

中国電力株式会社玉島火力発電所 3号機用
火力発電プラント広範囲自動化システム

Wide Range Full Automatic Control System of Thermal Power Plant
for Tamashima P.S. No.3 Unit of Chugoku Electric Power Co.

中国電力株式会社玉島火力発電所 3号機用に納入したHIDIC 500計算機制御システムは、計算機直接制御を中心に計算機監視制御、及びシーケンシャル制御の組合せによって、火力発電プラントの起動、停止及び負荷運転中の操作に関し広範囲にわたる自動化を行なった。このシステムはボイラ・タービン主機まわりの制御のほかに補機にまで計算機制御を採り入れた広範囲な自動化システムであり、実質3名の運転員により火力発電所の運転が可能である。

また、このシステムではオフライン電子計算機で自動的に制御プログラムを作成する方式を開発適用し、制御プログラム作成上マンパワーの削減に大きな効果を得た。

河本博好* Hiroyoshi Kawamoto
二川原誠逸** Seiitsu Nigawara
福島弘一郎*** Kôichirô Fukushima
森尾 勝**** Masaru Morio

1 緒 言

火力発電所の起動・停止操作の自動化は、近年電力各社で試みられているひとつの課題であるが、中国電力株式会社においても運転上安全性の向上と省力化による経済的メリット追求のひとつの問題として、玉島火力発電所1号機(昭和46年3月運転開始350MW)以来幾つかのユニットで試みてきた。このたび、昨49年6月に営業運転を開始した同所3号機においては、これらの試みの中で得た経験を基に、よりいっそう高度の自動化が計画された。

日立製作所では、この一連の要請に基づき、既に玉島火力発電所1号機以来多数のユニットに、タービンの起動を中心とした電子計算機による直接制御(DDC)を含む広範囲シーケンスモニタシステムを開発納入し、技術的検討と電子計算機システムの信頼性の確認を行なってきたが、今回開発したシステムは、これらの技術を集大成し、自動操作の範囲をボイラ、ボイラ給水ポンプ各種補機にまで広げ、DDCを中心にした広範囲自動起動・停止システムであり、これによって3名の運転員によるユニットの起動、停止を可能にした。

このユニットは、技術面、経済面からみて、中国電力株式会社の当面の標準的な自動化プラントとなるものと考えられる。

以下に、この自動化システムの概要につき述べる。

2 自動化システムの内容

玉島火力発電所3号機は、ボイラ・タービン発電機をはじめ主要機器一式を日立製作所が製作納入した500MW発電設備である。プラントの概略諸元を表1に示す。

2.1 自動化の範囲

このプラントの自動化システムは、起動停止から通常負荷運転中までの全操作を自動化することを最終の目標として、これに合致するように構成されている。ただ、現段階での技術、短い建設工事期間中に注入し得る開発労力、自動化のメリット評価などを考慮して、自動化の範囲を「ユニット起動・停止を含めて3名(運営上の裕度を考えると実質的には2名程度)の運転員で安全に操作できる」ように設定した。従って、全自動化をベースに考えると、次のような未自動化部分

表1 中国電力株式会社玉島火力発電所3号機主要機器仕様
自動化システムの採用で、この規模の火力発電所の起動・停止操作を3名以内の運転員でも安全運転が可能となった。

項 目	仕 様
定 格 出 力	500 MW
蒸 気 条 件	246 atg / 538°C / 538°C
ボ イ ラ	B & W 超臨界圧UPボイラ (蒸発量1,710T/H MCR)
タービン	衝動再熱式串形3車室4流排気形 (定格回転数3,600rpm)
発 電 機	全閉固定子直接水冷却、回転子直接水素冷却、円筒回転界磁形 (端子電圧22,000V)
励 磁 方 式	直接交流励磁機による速応励磁方式 (励磁電圧440V)
給水ポンプ	タービン駆動(50%容量×2) 電動機駆動(25%容量×1)

が今後の問題として残されている。

- (1) 軸冷水、制御空気系などの通常の起動、停止で操作されることのないものは手動操作とする(状況の不備があれば、電子計算機でチェックし、メッセージを出す)。
- (2) 起動初期段階、停止終期段階の急がない操作は、シーケンスモニタ方式とする。
- (3) 系外ブロー操作、タービンウォーミングなど、特殊な、頻度の少ない操作はシーケンスモニタ方式とする。
- (4) 通常運転中のテスト操作、補助切換操作は手動とする。

図1は、以上の考えでまとめた操作の自動化、未自動化区分を、ユニット起動操作につき示したものである。

2.2 自動化の内容

起動、停止の各操作は、主要操作ごとにサブシステムとして区分され、それぞれはオペレータコンソールに進行表示される。

プラント起動時のシステム分割とその内容を図1に示す。

* 中国電力株式会社玉島火力発電所電気課 課長代理 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所電力事業本部
**** バブコック日立株式会社呉工場

