

圧延プラント用電気システムの最近の動向

Recent Trend of Electrical System for Steel Industry

日本鉄鋼界の昭和30年台からの画期的な発展により、世界のトップの地位を占めるようになり量産を主眼とした技術開発が行なわれてきたが、オイルショックを機として低成長経済に推移するとともに、その要求されるニーズも変化してきている。すなわち、省エネルギー、省資源を中心とした高信頼性、無保守化設備が期待されるようになってきたが、これらを具現する新技術開発が行なわれている。

この論文では、これらの技術のうち駆動装置、制御装置にかかわる技術、サイリスタモータ、インバータ駆動装置、マイクロコンピュータなどについて紹介する。更に、既存設備の改造、更新により、設備の老朽化対策を行なうとともに、省力化などの機能向上も容易に実現されるようになったので、ここに合わせてその一端についても触れ、大方の参考供にしたい。

齊藤 奎二* Saitō Keiji
 庄山 悦彦** Shōyama Etsuhiko
 川上 直衛** Kawakami Naoe
 松香 茂道* Matsuka Shigemichi
 坂口 邦治*** Sakaguchi Kuniharu

1 緒 言

我が国はオイルショックを期に、高度成長経済から低成長経済へと推移し、それに従い顧客ニーズも順次変化してきている。すなわち、省資源、省エネルギーを軸とし、省人化、メンテナンスフリー化、更にコストパフォーマンスの向上などがあり、高度化した性能をベースにできるだけ人手のかからない、信頼性の高い設備にする市場ニーズに応じて新しい技術開発が行なわれている。ここでは、

- (1) 高信頼性直流電動機……整流性能改善策、高耐力 Δ (デルタ)ライザ
- (2) 駆動装置のメンテナンスフリー化……サイリスタモータのミルへの適用、多重形AVAF(Adjustable Voltage and Adjustable Frequency: 可変電圧可変周波数)テーブルローラ駆動
- (3) 高性能、信頼性向上制御装置……マイクロコンピュータを軸とした総合エレクトロニクス化などについて、その一端を紹介したい。

2 市場のニーズとその対応策

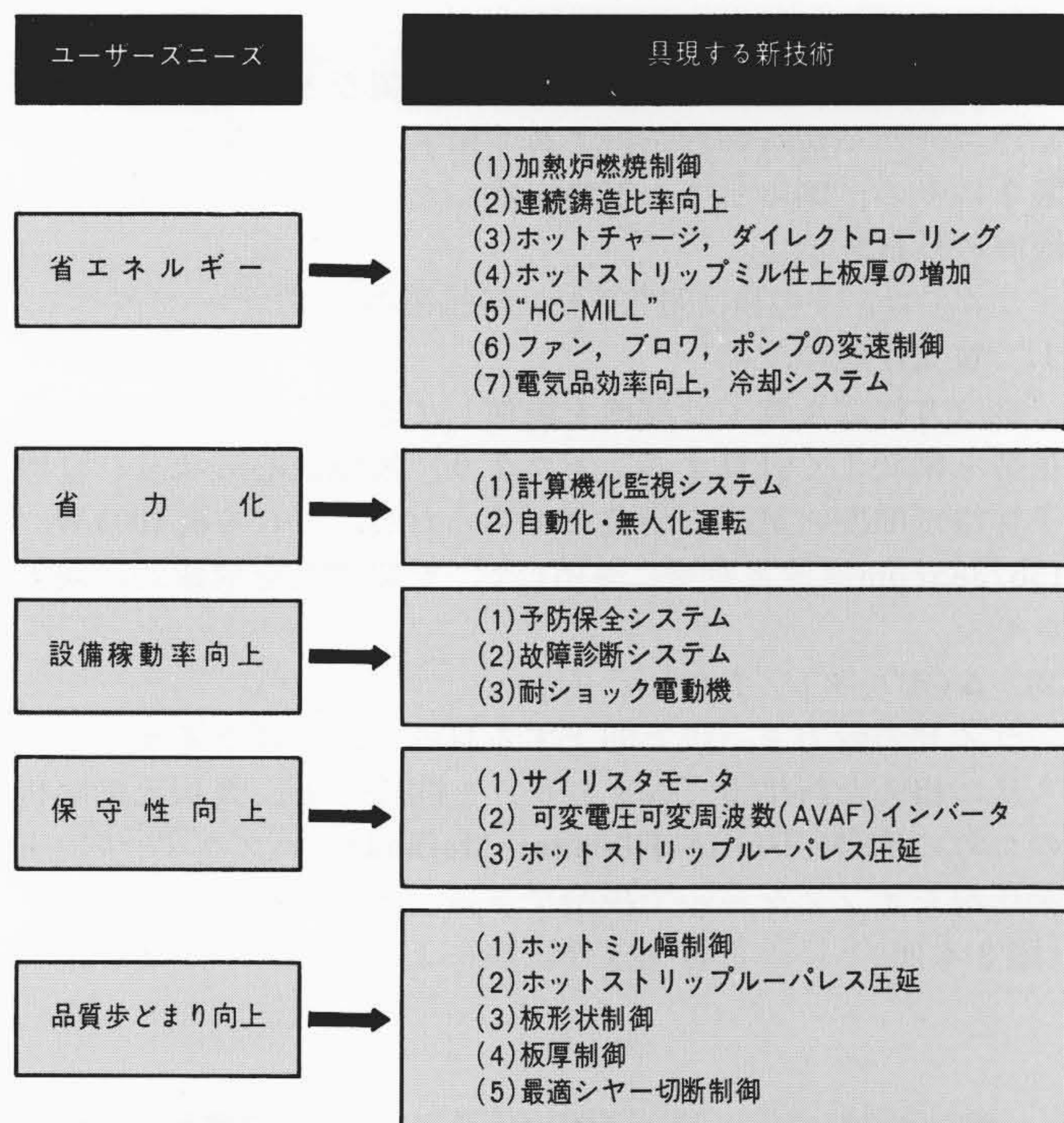
鉄鋼用電気品に対する市場ニーズは、過去に要求された単基容量の増大、あるいは圧延速度の高速化などの手段を使用した多量生産による製鉄コストの低減がほぼその目標を達成し、合わせてオイルショック以来の低成長経済への移行により、製鉄コストの低減の手段として、次のようなニーズに変わってきている。

- (1) 省エネルギー、省資源
- (2) 省力化(自動化率の向上)
- (3) 保守性向上
- (4) 歩どまり向上
- (5) 高信頼性

もちろん、新設でのイニシャルコスト低減の目的からコストパフォーマンスの向上にも強い要望がある。このほか、高性能、高品質のニーズもあり、量から質への転換に伴い、より高度で、かつきめの細かい配慮が必要となっている。

