

連続式冷間圧延設備

Continuous Tandem Cold Mills

冷間圧延での製品品質の向上および生産性の向上のため、日立製作所はこれまで油圧圧下装置“HYROP”，HC-MILLおよびカローゼルテンションリールなど画期的な新技術を開発し、世に送り出してきた。

一方、冷間圧延設備は高効率化、歩留り向上、省力化を目的として設備の連続化が進められており、近年新設されるタンデムコールドミルはすべて連続ミルとなっている。

日立製作所は、新形ストリップセンタリング装置などの入側機器、HC-MILLとカローゼルリールなどの新技術を採用して、連続化に必要とされる機能を満足させた連続ミルを開発した。

原口一成* *Kazunari Haraguchi*
 小山 紘* *Hiroshi Koyama*
 吉本健一** *Ken'ichi Yoshimoto*
 西 英俊*** *Hidetoshi Nishi*
 永田知博**** *Tomohiro Nagata*

1 緒 言

鉄鋼製造プロセスでは、大幅な生産コストダウンおよび省エネルギー・歩留り向上・省力化を目的として、既設のタンデムコールドミルを連続ミルに改造するとともに、新設されるミルはすべて連続式タンデムコールドミルとなっている。

タンデムコールドミルを連続ミルにする場合、タンデムコールドミルの前後工程の設備との連続化を考慮することにより、次の三つの形態が考えられる。

- (1) タンデムコールドミルだけの連続設備
- (2) デスケーリング設備とタンデムコールドミルの直結した連続設備
- (3) デスケーリング設備、タンデムコールドミルおよび焼鈍設備の直結した連続設備

いずれにせよタンデムコールドミルは、従来のバッチ式ミルでは許容できても、連続ミルでは許容できなくなる操業条件や品質条件があることから、これらに十分対応できる設備技術が要求される。

本稿では、豊富な実績を持ち形状制御能力の優れたHC-MILLを適用したタンデムコールドミルを基に、連続化に必要とされる機能を満足させた連続ミルに関して、日立製作所の実績とその新技術の内容および効果について述べる。

2 連続ミルの実績

全世界での稼働中、建設中の連続ミルは29プラントある。特に1980年以降に新設された連続ミルは15プラントあるが、その中で日立製作所が納入した設備は、機械設備が13プラン

ト、電気設備が8プラントに及び、圧倒的に多数を占める。また、全29プラントの中でタンデムコールドミルだけの連続設備は12プラント、デスケーリング設備とタンデムコールドミルの直結した連続設備は15プラント、デスケーリング設備、タンデムコールドミルおよび焼鈍設備の直結した連続設備は2プラントと分類できる。近年はデスケーリング設備とタンデムコールドミルの直結した連続設備がほとんどを占める傾向にある。

この中で、日立製作所が納入した新設のタンデムコールドミルの仕様を表1に示す。ほとんどのプラントが全スタンドHC-MILLで構成しており、最新のミルには最終スタンドによって形状制御能力の優れた新形ミルUC-MILLを採用し、製品形状のいっそうの向上を図っている。

さらに、エッジドロップ量制御の目的などのため、ワークロールシフト機能を付与したミルは6プラントに及ぶ。

また、タンデムミル出側機器として、設備長が短縮でき、高速下でのスムーズかつ確実な通板巻取りが可能なカローゼルテンションリールは15プラントの連続ミルに採用されており、特に、新設の連続ミルではほとんどのプラントがカローゼルテンションリールとなっている。

以上述べたように、HC-MILLで構成したタンデムコールドミルを基に、日立製作所は多くの連続ミルを納入してきた。以下に連続式タンデムコールドミルに採用している新技術について述べる。

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

表1 日立製作所納入の新設連続タンデムコールドミルの仕様 日立製作所が納入した稼動中および建設中の新設連続タンデムコールドミルである。

No.	納入先	ミル形式	稼動年	ミルサイズおよび生産量(t/年)	圧延速度(m/m)	製品板厚(mm) 製品板幅(mm) 鋼種	備考
1	新日本製鐵株式会社 広畑製鐵所	1 HCM 2 HCM 3 HCM 4 HCM 	1982	70インチ-4T 900,000	600	0.4~2.0 700~1,650 普通鋼	
2	日新製鋼株式会社 堺製造所 No. 2TCM	1 HCMW 2 HCMW 3 HCMW 4 UCMW 	1985 (3T) 1989 (4T)	69インチ-4T 740,000 (3T) 1,200,000 (4T)	1,200 (3T) 1,650 (4T)	0.1~2.3 600~1,610 普通鋼, 特殊鋼	
3	川崎製鐵株式会社 水島製鐵所 No. 2TCM	4 UCMW 3 HCMW 2 HCMW 1 HCMW 	1986 (3T) 1989 (4T)	58インチ-4T 900,000 (4T)	1,550 (3T) 2,000 (4T)	0.15~1.0 600~1,300 普通鋼, 特殊鋼	
4	NKK 福山製鐵所 No. 3CRM	1 HCW 2 HCW 3 HCW 4 UCMW 	1987	71インチ-4T 1,800,000	1,200	0.35~2.3 600~1,650 普通鋼	
5	UPI USS-POSCO INDUSTRIES (U.S.A)	5 UCM HCM 4 HCM 3 HCM 2 HCM 1 HCM 	1989	60インチ-5T 1,413,000	2,133	0.2~2.26 610~1,372 普通鋼	全スタンドワークロール シフトプロビジョン付き
6	I/N TEK (U.S.A)	1 HCM 2 HCM 3 HCM 4 HCM 	1989	70インチ-4T 1,270,000	600	0.4~2.0 710~1,652 低炭素鋼	
7	POSCO KWANYANG No. 1CRM(KOREA)	4 UCMW 3 HCMW 2 HCMW 1 HCMW 	1988	80インチ-4T 1,200,000	1,100	0.2~3.0 720~1,860 低炭素鋼	
8	POSCO KWANYANG No. 2CRM(KOREA)		1990 (予定)	70インチ-4T 1,100,000	1,100	0.2~3.0 720~1,570 低炭素鋼, 低合金鋼	
9	POSCO KWANYANG No. 3CRM (KOREA)	5 UCMW 4 HCMW 3 HCMW 2 HCMW 1 HCMW 	1992 (予定)	56インチ-5T 1,200,000	1,800	0.15~2.0 600~1,270 低炭素鋼 低合金鋼	
10	新日本製鐵株式会社 八幡製鐵所	5 UCMW 4 UCMW 3 UCMW 2 UCMW 1 UCMW 	1990 (予定)	80インチ-5T 1,740,000	1,800	0.25~3.2 600~1,880 普通鋼, 特殊鋼	
11	CSC (台湾)	1 HCM 2 HCM 3 HCM 4 UCM 	1992 (予定)	72インチ-4T 1,000,000	1,000	0.4~3.2 850~1,676 普通鋼 高炭素鋼 低合金鋼	全スタンドワークロール シフトプロビジョン付き
12	DOFASCO (CANADA)	5 4H 4 4H 3 4H 2 4H 1 4H 	1992 (予定)	69インチ-5T 1,440,000	1,600	0.2~2.5 600~1,575 普通鋼	No. 1~4スタンド ワークロールシフト プロビジョン付き No. 5スタンド UCMWプロビジョン 付き

