

電源開発株式会社竹原火力発電所 2 号機用

火力発電所の電子計算機による自動化制御システム

Full Automatic Computer Control System of Thermal Power Plant

火力発電所の運転に関する系統構成の多様化に対し、信頼性の向上と省力化のため、最近特に制御用電子計算機を適用した種々の努力が払われてきた。

このシステムではワンマン コントロールを前提にした電子計算機による直接制御とサブグループ制御装置の監視制御とを併用した総括制御により、プラントの起動・停止操作、並びに通常運転時の主操作について広範囲にわたり自動化を行なった。

この論文ではシステムの自動化の範囲、機器の機能、構成、及び現地試運転結果について記述したものである。

なお現地試験の結果から、このシステムが期待どおり良好な制御特性結果を得たことが確認され、十分所期の目的を達成することができた。

大江 貫 司* Kanji Ooe
杉 森 篤 雄** Atsuo Sugimori
射 場 大 造*** Daizô Iba
早乙女達郎**** Tatsurô Sôtome

1 緒 言

火力発電技術は大容量化と効率向上の点で著しい進歩を遂げるとともに、運転に関する系統構成も多様化し、また制御精度の向上と信頼性の確保などについても最近特に強く要請されるようになった。このような要請に応じ得るよう火力発電所の自動化、省力化については種々の努力が払われてきた。

日立製作所においても制御用電子計算機を適用した火力発電所の自動化に取り組み、数多くのプラントを稼働させ、着実にその成果を挙げてきた。

このプラントは従来の実績を生かし、ワンマン コントロールを前提とした全面的な主機関係制御への電子計算機による直接制御方式の採用と、同じく電子計算機によるプラント主要補機の各系統ごとのシーケンシャル制御装置、及びアナログ サブグループ制御装置の監視制御方式とを併用した総括制御方式により、プラントの起動、停止及び通常運転時の操作を広範囲にわたり自動化した火力発電所の自動化分野における最高水準のシステムである。

以下にこれら制御システムの機器構成、機能、及び試運転結果につき順次述べる。

表 1 電源開発株式会社竹原火力発電所 2 号機概略仕様 この発電所におけるボイラ、タービン、発電機及び主要な制御装置の概略仕様を示す。

項 目	仕 様
ボ イ ラ	1.製造者名：バブコック日立株式会社
	2.型 式：バブコック単胴放射形再熱式自然循環ボイラ
	3.圧 力：176kg/cm ² G
	4.温 度：571℃/541℃
	5.蒸 発 量：1115 T/H
	6.燃焼方式：重油専焼方式
タ ー ビ ン	1.製造者名：日立製作所
	2.型 式：横軸衝動くし形 3 車室 4 分流排気式再熱再生復水式タービン
	3.出 力：350,000kW
	4.圧 力：169kg/cm ² G
	5.温 度：566℃/538℃
	6.回 転 数：3,600rpm
発 電 機	1.製造者名：日立製作所
	2.型 式：横軸円筒回転界磁三相交流同期発電機
	3.容 量：390,000 kVA
	4.電 圧：19,000V
	5.力 率：0.9
	6.冷却方式：固定子 直接水冷却 回転子 直接水素冷却
	7.励 磁 機：直結交流励磁方式速応励磁形
制 御 装 置	電子計算機 1.製造者名：日立製作所 2.型 式：HIDIC 500
	ボイラ自動制御装置 1.製造者名：日立製作所 2.型 式：HIACS 1000

2 自動化制御システムの概要

この火力発電所の設備概要は表 1 に示すとおりであり、今回採用した制御用電子計算機は図 1 に示すような処理機能を備えている。以下に制御機能だけにつきその内容を説明する。

