

機能階層自律形系統機器単位分散制御システム

Hierachical and Autonomic, Plant Process-Oriented/Distributed Control Systems

火力発電所のデジタル制御装置は、エレクトロニクスの進歩とあいまってますます高度化、高機能化するとともに、その適用範囲は拡大の一途をたどっている。しかし、これらの制御装置はボイラ制御、タービン制御などの用途別に開発を進めてきたために、コントローラの機種やソフトウェア言語に統一性を欠き、保守取扱い面から改善が強く要望されている。

一方、最近の火力発電制御システムは集中化、自動化の方向を指向しており、これらの新しいニーズにこたえるには、ハードウェア・ソフトウェアの標準化、統一化はもちろん、制御システム及び制御装置間を結合する伝送ネットワークシステムの標準化を図ることが重要となる。そこで、火力発電プラントの機器構成に立脚して制御システムを総合的にとらえ、プラントの系統、機器単位に制御機能を分割するとともに、これらの制御機能に適応したコントローラを開発し、合わせて各々のコントローラの標準化、統一化を図り、デジタル第II世代制御システムHIACS-3000として集大成した。

菅野 彰* Akira Sugano

滝田 敦* Atsushi Takita

深井雅之** Masayuki Fukai

1 緒 言

昭和50年初期に従来のアナログ制御装置をデジタル化することから取り組み、ボイラ制御、タービン制御、シーケンス制御それぞれに適したコントローラを開発し制御装置の高度化と小形化を実現した。しかし、制御装置ごとに開発を進めたため、結果的にはコントローラの機種の統一化を欠くものとなった。昭和60年に入り制御装置のデジタル化が進み、その適用範囲が火力発電制御システム全体に広がるにつれて、制御伝送装置と保守ツールの標準化、コントローラ機種とソフトウェア言語の統一化などのニーズが急速にクローズアップしてきた。

一方、ハードウェアの分野では、高速で小形の16ビットマイクロプロセッサや実装密度の高いメモリ素子などが製品化され実用化の域に入ってきた。

これらのエレクトロニクス技術を駆使することによって、前述の新しいニーズに対応できることに着目し、デジタル第II世代コントローラを開発するとともに、従来のシステム概念にとらわれることなく発電プラントの機器構成に立脚した機能階層自律形系統機器単位分散制御システムHIACS-3000を構築したので、以下その概要について紹介する。

2 システム構成と開発課題

火力発電プラントを総括してとらえ、系統、機器構成単位にコントローラを分散配置するとともに、これらの制御機能に対し人体の生態メカニズムを適用することによって機能階層自律形系統機器単位分散制御システムを構築した。このシステム構成図を図1に示す。

本制御システムの具現に当たり、図2に示す開発目標を設定した。このうち、特に次の点に重点を置いた。

(1) 高機能形コントローラシリーズの開発

火力発電所のすべての調整制御、シーケンス制御を統一されたハードウェアとソフトウェアで実現するための高性能コ

ントローラシリーズを開発する。

(a) 機能階層構成を実現するため、コントローラは2機種とする。

(b) 機器グループコントローラは、機器グループ内の各機器を統括制御するもので、コンパクトで経済性に優れたコントローラとし、プロセスの構成に応じて自由に分散配置が可能なものとする。

(c) 系統コントローラは、系統内の機器グループコントローラの統括制御及びユニットネットワークを介しての系統間制御を行なうもので、計算機とのデータリンケージもつかさどる。

(d) DCM(機器コントロールモジュール)は、単に信号の入出力を行なうだけでなく、1枚のカードで1台の機器の制御に必要なすべての入出力と、その機器の保護ロジックなどまでを内蔵したファンクションPI/O(プロセス入出力モジュール)として開発する。

