

電源開発株式会社竹原 火力発電所 2 号機350MW発電プラント向け

電子式ボイラ自動制御装置

Electronic Boiler Control System for Takehara Thermal Power Station No. 2 350MW of Power Development Co.

大容量火力発電所用ボイラ自動制御装置は、従来ほとんど輸入されてきたが、信頼性の向上、納期の短縮などを目的とし国内の電子技術の向上と相まって、国産化の期待が大となってきた。今回、大容量事業用火力発電所用ボイラ自動制御装置の国産1号として、電源開発株式会社竹原火力発電所2号機350MW発電設備に日立製作所製HIACS-1000(Hitachi Analog Control System-1000)電子式ボイラ自動制御装置を納入し、現在、順調に運転中である。

この論文では、HIACS-1000電子式ボイラ自動制御装置の基本仕様、起動停止を含む全自動化の機能、負荷追従性の向上、及び現地運転結果について述べる。

三浦 彌四郎* Yashiro Miura
駒 田 正** Tadashi Komada
西 村 昭** Akira Nishimura

1 緒 言

最近の火力発電所は、負荷変動への追従性の確保、頻繁な起動、停止に備えた自動化が要求されるようになってきた。

電源開発株式会社竹原火力発電所2号機は、ユニット容量350MWで、制御用電子計算機、ボイラ自動制御装置、自動バーナ、自動負荷制御装置、自動電圧調整器及びリレーシーケンサによる起動、停止を含めた高度な自動化、安全性の向上、運用負荷追従性の向上を図り、制御関係はワンマンコントロールを実現し省力化に成功したプラントである。

負荷制御の重要な役割を果たす、ボイラ自動制御装置（以下、ABC装置と略す）には計算機制御にマッチした多様な機能を持ち、外国に比べ湿度の高い国内の環境条件に適した大容量事業用火力発電所としては、国産初の電子式ABC装置HIACS-1000を採用した。

自然循環ボイラとしては、他に類をみないボイラ点火準備から定格負荷まで、また負荷降下開始からプラント停止までの広範囲の自動化は、ABC装置に対しても新しいソフトウェア技術の導入、新制御回路の確立を生み、更に前進したものとなった。以下にこのABC装置の機能、及び試運転結果などについて述べる。

2 ABC装置の内容

この発電所は、タービン発電機が日立製作所製、ボイラはバブコック日立株式会社製であり、ABC制御装置の制御対象になるボイラ仕様は、表1に示すとおりである。

ABC装置は制御装置の中核をなすもので、高信頼性の確保、起動、停止を含めたワンマンコントロールの実現、及び負荷変動に対する追従性の確保がニーズであり、目標であった。特にワンマンコントロールに対しては、自動、手動、計算機モードの切替、ボイラ昇温・昇圧制御、燃料切替及び給水ポンプ切替など、従来、運転員の判断で操作していた項目を自動化し、起動、停止を含む全自動化を計画した。

2.1 ABC装置の構成

HIACS-1000ABC装置は、図1に示すように演算部、検出端、操作端及び操作監視部より構成されており、その基本

表1 ボイラ諸元 ボイラの主な仕様をまとめたもので、ボイラの規模及び方式が分かる。

項 目	内 容
形 式	バブコック単胴放射形再熱式自然循環ボイラ
最大連続蒸発量	1,115t/h（過熱器出口）
主 蒸 気 圧 力	176kg/cm ² g（ ” ）
再 熱 蒸 気 圧 力	31.6kg/cm ² g（再熱器出口）
主 蒸 気 温 度	571℃ （過熱器出口）
再 熱 蒸 気 温 度	541℃ （再熱器出口）
給 水 温 度	279.3℃ （節炭器入口）
通 風 方 式	強圧通風方式
燃 焼 方 式	重油専焼

仕様は、表2に示すとおりである。演算器を収納し中核となるシステムキャビネットは9面より成り立っておりその内容は、

- 2面 電源キャビネット……二重化電源の収納
- 1面 外部端子キャビネット……外部とのインタフェースリレー、及び端子台の収納
- 6面 モジュールキャビネット……演算モジュールの収納であり、特にサブシステムのビルディングブロック化、信号レベル区分によるノイズ防止対策、及びケーブル施工も含め防塵対策の実施を行なった。図2にモジュール収納キャビネットを示す。

2.2 ABC制御系

制御系は起動、停止を含む全自動化の考慮、負荷応答の改善、及び低負荷領域での制御性の改善などを中心に検討し計画した。次にその内容について説明する。ABC制御系統は図3に示すとおりである。