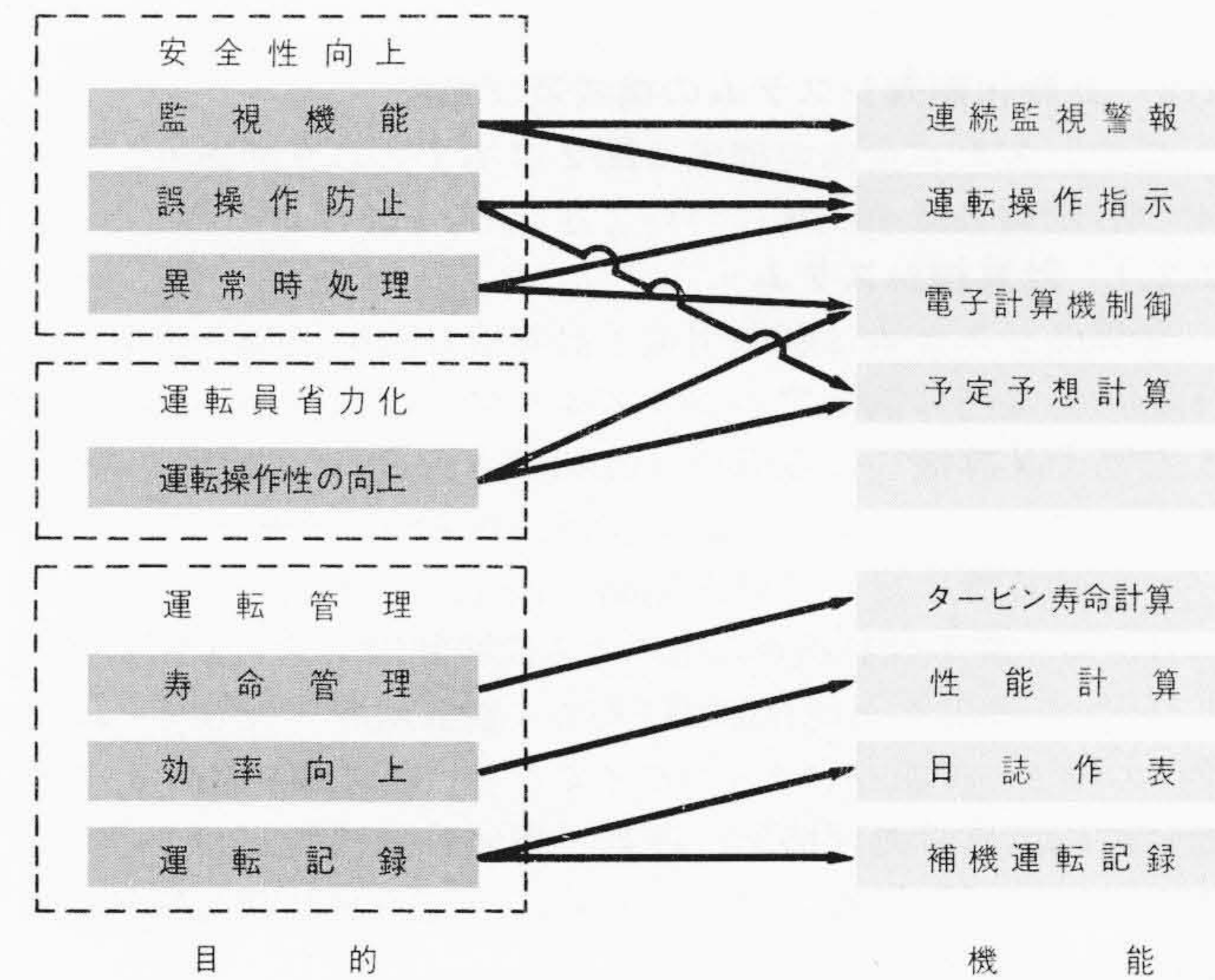


図 1 計算機システム機能 このシステム内で制御用電子計算機に備えられている処理機能概念を示す。

*電源開発株式会社竹原発電所 所長補佐 **日立製作所電力事業本部 ***日立製作所大みか工場 ****バブコック日立株式会社呉工場

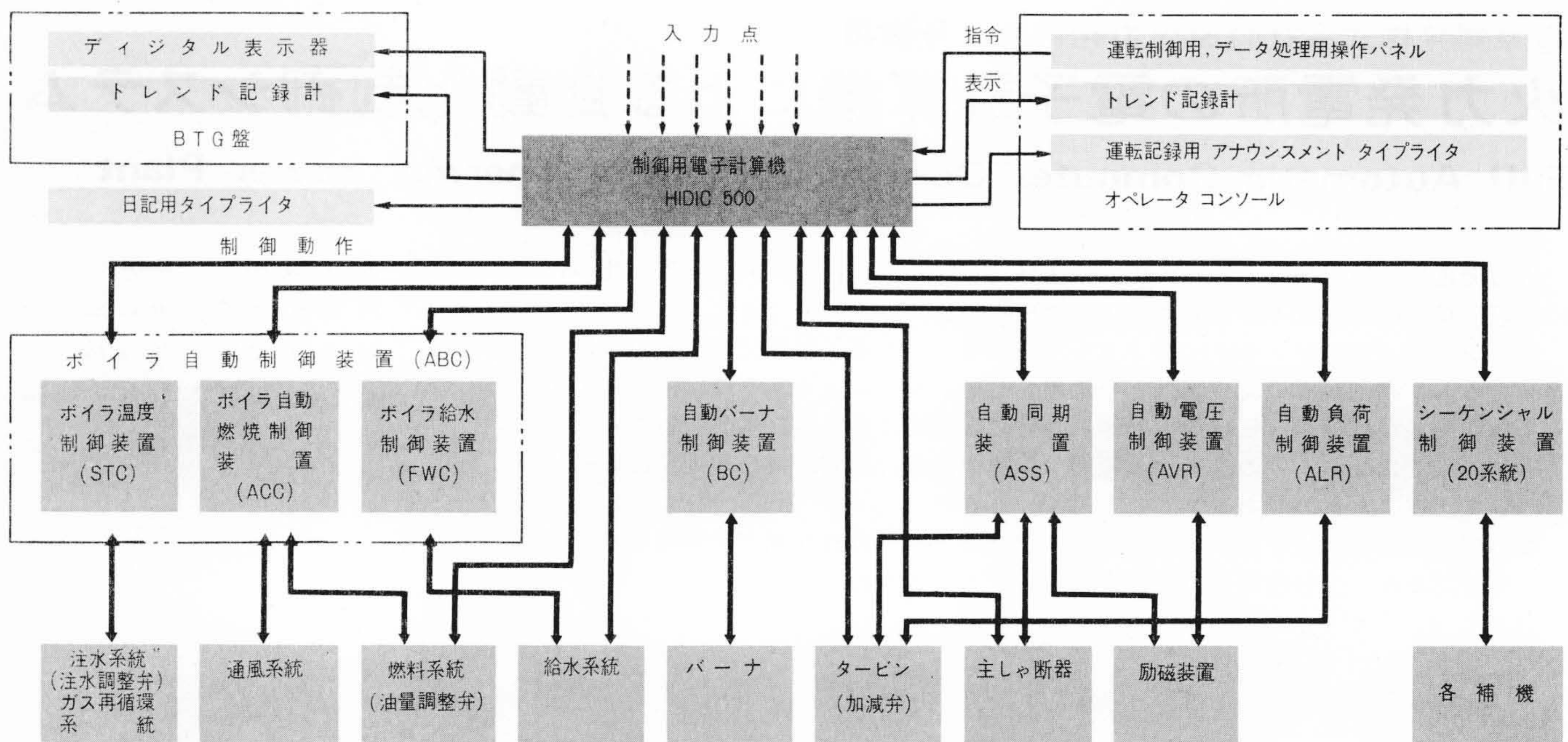


図2 システム全体構成図 このシステムは制御用電子計算機HIDIC 500及び各サブグループ制御装置から構成されている。

2.1 自動化の範囲

自動化の範囲は海復水系統起動から目標負荷到達までの起動過程、任意の負荷から海水系統停止までの停止過程、及び通常運転時の負荷変更操作における主機、補機を含めた広範囲にわたる全操作を自動化の対象としている。

また、計算機制御中にプラント状態、あるいは各種制御装置に異常を生じた場合、速やかに制御動作を中止、又は定値制御に移行して異常状態の拡大を防止するとともに機器の安全には万全を期している。

一方、自動化の対象外範囲は定検時以外ほとんど停止しない機器の起動などのプラント起動準備操作、運転員の判断を必要とする機器の保守点検テスト操作、補助設備の操作、及び通常運転時機器の寿命、性能改善のメンテナンス操作などである。

2.2 自動化制御システムの構成及び機能

このシステム全体の構成は図2に示すとおりであり、次にその各制御装置の役割について述べる。

2.2.1 計算機システム

計算機システムは制御用電子計算機HIDIC 500を中枢とし、電子計算機内に制御アルゴリズムを備えて直接操作端を駆動する電子計算機による直接計数制御方式(以下、DDCと略す)とともにシーケンシャル制御装置、あるいはアナログ サブグループ制御装置に対して動作開始、停止、設定値変更などの制御目標値を電子計算機から指示する監視制御方式(以下、SCCと略す)を併用した総括制御を行なう制御機能、及びオペレータ コンソール並びにタイプライタなどによる操作指示、状態表示機能、異常処理機能、運転目標値計算機能、プラントの状態推移、運転経過記録、あるいは予定予想時刻計算機能などが備えられている。

