# 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

# Thermal Power Plant Computer Control System for Sakaide P.S. of the Sikoku Electric Power Co.

A computer control system for No. 3 unit of Sakaide Thermal Power Station has been completed recently.

This computer control system uses a DDC technique in controlling the boiler at the start of plant operation, adjusting it to the operation of the turbines. This article describes the function, configuration, and results of field tests of this system. 射場 大造\* Daizô Iba 二川原誠逸\*\* Seiitsu Nigawara

# 1 緒言

最近の火力発電所はますます大容量化し、蒸気条件も高温 高圧化して、超臨界圧プラントが建設されるようになってき ている。このように大形複雑化し、運転条件がきびしくなっ てきている火力プラントを、安全に、かつ小数の運転員で運 転するためには、プラントの自動化の拡大、制御装置の制御 特性の向上ならびにプラント状態の異常に対処できる融通性 が必要であり、これには個々の独立した自動制御装置のみな らずこれらの装置を全体的に統合管理するシステムの導入に よる自動化が必要である。

この目的のために制御用計算機を使用し、制御用計算機による個々のサブループの統括制御、自動化の範囲の拡大、直接制御などが種々実施されてきており、最近の新設火力発電所においてはほとんどのプラントに計算機制御システムが導入されている。

日立製作所においても火力発電所の計算機制御システムとして東北電力株式会社秋田 1 号機用のセットポイント制御による自動起動制御、中国電力株式会社玉島 1 号機用のタービン直接制御などを実施してきた。

今回,四国電力株式会社坂出火力発電所(以下坂出火力発電所と略す)3号機に適用した計算機制御システムは,ボイラまわりの自動化に主体をおいたものであり、その特徴は下記に述べるとおりである。

- (1) 制御が複雑で自動化が困難であったボイラ起動時の操作 を計算機で自動化することにより自動化の範囲を拡大し省力 化を図った。
- (2) ボイラとタービンの協調を計算機でとり、制御特性の向上を図った。
- (3) プラント異常時の修正制御, 定値制御を行なうことにより制御の安全性の向上, 融通性の向上を図った。

なお坂出火力発電所 3 号機は、定格出力 450 MWの超臨界 圧貫流プラントであり、燃料には重原油のみでなく隣接プラントからのコークス炉ガスを使用し、隣接プラントに工場蒸 気を送気する複合システムとなっている。

本計算機制御システムは、昭和47年8月末に現地搬入し、 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48 年4月より営業運転にはいっている。

# 2 計算機制御システム

#### 2.1 システムの概要

坂出火力発電所 3 号機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プラントであり、プラント諸元については表1に示すとおりである。

本計算機制御システムの処理範囲は,ユニットの運転操作として最も重要なボイラ点火からボイラ,タービン協調制御装置(以下,DEBと略す)の協調制御モード成立までの起動過程とし,ボイラ点火後の昇温のための燃料制御,給水制御,バイパス系統から貫流系統への切換制御,タービン起動および昇速制御,初負荷制御,全周噴射から部分噴射への切換制御の自動化を行なっている。

特にボイラの昇温制御に対しては超臨界圧プラントの非線 形特性を盛り込んだ予測制御方式を採用し、計算機によりプ ラント状態に適応した制御を行なうことにより、安定した昇 温が行なえるよう制御特性の改善を図っている。

また本計算機制御システムでは、上記の制御機能と合わせて主機を中心とした運転操作手順のモニタ機能を実施し、運転操作の便宣を図っている。

# 表 Ⅰ 坂出火力発電所 3 号機プラント諸元

ボイラは超臨界圧貫流方式であり、タービンは串形3車室で小形化を図ったものである。

Table I Particulars of the Sakaide P.S. #3 Unit

項 目	諸    元		
定格出力	450,000kW		
蒸気条件	246atg/538°C/566°C		
ボイラ	超臨界圧コンバインド サーキュレーション ボイラ (蒸発量 I,510t/H MCR)		
タービン	串(くし)形・再熱3 車室4 分流排気式 (回転数 3,600rpm)		
発 電 機	全閉固定子水冷却,回転子直接水素冷却形 (端子電圧 22,000V)		
励磁方式	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	復水タービン駆動(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		

