

東北電力株式会社秋田火力発電所納
計算機によるプラント自動起動装置
Automatic Plant Starter with Digital Computer

佐々木 勇 悦* 松 村 重兵衛** 福 島 弘一郎***
Ūetsu Sasaki Jūbe Matsumura Kōichirō Fukushima
岸 上 孝*** 小河内 俊 雄****
Takashi Kishigami Toshio Kogochi

要 旨

火力発電所の計算機による自動運転は、世界の火力界の多年の念願である。東北電力株式会社秋田火力発電所第1号機（出力350 MW）として納入されたプラント自動起動装置は制御用電子計算機 HITAC 7250 を中心に構成されており、火力発電所の自動化システムとしては現在最も高度なシステムの一つである。本プラントは昭和45年8月好調に営業運転にはいったが、プラント自動起動装置は完全に調整を完了し実用化できた。本文では本装置の計画内容および試運転実績について述べる。

1. 緒 言

近年、発電量における火力の比重が増大するにつれて、国内の各電力会社は年々その運転操作の自動化に対する要請を深めてきている。

これはユニットの大容量化につれて、プラント全体としてできるだけ最適な運転操作を行なう必要性がますます増大し、プラント総合運転方式の確立が急務になるとともに、運転員の負担を軽減し、安全で容易なプラント起動を実現せしめようとするものである。秋田火力発電所1号機の計画に際しては上述の目的を達成するために、ボイラ点火から所定の目標負荷に至るボイラ・タービンの全起動過程を制御用電子計算機によって制御するプラント自動起動装置（Automatic Plant Starter 略して APS）を設置することとした。

従来の火力自動化は、たとえばタービン昇速制御とか負荷制御という部分的なものが大部分で、ボイラ・タービンを含めプラント全体で個々の機器の相互協調をとりながら自動化を計画したものは数少ない。これは制御の範囲の増加によりプラント構成機器の状態およびその組合せが相乗的に増し、それに対応する融通性をもった制御計画および調整が困難であったことが理由である。今回の計画にあたってはこの点に留意し、全プラントの複雑な制御にじゅうぶん対応できる計算機ソフトウェア、プログラム構成を新たに採用し、また工場ではシミュレーション試験に念を入れ、現地でもテストできるあらゆる機会を利用するよう努力した。

本プラントは45年8月に営業運転を開始したが、自動化についてはユーザーとメーカーの密接な協力のもとに試運転期間中に調整を完了して営業運転開始とともに実用に供することができた。

以下、このAPSの計画内容とその試運転実績について述べる。

2. APS 計画内容

2.1 APS の 範 囲

本プラントのAPSの取扱い範囲としては、ユニットの運転操作として最も重要な、ボイラ点火から目標負荷到達までの起動過程とし、軽油バーナの点火操作、昇温時の初期燃料量制御、タービン昇速制御、発電機励磁操作およびプレウォーミング操作、同期投入、初負

表1 秋田火力1号機プラント概略仕様

出 力	350,000 kW
蒸 気 条 件	169 atg/566°C/538°C
ボ イ ラ	UP ボイラ（強制貫流形）
タ ー ビ ン	くし形4流排気形
発 電 機	固定子直接水冷却形
励 磁 方 式	交流励磁機方式
給 水 ポ ン プ	別置復水タービン駆動形
ボ イ ラ 自 動 制 御 装 置	ベール 721
自 動 バ ー ナ 制 御 装 置	ベール 760（本数制御付）

荷および圧力上昇制御、弁切換、目標までの負荷上昇制御とした。

このほか緊急時の負荷減少操作、補機まわり操作についてもインターロックの拡充を図り、系統事故時のバーナファーストカットバック、プラント故障によるロードランバック、予備機の非常起動、起動時タービンドレン弁の自動閉止、負荷による2台目補機（復水ポンプ、復水昇圧ポンプ、重油ポンプ）の自動起動、タービン回転数による油温調整セットポイント自動変更などを採用している。これら種々のインターロックが計算機制御をバックアップし、全体として広い意味のAPSを形作っている。

表1は本プラントの概略仕様を示したものである。主蒸気圧力は亜臨界圧であるが、ボイラ形式は強制貫流ボイラであり、本プラントのAPS計画内容はほとんどそのまま超臨界圧プラントにも適用できる。

2.2 APS の 構 成

本プラントAPSは、計算機の周辺に各種のサブグループ制御装置を配し、これらのサブグループ制御装置の投入、除外および設定点変更を計算機で行なう、いわゆる監視制御方式である。これに対して計算機による直接制御方式があり、それぞれ特長を有するが本プラントの場合は、

- （1）すでに信頼性などの実績あるサブグループ制御装置を基礎にして全自動を行なわせること。
- （2）計算機、サブグループ制御装置それぞれ併行して調整を行なうことができること。
- （3）計算機なしでもサブグループ制御装置の単独使用で運転が可能である。

