

神崎製紙株式会社富岡工場用

産業用火力発電設備エネルギー最適運用制御システム

Computerized Power Plant Complex Control and Management System for Intensive Energy-Consuming Industries

近年のエネルギー価格の高騰により、エネルギー多消費形産業での自家用火力発電所のエネルギー費用の低減が重要な課題となり、その解決手段としての計算機システムの導入が、投資効果の面でも実際的な方法となってきた。

このたび、神崎製紙株式会社富岡工場で稼動に至った計算機システムは、エネルギー費用の低減を中核に、プラントの安全運転及び運用の合理化を目的として計画された自家用発電設備の総合運用システムである。

本システムは、昭和55年2月から実運用を開始し、所期の目的を達成することができた。

本論文では、システムの目的、構成、機能及びシステム導入の効果について述べる。

平野靖人*
北原利正**
南雲健治**
加治 進***
菊田 勇****

Yasuhito Hirano
Toshimasa Kitahara
Kenji Nagumo
Susumu Kaji
Isamu Kikuta

1 緒 言

近年のエネルギー価格の高騰や、供給量制約の懸念からエネルギー多消費形産業では、省エネルギー設備の導入、既設プロセスの改良、管理と運用の改善など、種々の観点からエネルギー費用の低減施策を講ずることが急務である。

特に、大規模な自家用発電設備(以下、自家発電設備と略す。)をもっている製紙業界では、製紙プロセスで多量の蒸気と電力を必要とするため、購入エネルギー費用は、総出荷金額の16%(昭和54年)を超えており、今後更にエネルギー価格の上昇が予想されることから、エネルギー費用の低減は経営上も重要な課題となっている。

このため、神崎製紙株式会社富岡工場ではHIDIC 80計算機システムを導入し、省エネルギーという時代の要請、自家発電設備の運用の合理化、及び自家発電設備の安全確保を図った。本論文では、本システムの目的、構成、機能及びシステム導入の効果について述べる。

2 システムの概要

2.1 対象設備の概要

本システムの適用対象である自家発電設備は、第一発電所及び第二発電所より構成され、ボイラ設備9缶、タービン発電機5基から成る総出力68,500kWの発電プラントであり、表1にその設備概要を、図1に設備フローを示す。

自家発電設備は、製紙プロセスと密接に関係し、製紙プロセスの操業に応じて、電気及び蒸気を供給する使命があり、複数のしかも単機容量や形式の異なる発電設備から構成されている点にその特徴がある。

このような発電設備をプロセスの操業状況に合わせ、かつ経済的に運用することは、運転員にとって大きな負担であり、限界があった。

2.2 システムの構成

本システムは、日立制御用計算機HIDIC 80を中核として、図2に示すような構成をとっている。同図中の自家発電設備の

表1 自家発電設備の概要 システムが対象とする自家発電設備の概要を示す。

設備名 発電所名	ボ イ ラ 設 備			タ ー ビ ン 設 備			受 電 設 備	
	ボ イ ラ 名	燃 料	容 量 (t/h)	タービン名	形 式	容 量 (kW)	受電トランス名	容 量 (kVA)
第一発電所	1号ボイラ	重油	40	1号タービン	抽気背圧	9,000	1号トランス	6,000
	2号ボイラ	重油	50	2号タービン	背圧	8,000	2号トランス	6,000
	3号ボイラ	黒液・重油	36	――	――	――	――	――
	4号ボイラ	パーク・重油	60	――	――	――	――	――
第二発電所	5号ボイラ	黒液・重油	70	3号タービン	2段抽気復水	17,000	3号トランス	10,000
	6号ボイラ	重油	60	4号タービン	抽気背圧	16,000	4号トランス	10,000
	7号ボイラ	重油	60	5号タービン	2段抽気復水	18,500	5号トランス	12,500
	8号ボイラ	黒液・重油	70	――	――	――	――	――
	9号ボイラ	重油	120	――	――	――	――	――
合 計	――	――	566	――	――	68,500	――	44,500

注：略語説明 自家発電設備（自家用発電設備）

* 神崎製紙株式会社富岡工場 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所システム事業部 **** 日立製作所関西支店

