
計 算 機 制 御 特 集

日立制御用計算機システム.....	57
電力系統シミュレータ.....	63
関西電力株式会社納 堺港発電所 5, 6 号機用計算機システム	69
制御用計算機による生産のダイナミックコントロール.....	75
分塊圧延工場の総合計算機制御.....	80

日立制御用計算機システム

HITACHI Control Computer Systems

森 田 和 夫* 曾 我 政 弘*

Kazuo Morita

Masahiro Soga

石 川 知 雄** 太 田 栄 一***

Tomoo Ishikawa

Eiichi Ota

要 旨

制御用計算機は、プロセスをオンライン、リアルタイムで制御するため、それに適したハードウェアおよびソフトウェアの構成が必要であり、同時に高い信頼性が要求される。日立製作所では、いわゆる第3世代の制御用計算機ファミリーとして HITAC 7250, HIDIC 300, HIDIC 100 を開発した。これらは、現在すでに各分野に適用されて所期の成果をあげつつある。本稿ではこれら制御用計算機システムの概要について述べる。

1. 緒 言

ここ数年来、制御用計算機は、開発期から成長期、実用期へと移行し、各種産業における計算制御の導入は、最近一段と活発化してきた。特に、ICの実用化とともに計算機技術は、いわゆる第3世代を迎え、信頼性と機能は飛躍的に向上している。需要面を見ると、火力発電所の起動停止の自動化、鉄鋼のミル制御、化学プロセスの最適化制御などにみられるような、大規模な計算機制御システムから、各種小形の適用まで、適用分野の拡大と適用方法の多様化が顕著である。制御用計算機は、通常プロセスと直結するので次のような特性が要求される。

- (1) オンラインで24時間休みなく稼働することが要求されるため、過酷な条件下にあっても信頼性が高いこと。
- (2) オンラインリアルタイムの処理を行なうため、たとえば、割込み、同時処理の機能が充実していること。また、ソフトウェアとして、プロセス制御用プログラム、あるいは、タイムシェアリングプログラムなどがあること。
- (3) プロセスより入力信号を計算機へ取込み、また計算機の実出力信号をプロセスに送出するために、両者の間にはプロセス入出力装置を備えていること。
- (4) 計算機制御システム全体を集中管理するためのオペレータコンソールがあること。

日立製作所では、これらの需要と要求仕様に適合した第3世代の制御用計算機として、HITAC 7250, HIDIC 300, HIDIC 100 (以下、それぞれ、H-7250, H-300, H-100 と略す) を開発してきた。以下に、これら計算機システムの概要について紹介する。

2. 制御用計算機システム

制御用計算機システムの基本構成を図1に示した。制御対象であるプラントよりの入力信号は、プロセス入出力装置 (PI/O: Process Input Output Device) により走査、変換されて中央処理装置 (CPU: Central Processing Unit) へ送られ、ここで、必要な計算処理を行なう。CPUでの処理結果は出力信号として、PI/Oへ送られ、ここで分配、変換されて出力信号となってプラントへ送出される。この一連の信号ルートがコントロールの閉ループを形成する。また、たとえば日報作成、アラーム印字などは、入出力機器 (I/O: Input Output Device) 群のうちのプリンタで行なわれる。計算機制御システム全体の運転は、オペレータコンソールで集中的に行なわれる

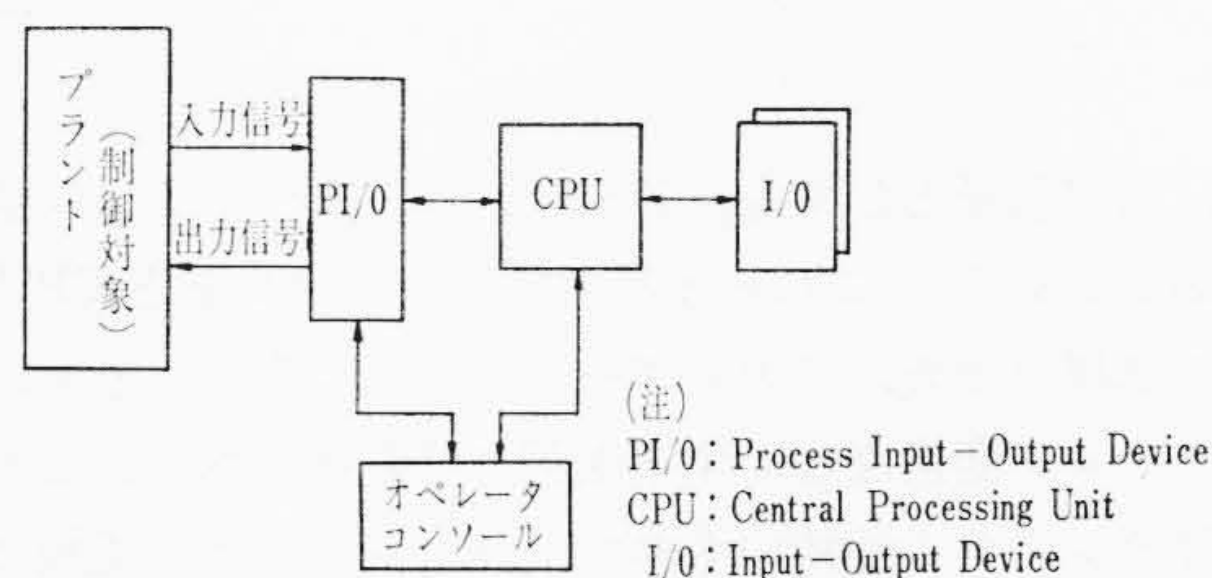


図1 制御用計算機システムの構成

が、このコンソールには、たとえば、運転の起動、停止用スイッチ、警報用ランプ、あるいはブラウン管ディスプレイのような表示器などが備えてある。

このように、制御用計算機は、事務用の汎用計算機と異なり、プラントに直結して制御を行ない、しかも、より過酷な条件下で連続的に稼働しなければならない。

以上のことから制御用計算機には次のような性格が必要になる。

(1) 高 信 頼 性

制御用計算機は、いったん、プラントに結合して運転にはいると、プラント自体の停止までは連続的に稼働しなければならない。また、設置条件も多種多様であって、広温度帯域 (たとえば 0~50℃)、耐震、耐ガスなど過酷な設置条件にも耐えられることが必要である。さらに最近実用化されつつある DDC (Direct Digital Control) のように、計算機の実出力信号で操作器を直接制御するようなアプリケーションでは、計算機の故障は直接プラントに重大な損害を与える。したがってハードウェア自体の信頼性が高いとともに、セルフチェック機能、フェールセーフ、あるいはバックアップ機構を取り入れてシステムとして連続運転に耐えるものにならなければならない。

