

中小容量蒸気タービン用電子油圧式ガバナの開発

Advanced Electro-Hydraulic Governor for Medium Capacity Steam Turbine

産業用蒸気タービンの制御は、プラント制御の多様性に適合させるために、各種タービン形式などで複雑な制御を要求されることが常である。これらの要求を満たすために電子化が促進されてきたが、電子技術の向上とともに最新技術による小形軽量化と技術的向上が必要となり、日立製作所はこのたび、小形の低油圧式ガバナの開発にいち早く取り組み、その試作完成を見るとともに、ユーザー向け10,000kW二段抽気復水タービンに実装し、各種テストを行ない満足できる結果を得た。この新しい制御装置は、最近脚光を浴びているマイクロコンピュータなどと組み合わせられるほか、従来の制御装置を容易に改造できることなどの特長をもっている。

有江亮介* *Arie Ryôsuke*
 伊藤文夫** *Itô Fumio*
 中塚友之* *Nakatsuka Tomoyuki*
 渡辺肇治* *Watanabe Keiji*

1 緒言

近年、蒸気タービンプラントでは、省エネルギー及び省力化が強く要求され、タービン制御装置もこれらの要求を満足させるため、複雑かつ高度化している。また、特に最近の電子技術の発展は目覚ましく素子の高性能化、小形軽量化、回路技術の進歩、更にはマイクロコンピュータ技術など、とどまるところを知らない。日立製作所では、これらの状況に対処するため最新の電子技術を適用した新しい電子油圧式ガバナを開発し実用化に成功したのでここに報告する。

この新しい電子油圧式ガバナ (Electro-Hydraulic Governor: 以下、EHGと略す) は、前述のように最新の電子回路技術を採用し小形軽量化すると同時に、制御油圧には機械油圧式ガバナ (Mechanical-Hydraulic Governor: 以下、MHGと略す) と同じ低油圧 (一般にはゲージ圧力10~14kg/cm²) を採用したのが特長である。したがって、低圧 (Low Pressure) を表わすLの文字をとって従来のEHGと区別し、以下、L-EHGと略称する。このL-EHGの適用範囲は、低油圧を使用する中小容量の蒸気タービンに最適と考えられる。今回開発し実装したL-EHGは、二段抽気圧力の制御を行ない、交流発電機を駆動して単独運転及び並列運転により負荷試験を行なった結果、MHGよりも優れていることも実証された。

2 L-EHGの特長

L-EHGは、MHGや従来形電子油圧式ガバナ (Electro-Hydraulic Governor: 以下、従来形EHGと略す) と対比してみると、後述5の表2に示すとおりであるが次のような特長をもっている。

- (1) 検出部と作動部を除き電気品をコンパクトに一体化したため、設置場所の制約がほとんどない。
- (2) 通常の潤滑油設備からタービン油による低圧の制御油 (ゲージ圧力約5~21kg/cm²) を利用できるため、機械油圧部は従来品と組合せができる。
- (3) 従来形EHGやMHGと比較して装置数や部品数が大幅に減少し、ソリッドステート化によってメンテナンスが容易となる。
- (4) 万一故障しても、現状継続運転ができる。
- (5) 従来形EHGとほぼ同一の性能をもち、中小容量用の蒸

