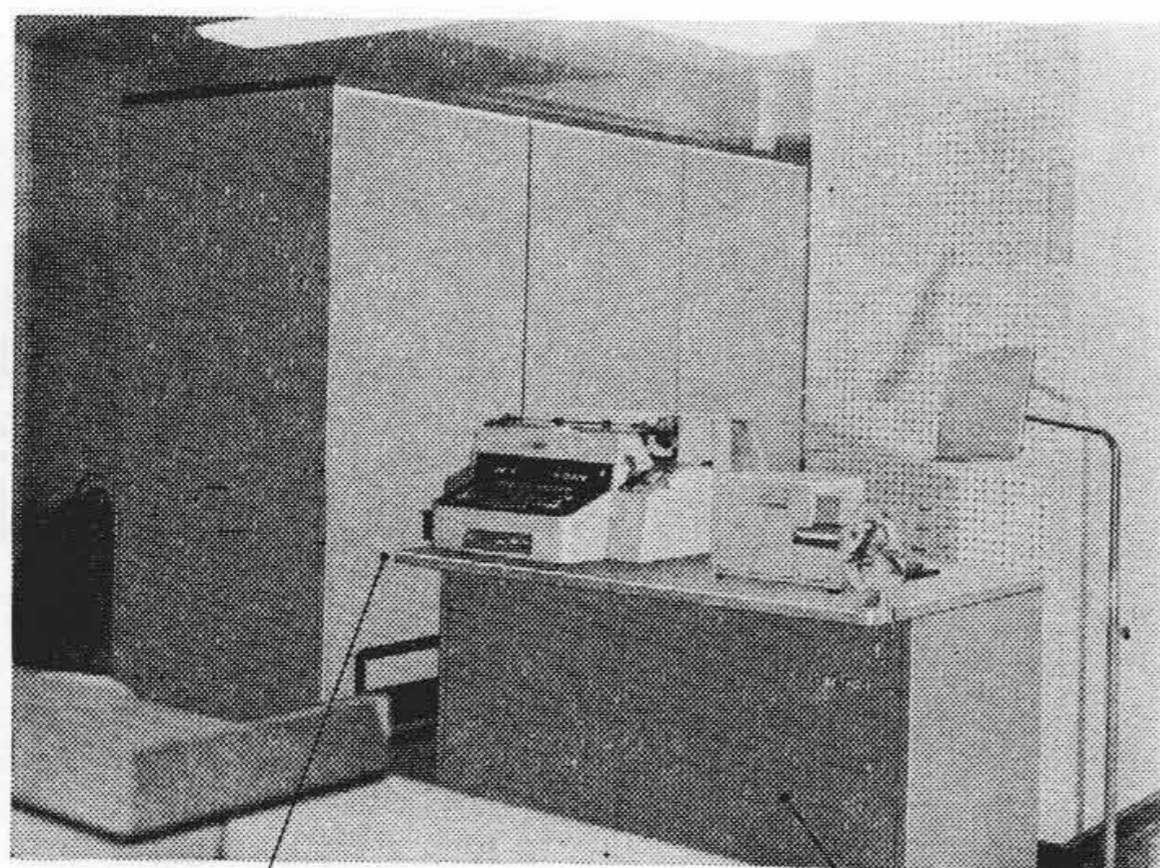


図2(b) コンソール入出力装置およびプロセス入出力装置

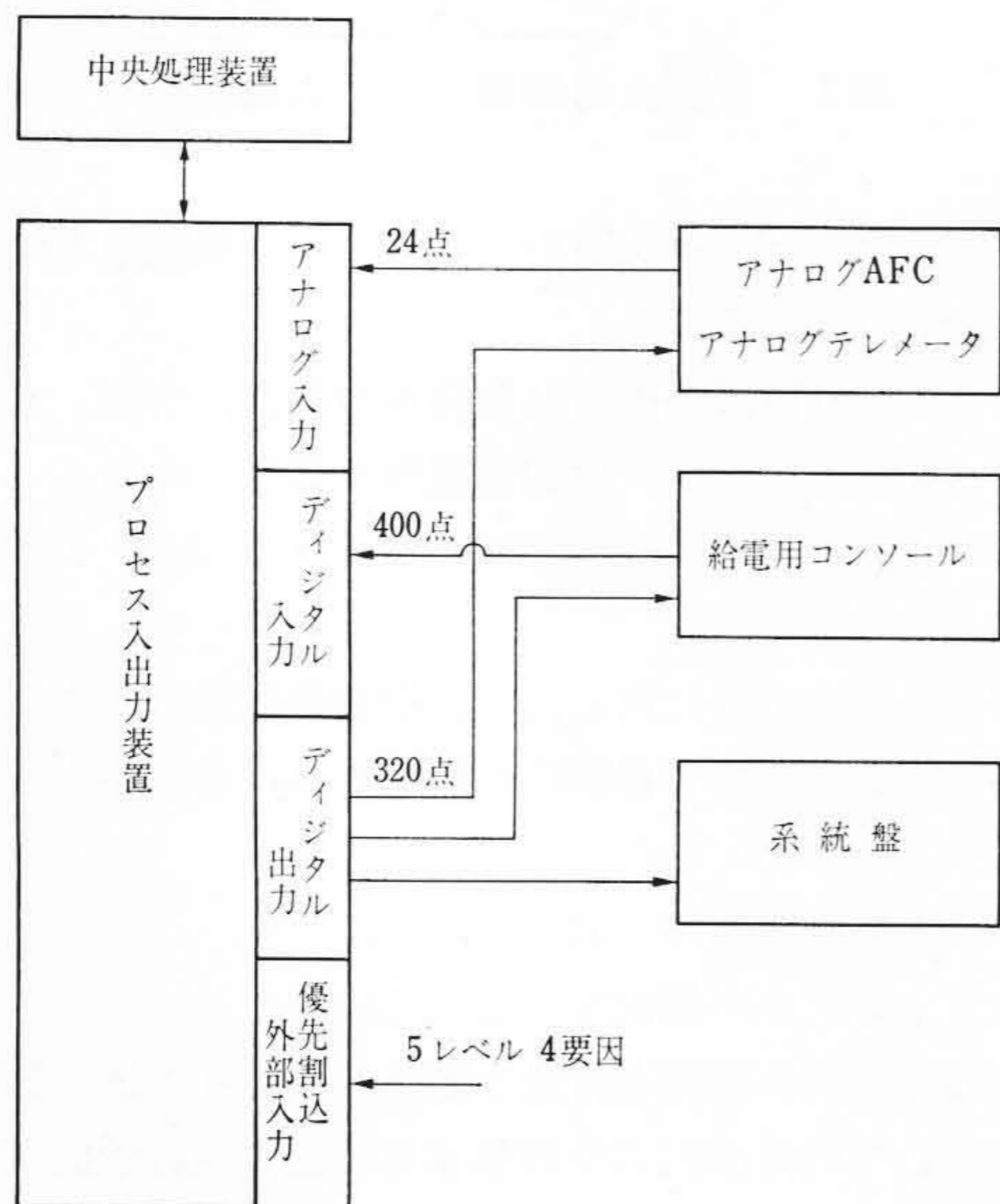


図3 プロセス入出力装置の構成

計算機室には、中央処理装置および周辺装置、プロセス入出力装置、通信制御装置が設置されている。

給電用コンソールは中央給電指令所に、データ交換装置（既設）はテレメータ室に設置され、ケーブルにより中央処理装置と結合されている。図2は中央処理装置、コンソール入出力装置およびプロセス入出力装置（通信制御装置を含む）の全景を示したものである。