なお電子計算機のハードウェア仕様を表2に示す。

(1) 制御機能

このシステムには2.3.1の電子計算機用オペレータ コンソール盤に設けられている各ブレイク ポイントの起動にEvent Orient方式が採用されているため、プラントがどのような状

態にあっても適切な時期に、適切な操作が行なわれ、常にプラント側と電子計算機が同期がとれるよう計画されている。プラント起動過程における具体的な制御内容を図3に示す。

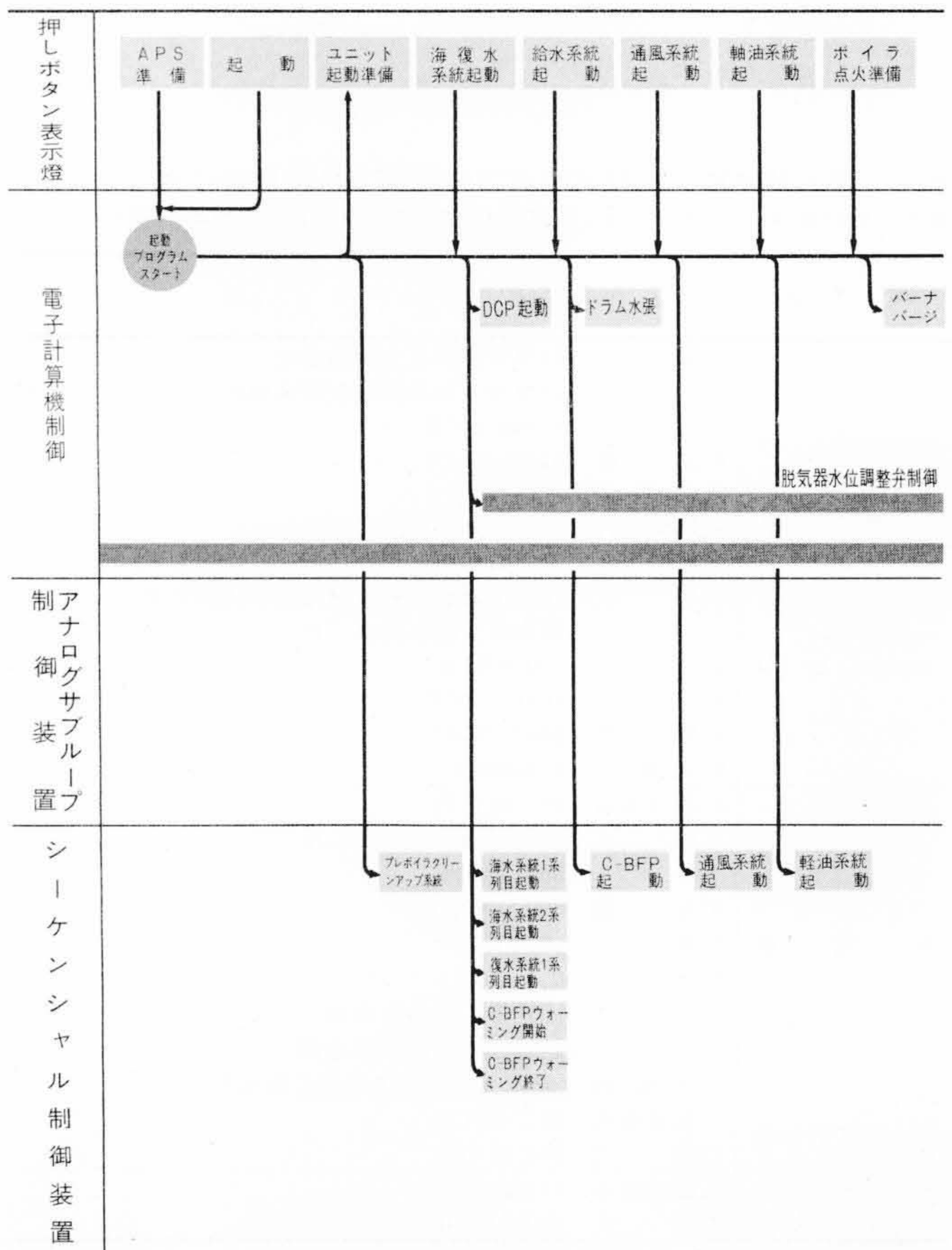


図3 自動操作内容(プラント起動) ユニット起動準備から目標負荷までのプラント起動過程において電子計算機により自動的に操作される制御内容である。

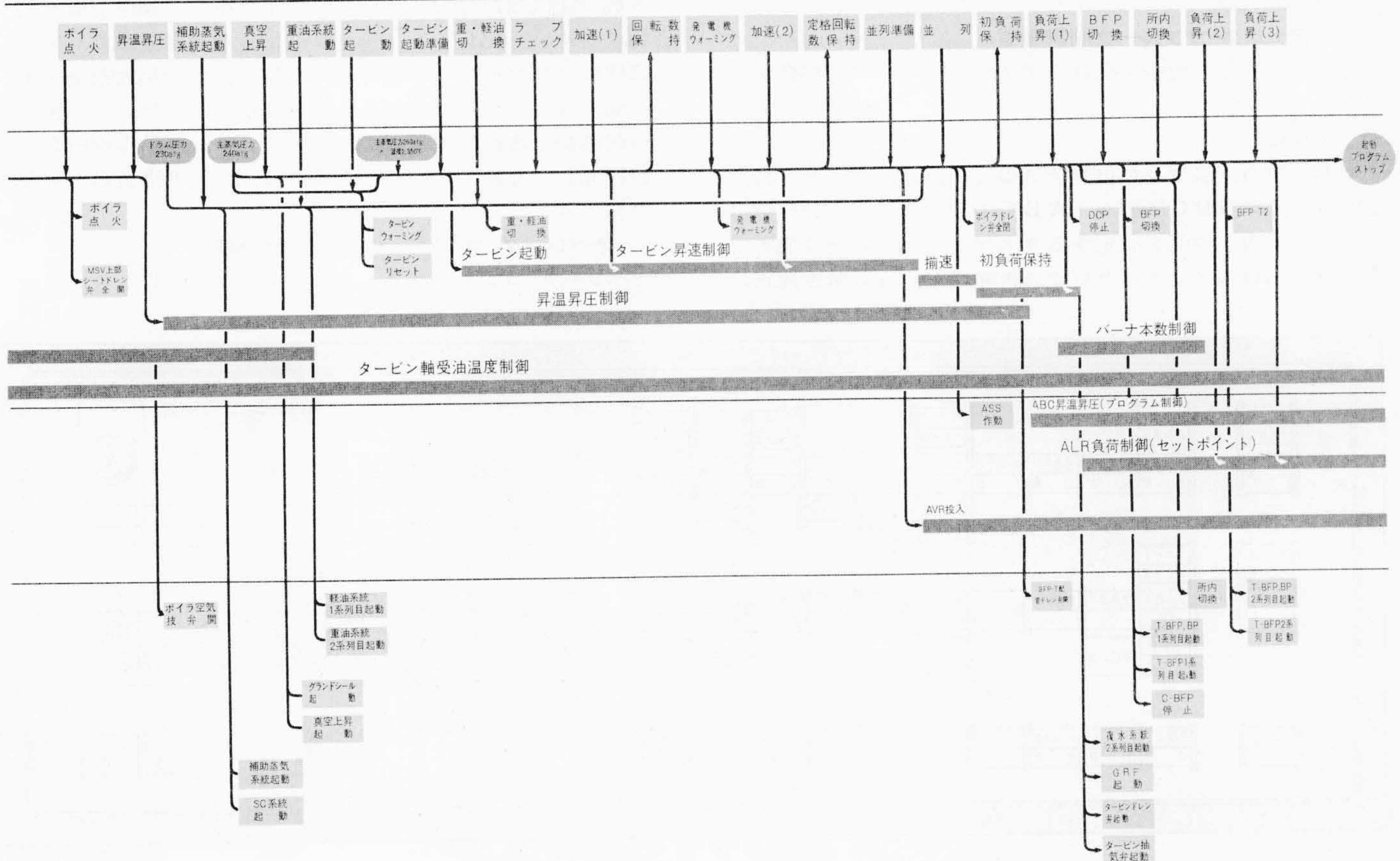
表2 計算機システム機器仕様 このシステムにおける制御用電子計算機の主要なハードウェアの構成を示す。

項	目	仕 様
中 央	処 理 装 置	HIDIC 500
磁 気	コ ア 容 量	24K 語
補助記憶装置	磁 気 ド ラ ム 容 量	384K 語
	コンソール入出力装置	一式
プロセス入出力装置	ア ナ ロ グ 入 力	592点
	デ ィ ジ タ ル 入 力	816点
	パ ル ス 入 力	30点
	割 込 入 力	32点
	ア ナ ロ グ 出 力	12点
	デ ィ ジ タ ル 出 力	464点
	パ ル ス 出 力	40点
周 辺 機 器	コンソール入出力装置	一式
	光電式紙テープ読取器	"
	オペレータ コンソール	"
	タ イ プ ラ イ タ	
	警報アナウンスメント用	IBM-735 1 台
	運 転 記 録 用	" 1 台
	運 転 日 誌 用	" 1 台
	紙 テ ー プ セ ン 孔 機	一式
	アナログトレンド記録計	3 ペン式 4 台
	デ ィ ジ タ ル 表 示 器	5 本けた 2 組み

(2) 計算機直接制御

この制御は電子計算機がフィードバック ループに入っているため、非線形制御などが容易に行なわれ、より優れた制御特性が期待できる。以下にその範囲、内容につき述べる。

- (a) 電動給水ポンプを起動し、給水制御弁を電子計算機から直接操作して、ポンプの流量制御を自動投入するまでのボイラ水張制御。
