

日本国有鉄道川崎火力発電所4号機用

火力発電所自動起動停止システム

Full Automatic Plant Start-up and Shut-down Operation System

Various attempt have been made at the thermal power stations to achieve operational safety and labor saving by means of computer control. As an example of such efforts this article introduces an extensive computer control system intended for 4 - 8 hour interval star-up and shut-down operation of a thermal power station and describes the range of automation, construction of the system and the results of site tests.

By the adoption of the supervise control method in which various subloop control equipment are supervised by a computer system, automation has been realized successfully over a broad range. In the site tests this computer control system has recorded satisfactory performance.

常 広 勲* *Kaoru Tsunehiro*
 二川原誠逸** *Seiitsu Nigawara*
 福島弘一郎** *Kôichirô Fukushima*

1 緒 言

最近の火力発電所は、プラント操作の省力化や安全性向上のため制御用電子計算機を設置するのが普通になってきた。

しかし、これらの多くは計算機の役割をシーケンスモニターやプラント操作の部分自動化に限っている。

日本国有鉄道川崎火力発電所4号機は、ユニット容量が125 MWとそれほど大きくないが、広範囲にわたるプラント起動停止操作に対して計算機を全面的に使用し、自動化を図っている。

日本国有鉄道(以下、国鉄と略す)の電力負荷の特性上、夜間は電力をほとんど必要としないため、ほぼ毎日深夜に停止し、早朝に起動する必要がある。しかし発電所の運転操作において、この起動停止操作は最も労力と高度の判断力を必要とするため、この部分を自動化することは、省力化の面からも、誤操作防止の面からも、非常に有効である。

本発電所の自動化システムは、通常運用の大部分を占める4～8時間停止の操作を全面的に自動化するものである。その自動化の範囲は、ボイラ点火準備から目標負荷までのプラント起動操作および負荷降下開始からタービントーニングまでのプラント停止操作までという、他に例のない広範囲のものになっている。また自動化の方法としては、各制御区分ごとに自動制御装置を使用し、計算機はこれらの制御装置を総合的に監視統括する監視制御方式としてある。これにより万一計算機が使えない場合でも、自動制御装置により容易にプラント起動停止が行なえるようにしてある。

また本システムの制御装置にも種々の新しい試みがなされており、タービン制御装置として国産では記録的容量の電子ガバナ装置(以下、EHGと略す)が採用されている。

以下にこれらのシステムの機器構成、機能および試運転結果について述べる。

2 自動化システムの内容

本発電所はタービン発電機が日立製作所製、ボイラは三菱重工業株式会社製の組合せになっており、プラントの概略諸元は表1に示すとおりである。

本プラントの自動化システムは、4～8時間停止における

表1 国鉄川崎発電所4号機プラント諸元 本発電所の主要な仕様をとりまとめたものである。

Table 1 Dimension of KAWASAKI Thermal Power Station No.4

出 力	125,000kW
蒸 気 条 件	127atg /538°C /538°C
ボ イ ラ	屋内式強制循環ボイラ (三菱重工業株式会社製)
タ ー ビ ン	衝動再熱式くし形複流排気形 (日立製作所製)
発 電 機	水素冷却式横置円筒回転界磁形 (日立製作所製)
励 磁 方 式	別置他励磁形速応励磁式
ガバナ制御装置	EHG (日立製作所製)
ボイラ自動制御装置	テレパームIS方式 (富士電機製造株式会社製)

プラント起動停止を完全に自動運転させるもので、4～8時間停止以外での起動停止操作においても、多少の補助操作を行なうことによって自動運転が可能である。これは国内において他に類をみない広範囲にわたる自動化である。以下、この自動化システムの内容について述べる。

2.1 自動化範囲および内容

本プラントの自動化システムは、4～8時間停止のプラント起動停止の過程において、起動前および停止後の点検あるいは準備作業を除いたすべての操作を自動化の対象にしている。ただし、タービンラブチェックは運転員が行なうのが最も確実と考えたため、これだけは運転員の判断に任せた。なお4時間以内あるいは8時間以上の停止でも、操作手順に変更がなければそのまま使用することができるし、また操作手順に変更がある場合でも、そこを補助操作することによって本システムを使用することができるようになっている。

