

マイクロコンピュータ応用を中心とした 圧延プラント制御システム

Plant Control Systems for Rolling Mills Using Microcomputers

昭和50年前後から圧延プラントにもマイクロコンピュータが導入され、更に、マイクロコンピュータとプラントとのインタフェースに、小規模伝送装置が大幅に採用され、また、サイリスタレオナードシステムなどの駆動システムのレベルでもマイクロコンピュータ化が行なわれ、プラント総合電子化デジタル化時代となっている。更に、複数のマイクロコンピュータを結合し、プロセス入出力装置を共有するマルチマイクロコンピュータ構成により、高性能化とともに経済性をも追求している。機能面でみると、電気技術者ベースでの取扱いやすさを追求するとともに、ソフトウェア作成では電気シーケンスのシンボルでのプログラミングを可能とするほか、運転法案ベースから直接プログラミングが可能となるようにソフトウェア面でのインタフェースミニマムを追求している。

川崎 宏規* Hironori Kawasaki
桜井 孝員** Takakazu Sakurai
下山 和彦** Kazuhiko Shimoyama
大久保博道** Hiromichi Ookubo

1 緒 言

圧延プラントの制御システム構成の傾向として、早くから¹⁾マイクロコンピュータの導入が行なわれているが、サイリスタレオナード装置をはじめとする電動機制御システムのレベルでもマイクロコンピュータ化が進み、オールデジタル化とも言うべきプラント全体の総合的なデジタル化時代へと発展してきた。以下、オールデジタル化時代のシステム構成の基本的なコンセプトとハードウェア、ソフトウェアについて述べる。

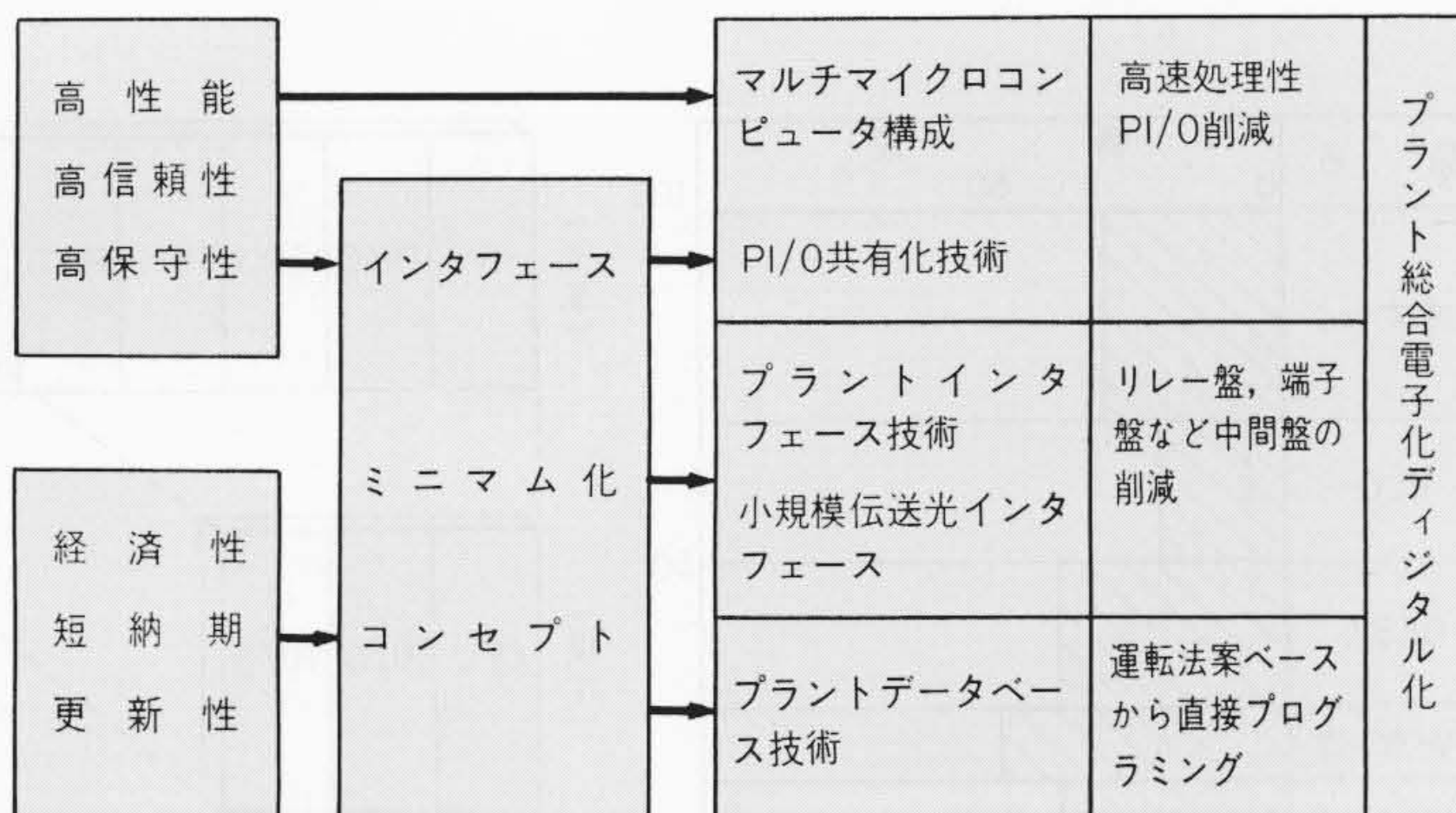
2 システム構成法の基本概念

ここでプラントコントロールシステム構成の基本的なコンセプトを図1に示す。高いパフォーマンス/コストを実現するためには、ハードウェア面でもソフトウェア面でもインタフェースミニマムを追求する必要がある。すなわち、高性能化を追求する一方でPI/O(プロセス入出力装置)を各マイクロコンピュータ〔レオナード装置などに用いられる装置専用のマイクロコンピュータと区別して、プラントコントロールシステム用のマイクロコンピュータを、PC(プログラマブルコントローラと称する。)]で共有化し、PI/O点数を削減する(ホット6スタンドタンデムミルでは、共有化しない場合に比べ約40%削減される)。また、マイクロコンピュータと駆動制御盤、操作盤、センサなどとリンケージする場合には、耐ノイズの関係からいったんリレーで受けるなどが必要であるが、盤間用小規模伝送装置を用いることにより、耐ノイズ性を高めることが可能となりエレクトロニクスレベルで直接接続が可能となるため、リレー盤などの中間盤を削減することができる。ソフトウェアの面でみると、運転法案作成時にデータベースのフォーマットを決めておき、起動停止などの条件を記入してゆくことにより、PCのプログラムを機械的に作成してゆくことなどは、プログラム作成の手続きを簡略化するという意味でソフトウェアでのインタフェースミニマムの追求ということができる。このほか、プラントの性能面での不断の改善のニーズにこたえるために、コントロールシステムの

