

マイクロ コンピュータの圧延機制御への応用

Application of Micro-Computer to Rolling Mill Control

ワンチップCPUを用いたマイクロ コンピュータの近年の発展は目覚ましいものがあり、あらゆる産業に利用され始めている。鉄鋼制御、特に圧延機制御の分野でも分散形システムの制御要素として使われて圧延機用最新総合制御システム(Motor Application Control Complex System MACCS-80システム¹⁾、の重要な一翼を担っており、高度に複雑な制御を行なっている。マイクロ コンピュータの機能としては相当に複雑な演算制御とシーケンス制御が可能である。最近、開発されたHIDIC 08Sは、この演算制御とシーケンス制御が別モードで同時に処理可能で、連続鋳造設備や、熱間圧延機、又は冷間圧延機、プロセッシング ラインなどに使用されており、制御機能としては、自動位置決め制御、自動板厚制御、自動減速停止制御、あるいはシーケンス制御に使われている。本稿はHIDIC 08Sの仕様とその圧延機制御への応用について述べる。

松 香 茂 道* Matsuka Shigemichi

保 田 勲* Yasuda Isao

大久保博道* Ôkubo Hiromichi

増 田 郁 朗** Masuda Ikuo

1 緒 言

ワンチップ中央処理装置(以下、ワンチップCPUと略す)を用いたマイクロ コンピュータの急速な発展は、産業のあらゆる分野に浸透しつつある。鉄鋼設備の制御システムのように複雑高度な制御分野においても、マイクロ コンピュータが分散形システムの制御コンポーネントとして使用されてきている。機能としては、計算機本来のかなり複雑な演算制御処理機能と、シーケンス制御専用機能に大別されるが、最近はその併用機種も開発されている。鉄鋼設備への応用は高炉、焼結、連続鋳造、熱間圧延、冷間圧延、プロセッシング ラインとあらゆる分野に及んでいる。制御機能としても、自動プリセット、自動板厚制御、自動減速停止制御など、従来のミニ コンピュータによる直接計算制御(以下、DDCと略す)の分野から、トラッキング、シーケンス制御のように、従来の半導体ロジックやリレー制御の分野まで多岐にわたっている。本稿ではマイクロ 計算機及び応用についてできるだけ詳細に述べる。

2 マイクロ コンピュータの圧延機制御への応用

2.1 マイクロ コンピュータの特長

マイクロ コンピュータは、いわゆる大規模集積回路(LSI)によるワンチップCPUを中心に、記憶装置や入出力機器、プロセス入出力装置を装備した計算機であるが、これを従来の制御用計算機と比較した場合次のような特長を持っている。

- (1) LSIのワンチップCPUを採用しており小形、軽量、かつ安価である。
- (2) 計算機としての四則演算機能、記憶機能を備えているほかに、マイクロ 命令の組み方によっては、入出力をビットごとに論理演算するシーケンス制御専用機能を持たせることができる。
- (3) 上位計算機とのcompatibility(両立性)を持たせることにより、上位計算機とのリンケージが容易にできる。
- (4) 現状では、システム規模、処理速度の点で、ミニ コンピュータにはまだ劣る。

以上の特長を考えた場合、マイクロ コンピュータは、従来

の制御用計算機によるDDC、半導体ロジックやリレーによるいわゆるワイヤード ロジック(Wired Logic)のシーケンス制御に代わって、鉄鋼設備の制御システムで、ローカルなインテリジェント ターミナルを構成して、故障時の危険分散及びワイヤード ロジックにない高い演算処理能力と柔軟性を発揮することができる。また、インテリジェント ターミナルとして、上位計算機とデータ フリーウェイやプロセス入出力レベルでのデータ リンケージが容易にとれることによって、プラント全体としての情報交換、あるいは故障時の早期復旧や、事前故障診断などで大きな威力を発揮できる。

2.2 圧延設備制御への応用

鉄鋼設備は、上流より高炉・焼結・転炉などの製鉄・製鋼設備、連続鋳造・分塊形鋼・線材棒鋼・厚板・ホット ストリップなどの熱間圧延設備、可逆・タンデムなどの冷間圧延設備、及び焼鈍・めっき・シャーなどのプロセッシング ラインと多岐にわたっている。一方、制御自体は、材料の成分・温度・厚み・形状などの品質制御、材料を駆動する機器の速度・位置の制御、あるいは材料の切断制御などに大別される。鉄鋼設備制御の特徴としては、

- (1) 材料の品質制御としては、非常に高い精度を要請されているため、通常複雑高度な演算処理が必要である。
- (2) 材料が高速で動いているため、駆動機器には非常に速い応答性が要求される。
- (3) 材料の動きが、移送、加減速停止、切断、巻取りなど複雑であり、複雑なシーケンス制御が要求される。