本自動化システムにおいては、プラントを完全に停止しないかぎり運転を継続する下記機器系統は自動化範囲から除かれている。

- (1) 軸受冷却水系統
- (2) 制御空気系統
- (3) タービン油系統

* 日本国有鉄道電気局電力課 ** 日立製作所電力事業本部 *** 日立製作所大みか工場

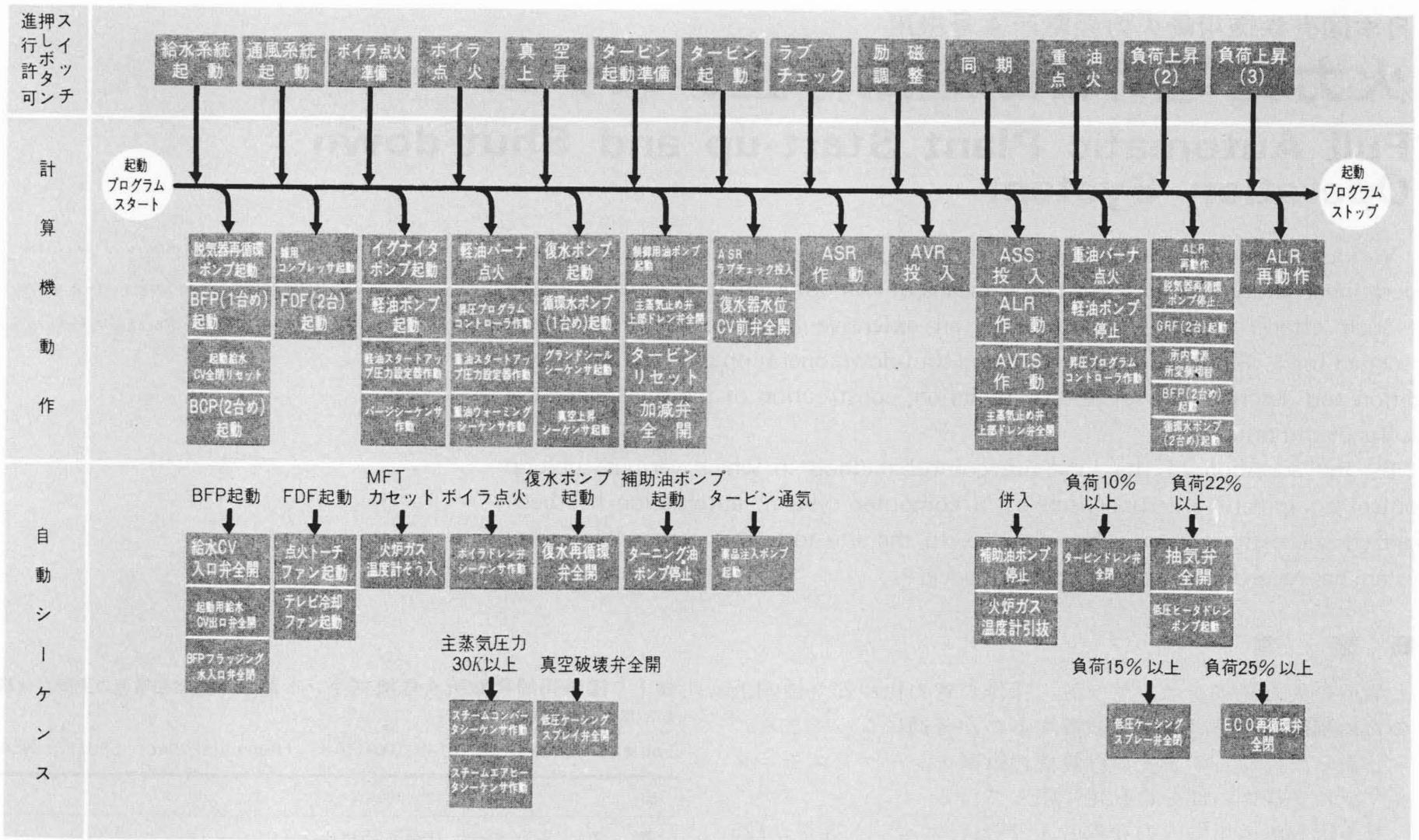


図1 自動操作内容(プラント起動) プラント起動時自動的に操作される内容についてまとめたものである。

Fig. 1 Contents of Automatic Operation

(4) 発電機水素系統

(5) 純水、補給水系統

したがって、自動運転の範囲はボイラ給水ポンプ起動、ドラム水漲から目標負荷到達までの起動操作および負荷降下からタービントーニング運転までの停止操作となっており、この間の補機操作を含めた全操作が自動化されている。これらの操作は主要操作ごとに区分され、それぞれはオペレーターコンソールに進行表示される。また、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、装置をロック、あるいはその位置にホールドを行ない機器安全には万全を期した。

プラント起動時における具体的な自動操作内容については、図1に示すとおりであるが、本システムではプラント途中起動にも対処できるよう考慮されている。なおプラント停止時のそれは紙面の関係上省略した。

