

最近の圧延設備とその制御技術の動向

Recent Trends of Advanced Rolling Mills and Their Control Technology

圧延設備、特に薄板材生産用圧延設備に対する要求は、年々高度化するとともに多様化してきている。すなわち、オイルショック以降の省エネルギー・省資源化はもちろん、電子機器など先端産業の発展に伴う製品品質のなおいっそうの向上、あるいは小回りのきく小規模化設備の要請などである。

以上のような多岐にわたる要望にこたえるため、HC-MILLによる省エネルギー・高歩留まり圧延の強力推進、設備の連続化、小規模ホットストリップミルの実現などを図ってきた。また、電子機器用向けなどの薄くて硬質な材料を、高精度に圧延できる極小径作業ロールを採用するUC-MILLを確立した。

木村智明* Tomoaki Kimura
竹村 明** Akira Takemura
藤野伸弘*** Nobuhiro Fujino

1 緒 言

圧延設備に対する要求はオイルショックや為替変動による経済危機、更には利用産業分野の発展の影響を受け、大きく変化しながら、かつ多様化してきている。

すなわち、省エネルギー・省資源化技術の向上は、永久の課題となっており、なおいっそうのエネルギー有効利用及び設備の高効率化が追求されている。また、従来の大量生産方式設備の建設とは別に、小回りのきく小規模生産設備の開発が求められている。

一方、軽量化のすう勢に従い圧延材の薄肉硬質化が進められてきていたが、この面での技術革新は電子機器製品などの先端産業の進展に伴い、画期的な発展が促された。

日立製作所では以上の要求にこたえるため、特に需要の多い薄板製品生産の分野での熱間帯板、冷間帯板及び最終製品に仕上げる精整設備らを中心にした板材製造設備についての各種技術開発を行ってきた。

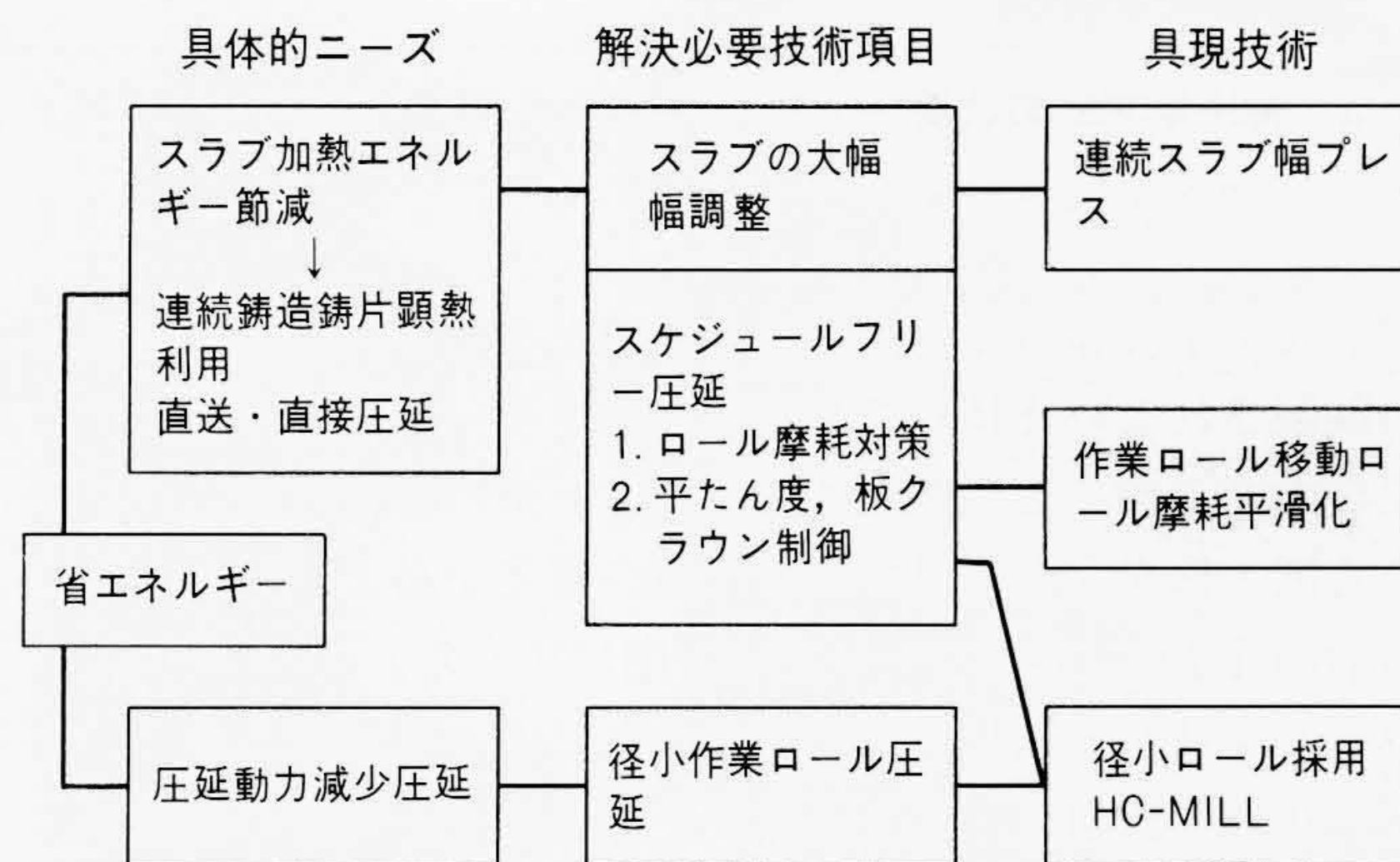
ここでは、最近開発された上記圧延設備の新技术について、その概要を述べる。

2 熱間帯板圧延設備

2.1 熱間帯板製造設備の省エネルギー化

通常の熱間帯板製造設備は、生産量が15～40万t/月のように大量の質量を扱うので、これに消費されるエネルギーも膨大である。このエネルギーの大半は、圧延素材であるスラブの加熱とこれを減厚圧延するための動力に費やされる。図1にこれらのエネルギーを節減するために開発された新技术の内容を、図2に最近の熱間薄板製造設備の機器配置を示す。

