

四国電力株式会社阿南発電所3号機用

火力発電所の計算機制御システム

Computer Control System for Thermal Power Plant

最近の火力発電所は、ユニットの大容量化と環境規制の強化に伴い、プラント運転とその管理面にいっそう高度な技術が要求されるようになってきた。

本システムでは、計算機直接制御、同監視制御などにより超臨界圧プラントの自動化を行なうとともに、運転記録、効率管理及び環境監視機能を備えて、運転にかかわる操作、作業の合理化と充実を図った。

本論文では、計算機制御システムの構成、機能、現地試運転結果及び試運転に際して活用したデジタルシミュレータについて述べる。

なお現地試運転により、システムが所期の目的を十分達成し、有効であることを確認した。

新田 芳樹* *Nitta Yoshiki*
 光岡 守** *Mitsuoka Mamoru*
 松村重兵衛*** *Matsumura Jūbē*
 北原 利正**** *Kitahara Toshimasa*
 橋本 茂男**** *Hashimoto Shigeo*

1 緒 言

最近の火力発電プラントは、機器の高温・高圧・大容量化に伴い運転操作が複雑になる一方、厳しくなる環境規制に対応して綿密な運転管理が要求されるようになってきた。この情勢に対して、プラント本体に加えて管理技術、運転技術など各方面からの改善が図られているが、その一手段として電子計算機の導入は不可欠なものとなってきている。

このたび、四国電力株式会社阿南発電所3号機に計算機制御システムを適用したが、本システムは、同ユニットの運転の自動化と管理の強化及び同発電所全体の環境監視を目的とし、プラントの安全運転と運転の合理化を図ったものである。

本システムは、計算機制御の面では、同社坂出發電所3号機計算機制御システムをベースとして、火力プラント計算機制御技術の蓄積と制御範囲の拡大に伴う新技術の採用により、大幅な機能向上を実現したものである。

一方、データロギングの面では、運転記録、効率管理機能に加えて、発電所全体の環境管理機能及び環境規制に対処するためのガイド機能を備えている。

また本システムの試運転に際しては、プラントの動特性を模擬するデジタルシミュレータを適用して、実機試験に先立ち多様なシミュレーション試験を実施し、プログラムの品質向上と実機試験にかかわるトラブル防止を実現している。

本システムは昭和49年7月に現地搬入し、以降プラントの試運転に合わせて現地調整を行ない、昭和50年6月から営業運転に入っている。

以下に、本システムの構成、機能及び試運転結果について述べる。

2 計算機制御システム

2.1 システムの概要

本ユニットは、ボイラが三菱重工業株式会社製、タービン・発電機が日立製作所製の超臨界圧ユニットである。表1に本ユニットの諸元を示す。

図1は、本システムの機能を示したものである。計算機システムは、プラントの安全性の向上、操作性の向上、自動化による省力化及び発電所全体の環境監視により管理の充実と

表1 四国電力株式会社阿南発電所プラント諸元 本発電設備でのボイラ、タービン、発電機及び給水ポンプの概略仕様を示す。

項 目	諸 元
定格出力	450,000kW
蒸気条件	246atg/538°C/566°C
ボイラ	超臨界圧コンパインドサーキュレーションボイラ (蒸気量1,490t/h MCR)
タービン	くし形再熱3車室4分流排気式 (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形 (端子電圧 22,000V)
励磁方式	主発電機直結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)ブースタポンプ別置 電動機駆動(25%容量×2)ブースタポンプ直結

運転の合理化を実現している。

2.2 自動化の範囲と内容

本計算機制御システムでは運転操作が複雑で、プラントの動特性が大きく変化し、アナログ制御装置だけでは自動化の困難なボイラ点火から協調制御モード投入までの起動過程及び協調制御モード除外から解列までの停止過程における主機関連操作を全面的に自動化している。

図2に、本システムの自動化範囲と内容を示す。本システムでは、起動停止の過程で、プラント自動制御装置(以下、APCと略す)が、全自動運転できない範囲を計算機直接制御(以下、DDCと略す)により自動化しており、計算機内のアルゴリズムにより直接、あるいはサブループ制御装置を介して操作端を制御している。

2.3 システムの構成

本システムは、制御用電子計算機HIDIC 500を中心として、各種サブループ制御装置とリレーロジックによるシーケンシャル制御装置とで構成されている。図3にその構成を示す。

