

火力発電所の自動起動装置

Automatic Thermal Power Plant Starting Device

平 賀 昭 二*
Shōji Hiraga

要 旨

火力発電所の完全な自動化を行なうには計算機を用いて総合的に判断する必要があるが、その実現に努力が払われているが、現状はまだ一步手前のシーケンスモニタの計画段階である。しかし起動条件と範囲を限定すればサブグループとシーケンスの組合せよりなる簡易式で実用上有効に目的を達成できると考えられる。このたび東北電力株式会社新潟火力発電所3号機の併入から30%負荷までの貫流プラントの自動起動装置を納入したのでその方式と運転実績について紹介する。また単独にも計算機制御のサブグループとして使えるタービンの自動昇速装置について方式、特長、試験結果につき述べる。これらの装置は特に既設火力発電所の自動化に対して有用であると考えられる。

1. 緒 言

最近の大容量発電所は信頼性の向上と運転経費の節減が一段と要求されるため、従来の平常運転時の自動制御に加えて起動停止の自動化が強く要望されている。一方既設の火力発電所では当初は基底負荷用として計画されたものでもその後の系統運用上の要求によって起動停止のひん度が多くなり、運転員の操作負担の軽減のため安全で簡便な自動起動装置が要求されるようになった。また貫流ボイラプラントの運転実績が増し、運転特性の解明が進み超臨界圧を含む多数の貫流プラントが建設中で、この場合には起動過程において最も操作の集中する起動バイパス系統の切換操作の自動化が検討されている。

自動起動の方法として計算機を使用した本格的なもの、サブグループとシーケンスの組合せによる簡易式と二通り考えられるが、これら最近の傾向について触れ、後者の例として東北電力株式会社新潟火力発電所3号機に納入した貫流プラントの自動起動装置の方式と運転実績、さらにタービンの自動起動用に開発したタービンの自動昇速装置についてその概要を述べる。

2. 火力発電所の起動停止の自動化

火力発電所の自動起動が検討されはじめてから数年になるが、計算機制御には運転手順の解析、機器特性のは握、計算機自体の信頼性向上など困難な問題が多く国内では計算機による火力発電所の完全自動化はまだ実現していない。

現状はデータ処理、性能計算から一歩進んだシーケンスモニタの計画段階で、これには目標値と現在値を比較し燃料量、通気目標、タービン速度上昇率などの目標量を表示し操作の指針を与えるオペレーションガイドと呼ばれるものと、操作開始時期を判断し条件を確認し操作手順を逐次表示する高度シーケンスモニタが適用されようとしている。図1は250 MW、重油専焼ドラム式ボイラの高度シーケンスモニタの基本フローチャートの一例でボイラ、タービン、発電機それぞれの操作手順を示し、相互の条件確認は横方向の二点鎖線で示されている。各操作ステップの内容は総合的な判断指令を行なうマスターーチンと起動停止、監視、修正の各サブルーチンで構成され、主機停止状態を監視して起動モードを定め、ボイラ、タービン、発電機の相互の操作優先順位を判断しながら起動を進めるものである。

