

# 火力発電所全デジタル制御装置

## All Digital Control System for Thermal Power Plants

我が国では、二度にわたるオイルショックを経験して、火力発電用燃料として石油から石炭への急速な転換が要請され、また原子力発電の比率は今後ますます増大する傾向にある。これらを背景として火力発電所に対しては、負荷応答性の向上、高効率、高信頼性の運転性確保、主機の寿命管理、保守費の低減などが強く要請されており、火力発電プラントのなかで制御システムの責任、重要性の比率はますます高まってきている。

本稿では、上記のニーズに適合するため開発、整備してきた火力発電所全デジタル制御システムを、システム構築法、高度機能の付与法、プログラミング言語の在り方、保守方法などの観点から説明する。

東 敏彦\* *Toshihiko Higashi*

飯岡康弘\* *Michihiro Iioka*

佐藤美雄\*\* *Yoshio Satô*

### 1 緒 言

発電プラントでの計測、制御はその重要性をますます増大してきている。

日立製作所ではこれに応ずるため、マイクロコントローラ応用技術を駆使した監視、制御システムを開発し、数多く採用されている。本稿では、整備された各サブシステムを総合したシステム構成の概要、保守の方法及び実例について紹介する。

### 2 デジタル制御装置開発の歴史

1971年(昭和46年)に米国インテル社から4ビットのマイクロプロセッサが発売されて以来、高密度集積技術を駆使した8ビット、16ビットのマイクロプロセッサが内外各社から矢継ぎ早に発表された。現在では32ビットのマイクロプロセッサが公表されており、LSI技術を駆使したカスタム化LSIプロセッサも各社から発表されている。一方、その応用技術は計測、制御、情報処理、通信、その他の分野に急速に浸透し、最近ではワードプロセッサ、家庭用調理器、ミシンなどにも応用されていることは周知のとおりである。

日立製作所ではマイクロコントローラの発展を予測し、マイクロプロセッサの発売開始後間もない1975年に大容量蒸気タービン用電子油圧式調速機で、大部分の電子回路部分にマイクロコントローラを適用したD-EHG(デジタル式電子油圧調速機)システムの開発に着手した<sup>1)</sup>。1977年には、世界最初のD-EHGを昭和発電株式会社市原火力発電所6号タービン(175MW)に採用され、現在順調に稼動中である。その後複雑な論理回路の集合体である自動バーナ制御装置<sup>2)</sup>、タービンロータの熱応力を予測し制御と直結するタービン自動制御装置(HITASS)<sup>3)~5)</sup>、分散配置されたコントローラをシステムバスにより有機的に結合してシステム構成したボイラ自動制御装置(HIACS-2000)<sup>6),7)</sup>を開発製品化し、数多く採用されている。また、給水ポンプ駆動用タービンの調速機、及び補機のシーケンス回路などへのマイクロコントローラ応用製品のラインアップも完了している。開発開始時点で入手可能な最適なプロセッサの選定、装置の所要演算時間、装置に許容される分散度などの諸問題を検討して、現在表1に示したように3種のコントローラをシリーズ化している。

表1 階層2及び3向け3種のデジタルコントローラ 3種のデジタルコントローラは、各々用途が相違して階層2及び3を構成する。

項目	機種名	HISEC 04	HISEC 06	HISEC 08 (HISEC 04E)
1	用途	論理制御専用	低速アナログ演算専用	高速アナログ/論理制御
2	具体的適用例	バーナ制御装置 補機制御装置	ボイラ制御装置(APC) ボイラ関係ローカル制御装置 タービン関係ローカル制御装置	タービン制御装置(EHG) タービン自動制御装置(HITASS) 給水ポンプ用タービン制御装置
3	使用言語	電力制御用マクロ言語	電力制御用マクロ言語	電力制御用マクロ言語
4	プログラムの記述、内容の表示	CRT会話形プログラマ(オプション)	CRT会話形プログラマ(オプション)	CRT会話形プログラマ(準備中)
5	保守-RAS機能	PI/Oの個別故障表示回路付	PI/Oの個別故障表示回路付	PI/Oの個別故障表示回路付
6	サンプリング周期の例	8ms/4k語(バーナ制御装置)	500ms(ボイラ制御装置)	30ms(タービン制御装置)
7	ハードウェアワード構成	1ビット	8ビット	16ビット
	メモリ容量(アプリケーション用)	4/8(k語)	8/12(k語)	8~32(k語) 8k語単位増減

