

蒸気タービン自動制御装置

Automatic Control System for Steam Turbine

火力発電所に中間負荷調整の役割が増加し、蒸気タービンをより安全に、より速く起動できることが望まれている。日立製作所はこの要請に応ずるため、タービンロータの熱応力を管理するタービン自動制御装置を開発した。この装置は、タービンロータの熱応力を管理し最適なスケジュールで運転するもので、演算部にはHIDIC 08を採用して小形化を図り、また、専用のソフトウェア言語と保守ツールにより容易なプログラミングと容易な保守とを実現した。制御は昇速から連続負荷運転までをシーケンシャルに行ない、その制御範囲により“HITASS”-100、同150及び同200をシリーズ化している。

本田 永信* *Honda Naganobu*
 松本 弘** *Matsumoto Hiroshi*
 射場 大造* *Iba Daizō*
 久野 勝邦*** *Hisano Katsukuni*
 福島弘一郎**** *Fukushima Kōichirō*

1 緒 言

最近、火力発電所は原子力発電所の増加とともに中間負荷運用が要求され、頻繁な起動・停止を行なうようになってきており、蒸気タービンの運転面でも運転員の負担を軽減して、より安全により速く起動することが要望されている。これらの要請にこたえるため、マイクロコンピュータによりタービンロータの熱応力を管理し、起動を制御する新シリーズのタービン自動制御装置“HITASS”(Hitachi Turbine Automatic Start-up System)を完成させた。

主な特長は次に述べるとおりである。

- (1) タービンロータの熱応力を常時予測演算し、その演算結果により最適な加速率、負荷変化率を決定することにより、起動時間を短縮した安全な運転が可能である。
- (2) 主要演算部を日立マイクロコンピュータHIDIC 08に集約し、装置を小形化した。
- (3) FIF(Fill in the Form)方式とインタプリタ方式を併用する専用のソフトウェア言語体系を用意し、ソフトウェアの専門家でなくても容易に処理内容を理解することができる。
- (4) タービン周りの補機の状態を常時モニタし、異常を発見したときには項目ごとにオペレーターズコンソールパネル上に表示する。また速度、負荷及び熱応力の現在値を数字表示器に表示することにより、運転員が運転状態を容易に把握することができる。
- (5) 付属の保守ツールにより、コンピュータの専門家でなくても故障箇所をプリント板単位あるいは機能単位で知ることができる。

2 制御機能

2.1 制御範囲

加減弁起動方式の蒸気タービンに対応した“HITASS”の制御範囲を図1に示す。タービンの起動過程を7ステップに分割している。

第1のステップ「起動準備」では補機の状態を監視し、タービンの起動に必要な条件がすべて満足されているかをチェックしている。

第2のステップ「ラブチェック」では、“HITASS”はロードリミットモータを開操作し、タービンを加速し、一定速度を超えたらロードリミットモータにより蒸気加減弁を開き始