これら市場のニーズの具体例としては、図1に示す例が挙げられる。

これら市場のニーズにこたえるため、数々の新技術開発も



注：略語説明 AVAF(Adjustable Voltage and Adjustable Frequency)
 “HC-MILL”(HIGH CROWN CONTROL MILL)

図1 市場ニーズの具体例とそれを具現する新しい技術 低成長経済への推移により市場のニーズも変化し、それを具現する新技術に研究開発が行なわれている。

促進されており、かつ最近のエレクトロニクスや制御技術の進歩、更にマイクロコンピュータの普及がこれらの促進に拍車をかけている。

3 駆動システムの新しい動向

3.1 主機駆動用直流電動機の新技術

圧延主機駆動用直流電動機への適用技術として、先に発表¹⁾したH種絶縁、 Δ アーム形電機子スパイダ、パッケージタイ

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所日立工場 *** 日立製作所機電事業本部

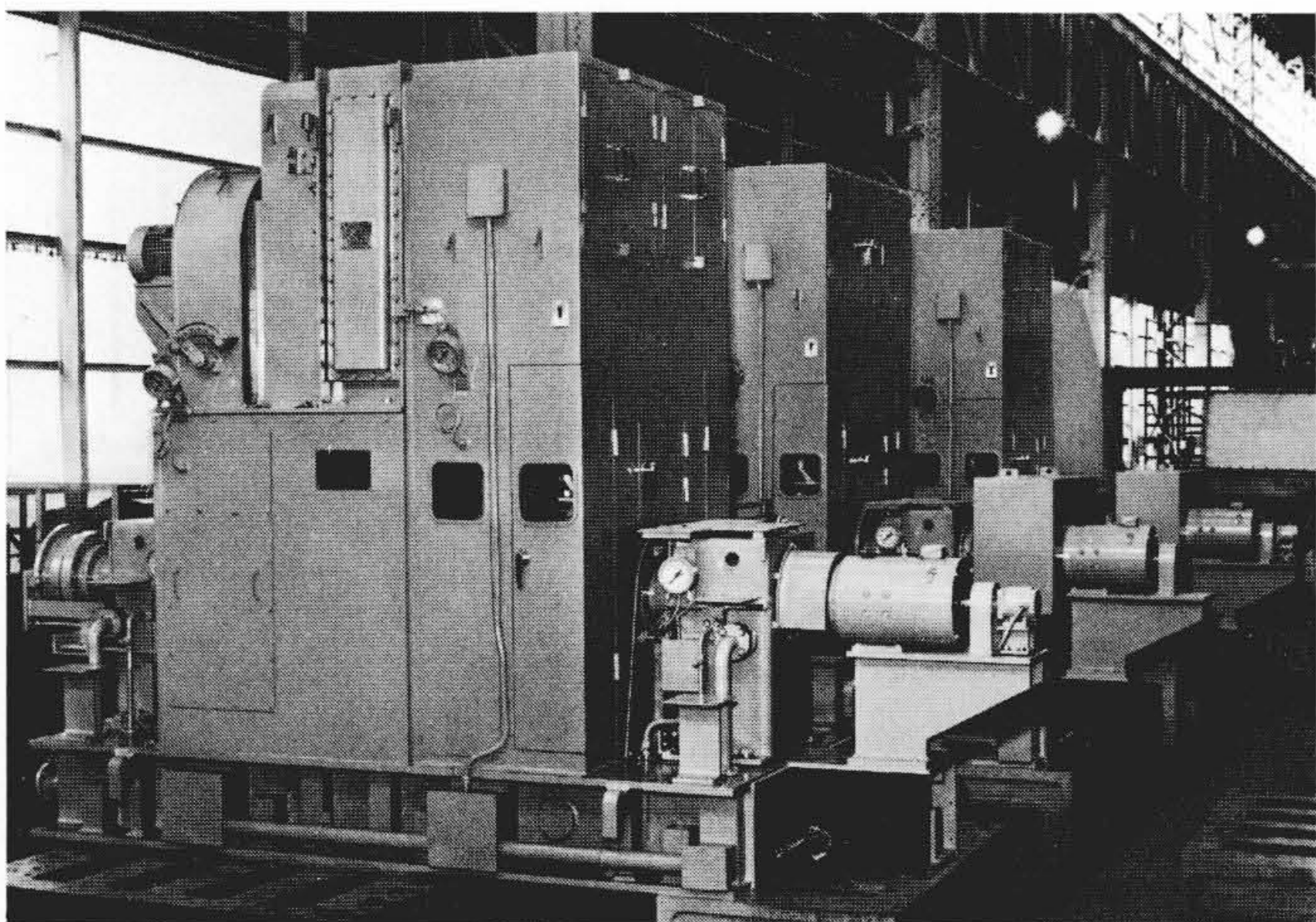


図2 工場完成したパッケージ形直流電動機 電動機冷却用クーラを電動機上部に取り付けたもので、コンパクトでかつ基礎構造が簡単である。また、冷却風ダクトが不要となる。

全閉内冷形直流電動機、各種監視装置などは、いずれも多くのユーザーから好評を得ており着実に適用されてきている。図2にその一例として、工場完成したパッケージ形直流電動機群の外観を示す。

ここでは、その後に開発された新技術の一端について述べる。

(1) 整流性能の改善

整流方程式を電子計算機を駆使して忠実に解き、整流無火花帯を精度よく計算することにより、補極鉄心形状及び電機子巻線短節度の最適な組合せを見だし、これを8,400kW、135/385rpm直流電動機に適用して、整流性能を飛躍的に向上させた。

(2) Δ(デルタ)ライザ

ライザの耐力を一段と向上する目的で、隣接ライザをトラス状に組んだ新構造「Δライザ」を開発した。3次元動解析のためのFEM(Finite Element Method)プログラムと現地実働状況をオンスケールで模擬できる「ライザ衝撃試験装置」(図3参照)とによる各種確性試験により、当初の予想を上ま

