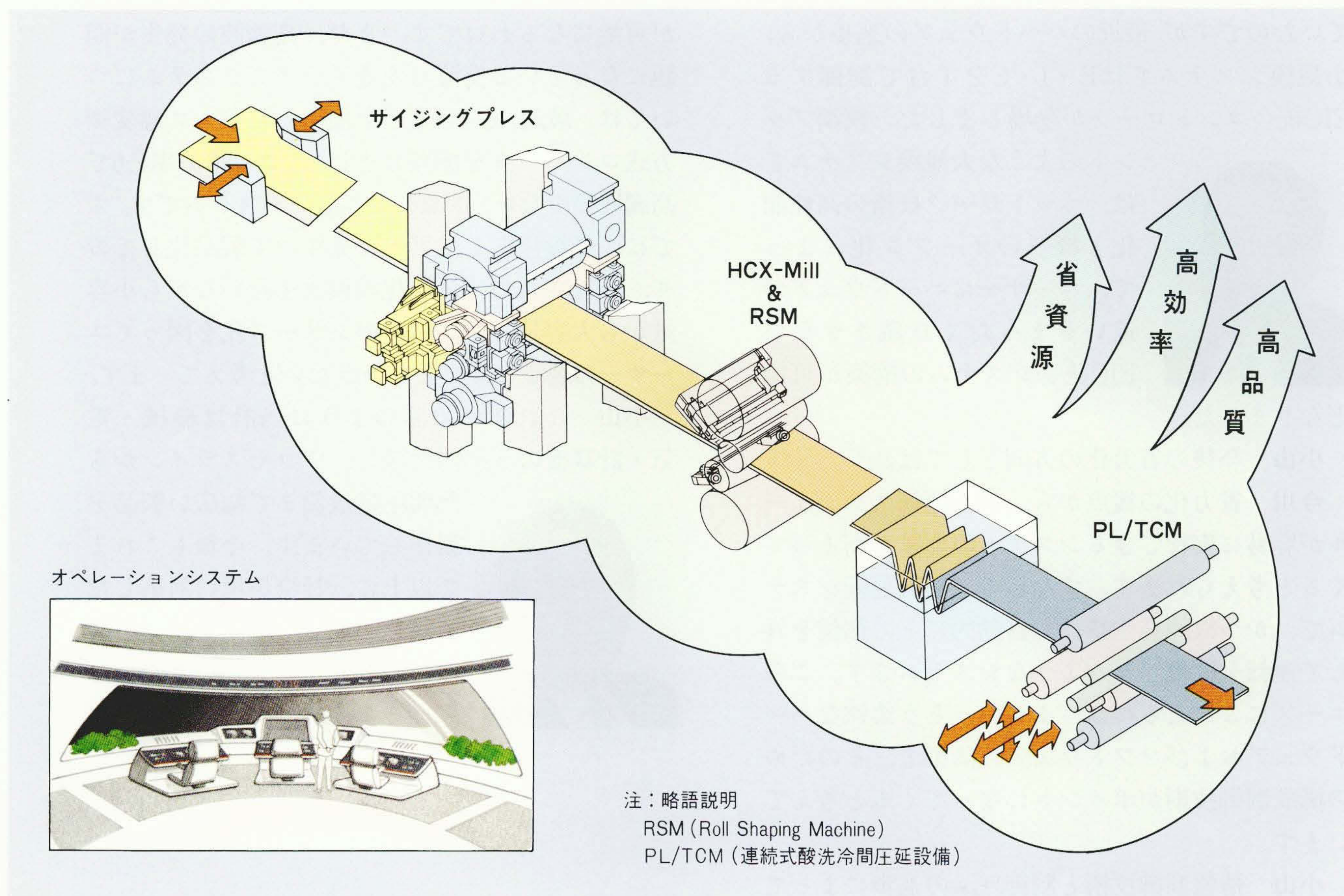


生産効率と品質向上を目指す圧延設備の動向

Trends of Rolling Mills for Productivity and Quality Improvement

梶原利幸* Toshiyuki Kajiwara
小山 紘** Hiroshi Koyama
長島重和*** Shigekazu Nagashima
清水五雄**** Itsuo Shimizu



圧延設備における新技術 HCX-MILL, RSMなどの新技術開発, PL-TCMなど工程の連続化およびEIC統合, 大規模情報ネットワークシステムなどによって省資源, 高効率生産, 高品質の実現を目指している。

最近の圧延設備に対する要求は昨今の社会環境を反映していると思われる。生産性の面では、省エネルギーやリサイクルなど省資源への対応技術および操業性の向上と省力・省人化を目的とした各設備間の連続化などの生産効率向上技術が求められている。

一方、製品品質の面では、板厚、板クラウン・形状のよりいっそうの高精度化技術および軽量化・新用途材対応の薄物・硬質材の高精度、高効率圧延技術、さらには表面品質向上への技術が望まれている。

日立製作所はこのようなニーズに対応するため

に、熱間圧延分野では品質・生産性の向上を目的としたHCX-MILL^{*1)}およびRSM^{*2)}を開発した。冷間圧延分野では省人化、生産効率向上のための設備連続化、自動化技術を確立し、また薄物・硬質材圧延での高精度・高効率圧延をねらいとしたKZR-MILL^{*3)}の開発に挑戦した。一方、電機設備分野でも生産性、操業性の飛躍的向上を目的として、EIC (Electrical, Instrumentation and Computer) 統合、大規模情報ネットワークシステム、さらに運転ソフトの自動生成システムなどの新技術を確立した。

* 日立製作所 機電事業部 工学博士 ** 日立製作所 機電事業部 *** 日立製作所 日立工場 **** 日立製作所 大みか工場

1 はじめに

平成4年のわが国の粗鋼生産は、国内需要動向を反映して円高不況以来5年ぶりの1億トン割れとなった。鉄鋼業界は、このような状況下でいっそうの生産効率向上を図ったり、また高度化・高効率物流システムによる省力・省人化を推進してきた。

圧延設備投資関連もこの流れに対応し、設備更新・集約や省力・省人化のための設備と電機システム、物流システムなど生産性効率の向上を図ってきた。圧延製品の面でも品質を向上させるための設備投資が着実に行われている。一方、省資源、省エネルギーの観点から、高炉・転炉による製鋼法からスクラップを原料とする電気炉を用いた製鋼法による小規模な熱間圧延設備へのニーズが高まってきている。