一方既設火力発電所では最近系統運用上ひん繁な起動停止が要求され、急速起動と運転員の負担軽減のため自動起動装置が要望され

* 日立製作所国分工場

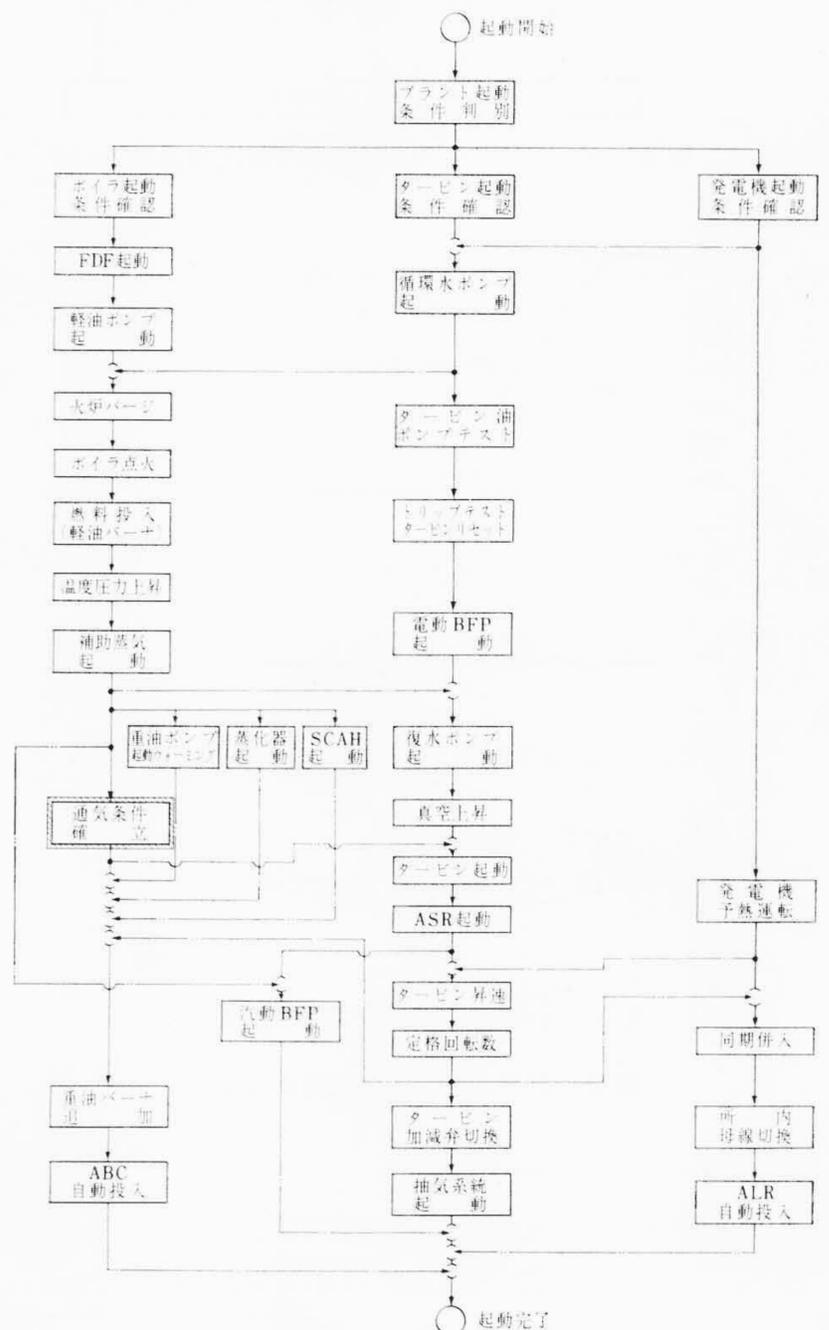


図1 高度シーケンスモニタの基本フローチャート

ているが、計算機を使用することはプラント本体側の改造など必要で、経済的にも不利である。この場合起動モードはほぼ一定して高度の判断を必要とすることが少なく、自動化の範囲も通気以降全負荷までに限定されることが多いので、むしろ起動用サブグループを使用しこれらの結合をシーケンシャルな制御装置による方法が有利と考えられている。図2はシーケンシャル自動起動装置の説明図で平常運転用のボイラABC、バーナ自動切換装置、タービン自動負荷調整器、発電機用AVR、AQRのほかに起動用としてタービン自

動昇速装置、自動同期装置、初負荷およびタービン加減弁切換装置を備え、これらを有機的に結合したもので、異常状態に応じて目標値の自動修正を行なう高度の機能はもっていないが、異常時にはその位置に保持して手動運転に切り換えられるようになっている。