* 四国電力株式会社火力部

** 四国電力株式会社阿南発電所電気課

*** 日立製作所電力事業本部

**** 日立製作所大みか工場

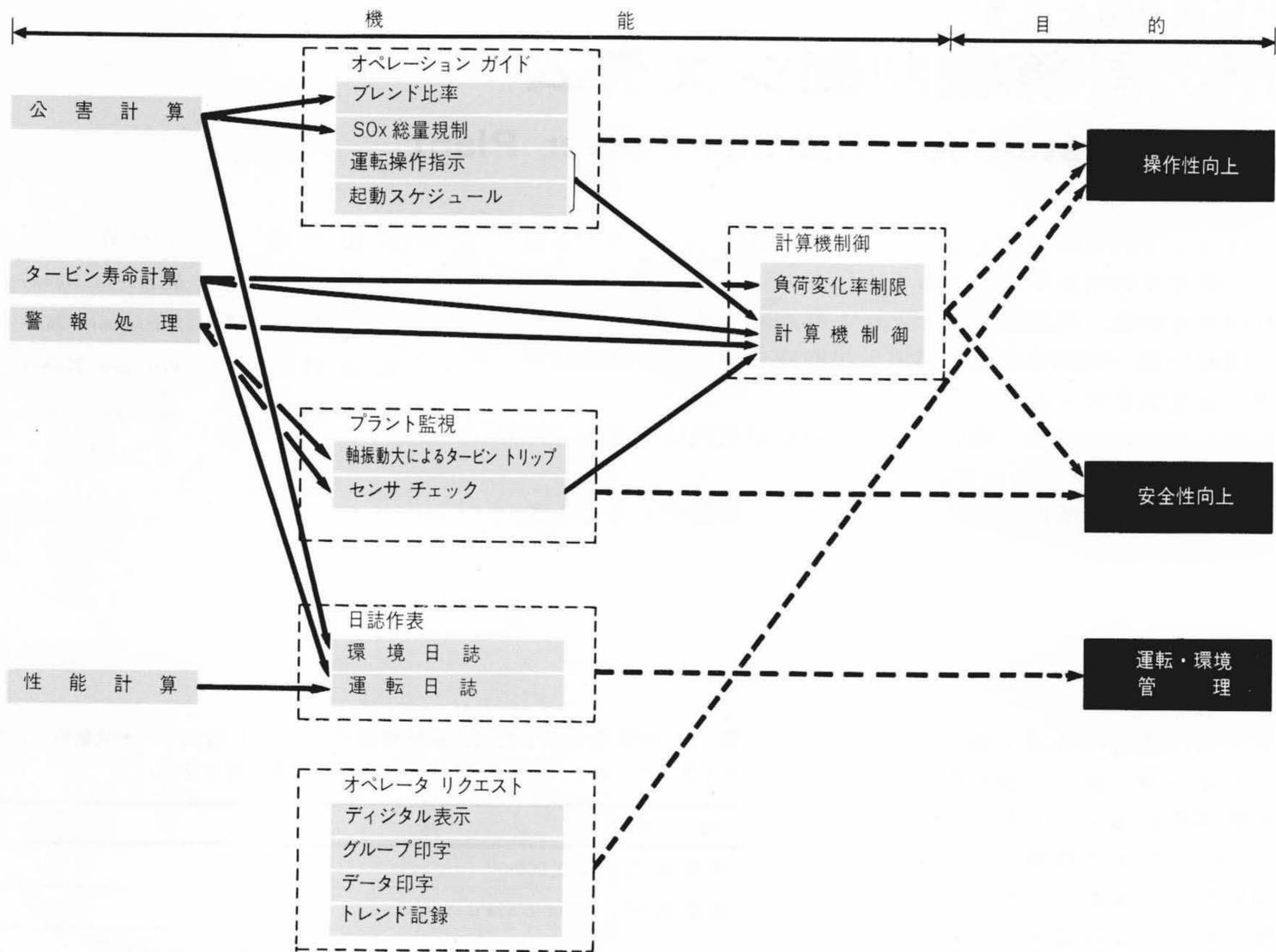
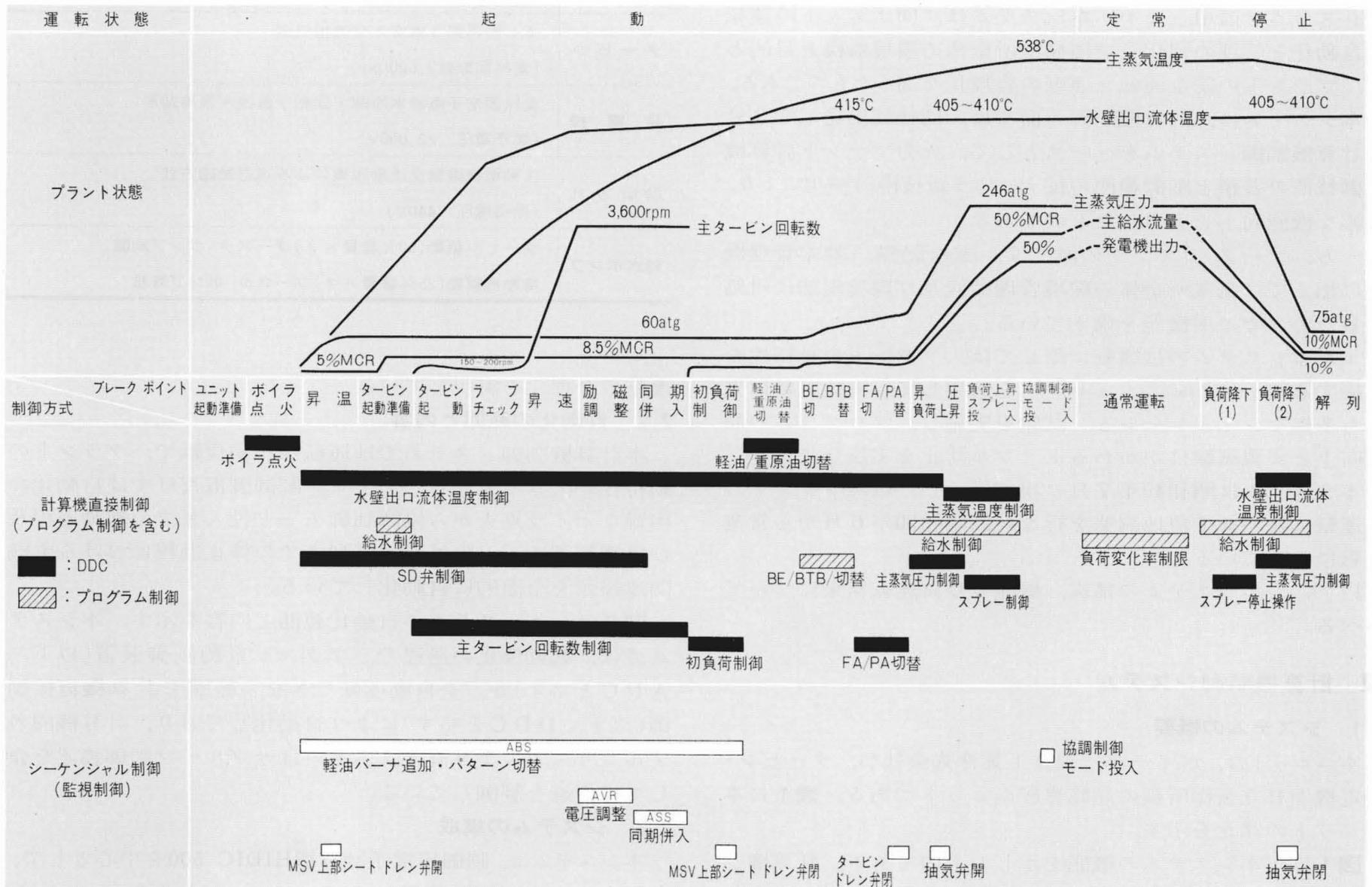


