

デスケーリング直結冷間圧延設備

Continuous Descaling and Tandem Cold Mills

近年、鉄鋼製品生産の低コスト化、高効率化を目的として複数工程の直結化、連続化が行われている。この一つとして、熱間圧延後のストリップの表面に発生するスケール(鉄酸化物)を除去するデスケーリング設備と後続の冷間圧延設備との連続化が進められている。しかし、これを実現するには、それぞれの設備の操業内容が異なるため、連続化に際し種々の技術課題が存在していた。

本稿では、日立製作所が新たに開発したHC-MILL, 高速デスケーリング装置, 新形ストリップセンタリング装置, 走間スケジュール変更制御システムなどを駆使し、上記の技術課題を解決して実現した高性能デスケーリング直結冷間圧延設備について紹介する。

吉本健一* Ken'ichi Yoshimoto
中島正明** Masaaki Nakajima
原口一成*** Kazunari Haraguchi

1 緒言

鉄鋼製造プロセスでは、大幅な生産コストダウン及び省エネルギー・歩留まり向上・省力化を目的として、前後する複数工程を連続化・統合し、合わせて新しい機能を折り込んだ効率的製造プロセスを再構築する試みが活発に実行されている。

デスケーリング工程と冷間圧延工程は、それぞれ熱間圧延コイル表面のスケール除去、熱間圧延板厚から最終製品板厚への冷間圧延を主目的としており、従来、各々単独には連続化されていた。しかし、これらの両工程を更に統合しようとすると、両者の操業内容が異なるため単純に両工程を連続化しても、両工程の相互干渉によって能力が低下するといった操業上の問題点があった。しかも、このように連続化され大規模化する設備で高い生産性を実現するためには、下記の技術課題を解決する必要がある。

(1) 両工程を単に従来の形のまま連結したのではラインが長大なものとなるので、特にその主因となるデスケーリング設備の短縮化を図ること。

(2) 従来の単独設備では許容できても、連続化したために許容できなくなる操業条件や品質条件があるから、これらに十分対応できる設備技術が存在すること。

(3) 設備の連結により省力化を図るとともに、大規模な設備にもかかわらず信頼性の高い設備であること。

日立製作所は、豊富な実績を持ち形状制御能力の優れたHC-MILLを全スタンドに適用した冷間圧延設備と、メカニカルデスケーラにより酸洗時間を短縮した信頼性の高い最新式の高速デスケーリング設備とを基に、連続化ニーズに対応したデスケーリング直結冷間圧延設備を実現した。

本稿では、デスケーリング直結冷間圧延設備の新技術の内容とその効果について紹介する。

2 デスケーリング直結冷間圧延設備の技術課題

前章で述べたように、従来の設備の範囲を越え、デスケーリング設備と冷間圧延設備の連続化を行う場合には、従来の単独の設備にはなかった次のような新しい技術課題が生じる。

(1) 高速デスケーリング装置と高圧下圧延機

従来のデスケーリング設備は、硫酸あるいは塩酸による化学的方法を利用した、いわゆる酸洗による脱スケール法が用いられてきた。しかし、この方法では、後続の冷間圧延設備と連続化して、高速・高効率化を実現しようとしても、デスケーリング設備の設備規模は、極めて大きいものとなる。

特に、近年の自動車用鋼板は、熱間圧延後、高温で巻き取られるため難脱スケール性となり、化学的方法では更に長大な設備を必要とすることになる。このような場合、設備建屋を含め廃酸回収装置、廃酸処理設備などの付帯設備費も増大してくる。したがって、新しいコンパクトな高速デスケーリング設備が必要となってくる。

ところで、デスケーリング工程では、熱間圧延原板厚みを厚くすることによって、その生産量を増加させたり、更にデスケーリング速度を低下させ、ルーパーのコンパクト化、デスケーリング設備操業の安定をも図ることができる。しかし、この場合は冷間圧延機に高圧下圧延が必ず(須)条件となってくる。

更に、両設備間にあるルーパーでの通板性及びトラッキング精度向上のため、デスケーリング後のストリップはドライの状態ですべて圧延機に送り込まれる。このため圧延機では、高荷重圧延が必要となる。

(2) デスケーリング設備でのライントラブルの減少

デスケーリングラインでは、冷間圧延工程での板破断防止、圧延安定のため板幅をそろえるなどの目的でストリップ両端の耳切り(サイドトリミング)を行っている。従来のトリミング作業では熱間圧延原板のキャンバ及び蛇行のためトリマー

* 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

の刃が板から外れたり、トリム屑の処理がスムーズに行われないなどのトリムトラブルでライン停止を必要とし、またトリマーの刃替のためのライン停止などがあった。もし、酸洗、冷間圧延連続化後、酸洗でのこのような多頻度のライン休止が発生すると冷間圧延機の停止につながり、圧延停止部の製品がオフゲージになるため、極力酸洗でのライントラブルの回避が生産性向上や歩留まり向上に欠かせない条件となる。

(3) 冷間圧延設備でのライン停止の減少

一方、通常デスケーリング工程では、ラインの停止や頻繁な加減速が好まれないので、冷間圧延工程でのライン停止も極力少なくでき、またやむを得ず圧延ラインを停止する場合は、その時間を極力短くする必要がある。したがって、このためには圧延ラインでの板切れなどのトラブルが少なく、安定した操業が可能であるばかりでなく、ロール組替頻度が少なく、かつその時間が短縮でき、更に、圧延機出側で高速下でのコイル分割とその後の通板、巻取作業が確実で、かつスムーズに行われる必要がある。

更に、薄板製造プロセスを連続化して多品種小ロット生産を短納期で行うことを実現するには、製品品質のグレードや寸法の差によって生ずる製造チャンス上の制約を、可能な限り少なくすることが重要になってくる。すなわち、様々な仕様の製品を、硬直した融通の利かない製造スケジュールに従うのではなく、自由なスケジュールで製造できるようにするため、いわゆる広い走間スケジュール変更技術が必要である。

