

最近の圧延機用電気品の動向

Recent Trend of Electrical Equipment for Rolling Mill

低成長経済への移行に伴い、圧延機用電気品に要求される技術的ニーズは、単に性能だけでなく省資源、省エネルギー、無保守化、高信頼性、性能/価格比向上などといった方向に変化してきた。このニーズに対応して駆動システムでは、交流化による無保守化、直流機では多年の常識に挑戦する新技術の採用などが見られるようになり、また制御システムでは、マイクロコンピュータの応用を軸とした近代化制御システムが出現した。一方、応用技術面では三次元制御への発展が実用レベルで期待されるようになっているが、これらの一端について紹介する。

真柄正昭* *Magara Masaaki*
庄山悦彦** *Shôyama Etsuhiko*
浜田正夫*** *Hamada Masao*
藤本祐一*** *Fujimoto Yûichi*
久保岳明*** *Kubo Takeaki*

1 緒 言

エネルギー危機を契機とした低成長経済への移行により、省資源、省エネルギー、無保守化、高信頼性、性能/価格比向上などのニーズがいっそう高まっている。圧延機用電気品に関してもこれらのニーズにこたえるべく、数々の新技術が開発、採用されつつあるが、これらの一端を紹介して参考に供したい。以下、

(1) 駆動システムの新しい動向

- (a) 主機用直流電動機の新技術
 - (i) H種絶縁の採用(高寿命、性能/価格比向上)
 - (ii) パッケージタイプの採用(トータルコスト ミニマム)
 - (iii) 高電圧(1,000V, 1,200V)の採用(トータルコスト ミニマム及び省資源)
- (b) サイリスタ モータ採用の機運(無保守化)
- (c) 可変周波インバータによるテーブル駆動(無保守化)

(2) 制御システムの新しい動向

- (a) 新しい設計概念に基づく制御システム(MACCS-80)(高信頼性、保守性向上、トータルコスト ミニマム)
- (b) マイクロコンピュータ(HIDIC 08)及びコンピュータ化シーケンサ(HIDIC 08S)の活用(高信頼性、保守性向上、性能/価格比向上、省資源)
- (c) 製品品質(特に形状)及び歩どまり向上(特に幅精度)などのニーズにこたえる新技術の開発、応用(省資源)

並びに主要プロセスにおける全般的動向について概要を紹介する。

2 駆動システムの新しい動向

2.1 主機用直流電動機の新技術

圧延設備主機用直流電動機の、最近の技術的動向の数例について述べる。

(1) H種絶縁の採用による信頼性の向上とGD²の低減

圧延主機用電動機にF種絶縁が採用されて以来、既に約10年以上になるが、今回更に耐熱限度の高い、大形直流電動機用H種絶縁システムを開発し、昭和49年から実機への適用を開始、既に13台の実績を挙げ、更に現在15台を製作中である。新H種絶縁システムは、ポリイミドフィルムを主体とするテープに無溶剤H種ワニスを含浸したセミキュアフィルムを主絶縁とし、組線後一体硬化を行なう方式である。本絶縁システムのモータレット試験による寿命曲線を図1に示す。従

来のF種絶縁に対し、50%以上の寿命時間の向上となっている。またGD²も、F種絶縁機に比較し10~20%低減されるので、加減速性能の向上に寄与できる。

(2) 機械的構造

電動機軸を含めたトルク伝達系において、衝撃負荷に対し、ねじり振動現象により、電気的トルクの数倍の過渡トルクが軸系に生ずることがある。この現象は慣性モーメント、ねじり剛性、バックラッシュなどの軸系の定数のほかに、圧延材料のかみ込速度とその状態、圧延方向、ピックアップ量などの影響など複雑多岐な要因により左右される。これに対し、計算機による軸振動系のシミュレーション、実機での過渡トルク発生状態の実測などにより、各用途ごとに電動機としての機械的耐力に対する基準を定めているが、電動機の構成部品に対しても種々の考慮を払っている。

- (a) カップリング及び軸端はキーなしとし、焼ばめによる締代だけでトルク伝達を行なう。
- (b) 電機子スパイダをΔ形構造^{※(1)}とし、周方向ステアーを廃止し、軸方向に均一な剛性として耐力の向上を図る。図2はΔアーム形スパイダの構造を示す。
- (c) ライザ片間相互の固定方法及びスペーサそう入位置の適切な選定により、軸系との共振及び過大応力を避ける。

(3) パッケージタイプ全閉内冷形直流電動機

最近では、電動機設置環境の悪化に対応して、大形電動機の通風方式として、全閉循環通風方式の採用が一般化してきた。この方式の場合、従来はクーラ、ファン、エアフィルタなどの通風機器は地下ピット内に設置するのが一般的であったが、これには基礎土木工事が複雑となること、地下設置機器の保守が容易でないことなどの問題があった。今回開発したパッケージタイプ電動機は、これらの問題点を一挙に解決しようとするもので、通風機器すべてを電動機上部に設置してコンパクトに一体化したものである。

整流子部を分割通風し、カーボンダストを含んだ風だけがエアフィルタを通過する方式とし、エアフィルタを小形化するとともに、特殊二重構造のエアフィルタを採用し、清掃・交換頻度の低減を図っている。またクーラ結露水の機

