

電子式ボイラ自動制御装置 HIACS-1000

Automatic Boiler Control System HIACS-1000

The HIACS-1000 analog control system for large thermal station boilers has been developed based on Hitachi's extensive experience in computer application and solid state techniques, and achieves more reliable control function than conventional foreign made types. In its design emphasis was placed especially on the digital computer compatibility, reliability in service in severe ambient conditions (max. 55°C and 90% RH), flexibility for expanding the system, and adaptability for complex control systems.

飯岡康弘* Michihiro Iioka
西村 昭* Akira Nishimura
福丸隆文* Takabumi Fukumaru
中野善之** Yoshiyuki Nakano

1 緒 言

最近のわが国における火力発電所の大容量化ならびに自動化の進展には、めざましいものがある。負荷制御で重要な役割を果たすボイラ自動制御装置（以下ABC装置と略す）も電子式が大勢を占めます。機能が多様化、複雑化し、従来にもまして高信頼性が要求されるようになった。

日立製作所におけるABC装置の国産化は、昭和32年から開始され、これまで175MW火力プラントの電子式ABC装置をはじめとして数多くの納入実績を持っている。しかし大容量火力用ABC装置は、ABC装置専用の多様な機能ならびに高性能を要求されることなどから、従来はほとんどが輸入品であったが、このほど、輸入の制御装置に匹敵する機能ならびに性能を持ち、さらに国内のきびしい環境条件に適合した高信頼度の電子式ABC装置HIACS-1000を開発することができた。

本装置は、従来のシステム技術ならびに電子式アナログ制御装置のハードウェア技術を基盤として開発されたもので、計算機制御時代に適合したものである。

2 開発の背景

HIACS-1000の開発にあたって、上記のような基本的要件とともに、以下に述べるような使用者側の要請が背景となっている。図1は、最近の大容量プラント用ABC装置に要求されるおもな諸要件を示したものである。

(1) 信頼性の向上

ABC装置は、発電プラントの中核的役割をになうものだけに、ひとたびABC装置に故障発生した場合には、プラント全体に及ぼす影響が大きいので、特に高い信頼度が要求される。一般に、電子式制御装置は、空調した環境に置かれるが、空調設備の故障などで環境条件が急変し、高温・多湿のもとに置かれる場合も想定して、このような悪条件でも安定した制御を持続できるものでなければならない。

一方、自動制御システムを取り巻く周辺条件の急変（一例：電源供給停止など）ならびに制御システム自体になんらかの異常事態が発生した場合には、これを的確に検出し、現状運転状態を維持するか、またはプラントを安全側へ操作できるものであることが基本的な要求項目である。

(2) 性能の向上と自動化

電力系統運用上、大容量火力といえどもELD（経済負荷配分制御）およびAFC（自動周波数制御）運転されるようにな

り、ABC装置に対し中央給電指令に速応できること、負荷調整範囲を広くとれることなどが要求される。ABCシステムの良否が火力発電所の負荷応答許容限界を決める重要な要因となるので、ABCシステムは、ボイラ動特性に応じ、より最適な制御方式を採用して行かねばならない。

一方、これら制御システムは、フィードバック制御方式が基本となるが、最近では、負荷応答改善面からフィードフォワード制御方式が全面的に採り入れられるようになってきたため、制御装置に対して高精度でかつ周囲温度、電源変動などの周辺条件の変化による影響の少ない高安定なハードウェアが要求される。

ところで、火力発電所の起動停止には長時間にわたる複雑な諸操作があり、運転員の負担を大きくするので、これらを

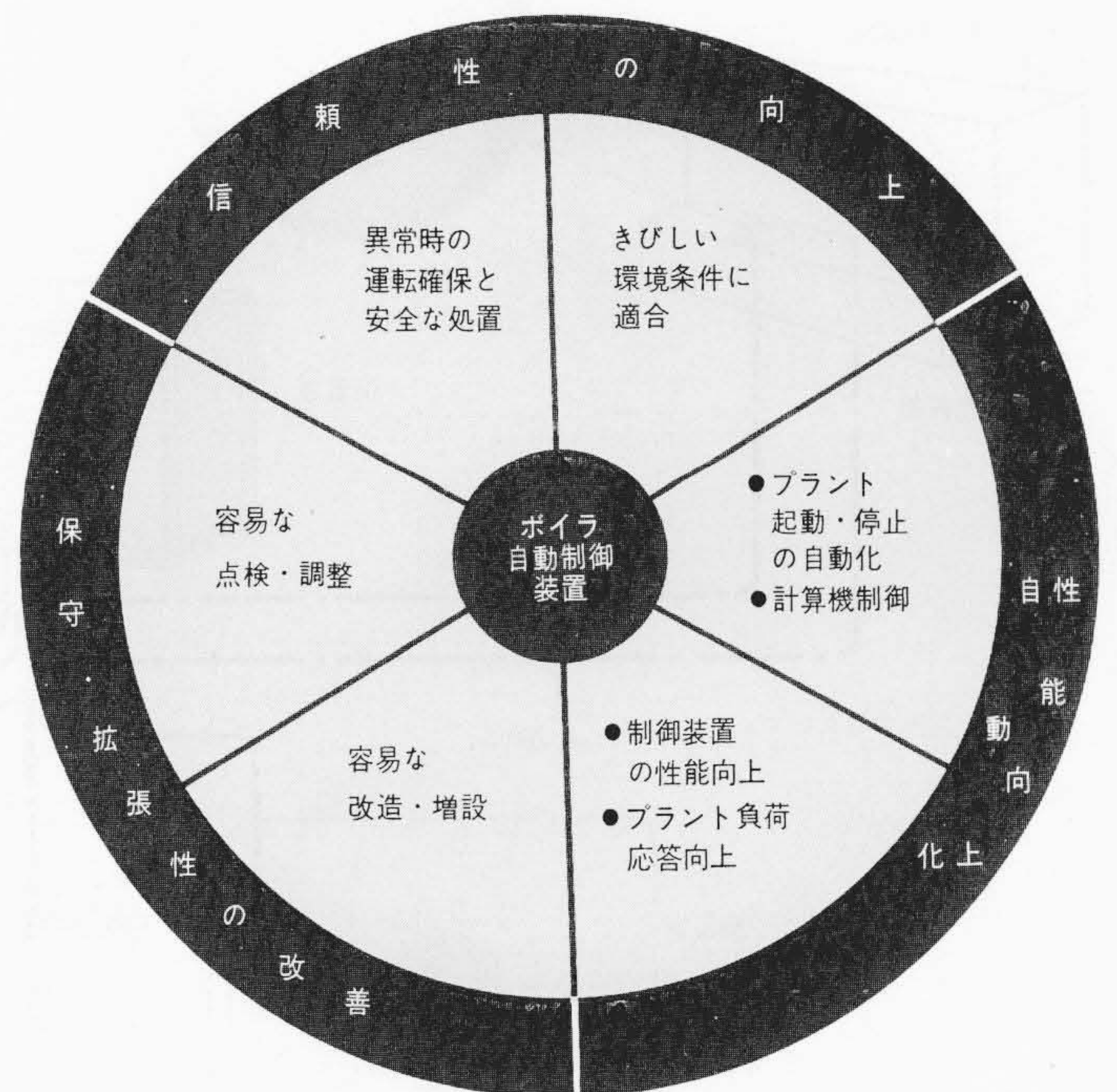


図1 ボイラ自動制御装置の背景 最近のボイラ自動制御装置に対しては、多様な機能ならびに高性能・高信頼度が要求される。

Fig. 1 Background for Automatic Boiler Controls

できるだけ自動化する傾向にある。したがって、ABC装置においてもプラント起動停止過程における手動操作ならびに自動／手動切換操作などを極力少なくすることが不可欠なものとなってきた。