気タービンガバナとしての内容を十分備えている。

3 蒸気タービンとプラントの概要

3.1 二段抽気復水タービン

二段抽気圧力制御を行なう蒸気タービンの運転実績は、MHGと従来形EHGによって数多く経験しているが、今回のL-EHGを装備した蒸気タービン発電機を図1に示す。

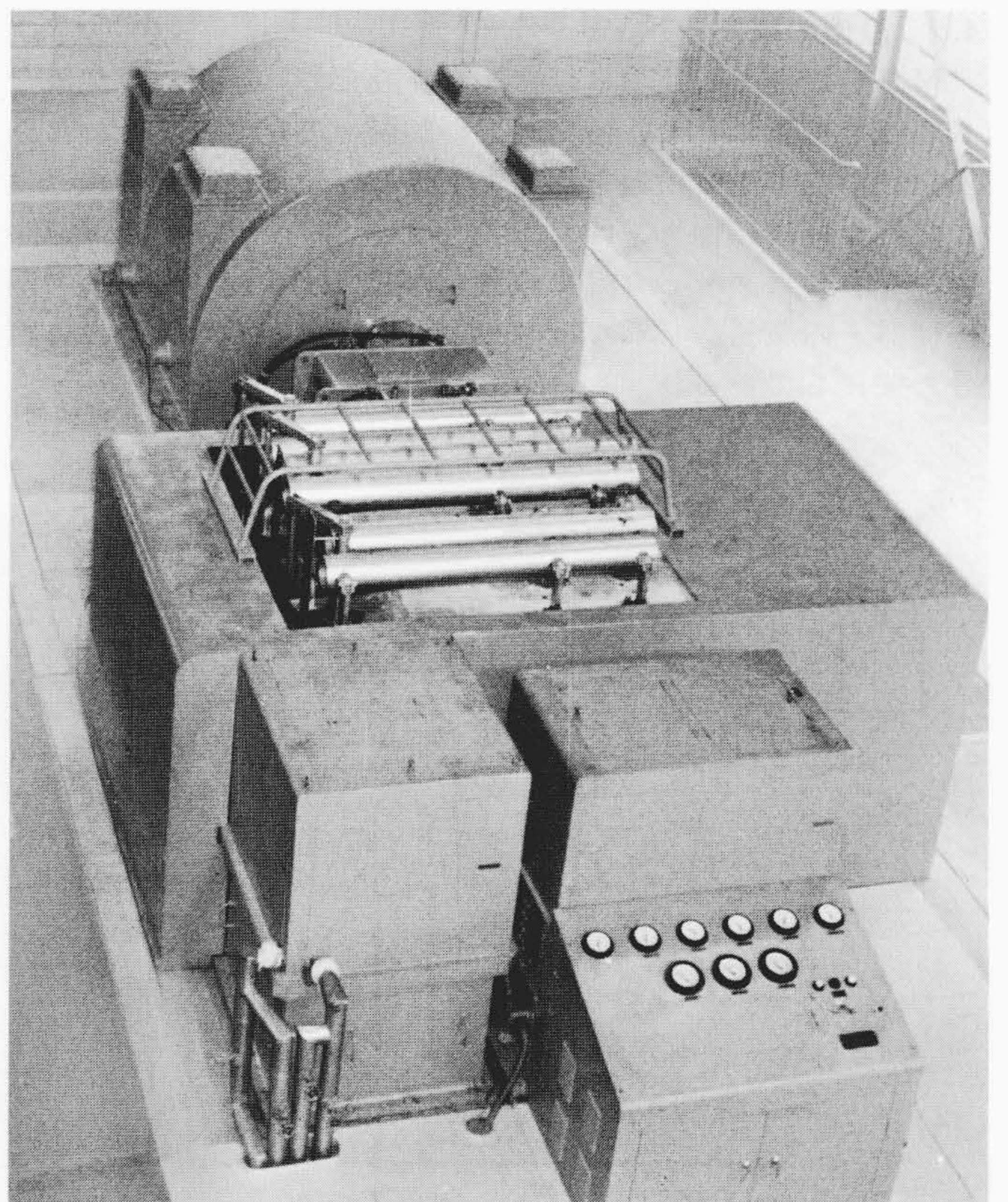


図1 L-EHGを装備した10MW二段抽気復水タービン 手前より蒸気タービン、減速機及び発電機が並んでいる (全長約10m)。

* 日立製作所日立工場 ** 日立機材工業株式会社大沼工場

3.2 基本仕様

- 基本仕様は次に述べるとおりである。
- (1) 形式：日立衝動式二段抽気復水タービン
 - (2) 出力：10,000kW
 - (3) 回転数：蒸気タービン 6,000rpm, 発電機3,600rpm
 - (4) 蒸気条件：主蒸気 ゲージ圧力43kg/cm², 420℃
高圧抽気 ゲージ圧力12kg/cm²
低圧抽気 ゲージ圧力 5 kg/cm²
排気 700mmHg
 - (5) タービン段数：高圧 2 段, 中圧 1 段, 低圧 4 段
 - (6) 蒸気加減弁：高圧 4 個, バーリフト式
中圧 5 個, バーリフト式
低圧 4 個, バーリフト式
 - (7) 制御油圧：ゲージ圧力10.5kg/cm²(L-EHGとMHGと共用)
 - (8) 軸受油圧：ゲージ圧力1.8kg/cm²
- 蒸気タービンとしても高速大容量として記録品である。

3.3 プラントの概要

図 2 に、今回の二段抽気復水タービンを設置した蒸気系統を示す。No. 2 タービンの抽気とゲージ圧力43kg/cm²系のボイラからの蒸気を主蒸気とし、No. 3 号機当該タービンで、ゲージ圧力12kg/cm²ライン及びゲージ圧力 5 kg/cm²ラインに抽出させる一方、発電出力10,000kWを得るものである。

4 L-EHGの概要

4.1 制御方式

二段抽気復水タービンの制御は、MHGや従来形EHGと基本的には同様の方式である。表 1 に、基本制御内容と制御モードを示す。

4.2 設備の概要

MHG設備とL-EHG設備とを併設して、いずれの装置でも運転を可能にした。特に両方の制御を満足させるために、安全性の点で十分検討を加えて工場及び現地の試験を繰り返して行ない信頼性を上げた。

主なものはタービン室に設置したL-EHG盤にまとめて関係機器を内蔵し、必要な電源や中央操作室からの遠隔操作信号と接続している。

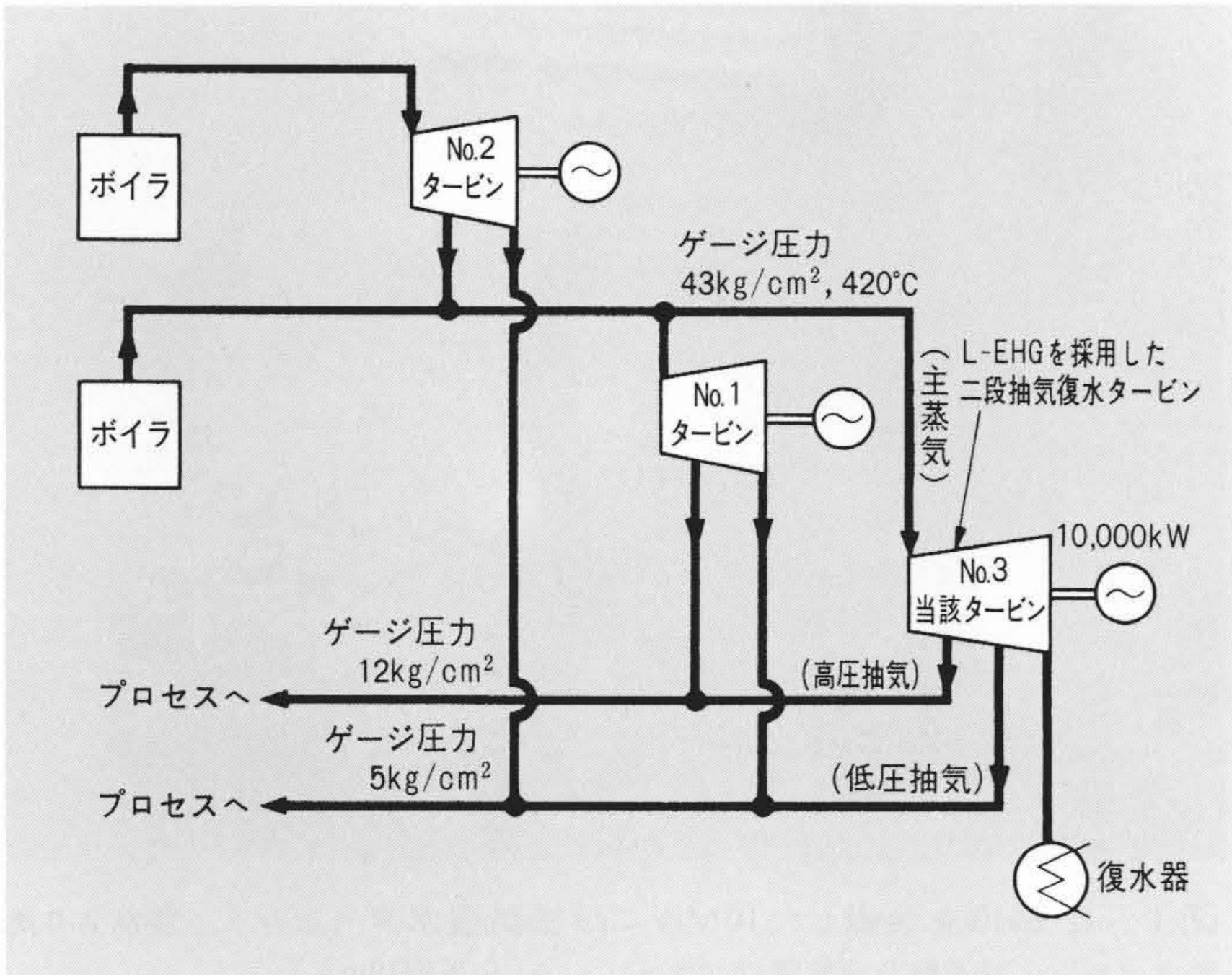


図 2 自家発電プラントの蒸気系統 当該蒸気タービンは、ゲージ圧力43kg/cm²ライン、ゲージ圧力12kg/cm²ライン及びゲージ圧力 5 kg/cm²ラインとにかかわり、タービン排気は復水器に導かれている。

表 1 二段抽気復水タービンの制御方式 二段抽気復水タービンの制御は、各制御が他の要素に影響を与えないようにしている。

	現 象	制 御 結 果
制御の基本的な要求	速度(負荷)変化時	HP, 抽気圧力不変 LP, 抽気圧力不変
	HP, 抽気圧力変化時	速度又は出力不変 LP, 抽気圧力不変
	LP, 抽気圧力変化時	速度又は出力不変 HP, 抽気圧力不変
	各々の変化が他に影響を与えないことを原則とする。	