すなわち、連続鋳造材の鋳片顕熱を利用する鋳片の直送あるいは直接圧延技術の実現によって、従来冷却された後のスラブを再加熱する場合に対し、60～85%の加熱エネルギー節減が可能になる¹⁾。本技術の実現には、第一に連続鋳造鋳片の



注: 略語説明 HC-MILL (High Crown Control Mill)

図1 熱間帯板圧延における省エネルギー技術 スラブ加熱エネルギー及び圧延動力節減のための新技术が開発された。

板幅を自在に調整できるようにすることが要求されたが、これは図3に示すテーパ状の工具を持つ連続スラブ幅プレス技術を確立することによって解決することができた。すなわち、従来は立形幅圧延ロールでスラブを幅方向に圧延することによりスラブ幅の調整が行われていた。しかし、圧延ロールを大きくすることには限界があるため、圧延後のスラブ先後端には図3に示すようなフィッシュテールと呼ばれる不具合部が生じ歩留まり低下が著しくなることから、幅調整量も100mm程度以下に制限されていた。

これに対し、新たに開発された連続スラブ幅プレス法では、開閉を繰り返す1対のテーパ形状を持つ工具に順次スラブを送り込み、かつ圧縮加工を行うものである。したがって、スラブ幅加工部の等価径は従来の幅圧延ロールに対し数倍大きくすることが可能なため、300mm程度の縮幅でもほとんどフィ

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

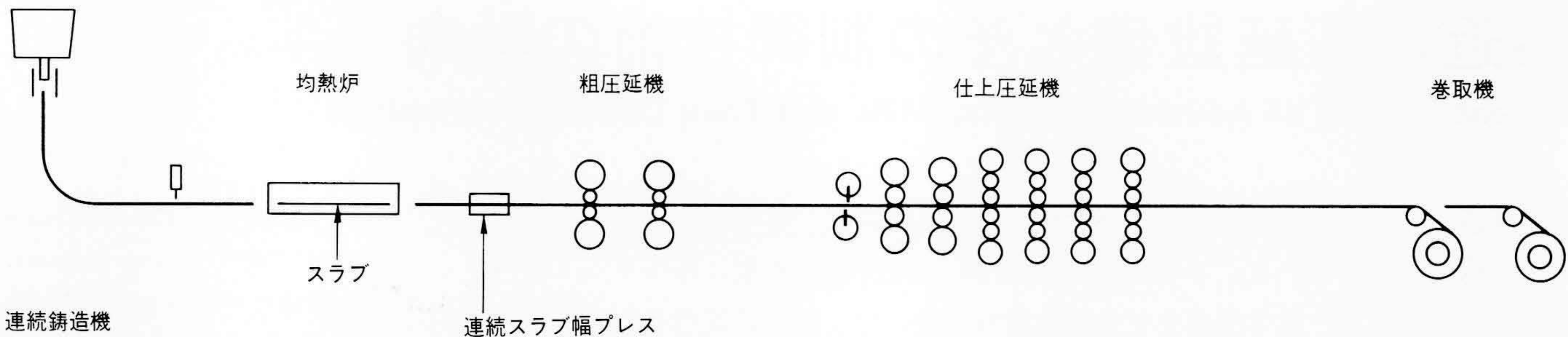


図2 最近の熱間薄板製造設備配置 連続鋳造機と熱間圧延設備を結びつけ鑄片顕熱が有効に活用される。

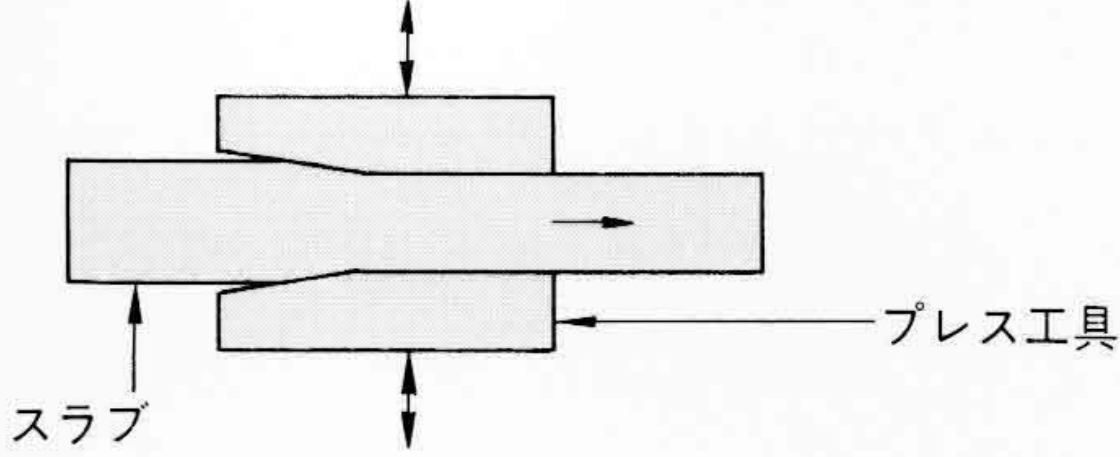
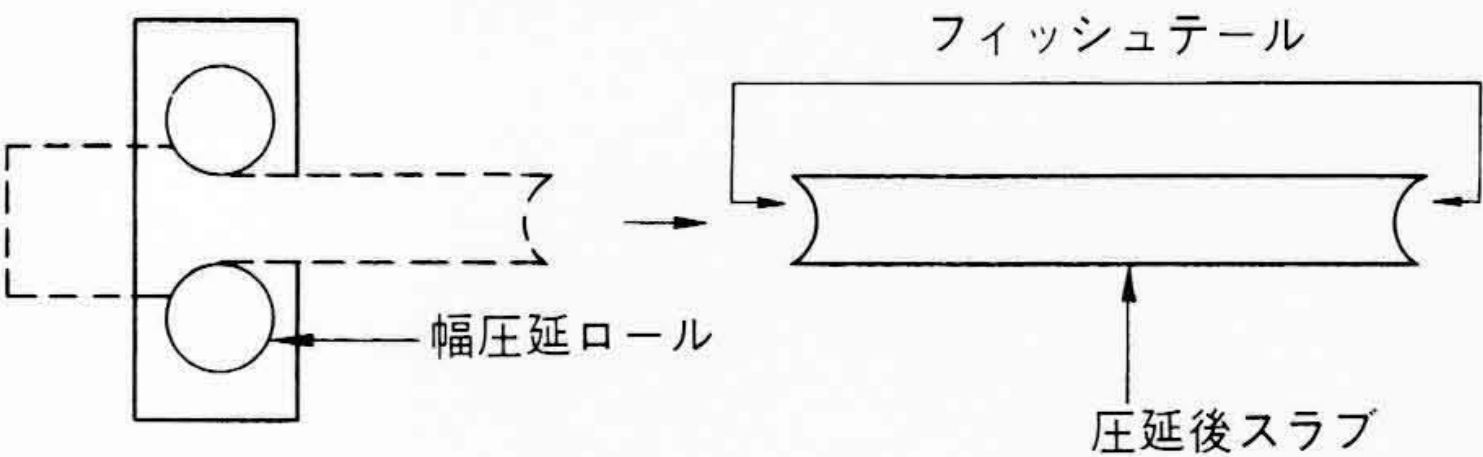
連続スラブ幅プレス	従来幅圧延
	