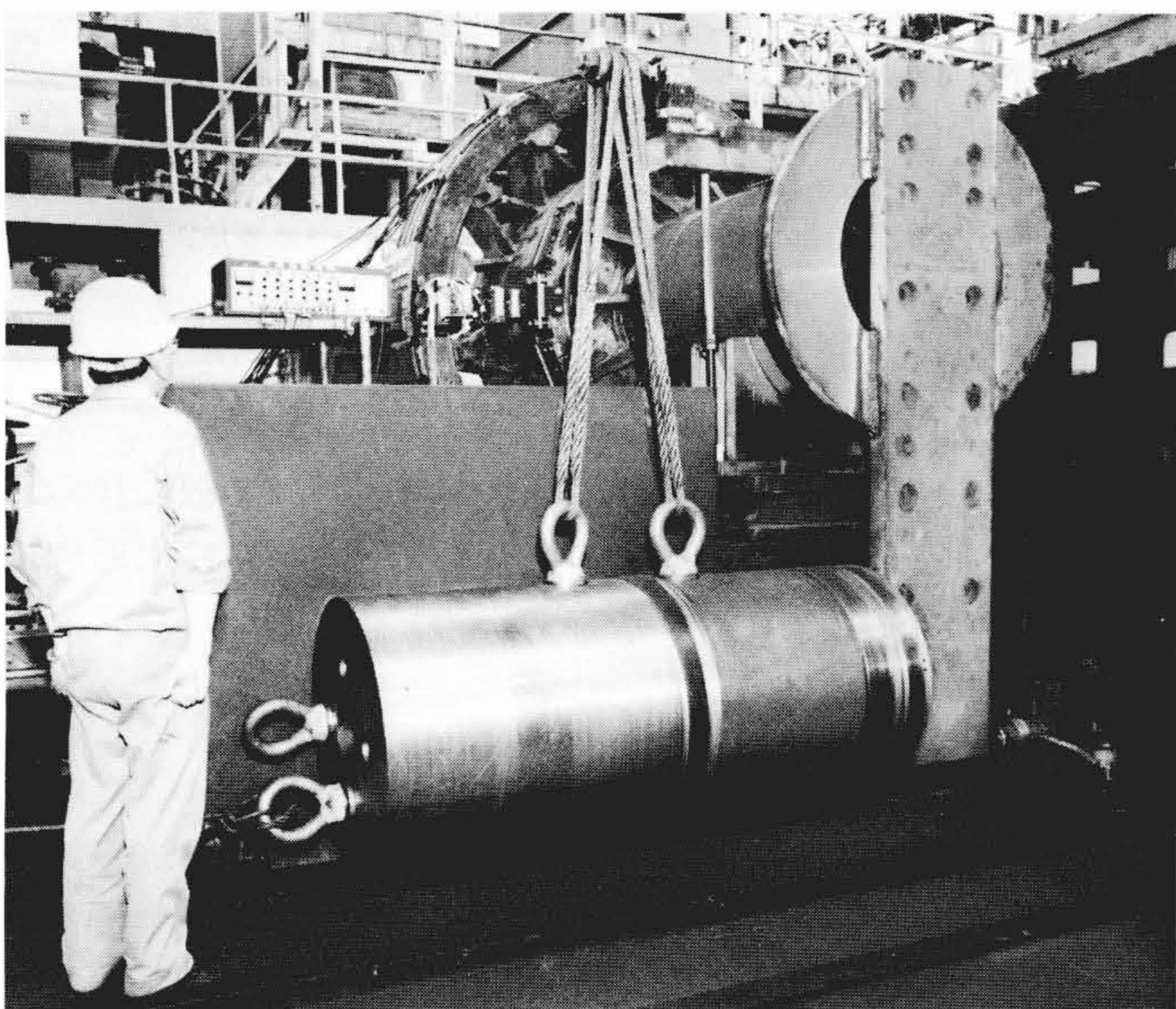


図3 ライザ衝撃試験装置 6tのおもりを引っ張り上げる長さを変えることにより、任意の衝撃荷重を模擬できる。

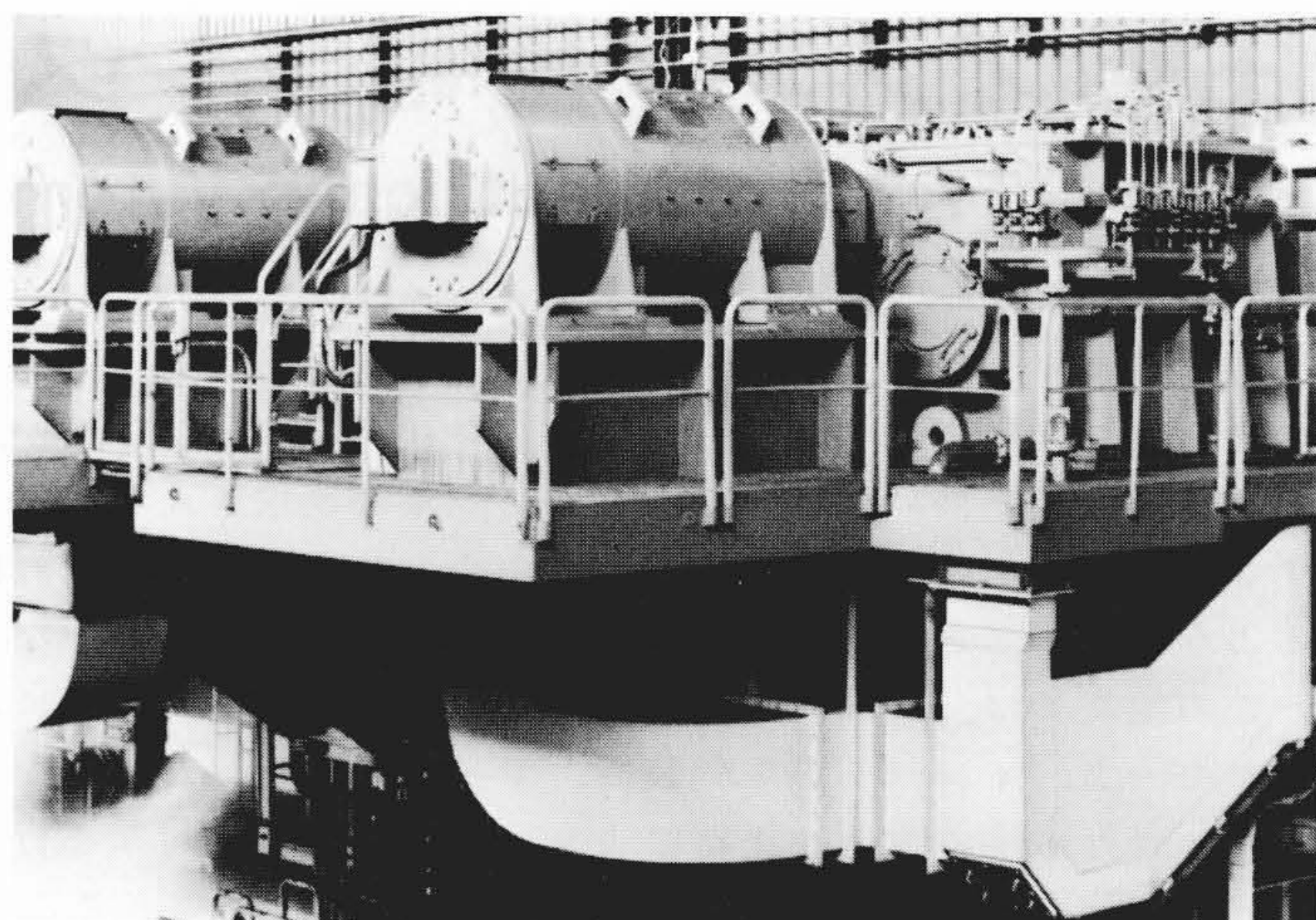


図4 1,120kW 電動機 1,120kWサイリスタモータが合計4台圧延機のハウジング上部に設置されている。厳しい環境条件にあって、サイリスタモータのメンテナンスフリーが効果を発揮している。

わる低応力・高減衰特性をもっていることが確認された。

3.2 サイリスタモータのミルへの実用化

日立製作所がシステムティックに推進してきた研究成果が結実し、エッジロール駆動用1,120kW及び410kW電流形サイリスタモータ全6台を完成し³⁾、昭和54年3月、順調に稼動を開始した。これらは、圧延機用として世界に先駆けて完成された画期的なものであり、随所に各種の新技術が採り入れられており今後の適用拡大が期待される。図4に、1,120kWサイリスタモータの写真を示す⁴⁾。

3.3 AVAFインバータによるテーブル駆動

ブラシレス化によるメンテナンスフリー、広範囲にわたる電動機速度制御などのニーズからAVAF駆動電動機の適用が拡大している。更に、多重化によりトルク振動率の低減(約40%)高調波電流による電動機枠番の低減などが可能となっている。

図5にホットストリップミル用ホットランテーブルに適用したAVAFインバータを、図6は、12kW誘導電動機25台の加減速オシログラムを示す。

4 制御システムの新しい動向

鉄鋼圧延プラントの制御システムでの新しい動向としては、ここ数年来マイクロコンピュータを中心とした急激な変化が見られ、電動機制御の交流化、エレクトロニクス化とあいまって今後とも激しい変化が予想される。制御の新しい動向をまとめると次のように予想される。すなわち、一言で言えば総合的エレクトロニクス化である。

- (1) 制御中枢のマイクロコンピュータ化、分散化が更に進むであろうこと。
- (2) 分散した制御系を効率的に結ぶシリアル信号伝送が進むであろうこと。
- (3) 直流電動機に対して、交流電動機の世界制御が進み、電動機の可変速制御の多様化が進むであろうこと。
- (4) 制御の総合エレクトロニクス化に伴って、保守性、稼働率向上の観点から、故障診断技術の向上が進むであろうこと。