などの理由から監視制御方式を採用した。

* 東北電力株式会社秋田火力発電所
** 日立製作所機電事業本部
*** 日立製作所大みか工場
**** パブコック日立株式会社呉工場

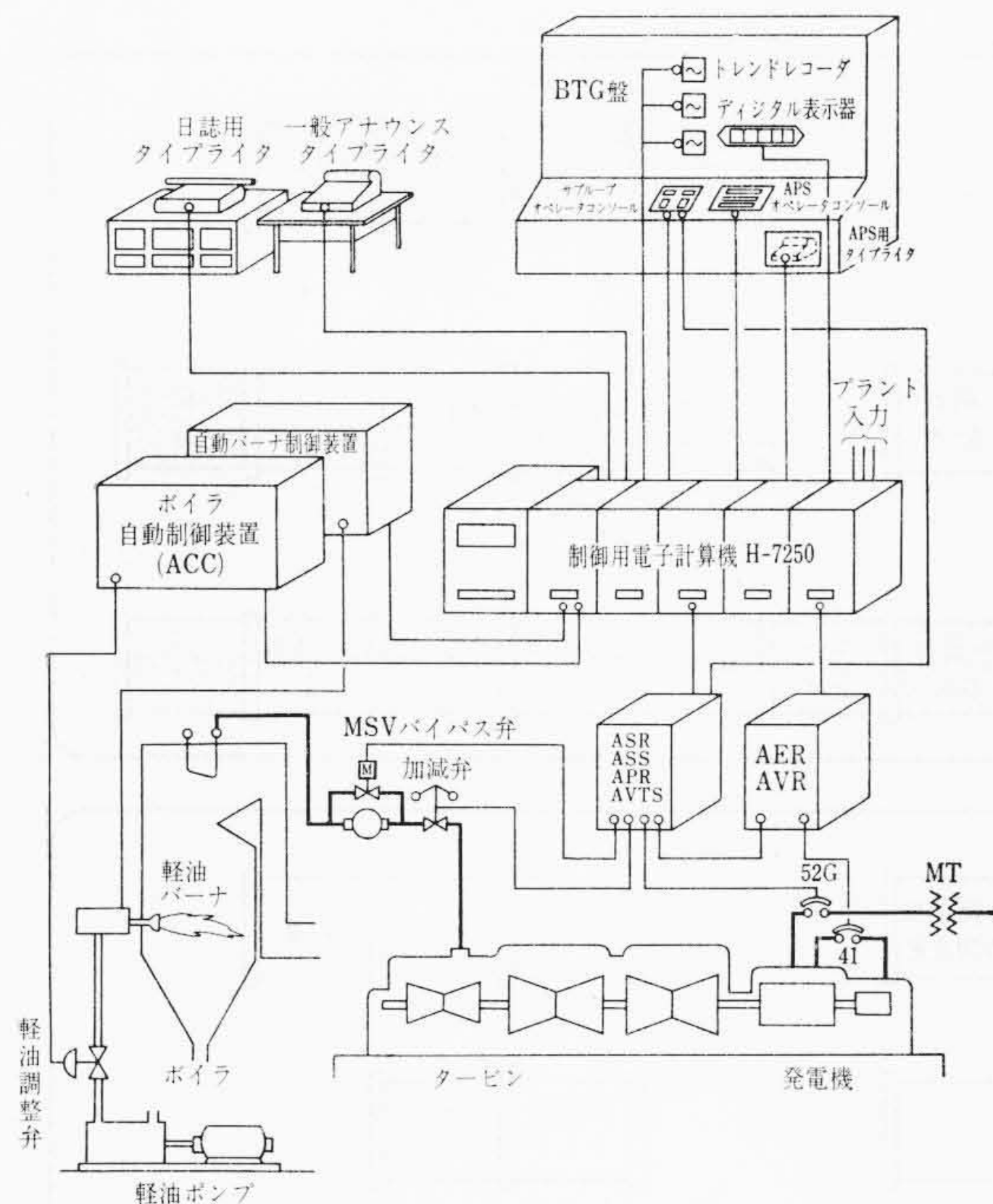


図1 APS の 構 成

表2 計算機および付属装置概略仕様

制 御 用 計 算 機	形 式	HITAC-7250	
	容 量	コア 16 kW, ドラム 256 kW	
	出 力 点 数	アナログ 9 点, デジタル 65 点	
	入 力 点 数	アナログ 380 点, デジタル 210 点	
タ イ プ ラ イ タ	警報および APS メッセージ用	1 台	
	一般アナウンスメント用	1 台	
	日 誌 用	1 台	
ト レ ン ド レ コ ー ダ デ ィ ジ タ ル 表 示 器	3 ペ ン 形	3 台	
		1 台	

図1はAPSの構成を示したもので、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7種がある。

- (1) ボイラ自動制御装置および自動バーナ制御装置 (ACC)
- (2) 自動タービン速度制御装置 (ASR)
- (3) 自動励磁制御装置 (AER)
- (4) 自動電圧調整装置 (AVR)
- (5) 自動同期装置 (ASS)
- (6) 自動電力調整装置 (APR)
- (7) 自動弁切換装置 (AVTS)

これらの装置の内容については後述するが、各装置は中央盤上の選択スイッチによって、(a) 計算機制御、(b) 単独使用、(c) 除外のいずれかの状態が選択できる。単独使用の位置を設けたのは監視制御方式の特徴である計算機ダウン時のバックアップを考慮したのであるが、実際にはサブグループ試運転時の調整用としてはなはだ有用であった。

計算機制御運転中にいずれかのサブグループ制御装置を除外または単独使用とすれば、計算機プログラムは自動的にその装置をバイパスしてそれに対する制御指令を出さなくなるが、残りの制御装置はそのまま制御を受け、進行表示ランプもプラント状態に応じて点灯する。

この場合、APSはモニタモードにあると呼ぶが、計算機プログラムのこの機能は試運転段階において二、三の未調整のサブグループ制御装置があっても全体をAPS運転に入れることができ、限られた機会を有効に利用する点で大きな効果を示した。

