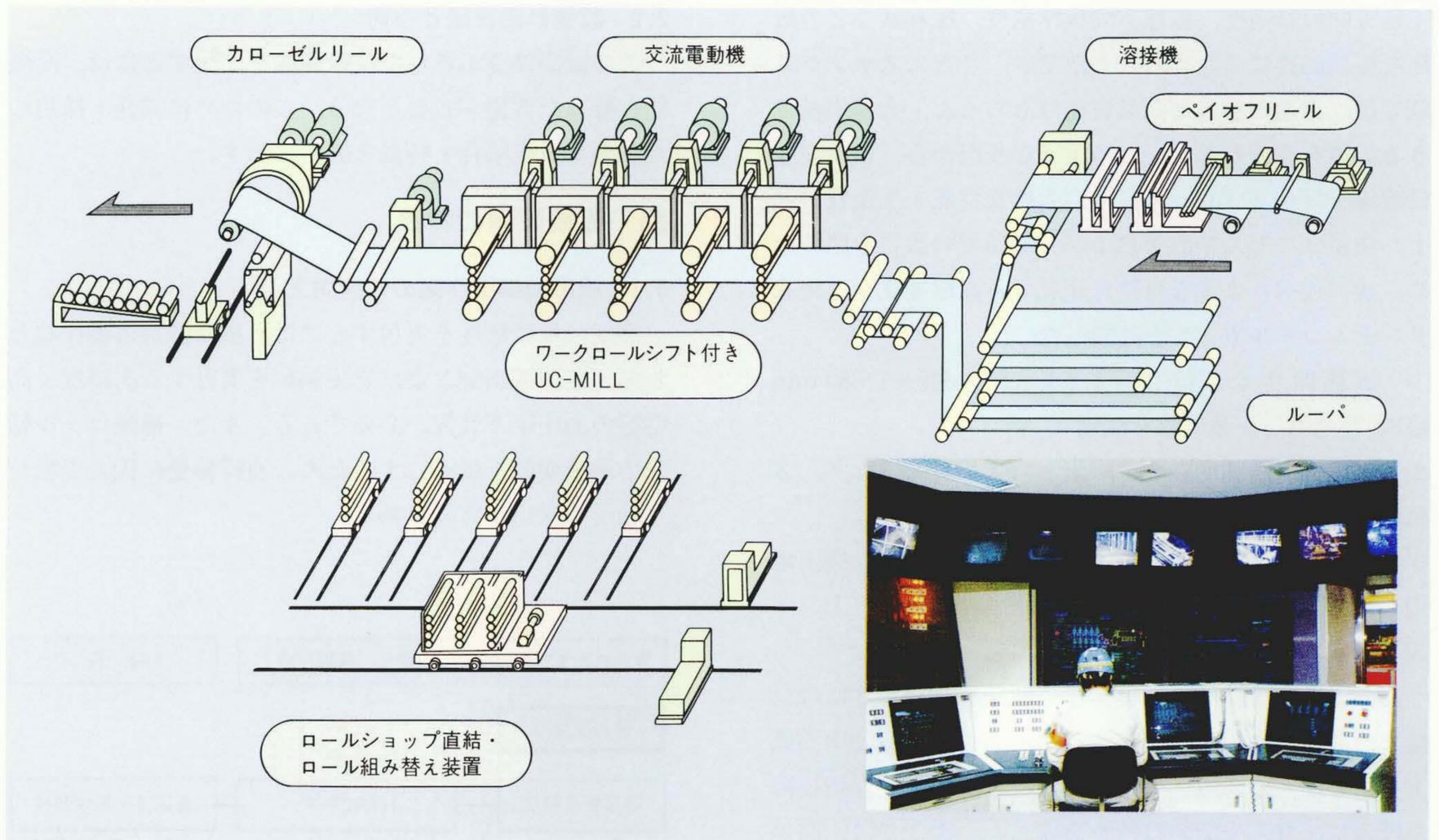


# 多目的・高機能完全連続式タンデムコールドミル

Multi-purpose, High-Functional, and Fully Continuous Tandem Cold Mill at Nippon Steel Corporation Yawata Works

藏田喜輝\* *Yoshiteru Kurata* 鈴木隆司\*\*\* *Takashi Suzuki*  
藤井岱輔\*\* *Taisuke Fujii* 斎藤 裕\*\*\*\* *Yuu Saitō*  
服部正志\*\* *Masashi Hattori* 松葉和治\*\*\*\*\* *Kazuharu Matsuba*



新日本製鐵株式会社八幡製鐵所の新冷間圧延設備全体配置と運転室(写真) 近年の板厚精度や形状をはじめとする製品品質の高度化と多様化にこたえ、旧1, 2, 3冷間圧延を統合リプレースし、大幅な生産性向上と生産構造を改善するため、高度の自動化と高機能化を図った最新鋭完全連続式冷間圧延設備の全体配置を示す。運転室は大画面、EIC(Electric, Instrument & Computer)共有のCRT導入によって情報を一元化し、ワンマン運転を可能としている。