一方、制御用計算機の本格的な導入によって、ABC装置は電子計算機(以下計算機と略す)による監視制御ならびに直接制御の面で密接な関連を持つようになった。このため、計算機との結合、ならびに自動／手動／計算機モード間の切換が容易、かつ確実にできることが重要な要件となる。

(3) 保守性と拡張性の改善

火力発電所における運転の保守員の省力化などに伴い制御装置を取り扱う人員も限定されるため、調整・保守容易なものへの要求が強くなってきた。特にABC装置は、ボイラ特性に応じた数多くの調整を必要とする特殊性があるので、演算モジュールなどの点検・調整機構の操作性が重視される。

近來、火力発電所は、燃焼改善対策に代表されるところの改造ならびに増設が増大する傾向にある。将来の制御システム拡張に伴う演算モジュールの追加ならびに増設キャビネットとの結合などが容易にできるシステムキャビネット構成とすることも従来にまして重要となってきた。

3 システム構成と基本仕様

図2は、HIACS-1000のシステム構成を示すものである。本システムは、機能上、検出端・演算部・監視操作部および操作端の4ブロックから構成される。

表1は、HIACS-1000の基本仕様を示すものであるが、このうちおもなものについて以下に述べる。

表1 HIACS-1000の基本仕様 HIACS-1000は、信頼度、性能の向上および容易な保守などに重点をおき開発された。

Table 1 Specifications of the HIACS-1000

No.	項	目	仕	様
1	信号レベル	伝送	4～20mA DC	
		演算	-10～0～+10V	
2	演算器	素子	リニアIC	
		精度	±0.1%/FS (一部±0.25%/FS)	
		種類	コントローラ単位方式、24種類	
		構造	モジュールタイプ、プラグイン式	
		調整、テスト機構	前パネル取付	
3	コントロールステーション	切換方式	オートバランス、バンプレス切換	
		方式	アナログ式およびデジタル式	
4	電源	方式	集中給電方式	
		構成	二重化	
5	システムキャビネット	キャビネット構成	電源・外部端子・演算器を分割、ビルディングブロック式	
		サブグループ	ユニット化	
		配線方式	ワイヤラッピング、キャビネット間はコネクタ接続	
6	計算機との結合		静止型アナログメモリ	
7	環境条件	周囲温度	55℃	
		周囲湿度	90%RH	

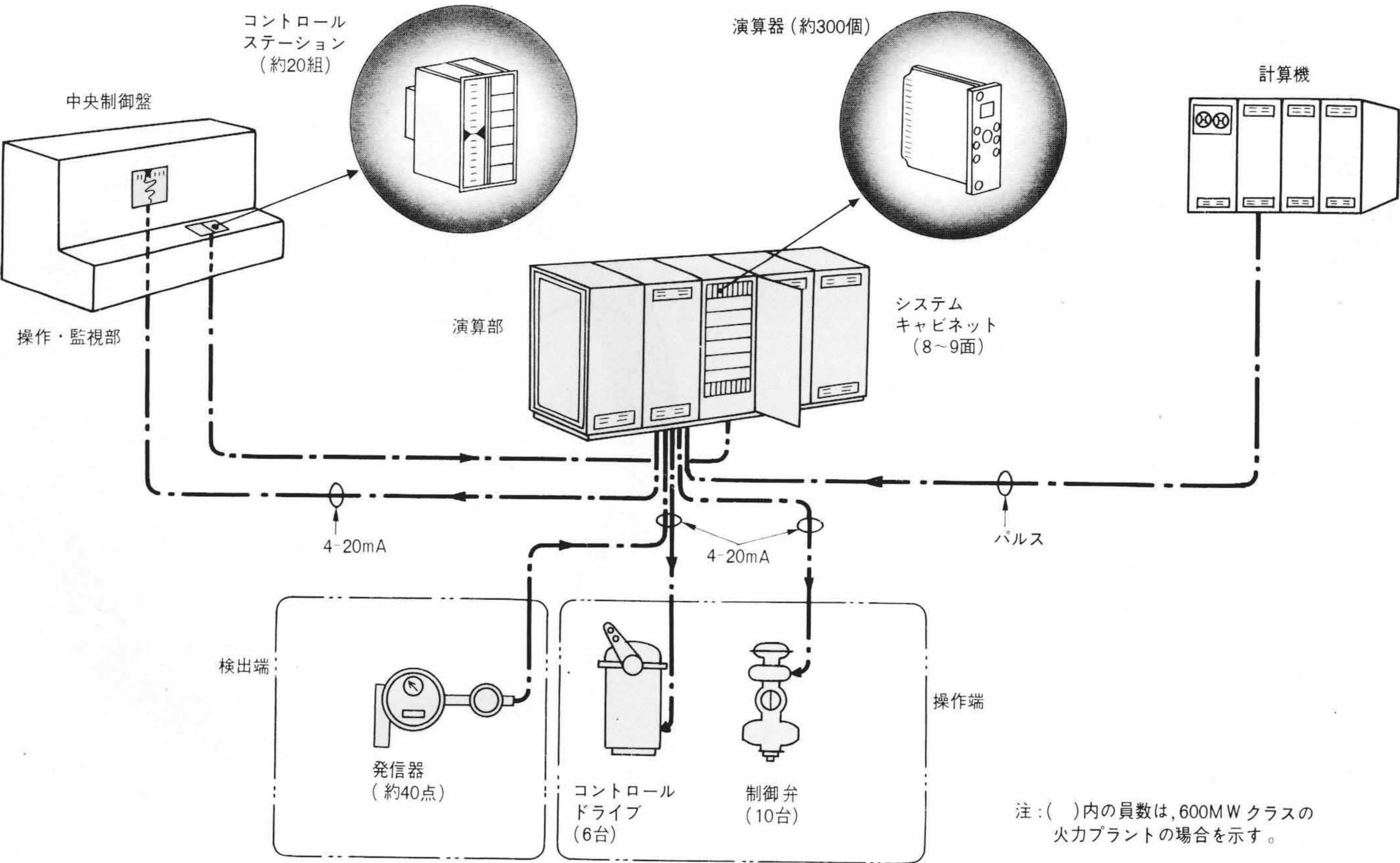


図2 HIACS-1000システムの構成 HIACS-1000は、計算機制御時代に適合した総合的な制御システムを提供する。

Fig. 2 System Composition of the HIACS-1000

(1) 信号レベル

伝送信号には一般に電圧、電流方式などが使用されており、それぞれ一長一短があるが、耐ノイズ性など総合的には電流伝送のほうがすぐれていると考えられ、かつ国際的にも統一の方向にある4~20mA DCを採用している。

一方、システムキャビネット内の演算は、すべて-10~0~+10Vの電圧信号に統一されている。電圧信号は、アナログ演算に適しており、取扱い容易であるとともに、ゼロ中心のワイドレンジにすることにより演算精度上も有利となる。