注：略語説明 RAS(Reliability, Availability, Serviceability), CRT(Cathode Ray Tube), PI/O(プロセス入出力回路), APC(Automatic Plant Control), EHG(Electro-Hydraulic Governor)

\* 日立製作所大みか工場 \*\* 日立製作所日立研究所

### 3 全デジタル制御システム

#### 3.1 システムの構成法

まず火力発電所向けにマイクロコントローラを主体として全制御システムを構築する場合に充足すべき条件、基本的考え方を説明する。

##### (1) 機能の分担

従来のハードワイヤードな装置が担当していた機能を、マイクロコントローラに代替するのではユーザーにとって効用が少ない。マイクロコントローラのインテリジェンシーを利用して、従来上位のコントローラが担当していた機能、あるいは新しく開発した機能をプラントに直接接続される下位のコントローラに負担させるべきである。これによって、系統的にプラントに近く位置するコントローラは、プラントから直接入力する検出信号、自蔵した高度な制御アルゴリズム及び数少ない上位コントローラからの指令信号によって行動可能となるので、上位コントローラ～下位コントローラ間の結合は疎となり、下位コントローラの自律性が比較的保たれ、上位のコントローラの故障によって制御システム全体が崩壊するのを防止できる。

また、最上位のユニットコンピュータに火力発電所全体を統括させたとして、これと最下位のコントローラの間には、必要に応じて複数台の最下位コントローラを統括するコントローラを介在させた階層構成が望ましい。

##### (2) ビルディングブロック構造

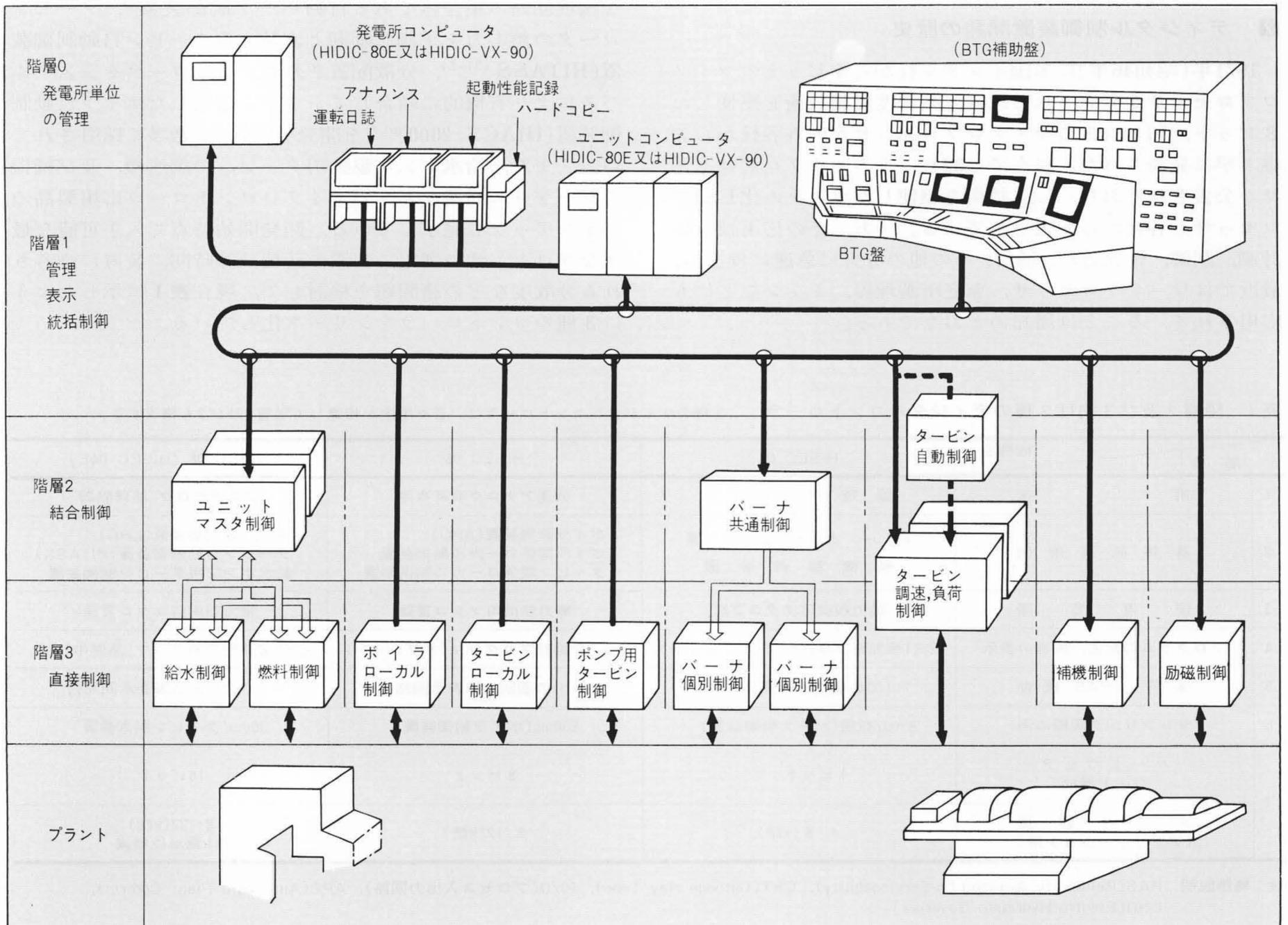
美的な形態のシステムを構築できても同一メーカーのシステム要素をすべて結合しないと、プラント全体の制御機能を達成できないのでは困る場合がある。すなわち、ユーザーニーズに合わせて、積木細工的に結合、分離が容易なシステムでなければならない。