図3 幅圧延方式の改善 スラブをプレスにより縮幅することによって、フィッシュテールの生じない幅調整が可能になった。

フィッシュテールのない幅調整が可能となった。次に、板幅順に制限されない(SRF)スケジュールフリー圧延を可能にする必要があるが、このためには圧延ロールの摩耗対策、及び平坦度・板クラウン補償制御技術の確立が必ず(須)となる。前者の課題は、作業ロールを軸方向にサイクリックに移動し、ロール摩耗を分散し平滑化することによって解決された。また、後者の課題は、上下中間ロール胴端を圧延材の板幅端に点対称的に移動できるHC-MILL(High Crown Control Mill)を採用して、板幅・板厚による平坦度・板クラウン変化を十分補償制御可能にすることによって解決することができた。

また、このHC-MILLは中間ロール移動によって、作業ロールの曲がりに対する横剛性を高めることができるので、作業ロール径を小径にすることが可能である。作業ロール径は従来φ800 mm程度のものが使用されていたが、HC-MILLの場合にはφ600 mm程度に小径にすることができ、これにより約10%の圧延動力が節減された²⁾。

このように作業ロールを小径化できるHC-MILLは、近年利用分野産業の発展に伴い、需要が増加し続けている薄板・硬質材の圧延に対して威力を発揮している。すなわち、薄板・硬質材のために増大する圧延荷重を抑制し、しかも平坦度の優れた圧延を可能にするためである。

2.2 MHM

従来の熱間帯板圧延設備は、前述したように巨大な設備であり、これの建設及び操業には多くの費用が必要である。以上の点から小回りのきくMHM(ミニホットストリップミル：小規模熱間帯板圧延設備)の開発が望まれていた。

現状で注目されているMHM案を図4に示す。A案は通常の連続鋳造機で製造される厚み120～220 mm程度の鑄片を、可

逆粗ミルとステッセルミルと呼ばれる可逆仕上ミルを配置して、所定の製品厚みまで圧延する設備である。ステッセルミル部には、このミルの前後に加熱炉付きの巻取装置が設置され、圧延材からの放熱を防止しながら減厚圧延が行われる。このステッセルミルは、従来スケールの発生しにくいステンレス鋼の圧延に適用されていたが³⁾、最近ではデスケリングの強化によって普通鋼の圧延にも適用されるようになってきている。

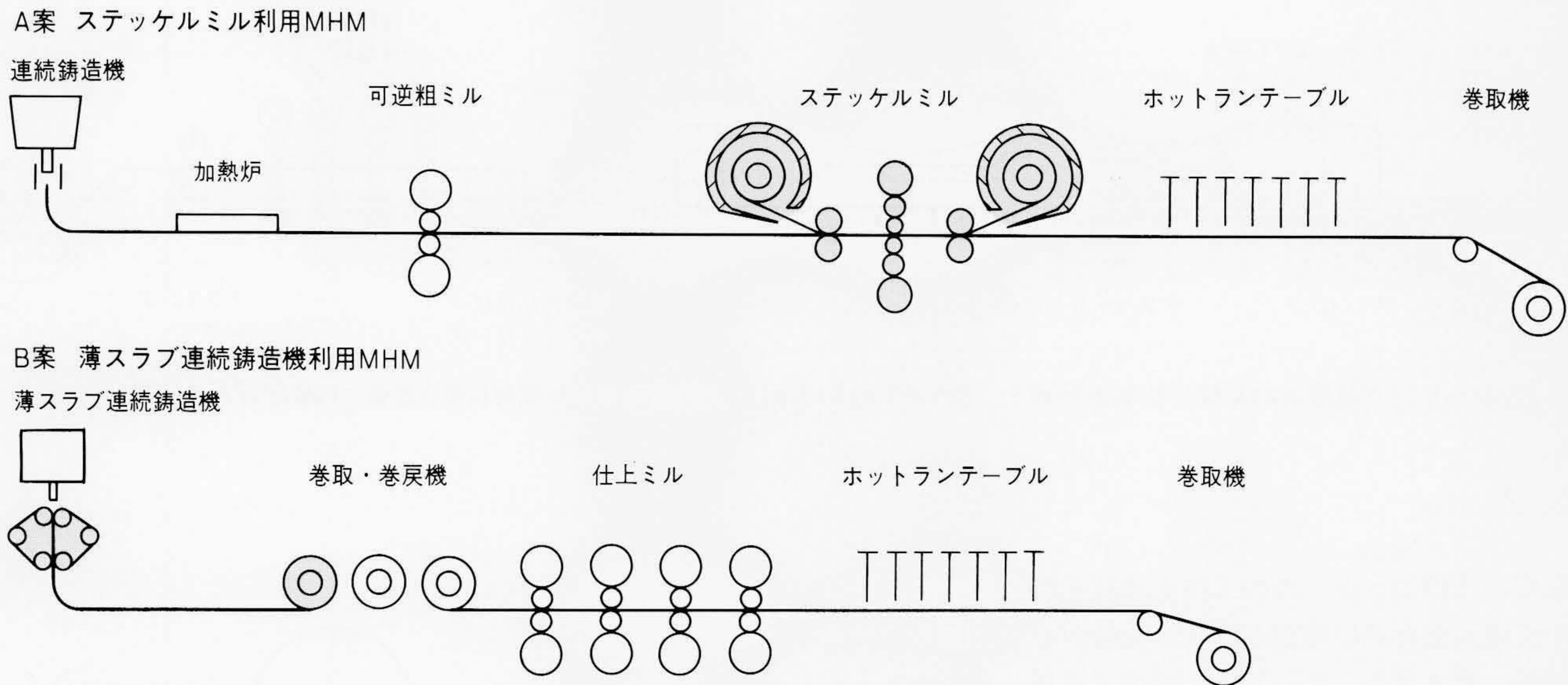
また、B案は厚み30 mm前後の薄スラブを製造する連続鋳造機を開発して粗ミルを不要にし、かつ仕上げミルの圧延機台数を減少させた理想的な熱間帯板圧延設備を実現しようとするものである。このために10 m/min前後の速度で鋳造可能な双ベルト式高速連続鋳造機が開発されている。そして生産設備規模の試験機で、世界で初めて30 mm厚の薄スラブの鋳造とこれのオンライン連続巻取りによる高温コイルの製造に成功した⁴⁾。また、このコイルは引き続き無加熱で直接熱間圧延され、従来工程材並みの製品が得られたことが報告され⁵⁾、全体システムの実現も間近いものとなっている。