更新のしやすさ(図1で更新性と称する。)を配慮することも重要な要素である。

3 システム構成の変遷

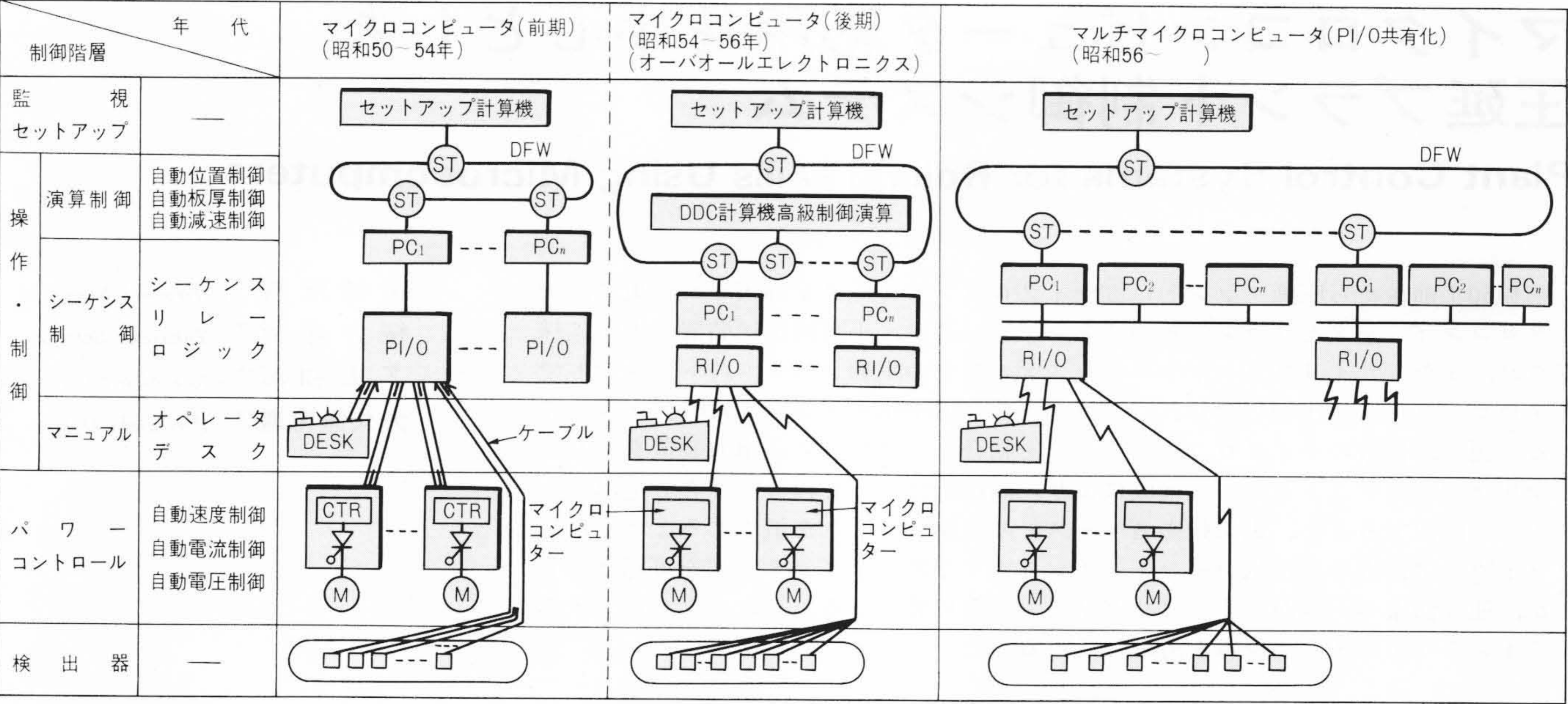
図2にシステム構成の変遷を示す。マイクロコンピュータ前期では、PCの導入により機能面で大いに進歩したが、PC回りのケーブルの過密化などが問題になり、マイクロコンピュータ後期でプラントインタフェース用小規模伝送装置を採用し、ケーブルのマーシャリングをも含めて改善した¹⁾。この時点では処理の分散化に伴い、PC間で共通に使用する入出力は、データウェイを介してリンケージすることも行なわれたが、高速性を要するものについては、各PC相互間リンケージ専用の入出力装置をもたざるを得なかった。これらの問題を解決するため、次のマルチマイクロコンピュータ時代では、複数のPCを結合して使用する、マルチマイクロコンピュータの形態をとるに至った。プラント全体は設備ごとにグループ



注：略語説明 PI/O(プロセス入出力装置)

図1 プラントコントロールシステム構成の基本概念 プラントコントロールシステム構成を行なう際の基本的なコンセプトを示す。インタフェースミニマム化コンセプトが中心的な概念である。

* 新日本製鐵株式会社設備技術センター ** 日立製作所大みか工場



注：略語説明 PC(プログラマブルコントローラ) RI/O[リモート入出力装置(STU：信号伝送ユニット)] DFW(データフリーウェイ)
DESK(制御卓) ST(Station)
DDC(Direct Digital Control：直接計算制御) CTR(Controller)

図2 プラントコントロールシステムの変遷 昭和50年前後からマイクロコンピュータ応用を中心とする総合電子化時代に入った。マイクロコンピュータが各制御階層に導入されるとともに、小規模伝送装置がプラント全体のインタフェースに用いられている。

をなし、各グループの複数台のPCはバス結合によって結合され、PI/Oを共有するとともに、データウェイのステーションをも共有し、上位プロセスコンピュータに結合される。その特徴を下記に述べる。

(1) マルチマイクロコンピュータ-PI/O共有化技術

上位プロセスコンピュータでは、従来からデータウェイのループ上のリモートI/Oステーションという形態で、複数台の計算機でPI/Oを共有するというを実施してきているが、電気制御レベルでは、各PCからのPI/Oへのアクセスの頻度が高く、PI/Oのデータの更新も数ミリ秒と短いので、後述するようなバス結合方式をとっている。データ伝送に用いられるプロトコルの交換などは、電気制御では時間的に致命傷となるため、サイクリックデジタル方式でソフトウェア上の手続きの不要な方法をとっており、PI/O結合と同様1：1直結というシンプルな結合方式としている(直結という意味でミ

ラー結合とも称される)。システム構成例では、PCはPC₁…PC_nのように分かれているが、PI/Oを共有しているのでソフトウェアはどのPCにローディングすることも可能である。また、予備のPCを設け異常のあったPCのプログラムをローディングするか、又はバイタルな主幹制御などはあらかじめローディングしておくことによりバックアップすることが可能となる。また、オンライン中のソフトデバッグも既に運転に入っているPCとは別のPCで行なうことにより、容易に分割調整が可能となる。

(2) 盤間リンケージの合理化

図3に代表的な圧延プラントでの制御盤の機種別構成比を示す。これによると、盤面数全体の約30%が何らかの形でインタフェース盤であることが分かる。以下、インタフェース削減例を示す。日立製作所の小規模伝送装置を使用した場合、PC側は従来はPC1台に対して図3に示すとおり約10面あ