(2) 演算器

演算器は、演算種類別にコントローラ単位でまとめられており、信号変換器などを含め24種類が用意されている。表2は、代表的な演算器の種類と仕様について示すものである。

演算器の構成部品は、ソリッドステート式に統一されており、主要部には全面的にIC(集積回路)を採用して、部品数の低減などによって信頼性を向上させている。また、高性能直流電圧帰還形IC演算増幅器をはじめとする精密級部品の採用によって、演算器の標準状態における精度は±0.1%(一部演算器±0.25%)を確保するとともに、周囲温度、湿度ならびに電源変動に対しても安定な制御を可能にしている。

演算器の構造として、工業計器形、プリントカード形および前パネル付プリントカード形などがあり、それぞれ特徴を持っている。本装置においては、ボイラ特性に合わせて調整を必要とするABC装置の特殊性などを考慮して前パネル付のプリントカード形とするとともに、すべての演算器をモジュール化している。図3は演算器の外観を示すものである。演算器は、プラグイン構造となっているので、キャビネットへの実装が容易にできるほか、各種調整機構とともにテスト端子もすべて前面に配置して、実装した状態で点検調整できるよう使用者の便宜を図っている。

(3) コントロールステーション

コントロールステーションは、マン・マシン・インターフェースの主役として重要な意義を持つものだけに、監視が容易で操作性が良いことが基本的要件となる。本装置においては、デジタル式とアナログ式の2機種を準備している。前者は、図4(a)のように照光式プッシュボタン6個を一組とする操作ステーションと別置形の可動コイル式指示計とから構成

成され、設定および手動操作信号は、オン・オフ信号で発信されてアナログメモリを介して制御システムと連系される。

一方、アナログ式は、図4(b)のように操作機構と指示計を一体構造としコンパクトにまとめたもので、-10~0~+10Vの統一信号によって制御システムと直結される。

これらコントロールステーションとキャビネットは、専用の多心ケーブルで接続され、両端末は、コネクタ結合としているので盤内配線が不要であり、信頼性の面からも有利である。デジタル式は、計算機制御などを採り入れ、自動化を行なう制御系に使用される。アナログ式は、一般の制御系に適用することを原則とするが、必ずしも限定されることなく各制御システムに最適の機種を選定することができる。

(4) システムキャビネット

図5はシステムキャビネットの外観を示すものである。本キャビネットの特長は、電源部、外部端子部および演算部を分離したことである。電源装置は、必然的に放熱を伴うので、これを演算部と分離して、演算器への温度影響源を排除している。演算キャビネットには換気ファンを不要とした。また、防塵(じん)上の考慮から外部周辺機器とのケーブル接続は、専用のキャビネットで行われる。したがって、本キャビネットのみを先行して現地搬入できるので、本体キャビネット到着前にケーブル工事を優先させられ、かつ本体キャビネットは、工場で十分試験できるなどの利点がある。

一方、システムキャビネットは、ビルディングブロック方式を取り、制御系の改造・増設を容易にするとともに、各キャビネットは、さらにサブグループごとにユニット化された単位ラックから構成されているので、単位制御系の標準化が容易となるなどの利点がある。図6は単位ラックの外観を示すものである。

キャビネット内の配線には、はんだ作業個所をなくし、すべてワイヤラッピング作業によって均一な品質を確保する一方、キャビネット間接続は、着脱可能なコネクタで結ぶ方式としているので一面単位にまで分割可能である。

(5) デジタル系との結合装置(アナログメモリ)

アナログメモリは、デジタル系(コントロールステーションおよび計算機)とアナログ系との連系のかなめとして重要な意義を有する。アナログメモリの方式として、自動制御

表2 代表的な演算器の種類と仕様 演算器は、演算種類別にまとめられ、すべてモジュール化されている。

Table 2 Specifications of Computing Modules

	モジュール 名 称	記 号 単 位	形 式	仕 様
1	入力 バッファ	mA/V	ACV000	入力4~20mA DC, 出力±10V
2	アナログ メモリ	AM	AMY000	分解能 0.1%以下
3	P+Iコント ローラ	ΣPI	AIC000	入力4点, 比例ゲイン0.25~5.0, 入力 ゲイン0.2~0.5, 積分時間1秒~20分
4	加 算 器	Σ	ASB001	入力4点, ゲイン0.2~5.0
5	微 分 器	d/dt	ALD001	減衰時定数 ゲイン1.0で0.1~36秒
6	一 次 遅 れ	LAG	ALD000	遅れ時間 1秒~6分
7	変化率 制限器	▷d/dt<	ARL000	変化率設定 ±25~±1200%/分 ±0.25~±25%/分
8	関数発生器	FG	AFG020	4折線, ゲイン設定0~5.0