注: ● シフトロール

3 連続式タンデムコールドミルのための新技術

3.1 タンデムミル入側機器

連続ミルではタンデムミルの入側に、デスケーリング設備あるいは入側ルーパーが設置されるが、これらの設備で要求されるストリップのセンタリング精度は20~30 mmであり、それに対応したストリップセンタリング装置が設置されている。一方、タンデムミルの入側で要求されるセンタリング精度は数ミリメートルであり、特に最近のミルはストリップの板クラウン、エッジドロップの改善を目的としたワークロールシフト付きミルが採用されるケースが多い。この目的のためには、ワークロールのテーパ部をストリップエッジに精度よく設定する必要がある。そのためストリップは精度よくセンタリングされなければならない。このようにタンデムミルと接続されるプロセッシングラインとでは、要求されるストリップのセンタリング精度が合わないため、連続ミルでは新たなセンタリング装置を設置する必要がある。

このために開発されたセンタリング装置を図1に示す。この新形のセンタリング装置は、2台のステアリングローラで構成する。上流側のNo.1ステアリングローラは従来どおりの蛇行修正を行い、下流側のNo.2ステアリングローラは、ストリップのキャンバを修正するように機能を独立させている。そして、キャンバ修正用のステアリングローラのスイング量は、キャンバ量に対応した少ない量で十分なため、前後のフリースパンを短くしても無理なく制御でき、No.1スタンドに近い位置に設置できる。No.1スタンドに近いことによって蛇行検出器以降、ミルのロールに到達するまでのストリップ蛇行量は最小に抑えられ、±2 mm以内のストリップセンタリングが可能となった。

さらに図1に示すように、No.1スタンド直前に3本ローラ

を設置し、ストリップの蛇行発生を規制しており、また、No.1スタンド入側には4本ブライドルローラを設置して、ミル入側の張力を従来のバッチ式タンデムミルに比べ高くしている。ミル入側の張力を高くすることにより、ストリップはさらに蛇行しにくくなり、また、No.1スタンドでの圧延が安定するという効果を生み出している。

以上述べた新形ストリップセンタリング装置、4本ブライドルローラおよび3本ローラをタンデムミル入側に設置することによって、ストリップのセンタリングは精度が良くなり、No.1スタンドでの安定した圧延が可能となる。

3.2 タンデムミル

(1) 高圧下圧延

前章で述べたように、タンデムミルは全スタンドHC-MILLで構成しているプラントがほとんどである。これは従来4Hミルで5スタンド必要なタンデムミルがHC-MILLにすることによって4スタンドで圧延可能であり、また、ブリキ材などを圧延するため従来4Hミルで6スタンド必要なタンデムミルが、5スタンドで圧延可能であることによる。これはタンデムミルがデスケーリング設備と直結する場合や、特に後工程の焼鈍設備と直結する場合は、従来のタンデムミルに比べてかなり低い圧延速度となり、このため生産量に見合った投資効果を得、また、ライン全体をコンパクトにするためには圧延スタンド数を少なくする必要があり、そのためにはミルは高圧下圧延が可能でなければならない。そして、もし高圧下圧延が可能になればミル入側に供給される素材板厚を厚くして、入側ライン速度を低下させ、ルーパーのコンパクト化、入側設備操業の安定化をも図ることができる。日立製作所が開発し、すでに250スタンド以上の納入実績を得ているHC-MILLは、ワークロールが比較的小径であり、また圧延材の形状を崩さず高圧下圧延が可能なミルであることが立証されている。こ