※(1) 特許出願中

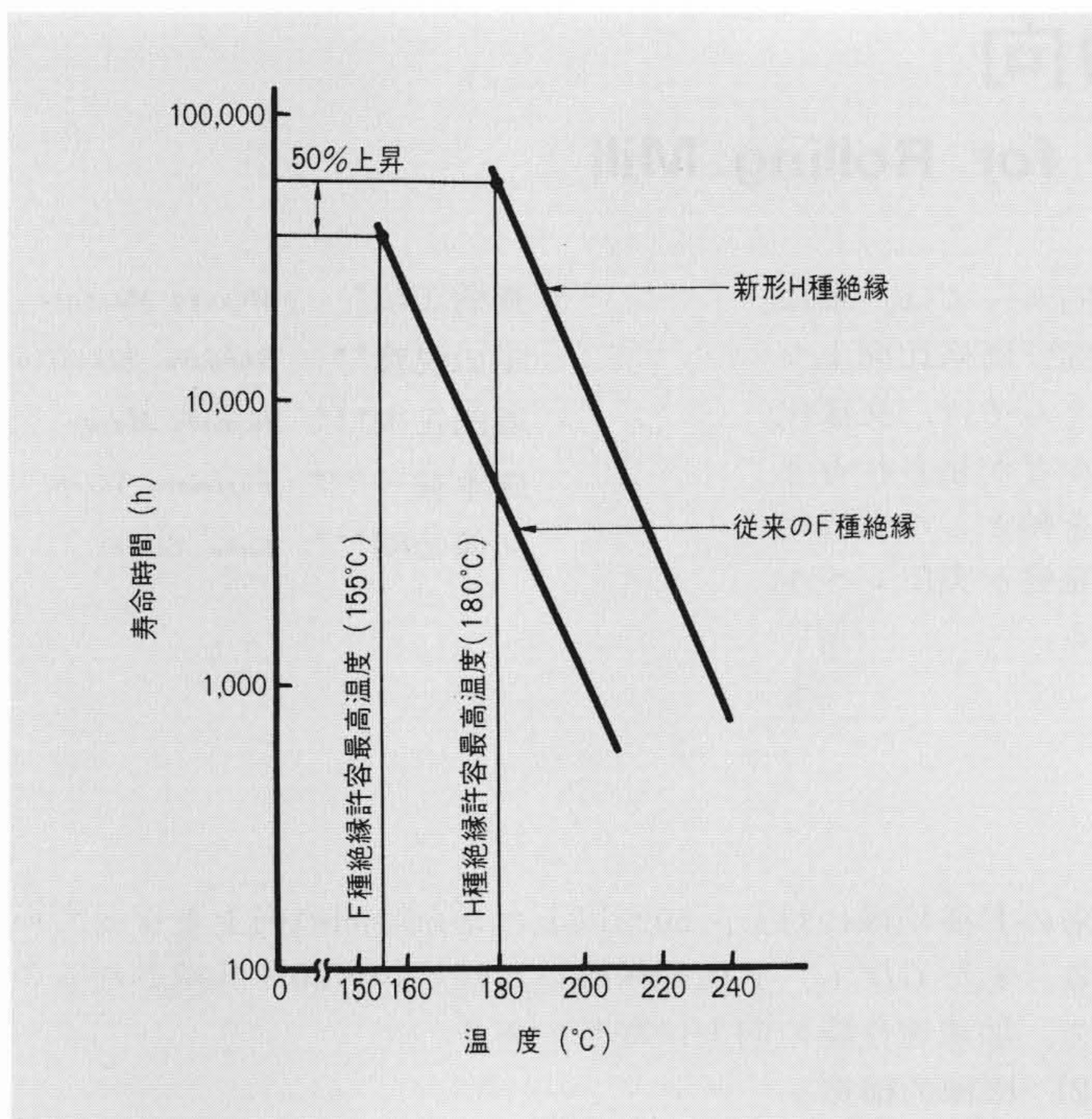


図1 モータレット試験による寿命曲線 新形H種絶縁の寿命時間は、従来のF種絶縁に対して150%と増加している。

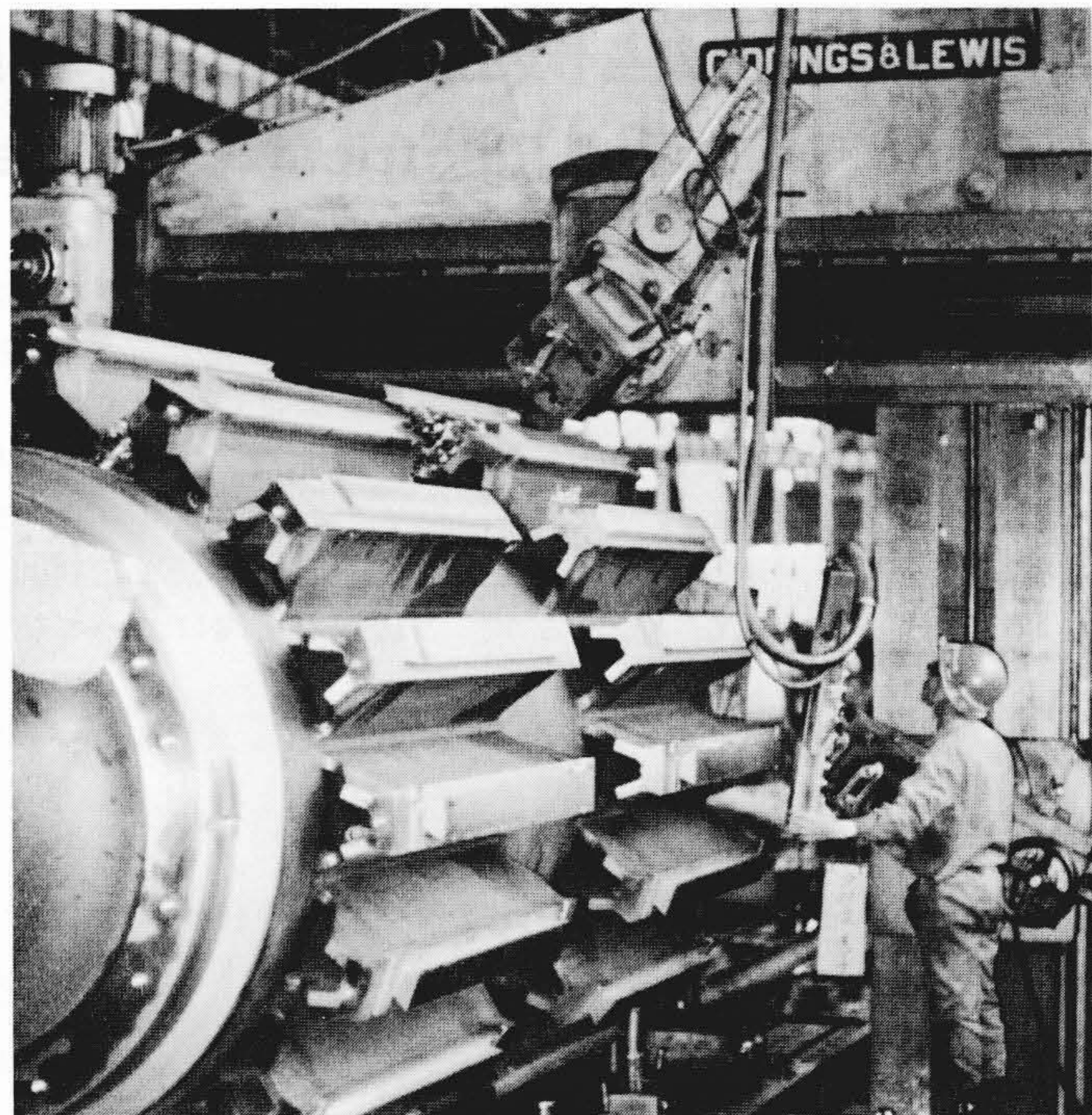


図2 Δアーム形電機子スパイダ 中空軸(スキンストレス シャフト)と一体構造のΔアーム形スパイダ(機械加工中の状態)を示す。

内浸入を防止するための構造的配慮が払われている。図3はパッケージタイプ電動機の構造図である。

(4) 主回路電圧の高圧化

一般直流機の主回路電圧は、750Vが最高標準電圧(JEC-54「直流機」)であり、大形機でもほとんどすべてに750Vが採用されていたが、最近の単機容量の増大、高耐圧サイリスタ素子の一般化と関連して、大形機には主回路電圧として1,000～1,200Vを採用している。これは電動機自体には電気装荷と磁気装荷のバランスの適正化が図れるとともに、外部

配線ケーブル量の低減などプラント全体としての利点があるためである。

(5) 各種監視装置の実用化