上記の設備ニーズに対する具体的項目としては、

- (1) SFR(スケジュールフリー圧延)技術の拡大、工程の連続化、操業性の向上など生産効率の向上
 - (2) 省資源、省エネルギーや操業のフレキシビリティ向上のための設備のダウンサイジング化
 - (3) 自動化および操作性・保守性の向上による省力・省人化
 - (4) 圧延製品の高品質化
- などがあげられる。

ここでは日立製作所が、これまで蓄積してきた技術と新技術を適用し、上記ニーズに対応して開発した製品を中心に圧延設備の技術動向について述べる。

2 熱間ストリップ圧延設備

2.1 生産効率向上への対応

熱間ストリップ圧延設備での重要課題は、ここで消費される膨大なエネルギーの節約技術、操業率向上のための技術、そして板製品品質向上技術などである。省エネルギー促進のためには、連続鋳造設備から下工程の熱間圧延設備までを連続鋳造スラブを滞留させずに送り込む

こと、すなわち直行化率の向上が必要である。

日立製作所は、これまで直行化率向上を支援する設備として、サイジングプレスやHCW, HCMW-MILLなどを開発しSFRの拡大に寄与してきた。

これらに加えて、よりいっそうのSFR技術の拡大とロール組替回数の低減による生産性向上、および板クラウン制御、表面品質の向上というニーズに対応するため開発したのがロールをオンラインで研削する日立新方式グラインダRSM(Roll Shaping Machine)である。このRSMは圧延中に高効率かつ安定な研削を達成するため、圧延中のロール振動などの外乱を弾性変形によって吸収する新構造を採用し、従来困難とされていたCBN砥石の適用を可能としたものである。これまでのグラインダに比較して外乱に強く、長寿命化およびハイス系ロールの研削も可能である。

RSMは熱延仕上ミル用としてだけでなく、粗ミル用、厚板ミル用、その他へも適用拡大を図ることができる。

2.2 製品品質向上への対応

日立製作所はこれまで、前段スタンドはHCW-MILL、後段はHCMW-MILLおよびHCW-MILLで構成し、SFRを可能とする設備を納入してきた。一方、より薄く、硬い板製品の作り込みに対して、前段でのクラウン制御能力の拡大が要望されてきた。前段をもHCMW-MILLとすることは作業ロール小径化が困難なため圧延機が大型となり、特に改造の点では得策でない。そこで4段ミルでHC-MILL, HCMW-MILLの機能を追求して開発したものがHCX-MILL(図1参照)であり、さらに作業