近年新設されるタンデムコールドミルは、社会環境に対応し操業効率向上に加えて生産性の向上、および省力化・労働環境の改善を目的として、高度の自動化を図り、複数工程を直結し、停止することなく圧延できる完全連続式が主流になってきている。

日立製作所はこれらを実現するための基本となる技術として、HYROP, UC-MILL(Universal Crown Control Mill), ワークロールシフトミル, カローゼルテンションリール, ロールショップ直結設備などの機械設備, および交流可変速ドライブシステム,

MICA(Modular Integrated Concept Architecture)システム, EIC(Electric, Instrument & Computer)統合システムなどの電気設備の新技术を開発してきた。

新日本製鐵株式会社は、操業ソフトノウハウの基にこれらの技術を駆使し、21世紀へ向けての最新鋭完全連続式タンデムコールドミルを同社八幡製鐵所に完成した。この設備は1990年8月から営業運転を開始して以来、順調に稼動を続けている。

\* 新日本製鐵株式会社 技術本部 \*\* 新日本製鐵株式会社 技術開発本部 \*\*\* 日立製作所 日立工場 \*\*\*\* 日立製作所 大みか工場 \*\*\*\*\* 日立製作所 機電事業部

## 1 はじめに

新日本製鐵株式会社八幡製鐵所は、多品種の製品を生産しているが、このうち、冷間圧延製品については1950年代以前に稼動した1, 2, 3冷間圧延設備などで生産していた。しかし近年、普通鋼、電磁鋼、高強度鋼の生産で圧延方向板厚精度、板幅方向板厚精度、板形状などの厳格な製品品質にこたえることができ、さらにステンレス鋼では、用途の拡大と高品質化はもちろん、大量生産できる設備を必要とした。このような状況から、旧冷間圧延設備を統合リプレースして、大幅な性能・生産性の向上、生産プロセスの改善および労働環境の改善を図るため、次に述べるような目標を達成する高機能完全連続式タンデムコールドミルを建設した。

- (1) 広範囲サイズ(0.25~3.2 mm厚×600~1,880 mm幅)の普通鋼、高強度鋼を圧延
- (2) 普通鋼・高強度鋼・電磁鋼・ステンレス鋼など、多品種の材料を圧延
- (3) 板プロフィール、板厚精度、製品形状の高度品質圧延
- (4) 操業・設備の安定化、高効率圧延
- (5) 極限の省力化、スキルフリー運転

このように広範囲の多種多様の製品を生産するには、従来の設備技術では対応が難しく、品質や生産効率の低下を招くが、この設備ではこの章で述べるような新技術の投入により、上記の目標を達成した。ここでは、高効率で高品質製品の生産を可能にした完全連続式タンデムコールドミルについて述べる。

表1 新日本製鐵株式会社八幡製鐵所の完全連続式タンデムコールドミル主任仕様 旧1, 2, 3冷間圧延を統合リプレースして建設された設備のため、広サイズの普通鋼に加え、多種多様の材料を圧延対象としている。

項目	仕様
設備型式	完全連続式5スタンドタンデムコールドミル
生産量	147,000 t/月
圧延材材質	普通鋼, 電磁鋼, 高強度鋼, およびステンレス鋼
圧延材板厚	入側1.6~6.0 mm・出側0.25~3.2 mm
圧延材板幅	600~1,880 mm
コイル質量	入側 Max.40t・出側 Max.27.3t
コイル径	Max.2,300 mm
Max.ライン速度	入側750 mpm・ミル 1,800 mpm
ミル型式	ワークロールシフト付きUC-MILL
ミルモータ容量	30,000 kW(交流電動機)
巻取機	カローゼル式テンションリール
ロール組み替え装置	ロールショップ直結・全自動式