(e) 標準化されたハードウェアを組み合わせることにより、システム規模に応じたユニコンセプト設計を可能とする。

(2) 伝送システムの開発

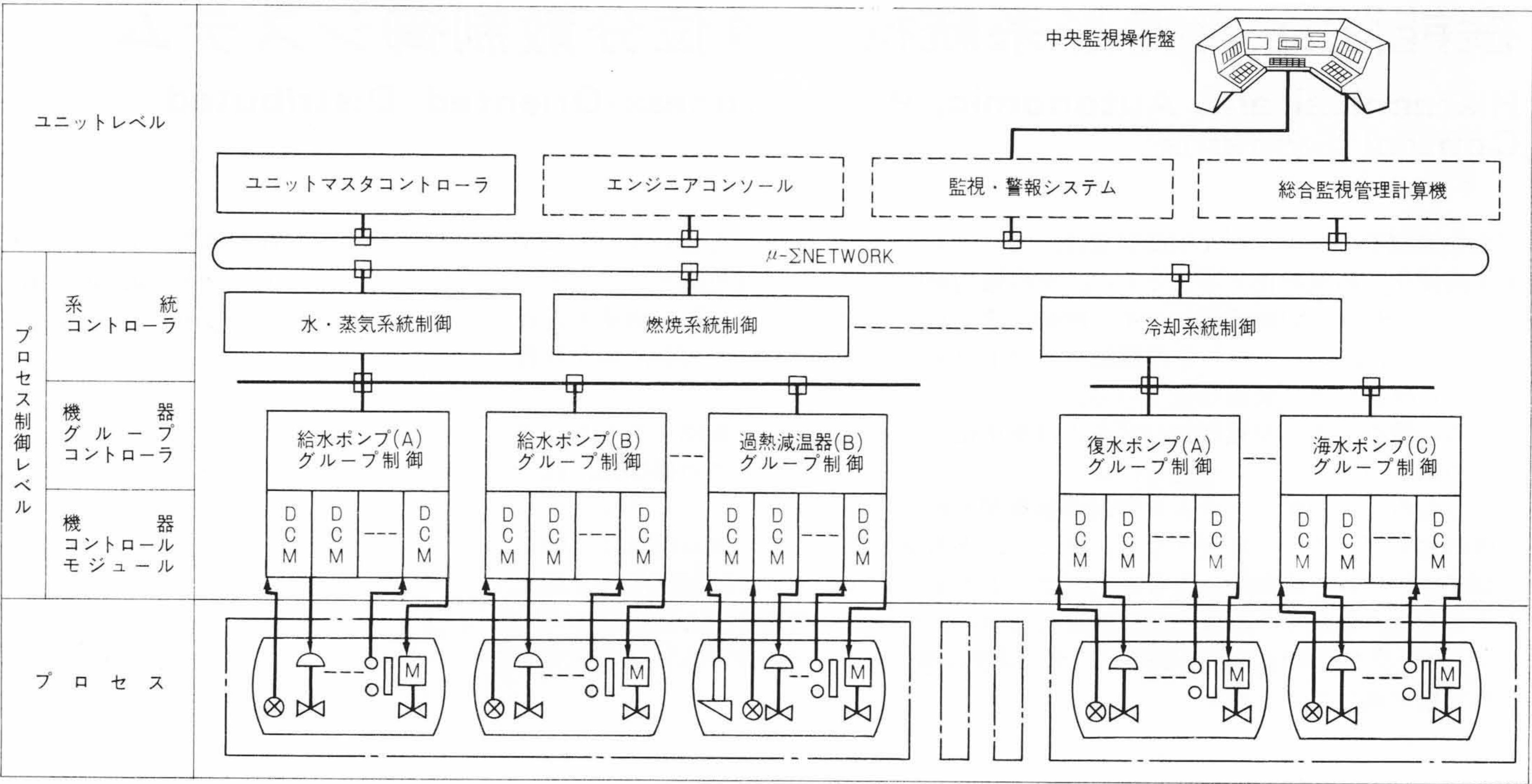
機能階層形制御システムで、系統コントローラ及び系統内に分散配置された機器コントローラを、有機的に結合して系統データベース、プラントデータベースを構築できる直列伝送システムを開発する。

(a) μ - Σ NETWORKは、ユニットネットワークとして、系統コントローラ間やユニットマスタ、計算機、エンジニアコンソール間の大量なデータを扱う伝送システムとする。

(b) CV-NETWORKは、系統ネットワークとして、系統内の機器グループコントローラと系統コントローラ相互間を自由に接続できる自律性の高いDDC(Direct Digital Controller)用データ伝送システムとする。

(3) 高信頼性システムの開発

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所電力事業部



注：略語説明 DCM(機器コントロールモジュール)

図1 火力発電所の機能階層自律形系統機器単位分散制御システム 火力発電所のプロセスを構成する系統、系統を構成する機器グループ、機器グループを構成する機器に対応してそれぞれに適応したコントローラを分散配置し、機能階層化した制御システムとする。

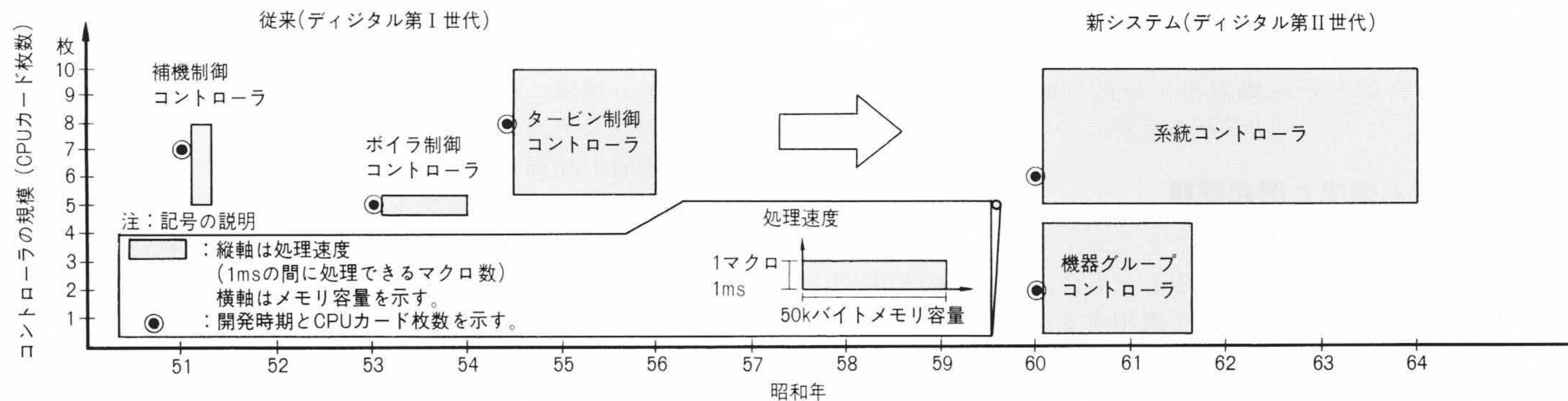
機器グループコントローラやDCMの超分散配置により、冗長化構成部を極力少なくしても高い信頼性が得られるシステムを目指すとともに、冗長化も容易に実現できるシステムとする。

- (a) 系統コントローラ故障時には、機器グループコントローラが系統コントローラの重要不可欠な機能を代行する機能縮退バックアップ方式を開発する。
- (b) 冗長化が必要な場合は、容易に二重化ができる方式とする。