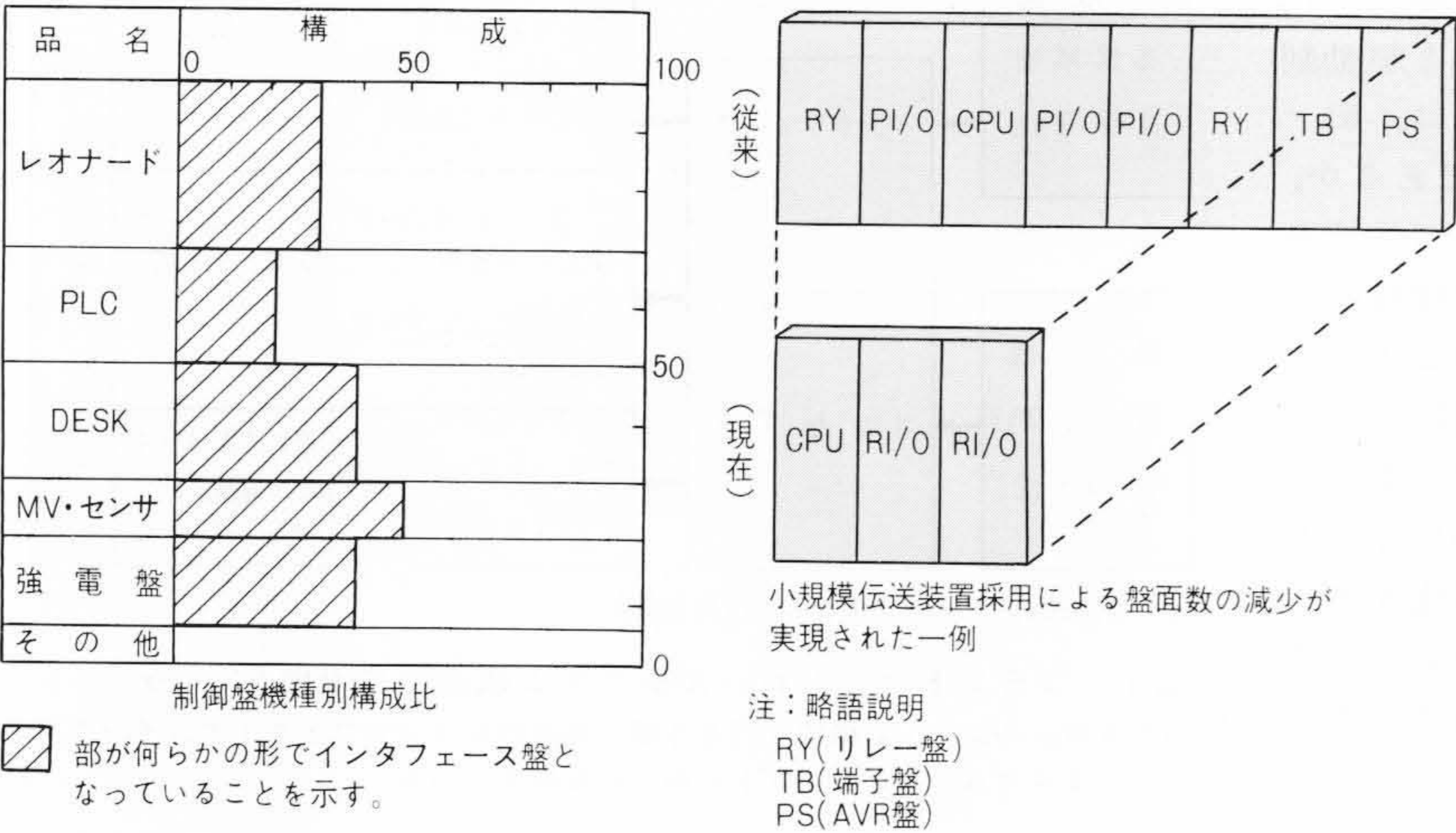


図3 制御盤構成比較 圧延プラントでの制御盤の構成比とインタフェースに用いられる部分を示す。また、下にPCに関してSTUを用いた場合の面数削減例を示す。

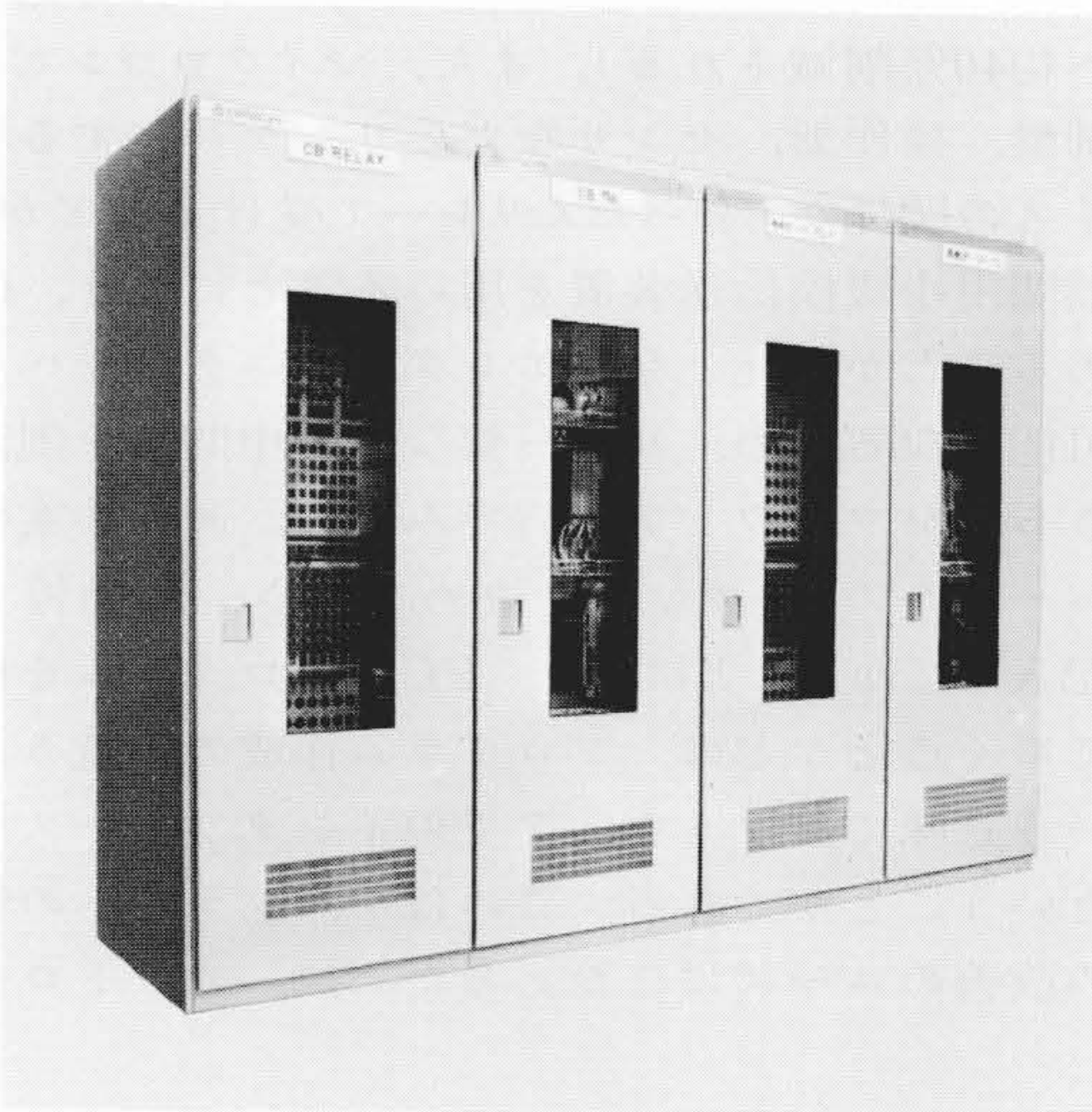


図4 H-04-E マルチマイクロコンピュータ構成 中央処理装置盤、リモートI/O盤などから成る。

たが、2～3面に減少している。この理由はPC側の送受信が32点/チャンネルごとにカスタムLSI化されたハードウェア(以下、STU: Serial Signal Transmission Unitと称する。)を使用しているためである。また、端末側も各々の盤にSTUを内蔵した形でリンケージしているため、従来より面数が増大することにはならない。更に、電磁弁盤とかセンサ信号などをSTUに集合するための盤などは、今後更に集約化が進むと考えられる。このように主幹制御、自動運転、品質制御をつかさどるPCと、駆動システム制御盤及びアクチュエータとのインタフェースが、無駄のない形態に発展してゆくものと考えられる。図4にPC盤構成例を示す。

4 処理装置“HISEC 04-E”