プラント全体の保守管理の自動化と関連して、直流電動機としても、軸トルク監視装置、スラスト力監視装置、整流火花監視装置などの新しい監視装置が実用化され、保守管理に寄与している。

2.2 サイリスタ モータ採用の機運

サイリスタ モータは、整流子、及び形式によってはブラシ

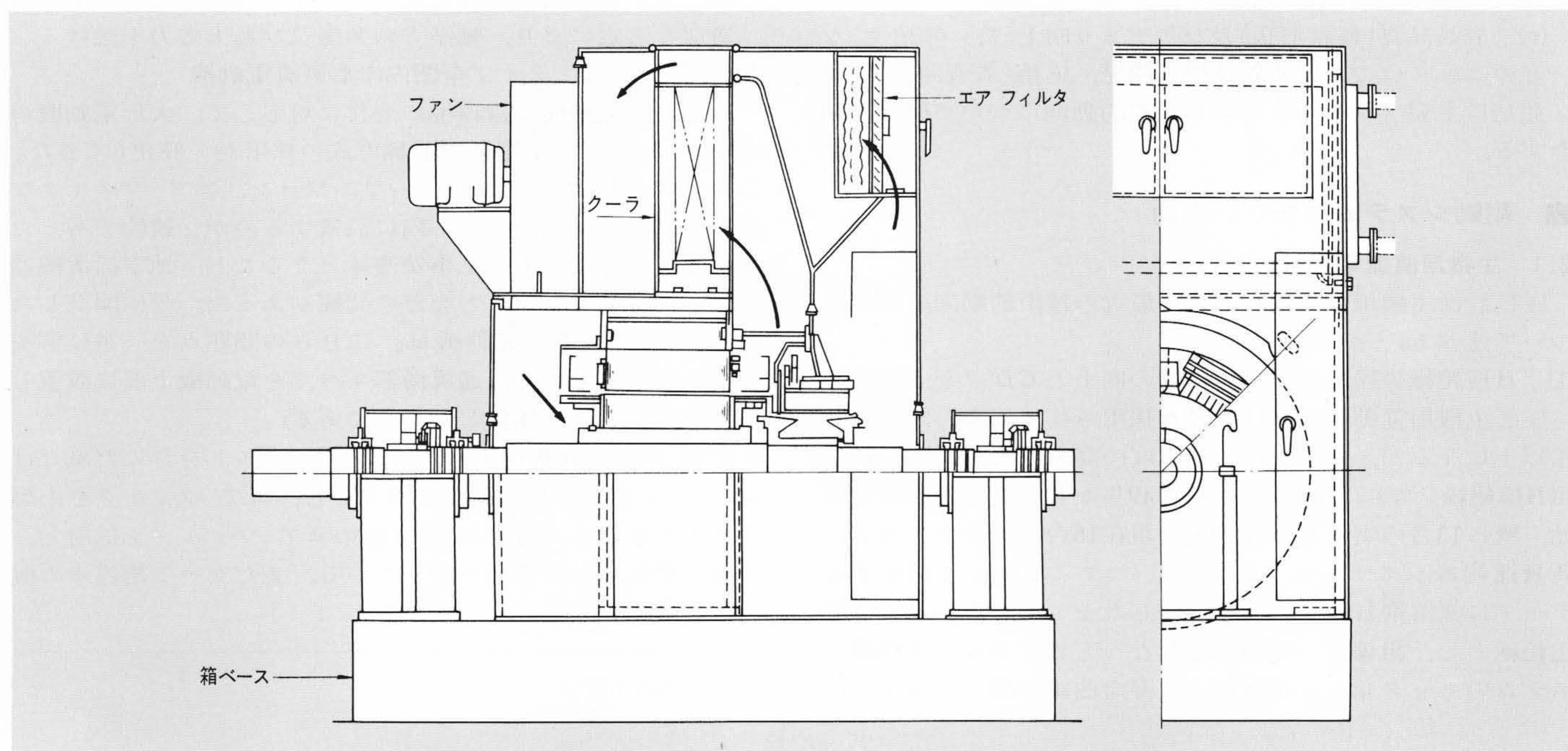


図3 パッケージタイプ直流電動機の構造 ファン、クーラ、エア フィルタなどを電動機上部に設置し、機器全体のコンパクト化を実現した。

をも持たない可変速電動機として、

- (a) 保守作業が省力化される。
- (b) 電氣的、機械的に信頼性の高い「強い電動機」とすることができる。

ことなどを特長として、しだいにポンプ、ファン、及び一部の圧延用補機への適用が拡大されつつある。

一方、圧延主機駆動用電動機についてみれば、年々容量の増大化の傾向をたどっているが、直流電動機には根本的に整流性能の制約から、単機容量(出力×回転速度×界磁制御範囲)には限界があり、大容量・高速機の場合には、タンデム電機子構造が採用されている。この問題解決と上記のサイリスタモータの一般的特長から、圧延主機用電動機にもサイリスタモータ適用の機運が高まりつつある。