3 ハードウェア構成と基本仕様

3.1 系統・機器グループコントローラの開発目標

ディジタル第I世代のコントローラの仕様と比較して、第II世代の開発目標を図2に示す。従来、シーケンス補機制御には制御周期100ms以下の高速シーケンス演算(ANDやORなどの論理演算)が必要であるため、補機シーケンス制御専用の1ビットコントローラを用いていた。また、タービン制御には制御周期20~100msの高速調整制御演算とシーケンス演算の両方が必要であるため、ビット処



(a) 従来(ディジタル第I世代)

(b) 新システム(ディジタル第II世代)

コントローラ	マイクロプロセッサ	ソフト言語	ツール
補機制御(HISEC 04)	1ビット	POL(専用)	CRT形(専用)
ボイラ制御(HISEC 06)	8ビット	POL(専用)	CRT形(専用)
タービン制御(HISEC 08)	16ビット	POL(専用)	タイビュータ(専用)

コントローラ	マイクロプロセッサ	ソフト言語	ツール
系統コントローラ(HISEC 04-M/L)	16ビット(同機種)	POL(統一)	エンジニアコンソール(統一)
機器グループコントローラ(HISEC 04-M/F)			

注：略語説明 POL(問題向き言語)

図2 系統・機器グループコントローラの開発目標 デジタル第II世代では、従来用途ごとに分かれていたコントローラをハードウェア、ソフトウェア共に統一して、同一のエンジニアリングや保守を可能とする。

理専用プロセッサを付加した16ビットコントローラを用いていた。これらは、いずれもビットデータ処理速度の高速化を図るために専用ハードウェアや専用命令を設けるなど工夫を凝らしていた。一方、ボイラ制御では一般にプロセス時定数が長いので高速な制御は必要でなく、制御周期は500~1,000 msで制御可能であるが、システムの規模が大きいため、複数のコントローラで機能分散し、これらを相互に伝送で接続する必要があるため、通信機能を内蔵する8ビットコントローラを用いていた。このように、従来のコントローラは各々の制御の特性に適応した処理速度、メモリ容量、通信機能をもつ専用機²⁾であり、ソフトウェアやロジックシンボルなどのドキュメントの表現、保守ツールも各々専用で、保守の方法も異なっていた。

第II世代として開発したコントローラシリーズHISEC 04-M/L, F³⁾は、従来の専用コントローラの機能をすべてカバーし、コンパクトで経済性に優れたものを目指した。具体的には、

- (1) マイクロプロセッサを高速な16ビットマシンに統一するとともに、調整制御とシーケンス制御の融合が可能な高速POL⁴⁾(問題向き言語)を開発した。
- (2) 高密度メモリやプログラマブルロジックの採用により、ハードウェアのコンパクト化を図った。特に、HISEC 04-M/Fは処理速度の向上やメモリ容量の増大にもかかわらず、従来の半分以下のサイズとした。
- (3) 保守ツールもエンジニアコンソールとして共用化し、プログラムの作成や修正、制御定数の調整及びコントローラの動作状態監視を中央から集中して行なえるものとした。

3.2 機器グループコントローラ

系統機器単位分散システムのキーコンポーネントである機器グループコントローラの構成を図3に示す。HISEC 04-M/Fは徹底的な分散化を実現するため、CPU(中央処理装置)、AVR(電源装置)をすべて1台のコントローラユニットに内蔵してコンパクトなものとした。CPUは16ビットマイクロプロセッサとRAM(Random Access Memory)24k語(拡張時32k語)から構成され、伝送速度500k bpsの直列信号伝送を可能とする高機能コントローラである。AVRはコントローラに必要な直流電源を供給するもので、入力電源は2系統受電を可能とするため交流又は直流の100Vを標準仕様とした。CPU、

AVRは共に二重化も可能であり、コントローラユニットに各々もう1台実装するだけで容易に実現することができる。

PI/O(プロセス入出力装置)は外部インタフェース部の絶縁やノイズ耐力の強化を図り、現場機器と直接接続できるようにした。特に、ファンクションPI/Oとして開発したDCMは、カードの中にコントローラ故障時の手動バックアップ回路や機器保護用インタロック回路も内蔵させることにより、従来コントローラの外部に別置していたMOM(手動操作モジュール)などのハードウェアも削減できた。

このように、HISEC 04-M/Fは、従来の周辺ハードウェアや配線を大幅に削減したコンパクトでパフォーマンスの高いコントローラである。これらの第II世代コントローラを用いて制御システムを構成した場合、第I世代に比べて制御盤の床面積で約60%、カード枚数で約40%の小形化ができるなどメリットが大きい。

3.3 DCM

プロセスを構成する機器は調整制御用とシーケンス制御用に大別される。これらに対応してDCM-MとDCM-Bを開発した。

(1) DCM-MA

DCM-MAの構成を図4に示す。このファンクションPI/Oは1枚のカードから構成され、1台の調整制御機器の制御に必要なすべてのアナログ、デジタル信号の入出力処理を行なう。入出力信号は手動操作用セレクトステーション、センサ及び機器からの信号である。CPUはこれらの信号を用いてセンサや機器の異常診断を行なうとともに、プロセスの状態情報をCV-NETWORKを介して上位レベルに伝送する。通常、制御演算結果はCPUからDCMを介して機器に伝えられる。DCM-MAカード内には、従来別ハードウェアとして外部に設けていた手動バックアップ回路が内蔵されており、CPU故障時には手動モードに切り替え、セレクトステーションからの手動操作信号により機器を直接操作することができる。