(2) オンラインリアルタイム処理機能

たとえば、プラントの起動、停止、あるいは異常事態のようにプラントの急速な変動に対しても制御系を速応させなければならない。それには計算機の処理速度が速いことはもちろん、優先割込機能の充実と、CPU-I/O間の情報転送の高速化、同時処理性の向上などが必要となる。ハードウェアのみならずソフトウェア体系でも、Process Monitor System (PMS) と呼ぶ制御専用システムプログラムを設け、各アプリケーション別に作成したプログラム (TASK) を制御、管理する必要がある。

(3) PI/O の 具 備

プラントよりの入力信号としては、温度、圧力、流量などの変換信号であるアナログ信号と、バルブの開閉、シーケンス接点の ON-OFF のようなデジタル信号が多数はいってくる。

* 日立製作所国分工場

** 日立製作所中央研究所 工学博士

*** 日立製作所神奈川工場

また、システムチャネルを除くほかのチャネルのインターフェイスは、HITAC-8000 シリーズのスタンダードインターフェイスと合わせてあるので、H-8000 シリーズ用のカード、テープ処理用の機器、ラインプリンタ、磁気テープメモリなどの入出力機器を接続することができる。

3.3.3 仕様

表1に仕様、表2に命令語の種類をそれぞれ示した。これらの表に見られるように、H-7250では、特に割込機能と、チャネル

表1 H-7250, H-300, H-100 の仕様一覧表

仕 様	HITAC 7250	HIDIC 300	HIDIC 100
機 種	ストアド・プログラム	ストアド・プログラム	ストアド・プログラム
演 算 方 式	ストアド・プログラム	ストアド・プログラム	ストアド・プログラム
演 算 語 長	16 ビット	16 ビット	16 ビット
基本命令数	36	16	16
演 算 速 度			
加 減 算	4.5 μ s	4 μ s	16.5 μ s
(固定小数点)	24.5+1.0E*	ソフトウェアによる	ソフトウェアによる
(浮動小数点)			
コアメモリ			
サイクルタイム	2 μ s	2 μ s	2 μ s
記憶容量 (kW)	4/8/16/32	4/8/16	2/4/8/16
割込レベル	32	16	8
チャネル数	5	1	1
論理素子	IC	IC	IC
周囲温度 (CPU)	0~50°C	0~50°C	0~50°C

(注) * Eは、演算を行なう二つの浮動小数の指数部の差を表わす。

表2 命 令 一 覧 表

No.	種 類	記 号	命 令	HITAC 7250	HIDIC 300	HIDIC 100
1	転送関係命令	LD	Load Accumulator	○	○	○
2		LDD	Double Load	○	○	○
3		STO	Store Accumulator	○	○	○
4		STD	Store Double	○	○	○
5		LDX	Load Index	○	○	○
6		STX	Store Index	○	○	○
7		LDS	Load Status	○	○	○
8		STS	Store Status	○	○	○
9	演算および理論命令	A	Add	○	○	○
10		AD	Double Add	○	○	○
11		S	Subtract	○	○	○
12		SD	Double Subtract	○	○	○
13		M	Multiply	○	○	○
14		D	Divide	○	○	○
15		CMP	Compare	○	○	○
16		DCM	Double Compare	○	○	○
17		AND	And	○	○	○
18		OR	Or	○	○	○
19		EOR	Exclusive Or	○	○	○
20	シフト命令	SLA	Shift Left Logical	○	○	○
21		SLT	Shift Left Logical Double	○	○	○
22		SLCA	Shift Left and Count	○	○	○
23		SLC	Shift Left and Count Double	○	○	○
24		SRA	Shift Right Logical	○	○	○
25		SRT	Shift Right Arithmetic	○	○	○
26		RTE	Rotate Right	○	○	○
27	ブランチ命令	BSI	Branch and Store Program Counter	○	○	○
28		BSC	Branch or Skip on Condition	○	○	○
29		MDX	Modify Index and Skip	○	○	○
30		WAIT	Wait	○	○	○
31	入出力命令	XIO	Execute I/O	○	○	○
32	浮動小数点命令	FA	Floating Add	○	○	○
33		FS	Floating Subtract	○	○	○
34		FM	Floating Multiply	○	○	○
35		FD	Floating Divide	○	○	○
36		FDM	Floating Compare	○	○	○

を強化して、処理の即時性を高めた。割込処理のうち、マスクの有無の判定、実行中のレベルとの比較、割込の受付、ブランチまでをハードウェアで行なって高速化を図り、要因判定と、タスクへのジャンプはソフトウェアで行なう経済的な構成である。またチャネルは図4に示したようにSEL₁, SEL₂, MPX, CMC, SYSの5個であるが、同時処理可能機器数は最大54であり、同時処理機能は強化されている。これらのチャネルのうち、SYSは、アキュムレータを介して情報を転送するがほかの4個は、サイクルスチール方式によっており、情報転送は、プログラムとは独立に行なわれる。

ビット演算命令と、浮動小数点命令とはハードウェアで行なわれる。前者は、接点入力信号の状態変化を高速で論理判断する場合に、後者は、プラントの効率計算のように高精度で、しかも、小数点位置の変動が多い場合、特に有効である。図5はH-7250のCPUを示したものである。