(a)

制御モードの種類	検出	速 度	HP. 抽気圧	LP. 抽気圧
	モード名称			
制御モードの種類	調 速	○	—	—
	HP, 抽気・調速	○	○	—
	LP, 抽気・調速	○	—	○
	二段抽気・調速	○	○	○
プラントの状況によって、抽気圧制御を除外した運転も可能である。 ○印は制御を行なう場合を示し、—印は制御を除外している場合を示す。				

(b)

注：HP＝高圧 LP＝低圧

4.3 演算回路の構成と内容

(1) 主コントローラ

図 3 に示すL-EHG盤の外観で示すように、主コントローラは盤内右中央に設置している。外観の詳細は図 4 に、内部の回路構成は図 5 に示すとおりであるが、このラックキャビネットには制御の機能別に分けられた15枚のモジュールが前側から差し込まれ、バックピンで内部接続してある。各モジュールの前面に制御状況を監視するランプ表示を備え、上部には各種の調節部とテスト用ジャックを備えて取扱いに十分配慮している。

ラックキャビネット自体も、L-EHG盤から自在に引き出せ

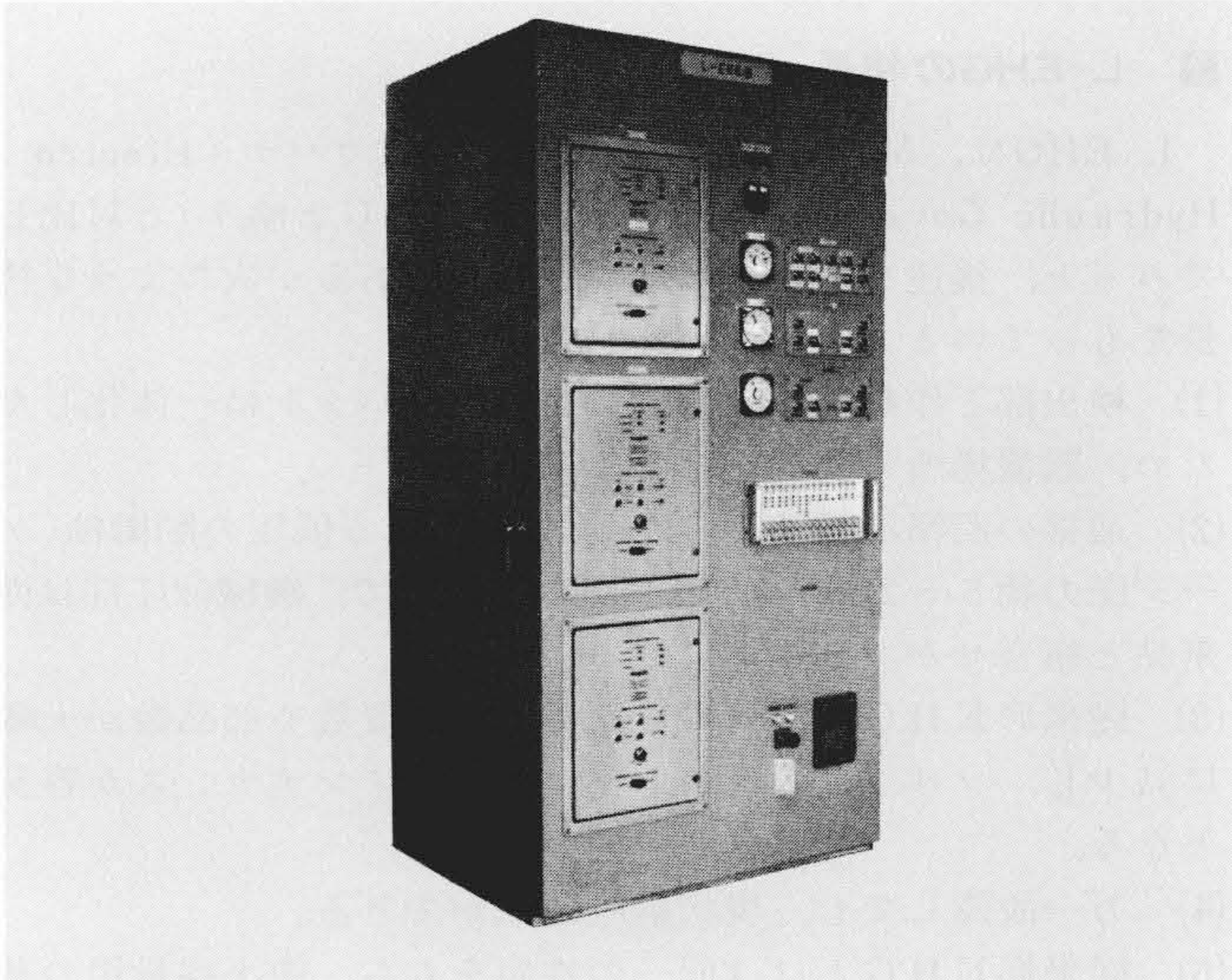


図 3 L-EHG盤の外観 L-EHG盤の大きさは、幅1,200mm, 高さ2,400mm, 奥行900mmである。

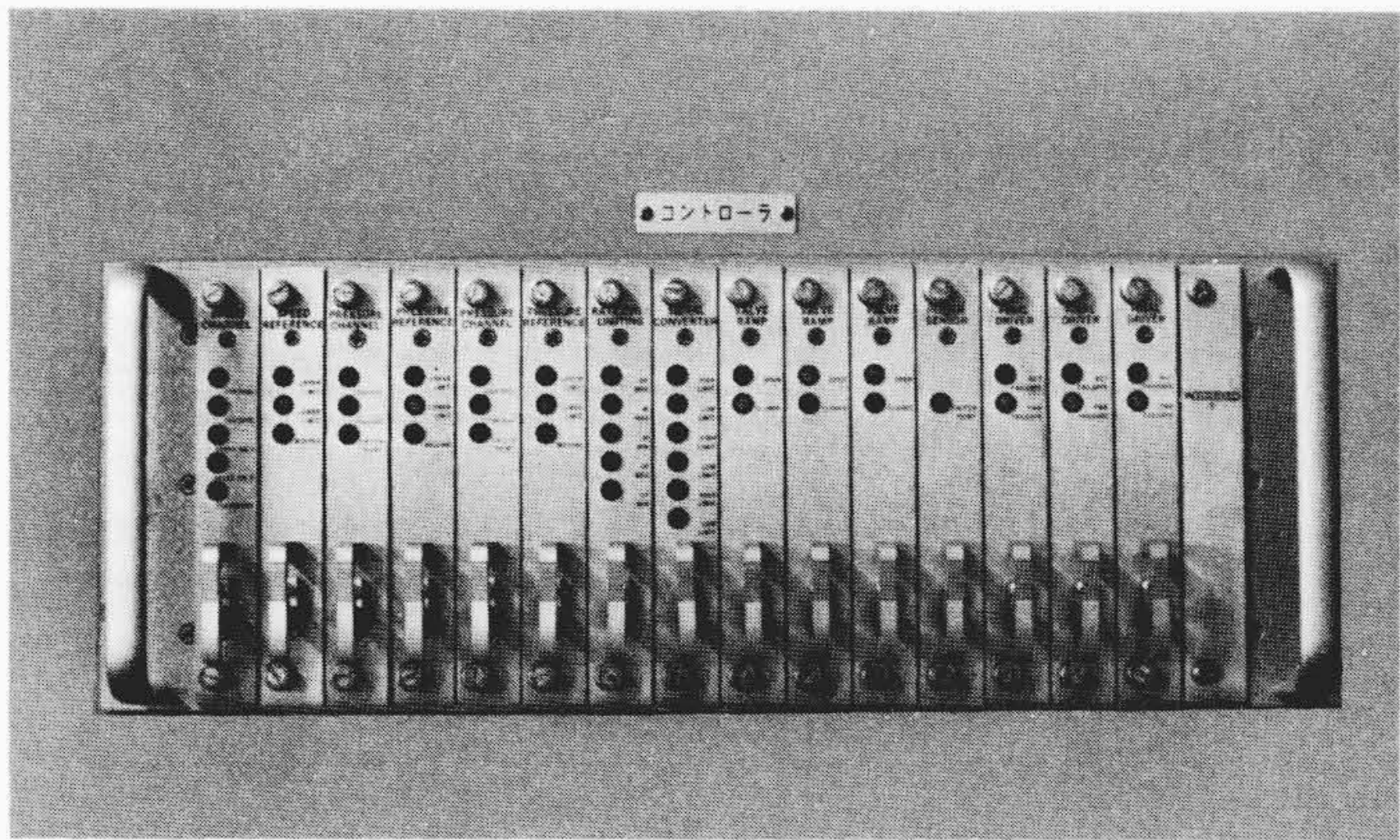


図4 主コントローラの外観 主コントローラの大きさは、幅500mm、高さ180mm、奥行310mmで、機能別になった15枚のモジュールが差し込まれ、各々には運転中の状況が監視できる色別ランプを取り付けてある。

