

大規模アナログ制御装置の診断システム

Diagnostic System for Large-scale Analog Control System

自動制御システムは、プラントの中核的役割を担うものだけに、その変調を早期に診断して、事故予防に供していく診断設備が要請されるようになった。これに応じて電力プラントや産業プラントなどの大規模なアナログ自動制御システムを対象とした診断システムを開発した。本診断システムは、マイクロコンピュータ技術を駆使して、制御システムの変調箇所を診断・表示し、運転員の迅速で的確な対応操作に供するほか、トラブルシューティングのガイドも行なうものであり、現地実証試験を通して所期の成果を挙げつつある。本稿では、診断システムの試験結果を含め、その概要について述べる。

飯岡康弘* Iioka Michihiro

射場大造* Iba Daizo

栗原伸夫** Kurihara Nobuo

1 緒 言

プラントの中核的役割を担う自動制御システムは、プラントの大容量化に伴う機能の多様化と複雑化により、規模拡大の傾向を強めている。これに伴い、制御システムがプラントの運転に及ぼす影響もより大きくなってきており、高信頼度の制御装置が要請されてきた。この要請にこたえて、これまで制御装置のハードウェアの信頼性向上と、設計に当たってシステム面からの保護処置を徹底するなどの耐力強化を行ない、制御システムの高信頼化を図ってきた。

一方、制御システムと人間とのコミュニケーションをより容易とし、制御システムの微小な変調などを早期に診断して、事故予防的に的確な対応処置に供していく診断設備の開発が要請されるようになった。

このほど、電力プラントや産業プラントなどの大規模アナログ制御装置を対象とした診断システムを、関西電力株式会社と日立製作所の共同研究により開発した。本診断システムを稼動中のプラントに適用して現地実証試験を実施し、その性能及び効果を確認している。

2 背景と開発方針

大規模アナログ制御装置は、ハードウェアとシステム両面から高信頼化が図られ、安定したプラントの運転に貢献してきた。制御システムの規模拡大を背景として診断設備の必要性が増大してきたが、本診断システムは、マンマシンコミュニケーションをより密接なものとする運転・保守性の向上を

ねらいとする。

設備診断の観点から制御システムのもつ特性を分析し、診断システムがとるべき方向を図1に示すように設定した。その主要な背景と要件について次に述べる。

2.1 制御システムの規模拡大

プラント負荷追従制御という制御システムに課せられた本来の機能のほかに、プラント起動・停止時の自動運転や電力系統異常時のファーストカットバック機能などが加わるにつれて、これを構成するハードウェアが量的に膨張する傾向を強めている。例えば、大規模なアナログ自動制御システムでは、キャビネット面数で8～10面、演算モジュール数で400～550個に達するものがある。このような大規模アナログ制御装置は、これまで高信頼化が図られ、プラントの中核として重要な役割を果たしてきた。更に、この大規模な制御システムに対して診断設備を付加することにより、制御システムの微小な変調をも早期に検出して豊富な診断情報を提供し、運転員の的確な対応処置を促して、より高い信頼性を得ることが重要となってきた。

2.2 波及範囲の拡大

最近のプラントの自動制御システムは複数の制御ブロックを階層的に積み上げ、これらが相互に密接に関連した大きな協調制御システムを構成している。このため、制御システムの一部に変調をきたした場合には当該ブロックのほかに、関連するブロックも影響を受ける場合があり、その起点が上位