2.2 自動化システムの構成

本自動化システムは、計算機を中心としてその周辺に各種のアナログサブーループ制御装置(以下、サブーループ制御装置と呼ぶ)を配して、これらの装置の投入、除外およびセッティングの設定を計算機が行なういわゆる監視制御方式を採用している。これは本プラントの特徴である毎日起動停止に十分耐えうるよう信頼性を上げるためで、たとえ計算機が使えなくても、各種サブーループ制御装置やシーケンサを単独使用することによって少数運転員でも運転を継続することができる。また、ほとんどの制御装置およびシーケンサは、計算機の指令により動作するが単純にプラントの要因により操作できるものは、計算機を介せずインターロックにより自動化している。具体的な内容は、図1に自動シーケンスとして示すとおりである。

以下、自動化システムについて詳述する。

2.2.1 計算機システム

計算機システム全体の構成は図2に示すとおりである。電子計算機はプラント各部の状態をプラント入力として読み込み、以下に述べる種々の処理判断をした後、EHGやシーケンサなどの制御装置およびタイプライタ、表示器などのマンマシンコミュニケーション機器に対し出力している。

表2 計算機システム機器仕様 計算機各機器の主要仕様を示すものである。

Table 2 Specification of Computer System

項目	仕様
中央処理装置	HITAC 7250, コア16k語
磁気ドラム装置	256k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	200点
デジタル入力	464点 (オペレーターコンソール用を含む)
パルス入力	21点
割込入力	16点
アナログ出力	3点
デジタル出力	269点 (オペレーターコンソール用を含む)
パルス出力	4点
オペレーターコンソール	一式
デジタル表示器	5けた, 1組
トレンド記録計	3ペン式, 1台
タイプライタ	
アラームアナウンスメント用	IBM-735 1台
日誌用	" "

計算機本体の仕様は表2に示すとおりであり、計算機にはHITAC 7250を使用している。なお個々の制御そのものは、サブグループ制御装置やシーケンサにより行なわれているため、計算機で行なう制御範囲の広さの割には入力点数が少なくなっている。

2.2.2 サブルーブ制御装置

計算機により指令を受けるサブグループ制御装置としては下記のものがある。

- (1) ボイラ自動制御装置 (以下、ABCと略す)
- (2) 自動バーナ制御装置 (以下、BCと略す)
- (3) 自動タービン速度制御装置 (以下、ASRと略す)
- (4) 自動電圧調整装置 (以下、AVRと略す)
- (5) 自動同期装置 (以下、ASSと略す)
- (6) 自動負荷制御装置 (以下、ALRと略す)
- (7) 自動弁切換装置 (以下、AVTSと略す)

これらの装置は中央盤の選択スイッチにより、(a)計算機制御、(b)単独使用、(c)除外のいずれかを選択することができるようになっている。計算機制御中にこれらサブグループ制御装置を単独使用あるいは除外にすると、計算機からは指令がでず、その操作のみモニタモードに移行する。これは一部未調整のものあるいは故障装置があるときは、それを簡単に計算機制御から除外でき、制御もその部分を手動で補ってやれば

よく、試運転段階では非常に有効であった。

以下、各制御装置の内容について述べる。

(1) ABC

本制御装置は、ボイラ全体の制御をつかさどっているが、本装置に一部回路を付加し、

- (a) ボイラ水漲
- (b) 軽油スタートアップ圧力設定
- (c) 重油スタートアップ圧力設定
- (d) ボイラ昇圧、降圧制御

を行なっている。計算機はこれらの回路に設定値の設定および投入指令を与えている。

(2) BC

本装置を介して、

- (a) ボイラパージ
- (b) 軽油バーナ点火
- (c) 重油バーナ点火

を行なう。制御は計算機の指令により開始する。

(3) ASR

本装置はタービンをターニングからラブチェック回転数までの昇速および3,000rpmまでの速度制御を行なう機能を持っている。速度上昇率、目標速度および暖機のための速度保持時間は計算機が自動決定する。

