

カナダ，コルソン コーブ火力発電所納め

大容量火力発電用タービン全自動起動・停止装置

Turbine Full Automatic Start up System for Large Thermal Power Station (Coleson Cove Thermal Generating Plant in Canada)

タービン発電機プラントの全自動起動・停止制御装置として“HITASS-300”を開発したので，その機能の概要について紹介する。

本装置は，従来開発してきた“HITASS”シリーズの中では最大規模のもので，機能的には従来のタービン速度制御，同期併入，負荷制御などのほかに，タービンプラント補機の起動・停止の自動化及びプラント異常時のプラント自動ランバック処置といった，これまでにない機能をもっている。また，ハードウェアの面では，ICプラグインを採用し装置の小形化を図るとともに，徹底したノイズ防止対策を行なうなど，信頼性の向上には万全を期している。この“HITASS-300”は，かねてカナダ，ニューブランズウィック電力局コルソン コーブ火力発電所用に受注し，工場で製作完了，現地据付も終わり現在試運転中である。

福島弘一郎* Kôichirô Fukushima

花岡 浩* Hiroshi Hanaoka

河合 巧** Takumi Kawai

1 緒 言

最近の火力発電所の自動化・省力化の要求は，国内はもとより国外においても非常に強く，特に輸出プラントにおいては，優秀な運転員の不足から，タービン自動起動装置を本体の制御装置の一部として要求される場合が多い。タービンの自動速度制御や負荷制御などのサブグループ制御装置は従来より多数採用されてきたが，今回は制御範囲と内容を大幅に拡張したタービン全自動起動・停止装置，Hitachi Turbine Automatic Start up System-300(以下，“HITASS-300”と略す)を開発し，カナダ，ニューブランズウィック電力局(NBEP C)コルソン コーブ火力発電所1，2，3号機に適用した。

本装置は，アナログ及びワイヤード ロジックによるタービン自動化装置としては制御範囲，制御内容ともに最大規模のもので，タービン補機制御やプラント異常時に機器を安全なプラント状態まで引き戻す自動ランバック制御という，これまでにない機能を持っている。以下，この“HITASS-300”システムの機能と特長について述べる。

2 自動化システムの内容

表1にこの火力発電所の設備概要を示す。

2.1 自動化システムの制御範囲

本プラントのタービン発電機に関する自動化は，その補機も含めタービンの完全停止から目標負荷まで，また負荷降下開始からタービン停止までを自動化の対象としている。更に，自動運転中にプラントに異常を来した場合は，その程度に応じて自動操作進行の中止，定値制御を，更にまた重大な異常の生じた場合にはその異常状態が解消するまでのランバック制御を行ない，異常状態拡大の防止と機器の安全性向上とを期している。特に自動化装置によるタービン トリップをも含めたランバック操作は，これまでの計算機制御でも行なっていないユニークなものである。

一方，自動化の対象外としたものは，定期検査時以外はほ

表1 カナダNBEP C社コルソン コーブ火力発電所1，2，3号機設備概略仕様 発電所発電設備の概要を示す。

項 目	仕 様
定 格 出 力	315MW
蒸 気 条 件	2,350PSI 1,000°F/1,000°F
タービン	衝動再熱復水式くし形3車室4流排気式 定格回転数 3,600rpm
発電機	固定子直接水冷却 回転子直接水素冷却 円筒回転界磁形
ボ イ ラ	自然循環ボイラ(他社納入)
制 御 装 置	タービン制御装置(“HITASS-300”) BTG盤及びボイラ制御装置(他社納入)

とんど停止しない軸冷水系などの機器の起動・停止操作，主弁テストなどの保守点検操作，更に性能改善のメンテナンス操作などである。

2.2 自動化システムの構成

本自動化システムの機器構成は図1に示すとおりであり，演算を受け持つHITASSキュービクルと運転員とのコミュニケーションを受け持つオペレーターズ コンソール，更に，保護インターロック操作や連動操作を行なうインターロック キュービクルから構成される。自動化装置を使用しない場合でも，中央制御パネルから遠隔手動操作によるバックアップが可能となっている。

このHITASSキュービクルの外観を図2に，ハードウェア仕様を表2に示す。また，“HITASS”システムの機能構成は図3に示すようになっており，以下に各制御機能について述べる。