るなど完全にソリッドステート化されている。

(2) 補助回路部

補助回路部は、主コントローラとは別の電源を使用した3個のポジションコントローラから構成され、主コントローラ側に軽故障が発生した場合に、故障直前の状態で継続運転することを可能としたバックアップ装置である。図5に示す補

助回路部は、主コントローラの出力を作動部に伝える中間部に設けている。装置の外観は前出図3で示した左側3個に該当する。

(3) 油圧作動部

油圧作動部は、演算回路からの電気信号を油圧力に変えるアクチュエータ(電油変換器)と、それを更に増力するサーボモータから成っている。アクチュエータは、ゲージ圧力5～42kg/cm²の油圧で作動するものであるから、タービン潤滑油設備の制御油圧源によって駆動され、通常品と同様の取扱いでよい。

サーボモータも同一油で駆動し、MHGのものと共用している。

(4) 操作部

操作部は、前出の図3でみられるL-EHG盤面からの現場操作のほかに、中央操作室から操作ができるようになっている。主コントローラの設定部は、デジタル式にして必要に応じて電子計算機による自動化が容易に実現できるよう考慮されている。

5 従来のガバナとの比較

5.1 MHGとの比較

今回のタービンにはMHGと併設して、L-EHGを採用したので、比較の対象が具体的となった。図6にMHGの、図7

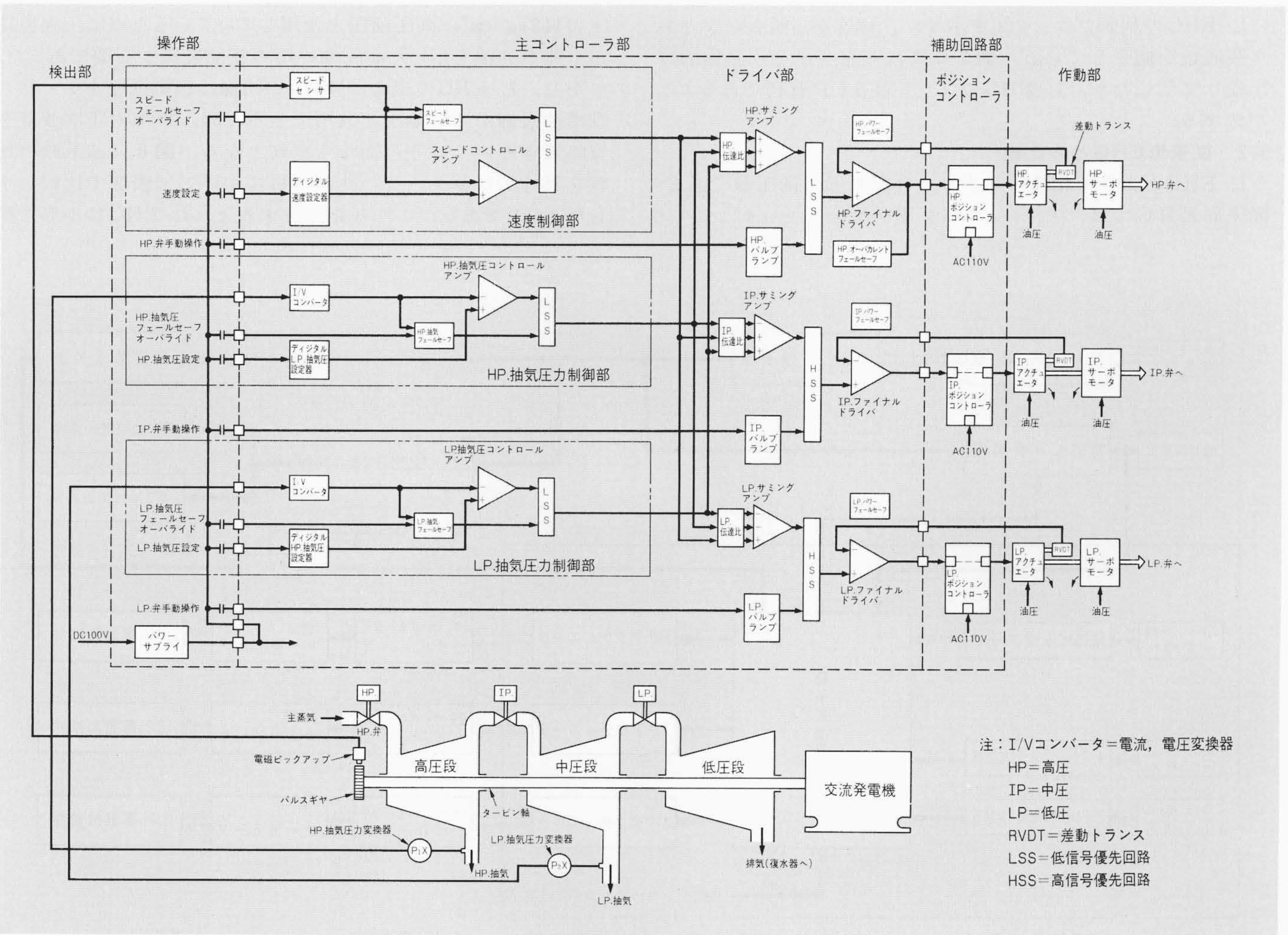


図5 制御回路構成図 二段抽気復水タービンを制御する電子回路の全容を示すもので、速度、高圧抽気圧力及び低圧抽気圧力を検出して、HP、IP及びLPの各蒸気加減弁開度を自動制御する。