* 電源開発株式会社竹原火力発電所保修課 課長 ** 日立製作所大みか工場

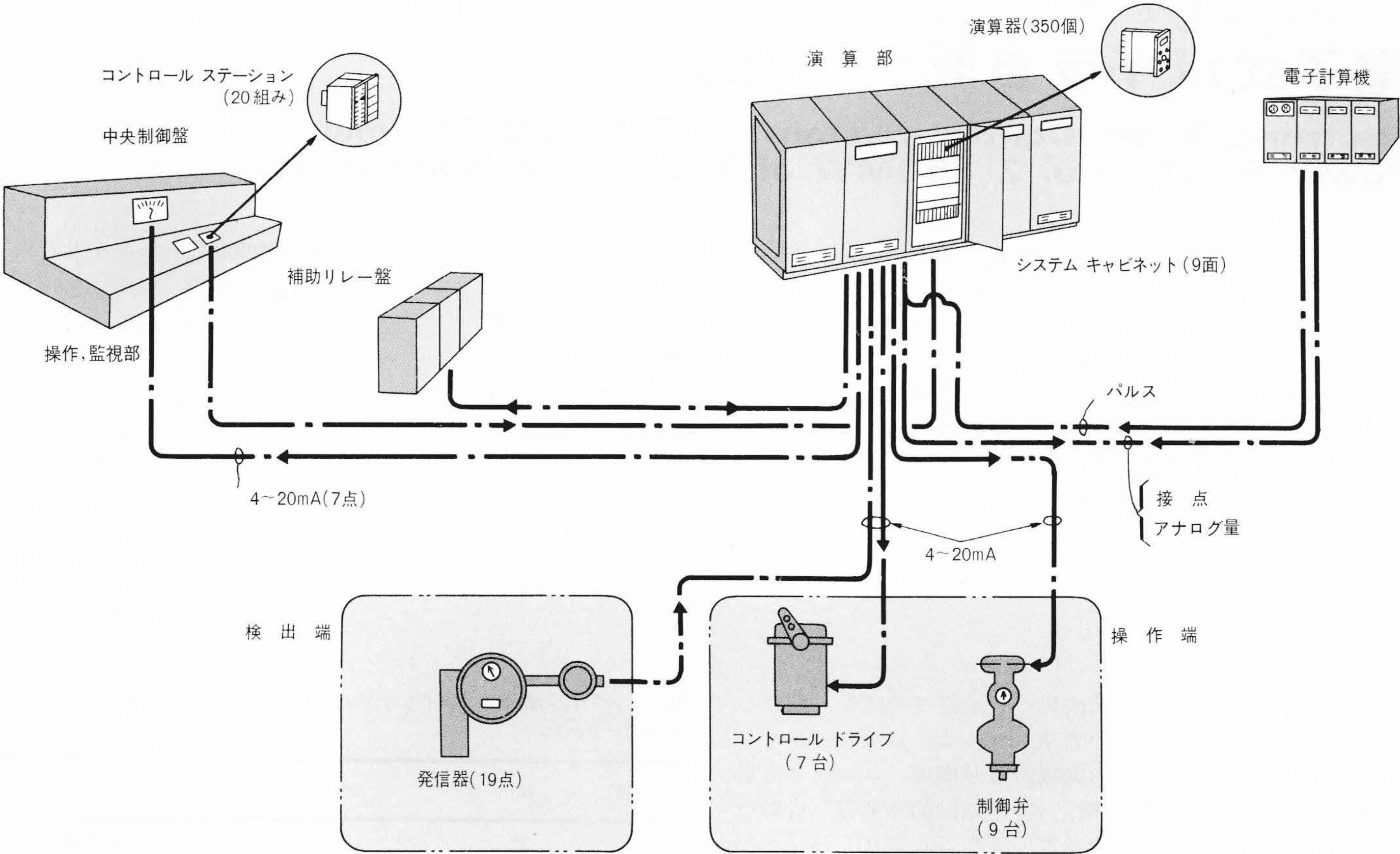


図1 ABC装置の構成(HIACS-1000) ABC装置は中枢機能を受けもつ演算部を中心に構成されていることが分かる。

表2 ABC装置(HIACS-1000)の仕様 HIACS-1000の基本仕様を述べたもので、性能、機能、方式が分かる。

No.	項 目		仕 様
1.	信号レベル	伝 送	4 ~ 20mA DC
		演 算	-10 ~ 0 ~ +10V
2.	演 算 器	素 子	リニアIC
		精 度	±0.1%/FS(一部±0.25%/FS)
		種 類	コントローラ単位方式, 24種類
		構 造	モジュールタイプ, プラグイン式
		調整, テスト機	前パネル取付
3.	コントロールステーション	切 換 方 式	オートバランス, バンプレス切換
		方 式	デジタル式
4.	電 源	方 式	集中給電方式
		構 成	二重化
5.	システムキャビネット	キャビネット構成	電源, 外部端子, 演算器を分割
		サブグループ	ユニット化
		配線方式	ワイヤラッピング, キャビネット間はコネクタ接続
6.	電子計算機との結合		静止形アナログメモリ
7.	環境条件	周囲温度	55°C
		周囲湿度	90%RH

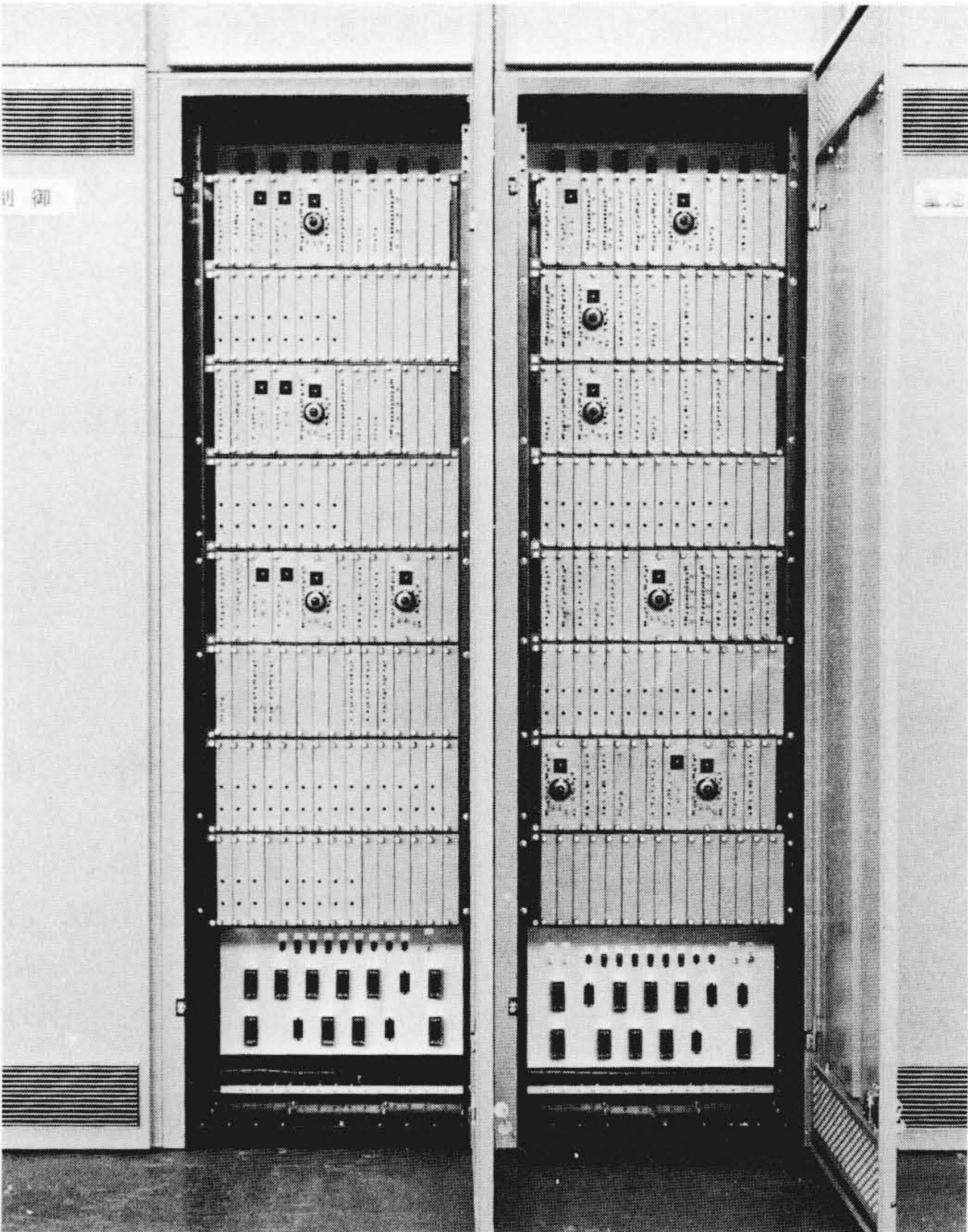
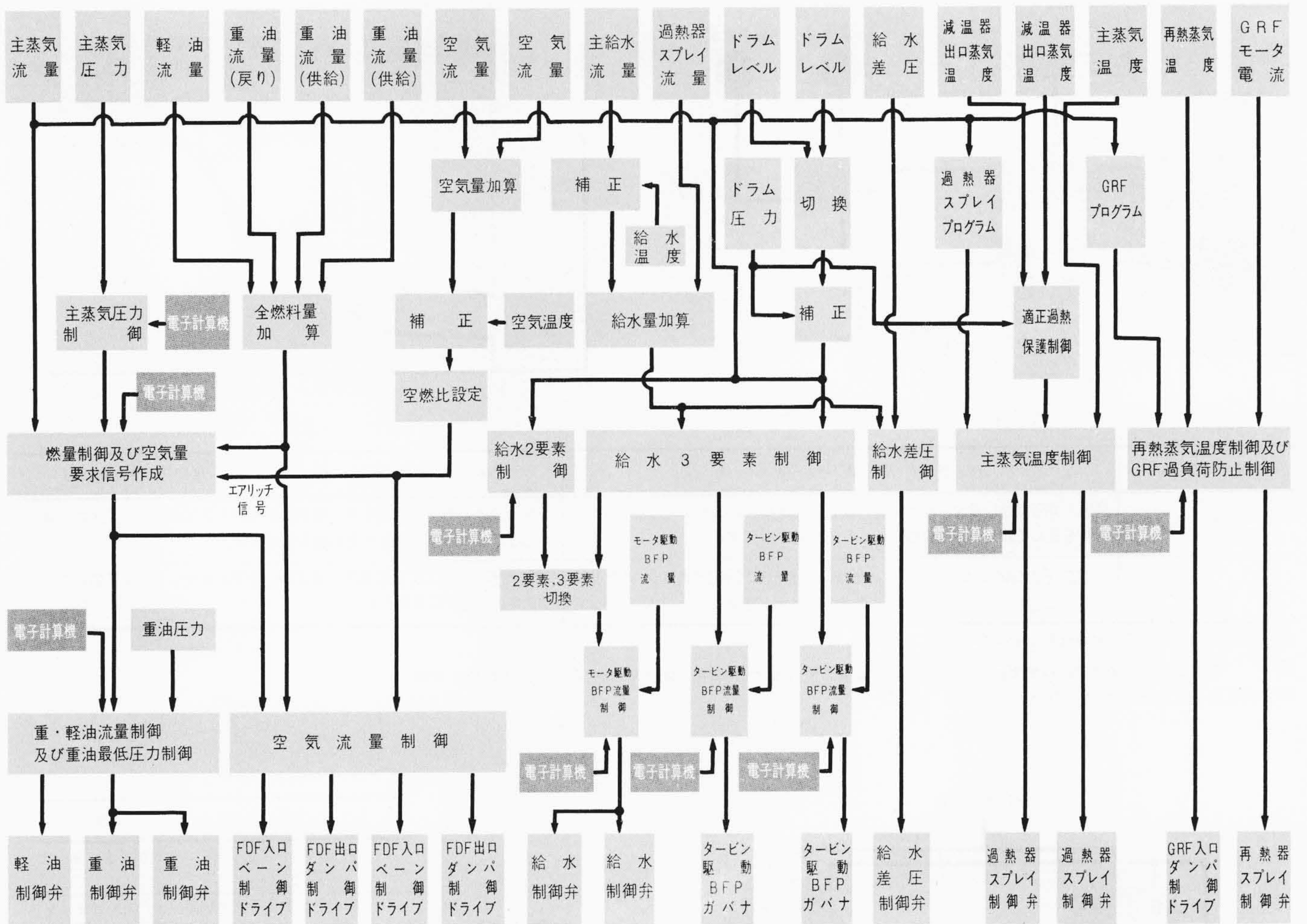