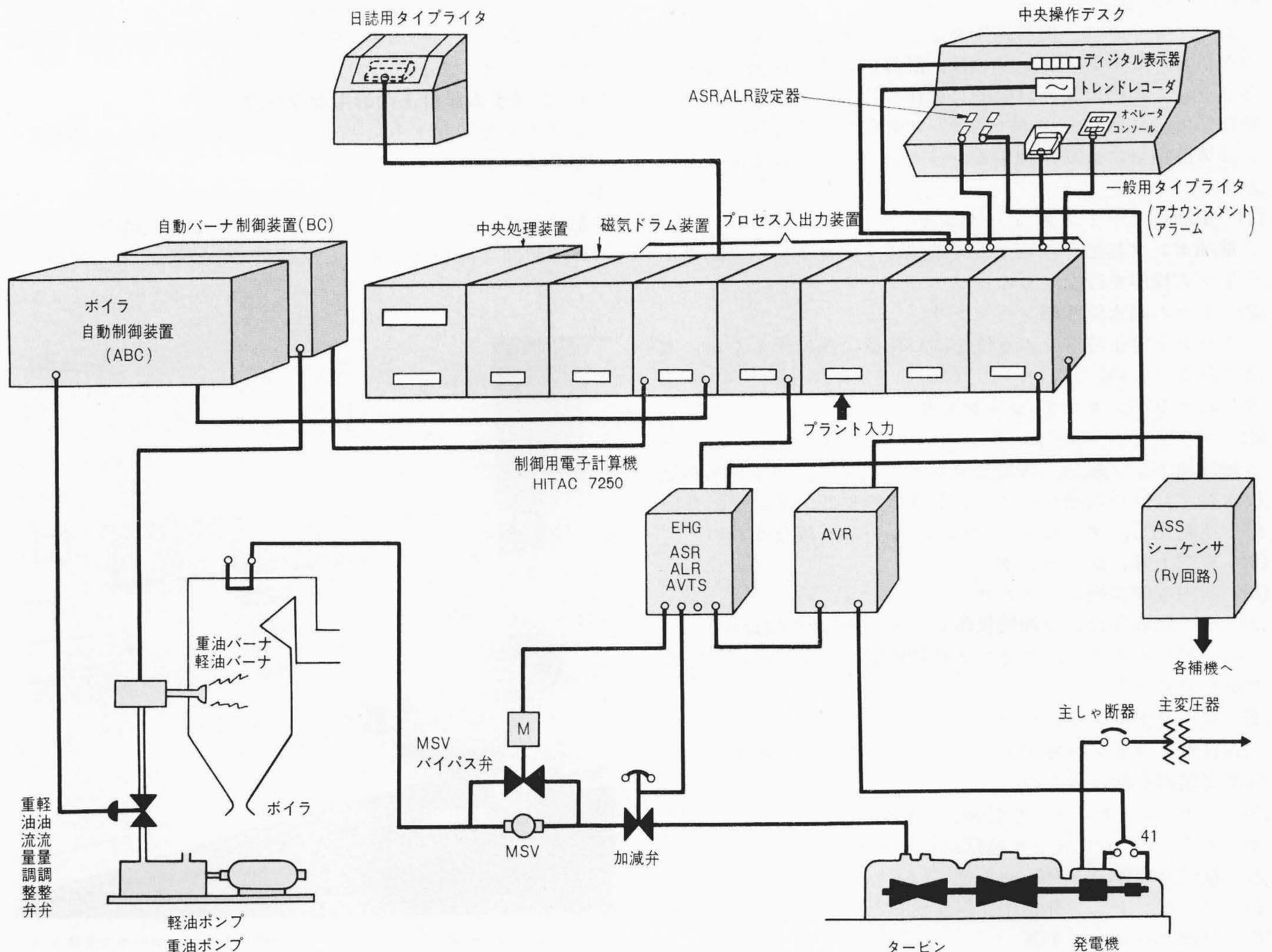


図2 システム全体構成図 計算機と各制御装置との関連を表わしたものである。

Fig. 2 System Configuration

(4) AVR

タービン速度が定格回転数になったときに計算機がAVRを自動投入する。これによって励磁をかける。

(5) ASS

本装置はASRの一部を介して系統との揃(せん)速を行ない、一方、AVRを通して揃圧を行ないつつ位相を確認し、主しゃ断器を自動投入する。

(6) ALR

本装置は同期併入後、初負荷制御から目標負荷までの負荷上昇および解列までの負荷降下を、所定の変化率で行なう機能を持っている。操作端としては主蒸気止め弁バイパス弁または加減弁があり、初負荷制御は、主蒸気止め弁バイパス弁により、また弁切換後は自動的に加減弁を操作して負荷制御が行なわれる。負荷変化率はタービン寿命消費を決められた値に維持するよう自動決定される。

(7) AVTS

本装置は、負荷約11%で主蒸気止め弁バイパス弁制御から加減弁制御に切り換わるもので、切換中は負荷変化を最小に押えるよう制御される。

これ以外に計算機を介することなく、単独に動作する制御装置は多数あるが、中でも全体の制御とよく協調をとったものにタービン軸受給油温度制御装置がある。これはタービン回転数により制御される油温設定値を、自動変更する機能を持ったものである。

2.2.3 シーケンサ

シーケンサとは、機器操作を定形的にまとめ連動化したものを言う。このシーケンサには、計算機により作動するものとプラント要因により自動的に動作するものがある。本自動化システムではこれらのシーケンサが有効に活用されている。