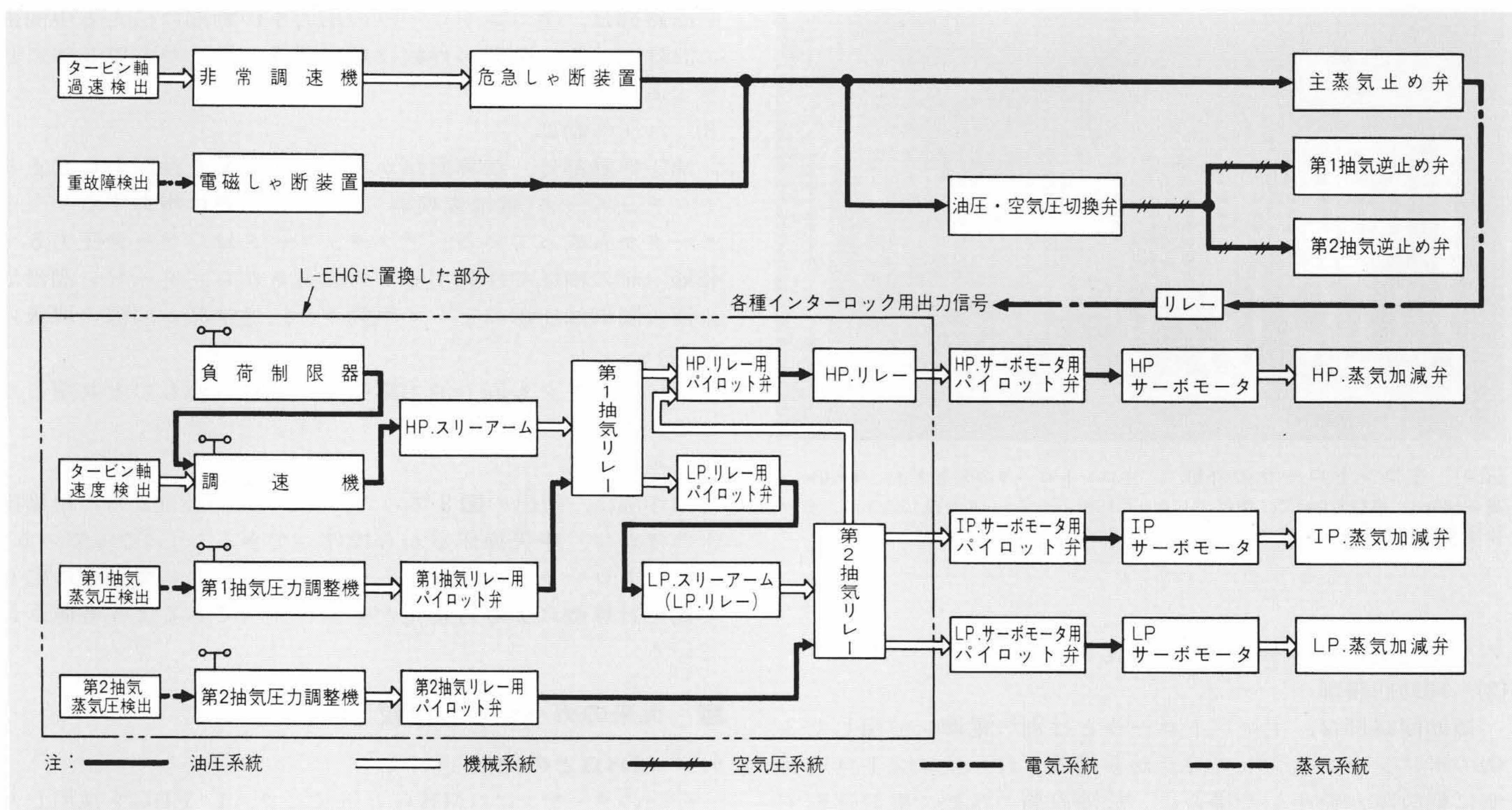


図6 機械油圧式ガバナの制御ブロック図 2点鎖線で囲んだ部分がL-EHGに置き換えられる部分である。

にL-EHGの制御ブロック図を示すが、両図から明らかとなり装置数が減少している。表2にこれらをいっそう具体的に比較して示したが、L-EHGのほうがはるかに有利であることが分かる。

5.2 従来形EHGとの比較

L-EHGと大きく相違する点は、弁駆動部の油圧源である。従来形EHGでは、アクチュエータ及びサーボモータにゲージ

圧力112kg/cm²の高圧油圧を使用しているために、火災防止上難燃性油を用いた高圧油専用の圧油装置が必要であった。しかし、L-EHGの場合はMHGと同様に制御油圧をタービン潤滑油設備からの油圧と共用できるため、専用の圧油装置を省略できるので保守の面から有利となる。図8に油系統の比較を具体的に示す。その他の項目については表2で比較し示したとおりである。これらを総合すると、L-EHGは小形で精