3.4 H-300およびH-100システム

3.4.1 適用分野

H-300は、火力発電所のシーケンスモニタ、鉄鋼の転炉ログ

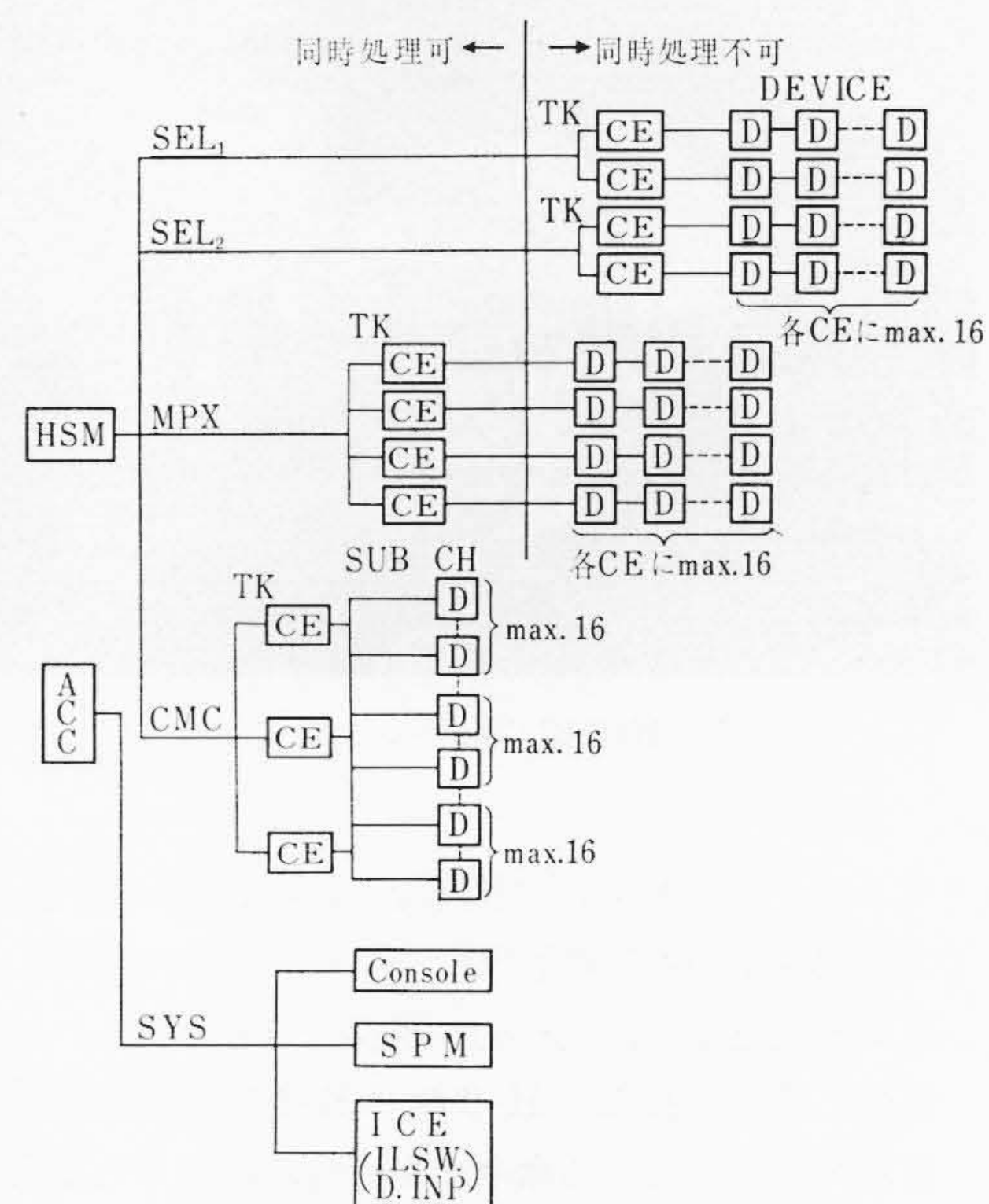


図4 H-7250のチャネル構成

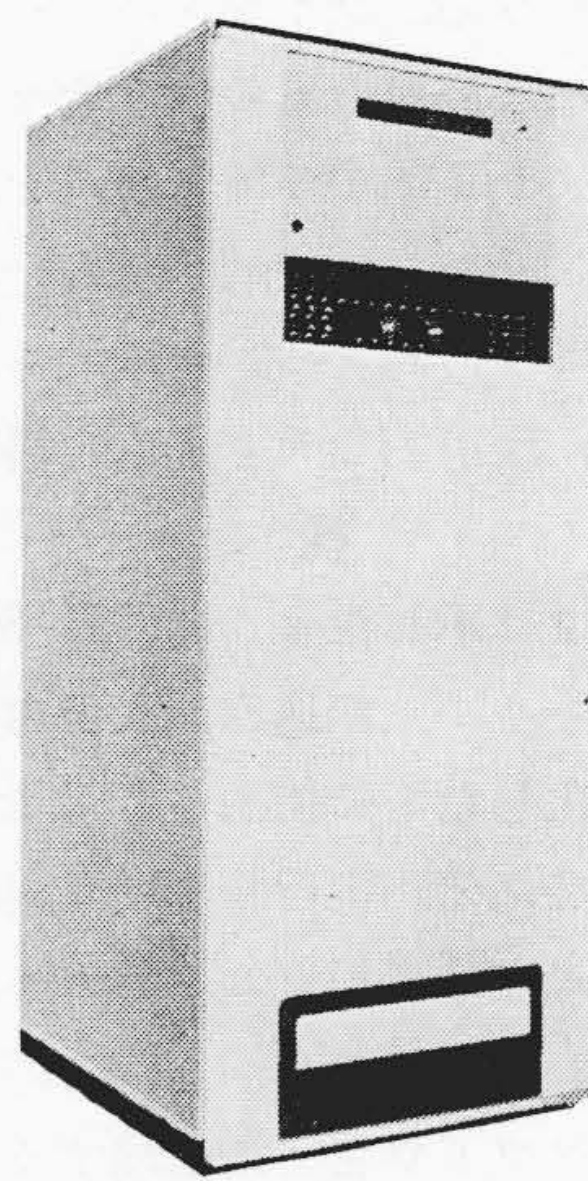


図5 H-7250のCPU

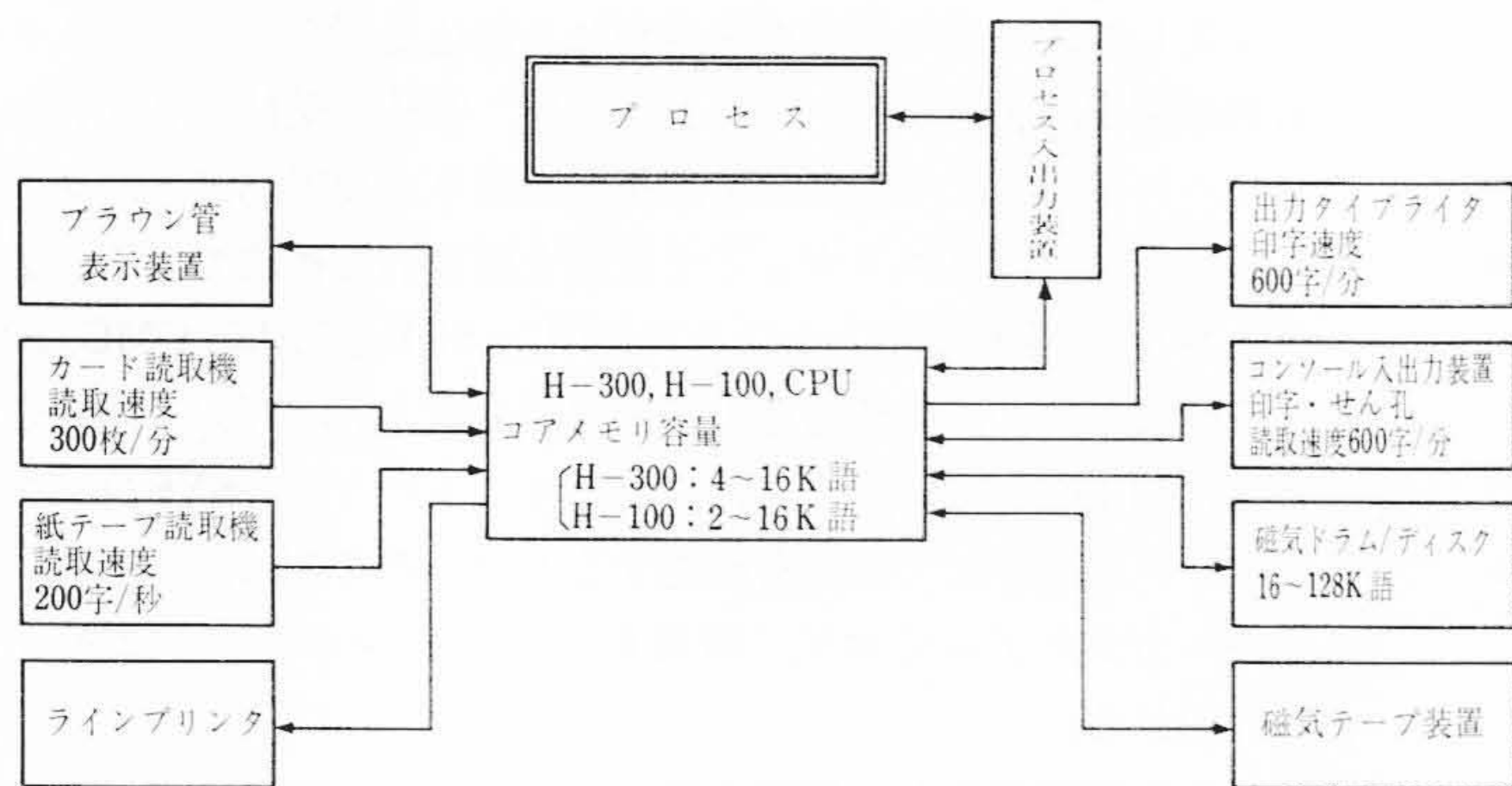


図6 H-300, H-100の機器構成



図8 H-100システムの一例



図7 HIDIC 300システムの一例

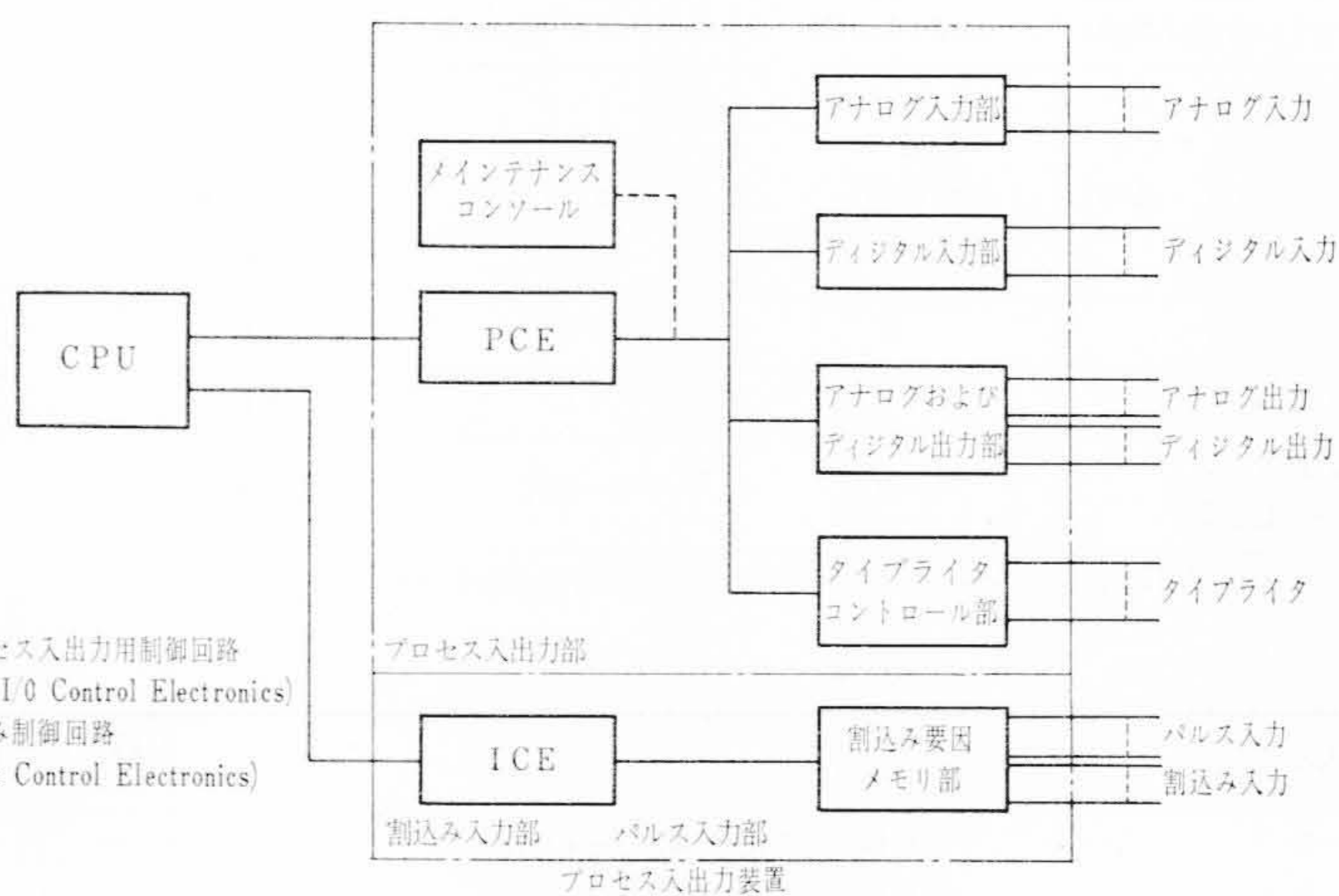


図9 プロセス入出力装置ブロック図

一、セメントキルンの制御など、中規模の制御に、また H-100 は、組立工場の生産管理、シャープラインの制御、エンジンテスト用処理装置など、比較的小規模の処理、あるいは低速で行なえる制御に適用される。H-300 と H-100 の適用分野は、両者のおもな差異となっている命令の実行時間に対する要求いかにによって区分される。

3.4.2 機器構成

図6は H-300 および H-100 の機器構成例であるが、これらの入出力機器のうち、ラインプリンタ、磁気ディスク、磁気ドラム、磁気テープなど高速のものは、チャンネルに、そのほかの機器は入出力命令により1語ずつ情報転送を行なうプログラムコントロールインターフェースに接続するという経済的な構成である。また、入出力機器には、両システムに最も適した小形、低価格のものを標準として、経済的なシステムを構成できるようにした。

3.4.3 仕様

表1、表2に示したように、H-300、H-100の仕様、たとえば命令数、チャンネル、割込み、入出力機器などは、H-7250を母体として小形化したものである。また、H-300とH-100では、命令数は同じであるが実行時間で仕様を区分してある。割込み機構は両者ともに割込み処理プログラムへのジャンプまでをハードウェアで処理し、その後のレベル、要因の判定、タスクへのジャンプは、すべてソフトウェアで処理するという経済的な方式である。チャンネルは1個であるがこれに複数台の入出力機器を接続でき