以上に述べたデスケーリング直結冷間圧延設備での技術課題を、図1にまとめて示す。以下、これら技術課題を解決した新技術について述べる。

3 デスケーリング直結冷間圧延設備の連続化の効果をもつ新技術

3.1 高速デスケーリング設備

冷間圧延設備と連続化されるデスケーリングラインでは、

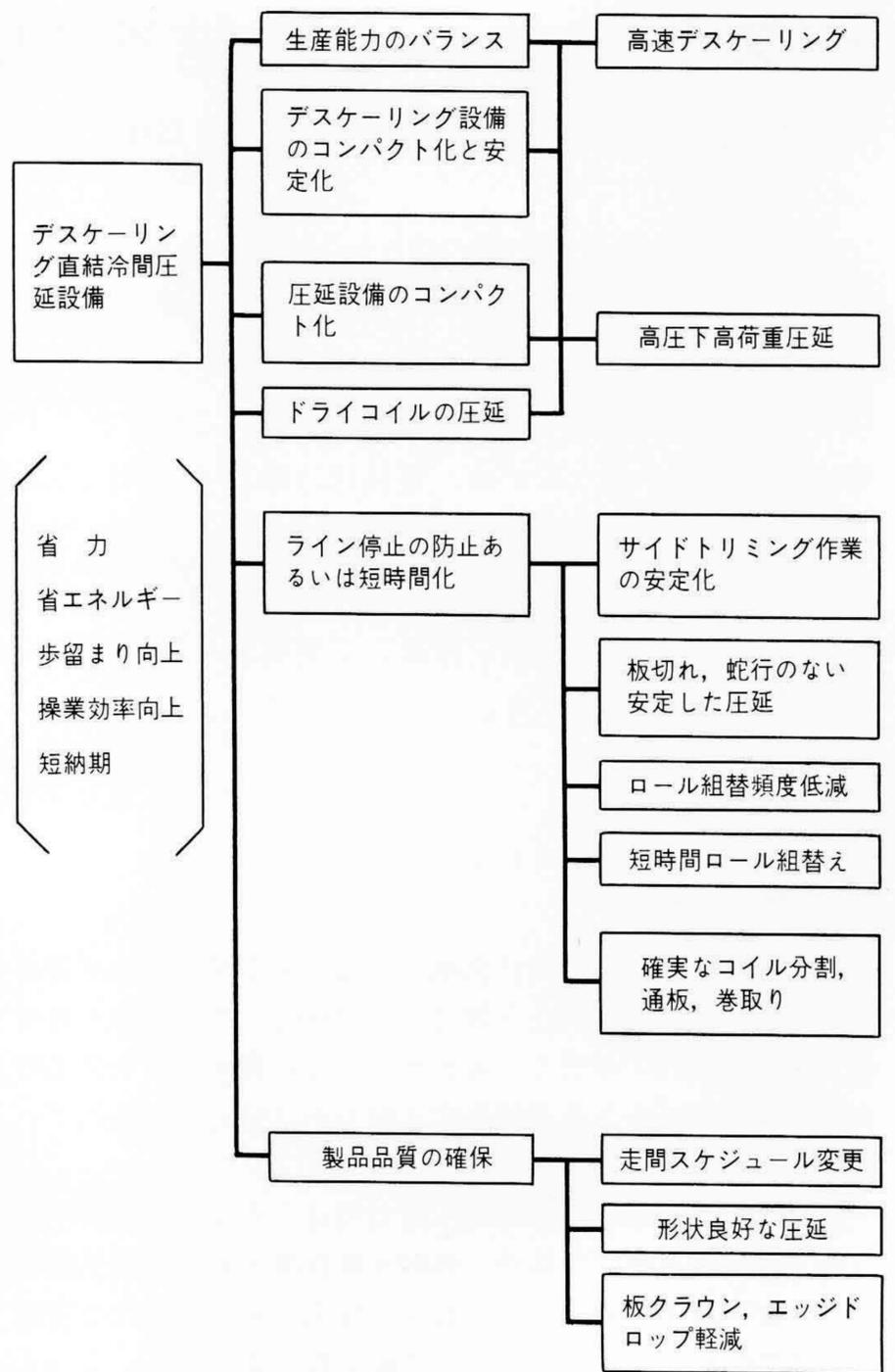


図1 デスケーリング直結冷間圧延設備での技術課題 生産性向上のためのデスケーリング設備と冷間圧延設備の連続化を、よりいっそう効果的にするためには、これらの技術課題を解決する必要がある。

表1 メカニカルスケールブレイキング法の分類 メカニカルスケールブレイキング法として4種が考案され、そのうち繰返し曲げ法が種々の条件を満足する方式と言える。

項目	スケールブレイキング法	繰返し曲げ法	圧延法	ショットブラスト法	研磨法
スケールブレイキング法のモデル					
スケールブレイキングの均一性	○	○	○	○	×
ストリップ表面のきず付き	○	○	○	×	○
板厚の減少	○	○	△	○	△
ランニングコスト	○	○	△	×	×
設備費	○	○	△	△	△
作業環境	騒音	○	○	×	○
	粉じん(塵)	○	○	×	○

注：記号説明 ○(優), △(やや劣る), ×(劣)

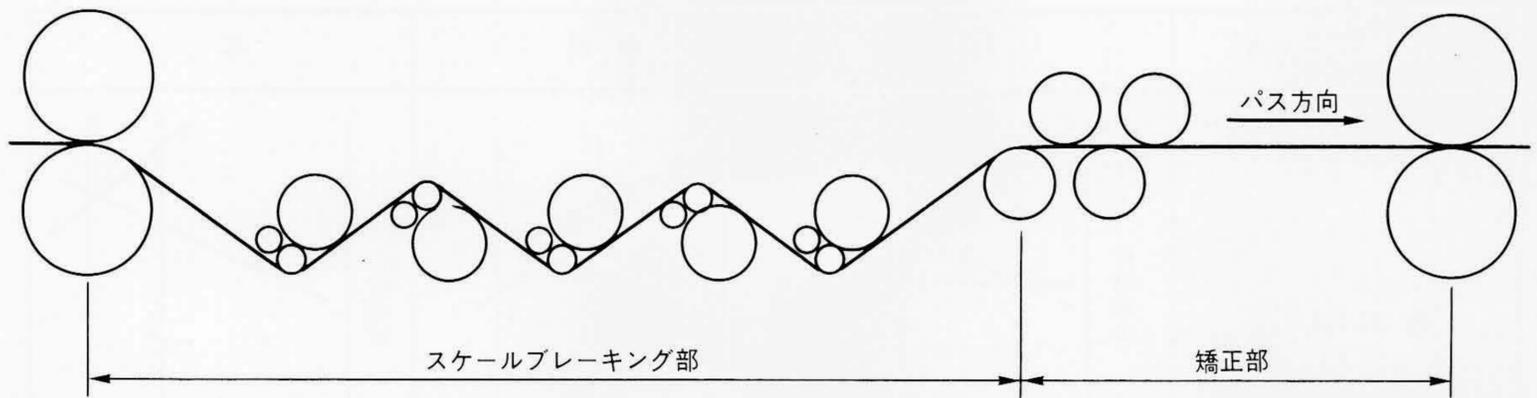


図2 メカニカルスケールブレイキング装置のローラ配置 メカニカルスケールブレイキング装置は、スケールブレイキング部と矯正部が別々に設けられ、形状修正能力をも向上させている。