##### (3) マルチマイクロコントローラ間情報伝送技法の吟味

1台のマイクロコントローラの計算量の負担低減、故障時の危険分散のためには、マルチマイクロコントローラ間の情報伝送法の検討が不可欠である。この問題については近年数多く報告<sup>8),9)</sup>されている。例えば、文献9)では階層構成、星状構成、ループ構成など12種のネットワーク構成法について、信頼性、コスト、システム拡張性、通信速度などの観点から比較がなされている。上記(1)、(2)の考え方でシステム構造を決定し、これに適した伝送方式を階層ごとに検討しておく必要がある。

##### (4) ソフトウェア言語の一貫性、保守性

前述のようにマイクロコントローラの革新は目覚ましく、プロセッサの開発時期が相違した場合にアセンブラレベルの言語形態が変更になることはままあるので、電力のユーザーには日ごろなじみのある制御言語を用いて記述し、違和感のないシステムを納入し保守上問題のないようにしておく必要がある。



注：略語説明 BTG盤（ボイラタービン発電機盤）

図1 火力発電所全デジタル制御システム インテリジェント化された制御装置は、4層の構成となっている。

### 3.2 全デジタル制御システム

#### (1) 4層の階層構成とユニットコンピュータ

図1に火力発電所向け制御装置として、現在整備されているシステムの構成を示す。システムは階層0～3までの4層の階層構成をなしており、従来ハードワイヤードなコントローラが主流であった時代の形態と差異がないように見える。しかし、このシステムでは従来上位のコントローラが担当していた、あるいは新しく開発された高度機能が、プラントを直接制御する階層2又は3のコントローラに移されており<sup>3),6),7)</sup>、質的に大いに相違している。

まず階層0には、何台かの発電ユニットに対し1台設備された発電所用計算機が属し、各ユニットの発電量、運転時間、効率などのデータ管理、記録を担当する。

階層1にはデュプレックス構成のユニットコンピュータと中央監視盤が所属する。従来ユニットコンピュータが担当し、負担の重かったボイラ昇温、タービン昇速などの業務は下位コントローラへ委譲され、ユニットコンピュータはプラントの起動、停止、負荷増減などの統括的制御の手順を決定し、中央盤上のCRT(Cathode Ray Tube)へプラント情報、下位コントローラの運転状況を表示するのが主業務である。

#### (2) 階層2及び3のコントローラ

階層3のコントローラはプラントを直接制御するが、多変数特性の強いボイラの制御では階層2のコントローラが階層3のコントローラ群を統括制御し、ユニットコンピュータとの伝送を担当している。ボイラローカル制御、タービンローカル制御、補機制御などでは各々の制御を複数台のコントローラで担当させても、これらのコントローラ間の結合性はうすいので、階層2のコントローラを必要としない。

