U.D.C. 621.311.2.07:681.323-181.48

マイクロコンピュータの発電設備への応用

Application of Microcomputers to Power Generating Plants

丸山英久* *Maruyama Hidehisa*
太組健児** *Takumi Kenji*
佐藤美雄*** *Satô Yoshio*
土井　章**** *Doi Akira*
溝口　強* *Mizoguchi Tsuyoshi*
菅野　彰* *Sugano Akira*

マイクロコンピュータの出現によって，制御システムの高度化・高信頼度化が実現できるようになった。この具体的適用例として，原子力発電所では放射線計装システム，タービンローカル制御システムなど，また火力発電所では新制御システム（ディジタル制御システム）で代表される全系統制御から個々の制御装置のマイクロコンピュータ応用について紹介する。また，水力発電プラント総合ディジタル制御システムについても触れる。制御の対象により目的は異なるが，いずれも従来の制御システムでは困難であった点が解決できた。特に，石炭火力発電所のボイラ中心の制御では有効な手段として用いられ，良好な制御特性を発揮できた。

1 緒　　言

マイクロコンピュータの原子力・火力・水力発電所への適用は，ハードウェアの縮小化を中心としての進歩とあいまって急速に拡大しつつある。特に，制御システムに用いた場合には，高度の制御機能を実現できること，保守の容易さに加えて高信頼性システム構成が得られるなど，数々の特長をもたせることができる。

この論文では，原子力・火力・水力発電所に対するマイクロコンピュータの適用についての考え方を述べるとともに，代表的な具体事例を紹介する。特に，火力発電所では，昨今の石炭燃焼プラントの増加に対処して，マイクロコンピュータの分散システムを用いることにより，最適な制御システムが構成できること，また実機に採用した事例について詳述する。更に，マイクロコンピュータ相互間の情報伝達手段として，信号変換の容易さ，情報の信頼性向上，あるいはケーブル材料節減に向かって直列伝送方式についても触れる。

2 原子力発電所ディジタル制御システム

原子力発電の分野では，(1)回路の冗長化及びオンライン自己診断機能付加による信頼性の向上，(2)ディジタル化による制御性・監視性の向上，(3)機能追加による安全性確保，(4)自動化，機械化による運転員への負担軽減及び放射線被曝低減，(5)標準化と製品の小形化による保全性の向上などを目的として，積極的にマイクロコンピュータやシーケンスコントローラの導入を図っている。

以下，これらの中で幾つかのシステムについてその概要を紹介する。

2.1 放射線計装システム

放射線計装システムでは，運転員の負担軽減，作業能率の改善と省力化，被曝低減などを目的とした自動化システムに対してマイクロコンピュータを適用している。発電所所内の要所で空気中のダストをサンプリングし，環境の放射線管理を行なうためのダストモニタへの応用もその一例であり，マイクロコンピュータにより次のような自動化を進めている。

(1)　従来，手計算で行なっていた放射能測定計数率（cps）から濃度（μCi/cc）への換算

(2)　サンプリング点，サンプリング時間の切替えなどのシーケンス制御

(3)　日，週の各平均濃度などの各種データの処理と出力表示

(4)　検出器（GM管）への照射量制限及び放射能異常警報発生場所の集中的監視

また，このシステムでは次のような自己診断機能も設けている。

(1)　校正用放射線源を用いた検出器の定期的な照射による出力特性のチェック

(2)　出力特性に異常が認められた場合の検出器プラトー特性のチェック

2.2 燃料交換機の遠隔自動化システム

BWR（沸騰水型原子炉）プラント用燃料交換機は，通常年1回実施される定期検査時の使用済み燃料の取出し，炉心内燃料の配置替え，新燃料の装荷などの燃料交換作業を行なうもので，炉心プール及び使用済み燃料貯蔵プールにまたがって敷設されたレール上を走行する走行台車，走行台車上を横行する横行台車及び横行台車に設置され，主ホイストで昇降される伸縮管方式燃料つかみ機などから構成される。従来，燃料交換作業は運転員が手動で行なっていたため，核燃料を取り扱う特殊性もあって運転員の負担は大きく，作業能率の低下をもたらしていた。そこで，作業能率の向上，省力化及び作業環境の改善を目的としてマイクロコントローラを開発し，高精度が要求される燃料交換機の4次元（走行・横行・昇降・把握機回転）の位置決め制御及び速度制御を直接計算制御（DDC）で行なうようにし，またシーケンス制御を自動化した。また，燃料交換作業を安全かつ確実に実行するための監視機能，作業記録印字・燃料装荷状況の印字などのロギング機能及び作業情報を表示する機能を実行させるようにしている。遠隔自動化システムを構成する操作盤の一例を**図1**に示す。