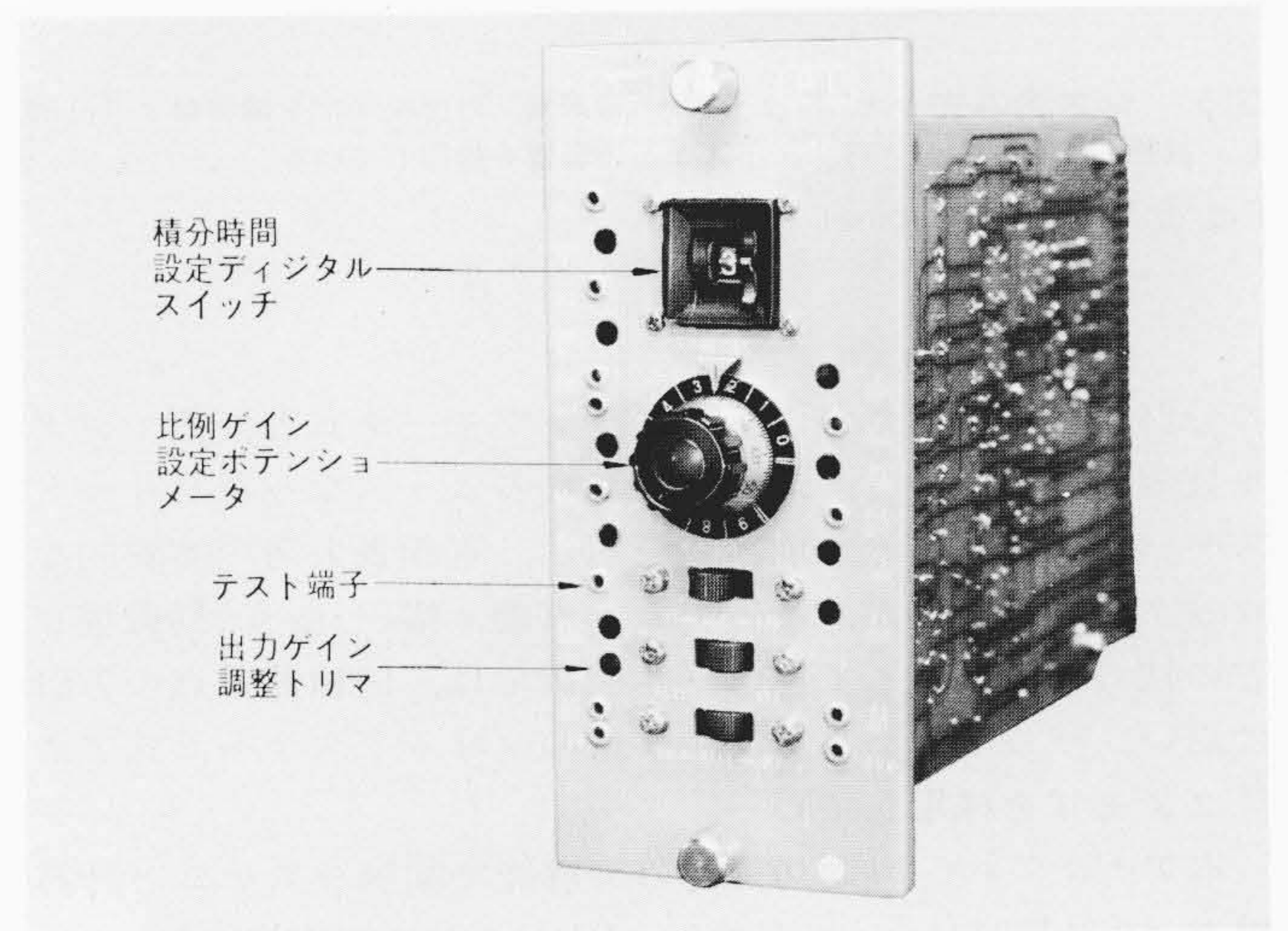


図3 演算モジュールの外観 演算の種類別にプラグイン形単位モジュールにまとめ、調整機構のテスト端子をすべて前面に配置している。

Fig. 3 Front View of Computing Modules

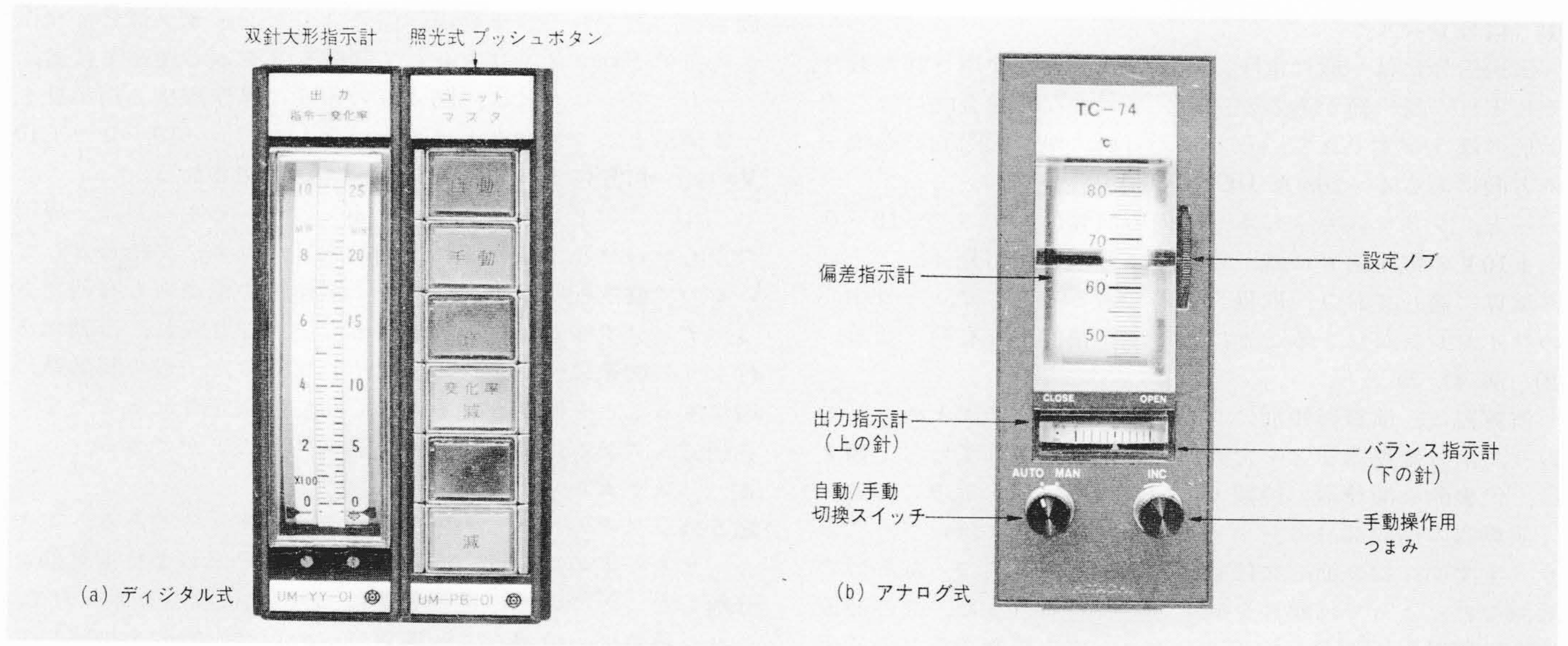


図4 コントロールステーションの外観 デジタル式とアナログ式の2機種あり、各制御系に最適の機種を選択できる。

Fig. 4 Front View of Control Station

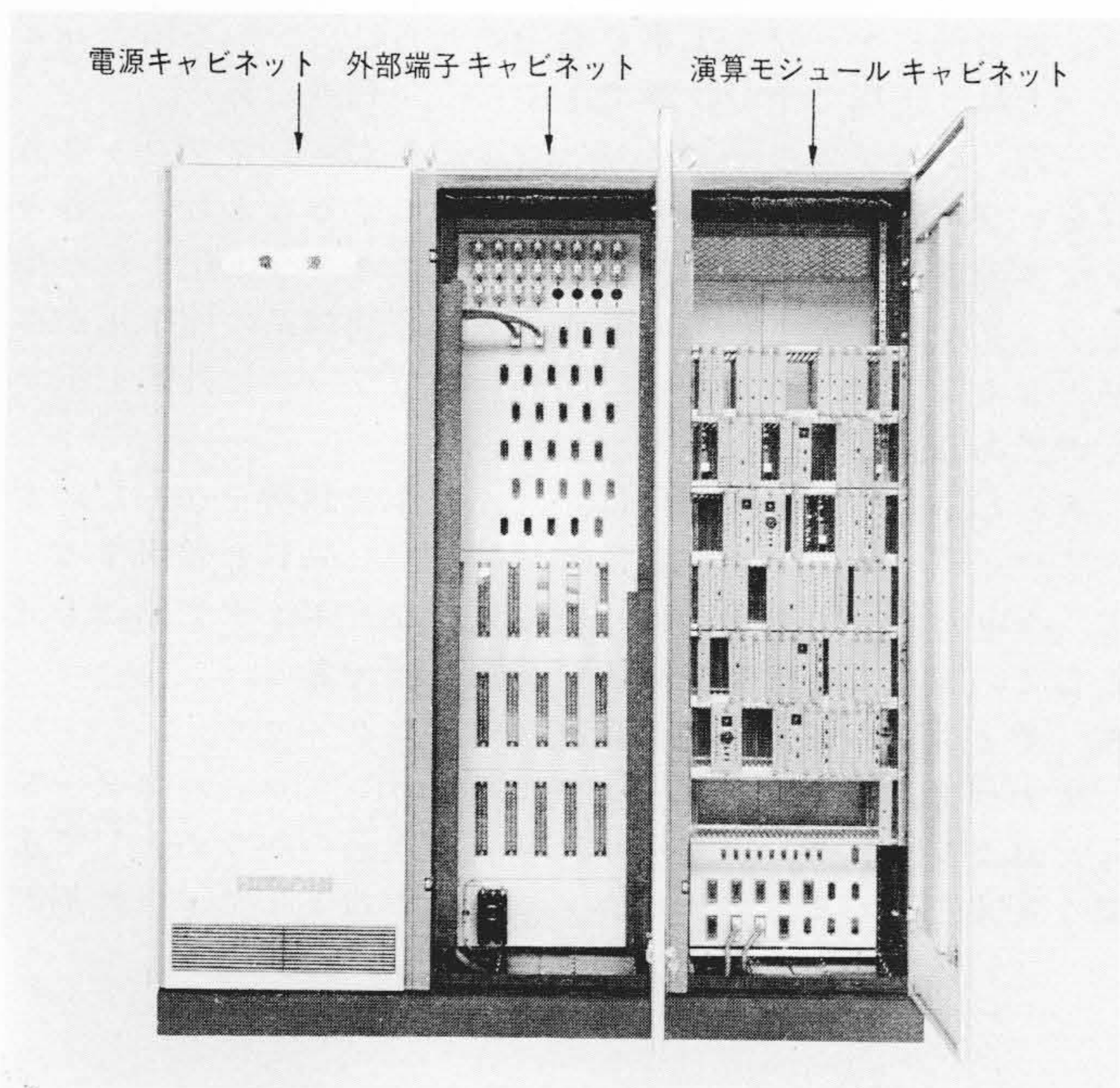


図5 システムキャビネット 電源部、外部端子部を演算部より分離し、放熱、塵埃(じんあい)、ノイズなどの影響を排除している。

Fig. 5 System Cabinet

の分野で多く使用されているステップモータ式と、デジタル技術の進歩によって最近使用されるようになったソリッドステート式とがある。前者の長所は、電源喪失時の本質的なロック機能にあるが、一方では、可動、摺(しゅう)動機構などの持つ短所を有している。本装置では、信頼性重点の方針に沿い、バッテリーバックアップ付のソリッドステート式アナログメモリを採用している。

本アナログメモリは、0.1%の分解能で制御システムと計算機をパルス信号によって直結し、DDCなどに使用されるほか、自動/手動/計算機モードのオートバンプレス・ワンタッチ切換を行なう。