- (b) 軽油流量制御弁を電子計算機から直接操作するとともに自動バーナに点火指令を出し、点火完了後ボイラ自動制御装置(以下、ABCと略す)の燃料マスタへ起動モードに対応した初期燃料量の設定を行ない、軽油流量制御弁を自動投入するまでのボイラ点火制御。
- (c) ボイラ点火時のドラム圧力からボイラ スケジュール計算を行ない、ABCの燃料マスタ設定器を介して燃料量を直接制御するとともにボイラ ドレン弁をドラム圧力に応じたプログラム制御を行なうボイラ昇温昇圧制御。
- (d) 軽油流量制御弁、又は重油流量制御弁のいずれか一方を自動、他方を電子計算機から直接操作し、重油バーナに点火、軽油バーナに消火指令を出し、重油流量制御弁の自動投入及び軽油バーナ全数消火までの重・軽油切換制御。
- (e) 主蒸気止め弁のパイロット弁及びタービン ドレン弁を電子計算機から直接制御するタービン暖機制御。
- (f) タービン通気時の mismatch 温度からタービン起動スケジュール計算により、タービン起動条件の昇速率、各暖機速度における暖機時間、初負荷量、初負荷暖機時間、負荷上昇率などに基づき、タービン通気からラブチェックを経て定格速度に至るまでのタービン速度制御、定格速度到



注：APS＝自動プラント起動装置 ASS＝自動同期装置 T-BFP＝タービン駆動給水ポンプ SC＝蒸化器
DGP＝脱気器循環ポンプ ABC＝ボイラ自動制御装置 BP＝ブースタポンプ MSV＝主蒸気止め弁
BFP-T＝給水ポンプ駆動タービン AVR＝自動電圧調整装置 GRF＝ガス再循環ファン

表3 シーケンシャル制御装置 電子計算機からの指令により作動するシーケンシャル制御装置の内容を示す。

装 置 名		装 置 名	
No.	ボイラ関係	No.	タービン関係
1	通風系統	1	海水系統
2	軽油系統	2	復水系統
3	ボイラ空気抜弁系統	3	C-BFP系統
4	補助蒸気系統	4	C-BFPウォーミング系統
5	スチームコンバータ系統	5	グランドシール系統
6	重油系統	6	真空上昇系統
7	GRF系統	7	タービンドレン弁系統
8	プレボイラ クリーンアップ系統	8	抽気弁系統
—	—	9	BFPタービン蒸気管ドレン弁系統
—	—	10	T-BFPブースタP系統
—	—	11	T-BFP系統
—	—	12	所内切換