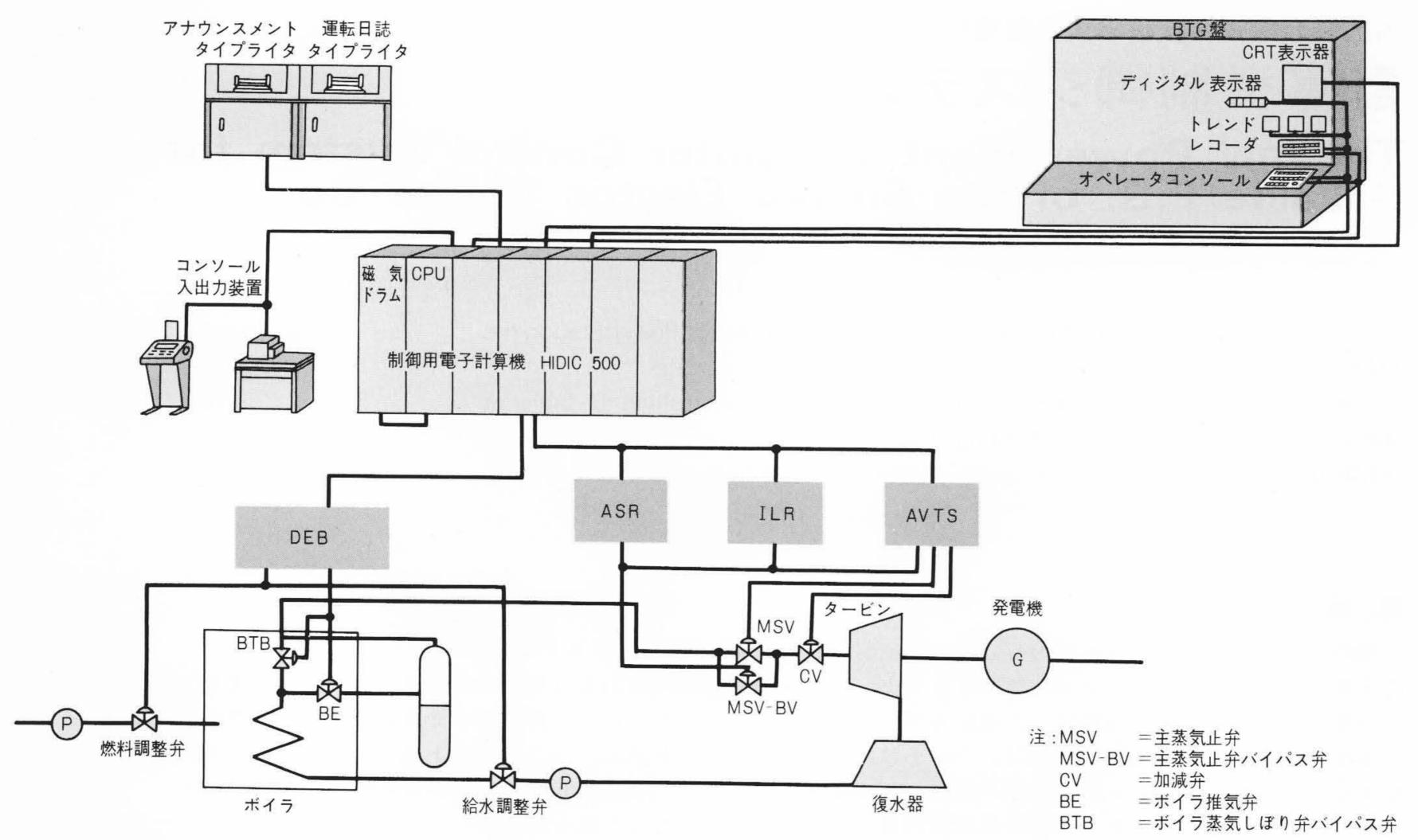


図 | 計算機制御システム構成図 計算機制御システムは制御用計算機HIDIC 500およびサブループ制御装置より構成される。

Fig. I Configuration of Computer System

# 2.2 システムの構成

本計算機制御システムは、制御用計算機HIDIC 500を中心とし、各種サブループ制御装置を組み合わせて制御系を構成している。図1は計算機制御システムの構成を示したものであり、計算機は下記に示す4種のサブループ制御装置の統括制御を行ない、プラント各部の状態に対応して適切な時期にサブループ制御装置の投入、セットポイントの調整を行ない、またプラントからのフィードバックを計算機内でとって計算機のプログラムによるアルゴリズムにより制御を行なう。

- (1) ボイラ協調制御装置 (DEB)
- (2) タービン自動制御装置 (ASR)
- (3) 自動初負荷制御装置 (ILR)
- (4) 自動弁切換装置 (AVTS)

計算機とサブループ制御装置とのリンケージは、プロセス入出力装置を経由して行なわれており、万一不都合が生じた場合は、サブループ操作パネルおよび計算機のオペレータ コンソールのいずれからでも個別に切り離すことも可能となっている。

これにより一部制御装置に不都合があった場合は、当該機能のみを計算機から切り離して手動操作を行ない(このとき計算機は当該機能についてはモニタ モードとなる)、残りの機能は計算機制御により行なうことが可能である。

# 2.3 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間のマン マシン コミュニケーションの手段としては、最近盛んに使用されるようになってきたカラーブラウン管表示器(以下、CRT表示器と略す)を主体とし、オペレータ コンソールのランプ表示および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