3. 貫流プラントの自動起動装置

3.1 貫流プラントの起動特性

図3は東京電力株式会社五井火力発電所2号機の265 MW UP プ

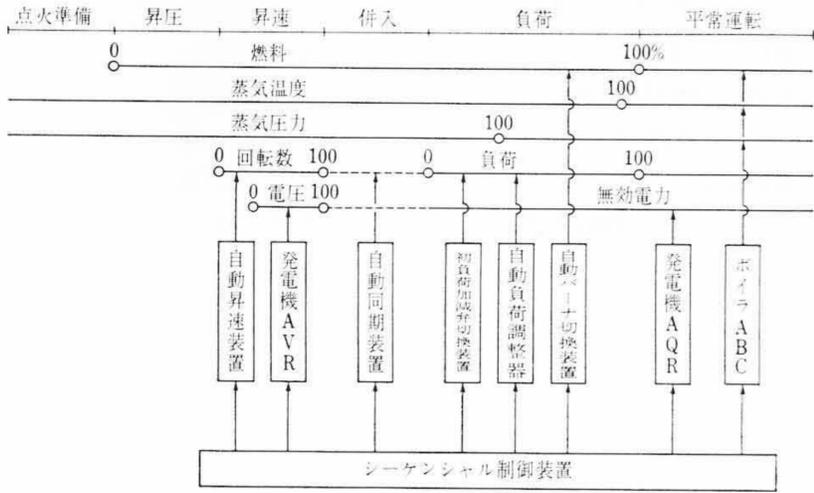


図2 シーケンシャル自動起動装置説明図

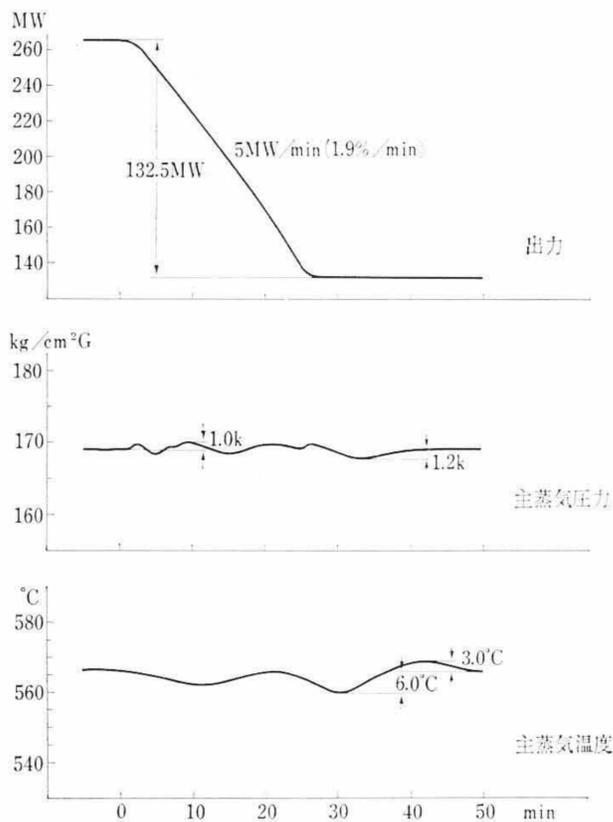


図3 UPプラントの負荷応答性

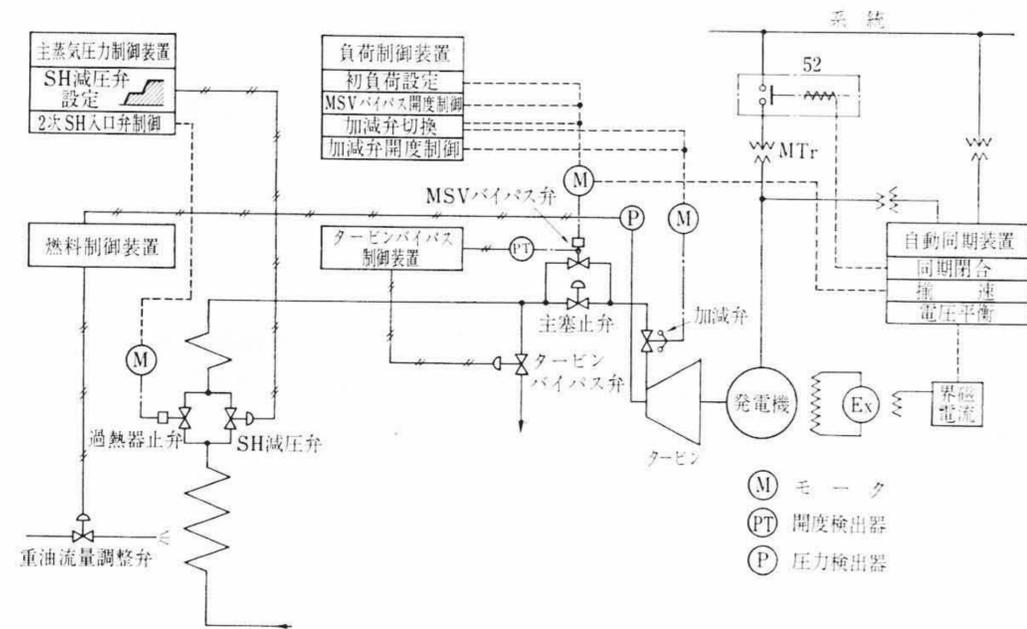


図4 UPプラント起動系統図

ラントの負荷応答試験の実測例で、全負荷から1/2負荷まで5 MW/分の負荷変化に対して蒸気圧力変化 $\pm 1.2 \text{ kg/cm}^2$ 、蒸気温度変化 $\pm 6^\circ\text{C}$ のすぐれた応答特性を示している。