前章で述べたように高速デスケーリング装置が必要になってくる。

日立製作所は、従来の化学法に代わる、メカニカルデスケール法と酸洗法とを併用する効果的なデスケーリング設備を開発したり。メカニカルデスケール法としては、種々の方式が提案されているが、日立製作所は表1に示す理由によってストリップに「曲げ・引張り」を与え、ストリップ表面のスケールにクラックを発生させ、スケールをはく離させる方式を採用し、酸洗時間を大幅に短縮した。そのローラ配置を図2に示す。本方式のローラ構成によれば、圧下量を大きく取れるために、大きな引張力が不要であるとともに、スケールブレイキング部と矯正部を一体フレーム内に配設することによって、ストリップの形状修正をも効果的に実施できる。

本方式による酸洗時間短縮率を図3に示す。このように、ストリップに伸びを与えることによって、後続の酸洗時間を大幅に短縮することが可能になった。

3.2 両設備の生産能力のバランス化

デスケーリング設備と冷間圧延設備の連続化の場合、単に連続化しても、両工程の相互干渉によって生産量が低下する可能性があり、両設備の生産量をどのようにバランスさせるかが最大の問題点となる。両工程の生産能力と熱間圧延素材板厚の関係を図4に示す。デスケーリング設備の生産量は熱間圧延原板板厚に比例し増加する。冷間圧延設備では、スピードコーンと電動機キロワット容量に制約を受けるため、冷間圧延製品が薄い場合はスピードコーン、厚物の場合は電動機キロワット容量に制約されるという特性がある。したがって、両設備を比較すると、冷間圧延製品厚みが薄い場合は冷間圧延設備側が生産量ネックとなり、厚物の場合はデスケーリング設備側の生産量が低くなる。したがって、素材板厚をアップすることによってデスケーリング側の生産量の改善が行われ、冷間圧延設備側の生産量とバランスさせることができ、生産量を低下させることなく両設備の連続化が可能となる。ただし、その度合は、冷間圧延で高圧下能力に支援される必要があるため、冷間圧延設備の高圧下能力が重要となってくる。

3.3 高圧下圧延

連続化されるラインでは、前節で述べたように、また、品質上、設備費・運転費低減のためにも高圧下圧延性能の優れた圧延機が必ずとなる。日立製作所が開発し既に多くの納入実績を持つHC-MILLは、比較的小径で、適正な作業ロール径を用

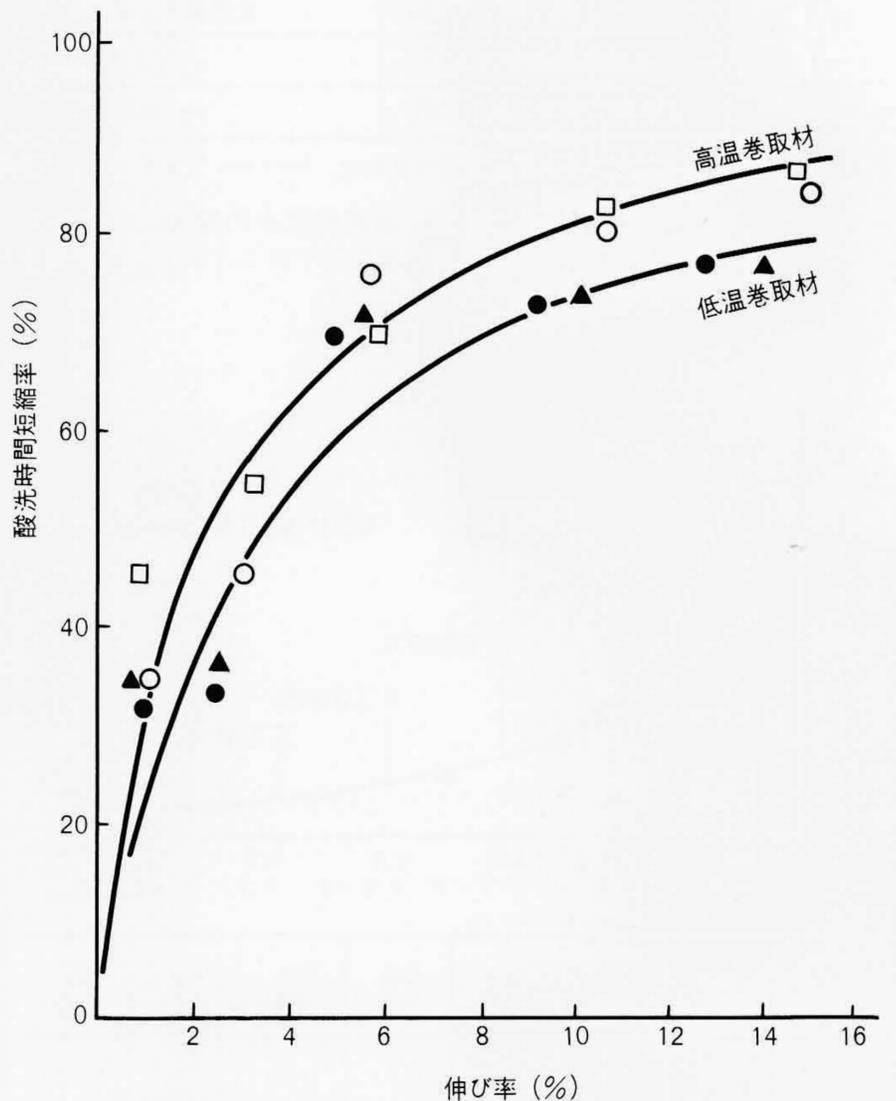


図3 酸洗時間の短縮率 伸び率の増加によって酸洗時間は大幅に短縮される。

いて圧延材の形状を崩さず、高圧下圧延が可能であるため、正に上記のニーズにこたえられる圧延機であると言える。

HC-MILLの高圧下圧延性能を証明したデータを図5に示す。これは、新日本製鐵株式会社八幡製鐵所既設6スタンドタンデムミルで、第1、第2スタンドにHC-MILLを配置し、従来2.3mmであった素材板厚が4mmまで厚手化可能となった例である²⁾。

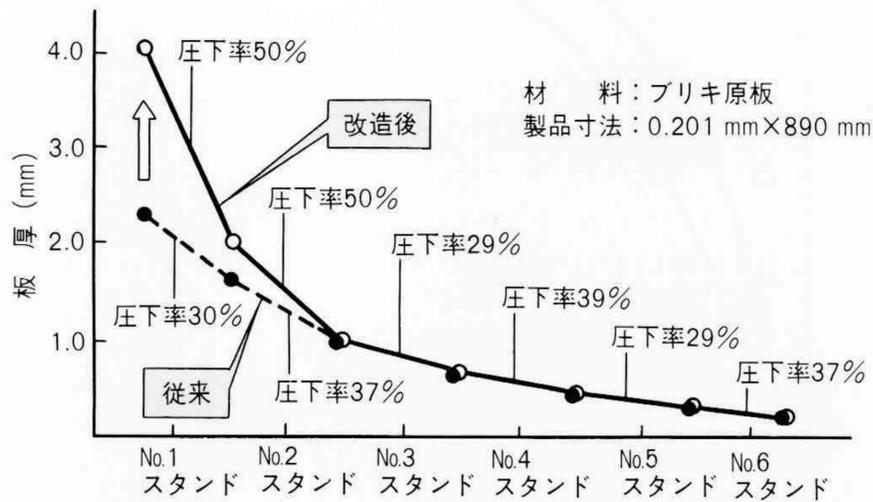
ここで、冷間圧延製品コストと熱間圧延素材厚みの関係の概念図を図6に示す。熱間素材厚みの増加に伴い、熱間圧延費、デスケーリング費は減少し、冷間圧延費用は逆に増加するため、その合計コストには最小値が存在する。