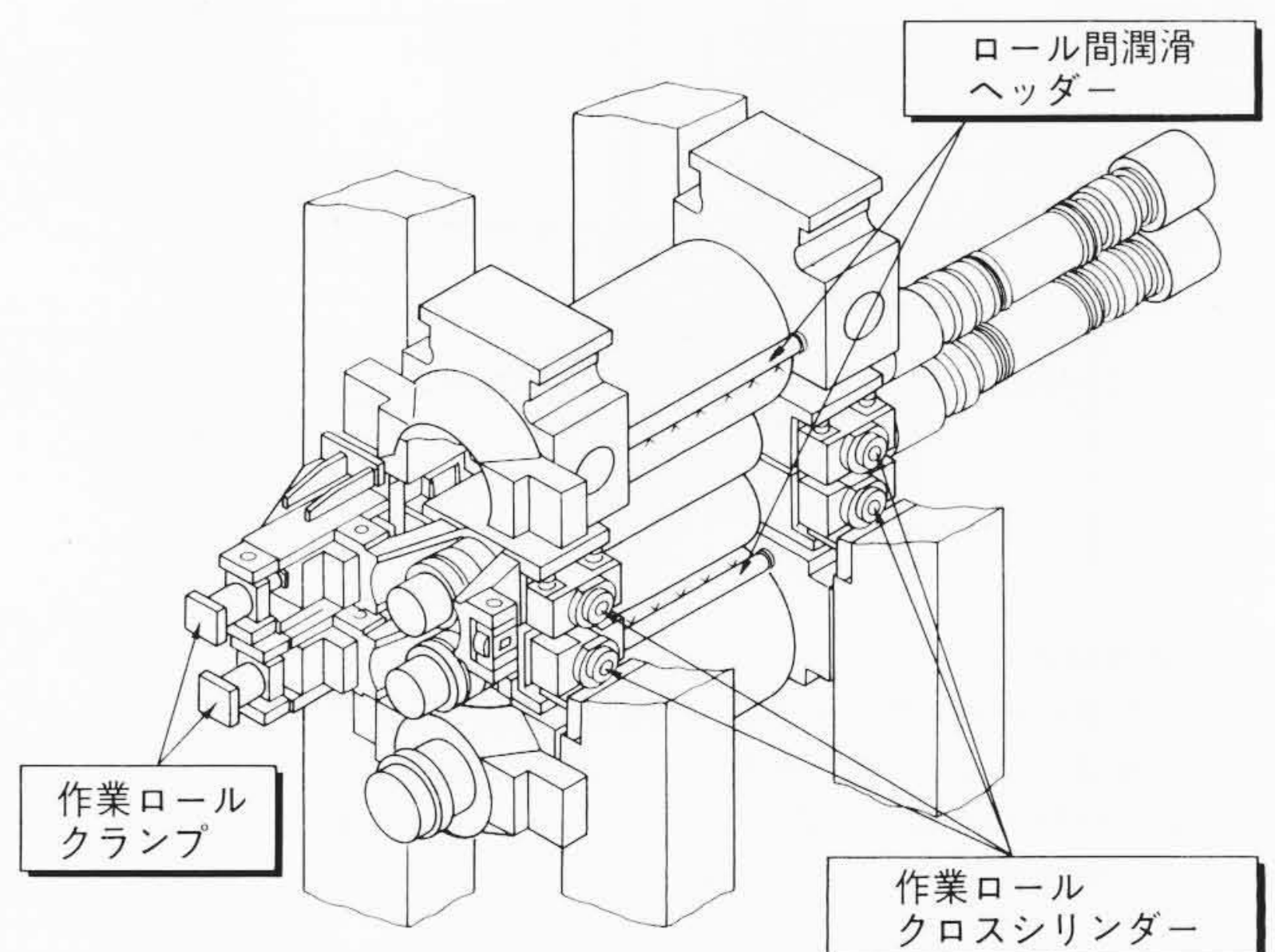


図1 HCX-MILLの構造 HCX-MILLは、高機能を持ちながら構造はシンプルであり、新設はもとより改造にも適している。

※1) HCX-MILL: High Crown Control Work Roll Cross Millの略で、作業ロールだけがクロスする圧延機である。

※2) RSM: Roll Shaping Machineの略で、ロールをオンラインで研削する装置である。

※3) KZR-MILL: 従来ZRに比べ新機能を付与し、形状制御能力拡大を図ったミルである。

ロールシフト機能を付与したものがHCXW-MILLである。

2.2.1 HCX-MILLの原理と実証

上下作業ロールをクロスして、板クラウンを制御する技術は古くから知られている。この技術を4段ミルに適用する場合、作業ロールだけをクロスさせると補強ロールとの間に過大なスラストが発生し、機械強度などの面で問題が生じるので、実用化は不可能とされていた。これを避けて実用化に成功したのがペアクロスミルであり、補強ロールも作業ロールと並行にペアでクロスさせる方式である。作業ロールだけ単独でクロスすることが可能となれば構造も簡単となり、圧延中のクロス角制御も容易に行えるのできわめて望ましいと言える。

日立製作所は、これまでのHC-MILLでの多数のテストのうち特に次に述べる体験から、作業ロールだけのク

ロスが可能であることを確信した。

- (1) ロール間クロスによる滑り状態はHC-MILLの圧延中のロールシフトと同じであり、冷間圧延では、そのスラスト力は圧延荷重の5～6%と小さい。
- (2) 作業ロールだけクロスさせると、作業ロールが補強ロールおよび圧延材から受けるスラスト力方向は互いに反対方向となるため、作業ロールのスラスト力は小さい。
- (3) 板かみ込みのためにはロールの潤滑は回避すべきであるが、冷間圧延に使用する油と同系統の低粘度油は高温材に対して潤滑性を消失するという可能性があること、また油の供給をしり抜け直前に止めても補強ロールに残留している油膜の短時間保持も可能性があることから潤滑を回避しなくても解決できることがわかった。

開発に際しては、上記確信に基づいて鋭意取り組んだ。上記(1)、(2)を立証するテスト結果を図2に示す。また、低粘度潤滑油の使用によって比較的低温領域のロール間では十分な潤滑性を持っているが、高温材のかみ込み時には潤滑性が消失することを図3は示しており、(3)を立証するものである。一方、補強ロールの残留油膜が短時間保持できることもテストで確認済みである。上記以外にも多くのテストを実施し、HCX-MILLの機能性を確立した。HCX-MILLのクラウン制御能力は従来の制御ミルに比較して優れていることは言うまでもなく、加えて図4の実験結果に示すように圧延中のクロス角変更によるダイナミック板クラウン制御が短時間で容易に実現