図2 システムキャビネット 演算機能を受け持つモジュールキャビネットで、演算モジュール及び下部にコントロールステーション用のコネクタがあることが分かる。



注：FDF 強圧通風機、BFP 給水ポンプ、GRF ガス再循環ファン

図3 ABC制御ブロック図 ABC装置の発信器、制御演算機能及び操作端をブロック的に全体をまとめたもので制御方式が分かる。

(1) 自動化項目

起動、停止を主体とした自動化は、ボイラ水張りから定格運転まで、また定格運転からプラント停止まで、それぞれ決められたプログラムに従い操作制御する方式とした。図4は主蒸気圧力制御系の直接計数制御(DDC)化を、図5は重・軽油切換えを、図6は給水ポンプ切換え中の一例としてモータ駆動給水ポンプからタービン駆動給水ポンプへの切換えをそれぞれ示す(これらは特に自動化に対し重要な位置を占めている)。

(2) 制御性の改善項目

中央給電所から発電所への負荷変動要求指令は、年々変動幅、変化率とも増大する方向にあり、発電所にとって負荷追従性は非常に重要な要素となってきた。自然循環ボイラの従来の実績は、50%負荷変化幅で3%/minであったが、これを改善するよう考慮するとともに、低負荷における制御性の改善として給水制御系の2要素・3要素制御の切換、タービン駆動給水ポンプ制御の制御性の改善など以下に示す項目につき実施した。

(a) 操作端の適正なレンジ アビリティの確保

起動より全自動化を行なうため操作端のレンジ アビリティは高いものが必要となった。このため、重油制御弁の親子弁によるカスケード制御を、また給水制御弁、再熱器スプレイ制御弁に高レンジ アビリティ弁の採用をそれぞれ行なった。

(b) 給水制御2要素・3要素切換

高負荷領域における給水制御系は、3要素制御にて安定した制御性を得ることができているが、低負荷領域においては主蒸気流量(タービン第一段後圧力で検出)、及び主給水流量に誤差が大きく、また併入前には各種ブロー量があり、3要素制御では制御が難しい領域となるので、2要素制御を設け負荷によって自動的に切り換える制御方式を採用した。