2.3 廃棄物処理設備用シーケンスコントローラ

BWRプラントの廃棄物処理系は，システム自体の改善とともに，運転監視制御方式についても大幅な合理化が図られてきている。特に，制御面では自動化，遠隔化をいっそう進めると同時に，これに対応したハードウェアとして，従来の電磁リレーに代わって機能，構成を全く一新したマイクロプロセッサ応用のシーケンスコントローラを全面的に採用し，次に述べるような特長を有効に生かした制御装置としている。

* 日立製作所大みか工場　** 日立製作所電力事業本部 工学博士　*** 日立製作所日立研究所　**** 日立製作所エネルギー研究所 理学博士

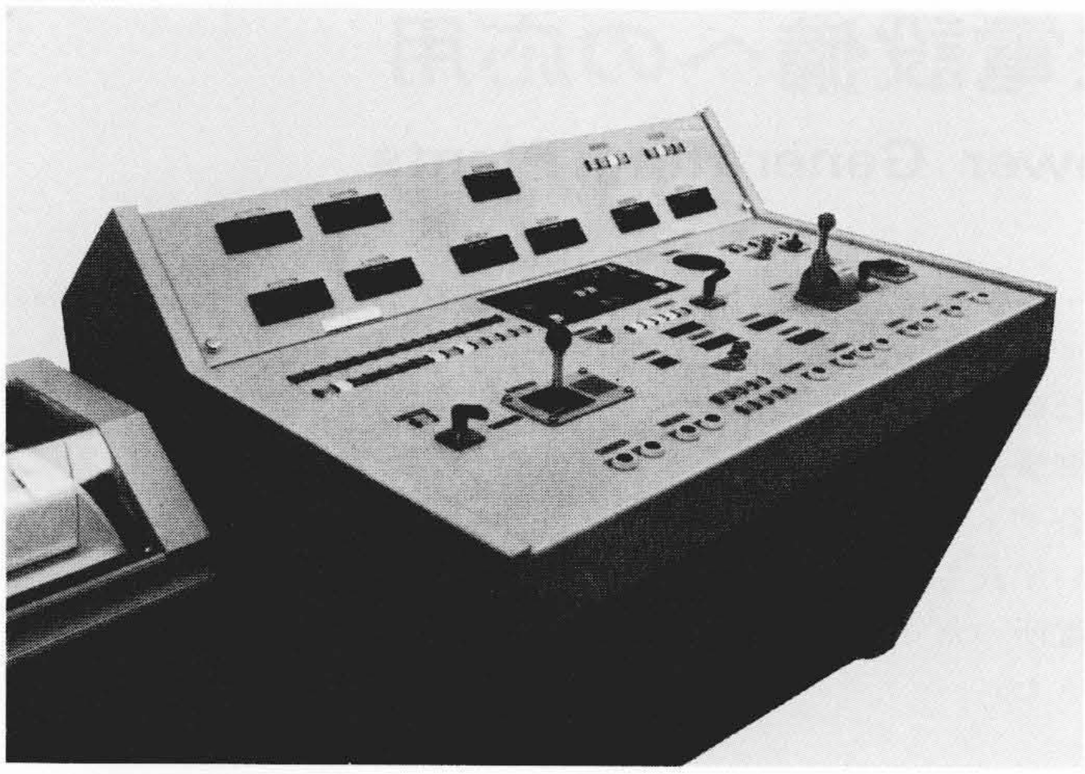


図1 遠隔自動化システムを構成する操作盤 操作盤は，原子炉建屋の運転階に設けられた燃料交換機用遠隔制御室に設置するもので，運転状態を監視するグラフィック表示器，位置表示器などの表示装置及び各種操作機器が取り付けられている。

(1) ハードウェアとエンジニアリングの非同期化が可能となり，計画のいっそうの充実と制御装置製作工程の短縮ができる。
(2) システムの追加，改善及び改造に対する柔軟性に優れ，建設工程の長期化を緩和できる。
(3) 制御盤の大幅な縮小化が可能となる。
(4) 自己診断機能などにより，ハードウェアの信頼性と保守性が向上する。

2.4 タービンローカル制御用分散形ディジタル計装

タービンローカル制御に対しても制御機能の大幅な向上などの目的から，マイクロプロセッサを応用した分散形ディジタル計装システムを，従来の空気式又は電気式アナログ計装システムに代わって適用している。主な特長は次に述べるとおりである。

(1) 従来計装では困難であった最適制御，シーケンス制御との有機的結合など，制御性能の大幅な向上が可能となる。
(2) 小数ループ(8ループ)ごとに集約した構成となり，演算機能が複雑なほど従来に比べ大幅なコンパクト化が可能となる。
(3) 自己診断機能などによるシステムの信頼性，保守性が大幅に向上する。
(4) 主要計器の中央制御室などへの遠隔設置により，保守時の被曝低減が可能となる。

