

センジマーミルの最近の動向

Recent Trend of Sendzimir Cold Strip Mill

Extra-large width Sendzimir mills with a strip width of around 1,600 mm are being installed one after another. New techniques and devices introduced in these mills such as mechanization of work roll changer, automation of coil handling, novel screw-down devices, etc. are described. Also, theoretical analyses of the effects of AS-U rolls and lateral adjustment of first intermediate rolls in connection with the shapes of rolled products are discussed.

福井嘉吉* *Kakichi Fukui*
 藤野伸弘* *Nobuhiro Fujino*
 小島龍次* *Tatsuji Kojima*

1 緒言

日立製作所は、昭和33年に国産第1号センジマーミルを納入して以来、センジマー社の設計を基に、国内各ユーザーの指導と日立の技術を加えて42台にも及ぶセンジマーミルを製作してきた。このうち、板幅1,000mm以上の広幅の圧延機の製作台数は28台と世界第一の実績を有している。この間センジマーミルも徐々に改良を加えられ、ユーザーの技術とメーカーの技術が結集した成果として現われたのが世界で初めて完成したセンジマータンデムミルであり、センジマーミルの製作に一時代を画したものである。本件についてはすでに発表されている⁽¹⁾ので今回は説明を略すが、この後製作された板幅1,600mm前後の超広幅センジマーミルには最近の技術が各所に取り入れられている。これらを中心に最近におけるセンジマーミルの動向につき説明する。

2 広幅センジマーミル

化学機械の大形化などにより超広幅ステンレス鋼板の需要が増加し、高能率のストリップミルが要求されるようになり、従来の最大板幅1,240mmを越える板幅1,600mm程度のステンレスを圧延する超広幅センジマーミルが出現した。以下に超広幅センジマーミルの実績と問題点について説明する(図1)。

2.1 超広幅センジマーミルの実績

表1は実績を示すもので、また、これより明らかなように、これらのミルはいずれも近年製作されたもので、単に超広幅というだけでなく、压下装置にZアクチュエータを使用するなど、最新の機構を取り入れている。