従来のバッチ式冷間圧延機では、ストリップ先端のロールへのかみ込み性、通板、しり抜き時のストリップの形状安定

冷間圧延製品板厚		薄	中間	厚
生産能力				
制約条件	デスケリング	—	生産量ネック	生産量ネック
	冷間圧延	生産量ネック	—	生産量ネック
生産能力改善方法		—	素材板厚アップ	素材板厚アップ
圧延機に要求される機能		—	高圧下機能	高圧下機能

注：——冷間圧延設備生産能力，- - - デスケリング設備生産能力

図4 生産能力と熱間圧延素材厚みの関係 デスケリング設備と冷間圧延設備を連続化した場合、熱間圧延素材厚みをアップし、冷間圧延で高圧下することによって設備全体の生産能力を向上させることができる。



	原板	No.1 出側	No.2 出側	No.3 出側	No.4 出側	No.5 出側	No.6 出側
従来	2.3	1.6	1.0	0.71	0.45	0.32	0.201
改造後	4.0	2.0	1.0	0.71	0.45	0.32	0.201

注：単位 (mm)

図5 HC-MILLによる高圧下圧延 既設タンデムミルのNo.1, No.2スタンドをHC-MILLに改造し、高圧下圧延性能によって素材板厚の大幅な厚物化が可能になった。

性の制約条件が厳しく、これによって熱間圧延素材厚みが制限されていた。しかし、連続化により通板・しり抜け作業が不要となり、制約条件が緩和される一方、形状制御能力の優れたHC-MILLの適用によって高圧下が可能となるので、熱間圧延素材板厚を適切に選定でき省エネルギーは飛躍的に改善される。熱間圧延素材板厚の増加は、デスケリング設備の効率化、コンパクト化にも有効である。

3.4 新形ストリップセンタリング装置

デスケリング工程でのトリミングトラブルの防止には、ストリップのキャンバや蛇行に完全に追従する高性能のスト

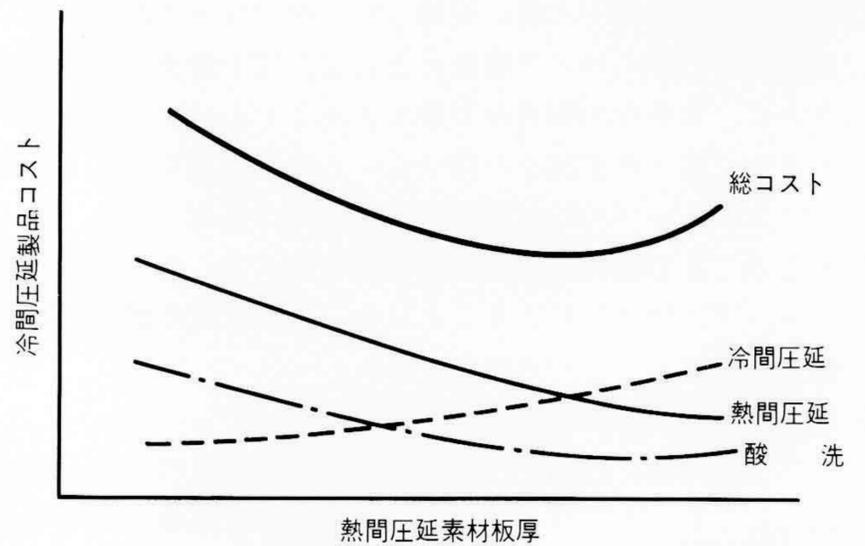


図6 冷間圧延製品コストと熱間圧延素材板厚の関係(概念図) 熱間圧延素材板厚をアップすることによって、冷間圧延製品コストを下げる可以降低ることができる。

リップセンタリング装置が必要となる。

また、最近では、板クラウン、エッジドロップ改善を目的としたワークロールシフトミルが開発実用されており、それらを有効に活用するには、ストリップを精度よくセンタリングした状態で圧延機に供給することが必ずである。

従来のストリップセンタリング装置を図7に示す。一般に、連続設備でのストリップの蛇行量は百数十ミリメートルあり、これを修正するには、この蛇行量に見合った量でステアリングローラをスイングさせている。しかし、このスイングに際して、蛇行修正を安定して行わせるために、ステアリングローラの前後に最大ストリップ幅の2~3倍程度の長さのフリースパンを設ける必要がある。また、蛇行量検出器は制御の安定性のため、ステアリングローラの直後に近接して置かれている。したがって、蛇行検出器部では、ストリップがその走行ラインから左右にずれることなく直進するが、キャンバ