注：C-BFP=電動給水ポンプ
T-BFP=タービン駆動給水ポンプ
G R F=ガス再循環ファン

達後、自動同期装置(以下、ASSと略す)を介しての同期操作、更に同期併入後の初負荷制御を経て15%負荷までの負荷制御を行なうタービン起動制御。
(g) 電子計算機により油冷却器の冷却水制御弁を直接操作するタービン速度に見合った給油温度制御。
(h) 負荷上昇、降下過程で電動給水ポンプからタービン駆動給水ポンプへの給水制御の移行、及びその逆動作を流量バイアス設定器のバイアス信号を直接電子計算機から制御する切換制御。

2.2.2 アナログ サブグループ制御装置

電子計算機から指令を受けるアナログ サブグループ制御装置について次に述べる。

(1) ABC

主蒸気圧力、温度及び再熱蒸気温度制御は、タービン初負荷保持完了後DDC制御からABCの設定器へ電子計算機により目標圧力、温度を設定するカスケード制御に切り換え、燃料量、SHスプレイ量及びガス再循環量、空気量を適正に

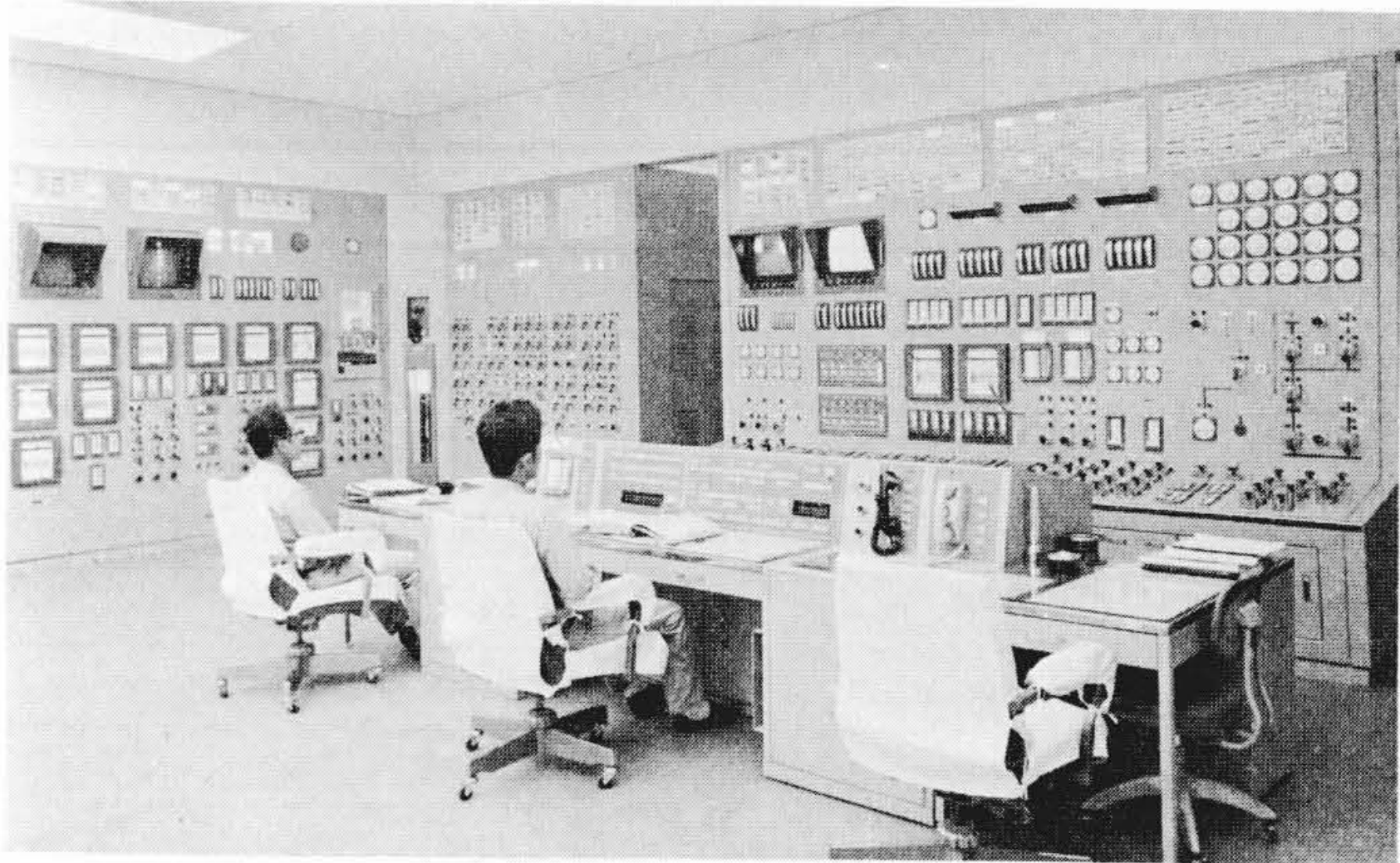


図4 中央制御室 電子計算機用オペレータ コンソール盤を中央に独立して設置し、後方右側よりBTG盤、補機盤、計器盤を配列した中央制御室である。

- 制御する。
(2) 自動バーナ制御装置(BC)
電子計算機による軽油バーナ、重油バーナの自動点火・消火、及び起動・停止過程の本数制御、並びに軽油から重油への自動切換機能を備える。
(3) 自動電圧調整装置(AVR)
(4) ASS
(5) 自動負荷制御装置(ALR)