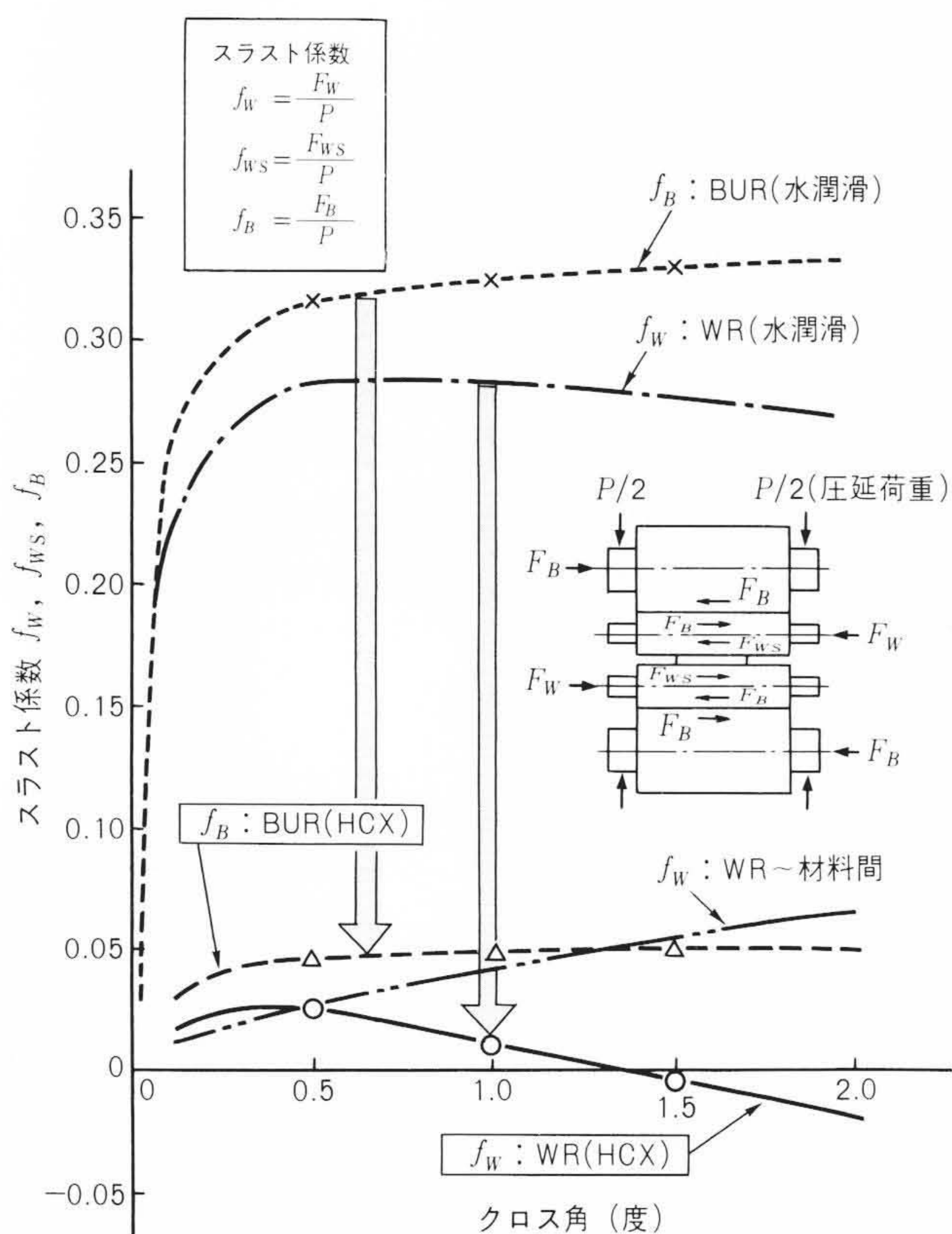


図2 HCX-MILLの原理 HCX-MILLでロール間に適正な潤滑油を供給すると、各ロールのスラスト力は、実用化レベルまで十分小さくなる。

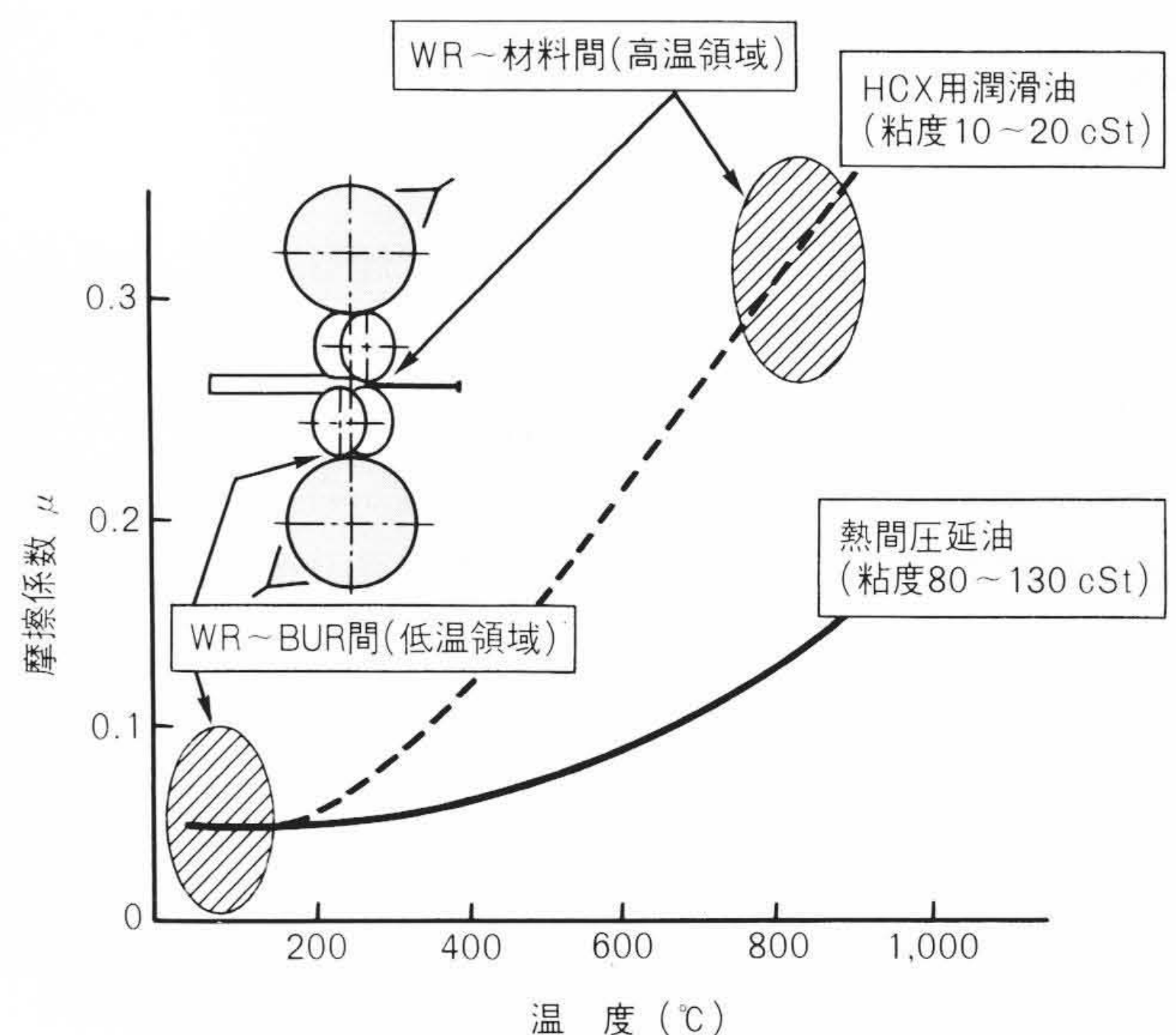


図3 HCX-MILLのロール間潤滑とかみ込み性 HCX-MILLで低粘度の適正な潤滑油を供給すると、かみ込み性を阻害せずに十分なロール間潤滑が可能である。

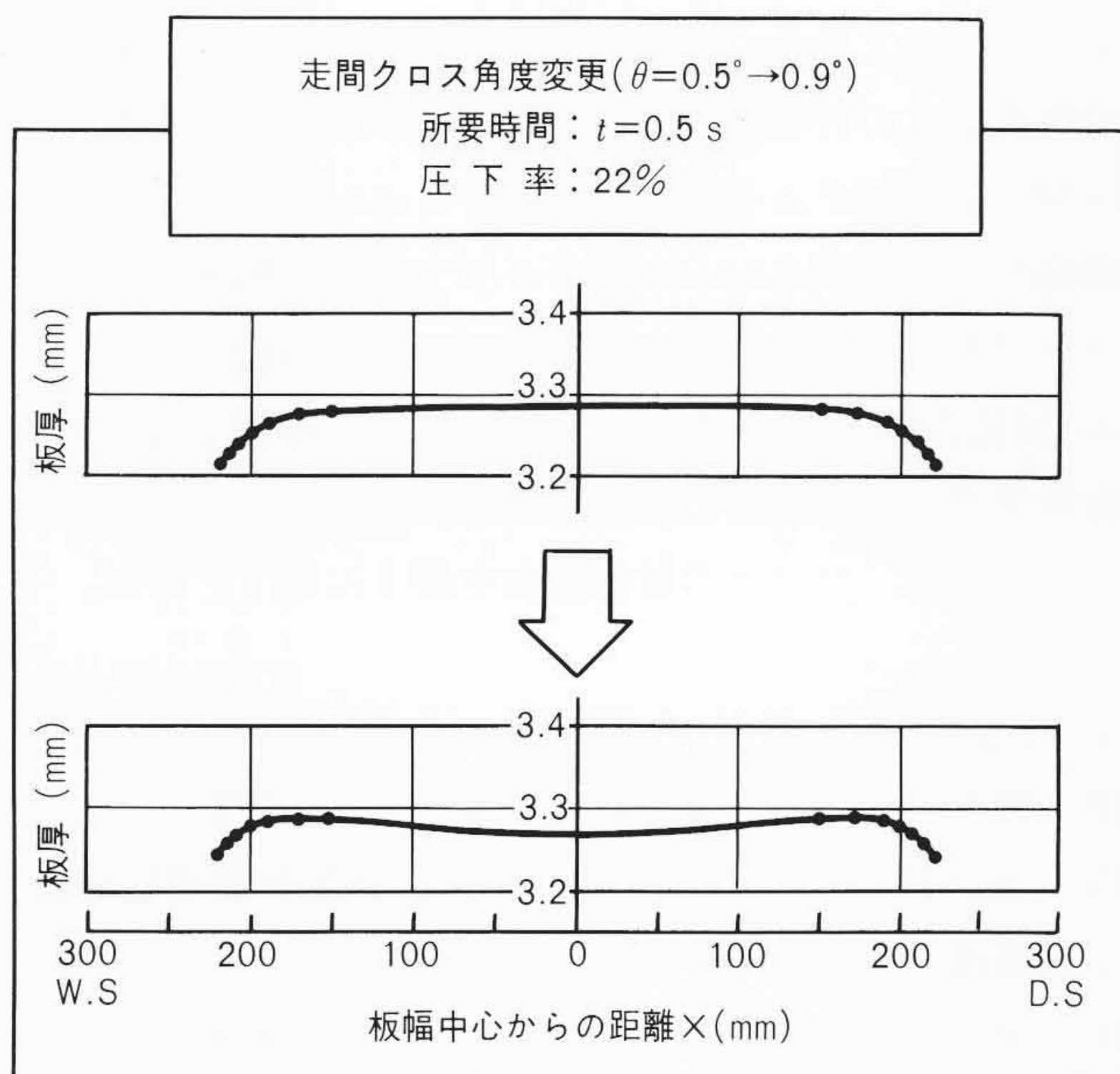


図4 HCX-MILLによるダイナミック板クラウン制御 HCX-MILLでは圧延中のクロス角変更によるダイナミック板クラウン制御が短時間で容易にできる。

できることは大きなメリットである。

2.2.2 HCX-MILLの応用

当初、HCX-MILLは熱間圧延仕上ミルの前段スタンドを主体に開発したものであるが、圧延中、自在にクロス角を変更して板クラウン・形状制御が可能であることから後段にも適している。また、作業ロールシフト機能を付与させたり、前述のRSMと組み合わせることによって、理想的なSFRの実現を可能にするものである。

一方、冷間圧延分野への適用については、クラウン、形状、エッジドロップなどの課題に対応して各スタンドごとに、どのようなミル形式が最適であるかを十分に検討して決定することが重要である。

3 冷間ストリップ圧延設備

3.1 連続式タンデムコールドミル

近年、新設されるタンデムコールドミルは操業効率、生産性の向上、省力・省人化や労働環境改善を目的として、高度の自動化と複数工程の直結化を可能とし、停止することなく圧延できる設備が主流となってきた。

日立製作所は、上記ニーズにこたえてHYROP^{※4)}、UC-MILL、カラーゼルリール、ロールショッパ直結設備などの機械設備や交流可変速ドライブシステム、MICA^{※5)}システム、EIC統合システムなどの電機設備の新技术を開

発することにより、PL-TCM(Pickling Line-Tandem Cold Mill)やCDCM(Continuous Descaling Cold Mill)などの連続システムの実現を支援することができた。

これら連続化システムの確立によって板製品サイズの拡大、多種・多様製品への対応、板品質の向上などを可能とするとともに、操業・設備の安定化、高効率化、スキルフリー運転の実現などの高度な目標を達成することができた。

3.2 薄物・硬質材用冷間ストリップ圧延設備

近年、電子機器などの先端産業向け薄板材やステンレス鋼をはじめとする硬質薄板材では、板厚精度、板形状の高精度化に対するニーズがますます強くなっている。

日立製作所は、これらに対応できる小径作業ロールを持つ圧延機として20段クラスターミル(センジミアミル：ZRミル)および極小径UC-MILLを使用目的に応じて適用し、納入してきた。