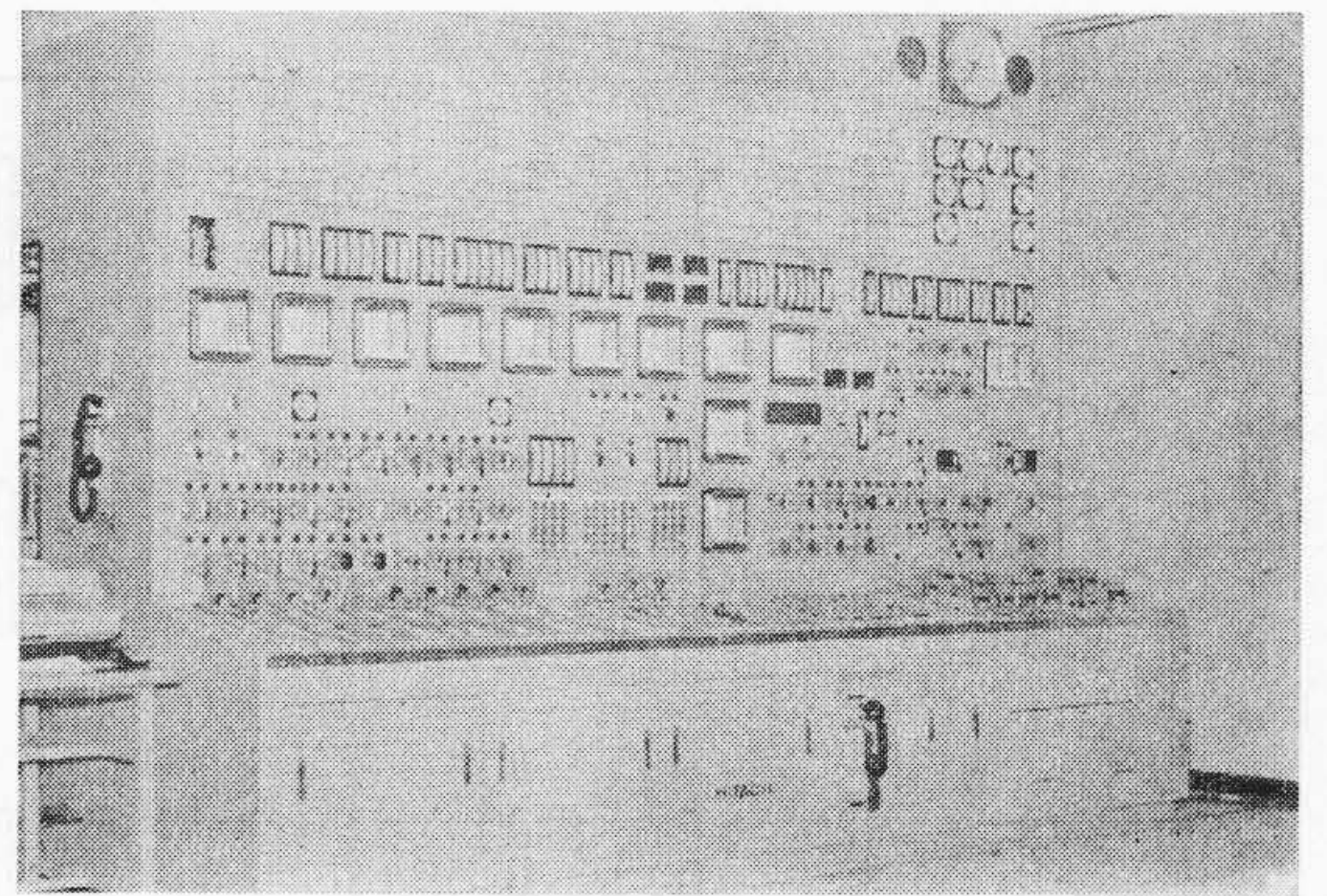


図2 BTG 盤 全 景

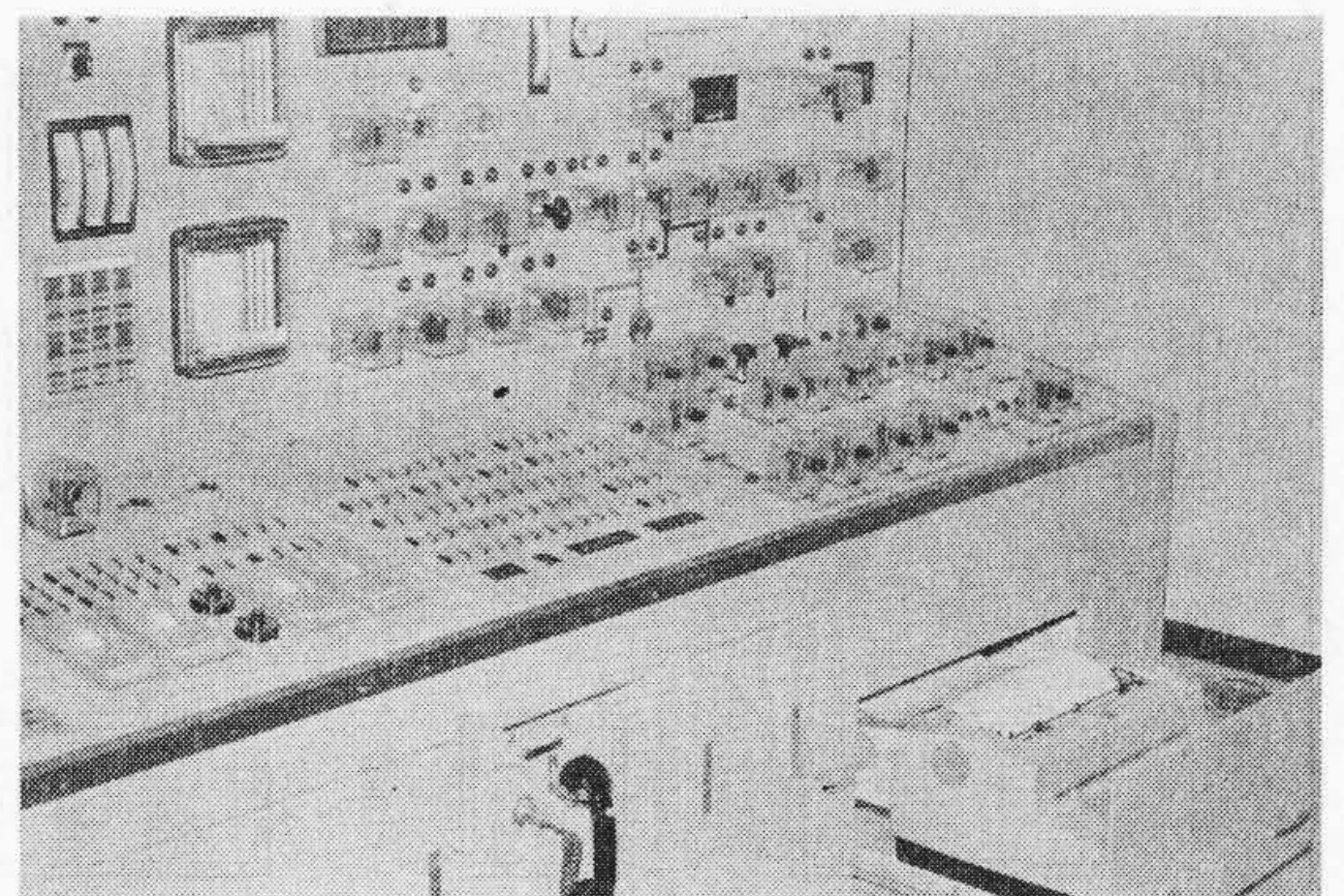


図3 APS オペレータコンソール部拡大

APSに関するマン・マシンコミュニケーションとしては、オペレータコンソール、タイプライタ、トレンドレコーダ、デジタル表示器がある。表2は計算機および付属装置の概略仕様を示したものである。

2.3 APSオペレータコンソール

オペレータコンソールはAPS装置と運転員とのコミュニケーションにとって最も重要な部分である。オペレータコンソールとしては計算機用とサブグループ制御装置用の2台があるが、ともにBTG盤の中央部に設置して運転上扱いやすい配置とした。図2はBTG盤の全景、図3はオペレータコンソール部の拡大写真である。図3の右下部は警報およびAPS用のタイプライタで、盤内部に収納できる構造となっている。

2.3.1 計算機用オペレータコンソール

APSの計算機用オペレータコンソールは図4に示すものである。本コンソールはAPS関係の操作ボタンおよび表示灯とデータ処理関係の操作ボタンおよびデータ設定器より成っており、各ボタンの機能は表3に示すとおりである。

APSを用いてプラントを起動する場合「APS使用」の押しボタンを押すと制御用のプログラムが起動して、現在のプラント状態をチェックして条件がすべてOKならば、これから行なう操作の操作進行ボタンがフリッカする。このフリッカするボタンを押して進行許可を与えることにより、本コンソールでボイラ点火から目標負荷に至る起動操作が行なえる。また表示灯によりプラントの起動モードや各サブグループの運転状態を知ることができる。

データ処理の要求を行なう場合は、機能選択ボタンにより機能を選択し、要求する入力点番号などの入力データを設定器に設定したのち、要求受付ボタンを押すとそれが計算機に受け入れられる。計算機の出力はタイプライタ、トレンドレコーダまたはデジタル表示器に表示することができるが、その選択は本コンソールによる。