図1 計算機システムの機能と目的 計算機システムは、操作性の向上、安全性の向上及び運転・環境管理の強化を目的としている。



注: BE/BTB=Boiler Extraction Valve/Boiler Throttle Valve Bypass Valve
 AVR=Automatic Voltage Regulator
 MSV=Main Stop Valve
 FA/PA=Full Arc/Partial Arc
 ASS=Automatic Synchronizing System

図2 計算機制御の範囲 計算機制御の範囲をプラントの起動・停止曲線に対応させて示したものである。

計算機は、サブロープ制御装置及びシーケンシャル制御装置を統括制御するとともに、これらの装置を経由し、あるいは直接駆動端を操作して各制御を遂行する。

なお、計算機の機器構成は表2に示すとおりである。

2.4 計算機制御機能

本計算機制御システムでは、主機まわりの自動化を行なっているが、主機まわりの制御には次に述べる特徴がある。

- (1) 多数のプラント状態量による総合判断や、ボイラの流体温度特性のように長い時定数の制御対象に対する予測制御などのような、複雑な制御アルゴリズムが必要である。
- (2) 制御の進行に伴うプラント動特性の変化や、制御時点でのプラント状況に適応するため、制御アルゴリズムをダイナミックに変える必要がある。
- (3) プラント各部の制御進行状態を監視し、プラント全体の操作を協調させなければならない。
- (4) きめ細かいプラント監視を行ない、異常時は修正制御、定値制御などの対異常処理により、制御の安全性を図る必要がある。