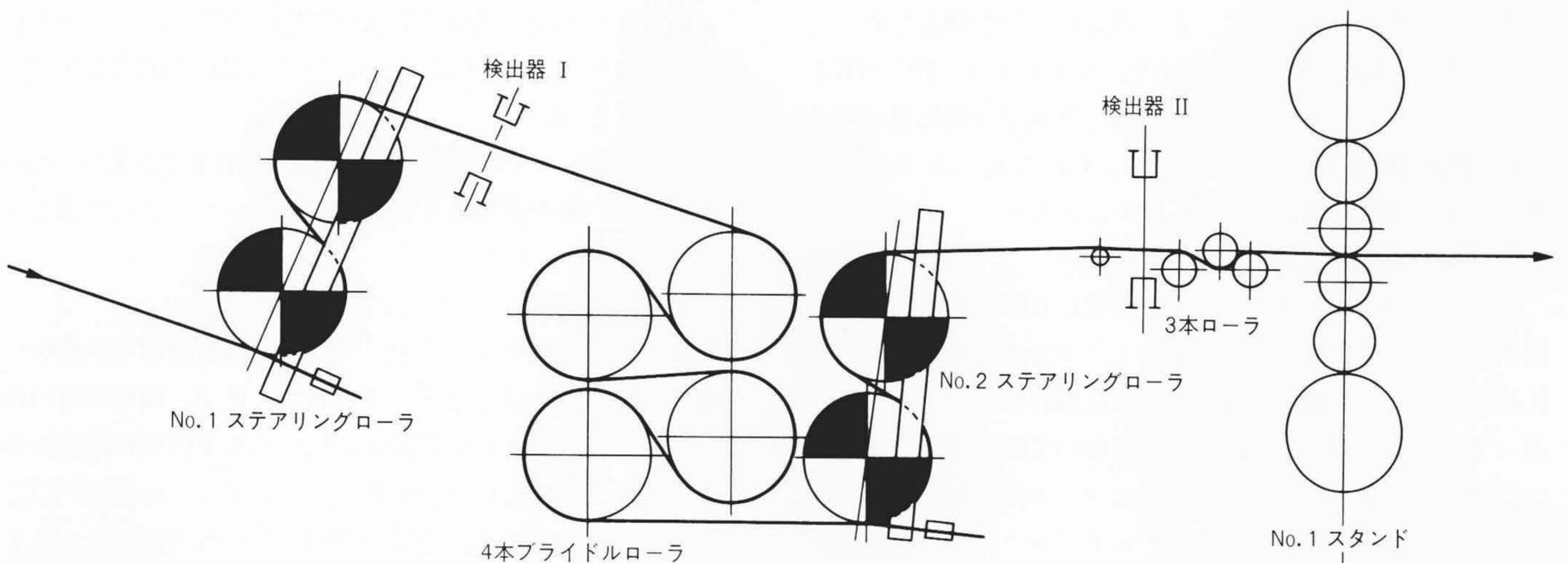


図1 タンデムミル入側機器の配置例 No.1スタンド入側に2台のストリップセンタリング装置、4本ブライドルローラおよび3本ローラを配することによって、高精度のストリップセンタリングとNo.1スタンドの安定した圧延が可能となる。

のHC-MILLを最も高圧下圧延を必要とするタンデムミルの前段2スタンドに適用することによって、スタンド数の減少が可能となる。

(2) 走間板幅変更

連続ミルでは、走間スケジュール変更時やサーマルクラウンの変化に対し、常に形状の良好なストリップを安定して供給できる機能がミルに要求される。走間で板幅が変更されると、同じ材質の圧延材でも通常形状は大きく変化し、これを修正するため4Hミルではワークロールベンディング力の調整だけでは良好な形状は得られないため、形状を悪化させずに走間で板幅変更を行うことは非常に困難である。しかし、HC-MILLではワークロールベンディング力の調整に加え、中間ロールの位置を板幅に対応させてシフトすることで形状を大きく制御することができるため、これらを組み合わせると走間での板幅変更を形状を乱すことなく容易に行うことができる。

実機での走間板幅変更時の板形状のデータ⁴⁾を図2に示す。板幅変更時に中間ロール位置とロールベンディング力を適切に制御することにより、良好な形状を保つことが可能である。

このようにHC-MILLにより、走間板幅変更時にもストリップの形状を平たんに保つことができ、ミルとスタンド間はもとより、次工程での安定した通板性を確保できる。また、ロール組み替え回数の低減も可能となって、ラインの加減速の頻度も低減可能となる。

以上から、連続ミルでは全スタンドにHC-MILLを適用するのが好ましい。

(3) 形状制御性

日立製作所がHC-MILLに引き続き開発したUC-MILLは、複合形状の発生しやすい広幅・高硬度の難圧延材に対して、あるいはさらに、高品質化が要求される圧延材に対して、高次形状制御能力を持つミルである。このことから、タンデムミルの最終形状を制御するうえで最も重要な最終スタンドに適用されている。

さらに、最近の例として、より良好な形状を得るため、後段2スタンドをUC-MILLとしたり、全スタンドをUC-MILLとしたプラントもあり、今後も広幅・高硬度の難圧延材や、さらに高品質化が要求される圧延材に対しては、UC-MILLの適用スタンド数が増えていくものと思われる。

(4) 圧延の安定性

連続ミルでは、トラブルのない安定した圧延を続行する必要がある。圧延ラインで発生するトラブルのうち、特に板切れは重大なライン停止の事故となり生産性を阻害する。したがって、形状不良による絞り込みのない圧延が常に要求されなければならない。さらにミルとスタンド間に存在する高張力による板切れも防止する必要がある。そのため、板端部に大きな張力が集中しないように常に形状を最適に保つとともに、スタンド間張力を低下しても安定した圧延が可能なるミル