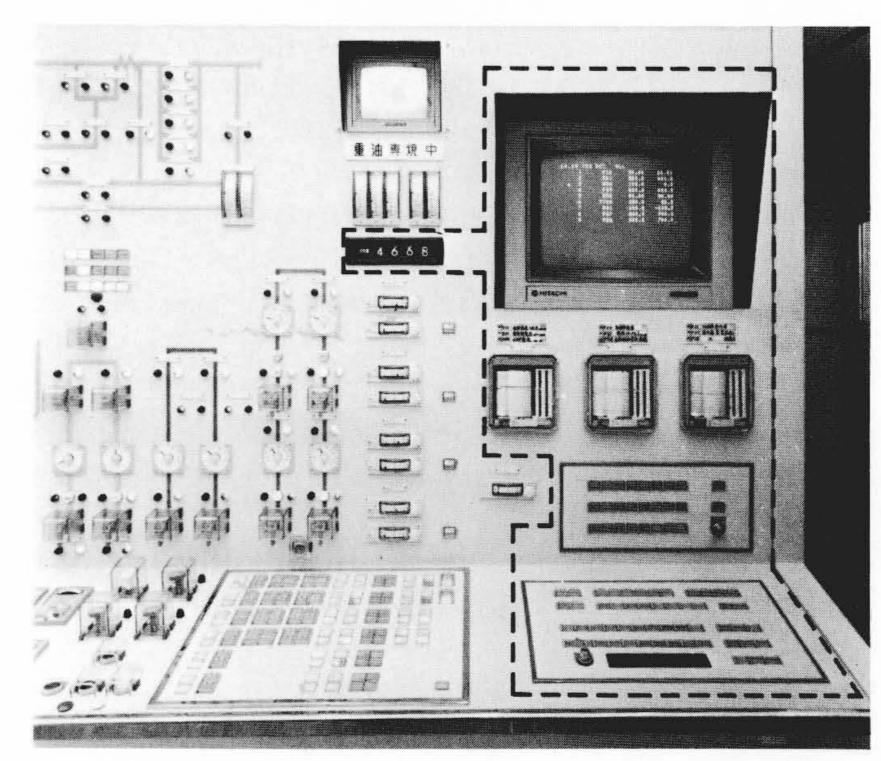


図2 BTGオペレータ コンソール部 計算機のマン マシン コミュニケーション器具は、BTG盤に通常の計器と並べて設置している。

Fig. 2 The Operator's Console Part of BTG Board

易に把(は)握できるようにした。

図2は、中央制御盤(以下、BTG盤と略す)に組み込まれたオペレータ コンソール、CRT表示器などの外観であり、図3はオペレータ コンソールの正面図である。図2に示すようにオペレータ コンソール、CRT表示器などのマン マシン コミュニケーション用機具はBTG盤に組み込まれ、通常の制御装置、操作器具との一体化が図られている。

以下,マン マシン コミュニケーション機能の概要を説明する。

# (1) 進行表示機能

起動過程における操作をまとまった操作区分(以下, ブレーク ポイントと呼ぶ)に分割し, オペレータ コンソールに各 ブレーク ポイントごとに状態を表示する押しボタン表示灯を 設け, ランプの状態により各ブレーク ポイントの進行状態を表示して, プラント全体の操作進行状態の把握を容易にして いる。

また本押しボタン表示灯は同時に制御開始の許可を与える ための押しボタンとして使用され、制御開始条件が成立した 時点で本押しボタンを押すと制御を開始する。

# (2) 不ぐあい条件表示機能

各ブレーク ポイントにおいてプラントの状態および制御状況をチェックして、制御開始条件不成立項目、操作不良項目および操作未完項目などの不ぐあい点をCRT表示器に表示して運転員による修正を促す。

# (3) 操作指示機能

起動過程における付帯操作のうち、プラントの状況に応じて操作時点が定まる項目については、操作開始時間をチェックして操作時点になるとCRT表示器に表示して運転員に指示する。

# (4) 運転目標值表示機能

運転操作の目安としてタービン、ボイラの起動スケジュールを計算し、CRT表示器に下記項目を表示する。

- (a) 通気目標温度
- (b) ボイラ昇温率
- (c) ボイラ昇温目標温度
- (d) タービン昇速率
- (e) タービン速度保持時間
- (f) 初負荷量
- (g) 初負荷保持時間
- (h) 併入予定時間