(2) DCM-B

DCM-Bの構成を図5に示す。このファンクションPI/Oは1枚のカードから構成され、1台のシーケンス補機の制御に必要なすべてのデジタル信号の入出力処理を行なう。センサや機器の異常診断及び状態情報の伝達はDCM-Mと同様である。従来、自動・手動の基本ロジックや機器保護ロジック

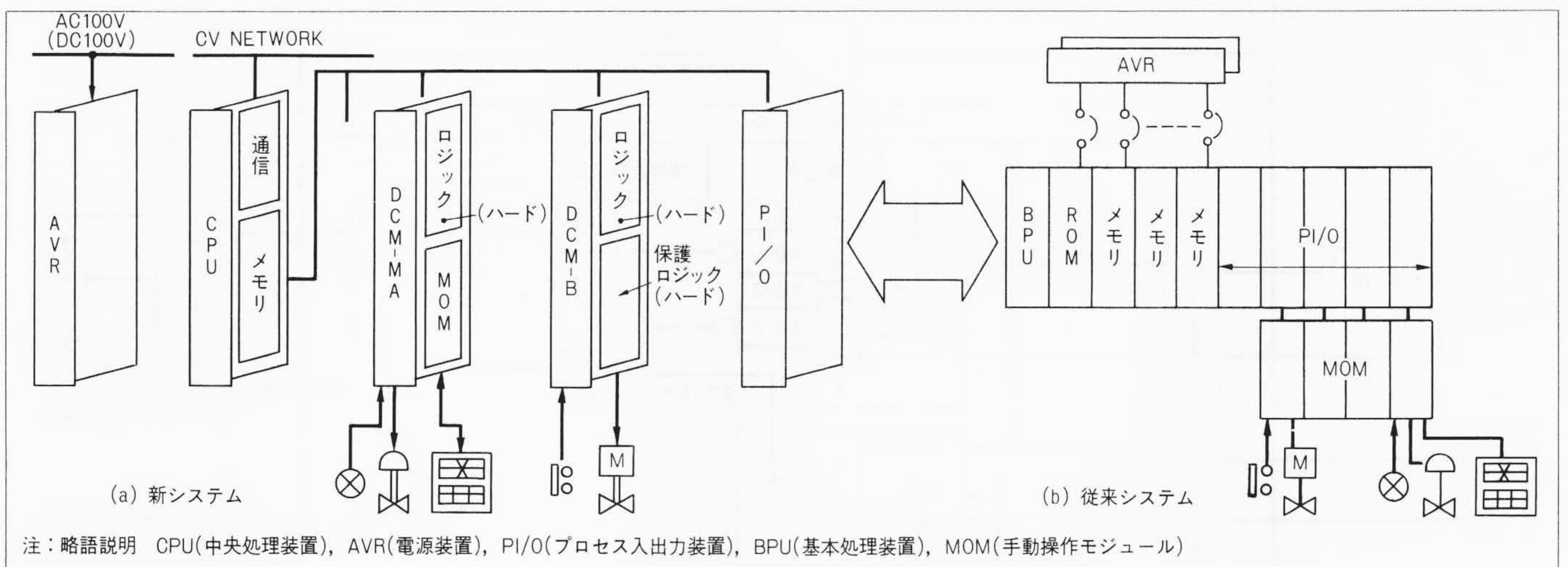


図3 機器グループコントローラの構成 機器グループコントローラはコンパクトなものとし、AVR、CPU、PI/Oをすべて1台のコントローラユニットに内蔵したものとした。

は、コントローラとは別に電磁リレーなどのハードウェアにより構成していたが、部品や配線が多くシステムを複雑にしていた。そこで、今回は基本ロジックをプログラマブルロジックICにより実現している。また、機器の保護ロジックは用途によって異なるが、あらかじめ標準化したロジックパターンを多数のROM (Read Only Memory) に記憶しておき、ロジック選択スイッチによりパターンを指定することによって、外部からの保護入力に応じて機器を安全に停止させることができる。これらの機能をDCM-Bのカードに内蔵させた。

このようにDCMは機器単位に独立しており、DCM故障時の波及範囲を局所化できるとともにメンテナンスも独立して行なうことができる。また、上位のCPU故障時にも手動バックアップ回路や機器保護ロジックの動作が可能である。

4 伝送システムの基本仕様

機能階層自律形系統機器単位分散制御システムでは、多数のコントローラが分散配置されるので、これら相互間の自由で高速な伝送システムが重要となる。コントローラ相互の協調がとれた制御の実現やユニットレベルへの監視データの伝達など、伝送システムには高い信頼性が必要である。そこで伝送路は二重化やループバック機能(障害箇所での折返し運転)により耐力強化するとともに、一部のコントローラの故障によって機能が損なわれないように、伝送制御のマスレス化やマスタコントローラの二重化を行なった。