3 厚板圧延設備

本誌、第67巻4号「圧延設備特集」では、厚板圧延機へのHCW-MILL(作業ロールシフトミル)の適用効果予想について述べた⁶⁾。その後、日本鋼管株式会社福山製鉄所の更新厚板圧延機にHCW-MILLの適用が実現され、先に予想した効果が真に得られたことが確認された⁷⁾。

図5にHCW-MILLが適用された厚板圧延機の仕様及び圧延ロール配置を示す。この厚板圧延機で作業ロールを軸方向に移動することによって得られた効果は以下のとおりである。

- (1) 板クラウン及び形状制御効果



注：略語説明 MHM（ミニホットストリップミル：小規模熱間帯板圧延設備）
図4 MHM（ミニホットストリップミル）の例 MHMを具体化する二つの例を示す。

スラブからの各減厚圧延パスに従い、作業ロール胴端を板幅端方向に移動することによって、作業ロールベンダ効果を拡大するとともに、板クラウンの相似圧延を可能にすることができる。これにより、平たんでしかも100 μm以下の小さな板クラウンの製品を常時製造することが可能になった。

(2) スケジュールフリー圧延

上記(1)項のように各圧延パスごとに作業ロールを軸方向に適宜シフトして圧延するので、ロール摩耗が軸方向に分散されロール表面が滑らかになるため、板幅順に無関係なスケジ