る等コスト/パフォーマンス上有利な方式を積極的にとり入れている。図7、図8は H-300、H-100 各システムの例を示したものである。HIDIC 100は、卓上設置、キュービクル形、制御盤への取り付け、標準ラックへの取り付けが可能な構造となっている。

4. プロセス入出力装置

(Process Input-Output Device: PI/O)

4.1 概要

プロセス入出力装置は、制御対象のプロセスと CPU との間にあって情報の受け渡し、および変換を行なうもので PCE (Process Control Electronics) と入出力機器で構成される。図9は PI/O の基本構成を示したものである。PCE は CPU と入出力機器の間にあって、CPU との信号の受渡しと、各入出力部を制御する機能を持つが、CPU 側の入出力制御機構によって構成が異なる。入出力信号の種類、点数など入出力機器の仕様は適用対象ごとに異なるため、仕様の標準化とビルディングブロック方式の徹底を図り、構成に融通性を持たせた。プロセス入出力装置の機能は次のとおりである。

- (1) アナログ入力の走査、増幅、A-D 変換、データの読込み
- (2) デジタル入力の走査、読込み
- (3) アナログ出力の分配、送出
- (4) デジタル出力の分配、送出
- (5) 割込入力の受付、一時記憶

表3 プロセス入出力装置仕様一覧表

デバイス名	仕 様
アナログ入力部	(1) 走 査 器 水銀リレー形 100 点/秒最大 無 極 点 形 5,000 点/秒最大
	(2) 増 幅 器 入力レンジ $\pm 10, 30, 50, 100, 300 \text{ mV}$, 1, 5, 10 V
	(3) A-D 変換器 積分形 変換時間 50 ms 逐次比較形 変換時間 50 μs
	(4) 精 度 $\pm 0.1\%$
デジタル入力部	(1) 種 類 電圧入力, 接点入力
	(2) 読 取 速 度 10,000 グループ $\times$ 16 点/秒最大
アナログ出力部	(1) 種 類 電 流 出 力 0~20 mA 電 圧 出 力 0~5 V
	(2) 精 度 $\pm 0.1\%$