本システムでは、これらの要求に対応するため、DDCを大幅に採用した。

次に特徴的な制御機能について説明する。

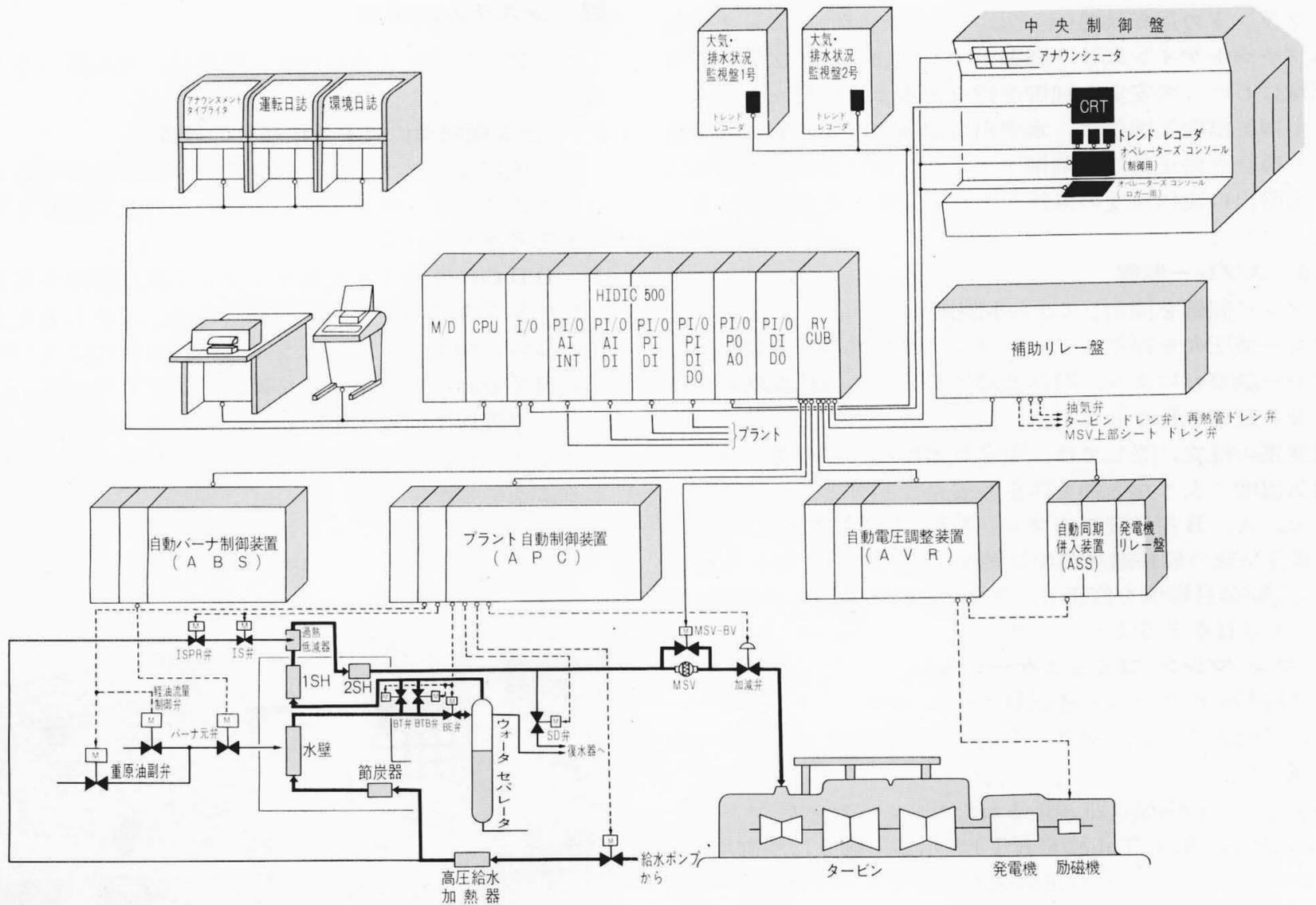
2.4.1 バーナ制御

バーナ制御は、トーチ点火、軽油バーナ点火から軽・重油

表2 計算機システム構成機器 制御用計算機のハードウェアの構成を示したもので、計算機による制御の規模が分かる。

機 器	構 成
中央処理装置	HIDIC 500 コア容量 24K語
コンソール入出力装置	一式(ASR, PTR)
磁気ドラム記憶装置	1台 記憶容量384K語
プロセス入出力装置	
アナログ入力	316点
アナログ出力	15点
デジタル入力	434点(内オペレーターズ コンソール用114点)
デジタル出力	145点
パルス入力	35点
パルス出力	23点
割込入力	315点(内オペレーターズ コンソール用53点)
オペレーターズ コンソール	BTG盤埋込式 2台
タイプライタ	IBM 735 3台
CRT表示器	19inカラー ブラウン管 1台
トレンド記録計	3ペン×5台

注：ASR=Automatic Send and Receiver
PTR=Photo Tape Reader
BTG=Boiler・Turbine・Generator



注：M/D=磁気ドラム(Magnetic Drum) CPU=中央処理装置(Central Processing Unit) I/O=入出力装置(Input/Output) PI/O=プロセス入出力装置(Process Input/Output)
AI=アナログ入力(Analog Input) INT=割込入力(Interrupt) DI=デジタル入力(Digital Input) PI=パルス入力(Pulse Input)
DO=デジタル出力(Digital Output) RY=リレー(Relay) DO=デジタル出力(Digital Output) MSV=主塞止弁(Main Stop Valve)
1-2SH=一次-二次過熱器(1st-2nd Super Heater) BT=ボイラ絞り弁(Boiler Throttle Valve) BTB=ボイラ絞り弁バイパス弁(Boiler Throttle Valve Bypass Valve) BE=ボイラ起動抽気弁(Boiler Extraction Valve)
SD=タービン バイパス弁(Steam Drain Valve) MSV-BV=主塞止弁バイパス弁(Main Stop Valve-Bypass Valve) M=電動弁

図3 計算機システム構成図 計算機制御システムは、制御用計算機HIDIC 500及びサブロープ制御装置より構成され、起動・停止過程の主機まわりの操作を自動化している。

の切替，バーナ最下段全数点火(以降は，バーナ本数制御自動)までの制御を，軽油流量制御弁，重原油流量制御弁副弁による油圧調整及び自動バーナ制御装置を介しての点・消火操作により行なっている。

バーナの点消火操作に際しては，バーナ前油圧との協調を図り，特に軽・重油切替に対しては，この時点での燃料量により，切替制御の手順を変更し，常に安定した切替が行なえるようにしている。