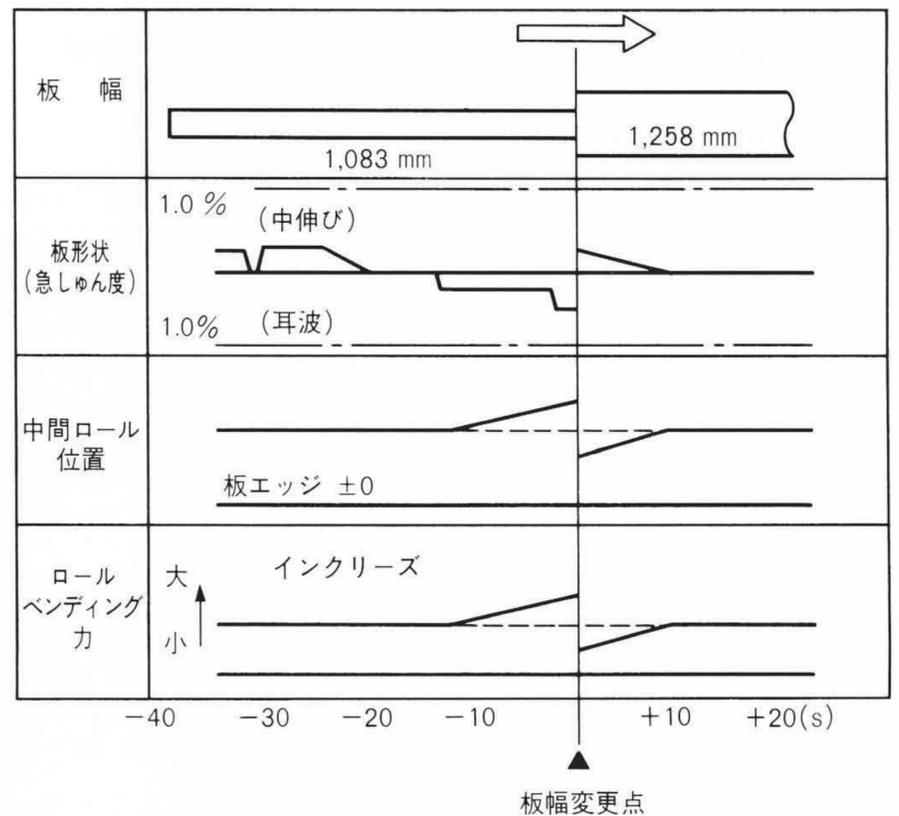


図2 ミルでの板幅拡大時の形状制御実績 板幅変更点の前後で、中間ロール位置とロールベンディング力を制御することで良好な形状を保っている。

の性能が要求される。

HC-MILLは大きな横剛性を持つため、圧延荷重の増減があっても板形状は大きな影響を受けない。さらに、ロール組み替え直後のワークロールの温度は常温に近く、定常圧延時に比べサーマルクラウンが少なく、このため4Hミルではクラウン付きロールでもロール組み替え直後のロールベンディングでは形状は良くならないという欠点があった。HC-MILLでは、中間ロールの位置の変更でサーマルクラウンの補正ができるため、ワークロール組み替え直後から形状の良い製品が圧延でき、ロール組み替え後にヒートアップなしで圧延を開始しなければならない連続ミルには最適である。実機データ⁵⁾を図3に示す。ロール組み替え後の第1コイルから良好な形状を得ることができている。

またミルスタンド内での形状の安定により、安定した圧延が可能であり、この意味でも全スタンドにHC-MILLを適用するのが好ましい。

以上、連続ミルでの各スタンドのHC-MILLの必要性について述べたが、他の要因とも合わせ、これらをまとめて表2に示す。

(5) 走間板厚変更

製品の板厚精度についても、走間での板厚変更を迅速かつ正確に行えることはもちろんであるが、従来、板厚精度の確保が比較的困難であった低速圧延域での板厚精度の確保が歩留り向上に欠かせない条件となる。連続ミルでは必須(す)となる走間板厚変更時の圧延荷重の増減は、板の形状に大きく影響する。この点HC-MILLは横剛性が大きく、圧延荷重変化による板クラウンの変化率を4Hミルに比べると格段に小さく

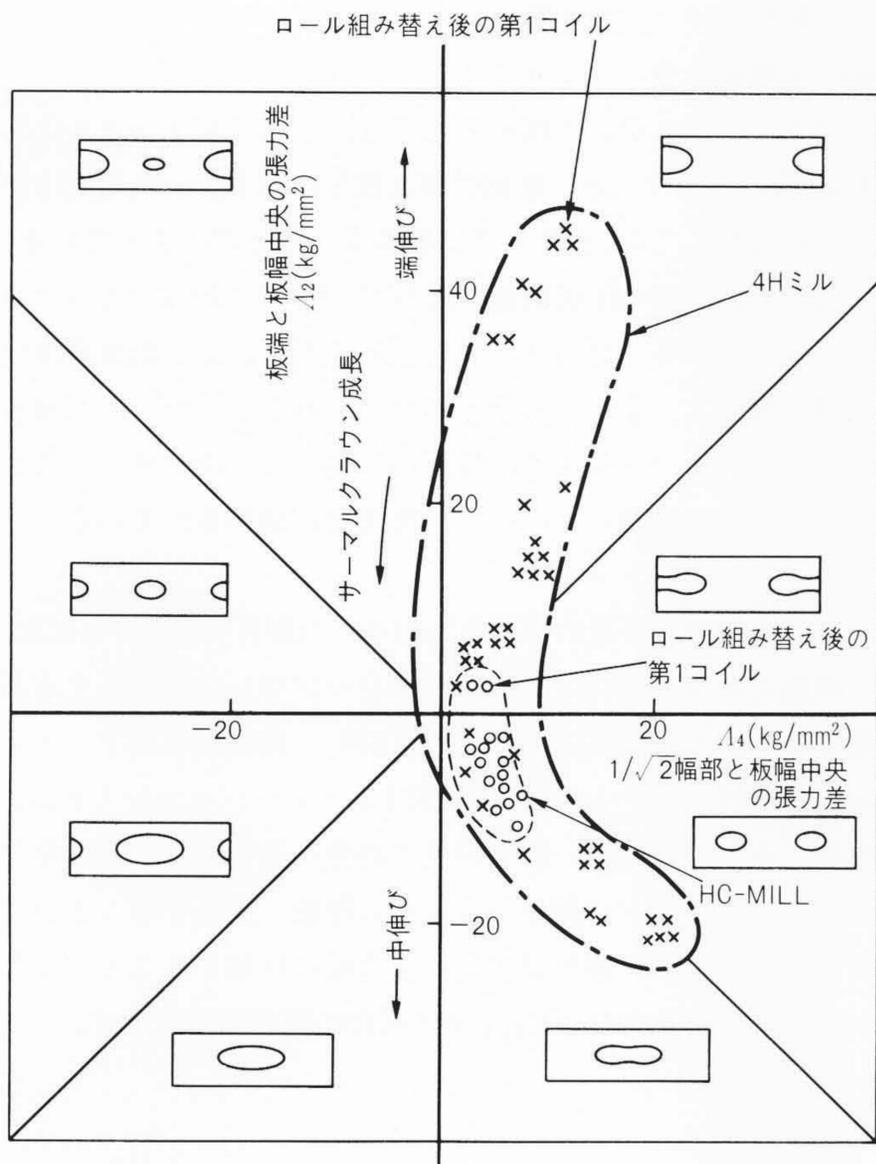


図3 作業ロール組み替え後の形状変化の比較 HC-MILLでは作業ロール組み替え後、サーマルクラウンが成長しても常に良い形状を維持できる。

でき、またワークロールベンディング力の効果も大きいので、形状を崩さずに走間での板厚変更を安定して行うことができる。

また、板厚精度を直接決める油圧圧下用サーボ弁として、日立製作所が開発した大容量形フォースモータバルブを用いたHYROP-Fシステムとすることにより、スケジュール変更によるオフゲージ長が大幅に短縮され、高い歩留りを得ることができる。