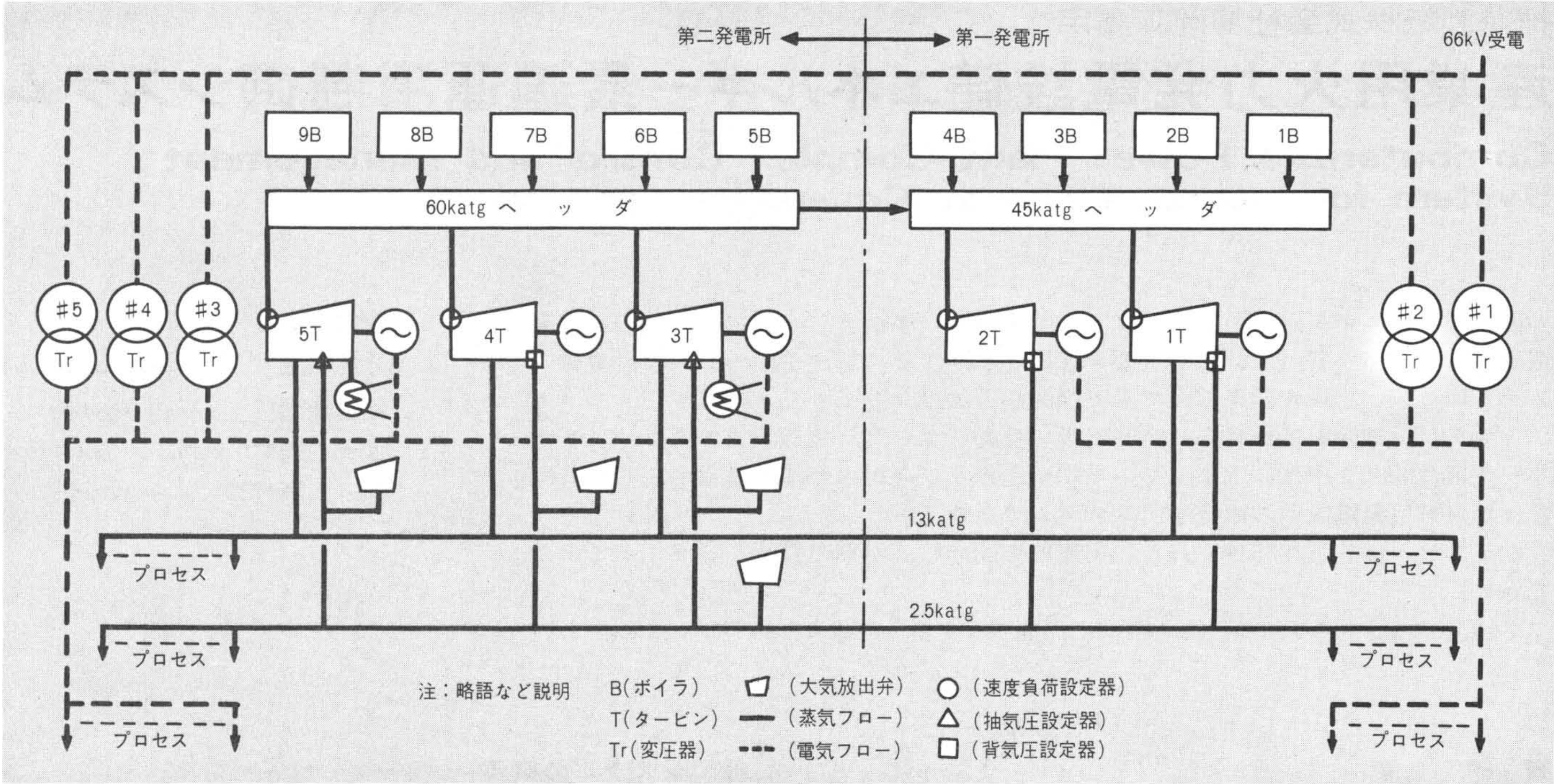


図1 設備フロー図 自家発電設備の構成と、蒸気及び電気のフロー並びに制御操作端が分かる。

詳細は、前図1に示すとおりであるが、計算機は、制御機能の遂行に際して各タービンの速度・負荷設定器、抽(背)気圧設定機及び大気放出弁を直接駆動する。

表2に、本計算機システムの機器仕様を示す。

3 システムの目的と機能

本システムは、前述のような社会的背景を基礎として、エネルギー費用の縮減、安全性の向上及び運用の合理化を指針として計画、設置されたものである。図3に、本システムの

目的と機能の関連を示す。

以下に、本システムの主要機能について詳説する。

3.1 システムの制御機能

本システムの制御機能の選定に当たっては、エネルギーコストの低減を考慮した自家発電設備の総合運用システムということを中心とした。選定した具体的制御機能は下記のとおりである。

