

火力及び原子力発電所における異常診断用 計算機システム

Computerized Diagnosis System for Fossil and Nuclear Power Plants

火力及び原子力発電プラントは、電力供給の根幹をなす重要な装置であり、電力の安定供給の点からも高い信頼性が要求されている。このため、発電プラントの異常の前兆をとらえ、事故の未然防止を図り、プラントの高稼働率運転を実現することが切望されている。この一つの方法として、プロセス計算機を用い、プラント各部の状態量を計測し、これに統計処理や周波数分析を施したり、計算機に内蔵したプラントモデルでの計算値と実測値とを比較照合するなどにより、プラント異常の早期発見や原因究明を行なう試みがなされている。

この論文では、火力及び原子力発電プラントの事故防護への計算機の適用に関する最近の動向について概説する。

山崎 莞 介* Yamazaki Kanji
 和泉敏太郎** Izumi Bintarô
 飯田 宏*** Iida Hiroshi
 栗原伸夫**** Kurihara Nobuo
 加藤 監 治***** Katô Kanji
 上下利男***** Jôge Toshio

1 緒 言

火力及び原子力発電プラントは、我が国での電力供給の大部分を占め、電力の安定供給の観点からも高信頼性、高稼働率が要請されている。高信頼性、高稼働率を達成する方法として、プラントを故障しないように設計、製作することはもちろんのことであるが、万一事故が避けられない場合でも異常の前兆を早期にとらえ、防護策により事故を未然に防止したり、事故原因を究明して事故発生後の対策、処置を容易にすることも有益である。以下、この論文では、制御用計算機を火力及び原子力発電プラントの診断に適用した日立製作所の実施例について述べる。

2 火力発電プラント予防保全システム

火力発電プラントへのコンピュータの導入は、これまで主として省力化、プラント性能の向上を目的として推進されてきたが、最近では、プラントの安全性、信頼性の向上に活用されるようになってきた^{1),2)}。火力発電プラント予防保全システムは、プラントの起動、停止あるいは負荷急変などの過

渡運転時に生ずる各種のストレスを監視したり、機器の突発的な故障発生を監視して稼働率の向上を図る総合監視システムである。すなわち、システムのねらいは、図1に示すように、常態時の事故の予防制御あるいは異常兆候の抑制のための情報を提供することにある。以下、これらのうち代表的な監視例について述べる。

2.1 予防保全システムの機器構成

予防保全システムの対象は、火力発電プラントを構成する多種多様な機器のうちでも設備全体の稼働率に及ぼす影響の大きさから、ボイラ、タービン及び発電機の主機が中心となる。図2に予防保全システムの機器構成を示す。適用するコンピュータは日立制御用計算機HIDIC 80とその下位機種であるマイクロコンピュータHIDIC 08である。上位コンピュータでは、多数の検出信号を用いて複雑かつ高精度な演算を必要とするが、下位コンピュータでは、突発的な異常の進行が比較的遅い対象を速い周期で監視するが、単純な論理でありかつ検出信号はローカルな部分で済むような対象を選定