さらに板厚精度については、バックロール軸受にシリンドリカルローラベアリングを採用し、またミル速度制御にはデジタルASR(自動速度制御装置)を採用することによって、従来に比べ低速圧延であるにもかかわらず高い板厚精度を得ることができる。

3.3 タンデムミル出側機器

連続ミルの出側設備での高速下でスムーズかつ確実な通板巻取りが、設備全体の生産性および信頼性を左右する重要な課題となる。前章で述べたように、日立製作所が開発したカラーゼルテンションリールは、日立製作所納入の連続ミルの中で13プラントに採用されている。

HC-MILLとカラーゼルテンションリールの組み合わせを採

表2 連続ミルでの各スタンドの特性 連続ミルでHC-MILLが各スタンドで効果を示す特長を表示する。

HC-MILLの特長		タンデムコールドミル		
		前段スタンド	最終スタンド	全スタンド
形状制御能力	形状安定性	◎	◎	◎
	形状制御範囲大	○	◎	◎
	形状改善による歩留り向上	—	◎	◎
操作性	安定した通板	○	○	○
	自動形状制御	—	◎	○
	形状改善・板切れなしによる安定運転	—	◎	◎
高圧下	入側板厚アップ	◎	—	—
エッジドロップ減少	歩留り向上	◎	—	◎
	エッジドロップ減少	○	—	○
サーマルクラウン補正	ロール組み替え後の形状良好	—	◎	◎
	ロールプリヒータ不要	—	◎	◎
	ダミーパスまたはロール予熱不要	—	—	◎
圧延動力減少	—	○	—	◎
圧延圧力低減	—	◎	◎	◎

注：◎ (効果大), ○ (効果あり)

用することにより、4Hミルと2テンションリールを組み合わせた方式に比べ、

- (1) ストリップ巻取り開始時のリールドラム位置が、常にミルに近い一定の場所であるため、通板距離が短く、高速通板が確実となる。
- (2) 最終スタンドにHC-MILLを使用しているため、ストリップを分割後、ストリップのテンションがフリーとなっても形状が崩れず通板性がよい。
- (3) 連続ミルではストリップの先端にオフゲージ部が少なく、薄物コイルでのバックリング防止上、スプールの使用が必要となるが、スプールの供給個所は1か所でよいため、挿入装置も簡単、かつ確実となる。
- (4) コイル巻取り位置は1か所のため、コイル巻取り作業やコイル搬送作業に対するオペレーターの監視個所は1か所となって容易であり、またコイルカーによるコンベヤへのコイル搬送操作がきわめて単純、かつ短時間で済む。

などの理由により、非常にコンパクトでシンプルな設備となり、通板速度300 m/minの高速通板を容易にし、しかも確実な

操業を行うことができる。また、高速通板が可能なることから、連続ミルの生産量を増やすことができる。

3.4 連続ミル用電気設備

圧延機用電気品の技術進歩は著しいものがあり、特に薄板連続圧延機用電気品は機能の複雑さ、性能の高さなどで最高の技術分野に位置している。

最近の市場ニーズと技術動向を図4に示す。以下、その新技術について述べる。

(1) 高機能制御システム

近年の製品精度に対するニーズは非常に高く、AGC(自動板厚制御)、ASC(自動形状制御)、ATC(自動張力制御)などの個別の制御技術の組み合わせでは対応できなくなり、多変数制御、ファジィ制御などの現代制御理論を適用したトータル制御に基づく新制御技術の開発が進められている。

さらに、圧延モデルの高精度化とシミュレーション技術の進歩により、制御モデルの解析がより容易となった。この結果、板厚精度は±0.5%以下、形状精度は急しゅん度で0.5%を達成し、さらに今後は多段ミルの最適制御とクーラントの非干渉、ファジィ制御の組み合わせで、複合形状に対しても、よりいっそうの高精度化が期待できるようになる。連続ミル

での板厚精度の実績を図5に示す。

(2) 可変速ドライブシステム

ドライブシステムの傾向としては、すべてデジタル化したACドライブである。制御性能は表3に示すように、DCドライブに比較してACドライブは高精度、高応答化されている。そのため、新設の圧延設備ではACドライブが標準になりつつある。今後はさらに力率、出力波形の改善および低高調波化の強い要望と、よりいっそうのコストパフォーマンスが望まれ、パワートランジスタ、GTO(Gate Turn Off)サイリスタを応用した大容量インバータの実用化が期待されている。

(3) マンマシンシステム

高度の制御と多量の情報を集約化した要員で運転するには、高機能でヒューマンフレンドリーなマンマシンを構築する必要がある。今回、高応答(0.3~0.5秒)・高精細(736ドット×560ドット)タッチセンサ付きCRTオペレーションシステムを開発した。この結果、制御対象の動作、進行状況、診断などをマルチウインドウ画面を見ながら運転、監視することができるようになり、運転員の負担を大幅に軽減することができた。タッチセンサ付きCRT操作画面の例を図6に示す。