制御システムは分散処理形のシステム構成となり、オールデジタル化が進む中で、プロセスに直結した制御装置としてPCが適用されている。PCはコンピュータ技術を導入したとはいえ、コンピュータ利用技術に付随しがちな難解なソフトウェアを習得しなくても、比較的現場レベルの従来技術で一般電気技術者が容易に取り扱えるようにユーザー、メーカー共協力しながら改善に努力してきている。機能面でも高速・高機能化が進み、数値演算機能の充実が図られるとともに、割込などによるマルチタスクスケジューリング機能やリンケージ機能が付加され、その適用も拡大されてきている。これらの動向を踏まえ日立製作所ではDDC専用のPCとしてHISEC 04-E(以下、H-04-Eと略す。)を開発し、既に数多くのプラントに適用してきた。以下、H-04-Eの概要について述べる。表1に主な仕様を、図5にハードウェアの構成を示す。H-04-Eの処理装置は高速演算を実現するため、数値演算プロセッサと論理演算プロセッサから成る複合プロセッサ構成としている。これは通常の制御では論理演算の割合のほうが多く、使用頻度の高い論理演算を高速化するためである。また数値演算についても高速化するため、カスタムLSIを用い、高速マイクロプログラム処理を図るとともに、命令実行と次の命令の取込み、解読を同時に行なうパイプライン処理方式を採用している。インタフェースはPI/Oを含めメモリインタフェース

表1 中央処理装置の主な仕様 高速シーケンス命令と拡張性のあるPI/O装置をもち、中～大規模制御システムに適している。

項 目		仕 様	
演算制御部	演 算 方 式	繰返し演算方式、周期起動方式、割込起動方式、プログラム起動方式	
	命 令 数	論 理 演 算	17
		数 値 演 算	39
	命 令 機 能	論理演算、数値演算、分岐、割込	
	割 込	レ ベ ル	3 レベル
		要 因 数	16要因/レベル
要 因 判 定		ベクトリング方式	
処 理 速 度	シーケンス演算	2 μs	
メ モ リ	プログラムメモリ	素 子	コアメモリ
		容 量	32k語Max., 8 k語単位
		語 長	16ビット+パリティビット
	一 時 記 憶	素 子	1Cメモリ
		論理演算用	512ビット
		数値演算用	1,024/2,032語*
		共 用	1,024ビット(64語)
オンディレイタイマ		64点 0.1〜3,276.7s	
		64点 1〜32,767s	
プリセットカウンタ		64点 1〜32,767s	
ワンショットパルス		64点 0.1〜3,276.7s	
プ ロ セ ス 入 出 力	ユ ニ ッ ト	ユニット数	7台Max./32台Max.*
		スロット/ユニット	16/15*
	ア ド レ ス 範 囲	ビットアドレス	2,048Max.
		ワードアドレス	2,048Max./4,096Max.*

注：* 1,024/2,032語は、シングルシステム/バス結合システムを表わす。

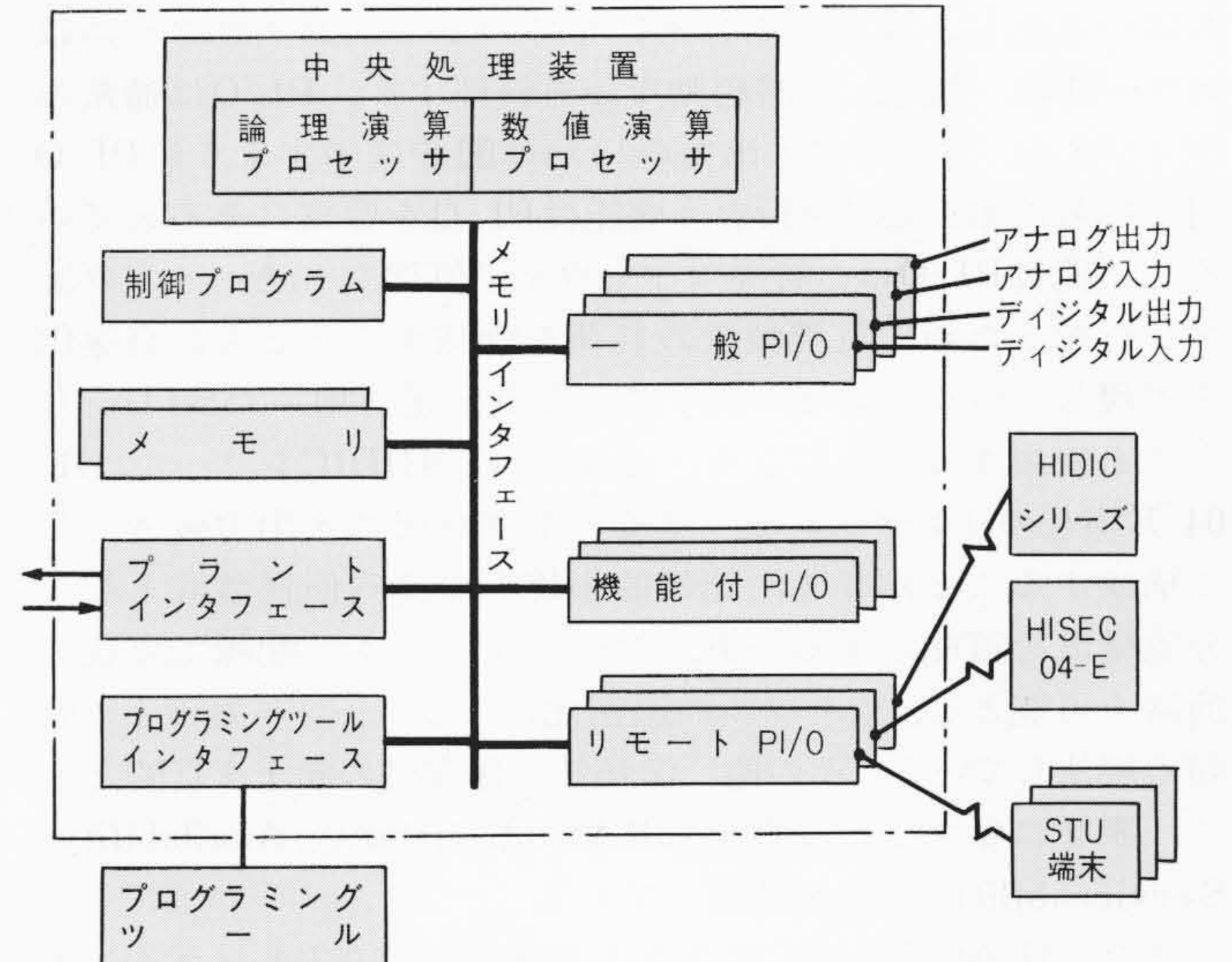
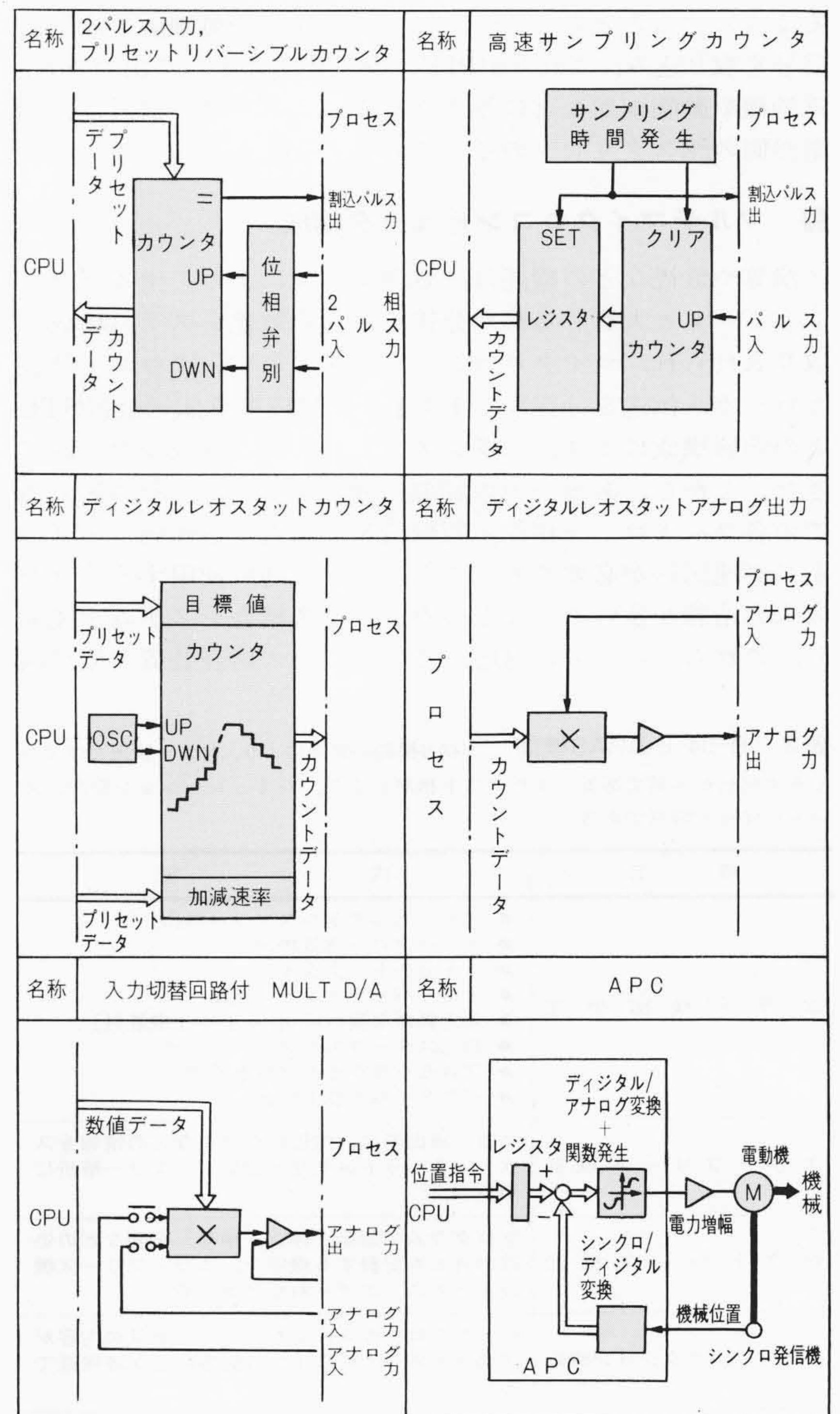