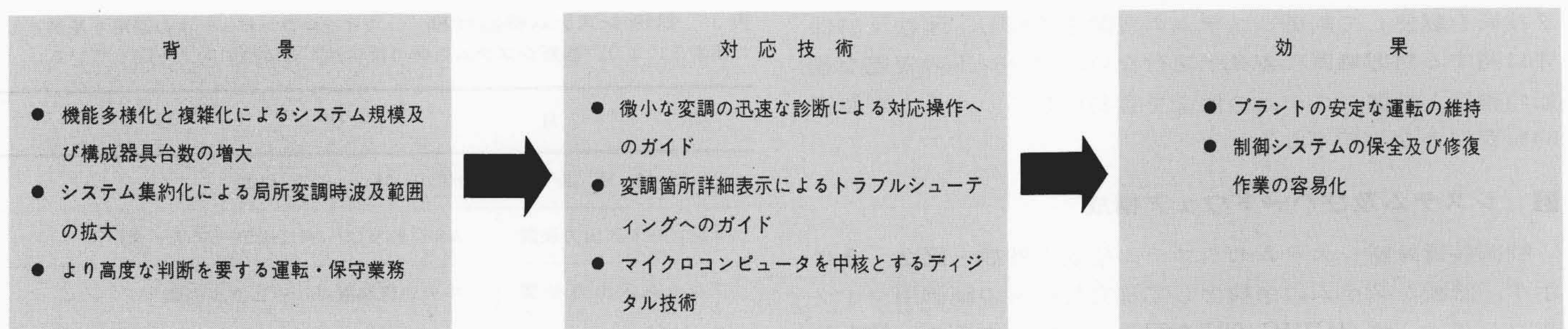


図1 診断システムの基本方針 自動制御システムの複雑化、規模拡大に対処し、マイクロコンピュータによる診断によって対応処置のガイドを行なう。

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所日立研究所

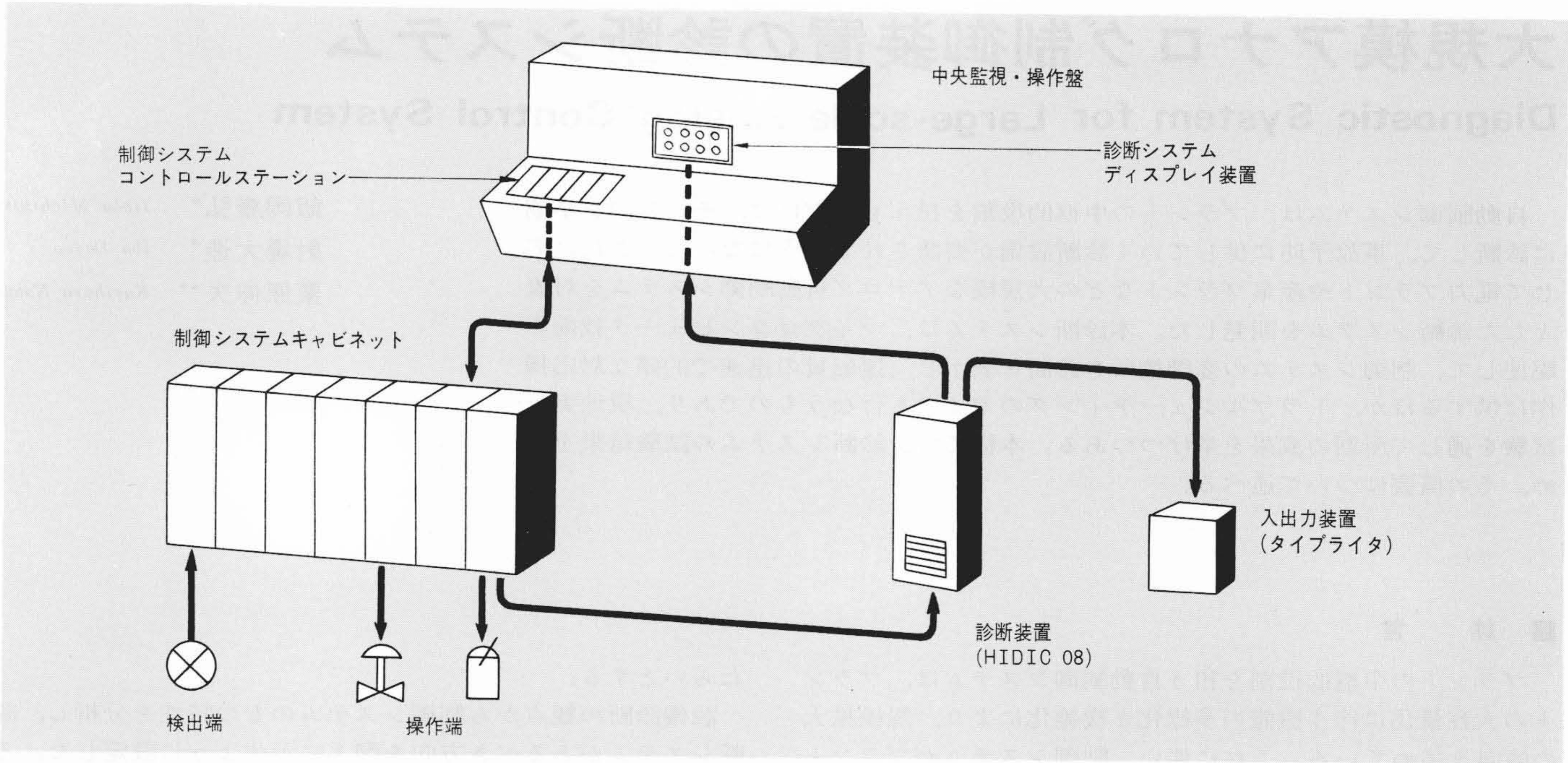


図2 診断システム構成 診断システムの中核として制御用マイクロコンピュータを配し、制御システムの挙動を常時監視し、変調情報を中央のディスプレイ装置とタイプライタに表示する。

ブロックの場合には変調が下位ブロックに対し樹枝状に拡大していく傾向がある。また、下位ブロックの変調といえども、それがプラントの主要プロセス量を制御している場合には、制御システム全体に影響を与えることがある。

このため、変調ブロックを即刻判定して、これをシステムから切り離して波及防止を図るとともに、回復操作を行なうなどの処置が要請される。

2.3 高度な判断を必要とする対応処置

制御システムに変調が生じた場合、運転員は中央監視制御盤上の各種情報から判断して、変調ブロックを突き止め、手動運転などによる対応操作を行なう。しかし、このような状況で運転員は迅速かつ高度な判断を行なって、的確な処置をとっていく必要があり、その判断にはかなりの熟練を要すると言えよう。

制御システム変調の原因となるハードウェアの摘出の段階では、数多くの演算モジュールの中から変調状態を示すモジュールを探し出す作業を必要とし、その探索とシステムの修復には保守員の的確な判断を必要とし、かなりの時間を要することがある。このため、判断能力をもつマイクロコンピュータ技術を駆使して制御システムの変調を診断し、運転及び保守に関する対応処置のガイドを行ない、プラントの安定な運転の維持と制御システムの保全を容易にしていくことが基本的な要件となってくる。

3 システム及びハードウェア構成

制御装置診断システムのシステム構成と外観を図2、3に示す。診断システムの中核として日立製作所の制御用マイクロコンピュータ(HIDIC 08)を配し、制御システムと結合して同システムの時々刻々変化していく挙動を常時監視する。制御システムに変調が発生した時には、当該制御ブロックのほか、波及を受け手動運転に移行させるべきブロックを中央監視制御盤上のディスプレイ装置に警報表示し、対応措置へのガイドを行なう。同時に、別置の入出力装置に変調当該ブ

ロックの診断結果の詳細情報をタイプアウトし、制御システムの保全と修復作業に供する。

本診断システムの診断機能構成を図4に示す。制御システムからの信号は、診断方式(3種)別に演算処理される。シミュレーション法とクロス照合法については、演算結果とこれと対応するアナログ制御信号との相関が監視されている。これらの演算・監視結果とあらかじめ設定した判定値との照合を行ない、変調の有無が判定され、変調がある場合には、次のステップで変調箇所などを識別して、その内容を警報表示及びタイプアウトする。