また，炉内熱負荷のアンバランスを防止するため，軽油バーナ点火範囲で同一点火パターンが一定時間経続した場合には，点火パターンを切り替える制御を行なっている。

2.4.2 ボイラ流体温度制御

ボイラ流体温度制御は，水燃比設定器を介して燃料量を操作することにより，バーナ点火から主蒸気温度制御が自動になるまで(ボイラ負荷約50% Maximum Continuous Rate 以下，MCRと略す)の起動過程及び主蒸気温度制御の自動解除からバーナが消火するまでの停止過程の制御を行なっている。本制御では給水流量が25%MCR以下では，水壁出口流体温度を対象とし，25%MCR以上では主蒸気温度を対象としている。

このうち，主蒸気温度制御について制御方式の特徴を次に述べる。

- (1) 燃料量操作に対する主蒸気温度の応答時定数，むだ時間が大きいと，温度変化の傾向より将来を予測しつつ制御する予測制御方式とし，更に応答の速い水壁出口流体温度を先行値として予測に加味した。
- (2) プラントの運転状態(主としてボイラ負荷)によって変化するプラントゲインにより制御ゲインを修正し，広範囲の負荷領域にわたって安定な制御が行なえるようにした。
- (3) 主蒸気温度制御中に，水壁出口流体温度が許容範囲を逸脱した場合の修正動作を制御アルゴリズムに含め，主蒸気温度と水壁出口流体温度の協調がとれて安定した制御が行なえるようにした。

2.4.3 スプレー制御

スプレー制御を開始してから本制御が自動に入るまでの間，スプレー減圧弁を操作して，スプレー調整弁前圧を調整し，スプレー調整弁により，過熱低減器出入口の流体温度差を確立させる制御を行なっている。

温度差の確立に際しては，主蒸気温度への影響を監視し，主蒸気温度の大きな変動を防止し安全な制御とした。

また，A，B各系統のスプレー制御(温度差の確立)では，A，B各系統の最終過熱器出口蒸気温度のアンバランスをなくすよう制御目標値を修正し，スプレー制御自動への移行が，スムーズに行なえるようにした。

2.5 マン マシン コミュニケーション

計算機制御システムと運転員のマン マシン コミュニケーションの充実により，プラント運転の操作性及び安全性の向上を図った。

図4は中央制御盤に組み込まれたオペレーターズ コンソールとCathode Ray Tube(CRT)表示器，図5は制御用オペレーターズ コンソールの正面図を示したものである。

オペレーターズ コンソールは，制御の進行状態表示，状況把握及び運転操作の集中管理を行なうもので，次の点を考慮している。

- (1) 制御モード選択ボタン表示灯を設けて，制御項目ごとに計算機制御モードかモニタ モードかの選択を可能とした。
- (2) 計算機制御実行中の項目の表示及び定値制御，制御プロ

ックなどの制御異常状態の表示を行ない，制御状態の把握を容易にした。

また，運転員への情報提供の手段としては，視覚的把握の容易性，即応性を考慮して，カラーCRTを使用し，用途により色別表示を行ない，表示内容の緊急性により優先レベルを設けて表示するようにした。

2.6 環境監視

阿南地区の環境規制に準拠するため発電所全体の風向，風速，海水温度及び排出ガス中のSOx，NOx濃度などの環境データの収集と，SOx，NOx排出総量計算などの集計計算とを実施して記録するとともに，警報監視を行ない発電所の環境管理の自動化と充実とを図っている。更に，規制値を満足するための燃料中の硫黄分計算と規定硫黄分とを満足するためのブレンド比率を算出，ガイドすることにより，環境規制に即応できるようにしている。

2.7 デジタル シミュレーション

火力発電所の自動化システムでのDDC適用の増加に伴いDDCのプラントに及ぼす影響も大きくなり，DDCプログラムの綿密な試験方法の確立が重要な課題となっている。

本システムでは，この目的のためデジタル シミュレータを開発適用した。

本デジタルシミュレータは，プラント モデルの特性パラメータをテーブル形式で与えることにより任意のプラントの動特性を模擬するもので，制御機能のダイナミックなシミュレーション試験が行なえる。

3 システムの特徴

本計算機制御システムの主な特徴は，次に述べるとおりである。

3.1 計算機制御に対する信頼性の確保

計算機によりプラントを操作するうえで重要なことは，その信頼性である。本システムでは，この点に関して特に次のことを考慮している。

- (1) DDCに使用する主要なプラント状態量は多重化し，同一状態量を複数の検出器から取り込み，これらをもとに信頼性の高い真値を作り出すようにした。これにより，信号異常に起因する計算機の不適切な操作を防止している。
- (2) 計算機操作に対する確認を，直接又は間接的に行なうことにより，制御装置あるいは計算機の異常検出を早期に行なえるようにした。