2.2 超広幅センジマーミルの問題点とその対策

ミルが大形化するにつれ、下記の問題点があげられ、単に従来の1,200mm幅のミルをスケールアップするだけでは解決

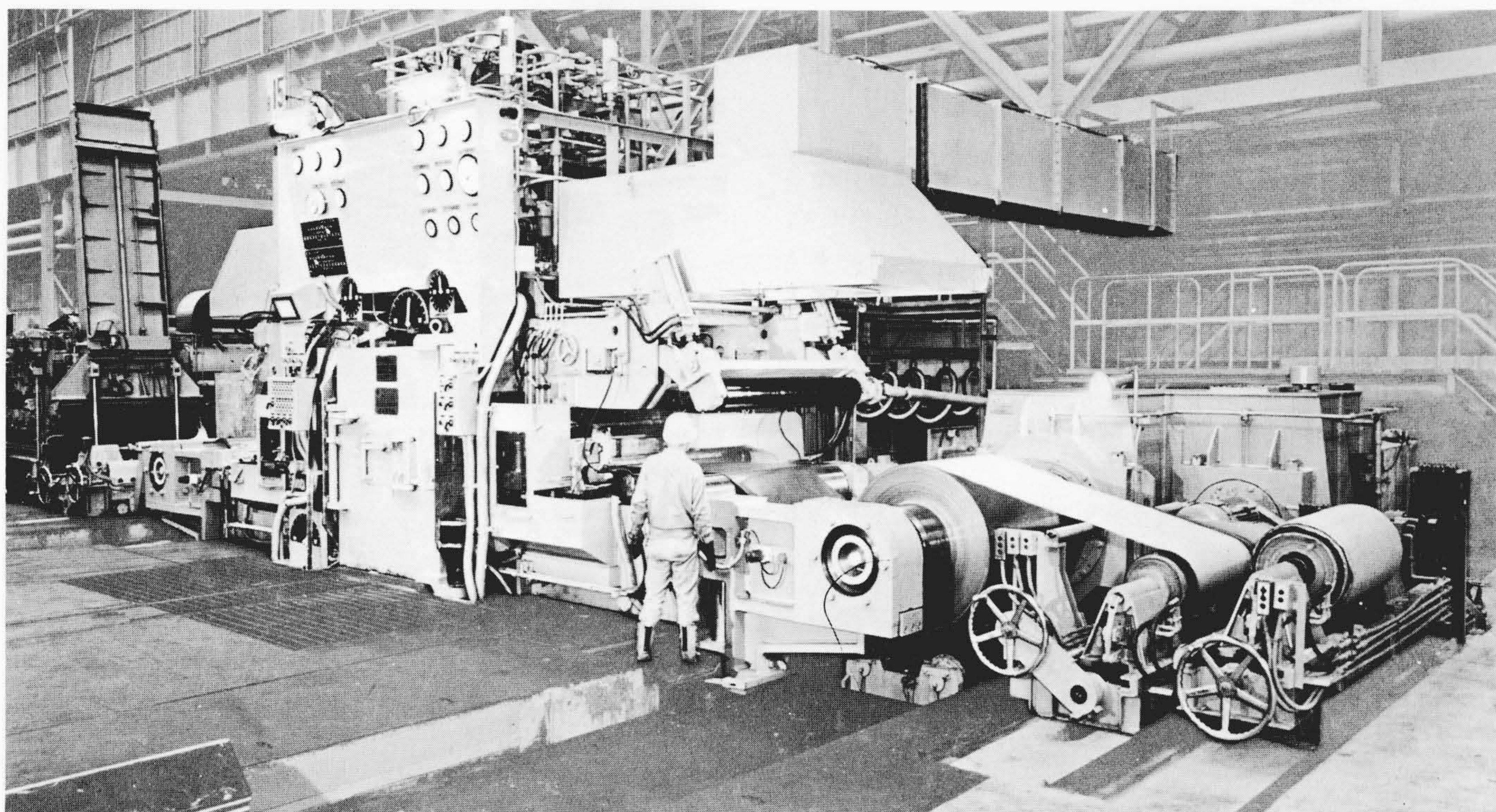


図1 広幅センジマーミル 稼(か)動中の1,580mm幅センジマーミルの全景を示す。

Fig. 1 1,580mm Width Wide Sendzimir Mill

* 日立製作所日立工場

表1 世界の広幅センジマーミル仕様一覧表 世界の板幅1,580mm以上のセンジマーコールドストリップミルの主仕様を示す。

Table 1 Specifications of Ultra Wide Sendzimir Mills in the World

納入先国名	日本	日本	日本	オーストラリア	日本	日本	ドイツ	ドイツ	フランス	ソビエト
納入先会社名	日本冶金(川崎)	川崎製鉄(西宮)	鹿島日本ステンレス	Common Wealth	日本金属工業(衣浦)	新日本製鉄(光)	Stahlwerke Sudwestfalen	Deutsche Edelstahl Werke	Forges de Gueugnon	Stankoimport
メーカー名	日立	日立	日立	日立	日立	日立	DEMAG	DEMAG	FIVES LILLE-CAIL	INNOCENTI
製作年	1971	1971	1971	1971	1972	1973	1969	1969	1969	1970
ミル形式	ZR-21B-62	ZR-21A-62	ZR-21B-62	ZR-21AA-66	ZR-21B-62	ZR-21B-63	ZR-21BB-61	ZR-21BB-61	ZR-21B-60	ZR-21MB-60
圧延速度(m/min)	260/450	125/300	250/350	122/244	200/400	250/500	450	500	500	750
圧延材	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	ステンレス	軟鋼 ステンレス
素材板厚	max 8.0	max 7.0	max 8.0	max 8.0	max 8.0	max 8.0	7.5	7.0	8.0	5.0
仕上板厚	min 0.5	min 0.8	min 0.8	min 0.457	min 0.5	min 0.8	0.5	0.5	0.1	0.2
板 (mm)	940~1,580	950~1,580	914~1,600	762~1,675	940~1,580	900~1,600	750~1,530	900~1,550	600~1,530	775~1,550
コイル外径(φ)	1,800	1,700	2,000	1,830	1,900	2,300	1,800	1,800	1,815	1,800
コイル内径(φ)	610	660	610	660	610	660	610	610	610	750
テンション(t)	45	60	45	57.3	45	50	45	45	45	26.5
ミルモータ容量(kW)	4,100	2,400	4,800	2,240	4,000	4,800	5,750	4,500	3,950	3,350
圧下方式	フォローバルブ	フォローバルブ	フォローバルブ	Z アクチュエータ	Z アクチュエータ	Z アクチュエータ	Z アクチュエータ	Z アクチュエータ	フォローバルブ	フォローバルブ
リール形式	拡縮形	ソリッド ブロック	拡縮形	ソリッド ブロック	拡縮形	拡縮形	拡縮形	拡縮形	拡縮形	拡縮形

できない問題が多くある。これらの問題点をあげると、
(1) 作業ロール重量の増加—作業ロール組替えの問題
(2) 板幅の広幅化による張力増加—テンションリールの強度
(3) 板幅、コイル径およびコイル重量の増加によるコイルハンドリングの問題
などがおもなものとしてあげられる。以下にこれらの問題点の解決策について説明する。なお、(3)項の問題については、3.の自動化の項において説明する。