タービン制御装置の場合、各蒸気弁間の機能の結合が極めて密であるのでコントローラの故障時を考えると、マスタ部、蒸気弁制御部群と区分して階層構成するのは反って危険である。階層2及び3の機能を一括して、高速アナログ演算と論理制御が同時に可能な高性能マイクロコントローラHISEC 08 2台を用いた待機冗長二重系方式<sup>1)</sup>としているのが特長である。

前記の表1では3種のシリーズ化デジタルコントローラの適用法を示したが、一例として図2にHISEC 06形デジタルコントローラ2台を実装したユニットの写真を示す。

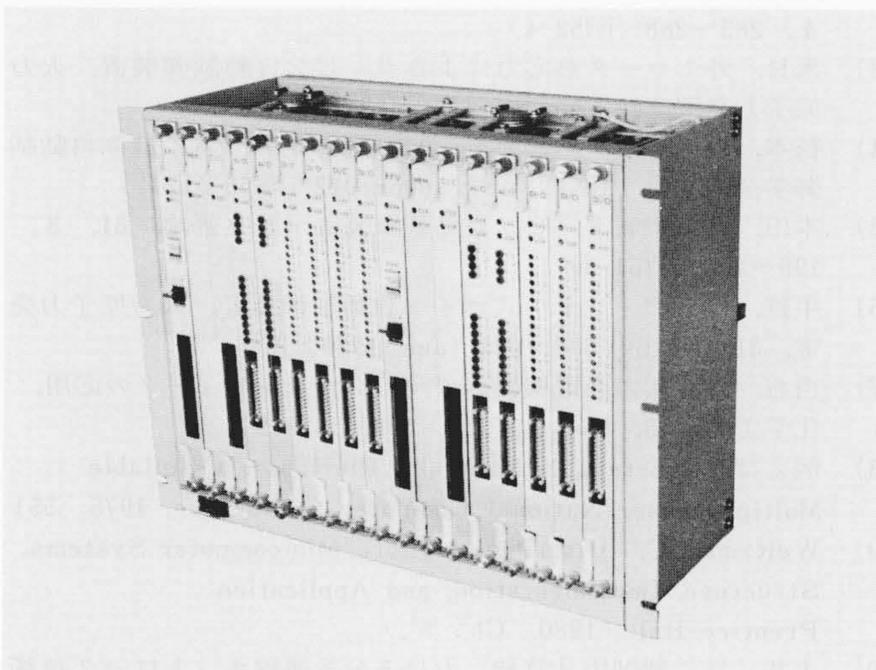
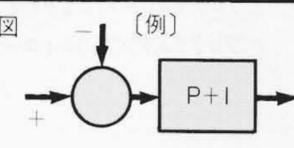
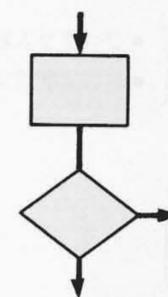


図2 マイクロコントローラ収納ユニット 1個のラックに、2セットのマイクロコントローラが取り付けられている。

表2 プログラム用言語体系と処理内容による選別 3種のプログラム言語には、各々適した用途がある。

言語	概要	備考
1 アセンブラ	機械語が「1」「0」のパターンで記憶しにくいのに対し、アセンブラは暗記コードであり、記憶しやすい。	プロセッサ機種ごとに言語は相違する。
2 コンパイラ	人間の言語体系に近い共通言語である。〔例〕FORTRAN, ALGOL, COBOL, BASICなど	プロセッサに共通した言語体系である。
3 POL (問題向き言語)	特定の問題を解くために開発された言語 ● 電力制御用言語 ● 連続系のシミュレーション用言語	プロセッサが相違しても同一表現を採用可能である。

	処理内容(機能)の表現法	望ましい言語
処 理 内 容	(1) ブロック線図で表現 〔例〕 	ブロック線図から直接プログラム可能なPOL
	(2) 数式で表現 $y = ax + b \frac{dx}{dt}$	コンパイラ
	(3) フローチャートで表現 	コンパイラ (比較的大形プロセッサ) アセンブラ (小形、量産形プロセッサ)