# (5) 制御状態表示機能

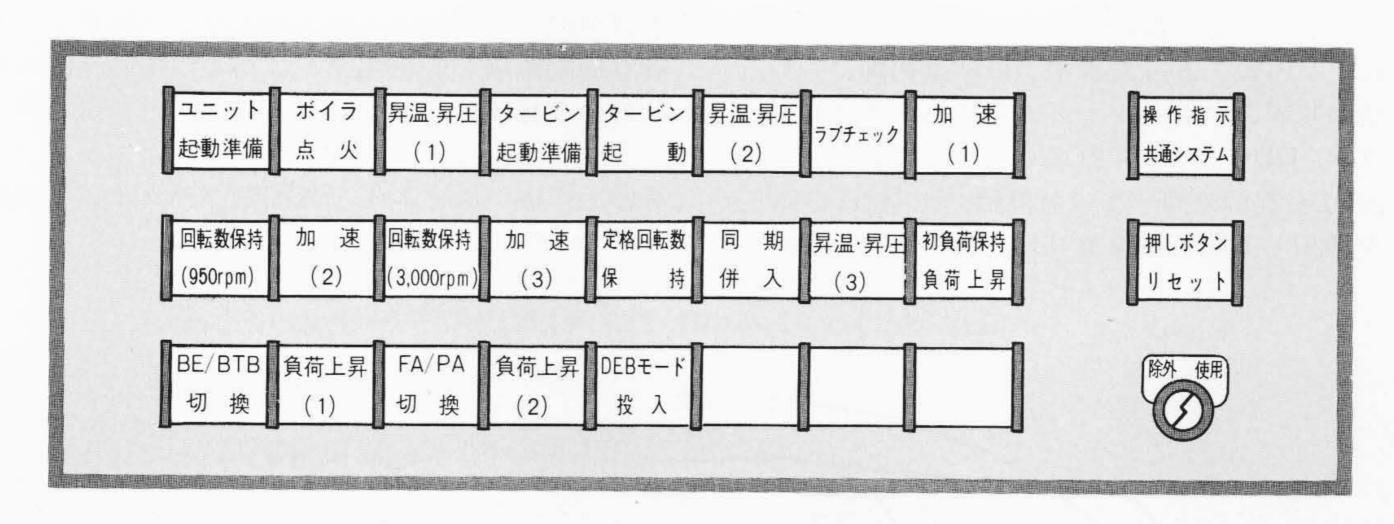
計算機制御モードかモニタモードかを選択,表示する押しボタン表示灯および制御異常状態を表示する押しボタン表示灯 により各制御項目の制御状態がどのような状態かを表示する。