	(3) 書 込 速 度 2,500 点/秒最大
	(4) 応 答 時 間 500 μs 以 下
デジタル出力部	(1) 種 類 リレー出力 半導体出力 パルス出力 表示管出力
	(2) 書 込 速 度 リレー式 100 グループ $\times$ 16点/秒最大 半導体式10,000 グループ $\times$ 16点/秒最大

(6) パルス入力の受付, 一時記憶

(7) ロギング, アラーム各タイプライタによる印字

表3はプロセス入出力装置の代表的な仕様である。

次に, 各入出力機器の概要について述べる。

4.2 入出力機器

(1) アナログ入力部

走査器にはフィルタを内蔵したフライングキャパシタ方式を採用して耐ノイズ性の向上を図った。前置増幅器は $\pm 10 \text{ mV} \sim \pm 10 \text{ V}$ レンジのプロセス入力信号をフルスケール $\pm 5 \text{ V}$ に増幅するものでIC化してある。A-D変換器は逐次比較形と積分形の2種があり, 変換器の出力信号は(純2進13ビット)+(オーバーフロー表示ビット)として得る。

(2) デジタル入力部

デジタル入力信号は, たとえば遮断器の入力信号のように高圧, ノイズ性のものが多いので過電圧保護回路, フィルタが必要となる。入力信号はこれらの回路を経由して16ビット単位で取り込む。

(3) アナログおよびデジタル出力部

アナログ出力部は分配器, D-A変換器で構成され, 電圧出力用

と電流出力用とがある。デジタル出力部には

- (a) ICフリップフロップにより出力信号をホールドするもの
- (b) ラッチングリレーによりホールドするもの
- (c) ホールドしないでパルス出力を送出するもの
- (d) 表示管を点灯させるもの

などがあって負荷となる機器に応じて選択できる。データの送出は16ビット単位で行なわれる。

(4) タイプライタコントロール部

タイプライタコントロール部には, アプリケーションによっては日報作成用, 警報用など複数台のタイプライタが接続される。コントロール部1ユニットには, 4~8台のプリンタが接続できるが, さらに相互間の同時処理を必要とする場合には, 制御ユニットを増設する。