3 水力発電所ディジタル制御システム

電力系統での安定運用，及び経済運用の面から揚水発電プラントの役割はますます大きな比重を占めつつある。特に，最近の揚水発電所では，運転モードでも発電，揚水のほかに調相，揚水待機運転などがあり，かつポンプ始動方式についてはサイリスタ始動方式と同期始動方式との併用など，一つの発電所で2種類の方式を採用するなど，従来に比べて制御内容の高度化，複雑化，高信頼度化及び保守の省力化が強くさけばれてきた。

以上の要求に応ずるため，日立製作所ではマイクロコンピュータを中核としたシーケンス制御装置を昭和49年に開発納入し，幾多の経験をもとに総合的な水力発電制御装置として改善を図ってきた。

水力発電プラントの制御装置としては，シーケンス制御，調整制御及び情報伝送制御に大別される。これらの各種機能をそれぞれユニット化し，適用システムの要求に応じて組み合わせることにより，高信頼度かつ経済的なシステムを構成する。これらの各機能ユニットの演算部は，マイクロコンピュータを採用しハードウェア的に同一としている。基本プログラムは，

(1) シーケンス制御，調整制御，伝送制御などをつかさどる制御部
(2) 状態変化，異常診断などをつかさどる監視部
(3) 異常箇所のローカライズ，状態表示などをつかさどる保守部

の三つから構成され，それぞれの機能ごとに異なる。基本プログラムは読み出し専用メモリを使用し，電気的にその記憶内容は消去できないので，従来装置のハードウェアと同等に扱えるように配慮している。各機能ユニットはインタフェースを統一するとともに，システムバスを介して相互に必要な情報の授受を効率的に実行させるようにし，規模に応じた拡張の容易性，機能分散による信頼性の向上及びソフトウェアのサポートによる保守の省力化を図っている。日立製作所は，以上の水力発電プラントの総合ディジタル制御システムを受注し，現在製作中である。

4 火力発電所ディジタル制御システム

4.1 プラント総合監視制御システム構成

最近の火力発電所に対して要請される高度で多様な機能を具現し，かつ電力プラント用としての信頼性や性能などを確保するには，機能の分散化とその分担の適正化に重点をおいてシステムを構成することが肝要である。ユニット計算機にはプラント総括監視機能をもたせ，主機と直結する制御機能をプロセスに対応して分散させたサブループ制御装置に分担させることを基本とした。制御システム全体の信号伝送としては，ケーブル処理の合理化を考慮して中央ケーブル処理盤を設置し，ケーブルの多心化を行ない，更に情報処理機能の向上及び計算機とのインタフェースの容易化の点からシリアル伝送を推進する。

システムの構成例を**図2**に示す。以下に，最もシステム規模の大きなサブループ制御装置の概要について紹介する。

4.2 ボイラ自動制御装置(D-ABC)

エネルギー資源情勢の世界的変動と国内電力需要の継続的増大の中で，火力発電所の課題が中間負荷運用の拡大と効率向上，多種燃料の有効利用などへと変遷するに伴い，ボイラ制御システムは高精度・高速応化，高度・多機能化するとともに，ますます大規模化・複雑化の傾向を強め，同システムに対する要請内容が，高性能の確保はもちろん信頼性，保守・拡張性の向上によりいっそう重点がおかれるなど大きく変化してきた。

一方，ハードウェアの分野では，大規模集積回路の開発とあいまって，信頼性の高いマイクロコンピュータが製作され，その実用化時代に入った。

(1) 設計思想と特長

マイクロプロセッサを応用したマイクロコントローラの特長は，従来のアナログモジュールに比べ集積度が高く，高速で書替え可能な記憶能力をもっていることにあるが，これを有効かつ適切に活用することにより，前述の新しいニーズに対応できることに着眼し，後述の設計思想に基づき制御システムを構成することに意を用いた(**図3**にシステムの構成例を