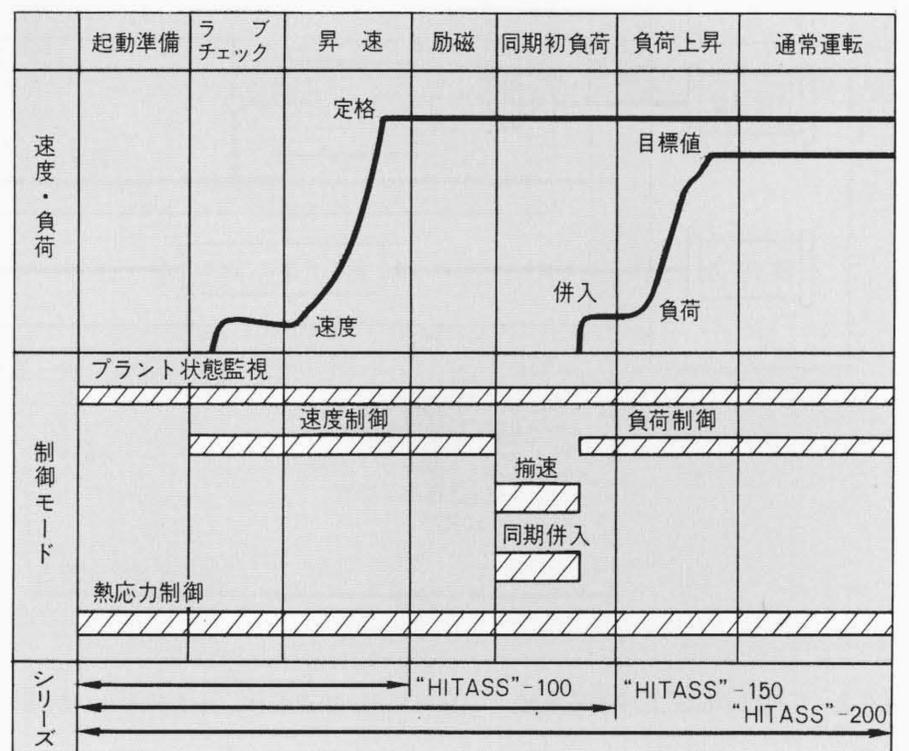


図1 “HITASS”の制御範囲 制御範囲により、“HITASS”-100、同150、同200のシリーズがある。

め位置まで閉めて、タービンに蒸気が流入しないようにする。この操作後、運転員がタービンにラビングが発生していないか聴音する。

第3のステップ「昇速」は、タービンを定格速度まで昇速する過程である。昇速過程で、昇速率は熱応力管理により最適な値が選択される。

第4のステップ「励磁」では、“HITASS”は発電機の界磁制御系に励磁指令を与える。

第5のステップ「同期・初負荷」では、ガバナモータを使用してタービン速度を定格速度を中心として、一定の振幅、周期で変化させる。同時に自動同期装置により同期点を検出し、主しゃ断器の投入を指令する。

第6のステップ「負荷上昇」は、オペレーターズコンソールパネルで設定した目標負荷への負荷上昇過程である。負荷変化率は熱応力制御から最適な数値が選択される。発電機出力が目標負荷に到達した後は「通常運転」となる。このステ