これらの要請に対して、従来は、(1)に対しては中・小形制御用計算機で一括処理する場合が多く、これによって(2)の応答性が追従できない場合は、アナログ演算を付加してこれを補ってきた。また(3)に対しては、プラントにより、何千〜何万という制御リレーや半導体論理素子にて対処してきた。マイクロ コンピュータでは、その安価、小形軽量のために、各制御機器、又は制御機能ごとに必要数設置して、これらの要請に応ずることができる。ハードウェアは同じで、ソフトウェアを変えるだけであり、保守の画一性、予備品の減少、故

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所日立研究所

表1 マイクロ コンピュータの圧延設備への設置状況 代表的圧延プラントについてHIDIC 08ベースでの設置台数と制御機能を例示説明した。機能としては自動制御とシーケンス制御に大別される。

No.	設備名称	設置台数	制御機能
1	連続鋳造設備	6台	(1)シーケンス制御 (2)自動位置決め制御 (3)切断制御
2	鋼管圧延設備	12台	(1)シーケンス制御 (2)自動位置決め制御 (3)圧延機指令制御
3	分塊圧延設備	2台	(1)シーケンス制御 (2)自動位置決め制御
4	ビレット圧延設備	2台	(1)シーケンス制御 (2)自動位置決め制御 (3)圧延機指令制御
5	冷間可逆圧延設備	3台	(1)压下位置決め制御 (2)自動板厚制御 (3)自動減速停止制御
6	冷間多基圧延設備	5台	(1)シーケンス制御 (2)压下位置決め制御 (3)自動位置決め制御 (4)自動板厚制御 (5)自動減速停止制御

殊な電源設備のない現場で使用する場合でも、電源から入るノイズに対して装置を保護している。

(d) 特定時間以内の瞬時停電に対して、装置の正常動作を保証する機構と自動復電イニシャル再スタート機構を標準装備している。

(e) 温度異常検出機構を標準装備して装置を保護するとともに、外部に異常検出信号を出力できる。

(f) 誤ったプログラム、又は入出力装置制御回路の誤動作により、主記憶装置の内容破壊を防止するため「メモリ プロテクト機構(オプション)」を準備している。

(g) ソフトウェア及びハードウェアのエラーを検出し、外部に出力するための「ウォッチ ドッグ タイマ機構(オプション)」を準備している。

(2) 超小形、コンパクト実装を実現している。

(a) ワンボードCPU

CPUは1枚のプリント基板に収納しVECTOR割込機構¹⁾だけでなく、DMA(Direct Memory Access)を含めた入力インタフェースまで内蔵している。

(b) コンパクト実装

CPU、記憶装置、電源、デバイス カード及びプロセス入出力カードをコンパクトにまとめたシステム ユニットを採用している。

(3) 上位機種との命令体系、入出力インタフェースの統一化
上位機種であるHIDIC 80と互換性を持たせているので、HIDIC 80で開発したハードウェア、ソフトウェア リソースをそのまま利用できるとともに、データ フリーウェイ(DFW)や通信回線制御装置を介してHIDIC 80と組み合わせ、トータ

障時の危険分散など、ユーザーの利点は大きいと思われる。

表1には、最近のマイクロ コンピュータの使用状況を代表的圧延プラントについて例示したものである。機種は次章3.で述べるHIDIC 08で考えたものである。

3 HIDIC 08の特徴

HIDIC 08は日立制御用計算機シリーズ及び産業用計算機シリーズの中心機種として新たに開発したHIDIC 80の下位機種に位置し、マイクロ コンピュータの経済性とミニ コンピュータの性能を合わせもった本格的16ビット マイクロ コンピュータで、オンライン リアルタイム処理に適したハイレスポンス性と高信頼性を基本設計に、多彩なアプリケーションに的確に答えられるシステム構成となっている。

HIDIC 08には、内部マイクロ プログラムを変更したコンピュータ シーケンサ(HIDIC 08S)が姉妹機種として用意されている。HIDIC 08Sはシーケンス制御に最適な命令体系が動作するシーケンス モードと、データ制御に適した命令体系が動作するコンピュータ モードをダイナミックに切り替えて、データ、情報処理及び制御ができる理想的なオンライン リアルタイム コンピュータ シーケンサである。以下、HIDIC 08の主な特長について述べる²⁾。

(1) 高信頼性を保証するため、以下の各種施策と機構を準備している。

- (a) スクリーニングとエージングを実施した部品を使用している。
- (b) 耐湿、耐塵埃性を向上させるためすべてのプリント板はコーティングを施している。
- (c) 交流入力回路にはノイズ フィルタを標準装備して、特