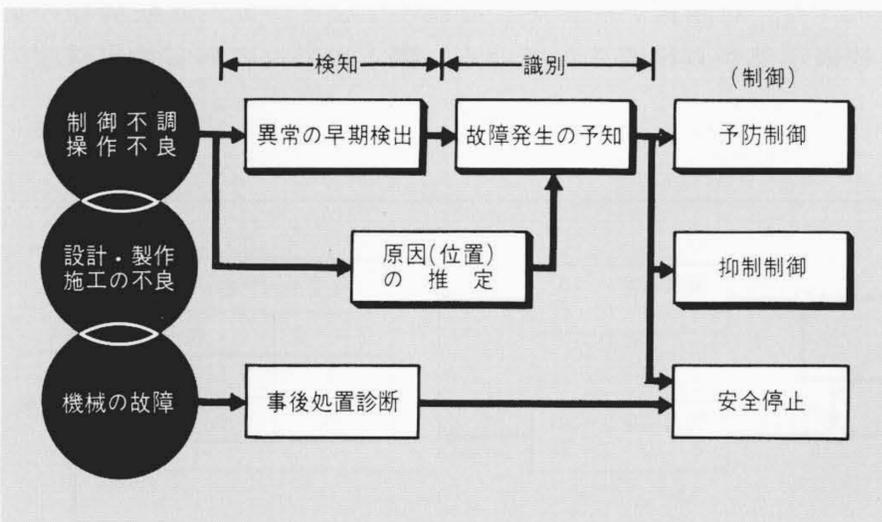


図1 予防保全システムのねらい 火力発電プラント予防保全システムでは、事故を防ぐための安全停止だけでなく、異常を早期に検出して運転操作により予防制御あるいは抑制制御させる点に着目している。

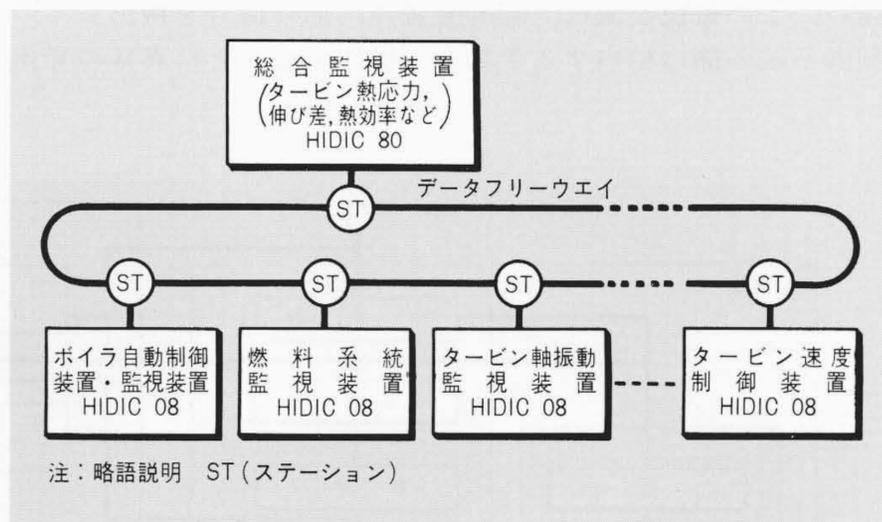


図2 予防保全システムの機器構成 複雑かつ高精度な演算は上位コンピュータで、突発的な異常発生は下位コンピュータで速い周期で監視する。

* 東京電力株式会社原子力管理部技術課 ** 中国電力株式会社島根原子力発電所技術課 *** 日立製作所大みか工場
 **** 日立製作所日立研究所 ***** 日立製作所エネルギー研究所 ***** 日立製作所電力事業本部