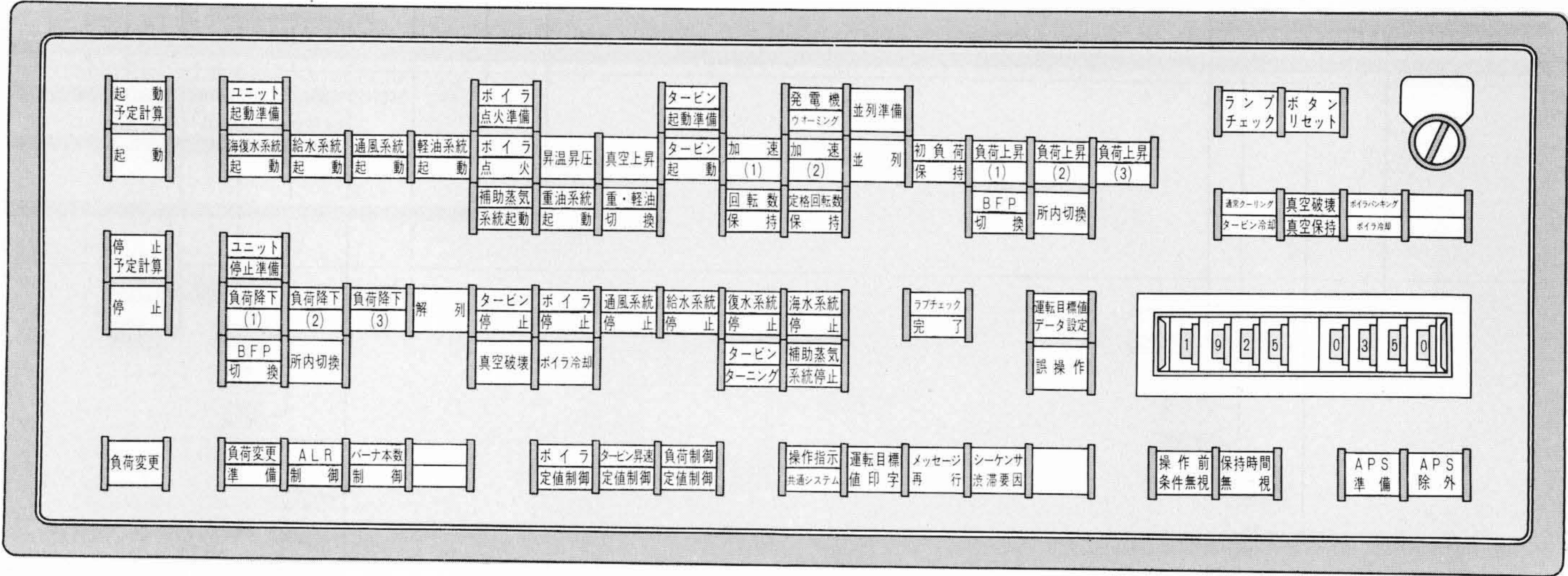
起動、停止及び負荷変更過程の負荷15%以上における負荷制御は、ALRのセットポイント制御により行なう。

2.2.3 シーケンシャル制御装置

多数の補機及び弁類などの運転操作の中で、操作手順を定形的にパターン化しインターロック化した制御装置で、電子計算機によりプラントの進行過程を監視しつつ起動指令を出し作動するもので、その内容を表3に示す。また、この装置への起動指令後操作完了までのシーケンシャル動作が所定の時間経過しても終了しない場合は、「異常」の渋滞表示を行ない警報する。

2.3 オペレータ コンソールの構成及び機能

オペレータ コンソールはこのシステムと運転員との間のマ



注：APS=自動プラント起動装置 BFP=給水ポンプ ALR=自動負荷制御装置
図5 電子計算機用オペレータ コンソール正面図 オペレータ コンソール盤に設置される制御処理パネル正面図で、制御操作、データ要求などの機能をもつ。

ンマシン コミュニケーションの手段として最も重要な部分であり、電子計算機用と各アナログ サブグループ制御装置、及びシーケンシャル制御装置用に分かれている。

電子計算機用は独立のオペレータ コンソール盤を設け、マシンマシン コミュニケーションの中核としての機能をもたせている。また、各制御装置用オペレータ コンソールはボイラ、タービン、発電機盤(以下、BTG 盤と略す)内に組み込まれ、通常の制御装置、操作器具との一体化を図り運転上、操作しやすい配列とした。図 4 に中央制御室の全体を示す。

2.3.1 電子計算機用オペレータ コンソール盤

このコンソール盤は図 5 に示す制御処理パネル、及びデータ処理パネルから構成されている。

制御処理パネルの機能は、起動、停止、負荷変更の操作過程を、各の操作手順に従ったブレイク ポイントごとに操作進行押しボタンが配列されており、ランプの状態により各ブレイク ポイントの進行状態が表示されるとともに進行許可機能を兼ね備え、操作前条件成立後、押しボタン操作により制御を開始する。

2.3.2 各サブグループ制御装置用オペレータ コンソール

このコンソールは各サブグループ制御装置ごとに電子計算機と接続する照光式押しボタンが配列されている。

アナログ サブグループ制御装置は、各機能に応じた押しボタンを構成し、図 6 に示すように各制御系統単位に制御モード切替、モード表示、及び手動操作を基本構成としている。この押しボタンはバンプレスに切り換わり、計算機モードに選択すると電子計算機に接続され、制御系の自動投入、除外の操作が行なわれる。また、電子計算機異常の場合は制御系の状態に応じ、自動モードあるいは手動モードに切り換わる。

シーケンシャル制御装置用押しボタンの構成は、図 7 に示すように各系統別に配列されている。

モード選択押しボタンは、計算機指令を受付可能な計算機モード、起動、停止操作により動作可能な単独モード及びシーケンサの動作を停止する除外モードに適宜選択し、プラント状態に応じた運転操作が可能である。

3 システム計画上の考慮点

このシステム計画上考慮した主な点を次に述べる。

3.1 異常処理機能を備えたシステム

電子計算機から各制御装置への制御出力回路は電子計算機の故障、又は他の原因による誤出力により制御装置の誤動作を防止するため、制御出力がリレー出力のもの(シーケンサ、BC、AVR、ASS、DDC などへの制御出力)は電子計算機が制御を行なわないときはリレー回路の電源を「切」にし、電子計算機が故障の場合にも自動的に電源が落ちるようにして各制御装置の制御動作を中止する。また制御出力が電圧パルス列出力のもの(ABC、ALR)は電子計算機が制御を行なわないときは電子計算機から単独モード切替指令を出し、各制御装置を単独モードに切り換え、電子計算機からのパルス列出力を受け付けないようにするとともに、電子計算機異常の場合にも電子計算機から切り離し定値制御に切り換える。

3.2 運転操作性の向上

プラントの起動、停止の際の運転スケジュールは、従来運転員によって決められていたが、これを電子計算機により処理することにしたもので併入予定時刻、目標負荷などの予定時刻計算データを設定して、予定時刻計算の押しボタンでリクエストすると、プラント主要操作の時期などスケジュール