表1 中央処理装置および周辺装置の役割と機能

装置	役割	機能
中央処理装置 (H-7250-16)	計算機本体で計算システムを中心となって演算制御を行なう部分でIC化されており、小形、高速、高信頼度の制御用計算機である。	内部記憶容量(コア) 16,384 語 サイクルタイム 2 μ s 演算速度 加減 4.5 μ s 乗算 22.5 μ s 優先割込 16 レベル
外部記憶装置 (H-7511-1) 磁気ドラム	プログラム・データなどの保存用として処理装置用コアメモリの補助を行なう。	記憶容量 95,904語×1台 平均アクセスタイム 8.3 ms 転送速度 40 μ s/語
コンソール入出力装置 (H-7011)	計算機の起動・停止・プログラムの設定を行なう。常時は予想計算用データのテープ作成、計算機の設定などを行なう。	H-7011 フレキシ 印字 450字/min テープ読取 450字/min さん孔 450字/min H-7011光電式テープ読取機 読取速度 200字/s

2.1.1 中央処理装置および周辺装置

表1は中央処理装置と周辺装置の役割および機能を示したものである。

中央処理装置の選択に当たっては、汎用計算機、制御用計算機の2機種について主として下記の項目につき比較検討し、制御用計算機 HITAC-7250 を採用した。

- (1) 対象業務の実施に必要な高速処理能力、特に割込機能が充実していること。
- (2) 連続運転に耐えうる信頼度を有すること。
- (3) オンライン制御に必要なソフトウェアシステムの開発が容易なこと。
- (4) 将来の対象業務増加に対するシステム拡張が容易なこと。
- (5) 中国電力株式会社の総合機械化計画との関連で、将来、事務用計算機 HITAC-8500 とデータ授受ができること。

2.1.2 プロセス入出力装置

プロセス入出力装置は中央処理装置と給電用コンソール、水力 AFC 装置（アナログ AFC 装置）、系統盤との間に立って両者の情報、信号を結合するための装置で、アナログ入力 (AI)、デジタル入力 (DI)、デジタル出力 (DO) の三つの情報を送受し、中央処理装置に対しては 30K バイト/秒 (1 バイトは 8 ビット) の転送速度で情報を送受するものである。

図3はプロセス入出力装置の構成を示したもので、おもな仕様は次のとおりである。

- (1) アナログ入力 (AI)
入力 DC0~5V
走査速度 最高 5,000 点/秒
AD速度 50 μ s/点、逐次比較形
- (2) デジタル入力 (DI)
入力 リレー接点
走査速度 最高 10,000×16 点/秒
- (3) デジタル出力 (DO)
出力 半導体接点出力
送出速度 最高 10,000×16 点/秒

本システムではアナログ出力(AO)は付加されていない。これは既設アナログ AFC との結合がACレベルで行なわれているため、デジタル出力(DO)を受けて外部にラダータイプDAを設置し、その電源は AFC 装置から供給するようにしているためである。

2.1.3 通信制御装置

通信制御装置は、既設のデータ交換装置と中央処理装置との間に立って、両者の情報、信号を結合するための装置である。通信

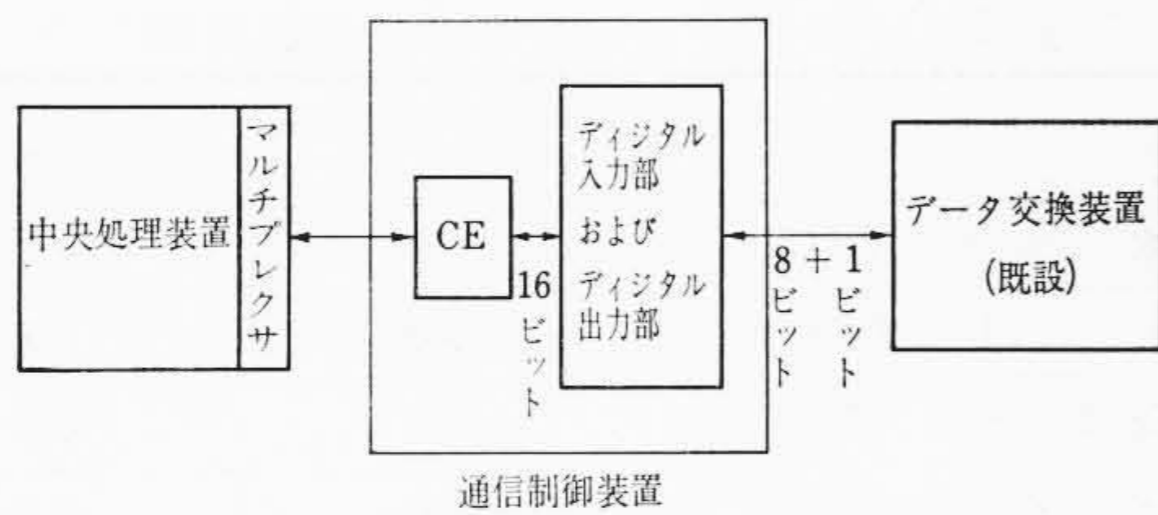


図4 通信制御装置データ授受方式

2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	P
1	1	0	1	1	1	1	1	0
コントロール	エラーフラグ	テレメータまたはスーパー情報は	±					パリティ

(イ) スタートコード

2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	P
1	1	0	0	1	1	0	0	1
コントロール	エラーフラグ	テレメータまたはスーパー情報は	±					パリティ

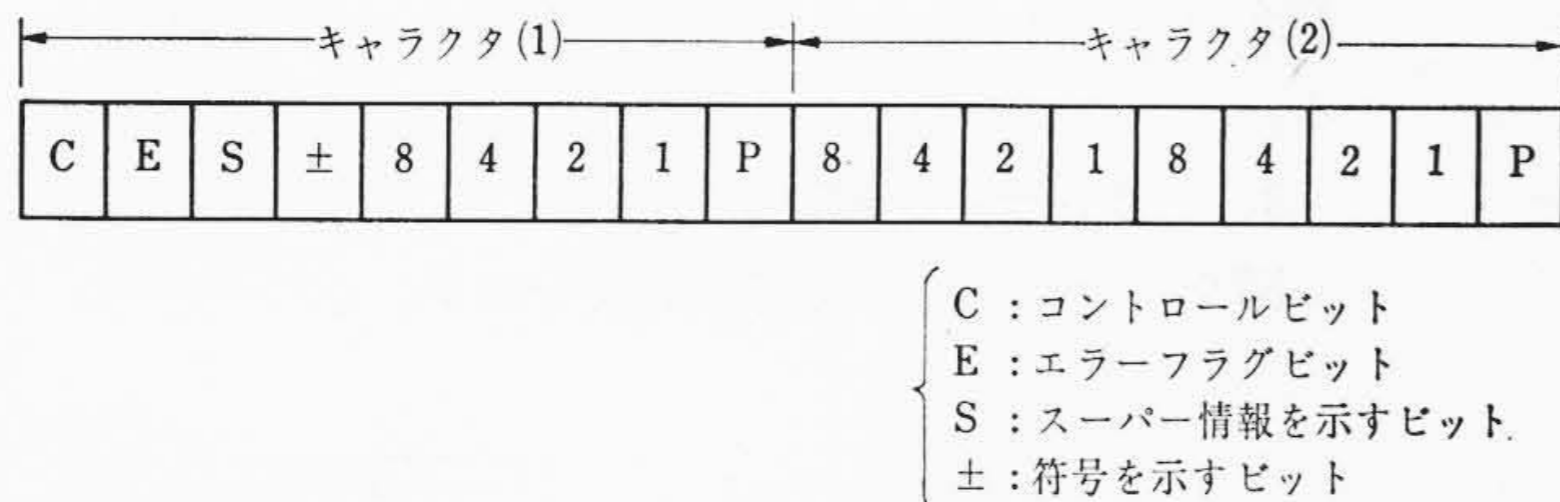
(ロ) エンドコード

2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	P
コントロール	エラーフラグ	スーパー情報は	±	8	4	2	1	パリティ