本診断システムの機器仕様を表1に示す。同システムはマイクロコンピュータを採用し、コア16k語、入出力点数を各数十点程度に抑えるなど、極力簡素化して診断システム自体の信頼性、経済性の向上を図っている。

ディスプレイ方式としては、運転員情報用に通常の中央監視制御盤の警報表示方式と同様の照光ランプ表示方式を、保守員情報用にタイプライタによる印字方式を標準として適用した。

表1 診断システム機器仕様 マイクロコンピュータの適用を基調とした簡素化により、診断システム自体の信頼性と経済性の向上を図っている。

項 目	仕 様
中 央 処 理 装 置	HIDIC 08 コア16k語
コンソール入出力装置	ASR-33及びPTR (紙テープリーダー)
プロセス入出力装置	中央処理装置キュービクル内蔵
ア ナ ロ グ 入 力	64点
デ ィ ジ タ ル 入 力	56点
デ ィ ジ タ ル 出 力	31点
デ ィ ス プ レ イ 装 置	照光ランプ表示式

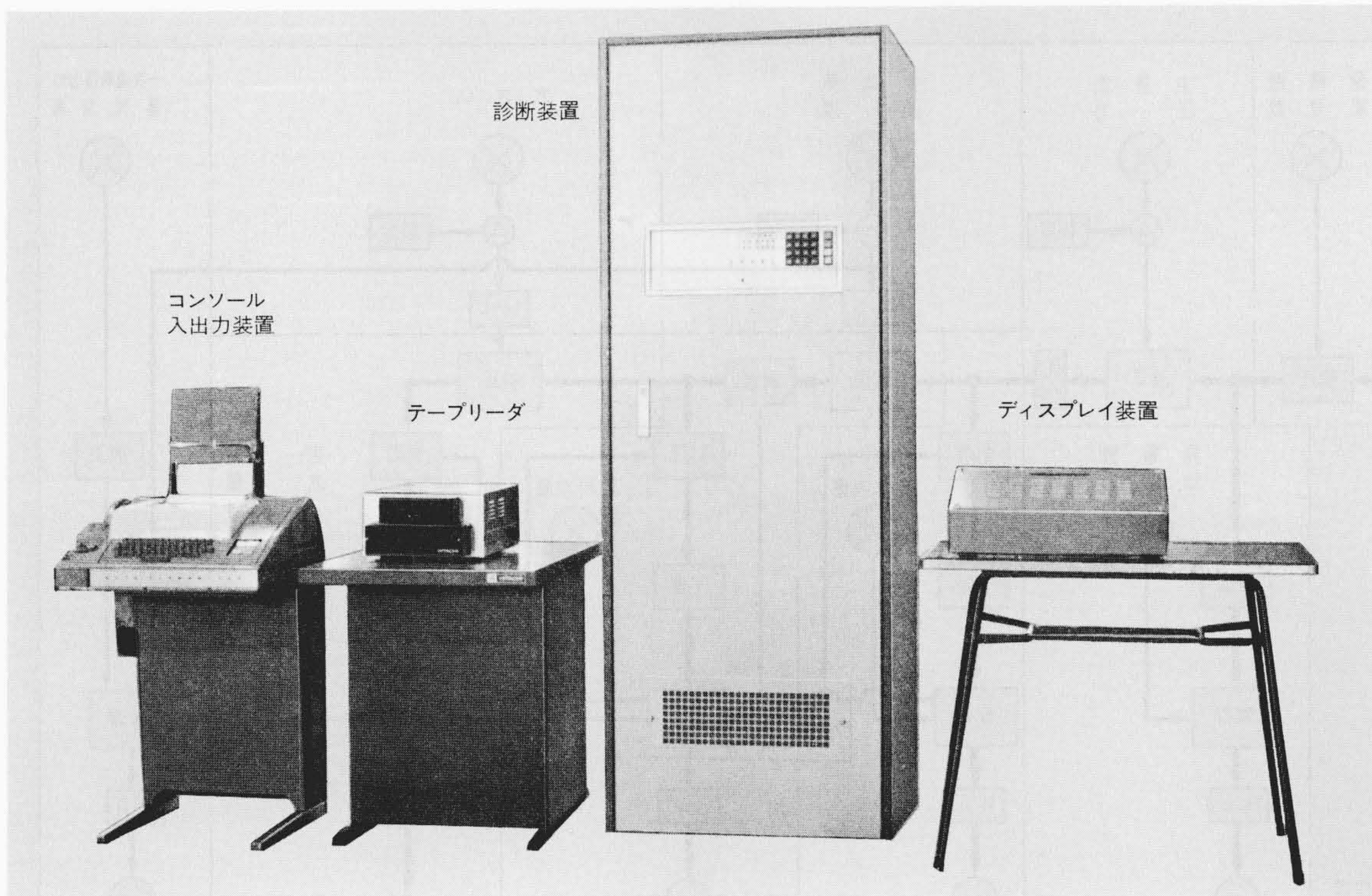


図3 診断設備の外観
中央処理装置(HIDIC 08)とプロセス入出力装置がキュービクル1面に収納され、照光ランプ表示パネル、コンソール入出力装置及びテーブリーダがマンマシンインタフェースに供せられる。