計算機指令により作動するシーケンサとしては下記のものがある。

(1) 重油ウォーミング シーケンサ

重油ポンプ起動から始まって系統のリークチェック、ウォーミング操作を行なうもの。

(2) ドラム高水位水漲シーケンサ

プラント停止時ドラム水位を高い位置に保持するために水漲を行なうもの。

(3) ボイラバンキング シーケンサ

(4) グランドシール シーケンサ

補助油ポンプ起動、蒸気管のウォーミング、グランド蒸気復水器ブロワの起動からグランド蒸気調整器、蒸気供給弁操作を連動化し、タービン グランド シールを行なうもの。

(5) 真空上昇、シーケンサ

(6) 所内電源切換シーケンサ

(7) その他各弁および補機操作シーケンサ(計算機操作)

次に述べるものは、プラントの状態値により自動起動停止するものである。

(1) ボイラドレン弁シーケンサ

各種ボイラドレン弁をタイミングよく開閉し、ボイラ主蒸気温度制御を助けるもの。

(2) スチーム コンバータ起動シーケンサ

(3) スチーム エアヒータ起動シーケンサ

(4) 抽気弁操作シーケンサ

(5) タービンドレン弁操作シーケンサ

(6) 自動ターニング装置

(7) その他

以上述べたシーケンサの操作スイッチは、連動スイッチと

単独スイッチより構成されており、連動による手動操作が可能であり、また連動をはずして個々に操作することも可能になっており、手動操作によるバックアップが容易にできるようになっている。

2.3 オペレータ コンソールの機能

計算機によるプラントの起動停止操作は、各制御装置を計算機側に切り換えておけば、すべてオペレータ コンソールからの操作だけで進行可能である。このオペレータ コンソールは、中央操作デスクに組み込まれており(図3参照)、その正面図は図4に示すとおりである。このコンソールは上部 $\frac{2}{3}$ が制御関係の押しボタンで、下部 $\frac{1}{3}$ がデータ印字やデータそう入を行なうデータ処理のためのボタンや設定スイッチになっている。制御関係ボタンのうち、中央の3段が制御の操作進行ボタンで、操作の手順に従って配列されており、これには表示灯のみのものと、押しボタンを兼ねたものがある。この押しボタンは操作の進行許可機能を持ち、操作開始時点で操作前条件の成立が確認されると表示灯がフリッカするので、このとき押しボタンを押すと操作が開始される。このボタンは主要な操作に対してのみ設けられ、あらかじめ押しておくことも可能である。この場合は条件さえそろえば、自動的に次の操作へ進行するため、すべての起動停止操作を自動的に進行させることも可能である。またこの表示灯は、現在進行中の操作個所のみ点灯するため、全体の操作過程でどの操作を実行しているかが一目でわかるようになっている。オペレータコンソールの最上段の表示灯は、サブグループ装置の状態を示すもので、使用中は連続点灯し制御に異常がある場合にはフリッカする。