#### 2.4 制御機能

本計算機制御システムでは、ボイラ点火からDEBの協調制御モード投入までの起動過程において、表2に示す制御を実施している。

図4は、ユニット起動曲線と制御の関連およびブレーク ポイントの分割を示したものである。計算機制御システムは、

図4に示す21個のブレーク ポイントに分割され、これらのブ



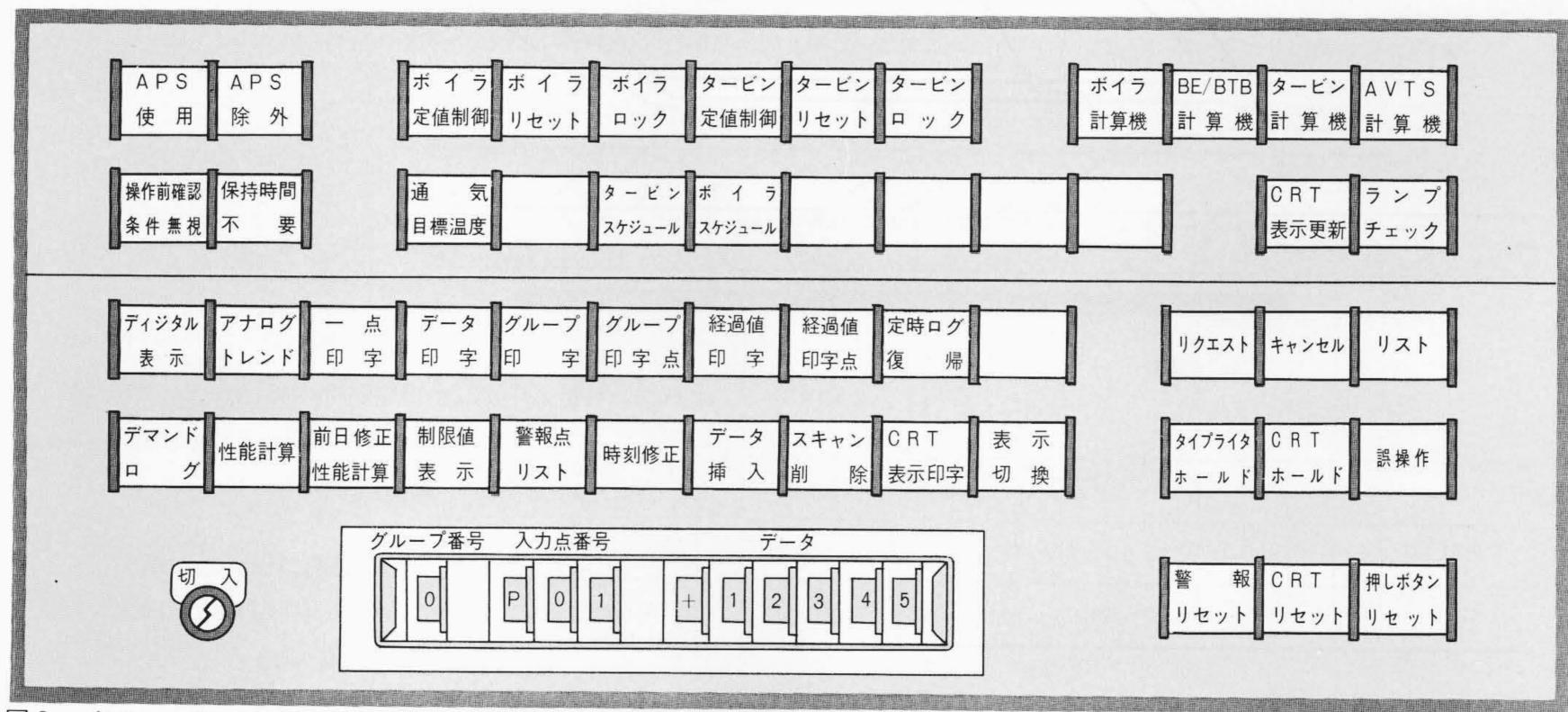


図 3 オペレータ コンソール正面図 オペレータ コンソールはBTG盤の直立部に設置される進行表示部とデスク部に 設置される操作部の二つから構成されている。

Fig. 3 The Panel of Opesator's Console

表 2 計算機制御項目 計算機制御は,主機関係に限定したものである。
Table 2 The Items of Computer Control

制御項目	制御方式
ボイラ昇温制御	DEBの給水燃料比率設定器を通して燃料量 を直接制御する。
給水増加制御	DEBのボイラ出力設定器を通して給水量を 直接制御する。
バイパス系貫流系切換制御	DEBのパーティシペーション設定器を操作 して切換制御を行なう。
負荷上昇, 圧力上昇制御	DEBのボイラ出力設定器を通してボイラ出力を増加する。
タービン起動昇速制御	ASRのセット ポイント制御によりタービン起動,昇速を行なう。
初 負 荷 制 御	ILRの負荷設定器を操作して初負荷制御を 行なう。
全周噴射部分噴射切換制御	AVTSにより切換制御を行なう。

レーク ポイントが順次あるいは並列に動作してプラントの起動制御が実施される。

表2に示すように本計算機制御システムでは、タービン関係には計算機の統括制御のもとにサブループ制御装置により制御を行なう方式を採用しているが、ボイラ関係については制御が複雑で自動化が困難であったボイラの昇温制御について(サブループ制御装置のアクチュエータを経由しての)、計算機直接制御(以下,DDCと略す)方式を採用している。

特にボイラ昇温DDC制御については計算機のフレキシブルな制御ロジックを活用し下記特徴を盛り込んたものとし制御

性の向上を図った。

#### (1) 予測制御方式

ボイラの昇温制御は時定数が非常に長いため通常の制御では十分な制御特性を得にくいので、温度変化の傾向より将来を予測しつつ制御する方式を採用した。

# (2) 可変ゲイン方式

ボイラの昇温制御では、温度の上昇につれてプラントのゲイン、時定数が大幅に変化するので制御ゲインを可変とし、 プラントの状態に対応したゲイン、時定数を算出使用することにより、全制御領域にわたって制御特性のマッチングがとれるようにした。

# (3) ダイナミック追従方式

ボイラの昇温制御では、制御開始時点での初期条件の差異による制御特性の相違や外乱の影響による制御の乱れを十分吸収して安定な制御が行なえるように、制御ゲイン、制御目標値をダイナミックに修正し任意の時点で制御開始が行なえるようにした。