図5 H-04-Eのハードウェア構成 数値演算プロセッサと論理演算プロセッサの複合プロセッサ構成により、処理性を向上しシーケンス演算、数値演算の混合実行を実現している。



注：略語説明 APC(自動位置決め装置)

図6 主な機能付プロセス入出力装置 豊富な機種をそろえCPU負荷を軽減するとともに、高速化を実現している。

スに一本化し、取扱いを容易にしている。制御プログラムはエラー処理、割込、周期起動などを管理する。PI/Oは通常のデジタル、アナログ入出力のほかに図6に示すようにPI/O内で信号の加工処理を行なう機能付PI/Oを豊富にそろえている。機能付PI/Oは、標準ソフトウェア処理などをハードウェアで行なうため、処理装置の負荷を軽減するとともに高速化を実現している。また、シリアル多重伝送を用いたSTUシリーズを使用することにより、上位計算機HIDICシリーズ、H-04-E相互のリンケージや、リモートプロセス入出力装置として構成することができ、比較的小規模な構内伝送装置として分散構成を可能とする一方、ケーブルコスト、配線工事費の節減を可能とし、ケーブルの過密化によるケーブル処理上の問題も解決している。その他、信頼性、保守性の向上を目的として、表2に示すような豊富なRAS (Reliability, Availability, Serviceability)機能を装備している。

また、H-04-Eでは、プラントを実運転状態(オンライン運転)に入れるか、プラントを切り離れた状態でPCを動作させるかを制御する機能を、PIF(プラントインタフェースカード)に設けて実現している。PIFにはオンラインスイッチ、オフラインスイッチを設け、オンライン/オフラインの切替えができるようにするとともに、プラント側の異常や処理装置故障の信号を取り込み、これらがPIFのマスタ信号として出力され、電動機駆動制御盤などに与えられる。このマスタ信号は、制御盤側のマスタリレーのインタロックとなる。

5 マルチマイクロコンピュータ構成

演算や監視などの機能は、処理レベルによってマイクロコンピュータと大形計算機が分担しあう分散化システム構成が取り入れられ、マイクロコンピュータ間のデータウェイ結合とローカル伝送を分担する1：1の小規模多重伝送装置STUとの階層構成により、バランスよくシステム構成がなされてきた。しかし、ある一つの制御区分を見た場合、その区分内での各コントローラ相互の制御情報は増大する傾向にあり、かつ高速伝送が必要であること、また共通に使用するプロセス入力情報が多いことなどの点からバス結合システムを開発し、これらのニーズに対応している。バス結合装置の原理図

表2 H-04-EのRAS機能 RAS機能の充実により、エラー検出だけでなくその解析が容易である。またテスト機能により、シミュレーション動作、カードの保守が容易である。

項 目	内 容
エ ラ ー 検 出 機 能	● イリーガルアドレスエラー検出 ● オーバフロー演算検出 ● ウォッチドッグタイマ ● メモリパリティエラー検出 ● 未定義命令実行検出(リトライ機能付) ● 割込スタックエリアオーバ検出 ● プロセッサタイムアウト検出 ● バスタイムアウト検出
エ ラ ー フ リ ー ズ 機 能	エラー検出時に、内部レジスタなどの情報をスクラッチパッドメモリへ記録し、エラー解析に用いる。
動 作 ト レ ー ス 機 能	プログラムの起動、停止、中断、再開などの処理の流れを記録する機能で、エラーフリーズ機能とともに、エラー解析に用いる。
メ モ リ プ ロ テ ク シ ョ ン 機 能	誤ったプログラムにより、コアメモリの内容が破壊されることを防止する記憶内容保護機能である。
テ ス ト 機 能	● プラントインタフェースのオフライン機能によるプラントへの最終段出力をOFFにした状態での模擬制御動作機能 ● 各カードのT/M(Test & Maintenance Program)による詳細動作テスト機能