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所日立工場 **** 日立製作所電力事業本部

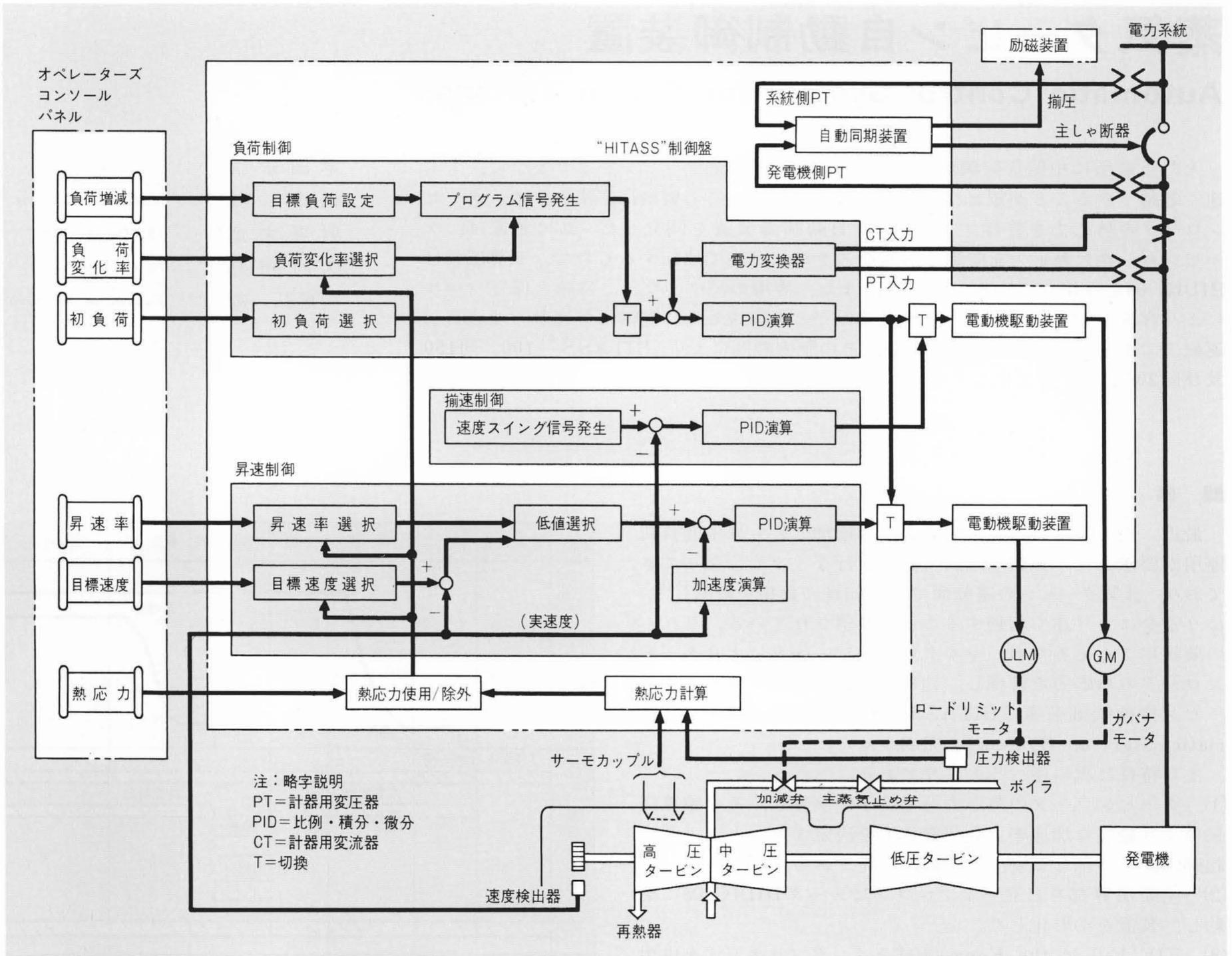


図2 “HITASS”の制御系統 負荷制御，掬速制御，昇速制御及び熱応力計算は，マイクロコンピュータにより演算処理される。

ップでは、オペレーターズコンソールパネルで設定した目標負荷を目標に、熱応力制御で選択した負荷変化率で発電機出力を制御する。

以上の制御ステップの範囲により“HITASS”-100，同150，同200のシリーズがある。

図2に“HITASS”の制御系統を示す。

2.2 熱応力制御

蒸気タービンの起動時、及び負荷変化時には、タービンの肉厚部に発生する熱応力による疲労、すなわち寿命消費率を許容値以下に制御する必要がある。従来は、スケジュール方式と呼ばれる方式により昇速率及び暖機時間を決定した。この方式は、起動前のケーシングメタル温度、主蒸気条件を基に、ボイラの昇温パターン、昇圧パターンを予測し起動に必要なパラメータを起動前に決定する方式である。しかしこの方式では、昇温パターン、昇圧パターンが予定値よりずれることを見込んで大きなマージンをとっているため、起動時間は長くなりがちであった。

今回開発した熱応力制御は、タービンの運転状態がボイラの動特性に与える影響をオンラインで記憶し、これで熱応力の予測演算を行なって、昇速率及び負荷変化率を逐次最適化させる制御方式である。着目する熱応力発生箇所は、高中圧タービンとも高温・高速の漏れ蒸気にさらされる第1段

後ラビリンスパッキン部のロータ表面、及びボア(中心孔)部である。

熱応力制御のフローを図3に示す。まずケーシング内外壁のメタル温度の実測値からロータの温度分布を推定し、初期値とする。この動作は一度実行されるだけであるが、これ以降に説明する各機能は一定周期で動作する。応力値計算では、現在のタービン入口蒸気条件の実測値をもとに、現在のロータの温度分布、熱応力を計算する。またこのときタービンの運転状態に対して、蒸気条件がどのように変化したかを記憶しておき、この結果を予測制御に利用する。

予測制御は、「現在応力を求める周期」の整数倍で実施されるので、予測実施周期であれば予測制御処理の流れを切り替える。変化率仮定部ではタービンの起動状態に応じて、加速率あるいは負荷変化率のどちらかを仮定する。仮定する変化率は大きいものから順に仮定していく。また最大の変化率は、現在の運転状態により制限されている。蒸気条件予測部では、仮定した変化率で運転した場合蒸気条件がどのように変化するかを、前述の記憶結果をもとに予測する。次にこの予測蒸気条件の下でのロータの温度分布、熱応力の予測値を求める。この予測応力値がある時間先まで許容値を超えていなければ、仮定した変化率を指令変化率として昇速制御、あるいは負荷制御ブロックに指示する。しかし、予測応力が許容値