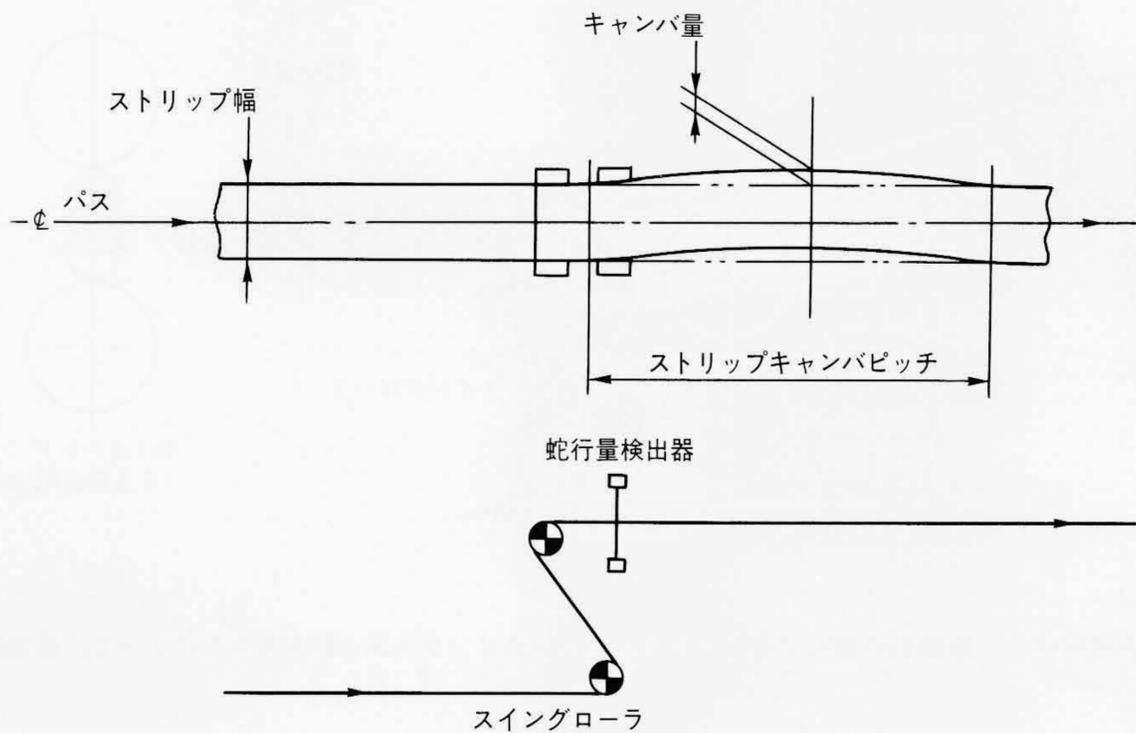


図7 従来技術によるストリップセンタリング装置 ストリップの蛇行修正は可能であるが、ストリップのキャンバ修正はできない。

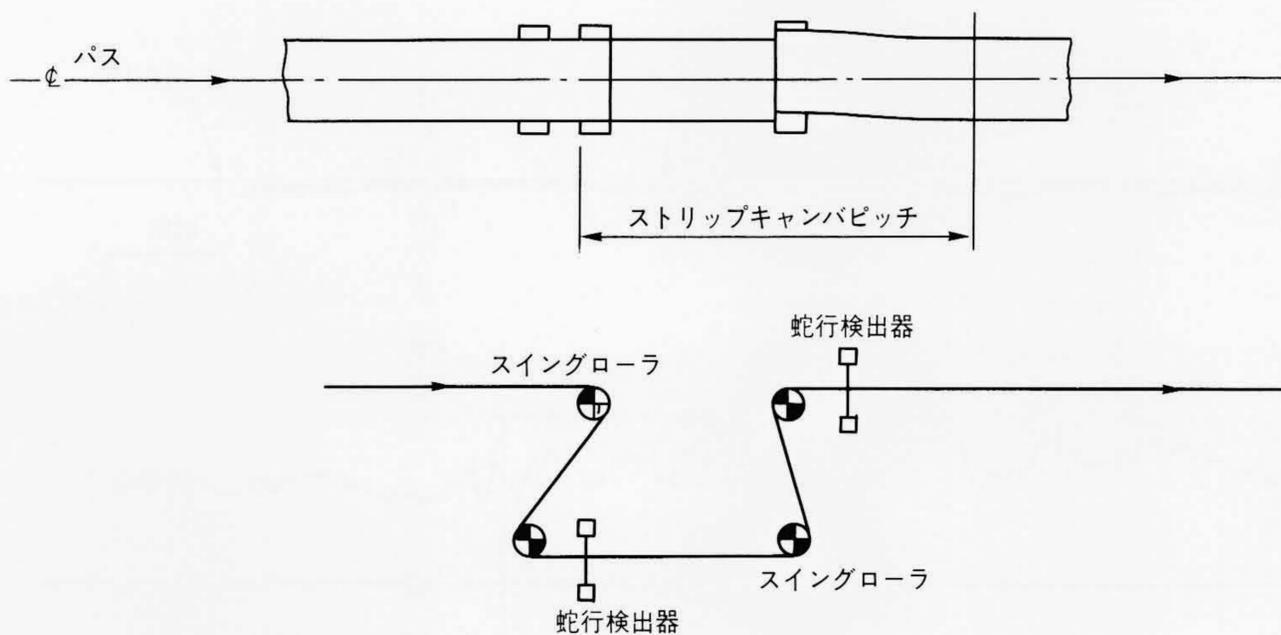


図8 新形ストリップセンタリング装置 2台のスイングローラで、ストリップの蛇行修正とキャンバ修正を各々独自に行うことによって、ストリップのセンタリングを高精度に行うことができる。

を持つストリップでは、蛇行検出器以後ではセンタリングはできず、板曲り量がそのまま蛇行量となってしまう。以上述べたように、従来のセンタリング装置は、キャンバを持つストリップのセンタリングについて配慮がなされていなかった。

このような不具合を解決するために開発されたストリップセンタリング装置を図8に示す。この新形のセンタリング装置は2台のスイングローラから成り、上流側のスイングローラは従来どおりの蛇行修正を行い、下流側のスイングローラで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イングローラのスイング量はキャンバ量に相当した量しか必要としないので、従来の蛇行修正装置が必要とした前後のフリースパンより短くしても無理なく制御でき、キャンバを持つストリップでも高精度なセンタリングができることになる。

実機適用例を図9に示す。本図は、日本鋼管株式会社福山製鉄所4スタンドタンデムミルの入側に新形センタリング装置を配置した例である。2台のスイングローラ間に圧延機入側張力を確保するためのブライドルロールが設けられている。この新形ストリップセンタリング装置の性能を証明したデー

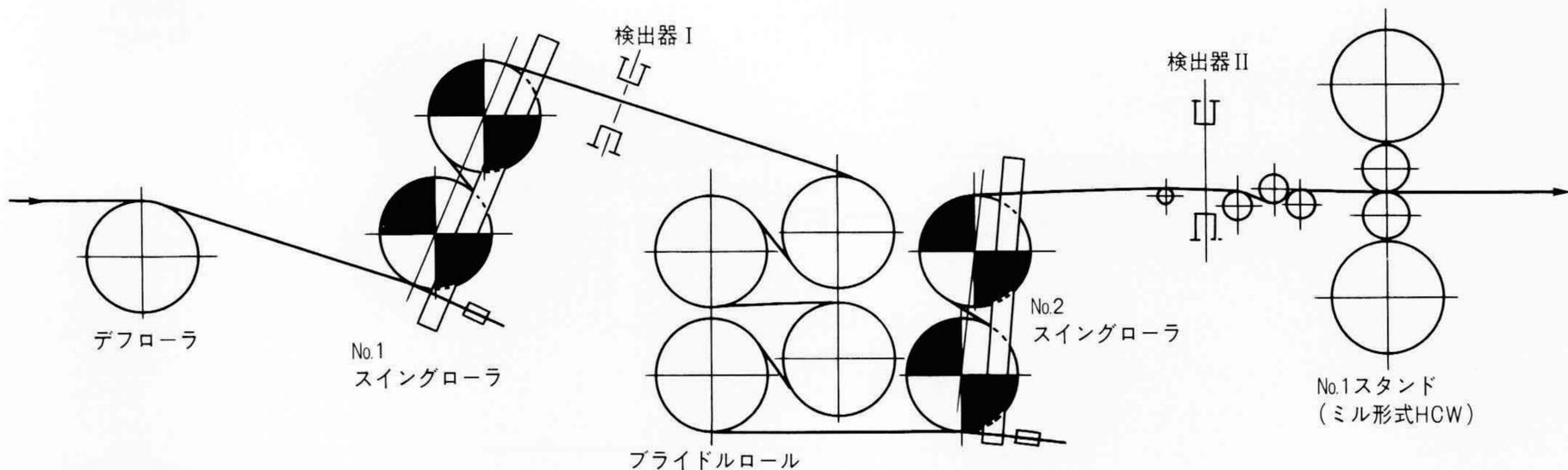
タを図10、11に示す。図10はNo.1ステアリングローラだけ制御し、No.2ステアリングローラは制御しなかった場合の実測データである。No.1ステアリングの出側では、ストリップが精度よくセンタリングされているが、圧延機の入側では新たな蛇行が発生し、またストリップのキャンバを制御できず、大きく蛇行している。図11は、No.1、No.2ステアリングローラ共に制御した場合のデータを示すもので、ストリップの蛇行量が±2mm以内にセンタリングされており、ストリップの蛇行修正とキャンバ修正が精度よく行われていることが分かる。