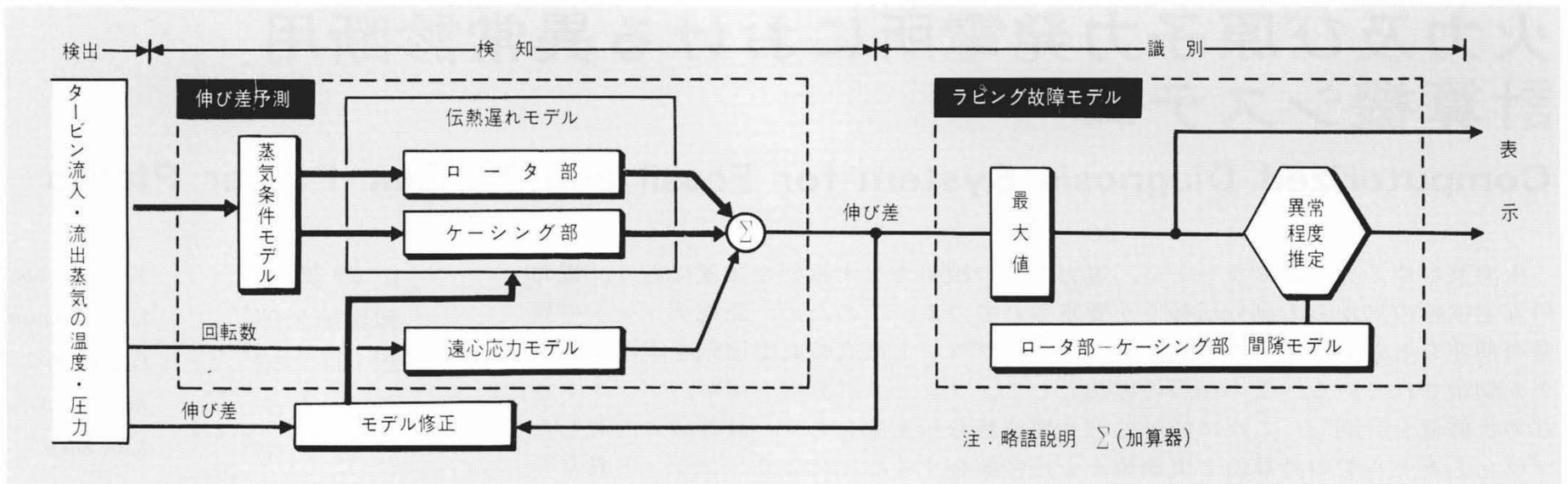


図3 総合監視装置における伸び差監視方法 タービンロータ部とタービンケーシング部の伝熱遅れの差から伸び差を計算して、挙動を監視する。

している。ここで各種の下位の監視機器は、データフリーウエイで上位コンピュータ及びサブーループ制御装置と結合されるので、各々の監視内容の一括表示、あるいは自動処置も可能である。

2.2 タービン熱応力・伸び差監視

起動・停止あるいは大幅な負荷変動時にユニット各部に大きな温度、圧力の変化を生じ、内部応力や伸び差によって機器の損傷及び機器寿命の短縮の原因となることがある。図3に総合監視装置での伸び差監視方法を示す。伸び差は深夜停止・起動のような短時間停止後の熱間起動時に蒸気温度とメタル温度のアンバランスから増大しやすく、その結果、タービンプレードとラビリンズのギャップが減少し、接触のおそれを生ずる。この伸び差監視では、図3に示すように蒸気条件により変動する伸び差の動的モデルを上位コンピュータに内蔵し、この結果から得られる計算値と抽気のタイミングやなんらかの異常原因の発生により変動する測定値との偏差から、伸び差の異常を早期に検出できる。また蒸気条件の変化に対する数十分後の伸び差を予測したり、タービン内部での伸び差の分布を監視することができる。

2.3 ボイラ自動制御装置・監視装置

火力発電プラントでのボイラ自動制御装置は、大規模なアナログ制御装置であることから、信頼性に対する要請が特に強い。この監視装置は、制御装置の内部の信号を検出して、制御系統の節に相当する手動介入操作区分ごとに異常の発生

箇所を識別し、運転対応のガイドを提示する。監視の方法は図4で示すように、制御回路を構成する加算器、積分器などの演算モジュールにつき機能ブロック別に演算モデルとして内蔵し、計算値と測定値を比較するものである。更に、この結果をあらかじめ設定した決定論理テーブル(“0”“1”パターン)と照合して手動介入箇所を求める。

3 原子力発電プラント異常時集中監視システム

原子力発電所では、万一異常が発生した場合でも異常を確実に検出し、的確な対応処置をとることによって事故への発展を未然に防止することが特に強く要求される。このような要求に対応する手段の一つとして、プラント運転状態を計算機を使って集中監視し異常の兆候を早期に検出する機能、及び異常発生時にプラント状態の把握と対応処置に必要な情報を集約して表示する機能が電力会社と共同で積極的に開発されてきた。原子力発電プラント異常時集中監視システムは、これまで開発されてきた異常検出機能とプラント運転情報集約表示機能とを総合したシステムである。

3.1 プラント異常時集中監視システムの構成

プラント異常時集中監視システムは、図5に示すようにシステム状態モニタ⁶⁾、常時監視ディスプレイ^{7)~9)}、プラント診断^{6),7),9)}などによる異常検出部と、異常時の優先情報自動選択^{1)~3)}、対話式データアクセス^{6)~8)}などによる運転情報の集約表示部から構成されている。表1に各々の異常検出機能の