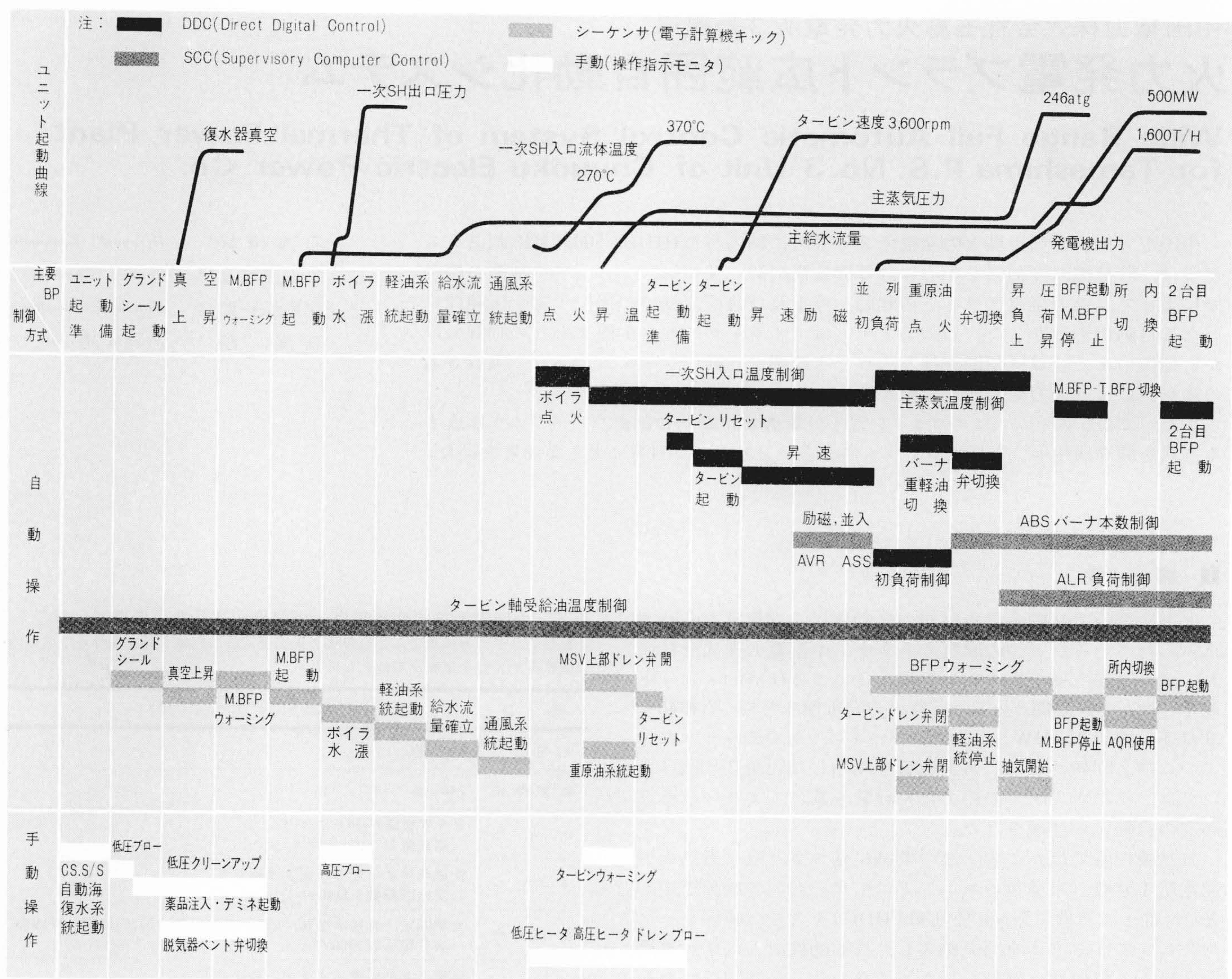


図1 プラント起動操作内容 プラント起動操作における電子計算機制御の範囲、及び内容と手動操作として残っている操作内容が一目ではっきりと分かる。

なお、プラント停止時のそれは紙面の関係上省略した。サブシステムの分割は、機器別、機能別に分割し拡張性のある方法とした。各サブシステムは、その起動条件がすべて成立した時点で起動されるイベントオリент方式を採用入れて、プラントの状態に適応した時点で一連の操作を開始する。また、電子計算機制御途中使用はどのような時点からでも可能なように考慮されている。

更に各サブシステム内の操作に対しては、ディシジョン
テーブルにより操作タイミングを管理し、各電子計算機制御
操作はすべてイベント オリентにより開始する方式とした
ため、プラントの状態変化に即応したきめ細かな制御を行な
うことができる。

また、操作あるいは状態変化の遅延に対しては、カラーブラウン管表示器(以下、CRTと略す。)にメッセージを表示して適切な処置ができるようになっている。

運転の都合上自動操作を行わない場合は、各サブシステム単位での手動操作も可能であり、手動操作の場合には、プラント状態変化をモニタし適切な時期にメッセージを表示し運転員の操作の助けとしている。更には、プラント起動・停止時、プラントあるいは各種制御装置に異常が生じた場合は、

装置のロックあるいは定値制御、タービントリップなどの異常処理を行ない、安全性の向上を図っている。以上のようにこのシステムは、他に類を見ない広範囲にわたる自動化システムであるとともに、特殊な運転に対しても極めて適応性の高いシステムになっている。