* 日立製作所電力事業本部 ** 日立製作所大みか工場

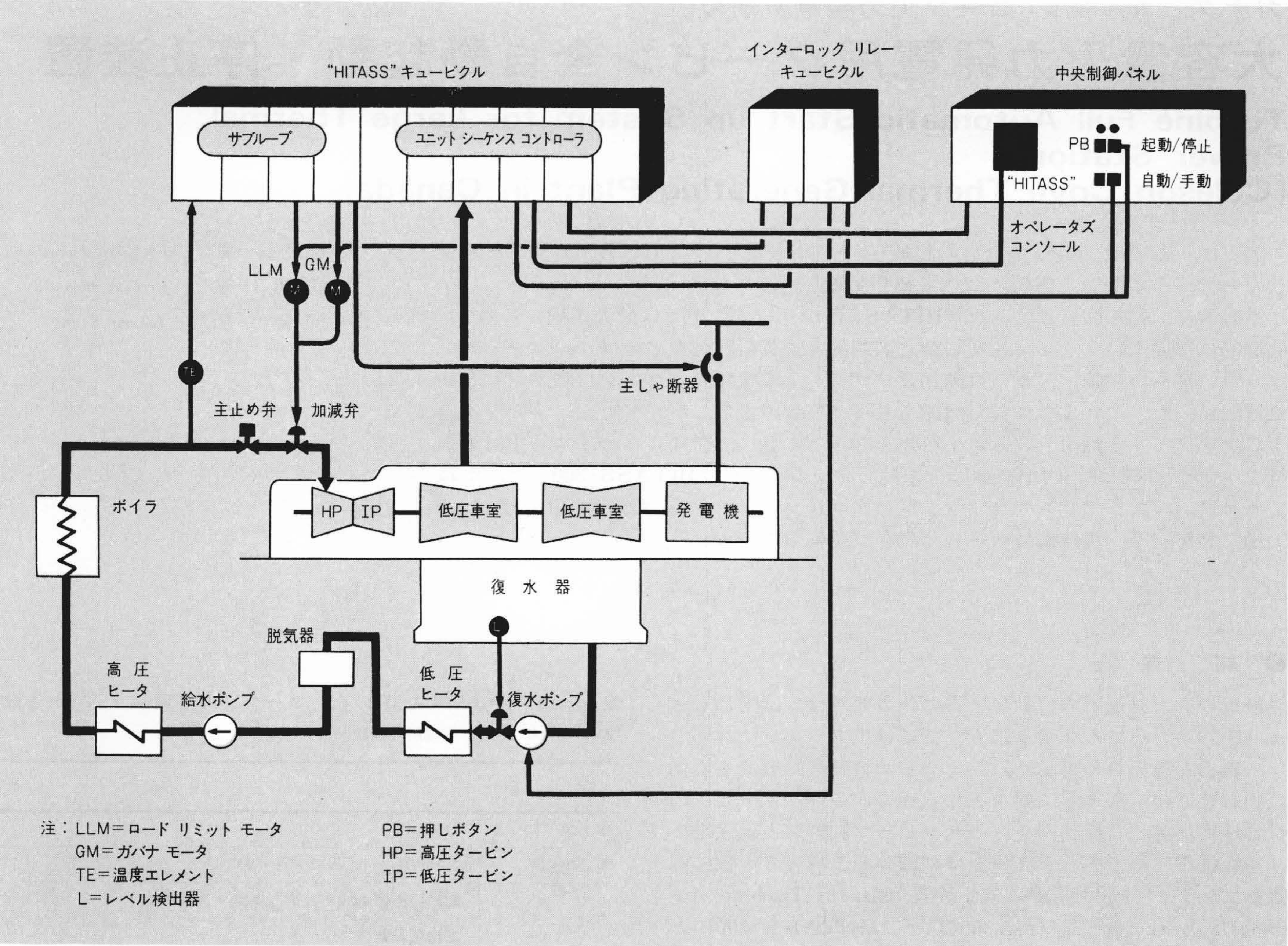


図1 自動化システム機器構成図 タービンプラントと制御装置、制御パネルとの関係を示す。

表2 “HITASS-300”ハードウェア仕様 この表で、“HITASS-300”の仕様の概要が分かる。

No.	項 目		サブグループ	ユニット シーケンス コントローラ
1	キュービク ル面数	幅600	2面	1面
		幅800	2面	5面
2	UNIT数		31個	36個
3	デジタル 入力	コンソール 入力	—	38点
		外部入力	—	133点
4	アナログ入力		19点	—
5	デジタル 出力	コンソール ランプ	—	387点
		外部出力	2点	52点
6	プラグイン板枚数		341枚	747枚
7	リレー個数		81個	363個
8	信号レベル		−10〜0〜+10V	0〜5V
9	プラグイン	素子	リニアIC	デジタルIC
		精度	±0.1%FS (一部±0.25%FS)	—
		構造	モジュールタイプ、プラグイン式	
10	電 源		—	バッテリー付電源
11	環境条件	周囲温度	40℃max	
		周囲湿度	85%max	