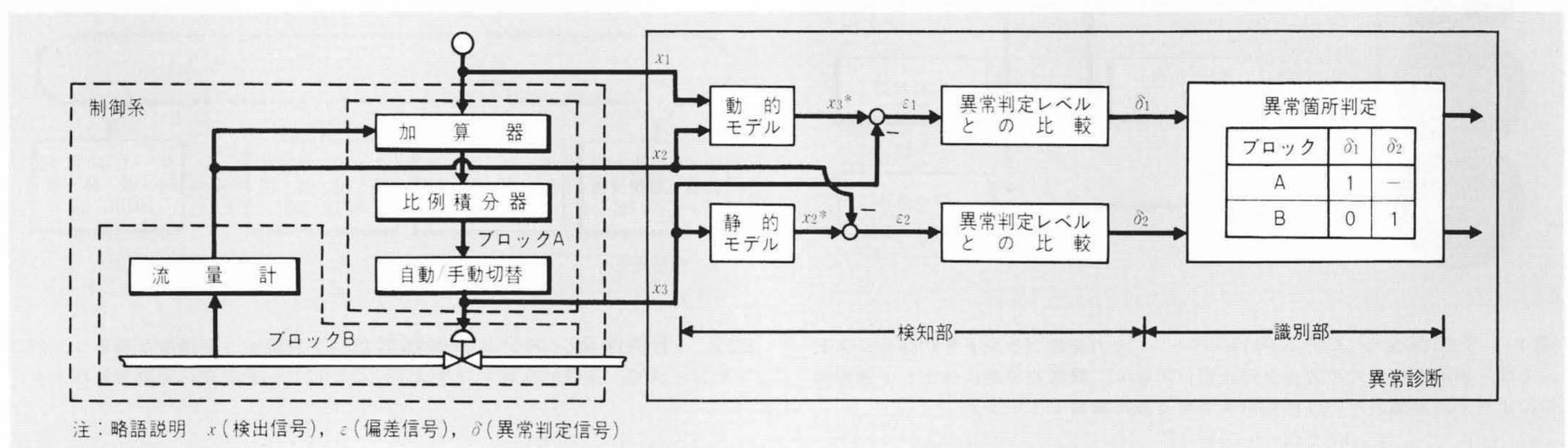


図4 ボイラ自動制御装置監視方法 制御機能ブロック別の演算モデルにより異常を検知し、決定論理テーブルで異常箇所を判定する。

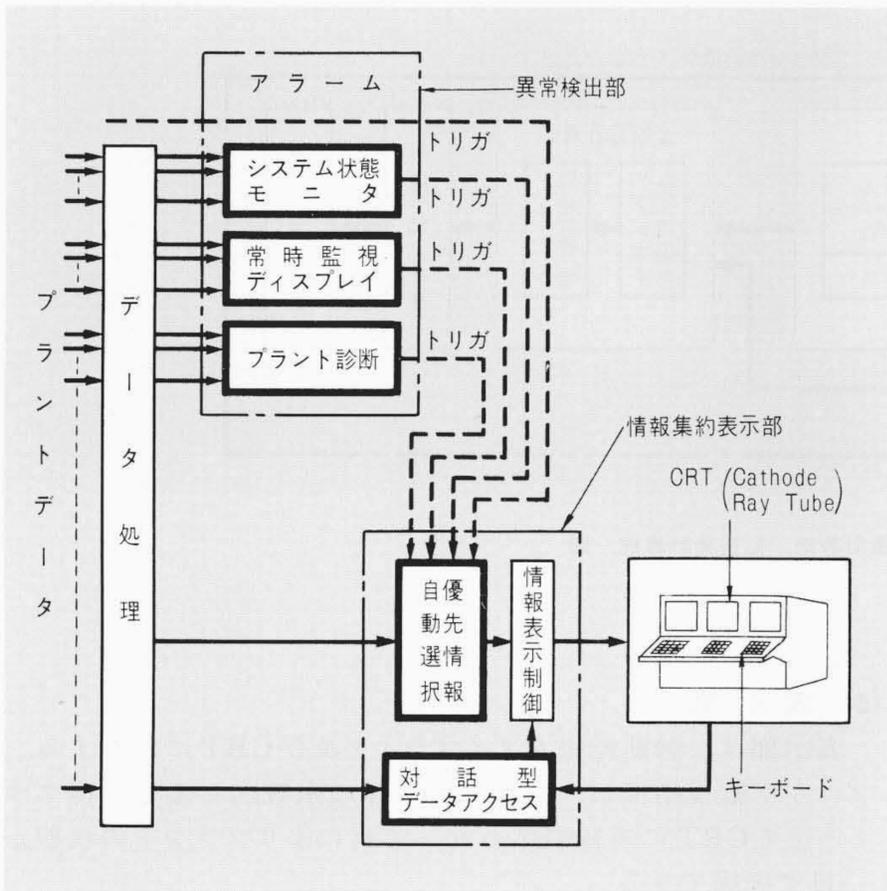


図5 プラント異常時集中監視システム プラント異常時集中監視システムは、プラントの健全性を常時監視し、万一異常が発生した場合も早期かつ的確に検出する異常検出部と異常原因の究明と対応処置の決定に必要な情報を自動的に選択表示する情報集約表示部とから構成される。

表1 異常検出機能の特性比較 プラント異常時集中監視システムでは、従来のアラーム系による異常検出機能のほかに、システム状態モニタ、常時監視ディスプレイ及びプラント診断により、機器単体の異常、制御系の動作特性の異常などを早期に検出する新しい異常検出機能をもっている。

異常検出機能	特性	機能の特徴	監視信号
アラーム系		<ul style="list-style-type: none"> ○ 系統・機器の安全運転監視 ○ オン・オフ表示 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 原子炉出力 ○ 原子炉圧力 ○ 原子炉水位 ○ 給水流量 ○ 給水ポンプ入口流量、ほか
システム状態モニタ		<ul style="list-style-type: none"> ○ 系統・機器の運転余裕度監視 ○ アナログ表示 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">タービン駆動給水ポンプの例</div> <ul style="list-style-type: none"> ○ ポンプ入口流量 ○ ポンプ入口圧力 ○ 軸受油圧力 ○ ラジアルスラスト軸受温度