# 3 計算機システム

# 3.1 ハードウェアの構成

本計算機制御システムは、日立製作所の中規模制御用計算機であるHIDIC 500を使用している。表3は計算機システムを構成する機器の仕様を示したものである。

# 3.2 ソフトウェア体系

本計算機制御システムのソフトウェア体系は,火力発電所の計算機制御用として開発されたものであり,火力プラントの状態の多様化に対応するため,下記の特徴を持っている。

(1) プラント全体をいくつかのシステム(ブレーク ポイント) に分割し、各システムを全体制御プログラムで統括するハイアラキ システムの構成にしている。

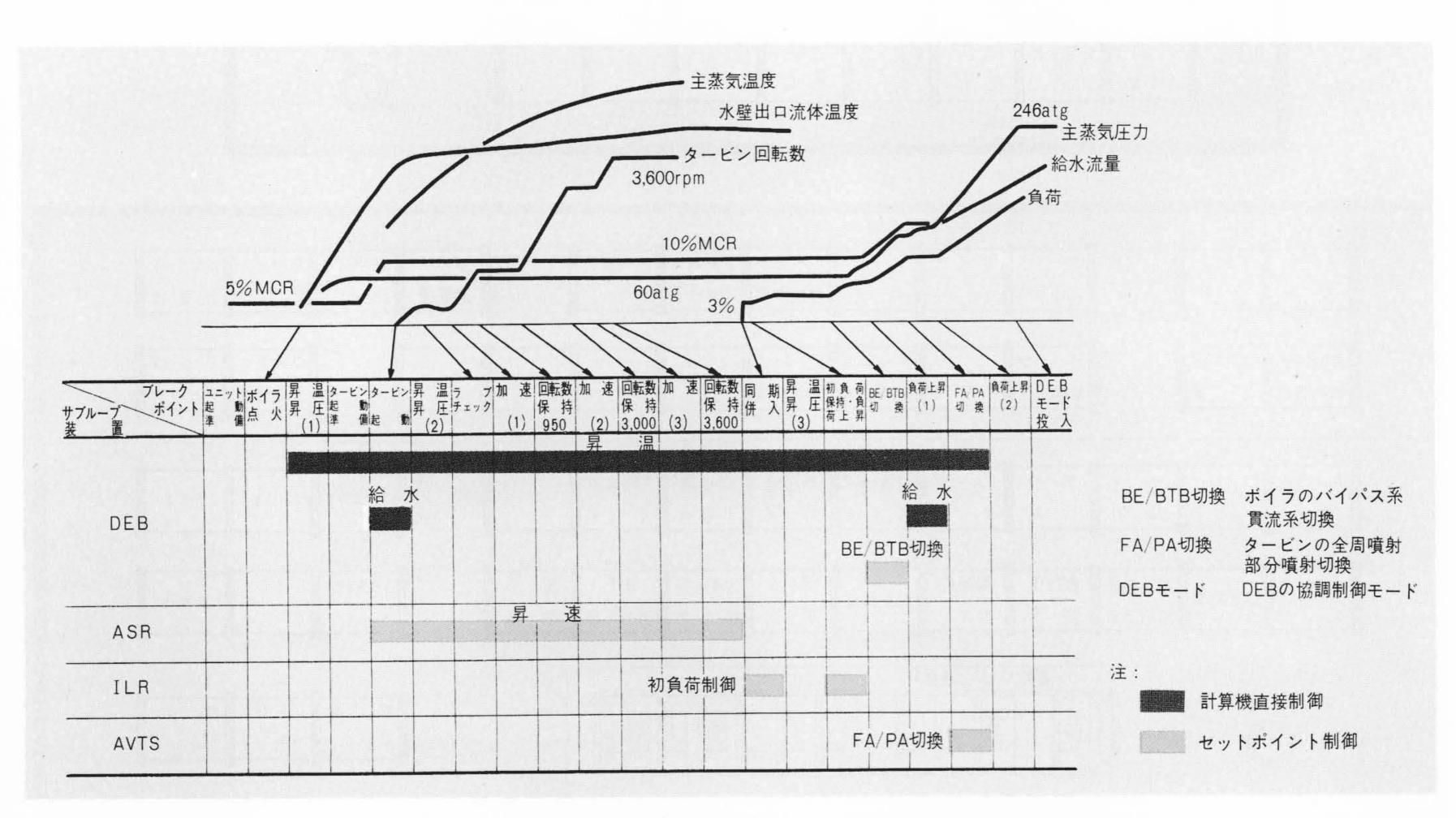


図 4 ユニット起動曲線とブレーク ポイント ユニット起動手順と計算機制御の関連を示したものである。

Fig. 4 The Curve of Unit Start Up & Break Point

表 3 計算機システム機器仕様 制御用計算機のハードウェアの構成を示すものである。

Table 3 Specifications of the Computer System Components

中央処理装置	HIDIC 500 コア容量 I6k語
磁気ドラム記憶装置	記憶容量 256k語
コンソール入出力装置	一式 (ASR-33, PTR)
プロセス入出力装置	
アナログ入力	244点
ディジタル入力	288点 (オペレータ コンソール用を含む)
パルス入力	47 点
割り込み入力	144点 ( " )
アナログ出力	9 点
ディジタル出力	240点( " )
オペレータ コンソール	一式
タイプライタ	IBM-735 2 台
C R T 表 示 器	19インチカラー 1台
ディジタル表示器	5けた 1組
トレンド記録計	3 ペン式 3 台

- (2) 各システムはイベント オリエント方式で起動され、状態の変化を把握するとともに、状態の変化に対応して処理を行なうようにしてある。
- (3) 各システムは、それぞれ特定の役割を持ついくつかのプログラムで構成されており、プラント異常時の処理および制御系異常時のモニタモードへの移行が容易に行なえるようになっている。
- (4) 各システムの状態は、全体制御プログラムにフィード バックされ、途中使用時のプラント状態とプログラムの同期およびモニタ モードから計算機制御モードへの復帰および制御再行が可能となっている。
- (5) プログラムの修正、デバッグが容易に行なえるようにあらかじめ種々の道具がプログラム中に組み込まれている。

# 4 システムの特徴

# 4.1 異常処理を組み入れた制御

本計算機制御システムの制御範囲は,ボイラ,タービンおよび発電機の本体を中心としたものに限定されているが,計算機が制御を行なっている部分については,計算機に任せるという観点から制御中にプラント異常が発生した場合は,定値制御,制御ブロックおよび修正制御を行なうプログラムを組み込み,制御の安全性の向上を図っている。

# 4.2 ボイラ, タービンの協調制御

ボイラとタービンの起動スケジュールのマッチングを図るため、タービン側の起動スケジュールをベースにボイラの起動スケジュールを決定する。またタービン側の起動スケジュールに修正があったときはボイラ側の起動スケジュールを合わせて修正するようにしてある。

ボイラとタービンの蒸気条件のマッチングを図るため、それぞれ単能機能であるボイラ側サブループおよびタービン側サブループを組み合わせて制御し、協調点へ持って行くようにしてある。

# 4.3 適応性の良い制御方式

プラントの状態変化に速応し、途中起動時もプラント状態 に適応できる制御方式とした。

# (1) 並列制御

火力プラントの起動操作では、いくつかの操作が並列して進行し、場合によっては操作順序が逆になるものがある。このため本計算機制御システムでは、起動手順を21個のブレークポイントに分割し、各ブレークポイントは操作条件が成立すれば随時起動できるようにして、並列制御、操作順序の入れ替えなどを可能とし、プラント状態にマッチした手順で制御が進行可能な構成としてある。