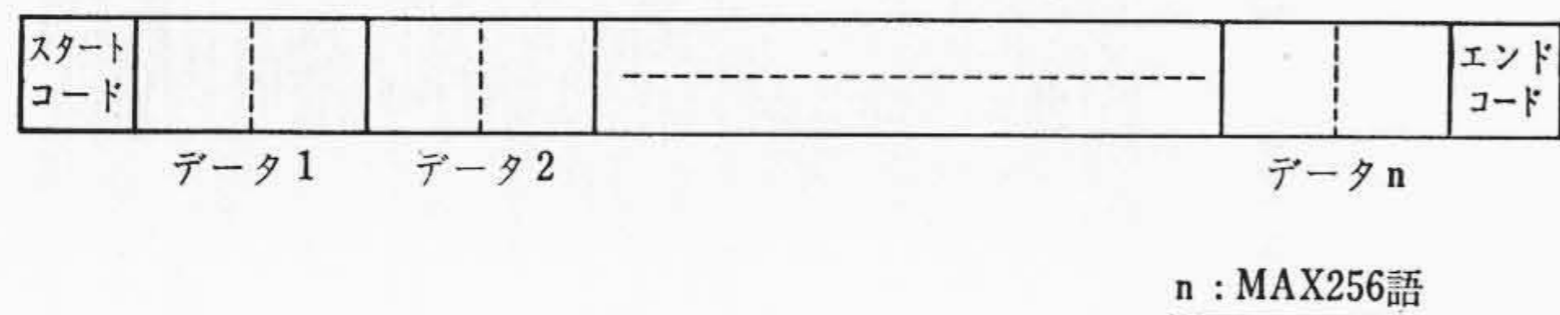
(ハ) データコード

(通信制御装置データ授受方式)

図5 コード構成およびデータ構成



(イ) 1語の構成



(ロ) データブロックの構成

(通信制御装置データ授受方式)

図6 語構成およびデータブロック構成

制御装置の設置場所 (3階) と、データ交換装置の設置場所 (2階) との距離が比較的近いので信号伝送回線を介さないで直接結合されている。

図4は通信制御装置と中央処理装置、データ交換装置間のデータ授受方式を示したものである。通信制御装置は中央処理装置からながめると、デジタル入力、デジタル出力となるようにして標準のシステムソフトの改造なしにプログラムできるようにしてある。

通信制御装置とデータ交換装置間のデータ転送は、最高256語

表2 給電用コンソールの機能

項目	機能	内容
総合表示操作部	負荷制御システム全般に関する状態表示、警報、制御指令の設定を行なう。	装置、制御状態の異常警報 計算機制御の起動停止 制御方法の切換 (TBC, FTC, FFC, 比例分離など) 各種プログラムの起動停止 (予想計算, モニタ, 融通電力量制御など)
所別表示操作部	各発電所の制御状態の表示、警報制御指令の表示設定を行なう。	発電所並列状況表示 制御系異常表示 AFC, ELD, 水位制御, 水量制御の開始停止 水力発電所の並解列指令の表示, 指令設定 火力発電所の出力変更指令の表示
融通設定部	融通電力設定値の表示, 設定, 異常警報を行なう。	融通電力設定値の表示, 自動設定, 手動設定の切換 融通テレメータの異常警報 融通電力のMW, MWH偏差過大警報
データ呼出部	オンラインに必要なデータの現在値および指令(予想)値を表示器に選択表示する。	発電所出力, 指令出力 並列台数 逆調整池実水位, 予想水位 連系線, 現在潮流, スケジュール潮流 総需要などの現在値, 30分さき予想値
修正データ設定部	予想計算の修正用データを入力する。	データ種別, 発電所などのコード(2けた)データ(4けた), データ設定開始時刻および終了時刻
アナログAFC部	既設のアナログAFC装置の操作を行なう。	水力5箇所については比例または分離制御が可能 計算機制御システム異常時のバックアップ



図7 給電用コンソール

まで可能で、スタートコードによりデータ転送が開始され、エンドコード判定によりデータ転送を終了する。

データ転送速度は1,200ボー相当で図4に示すように1キャラクタずつ (1ビットパリティを付加) の並列転送としてある。

直接結合したために、通常設けられる並一直変換器, 直一並変換器を省略している。スタートコード, エンドコードおよびデータの構成を図5に示す。2キャラクタで1語を構成し1語が1データに相当する。これらのデータの開始としてスタートコードが付加され、データの終わりとしてエンドコードが付加される。図6は1データの構成および1回に転送されるデータブロックの構成を示したものである。

2.1.4 給電用コンソール

給電用コンソールは、負荷制御関係の業務を統括制御, 監視するための装置で給電指令者は給電用コンソールを通して計算機システムと情報の交換を行なう。特に取り扱いの容易さ, 確実さに主眼が置かれている。

表2は給電用コンソールの機能の概要を、図7は中央給電指令

表3 タイプライタの機能概要

	目的	内容
タイプライタ 1	指令記録 現状問合せ 予測問合せ	AFC ON, OFF, ELD ON, OFF 出力変更, 水位制御 ON, OFF などの 制御切換記録 発電端総需要, 水火力出力, AFC, ELD ON, OFF 状況 逆調水位などの現在値 発電端総需要, 運転予備力などの予測値 出力スケジュール値
タイプライタ 2	定時印字 系統異常モニタ	発電端総需要, スケジュール値, AR 平 均値, 標準偏差, 出力スケジュール値, 水位など 周波数, 融通電力現在値
タイプライタ 3	予想日誌作成	予想計算結果の印字

所に設置された給電用コンソールを示したものである。

2.1.5 ロギングタイプライタ

データロギング, 指令記録, 指令者による問合せなどの応答装置として, タイプライタが3台設けられている。

各タイプライタの機能は表3に示すとおりである。

2.1.6 アナログAFC装置

従来から設置されていたアナログ形のAFC装置は, 計算機保守時またはダウン時のバックアップとして用いられている。

計算機制御によるAFC時には, プロセス入出力のデジタル出力をラダータイプのDAを介してアナログAFCに結合し計算機から直接目標出力を設定している。

バックアップ時には出力基準値を, 給電用コンソールのアナログAFC部に設けたポテンショメータから与える。切換に当た

表4 プログラム容量および処理時間

業務	プログラム容量 (W)	処理時間 (s) (1サンプルあたり)
水力AFC	700	0.1~0.2
火力AFC	1,000	0.1~0.2
先行予測制御	3,200	0.5~1.0
水位制御	300	0.1~0.2
水量制御	200	0.1~0.2
融通電力量制御	300	0.1~0.2
水力発電所起動停止	1,600	0.1~0.2
無効電力制御	200	0.1 以内
データロギング	1,400	0.1~0.2
データ入出力 フィルタリング	3,600	0.5~1.5
融通ベース自動設定	300	0.1~0.2
給電用コンソール制御	4,000	0.1~1.0
印字	3,800	0.1~0.2 (ただし印字時間含まず)
オンライン データ システム	予 想 計 算 21,500 オンライン, オフライン データ定数 31,000 PMSシステム プログラム 20,500	30分~1時間 (ただし印字時間含まず)