## 2 設備概要

### 2.1 設備主任仕様

普通鋼に加え、電磁鋼、ステンレス鋼を含む多品種材料の連続圧延を高品質、高機能で実現しているこの設備の主任仕様を表1に示す。

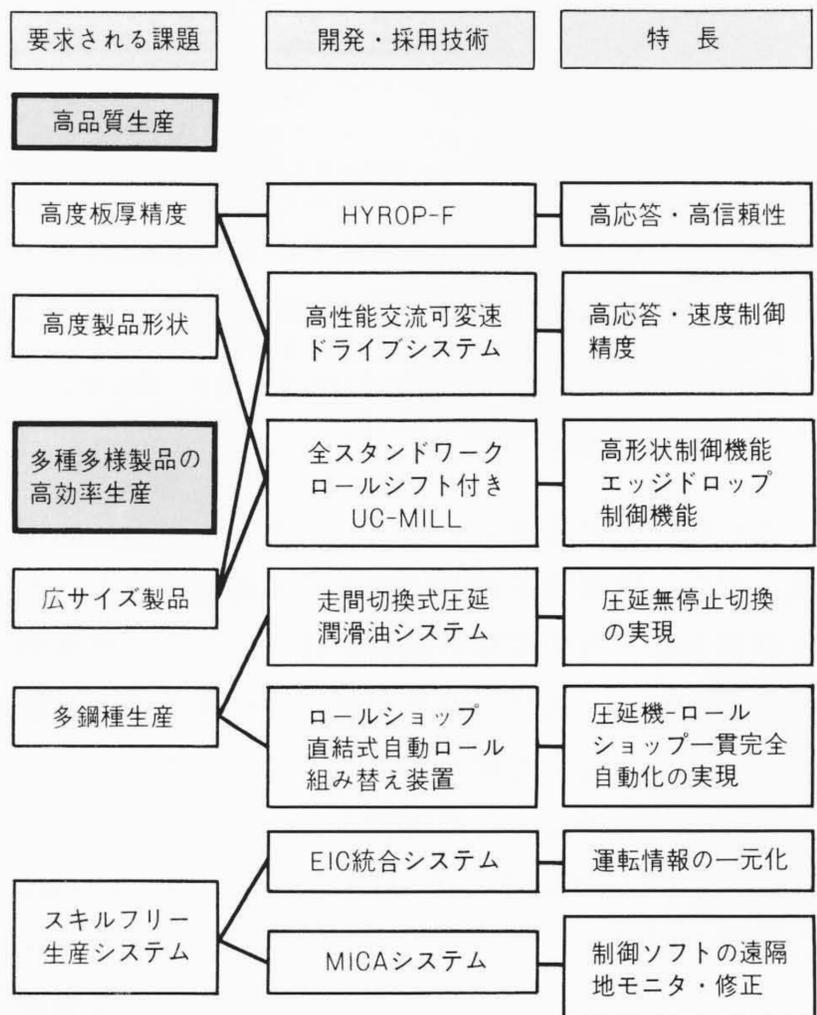
### 2.2 設備計画課題と技術

この設備に要求された技術課題を実現するには、高機能を持った設備が必要となる。このために開発・採用した主要な技術項目と特長を図1に示す。

## 3 機械設備の特長

### 3.1 板厚制御操作端の性能向上

高度の板厚精度を実現するには、板厚制御の操作端として、定位置制御および定圧制御を実行する高精度・高応答の油圧圧下装置が必要である。また、補強ロール軸受の油膜変動を最小にするため、油膜軸受に代えて転がり軸受の採用が有効である。



注：略語説明 MICA (Modular Integrated Concept Architecture)

図1 設備計画課題と実現のための主要技術 広範囲サイズの普通鋼のほか、電磁鋼、ステンレス鋼を含む多種鋼の高品質・高効率連続圧延を実現した圧延設備の高機能を支える主要技術項目を示す。

### 3.1.1 高応答・油圧圧下装置

長ストロークの圧下シリンダは、油圧圧下制御系の応答を低下させる要因となる。しかし、この設備はロール使用径範囲の拡大、およびミル内に板がある状態でロール組み替えを行うために必要な作業ロール間の間隔を大きくとるため、表2に示す長ストロークの圧下シリンダを必要とした。しかし、長ストロークにもかかわらず、次に述べる対策を講じることにより、圧下シリンダの全ストロークにわたり、同表に示すような高応答性を実現することができた。

- (1) 安定・高応答制御を阻む主要因である油圧圧下系配管のサージ圧による配管振動の解析方法を、実機設備のデータを基に確立した。この解析方法を用いて高耐振性配管・サージ圧緩衝装置の設計を行って安定運転を可能にし、制御ゲインの向上を図った。
- (2) 圧下装置を構成する圧下シリンダ、サーボバルブ、配管の流量解析を行い、圧下装置の応答を最短にする最適容量のサーボバルブを採用した。

### 3.1.2 循環給油潤滑方式補強ロール用転がり軸受

この設備の最大圧延速度は1,800 m/minである。補強ロールに転がり軸受を採用した完全連続方式タンデムコールドミルとしては、世界最高クラスの世界最高速度である。これは、新開発の循環給油潤滑方式が、従来困難であった転がり軸受の高速化を可能としたことによる。

従来、転がり軸受の潤滑にはオイルミスト方式を採用してきた。しかし、この方式は軸受の冷却性能が低く、約1,600 m/minが圧延速度の限界であった。一方、冷却性能が高いとされている循環給油方式は、メタルチョック内潤滑油のかくはん熱によって軸受が昇温する不安があり採用されていなかった。

この設備では、(1)潤滑性を確保し、かつかくはん熱を最小にする潤滑油の粘度と供給量の最適関係の解析、(2)軸受の潤滑・冷却性を保つと同時に、潤滑油のかくはん熱を最小にするメタルチョック内最適オイルレベルの設計などの総合検討を行って、高速でも軸受を低温に抑え