2.3 自動化システムの構成

自動化システムは、HIDIC 500電子計算機を中心に、各種アナログ制御装置、及びワイヤードロジックによるシーケンシャル制御装置から構成されている。電子計算機は次に示す5種のアナログ制御装置と図1に示されるシーケンシャル制御装置を統括監視し、プラント各部の状態に応じた適切な時期にこれらの制御装置に操作指令を与え、あるいは直接操作端を操作して制御を行なう。

- (1) プラント自動制御装置 (APC)
- (2) 自動バーナ制御装置 (ABS)
- (3) 自動電圧調整装置 (AVR)
- (4) 自動同期投入装置 (ASS)
- (5) 自動無効電力調整装置 (AQR)

なお、この自動化システムの電子計算機による操作方式は、表 2 に示す考えのもとに選定した。

表 2 電子計算機による自動化方式の選定 電子計算機制御には三つの方式があり、これをどのように使い分けしたかの選定基準である。

制 御 方 式	適 用 内 容
電子計算機直接制御	1. 長時間にわたり運転員を拘束する制御。 2. 制御方法がプラントの状態によって変わり一定しないもの。 3. 多くのプラント状態量を監視しながら制御しなければならずこれが異常になったときは適正な制御を要求されるもの。 4. 非線形制御。
電子計算機監視制御	1. サンプリング制御では難しく、ほとんど連続制御に近いもの。 2. 他の目的でアナログ制御装置がある場合。
ワイヤード ロジック (電子計算機が キックする)	1. 補機の起動・停止、弁の開閉操作のように ON-OFF 動作により操作できるもの。

3 電子計算機システム

電子計算機システムの全体構成図を図 2 に示す。

電子計算機システムとしてはプラントの安全を図ること、及びマン マシン コミュニケーションを十分に行なうことに重点を置いた。前者のためには、ハードウェア、ソフトウェア両面より次に述べる方策を講じた。

(1) 絶縁リレー回路の使用による電子計算機出力回路と制御装置回路との切離し

- (2) 電子計算機電源との混触を生じない無電圧接点信号の使用
- (3) 制御が必要な間だけ ON になるモーメンタリ動作信号、又はパルス動作信号の使用
- (4) 電子計算機信号がいつ切れても問題のないよう保持回路付受信装置の使用
- (5) 電子計算機異常信号による電子計算機制御出力電源の切離し
- (6) アナログ制御装置異常時の電子計算機との切離し
- (7) プラント異常に即した定値制御、増方向制御ロック、減方向制御ロック、タービン振動発生時のタービン トリップなどのソフト異常処理の採用

マン マシン コミュニケーションは、安全、且つ迅速な運転を行なうために重要なものである。従って、応答性が良く、情報処理能力の大きな CRT を中心にした機器構成として、全制御メッセージ及び運転員が確認のため表示する項目はすべて CRT 表示とした。また、要求に応じてこれらをタイプライタに印字記録することも可能とした。電子計算機本体の仕様を表 3 に示す。

図 3 はオペレータ コンソールの正面図である。オペレータ コンソールは、原則として 1 名の運転員により、プラント全体の状態を見ながら運転できるようにするため電子計算機制御に関するスイッチを一つにまとめ、ボイラ・タービン制御盤 (BTG 盤) の前にデスク盤として設置した。このコンソー