ボイラABCが自動運転にはいった以後は非常に融通性に富んだ運転ができるが、起動過程で併入から30%負荷までの間に貫流プラントの特質である起動バイパス系統の切換操作が必要で、この期間には同期併入、全周噴射起動のタービン加減弁切換えなど他の操作も集中しているので運転員にかなりの負担がかかることになる。図4はUPプラント起動系統を、図5は併入から30%負荷までのコールドスタート時の起動特性を示したものである。負荷、主蒸気圧力、温度を主機特性でできる点線のように上昇するためには主塞止弁バイパス弁、タービンバイパス弁、過熱器減圧弁、タービン加減弁、燃料量、バーナ本数追加を実線のように操作せねばならない。図6は250 MW UPプラントのコールド、ウォーム、ホット、ベリホットの4種類の起動時間

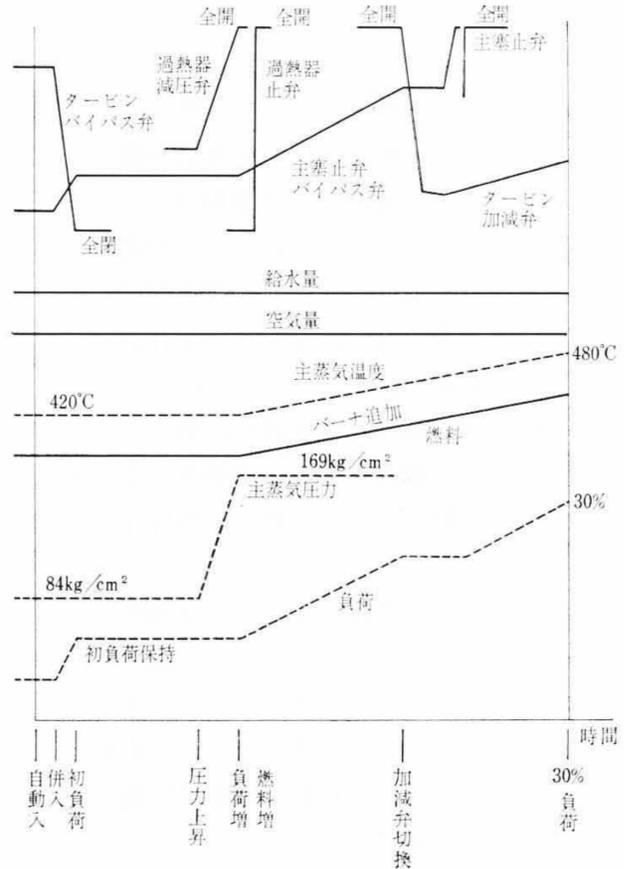
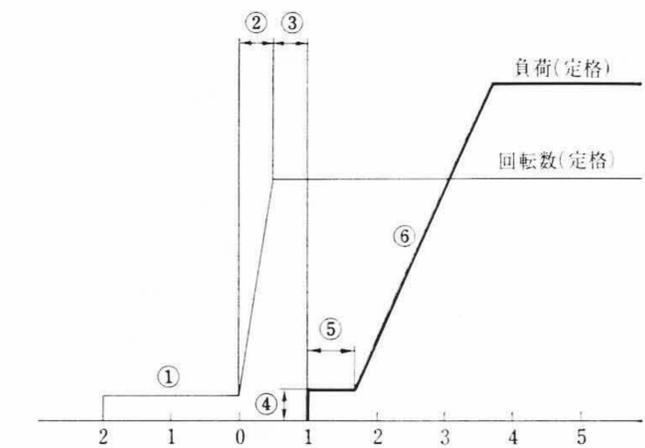