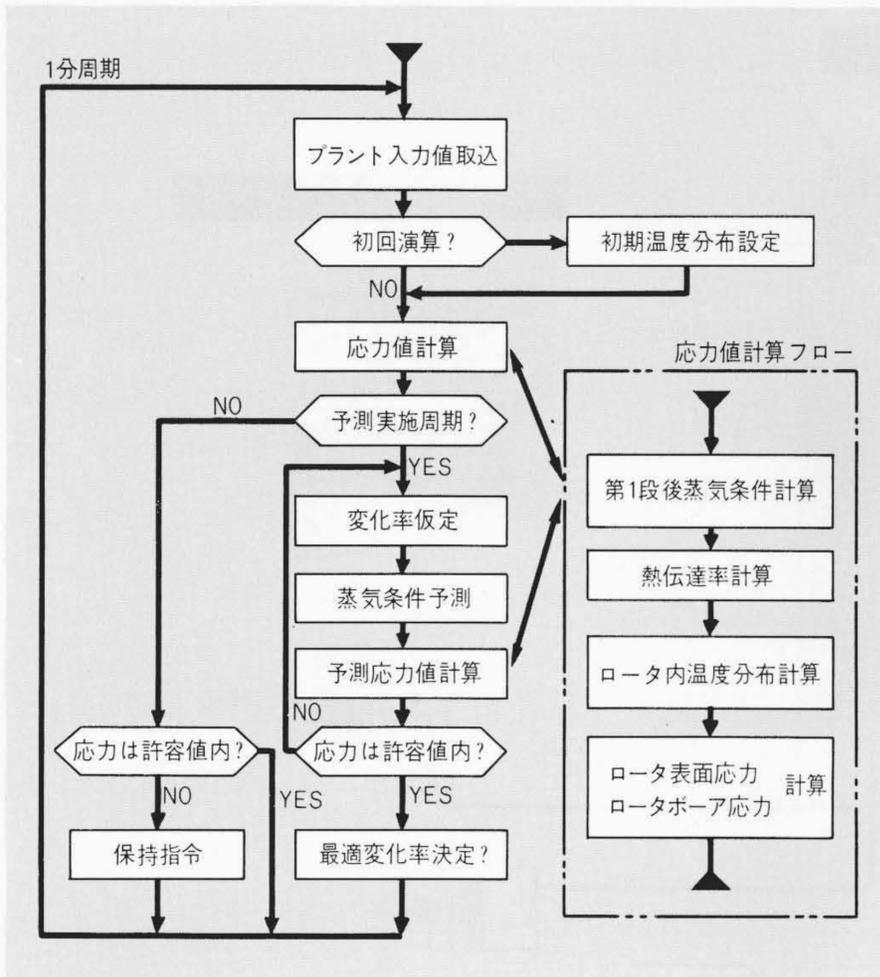


図3 熱応力制御フロー タービンロータを円筒とみなし、温度分布を計算することにより、熱応力を求めている。

を超えていた場合には、再び変化率仮定部に戻って1ランク小さい変化率を仮定して、前述の予測演算を実施する。

現在応力値を求める場合には蒸気条件に現在値を、予測応力値を求める場合には蒸気条件の予測値をそれぞれ入力して演算させることにより求められるよう、応力値計算フローは共通のサブルーチンとしている。ロータ応力を精度良く求めるには、第1段階後蒸気条件を正確に求めることが必要である。昇速時とか、低負荷領域などの蒸気流量の小さいときは計測器の測定誤差が測定値に占める割合(相対誤差)が大きくなり、第1段階後蒸気温度、圧力を高精度で測定することは困難である。この問題を解決するために、タービンの運転状態と入口蒸気条件から一義的に第1段階後蒸気条件を演算する方式を採用している。

温度分布の更新計算では、ロータ内部の熱移動は半径方向だけである一次元流とみなし、ロータを複数個の仮想円筒に分割し、各円筒間の熱収支に着目し分布を求めている。ロータ応力は、温度分布から計算できる。