新しい技術の動向は、使用者と製造者の利益が合致する方向に進む。使用者の受ける利益とは、高い性能、使いやすさ、安い価格であり、これらを満たす製品を開発し、販売して適切な利潤を得ることが製造者の利益である。以下、この観点

から上述の技術動向をやや詳しく述べる。

4.1 マイクロコンピュータ化、分散化

鉄鋼圧延機関係の制御は、民間産業での技術革新のリーダーとして、高度の生産性、品質、保守性の向上を追求してきた。その中で最も革新的であったのは、制御用計算機を積極的に導入し完全に習得してきたことであった。当初の情報処理から、計算機群の階層構成による機能分担と計算機の処理能力の増大とともに、制御範囲を急速に拡大してきた。しかし、最近の最大のインパクトは昭和45(1970)年代初めに現われたワンチップマイクロプロセッサである。

マイクロプロセッサによるマイクロ計算機の出現は、従来のプロセス計算機のイメージを一新するとともに、制御の動向を大きく変えることになった。マイクロコンピュータの与えたインパクトを一言で言えば、「計算機は高価なシステムから安価な制御要素になった。」ことである。図7は日立製作所の鉄鋼圧延機関係の直接計算機制御(Direct Digital Control: DDC)用計算機の受注単位ごとのプロセッサの台数の変遷を示す。当初DDCがスタートした昭和45(1970)年代初めは、主として計算機処理能力の不足から複数台のプロセッサが使用されていたが、処理能力の増大とともに台数は減少している。しかし、マイクロコンピュータを鉄鋼圧延機に使用開始した昭和51(1976)年からプラント当たりのプロセッサの使用数は急増している。その後若干低下気味にあるのは、マイクロコンピュータ自体の処理能力の増大もあるが、従来計算機の使用されていなかった部分及び既設備への省力自動化、省エネルギーのための追加投資に伴うもので、新設プラントには多数のマイクロコンピュータがネットワークを構成して使用されてきている。

この分野の今後の動向を考えると、次のように予測される。

- (1) マイクロコンピュータの急速な価格低減に伴い、制御要素化しつつあり、従来の計算機システムとしての演算処理、情報処理のほか、最近のシーケンス制御、更には処理速度的に間に合わなかったアナログ演算処理の分野にも広く浸透してくると予想される。
- (2) マイクロコンピュータが、制御要素化されるに伴い、プラントシステム内に広く分散使用される傾向にある。分散の