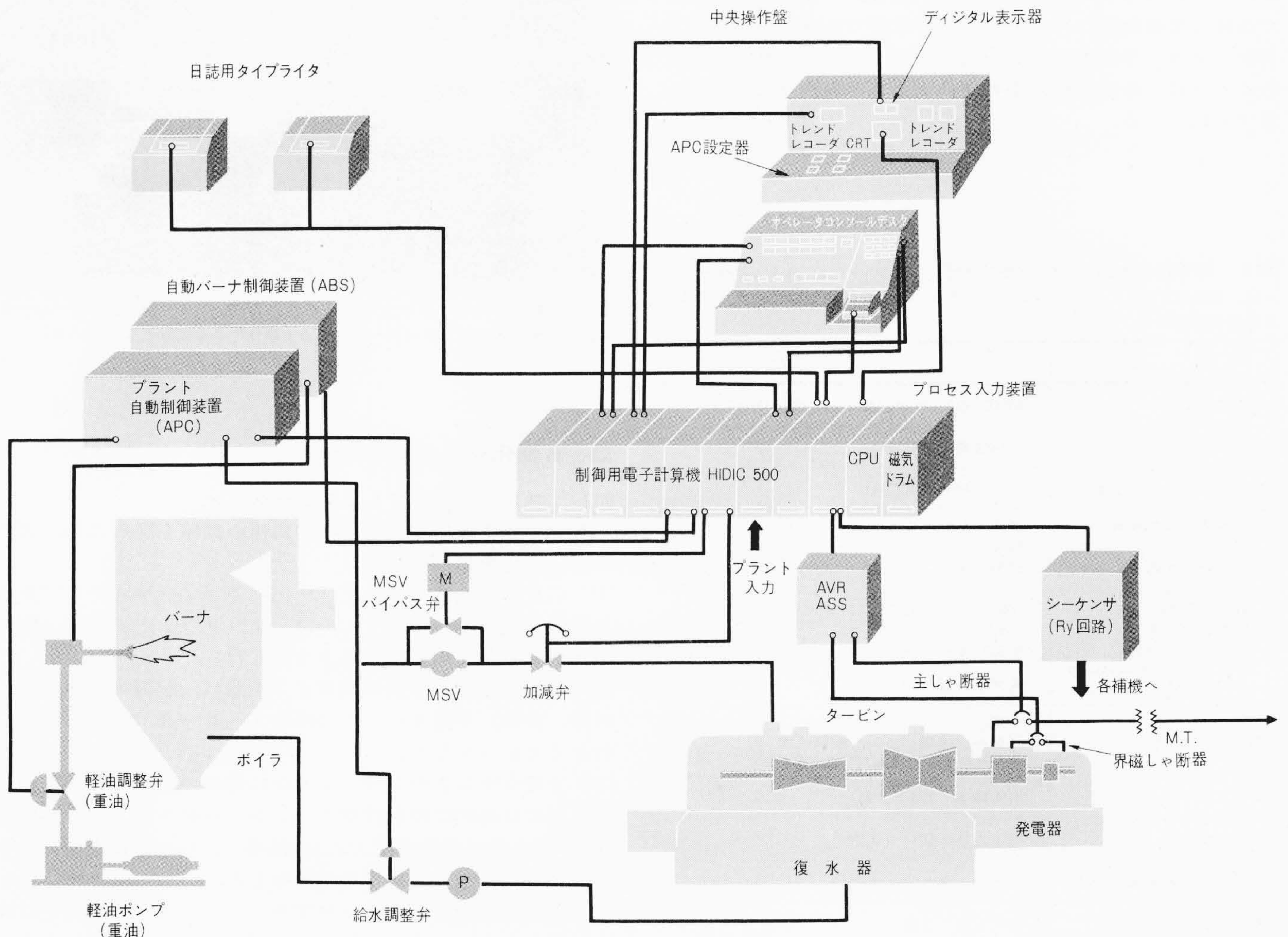


図 2 電子計算機制御システム全体構成図 電子計算機と各種制御装置との関連が分かる。

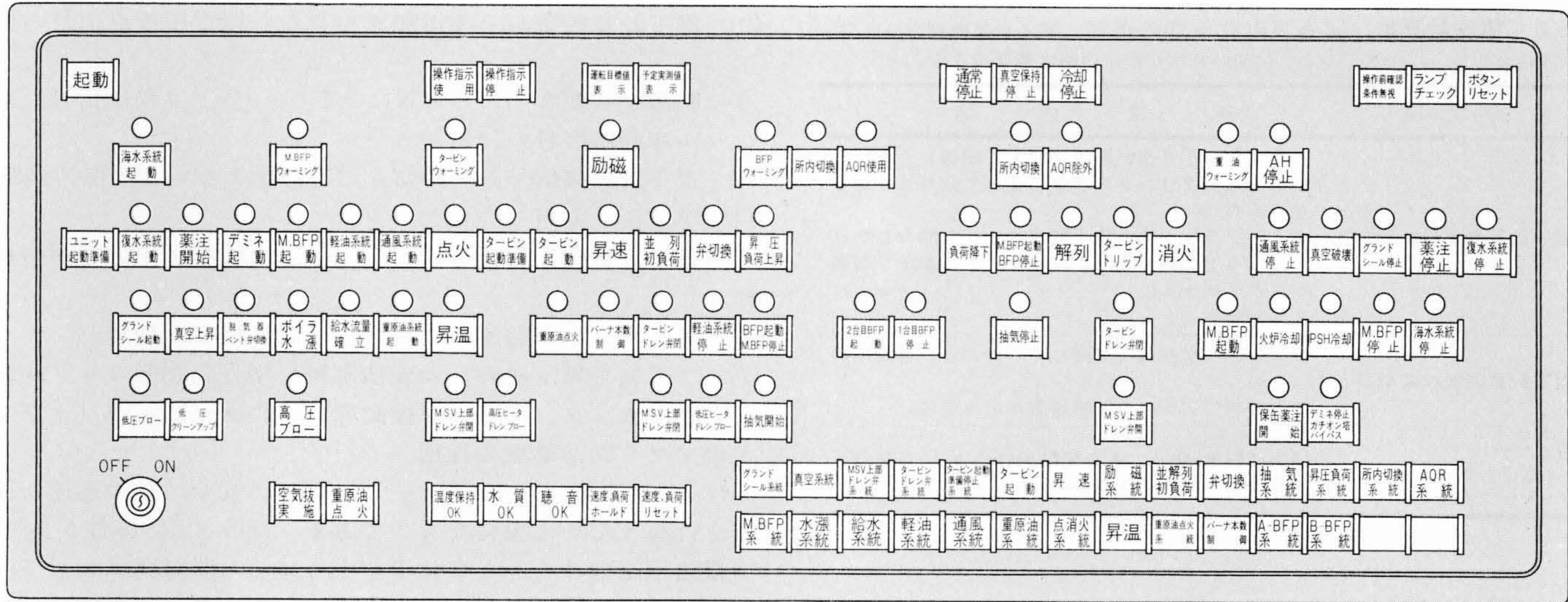


図3 オペレータ コンソール正面図 マン マシン コミュニケーションとしてのオペレータ コンソールで、ここから運転員が電子計算機に制御を許可するなど指令を与える。表示盤とボタンの配置が分かる。 ○：押しボタン接点状態表示灯