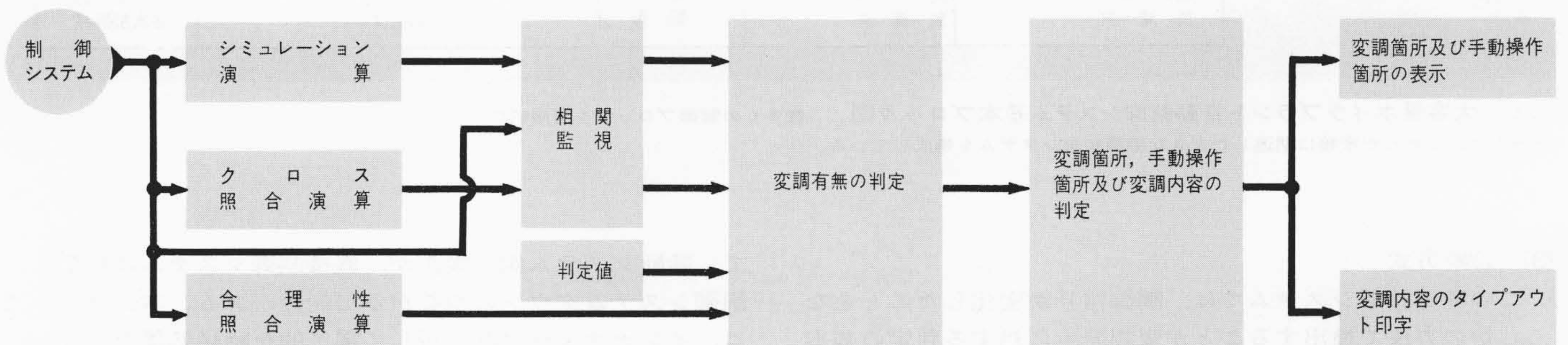


図4 診断システムの機能構成
異種の診断方式を組み合わせた複合診断により、広範囲なシステムを対象とした高感度・高速診断を行なう。

4 システム計画上の重点項目

制御装置診断システムの開発に当たり、迅速かつ的確な対応操作と制御システムの保全を容易とすることを最重点とし、コストパフォーマンスと信頼性の高いシステムの実現を指向した。特に考慮を払った主な項目について大容量ボイラプラント自動制御システム(基本ブロック図：図5)への適用を例にとり次に述べる。

(1) 診断範囲

制御システムを構成するハードウェアには、量的に多くシステムの中核となる演算モジュールのほかに、現場の厳しい環境下に設置される検出端・操作端があり、いずれの箇所の変調といえどもプラントのプロセス量に同程度の影響を与えることがある。制御系統別には、そのハードウェアの変調が短時間内に直接プロセス量変動へと波及する制御ブロック(給水、燃料系統ほか)と、比較的緩慢にプロセス量変動となって現われるブロック(蒸気温度系統ほか)とがあり、その程度に差はあるが、いずれも早期に対応処置していかねばならない対象である。

これらの特性を踏まえて、診断対象として電源系統を含め、

プラントの自動運転に常用される制御システム全体をカバーすることとした。

(2) ブロック区分と表示内容

変調発生時対応処置の難易は、大規模な制御システムをいかに区分して診断・表示するかに左右される。運転操作上からの基本要件は、変調当該ブロックと波及するブロックとを即刻把握できて、手動運転によりこれらの回復操作ができることにある。制御システムは図5に示すように、各制御系統の節に相当する箇所に手動/自動切替・操作器をもち、通常運転時及び変調発生時での運転員の介入を可能としている。

本診断システムは対応操作へのガイドに重点をおき、手動介入操作区分ごとに制御システムのブロック分けを行なうことを基本として、変調当該ブロックだけでなく手動運転に移行すべきブロックをも診断して表示することとした。同時に、変調当該ブロックの詳細内容も表示して、トラブルシューティングへのガイドにも供していくことを指向している。ブロック区分の細分化によりトラブルシューティング範囲の極小化を図れるが、制御システムと診断システム間のインタフェース点数が増大し、信頼性と経済性を低下させる方向となるので、両者の協調をとったブロック区分を行なった。