表2 油圧圧下シリンダ仕様と油圧圧下制御装置性能

位置制御およびマイナーループに位置制御を設けた圧延力制御ループから構成されており、それぞれ圧下シリンダの全ストロークにわたって高応答を実現した。

圧下シリンダ仕様	油圧圧下装置周波数応答
直 径：1,000 mm	定位置制御：23 Hz以上
ストローク： 317 mm	定圧制御：15 Hz以上

られる循環給油方式を開発し、採用した。

この潤滑方式と、他の潤滑方式による補強ロール用軸受温度の実績データを図2に示す。オイルミスト潤滑方式に比べ、この潤滑方式が大幅に高速圧延を可能にしている。

### 3.2 ワークロールシフト付きUC-MILL

広い板幅範囲の多種多様の製品に対して、エッジドロップ(板幅端部の形状を表し、本文のエッジドロップの数値は、板端から100 mmと25 mmの差を示している。)の改善と形状制御を同時に満足させて、安定した操業を実現するため、全スタンドにロングストローク・ワークロールシフト付きUC-MILL(Universal Crown Control Mill)を採用した。

#### 3.2.1 UC-MILL

UC-MILLは<sup>1)</sup>図3に示すように、次の3種の形状制御手段を持っており、広い板幅範囲の材料を高品質形状で圧延することができる。

- (1) 作業ロールベンダ：主に板端部の形状修正機能

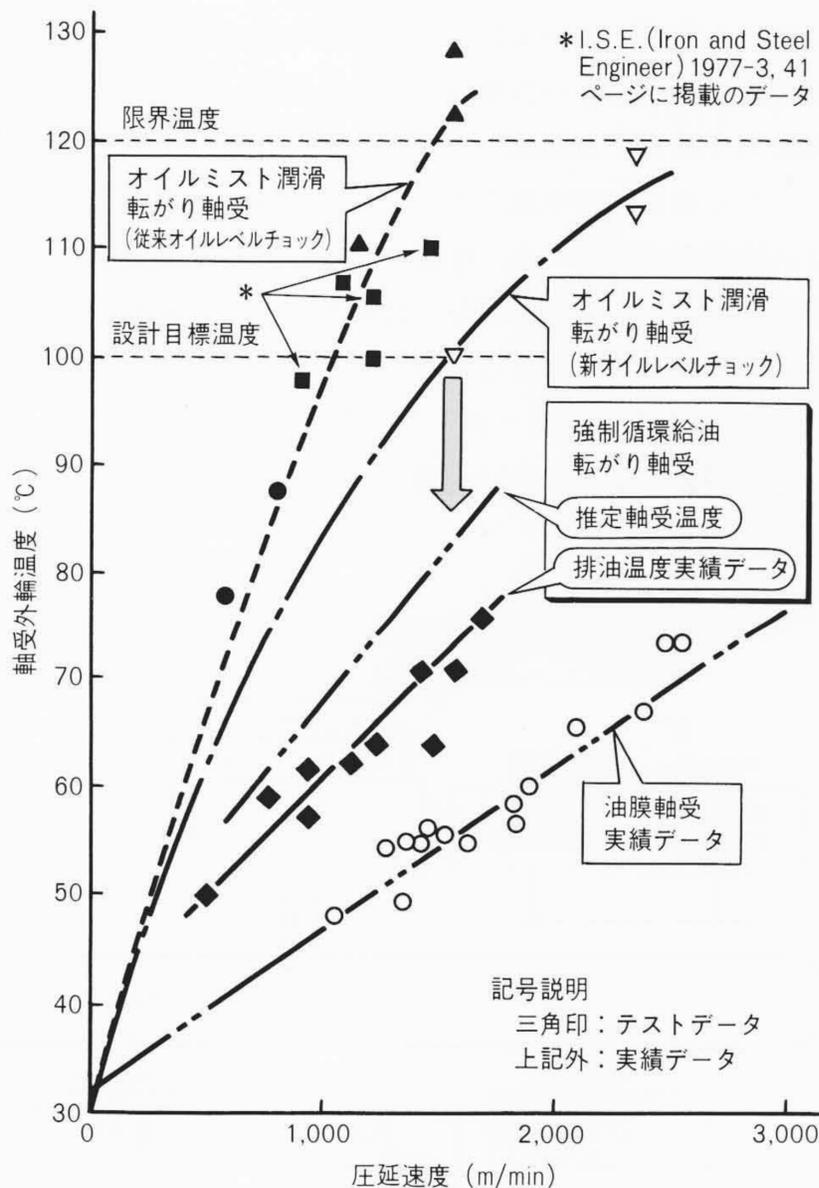
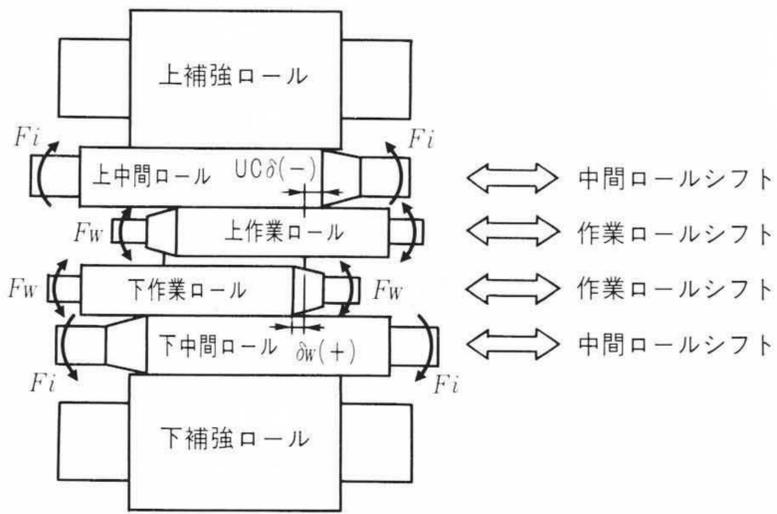