2.4 システム設計上のおもな考慮点

システムを設計するに際し、特に考慮したおもな点は次に列挙するとおりである。

(1) プラント起動時間

毎日起動停止を行なう関係上、プラント起動時間ができるだけ短時間で済むようタービン通気はネガティブ ミスマッチ

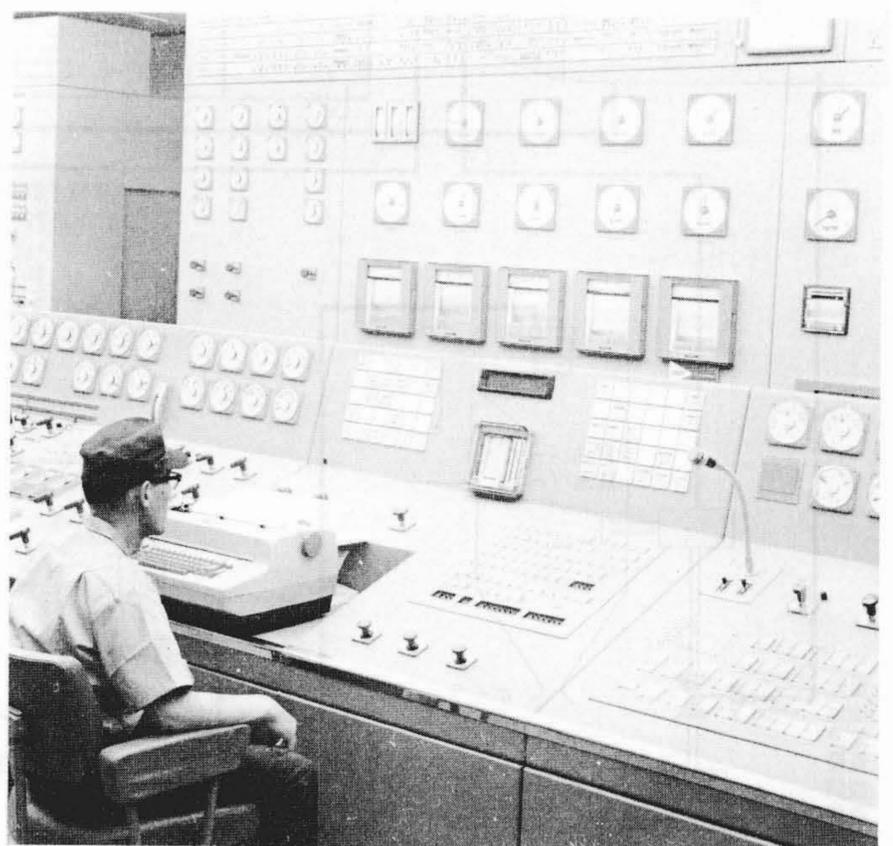


図3 コンソール外観 オペレータが操作するコンソールの全体を示すものである。

Fig. 3 Outline of Console Desk

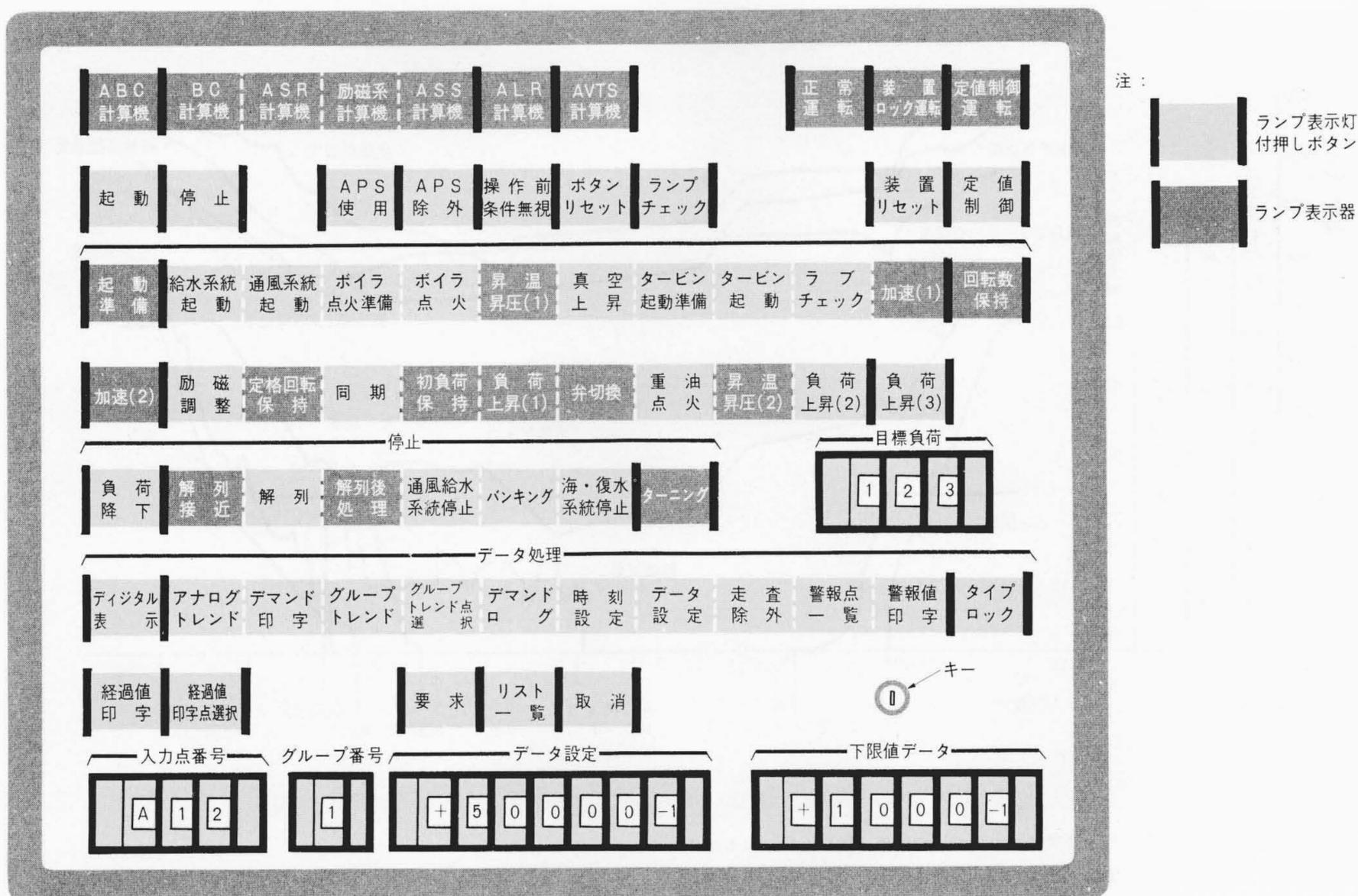


図4 オペレータ コンソール正面図 制御操作，データ要求などを行なうコンソールの正面を示す。

Fig. 4 Front View of Operator's Console

としてある。これにより6時間停止でのボイラ点火から定格負荷までは135分で起動可能で、この間のタービン寿命消費量は、0.02%/サイクルに押えられている（試運転の結果寿命消費は0.01%/サイクルに変更された）。