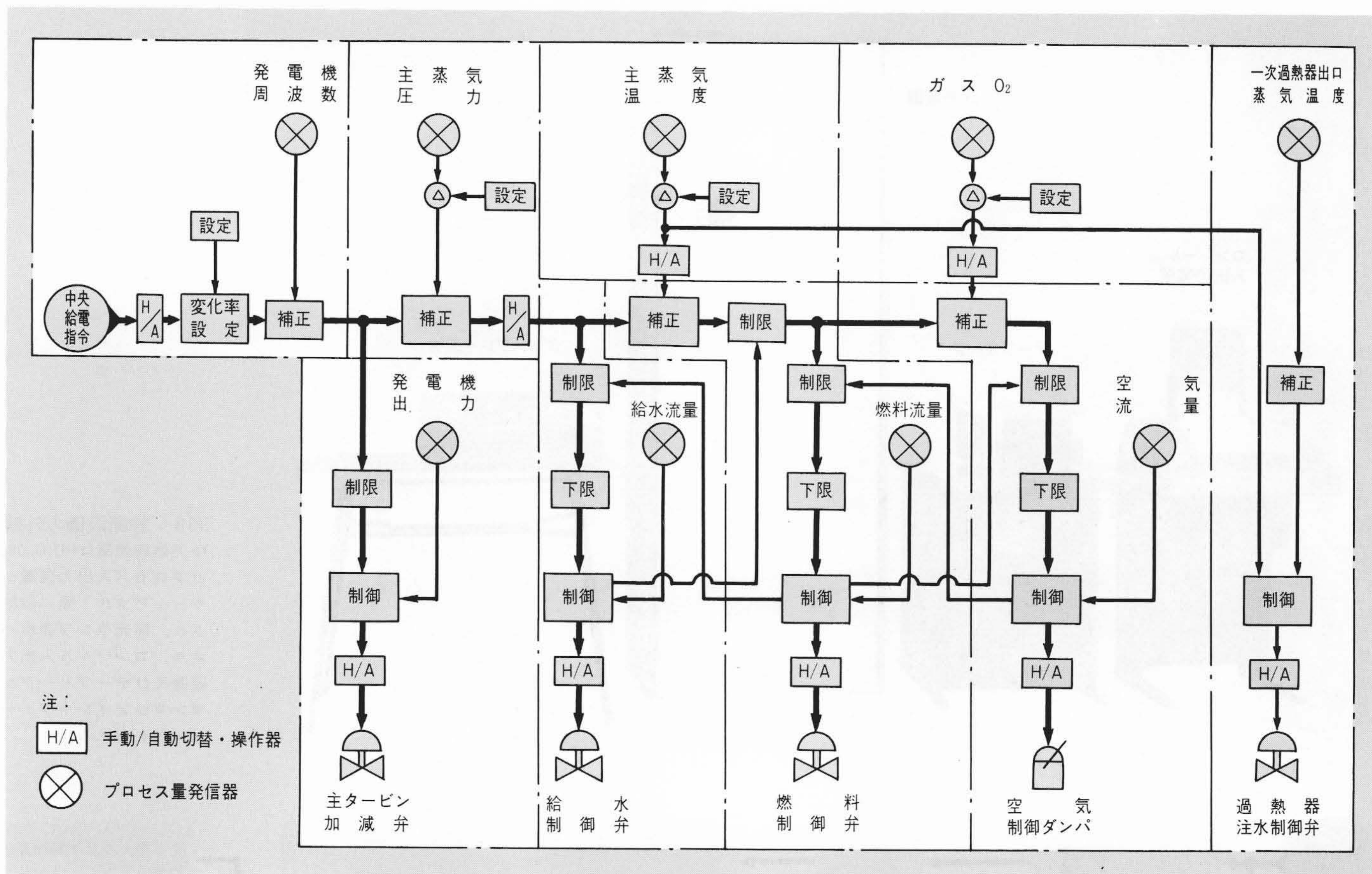


図5 大容量ボイラプラント自動制御システム基本ブロック図 数多くの制御ブロックを階層的に積み上げ、これらが密接に関連した大きな協調制御システムを構成している。

(3) 診断方式

この種の診断システムでは、制御信号が変化したことをなんらかの方法で検出することが変調発生に対する判定の基本となる。しかし、制御信号は負荷指令などにより常に変化しており、正常と不調信号とが類似しているため、これらを的確に識別していかねばならない。

本診断システムでは、マイクロコンピュータにより制御システムをシミュレーションし、アナログ制御信号とシミュレーション結果との相関を同コンピュータにより照合監視する方式を採用している。本方式は、制御信号の変調を高感度で迅速に検出できる特長をもっている。

このシミュレーション法を補足する形で、合理性照合法とクロス照合法を併用した。前者は、アナログ制御信号が恒常的にもつ挙動特性に照らして異常な動きをしたことをもって診断し、後者は、相関関係をもつ制御信号間に異常な差が生じたことをもって診断する方式であり、共に制御システムの広い範囲にわたって統括的に診断できる特長をもっている。これら異種の診断方式を組み合わせた複合診断により、広範囲なシステムを対象とした高感度・高速診断を実現している。

(4) 診断時間

診断の所要時間は、対象プロセスによってその程度に差があるが、本診断システムは高速診断に特に重点をおき、1秒以内に診断表示し、同時にタイプアウトするように設計した。

(5) 診断対象とのインタフェース

診断システムの付加によって、制御システム自体の信頼性が低下することは許されない。ここで、両システムは情報交換のインタフェースをとるため密接に結合することになるの

で、診断システム側の異常が、直接制御システムに影響し、制御システムダウンにつながる可能性がある。本システムでは、インタフェース部に対して電氣的な絶縁処置を行ない、制御システムへの異常波及を防止するとともに、制御システムがオンライン中といえども診断システム側の保守ができるようにした。

このほか、診断装置自体を自己診断する方向からの信頼性強化を図っている。

(6) 機能の拡張性

デジタル装置がもつ論理演算能力を活用し、診断以外の機能を付加することにより、用途に広がりをもたせていくことは、コストパフォーマンス向上の面から有効である。

マンマシンインタフェース面において、CRT(Cathode Ray Tube)を用いて、変調時における運転・保守上の情報を集約化し、より密度の濃い情報を提供していくことや、トラブル解析において、制御システム又はプラント異常時、主要なプロセス量の時系列的变化を表示させ、その第一要因の究明と順位分析に役立たせることが考えられる。本診断システムは、将来のこのような機能拡張に対応できる柔軟性をもっている。