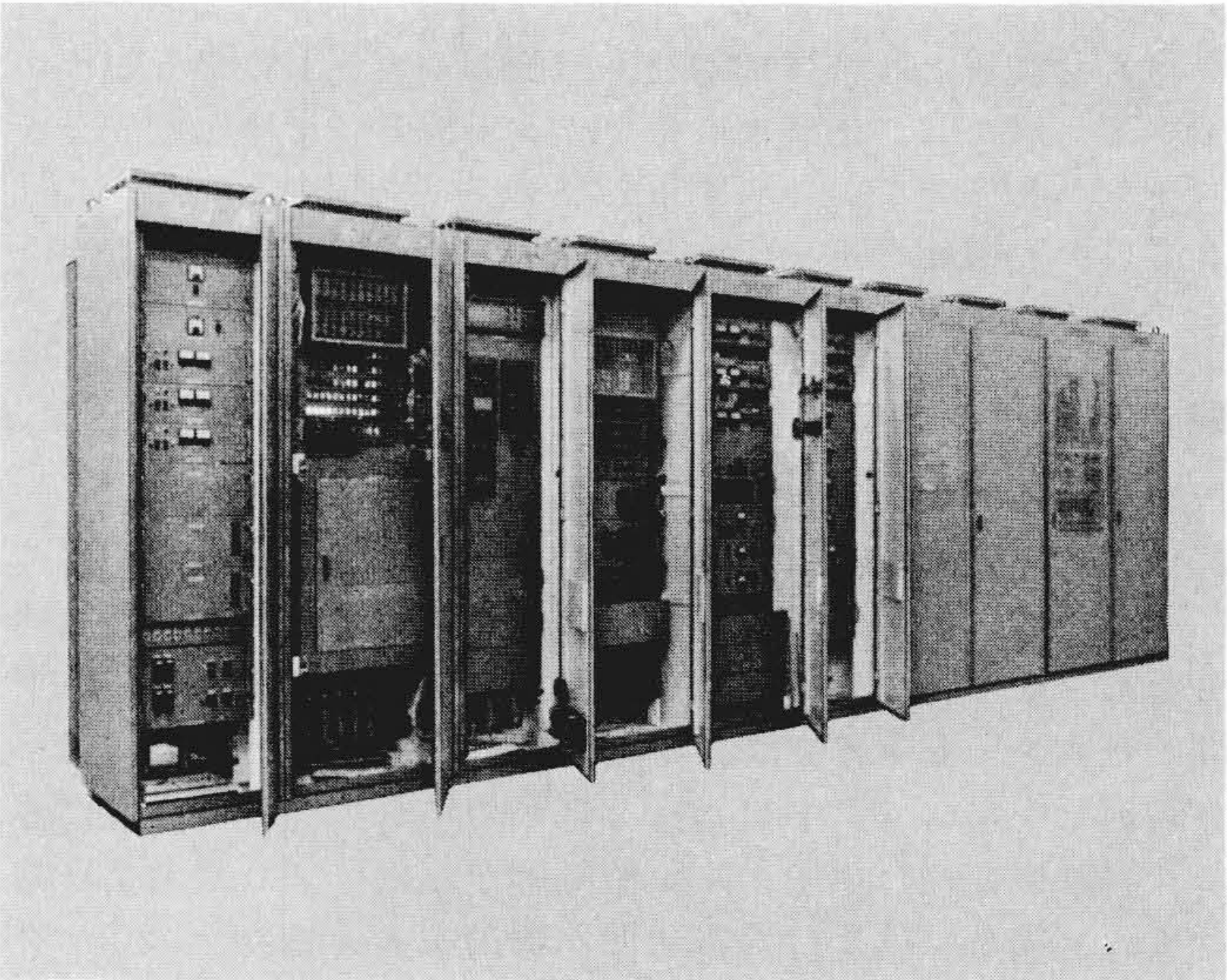


図2 “HITASS-300”キュービクル 盤面に操作パネル及び入力バイパススイッチパネルがあることが分かる。

2.2.1 ユニットシーケンスコントローラ
ユニットシーケンスコントローラ(以下、USCと略す)は、プラント状態に応じて制御を逐次進行させる機能で、起動・停止操作とも幾つかのステップに分割し、逐次ステップ

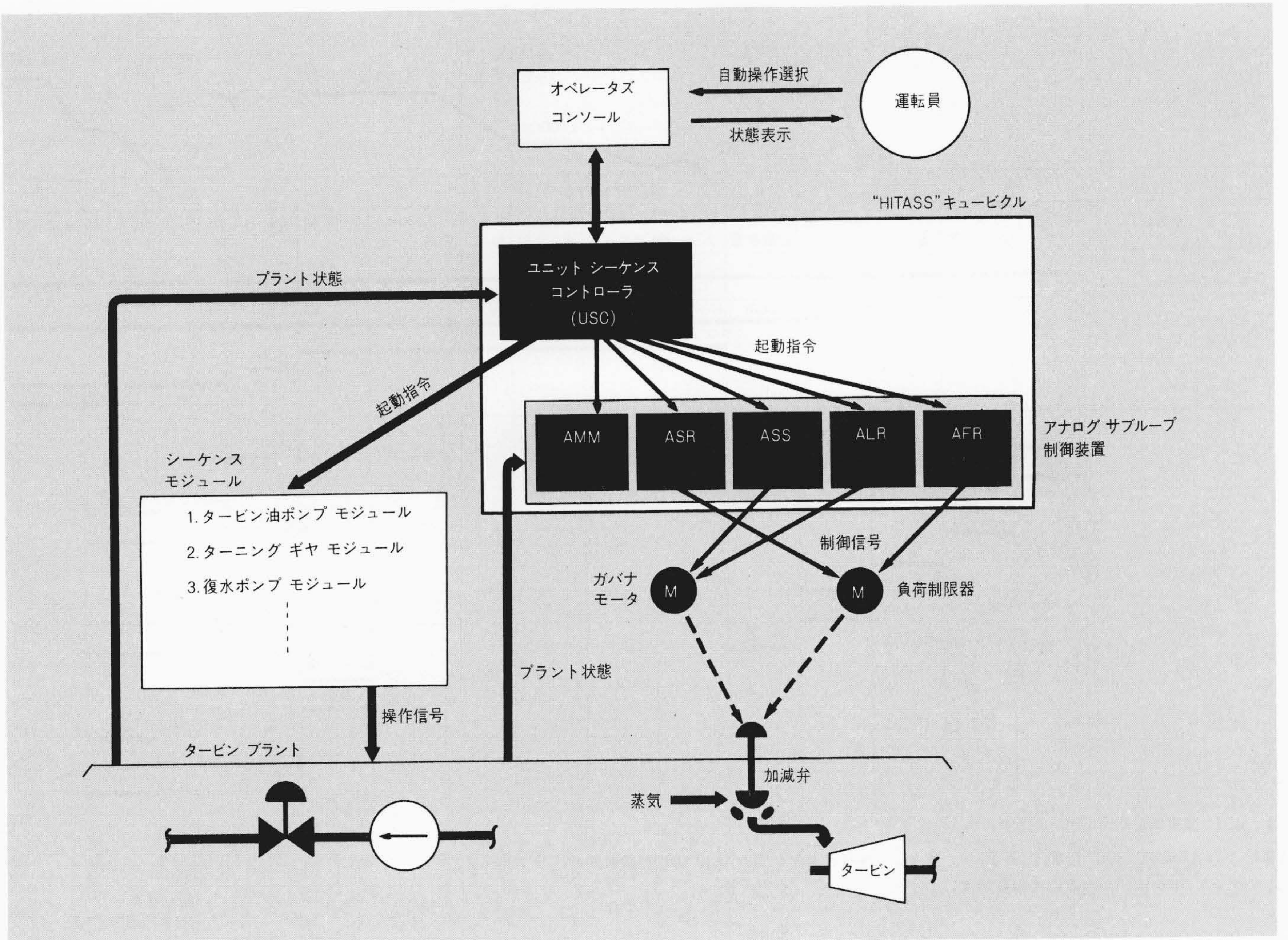


図3 「HITASS-300」システム機能構成図 「HITASS」制御装置の内部機能構成を示す。

操作を進めてゆく。「HITASS」は、制御モードとしてオートモードとモニタモードとがあり、オペレータズコンソール上の選択ボタンによりいずれかが選択される。オートモードが選択されると、USCは、プラント状態の連続監視を行ないながら、プラント操作のタイミングを判断し、アナログサブグループ、あるいはシーケンスモジュールに動作開始指令、又は定値制御などの指令を与え、最終的に運転員が設定した目標状態まで制御を進める。一方、モニタモードが選択された場合は、状態監視を行なうが動作開始指令は与えず、運転員の操作のガイドだけを行なう。また、本システムをプラントの起動途中から使用する場合にも、そのときのプラント状態に適応した制御ができるように監視項目や操作指令の自動バイパスなどが考慮されている。図4に、プラントの起動過程における具体的な制御内容を示す。