ュールフリー圧延が可能となった。

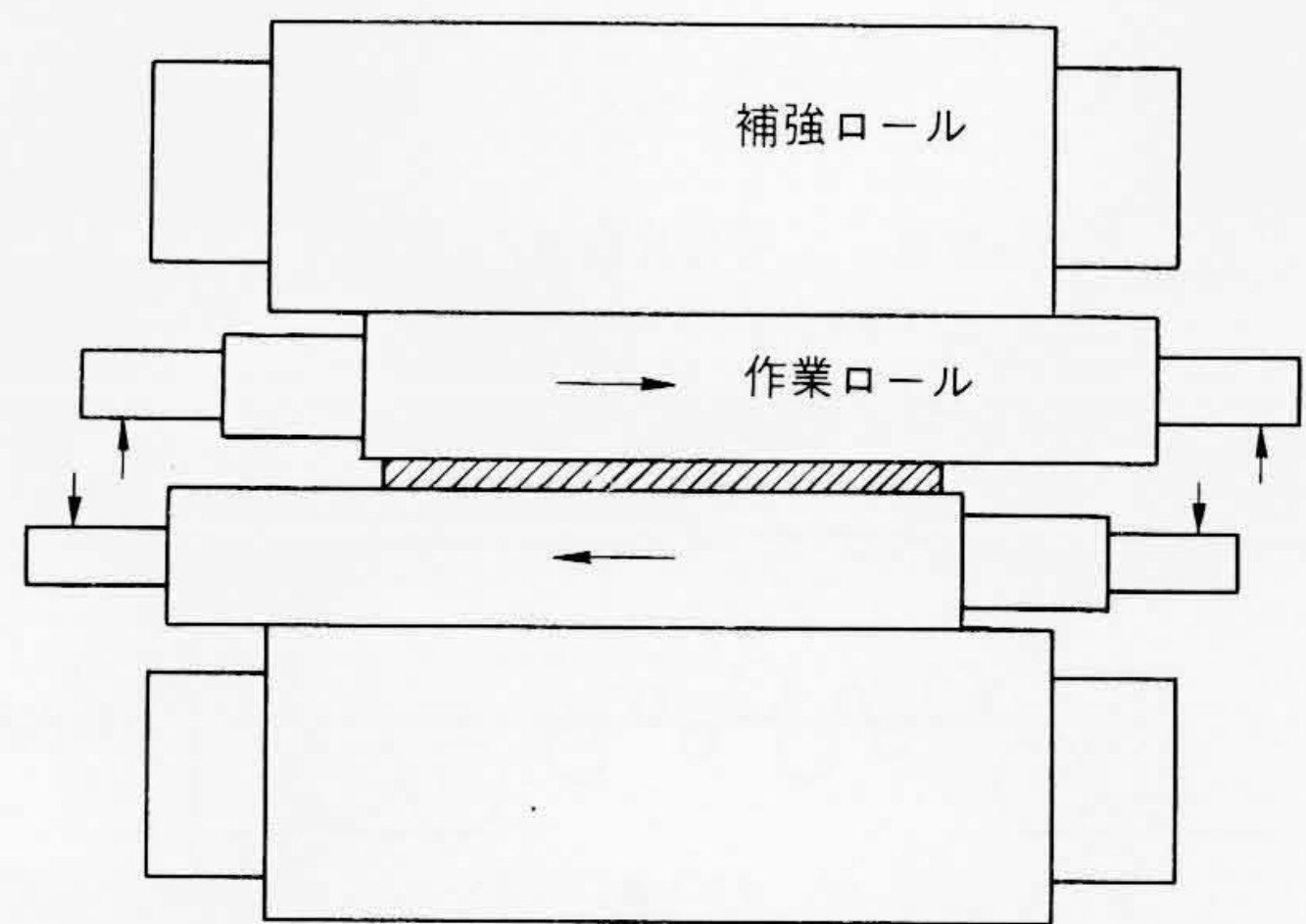
4 冷間帯板圧延設備

4.1 デスケーリング装置直結式冷間帯板圧延設備

冷間帯板圧延設備での最近の著しい技術の進歩は、従来、独立した設備であったデスケーリングと冷間圧延の二つの設備を連結した連続冷間帯板圧延設備を実現したことである。本設備の実現のために開発された主要な技術項目を表1に、またこのような新技術が組み込まれたデスケーリング装置直結の冷間帯板製造設備の機器配置例を図6に示す。すなわち、スケールブレイカによる酸洗時間の短縮、熱間圧延と同様に作業、中間ロール移動可能なHC-MILLの適用、オンライン短時間板厚変更及びカローゼルリールによる円滑コイル巻取技術などである。

表1 連続式冷間帯板圧延設備実現に必要な技術 デスケーリングを直結する連続式冷間帯板圧延設備実現のために開発された技術内容を示す。

対象装置	解決必要技術項目	具 現 技 術
デスケーリング	デスケーリング設備長短縮	スケールブレイカによる酸洗時間の短縮
冷 間 圧 延	板幅順解除スケジュールフリー圧延 1. ロール摩耗の平滑化分散 2. 常時高精度平坦度確保圧延	作業ロール移動式HC-MILL ストリップセンタリング装置
	オンライン短時間板厚変更	高応答油圧压下装置(HYROP-F) 高精度オンライン板厚変更制御
コイル巻取り	コイルの円滑巻取り	カローゼルリール



項 目	仕 様
ロ ー ル 寸 法	作業ロールφ1,230 mm×長さ4,700 mm 補強ロールφ2,200 mm×長さ4,500 mm
圧 延 荷 重	常用 75 MN 非常最大 95 MN
主 電 動 機	DC 6,500 kW×40/100 min ⁻¹ {rpm}
作業ロールシフト	ストローク 1,000 mm
作業ロールベンダ	最大 6 MN/Chock

図5 厚板圧延機のロール配置及び仕様例 作業ロールは、最大1,000 mmの軸方向移動が可能である。

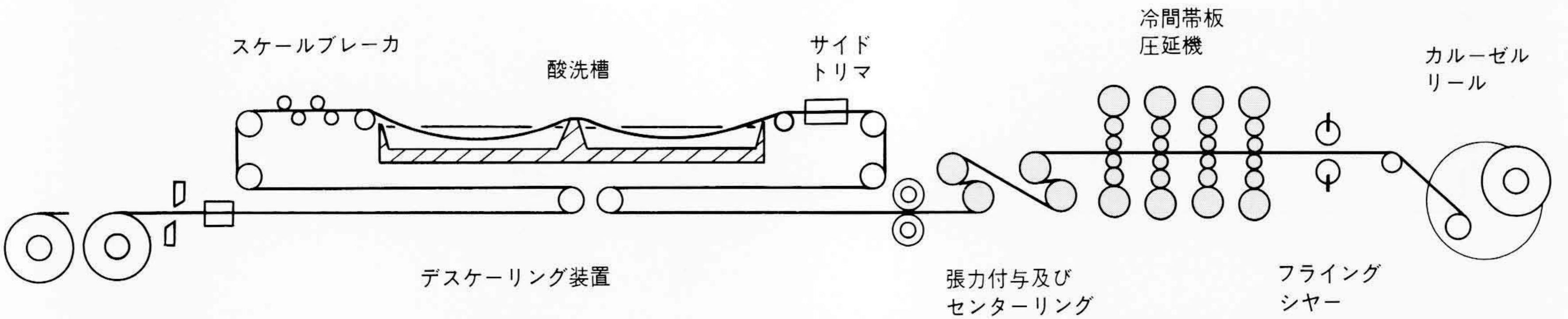


図6 デスケーリング装置直結冷間帯板製造設備 二つの工程を連結した代表的な連続冷間帯板製造設備の機器配置を示す。

そして、このような二つの工程を連結する設備では、特に二つの工程の結合点に問題が生じる場合が多い。図6の設備配置では、長大なデスケーリング設備を通過した後のストリップの幅方向位置が、しばしば幅中心位置より大きくずれており、冷間圧延作業に支障を来す問題が生じる。

この問題は、圧延機群に張力を付与するために設けられるブライドルローラを二組に分け、その各々でストリップセンタリング制御を行い、ストリップが正規の幅位置を通過させるようにすることによって解決することができた。

このような連続化設備は、従来のコイル先後端での製品品質の低下あるいは事故発生をなくすとともに、少ない人数でしかも常時安定な操業を可能にしたことによって、多大な経済効果をもたらした。そして新規連続化設備の建設以外にも、旧設備のデスケーリングと冷間圧延設備を連結したり、又はこれらのうちいずれか一方の旧設備に、新しいもう一方の設備を追加するなどによって、多数のデスケーリング装置直結の連続冷間帯板製造設備が実現された。