#### (3) コントローラ間データ伝送

図1ではユニットコンピュータと階層2及び3のコントローラ間のデータ伝送に、データフリーウェイ方式<sup>10)</sup>を適用した伝送形態を示した。ただし、火力発電所の場合にはユニットコンピュータと下位コントローラが同一の計算機室内に設置されて両者間の距離が短く、大量の情報量を取り扱わないことが多いので、必ずしもこの方式にこだわる必要はなく、ユニットコンピュータと下位コントローラ間を1対1で高速通信する方式も实际的であり、いずれのニーズにも対応可能である。

#### (4) ソフトウェア言語

デジタルコントローラ制御用言語として、アセンブラ、コンパイラ、POL(問題向き言語)が知られているが、表2にこれらの概要を示した。発電所の制御では従来から比例+積分、論理積などのブロック線図表現法が採用されているので、これを踏襲してブロック線図から直接コーディング可能なPOLを3種のコントローラに共通して採用している。なお高性能マイクロコントローラHISEC 08にこのPOLを適用した場合、現代制御論を適用した場合に必要な行列の固有値の求解などのアルゴリズムを、同一コントローラのメモリに内蔵できる特長がある。

従来、ユーザーからマイクロコントローラのもっている制御機能、データがメモリに格納されているため、不可視で、装置の保守に専門技術を要するといった不満があった。ユーザーニーズを整理すると、プログラムの作成、制御定数の変更、運転中のモニタ、容易な定数変更などであるが、更に大幅な機能変更が生じた場合、メーカーのホストコンピュータで新プログラムを用意しておき、旧プログラムと一挙に置換