2.2.2 アナログサブグループ制御装置

閉ループ制御を行なうサブグループ制御機能としては次に述べる5機能がある。

(1) 自動起動スケジュール決定装置

本装置は、タービン起動時に、タービンメタルに加わる熱応力が許容範囲内であるようにするため、タービン通気時の第1段階後の内壁温度と蒸気温度とのミスマッチ量に対応して、昇速率、暖機時間、初負荷量などのタービン起動スケジュールを決定する装置である(Automatic Metal Matcherと称し、以下、AMMと略す)。

(2) 自動速度制御装置

本装置は、AMMが決定した起動スケジュールに従って、タービンの速度制御を行なう装置である(Automatic Speed Regulatorと称し、以下、ASRと略す)。

(3) 自動揃速同期装置

本装置は、タービンが定格回転に達したときに、系統側と発電機側の位相、周波数の同期及び電圧調整をし、併入指令を出す装置である(Automatic Synchronizing Systemと称し、以下、ASSと略す)。

(4) 自動負荷制御装置

本装置は、AMM又は運転員の設定した負荷変化率で、運転員の設定した目標負荷まで変化させ、その目標負荷に常時制御する装置である(Automatic Load Regulatorと称し、以下、ALRと略す)。

(5) 自動負荷制限器追従装置

電力系統の周波数が急変したときに、調定率に従ってタービン負荷が急変すると、ボイラ追従性の限界による圧力・温度の大幅変動や、熱応力によるタービン寿命消費などの問題が生ずる。特に負荷急上昇に対してはボイラ、タービンの危険が大きい。

そのため、負荷制限器を実際の負荷より若干上の負荷相当位置に追従させて負荷の瞬時上昇幅を制限するための装置である(Automatic Following Regulatorと称し、以下、AFRと略す)。

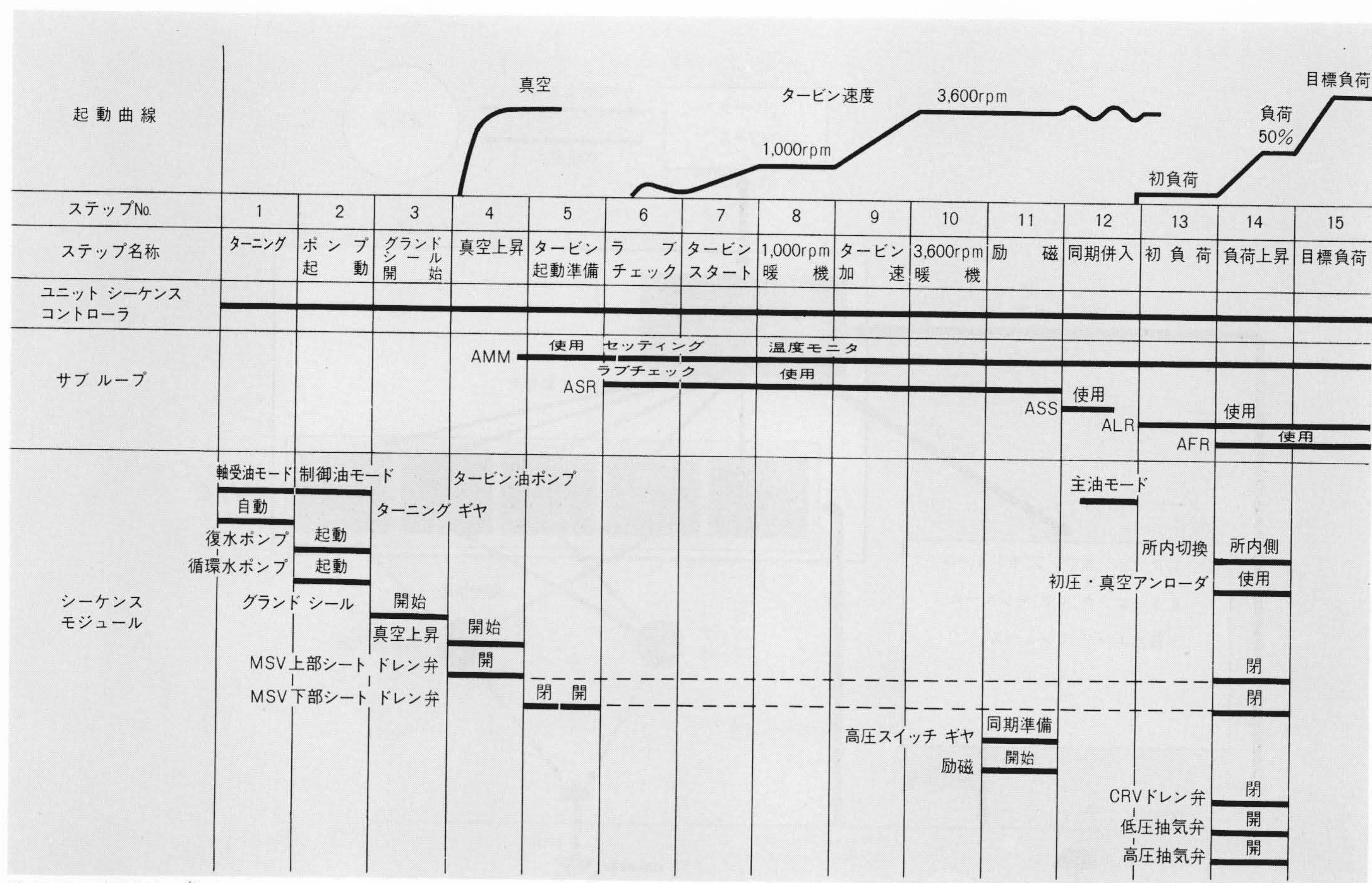


図4 “HITASS-300”自動化範囲 プラント操作における“HITASS-300”制御範囲と、サブグループ、シーケンス モジュールなどの内容を示す。

2.2.3 シーケンス モジュール

ポンプの起動と出口弁の開操作などのように、タービン補機操作を定型的にまとめて連動化したものをシーケンス モジュールと称し、本自動化システムでは図 4 にも示すように多数採用している。これらシーケンス モジュールのロジック部は、“HITASS” キュービクルの外のワイヤード ロジックで組み、“HITASS” からはそれらのモジュールの起動指令を与えるようにしてある。これは、“HITASS” 不使用の場合にも、中央盤からのワンタッチ操作により、シーケンス モジュールを活用できるようにしたためである。