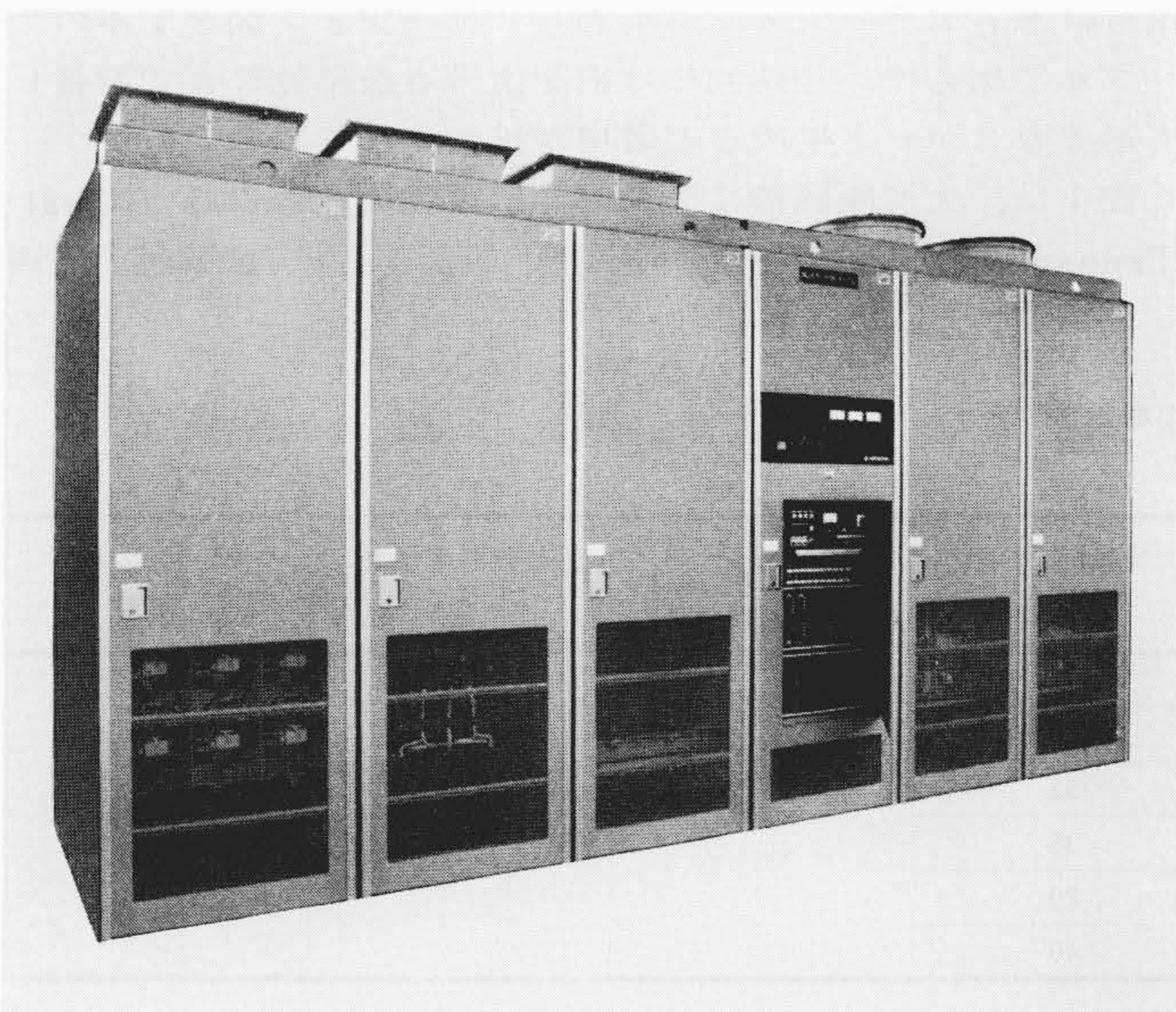


図5 540kVA可変電圧可変周波数(AVAF)インバータの外観
ホットランテーブル駆動用に使用されている。

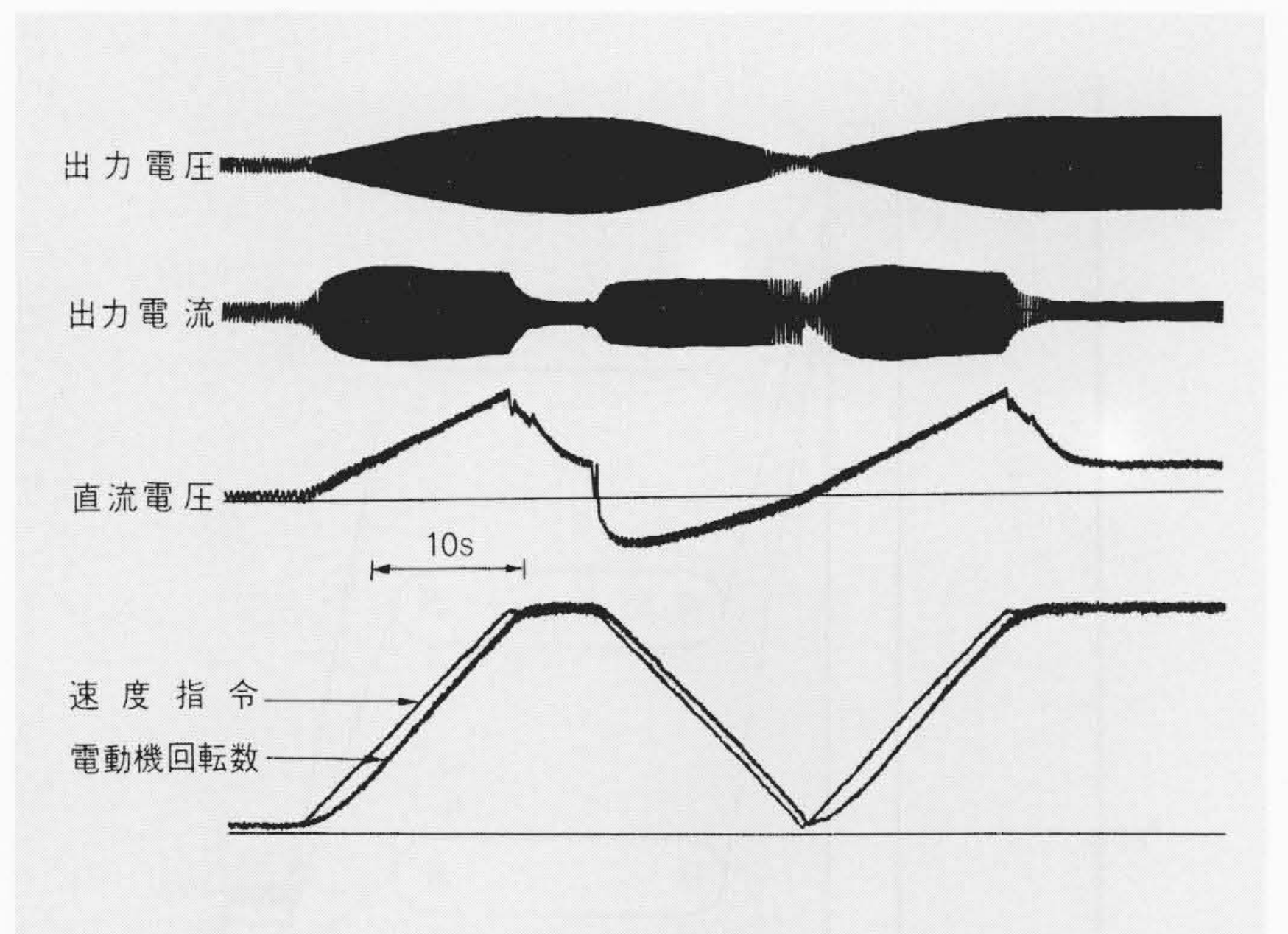


図6 AVAFによる誘導電動機の加減速運転 12kW誘導電動機25台の揃速運転(インバータ出力周波数3Hz→70Hz→3Hz→70Hz)のオシログラムを示す。

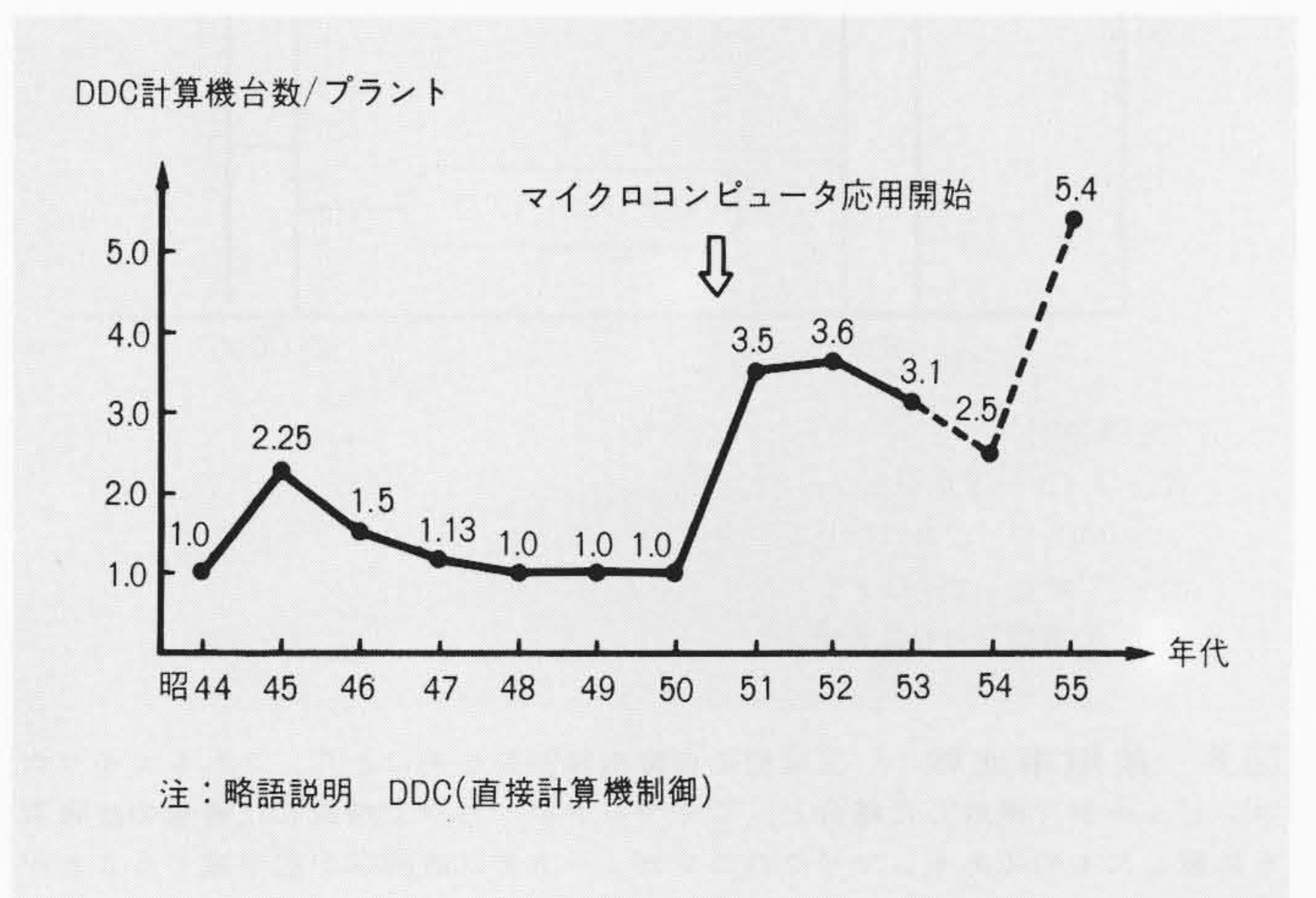


図7 1プラント当たり計算機台数の変遷 過去10年間の鉄鋼圧延プラントに適用されたDDCレベルでの1プラント当たりの計算機台数変遷を示す。マイクロコンピュータの登場とともに台数が急増し、分散化が進んだことを示す。

程度は、従来のプラント内設備単位よりも更に進んで、機器単位にまで拡大されると予想される。

- (3) システム内への分散化に伴い、マイクロコンピュータ間を結ぶ信号伝送手段が極めて重要になる。相互の信号伝送量を最小にする機能分担とシリアル信号伝送上適切な手段の開発とが、システム構成全体の良否を決めることになる。

- (4) マイクロコンピュータ化、分散化に対してユーザーに還元されるメリットは、第一にコスト当たりのパフォーマンスの向上であり、現趨勢から見て疑問はない。むしろ現在ユーザーにとっての最大の問題は、マイクロコンピュータ化によって信頼性、保守性が本当に確保されるかという点である。

図8はホットストリップミル仕上圧延機の自動板厚制御装置(AGC)について、ゲージメータAGC×6ループ、予測AGC×5ループ及びモニタAGC×3ループを、マイクロコンピュータでDDC処理した場合と、ほぼ等価機能をIC演算増幅器及び論理素子で、ワイヤードロジック構成をした場合の信頼性を故障率の形で比較したものである。故障率から見た信頼性は明らかに半減しており、同図で図示はしていないが盤面数も43%に低下する。また等価機能というものの、計算機処