ては, 系統にじょう乱を発生しないように初期値自動設定をするなど考慮されている。

3. 自動負荷制御システムの対象業務

自動負荷制御システムの対象業務は, 大別してオンライン業務とオフライン業務から成っており, 計算機は, これを多重処理している。それぞれのサンプリング制御の関係を示したのが図8である。

またそれらのプログラムの容量および処理時間は, 表4のとおりである。

これらはすべて磁気ドラムに記憶されており, 必要の都度磁気ドラムからコアに呼び出されて計算処理される。

3.1 オンライン業務

図9にオンライン業務の構成を示す。

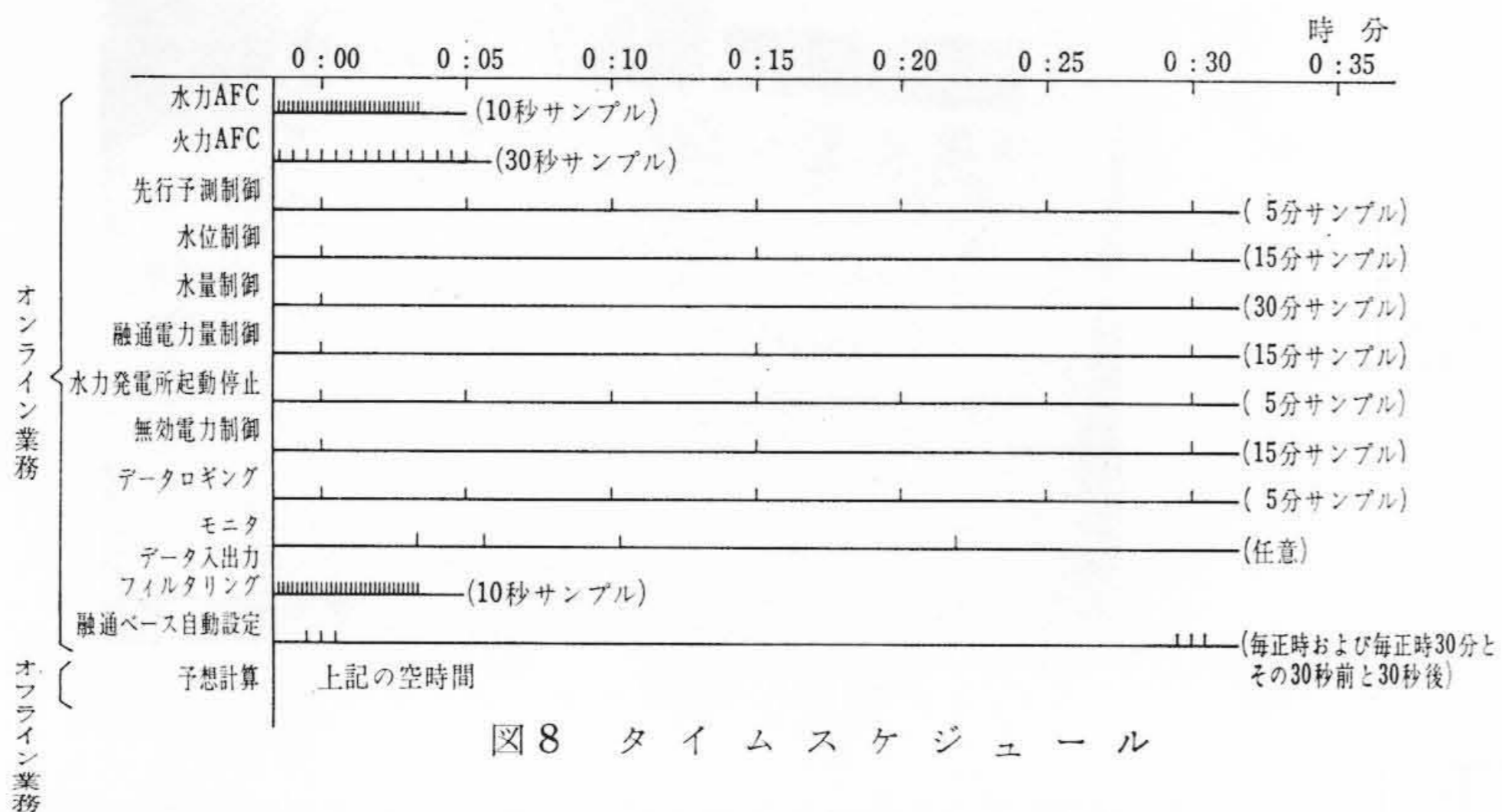


図8 タイムスケジュール

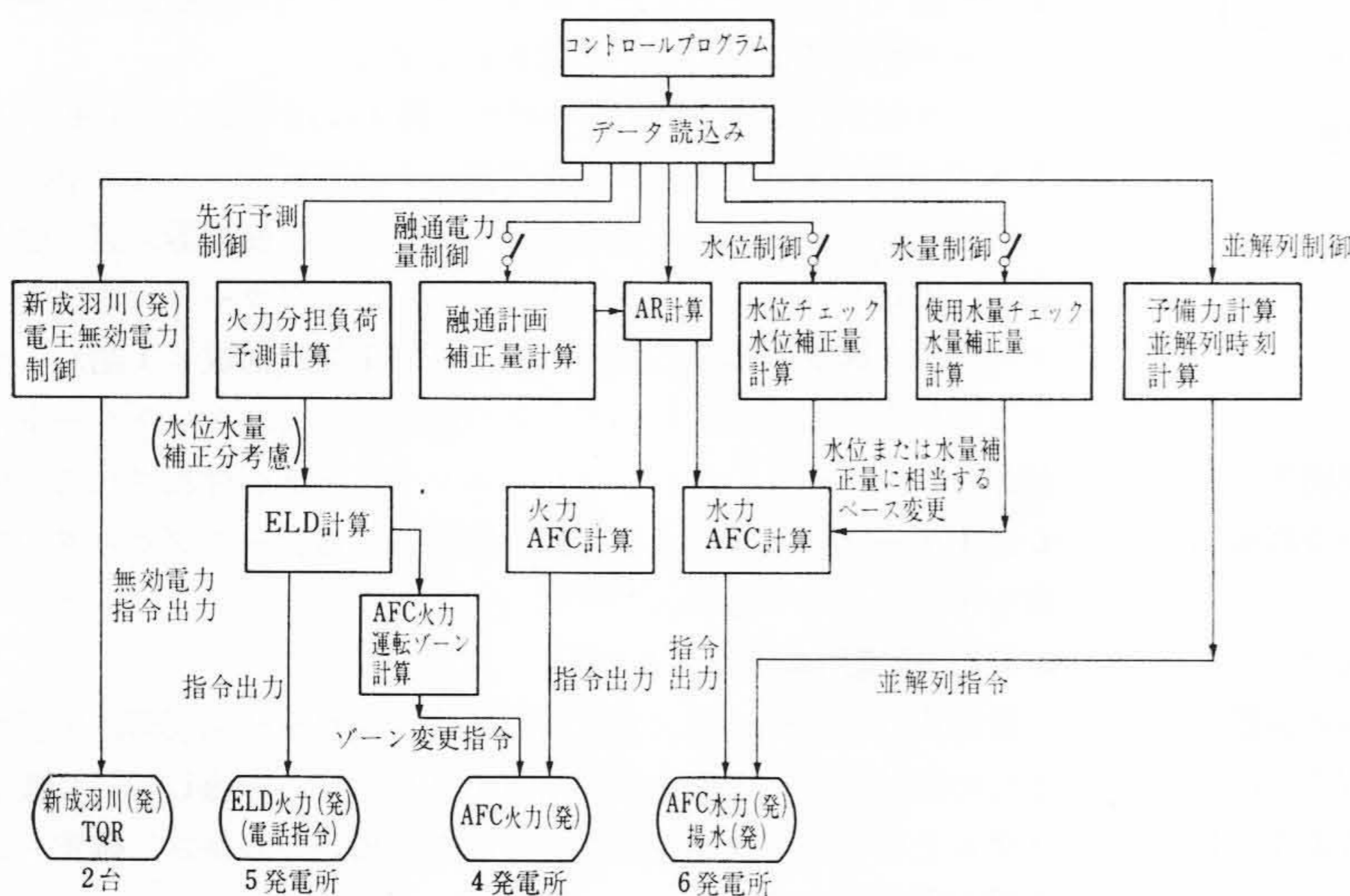
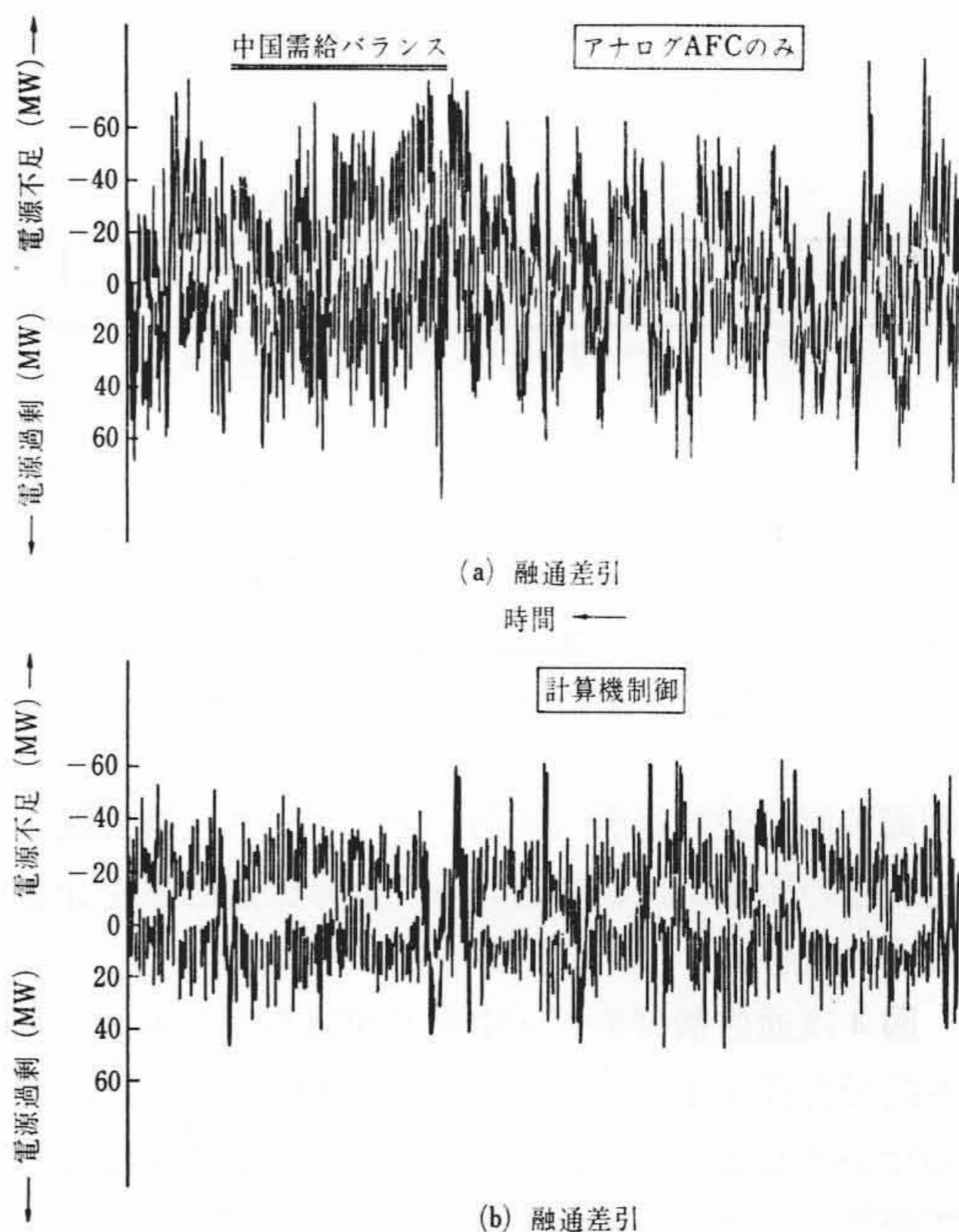


図9 オンライン業務構成



(融通差引の仕上り)

図10 系統試験例

本図に従って対象業務の概要を述べる。

3.1.1 水火力 AFC

AFC 計算は、従来のアナログ AFC 装置で行なういわば単能計算ではなく、条件により変化のある運転を行なうことができる。

- (1) ベース変更に伴う運転ゾーンの変更
- (2) 逆調整池水位制御または貯水池使用水量制御によるベースの変更