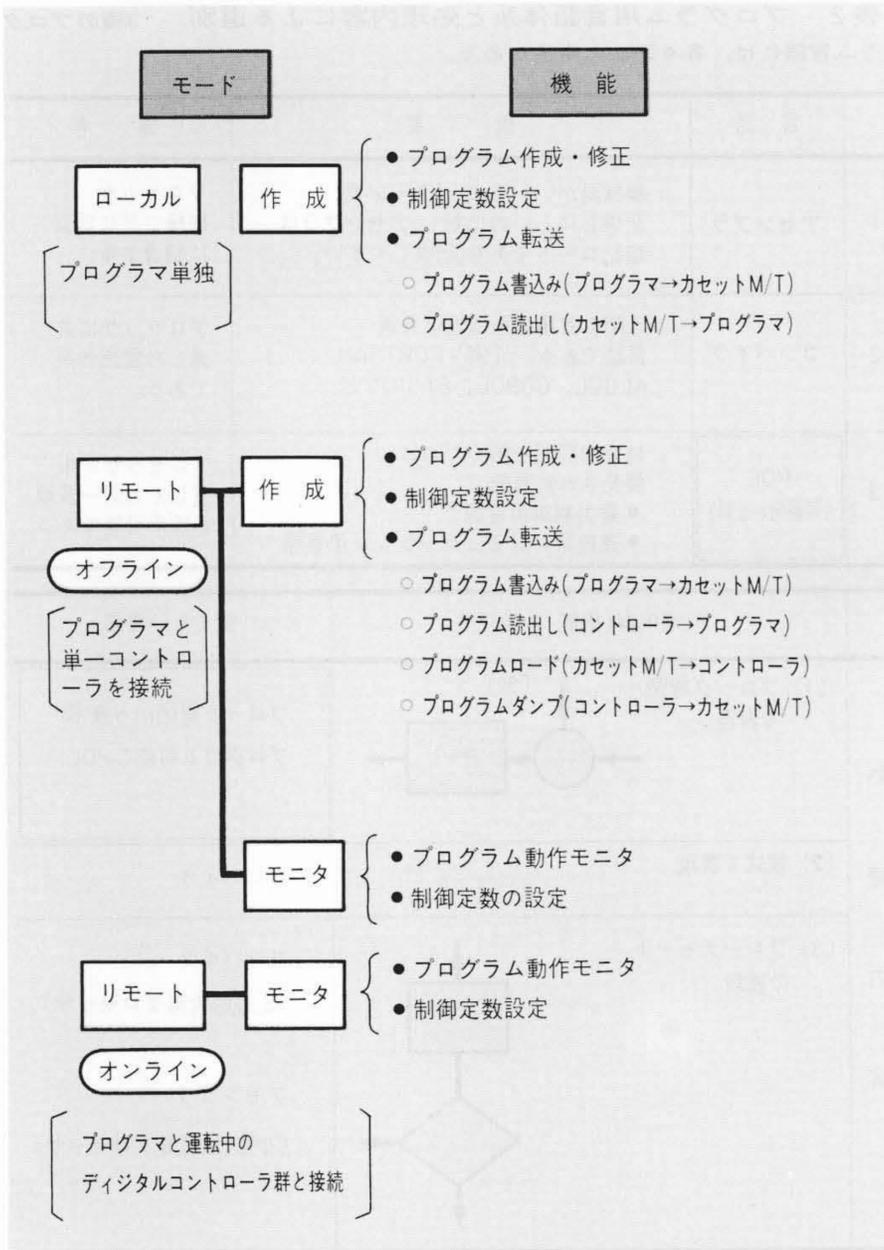


図3 CRT会話形プログラマ機能の体系 ニーズを網羅して多彩な機能をもっている。

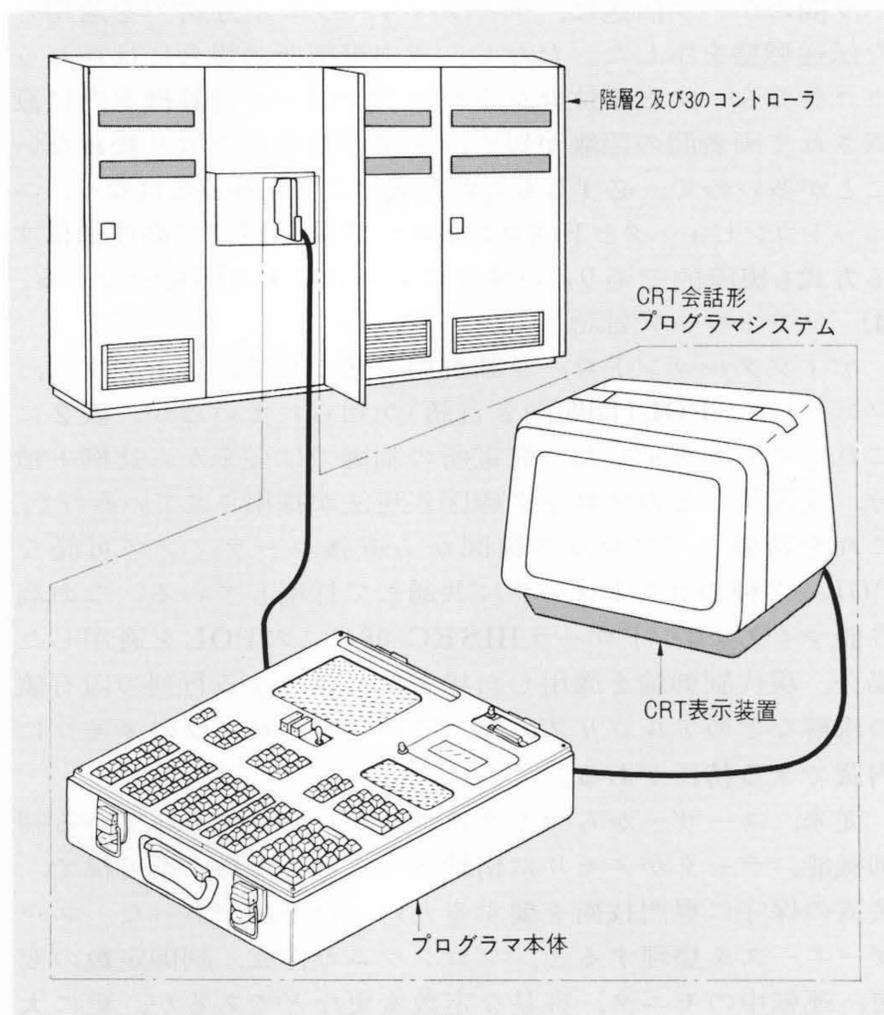


図4 CRT会話形プログラマ プログラマは制御装置と簡単に接続でき、モニタリングなどが可能である。

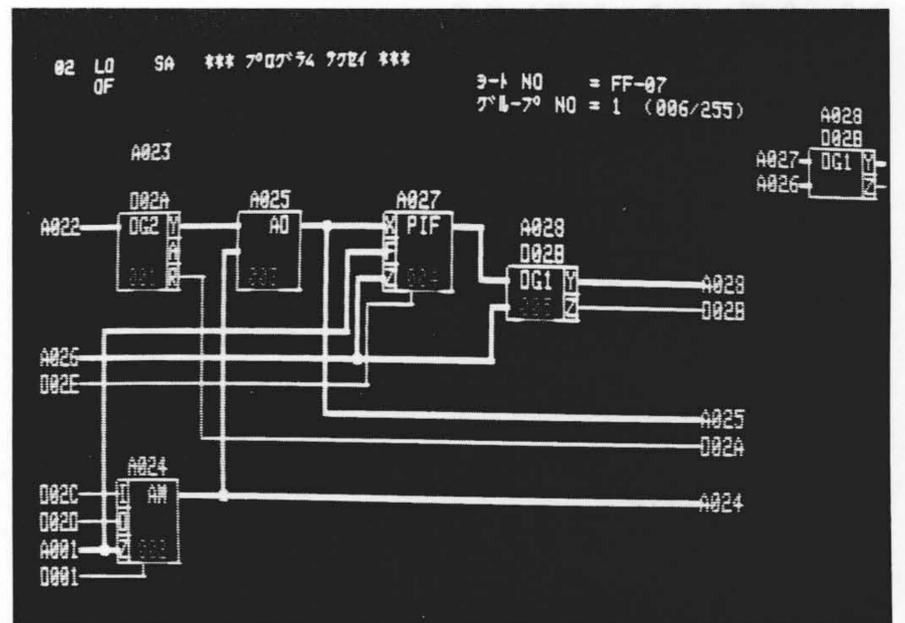


図5 CRT会話形プログラマによる作図例 本図はローカルモード時に、プログラマのキーボードからの入力操作により機能ブロックの配置と接続を自動的に行ない、制御ブロック図として表示した例を示す。

するニーズも予想される。これらの機能を体系的に整理して図3に示した。図4では上記の機能を満たしたCRT会話形プログラマの概念図を、図5に制御ブロック図の作画例を示す。比例・積分、加算、アナログメモリなど従来電力向け制御装置として一般に用いられている機能記号が、プログラマ上のキーに刻印されており、図面と同一のブロックの配置、結線、修正を容易に行なうことが可能である。このツールは既に開発を完了し、実機に適用されている。

#### 4 結 言

この論文では、データ処理とDDC(直接計算機制御)間の徹底的な機能分担化、高度機能の実現、結合・分離の容易性、信頼性向上への配慮、保守・改造の容易性をねらった4層構成の全デジタル制御システムの概要について述べた。システムを開発するに当たり多くの顧客各位から有益な御助言をいただいた。ここに深謝の意を表わす次第である。