しかし、ニーズの高度化により、ZRミルではより優れた形状制御能力の向上、設備の高生産性、省力化が求められたので、今回、これに十分こたえることができる新型クラスターミル(KZR-MILL)を開発した。KZR-MILLは従来のZRミルの小径作業ロールの安定支持による硬質・広幅の薄板材圧延可能という特長に加えて、複数のAS-U機能^{※6)}を備えることで大幅な形状制御能力の拡大を図ったものである。さらに、自動形状制御としてニューロ・ファジィ制御を採用し、容易に目標形状の達成を可能とした。

3.3 高環境性デスケーリング

前述のように最近の冷間圧延設備では、PL-TCMやCDCMなどの工程の連続化が主流となってきている。このうち、デスケーリング設備は、高効率化や最近の環境問題を反映し、環境に優しい、すなわち作業性のよい設備であることが求められている。このようなニーズを踏まえ、普通鋼の酸洗設備に対してはメカニカルデスケーリング装置とシャロータンクを組み合わせた高速デスケ

※4) HYROP: Hydraulic Roll Positioning Deviceの略で、圧延機用の油圧圧下装置である。

※5) MICA: Modular Integrated Control Architectureの略で、モジュラーコンセプトに基づいたドキュメントおよび生産支援システムである。

※6) AS-U機能: ZRミルの形状制御手段の一つで、バックキングベアリングを自在に曲げることによって形状を制御する機能である。

ーリング装置を開発してきた。さらに高速化を図るために、板材と酸洗槽の間隔を狭くし、酸液を乱流状態で高速流動させて酸洗速度を向上させる高速酸洗装置を開発した。

一方、ステンレス鋼に対しては従来のソルトバス方式が持つ作業性や作業環境上の欠点を解決する低温プロセス(中性塩電解法)を開発し、多くの実績を得ている。さらに、近年のステンレス鋼の薄板化と多様化に伴う脱スケールのいっそうの向上の要求に対して中性電解後にアルカリ電解を施し、後処理として硝酸電解を実施することによって新高性能プロセスを開発した。このプロセスは従来方式による処理速度に比べて格段に優れている。

4 電気システムの動向

近年、電気システムは光サイリスタ、GTO(Gate Turn off Thyristor)、IGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)などのパワー半導体技術と高密度メモリ、高速マイクロプロセッサなどのコンピュータの著しい技術革新により、高速・高機能ドライブシステム、コンピュータシステムが開発されつつある。日立製作所は業界に先駆けて全デジタルドライブシステム、GTOインバータなどを開発、製品化して安定で高精度なシステムを提供してきた。さらに、各種プロセスにはファジィ、ニューロ、