- (3) 融通電力量制御による融通ベースの変更
- (4) 予備力計算による水力並解列

水火力発電所で分担すべきAR（系統要求量）の計算には、それぞれ特性の合致したフィルタおよび不感帯を設けているので、水火力発電所をうまく協調させて AFC を行なうことができる。

指令出力の送出間隔は、水火力別々に設定可能で10, 30, 60, 120秒の内から選ぶことができる。

図10はAFC制御によって制御された需給バランス(融通差引)の仕上がり結果の一例を示したものである。(a)は従来のアナログAFC装置によって制御された例、(b)は計算機による水火力AFC制御を行なった例である。アナログAFCのみのときは、±50MWの変動範囲であったものが、計算機制御では、±30MWの変動範囲に収まっていることがわかる。

アナログAFC装置により制御できるのは、水力発電所のみであり、この水力発電所のみで負荷変動の長周期成分、短周期成分を分担したために調整能力が不足し、(a)のように仕上がりが悪くなっているのに対して、計算機によるAFCの場合には、水力発電所および火力発電所の両方で制御でき、このうち火力発電所は、負荷変動の長周期成分を分担し、水力発電所は負荷変動の短周期成分を分担し、水力発電所、火力発電所を総合した調整能力が増加するので(b)のように良好な仕上がり結果が得られている。