- (1) デマンド制御
- (2) 重油ボイラ安全制御

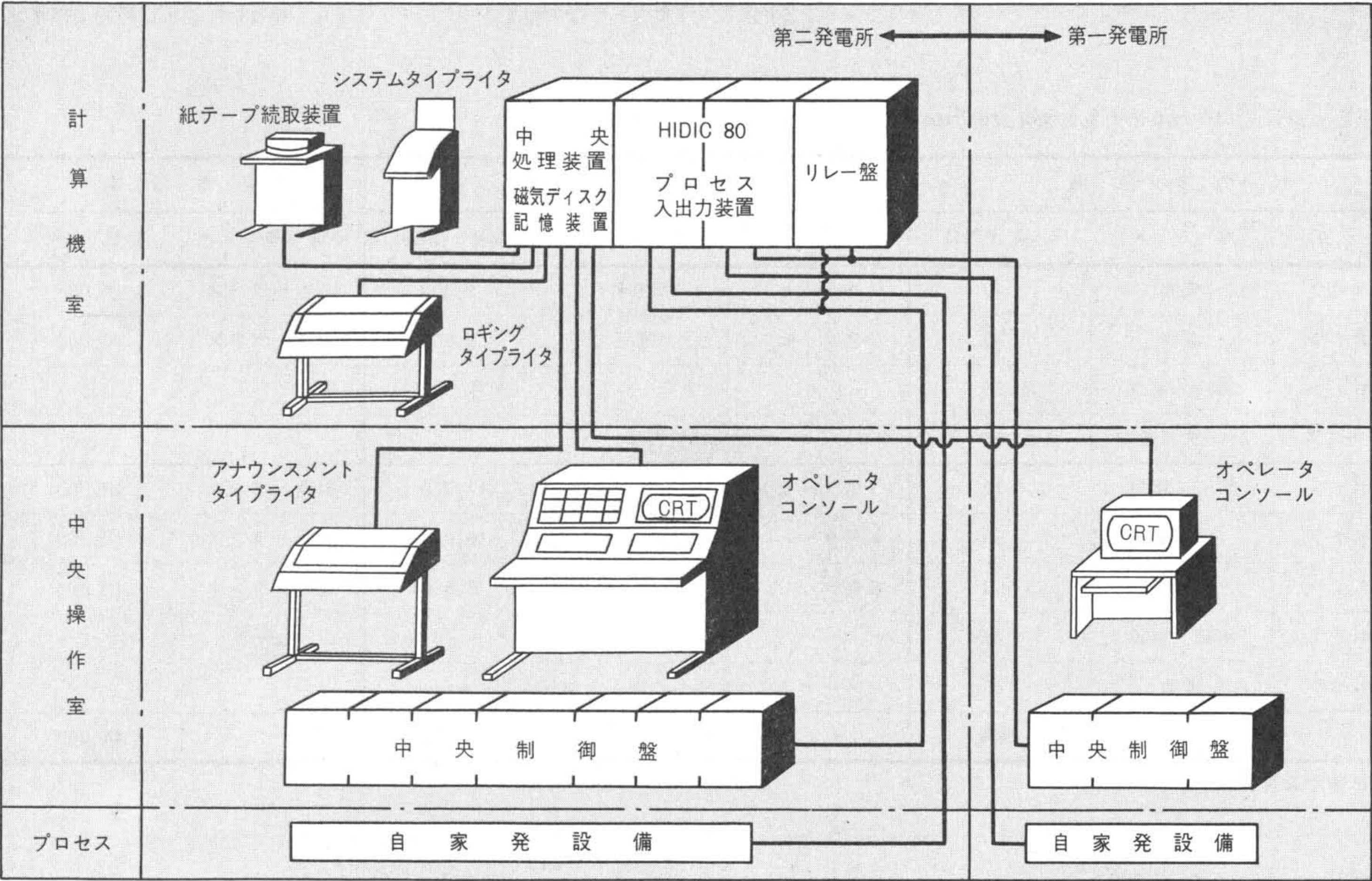


図2 システム構成図 システムは、日立制御用計算機HIDIC 80を中心として構成され、2箇所に別置されたプラントの監視、管理及び制御を行なう。

表2 計算機システムの構成機器 制御用計算機のハードウェア構成を示す(プロセス入出力装置点数は、使用点数を示している)。

機 器	構 成
中央演算処理装置 (CPU)	HIDIC 80 コア容量：48k語
コンソール入出力装置 (CI/O)	入出力タイプライタ 光電式紙テープ読取器
ミニディスク記憶装置	記憶容量：512k語
プロセス入出力装置 (PI/O)	アナログ入力：126点 デジタル入力：100点(オペレータコンソール用を除く。) トリップ接点入力：93点 パルス入力：66点 デジタル出力：14点(オペレータコンソール用を除く。) パルス出力：26点
オペレータコンソール	デスク形1台(ブザー、チャイム付属)
タイプライタ	シリアルプリンタ：2台
CRT表示器	20inカラーブラウン管、キーボード付2台 (うち1台はオペレータコンソール組込み)

- (3) 復水最大制御
- (4) 受電調整制御
- (5) タービン負荷配分制御

また、各制御操作端は、各制御項目間で重複して使用されるので、制御機能間の競合の防止と制御項目の多重処理を実現するため、図4に示す基本インターロックを設定し、自家発電設備の総合運用を自動化している。

本システムの特徴的な制御機能の詳細は、以下に述べるとおりであるが、これらの制御機能を遂行するための前提機能として、余力計算機能及びプラント異常検出機能がある。

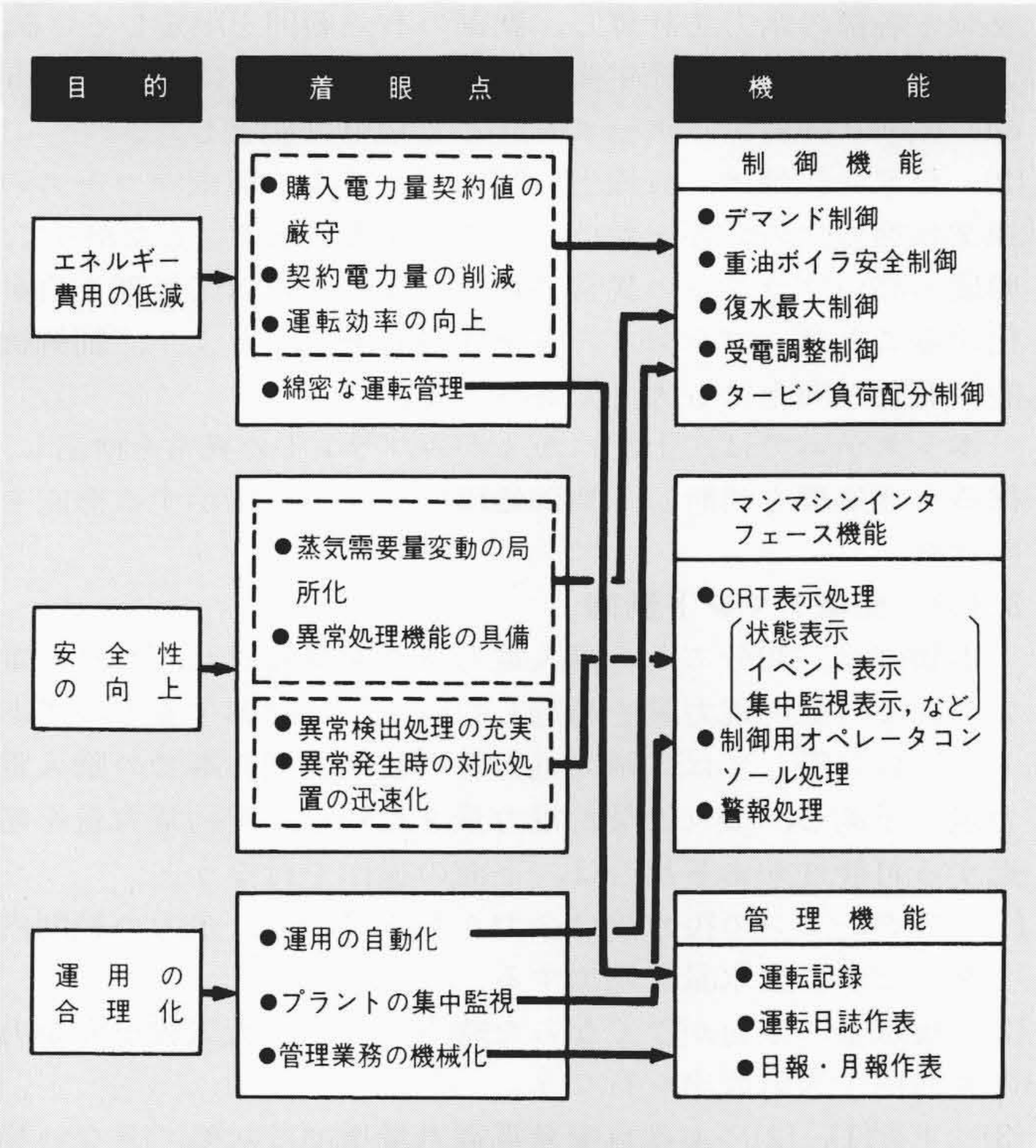


図3 システムの目的と機能 本システムの目的を達成するための着眼点、及びシステムの具備すべき機能を示す。

(1) 余力計算機能は、各タービンのセクションごとの蒸気流量余力、重油ボイラ系の蒸発余力、大気放出弁余力及び第一発電所の受電トランス余力などを算出するもので、この計算結果により制御性能とプラントの安全性が検証される。このため、構成機器の諸元の中から運転状態の変化で影響を受けにくいパラメータを厳選し、これとプラントの状態量からブ