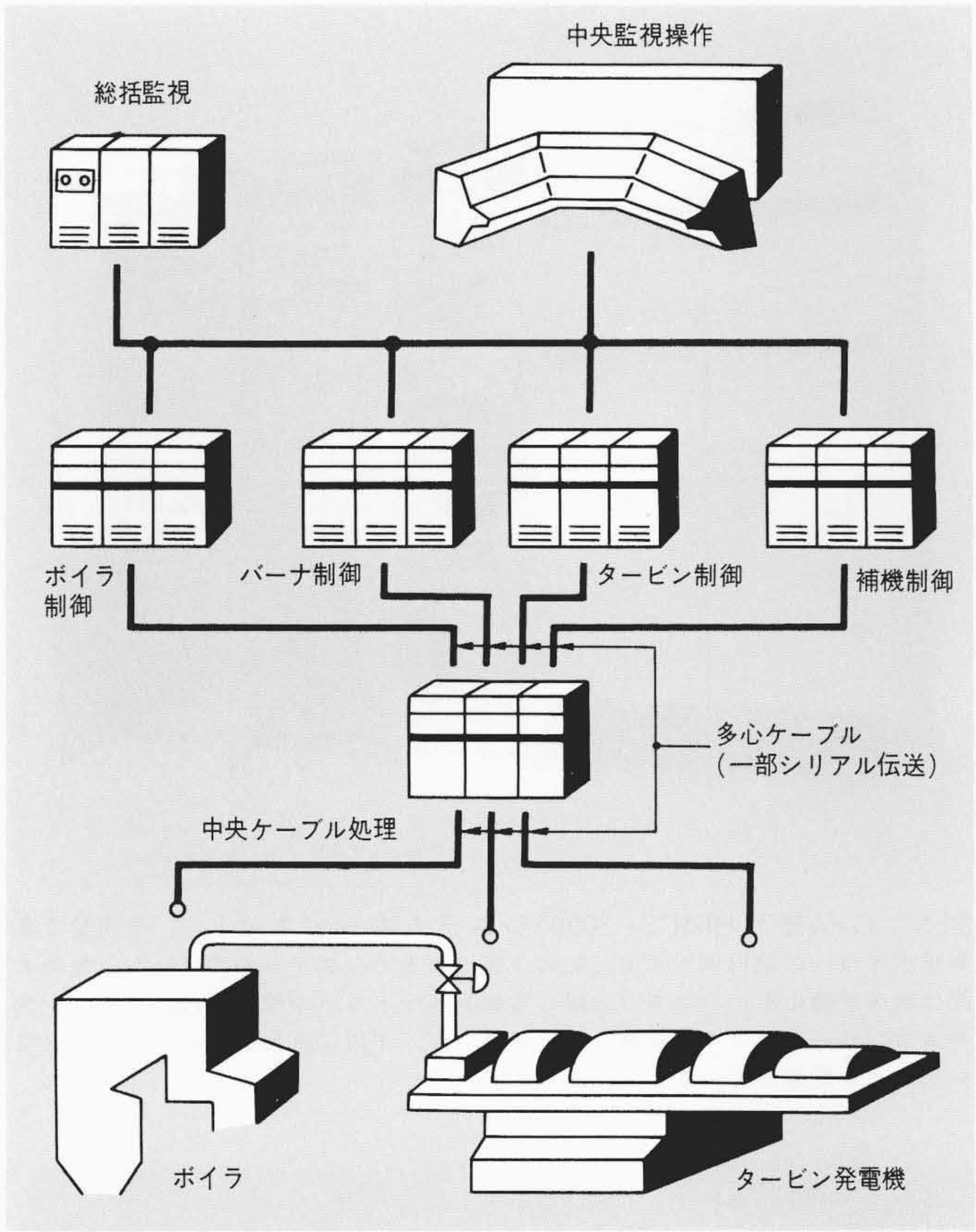


図2　火力発電所ディジタル制御システム構成　火力発電所の制御システムは，階層分散形のシステムを構成する。

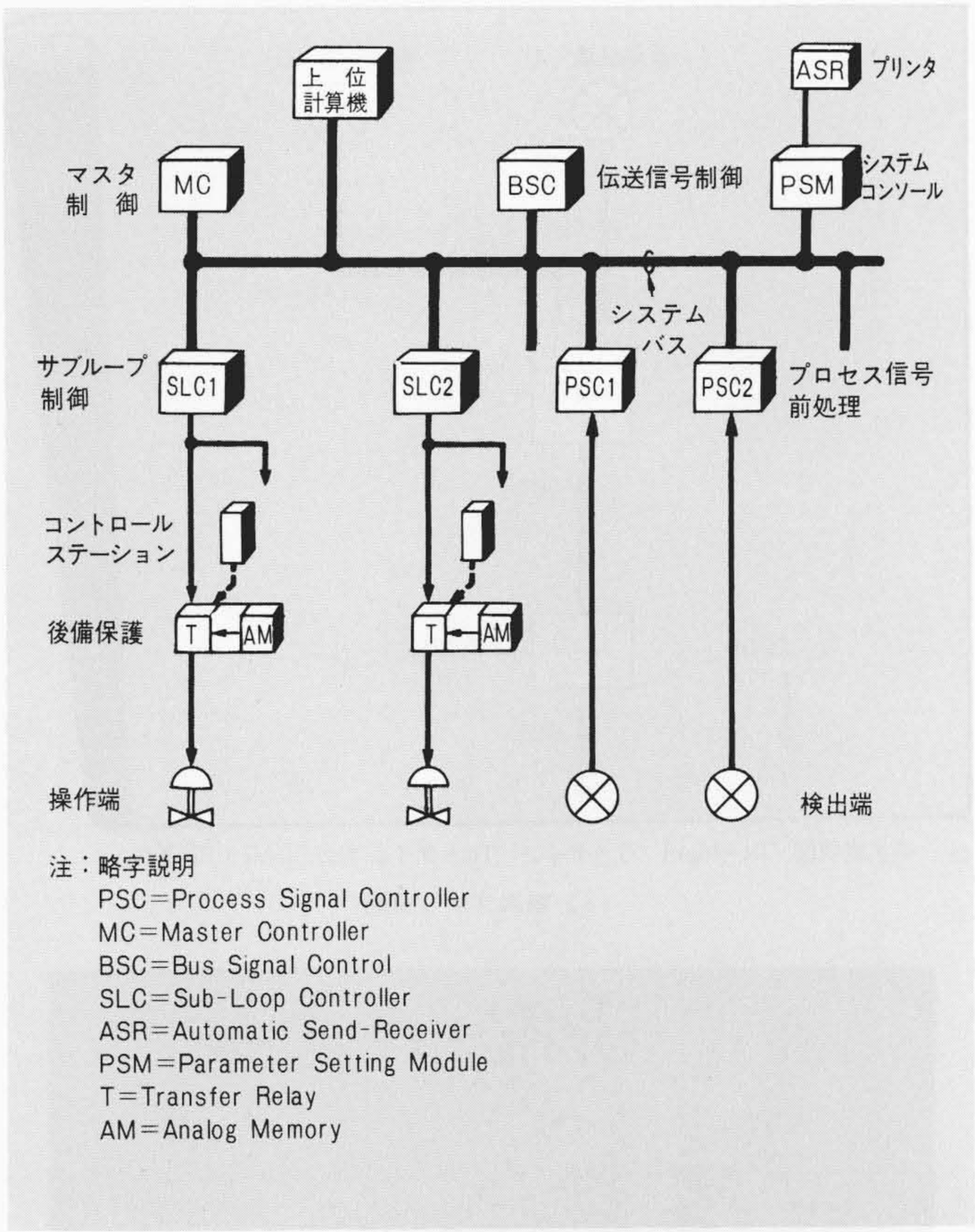


図3　D-ABCシステムの基本構成　制御対象に対応してマイクロコントローラを分散配置し，これらをシステムバスを介して有機的に結合させている。

示す)。

(a)　機能の高度化と多様化

D-ABCは従来のアナログABCがもつ機能を包含するとともに，これに先行予測制御やボイラ自動運転機能などのアドバンスト制御機能を加えて，中間負荷火力運用を容易にすることを指向している。ボイラの特性は，非線形でかつ時定数が大きく，負荷の大小などによって静的にも動的にも変化する。D-ABCは主機の特性変化に応じて経時的処理や非線形補償を行なうことにより，制御装置自体の特性を調整し，プロセス量のフィードバック結果を待たずにその変化を予測して，先行的に燃料などの操作量を制御することにより，蒸気温度などのプロセス量の変動を抑制し，ユニット起動時の熱応力の軽減，及び広範囲の負荷帯にわたり安定した運用を可能としている。

ところで，これらの機能処理は，複数のマイクロコントローラが分担している。すなわち，入力処理部(PSC)は，検出端からのプロセス信号の補正演算などの前処理を行ない，サブループコントローラ(SLC)やマスタコントローラ(MC)に送信する。MCは各サブループ間の協調演算など，SLCはプロセスと直結した演算を行ない，その出力信号を手動・自動切替ステーションを介して操作端に送る。また各コントローラ間は，システムバスを介してシリアル信号伝送によって結合されている。

(b)　システムの合理化・自由度の拡大

ボイラ制御システムを総括してとらえ，限定したハードウェアに集中化することも可能であるが，分散している制御対象に相応して機能及びハードウェアの分散化を図るとともに，これらを有機的に結合させた分散形システム構成とすることが信頼性などの観点からより適合している。D-ABCのシステム構成は後者を指向した。