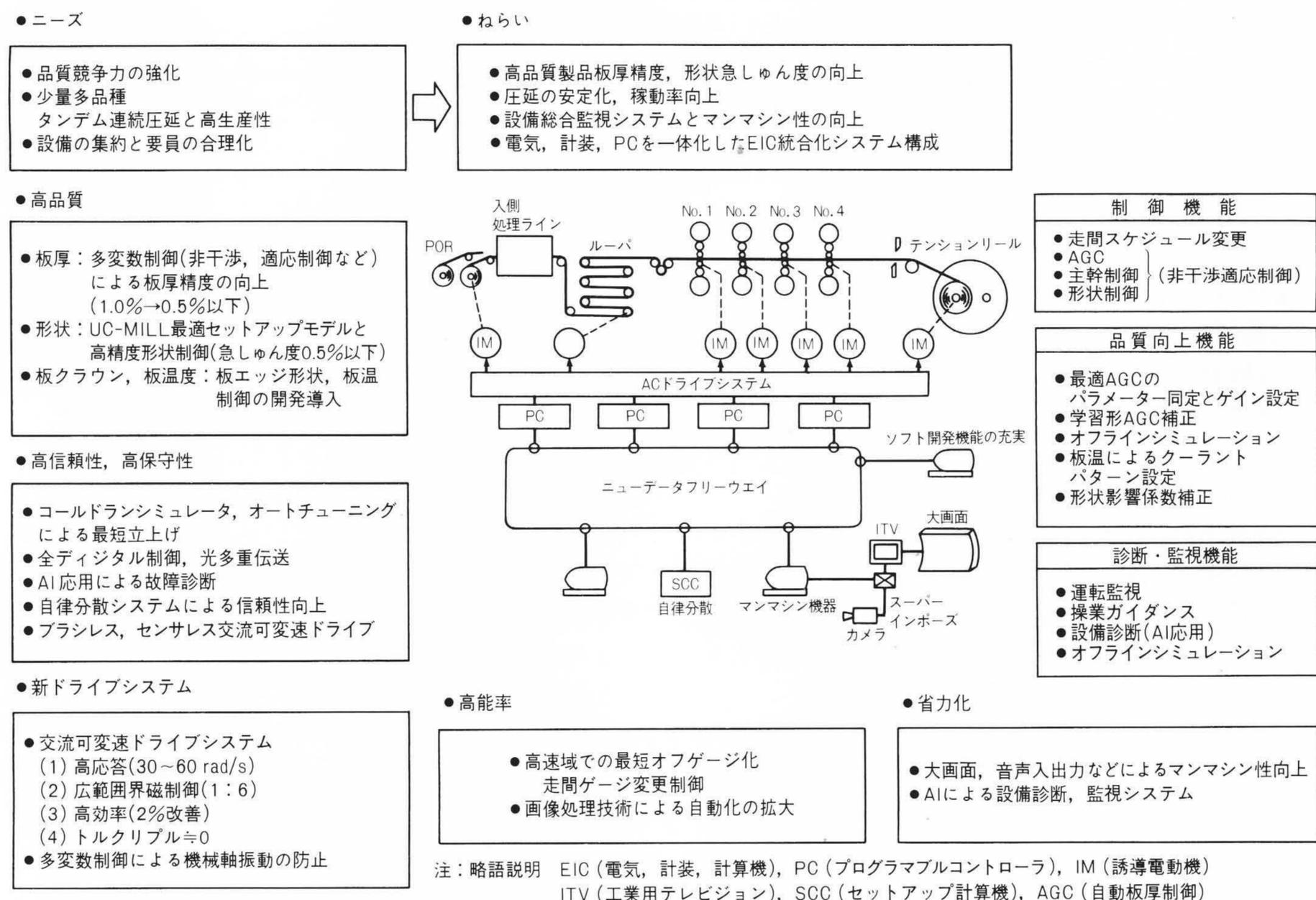
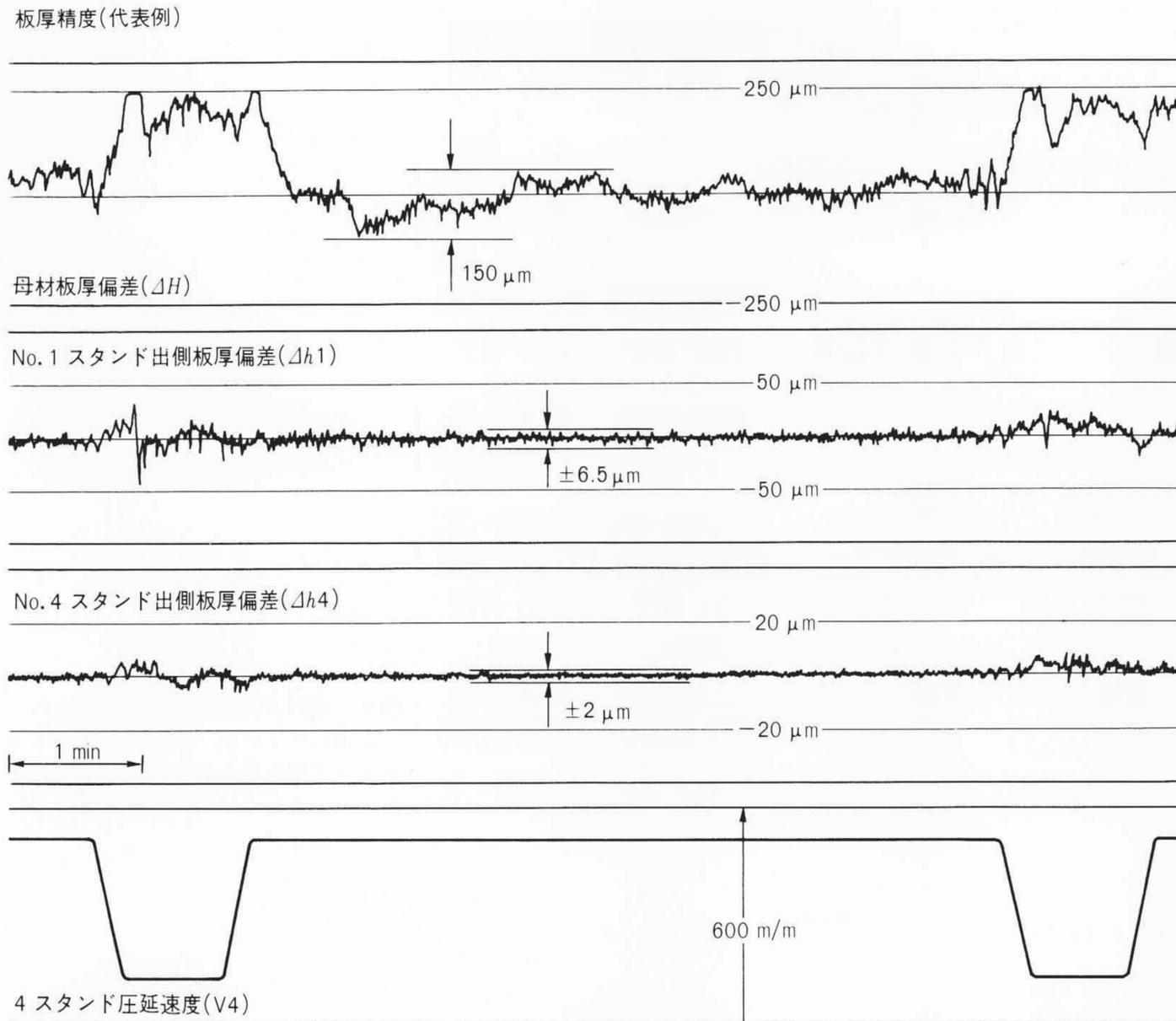