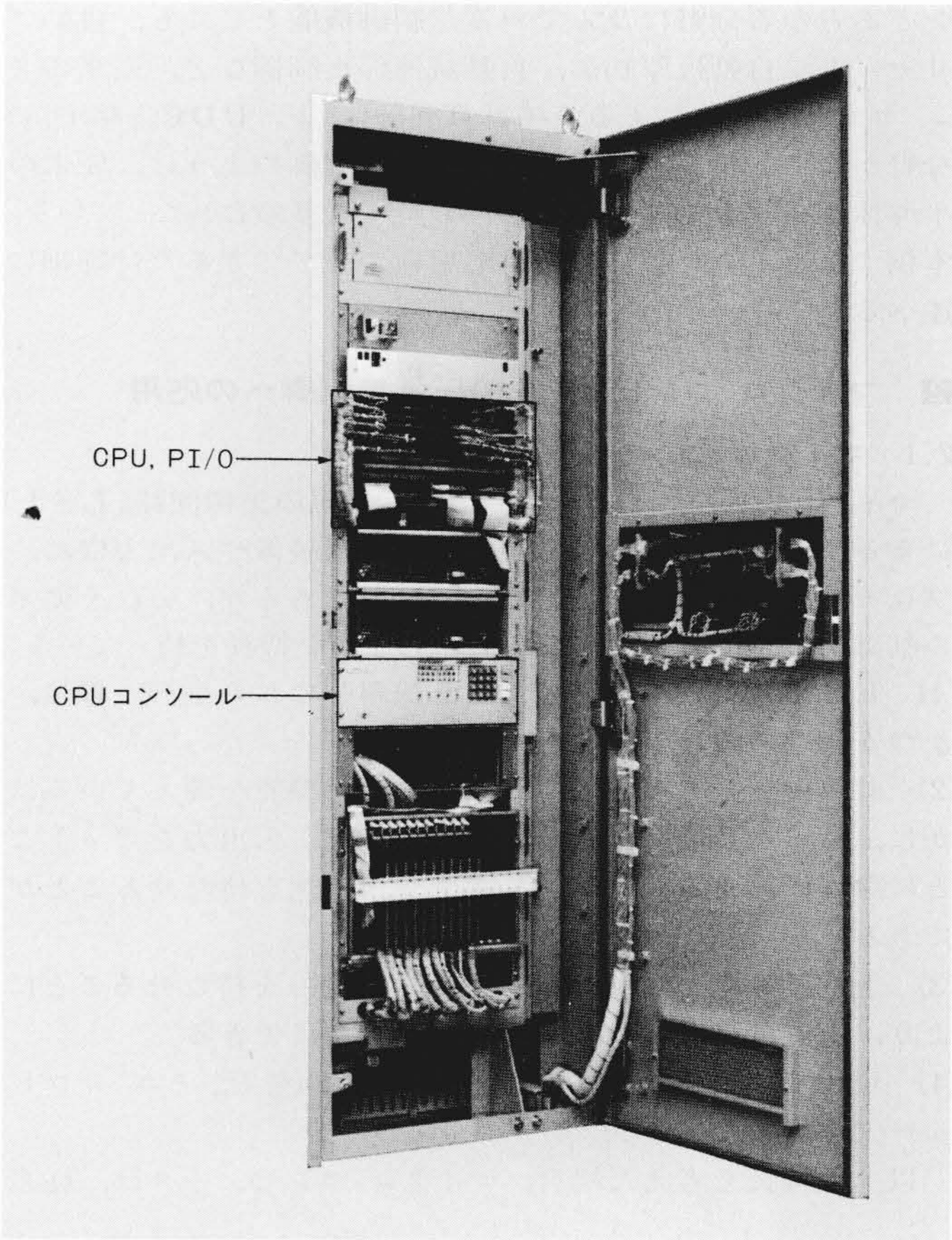


図1 HIDIC 08の外観 HIDIC 08を压下位置制御装置“HYROP-F”に適したものの外観を示す。

表2 HIDIC 08/08S仕様一覧表 代表的マイクロ コンピュータHIDIC 08/08Sについて主要部の仕様を
表形式にてまとめて示した。

機 種		HIDIC 08	HIDIC 08S	
項 目		仕 様	Cモード仕様	Sモード仕様
主記憶装置	語 長	16ビット	16ビット	
	最 大 容 量	64K語 (ただし、メモリインタフェースI/O 使用の場合は48K語)	48K語(ただし、メモリ インタフェースI/O使用しない場合は64K語)	
	サイクル タイム	0.55 μ s(ICメモリ), 1.2 μ s(コア メモリ)	0.55 μ s(ICメモリ), 1.2 μ s(コア メモリ)	
演 算 部	命 令 数	基 本 47種 オプション 4 種 ファームウェアMAX.96種	基 本 38種 オプション 10種	基 本 14種
	演算レジスタ	2	2	1
	ベース レジスタ	3	3	6
	インデックス レジスタ	3	3	—
	アドレス修飾	二重修飾機能あり	二重修飾機能あり	一重修飾
演 算 時 間		I C メモリ	I C メモリ	基本命令約4 μ s
	加 算	3.1 μ s	3.5 μ s	
	乗 算	30 μ s	30 μ s	
	除 算	40 μ s	40 μ s	
入出力制御	転送速度(DMA)	400K語/秒 MAX.	400K語/秒 MAX.	400K語/秒 MAX.
	転送速度(PCMA)	2K語/秒 MAX.	2K語/秒 MAX.	—
	転送速度(MI)	20K語/秒 MAX.	20K語/秒 MAX.	—
	入出力装置数	64(ただし、PCMA, DMA方式の装置)	64(ただし、PCMA, DMA方式)	P I/O2048点(ただしMI方式)
割 込	レ ベ ル 数	2	2	な し
	要 因 判 定	VECTORING(ハードウェア)	VECTORING(ハードウェア)	—
オプション機構		タイマ イリーガル アドレス チェック メモリ プロテクト ウォッチドグ タイマ IPL 浮動小数点演算 ファームウェア	タイマ イリーガル アドレス チェック メモリ プロテクト ウォッチドグ タイマ IPL 乗除, 倍長演算	
環 境 条 件	温 度	0 ~ 50°C	0 ~ 50°C	
	湿 度	10 ~ 95% (湿球30°C以下 結露なし)	10 ~ 95%(湿球30°C以下結露なし)	
電 源		AC100V $\pm$ 10%, 1 ϕ , 50/60Hz(標準)	AC100V $\pm$ 10%, 1 ϕ , 50/60Hz	