(2) 計算機制御のバックアップ操作

万一、計算機が使用できない場合でも、中央操作デスクから計算機が操作しているのと同様の操作を手動で行なうことができるように、操作スイッチのアレンジを行なっている。このため、操作スイッチには計算機操作と手動操作のポジションを設けている。

(3) 制御出力回路

計算機が多くの制御回路と接続されているシステムにおいて、計算機からの誤った出力信号は、機器の破損やユニットトリップなどに至らせる危険性がある。そこで計算機の出力信号は、出力が必要なときだけモーメンタリにONとし、常時はOFFの状態とする。また出力回路には絶縁リレーを入れ、制御プログラムが動作していないときは絶縁リレーの電源を切って制御出力がでないようにしてある。この絶縁リレーは、計算機の重故障によっても自動的に電源が落ちるようにしてある。

(4) シミュレーション

工場出荷時制御関係のプログラムを完全なものにしておくため、全入力および全出力を模擬回路に接続し、制御出力の動作確認とともに、プラントの状態変化を順次シミュレータより計算機に与え、プログラムが計画どおり動作することをシミュレーションテストした。

本シミュレーションテストにより計算機は試運転当初から

使用でき、またプログラム上の種々の問題点も早期に発見できたため、現地での調整が非常に楽であった。

3 現地試運転結果

3.1 試験工程

本計算機システムは、昭和47年11月初めに搬入を開始し、据付、配線後3月中ごろの昇温・昇圧試験よりプラント本体の試運転工程に合わせて自動化プログラムの確認範囲を拡げ、翌48年5月初めにほぼ全範囲にわたっての確認を終え、6月初めに全装置を自動化した総合確認試験を行ない、6月中ごろ全調整を完了したものである。

総合確認試験は、3時間、6時間および8時間の各停止時間について、すべての装置を「自動」として計算機の指示どおりに操作を進めた。図5は、このうちの一例として6時間停止時の場合の実績起動停止曲線を、表3は起動所要時間の比較値を示すものである。

現地調整の方法としては、各機器の第1回めの操作だけは機器の動作およびこれに伴うプログラムの動きを確認するため手動操作で行ない、2回め以後は計算機による自動操作により試運転を行なった。これにより自動化装置の問題点の早期把(は)握および装置に対する運転員の慣れを十分に獲得することができた。

本プラントの特質として、起動停止は毎日行なわれるため、試験回数は十分にとることができ、6月中ごろまでに五十数回もの計算機による起動停止操作が行なわれている。また本システムの特質として、多くの自動装置を使用しているため、現地における調整は各制御装置が主体となり計算機側の調整