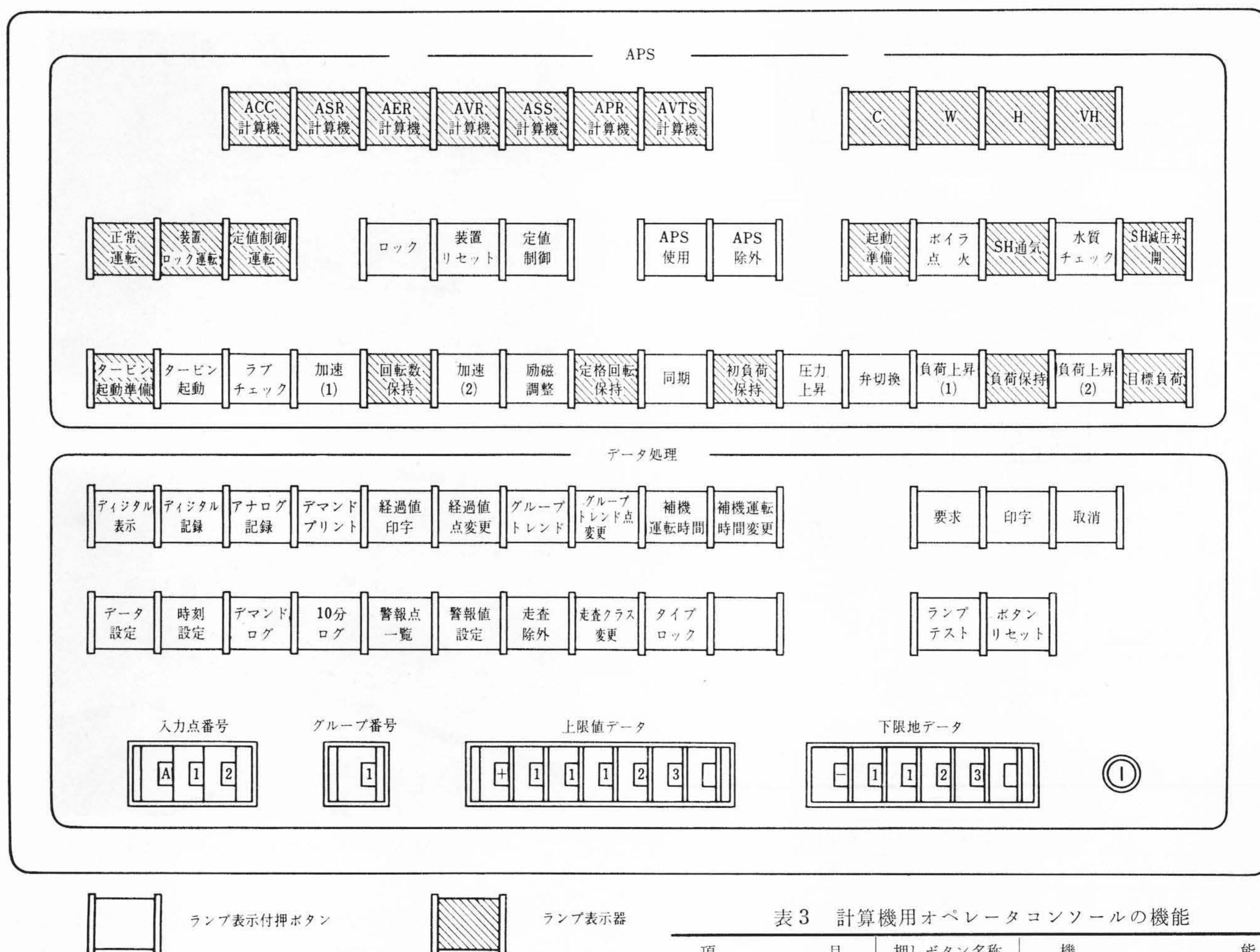


図4 計算機用オペレータコンソール

2.3.2 サブルーブ制御装置用オペレータコンソール

本コンソールには図5に示すように、計算機とサブグループ制御装置を接続するためのランプ表示付押しボタン、APRおよびASRの目標設定器および変化率設定器、APR上下限負荷設定器などが取り付けられている。サブグループ制御装置を計算機制御する場合には各選択ボタンを計算機側としておけば、起動操作中に本コンソールを操作する必要はない。