ル システムでのターミナル コンピュータとして活用できる。

(4) 豊富なソフトウェア サポート

強力なマクロ アセンブラによるプログラミングは、もとより、コンパイラ[高級制御用言語(PCL)]によるプログラミングが可能で、かつオンラインでプログラムをチェックするためのMan-Machine Communication System(MCS)が準備されているため効率の良いデバッグができる。

(5) コンパクトなオペレーティング システム

各種アプリケーションにマッチしたモジュール構造になっており、ハードウェアの割込制御機構と相まってDDCシー

ケンス制御などの単純な専用制御システムから、複数プログラムの同時制御を必要とするマルチ タスクまで、ユーザーのシステムに最適なオペレーティング システムを提供できる。

(6) 高級コンピュータ シーケンサ(HIDIC 08S)として

- (a) セルフ デバッグ機能を内蔵し、文法チェック及び実機での模擬運転が可能である。
- (b) 複雑なシーケンスを容易に実現できる「多重括弧論理処理」ができる。

なおHIDIC 08及びHIDIC 08Sの仕様を表2に、HIDIC 08の外観を図1に示す。

4 マイクロコンピュータのシーケンス制御への応用

4.1 概要

マイクロコンピュータのシーケンス制御への適用例として連続鋳造設備へ適用した場合について述べる。

本連続鋳造設備は、シーケンス制御のほかに、自動切断制御、位置決め制御などの、いわゆる計算機制御が含まれている。ここに着目して、計算機機能を持つシーケンサ、すなわち、HIDIC 08Sの適用を考えた。

今回の連続鋳造設備は、2ストランドマシンが2台と精整設備で構成されており、マイクロコンピュータはレイアウト上より、連続鋳造設備の各ストランドに各々1台、精整設備に2台、合計6台を配置し、6グループに分け簡単な演算処理及びシーケンス制御を行なうようにした。

4.2 制御内容

マイクロコンピュータとしてのHIDIC 08Sにより、連続鋳造設備を次に列記する制御を行なっている。

- (1) 鋳造機回りシーケンス制御
- (2) カッタ及び搬出回りシーケンス制御
- (3) 精整回りシーケンス制御
- (4) 鋳片の自動切断制御及び鋳片の全長表示
- (5) 精整設備のテーブル及びクーラークレーンカーの位置決め制御
- (6) 精整設備の材料トラッキング
- (7) レオナード制御装置の速度設定

(8) 上位計算機とのデータリンケージ

以上の制御のうち、(1)～(3)はマイクロコントローラのシーケンス制御モードであり、(4)～(8)は計算機制御モードである。図2に本設備での連続鋳造機1ストランドのマイクロコンピュータによる制御ブロックを示す。同図に示すように1台のマイクロコンピュータにより全体が総括的に制御されている。

マイクロコンピュータとしてのHIDIC 08Sの主な仕様は次のとおりである。

- (1) コアメモリ：16K語
- (2) 割込み：4レベル8要因
- (3) シーケンスモード入出力：450点
- (4) 計算機モード入出力：24語
- (5) バス入力：16語
- (6) コンソール入出力装置：万能入出力装置

4.3 インテリジェント指令制御盤の特徴

マイクロコンピュータを装備したインテリジェントな指令制御盤(Intelligent Director盤以下、ID盤と略す)の特長を列記すると次のとおりである。

- (1) マイクロコンピュータのPI/O(Process Input/Output)の故障診断機能の付加可能
- (2) 総括システム構成の一部として、マイクロコンピュータ故障時の手動バックアップ機能を持っている。
- (3) 専用パッケージ(リレーパッケージ、速度設定パッケージなど)を大幅に採用し、制御盤のインテリジェント化、標準化を実現した。