3.5 FSC

設備の連続化によって冷間圧延設備の入側には、種々の圧延材が溶接され送り込まれてくる。

この各圧延材の品質、精度を確保するためには、圧延材の溶接点で適正な板厚、形状などの制御を短時間でかつ高精度に行う必要がある。これを制御面から考えると、下記項目を確実に実施する必要がある。

(1) FSC (Flying Schedule Change : 走間スケジュール変更) 時のセットアップ、及びトランジェント時のセットアップモ



注：HCW (4段作業ロールシフト形HC-MILL)

図9 新形ストリップセンタリング装置の適用例 圧延機入側に2台のストリップセンタリング装置を配することによって、高精度のセンタリングが可能となる。

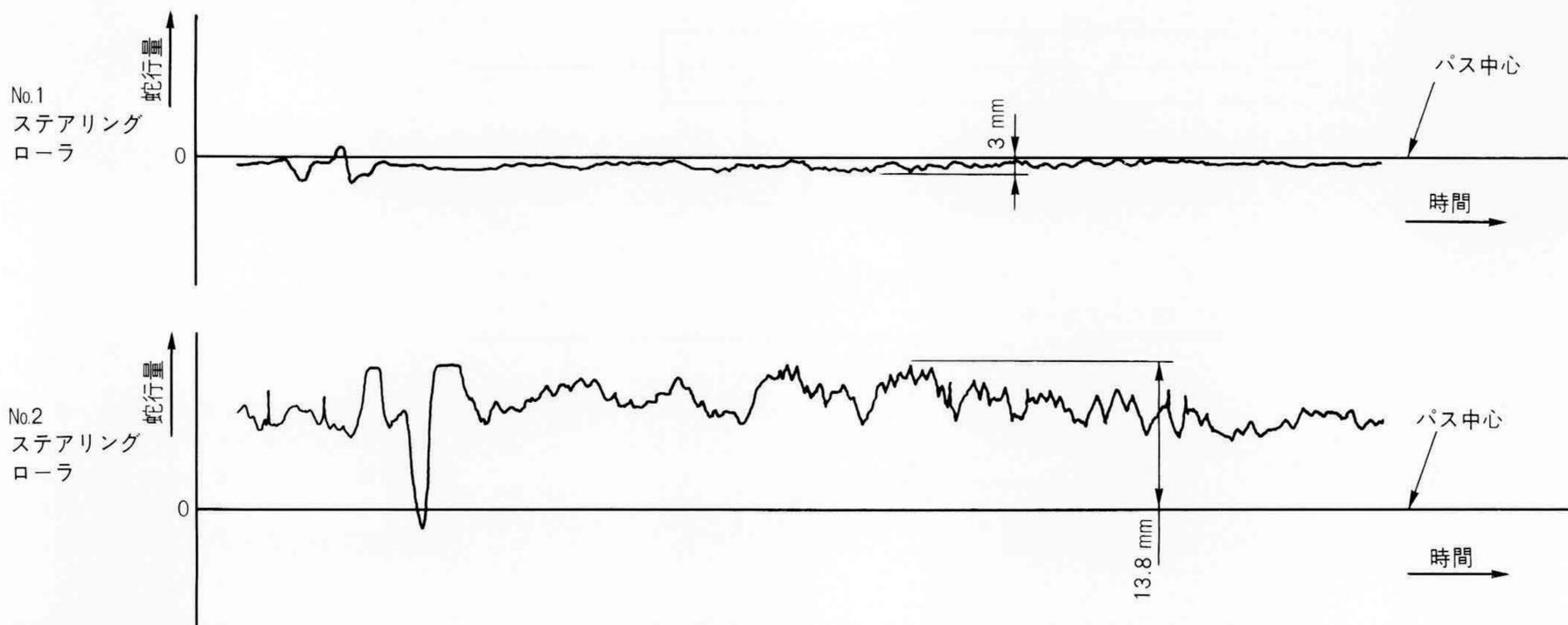


図10 No. 1, No. 2 ステアリングローラ蛇行修正結果(No. 1 ステアリングローラだけを制御した場合) No. 1 ステアリングローラだけ制御し、No. 2 ステアリングローラを制御しないと、ストリップのキャンバに相当した量で蛇行している。