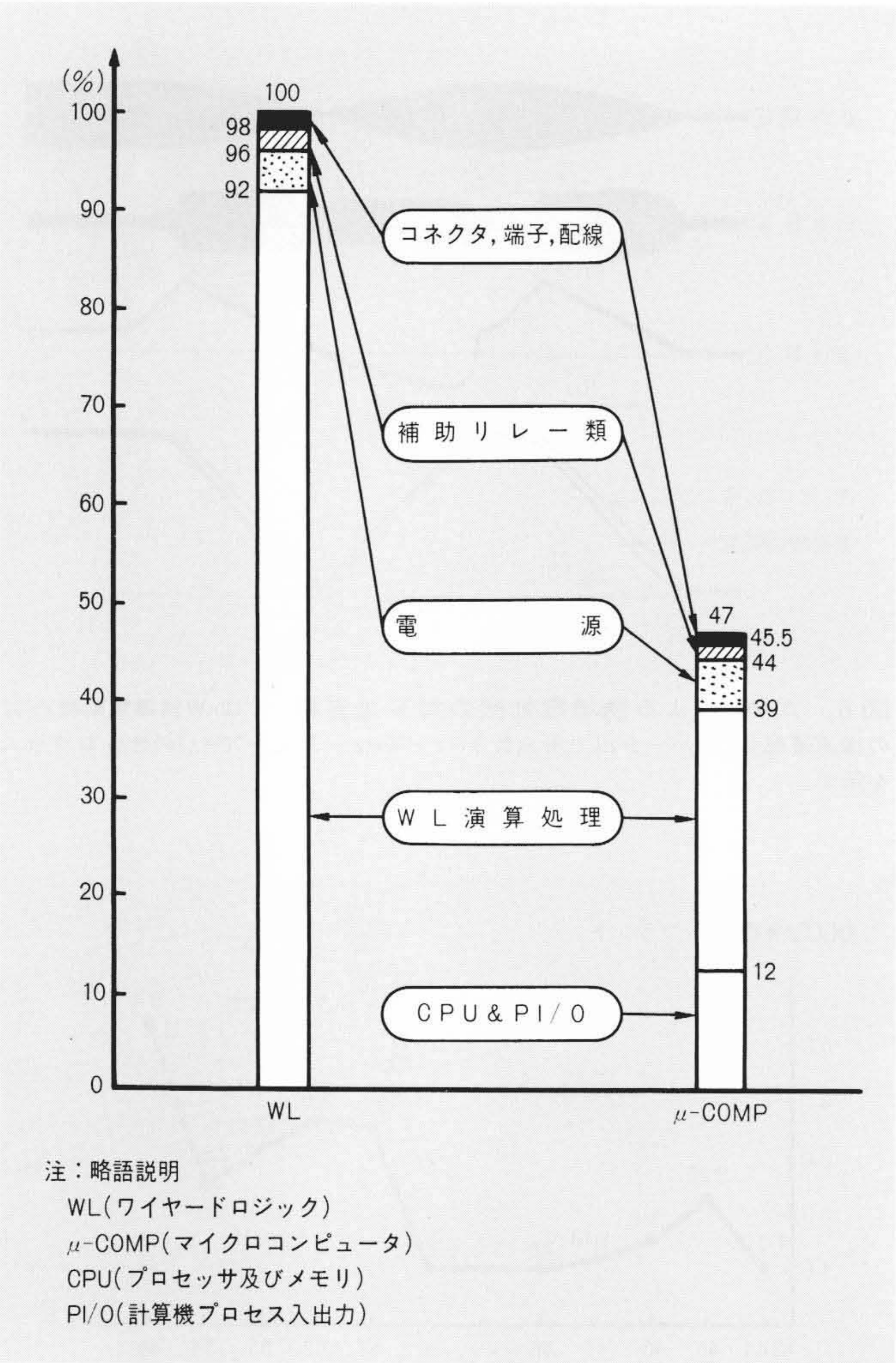


図 8 故障率比較 圧延機の自動板厚制御を例にとり、これをマイクロコンピュータで構成した場合と、ワイヤードロジックで構成した場合の故障率を比較したものである。マイクロコンピュータでは故障率が約半減することが分かる。

理ではスケジュールごとの利得調整など機能面では、はるかに高度である。他方、保守性の面では機能の高度化に伴ってソフトウェア処理部のブラインド化、中央処理装置(Central Processing Unit：CPU)処理、高密度IC、LSI搭載によるプリント板のブラックボックス化など、処理及び回路の中にユーザーが入り込めなくなりつつある。この意味で、第一にソフトウェアのVisual化、プログラム、デバッグツールの装

備が必要である。次に計算機を含めてプリント板単位での故障部位の表示、簡易テストツールの開発などにより保守性の向上が必要である。

4.2 分散システムの信号伝送手段

前項で記載のように、制御演算の中核ともいえるべきマイクロコンピュータ、プラントの中に広く分散して設置される状況にある。マイクロコンピュータの演算処理内容は増加しつつあり、必要な入力情報及び出力信号は増加している。特に、プラント機器内に分散している検出器からの信号、機器への制御信号、操作盤からの操作信号、操作盤への表示信号など、すべて演算処理装置にリンケージされる。したがって、これらの入出力信号を従来のように信号と1対1に対応するケーブルで接続し送受信していたのでは非常に不経済である。ところが、これらの信号は必ずしもプラント内にまとまって存在するわけではなく、数点から数十点が広く分散して存在する。プラント内の機器を結ぶ伝送信号は、計算機間のように多量の信号が存在するわけではない。すなわち、前記のような分散形システムでは次の2種の信号が存在する。

- (1) 分散設置されているマイクロコンピュータ間を結ぶ高速大量信号
 - (2) 分散設置されているマイクロコンピュータから制御対象であるローカルな機器、操作表示器、検出器を結ぶ小量・低速信号
- ただし、小量とは信号の存在場所や行先別に分類した場合であり、全体としては大量の信号になる。

上記2種の信号伝送手段として、前者に対しては既に十分な機能をもったデータフリーウェイが開発実用化済みであるが、より高速、高品質の伝送手段として光伝送の開発実用化が進んでおり、鉄鋼圧延プラントでも数回線布設され実用に供せられている。現在、なお光伝送については経済的にも技術的にも解決すべき問題が残されているが、高速・高品質の点では優れておりしだいに応用範囲が拡大されると思われる。一方、後者については、信号の簡易シリアル転送装置が開発されており、16点、32点、64点、128点、256点などを単位として、送信側で信号を並/直列変換して、1本のケーブルで上記回線数ごとシリアル転送し、受信側で再び直/並列変換するもので、日立製作所でも既に大形プラントに大量に使用し、ケーブル及びその布設工事を大幅に低減している。今後は適用をアナログ信号に拡大したり、プラントの端末に数点ずつ散在する信号群を各ステーションに集め、ステーション間を1本のケーブルで結んで、最終的には前記信号点数単位にまで増量して送るカスケード接続など適用が拡大されていくであろう。

表1は、大形圧延機に簡易信号伝送装置 (Serial Signal Transmitter Unit：STU)を信号の種類ごと、応答性、経済

表 1 簡易信号伝送装置(STU)の経済的効果計算例 大形圧延システムの電気制御信号を例にとり、その約40%にSTUを適用した場合の経済的効果を試算したものである。