(c) タービン駆動給水ポンプの制御性の改善

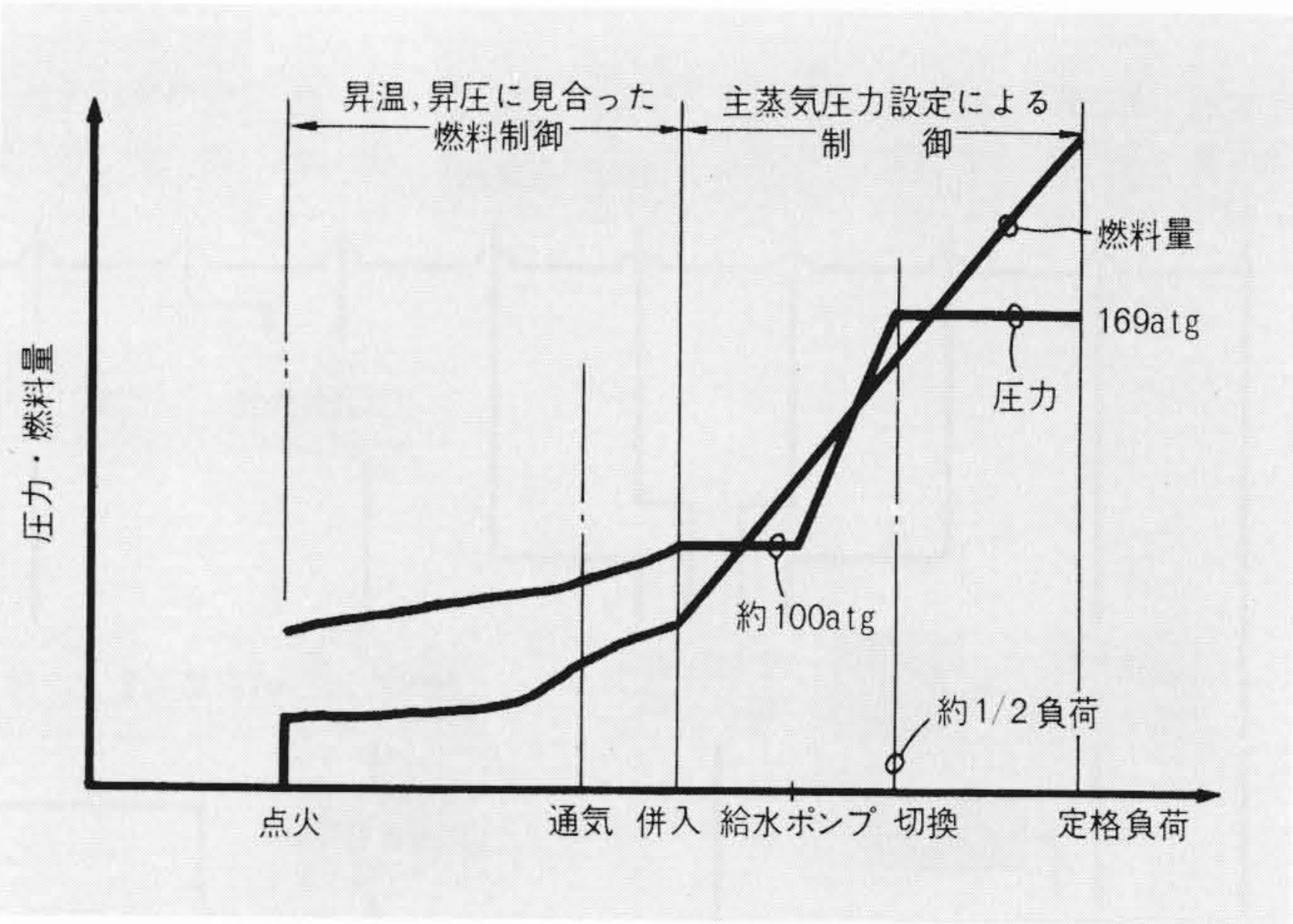
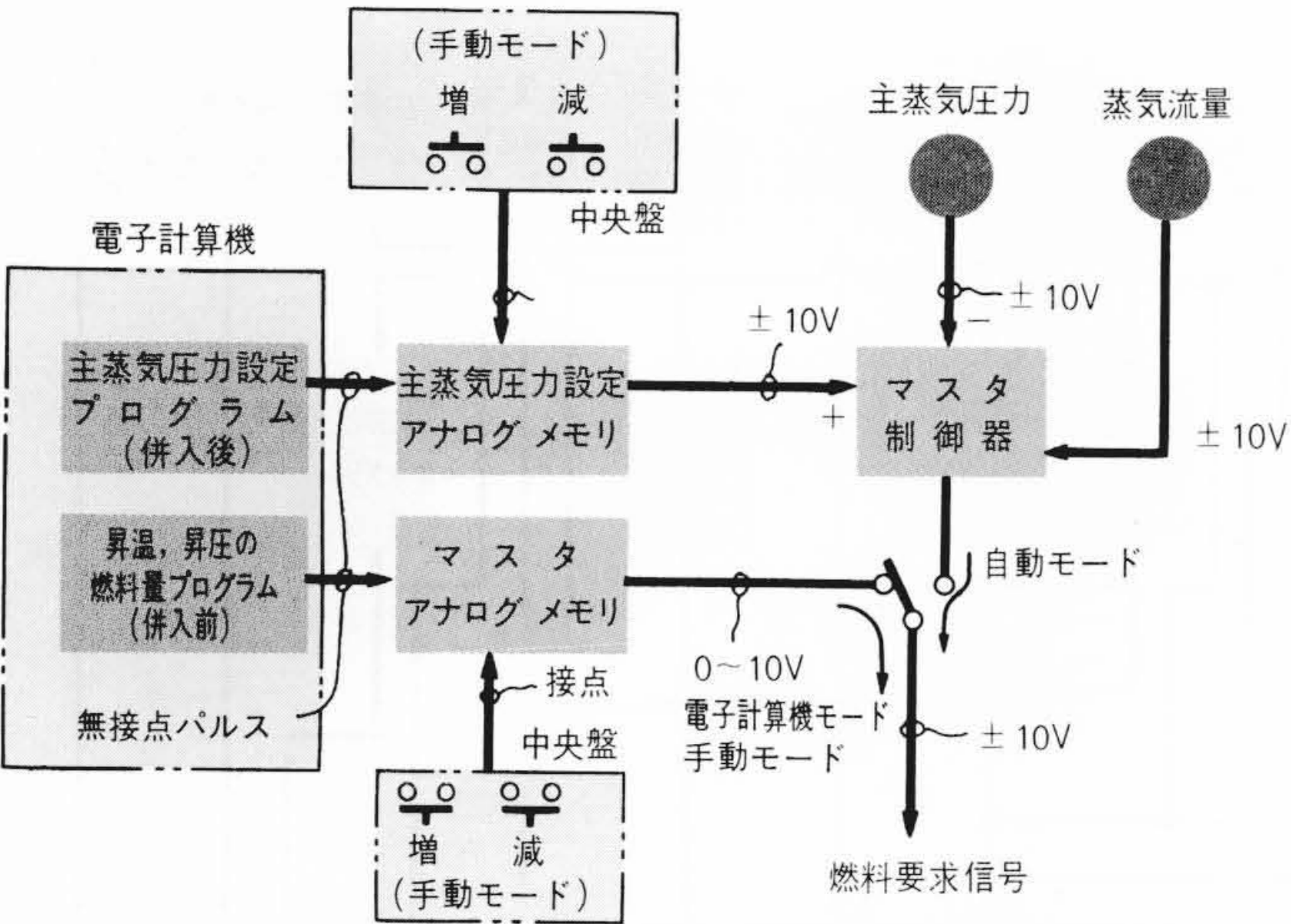
タービン駆動給水ポンプの流量制御は、駆動用タービンの速度制御により行なっているが、速度制御であるためガバナへの制御信号とポンプ流量はリニアにならず、またドラム圧力の変動、駆動蒸気条件の変動により特性が変化する。これらを補正するため、ドラム圧力による補正、負荷による補正(165MWにて蒸気源が切り換わる)を行ない、ガバナ制御信号とポンプ流量がリニアになるように改善した。

(d) 主蒸気温度高速高ゲイン微分回路の設置

各負荷帯における一次過熱器と二次過熱器の熱吸収率は、必ずしも同一傾向でなく、また経年変化によっても変わってくるものであり、これらの対策と制御性を高める目的でこの回路をボイラ動特性の解析により設置した。図7に制御ブロック図を示す。