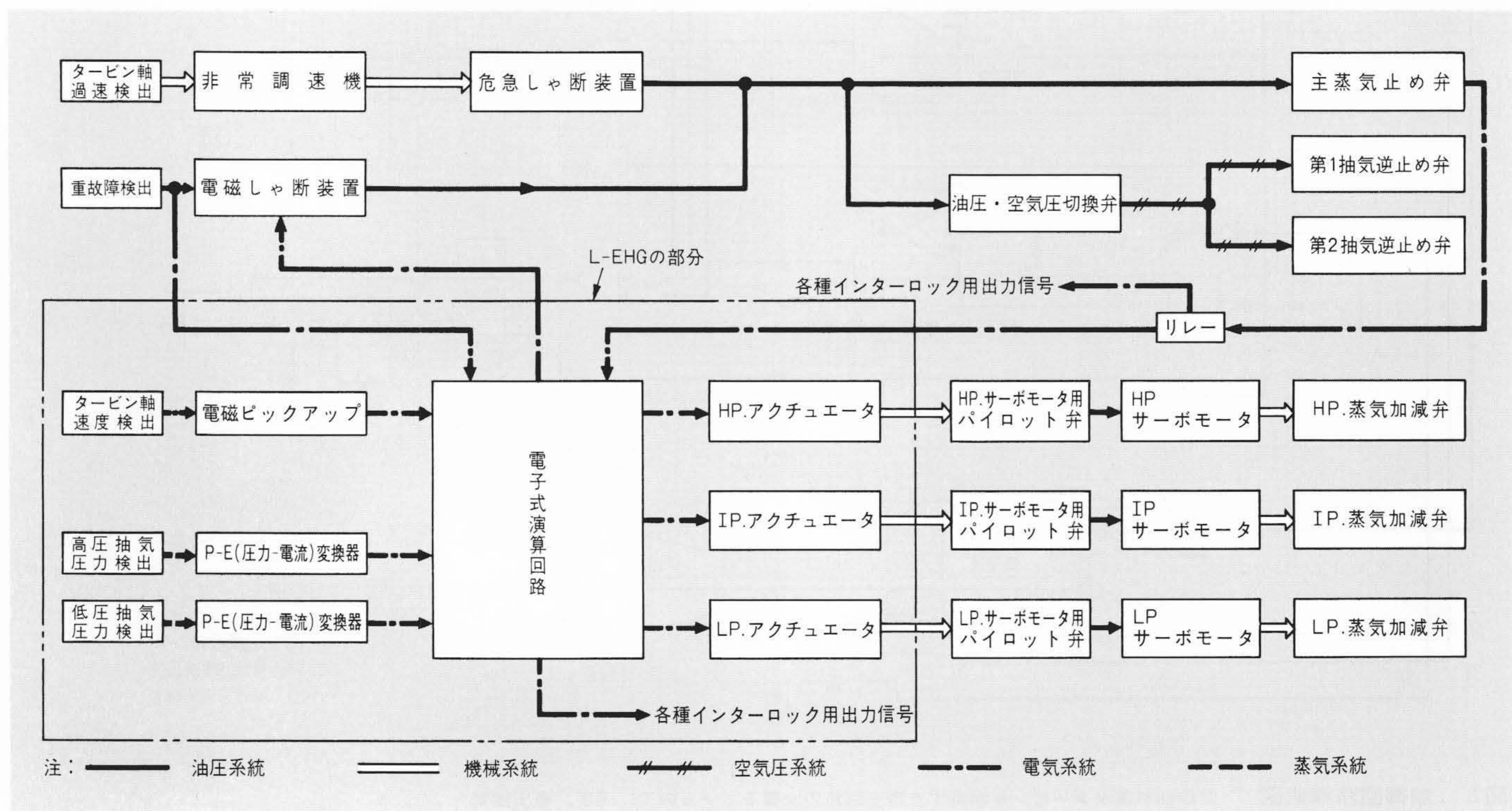


図7 L-EHGの制御ブロック図 2点鎖線で囲まれた部分が、従来のMHGをL-EHGに置き変えた部分である。

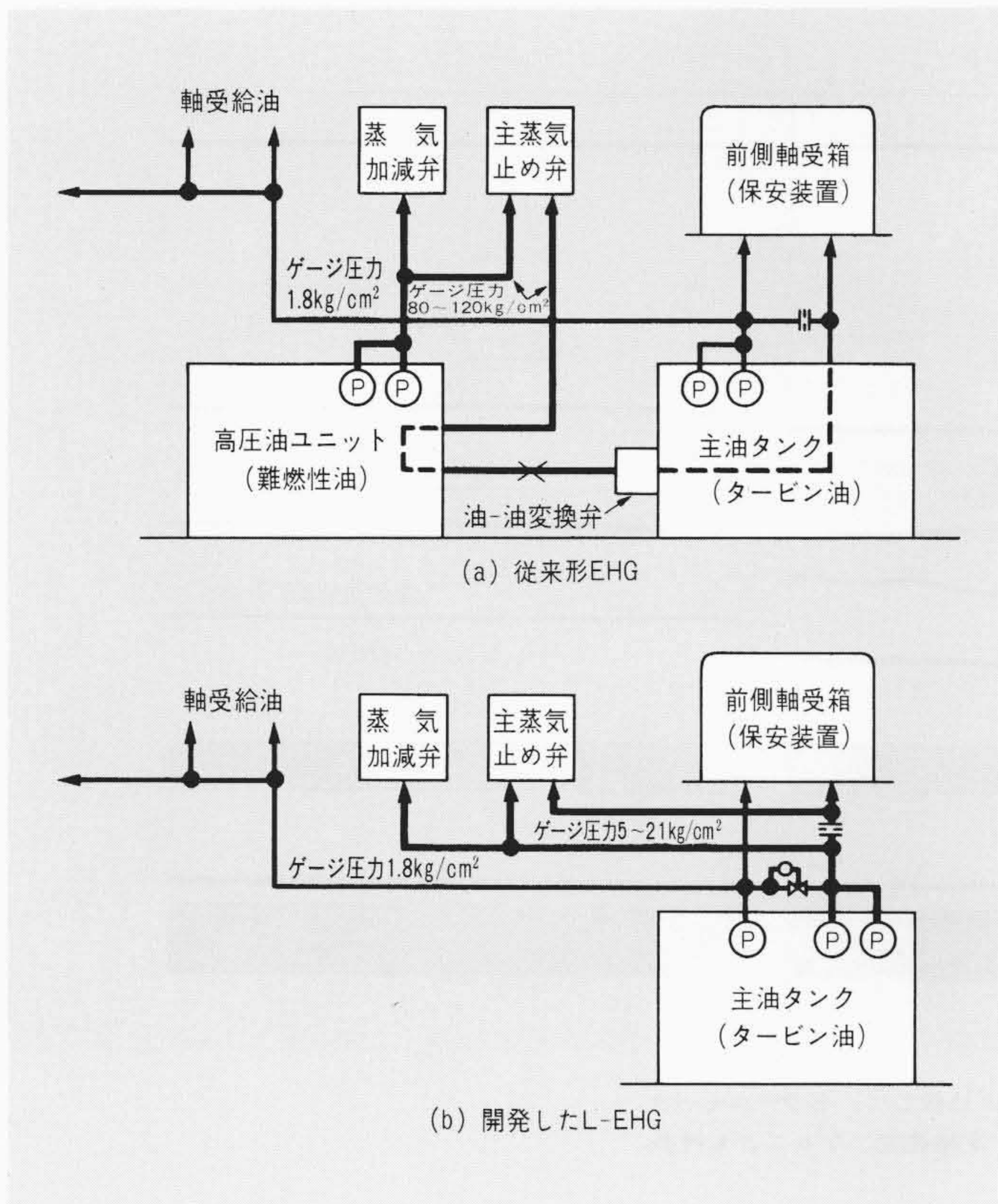


図8 L-EHGと従来形EHGの油系統の比較 L-EHGでは潤滑油設備の油圧を使用するために、従来の高圧油圧を用いたEHGに比較して、高油圧ユニットが不要となる。

度の良いガバナとして蒸気弁の高速応答性を要求されない比較的中小容量の蒸気タービンの制御に適している。

表2 従来のガバナとの比較 小容量の産業用タービンでは、L-EHGが適している。特に運転後のメンテナンスがかからないことと将来への融通が利かせられることである。

区分	ガバナ形式			備考
	項目	L-EHG	MHG	
油部	使用油種	タービン油		L-EHGは、低圧のタービン油が使用できる。
	制御油圧kg/cm ²	低圧 5~21	高圧 80~120	
	制御配管材質	鋼管	ステンレス	
	制御油機のメンテナンス	容易	やりにくい	
機能	応答性と精度	優	普通	—
	多様化への応用性	優	困難	
	自動化への適応性	優	困難	
	総括したメンテナンス	容易	普通	
一般	制御部の大きさ	小	大	—
	装置及び部品数	MHGの約1/2以下	基準	
	予備部品数	少ない	少ない	
	納期	短い	普通	
適用タービン	適用タービン	約100MW以下の産業用タービン及び非再熱タービン	産業用から事業用まで各種	L-EHGは中小容量用に適当である。
	総合評価	主に産業用向けに小形で割安となる。	普通ただし、機能に限界がある。	