# (2) イベント オリエント方式

プラントの状態変化に即応するため、プラントの状態を監視し、状態変化を検出したとき、変化に対応した処理を実施するイベント オリエント方式を採用している。

#### (3) 即時同期方式

計算機制御システムをプラント起動の途中から使用した場合,使用開始時にプラントの操作進行状態を判断し,プラントの状態に適応したブレーク ポイントより制御を開始して,プラント状態に自動的に即時同期する方式としてある。

また途中まで手動操作で進行し、途中から計算機制御に切り換える場合、制御プログラムにてオート バランスおよび初期条件の差異による制御動作の修正を行ない、任意の時点で計算機制御を投入することができる。

#### (4) 計算機制御とモニタの切換

オペレータ コンソールの「計算機制御/モニタ」モード設定ボタンにより計算機制御項目のうち、任意の項目を選択してモニタモードに切り換えることにより、プラントまたはサブループ制御装置の都合により一部機能を計算機制御モードに投入できない場合も、当該項目のみはモニタモードとし計算機制御システム全体としてはそのままの状態で使用できるようにしてある。

# 5 試運転調整

火力発電所における計算機制御システムの現地試運転は、 プラントの試運転と並行して実施されなければならず、プラントの試運転期間中に調整を完了し運転開始以降実用化できるようにするためには限られた機会を最大限に利用するよう十分な準備を行なうとともに、実機試験において生ずるプラント側での事情による修正個所に容易に応じられるフレキシビリティに富むシステムにすることが肝要である。

本計算機制御システムの現地試運転に際しては、以上のことにかんがみボイラ点火時点までにデータ処理機能の調整およびサブループ制御装置とのリンケージ試験を完了し、ボイラ点火以降集収したボイラの特性をもとにアナログ計算機および制御用計算機によりプラントを模擬してシミュレーション試験を実施し、十分な事前確認を行なった後に実機試験を行なった。

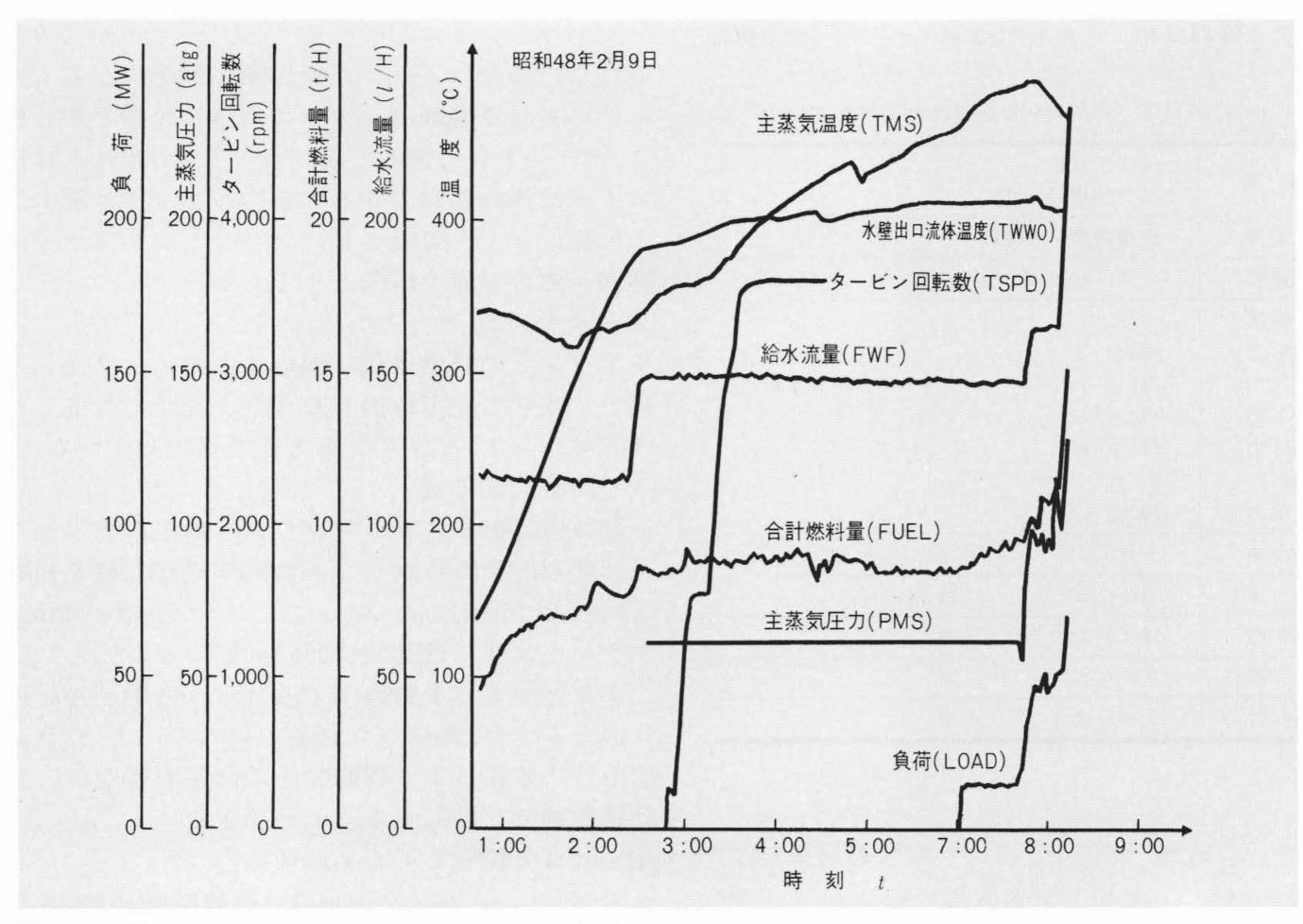
これにより、最初の実機試験より一応の制御特性を得ることができ、以降の起動はDEBの内部調整を実施するための起動を除きすべて計算機制御システムによる起動制御を行なうことができた。