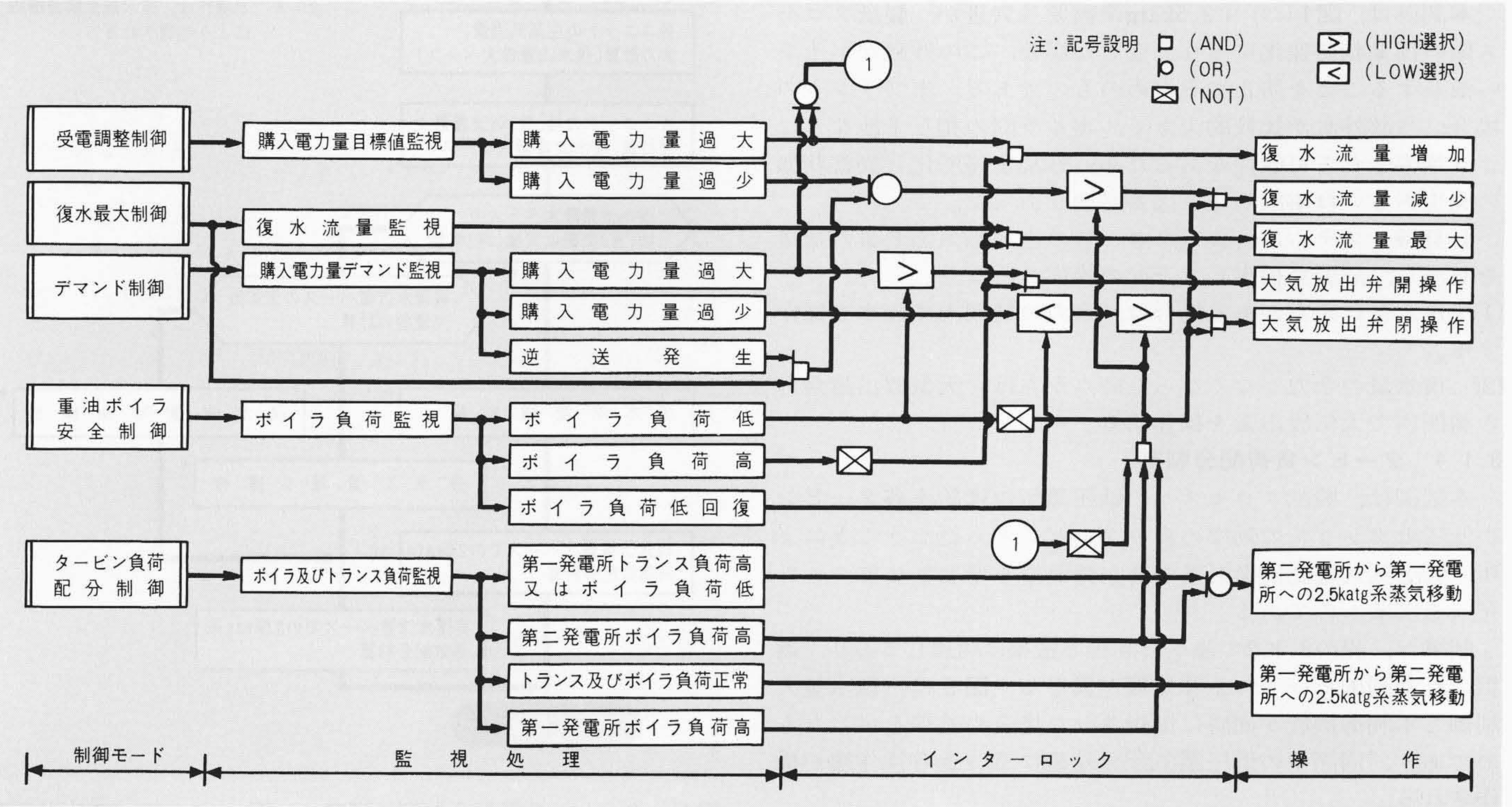


図4 制御機能基本インターロック図 各制御項目を柔軟に処理するための基本思想を示す。

ラント各部の余力を計算し、制御の有効範囲を限定している。またパラメータは、経年変化に対処できるようにCRT(Cathode Ray Tube)キーボードを介して変更可能とした。

(2) 自家発電設備は、設備上の制約だけでなく製紙プロセスの操業状態変化の影響を受けるところが大である。したがって、頻度の高いプラントの異常に対しては、その対応処理を自動化することは、プラントの安全性の向上はもとより、制御機能の有効性向上にも大きく寄与する。

本システムでは、上記にかんがみプラントの異常を検出し、採るべき処理を判断し、制御処理ブロックへ指示する機能を設けた。

3.1.1 受電デマンド制御

本制御は、30分ごとの購入電力量を常時監視し、これが電力会社との契約電力量を超過しないように制御するものである。制御に際しては、購入電力量の監視周期終端での購入電力量を予測し、これと契約電力量を比較し、契約電力量を超過する可能性がある場合は、下記の操作を行なう。

- (1) 各タービンの復水量に余力がある場合は、余力の範囲内でタービンの復水量を増加する。
- (2) 復水量の余力がなくなった時点からは、大気放出弁余力の範囲内で大気放出を行なう。
- (3) 上記(1)、(2)による自家発電電力量増加で対処できない場合は警報を発し、選択負荷しゃ断ガイドに基づく運転員の電力消費の削減を指示する。

3.1.2 復水最大制御及び受電調整制御

復水最大制御は、購入電力単価が自家発電設備の復水発電単価よりも高い場合に使用され、復水発電を設備の許容限界まで増加することにより、工場の電力経費の低減を図るものである。一方、受電調整制御は、電力会社との買電契約を遵守するために設けた自動化機能であり、計算機は運転員により設定された購入電力量目標値を守るため、復水量及び大気放出量を操作する。これにより購入電力単価が復水発電単価よりも安い場合の電力経費の低減が可能となる。

3.1.3 重油ボイラ安全制御

本制御は、図1に示す2.5katg系需要蒸気量が、製紙プロセス側の操業状態変化により急変した場合、この外乱がボイラへ波及することを防止するためのものである。本プラントの場合、当該外乱が比較的大きく、ボイラ間の相互干渉などにより増幅される可能性があるため、外乱を局所化し異常状態の発生あるいは事故防止を図る必要があった。