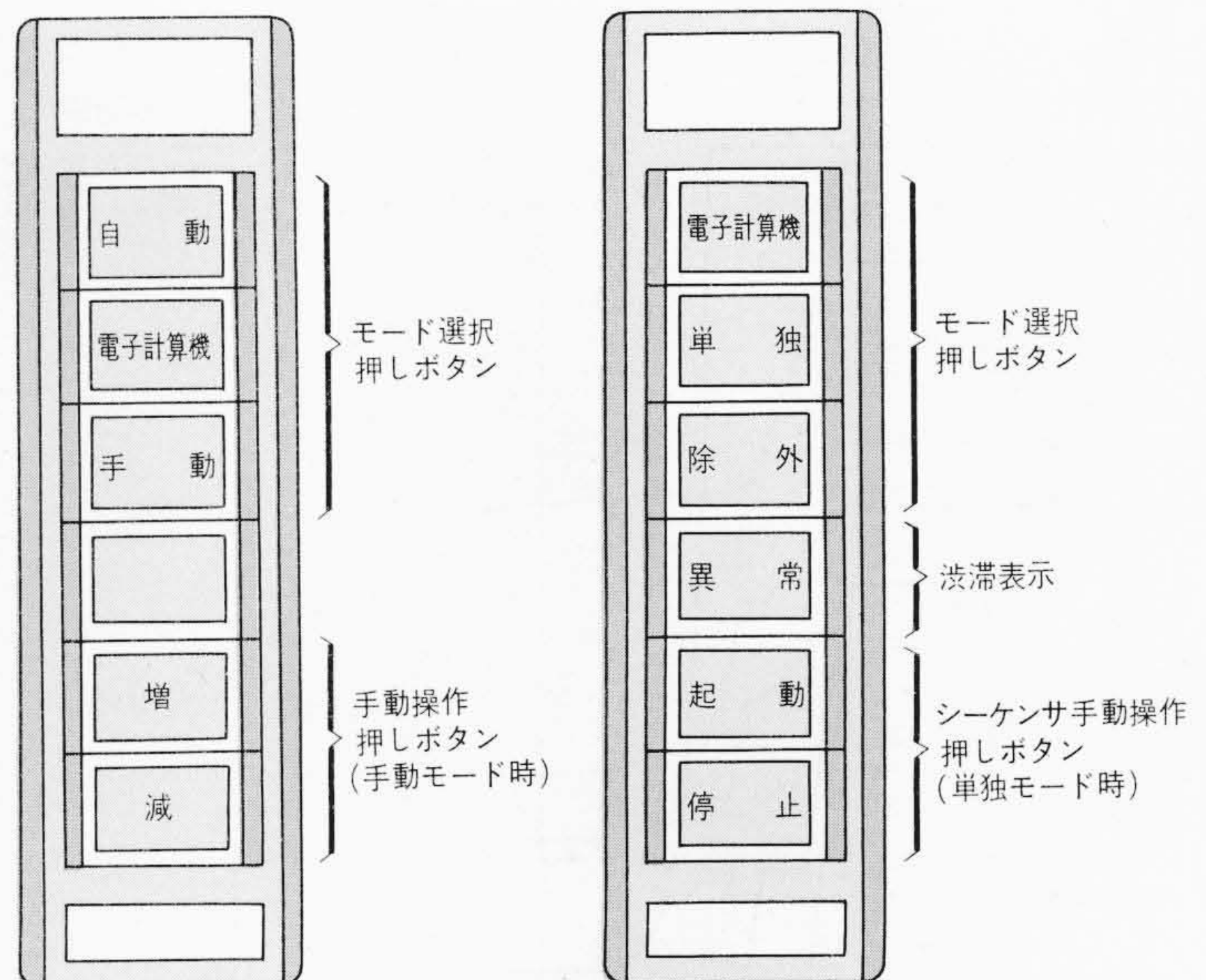


図 6 アナログ サブグループ制御装置用照光式押しボタンの構成
アナログ サブグループ制御装置の制御操作のための照光式押しボタンの基本構成を示す。

図 7 シーケンシャル制御装置用照光式押しボタンの構成
シーケンシャル制御装置の制御操作のための照光式押しボタンの基本構成を示す。

計算を行ない、アウトプットして運転スケジュールの立案に役立てる。また計算機システム使用時は、このスケジュールに合わせて計算機制御を行なう。

計算機制御開始後は、主要操作実施時に現在のプラント状態から併入、又は解列時刻のずれを修正計算して印字する。また、プラント異常などにより操作が遅延した場合にも同様修正計算して印字し、合理的運用と計画的運転指示を運転員に与えることができる。

4 現地試運転結果

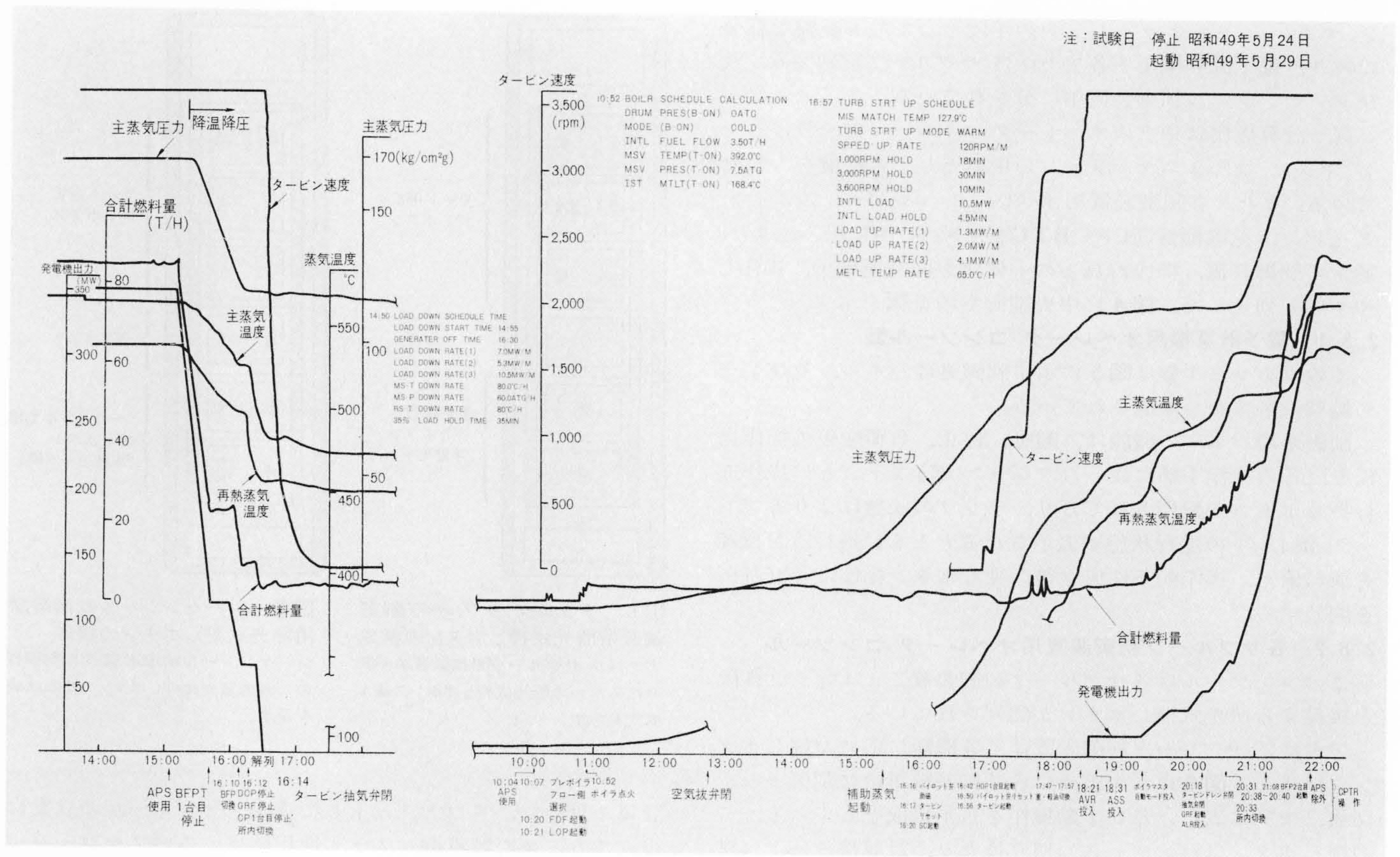
計算機自動化制御システムの調整は、プラント機器及び各種制御装置の調整試運転工程と併行して行なわれ、試運転における実績では良好な信頼性が実証された。