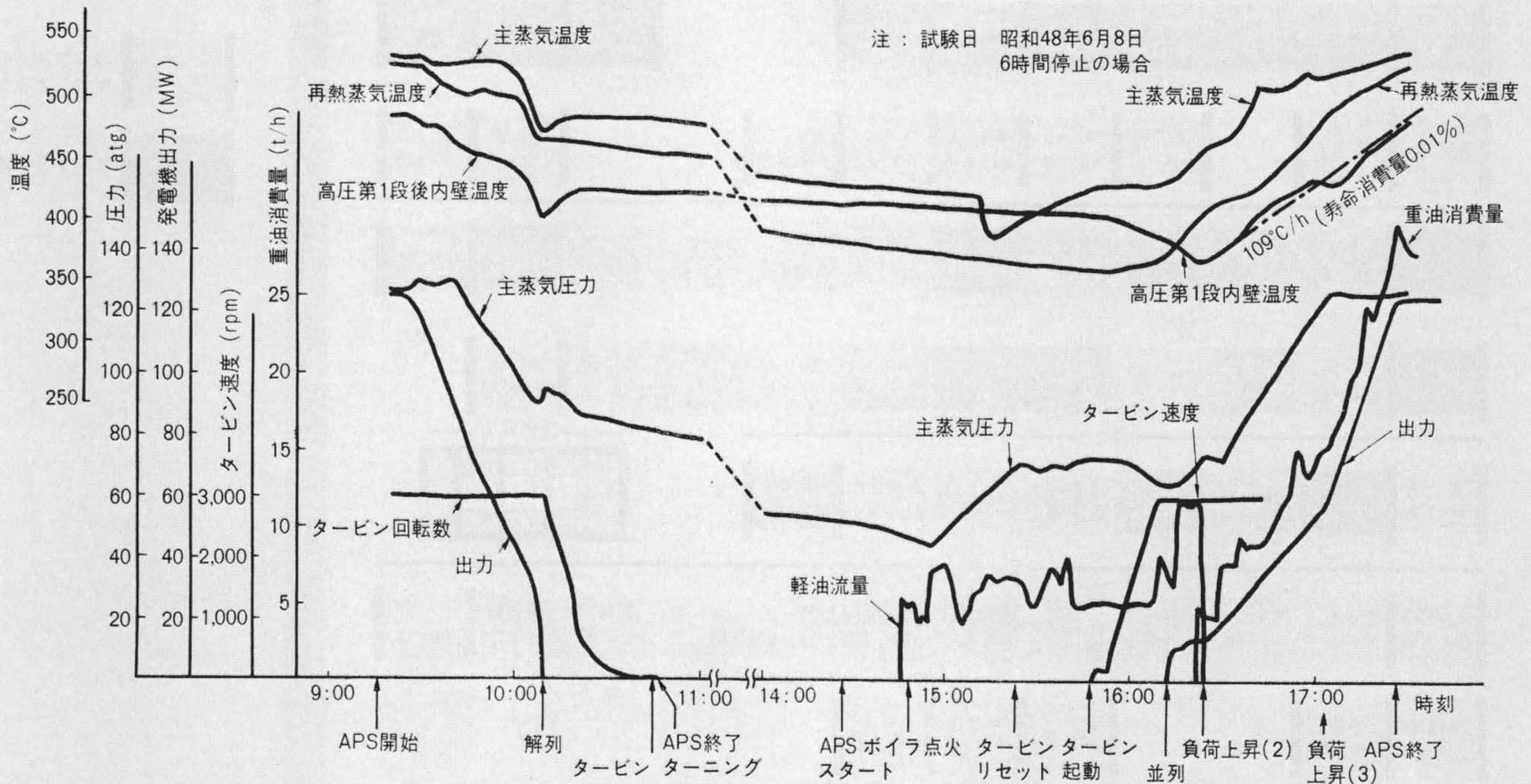


図5 実績起動停止曲線 6時間停止の場合、起動停止実績を示したものである。

Fig. 5 Start Stop Result Curve

表3 起動所要時間比較 6時間停止の場合のプラント起動所要時間の計画値と実績値の比較を示したものである。

Table 3 Comparison of Start up Time

比較値	起 動	ボイラ点火~通気 (min)	通気~併入 (min)	併入~125MW (min)	合計所要時間 (min)
6時間停止計画値		30	23	82	135
6時間停止実績値		59	25	74	158

は少なかった。計算機の調整は操作完了チェックの待ち時間や、判定条件の設定値などの数値変更が主であり、調整期間としては本体工程に合わせ長くなっているが、計算機の現地調整に要した実質工数は計算機直接制御などを行なうプラントに比べ相当少なくなっている。したがって本システムの方式は、現地調整の簡易化を要するシステムに最も適した方法といえる。

3.2 試験結果および検討

計算機により自動停止し、6時間停止後自動起動した場合のプラント特性曲線図5の結果から言えることは、

- (1) 起動時のタービン高圧第1段内壁温度の変化率は、109°C/hで、起動停止1サイクルあたりの寿命消費量が0.01%と計画値とよく一致している。
- (2) 6時間停止の場合、点火より定格負荷までの起動所要時間は158分と予定値より多少多くかかっているが、運転操作の慣れにより短縮が可能と考えられる。
- (3) タービン通気圧力を70atgとするためには、停止時90atgまで降圧することが、起動時の昇温を行なうために適切な方法ということがわかる。

4 結 言

本システムは4~8時間停止のホットスタート、ストップ操作をほとんど運転員の手をわずらわすことなく、計算機のオペレータ コンソールだけで可能なことを実証した。

本システムにより毎日の起動停止操作も大きな労力をかけることなく操作可能となり、運転員の役めとしては操作の進行許可と異常に対する判断、処置ということに変わってきた。また本システムは、監視制御方式としての一つの集大成されたものであり、ここで使用された制御装置の一部は他の自動化プラントへも適用されている。またこの方式は、計算機の負担を増さず、広範囲の自動化を行なうために非常に有効な方式であることがわかった。

本システムの残された問題点としては、停止時の負荷降下方法や昇温時ボイラ ドレンのきり方、タービンメタルマッチングのとり方などの操作方法において、起動所要時間が最小になる条件を発見することであるが、今後、種々の条件における起動停止をくり返すことにより最適な点が見いだされるものと信ずる。

最後に本システムを完成させるにあたり、ご協力いただいた日本国有鉄道、三菱重工業株式会社および日立製作所の関係各位に対し、心から感謝する次第である。

参考文献

- (1) 佐々木、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)
- (2) 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)