ル(図4)には、制御回路の操作電源をON/OFFする系統自動／手動切換ボタン、操作の進行許可を与える操作進行ボタン及び各種の指令ボタン、運転モード選択ボタン及び操作完了確認ボタンがあり、これらのボタンが正しく操作されてはじめて制御可能となるよう、ハードウェア、ソフトウェア両面のインタロックが取られている。起動、停止の一連の操作が連続して自動的に行なわれるのが原則であるが、運転員の判断により、手動操作への切換えや操作進行の一時停止ができるように、系統自動／手動切換ボタンと操作進行ボタンが設けられている。

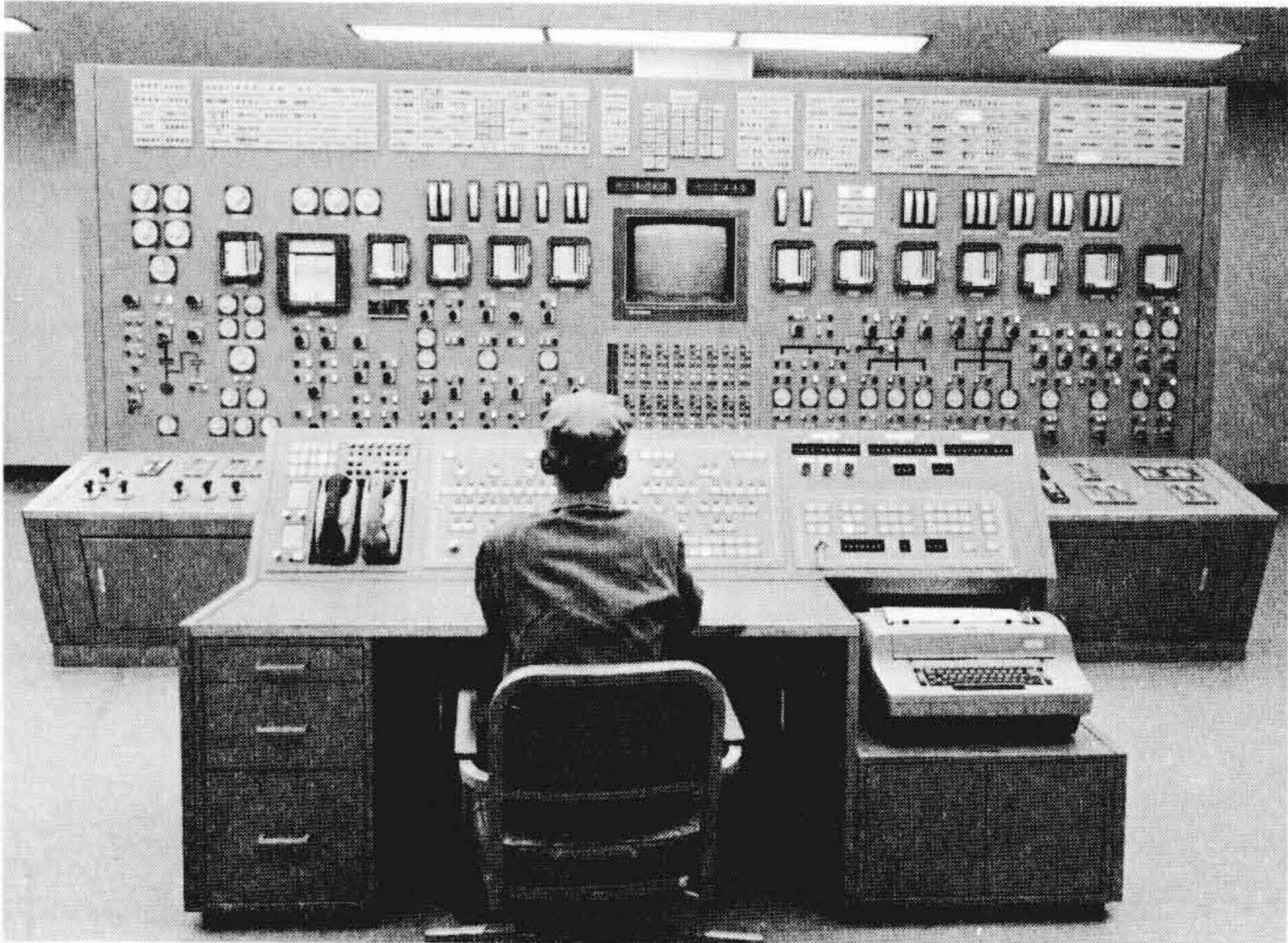


図4 オペレータ コンソール及びBTG盤 BTG制御盤とオペレータ コンソールデスクは、オペレータが一人で操作できる配置となっている。

4 自動化システムの特徴

4.1 マン マシン コミュニケーション

- 起動・停止操作中の運転員の負担の軽減を図るため、次のような考慮を払っている。
- (1) CRTを主体とし、オペレータ コンソールのランプ表示及びCRT表示器のメッセージによりプラントの現状、制御の状態を容易に把握できるようにした。
 - (2) 系統・自動／手動切換ボタンを設け、制御の途中停止、再開、自動／手動モードの切換をオペレータ コンソール上で行なえるようにした。
 - (3) 主要なセレクト ステーションに操作の進行に従って制御装置側で自動的に自動待期モードから自動モードに切り換わる方式(自動／自動待期方式)を採用し、起動操作途中のセレクト ステーションの操作を不要とした。
 - (4) 電子計算機指令によりサブグループ自動モードと電子計算機制御モードの切換を可能とし、電子計算機制御を行なうときだけ電子計算機制御モードとして制御を行なうようにした。