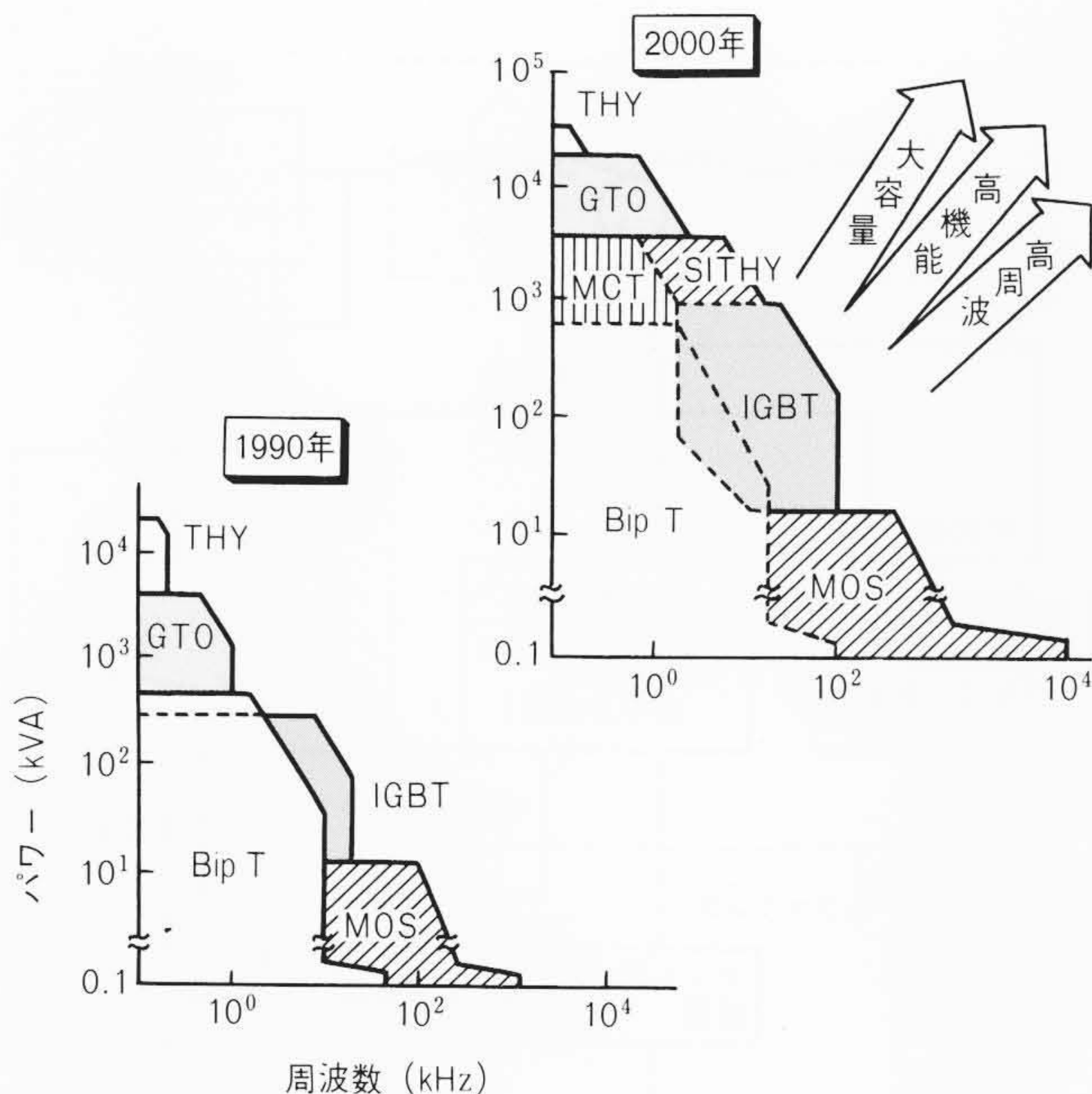
多変数適応制御などを積極的に採用し、鉄鋼製品の品質向上に努めてきた。また、熟練技術者の不足、労働条件の改善などの社会環境の変化に対し、高機能化されたマンマシンシステムを開発した。シミュレーション技術の開発などによるエンジニアリング力向上、膨大化するソフトに対しては、業界に先駆けてソフト自動生成システム(MICA)を開発した。3 K対応などに対しては日立製作所デザイン研究所の参画による快適空間を提供してきた。ハード、ソフトの技術動向を表1に示す。なお、今後は、

- (1) EIC(電気・計装・計算機)の総合化とオープン化
 - (2) マンマシンの高機能化とマルチメディア化
 - (3) コンピュータのダウンサイジング化と高速LANによる高速ネットワーク化
 - (4) ソフト自動生成と高機能モニタリング技術
 - (5) オペレーションからマネジメント技術(品質管理・生産管理・保守管理)への移行
 - (6) 高品位(精度、応答、高保守性など)でクリーンな駆動システム
 - (7) ファジィ、ニューロ、シナジェティック制御などによる製品の高品位化
- などの開発、製品化が進むと思われる。次に、日立製作所の主要技術であるドライブシステムと制御システムに

表1 鉄鋼電気品技術動向 電気、計装、計算機の技術進歩は著しいものがあり、今後ますます高性能、高機能化される。

No.	項 目		'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95
1	EIC 統 合	PI/Oインタフェース	EIC単独			LAN結合、EIC共有					
		マ ン マ シ ン	EIC単独			EIC共有					
2	ソ フ ト (MICA)	ソ フ ト 生 成	手造り	自動		自動+RAS機能					
		プ ロ グ ラ ム モ ニ タ	ローカルツール			操業CRT					
3	操 業	運 転 デ ス ク	スイッチ	スイッチ CRT		タッチパネル CRT		情報集中 CRT			
4	ド ラ イ ブ	性 能	±0.05% 20 rad/s			±0.01% 60 rad/s					
5	制 御	制 御 技 術	古典	多変数		ファジィ		ニューロ		シナジェティック	
6	ハード技術	プ ロ セ ス 計 算 機	V90/50		V90/65		V90/75		V90/55		
		P L C (H04M)	DG		DGX		HGX		IX		
		L A N	1 Mビット/s		32 Mビット/s		100 Mビット/s		300 Mビット/s		
		M M I (周波数)	24 kHz			64 kHz			72 kHz		
		ド ラ イ ブ	36アーム サイクロ		72アーム サイクロ		高機能72アーム サイクロ		GTO		