5. ソフトウェア

5.1 H-7250/H-300/H-100 各ソフトウェアシステムの相互関係

ハードウェアと同様, H-7250 ソフトウェアシステムが母体であり, H-300/H-100はその下位システムとして開発された。したがって, H-300/H-100はソフトウェア的にもH-7250のサブセットとしての性格を備えており, すでに述べたように上位方向へのコンパティビリティを有している。開発にあたっては, 次のような考え方を基幹とした。

- (1) H-300/H-100のアセンブラ言語に, H-7250の言語と共通性を持たせる。
- (2) H-300/H-100は単独でアセンブルできるが, 小形の制御専用機という性格上, ソフトウェアとハードウェアの基本構成を最小に絞れる体系とする。
- (3) H-7250を用いてH-300/H-100のアセンブル, デバッグを可能にする。
- (4) H-300とH-100とでは, 原則として同一のソフトウェア体系とする。

5.2 H-7250のソフトウェアシステム

NPMS (Non Process Monitor System) と PMS (Process Monitor System) との2系列に分かれている。前者は, 主としてプログラム作成とデバッグに使用するオフライン用プログラムであり, 後者は制御用プログラムを動かすために使用するオンライン間のタイムシェアリングシステムプログラムである。図10はソフトウェアシステムのブロック構成を示したものである。