(e) 主蒸気温度適正過熱度保持制御回路の採用

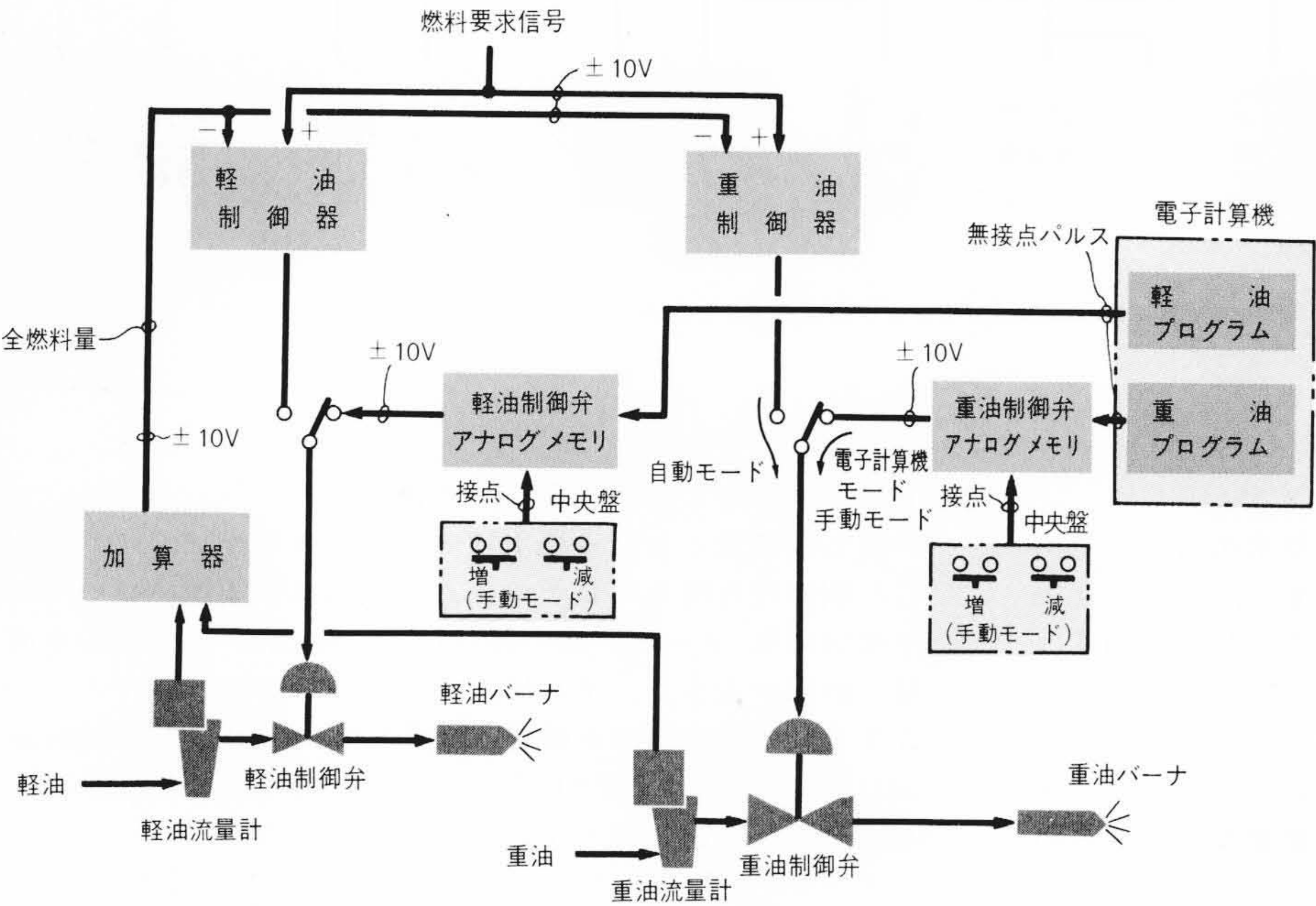
併入後、主蒸気温度は一時的に上昇の傾向にあり、これ



制御項目	ボイラ起動から併入まで	併入から起動モード完了まで
燃料量制御	昇温・昇圧特性に見合った燃料量を電子計算機指令によりマスタ アナログメモリを通して設定し、この指令により燃料量を制御する。	マスタ系は自動モードとなり、電子計算機からの圧力設定に実圧力が追従するようマスタ制御器にて燃料量を制御する。
主蒸気圧力設定	主蒸気圧力制御にはなっていないため、主蒸気圧力設定アナログメモリは実圧力に追従し、マスタ制御器の偏差をゼロとしている。	昇圧特性に合致した主蒸気圧力設定は、電子計算機により主蒸気圧力設定アナログメモリにより行なう。

注：この操作はすべて電子計算機の指令にて行なう。

図4 マスタ制御系とその機能 ボイラマスタ系の併入までの昇圧、昇温及び併入から定格負荷までの昇圧機能並びに自動化方式が分かる。



No.	切 換 手 順
1.	軽油バーナ3セル点火、重油制御弁ウォーミング開度
2.	電子計算機にて重油制御弁アナログメモリを通し、バーナ1セル点火母管圧力まで重油制御弁を徐々に絞る。
3.	重油圧力が1セル点火母管圧力になったら、重油バーナ1セル点火。重油バーナ点火確認後、軽油バーナ1セル消火する。
4.	重油圧力を規定値(6.5kg/cm ² G)を確認し、重油バーナ2セル目を点火する。
5.	重油バーナ点火確認後、重油制御弁を「自動」投入、軽油制御弁を「自動除外」とする。
6.	軽油制御弁を軽油バーナ2セル目点火開度まで絞り、軸油バーナ2セル目を消火する。
7.	軽油制御弁を軽油バーナ1セル目点火開度まで絞り、軽油バーナ3セル目を消火する。
8.	軽油3セル消火確認後、重油バーナを点火する。

注：この切換操作は、すべて電子計算機の指令により行なう。
(重油→軽油もだいたい上記と同一手順)

図5 重・軽油切換説明図 併入前の起動用軽油から、主燃料である重油への燃料切換機能及び自動化方式が分かる。

を抑えるため積極的に過熱器スプレイ制御を行なう計画とした。このため図7に示すように、主蒸気温度の過度な温度低下を防止するため、ドラム圧力より適正過熱度限界となる減温器出口蒸気温度を算出し、設定制御する回路とした。

3 現地試運転結果

3.1 試験工程

このABC装置は、昭和48年8月制御弁の搬入を開始し、同年10月システムキャビネットの搬入を終え据付配線後、翌49年1月9日火入れ、同年3月3日併入、同年6月より営業

運転を開始した。制御装置の調整は、プラント本体の試運転工程に合わせて行ない、ABC装置としてはボイラ燃焼試験の終了した3月末に粗調整を完了し、その後ボイラの動特性試験を実施して最適調整を行ない、5月末起動、停止自動化の最終確認を最後に全調整を完了した。ABC装置調整期間としては、4月8日～14日の動特性試験、4月15日～25日の傾斜負荷変動試験と短期間で終了することができた。このことは、動特性試験より得たボイラ特性の解析検討による最適調整を行なったことに起因するものと考ええる。