注：略語説明
MICA (Modular Integrated Concept Architecture)
EIC (Electrical, Instrumentation & Computer)
PI/O (Process Input/Output)
MMI (Man Machine Interface)
GTO (Gate Turn off Thyristor)
RAS (Reliability, Availability, Serviceability)



注：略語説明

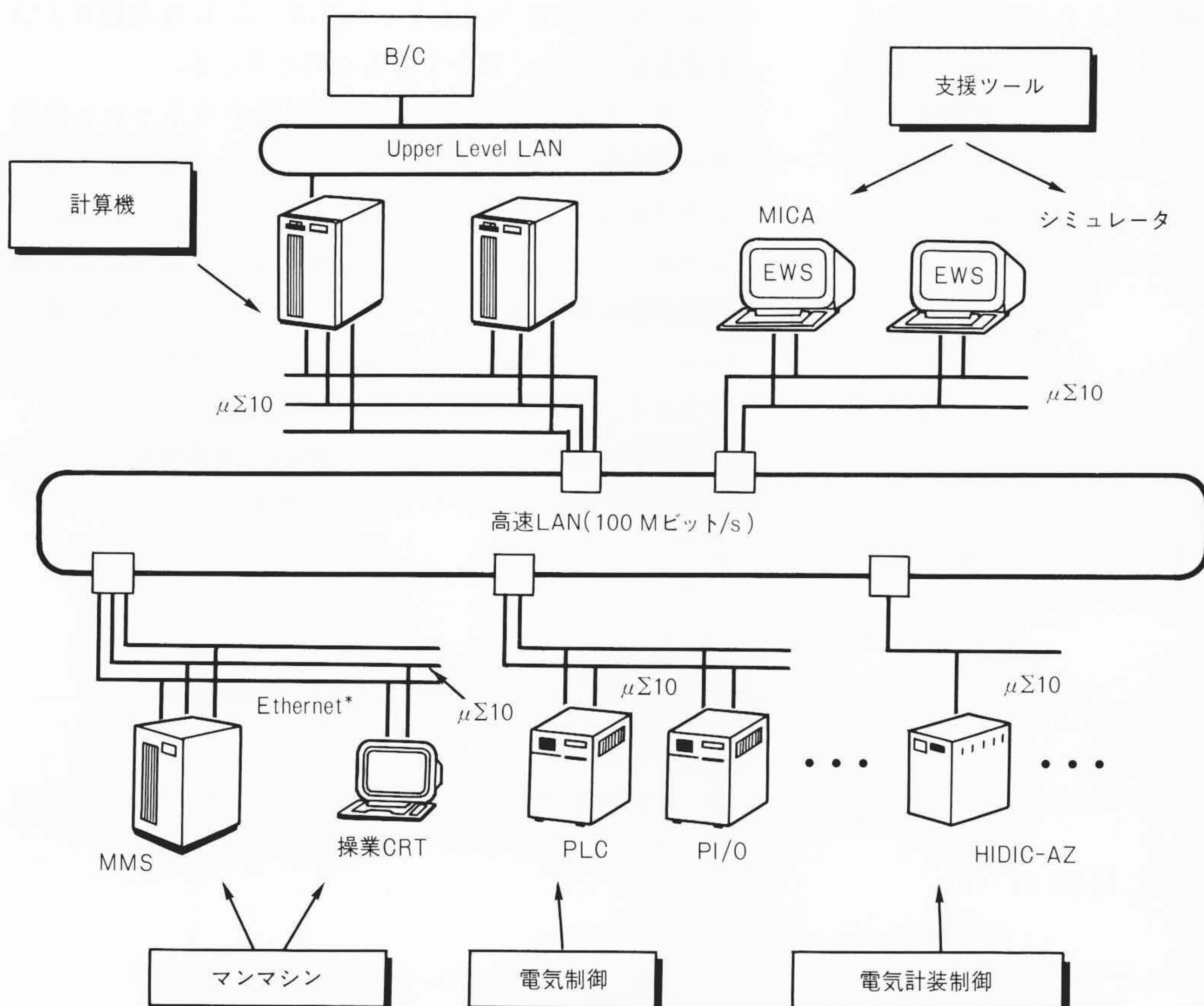
THY (サイリスタ), IGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)
Bip T (バイポーラトランジスタ), MCT (MOS制御サイリスタ)
SITHY (静電誘導サイリスタ), MOS (MOSトランジスタ)

図5 パワー半導体の技術動向 2000年までにIGBT, GTOを中心に高速・大容量パワー半導体が大幅に伸びる。

について述べる。

4.1 ドライブシステム

交流可変速ドライブシステムの進歩は、半導体パワー素子の進歩とマイクロプロセッサ、および制御技術の進歩によって著しく進歩した。半導体パワー素子の技術推移を図5に示す。半導体パワー素子は、大別して大容量光サイリスタ、GTOと中容量のトランジスタおよびIGBTで構成している。大容量GTOは、6 kVの3 kA, 4 kA素子と高効率冷却技術としての水冷化が採用され、最大1万kWまでが実用化されつつある。一方、IGBTは高圧・大容量の2 kV, 600 A素子が採用されインバータ容量で1,000 kVAまでが実用化されつつある。日立製作所は、これらの素子を適用したドライブシステムのシリーズ化を製作し、世界に先駆けて総容量8,200 kWのコールドミルを完成し、所期の成果を収めている。引き続きコールドタンデムミル用の総容量2万4,870 kWを製作中である。一方、ホットストリップミルへの適用では粗ミル用9,000 kWを製作中である。今後ますますクリーンエネルギーで、高調波の少ないGTOインバータの需要が増大するものと思われる。GTOインバータはサイクロコン



注：略語説明

EWS (Engineering Workstation)
MMS (Man Machine Server)
MMI (Man Machine Interface)
PLC (Programmable Logic Controller)
B/C (Business Computer)
* Ethernetは富士ゼロックス株式会社の登録商標である。

図6 大規模鉄鋼プラントシステム構成 ホットストリップミル、コールドタンデムミルのEIC統合システムを示す。

バータに比較して高力率(1.0), 低高調波など電源への影響を最小限に抑えた高精度(速度精度 $\pm 0.01\%$)高応答(60 rad/s)なシステムである。

4.2 制御システム

最近の制御システムはコンピュータのダウンサイジングとシステムオープン化, 高速LANで統合化されたEICシステムと協調自律分散システム, ヒューマンフレンドリーなマンマシン技術と操業, 保守をサポートする高度なシミュレーション技術とオブザーバー技術で構成している。そのシステム構成を前ページの図6に示す。