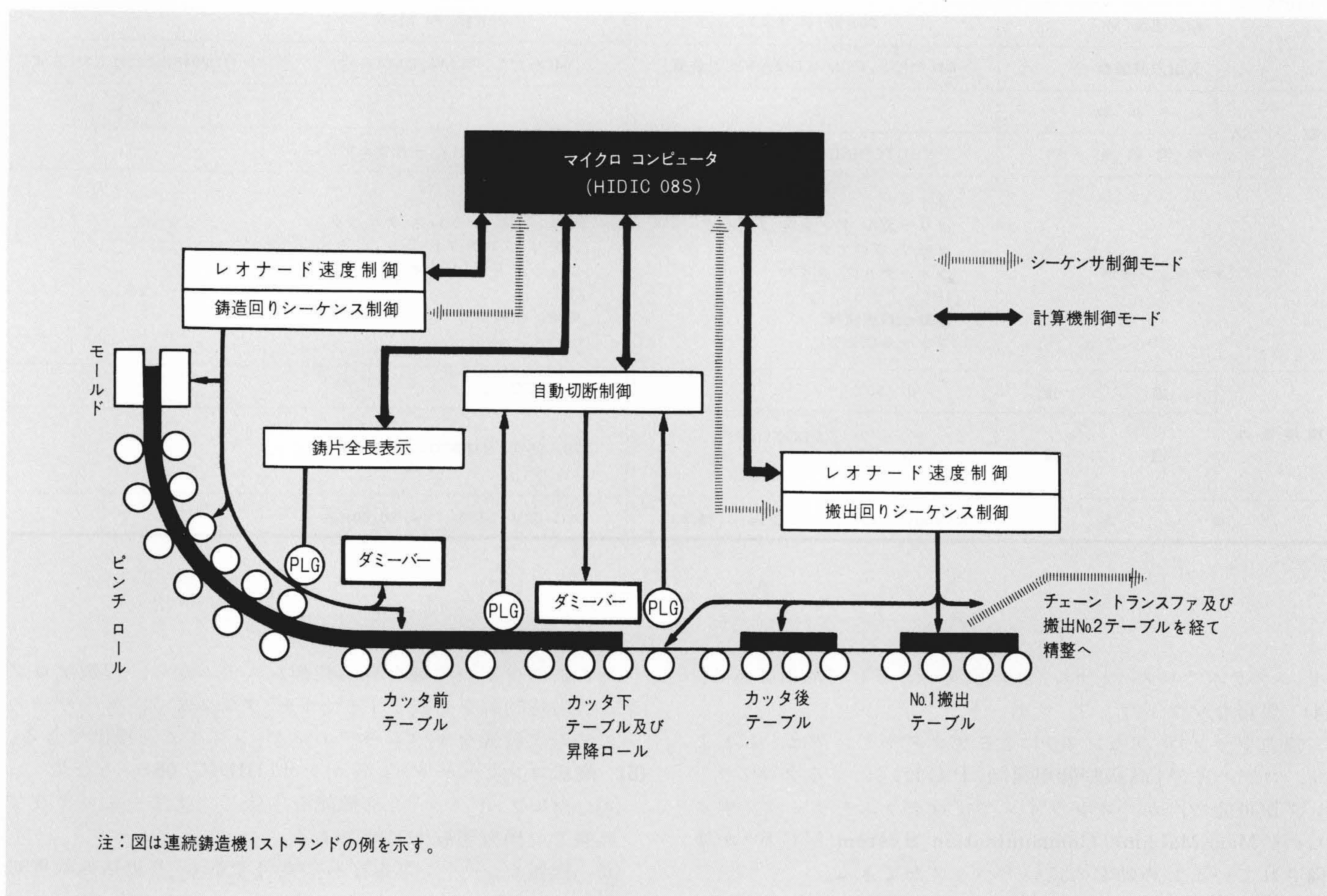


図2 連続鋳造設備制御ブロック図 マイクロコンピュータを中心とした連続鋳造設備の制御ブロック図を示す。

5 マイクロコンピュータの自動制御への応用

5.1 自動位置決め装置 (APC)

自動位置決め装置は圧延機の圧延ロールの開度、サイドガイドの開度などをはじめとして、各種機械の位置を所望の目標位置に停止させる装置であり、この装置に対して外部からは目標位置(指令値)と位置決め開始タイミングを与えることが必要である。

自動位置決め装置自身の機能としては、

- (1) 外部から与えられる位置指令値を受信する機能
- (2) 制御対象の機械位置を検出する機能
- (3) 指令値と検出値との偏差を算出する機能
- (4) 偏差(距離のディメンジョンを持った信号)を速度信号に変換して位置決め制御信号として出力する機能

とが必要である。これらの自動位置決め装置の機能のうち、位置検出機能を除く他の機能はマイクロコンピュータに分担させることができ、位置偏差の算出、位置偏差から位置決め速度への変換はソフトウェアによって処理する。更に位置検出器のオフセットエラーの補正(ゼロ調)もソフトウェアによって処理させることができ、現有のマイクロコンピュータではこれらすべての処理を数ミリ秒以内で行なうことが可能である。したがって、位置決め精度をどの程度に収めようとするかに大きく影響されるが現在一般に行なっている普通程度の位置決め制御では、位置決め制御4ループないし16ループ