図5 UPプラントの起動特性



起動の種類	コールドスタート	ウォームスタート	ホットスタート	ベリホットスタート
標準停止時間	1週間以上	60時間	8時間	2時間
①ターニング時間	2時間	3時間	4時間	連続
②速度上昇	30分	20分	15分	8分
③定格回転数	30分	—	—	—
④初期負荷	3%	6%	10%	15%
⑤初期負荷保持	45分	15分	—	—
⑥負荷上昇率	195分 0.5%/分	95分 1%/分	45分 2%/分	28分 3%/分
合計	300分	130分	60分	36分

図6 250 MW UPプラントの起動時間

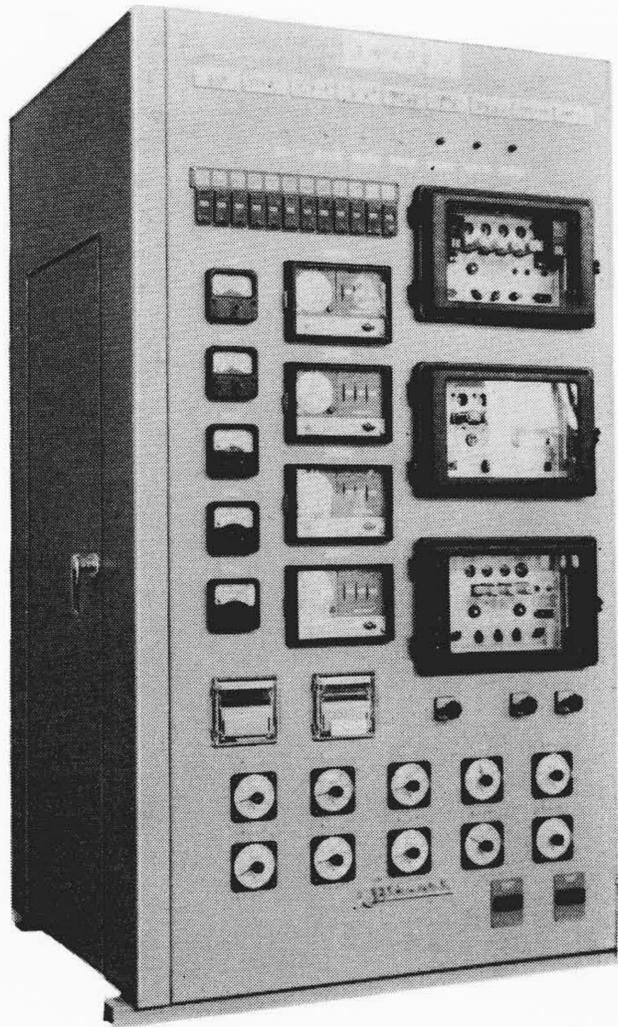


図7 貫流プラントの自動起動装置

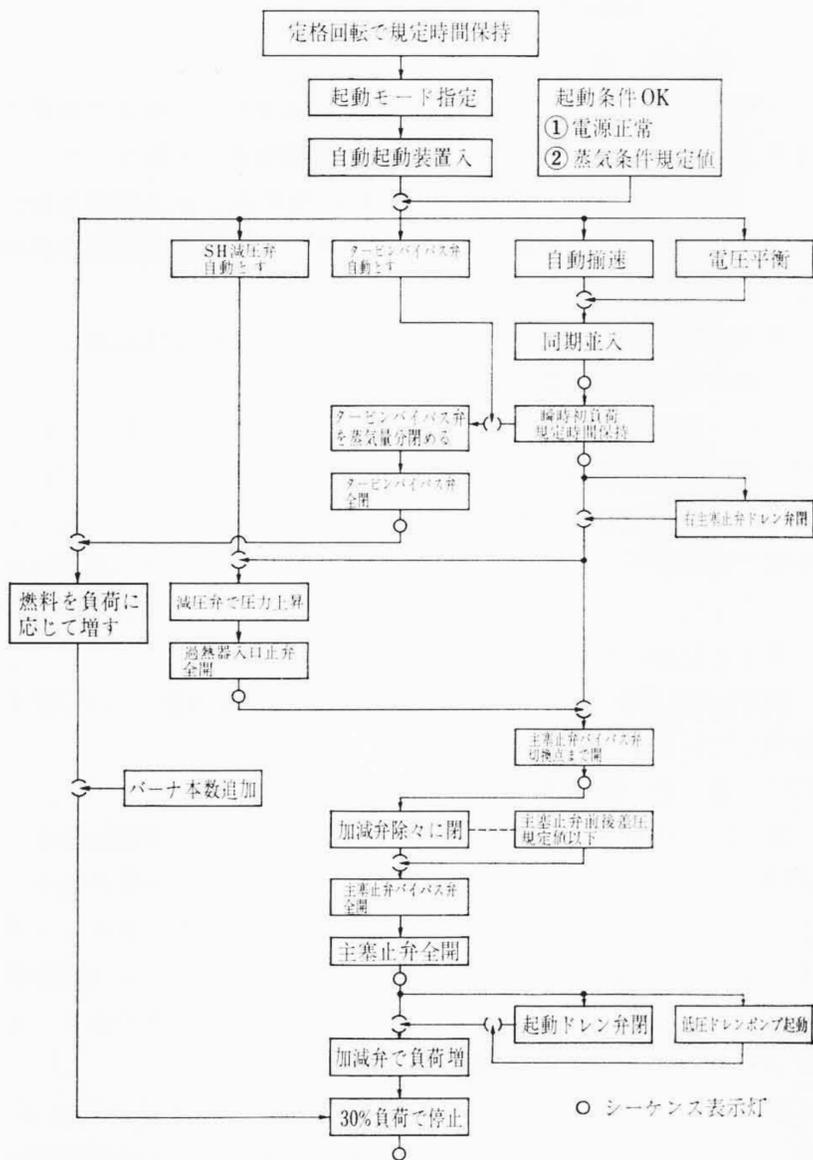


図8 自動起動装置ブロック図

の一例を示したものである。

3.2 貫流プラントの自動起動装置

図7は東北電力株式会社新潟火力発電所3号250MW UPプラン

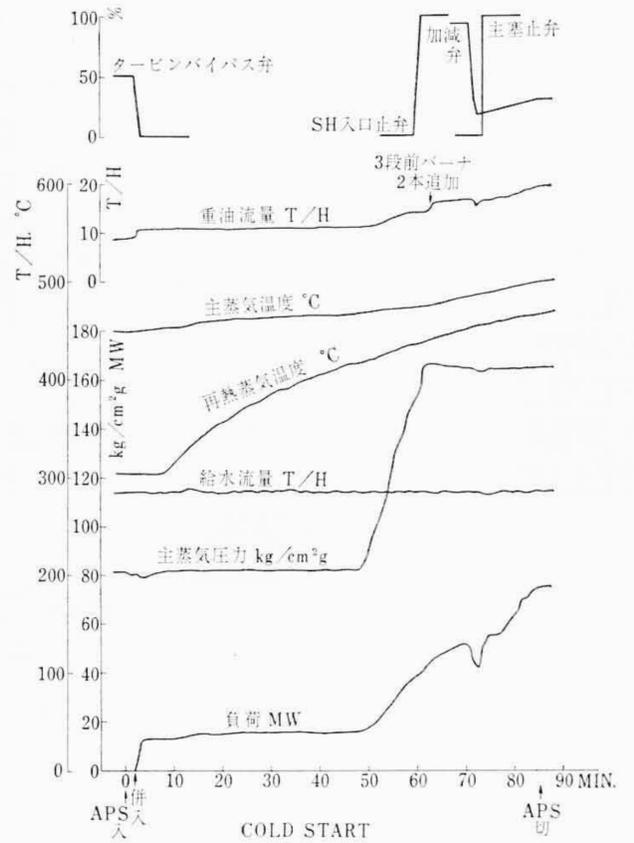


図9 コールドスタート時の起動試験結果

ト用として納入した同期併入から30%負荷までの自動起動装置の外観で装置は41年4月より運転にはいり好成績を示している。図8は装置の全体ブロック図で、重要な一段階ごとにシーケンス表示灯が次々に点灯シーケンスがどこまで進行しているかが判別できるようになっている。

(1) 自動同期

タービン定格回転数で規定時間連続運転の後、発電機の電圧、周波数を系統に合わせるように励磁電流、主塞止弁バイパス弁開度を自動調整し、許容電圧差 $\pm 3\%$ 以内、許容周波数差 $\pm 0.1\text{c/s}$ 以内で位相一致点で同期投入する。通常の自動同期ではガバナのマイナーループがあり、自動揃速がガバナモータの操作により安定しているが、大容量タービンでは全周噴射起動で主塞止弁バイパス弁モータで同期させるのでタービン発電機の約4分の時定数による操作の行過ぎを防止する必要がある。このため自動揃速パルスオン・オフ時間で制御するサンプリング方式が採用され自動同期のための所要時間は約2分となっている。