3.1.2 火力発電所の先行予測制御方式

火力発電所の出力変更時には、バーナ、ミルなどの調整に長時間を要するため、あらかじめ運転ゾーンの変更に伴う準備を先行させて行なうものである。これを行なうためには、負荷の予測を行なう必要があるが、電力系統の日間の負荷変化、いわゆる非周期成分を解析すると基本的なパターンを基に成り立っており、大きな負荷変化の立ち上がり、立ち下りの時間はほぼ一定していることがわかる。したがって予想計算で得られる負荷の予想パターンをベースとし図11に示す方式により負荷を予測する。負荷の予想パターンは、次のようにしてあらかじめ前日に求められている。まず曜日別(月、土曜日、火～金曜日、日曜日)にあらかじめオンラインでデータを収集し、これを基本パターンとしてドラムに格納しておく。計算に当たっては磁気ドラムに格納されている基本パターンの中から翌日の曜日を判定して該当するパターンをコアにロードする。次いで翌日のピーク値を予想し、先にロードした

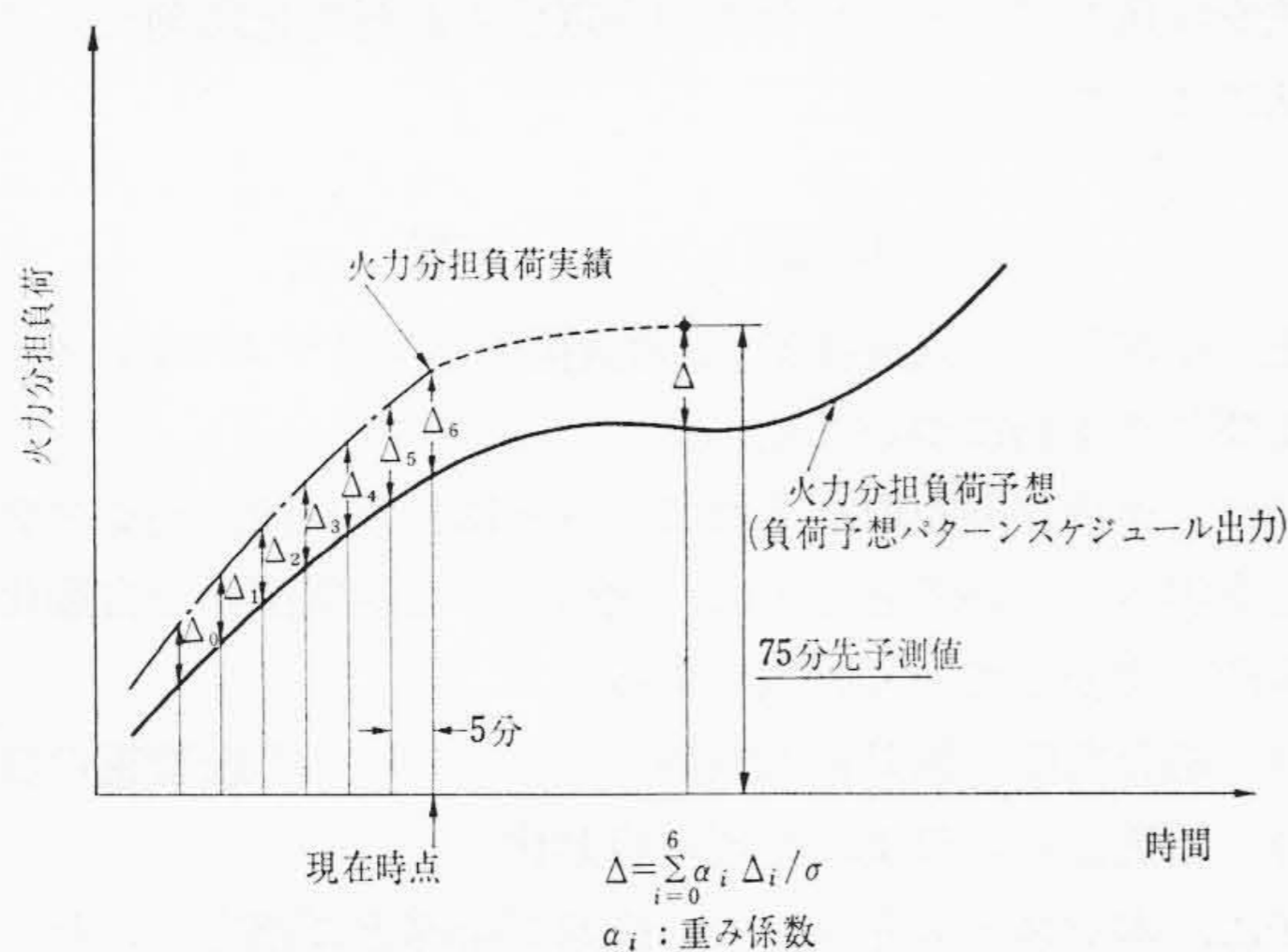


図11 負荷予測方式

パターンのピーク値が予想ピーク値に合致するように、下式により負荷を予想する。

$$PR(I) = PPR(I) \times \frac{\text{Max}\{PPR(I)\}}{PPF} \quad (I=1\sim 32)$$

ここで、PR(I): I時間帯の負荷予想値

PPR(I): I時間帯の基本パターン値

PPF: 予想ピーク値

この予想ピーク値は、下式により求められる。

$$PPF = PPA \times k_1 + k_2 + k_3(T_1 - T_2)$$

ここで、PPA: 前週ピーク平均値。毎日入力する。

k₁: 補正係数で曜日により異なり、月、土曜日は0.975、火～金曜日は1.0、日曜日は0.8である。

k₂, k₃: 気温-負荷換算係数で、曜日により異なる。

T₁: 気温予想で、4～9月は最高気温予想、10～3月は最低気温予想である。

T₂: 前週の気温平均値で、4～9月は前週最高気温平均値、10～3月は前週最低気温平均値である。

T₁, T₂は毎日入力する。

当日の負荷予測手法は、図11にも示したように、過去30分間の実績に重みづけした係数を乗じて75分先の負荷を予測する。

現在から75分先の負荷を予測しているのは、次の理由によるものである。

- (1) 火力発電所の運転において、Vまたは逆V字形の運転はできない(いったん出力を下降または上昇させた場合、直ちに出力を上昇または下降させることは許されず、火力発電所側の制御系が定常値に落ち着くまでの一定時間、出力をホールドしなければならない)。
- (2) 火力発電所の出力を低負荷から高負荷まで連続に調整することはできない(途中で、必ずミルの追加やバーナの追加などのために、制御を中断する必要がある)。

前者によるホールド時間は通常30～40分、後者による中断時間は約30分程度であるので、少なくとも70分先までの負荷予測をしておかないと、負荷の変化に火力発電所は追従し切れなくなり、水力発電所が、ほとんどの負荷変化を分担することになる。そのため調整力の不足を生じ、需給がアンバランスとなり連系線電力を規定値に保つことが困難となる。

この予測負荷を用い、火力発電所の諸制限(出力変化速度制限、ホールド時間およびゾーン変更所要時間)を考慮して等ラムダ法で出力配分を行ない先行してAFC運転ゾーンを決定し、火力発電所が常にAFC運転が可能となるように制御している。