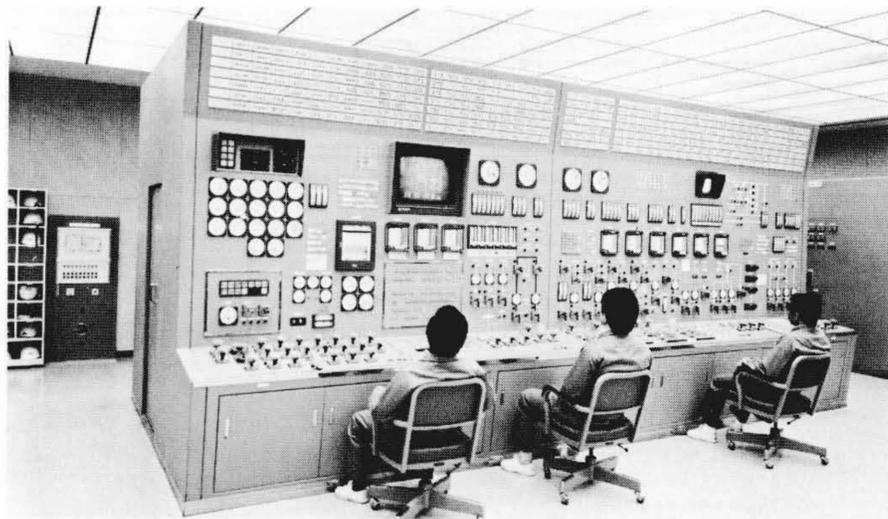
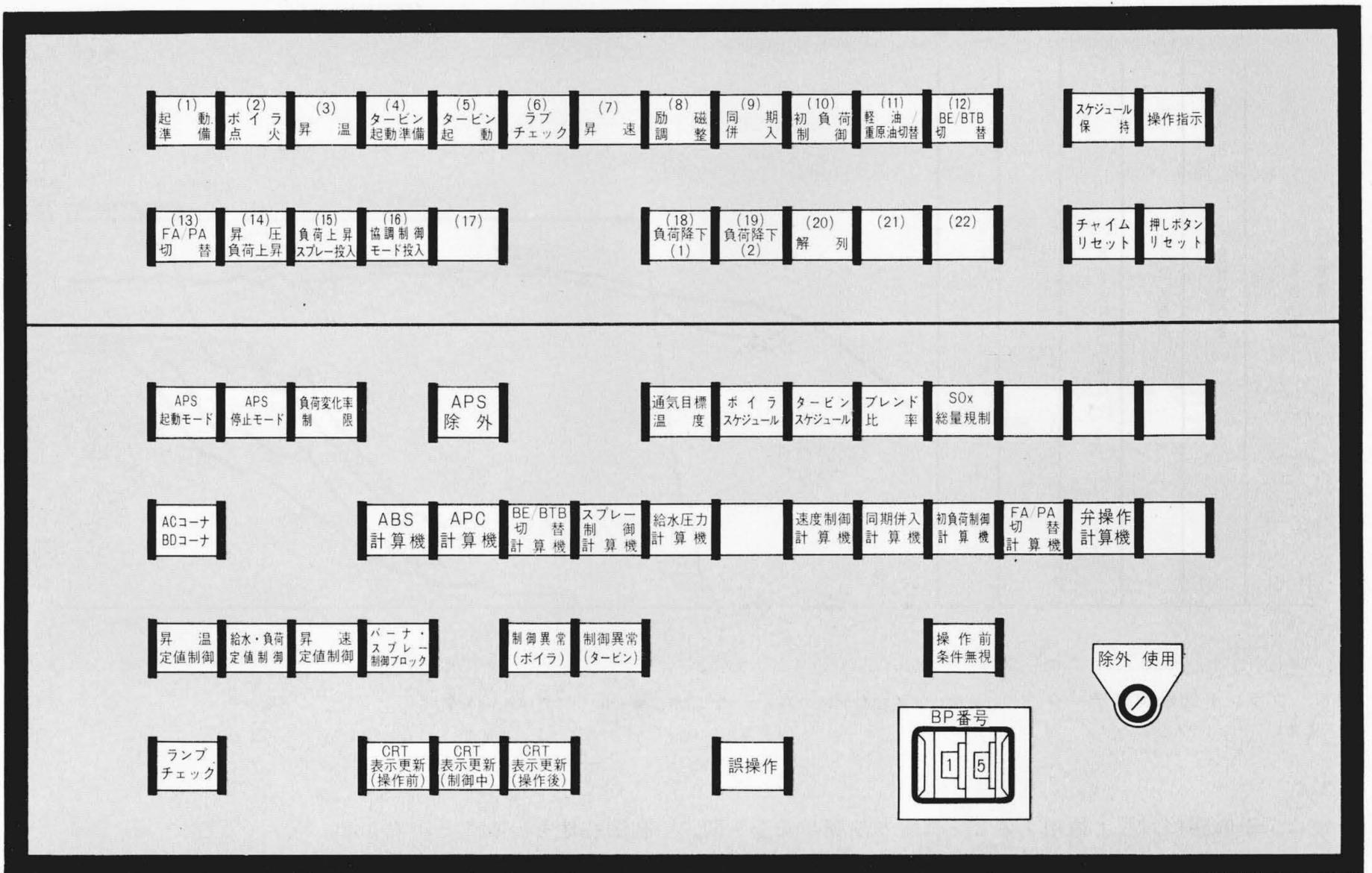


図4 コンソール部設置状況 計算機システムのコンソール部を示したもので，CRT表示器，トレンドレコーダ，オペレーターズ コンソールが，中央制御盤のほぼ中央に設置されている。