電動機としては、ルンデル形、凸極回転界磁形、円筒回転界磁形などの同期電動機が用いられるが、制御方式からは次の三つの方式に分類される。

(1) 電流形直流方式(コンバータ+インバータ方式)¹⁾

サイリスタはコンバータ、インバータの計12アームで構成される。サイリスタのアーム数は他の方式より少ないが、始動時にはインバータの転流時点ごとに電流を断続させて転流を行なう断続転流など特別な配慮が必要である。サイリスタ相間の転流は、負荷転流(電動機逆起電圧を利用した転流)によって行なわれる。補機など小容量機で、低速運転時の特性を特に要求されない用途に適している。

(2) 電流形交流方式(サイクロコンバータ方式)¹⁾

18アームのサイリスタで構成される。始動時及び低速時は電源転流により運転されるが、中・高速時は主として負荷転流により運転される。比較的高速の主機、及び補機用に適している。

(3) 電圧形サイクロコンバータ方式

上記の直流方式及び電流形サイクロコンバータ方式はサイリスタの相間転流が主として負荷転流によって行なわれるため、過負荷領域では電機子反作用により、転流余裕角が減少するので、過負荷耐量に制約がある。これを解決する方式として、36アームのサイリスタから構成される電圧形サイクロコンバータ方式〔図4参照〕がある。電源転流により運転されるので本質的に過負荷耐量を大きくとれるという特長を持っている。また、過負荷時における電機子反作用を補償して電動機の端子電圧、力率を一定に保持するために電動機を補償巻線付構造とするか特殊な制御を行なう方式が採用されている。しかし、この方式では電源電圧で転流を行なう関係上、サイリスタ出力周波数の上限が、(1)、(2)の方式より低いという制約があるので、低速・大容量で過負荷耐量の大きい用途、例えば、分塊ミル主機、ホットストリップミル粗・仕上スタンド用などにこの方式が適している。

これらの各方式の特長と主な用途をまとめると表1に示すようになる。

図5に、電圧形サイクロコンバータ方式補償巻線付サイリスタモータの正逆加減速運転時のオシログラムの一例を示す。電機子電流の大きさに応じて補償巻線に電流が流れていること、また、円滑な正逆運転が行なわれていることが分かる。

2.3 可変周波数インバータによるテーブルの交流化

可変周波数インバータによる交流電動機の可変速運転は決して新しい技術とはいえない。しかし、テーブルの交流化が進み、ホットランテーブルのような急速加減速を行なうものに対しても可変周波数インバータが採用される機運にあるのは、電流形インバータによる装置の合理化と電動機を含めた特性改善の成果である。電流形インバータは、(a)一