#### 参考文献

- 1) 東, 外: 蒸気タービン用デジタル式電子油圧ガバナ, 日立評論, 59, 5, 403~408 (昭52-5)
- 2) 丸山, 外: 火力発電所のデジタル制御技術, 日立評論, 59, 4, 283~288 (昭52-4)
- 3) 天日, 外: ロータ熱応力によるタービン自動制御装置, 火力原子力発電, 29, No. 5, 473~482 (May, 1978)
- 4) 松本, 外: ロータ熱応力タービン制御システム, 計測自動制御学会論文集, 16巻, 6号, 905~912 (昭55年12月)
- 5) 本田, 外: 蒸気タービン自動制御装置, 日立評論, 61, 3, 199~202 (昭54-3)
- 6) 中野, 外: デジタル式ボイラ自動制御装置, 火力原子力発電, 31, No. 6, 609~621 (Jun. 1980)
- 7) 白石, 外: 火力発電機器へのマイクロコンピュータの応用, 化学工学, 43, No. 9, 536~539 (1979-9)
- 8) 例えば, Ornstein, S.M. et al.: Pluribus—A Reliable Multiprocessor National Computer Conference, 1975. 551
- 9) Weitzman, C.: Distributed Micro/Minicomputer Systems Structure, Implementation, and Application. Prentice-Hall. 1980. Ch. 5.
- 10) 平井, 外: 制御用計算機における分散処理ネットワーク技術の動向, 日立評論, 60, 7, 477~482 (昭53-7)