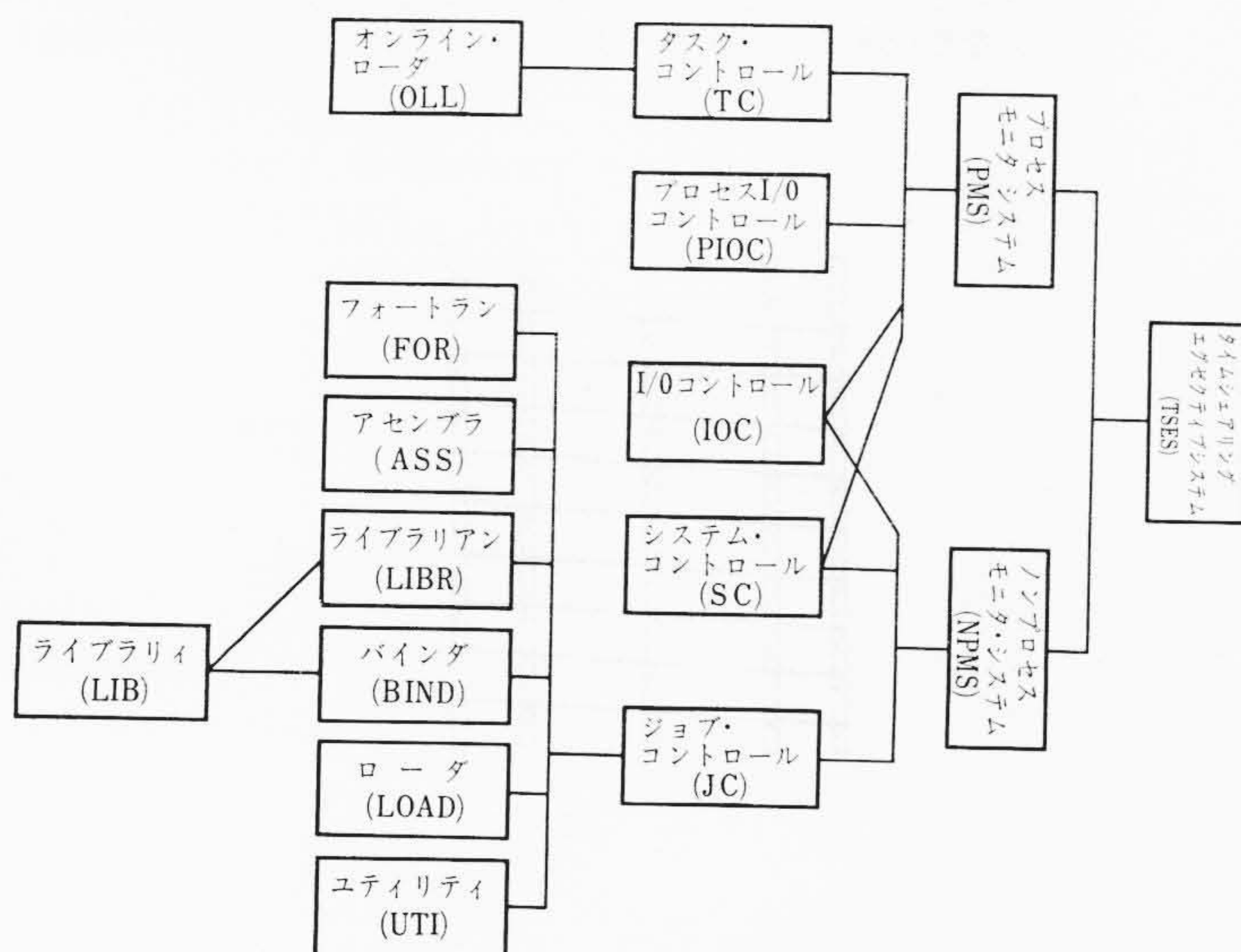


図10 H-7250 ソフトウェアシステム

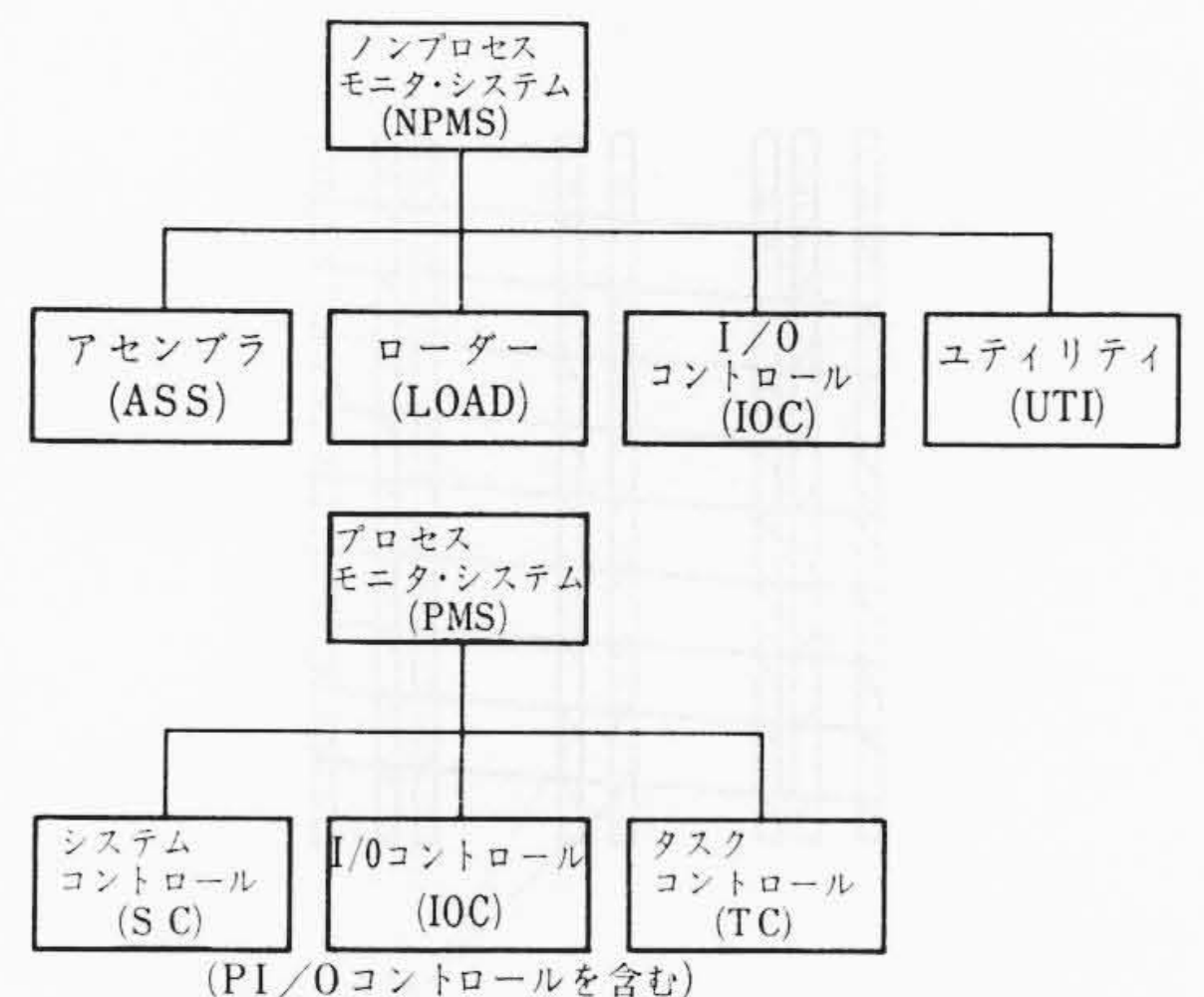


図11 HIDIC 300/100 ソフトウェアシステム

(1) NPMS

NPMSのうち、SCは停電、メモリエラー、インバリッド命令など異常事態の処理とオペレータの指示による入出力機器の状態変更を行なう。IOCは制御用以外の入出力機器の制御に用いられる。JCは、プログラムの作成、デバッグ制御用以外のプログラムの実行などをできる限りオペレータの負担にならぬ形で連続的に行なう。ランゲージシステムはフォートランとアセンブラで構成されている。ユティリティとしては、ローディング用 (BIND, LOAD), デバッグ用 (TRACE, DUMP), 入出力ユティリティ, システムエディタ (SEDT) などの各ルーチンがある。

(2) PMS

PMSのうちのSCは、NPMSの場合と同様に、停電、メモリエラー、外部アラーム、タイマ、コンソールスイッチなどからの割込みを処理する。I/O関係では、制御用として必要なプロセス入出力装置を制御するPIOCと、一般のI/Oを制御するIOCがある。次に、TCは多くのタスクの起動、終了を制御するとともに、必要に応じてドラムまたはディスクなどの外部メモリへのタスクの退避、回復などを制御する。タスクの起動は、通常(a)タイマ、(b)CALL QUEUEステートメント、(c)オペレータの指示のいずれかで行なわれる。OLLは、オンラインコントロール中にタスクを読込むためのロードである。

(3) TSES

NPMSとPMSは、本来独立したものであって、ベシックスソフトウェアシステムでは両者間の有機的結合は行なわない。これに対し大規模な制御システムでは、両者を結合し、一体としたソフトウェア体系が必要となるので、エクステンデッドソフトウェアシステムを用いる。これは、TSES (Time Sharing Executive System) のもとにNPMSとPMSが管理されるもので、たとえ

ば、オンラインコントロール中にフォートランによるプログラム作成が可能である。

5.3 H-300/H-100のソフトウェアシステム

H-300/H-100のソフトウェアシステムは、前述のようにH-7250の下位システムであり、また、H-300とH-100とは原則として同一体系である。H-300/H-100システムのブロック図を図11に示す。各ブロックの機能は、それぞれ対応するH-7250のブロックの機能と基本的には同じである。H-300/H-100のソフトウェアシステムの基本構成を極力小さく押え(H-100ではコアメモリ2kW)、しかもプログラムが容易な方向への拡張性を失わぬよう考慮した。アセンブラは、2パスでありアセンブラ言語は、機械語命令とアセンブラ命令との2種類のステートメントからなっている。

6. 結 言

以上日立制御用計算機システムの体系について概要を記したが、これらはすでに各分野に適用され、所期の成果をあげつつある。需要面からはさらに複雑、高度のシステムをより安価に、より高信頼性を備えて提供することが望まれており、これらに対してはWide Selection, Open-Ended Designなどの思想により拡張化、融通性を図る必要がある。また素子の進歩に伴うハードウェアの改良、制御用コンパイラなどのシステムプログラムの改良、マンマシンコミュニケーション手段の開発などさらに努力を重ねていく所存である。計算機制御は、いわゆるアプリケーションウェア、ソフトウェア、ハードウェアの三者が一体となって発展することがたいせつであり、ユーザー、メーカーの密接な協力が必要とされる。最後に本計算機システムの開発にあたり種々ご協力いただいた関係各位に深甚の謝意を表する次第である。



新案の紹介

登録実用新案 第793891号

高山八康・金綱敬止

電 子 管 用 グ リ ッ ド

この考案は、特に最大許容陽極損失10kWないし200kWの大電力送信管において使用されるらせん形グリッドの構造に関するもので、その要旨は図1および図2に示すように右巻きおよび左巻