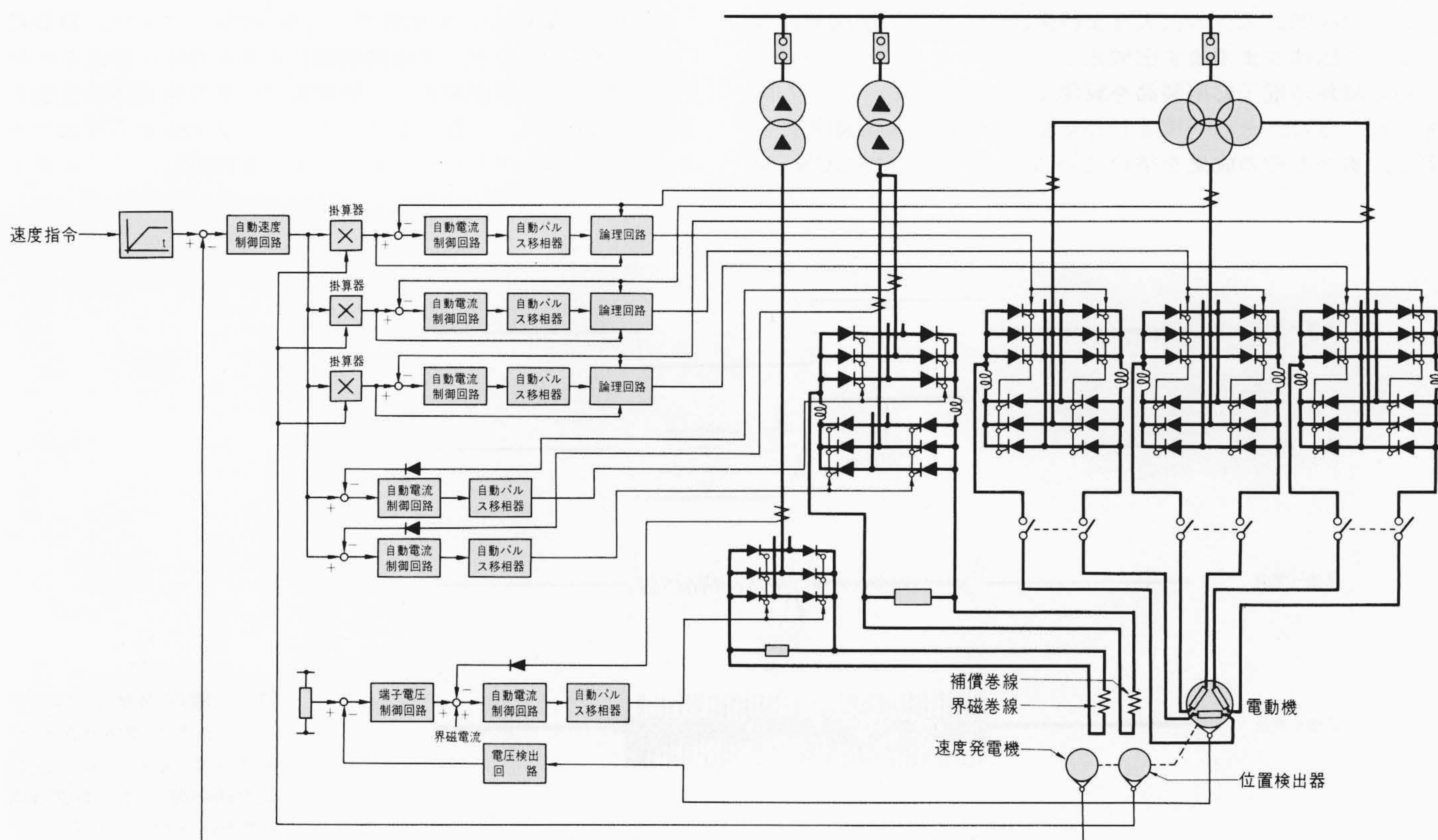


図4 電圧形サイクロコンバータ方式サイリスタモータの主回路構成図 補償巻線には、主回路電流に相当した補償電流が制御回路により流される。

表1 サイリスタ モータの種類とその特長 3種類のサイリスタモータを原理、特長及び適用用途により分類した。

形 式 項 目	電 流 形		電 圧 形
	直 流 方 式 (コンバータ+インバータ方式)	交 流 方 式 (サイクロ コンバータ方式)	サイクロ コンバータ方式
サイリスタ アーム数	12	18	36
転流方式	負 荷 転 流(逆起電力転流)		電 源 転 流
電動機電流	方 形 波		正 弦 波
特 長	1. 始動時に断続始動など特別な配慮を要する。 2. 低速時の速度安定性に欠け、始動トルク小。	1. 始動時は電源転流。 2. 低速時の速度安定性及び始動トルク良好。	1. 過負荷耐量を大きくとれる。 2. 補償巻線付電動機との併用により、力率1.0の運転可能。
適した用途	補機など高速中・小容量機で、低速運転時の特性を要求されない用途。	コールド ミル主機など、高速・大容量主機及び補機。	分塊ミル、ホット ストリップ ミルなど低速大容量機で、過負荷耐量の大きい用途。

組みのコンバータで電力回生が可能、(b)直流平滑コンデンサが不要、(c)高速度サイリスタ素子が不要といった特長を持ち、電圧形インバータに比べ小形、軽量化されている。図6は電流形インバータのブロック図を示したものである。このような電流形インバータを用い、15kW 4極の誘導電動機数台をホットラン テーブルに設置して、直流電動機群と連動運転を行なったときのオシログラムが図7であり、速度指令に対する応答性は、むしろ直流電動機より優れており、急速加減速を行なうテーブルの交流化に対し、電流形可変周波数インバータが技術的、価格的に十分適用できることが明らかとなっている。

3 制御システムの新しい動向

3.1 新しい設計概念に基づく制御システム(MACCS-80)

最近の制御システムの大きな特徴は、まずその制御範囲及び情報の伝達がますます広域化しつつあることで、その目的に対し最新の電子応用製品を駆使した各種の新システムが開発されてきた。その一環とし日立製作所で昨年から開発に着手し、着々とその成果を挙げている新システムMACCS-80

についてその設計概念を述べる。

(1) MACCS-80の基本構想

MACCS-80とはMotor Application Control Complex System of 1980'Sの略称で1980年代の技術の先取りを行なった画期的な制御システムである。その基本構想は、

- (a) 複雑化、広域化する制御と情報処理を容易とする。
- (b) マイクロ コンピュータをフルに活用して従来の盤製品の性能及び構造を一新する。
- (c) 各種の試験端子を内蔵し、工場試験及び納入現地での試験を簡便にして調整工程の飛躍的改善を図る。またこれらの装置を応用していろいろな故障自己診断機能を持たせる。
- (d) プラント全体のコスト ミニマムなシステムとする。例えば、制御ケーブル用のマーシャル ボックスと多心ケーブルの採用により、マルチ コネクタの接続だけで極めて簡単に外部配線工事が行なえるようにする。
- (e) これら一連の技術を有機的に組み合わせたビルディング ブロック工法により操作性、保守性の向上を図る。

というようにシステム全体の高信頼性を図っている。これらの詳細については別編の「圧延機用最近総合制御システム“MACCS-80”」で述べているので、ここでは省略する。

このようにして完成された制御装置は、ハードウェア的に見ても構成とイメージが全く一新されたものとなっている。その中枢部を占める従来の総括盤は、今やマイクロ コンピュータ、プロセス入出力デバイス、及び若干の小形リレーなどで構成されたID制御装置(Intelligent Board)と呼ばれ全く新しい構造となっている。現地調達比率の非常に高い輸出プラントについても、このID制御装置だけを国産部分として出荷すれば残りの制御盤類はほとんど現地調達品をそのまま接続活用できるもので、今後の輸出促進も大いに期待される。

3.2 マルチ コンピュータ システムの活用

制御用計算機が、生産管理、ミル セットアップ、DDC(直接計算制御)など、圧延機制御システムの中に導入され始めて久しい。鉄鋼産業という複雑なプロセス複合体の生産と工程の管理には、一貫したオンライン システムが不可欠である。プラント及びそのオペレーションと直結し、リアルタイム