4.2 極小径ロールUC-MILL

冷間帯板圧延の分野でのもう一つの技術展開は、電子機器などの先端産業向け高品質薄板材の製造を可能にする極小径作業ロール採用のUC-MILL (Universal Crown Control Mill)の開発である。このような薄板材は一般に極めて薄く硬質であり、しかも優れた表面光沢を備えることが求められる。上記要求にこたえるには、圧延機の作業ロール径をφ100 mm以下の小径にする必要がある。この目的に沿って開発されたUC-MILLを図7に示す。作業ロールは小径のため曲がりやすいにもかかわらず、圧延動力を中間ロール駆動によって与える必要があるため、作業ロールには水平力が加わる。したがって、本圧延機開発のかぎはいかに精度よく作業ロールを水平面上で支持できるかにかかってくる。この問題は作業ロールを適切にオフセットし、かつ水平力を水平支持用中間ロールを介して、短冊状の補強ロールを千鳥状に配置して支持することによって解決することができた。そして、中間ロール移動によるHC-MILL効果、及び作業・中間ロールのベンディング効果によって、硬質薄板材にもかかわらず優れた平坦度を持つ製品に圧延することが可能になった。

5 精整設備

連続めっき、焼鈍などの作業を行って最終製品を製造する

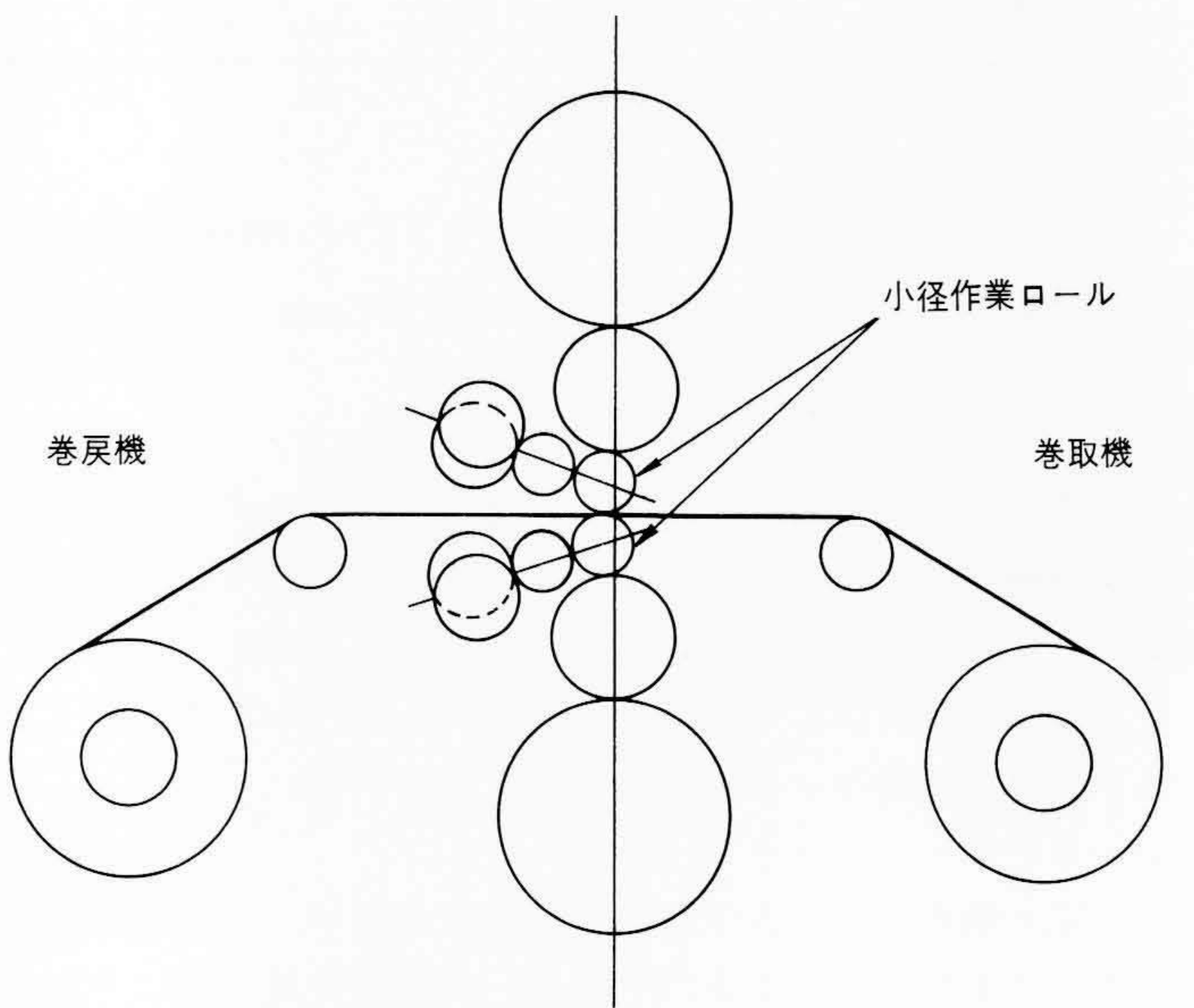


図7 極小径作業ロール式 UC-MILL (Universal Crown Control Mill) 作業ロール径をφ50 mm前後に選定し、硬質薄板材を光沢のある表面に圧延できる。

表2 平坦度改善装置 平坦度は、テンションレベラあるいは調質圧延機によって改善される。

装置名	配 置	機 能
テンションレベラ		平坦度改善
調質圧延機		平坦度改善 機械的性質改善

精整設備では、近年ますます板の平坦度を向上させる技術の開発が要請されている。板の平坦度を改善する手段としては、表2に示すように、テンションレベラと調質圧延機がある。

テンションレベラは、前後に配置されたブライドルローラで張力が付加されている薄板材を、多数の小径のローラで曲げることによって、0.5%前後伸張して平坦度を改善するものである。本装置は従来から薄板材の平坦度修正に多数使用されていたが、最近のテンションレベラでは、胴端にテーパを持つ作業ローラを組み込み、これを軸方向に移動して、板幅方向に硬度差のある薄板材の矯正も可能にするようになってきた。また、リコイルラインのように1,000 m/min以上の高速で操業される設備に対しても、各レベラローラの軸受の改善によって、テンションレベラを組み込むことが可能になった。