常時監視ディスプレイ		<ul style="list-style-type: none"> ○ 原子炉、原子炉まわりの主要系統のプロセス量のバランス状態監視 ○ アナログ表示 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 主蒸気流量 ○ 給水流量 ○ 再循環駆動水流量 ○ 原子炉圧力など12の信号
プラント診断		<ul style="list-style-type: none"> ○ 系統・機器の動作特性異常早期検出 ○ アナログ表示 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">再循環系の例</div> <ul style="list-style-type: none"> ○ 主制御器出力 ○ 速度制御器出力 ○ 発電機速度 ○ ポンプ差圧 ○ 駆動水流量

特性を比較して示す。システム状態モニタはプラントを給水系、再循環系などの系統別に分割し、各系統の構成機器の運転状態を監視する信号をそれぞれアラームレベルなどの運転制御レベルで正規化し、その中の最大値をもって対象系統の監視指標とする。この指標が0に近いほど、対応する系統は運転制限レベルに対して余裕をもって運転されていることになる。常時監視ディスプレイは原子炉圧力、給水流量などの主要なプラント信号の正常値を原子炉出力の関数として常時求め、これらの正常値と実測値との偏差を上・下限値とともに一つの画面に表示し、正常なプラント状態からのずれを一

目で把握できるようにしている。

プラント診断は、炉心部及び炉心まわりの主要制御系を対象とし、各系統の動作特性の変化を正常時の動特性モデルを使って検出している。これらの異常検出機能によって異常が検出されたときには、優先情報自動選択機能にトリガがかけられ異常原因の詳細究明、対応処置の決定に必要な情報を自動的に選択し、CRT (Cathode Ray Tube) に表示する。対話型データアクセスでは、運転情報の表示手順を運転モードあるいは系統ごとに階層化し、運転員が表示画面のガイドに従って容易に運転情報を選択監視できる。