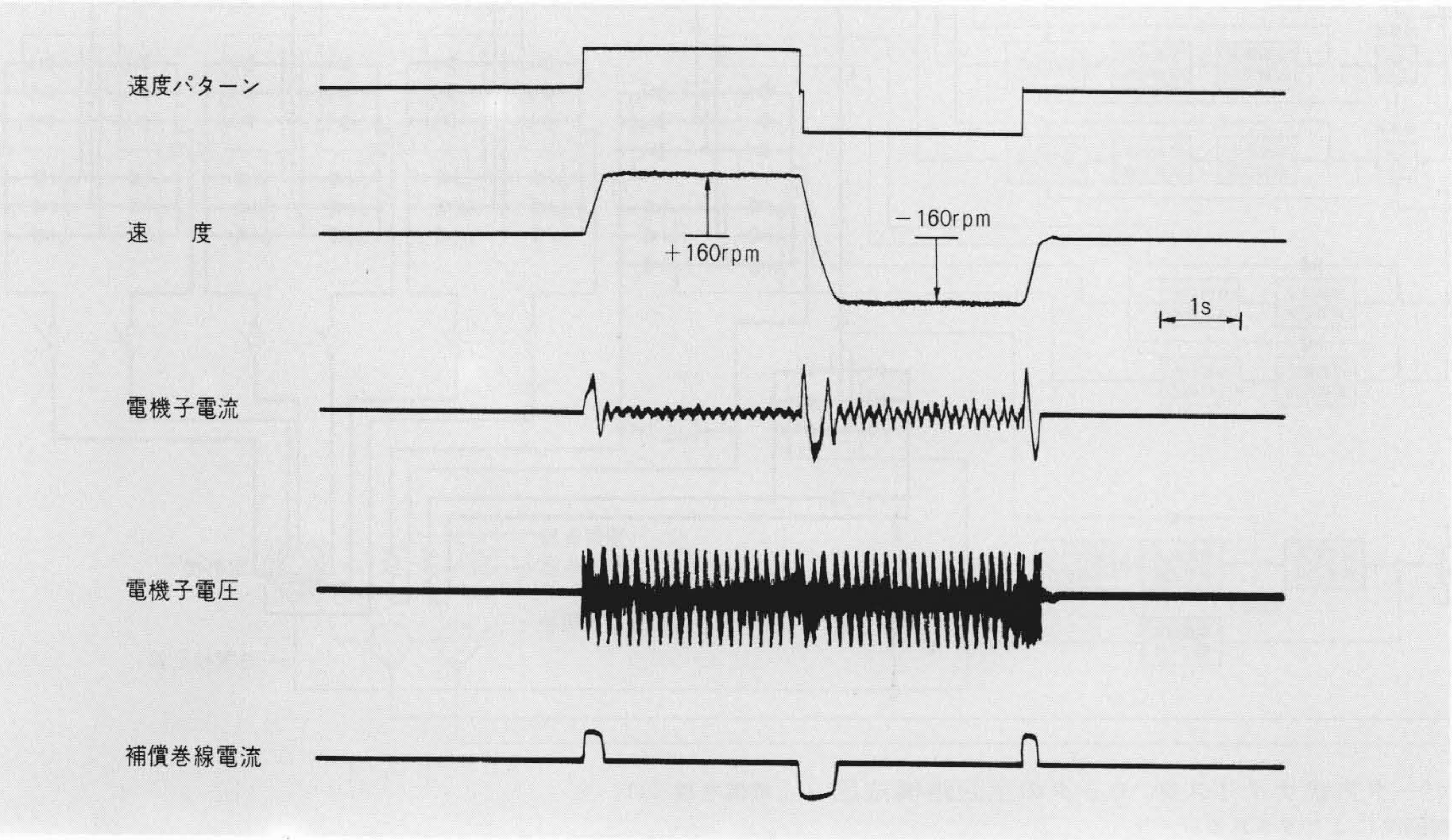


図5 電圧形サイクロ コンバータ方式補償巻線付サイリスタ モータの正逆加減速運転時のオシログラム電機子電流の大きさに応じて、補償巻線に電流が流れていること、また、円滑な正逆運転が行なわれていることが分かる。