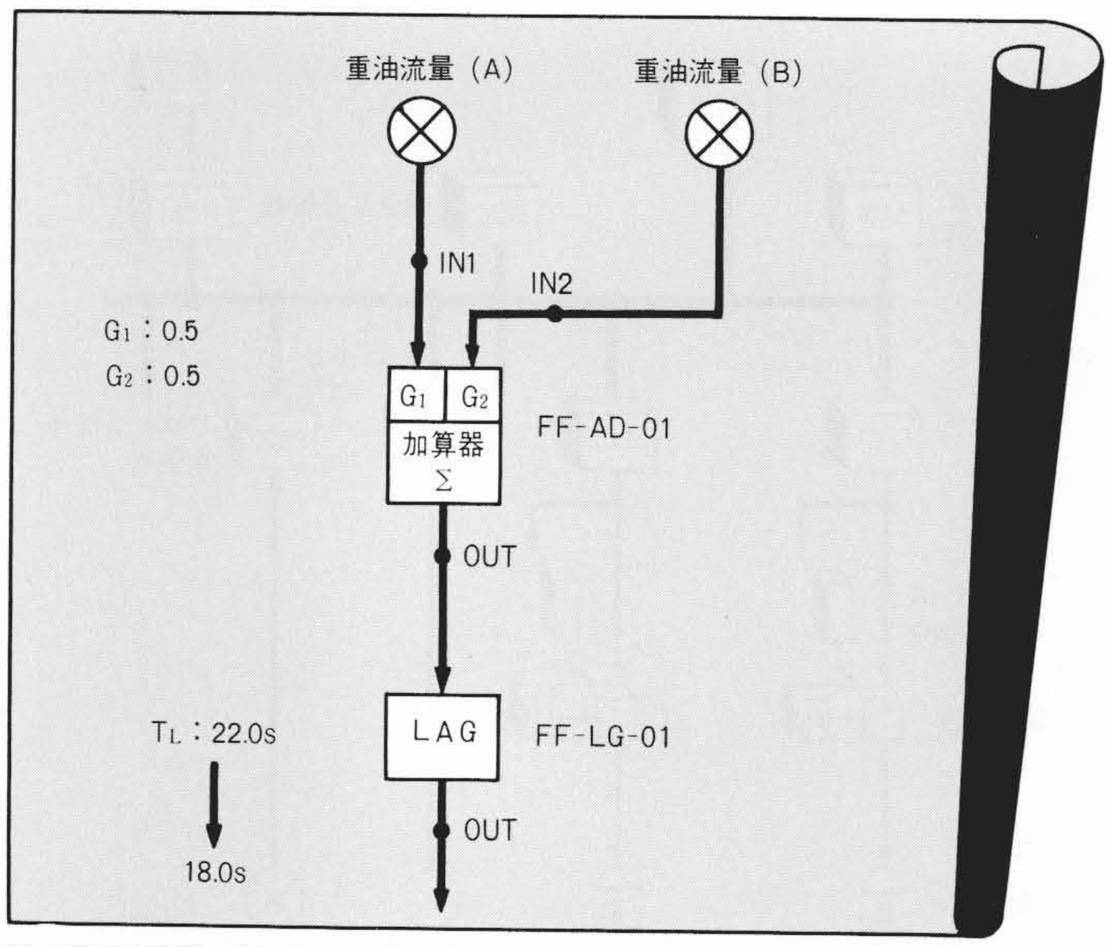
この構成は制御系統に対応してマイクロコントローラを自由に選択配置できるほか，これらをシステムバスを介してフレキシブルに結合させることにより，拡張性の高いシステムとすることができる。また上位計算機と結合して，これに高度のアルゴリズムを組み込み，システム規模に応じて多種多様な高度のニーズにフレキシブルに対応できる階層構成も実現することができる。

(c)　信頼性の向上

ボイラ制御システムは，火力発電プラントの総括制御としての中枢的役割を担うものだけに，常に高信頼性，事故の局限化と復旧の迅速化を底流に据えて臨まねばならない。D-ABCはPSC，SLCをプロセスに対応して分散配置し，一部のハードウェアの故障がシステム全体に波及しない構成とするとともに，SLCには後備保護を設け，異常時に手動運転などによるバックアップを可能とした。またMC，システムバスなど，機能が集中する重要部は二重化を基本とし，相互診断による相互バックアップを行なっている。更に，信頼性強化に対し最も効果的な故障診断機能を付加し，コントローラ自体の診断のほか，検出器からの受信信号や操作端への操作信号の合理性チェック，転送信号の反転2連送チェックなども行ない，異常発生時には待期系又は後備系に切り替えるなどの処理を行ない，プラントへの波及防止を図っている。

(d)　保守の容易化

従来の技術者がコンピュータの専門知識がなくても，容易に取り扱いできるものとすることを基本に，FIF(Fill in



注：略字説明図 IN＝Input G＝ゲイン T_L＝タイムラグ LAG＝1字遅れ

（a）制御ブロック図

```
*P  FF  AD  01  IN1   021.2
    FF  AD  01  IN2   030.4
    FF  AD  01  G1    0.500
    FF  AD  01  G2    0.500
    FF  AD  01  OUT   025.8
*P  FF  LG  01  OUT   025.8
    FF  LG  01  TL    022.0S:  018.0
    FF  LG  01  TL           ;  018.0S_
```