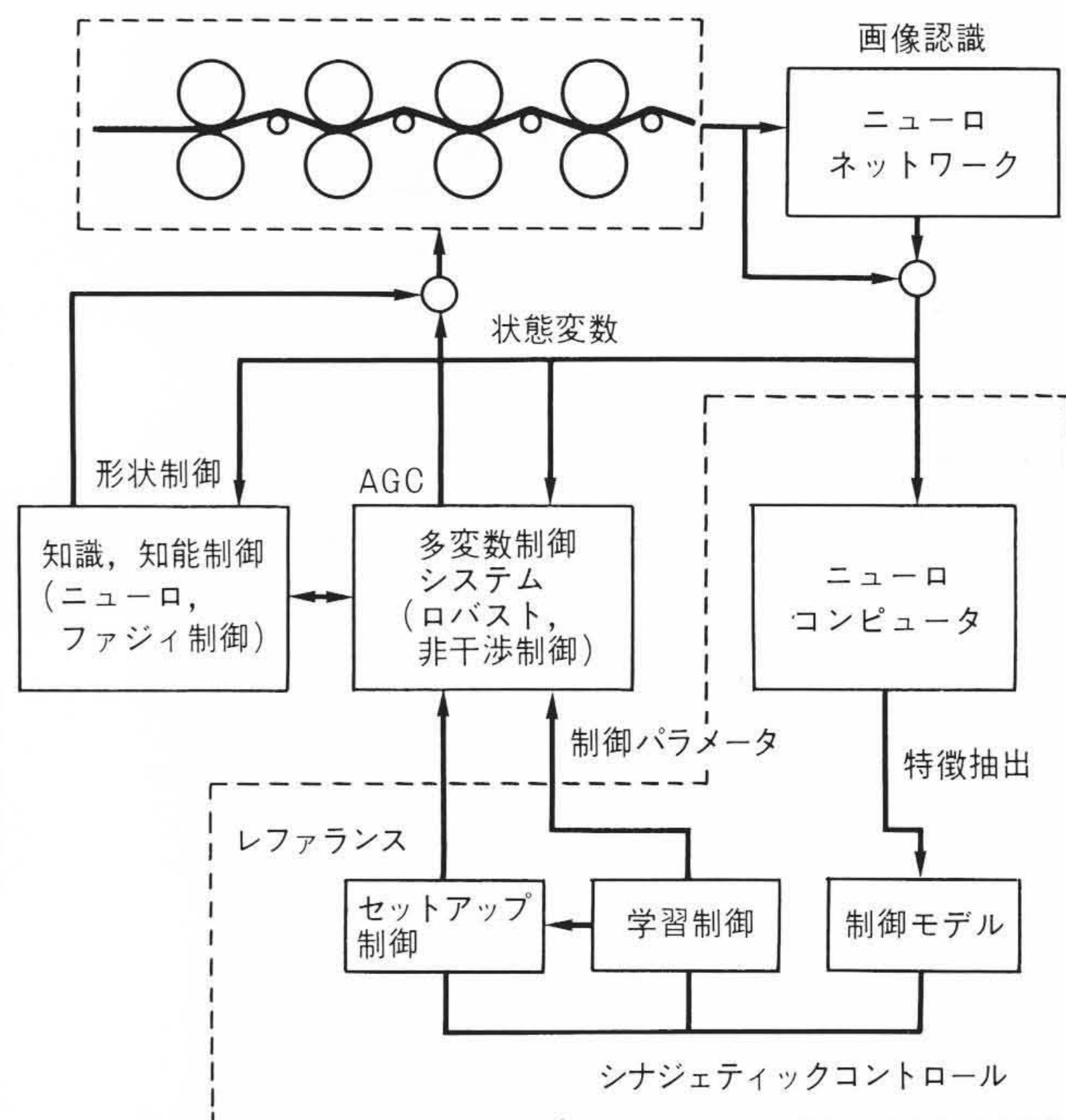
一方, 制御技術の進歩も著しいものがある。製品の高品位化ニーズにこたえ, 高精度セットアップと多変数制御によってコールドタンデムミルの板厚精度を $\pm 1\mu\text{m}$ に抑えた新AGCシステムを完成した。高速プロセスラインの炉内張力制御でも, 張力変動を従来比5倍以上の $\pm 98\text{N}$ 以下に抑える技術を確立した。さらに, ホットストリップの板厚, 形状, クラウン制御などでも, 状態認識にニューロコンピュータを, 制御にファジィ, 非干渉および多変数制御をそれぞれ導入し, またシステム統括にシナジェティック制御を採用したハイパーニューメリック制御(図7)を適用して, 従来比 $\frac{1}{2}$ 以下に抑えた制御システムを開発・製品化しつつある。

これらの制御技術は一見複雑に見えるが, オートチューニングとの併用により, 人に優しいシステムとなりつつある。これらを支える膨大なソフトに対しては高度なエンジニアリング(ソフト開発, 操業モニタ, トラブル判定など)が可能なソフト自動生成システム(MICA)を開発・製品化し, 多くの実績と高い成果をあげつつある。

5 おわりに

以上, 最近の圧延設備動向とそれに対して日立製作所が取り組んでいる新技術について述べた。

今後, 熱間圧延分野ではHCX-MILL, RSM, 冷間圧延分野ではPL-TCMなどの工程連続化技術や薄物, 硬質



注: 略語説明 AGC (Automatic Gage Control)

図7 ホットストリップミル制御システム構成 革新的な製品精度を目標としたハイパーニューメリック制御システムを示す。

材用高機能KZR-MILLなどの採用により, 生産性および製品品質の向上に寄与できるものと考ええる。

一方, 電気設備分野ではGTO採用のクリーン・高精度・高応答ドライブシステムやEIC統合, 協調自律分散システムなどで構成された高度制御システム, およびニューロ, ファジィ, 非干渉・多変数制御の導入による高機能制御技術を適用し, さらに“使いやすく, 人に優しいシステム”を構築して今後のニーズにこたえていく次第である。

設備メーカーとして常にユーザーニーズを把握し, 新技術の開発に取り組んでいく考えである。

参考文献

- 1) 日立評論: 小特集上下水道システムの新技术/圧延設備, 70, 6(昭63-6)
- 2) 日立評論: 特集 圧延設備, 72, 5(平2-5)

- 3) 日立評論: 特集 知的処理応用システム, 75, 2(平5-2)
- 4) 1992年の内外鉄鋼業: 日本鉄鋼連盟(1993-1)