きしたバインド線を交互に用いてサイドロッドとグリッド巻線とを縛り、固定したものである。

この考案によれば、一組のバインド線を右巻きと左巻に巻くことにより左右方向の偶力をつり合わせることができ、したがってサイドロッドとグリッド巻線とを溶接することなく、かつ変形のないグリッドを形成することができる。(福田)

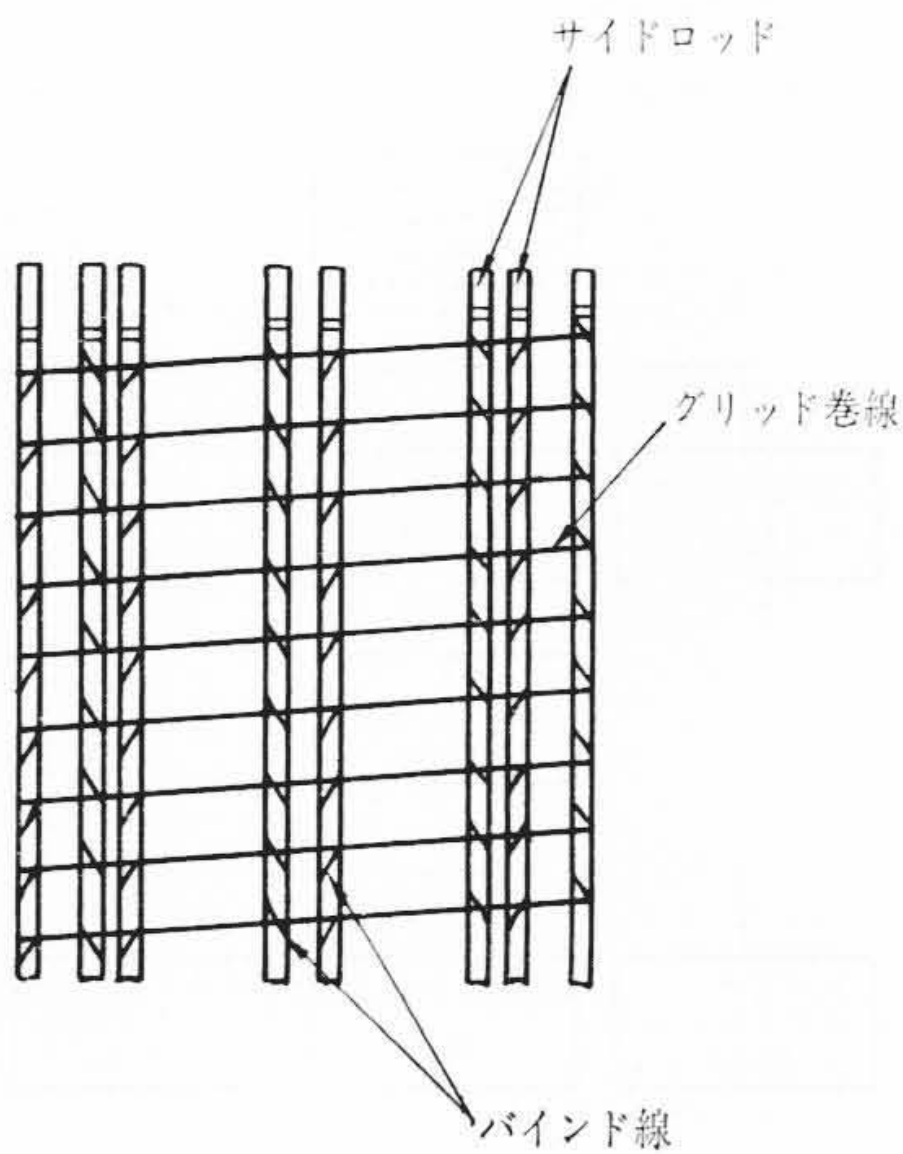


図 1

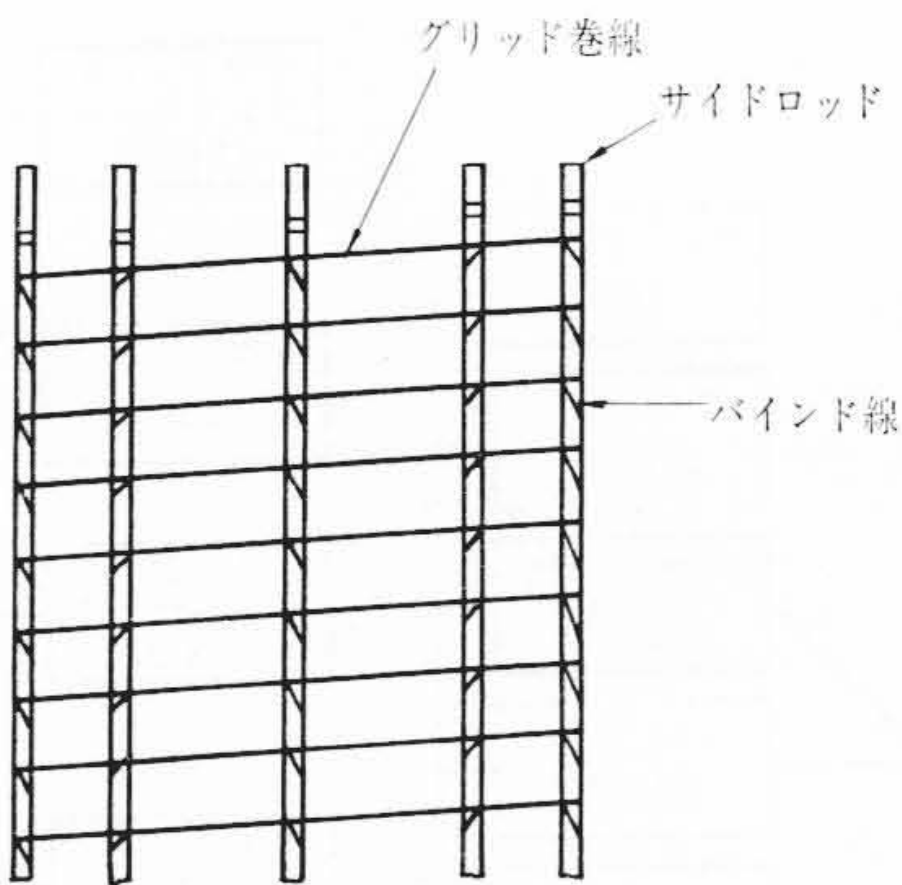


図 2