（b）表 示 例

図4 システムコンソールによるマンマシンインタフェース例
演算要素の入出力信号やパラメータが表示され，キーイン操作によるLAG(ラグ)要素のパラメータ変更例も示す。

the Form)方式とインタプリタ方式とを併用した専用の言語体系を開発し，制御ブロック図から直接プログラムできるようにした。保守ツールとしては，システムコンソールとモジュールチェッカなどを装備し，保守時間の短縮と取扱いの容易化を図った。システムコンソールは，プラズマディスプレイとキーボードをもち，すべて従来のアナログABCで用いているエンジニアリング言語で入出力できる機能をもち，オンラインで任意のパラメータの変更が安全かつ容易にできる。**図4**にシステムコンソールの表示例を示す。

ハードウェアの実装については，従来のユニット計算機と異なり複数のマイクロコントローラを制御系統別に配置し，保守の便宜化を図るなど，分散構成のメリットを有効に生かしている。**図5**にD-ABCシステムキャビネットの外観を示す。

(2) 試験結果

D-ABCを石炭焚き事業用ボイラに適用し，昭和53年11月から営業運転を開始し順調に稼動している。調整期間中にステップ応答，傾斜負荷変動など一連の性能試験を実施した結果，アナログの機能を満たすとともに先行制御などの機能付加により，これを上回る負荷応答性能を確認することができた。**図6**に負荷応答試験結果の一例を示す。負荷変化幅50%を2%/分の負荷レートで変化させたときの特性データを示すものであり，負荷変化途中に石炭ミルを2台追加しているが，主蒸気圧力，主蒸気温度などの変化幅は，それぞれ

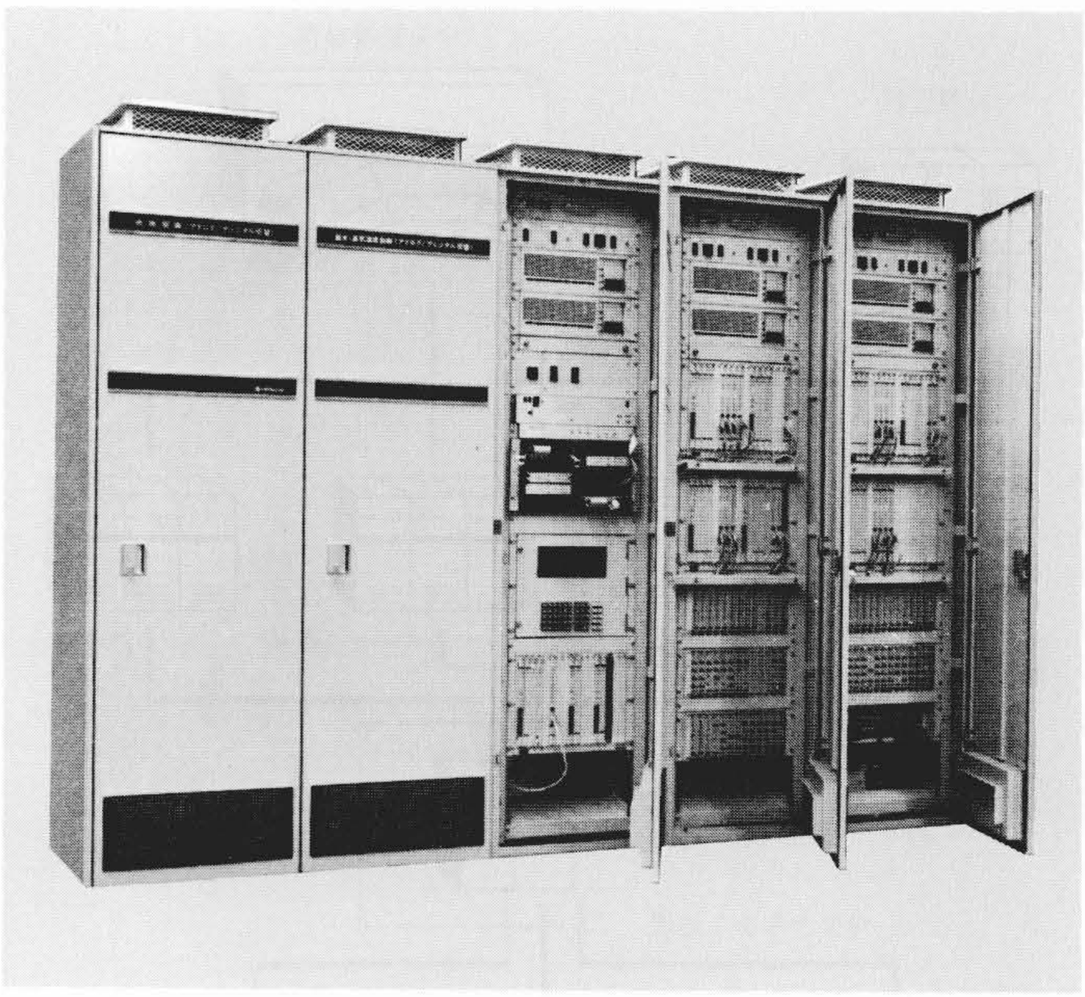


図5 D-ABC(HIACS-2000)システムキャビネット 石炭焚き事業用ボイラへの適用例を示す。右の3面がABCシステムをカバーし，左の2面は他の用途に用いられる。上段に電源ユニットを，中段に上位計算機，システムコンソール及びマイクロコントローラを，下段に入出力インタフェースモジュールを配置している。