制御装置では高速DDCデータのレスポンスや周期性の確保が重要である。高速化のためには伝送制御を簡素化し、送信

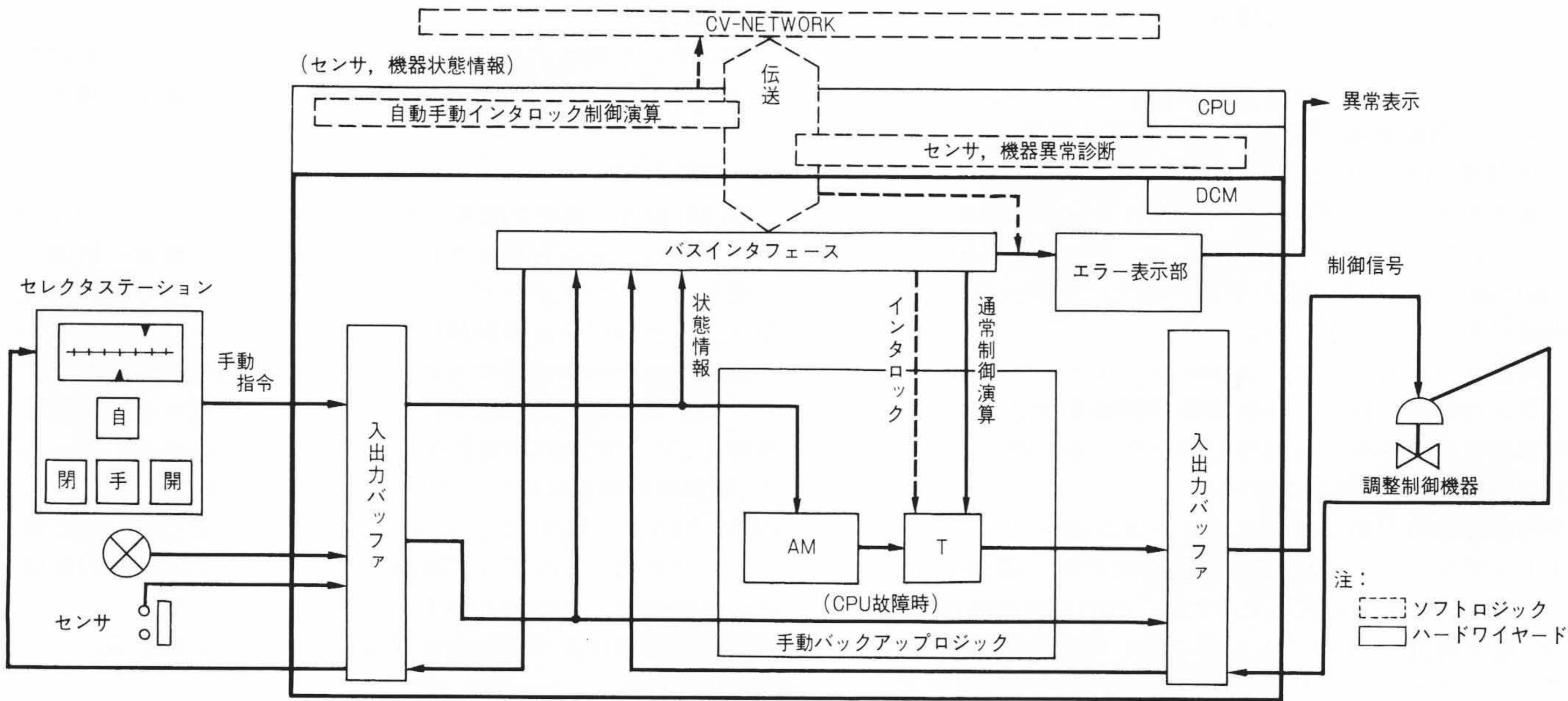


図4 DCM-MAの構成 DCM-MAは、調整制御機器用ファンクションPI/Oであり、機器制御に必要なすべての入出力とCPU故障時の手動バックアップ回路を内蔵している。