2.2.4 オペレーターズ コンソール

オペレーターズ コンソールは、自動運転で運転員とプラントとのコミュニケーションを行なう重要な機能を持っている。**図5**に示すように、本システムのオペレーターズ コンソールは、プラント状態監視表示ランプ、起動・停止シーケンス表示ランプ、サブグループ選択ボタン、起動スケジュール表示ランプ及び“HITASS”運転モード選択ボタンの5グループにより構成され、それぞれ次のような機能を持っている。

(1) プラント状態監視表示ランプ

プラントの監視項目及び操作完了確認項目は、すべてランプで表示させ、異常項目、操作遅延項目が一目で分かるようにしてある。更に、異常項目と運転員によるそのバイパス操作、操作指令出力後の操作完了、未完の判別がつく点燈方式となっている。

(2) 起動・停止シーケンス表示ランプ

運転員が操作進行目標ボタンを押すと、それに対応したプラント状態までは自動的にプラント操作が進行し、自動操作

によるステップの進行状態はランプの点燈により識別される。

(3) サブループ^o選択ボタン

各サブグループごとの選択ボタンにより、一部のサブグループの使用、不使用の選択が可能であり、サブグループ装置全体としてのアベイラビリティの向上が図られている。

(4) 起動スケジュール表示ランプ

A MMの選択した昇速率、タービン規定回転数での暖機時間、初負荷量などに対応する起動スケジュール表示ランプが点燈する。負荷変化率はA MMあるいは運転員が、また目標負荷は運転員が設定し、対応したランプが点燈する。

(5) “HITASS” 運転モード選択ボタン

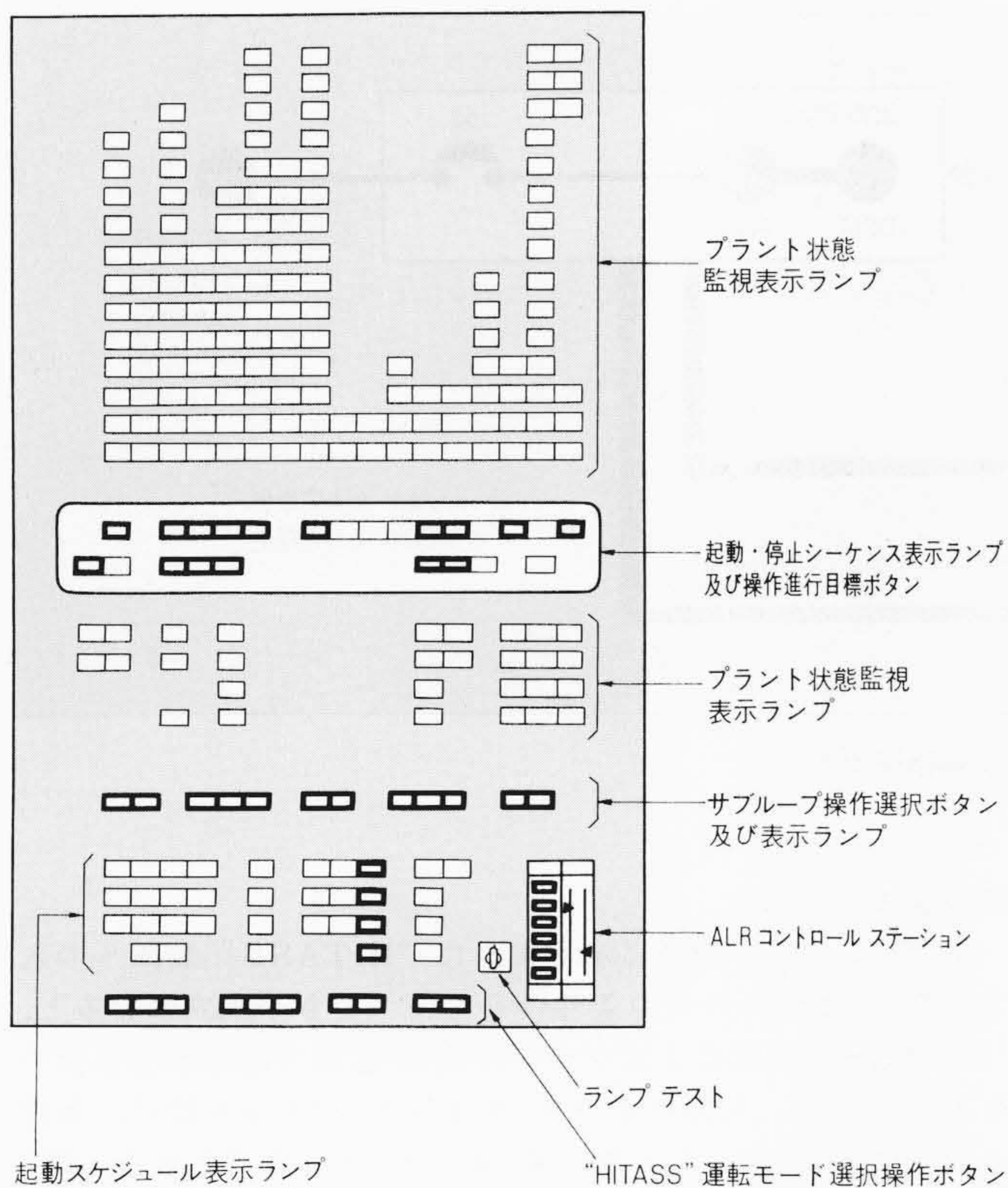
“HITASS” オート、モニタ モードの選択及びプラント起動・通常運転・停止操作の選択といった“HITASS”運転上のモード選択を行なう。

このオペレーターズ コンソールにより、運転員はサブグループを含む本装置の使用選択と進行目標ボタンを押す操作だけで自動操作が行なわれ、中央操作室においては実質上のワンマン コントロールが可能となった。