APRおよびASRの目標値および変化率は連続的に設定され、計算機制御時には計算機により、単独使用時には手動で設定される。なおACC、AVR、AERの計算機制御選択スイッチについては盤面との関連上、直接BTG盤に設置された。

2.4 APSによる運転手順

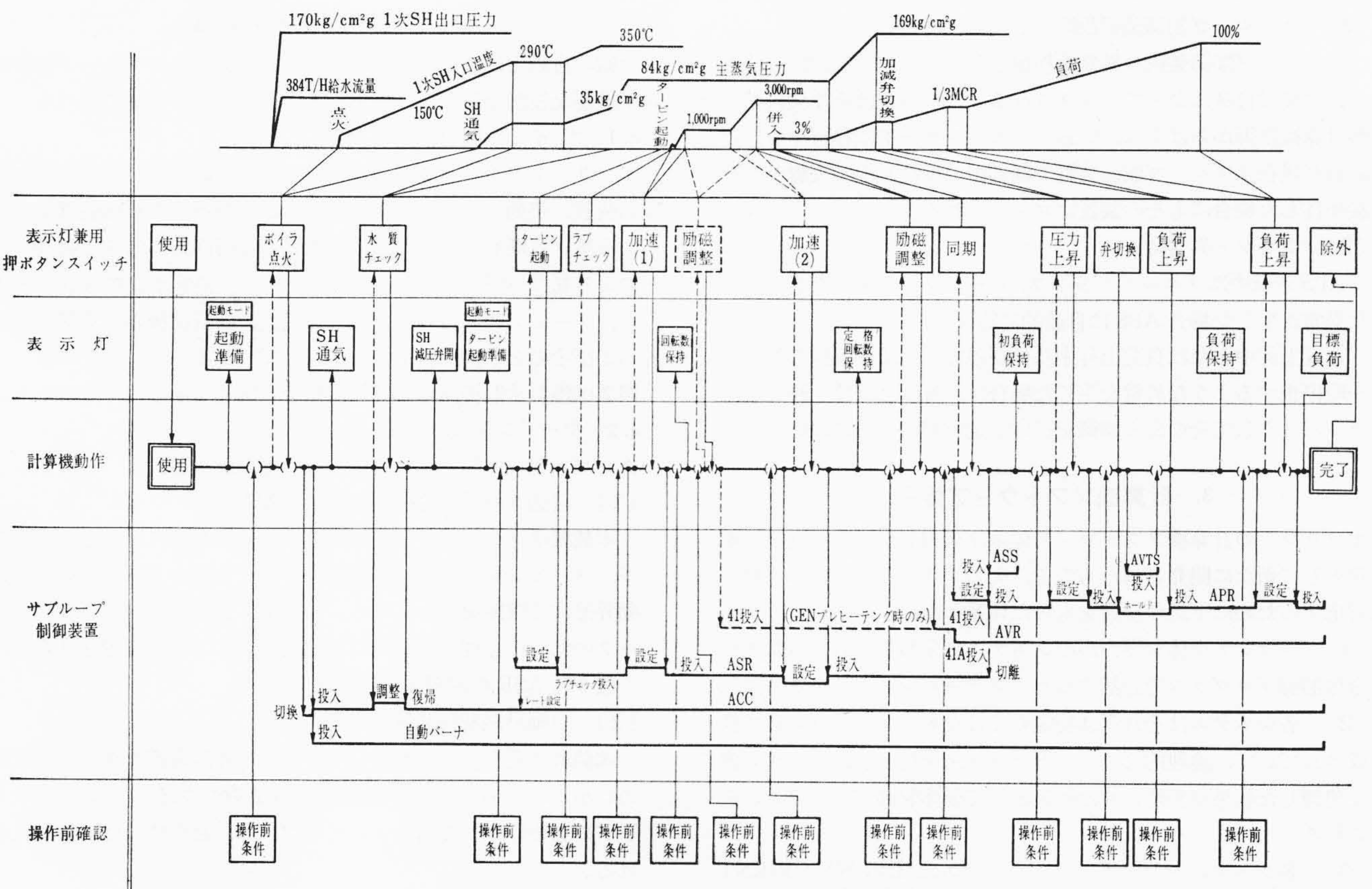
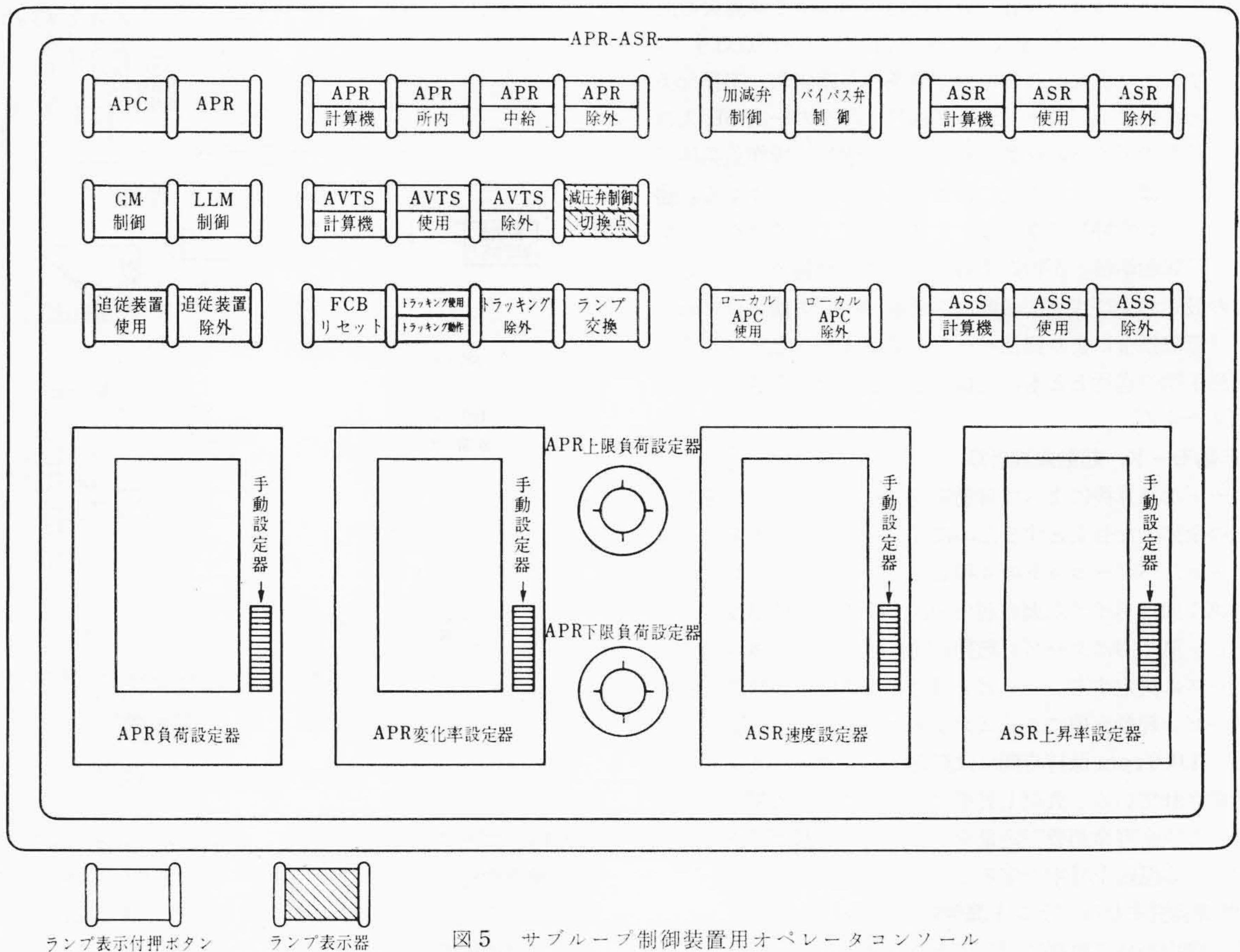
2.4.1 ブレークポイント