5 試験結果

本診断装置を制御システムと組み合わせて診断試験を実施し、所期の性能を満足することを確認した。主な試験結果について次に述べる。

(1) 工場試験

プラント及び制御システムが稼動状態としての診断試験に

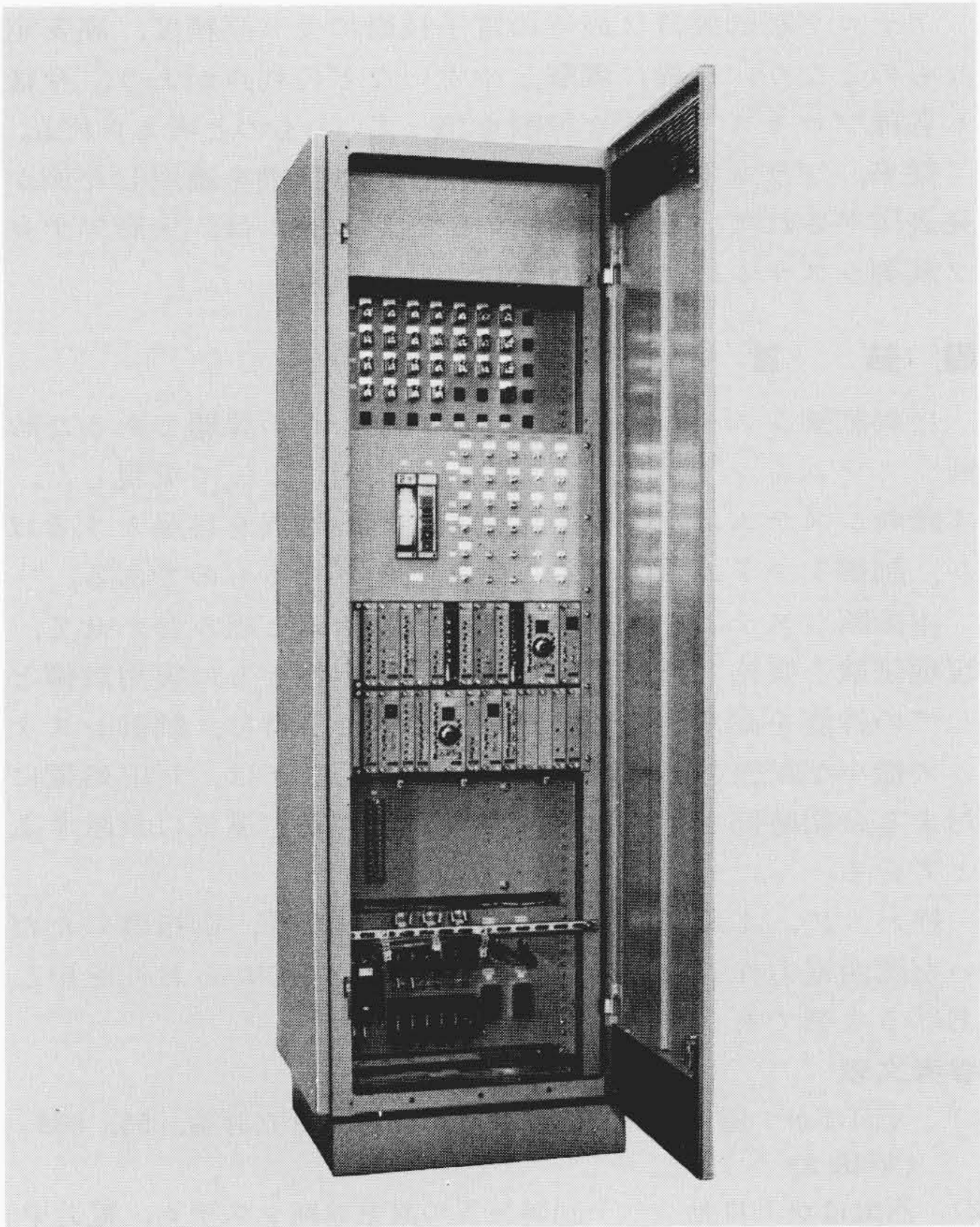


図 6 診断試験用制御装置シミュレータ 診断試験専用のシミュレータと組み合わせて、工場段階で多角的な試験を行ない、診断システムの性能を確認してから出荷する。

はおのずと制約あるので、工場段階で多角的な諸試験を実施しておくことが肝要となる。このため、診断試験専用の制御装置シミュレータ(図 6)を本開発の中で併行して製作した。

大形アナログ制御システムの一部を、同シミュレータに組み込み、これに診断システムを組み合わせて実施した診断試験結果の一例を図 7 に示す。これは図 2 の燃料制御ブロック内で下限演算モジュールをシステムから引き抜いた場合のもので、制御弁操作信号とこれに対応したシミュレーション信号との挙動、及び診断結果のタイプアウト内容が示されている。演算モジュール引抜き後、1 秒以内に診断し、燃料制御ブロックが異常であることを警報表示するとともに、燃料制御弁操作信号と給水制御弁操作信号との相関、及び燃料流量とボイラマスタ信号との相関にも偏差が生じたことをタイプアウト表示している。

表 2 実証試験対象プラントと制御システムの概要 本診断システムを稼動中のプラントに持ち込み、実運転状態で診断試験を実施した。

No.	項 目		内 容
1	ボ イ ラ 仕 様		超臨界圧貫流ボイラ 重原油焚き 1,380 t/h
2	制 御 システム	ハードウェア	アナログ形電子式
		制 御 信 号	-10 ~ 0 ~ +10V
		制 御 方 式	協調制御方式