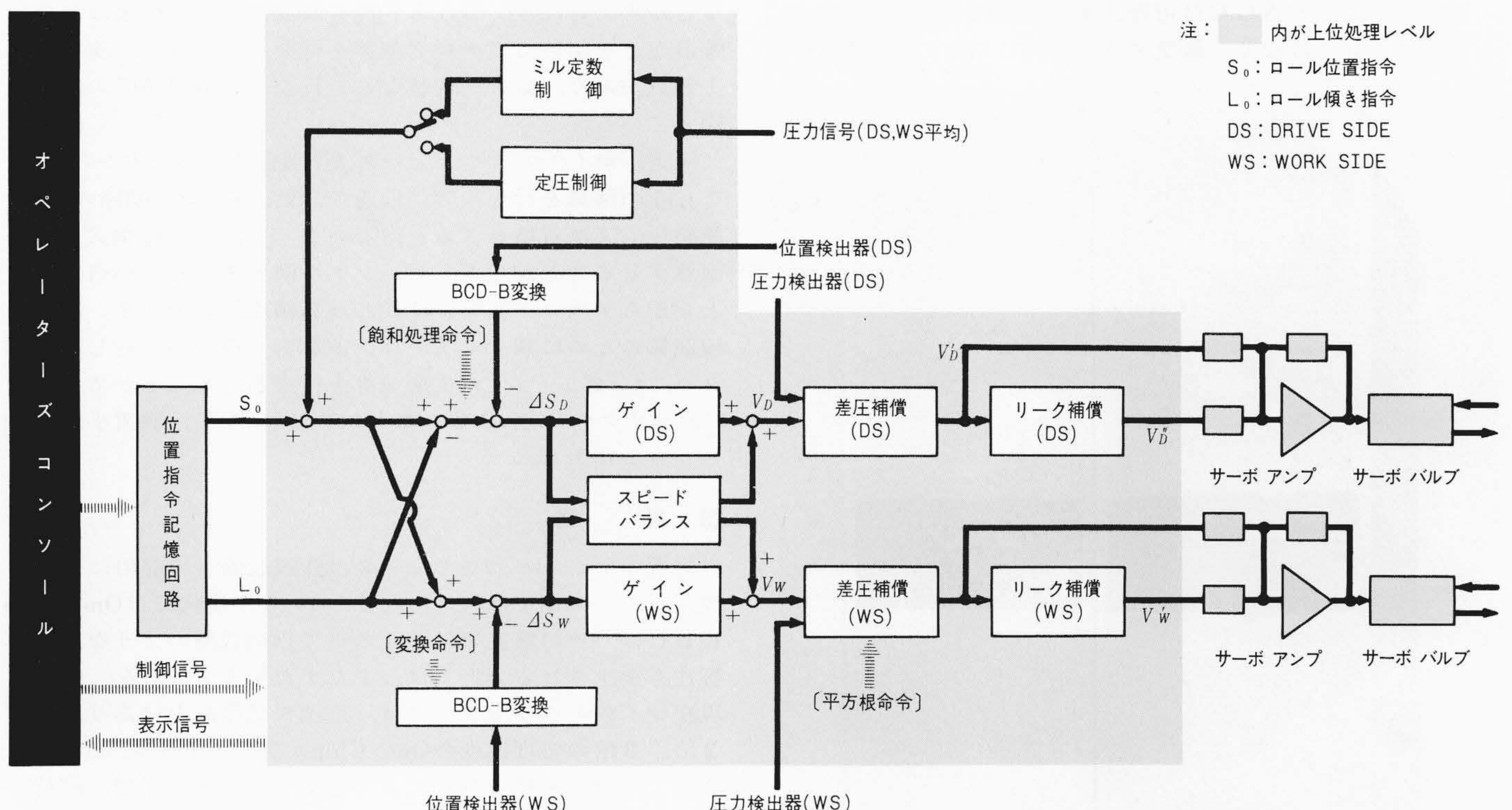
を1台のマイクロコンピュータで一括多重処理させることができ、位置決め制御のループ数の多いプラントへの適用が有利である。

5.2 日立油圧压下装置(HYROP)

圧延機の压下装置は高い応答速度を得るために、油圧で駆動されるものが多くなっている。ここで用いられる油圧サーボ系を“HYROP”(Hydraulic Roll Position Controller)と呼んでおり、20~30Hzの応答速度を持つ高速の制御系である。また、この制御系は位置制御のほかに、サーボ弁のリークの補償、両側の压下系の速度バランス、圧力補償などの制御を含んでおり、制御装置の規模も大きい。

このような“HYROP”の制御装置に対し、小形化のためにマイクロコンピュータHIDIC 08によるDDCを計画したが、ここで最も大きな課題になるのは、“HYROP”の複雑な処理を制御系の応答速度で決める時間内で実現することである。我々はHIDIC 08の応用に際し、次の二つの手段を採用して高速化を図ることにした。