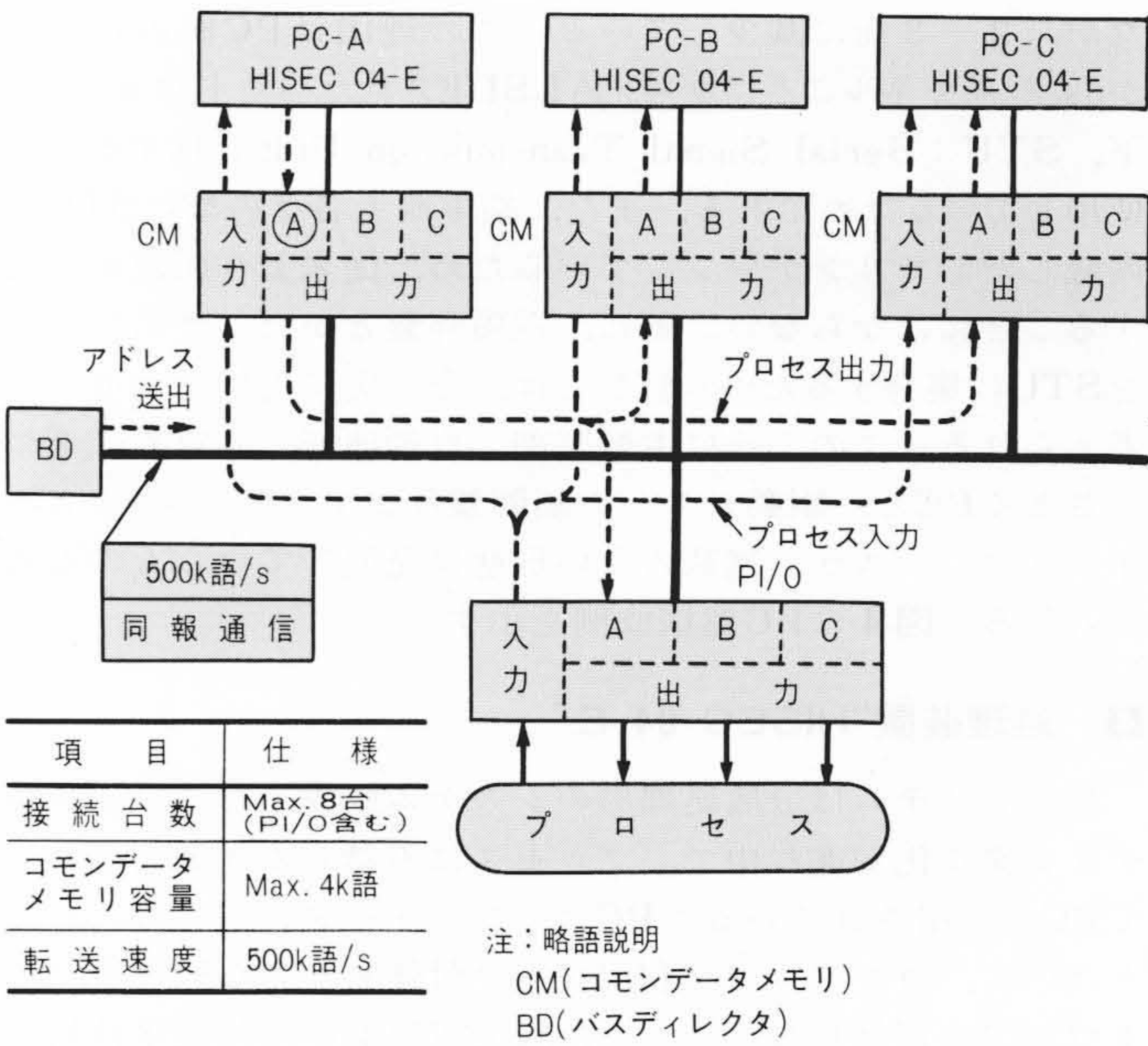


図7 バス結合装置の原理図 バス結合同報通信方式により、システム応答性の向上を図っている。

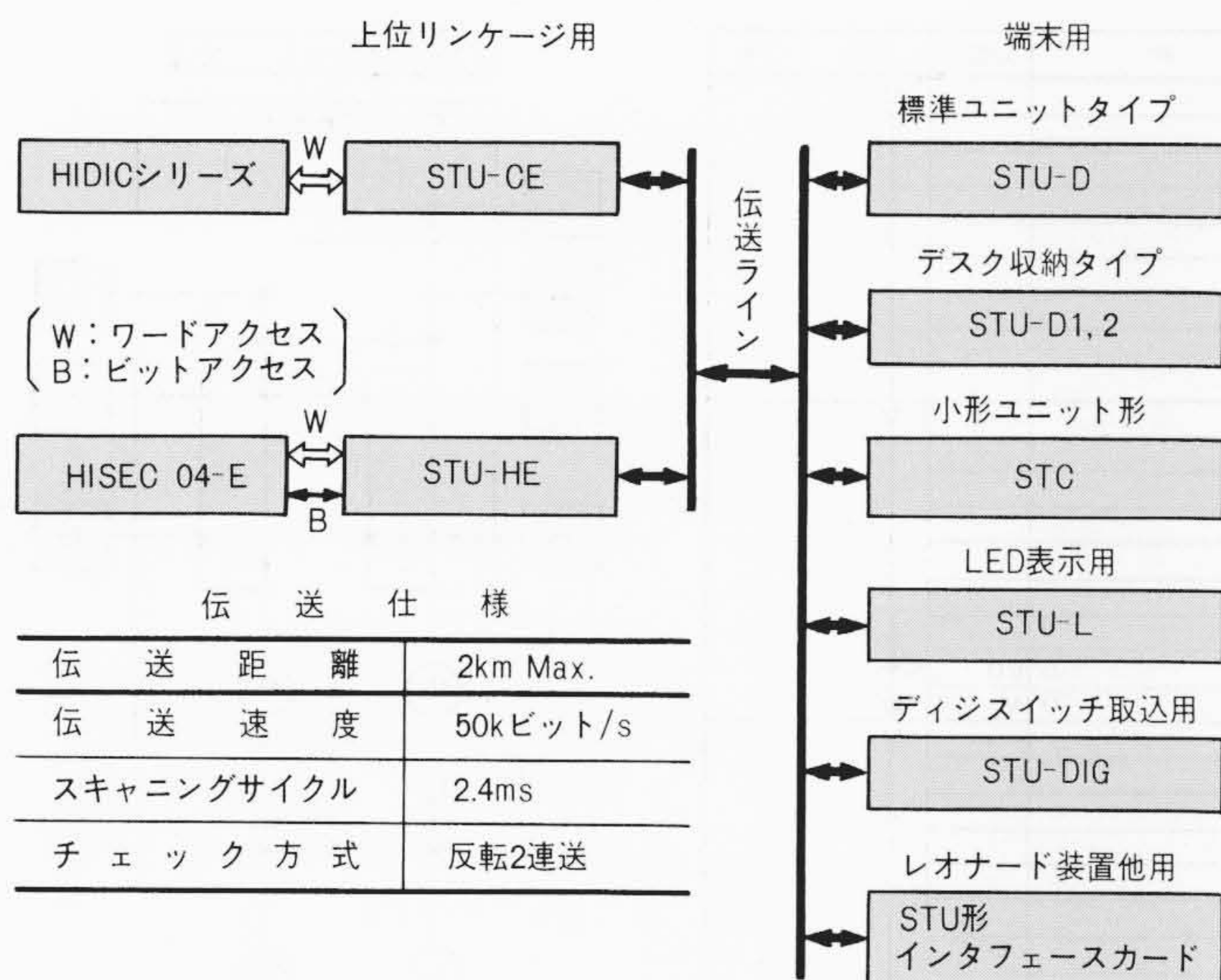
を図7に示す。バス結合装置は、H-04-EとPI/O間及びH-04-E相互間の高速データ転送を行なうものであり、同報通信機能をもっている。

CMは、PI/O及びリンケージデータを共有するコモンデータメモリで、例えば図7でプロセス入力はいずれも各PCのCMに転送されるとともに、出力についてもPC-Aが出力した情報はプロセス出力に転送されるとともに、PC-B、CのCMにも転送され、各PCのCMはすべて同じ情報をもつものである。したがって、各PCのアプリケーションサイドから見ると、伝送の手続きはCMに対するダイレクトアクセスとして単純化、一元化されている。これによりPI/O情報、リンケージ情報を各PCが共有しているため、システムの負荷分散、機能分散の構成が容易で、かつPCバックアップも構成可能である。バス結合内の転送方式は、転送手順プログラムの不要なハードウェア方式を採用し、各PCの動作とは独立して高速転送を実現している。また各PCのプログラムは、独立性があるため分割調整が可能である。