(2) 初負荷保持

併入後は図6に規定される瞬時初負荷をとり、コールド、ウォームスタートのときは一定時間初負荷を保持する。初負荷制御は次のようにして行なわれる。すなわち、主塞止弁バイパス弁を制御し、主塞止弁バイパス弁開度に応じてタービンバイパス弁を自動的に絞り蒸気量を供給し、初負荷完了時点でタービンの右主塞止弁の上下ドレン弁を自動的に閉とするようにしている。

(3) 主蒸気圧力制御

主蒸気圧力はあらかじめ 84 kg/cm^2 に保持されており自動起動装置を生かすと圧力制御プログラマがオートバランスして自動にはいる。初負荷完了後プログラマが始動して過熱器減圧弁に指令を与え、各起動条件に応じた上昇率で圧力を制御する。蒸気圧力が上昇して減圧弁前後差圧が 14 kg/cm^2 以下になると二次過熱器入口止弁が自動的に全開する。

(4) 燃料制御

タービンバイパス弁全閉と同時に燃料制御系はオートバランスで自動に切り換えられ、タービン第一段圧力信号で負荷上昇が検出され、これに規定のバイパスが加わり、燃料が増加し主蒸気温度が上昇する。空気量、ガス再循環量を一定として燃料増加に伴

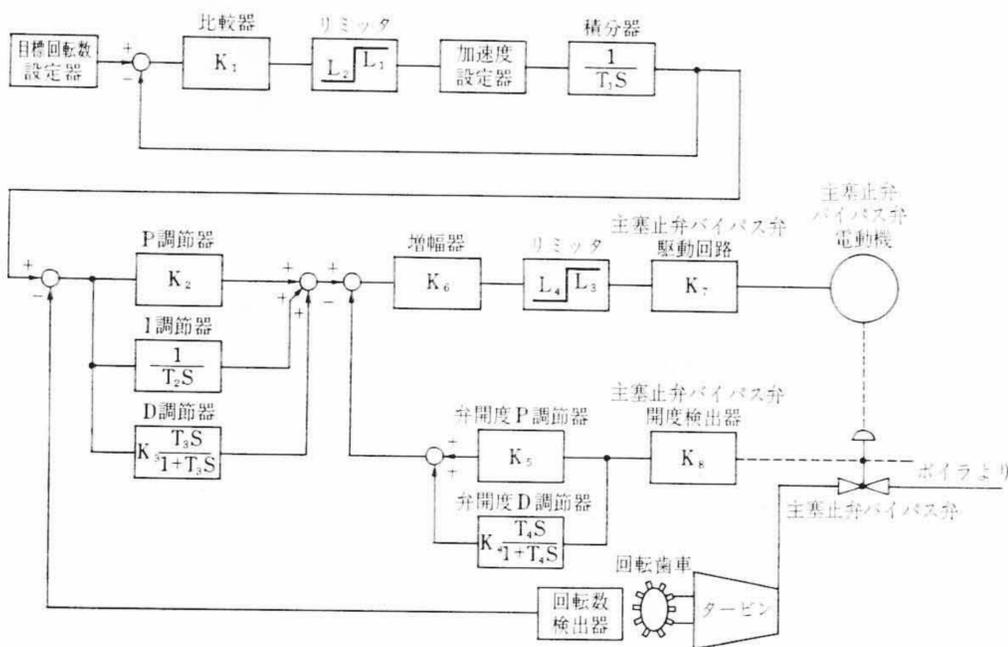


図10 ASR ブロック図

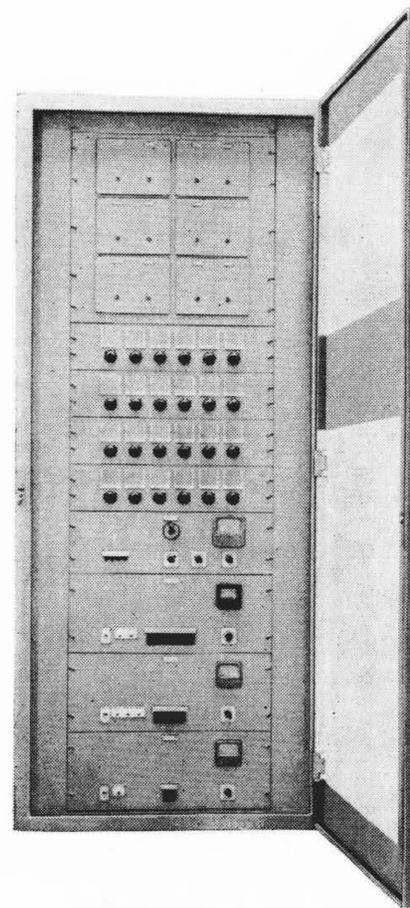


図11 タービン自動昇速装置

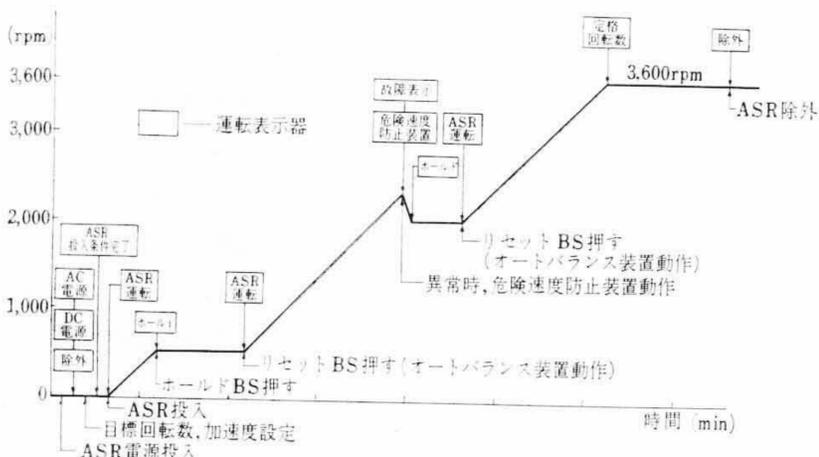


図12 ASR 運転説明図

4. タービン自動昇速装置 (ASR: Automatic Speed Regulator)

(1) 動作原理

ASRはタービン回転数をターニング速度から定格まで規定の速度上昇率で速度上昇させる装置で計算機制御の主要なサブロープとして使用される。ASRとして最も重要なことは制御対象が高温高圧の精巧な大容量タービンであるので装置の信頼性を高めることと保護装置を完備することである。

図10にASRの制御ブロックを示す。目標回転数設定器出力と積分器の出力を比較器で突き合わせその偏差がプログラム信号として取り出される。プログラム信号はタービン回転数と比較しPID調節器、駆動回路により主塞止弁バイパス弁モータを制御する。タービン回転数の検出はデジタル式で周波数一直流電圧変換器で直流電圧として取り出す。主塞止弁バイパス弁の制御性をよくするためバイパス弁開度を検出定位化し、タービン時定数を補償するためにPID調節器としている。

図11は装置全体を示すものでバイパス弁駆動装置にはSCRを使用している。

(2) 運転、保護