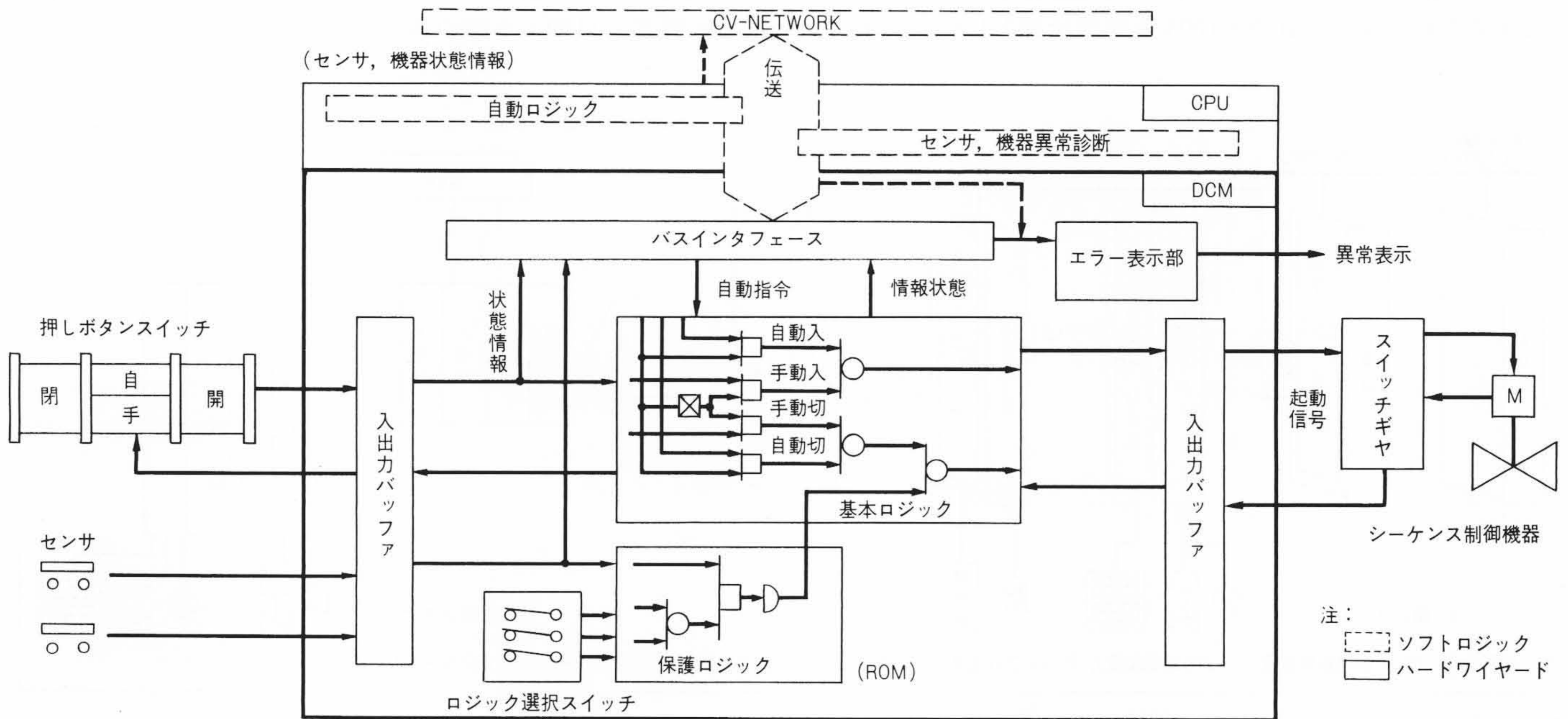


図5 DCM-Bの構成 DCM-Bはシーケンス制御機器用ファンクションPI/Oであり、機器制御に必要なすべての入出力と、機器保護ロジックを内蔵している。

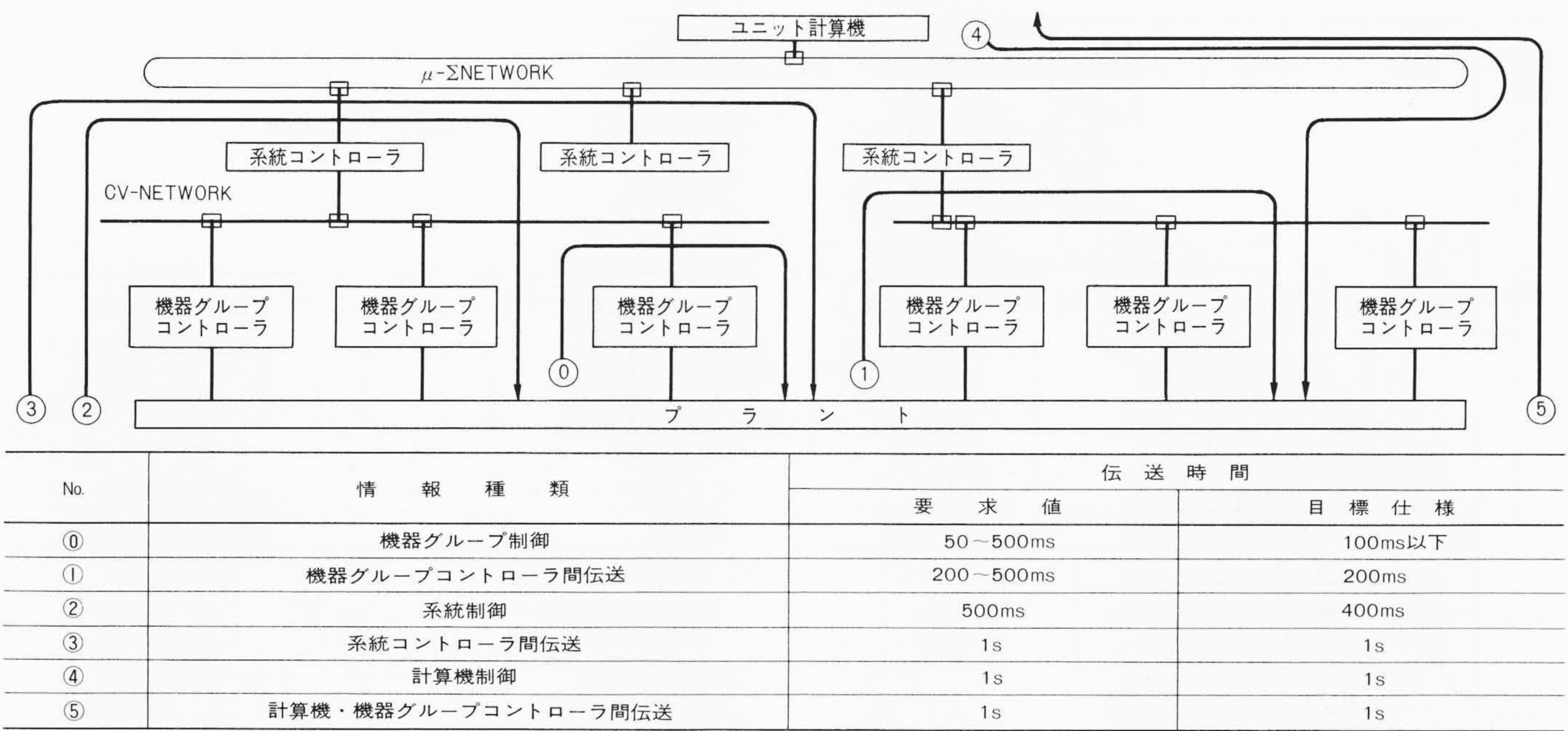


図6 情報の種類と目標仕様 火力発電所内の情報種類に応じ、伝送時間の目標仕様を決定した。

回数を極力減らす必要があり、サイクリックな同報通信方式を用いる。これは1回の送信で同時に複数の相手にデータを伝える方式であり、送信回数を最小限にし送信時の伝送手順によるむだな時間、すなわちオーバーヘッドを軽減できるものである。また、イベントデータはDDCデータの周期性を損なうことがないように、サイクリックデータの内に組み込むものとする。