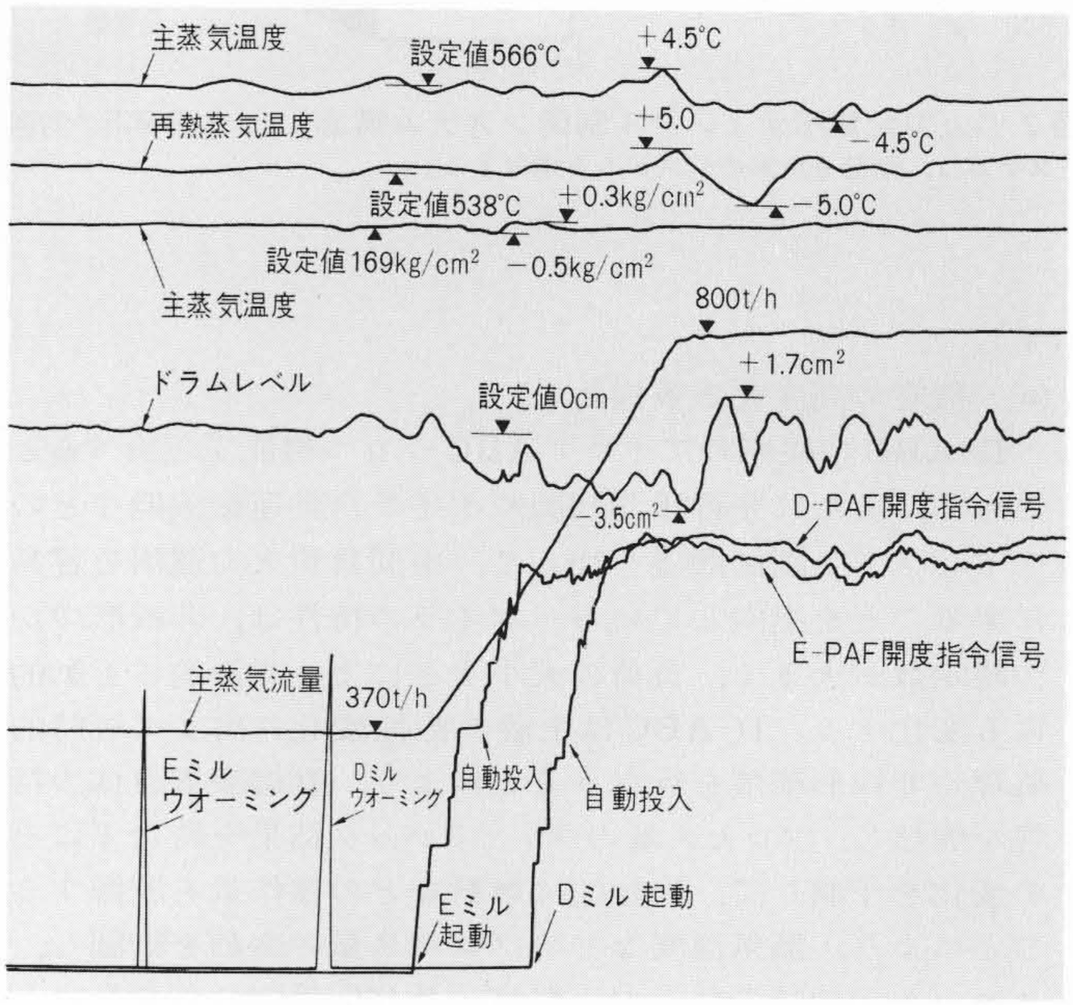


図6 石炭焚き事業用ボイラの負荷応答試験記録 負荷変化幅50%，負荷変化率2%/分での負荷上昇試験記録であり，ドラムレベル，蒸気温度，主蒸気圧力などの変化幅も小さく良好である。

±0.5kg/cm²，±5℃以下と良好である。

5 結 言

マイクロコンピュータは，原子力・火力・水力発電所の将来のあるべき制御システムを考えた場合に不可欠の要素であり，今後，更に広く使用されるであろうことは論をまたない。この論文では既に実用に供している各種制御システム，その応用例を中心に紹介したが，日立製作所では全ディジタル制御システムを目指して開発を続けるとともに，社会的ニーズにこたえていく考えである。