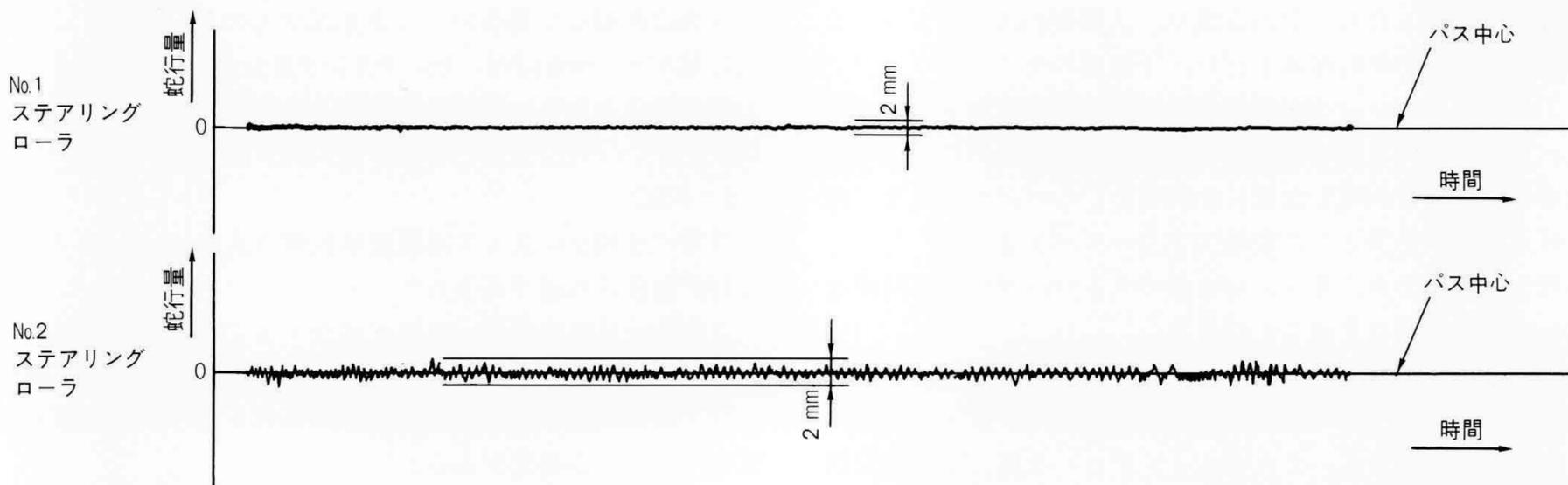


図11 No. 1, No. 2 ステアリングローラ蛇行修正結果(No. 1, No. 2 ステアリングローラとも制御した場合) No. 1, No. 2 ステアリングローラとも制御すると、ストリップの蛇行量が±2 mm以内にセンタリングされている。

デルの適応修正

- (2) FSC中のスタンド間張力制御の精度向上
- (3) FSC中の板厚精度の向上及びオフゲージ長さの短縮
- (4) FSC中の形状悪化及び蛇行による絞り込みの回避

前記(1)は、FSC中の外乱を最少限とするためのもので、セットアップモデルの精度を向上させ、特に、低速時の摩擦係数の増大に伴う圧延荷重の上昇を、張力配分によって抑えるモデルとしている。また、溶接点が前段スタンドから該当スタンド通過中、及び次スタンドへ到達するまでの間は、張力配分が変動するため圧下、速度及び張力設定の過渡スケジュールを設けている。

前記(2)は、その前提として、全スタンドはもちろんのこと、入側ブライドル及びテンションリールのD-ASR(デジタル方式による速度制御)が必ずである。また、圧延現象の変化に対応するために、D-ASRの各スタンドごとの制御ゲイン、及び圧延負荷によって速度をバランスさせるドルーピング配分が、張力をマイナに安定させる基本条件となる。

前記(3)及び(4)は、高速圧下装置及び全スタンドHC-MILLによって対応しているが、更に制御としては、高精度化を目指すべく新制御技術を導入している。

すなわち、板厚制御に関しては、従来の各スタンド独立の制御に加え、全スタンドの圧下及び張力を統括的に制御する多変数適応制御を実機に適用し、更に最終スタンドでは、形状制御との干渉を回避するための協調分散制御技術を駆使した制御を確立しつつある。

FSC中では、急激な母材クラウンの変化によって蛇行が発

生しやすく、絞り込みに至るケースが多々あるが、これを解析し蛇行防止制御を行っている実例もある。

また、HC-MILLの中間ロールのシフト及びロールベンディングの変更を協調させて制御することにより、FSC中の形状を良好に保つとともに、FSCスタートタイミングを、先行及び後行板厚の変化量により変更させることで蛇行を防止し、板切れを一段と減少させた。

次に、形状制御については、HC-MILLの幅広い形状制御能力を利用し、次工程での通板性及び蛇行防止を目的として、例えば常に耳伸び傾向に圧延するなどの種々のニーズに応じられる制御機能を持たせた。

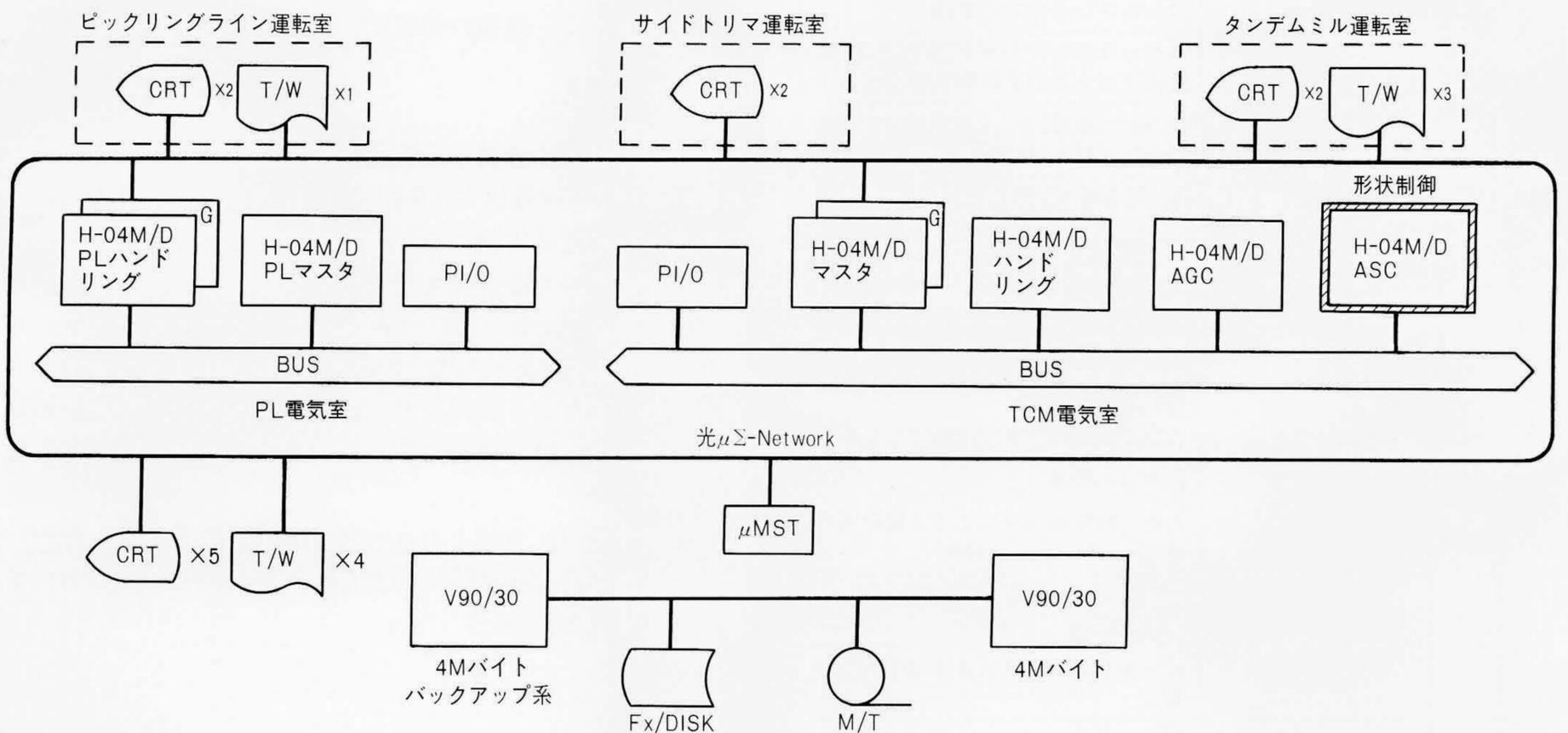
一例として、圧延中のストリップでは、中央部の温度が高いため腹伸び傾向に見えるが、これは圧延後に冷却されると耳伸びに変化する。よって、次工程のニーズ及び冷却後の形状変化を予測して、圧延中の形状パターンを選択し設定している。これは、セットアップ計算機のスケジュールから、テーブル検索方式によって最適制御を図っている。