3 ソフトウェア

ソフトウェアの全体構成を図4に示す。簡単にプログラミングでき、容易に処理内容を理解できるように固定部と可変部とに大きく区分している。

制御処理内容の理解、変更には可変部の各テーブルの記述法だけを理解すれば十分である。可変部には、インタプリタ方式とFIF方式と呼ばれる手法を併用している。インタプリタ方式は、約20種の演算要素を接続して、各種演算処理を実行させる手法である。

アクションテーブル、クライテリアテーブル、オペレーターズコンソールテーブルは、あらかじめ決められたフォーマットに記号あるいは数字を記入することにより、コーディング可能なFIF方式を採用している。

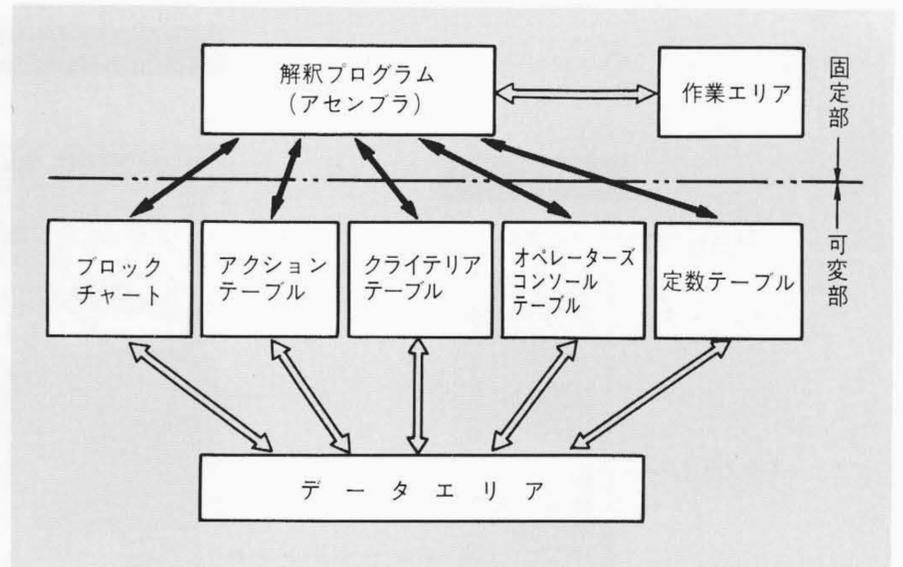


図4 ソフトウェアの全体構成 可変部はFIF方式とインタプリタ方式を併用している。

4 “HITASS”の構成と仕様

“HITASS”のシステム構成を図5に示す。

“HITASS”は、中央制御盤に設置されるオペレーターズコンソール、制御盤及び保守ツールから構成される。制御盤の寸法は、幅650mm、奥行700mm、高さ2,300mm、2面であり、従来のアナログ演算方式に比較して大幅な床面積の縮小化を図っている。

盤No.1には、日立マイクロコンピュータHIDIC 08、プロセス入出力装置(PI/O)などを収納している。盤No.2には自動同期装置、電動機駆動装置、補助リレーなどを収納している。

オペレーターズコンソールパネルの上段はプラント状態の監視表示部で、起動途中の必要なプラント条件のうち満足していない項目を表示する。中央は目標ステップと制御ステップを表示する起動シーケンス表示部である。下段には起動スケジュール表示などを設けている。

試運転及び定期点検での保守を容易にするため、保守ツ-

表1 制御装置の仕様 “HITASS”-200の標準仕様を示す。

項目	仕様		
演算部	形式	HIDIC 08	
	メモリ	コアメモリ 32k 語	
	語長	16ビット+パリティ	
入出力部	形式	H 7 6 0 0	
	入出力点数 (最大)	アナログ入力	32点
		アナログ出力	8点
		デジタル入力	128点
		メモリ付デジタル入力	64点
		デジタル出力	192点
		パルス列入力	2点
パルス幅出力		2点	
自動同期装置	形式	SS-2	
	機能	電圧平衡	
		同期投入	
同期検出			
電動機駆動装置	方式	パワートランジスタスイッチング方式	
	駆動対象	ロードリミットモータ: DC直巻60W ガバナモータ: DC直巻25W	
盤寸法	2面×幅650×高さ2,300×奥行700(mm)		
環境条件	温度	0~40°C	
	湿度	10~90%	