6 小規模伝送装置STUシリーズ

コントローラやバス結合装置のPI/O部には、多くの信号が放射状に集中し、ケーブルの過密化によるケーブル処理、信号変換などの問題があるが、日立製作所ではシリアル伝送を用いた小規模構内伝送装置STUシリーズを適用し解決している。コントローラに接続される対象は、操作卓、レオナード制御盤、モータコントロールセンタ、電磁弁盤などがあるが、これらは行先別に分散しており数十点単位に分割されるため、STUシリーズでは1チャンネル32点の1：1ポイントツーポイント方式としている。図8はSTUシリーズの構成を示しており、各装置、端末間をリンケージする機種をそろえている。更に各装置側、例えばレオナード装置側の外部インタフェースカードもSTU方式をとっており、プラントコントロールシステム全体としてインタフェースを32点/1チャンネルシリアル転送に統一している。

STUはカスタムLSIを使用し、部品点数を削減しハードウェアの小形化、高信頼化を実現するとともに、1：1通信のため伝送速度の応答性が優れている。また、回線(チャンネル)



注：略語説明 LED(発光ダイオード)，STC(接続端子付信号伝送ユニット)

図 8 STUシリーズ 各装置、端末間をリンケージする機種をそろえて
いる。

単位に独立した構成になっているため、危険分散になり、また故障した場合の発見も容易である。

7 プログラミングツールとアプリケーションソフトウェア

H-04-Eのプログラミングツール(以下、プログラマと称する。)は、電気技術者の展開接続図のシンボルでプログラムの作成、編集及び保守を可能とするもので、表3に示すとおり標準形と高機能形の2種類がある。以下、プログラマの特徴、ソフトウェア作成法について概要を説明する。

(1) プログラム表示方法

命令語を表現する方法として図9に例示するようなシンボル表示方式(高機能形)又は記号表示方式(標準形)を採用して、感覚的に読み取れるよう配慮している。特に高機能形プログラマは、論理演算処理も数値演算処理も共にシンボル表現し

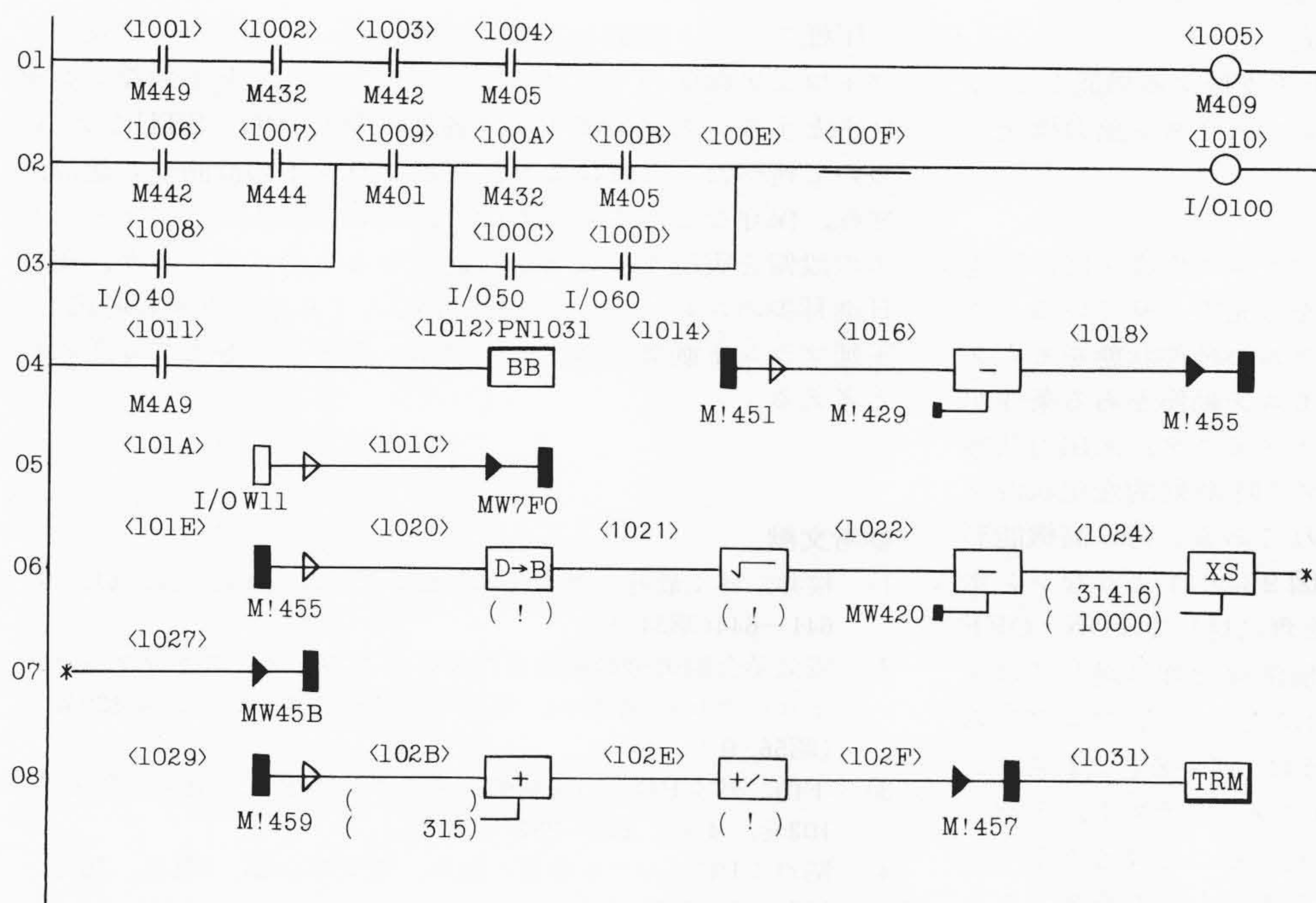


図9 プログラムのプログラム表示例 左側がシンボル表示方式のプログラム表示例、右側が記号表示方式のプログラム表示例で、シンボル表示方式は直感的な判読ができる。

表 3 HISEC 04-E用プログラマ仕様 高機能形はCRTによるシンボル表示方式であることと、ローカルモードのプログラム修正・編集機能をもっていることに大きな特長がある。

プログラマのタイプ		標準形	高性能形
項目			
表示手段		蛍光表示管	CRT
命令語表現方式		記号表示方式	シンボル表示方式
命令語表現単位(同時表示可能量)		1命令	A3サイズ図面1枚分
プログラム記憶媒体/記憶量		カセットテープ 32k語/2巻	フロッピーディスク 32k語×22台分/2枚
主 要 機 能	プログラム作成(コンパイル)		あり
	プログラム修正 (命令語挿入・削除・変更及びジャンプ先目動修正)	リモート	あり
		ローカル	なし
	プログラム編集	リモート	あり
		ローカル	なし
	クロスリファレンスリスト出力		あり
	マップ出力		なし
	シーケンスモニタ		ON/OFF表示方式
	シーケンスモニタ保持機能		なし
	I/Oモニタ		1時期1点表示
トレンドモニタ		なし	

注：リモート(中央処理装置と接続した状態)
ローカル(中央処理装置と接続せず、プログラマ単独の状態)

ているので、プログラムを読んで理解することが非常に容易である。

(2) プログラムの作成

プログラムを作成する手順は、まずシステム計画を行なう。設計者が制御内容やインタロック関係を明確にしたLDS(Logic Data Sheet：図面)を作成し、これを見ながらプログラマを操作して実機の主記憶装置、又はプログラマのプログラム記憶媒体上に直接プログラムを作り上げてゆく。図10にLDSの一例を示す。この方法によって、従来のプログラム作成方法に比べプログラム作成の手数は大幅に低減された。