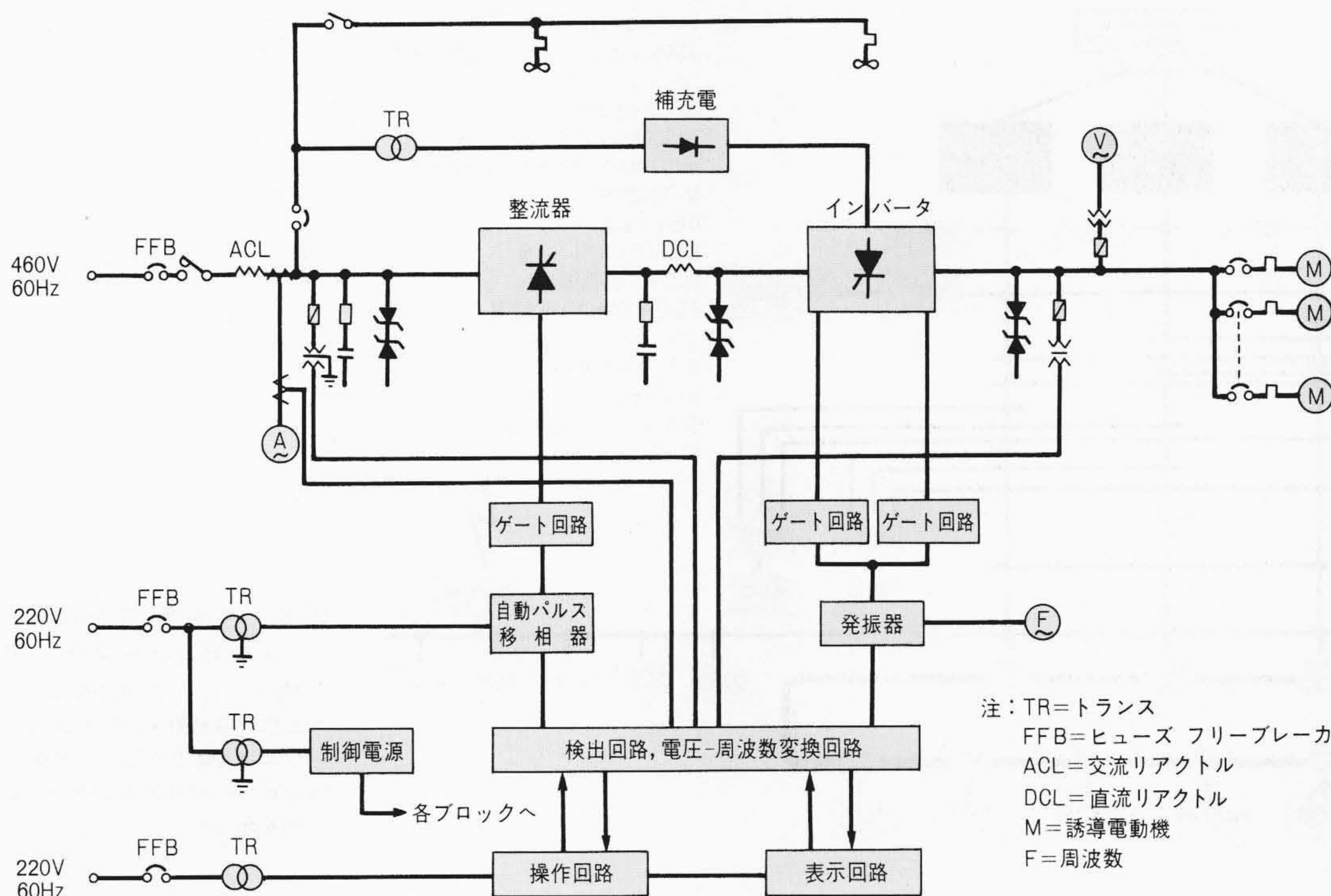


図6 電流形可変周波数インバータ ブロック図
インバータ出力電圧は整流器により調整され、周波数は変換回路でほぼ比例的に変化する。

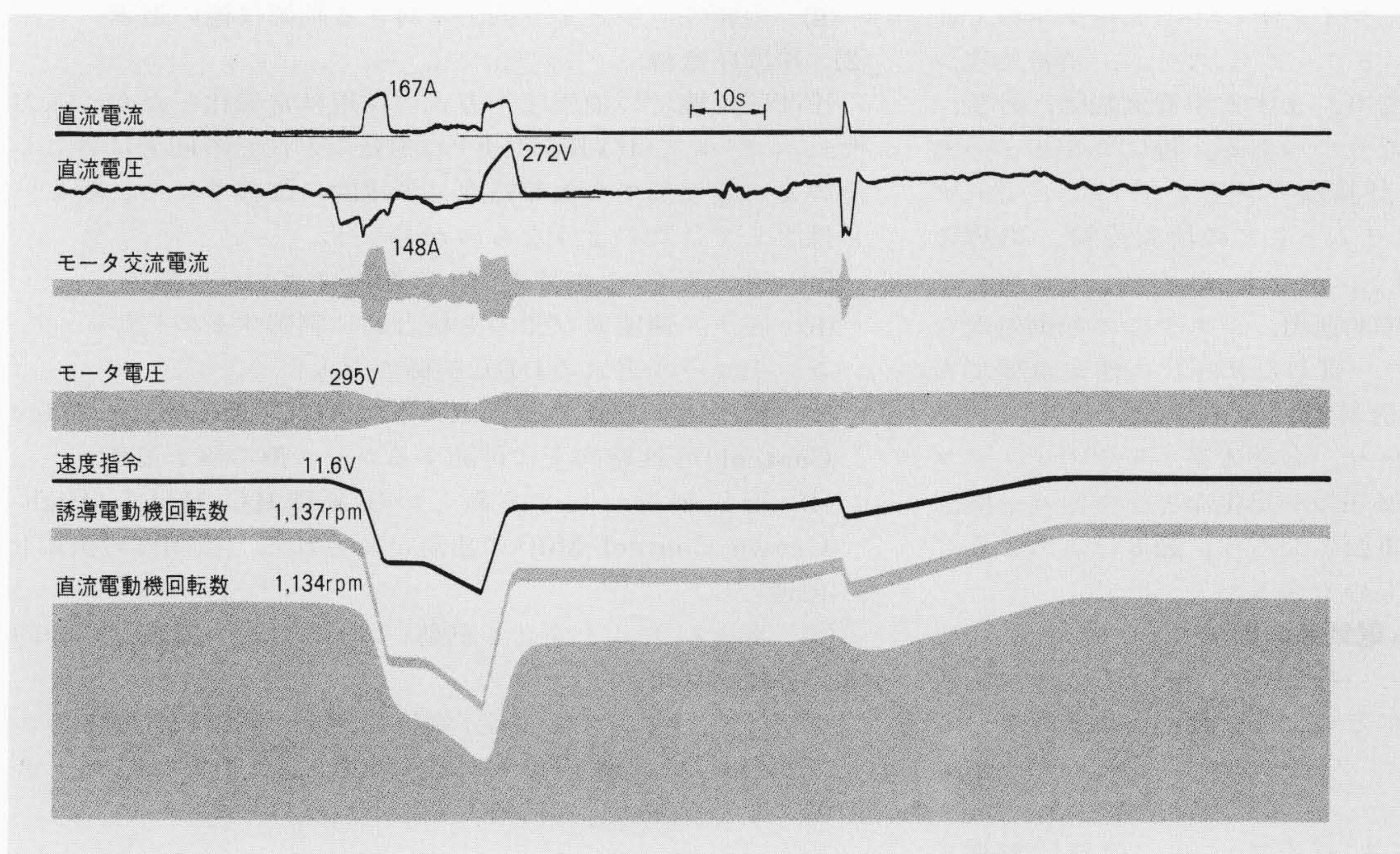


図7 ホットラン テーブル加減速オシログラム
速度指令に対する直流電動機、誘導電動機速度追従特性を示している。

ムでの情報の授受をつかさどる、いわばトータル システムの最低位の位置に、高信頼性、高応答性、プロセス入出力処理能力などの特色を持つ制御用計算機が活用されてきたが、直送圧延に代表されるプロセスの連続化、高速化、省力化などの合理化目的に、制御用計算機の重要性はますます増大している。更に、日立製作所の制御用計算機 HIDIC 80 の基本設計思想となっているマルチ コンピュータ システムにみられるように、制御用計算機システムの処理能力、信頼性の向上の結果、従来汎用計算機に任されていた、オンライン生産管理システムの分野へも着々と進出している。

一方、従来のハード ワイヤード形の制御装置を、マイク

ロ コンピュータ (HIDIC 08)、コンピュータ化シーケンサ (HIDIC 08S) などで代表される、ソフト ワイヤード形の制御装置で置き換えていく傾向が最近著しい。この結果、制御性能対価格比、保守性の向上、将来のシステム拡張、機能変更の容易さ、盤面数、据付面積の減少など多くの効果が生み出された。このマイクロ コンピュータは、単に制御目的だけでなく、情報処理機能にも重要な影響をもたらした。すなわち、小規模分散形の処理装置として中央の処理装置間を高速・大容量の情報伝送路(データ フリーウェイなど)で接続し、比較的単能な処理を分担し、全体システムの処理能力・速度を向上し、中央システムの短時間停止に対する危険分