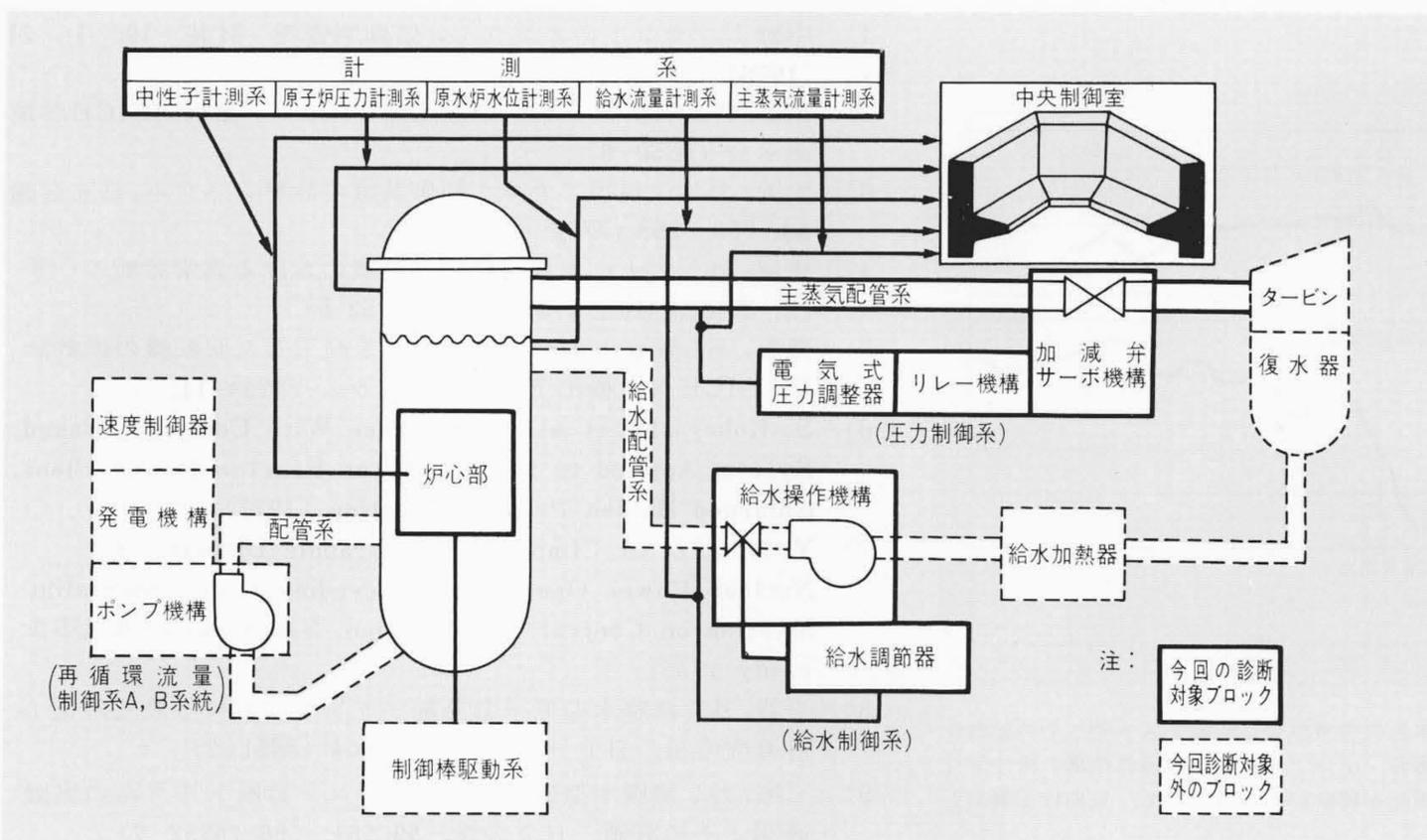


図6 プラント診断システムの診断対象範囲

炉心部、圧力制御系、給水制御系及び再循環流量制御系(A、B系統)を計測系、制御回路、操作機構、配管系などにブロック分けしている。実際に適用した範囲は、再循環流量制御系を除く3系統である。