(3) プログラムの変更

いったん作り上げたプログラムを変更する場合も、プログ

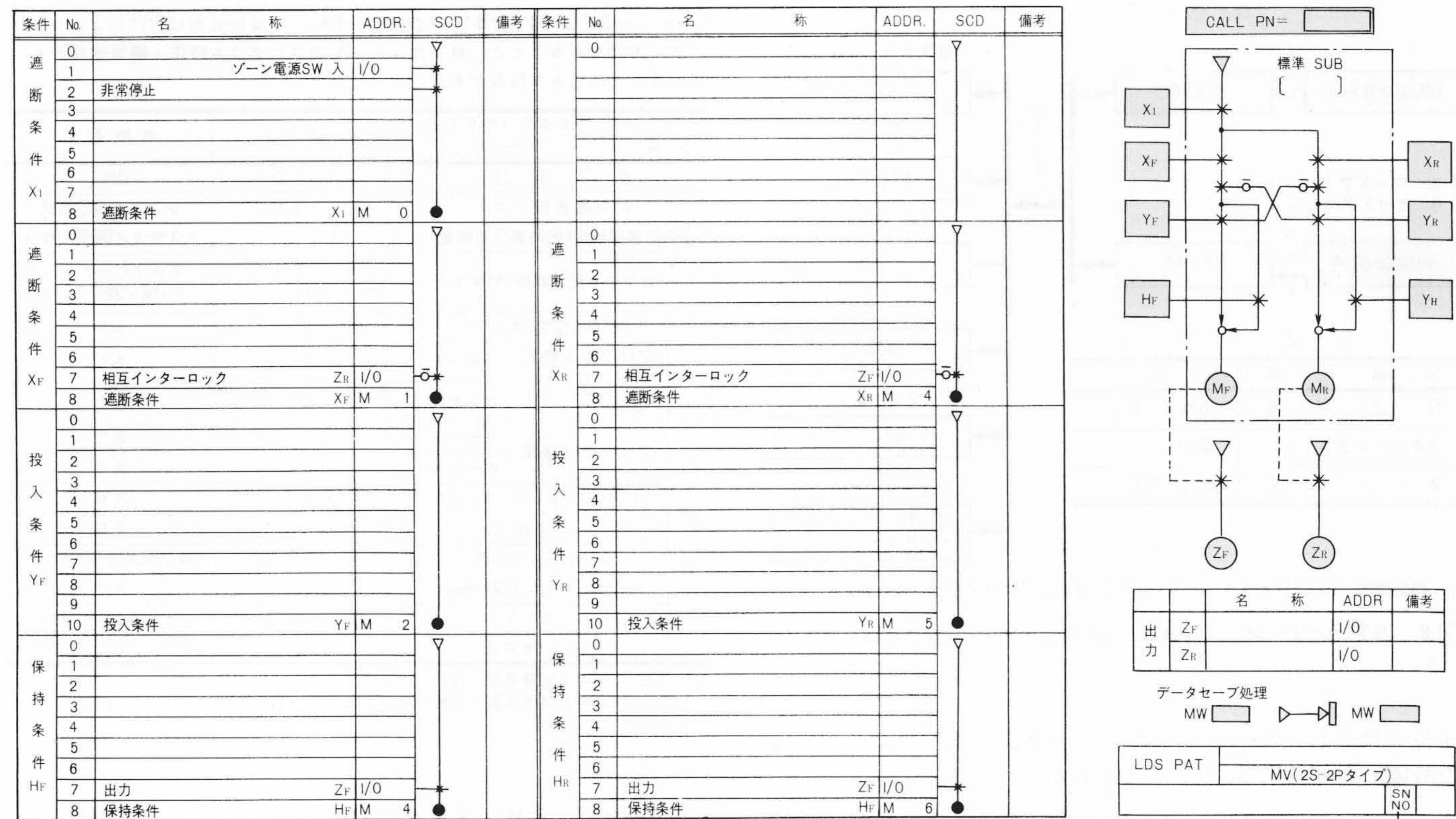


図10 ロジックデータシート例 このロジックデータシートをフィルインザブランク(Fill in the Blank)方式で作成し、これを見ながらプログラムをキーインする。

ラマ自身に命令語を削除、挿入及び変更する機能をもたせており、実機の主記憶装置、又はプログラムのプログラム記憶媒体上に記憶されているプログラムを直接変更することができる。この機能によって、従来の計算機のように実機上のプログラムは「パッチ」によって仮修正しておき、後にコンパイラを使って「リアッセンブル」して正規のプログラムを作り、実機にローディングし直すという何段階もの手数をかけることは不要となり、1回の処理で正規の(すなわち、パッチを当てた形ではない。)プログラムに修正される。

(4) プログラミング効率向上支援機能

プログラムの作成や修正の効率向上を支援する機能として、プログラム編集機能、クロスリファレンスリスト出力機能、マップ出力機能などを備える。

(5) オンラインモニタ

H-04-E用プログラマは、単にプログラムの作成・修正機能だけでなく、オンラインモニタ機能をも充実させているところにもう一つの特徴がある。プログラムの動作状態をモニタするシーケンスモニタ、シーケンスモニタ動作をある条件が成立したタイミングで保持するホールドモニタ、入出力状態をモニタするI/Oモニタ、あるデータの時系列的変化状況をモニタするトレンドモニタなどがそれぞれである。特に高機能形プログラマのシーケンスモニタは、図9に示すようなシンボル表示方式の画面を用い、論理演算処理に対してはON・OFFの別を色を変えてラダー表示し、数値演算処理に対しては演算結果の値を演算命令シンボルの近傍に表示して、プログラム動作状態が一目瞭然に判読できるようにしている。これらオンラインモニタ機能の充実により、プログラムのテスト、デバッグ、メンテナンスの効率が大きく向上することはもとより、更に広範囲の制御システム全体の保守性向上にも貢献する。

(6) ソフトウェアドキュメント

ソフトウェアに関するドキュメントは、前述のLDSと、高

機能形プログラマがCRT(Cathode Ray Tube)画面上に表示する絵と全く同一のフォーマットの図面(ロジック図という。)の2種類とし、プログラムの保守はこのロジック図だけで対処可能なようにしている。従来の計算機のように、ゼネラルフローチャートやプログラムリストはもたず、実機上のプログラムとドキュメントとの対応がしやすいように配慮されたものとなっている。

8 結 言

圧延プラント制御システムについて、ハードウェア及びソフトウェア両面のインタフェースミニマムを基本的なコンセプトとするシステム構成法、各制御要素(PC, STUなど)について述べた。これにより、圧延プラントの計画から建設、運転、保守などのあらゆる面で、高いコストパフォーマンスの設備を実現することが可能になると考えているが、更に日進月歩のエレクトロニクスを中心とする技術進歩に呼応し、圧延プラント制御システムの進歩・発展に寄与してゆきたいと考える。

参考文献

- 1) 桜井, 外: 最近の鉄鋼圧延制御システム, 日立評論, 61, 9, 641~644(昭54-9)
- 2) 電気学会制御機器調査専門委員会: PC(プログラマブルコントローラ)の技術動向, 電気学会技術報告(II部), 第120号(昭56-9)
- 3) 下山, 外: PCの高速制御システムへの応用, 電気学会誌, 102巻, 4号, 289~292(昭57-4)
- 4) 関口: PCにおける言語の動向, 電気学会誌, 101巻, 10号, 957~964(昭56-10)
- 5) G. Lapidus: Programmable Logic Controllers, Control Engineering 1849(1971-4)