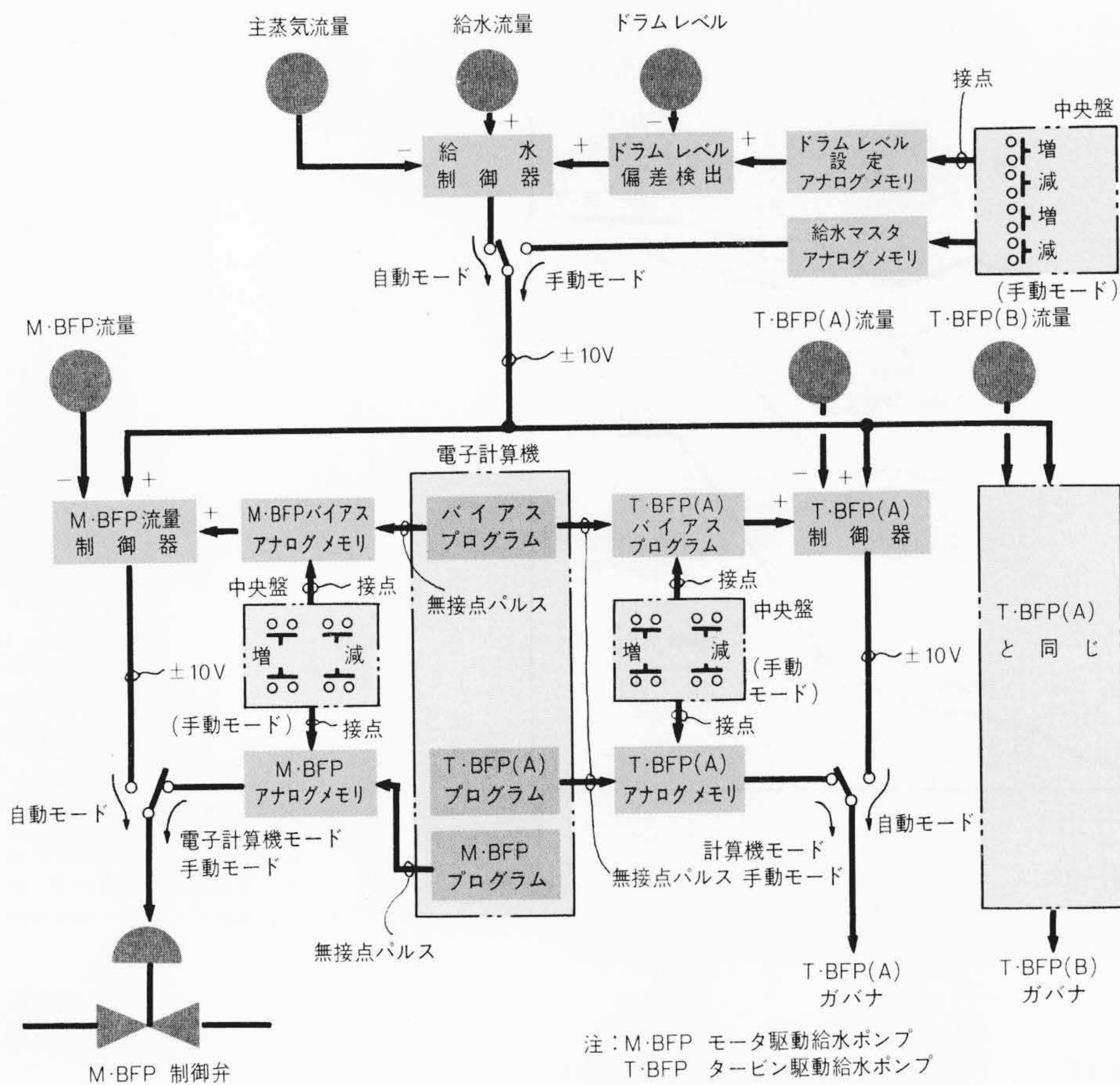


図6 M・BFP→T・BFP切換説明図
制御用電子計算機とアナログ制御系を有機的に組み合わせ制御することにより、M・BFPからT・BFPへの切換の自動化を行なっていることが分かる。

3.2 負荷応答の改善

自然循環ボイラの負荷応答性は、主蒸気圧力、ドラム レベル、主蒸気温度及び再熱蒸気温度の制御性により決定されるが、特にむだ時間、及び遅れ時定数の長い主蒸気温度、再熱蒸気温度の制御性により左右される場合が多い。

主蒸気温度制御への高速・高ゲイン微分回路追設の結果、負

荷応答性は50%負荷変化幅において従来3%/minの負荷応答に比べて5%/分の負荷応答へと大幅に改善できた。図8に負荷応答試験の実績値を示す。高速・高ゲイン微分回路追設前は、負荷変化幅105~350MWで3%/分の負荷変化に対して

- (1) 主蒸気圧力変化幅 $\pm 1.0\text{kg/cm}^2$ 以下(目標値 $\pm 3\text{kg/cm}^2$)、
- (2) ドラム レベル変化幅 $\pm 6.5\text{cm}$ 以下(目標値 $\pm 10\text{cm}$)、