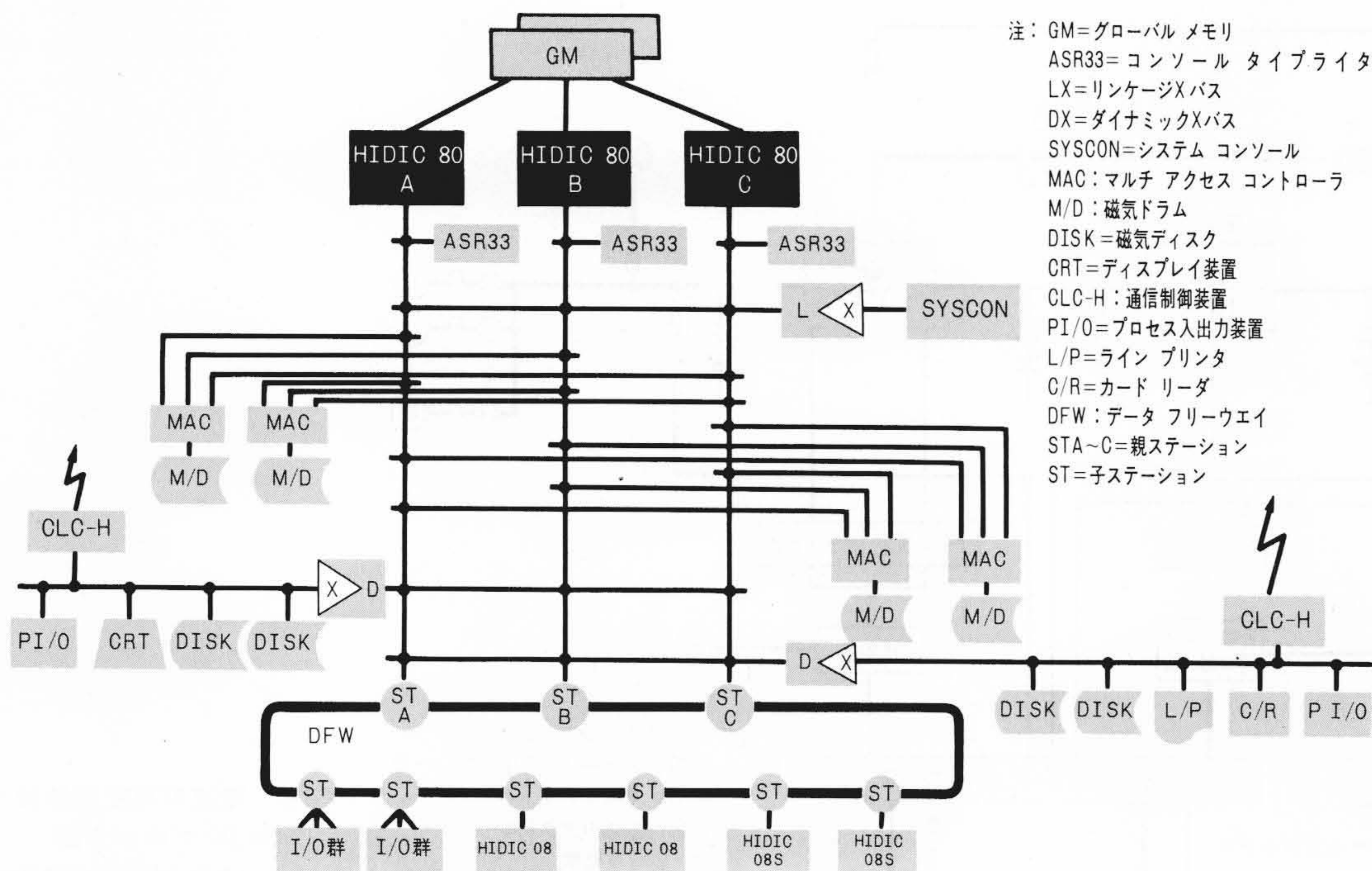


図8 マルチコンピュータシステムのシステム構成例 HIDIC 80を中心とした上位計算機群と、データフリーウェイを媒体としたマイクロコンピュータ群のリンケージの一例を示した。

散，据付工事費用の減少をもたらした。これらマイクロコンピュータの制御，情報処理両面の用途はますます拡大するが，特に圧延プラントでは，マイクロコンピュータ単独で 사용되는ことが少なく，セットアップシステム，情報処理システムと併設されるようになり，ますます電気制御，計装，計算機システムが不可分になりつつある。特にコンピュータ技術としてみると，制御用計算機とマイクロコンピュータとの関係は，トータルシステムとしての情報交換，処理の流れ制御という本質的な面と，ソフトワイヤードに対してプログラム保守・改良の効率的運用，システムの起動処理などの裏方的な面の両面での一貫したサービス性が重要であり，これらの複数の制御用計算機，マイクロコンピュータ群間の高速情報伝送機能と併せ，命令体系，入出力インタフェースの共通化，システム保守の一元化などファミリー概念を持つシステム構成が特に重要となろう。図8はこのようなシステム構成の一例を示すものである。

3.3 各種プラントにおける電気品の動向

初めに紹介したような新しい社会的ニーズのもとで，各種プロセスで圧延機用電気品にどのような動向が生まれているか次に述べる。

(1) 連続式熱間圧延機

ビレットミル，シームレスパイプミル，連続式形鋼ミル及びホットストリップミルのような連続式熱間圧延機で共通的に重要視されていることは次のような点である。

- (a) 主機に対するサイリスタモータの検討，直流電動機では高電圧，パッケージ化などの検討
- (b) テーブルなど補機に対し，可変周波数インバータによる交流化，又はサイリスタモータの採用
- (c) セットアップ又は生産管理用上位計算機を中心とし，DDC又はPLC(Programable Logic Controller)などマイクロコンピュータ，シーケンサをデータフリーウェイなどの手段により統轄するトータルシステムの構成
- (d) 寸法精度の向上を目的とした無張力制御(Tension Free Control)の採用，ループ制御の見直し
- (e) 板厚制御に加えるに幅制御，形状制御を加えた三次元

制御に対するアプローチ

- (f) 故障自己診断，予防保全を目的とした監視システムの採用
- (g) 生産性，歩どまり向上に対する制御技術の追求

(2) 冷間圧延機

冷間圧延機での油圧圧下方式の採用は常識化したが，強力サーボバルブ(HYROP-F)の開発など性能の向上は著しくそのため定速部での板厚精度は飛躍的に改善された。新しい目標としては次のようなものがある。

- (a) タンデムミルでの先・後端オフゲージの減少
- (b) 圧下，速度及び張力を総合的に制御するダイナミックコントロール方式のDDC制御の導入
- (c) 油圧圧下方式のBISRA方式AGC(Automatic Gage Control)の性能向上に付随するロール偏心除去制御
- (d) 形状制御に対する新しい圧延機HC-MILL(High Crown Control Mill)の出現にみられる形状制御の実用化促進
- (e) ホットミルと同じく駆動システムに対する新しい動向

(3) 各種プロセスライン

プロセスラインでも性能/価格比向上，高信頼性などのニーズからDDC制御の導入が盛んであり，サイリスタモータの導入など無保守化の検討も盛んとなっている。

4 結 言

圧延機用電気品は，基礎資材である鋼材の大量生産手段としての圧延設備に直結しているために，絶えまない技術革新と合理化による性能/価格比向上の要求と，高信頼性，無保守化に対する強いユーザーのニーズに常に直面しているが，以上，略述したような新技術及びシステムの動向を取り入れユーザーの期待にこたえるため，鋭意研究を続けている。紙面の都合でその一端を述べたにとどめたが，御参考いただければ筆者らの幸いとするところである。

参考文献

- 1) 小西ほか6名：「産業用サイリスタモータ」，日立評論，55，618（昭48）