- (1) HIDIC 08の特長であるファームウェアを積極的に活用し、DDC用の特殊命令を準備する。
- (2) 高速性を要求される位置制御ループを他の処理から分離し、特殊なOS(Operating System)を介して多重化する。前者については、“HYROP”だけにとどまらず、同じように高速性を要求される他のDDCも含めて検討したが、特殊命令は普通の命令を用いて同じ処理を実行した場合に比較して、



ニモニック	処 理 内 容	ニモニック	処 理 内 容
CZ	ゼロ点検出処理	ADS	$\text{sat}\{(A,Q) + (EA, EA+1)\} \rightarrow A, Q$
SA	$\text{sat}\{(EA)\} \{(A)\} \rightarrow A$	SDS	$\text{sat}\{(A,Q) - (EA+1)\} \rightarrow A, Q$
AS	$\text{sat}\{(A) + (EA)\} \rightarrow A$	CSR	$\sqrt{(A)} \rightarrow A$
SS	$\text{sat}\{(A) - (EA)\} \rightarrow A$	CBGD	$(A,Q) \xrightarrow{\text{BCD-B変換}} A, Q$

図3 “HYROP-F”制御ブロック図 “HYROP-F”についてHIDIC 08内の演算処理を中心にブロック図的に示した。

5～10倍の高速処理が可能である。

図3に“HYROP”の制御装置の構成と，“HYROP”の中で使われたDDC用特殊命令を示す。特殊命令は入出力データの変換，オーバフローの防止，関数の発生など，DDC特有の処理に効果的に使われている。また，多重化した場合の処理レベルは同図に示すとおりであり，油圧系の駆動に直接関係するマイナーループを上位レベル，シーケンス制御，ロール位置の自動零調，コンソール機能などを下位のレベルとした。このような形を採用することにより，“HYROP”の応答を実現するために実用上差し支えないサンプリング周期を得ている。

図4は以上のようにして，HIDIC 08を中心に構成された“HYROP”制御装置の外観であるが，この装置は従来のように専用ハードウェアで構成した場合に比較して $\frac{1}{2}$ に小形化されている。

5.3 自動板厚制御装置(AGC)

板厚精度向上の市場要求は極めて強い。近年，先後端部と加減速部分の完全な補正によるオンゲージ率向上の希求は特に顕著である。同時に，豊富な適用実績と制御の基幹をなす従来技術を踏襲した機能の要求も依然として根強い。

こうした背景に立って，マイクロコンピュータを用いた自動板厚制御装置(以下，AGCと略す)では，次の機能を備えている。すなわち，ゲージメータAGC，予測AGC，モニタ，加減速補正，端末補正などがそれである。更に，これらの圧下主体制御のほかに，スタンド間，又はリールとロール間の張力を調整する張力AGCを備えて，全機能を制御盤一面に実装した。このAGCは可逆式単基圧延機をその制御対象とするばかりではなく，制御スタンド数に対応して複数個列

盤構成することにより，熱間又は冷間タンデム圧延機にも適用が可能である。そのため，特に任意のスタンド圧下修正に伴う上流側張力変化の修正を目的として速度補正機能を備えている。

マイクロコンピュータの適用によって，このAGCは高密度実装と同時に，フロントアクセス主体の保守性の向上を指向し，盤表面コンソールによるチェック機能の充実を図った。また，以上の機能はすべて圧延理論式に準拠した予備演算機能を背景に作動し，スケジュールごとの適正影響係数演算などを通して，該材料，該パスに対する最適化制御が可能である。

5.4 自動減速装置(ASD)

自動減速装置は，圧延状態にある被圧延材の速度を自動的に減速させ，所定の位置に停止させる装置である。自動減速させるには，一方で停止させる所定位置までの被圧延材の残り長さが幾らあるかを知り，他方で現在の速度から減速させて停止するまでにどの程度の長さを走行するかを予測し，両者を比較して減速タイミングを見つける。残り長さを知る方法としては，

- (1) あらかじめ被圧延材全長が分かっている，進んだ長さを計測して残り長さを求める方法
- (2) コイル状に巻かれた被圧延材のターン数が分かっている，巻もどしターン数を計測し残りターン数を求め，残りターン数から残り長さを算出する方法
- (3) コイル状に巻かれた被圧延材の巻もどしターン数と進んだ距離との両者を計測して，両者の関係からコイル径を算出し，コイル径から残り長さを求める方法

などが考えられる。これら各種の演算処理は，従来は演算増幅器などを用いてアナログ演算を行なっているが，演算精度上難点があり，レンジ切替などを行なって演算精度の向上を図っている。