No.	信号種類	信号点数	所要ケーブル長 (km)	STU適用率 (%)	制御ケーブル及び布設費低減率 (%)	STU機器費増加率 (%)	総合効果 (%)
1	緊急停止信号	3,000点	40	0	-30%	+16%	-14%
2	監視信号	5,000点	210	50			
3	電気室～操作デスク間	7,000点	100	95			
4	電気室～ヤード機器間	4,500点	240	35			
5	電気室内	4,500点	200	20			
6	合計	24,000点	800	40			

注：1. 所要ケーブル長は、平均心数10心とした場合の計算例
2. STU適用率は、伝送速度、経済性、信頼性を考慮して決定
3. STU(Serial Signal Transmitter Unit)

はほとんどなくなり、信号伝送手段がその役割を兼用しつづける。ケーブル節減や工事費低減を図っている。更に、サイリスタ制御自体もマイクロプロセッサの応用や光絶縁手段により、IC演算増幅器や絶縁増幅器、パルストランスなどに代わりつつあり、エレクトロニクス化された制御演算の結果が直接パワー機器を駆動する時代に入りつつある。

5 既存設備の近代化

鉄鋼界は昭和30(1955)年ごろから急速にその設備拡張・増強が行なわれたが、当時の最新鋭設備も、はや20年以上を経過し、多くの改造(Revamping)及び更新(Modernization)のタイミングとなってきた。特に、駆動装置用電源(M-Gセット、水銀整流器など)、制御装置(磁気増幅器、回転増幅器など)の老朽化対策のほか、生産量増強、製品品質向上、省力化などからパワーエレクトロニクスの応用拡大、マイクロコンピュータの採用などにより改造、更新が行なわれている。ここでは、その近代化へのニーズを具現した事例について紹介し、大方の参考に供したい。

表2は、設備改造の内容とその効果を示したものである。

(1) 品質向上

制御技術、IC、マイクロコンピュータなどの制御要素の進歩により、制御装置を更新することにより、品質向上が期待される。すなわち、マイクロコンピュータを採用し、現代制御理論を駆使した制御系が採用できるので、自動運転、成品の寸法制御などが高度化できる。

(2) メンテナンスフリー化

回転機、水銀整流器制御装置のリプレースにより、保守の軽減が図られ、信頼性の向上もあって稼働率の向上が期待できる。

(3) 生産量増大への対応

主電動機の容量アップが既存電動機の基礎を流用し、約50%アップ可能であり、可逆ミルではパス回数の低減、連続ミルでの圧延速度の上昇などが可能となり、制御の高度化とあいまって、生産量の増大ができる。

次に具体例として、図9に示す可逆熱間ミルで採用されているイルグナー装置の容量増強のため、発電機に並列にサイリスタを増設することによって、イルグナー装置の速度降下量の低減によるパス間時間の短縮、イルグナー装置誘導電動機の温度上昇の低減による長寿命化など効果が大きい。

6 結 言

鉄鋼用電気品は、絶えまのない技術革新と合理化によるコストパフォーマンス向上の要求及び高信頼性、無保守化に対する強いユーザーのニーズに直面し、絶え間のない開発による新技術、新システムを採用し、産業界の先駆的役割を果たしつつある。これは、鉄鋼関連ユーザーの指導のおかげであるが今後共急速に変化しつつあるユーザーズニーズに即応し、研究開発に鋭意努力する考えである。紙面の関係からその一端しか紹介できなかったが、参考いただければ幸いである。

参考文献

- 1) 真柄、ほか4名：最近の圧延機用電気品の動向、日立評論、58、701～706(昭51-9)
- 2) 茂木、ほか4名：大容量直流回転電機の整流特性の検証、日立評論、61、487(昭54-7)
- 3) 森野、ほか5名：圧延用1,120kWサイリスタモータ装置、電気学会全国大会予稿、515、(昭54-4)
- 4) 森野、ほか3名：サイリスタモータの圧延主機への適用、日立評論、61、649～654(昭54-9)

論文抄録

わが国のエネルギーフロー

日立製作所 三井英彦

日本機械学会誌 82-725, 325(昭54-4)

わが国のエネルギーフローを需要と供給の両面からまとめて述べたものである。

わが国のエネルギー消費が急速に伸びたのは1960年を過ぎてからである。エネルギー消費が石炭換算で1トン/人・年になったのは1938年で、その後1960年までは横ばいの傾向を保持していたのに対して、1973年には5トン/人・年と約5倍の急激な伸びを示している。1960年以後のわが国における1人当たりのエネルギー消費量を諸外国と比較すると、アメリカ、カナダ、イギリス及びドイツよりは少ないが、消費量の増加率は最も大きい。

エネルギー消費をみると、例えば、昭和51年度の総消費量は 362.1×10^{13} kcalで、このうち鉄鋼を含めた産業部門が47.2%と最も多く、次いで民生21.7%、運輸13.8%、非エネルギー8.9%、エネルギー8.4%となっている。最近、民生部門が微増、産業部門が漸減の傾向にある。また、消費エネルギーを

機能別にみると、熱と動力で80%近くを占めている。エネルギー消費には、直接石油製品、電力などの形で消費する直接エネルギー消費型(鉄鋼、化学など)と、原材料を媒介として間接的に消費したとみなされる間接エネルギー消費型(建設、金属・機械工業など)とがあり、各部門を位置づけして示した。

一方、エネルギー供給構造の急激な変化は第2次大戦後中東地域での石油生産が著しく増加したのを契機に、しだいに石炭から石油に移り変わっていったことに起因している。昭和30年度と51年度とを比較すると、一次エネルギー供給量に占める石炭の割合は、49.3%から15.4%に減少し、石油の割合が20.2%から74.0%に増加している。この石油依存度の高さ(したがって、輸入依存度の高さ)はわが国のエネルギー供給構造の一大特色となっている。

一次エネルギーの一部は二次エネルギーに転換される。昭和51年度は35.6%が転換用に

使用されており、昭和30年度の24.2%に比べて大幅に増加している。二次エネルギーの中では電力が増加している。発電電力量の割合をみると、火力が25.7%(昭和30年)から76.1%(昭和51年)と増加している。火力に使用される燃料は、昭和40年ごろまでは重油が主であったが最近は減少の傾向にある。

また、一次エネルギーを二次エネルギーに転換し輸送する際の効率も改善されてきている。

エネルギーの需要は今後も増加すると予測されているが、エネルギーの供給については現在多くの議論がなされている。石炭あるいは原子力の役割が大きくなることもよく指摘されているし、新エネルギーについても検討されている。いずれにせよ、わが国の場合輸入石油への依存度低減、エネルギー消費の節約、代替エネルギー源の開発、エネルギーロスの低減などが当面の課題である。