4.1 試運転工程

このシステムは工場においてデータ処理プログラム、及び制御プログラムの十分なシミュレーション テストを行ない、昭和48年10月現地搬入し、プログラムの再現性確認、プラント検出器及び制御装置とのマッチングを試運転開始までに完了させるとともに12月中旬以降プラントの試運転工程に合わせて計算機制御のプログラムの実機試験を行ない、初期の段階で完了させたため、プラント試運転調整は非常に早い段階から電子計算機により自動操作が行なわれ、問題点の早期把握、及び装置に対する運転員の慣れを十分に得ることができた。翌昭和49年4月末には自動化プログラムの全範囲にわたっての確認が終わり、5月初めから1ヶ月間に24回の各種モードよによる起動、停止を繰り返し行なって、全装置の総合確認試験を実施し、このシステムの安全性、制御性、操作性及び機動性についてあらゆる面から確認し、すべての機能が当初の目標を十分に満足していることが実証された。これらの各種試験による調整は官庁試験までにすべて完了し、昭和49年6月から営業運転に入った。

4.2 現地試運転結果

計算機制御による5昼夜停止(冷罐起動)のプラント起動停止実績の一例を図 8 に示す。



注：APS=自動プラント起動装置 CP=復水ポンプ AVR=自動電圧調整装置 CPTR=計 算 機
BFPT=給水ポンプ駆動タービン FDF=押込ファン ASS=自動同期装置
BFP=給水ポンプ LOP=軽油ポンプ GRF=ガス再循環ファン
DCP=脱気器循環ポンプ SC=蒸 化 器 ALR=自動負荷制御装置

図8 実績起動停止曲線 計算機制御による5昼夜停止の場合のプラント起動停止実績の一例を示す。

4.2.1 ボイラ昇温昇圧制御

自然循環形ボイラの昇温昇圧制御は燃料量によるフィードバックをとり、ボイラドレン弁をボイラドラム圧力に対するプログラム制御として予測制御、及び可変ゲイン方式を採用し連続的に短い周期できめ細かな燃料量の制御が可能となり、昇温率もほぼ一定で滑らかな温度上昇が得られたためメタルの熱応力が少なく、起動時間を短くすることができた。また、これらボイラにマッチした良好な制御特性は、あらゆる運転モードの全制御領域にわたって確認することができた。

4.2.2 タービン起動制御

タービン起動制御は、従来の主蒸気止め弁バイパス弁制御に代わりコンバインド ガバニング方式の加減弁制御が採用され、起動、低負荷時には絞り調速、高負荷時にはノズル締切調速を加減弁のみで行なうため、タービン第1段落後における温度降下が少なく、負荷変化率の許容値が高く得られる特長があるが、これらの結果は実機によるロードランバック試験時(100%負荷から30%負荷を2分で降下)の急激な負荷変化からも実証された。

また、タービン起動操作は、通気時点から目標負荷まですべてロードリッタ モータによる制御が可能となり、加減弁切換操作がなくなり、安定した負荷制御ができるようになった。しかし一方、タービン昇速、揃速の際のロードリミッタの制御性が懸念されたが、モータの高速、低速の2スピードの採用と従来の方式の定数変更だけで劣らぬ結果が得られた。

4.2.3 予定予想時刻計算

総合確認試験の結果より実績値をもとに修正を行ない、起動、停止の負荷パターンの定形化が可能となり、あらゆる運転モードについてもほぼ計画時の考え方で調整が進められ、電子計算機の指示が運転員の指標となり得ることが確認できた。

5 結 言

電源開発株式会社竹原火力発電所2号機の自動化制御システムの機能及び現地試運転結果の概要について述べた。このシステムでは自然循環形ボイラによる火力プラントのあらゆる運転モードの起動、停止及び通常運転時の運転操作を対象に特色ある機能を盛り込んだ広範囲にわたる自動化を試み、すべて良好な制御特性結果も得られ期待どおりの成果を得、十分所期の目的を達成することができた。更に今後ここで得られた経験を基にして検討を進め、プラントの安全性の向上と完全自動化へよりいっそうの努力を行なう考えである。

最後にこのシステムを完成するに当たり、終始御指導、御援助をいただいた電源開発株式会社、株式会社日立製作所、バブコック日立株式会社の関係各位に対し、厚くお礼申しあげる次第である。

参考文献

- (1) 二川原ほか：「計算機制御システム」日立評論53, 943(昭46-10)
- (2) 射場ほか：「計算機制御システム」日立評論55, 8(昭48-6)
- (3) 二川原ほか：「火力発電所自動起動停止システム」日立評論5, 12(昭48-12)