図4 市場ニーズと具現する新技術 市場ニーズとしての高品質、高信頼性、高保守性に対するドライブ、自動制御システムである。



データ	
ミル	4タンデム式冷間圧延機
圧延速度	Max. 600 m/m
材質	一般軟鋼
母材板厚	2.455 mm
製品板厚	0.605 mm
板幅	1,227 mm

図5 4 タンデム連続圧延機の板厚制御チャート 製品板厚精度 ± 2 μm の達成により、従来の2倍以上の精度向上が図られた。

表3 DCドライブとACドライブの性能比較 ACドライブにより性能が大幅に向上し、より高い制御精度が期待できる。

No.	顧客ニーズ	DC静止レオナード	サイクロコンバータ
1	速度制御	△ ω _c = 10~20 rad/s	◎ ω _c = 30~60 rad/s
	製品の高品質化	◎ 応答精度 ±0.05%	◎ ±0.01%
		◎ 可変速範囲 1:100	◎ 1:1000
2	定出力速度範囲 (1)フレキシブルな圧延 (2)ギヤ切替不要	◎ 1:3	◎ 1:6
3	トルク制御 (1)製品の高品質化 (2)機械振動の抑制	◎ 直線性 ±2.5%	◎ ±2.5%
		◎ リプル ほぼ0	◎ ほぼ0
4	省保守 (1)高信頼性 (2)完全ブラシレス	△ (1)ブラシ交換要 (2~3回/年) (2)ロータに整流子、ライザなど弱点部あり。	◎ (1)完全ブラシレス (2)ロータに絶縁物なし

4 適用例

前章で説明した新技術を盛り込んだ最新鋭連続タンデムコールドミルの適用例を図7に示す。

- (1) タンデム入側機器として新形ストリップセンタリング装置、4本ブライドルローラおよび3本ローラを採用することによって、ストリップのセンタリング精度を向上させ、No. 1 スタンドでの安定した圧延を図っている。
- (2) 全スタンドにHC-MILLを採用して高圧下圧延を実現し、設備のコンパクト化を図り、安定した圧延を可能にするとともに、走間スケジュール変更をストリップの形状を悪化させることなく対応可能としている。
- (3) 最終スタンドに形状制御能力のさらに優れたUC-MILLを採用することによって、広幅・高硬度の難圧延材に対する形状良好な圧延を可能とし、高品質化を図っている。
- (4) ミル入側の新形ストリップセンタリング装置と、全スタンドに設けられたワークロールシフト機能によって、高精度のエッジドロップ制御を可能にしている。
- (5) タンデムミル出側機器として、カラーゼルテンションリールを採用することによって設備の効率化、シンプル化を図っている。