図6はAPSによるユニット起動手順の概要を示したものである。起動過程は22個のブレークポイント（「起動準備」～「目標負荷」）に分けられており、このうち13個がランプ表示付押しボタン、9個が表示ランプのみのものとなっている。前者はそのブレークポイントの開始にあたって運転員が進行許可を与えるもので、後者は自動進行するものである。「水質チェック」および「ラブチェック」ボタンについてはボタンを押すことがそのブレークポイントの完了を意味する。

APS使用ボタンを押すことによりAPSは使用状態にはいる。この場合、現在のプラント状態と、APSプログラムは自動的に同期して、常に現在状態にマッチしたブレークポイントから途中起動することが可能である。この機能は試運転段階でのAPS使用に

表3 計算機用オペレータコンソールの機能

項	目	押しボタン名称	機 能
APS 関 係	操作進行ボタン および表示灯	起 動 準 備～ 目 標 負 荷	各ブレイクポイントの操作開始が可能な条件が成立すると表示灯がフリッカする。 このフリッカ中のボタンを押すと制御プログラムが動作し、関連する機器の投入、切離し、セットポイント設定などの制御を実行する。 表示灯は操作実行中点灯し、次のブレイクポイントへ入るとき消灯。 操作が自動的に進行し、押しボタン操作を要しないブレイクポイントに対しては状態表示のみを行なう。
	APS プログラム 起動停止ボタン	APS 使 用 APS 除 外	割込入力に接続されており制御用のプログラムの起動または停止を行なう。表示灯はプログラム実行中点灯。
	異常時操作ボタン	ロ ッ ク 定 値 制 御 装 置 リ セ ッ ト	制御状態に異常がある場合、運転員の判断によりサブグループ制御装置の制御をロックし、操作端を切離したり(ロック)、その状態で一定値に保持する(定値制御)ために使用する。元に復帰するときは装置リセットボタンを使用する。
	状 態 表 示 灯	C, W, H, VH	プラントの起動モードを表示する。
		ACC-計算機～ AVTS-計算機	各サブグループ装置の使用および異常状態の表示を行なう。使用中は点灯し、異常時フリッカする。
データ 処 理 関 係	機 能 選 択 ボ タ ン	正 常 運 転 装 置 ロ ッ ク 運 転 定 値 制 御 運 転	APS装置の運転状態を表示する。プログラムにより自動的にロックまたは定値制御になった場合はフリッカする。
		デ ィ ジ タ ル 表 示 ～ タ イ プ ロ ッ ク	データ処理のリクエスト機能選択のため使用。 押しボタンを押すと表示灯点灯し、機能の選択を行なう。
	要 求 受 付 ボ タ ン	要 印 取 求 字 消	データ処理機能の要求の割込をかけるため使用。表示灯は受付処理中点灯する。