一方，マイクロコンピュータは演算能力の点などからみて，これらの演算を行なうのに最適で，更にアナログ回路の場合，簡略化，又は省略せざるを得ないような演算も理論式どおり演算させることができ，ディジタル演算であるため当然のことながらアナログ演算に比較し演算精度が向上する。また各種演算のために個々にアナログ演算器を持つのに対し，マイクロコンピュータ1台で全演算を行なわせることができるので，ディジタル化によるコストアップはなく，装置小形化のメリットがある。

6 結 言

最近のマイクロコンピュータの鉄鋼設備への応用について概説した。本稿では特に触れなかったが，現状ではOne-Chip CPUは，その演算処理速度の点で鉄鋼設備のような高い応答性を要求される分野では，まだまだ不十分である。しかし，現在マイクロコンピュータは，急速な発展途上にあり，既に2倍，3倍の処理速度のOne-Chipが登場しており，近い将来高速アナログ演算の分野にまで進出することが予想，期待される。

参考文献

- 1) 齊藤ほか：「圧延機用最新総合制御システム-MACCS-80」，日立評論，58，707 (昭51-9)
- 2) 日立製作所：「HIDIC 08処理装置レファレンスマニュアル」 (昭51-3)

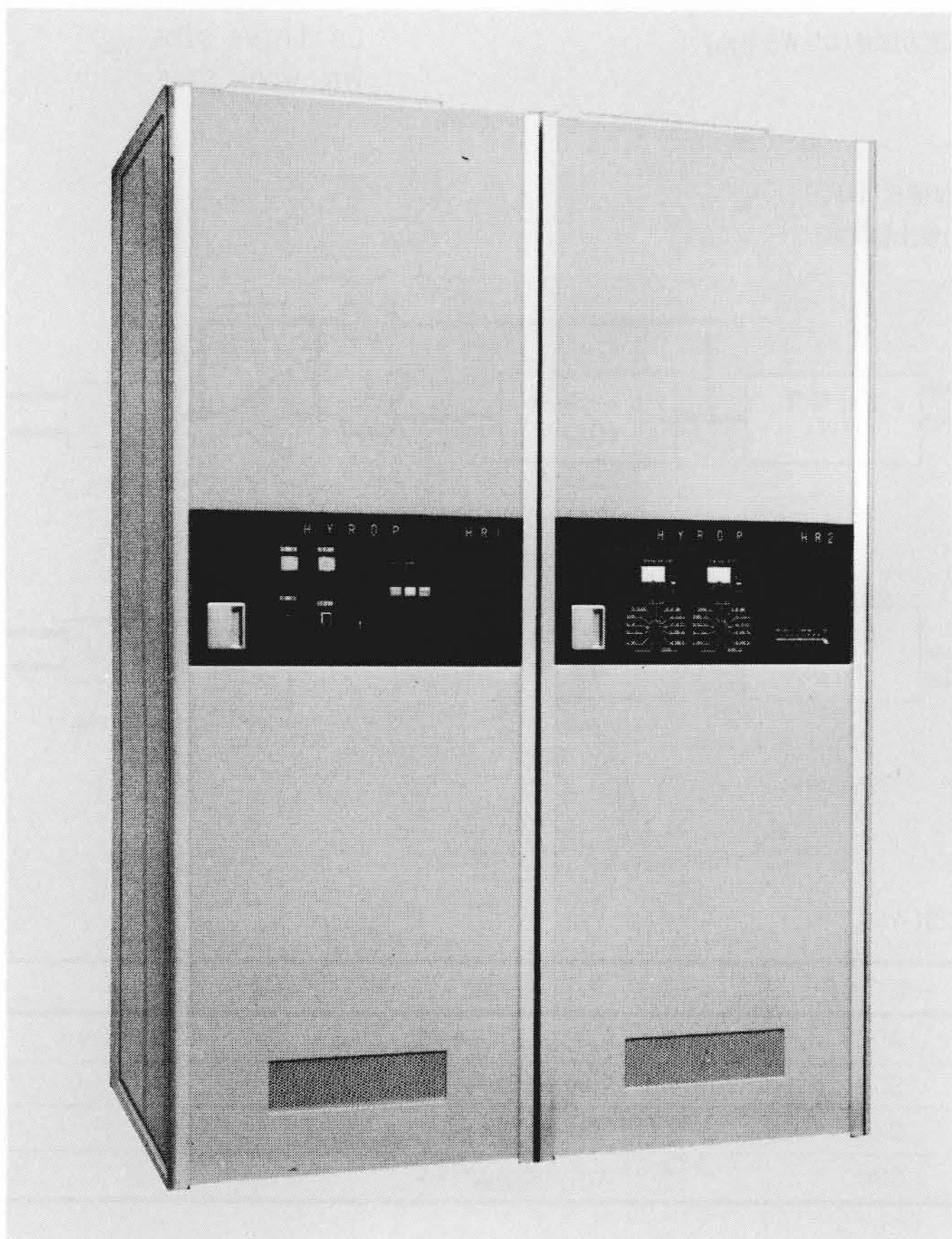


図4 “HYROP”制御装置の外観 HIDIC 08を中心に構成した“HYROP-F”制御装置の盤外観を示す。