3 システム計画上で特に考慮した点

3.1 異常時の処置

プラント本体に対する異常時の処置は、従来、監視警報と軸振動などによるタービン速度定値制御までであったが、本プラントでは、従来のワイヤード ロジックによるプラントトリップ回路と並列に本装置により、重要項目の異常に対して、トリップ、又は安全なプラント状態までのランバック処置を実施する。**表3**に重要項目の異常内容とその処置を示す。



注：□ 表示ランプ
□ 表示ランプ付操作ボタン

図5 オペレータズ コンソール マンマシンコミュニケーションとしてのオペレータズ コンソールで、ここから制御装置“HITASS-300”に制御指令を与える。操作ボタン、表示ランプの配置が分かる。

ランバック処置は、“HITASS”オートモードにしておけば、プラント起動、負荷運転、停止のどのような状態からでも行なえるようになっている。また、ランバック後の再起動は、プラント起動時と同じ操作をすることにより可能である。この機能を備えたことにより、異常時における運転員の操作の簡素化が期待できる。

3.2 タービン起動スケジュールの最適化

タービン起動スケジュールは、通気前のタービン第1段後内壁温度と主蒸気条件から求まるタービン mismatch 温度に基づくマッチングチャート方式(AMMで計算される)で決められるが、本プラントでは、通気後もタービン第1段後内壁温度を常時監視し、その変化率が一定になるように起動スケジュールを変更する機能を追加し、タービンに過大な熱応力がかかったり、不必要に長い暖機保持を行ったりしないようにしている。図6にタービンの規定速度における暖機時間修正方式を示す。暖機時間修正方式は、タービン第1段後内壁温度の現在値を $\theta_1(t)$ 、タービン第1段後内壁目標温度を $\theta_2(t)$ とすると、暖機中において、 $\theta_1(t) - \theta_2(t) \leq 0$ になった時点、すなわち実際のタービン第1段後内壁温度が、目標温度より低くなった時点で暖機完了をさせる方式である。

3.3 ハードウェア構成

本装置は、2.2自動化システムの構成で述べたように、サブグループ制御部及びUSC制御部で構成されるが、これらをリレー回路で構成すると、キュービクル面数が膨大なものとなることが予想された。このため、回路が複雑で、且つその規模が膨大となるUSC制御部のIC(集積回路)化を実施し、

表3 タービン発電機異常時の処置 本プラントの重要項目の異常内容と、その処置を示す。

No.	項 目	処 置
1	発電機ロックアウト トリップ	タービン トリップ
2	軸 受 油 圧<10PSIG	タービン トリップ→真空破壊→プラント停止→完全停止
3	復水器真空>10in Hg abs	タービン トリップ
4	排気室温度>225°F	"
5	スラスト摩耗大トリップ レベル	"
6	主蒸気温度<720°F	"
7	軸 振 動 大>8.0 mil	タービン トリップ→真空破壊→プラント停止
8	高圧ヒータ レベル 異常高	ロード ランバック失敗→トリップ
9	低圧ヒータ レベル 異常高	ロード ランバック失敗→トリップ
10	固定子冷却水 異常	ロード ランバック→トリップ
11	伸び差大	速度ランバック、ホールド、あるいは負荷ホールド
12	軸 振 動 大>5.0 mil	"
13	排気室温度>175°F	"
14	軸受ドレン油温度>167°F	"
15	スラスト メタル温度>185°F	"

キュービクル面数の縮小化を図るとともに、次の(1)~(4)の項目を実施し所期の目的を満足した。

- (1) ノイズによるICの誤動作を防止するため、電圧レベルの違いによる信号線の徹底した配線ルートの分離
- (2) 防塵対策のため、プラグインを収納するIC-BOXの採用
- (3) 瞬時停電対策のため、バッテリー付5V電源装置の採用
- (4) 保守、点検を容易にするため、機能単位にまとめた装置のユニット化