精整設備では焼鈍された後の薄板材を、ストレッチャストレーン発生防止あるいは材料の硬さ調整のため、調質圧延を行う必要のある場合が多い。従来はこのような目的で配置される調質圧延機の出側に、薄板材の平坦度を改善するためにテンションレベラも併設されていた。しかし最近、表2に示すような平坦度制御に優れた、作業及び中間ロールベンドイング手段を備えた6段圧延機が開発された。この圧延機を採用することにより、調質圧延によって所定の機械的性質を得ることができるばかりでなく、同時に優れた平坦度の薄板製品を製造できるようになった。

6 圧延機用電気設備

鉄鋼産業での電気設備は、その規模・機能の複雑さ、性能の高度さなどで最上位の技術分野に位置し、他の産業分野をリードしてきている。

そして市場のニーズは量から質への転換に伴い、なおいっそうの高性能化が求められる一方、コストパフォーマンス向上の目的から、省人化、省エネルギーはもとより、イニシャルコスト低減に対する要望も強くなってきている。

図8はこれら市場のニーズを、最近の技術動向を踏まえて、いかに具現してゆくかを示したものである。日立製作所は、パワーエレクトロニクスとマイクロエレクトロニクスの先端技術を効果的に活用してきたが、更に高度の制御技術を加味させながら、人間性重視のマンマシンインタフェースを実現し、システム構成にもその目的及び規模に応じて新しい考えを採用してきている。

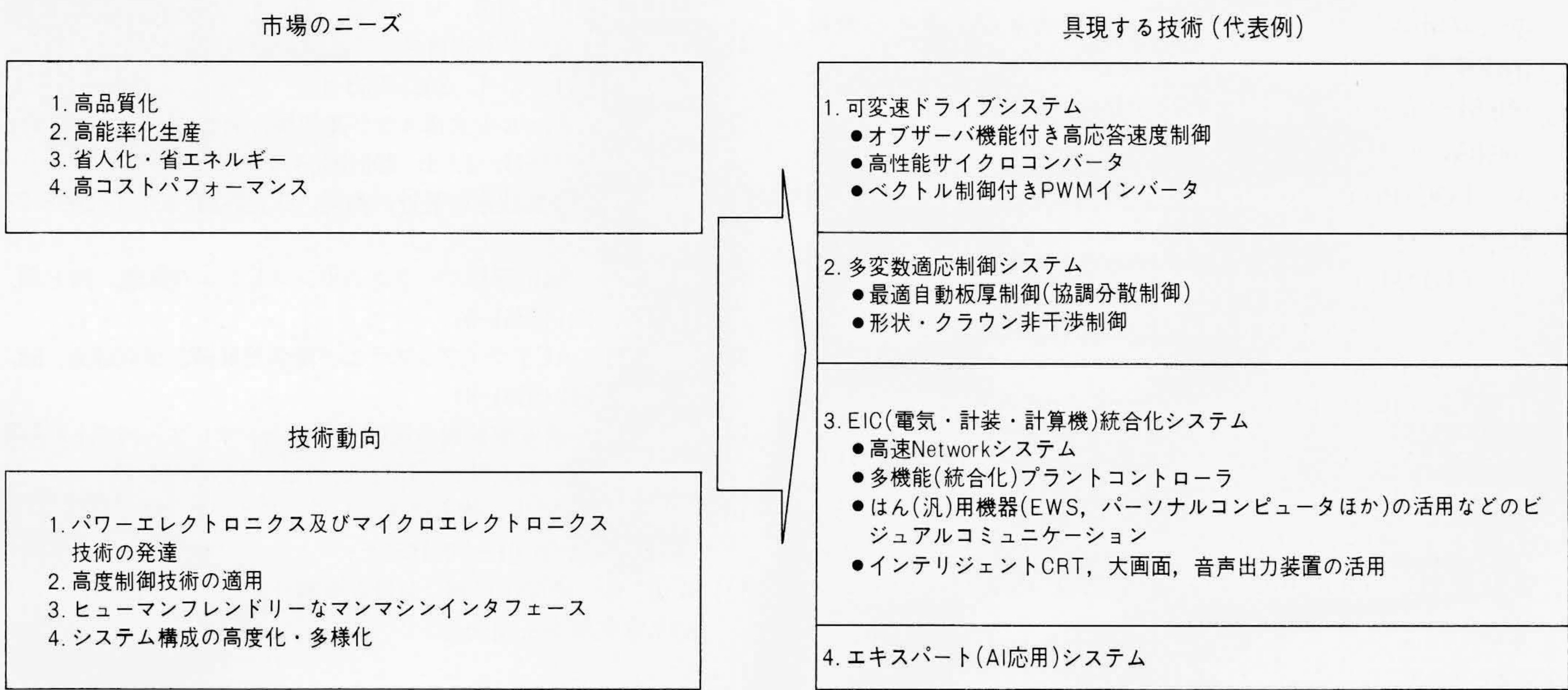
以下に代表的な新技術とその動向を紹介する。

6.1 可変速ドライブシステムの進歩と動向

ドライブシステムの世界的傾向として、デジタル化とAC化がある。デジタル化は最近急速に進歩したマイクロプロセッサの採用に負うもので、現代制御理論の適用を容易にし、かつ制御の高度化を促進した。その一例として全デジタル化速度制御システムがあり、熱間圧延や冷間圧延などの既納主力設備では、近代化更新の目玉として本システムが採用され、操業面での大きな効果を発揮している。一方、保守性の改善、省エネルギーの追求などを主目的として生まれたAC可変速ドライブシステム⁸⁾もデジタル化を採用することによってベクトル制御理論の実現を容易にした。そして従来のDCドライブでは不可能であった高速・高応答化を達成し、圧延機主機への適用を拡大している。