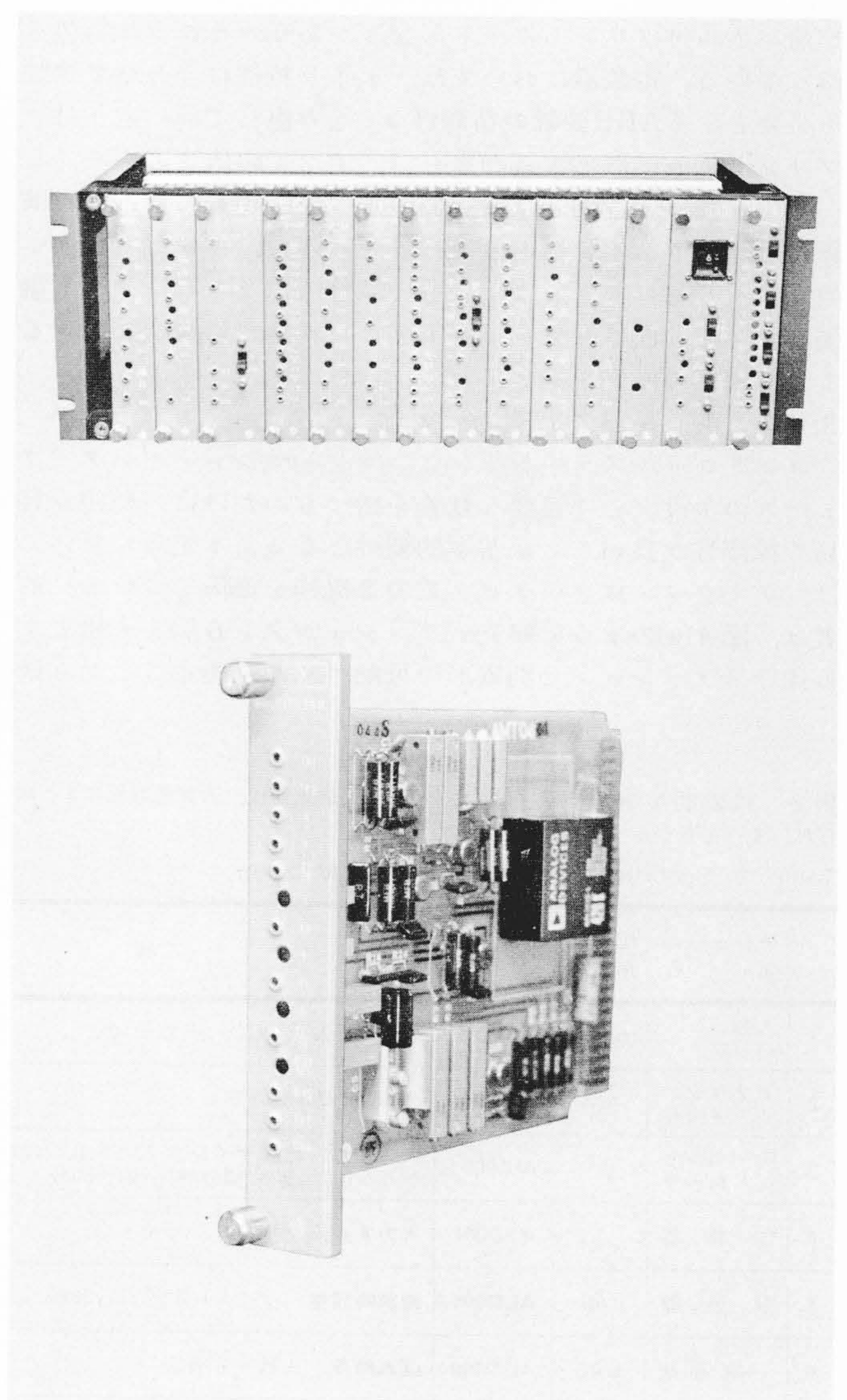


図6 サブループ制御系の単位ラック サブループ制御系ごとに単位ラックに収納し、単位制御系の標準化を図っている。

Fig. 6 Unit Rack for Sub-loop Control

4 制御システムおよびハードウェアの信頼性の向上

HIACS-1000の開発にあたって、特に制御システムおよびハードウェアの全面にわたり信頼性の強化に重点をおいた。

図7は信頼度向上のため、特に考慮を払ったおもな項目について示すものである。

(1) きびしい環境条件に対する耐力強化

半導体をはじめとする電子部品には高温での耐力を有するものを選定する一方、演算器キャビネットから発熱体を排除するなどによって、キャビネット周囲許容温度を0～55℃と広範囲とした。

アナログ演算には、一般に高入力インピーダンスならびに長時間積分などのため高抵抗回路を必要とするが、高抵抗回路は、周囲湿度の影響を受けやすく好ましくない。本装置では、90%RHまで許容するように、すべての演算器から高抵抗回路を排除し、本質的に湿度影響の少ない回路構成とするとともに、さらにプリントカード全体をコーティングして耐湿面の強化を図った。

(2) 電源系統故障時のバックアップ

ABC装置用電源は、無停電電源装置によって強化するプラントが多いが、これまでどおり所内電源から給電するプラントもある。前者の場合、無停電電源切替時の瞬時停電がある