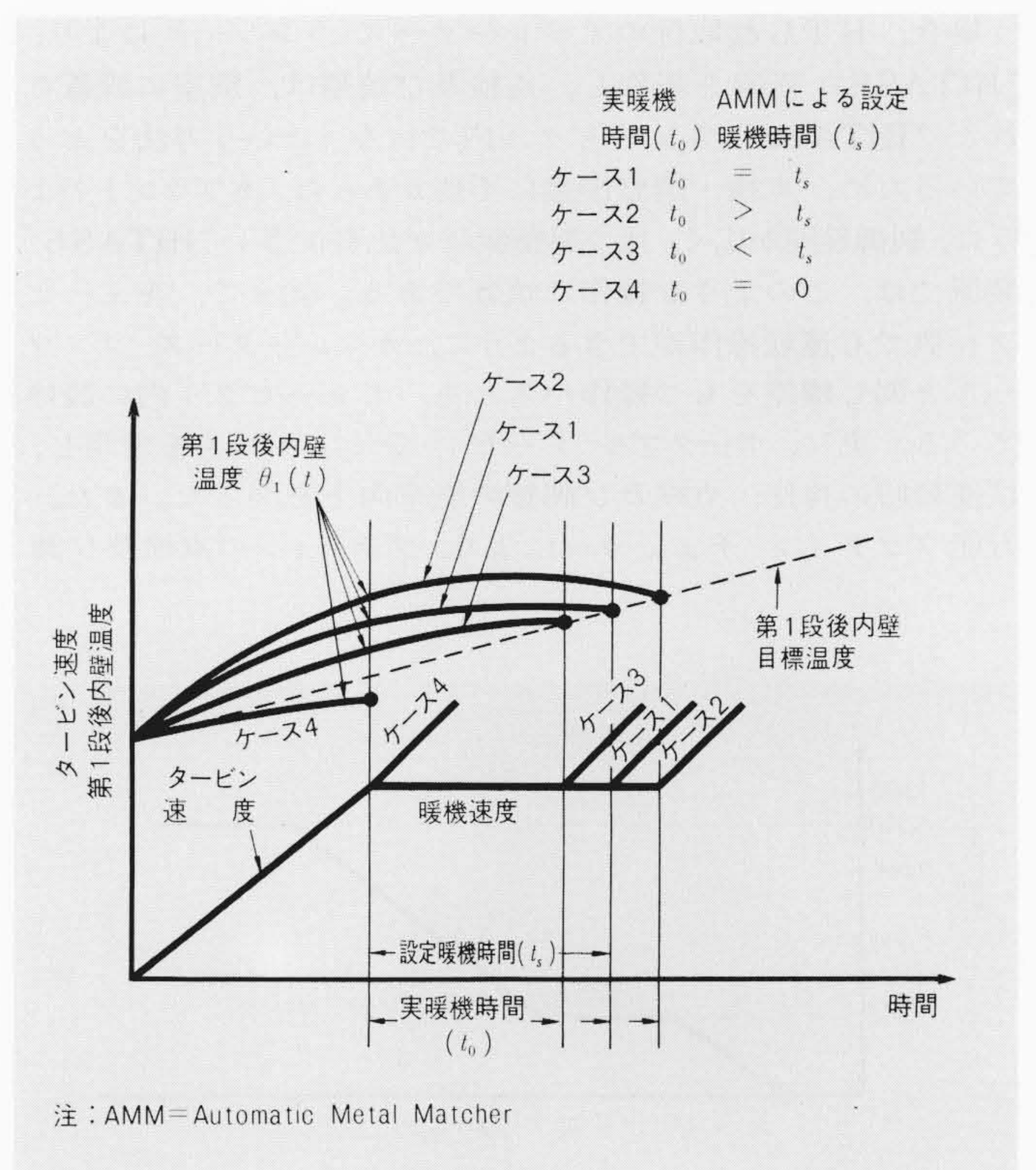


図6 暖機速度における暖機時間修正方式 第1段後内壁温度が目標温度より低くなった時点で、暖機完了することが分かる。

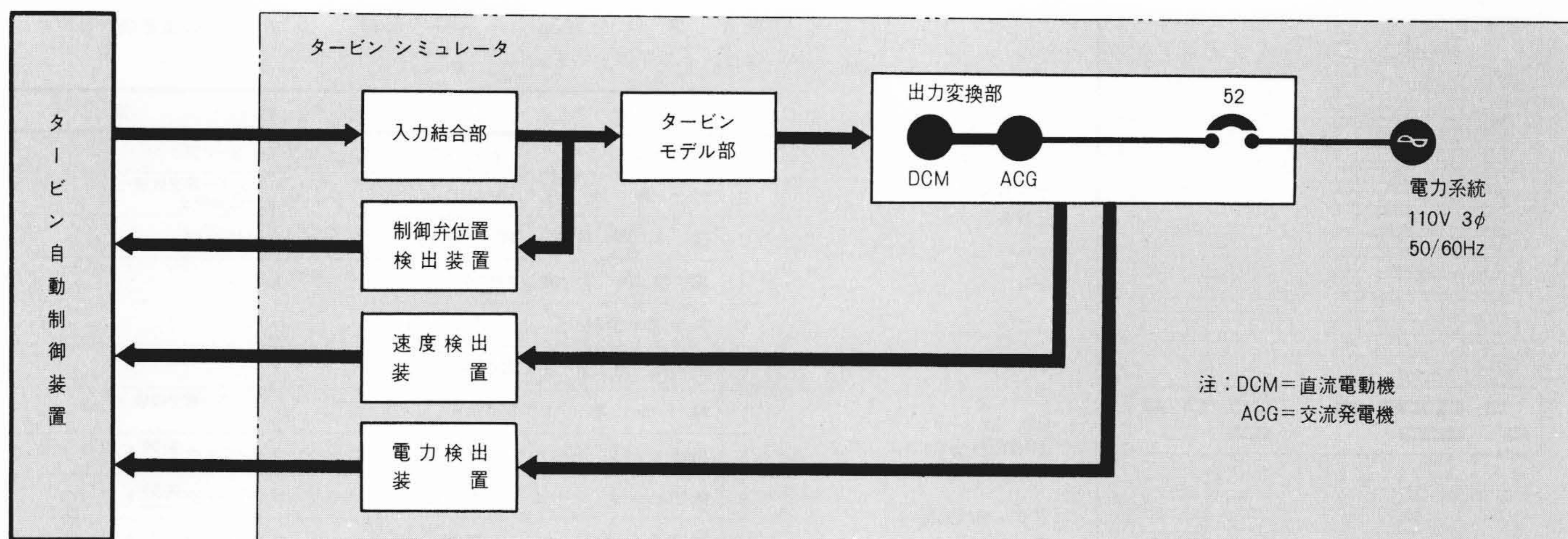


図7 タービン シミュレータ ブロック図 本図から、シミュレータの内部機能が分かる。

3.4 タービン シミュレータ

本プラントは、工場内試験で、タービン シミュレータとの組合せ試験を実施し、本制御装置の調整、点検の工数低減及び総合組合せ試験精度の向上を図った。

図7にタービン シミュレータ ブロック図を示す。

本装置は、タービン自動制御装置からの信号により、タービン制御弁と蒸気流量をシミュレートして、その出力により直流電動機の回転数制御と、それに接続された三相交流発電機の負荷制御を行ない、速度、制御弁開度、電力などを実機に使用する検出器で検出し、総合閉ループ試験が行なえる。従って、本シミュレータによりタービン速度制御、揃速同期制御、初負荷制御、負荷制御などの諸試験が実機と等価に実施できる。

3.5 試験操作性及び運転操作性の向上

従来、試運転時に“HITASS”装置の操作及び調整を行なう場合、BTG盤取付のオペレータズ コンソールにより、“HITASS”装置を操作し、点検及び調整は、別室に設置された“HITASS”キュービクル内で行なうという方法をとっているため、点検・調整作業に不便があった。本プラントのように、制御範囲が広く、且つ調整個所が比較的多い“HITASS”装置では、このような操作は煩雑である。従って、キュービクル側でも運転操作ができるように、オペレータズ コンソールと同じ機能をもつ操作パネルを、キュービクル内に設けている。更に、ポータブルタービンシミュレータを使用し、試運転時の操作、点検及び調整の能率向上を図った。また、万能プラグインチェッカーにより、プラグインの点検及び調