注：BE/BTB切替=Boiler Extraction Valve/Boiler Throttle Valve 切替
 FA/PA切替=Full Arc/Partial Arc 切替
 APS=Automatic Plant Starter,
 ACコーナー, BDコーナー=A, B, C, Dはバーナのコーナー名
 ABS=Automatic Burner Control System
 APC=Automatic Plant Controller
 BP番号=Break-Point番号

図5 制御用オペレーターズ コンソール正面図 上部に操作進行状態の表示及び操作の許可を与える押しボタン表示燈(赤, 緑2分割ランプ), 下部にオペレーション ガイドボタン, 制御モード選択ボタン表示燈などが配置されている。

(3) 計算機の操作量に対する妥当性のチェックを出力時点で最終的に行ない, 不当な操作量が出力されないように考慮した。

(4) 計算機からの制御出力はすべて速度形指令とし, 状態の保持は操作端側で行なうことにより, 異常時の現状保持を容易にした。また計算機からの制御出力に対しては, ソフトウェア及びハードウェア両面からインターロックを設けるとともに, 操作端側にも計算機制御可能状態を示すインターロックを設けて誤出力の防止に万全を期した。

3.2 異常処理機能による安全性の確保

制御に関したプラントの状態量を常時監視し, プラント異常発生時には, 該当制御に対し定値制御, 制御ブロック及び修正制御を行なって, 制御の安全性の向上を図っている。

3.3 システムの適応性の向上

起動停止過程を多数のブレイクポイントに分割し, ソフトウェア体系をイベントオリエン特方式とすることにより, 各ブレイクポイントの制御が, プラントの状態変化に即応できるようにした。これにより, プラントの現況に即した制御を行なうことができ, またプラントの起動停止の途中から計算機制御を使用した場合にも容易に対処できる。

更に, 手動操作から計算機制御への移行に対しては, 復帰処理, オートバランス処理を組み込むことにより, オペレーターズ コンソールからの簡単な操作により, 移行できるようにして適応性の向上を図った。

3.4 制御範囲の管理

計算機とプラント自動制御装置(APC)の制御範囲の管理を計算機で行なうことにより, 計算機制御からAPC制御, あるいはAPC制御から計算機制御への制御の移行に際しての運転員の介入を省いた。

計算機は制御の移行ポイントに到達すると, 移行の諸条件をチェックして, 安定した状態で制御の移行を行ない, 移行に伴う外乱を防止している。

4 試運転結果

火力発電所での計算機システムの試運転は, 本体の試験に沿って行なわれるため起動停止の機会, 回数などが限られている。このため, 試験の機会を最大限に活用するため, 実機試験前の諸準備を十分に行なうとともに, 実機試験によって生じたプログラムの修正と, その確認が確実にこなせる体制にしておくことが肝要である。

本システムの現地調整に当たっては, プラント試運転に先立ちデジタルシミュレータを使用してシミュレーション試験を実施し, 計算機制御機能の十分な事前確認を行ない, プラント試運転の初期段階から実機試験を実施できるようにした。また, 実機試験に際しては, シミュレーション試験により制御アルゴリズムの綿密な確認を実施したうえ, まず, 定常状態で計算機制御を適用して制御特性の粗調整を行なっ