以上、これらの制御を行うシステム構成を図12に示す。

4 適用例

前章までに説明した新技術を盛り込んだ最新鋭デスケーリング直結冷間圧延設備の適用例を図13に示す。

デスケーリング設備には、酸洗槽入側にメカニカルデスケーリング装置を設け、酸洗時間短縮効果を上げるとともに、冷間圧延設備には、全スタンドにHC-MILLを配置し、設備のコンパクト化を図り、各設備に新技術を取り入れた例である。



注：略語説明 CRT(Cathode Ray Tube), T/W(Typewriter), H-04M/D(HISEC-04M/D)
 PI/O(Process Input/Output), AGC(Automatic Gage Control)
 ASC(Automatic Shape Control), TCM(Tandem Cold Mill)
 MMST(Micro Master Station), Fx/DISK(Fixed Disk)
 M/T(Magnetic Tape), V90/30(HIDIC-V90/30)

図12 走間スケジュール変更制御システム構成 圧延材の変更点で、適正な板厚、形状などの制御を短時間で高精度に行うシステム構成である。

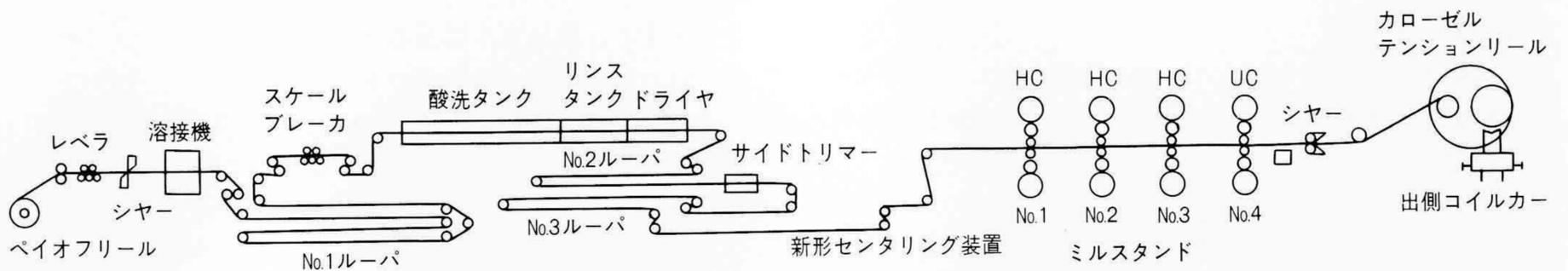


図13 最新鋭デスケーリング直結冷間圧延設備全体配置図 酸洗槽前にメカニカルスケールブレーカを設け、酸洗時間短縮効果を上げるとともに、全スタンドワークロールシフト付きHC-MILLを配した、コンパクトな全自動高効率・高性能設備である。

表2に、各設備ごとの機器の特徴を示す。同表に示す特徴をまとめると下記のようになる。

(1) デスケーリング設備

(a) 入側設備

コイル先端口出し自動などによる自動化を推進し、少人数によるライン運転を可能としている。特にウエルダまでの先端自動通板技術、及び高速化技術を確立した。

(b) 中央設備

表2 最新鋭デスケーリング直結冷間圧延設備の各機器の特徴
新設備の特徴は、コンパクト化と全自動高効率・高性能化を図ったことである。

設備	項目	特徴	
デスケーリング設備	入側	自動通板	自動先端口出しほかによる自動通板
	中央	スケールブレーカ	繰返し曲げ法採用による効果的なスケールブレーキング処理 スケールブレーキング部と矯正部の別体化による効果的形状修正能力
		酸洗槽	張力付加装置(テンションパッド)によるストリップリフタの廃止 不等分割方式の採用によるカタナリ量制御の安定化
		ルーパ	ガイドウェイ式ストリップサポートロールの採用による信頼性向上
	出側	サイドトリマー	新形ストリップセンタリング装置採用によるサイドトリミングトラブルの防止 高剛性プルカット式採用による切断面形状の改善 迅速刃替機構採用による刃替時間の短縮化(ターレット式)
		スクラップチョッパ	刃物オシレート機構採用による刃物寿命の延長
ロータリドラム式による切断性能の向上			
冷間圧延設備	入側	新形ストリップセンタリング装置による高精度なセンタリング	
	圧延機	全スタンド作業ロールシフト付きHC-MILLを採用	
	出側	フライングシヤ-	走間カット、停止カット切換式
テンションリール		カローゼルリールの採用によるライン構成のシンプル化	

酸洗槽入側に既に述べた繰返し曲げ法を採用したメカニカルデスケーラ装置を設け、酸洗時間の短縮化及び酸消費量を低減させ、効率を向上させた。

(c) 出側設備

新形センタリング装置、高剛性サイドトリマー及びロータリ式スクラップチョッパの構成により、トリミング処理の確実化、高速化を図っている。

(2) 冷間圧延設備

(a) 形状制御能力の優れたHC-MILLを全スタンドに採用して高圧下圧延を実現し、デスケーリング設備操業の安定化、コンパクト化を図っている。また、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た。

(b) ミル入側にも、新形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によって、高精度のエッジドロップ制御を可能としている。

(c) 巻取機には、カロ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。

5 結 言

デスケーリング設備と冷間圧延設備の連続ラインでの技術課題、及びこれを解決する新技術について述べた。すなわち、このような設備の実現には、両設備の能力を最大限に発揮させることのできる高速デスケーリング設備と圧延機及びその附属機器が必要であった。これに対しメカニカルデスケーリングによる高速デスケーリング装置、HC-MILL及び新形ストリップセンタリング装置などの技術開発、あるいは既技術の応用によって、真に優れたデスケーリング直結冷間圧延設備を可能にした。

日立製作所は、今後ともユーザーの要望にこたえるため、いっそう品質及び生産性の向上を図る設備の開発に努力してゆく考えである。

参考文献

- 1) 秦, 外: 高速デスケーリング設備の新技術, 日立評論, 67, 4, 309~314(昭60-4)
- 2) 今井, 外: タンデムミル前段6重冷間圧延機における高圧下圧延(第1報), 昭和55年度塑性加工連合講演会論文集, p.77~80 (1980-5)