計算機システムは、製紙プロセスの当該蒸気需要量の総量を算出し、急変を検出して下記の操作を行なう。

- (1) 復水量に余力がある場合は、余力の範囲内で復水を操作する。
- (2) 復水量の余力がなくなった時点からは、大気放出量余力の範囲内で大気放出量を操作する。

3.1.4 タービン負荷配分制御

本制御は、製紙プロセスへの低压蒸気の供給を各タービンの低压セクションの効率の良いタービンから行なうことにより、低压蒸気量総量拘束下で自家発電量を増加させ省エネルギーを図るものである。

制御は、先の3.1.2で述べた制御と密接に関連しており、選択された制御モードにより処理が異なる。図5は、復水量大制御と本制御機能が同時に選択された場合の処理を示したものであり、同図中の低压蒸気配分結果に基づき各操作端が操作される。

本制御は、図1に示した13katg系プロセス蒸気への適用も可

能であるが、当該蒸気は、総量が少ないため投資効果の観点から対象外とした。

3.2 マンマシンインタフェース

運転員とプラントのマンマシンインタフェース機器として、CRT表示器を中心としたオペレータコンソールデスクを設置し、プラント、計算機システム、システム諸機能の遂行状態などの集中監視を図っている。

図6は、本オペレータコンソールの外観を示したものであり、デスクは下記より構成される。

- (1) 警報表示窓
- (2) 計算機異常表示パネル
- (3) 制御用オペレータコンソール
- (4) CRT表示器
- (5) CRT表示器付属キーボード
- (6) ブザー

本システムでは、特に制御用オペレータコンソールとCRT表示器(キーボード付)を設け、制御関係のマンマシンインタフェースとこれ以外のインタフェースを物理的に分離し、出力又は入力情報の分類を行なうことにより、操作性及び安全性の向上を図っている。

3.2.1 制御用オペレータコンソール

制御用オペレータコンソールの機能は、以下に述べるとおり要約される。

- (1) 制御モードの選択、表示(上下2分割押しボタン表示灯)
- (2) 制御異常表示(上下2分割押しボタン表示灯)
- (3) 制御操作端選択、表示(押しボタン表示灯)