図12はASRの運転説明図で、目標回転数と加速度を設定しASR投入するとタービン速度は上昇を開始する。上昇の途中でホールドボタンを押すとその回転数で保持され、次にリセットボタンを押すと再び上昇を開始する。ASR投入、リセットは積分器の出力を強制的に現在値と合わせるオートバランス式であり、またASR運転中は常に手動操作が優先する。

表1はASRの投入、ホールド、除外条件を示したものである。タービン危険速度範囲内でタービン本体異常のホールド条件発生したときには危険速度防止装置が動作し危険速度範囲外でタービン速度をホールドする。ASR本体には速度検出器、PID調節器、バイパス弁開度検出器、バイパス弁駆動装置、プログラム信号一回転数偏差大の各装置ごとの保護装置を備えタービンに異常な回転数偏差を与えないようにしてある。

い、バーナ油圧を検出してバーナ容量上限を中央制御盤に表示し、逐次バーナ本数を中央より手動で追加する。

(5) タービン加減弁切換え

主蒸気圧規定値以上を条件にタービン加減弁開度を全開より主塞止弁前後差圧規定値になるまで徐々に絞り、主塞止弁バイパス弁を切換点開度から全開させると主塞止弁が自動的に全開する。その後は起動用ドレン弁を閉じ低圧ヒータドレンポンプを起動しタービン加減弁制御により規定上昇率で30%負荷まで増加させ自動起動装置を除外する。

自動起動装置運転中は保安装置が動作すれば自動起動操作をその位置で停止させ中央に警報表示するようにしてある。

3.3 現地試験結果

図9はコールドスタートにおける自動起動の一例を示したもので、十分所期の目的を達している。

- (1) 自動同期の時間は-0.5c/sから始めて約2分で手動操作の場合よりも小である。
- (2) 主蒸気温度、圧力、再熱蒸気温度の上昇過程は非常によく手動操作よりもすぐれている。
- (3) タービン加減弁絞り込みから主塞止弁全開による負荷変動は主塞止弁バイパス弁の切換点開度に影響されるが10~15 MW程度である。
- (4) 起動時の初期主蒸気圧力の条件は主塞止弁バイパス弁、タービンバイパス弁、過熱器減圧弁の整定に関係するので注意して保持する必要がある。これは今後さらに検討を要する問題である。

表1 ASRの投入除外条件

監視項目	A S R		
	投入条件	ホールド条件	除外条件
1 軸受油圧規定値	以上	○	
	以下		○
2 排気室真空規定値	以上	○	
	以下		○
3 振動規定値	以上		○
	以下	○	
4 偏心規定値	以上		○
	以下	○	
5 伸差規定値	以上		○
	以下	○	
6 A S R 本体	異常なし	○	
	異常あり		○
7 初圧調整器除外		○	
8 回転数102%以上			○
9 同期併列完了			○
10 ボイラトリップ			○
11 タービントリップ			○