が、このとき、制御システムとしては自動運転を異常なく継続できるものでなければならない。すなわち、時間演算回路は、瞬時停電の影響がない回路構成とし、アナログメモリ喪失防止にバッテリーバックアップを付加することなど保護を行っている。一方、後者の所内電源の場合には、長時間停電があるが、電源喪失時に演算器の信号が変動してシステムに対して外乱を与えることになるため、制御システムを自動から手動へ切り換えとともに、操作端を現位置に強制的にロックすることが望ましい。電源回復後には、ロックされた位置から手動操作ができるようアナログメモリにバッテリーバックアップを付加している。

電源供給方式として、個々の演算器ごと、またはサブグループごとに電源装置を設置する方法が考えられるが、故障点を分散させることになり、故障検出が困難となることなどから、本装置では集中給電方式をとり、さらにこれを二重系にすることによって電源系統を強化した。

(3) 外部周辺機器故障からの保護

ABC装置から外部周辺機器へ数多く信号を取り出しているため、これら周辺機器の故障（短路または開路）が制御システムへ直接影響を与えることになる。本装置では、周辺機器とはV/mAバッファを介して、電流信号によって取り合うようにし、これら機器およびケーブルと制御システムとを絶縁している。また、各伝送回路およびインタロックリレー回路は、非接地系に統一し、一点アースによるシステムダウンを防止できるものとしている。

(4) ノイズおよび放熱に対する保護

本装置では、ノイズに強いと考えられる伝送ならびに演算信号を採用したが、さらにノイズのポテンシャルを取り除くため高レベル信号は、外部端子キャビネットにおいて処理し低レベル信号に変換してから演算器キャビネットへ渡すようにするとともに、演算器キャビネット内配線は、演算回路とインタロック回路とを別ダクトで分離させるなど、ノイズ対策を強化した。

一方、ノイズならびに熱に敏感なアナログメモリについては、専用の低リップル電源装置を設け、電源キャビネットに別置することにより、ノイズならびに放熱による影響を排除した。

(5) 接触不良防止対策

アナログ制御装置においては、低レベル信号回路を多く扱う。特にアナログ演算回路にも、自動／手動切替など各種インタロック接点が介在し、しかも主制御回路の切替を行なう個所に使用されるため、接点の接触不良の及ぼす影響は大きい。これまで、アナログ制御装置には、ドライタイプのリレー接点が多く採用されているが、必ずしも十分ではないと考えられる。本装置においては、アナログ演算回路ならびに低レベルインタロックリレー回路に水銀リレーを採用した。水銀リレーは、本質的に接触性が良く、かつ長寿命なので、制御システムの信頼性向上に大きな効果をもたらすものと考えられる。

(6) 振動ならびに誤操作に対する保護対策

演算器には、PID動作など多くの調整箇所があり、長期間にわたるボイラ特性試験の結果によって最終設定される。これら設定値のずれが、制御性に影響を与えることになるので、振動などによってずれないようにすることが望まれる。調整機構には、一般にポテンショメータが採用されているが、本装置では、時間演算設定にはデジタルスイッチ切替方式を、比例ゲイン設定にはロック機構付の多回転ポテンショメータ

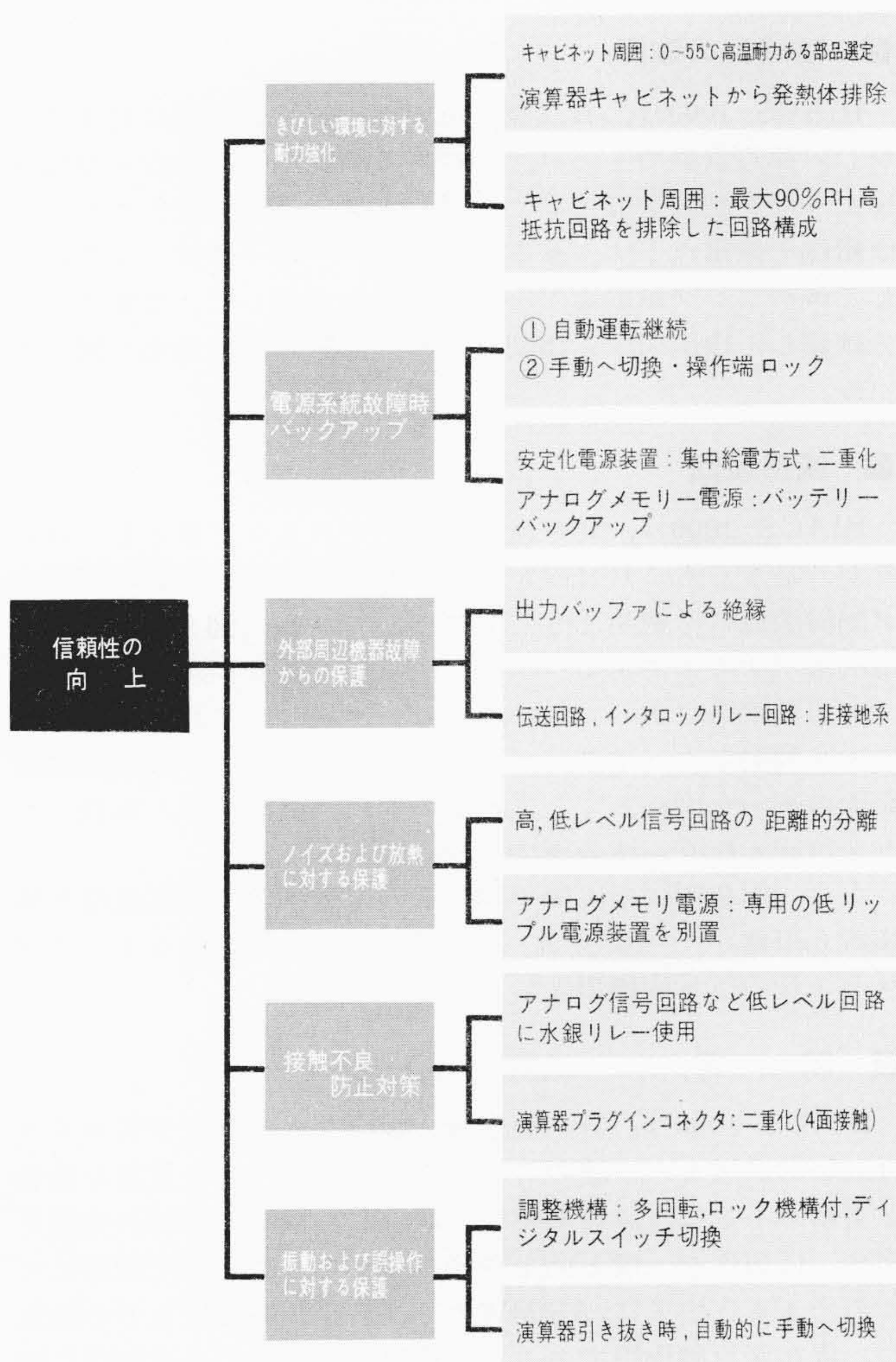


図7 信頼性向上の内容 HIACS-1000は、信頼性を強化することに特に重点が置かれている。

Fig. 7 Outline for Improving the Reliability

を、また一般の設定には多回転トリマを使用するなど耐振性を強化した。多回転可変抵抗器は、調整の分解能を向上させる利点もある。

一方、運転中に演算器を交換するなどの必要を生じた場合、制御システムを手動に切り換え、運転に影響を与えないようにして保守する方法がとられる。本装置では、演算器をキャビネットから引き抜いたとき、自動的に該当制御システムが手動に切り換わるようにし、保守時の誤操作などによってプラントの運転に支障をきたさないようバックアップしている。