2.2.1 作業ロール組替え

従来の板幅1,240mm以下の圧延機では、人力により作業ロール組替えを行っていたが、板幅1,600mm程度の圧延機で、ロール径88mmφのもので重量は約110kg程度にも達し、とうてい人力では組み替えられぬ重量に達している。これを解決するには、ロール組み替えの機械化以外に方法はない。ロール組替えの機械化を行なううえでの問題点は、

- (1) 従来の人力組替えでは、1～2分程度の組替時間しか要していないが、機械化した場合でもこの程度の時間であること。
- (2) センジマーミルの少ないロール開度でかつ圧延材のある状態で組み替えるので、組替え時の間げきがきわめてせまいが、この間げきで新ロールにきずをうけず組み替えられること。
- (3) 圧延中、圧延作業の障害にならぬこと。

などで、図2はこれらの問題を解決して開発した方法を示すものである。これは台車式で、ロール受台の高さが調整でき、旧ロールはシリンダで押し出され、旧ロール置台へ移動され、新ロールはロール受台へ載せられミル内にそう入される。

この組替台車により、従来4人がかりで行なっていた組替作業が1～2人で行なえるため省力化に役だち、作業員の労力を軽減している。なお、従来の1,240mm幅の圧延機でも88mmφのロールで重量が90kgになるので、今後このような組替装置を採用する必要があるものと考える。