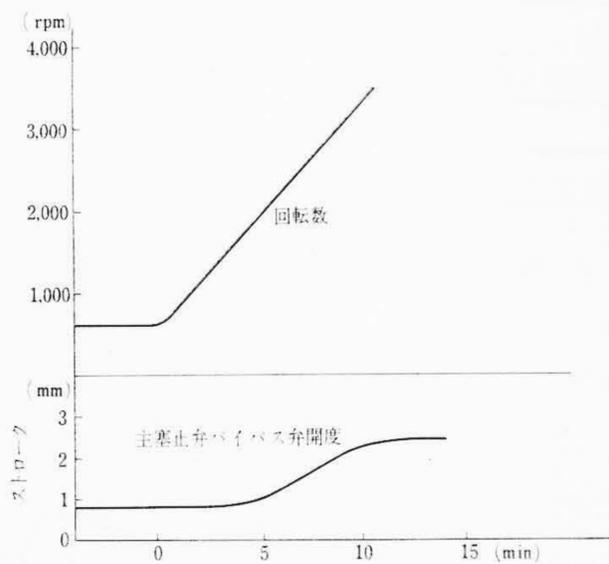


図13 ASR 起動試験結果

4.2 特 長

- (1) 回転数検出はデジタル式で検出精度が高い。
- (2) タービン時定数は、定格速度と低速度で大幅に違うので、速度全範囲で一様な制御性を得るようにPID調節器を採用している。
- (3) 主塞止弁バイパス弁の不感帯と弁開度—流量の非直線性を補償するためにバイパス弁開度を検出して定位化している。
- (4) 磁気演算増幅器とSCRを使用しているので信頼性が高い。
- (5) ASR投入、リセットはオートバランス式であるから計算機との結合が容易である。
- (6) タービン危険速度防止装置を備えている。
- (7) ASR本体異常を各部分ごとに漏れなく検出できるようにし、タービンに異常な回転数変化を与えないようにしてある。

4.3 試験結果

ASRは大容量タービンを制御対象にしているので十分慎重な検

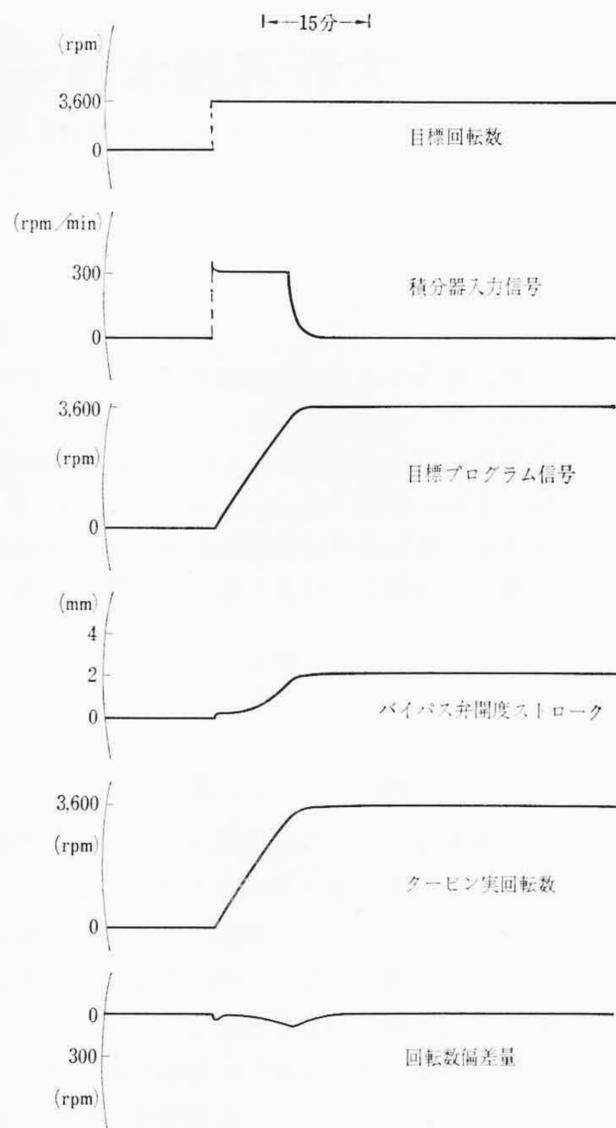


図14 ASRのアナコン解析結果

討が必要である。これが適用に当たっては試作ASRを用いて超臨界圧テストプラントの200kWタービン発電機で基本的な動作を確かめた後、工場で175MWタービン単体と組合せ試験を行ない、さらに165MWタービン発電機と現地組合せ試験を行なって最終的に性能を確認した。図13は165MWタービン発電機と組み合わせた試験結果の一例で速度上昇の直線性は良好である。タービン動特性、主塞止弁バイパス弁の制御特性の実測も行なっており、ASR制御系のアナコン解析により最適調整ができた。図14はアナコン解析の一例である。

5. 結 言

以上貫流プラントの併入から30%負荷までの自動起動装置とタービンのASRについて概要を述べた。起動条件と範囲を限定すればサブグループとシーケンスの組合せによる自動起動装置で実用上有効な火力発電所の自動起動が期待できる。しかしあらゆる条件、あらゆる範囲を包含する自動起動を実施するには計算機制御の採用が必要であると考えられる。火力発電所の自動化は非常に大きな命題であるので、今後とも計算機制御実現に努力する一方、既設火力発電所または小規模な火力発電所に効果のあるサブグループをシーケンス的にまとめた簡易方式の適用を広げてゆきたいと考えている。

終わりに自動起動装置の現地試験にご協力いただいた東北電力株式会社ならびに中国電力株式会社の関係者各位、およびパブコック日立株式会社と日立製作所の関係者各位に深甚な謝意を表す。