図2 補強ロール軸受温度 大型圧延機の補強ロール軸受温度を図示した。新開発の循環給油潤滑の転がり軸受は、高速ミルにも適用が可能になった。



注：略語説明 Fw (作業ロールベンダ), Fi (中間ロールベンダ), UCδ (中間ロールシフト量), δw (作業ロールシフト量)

図3 ワークロールシフト付きUC-MILL (UCMW)の概念  
作業ロールベンダ, 中間ロールベンダ, 中間ロールシフトの3種の形状制御機能を持つUC-MILLに, 広い板幅範囲に対応してエッジドロップ制御のためのロングストローク・ワークロールシフト機能を備えた圧延機を示す。

- (2) 中間ロールベンダ：板全体の形状修正機能
- (3) 中間ロールシフト：広い板幅範囲にわたって, 圧延材料から外側のロール間の有害接触を除去して圧延機の横剛性を高め, かつ作業ロール・中間ロールベンダの制御能力を拡大する機能

これらの3制御手段でサーマルクラウンなどの複合形状の修正ができるため, 作業ロール組み替え直後から作業ロールのヒートアップなしに形状のよい圧延が行え, 高効率生産に寄与することができた。

3.2.2 ロングストローク・ワークロールシフト

先の図3に示すように, 端部にテーパ部を付与した作

業ロールを板幅方向にシフトする圧延で, 大幅にエッジドロップが改善される。このミルでは製品の広い板幅範囲に対して, 高度にエッジドロップ制御ができるように, ロングストローク (650 mm) のワークロールシフトを全スタンドに採用した。このように長いストロークのシフト機構とロールベンダ機構を, 中間ロールおよび作業ロールの双方に設置することは従来困難であったが, ロールベンダを内蔵するコンパクトで剛性の高いシフトブロックをくふうすることによって実現できた。その結果, エッジドロップを従来の $\frac{1}{5}$ に削減できた<sup>4)</sup>。