制御モードの選択、表示及び制御異常表示は、先の3.1に述べた制御項目ごとに行なえるようにして、制御機能の運用を実現している。

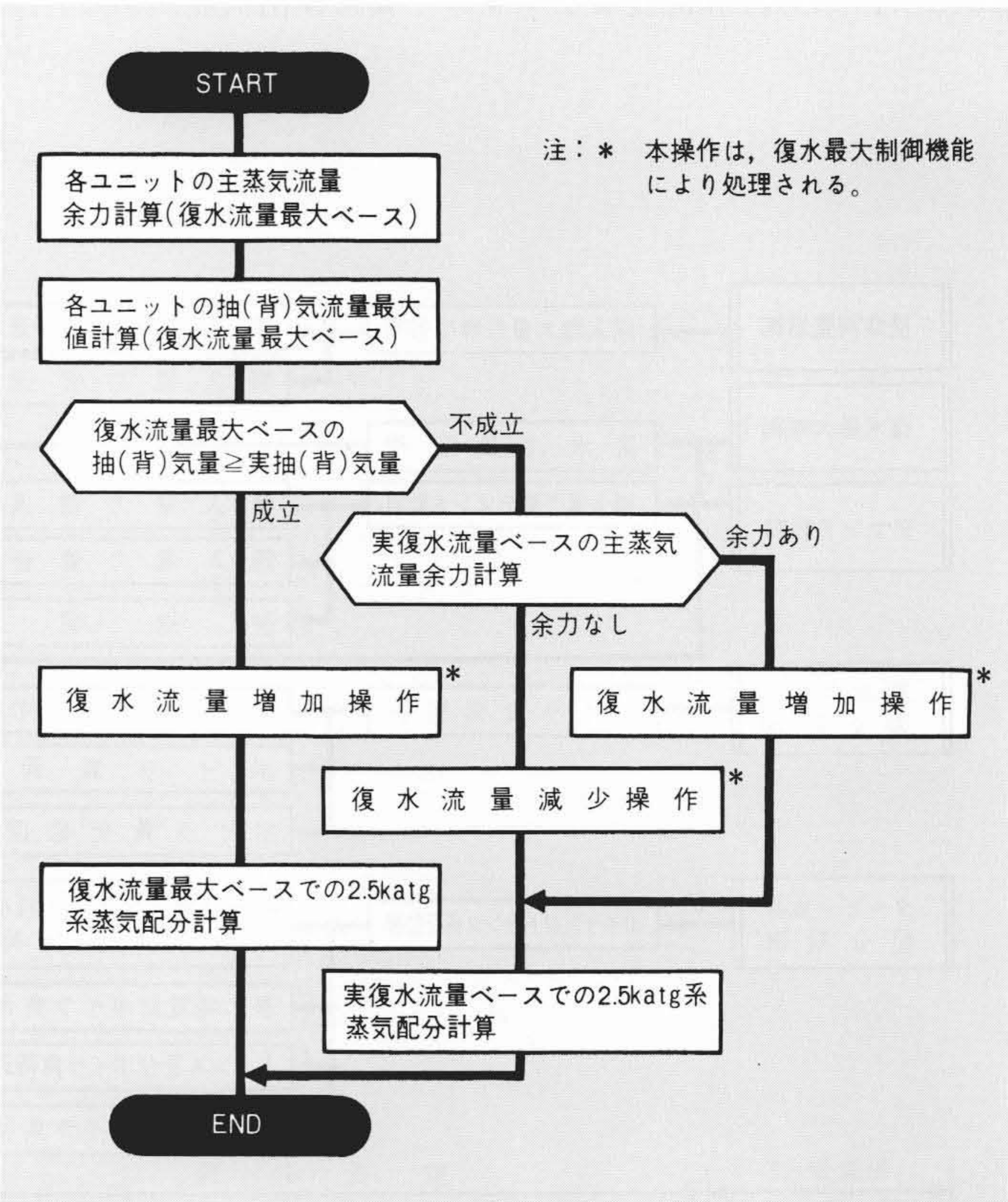


図5 タービン負荷配分制御処理フロー例 タービンの2.5katg系蒸気の配分処理のメインフローを示す。



図6 オペレータコンソールデスク外観 プラントを監視・制御するためのオペレータコンソールデスクの外観を示す。

また、制御操作端選択、表示は、各操作端(13操作端)ごとの制御対象としての可否を、計算機システムへ入力するためのものである。

計算機システムは、これらオペレータコンソールを介しての運転員の指示とプラント状態に基づいて制御の可否判定を行ない、その結果をコンソールの各表示灯に表示する。

3.2.2 CRT表示器

CRT表示器は、比較的多量のデータを集約して授受するための手段として採用し、機能設計に際しては、下記を基本方針とした。

- (1) CRT表示器の表示方式としては、画面の分割使用及び優先レベル処理により、CRT画面の有効活用を図る。
- (2) キーボードからの入力情報は、制御関係パラメータの入

表3 CRT表示機能 キーボードを含めたマンマシンコミュニケーション手段としてのCRT表示器の機能を示す。

No.	機能分数	内 容
1	制御状態表示	
2	プラント主要状態表示	
3	デジタル表示	
4	イベント表示	プラント警報 接点変化 制御関連メッセージ プロセス入力異常警報 システム異常警報
5	リクエスト表示	ボイラ蒸気フローバランス タービン蒸気フローバランス 電力バランス デマンド監視 選択負荷しゃ断ガイド 排煙監視
6	リスト表示	走査除外点 警報値 警報点
7	設定機能	データ設定 制御パラメータ設定 警報値設定 日付設定 走査除外 入力不良復帰
8	その他	入力較正 画面印字 日誌作表 表示ホールド 表示更新

力方式を他の入力情報の入力方式と区別し、操作性及び安全性を向上する。

- (3) 色別表示により、運転員による表示内容の把握を容易にする。

表3は、CRT表示器の機能をまとめ示したものであるが、これらの機能により、特に以下に述べるような効果を挙げている。

- (1) 制御状態表示により、ブラックボックスとなりやすい計算機の制御動作を表示することにより、運転員の疎外感を解消している。
- (2) プラント主要状態量を集約して一括表示することにより、各プラントの運転状態及び相互関連の把握が容易に行なえる。
- (3) デマンド監視画面と非常時の負荷しゃ断ガイドにより、異常事態発生時の対処が迅速化された。

図7に、CRT表示機能の一例を示す。

なお、対象プラントは第一発電所及び第二発電所から成り、前記のオペレータコンソールデスクは、第二発電所に設置されている。このため、システムの計画に際しては、第一発電所にCRT表示器(キーボード付)を設置することとし、プラント全体の情報提供を行なうことにより、発電所としての運用の統一化を図っている。

4 現地運用結果と導入効果

本システムは、昭和54年9月に現地搬入し、プラントの操業スケジュールに合わせて調整を進め、昭和55年1月すべての試験を完了して、同年2月から実運用を開始した。

本システムは、製紙プロセス操業下での調整であるため、特に制御機能の調整に際しては、自家発電設備のダイナミクスを模擬できるオンラインディジタルシミュレータをシステムに組み込み、実プラントでは作りにくい特殊なケースを中心として予備試験を実施した。

本システムの実運用結果、及び導入効果は次に述べるとおりである。

4.1 プラント監視の強化

- (1) 環境監視データ、あるいは設備の性能関連データなど、発電所全体の運転状況を集中把握することができるため、発電所の綿密な監視と迅速な対応処置が可能となった。
- (2) プラント設備の余力計算結果、及び運転制御状態が総合