5 試験結果

HIACS-1000の開発において各種性能試験を行なうとともに、特に信頼性確認に重点をおき温度試験、湿度試験ならびに振動試験などを実施し、いずれも所期の仕様を満足することを確認した。

図8は試験結果の一例として、加減演算器の特性試験結果を示すものである。同図(a)は、標準状態（周囲温度ならびに電源電圧一定）および演算器への供給電圧変動時における理論値からの演算誤差を示したもので、いずれも目標精度 $\pm 0.1\%/FS$ （フルスケール）を満足している。また同図(b)は、演算器の周囲温度を変化させたときの演算誤差を示したもので、標準状態からの偏差目標 $\pm 0.004\%/^{\circ}C/FS$ を満足し、広範囲な温度変動に対する安定した特性が得られた。

6 信頼性の確認

HIACS-1000は、日立製作所の電子式制御装置に対するきびしい品質管理のもとに、実績ある制御用計算機ならびに各種アナログ制御装置と同一の品質水準に従って製作される。信頼性を最重点とする基本方針に従い、電子装置の全数に対してエージング試験など一連の試験を実施して、信頼性を十分確認した後出荷する体制をとり、品質確保の強化を図っている。

7 適用範囲

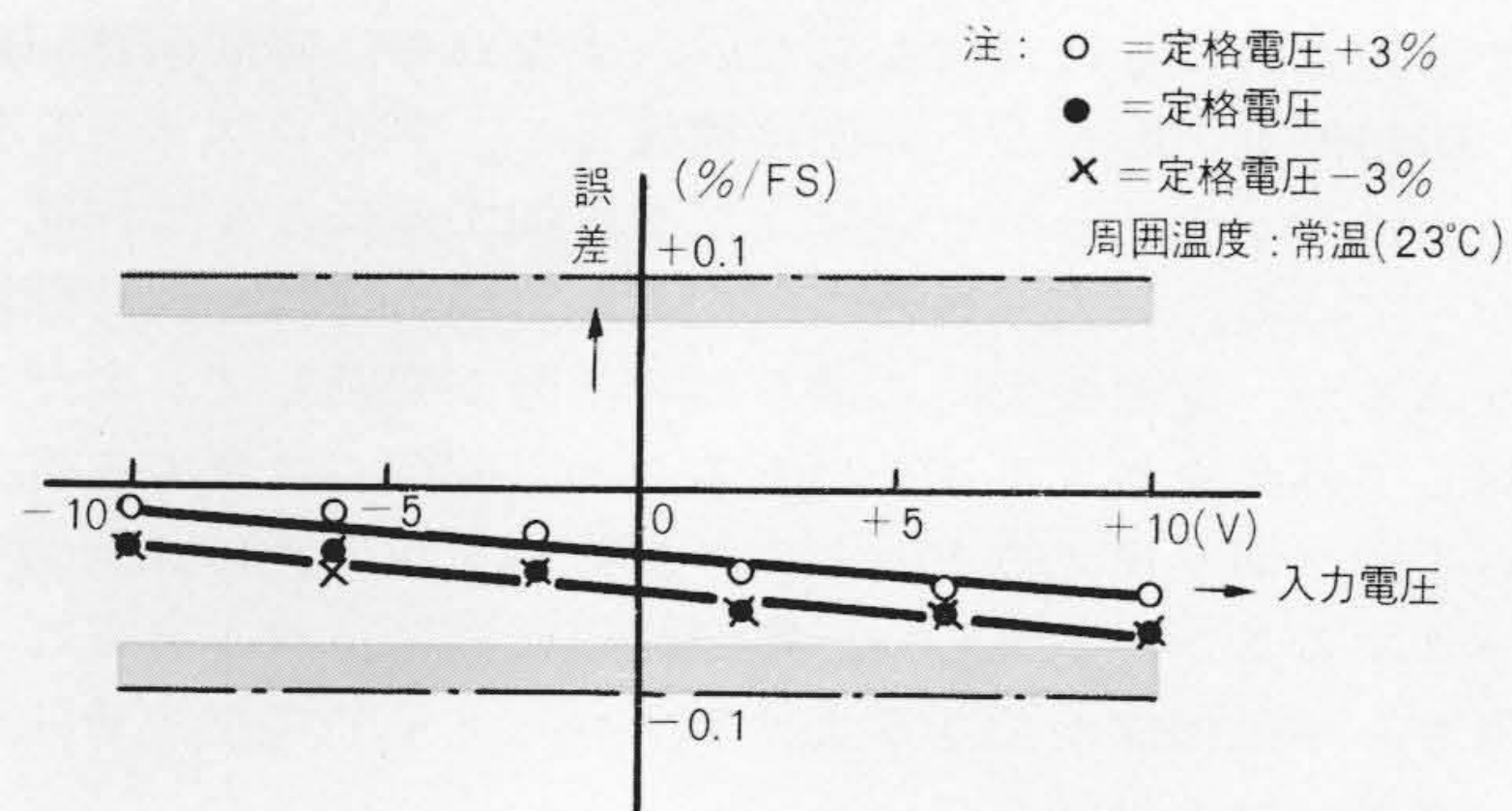
HIACS-1000は、発電所用ボイラをおもな対象としてはいるが、必ずしもこれに限定されるものではなく、他のアナログ制御装置にも適用できるものとしている。図9はおもな適用例を示すものである。

火力発電所においては、ボイラ、タービン、および各種ローカル制御系など本装置によって発電所のアナログ自動制御装置の統一を図れることになるので、一様な操作・取扱いなどが可能となり、この面での利点は大きい。