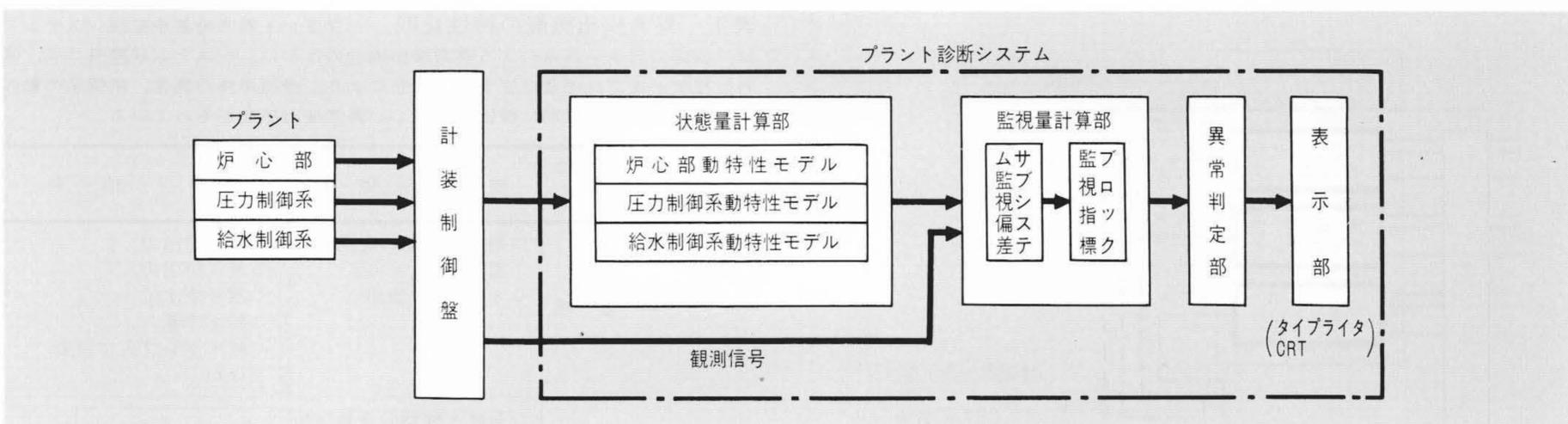


図7 プラント診断システムの機能構成 プラント診断システムは、状態量計算部、監視量計算部、異常判定部及び表示部から成る。診断はブロック単位に行なう。

3.2 プラント診断の実機への適用¹⁾

プラント異常時集中監視システムの異常検出機能の一つであるプラント診断(以下、プラント診断システムと呼ぶ。)は、中国電力株式会社島根原子力発電所1号機のプロセス計算機システムへ新しい監視機能として昭和51年から適用されている。適用されたプラント診断範囲は、図6に示すように炉心部、圧力制御系及び給水制御系の3系統であり、診断に使用するプラント入力信号は10種、17点である。図7にプラント診断システムの機能構成を示す。

(1) 状態量計算部

状態量計算部は、各系統を複数のサブシステムに分割し、それぞれの正常時の動特性モデルを備え、入力信号からモデル出力を常時計算する。

(2) 監視量計算部

監視量計算部は、上述の動特性モデル出力とこれに対応する実測値との偏差(サブシステム監視偏差)を計算する。これらの偏差から、異常発生箇所に1対1に対応する監視量(ブロック監視指標)を計算する。