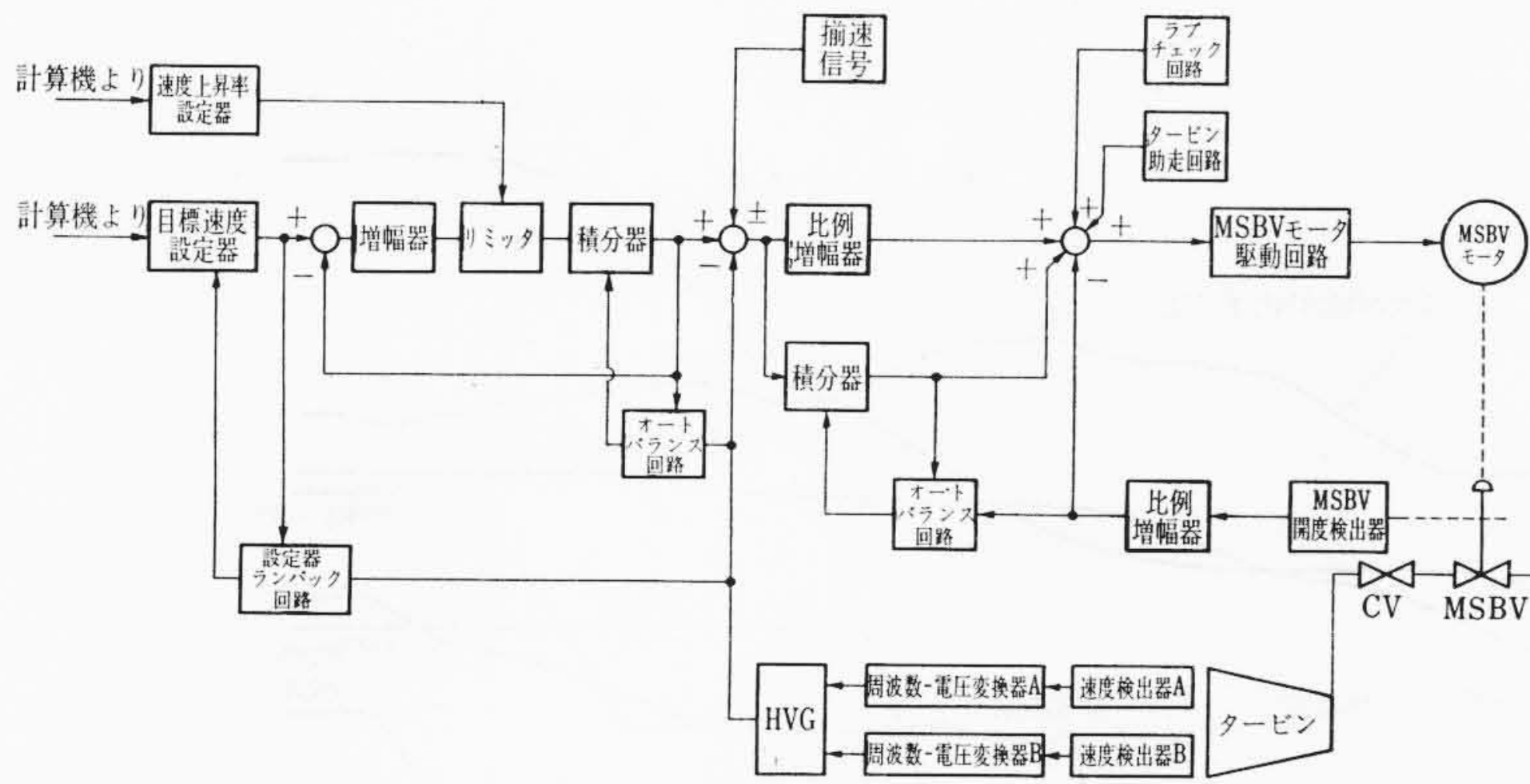


図8 ASR制御系統図

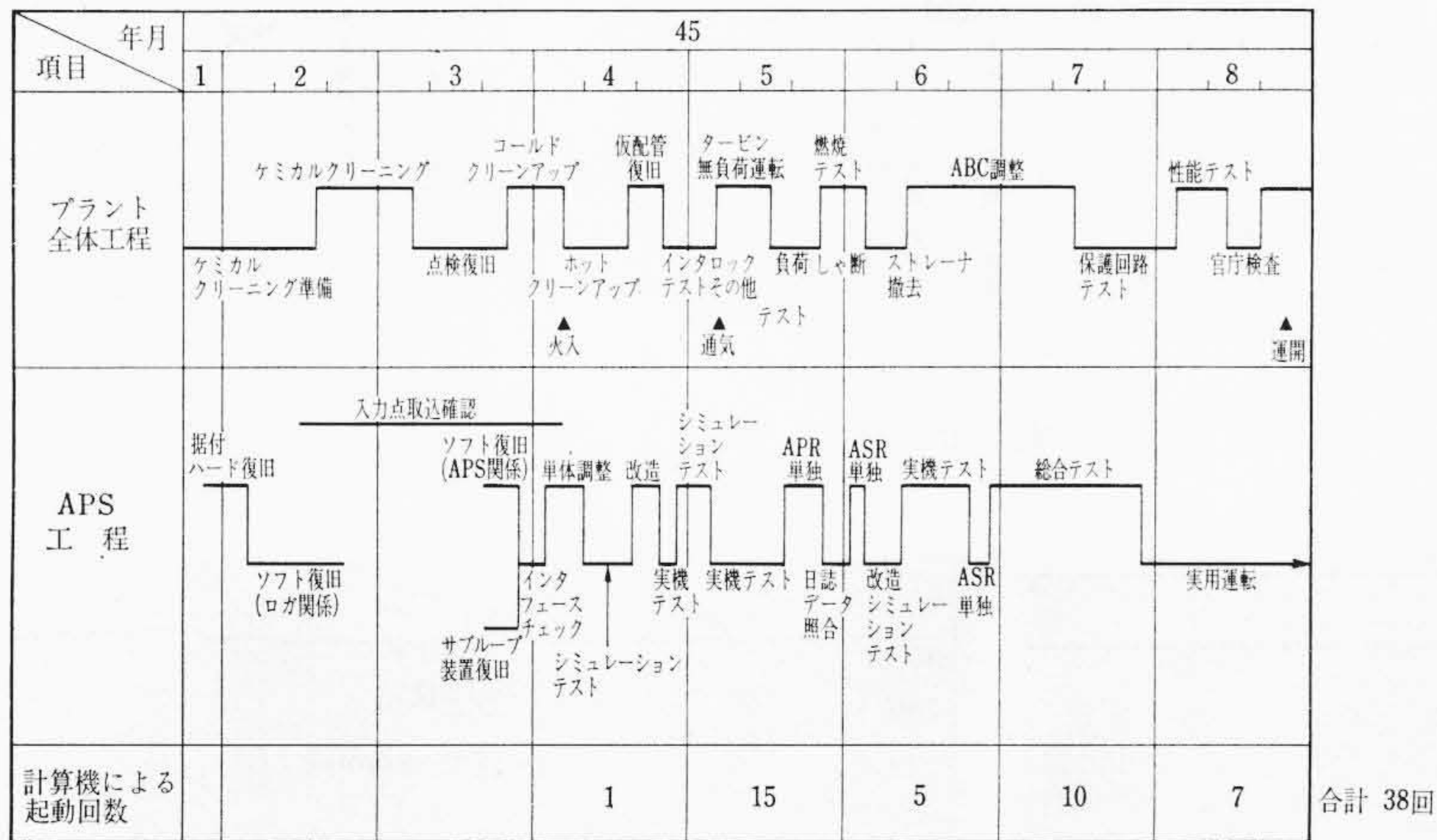


図9 秋田火力1号機APS調整工程

リスタを使用している。AVRは計算機によって自動投入され、下記のASSによって設定値調整が行なわれる。

(4) 自動同期装置 (ASS)

本装置はASRの一部を介して系統との揃速(せんそく)、AVRを介しての揃圧を行ない、位相チェックを行なって主しゅ断器を投入する。

(5) 自動電力調整装置 (APR)

本装置は負荷を所定の変化率で目標負荷に到達させるもので、操作端としては加減弁または主塞止(しゅさいし)弁バイパス弁を切り換えることができる。ASRと同様に負荷上昇率、目標負荷および初負荷保持時間は計算機によって自動決定される。

(6) 自動弁切換装置 (AVTS)

本装置は圧力上昇完了後主塞止弁バイパス弁を加減弁に切り換える装置で切換中の負荷降下を最小にするため、加減弁絞り込み中もバイパス弁による負荷制御を継続するよう考慮されている。

5. 現地試運転結果

従来、火力の計算機制御で最も困難とされているのは、その試運転期間中に調整を完了し、営業運転にはいれれば直ちに実用化できることである。事実、アメリカにおける計算機制御の先行プラントの例をみても、調整が完了せぬまま営業運転にはいり、完全に調整する機会を失って結果的には失敗に至った例が多い。今回の計画で最も力を注いだのは、この調整過程であり、限られた機会を最大限に利用するようあらゆる努力が払われた。その結果、タービン昇速はストレッチアウトの時点から計算機制御で行なわれ、タービン通気式の時点では、タービン起動から負荷110 MWに至る一連の起動過

程全部を計算機で制御することに成功した。営業運転開始の時点では、ボイラ・タービン本体関係の試運転後の設定値の見直しを含めてすべての調整が完了した。これは、ユーザーとメーカー、機械側と電気側の緊密な協力のたまものである。

図9は本プラント試運転時の概略APS調整工程を示したもので、5月5日のタービン通気から本格的なAPS実機テストが開始され、8月19日の営業運転開始までに合計38回の起動が計算機制御によって行なわれた。その内訳は、ボイラ点火から所定負荷に至るユニット全体起動が9回、タービン起動から所定負荷に至るタービン側起動が10回、解列直後の再併入以降の急速再起動が4回であり、残りの15回がタービン昇速のみの部分的な計算機制御であった。このほかにサブグループ制御装置の単独使用は、7種の装置に対して合計15回あり、完全な手動操作は併列1回、弁切換1回のわずか2回であった。