図12は先行予測制御によって制御された火力発電所の出力記録を示すものである。

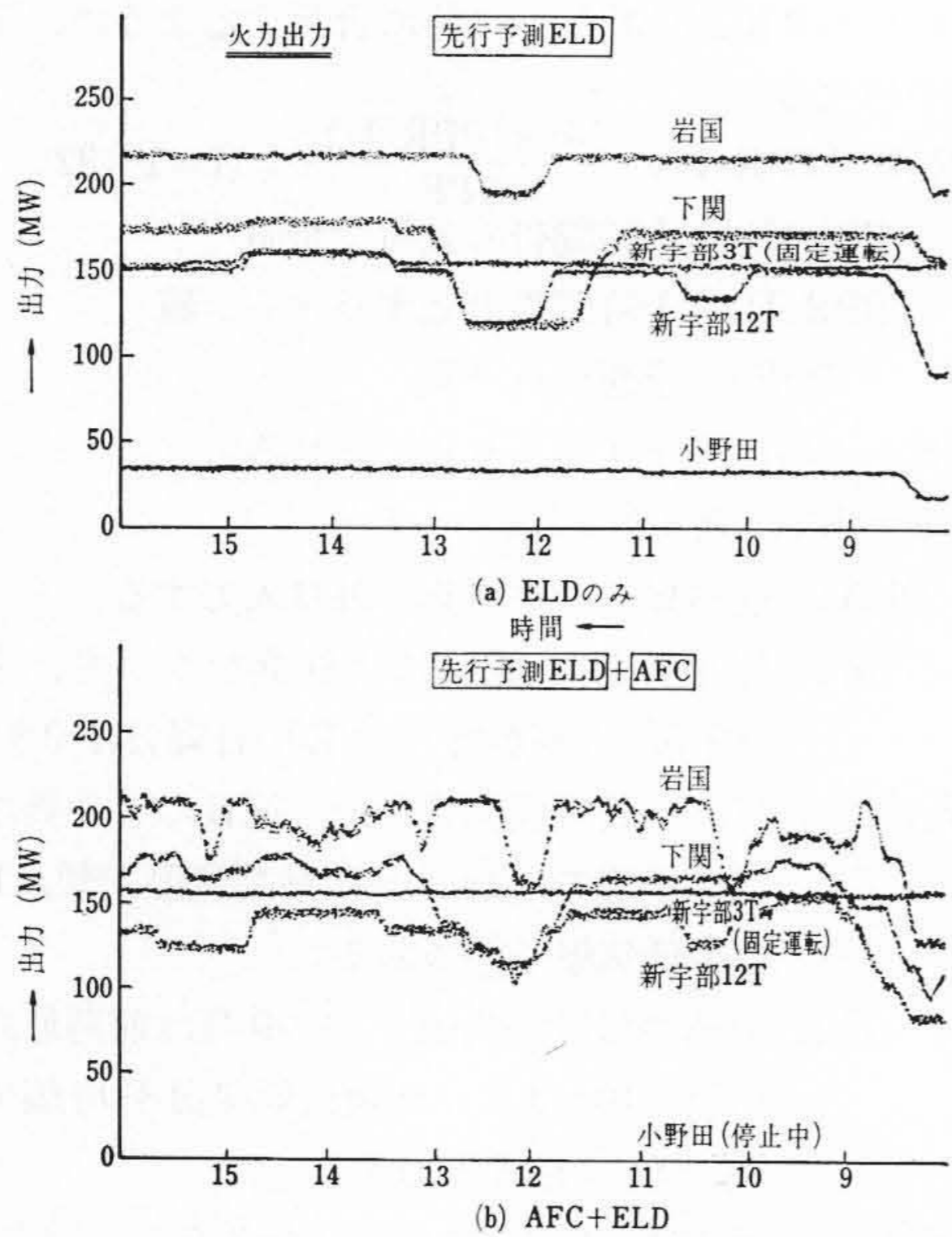
図12(a)は先行予測制御のみを行なった場合の例、(b)は、先行予測制御と火力AFC制御を同時に行なった例である。

図12(a)から、昼休みの負荷の急変に、火力発電所がよく追従しているのがわかる。岩国、下関、新宇部といった220MW, 175MW, 150MWクラスの新鋭火力が先行制御により負荷の変化にじゅうぶんに追従し、負荷調整システムの目的はじゅうぶんに果たされている。

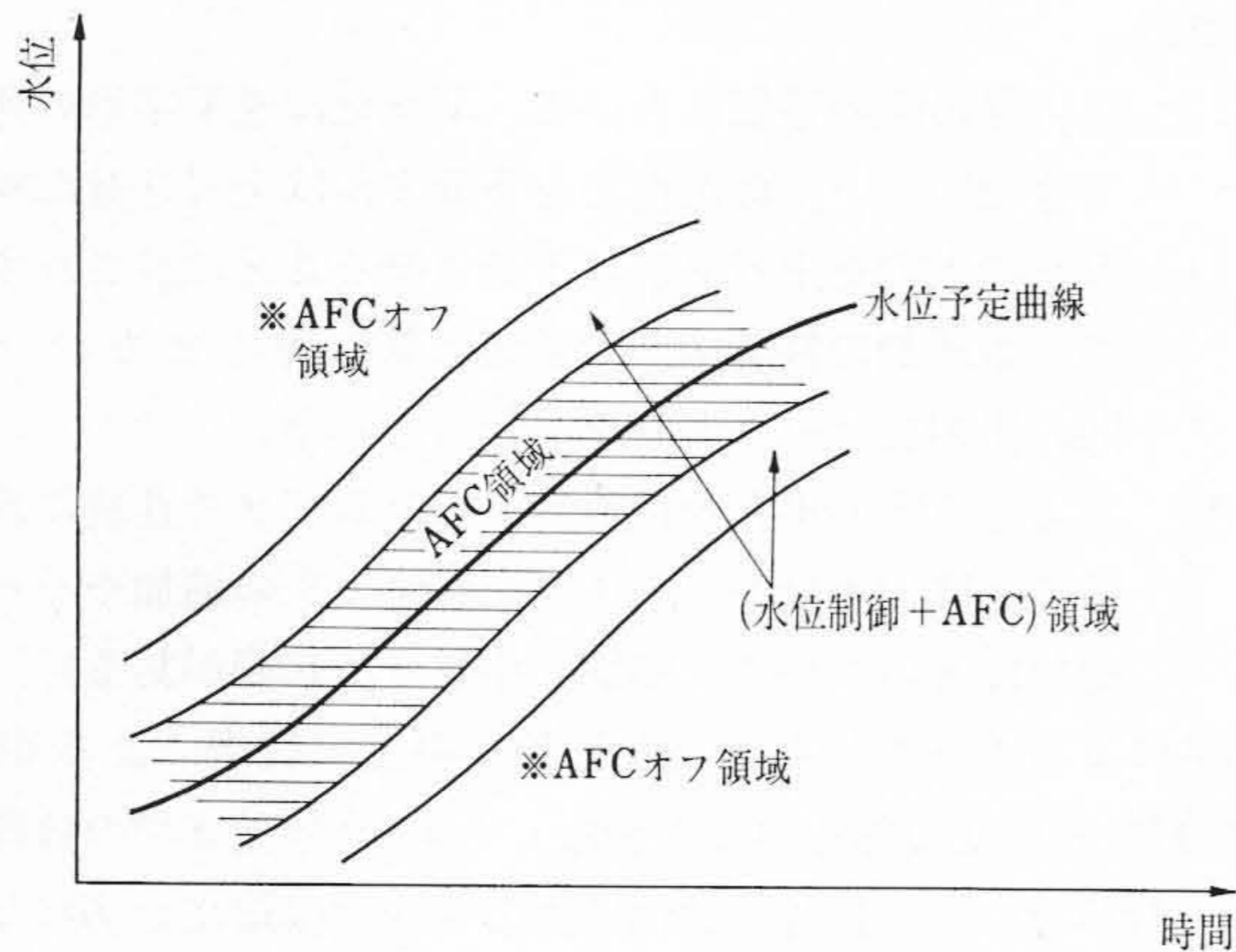
図12(b)は、この先行予測制御にAFCを併合したときの火力発電所の出力記録を示すものである。図12(a)に比べてAFC短周期成分を火力発電所が分担し、AFCが有効に行なわれていることを示している。