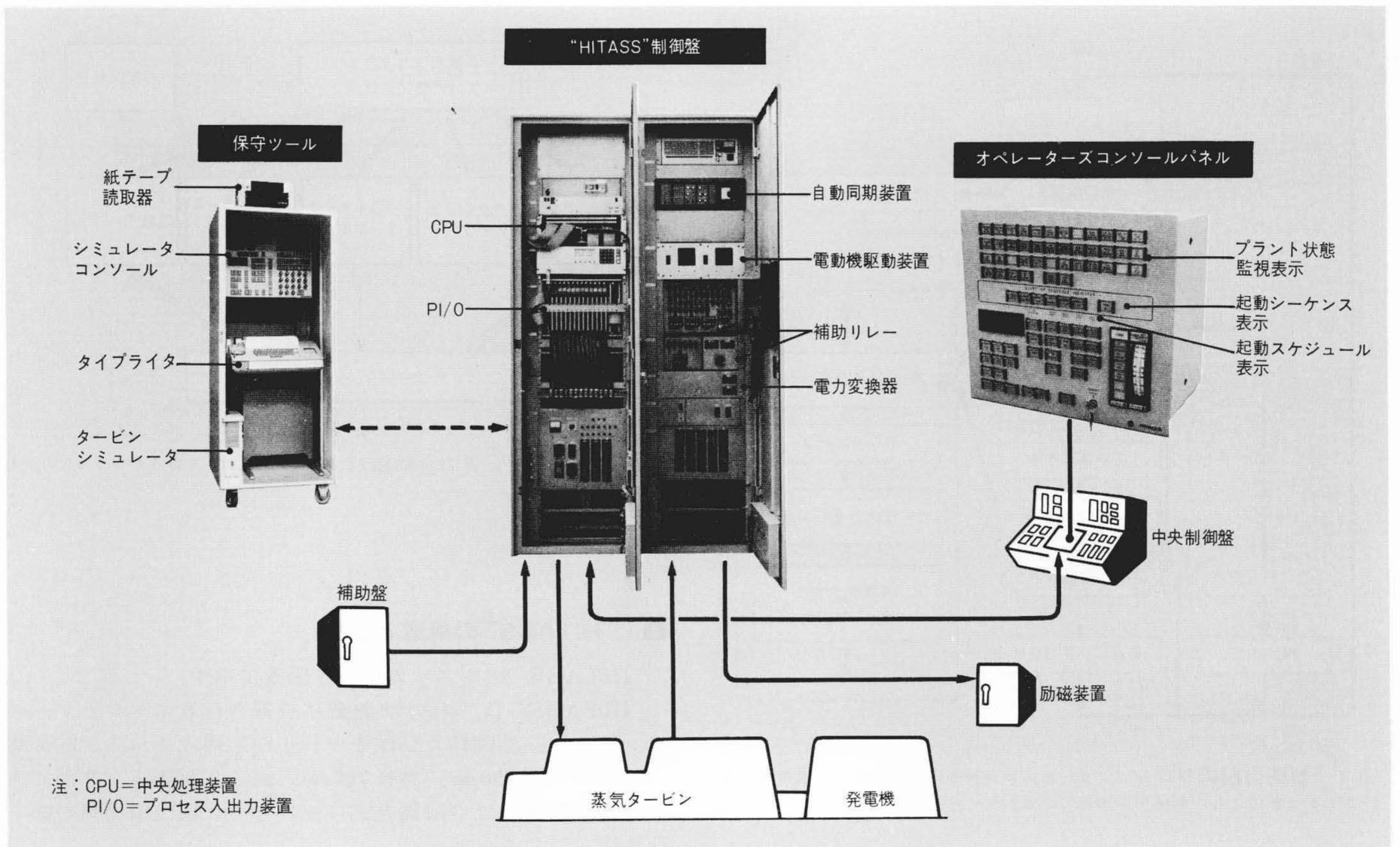


図5 “HITASS”のシステム構成 “HITASS”は制御盤、オペレーターズコンソール及び保守ツールから構成される。

ルを準備している。この保守ツールは、コンピュータ用コンソール入出力機器であるタイプライタ、紙テープ読取器、保守時に必要な各種信号を授受する保守用コンソール及び簡易化されたタービンシミュレータから構成されている。コンピュータのハードウェアを保守するには、T/M (Test & Main-

tenance Program)を利用して、タイプライタとの会話形式により容易に故障箇所を発見できる。またタービン自動制御装置としての各種機能は、シミュレータを利用することにより容易にチェックすることができる。
“HITASS”の仕様を表1に示す。