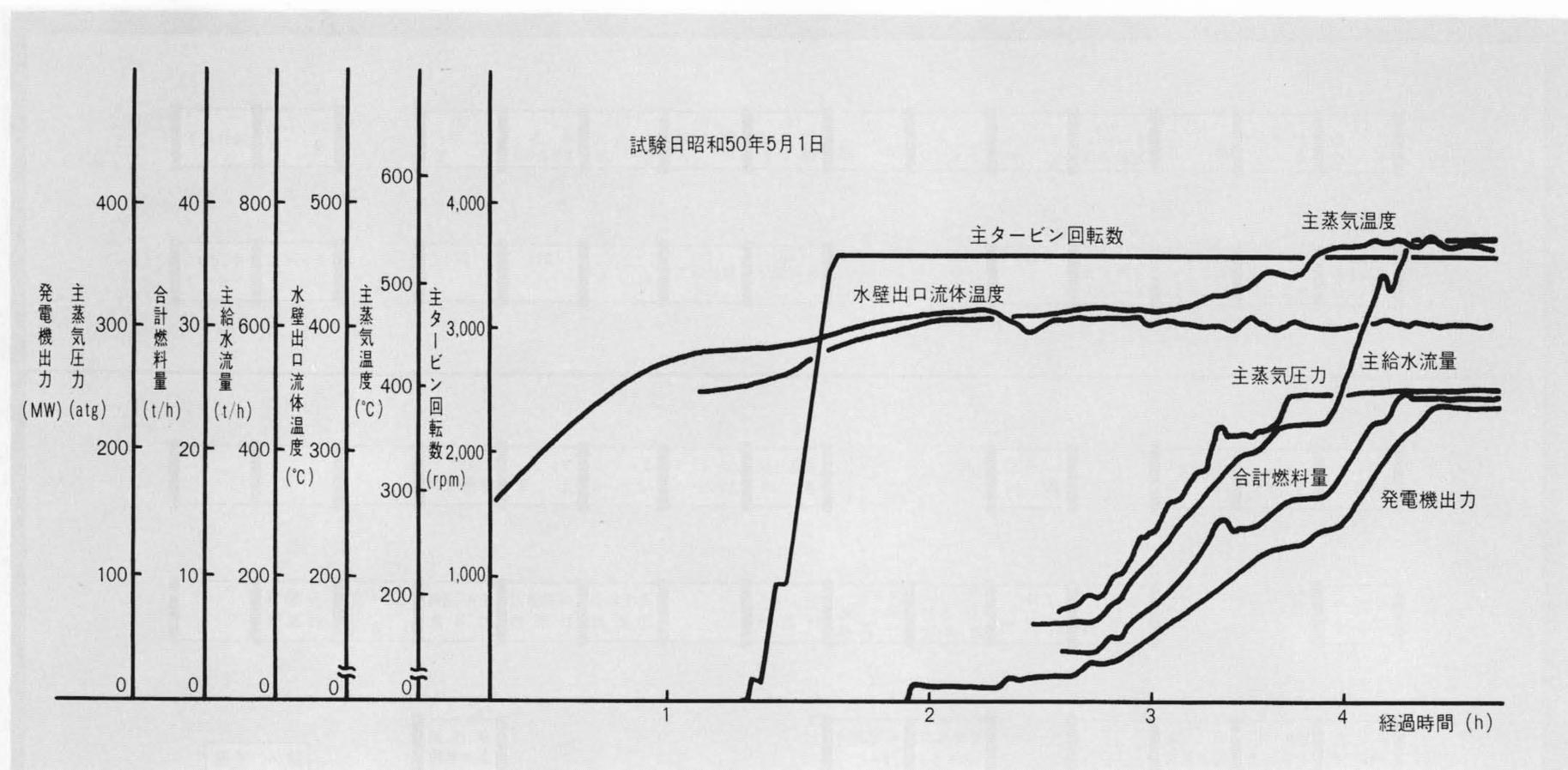


図6 プラント起動実績データ 計算機による起動実績の例を示す。給水流量320t/hで定値制御を実施している。

た後に、全範囲に対して適用することにより試験の安全を期した。

更に、試験データの収集と解析を容易化し、試運転結果の早期フィードバックを行なうため、打点式記録計及び連続記録計を使用したプラントデータを任意に記録できる自動プロッタシステムを計算機に組み込み活用した。

本システムは、昭和49年7月中旬に現地搬入し、8月初旬よりソフトウェア復元と試験を開始した。実機試験は、同年11月下旬よりバーナ制御及び昇温関係を行ない、翌50年1月下旬よりタービン関係、3月初旬より併入・負荷上昇試験と停止試験を行ない、6月下旬の営業運転までに全調整を完了した。

計算機によるプラント起動実績を図6に示す。

現地での試運転結果をまとめて次に述べる。

- (1) 各種DDCを主体とし、サブループ制御装置及びシーケンシャル制御装置の適切な採用と、これらの統括制御により起動停止過程での主機関係の主要操作を全面的に自動化できた。
- (2) イベントオリエント方式を主体としたソフトウェア体系により、途中使用、制御項目ごとの制御の中止と再開などに対しても十分適応できる柔軟性に富んだシステムとすることができた。
- (3) DDCについては、いずれも良好な制御特性を確認できた。本システムで新規に採用した制御項目のうち次の2件について述べる。

(a) スプレー制御

APCとの協調をとるため、過熱低減器出入口温度差を確立してスプレー自動にする制御で、A、B各系統の二次過熱器出口蒸気温度がバランスするように制御目標値をダイナミックに修正することにより、スプレー制御のAPC自動への移行をバンプレスに行なうことができた。

(b) 主蒸気温度制御

時定数の長い制御系であるため、予測制御方式をベースとし、更に主蒸気温度に対して先行的に変化する水壁出口流体温度を加味した主蒸気温度の予測方式により、良好な

制御特性を得ることができた。

5 結 言

本システムは、制御面では、ボイラ点火から協調モード投入及び協調モード解除から解列までの主機まわりの操作をDDC技術を主体として全面的に自動化し、運転員の負担軽減と安全性の向上をねらったものであるが、プラント営業運転開始までに調整を完了して所期の目的を十分達成することができた。特に、ボイラまわりのDDCの有効性を実証したことにより、コンバインドサーキュレーションボイラを使用したユニットの全自動化のための基礎技術を確立した。

一方、発電プラントの運用管理に関しては、従来の運転管理、効率管理に加えて社会情勢の推移により最近特に重視されるようになった環境監視機能を盛り込み、管理面での充実を図ることができた。今後、これをもとに環境規制に対する予測に基づく監視及び予防の自動化などに対していっそうの努力を傾注する考えである。

また、プログラムの試験効率と品質向上を目的として開発したデジタルシミュレータの実用性を確認し、試運転技術の充実を図ることができた。

最後に、本システムの完成に際し、終始御協力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) 射場ほか：「四国電力株式会社坂出火力発電所納め計算機制御システム」、日立評論、55、763 (昭48-8)
- 2) 大江ほか：「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システム」、日立評論、57、165 (昭50-2)
- 3) 河本ほか：「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」、日立評論、57、171 (昭50-2)
- 4) 二川原ほか：「中国電力玉島3号機の計算機制御システム」、火力原子力発電、26、pp. 25~38 (昭50-8)