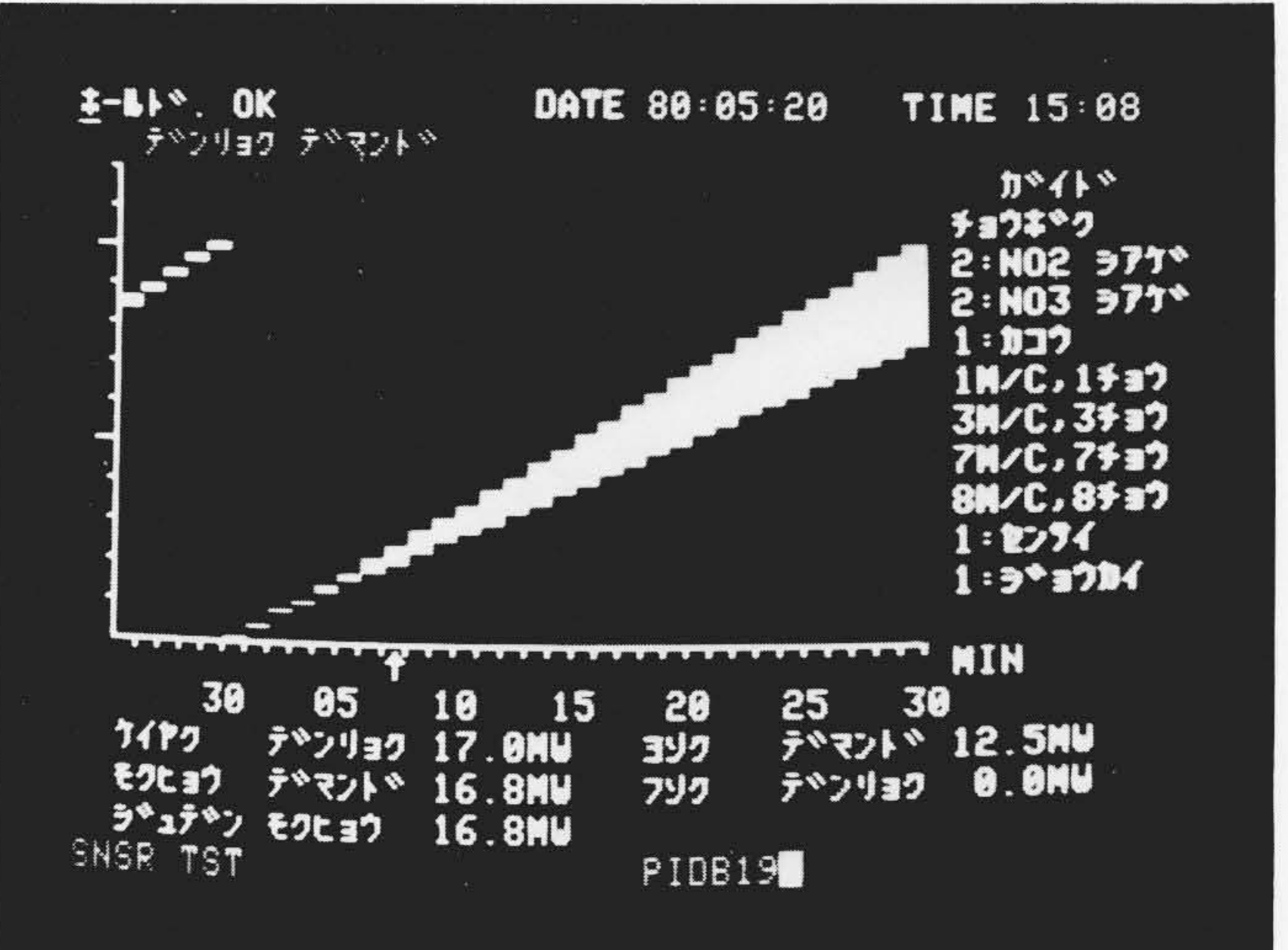
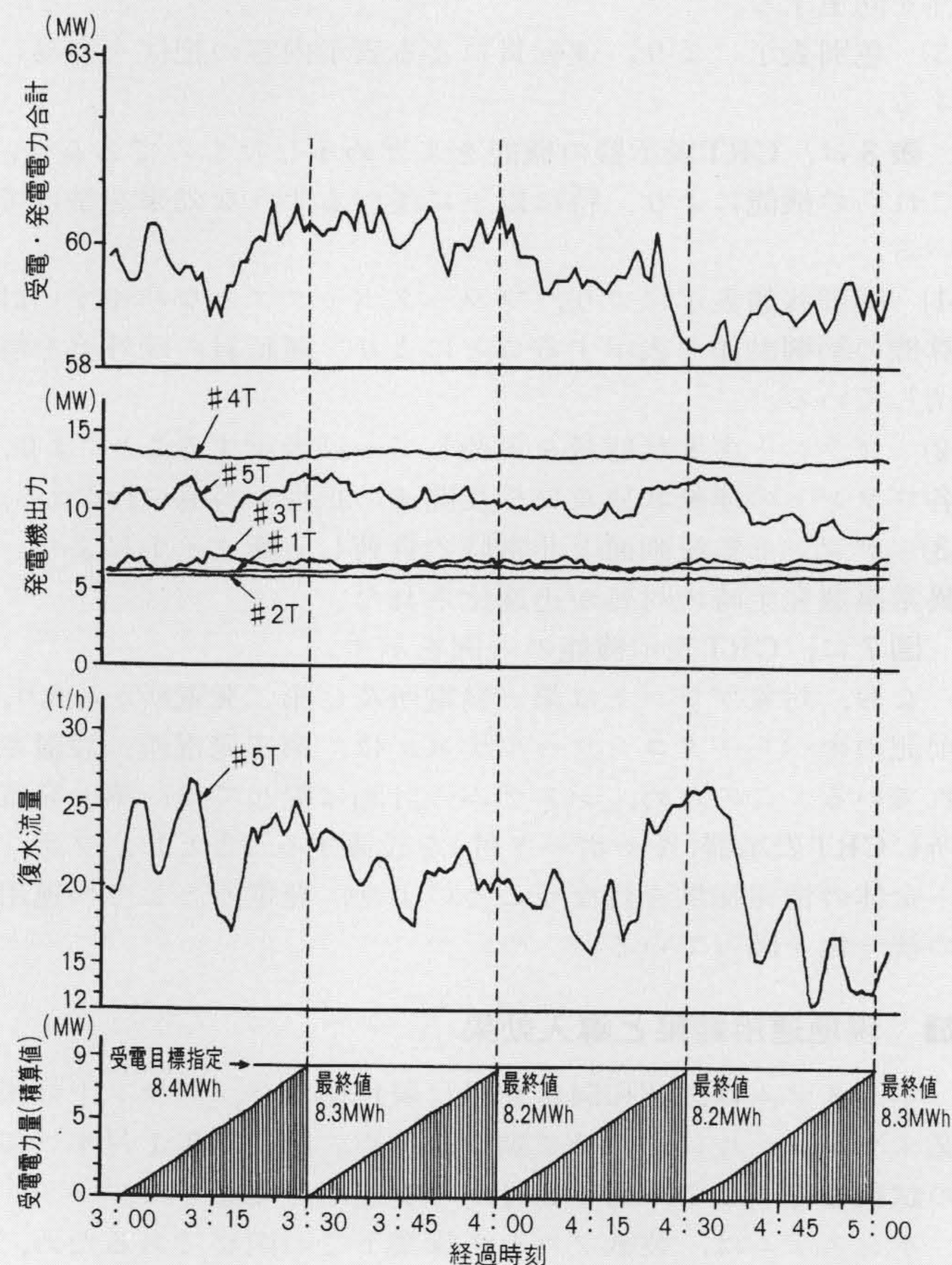
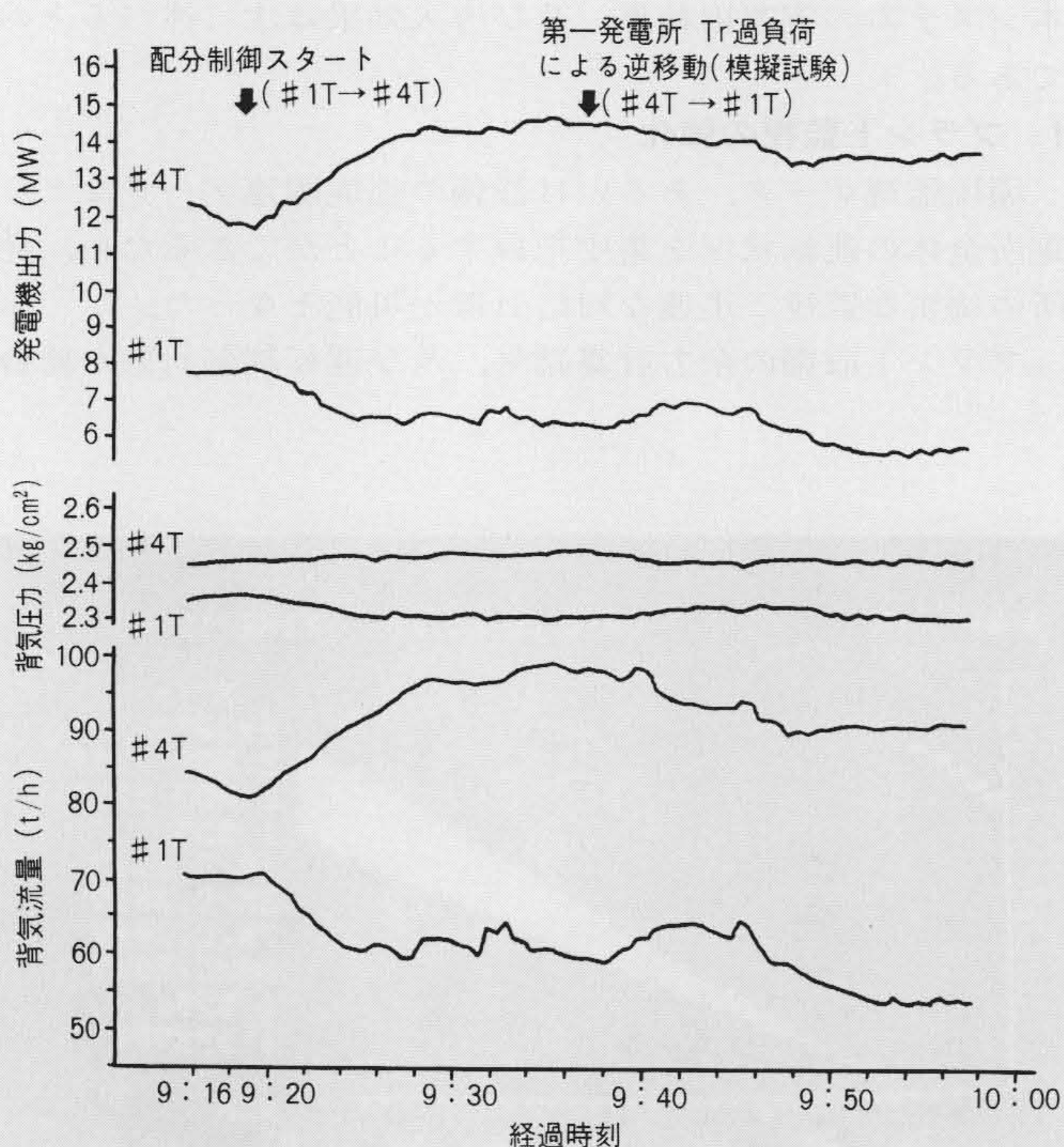