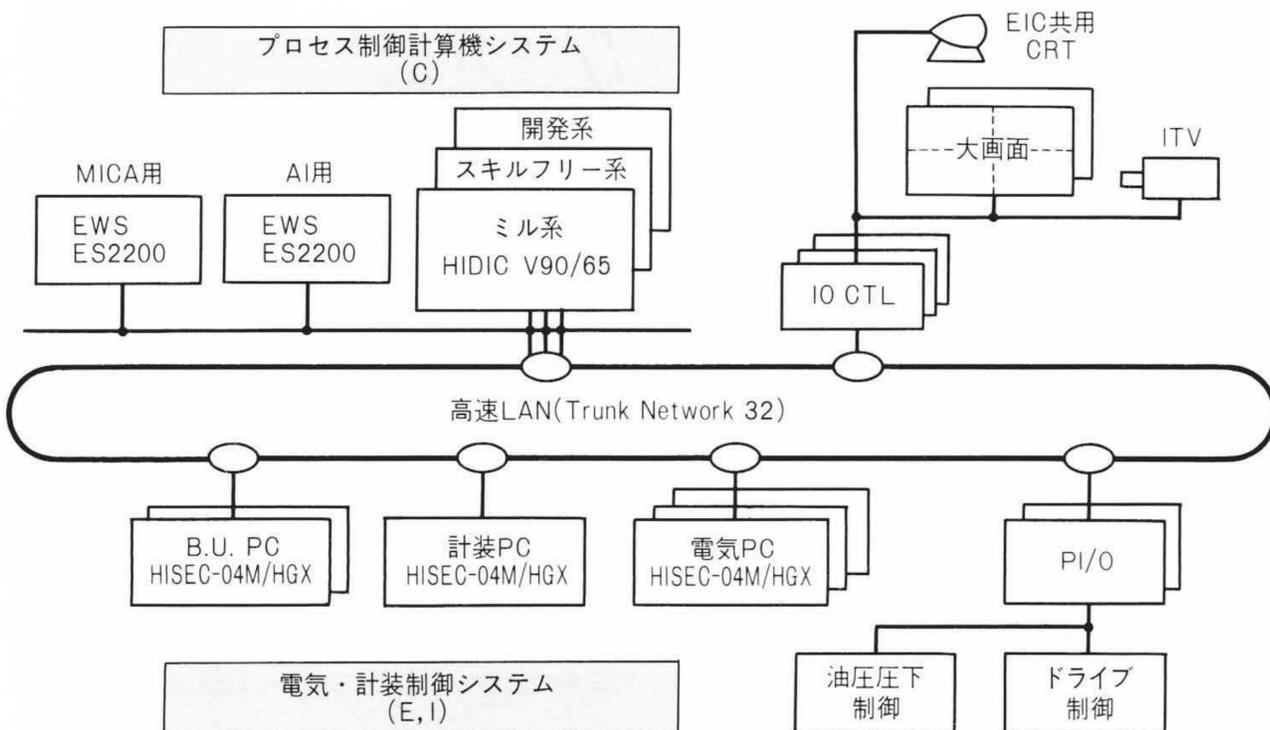
3.3 走間切換式圧延潤滑油システム

この設備は多種多様な材料を圧延するため, 複数の圧延油条件を必要とし, 鋼種によって切換が必要である。従来方式のように, この切換作業を圧延機を停止して行っていたのでは作業率を大幅に低下することが予想された。そのため, 異鋼種の溶接点が各スタンドを通過するごとに圧延油供給条件を切り換える無停止圧延油条件切換システムを開発した。このシステムの適用により, 上記条件にもかかわらず高効率化を図ることができた。

4 電機設備の特長

4.1 EIC統合システム

システムの高信頼化, ヒューマンインタフェースの充実を図り, 高品質圧延の安定操業を実現するため図4に示す大規模EIC (Electric, Instrument & Computer) 統合システムを適用した。システムの中核をなす高速LANには, Trunk Network32を適用した。E (電気制御), I (計装制御), C (プロセス制御計算機) を密結合するととも



注：略語説明  
EWS (Engineering Work Station)  
IOCTL (Input Output Controller)  
PC (Programmable Controller)  
PI/O (Process Input and Output)  
B.U. (Back up)

図4 EIC統合システム 高速LANによってEICシステムを有機的に結合し, 共有PI/O, 共用CRTおよび大画面を有効に機能させる。

に、PI/O(プロセス入出力装置)をLANに直結する構成とすることにより、EIC間でのデータの共有化、同報化、伝送速度の高速化(32 Mビット/s)を実現した。プロセス全体の管理のほか、EICシステム全体の一括管理も行うプロセス制御計算機システムは、制御用計算機HIDIC V-90/65の3台マルチ構成とした。ミル系、スキルフリー系、開発系として1台ずつ設置し、自律分散アーキテクチャの採用によってシステムの拡張性、保守性の大幅な向上を図った。EシステムおよびIシステムは、情報系とDDC(Dinamic Digital Control)系のダブルプロセッサ構成の高性能、高機能PC(Programmable Controller)HISEC 04M/HGXの13台で機能分担した。うち10台を電気制御用、1台を計装制御用、2台をEIシステムの共通バックアップ、併行ランシミュレーション用として設置することにより、処理性、拡張性を大幅に向上させた。ヒューマンインタフェースとしては、運転操作、監視用にタッチオペレーションを全面採用したCRTを11台、ラインの一括監視が容易な58インチ大画面2台を配置した。このシステムでは、LAN上のE、I、C、の情報LANに接続されるIOCTL(Input Output Controller)が高速に処理し、CRTCTL(CRT Controller)へリンクする構成とした。この構成により、EIC共用のCRT、大画面で高速画面表示(画面表示リフレッシュ0.3秒)、EIC情報のシングルウィンドウ表示を可能とした。また、おのおののCRTで全画面の表示、オペレーションが行えるなどのオペレーター支援機能の充実が図れ、中央運転室からのワンマンオペレーションが実現した。

運転法案から直接ソフトを自動生成、保守するシステ

ムとして、**図5**に示すようなMICA(Modular Integrated Concept Architecture)を全面採用した。プラント情報のデータベースを電子結合することでソフト自動生成を行うことにより、ソフト生産性と保守性の向上を実現した。さらに、MICA用のエンジニアリングツールとして、EWS(Engineering Work Station)ES2200を3台配置し、Cシステムと接続することにより、EI制御ソフトもこのプロセス制御計算機システムで一元管理を行った。同時に、この情報を用いてEICの共用CRTにプロセスの動作状況を運転法案ベースで、高速オンラインモニタと運法モニタを行う機能を実現した。この機能を用いることにより、操業中に自動シーケンスが停止するなどの異常現象発生時に、操業画面からMICAの運法モニタ画面にタッチオペレーションで切り換えることによって即座に状態を把握でき、ダウンタイムの短縮に大きな効果を発揮している。

#### 4.2 高性能交流可変速ドライブシステム

高品質の圧延製品を安定に生産するために、ラインドライブシステムは揃(せん)速性を向上し、張力変動を極小化する必要がある。特に冷間圧延機では、圧延状態でミルを停止し、再起動する操業方法があるため、ゼロ速度からの圧延状態での揃速性が必要である。また、設備の信頼性向上とメンテナンスコスト低減のためには交流駆動(AC)化が不可欠である。このような要求を満足するため、この設備では主機ドライブ装置に72アームの循環電流方式サイクロコンバータを、補機ドライブ装置にはトランジスタインバータを適用した。ラインドライブレイアウトと主機ドライブ装置、補機ドライブ装置の性能