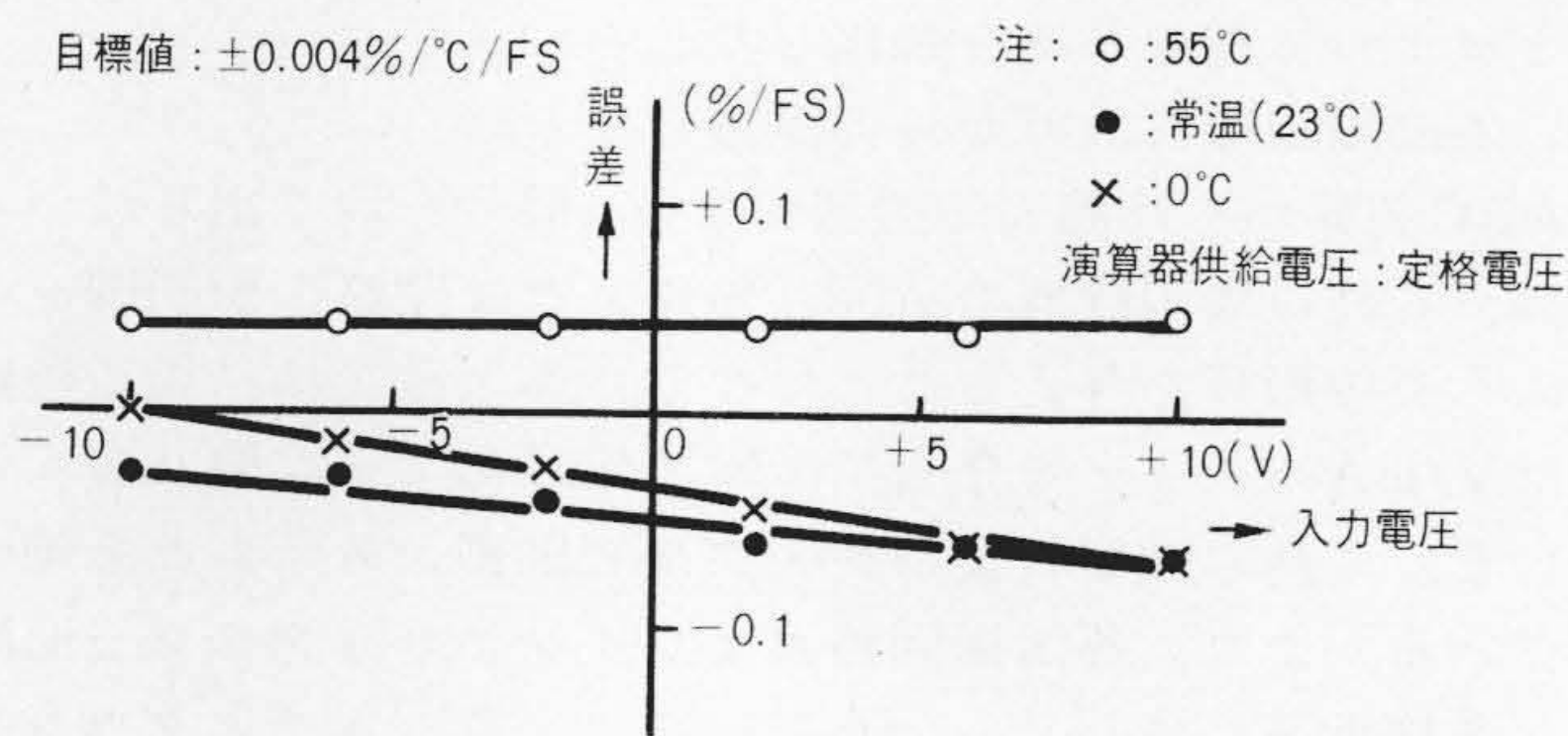
なお、本装置には、開平器、 mV/V 変換器など各種信号変換器も用意しているので、記録計ならびに計算機などへのプロセス量の信号変換用としても利用できる。

8 結 言

HIACS-1000は、日立製作所で製作してきた電子式ボイラ自動制御装置など一連のアナログ制御装置で得た豊富な経験と実績をもとに、計算機時代に適合した機能、性能の充実を図り、信頼性を一段と向上させることを主眼として開発したものである。すでに、350MWボイラ自動制御装置などを受注し、現在鋭意製作中である。今後は、発電所の全自動化に向かってシステム全体としてより高度な信頼性の充実を図るとともに、さらに広い分野への適用に努力する所存である。



(a) 標準状態および電源電圧変動試験



(b) 周囲温度変動試験

図8 加減演算器の特性試験結果 電源変動および温度変動に対して安定した演算特性が得られた。

Fig. 8 Test Results of Computing Module (Summer)

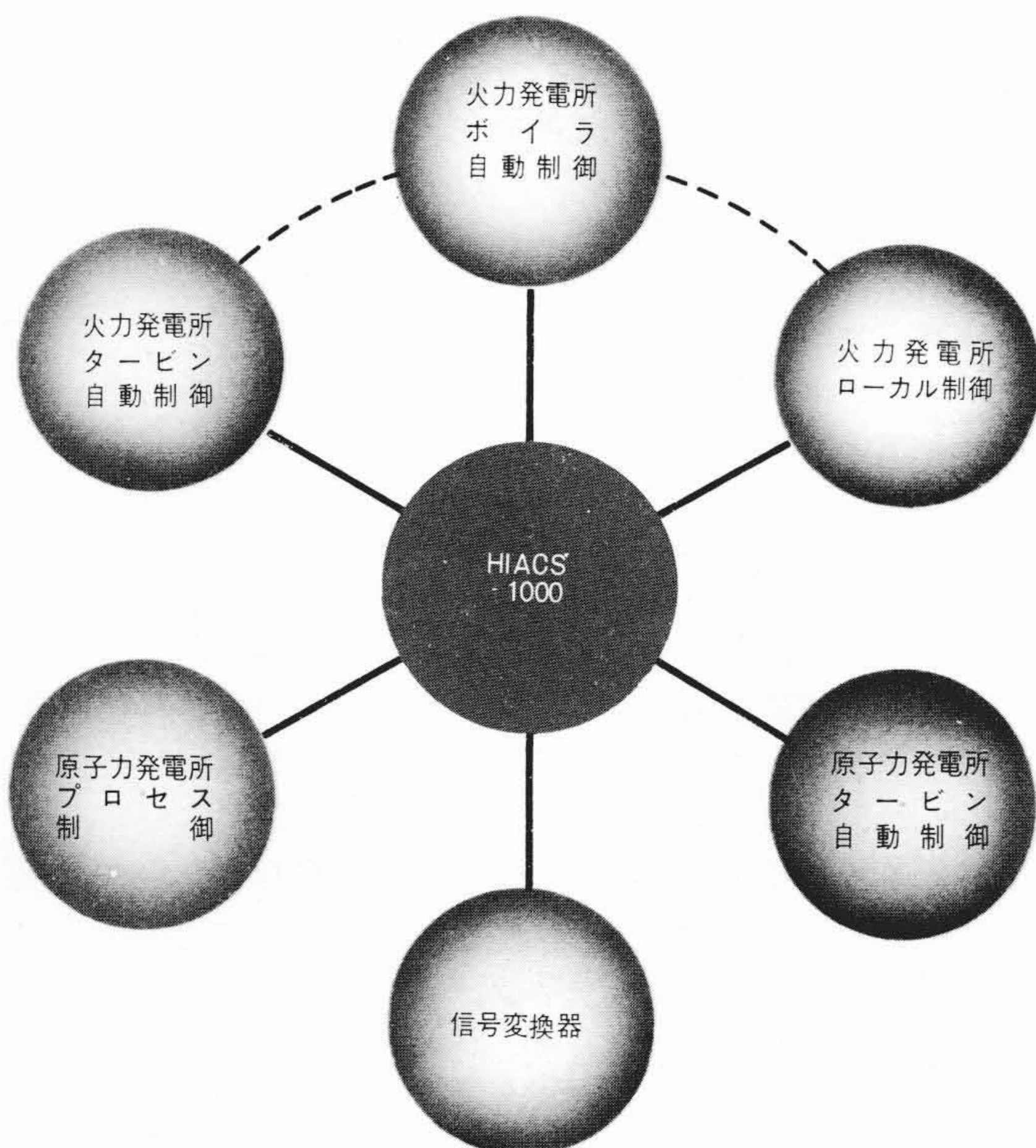


図9 HIACS-1000の適用範囲 ボイラ、タービン、ローカル制御など発電所のアナログ自動制御装置の統一を図れるなど、広い適用範囲をカバーする。

Fig. 9 Application Range of the HIACS-1000