整の能率を図った。

本プラントは、表2に示すように“HITASS”装置への入力が多く、これらの入力条件のうち一つでも不成立になると、“HITASS”装置によるプラント自動運転の進行ができなくなる。そこで、入力バイパススイッチパネルを設け、条件不成立の項目（オペレータズ コンソールに表示される）で検出器が不良であると確認されたものは、このバイパススイッチで成立させることにより、プラント自動運転の進行を可能にした。しかし、トリップ要因に係わる重要な入力に関しては、このバイパス操作不可能とし、機器に損傷を与えることのないようにしている。

3.6 新速度制御方式の採用

従来のASRは、目標速度信号を設定し、プログラム信号発生回路でその目標速度信号をプログラム信号に変換し、タービン速度をそのプログラム信号に追従させる速度プログラム信号制御方式であった。本プラントでは、速度プログラム信号制御方式の欠点である起動時及び定値制御から昇速制御に切り換わる時の速度の立上りを改善するため、目標加速率を設定し、タービン加速率をその目標加速率に追従させる加速度制御方式を開発し、採用した。この制御方式の性能を次の(1)～(3)のステップで確認した。

- (1) デジタルダイレクトシミュレータ(DDS)による動特性解析
- (2) タービンシミュレータとの組合せ試験
- (3) タービン本体との組合せ試験

図8は、タービン本体との組合せ試験結果を示す。

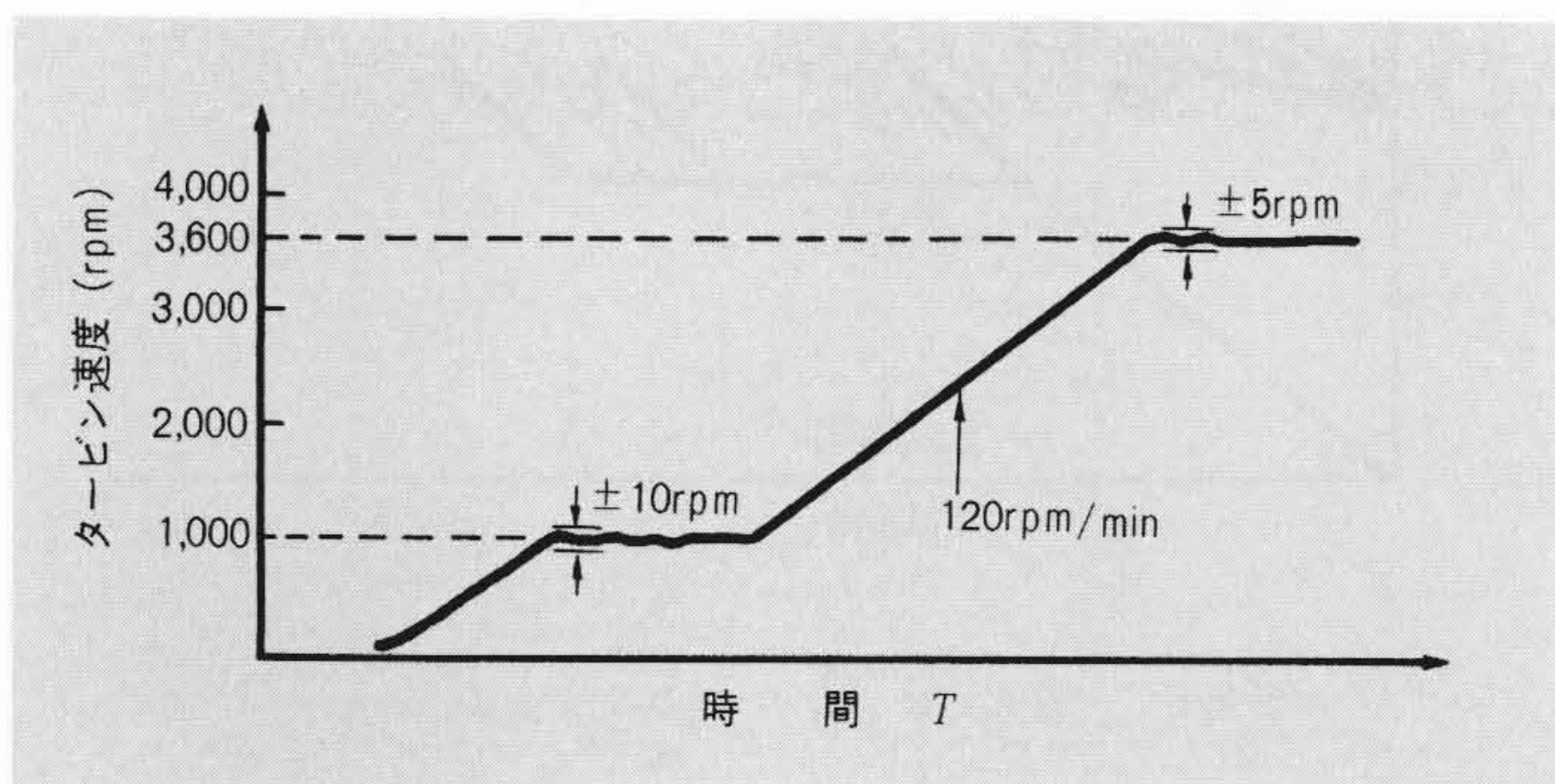


図8 タービン本体との組合せ試験結果 昇速率120rpm/minで起動し、3,600rpmまで昇速させた結果を示す。定速制御に移行

4 結 言

以上、カナダ、ニューブランズウィック電力局コルソン コーブ火力発電所納め1, 2, 3号機用タービン全自動起動・停止制御装置“HITASS-300”について概説した。このシステムは、タービンの起動・停止及びタービン補機の運転操作を対象に、特色のある機能を盛り込んだ広範囲にわたる自動化装置であり、工場試験で各種機能を十分にチェックされ、目下現地試運転中である。今後は本プラントでの経験を生かし、“HITASS”シリーズへの多様な要求に直ちにこたえられるように、シリーズの標準化及びよりフレキシビリティのある制御装置の開発に努力する考えである。

終わりに、本制御装置を完成するに当たり御協力をいただいた関係各位に対し厚くお礼を申し上げます。