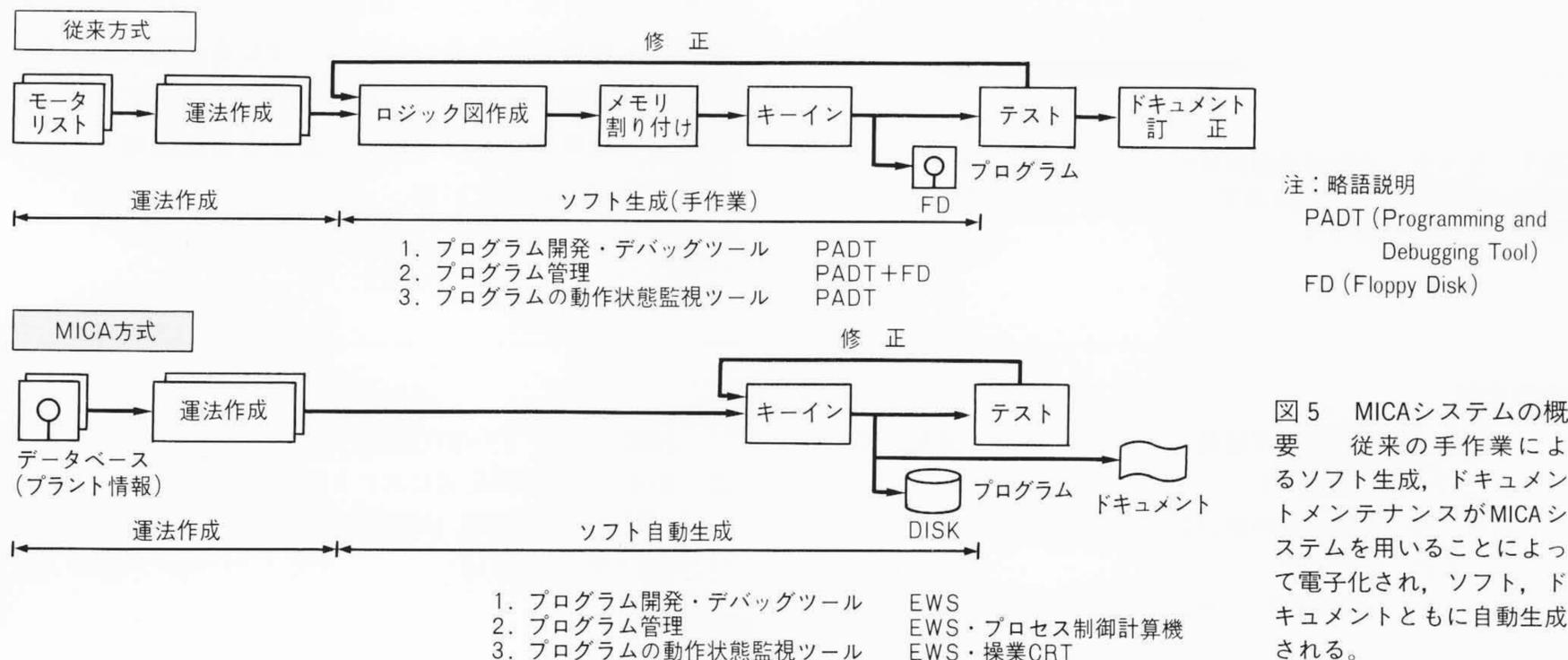
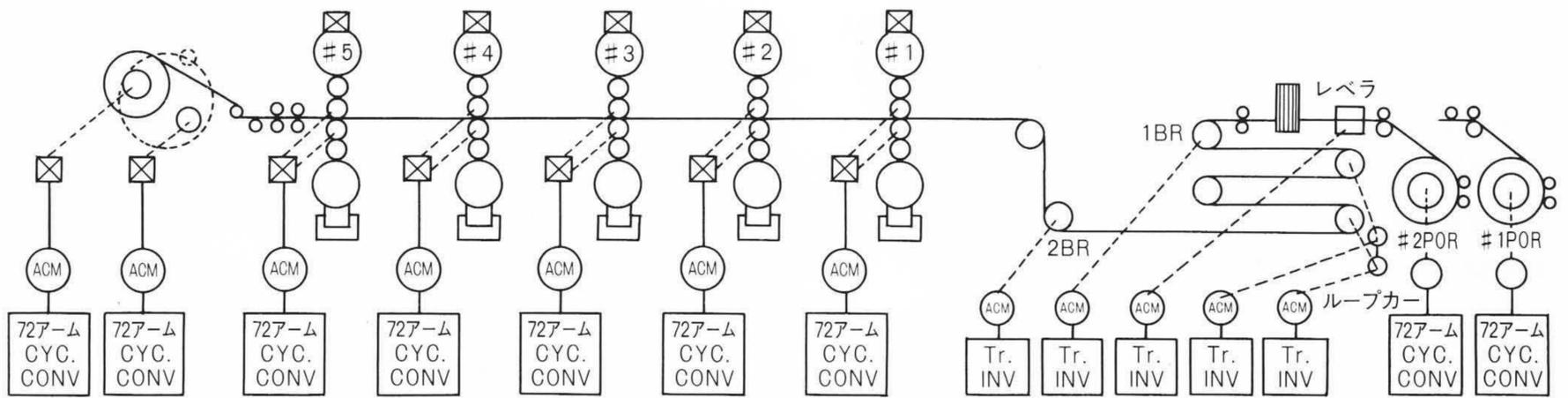