上位のユニットネットワークにはμ-Σ NETWORK、下位の系統ネットワークとしてはCV-NETWORKの2種を開発したが、開発に当たり火力発電所の情報の流れと所要速度から図6に示す目標仕様を決定した。機器コントローラの処理周期は、高速な制御に対応するため100ms以下とした。また、機器グループコントローラ間は比較的相互の結合が強いので伝送周期は200msとし、相互に伝送遅れを意識しない制御を構成できるようにした。系統制御は機器グループ相互の協調制御であり、伝送周期を400msとした。計算機との伝送では、ログ情報は一般に低速でよいがCRTオペレーションのような操作性を左右するデータについては高速処理が要求されるので伝送周期を1秒とした。

5 制御システムの信頼性向上策

今回開発した機能階層自律形系統機器単位分散制御システムでは、プラントの機器構成に立脚して系統・機器グループ単位に系統コントローラ、機器グループコントローラを分散配置するとともに、個々の機器に対応してDCMを配置するなど徹底的に分散化を行なった。また、これらのコントローラを伝送で結合し、機能の階層化を図った。したがって、コントローラやDCM故障時のプラントへの影響を最小範囲に局所化でき、大部分は自動運転を継続できるため、ハードウェアの冗長化範囲を限定してもプラント全体としては十分高い信頼性を得ることができる。また、システムニーズに応じて二重化や機能縮退バックアップなどの冗長化構成も容易に実現できるシステムとした。表1にコントローラ故障時のプラントへの影響度合と自動運転継続の観点から、信頼性向上の諸施策について示す。ここで、ユニットマスタコントローラは

系統コントローラ相互間の協調制御を図り、機能が集中化しているので二重化とする。系統コントローラは機能が集中化しているが、機能縮退バックアップ方式を考案し、ドラムボイラプラントの場合は二重化を不要とした。火力発電プラントで、機器グループは多くの場合冗長化されており、一つの機器グループが故障しても運転を継続できるよう構成されている。したがって、その機器グループに対応するグループコントローラの冗長化も一般的に行なわない。DCMは機器に対応して1対1に設置しており、故障範囲が当該機器に限定できることから冗長化を行なわないことを基本とする。本系統機器単位分散制御システムの場合、その大部分のハードウェアは冗長化の必要がないためシンプルなシステムにして高信頼性を確保することができる。

表1 システムニーズと信頼性向上策 プロセスの系統・機器グループの性質に応じ、冗長化の範囲を決定した。

No.	機 器	制 御 対 象	コントローラ故障時の影響度合	対 応 策
1	ユニットマスタコントローラ	系統コントローラ間の協調制御	コントローラ故障は、プラント全体に波及し自動運転不可。	コントローラの二重化
2	系統コントローラ	機器グループコントローラ相互間の協調制御	機能縮退運転困難な場合(貫流ボイラ) 機能縮退運転可能な場合(ドラムボイラ)	コントローラの二重化 機器グループコントローラによる機能縮退バックアップ
3	機器グループコントローラ	機器グループ制御(DCMの相互協調制御)	コントローラ故障により機器グループが手動となり、他のバックアップがない場合。 コントローラ故障により機器グループが手動運転となるが、他の機器グループで自動運転継続できる場合。	CPUの二重化 DCMで現状保持
4	DCM	機器の直接制御	DCM故障時もCPU及び他のDCMは正常に作動する。	当該機器ロック