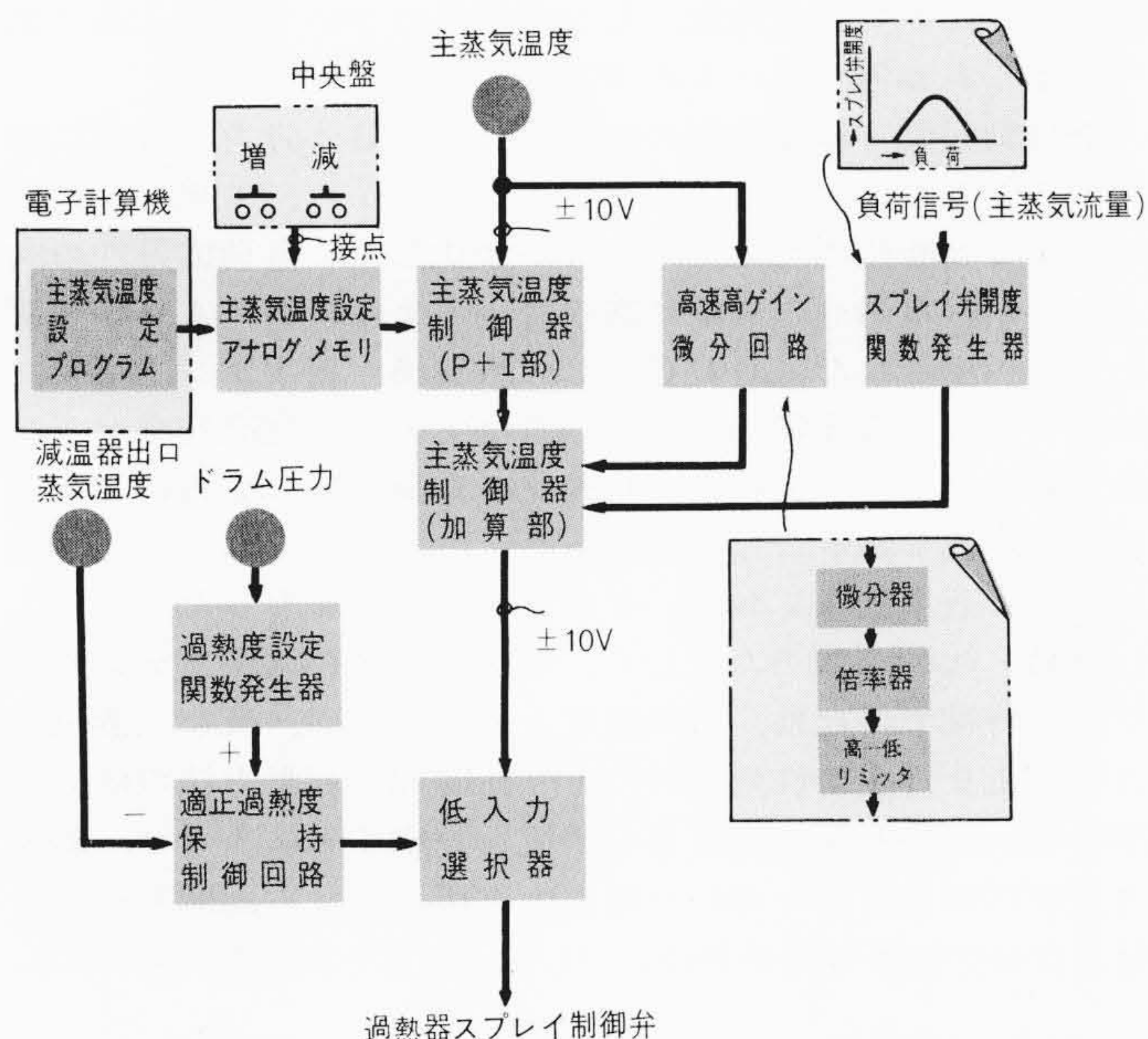


図7 主蒸気温度制御系ブロック図 主蒸気温度制御系を機能別にブロック図に表わしたもので、従来の制御系になかった高速・高ゲイン微分回路、適正過熱度保持制御回路があることが分かる。