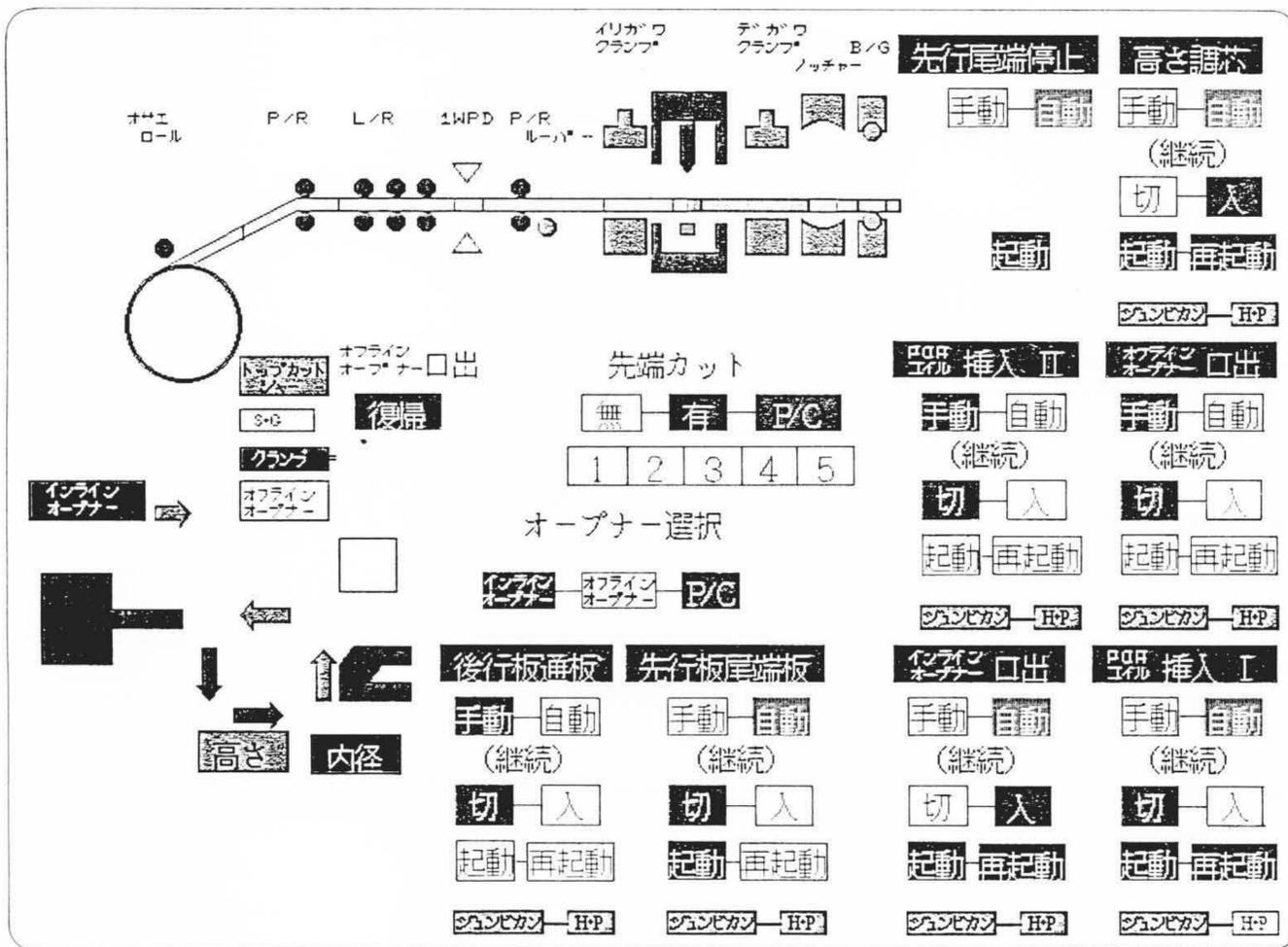


図6 CRTオペレーション実施例
高精密タッチセンサ付きCRTオペレーションで運転員の負担が大幅に軽減した。

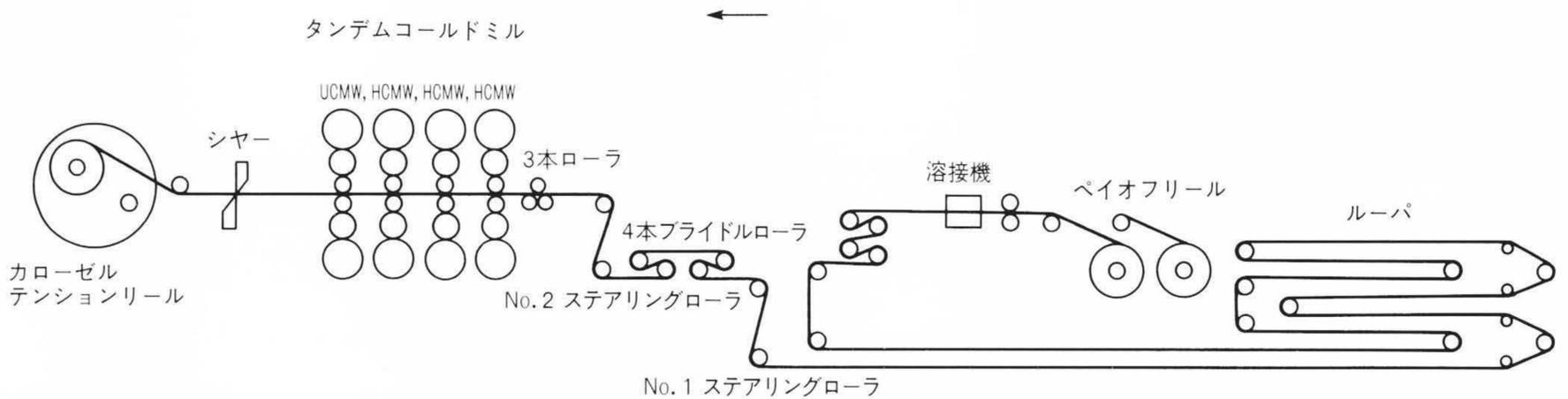


図7 最新鋭連続タンデムコールドミル配置図 タンデムミル入側に2台のステアリングローラを、ミルは全スタンドワークロールシフト付きHC-MILLを、出側にカローゼルテンションリールを配した高性能・高効率設備である。

5 結 言

連続タンデムコールドミルの実績と、それらに採用している新技術について述べた。すなわち、連続ミルでは設備をコンパクト化でき、前後工程の能力を最大に発揮させ、連続ミルに必要な走間スケジュール変更に対応可能なミルと、それに対応したミル入・出側機器が必須である。それに対して、新形ストリップセンタリング装置などの入側機器、HC-MILLおよびカローゼルリールの組み合わせで真の連続ミルが実現できたと考える。

これらの実績および新技術は、いずれもユーザーのニーズにこたえるため開発・努力した結果生み出されたものである。

日立製作所は今後ともユーザーの要望にこたえるため、品質および生産性の向上をよりいっそう図る設備の開発に努力

してゆく考えである。

終わりに、終始懇切なご指導をいただいたユーザー各位に対し、深謝の意を表すものである。

参考文献

- 1) 秦, 外: 冷延工場の工程連続化のための新技術, 日立評論, 65, 2, 109~114(昭58-2)
- 2) 秦, 外: 高精度形状制御圧延機“UC-MILL”, 日立評論, 67, 4, 287~292(昭60-4)
- 3) 吉本, 外: デスケーリング直結冷間圧延設備, 日立評論, 70, 6, 631~638(昭63-6)
- 4) 藤本, 外: 広畑・名古屋連続焼鈍設備CAPLの設備と操業, 製鉄研究, 第315号(1984)
- 5) 中島, 外: 新形式タンデムコールドミルの特性(第1報), 昭和55年度塑性加工連合講演会講演論文集, p.101~104(1980-5)