実機試機は、昭和47年11月末の安全弁封鎖時のボイラ起動時に第1回の試験を行ない、以降12月末までにほぼ粗調整を完了し、以降はプラントの試運転に合わせて実用化試験として細部の調整を実施し、官庁試験時の起動試験で現地試運転を完了した。

**図5**は計算機制御システムによる起動実績の一例を示した ものである。

なお, 現地試験の結果は下記のとおりである。

(1) 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



計算機制御起動実績 タービン回転数1,500rpmにおいて、リクエストによる定値制御を実施している。

Fig. 5 The Result of Computer Control

によりプラントの状態変化に即応する制御方式とすることが できた。

- (2) ボイラ昇温制御に採用した予測制御方式および可変ゲイ ン方式は、プラントの特性に十分マッチしたものであり良好 な制御特性を得ることができた。ちなみにボイラの昇温制御 を計算機制御で行なった場合と運転員が手動操作で行なった 場合の制御結果を比較すると下記のことが言える。
  - (i) 計算機制御の場合は、短い周期できめ細かく燃料量を 制御するため一度に操作する燃料量が少なくなり、 なめら かに温度が上昇するため熱ストレスが少ない。
  - (ii) 計算機制御の場合は、連続的に制御を実施するため昇 温率をほぼ一定にすることができ、昇温率の最高値を大き くしないで起動時間を短くすることができる。
  - (iii) 計算機制御ではボイラの非線形特性を考慮した予測制 御を行ない, 偏差が出ずる前に修正制御を行なうため、プ ラント ゲインが大幅に変化する臨界点付近でも安定した制 御を行なうことができる。
- (3) ボイラとタービンの協調制御については、あらかじめ定 まった制御を行なうのではなく、プラントの状態をフィード バックしながら調整して行く制御が必要であり、このような 制御を行なうにはフレキシビリティに富む計算機の制御ロジ ックを使用するほうが調整が容易である。

現地試験において調整の段階で計算機システムのプログラ ムの修正を行なったおもな点は下記のとおりである。

- (1) タービンおよびボイラの本体側の協調を図るため、バイ パス系から貫流系への切換えおよび全周噴射から部分噴射へ の切換制御時の処理を変更した。
- (2) 火炉ガス温度高と昇温率高の異常が同時に発生した場合, 当初は火炉ガス温度高の修正動作に優先順位を持たせていた ため, 火炉ガス温度の偏差が小さい場合は昇温率高の修正制

御が不十分となることがあったので、修正動作のより有効な ほうを選択するようにした。

(3) ボイラ点火直後に昇温制御を投入した場合、初期条件の 差異(制御開始までの手動制御の経過の差異)によって制御 特性が大幅に変化するので, 昇温率が立つまで目標温度を保 持することにより制御特性を改良した。

# 6 結

以上,四国電力株式会社坂出火力発電所3号機ユニットを 対象とした計算機制御システムの概要を述べた。

本システムは従来, 手動操作にたよっていたボイラの制御 系が自動にはいるまでの操作の自動化を中心として, ボイラ とタービンの協調のとれた制御をねらったものであり、プラ ントの試運転期間中にその調整を完了し、制御結果も良好な 特性が得られ実用化を達成したものである。

本システムで確認できた適応制御方式をもとに、今後さら に制御範囲の拡大、制御特性の向上ならびにDDCの活用に より、プラントの安全性向上と自動化へいっそうの努力を払 っていく所存である。

終わりに臨み, 本システムの完成にご協力をいただいた四 国電力株式会社火力部ならびに同社坂出火力建設所の関係各 位に厚くお礼申し上げる次第である。

# 参考文献

- (1) 丸山ほか:「最近の火力計算機制御技術」日立評論 51,404 (昭44-5)
- (2) 松村ほか:「計算機によるプラント自動起動装置」日立評論 53,340 (昭46-4)
- (3) 二川原ほか:「計算機制御システム」日立評論 53,943 (昭46-10)