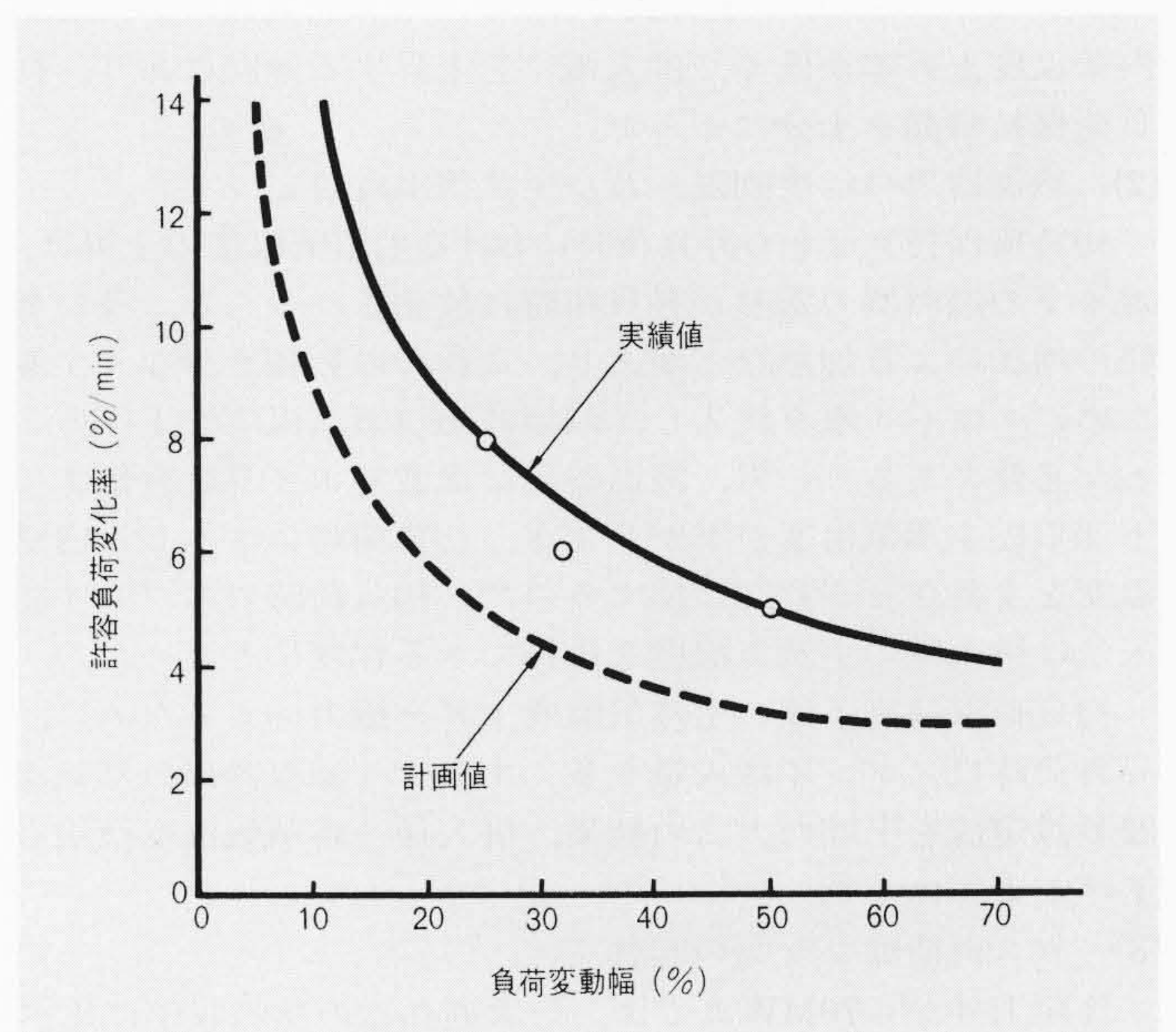


図8 負荷応答計画値と実績値 ボイラ動特性の解析、新しい制御回路の採用で良好な制御結果を得た。

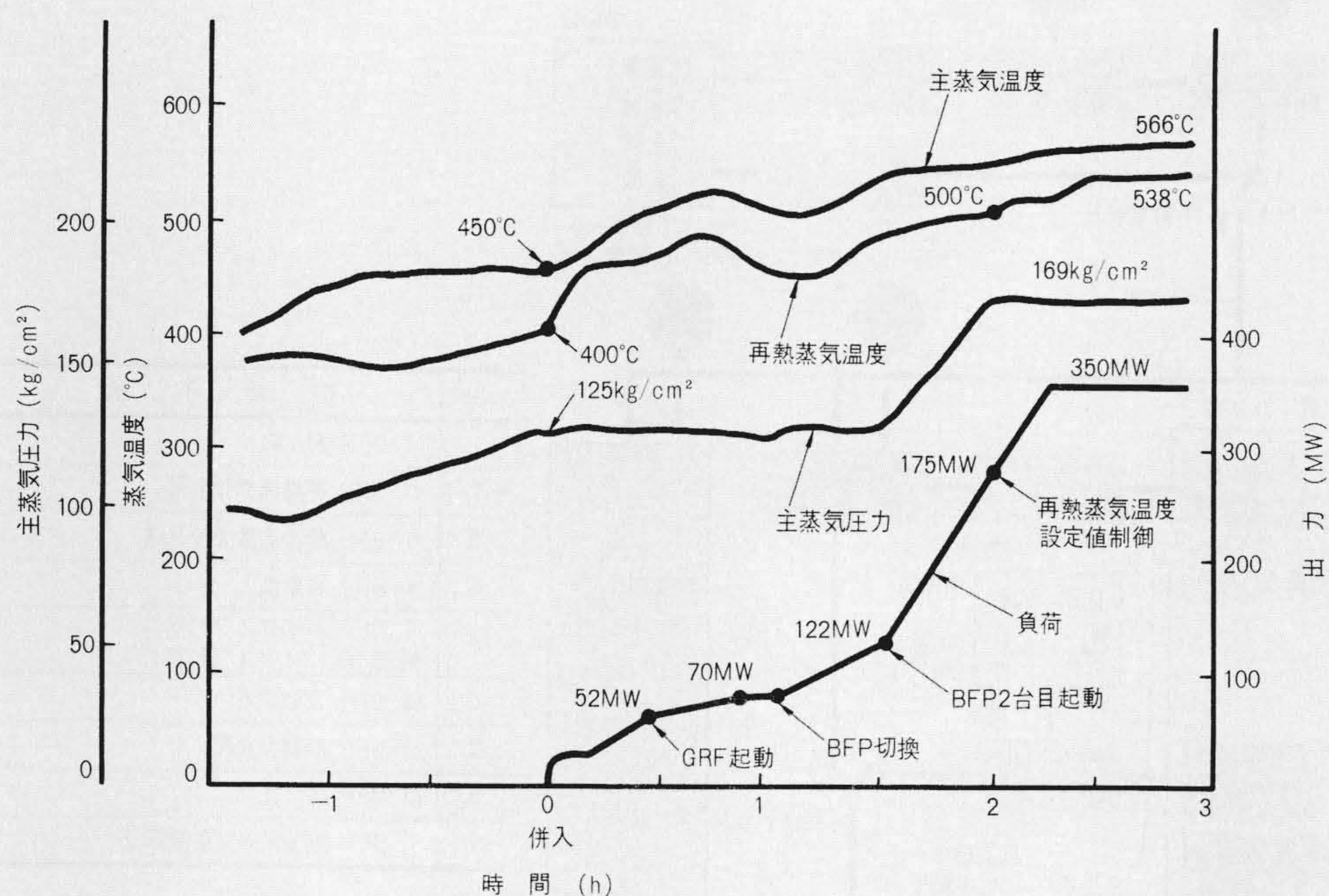


図9 ホット スタート曲線
ボイラ ホットスタートの実績を示したもので、全自動起動した昇温・昇圧特性が分かる。

(3) 主蒸気温度変化幅 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ 以下(目標値 $\pm 10^{\circ}\text{C}$),

(4) 再熱蒸気温度変化幅 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ 以下(目標値 $\pm 10^{\circ}\text{C}$)

と目標値を満足できたが、更にボイラ動特性試験結果より高速・高ゲイン微分回路を追設した結果、同一負荷変化に対し主蒸気温度、再熱蒸気温度とも変化幅を $\pm 5^{\circ}\text{C}$ に改善できた。

3.3 全自動起動結果

ホット スタート時の起動特性を図9に示す。起動特性は、ボイラ タービンにおける熱応力の制限より特に昇温特性が重要である。併入後の昇温特性を確保するため、重・軽油切換は併入前に行なうとともに次の点を改善した。

(1) 初負荷保持時間

コンバインド ガバナ方式では、タービン通気後のタービン内壁温度上昇率が低く、併入後に急上昇する傾向にあり、初負荷保持時間を十分にとった。

(2) 減温器出口温度制限、及び主蒸気温度設定

初負荷保持完了から昇負荷時における主蒸気温度の上昇は、ボイラの過熱器の蓄熱が昇負荷時に放熱されること、及び燃料の増加による加熱などがあり、これらの影響を少なくするためにスプレイ水を注入し、減温器出口蒸気温度を下げる必要がある。一方、減温器出口温度をボイラ許容値まで下げると主蒸気温度が下がりすぎ、初負荷時にタービン内壁温度を上昇させる意図に反するので、初負荷時のスプレイ注入量は併入時の主蒸気温度を維持できる程度にとどめた。

初負荷保持完了後の主蒸気温度上昇を極力抑えるために、昇負荷時にスプレイ注入量を多くするよう減温器出口蒸気温度の設定値を下げた。この結果、併入後一時蒸気温度設定も下げるようにした。

(3) ガス再循環ファンの起動

負荷上昇から70MWまでは、一次過熱器の熱吸収率に比べ二次過熱器の熱吸収率が高い領域であり、減温器出口温度を許容値まで下げて保持しても主蒸気温度が上昇する。この上昇をできるだけ抑えるため、ガス再循環ファンを52MWと比

較的低負荷で起動した。

3.4 信頼性試験

信頼性については、工場出荷前の信頼性確認試験(ノイズ試験、エージング試験、ヒート サイクル試験及びロングラン試験など)とボイラ シミュレータとの組合せによるシステム チェックアウトの徹底によりその確保に努めた。

この結果、併入後現在に至るまで無故障であり、十分な信頼性があるものと期待できる。

4 結 言

このシステムは、事業用大容量火力発電所への国産第1号機となったが、その性能、及び信頼性については輸入品と比べ、優るとも劣らないものであることが実証された。

全自動起動・停止制御の実現は、運転員の労力を多大に軽減するとともに、従来の複雑な監視操作から、監視及び異常に対する判断処理へとその内容が変化した。負荷応答性の向上は、給電事情への貢献に寄与できるようになりABC装置として採用された。DDC化、燃料切換、給水ポンプ切換、給水2要素・3要素切換制御、及び主蒸気温度高速高ゲイン微分回路などは、広範囲の自動化、負荷応答の改善に非常に有効な方式であることが分かった。これらの一部は他のプラントにも適用されており、有効な基礎技術となった。

自動・起動システムとして、今後、ガス再循環ファンのより早い時期での起動、蒸気温度上昇率の検討、及び主蒸気圧力の適正な昇圧特性の検討により短時間の起動方法の確立を図りたい。終わりに、ABC装置を完成するに当たり、御協力並びに御指導いただいた電力中央研究所、電源開発株式会社及び日立製作所関係各位に対し深く謝意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 飯岡、西村ほか「電子式自動制御装置HIACS-1000」 日立評論 55, 673 (昭48-7)