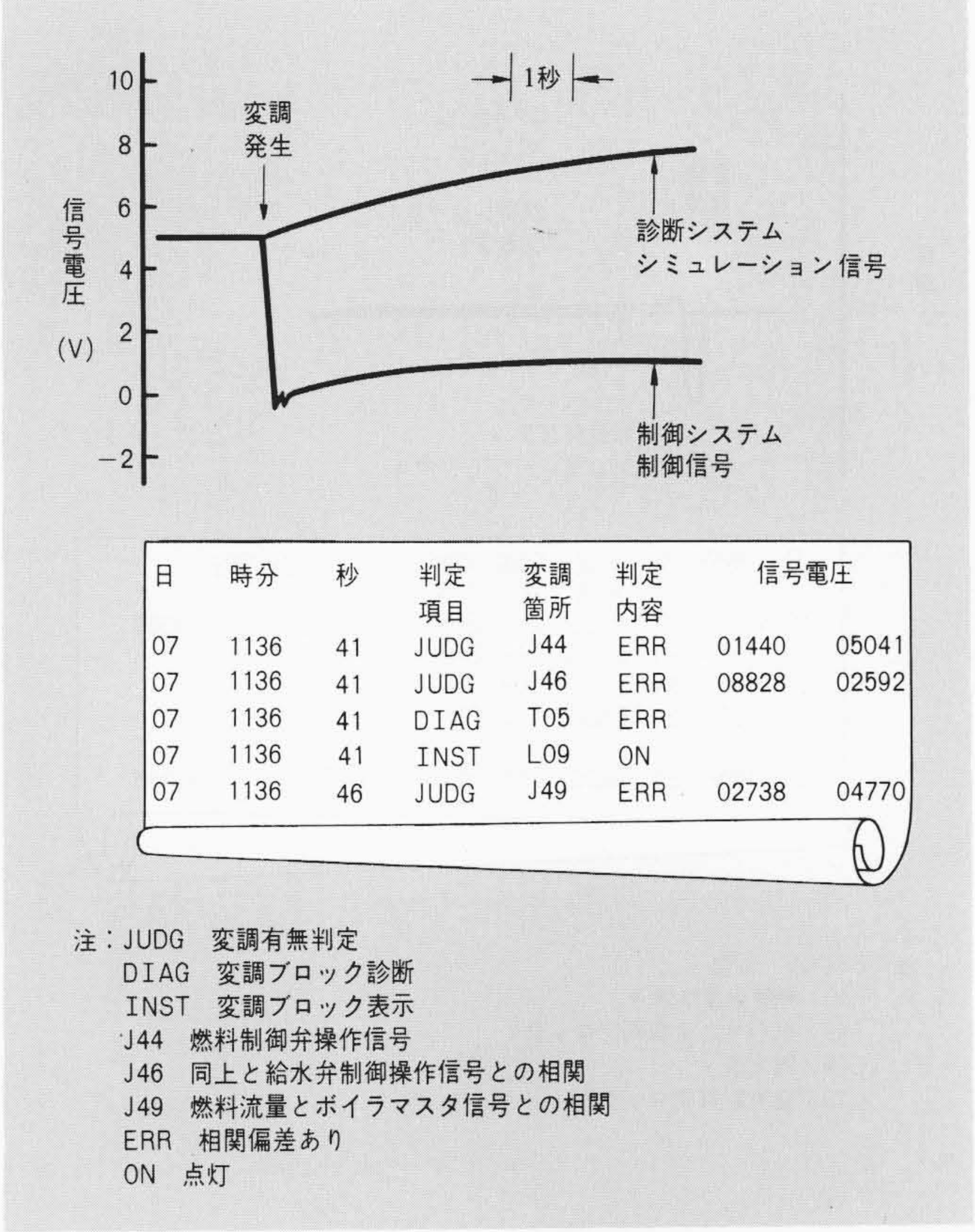


図 7 シミュレータとの組合せによる診断試験結果 シミュレータでの変調を1秒以内に検出し、変調ブロックを警報表示するとともに、その詳細内容をタイプアウトしている。

(2) 現地試験

本診断システムの実証試験のため実プラントに持ち込み、プラント及び制御システム(表 2 にその概要を示す)を稼動状態において、制御システムに対して、人工的に変調を発生させる診断試験を実施した。本試験は、プラントを50%負荷一定とし、制御システムを全自動運転として、制御システムの主制御ラインにステップ状の外乱信号を注入する形で行なわれた。その一例を図 8 に示す。これは図 2 の燃料制御ブロック内の燃焼率指令信号ラインで微小な変調(高さ3.8%, 幅1.0 秒のステップ状ノイズ)を発生させた場合のものである。燃焼率指令信号が急激に変化したことを診断し、異常ブロックと波及を受けた空気制御ブロックを警報表示して、運転員の対応処置を求めている。

なお、実証試験当初、特異な運転条件下で診断システムが作動することを経験した。これは合理性照合法における判定設定値が調整過程にあったことによるものであり、このような運転状況下での実測データから設定値の最適化を図った。

6 適用範囲

本診断システムは、プラントの大規模アナログ制御システムを主な対象としているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、一般のアナログ式自動制御システムにも適用できる。主な適用例として、火力発電プラント自動制御システム、原子力プラント制御システム、化学プラント及び上下水道などの産業制御システムなどがある。