項 目	仕 様
中央処理装置	HIDIC 500 コア容量：24K語
磁気ドラム記憶装置	記憶容量：384K語
コンソール入出力装置	一式 (ASR33, PTR)
プロセス入出力装置 アナログ入力 デジタル入力 パルス入力 割込み入力 アナログ出力 デジタル出力 プリセット オーバーフロー カウンタ	9面 (リレーキュービクルを含む) 528点 549点 (オペレータ コンソール用を含む) 23点 45点 (オペレータ コンソール用を含む) 9点 378点 (オペレータ コンソール用を含む) 4セット (24点)
オペレータ コンソール	一式 (データ処理パネル、制御処理 パネルを組み込んだデスクタイプ)
タイプライタ	IBM Model-735：3台
CRT表示器	19inカラーCRT：1台
デジタル表示器	5けた：2台
トレンド記録計	3ペン式：3台
紙テープせん孔機	1台

(5) 操作進行ボタンをあらかじめ押しておくことにより、全自動で起動／停止操作が可能である。

(6) オペレータ コンソールから運転目標値表示、予定実績値表示をリクエストでき、プラントの運転状況が任意の時点に把握できる。

4.2 電子計算機直接制御(DDC)

この自動化システムにおけるDDCは、図1, 2に示すとおりである。このうち、ボイラ温度制御、BFP起動・停止及びバーナ点消火制御は、今回新しく開発したものである。次にその内容につき述べる。

(1) ボイラ昇温DDC

ボイラは、燃料変化に対する一次過熱器入口流体温度、主蒸気温度変化の時定数が非常に大きい特性をもっているため単なるフィードバック制御系では、十分な温度制御が望めない。従って、燃料に対する応答が比較的速い、一次水壁出口流体温度、一次過熱器出口蒸気温度を先行値として利用した予測制御方式とした。これは、先行値の変化率を使用して予測目標温度を求め、PI制御を行なうものである。

(2) ボイラ給水ポンプ起動・停止DDC

プラント起動・停止過程におけるモータ駆動給水ポンプ(M. BFP)とタービン駆動給水ポンプ(T. BFP)の切換、及び通常負荷運転中における2台目T. BFPの起動、停止を電子計算機とAPCとの協調制御により行なっている。T. BFPの起動は、シーケンシャル制御装置によるT. BFPのリセット、DDCによるT. BFPの回転数制御の後、給水制御が自動待期状態から自動に切り換わる。以後の給水増加は安定した切換えを行なうため、制御系自動のままとし、電子計算機による給水バイアス制御により行なわれる。

(3) バーナ点消火制御

プラント起動時のバーナ点火(通常起動時は軽油バーナ、急速起動時は重原油バーナを点火する)、軽重油バーナ切換、プラント停止時のバーナ消火、及び通常運転中のバーナ本数制御については、電子計算機からの指令でAPCを介しての燃料流量調整弁開度制御、ABSを介しての点消火制御を行

なう。

燃料流量調整弁には、自動-自動待期方式を採用し、また電子計算機指令による電子計算機制御モードへの切換えを可能とし、バーナ消火中は自動待期モード、電子計算機による点消火制御中は電子計算機制御モード、点消火制御完了後はAPC自動モードと一連の制御モード切換が自動的に行なわれる。またABSを介しての点消火操作は、点消火前後における燃料流量調整弁開度、バーナ油圧などについて電子計算機により十分に確認し安定した点消火操作を行なっている。

4.3 制御プログラムの自動作成

従来、電子計算機制御のプログラムは、各制御項目ごとに操作手順を示すフローチャートを作り、このフローチャートをプログラマーがプログラム化していた。この方法では、自動化の範囲が拡大し制御の深さが増すにつれて、プログラム作成の作業量が膨大になってくる。また、プログラム作成に当たっては作業を多くの人に分割するため、作成する人によりプログラムの品質が一定せず、プログラムのチェックや保守においても問題があった。そこで、統一された方法で多量のプログラムを自動的に編集作成するプログラムIntelligent Program Generator(IPG)を開発し、この自動化システムの制御プログラム作成に適用した。

制御プログラム自動作成方法について図5にその概要を示す。機能ごとの小ブロックに分割された標準プログラムLarge Scale Macro (LAM)をあらかじめ登録しておき、これに制御処理仕様書のデータを入力すると、IPGによって自動的にLAMの選択、結合及び必要データの設定が行なわれ制御プログラム本体が作成される。

5 現地試運転結果

この自動化システムは、昭和48年10月初めに搬入し、据付、配線後同年12月はじめより、シーケンシャル制御装置との組合せシミュレーションを行ない、プラント本体の試運転工程に合わせ各機能ごとにシミュレーション及び実機試験を実施し、昭和49年5月中旬には、ほぼ全範囲にわたる確認、粗調