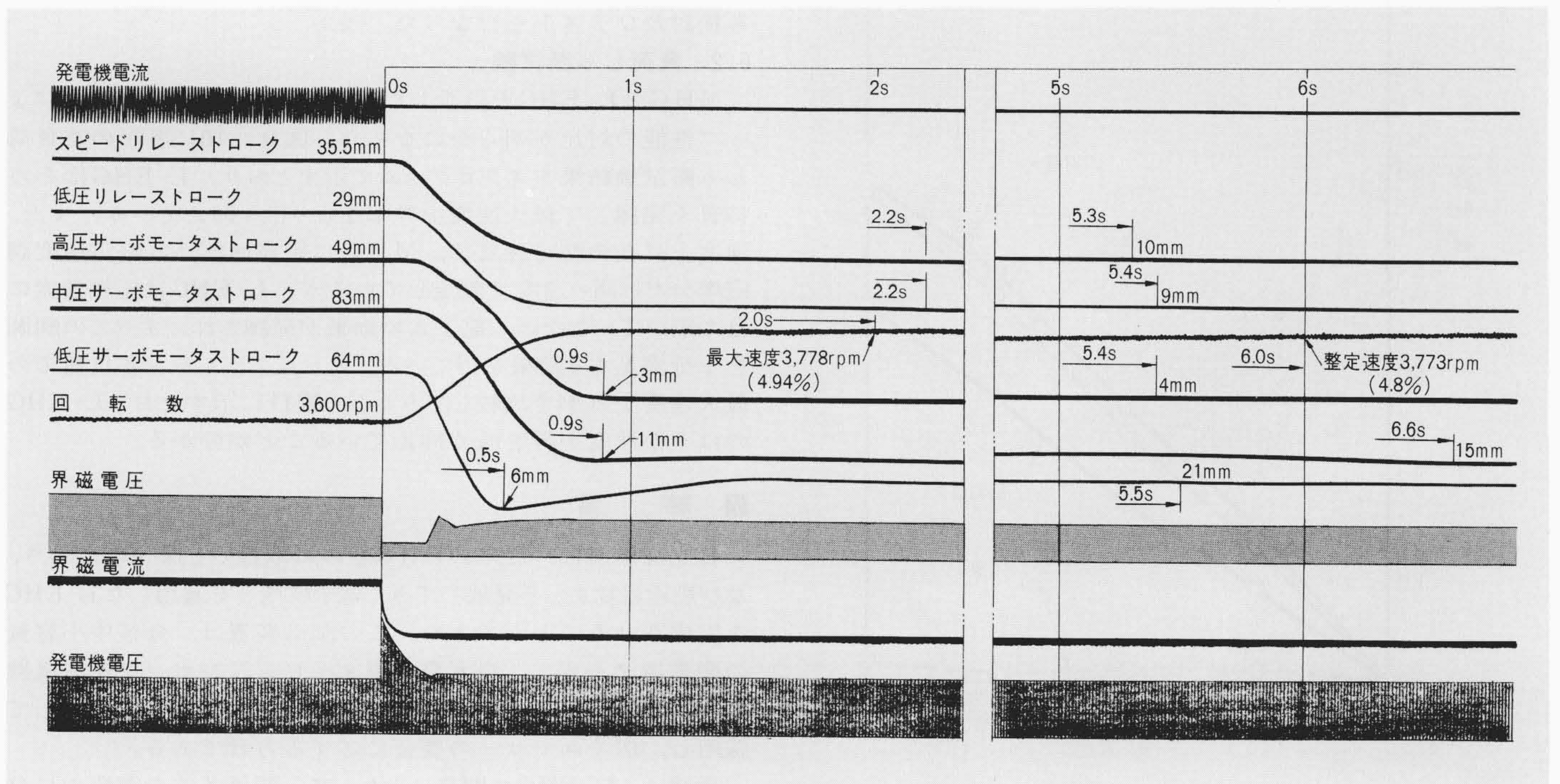


図9 MHGによる1/4負荷しゃ断試験記録(昭和53年1月24日) 負荷しゃ断直後の各サーボモータ閉鎖時間が、L-EHGより長い。瞬時最大速度上昇率は4.98%である。