図5 MICAシステムの概要 従来の手作業によるソフト生成、ドキュメントメンテナンスがMICAシステムを用いることによって電子化され、ソフト、ドキュメントともに自動生成される。



注：略語説明 ACM (交流電動機)  
CYC. CONV (サイクロンコンバータ)  
Tr. INV (トランジスタインバータ)  
POR (ペイオフリール)  
BR (ブライドルロール)

図6 ラインドライブレイアウトと主機，補機ドライブ性能  
トルクの精度，応答を飛躍的に向上させた。

全ラインドライブ交流化を図り，保守性向上を目指すとともに，速度，ト

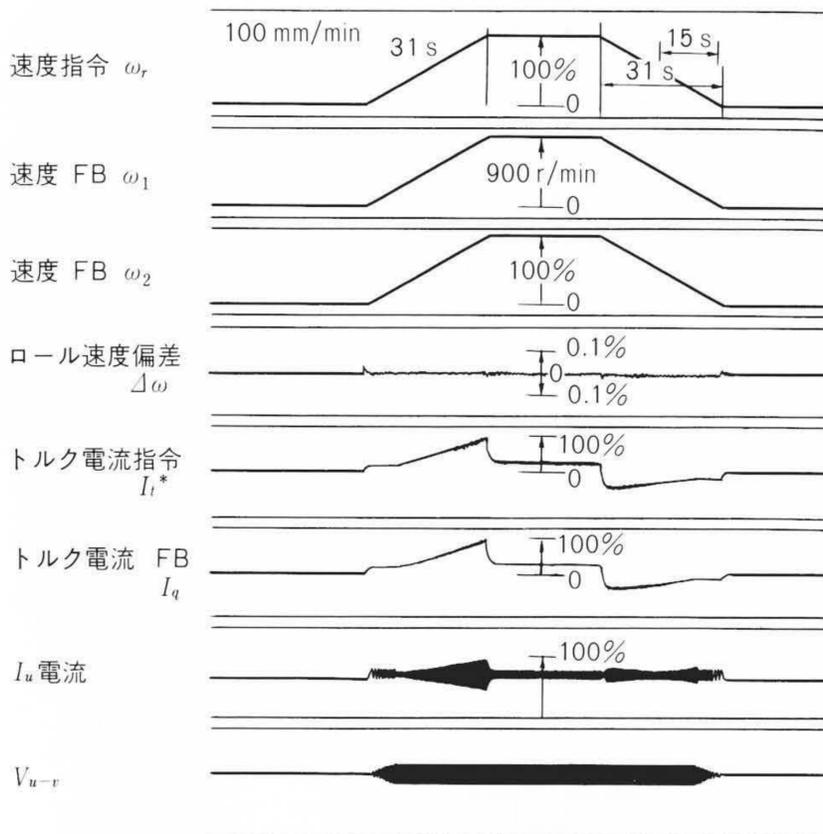


図7 5スタンド加減速運転特性 ASR $\omega_c$  = 40 rad/s, 圧延荷重800 tで加減速運転特性を測定し，速度偏差が±0.02%以下と非常に小さいことがわかる。

について図6に示す。このドライブ装置の中で特にサイクロコンバータは，32ビットマイクロコンピュータの4台マルチ構成とし，サンプリング周期の高速化を実現した。加減速運転特性では，加減速時の過渡応答も含めて速度偏差±0.02%以内という性能を実現した(図7参照)。この交流可変速ドライブシステムにより，張力変動は従来の直流ドライブシステムに比べて $\frac{1}{5}$ 減となり，板破断を少なくした安定圧延，かつ高品質圧延が可能となっている。

## 5 おわりに

新日本製鐵株式会社八幡製鐵所の新冷間圧延設備の新技术について述べた。この設備は計画どおり立ち上がり，普通鋼，電磁鋼，ステンレス鋼を含む多品種の製品を高効率・高品質に圧延する高機能圧延設備として，その機能を十分に発揮するとともに，良好な労働環境のもとで順調な稼動を続けている。

## 参考文献

- 1) 秦，外：高精度形状圧延機“UC-MILL”，日立評論，67，4，287～292(昭60-4)
- 2) 石原，外：八幡製鐵所新冷延設備の概要，材料とプロセス，4(2)，531(1991)
- 3) 藤井，外：八幡製鐵所新冷延工場における新技术，新日鉄

技報，(347)，83～87(1992)

- 4) 山本，外：冷間圧延における高精度形状・エッジドロップ制御技術の開発，43回塑性加工連合講演会講演論文集，679～682(1992.10)