(3) 異常判定部

サブシステム監視偏差があらかじめ設定した異常レベルを超えたときには、ブロック監視指標のうち最大となっているブロックを異常発生ブロックと判定する。

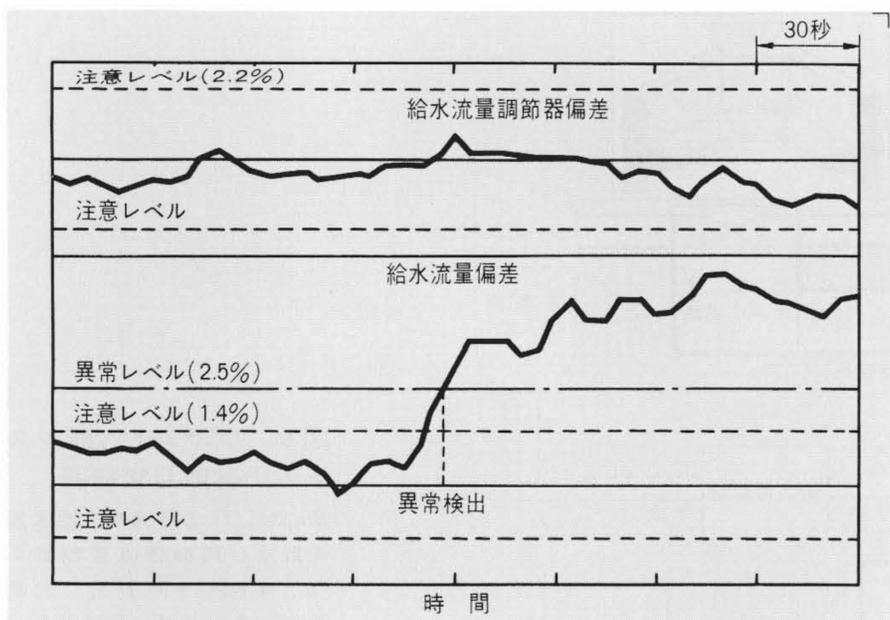


図8 模擬異常検出例 給水系の待機ポンプ起動テスト時、この診断システムをバイパスせずに運転した場合、ポンプを含む給水操作機構の特性変化を模擬したことになり、給水流量偏差が異常レベルを超えて、見掛け上異常と判定される。

(4) 表示部

表示部は、診断結果をタイプライタ及びCRTに出力する。ブロック監視指標は、プラント全体の系統図とともに棒グラフとしてCRTに連続表示され、これによりプラントの状態が一目で把握できる。

図8に実機での模擬異常検出例を示す。同図には、給水系の待機ポンプ起動テスト時に、見掛け上の異常検出回避のためのプラント診断システムバイパス操作を実施せずに運転した場合の給水調節器出力偏差、及び給水流量偏差が示されている。診断システムは、ポンプを含む給水操作機構の特性が待機ポンプを起動することによって見掛け上変化したとして異常を検出しており、このシステムの有効性を示している。

4 結 言

以上、火力及び原子力発電プラントの診断への計算機の適用状況について述べた。計算機によるプラントの診断は、今後更に開発すべき重要な計算機適用の分野であり、いっそうの研究開発が望まれる。

最後に、プラント診断システムの開発に当たって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) 中野：プラントのオンライン信頼性管理，計装，19，1，21 (1976)
- 2) 栗原，外：火力プラント事故防護システム，第14回SICE学術講演会(昭50-8)
- 3) 飯岡，外：大規模アナログ制御装置の診断システム，日立評論，59，753-758 (昭52-9)
- 4) 栗原，外：アナログ式自動制御装置における異常診断の一手法，第16回SICE学術講演会(昭52-8)
- 5) 栗原，外：Walsh Hadamard変換を利用した回転機の振動診断，SICE異常検出予測シンポジウム(昭53-11)
- 6) S, Kobayashi, et al.: Experience With Computer Based System Applied to Boiling Water Reactor Power Plant, Enlarged Halden Program Meeting (1977)
- 7) Y, Niki, et al.: Importance of Graphic Display for Nuclear Power Operation, Proceeding of the Specialist Meeting on Control Room Design, San Francisco, USA (July 1975)
- 8) 平賀，外：沸騰水型原子力発電プラントにおける最近の電子計算機応用，日立評論，58，99-104 (昭51-2)
- 9) 三宅，外：沸騰水型原子力発電プラント診断システムの実機適用とその評価，日立評論，59，561-566 (昭52-7)