5 シミュレーション結果

図6は、熱応力制御による起動のシミュレーション結果を示すものである。これは48時間停止後の暖機起動のものであるが、各種起動条件でも、応力制限値を精度良く有効に利用できることが確認できた。その結果、起動時間は従来のスケジュール方式より、平均して約25%の短縮が可能となった。また、負荷追従性に関しては、目標負荷を25%から100%に変化させて、追従性が約35%向上することが確認できた。

6 結 言

日立マイクロコンピュータを利用し、タービンロータ熱応力を管理する新シリーズの“HITASS”について述べた。この装置は、起動時間を短縮した安全な運転を実現するもので、火力発電所の中間負荷運用など新しいニーズに応ずるものとする。

終わりに、この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深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 丸山, ほか3名: 火力発電所のデジタル技術, 日立評論, 59, 283 (昭52-4)
- 2) 福島, ほか2名: 大容量火力発電用タービン全自動起動・停止装置, 日立評論, 58, 213 (昭51-3)

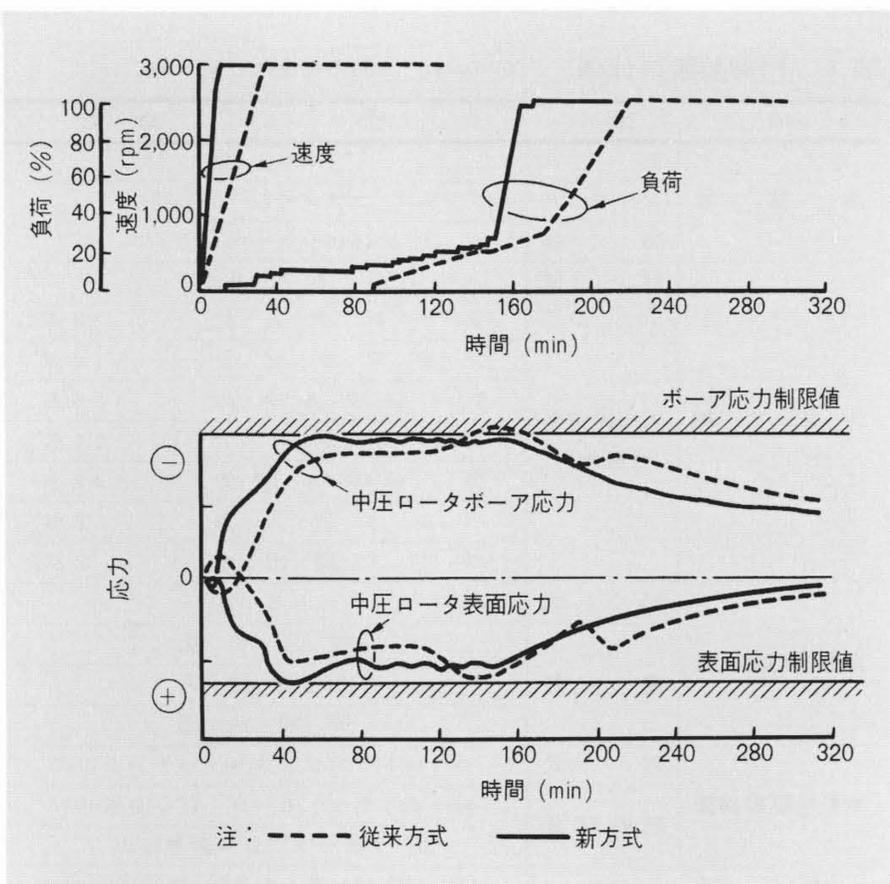


図6 起動シミュレーション結果 熱応力による新方式は、起動時間を約25%短縮することが可能である。