図7 デマンド監視表示 目標購入電力量と実績購入電力量、及び将来の予測購入電力量をグラフィック表示し、購入電力量の管理が容易になった。



(a) 受電調整制御試験記録 (試験日 1980年5月18日)

(b) タービン負荷配分試験記録 (試験日 1979年11月16日)
(対象ユニット: #1T, #3T, #4T)

的に把握できるため、自動化されていない回収ボイラ操作、あるいはバーナ操作などが余裕をもって、また迅速に行なえるようになった。

4.2 エネルギーコストの低減

(1) 復水流量を制御対象とする受電調整制御機能の採用により、30分間当たりの受電量を最悪の場合でも0.2MWから0.3MW以内に制御できることが実証され、契約電力量のマージンを削減することができた。

(2) プロセス蒸気流量を高効率タービンへ優先的に配分制御することにより、低圧蒸気流量による発電電力総量を増加することができた。

(3) 復水最大制御及び受電調整制御の二つの制御モードを設けたことにより、購入電力単価が上昇し、自家発電設備での発電経費を上回った場合でも、あるいはその逆の場合でも、柔軟に対処することが可能となった。

4.3 省力効果

(1) 発電所の運転状況をオンラインで収集するとともに、これらのデータを日単位及び月単位で集計する作業を機械化することにより、精度の高い管理データを得ることができ、管理の徹底と運転員の負担軽減を実現した。

(2) デマンド監視制御と受電調整制御により電力管理が自動化されたため、運転員の労力及び精神的負担を軽減する効果があった。

4.4 安全性の向上

(1) 製紙プロセスの操業状態の変動に起因する外乱に対して、プロセス蒸気量変化を検出し一時的に復水流量又は大気放出量を加減することにより、外乱の局所化が可能となった。

(2) 頻度の高い異常状態に対する対抗操作をシステムの基本機能に組み入れたことにより、プラント運用上の安全性が向上した。

以上述べたように本システムは、プラントの安全性を維持してプラント情報の提供、高効率運転及びきめ細かな運転管理を実現することができた。

図8(a)は、プロセス側の負荷変動に対して30分間当たりの積算電力量を当該目標値にするため制御する受電調整制御の記録を示したものである。

図8(b)は、負荷配分制御により第一発電所の1号機タービンから、効率の良い第二発電所の4号機タービンへ蒸気流量を移動している模様を示したものである。また、本図では、模擬的に第一発電所の受電トランスの過負荷状態を発生させているため、異常処理機能により異常回復操作が行なわれていることが分かる。

5 結 言

自家発電エネルギー管理システムについて、システムの目的、機能及び運転結果を中心に述べた。

今後ますますエネルギー価格の上昇が予想されることから、この種のシステムは広く適用され、また発電所の合理化にも寄与するものと考えている。

終わりに、このシステムの開発、設計及び製作に際し御指導、御支援をいただいた関係各位に対し、深謝する次第である。

参考文献

- 1) 射場, 外: 福山共同火力株式会社納め環境管理及び省エネルギーを目的とした火力発電所の総合管理運用システム, 日立評論, 59, 923~928(昭52-11)
- 2) 紙業タイムス社刊, 最新紙パルプ技術, 80(昭54-12)

図8 実績運用記録 現地実機試運転での実績データの記録を示す。