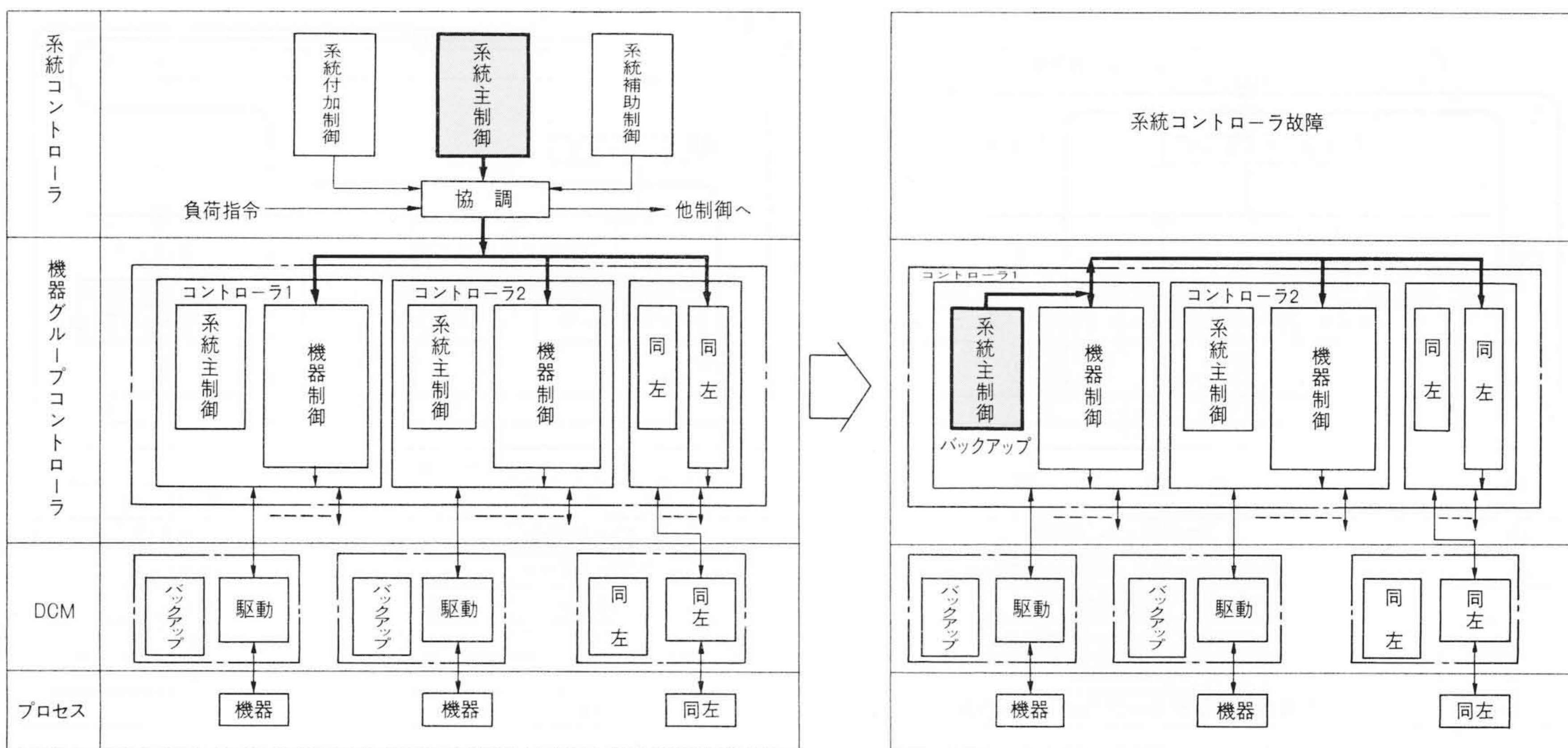


図7 機能縮退バックアップ システムコントローラ故障時には、機器グループコントローラのうち1台が系統主制御を代行する。

次に、今回開発した機能縮退バックアップ方式について説明する。システムコントローラの制御には、図7に示すように重要不可欠である系統主制御、制御性向上のための系統付加制御及び系統補助制御があり、正常時にはこれらの協調を保ち、他の系統と関係を取り自系統内の機器グループの統括制御を行なっている。一方、機器グループコントローラはシステムコントローラからの指令に従って、機器グループ内の制御を行なっている。このように上下関係のある複数のコントローラからシステムが構成されているので、下位の各々の機器グループコントローラ内に、あらかじめ重要不可欠な系統主制御の機能を入れておき、システムコントローラ故障時には機器グループコントローラのうち1台が系統主制御を代行して系統ネットワークを介して指令を送出し、他の機器グループコントローラとの協調制御を行なわせるようにした。また、複数の機器グループコントローラに対して、システムコントローラ故障時のバックアップの優先順序を定めておくことによって、常に系統内の重要不可欠な協調制御を確保でき、プロセスの自動運転を継続することができる。これが機能縮退バックアップシステムであり、同図の例ではコントローラ1がバックアップを行なっているところを示す。

6 試験結果

今回開発した機能階層自律形系統機器単位分散制御システムの検証を行なうため、350MW級ユニットを対象に検証システムを製作した。本システムは、ユニットマスタ、燃焼系統、通風系統、給水系統、タービン系統を対象とし、HISEC 04-M/L 6台、HISEC 04-M/F 11台を分散配置したもので、制御盤7面とCRTオペレーションシステム、エンジニアコンソールから構成される。検証システムはボイラ、タービン、バーナ、シーケンス補機から成るプラントシミュレータと組み合わせて種々の試験を行ない、すべての項目に合格するなど良好な結果を得た。特に制御と関係の深いCRTオペレーションに関しては、すべての運転操作をスムーズに行なえることを確認するとともに、そのレスポンスも1秒以内と高速に行

なえることを確認した。

7 結 言

デジタル第I世代での火力発電所の制御システムは、従来のアナログ制御装置の置き替えを中心として進められてきたが、第II世代では従来概念にとらわれることなく、発電プラント機器構成と人体の生体メカニズムから検討を加え、機能階層自律形系統機器単位分散制御システムとして確立した。また、このシステムの具体化に当たり、コンパクトで拡張性に優れた高機能コントローラと高速伝送ネットワークシステム、及び視認性に優れた高速で統一された制御用ソフトウェアを完成させ、火力発電所のすべての調整制御とシーケンス制御を融合化した。この結果、従来にもまして制御性、保守性、信頼性が高く、ハードウェア規模も床面積で60%と非常にコンパクトなシステムとすることができた。また、第II世代での制御装置は集中自動化の傾向を強め、ますます高度化・大規模化するとともに他社の制御装置との接続のニーズも高まっていくものと考えられる。今後は、異機種間的高速ネットワークを具現するための技術課題に対しても、積極的に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- 1) 飯岡, 外: 火力発電プラント最新形監視制御システムHIACS-3000, 日立評論, 68, 6, 437~440(昭61-6)
- 2) 新海, 外: 大容量石炭発電所総合デジタル制御システム, 日立評論, 65, 9, 603~608(昭58-9)
- 3) 山岡, 外: 高機能形コントローラ“HISEC 04-M/L, F”, 日立評論, 68, 6, 451~456(昭61-6)
- 4) 宮垣, 外: ユーザーオリエンテッドのDDC向けプログラミング言語と保守ツール, 日立評論, 68, 6, 457~462(昭61-6)