LARGE SCALE MACRO (LAM)

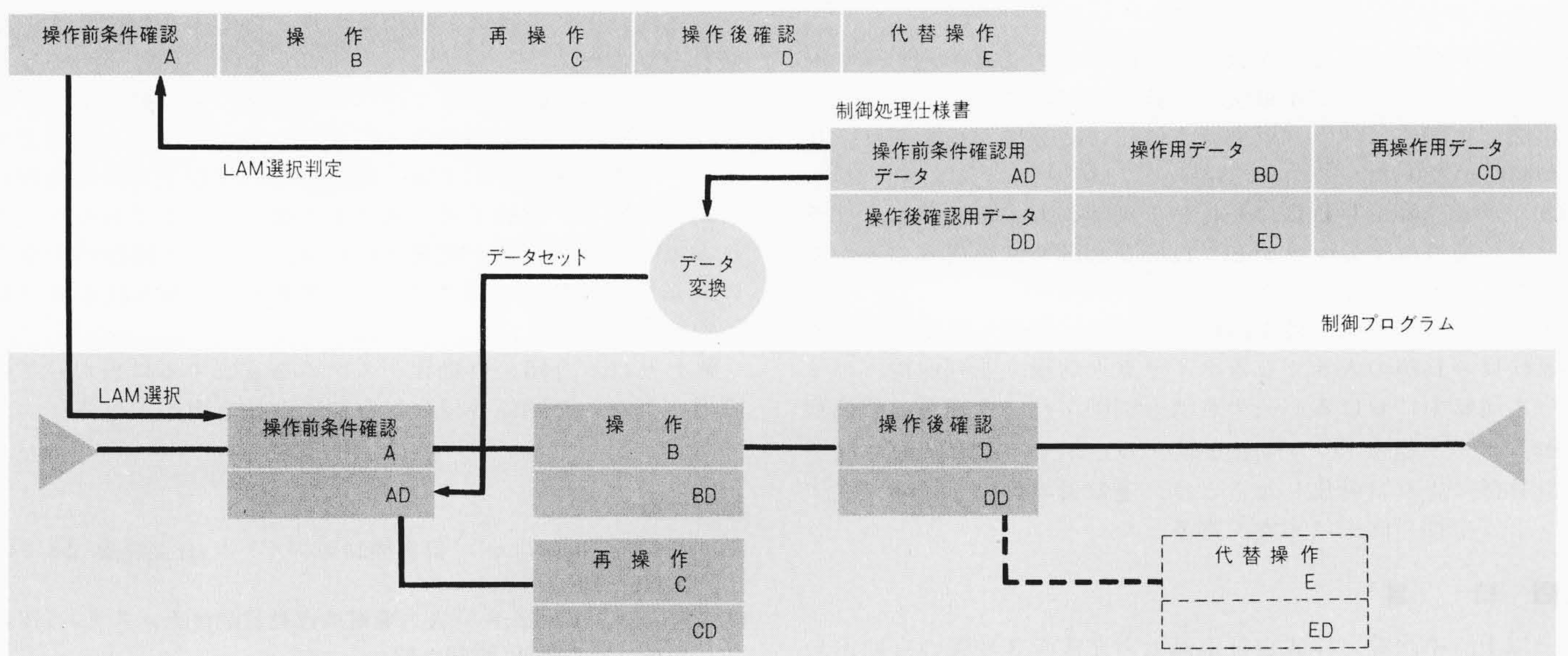


図5 制御プログラム作成概略図 IPGの機能によって制御プログラムが、制御処理仕様書から作られる手順のフロー図を示す。

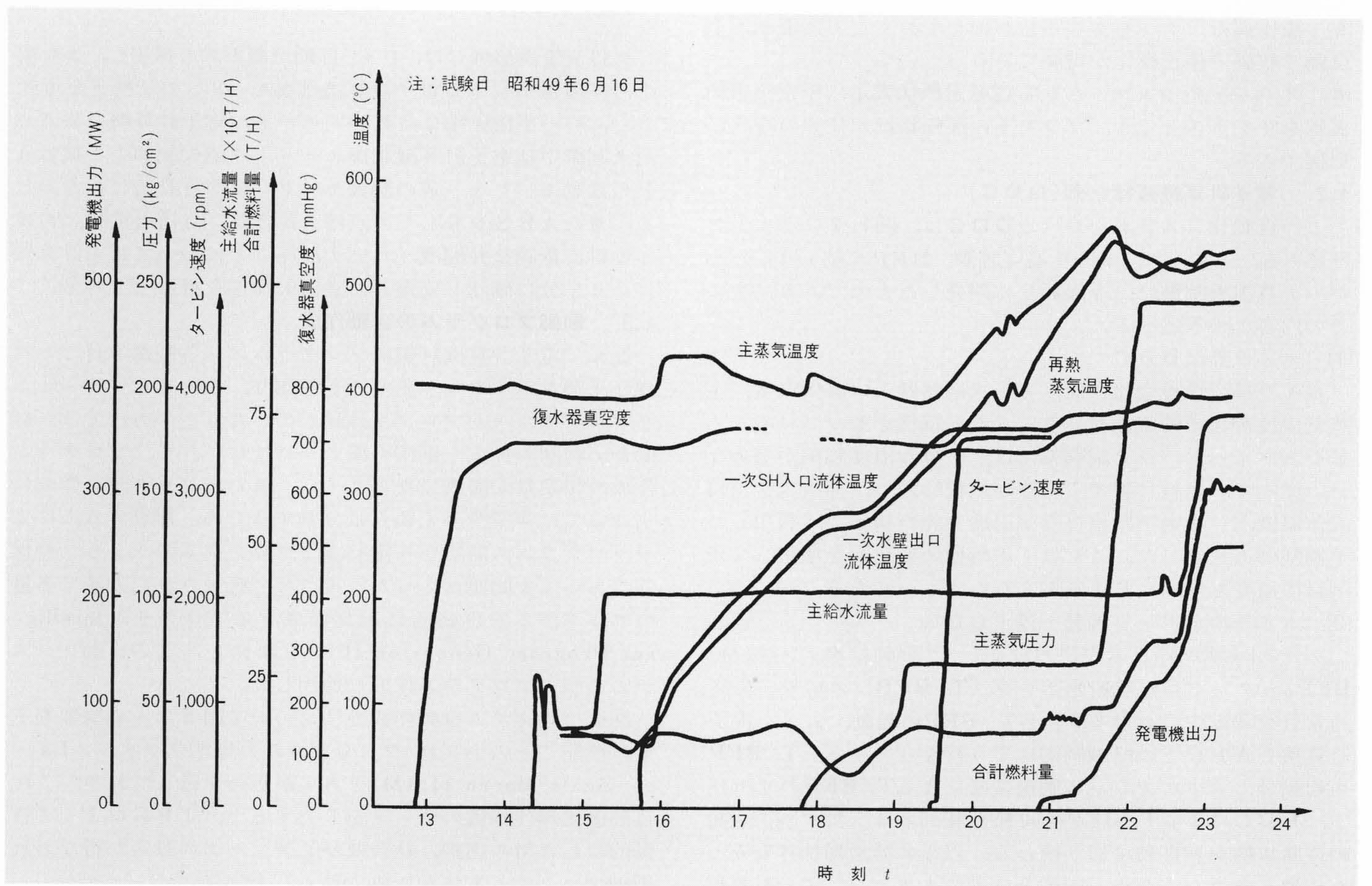


図6 ユニット起動実績曲線 ボイラ：コールド、タービン：ウォーム状態における電子計算機制御によるプラント起動の実績を表わしたもので、時刻に対する各機器の起動状態が分かる。

整を終えた。更に5月中旬以降全装置を自動化した総合確認試験を行ない、細部調整を実施し、6月末に全調整を完了した。

図6に、この自動化システムによる起動実績の一例を示す。現地試験結果をまとめた結果は次のとおりである。

- (1) インベント オリエント方式を主体とし、ディシジョンテーブルにより操作タイミングを決定するソフトウェア体系としたため、プラントの状態変化に速応したきめ細かな制御方式とすることができた。
- (2) I P G方式により作成した制御プログラムのため、制御プログラムのテーブル単位での修正が可能であり、プラント主機との調整に伴うプログラム修正の融通性が拡大され、且つ簡略になった。
- (3) ボイラ昇温 D D C に先行値予測制御方式を採用し、プラントの特性に十分マッチした良好な制御特性を得ることができた。
- (4) プラント起動・停止操作において、監視・操作量が多く運転員の負担の大きくなるボイラ点火前後、並列前後、バイパス運転中におけるバーナ点消火制御、バーナ軽重油切換制御、ボイラ給水ポンプ切換制御、及びボイラ温度制御を電子計算機により自動化したことは、運転員の負担の軽減、プラント安全性の向上に大きく寄与した。