なお、プラント内の主要な自動制御システムを総括してとらえ、これらを横断的に監視していくことも有効であろう。

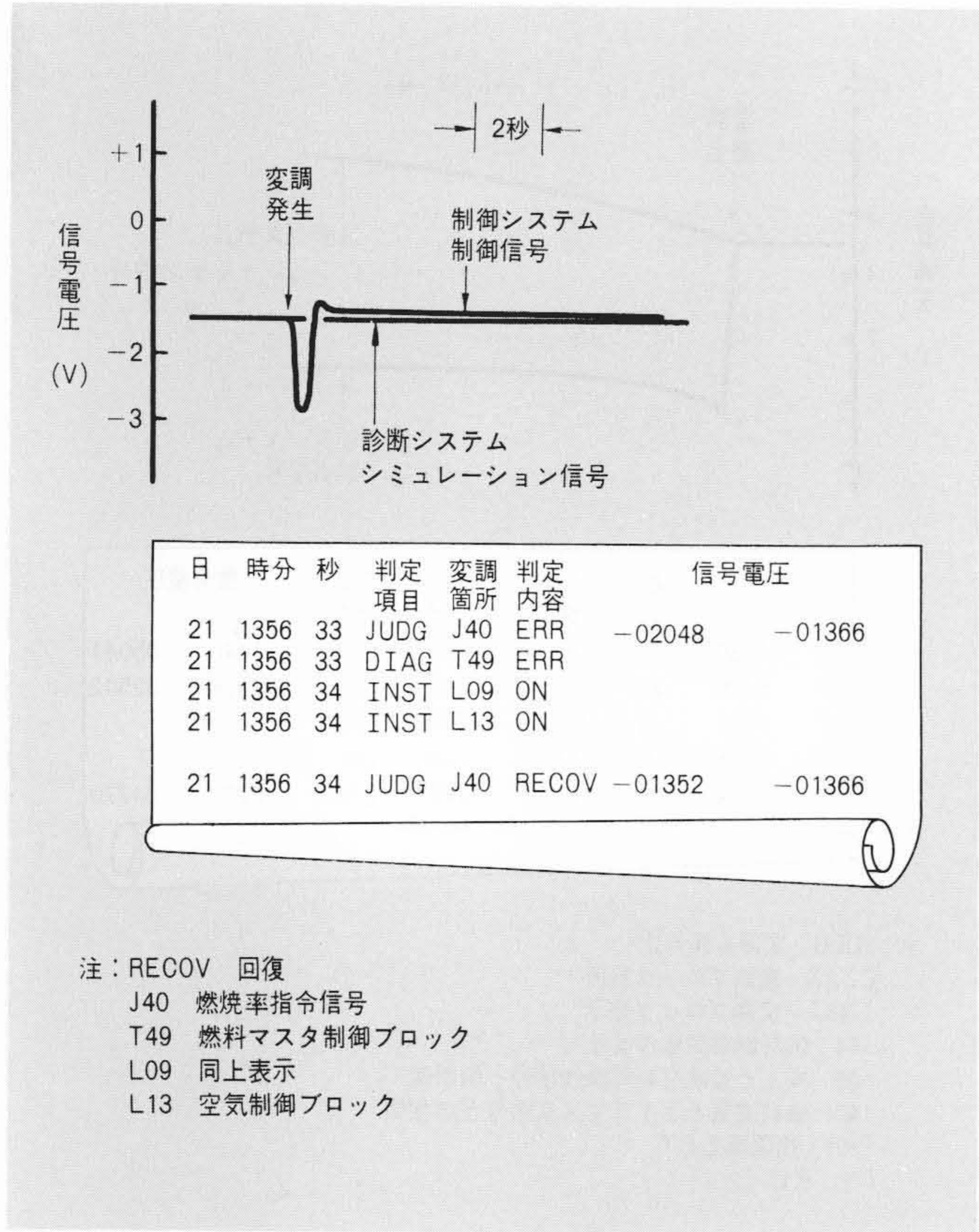


図8 プラント運転下における診断試験結果 燃焼率指令制御ラインに発生した微小な変調を診断し、当該ブロックと波及ブロックの手動操作への移行を求めている。

アナログ制御装置は最近の電子技術により高精度、高安定なものとなり、一般に理解しやすいなどの利点があり、今後も各種プロセスで重要な役割を担っていくものと考えられる。

従来、プラント診断システムなどに計算機を適用した例が発表^{1)~3)}されているが、本稿の診断システムは、大形アナログ制御システムに注目した点に特徴がある。

7 結 言

自動制御システムの分野で、かねてからの課題であった診断システムをマイクロコンピュータ技術によって実現した。本診断システムは、運転・保守上の対応処置を容易とするほか、制御システムの耐力を一段と強化させるものである。

本診断システムを稼動中の制御システムと組み合わせて、現地試験を実施した結果、応答性、安定性ともに実用設備としての性能を満足することが確認できた。特に、制御システムの微小な変調を1秒以内に診断できたことは、対応処置に対する余裕時間を生み出し、プラントの安定運転に貢献すると思われる。

終わりに、本診断システムの開発に当たり、御指導いただいた関西電力株式会社の関係各位に対して心からお礼を申しあげる次第である。

参考文献

- 1) 大沢ほか：原子炉異常診断装置の開発，日立評論，55，839（昭48-8）
- 2) 西山ほか：自動バーナ制御装置の異常診断システム，電力中央研究所，研究報告第74119号（昭50-9）
- 3) 中野：プラントオンライン信頼性管理（火力プラント設備診断システム），計装，Vol. 19，No. 1（昭51-1）

論文抄録

回転機用マイカ絶縁の課電劣化特性

日立製作所 津久井 勤・高橋源治・他1名
電気学会論文誌 96A-10, 463 (昭51-10)

回転機器などの固定子コイルの絶縁組織を開発するに当たって、必要な寿命評価試験のうち、課電劣化試験から見た寿命評価について次の事項につき検討し考察を加えた。

- (1) 絶縁構成の違いや樹脂含浸の程度が課電劣化特性に与える影響について
- (2) 絶縁層の破壊経路の詳細な観察と課電劣化特性との対応性について
- (3) マイカ絶縁構成とプラスチックフィルム絶縁構成との課電劣化特性の比較について

なお、上記の特性の検討に当たって、その表示法として、両対数表示をとるとともに、ワイブル確率紙を利用してデータ整理を行なうことにより課電劣化機構考察の一助とした。

以上の検討の結果、得られた主な内容は次のとおりである。

- (1) 電界の強さが小さい領域における課電劣化特性を求めるためには長時間を必要とするので、高周波による周波数加速を行なう必要があるが、500Hz～1.5kHzでも商用

周波との等価性が得られることが分かった。

- (2) マイカ絶縁の課電劣化特性で、この特性を両対数表示すると、プラスチックフィルム絶縁で見られたような3段階に分けて変曲（第1～第3の領域がある）する特性が集成マイカコイルで見られたが、フレークマイカコイルでは第2領域がなかった。また、両コイルに見られる第1領域では、ワイブル分布における初期故障形か偶発形破壊を示し、第2領域では摩耗形破壊を示した。また、第3領域では局部的に放電はあっても、マイカ片に阻止されてトリが伸びないか、放電が間欠的となるか、ついには見られない状況で現われると予想される。第3領域の見られる電界の強さは4.5kV/mm以下と推定された。
- (3) 課電劣化特性の第2領域が集成マイカコイルで見られ、フレークマイカコイルで見られなかった理由として次のことが考えられる。集成マイカの場合には、破壊経路をみるとほとんど貫通破壊をしており、コ

イルの沿層方向のクリープ距離はほとんどないことから、導体角部あるいは絶縁層内の微小ボイドからのトリの進展が層方向に見られ、これが起点となって全路破壊に至ると思われる。フレークマイカのほうは、コイルの沿層方向のトリが見られ、これが絶縁層内の弱点部で層方向に伸び、これが起点となって全路破壊に至ると思われる。すなわち、この層方向へのトリの伸びの違いによるものと考えられる。

- (4) ワニス減圧含浸後、加圧硬化するコイル製法をとった場合はもちろん、常圧硬化法による絶縁処理を行なっても集成マイカコイルではその特性の第2領域から、あるいはフレークマイカコイルではその第1領域から判断しても実用的な電界の強さにおける寿命は非常に長い。そのため、電圧による絶縁劣化は寿命的には全く問題にならないと推定される。