3.1.3 逆調整池水位制御および貯水池使用水量制御

予想計算で求めた逆調整発電所の運転スケジュールまたは予定水位を守るように上流のAFC発電所の出力が図13のように制御される。また貯水池式水力においては、1日の予定使用水量が定



(AFC, ELD 火力応答)
図 12 系統試験例



※AFCオフは調整力不足の場合、自動的に解除されてしまう。

図 13 水位制御方式

まっております、これに著しく違反することは、経済性をそこなうことになるので基準出力の変更を行なって、1日の予定使用水量が許容された値にはいるように制御される。

3.1.4 融通電力量制御

現在、中国電力では3個所の連系線相互の差引 TBC (Tie Line Bias Control) を行なっているが、連系線の電力量を所定の値になるように制御することが必要である。そのため15分ごとに融通電力量の基準値からの偏差を検出して、1時間の融通電力量を制御する。

3.1.5 水力発電所起動停止

水力発電所（揚水を含む）に対しては、予想計算から得られた起動停止予定時刻と15分先の運転予備力をチェックし、並解列指令を指令者に表示する。

なお揚水発電所については、指令者の確認を経たのち、直接発電所に伝送され、発電、揚水ともに自動起動停止を行なうことができる。

3.1.6 新成羽川発電所無効電力制御

デジタル計算機による総合無効電力制御の第一段階として、試験的に行なわれている。笠岡変電所 220 kV 電圧を目標値に保持するように、与えられた $\Delta V/\Delta Q$ 特性を用いて目標の VAR を計算し、発電所側の TQR (総合無効電力制御) 装置を、直接制

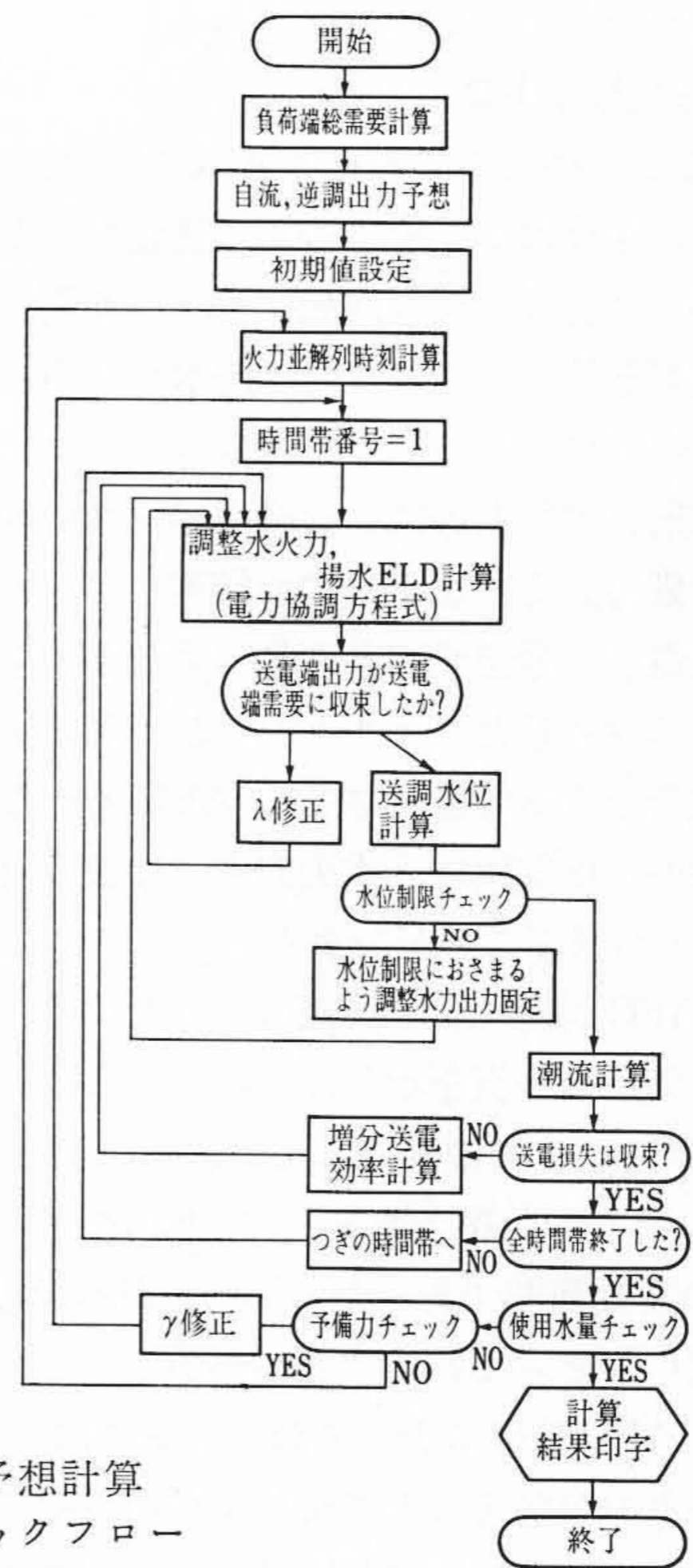


図 14 予想計算
ブロックフロー

御する。

3.1.7 その他

(1) データロギング

オンライン制御の基礎になる負荷曲線を作成するため、超高压変電所ブロックごとに変圧器通過電力、ブロック内水火力出力をデータロギングし、ブロックの需要曲線および総需要曲線を求める。

(2) モニタ

負荷制御関係の業務は、給電用コンソールから、統括監視制御されているが、その機能を補うために、監視用タイプライタに監視、指令に必要な水力並解列指令、制御状態などを印字する。また、系統事故時には、割込を発生させ、10秒ごとに系統状態（周波数、連系線潮流）を印字し、事故状態の把握、解析に用いる。

3.2 オフライン業務

オフライン業務としては、翌日発受電予想計算を行なっているが、そのブロック図は図 14 に示すとおりである。翌日発受電予想計算には、負荷の予測を含んでいる。予測に当たっては、前週の実績ピーク負荷平均値に気温補正を加えてピーク負荷を想定し、オンラインでデータロギングした負荷線から各時間帯の負荷を計算している。翌日発受電予想計算の手法としては、揚水も含めて電力協調方程式法を採用している。また火力発電所の起動停止時刻決定は優先順位法によっている。

4. 結 言

以上、中国電力株式会社納 自動負荷調整システムの、システム構成および対象業務について述べた。

今後は、運用経験を取り入れて、さらに自動負荷調整システムの内容を充実させていくとともに、次のような給電関係の自動化対象項目も順次実施していく計画である。

- (1) 総合電圧、無効電力制御
- (2) 給電記録の収集、処理の自動化
- (3) 系統監視の自動化

最後に、本システム完成まで、終始ご指導とご協力をいただいた関係各位に、心からお礼申し上げます。