5 結 言

以上、中国電力株式会社玉島火力発電所3号機の自動化システムにつき報告した。このシステムの成果をまとめると次のとおりである。

- (1) 火力プラントの起動・停止操作を大幅に自動化することにより、3名以内の運転員でも十分安全に運転が可能であることが実証された。
- (2) ボイラ温度制御をはじめ多くの新しい電子計算機制御の手法を開発し、実用化できた。
- (3) I P Gによる制御プログラムの自動作成法を完成し、プログラム作成と現地調整作業の作業量を軽減することができた。これにより今後の大規模システムにも十分対応できる見通しが立った。

既に自動化の範囲の項で述べたように、未自動化部分が残されているが、技術的手法としては大半が解決済みと考えてよい。今後の課題としては、現在のレベル以上に異常処理の自動化を図り、事故予防の域にまで達することであろう。これが可能なシステムが開発されれば、プラント操作の安全性は高まり、火力発電所のワンマン化あるいは無人化も夢でなくなる。

終わりに、今回の自動化システムを完成するに当たって御協力いただいた関係各位に対し厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) 河本、二川原ほか：「計算機制御システム」日立評論 53 943 (昭46-10)
- (2) 常広、二川原ほか：「火力発電所自動起動停止システム」日立評論 55 1199(昭48-12)
- (3) 射場、二川原：「計算機制御システム」日立評論 55 763 (昭48-8)