ACドライブシステムでは、本質的に力率、出力波形の改善及び低高調波化が要求されるが、更に制御が複雑となることから、RAS(Reliability, Availability, Serviceability)機能の向上が求められる。これらに対し電子化の最先端技術を駆使することによって、質的に高度なものを実現してきた。また、価格の面でもコストパフォーマンスは一段と向上しており、新設の圧延設備では全ACドライブ方式が標準になりつつある。

ACドライブの主回路を構成するパワーデバイスの分野では、



注：略語説明
PWM(Pulse Width Modulation), CRT(Cathode Ray Tube), AI(Artificial Intelligence), EWS(Engineering Work Station)

図8 市場ニーズとその具現する新技術 市場のニーズに対し技術動向を踏まえ、システム技術としていかに具現するかを示す。

パワートランジスタ、GTO(Gate Turn Off)サイリスタやSI(Static Induction)サイリスタなど自己消弧形パワーデバイスの大容量化が目覚ましく、なおいっそうの高周波化、モジュール化が進んでいる。また、高性能センサの出力信号処理や各種現代制御理論に基づく手法の実用化のためのマイクロプロセッサも、LSI技術の進歩とともに集積度、演算速度が向上し、高速・高機能化が進んでいる。一方、使い勝手の面で速度や電圧センサを不要にした、よりはん(汎)用性を高めた方式⁹⁾や、初期調整を容易にするオートチューニングシステムの実用化¹⁰⁾などを図っている。

6.2 制御システムの新技术

鉄鋼業界での制御システム技術には、最先端技術がいち早く採り入れられ、各々著しい成果を挙げてきた。特に高性能のマイクロプロセッサの採用によって、以前には考えられなかった高度で複雑な演算が高速で行われ、また大量のデータ処理が可能となり、制御システムは年々歳々急速に進歩を遂げている。

最近の技術動向として新技术例と課題をあげると下記のものがある。

- (1) 多変数適応制御を応用し性能の大幅向上に貢献しているもの
 - (a) 軸振動抑制制御に代表されるオブザーバ理論適用による高性能ドライブシステムへの支援
 - (b) タンデム圧延機での自動板厚制御(協調分散制御)¹¹⁾システム
 - (c) クーラント制御ほかによる冷間圧延形状制御システム
 - (d) 熱間圧延仕上圧延スタンド間ルーパの高さと張力の非干渉制御システム
- (2) システム構成の新しい指向であるEIC(電気・計装・計算機)統合化システムの新技术及び課題
 - (a) 自律分散システムの基本コンポーネントとしてのHIDIC V90/5シリーズ
 - (b) 設備規模に応じたネットワーク構成を可能とする情報伝達技術〔TRUNKNET-32(32 Mバイト/s), $\mu\Sigma$ NET-E(10 Mバイト/s), $\mu\Sigma$ NET(1 Mバイト/s), 高速BUS結合(50 kW/s)〕
 - (c) POC(Process Operator Console)用マンマシンの統合化
 - (d) EI及びEICコントローラの開発
 - (e) モジュラー形ソフトウェアアーキテクチャ(自律分散アーキテクチャ)
 - (f) はん用機器〔EWS(Engineering Work Station), ニューメディア機器, パーソナルコンピュータ, 画像処理〕技術の有効活用
 - (g) EWSによるソフトウェアの自動生成及び管理システム〔MICA(Modular Integrated Control Architecture)システム〕

(3) エキスパート(AI応用)システムとして実用化されたもの、又は期待されているもの

- (a) 各種設備診断システム
- (b) プロセスのタフネス化システム(リトライ機能, 原点復帰運転などによるハンドリングの完全自動化ほか)
- (c) Fuzzy制御による形状制御
- (d) 数式モデル化困難なプロセス挙動を操作経験に基づいて推論し制御するシステム「炉プロセス制御」
- (e) 初めてプロセスコンピュータシステムに携わる人向けの教育用ガイドシステム「プロコンエイド」

7 結 言

以上、最近の圧延設備に関する主な新技术について紹介した。

鉄鋼業を中心とした金属産業では、今後とも省エネルギー・高効率圧延に対するなおいっそうの技術開発が必要である。このためには、工程の省略あるいは連続化が最も効果を発揮することが、冷間帯板製品製造プロセスでのデスケーリングと冷間圧延の二つの工程を連結した設備を実現することによって証明された。今後は熱間圧延製品製造プロセスでも、薄スラブ連続鋳造機などの完成によって、工程の省略及び連続化を進める予定である。

しかし、このような大形かつ高度な技術を、設備メーカーだけで完成させることは困難であり、関係顧客の絶大な指導と協力を要請する次第である。

参考文献

- 1) K.Emoto, et al.: Restructuring Steelplants for The Nineties, 15.1~15.5(May 1986)
- 2) 小林, 外: 熱間仕上用6段圧延機の圧延特性, 第34回塑性加工連合講演会, 197~200(昭58-11)
- 3) 中西, 外: 熱間板圧延におけるワークロールシフトミルHCW-MILLの適用と効果, 日立評論, **67**, 4, 275~280(昭60-4)
- 4) 江本, 外: 双ベルト式薄スラブ連鋳設備実証機の設備と操業, CAMP-ISIJ, 1, 1, 292(昭63-4)
- 5) 藤井, 外: 双ベルト式薄スラブ連鋳鑄片および直接圧延材の品質, CAMP-ISIJ, 1, 1, 293(昭63-4)
- 6) 梶原, 外: 圧延技術の最近の動向, 日立評論, **67**, 4, 269~273(昭60-4)
- 7) 石原, 外: 福山厚板ワークロールシフトミルの操業, 鉄と鋼, 72, 12, 321(昭61-9)
- 8) 斎藤, 外: ACドライブシステムの現状と展望, 日立評論, **68**, 8, 609~612(昭61-8)
- 9) 奥山, 外: 誘導電動機の世界・電圧センサレス・ベクトル制御法, 電気学会論文誌D, 107, 2, 191~198(昭62-2)
- 10) 藤本, 外: ベクトル制御のオートチューニング, 回転機研究会, RM-85-26, p.61~70(1985)
- 11) 片山, 外: 冷間圧延機における協調分散制御の基礎検討, 昭和63年電気学会全国大会