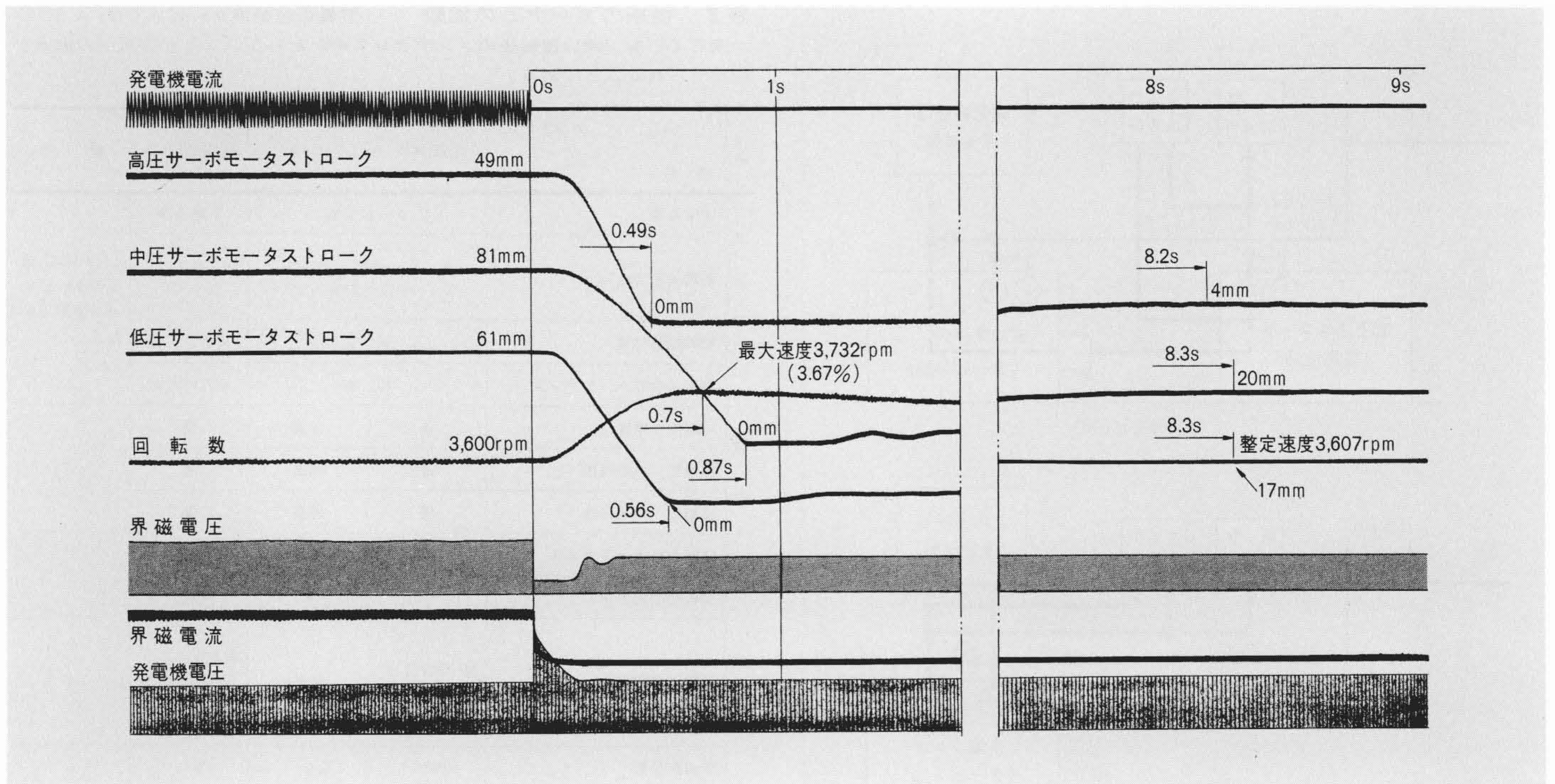


図10 L-EHGによる $\frac{1}{4}$ 負荷しゃ断試験記録(昭和53年1月24日) MHGと比較して、各サーボモータの閉鎖時間が速いため最大速度上昇率を3.67%と低く抑えている。また、整定速度が定格速度になることも特長である。

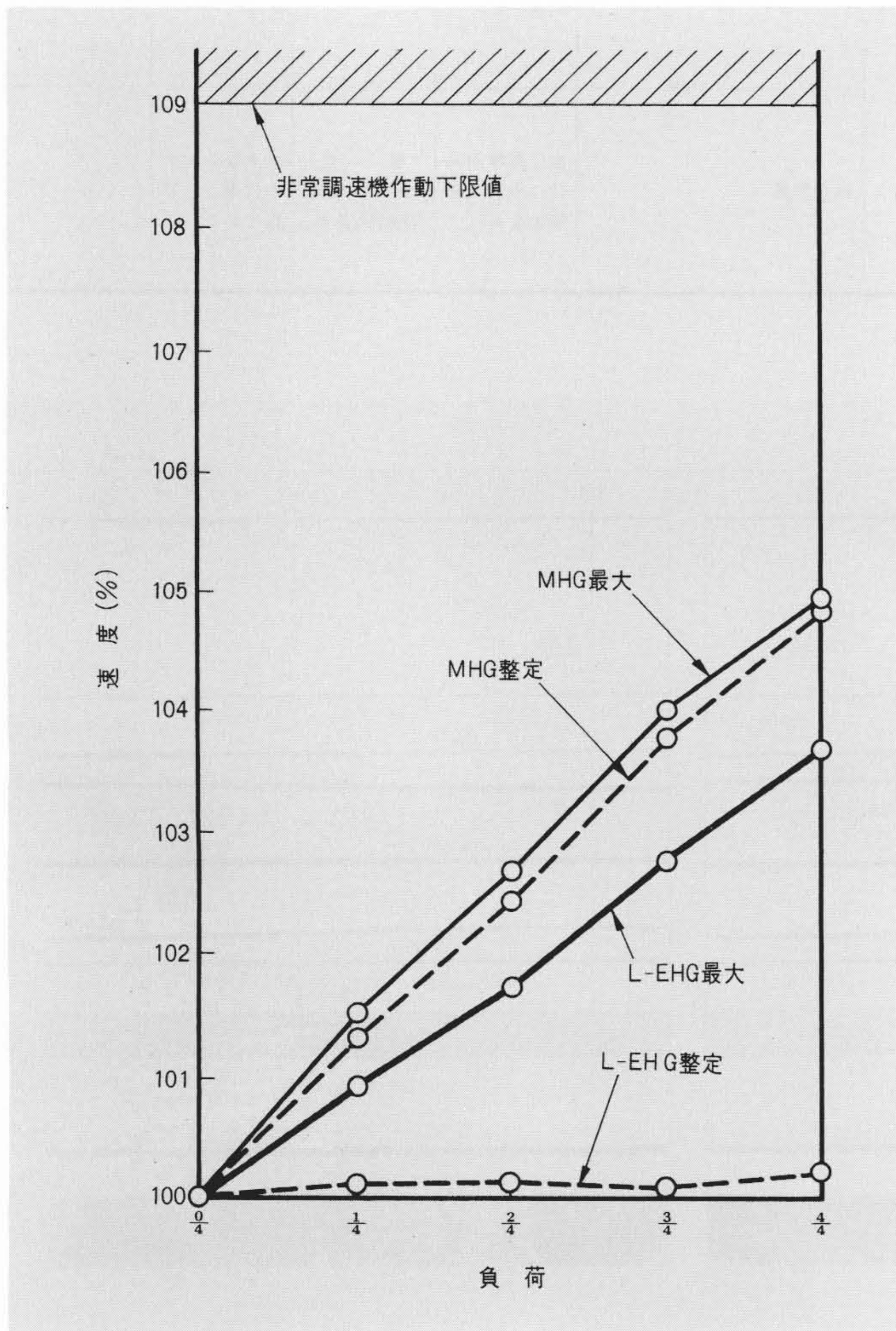


図11 負荷しゃ断試験の速度上昇率比較 全負荷範囲でL-EHGの性能が優れていることを示している。

6 試験結果

6.1 単独試験

工場出荷前に検出器、演算回路及びアクチュエータ共できるだけ実機に近い状態で、単独試験及びシミュレーションテストを行なった。特にシミュレーションテストでは、高圧(H P)、中圧(I P)、低圧(L P)各3系列の加減弁への最適な信号分配を行なわせるための調整テスト、ノイズテスト、保護回路のシーケンステストなど、約2箇月にわたってすべての面から検討及びテストを行なった。

6.2 負荷しゃ断試験

MHGとL-EHGを併設したので各々の負荷しゃ断試験によって性能の対比が明らかになった。図9、10に各々の $\frac{1}{4}$ 負荷しゃ断試験結果をオシログラムで示すとおり、L-EHGはその特質を発揮して最大速度上昇率をより低く抑えている。また、速度上昇後の整定速度で、MHGは定格速度より整定速度調定率分だけ高い速度で整定しているが、L-EHGは定格速度に落ち着いているなど、電子式の効果が発揮され、すべての制御を十分満足する結果を得ている。オシログラムから各負荷での最大速度上昇率を比較してみると、図11に示すとおりL-EHGのほうが速度上昇を低く抑えていることが分かる。

7 結 言

日立製作所は、従来のEHG並みの取扱いと保守の容易さ、及び最近目覚ましく発展してきた電子技術とを適用したL-EHGを完成させることができた。この制御装置は、今後中小容量の産業用タービン、自家発電用タービン及びポンプや送風機を駆動するメカニカルドライブタービンの制御を主流として採用し、広くユーザーの要望に応ずる方針である。

最後に、L-EHGの開発に当たって、関係各位の御協力に負うところが極めて大きく、完成に至るまでの絶大な御指導に対し深謝の意を表わす次第である。