このように試運転段階の非常に早い時点から計算機制御ができ、試運転期間中にその全体調整を完了できた理由としては、

- (1) 計算機データ処理機能の調整が、ボイラ火入れ時点で完了しており、その後稼働率99.98%の安定した運転を示したことで、したがって起動時のプラントデータが容易に蓄積できたこと。
- (2) 実機テストの前にシミュレーションを工場(計算機単体)および現地(計算機+サブグループ制御装置)で行ない、大略の調整はすでに完成していたこと。
- (3) 計算機のソフトウェア体系が非常にフレキシビリティに富んだものとなっていて、起動過程

のどのフェイズからの途中使用にもプログラムが同期することおよび任意のサブグループ装置を計算機制御から除外しても、全体としてのAPS運転はでき、その時点で調整を完了したサブグループのみをテストできることなど、試運転工程に合わせて調整の機会を最大限に利用できたこと。また、体系的にプログラムの補修が比較的容易であったこと。

(4) ボイラ・タービン主機の運転が非常に安定し、それによる工程の変更や、運転手順の変更がほとんどなかったこと、また、機械側と電気側の関係者が一体感を持って調整に協力したこと。などがあげられる。

図10はAPSによる起動の一例を示したものである。

現地調整において、APSプログラム関係で変更を要した点は、

- (1) 解列後の急速再起動時、プログラムの動作時間を短縮し、できるだけ短時間で立ち上げられるようにするため、不必要な操作前チェックをバイパスする回路を設けた。
 - (2) プラント起動の途中から使用した場合、不必要なブレイクポイントにはいらないようにする条件を幾つか追加した。
 - (3) 負荷などのパラメータによる可変警報設定値になっているもので、計画と実際の運転状態の違いにより警報を発するものがあり、設定値の再検討を行なった。
- などである。

次にサブグループ関係の運転実績は以下に示すとおりである。

まずボイラ関係についていえば、前述のように初期点火操作の自動化を行なっている。本回路による一連の動作で最も重要なことは、軽油流量調整弁開度の設定と、バーナ投入時の油圧変動であるが、いずれも良好な結果を得た。バーナ点火前におけるバーナ入口