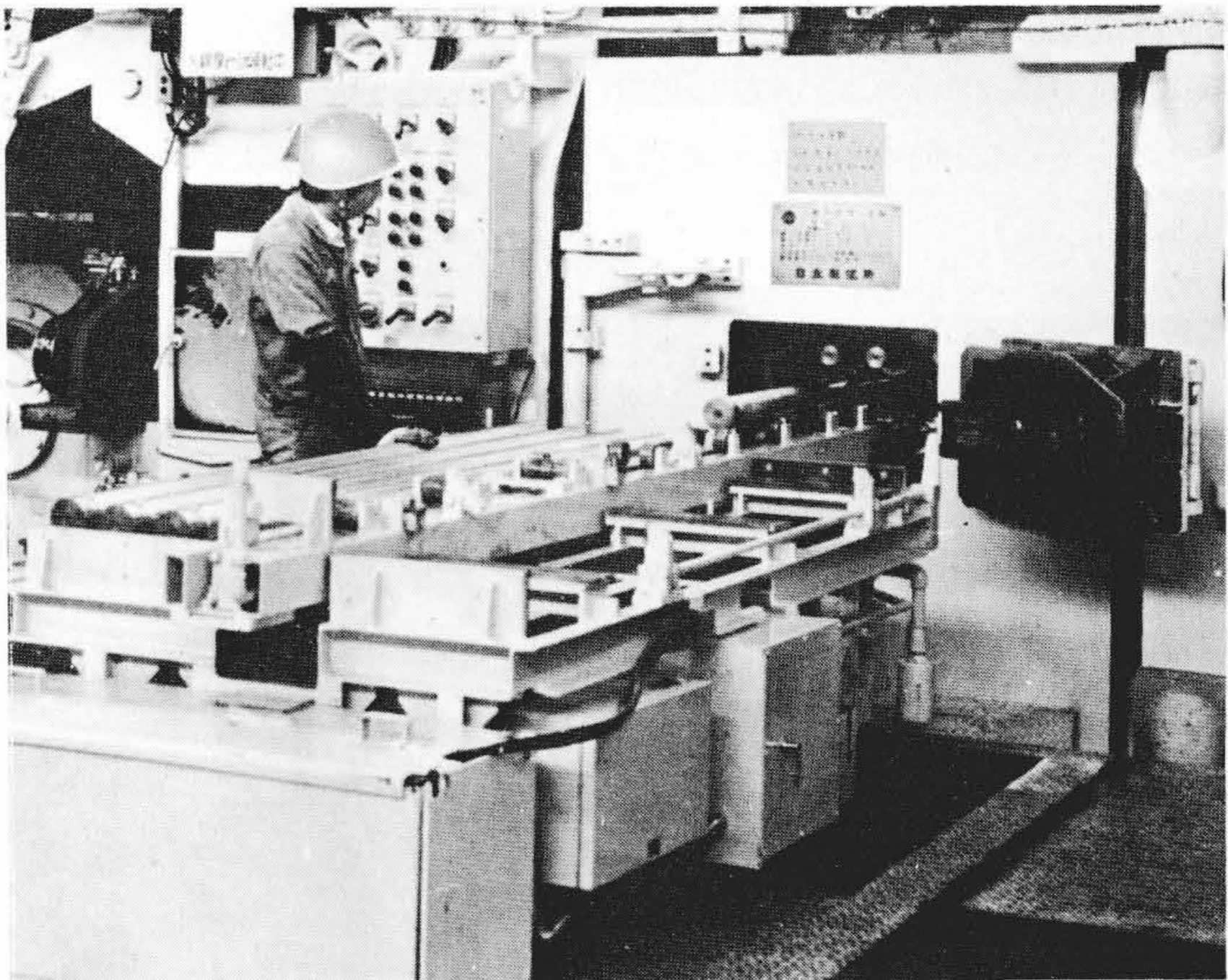


図2 台車式作業ロール組替装置 日立製作所で開発した台車式作業ロール組替装置で、圧延材のある状態で約2分前後で新旧ロールの交換ができる。

Fig. 2 Working Roll Changer

2.2.2 テンションリールの強度

強大な巻締力を受けるセンジマーミル用テンションリールとしては、二重シャフト式ピラミッド形拡縮リールと、中実のソリッドブロック式リールとがあげられるが、広幅ミル用としていずれを採用するかは、設備構成を決定し、投資効果を判断するうえで重要なことである。まず、両者の強度を比較すると、二重シャフト式ピラミッド形はドラム開閉時にセグメントが移動するという、一重シャフト式ピラミッド形の欠点を補って開発されたもので、ドラム開閉時にセグメントが軸方向へ移動しないので、強大な巻締力が作用するとピラミッドが逃げてドラムに過負荷が作用するのを防ぐ、いわゆ

表2 テンションリール用コントロールドコラップスドラムとソリッドブロックドラムの比較 センジマーミルに使用されているテンションリールのコントロールドコラップス形ドラムとソリッドブロックドラムの利害得失について比較した。

Table 2 Comparison of Merit and Demerit of Collapsible Drum and Solid Block Drum for Tension Reel

No.	項 目	コントロールドコラップスドラム	ソリッドブロックドラム
1	ドラム強度	同 等	同 等
2	製 作 費	低	高
3	設 備 費	厚 板	低
		薄 板	同等または高（スプールの償却費のため）
4	ハンドリング 圧延準備作業 圧延準備時間	容 易	ハンドリングを容易にし、時間を短縮するためには、テンションリールをスィーベルタイプにするなど、大規模な設備となる。
5	コイルのバックリング	生ずる要素がある。ただし、スプールの使用で解消可	生ずる要素がない。
6	メンテナンス	難	容 易
7	予備準備費	兼用ドラム1本、薄板圧延用にはスプール必要	ソリッドブロック2本内1本は運転予備

るコントロールドコラップス方式がとれる。開発当初は若干問題もあったが、巻締力の理論解析と実地測定⁽²⁾およびドラムの応力解析を行ない、現在では応力バランスのとれた高張力用リールとしては最強のリールとして確立されたものとなり、多くの実績をあげている。一方、高張力での圧延時には中実ドラムに巻き取り、圧延後低張力で拡張形ドラムに巻き取るソリッドブロック式リールは、中実ドラムであるため一般に強度大と考えられているが、中実であるため巻締力の逃げ場がなく、ドラムが絞られ、軸方向に永久変形して支持装置、駆動装置に問題を生ずることがある。以上、ドラムの強度は巻締力によって決定されるが、コントロールコラップスリールの場合、ドラム形状が複雑であることと、薄板圧延に対してはスプールの必要とすることから、薄物主体設備ではソリッドブロックリール、厚物主体設備ではコントロールコラップスリールが適当と思われる。

表2は二重シャフト式ピラミッド形とソリッドブロック式の比較を示すものである。これより厚板成品主体であれば、二重シャフト式ピラミッド形のほうが操業上、設備上有利であると考えられ、超広幅ミルで二重シャフト式ピラミッド形が多く使用されているのはこのためと考えられる。なお、二重シャフト式ピラミッド形では、ドラム径を従来の510mmφより610mmφ、または660mmφとして強度増加を図っている。ソリッドブロック式もまた従来の610mmφのまま、または660mmφとしている。

3 センジマーミルの自動化

4Hコールドタンデムミル、4Hレバーシングコールドミルなど、四重式冷間圧延設備に自動化が取り入れられてから久しく、また実際の効果をあげているがセンジマーミルでは自動化は自動板厚制御を除いてほとんど取り上げられていないといっても過言でない。しかしセンジマーミルでも取り扱うコイルの重量、板幅、外径などが大形化してきたことおよび省力化の要求により自動化の必要性がでてきた。日立製作所では四重冷間圧延設備で開発した技術を応用し、センジマーミルの自動化に挑(ちょう)戦した。次にその概要を紹介する。

3.1 コイルハンドリングの自動化

- (1) バンド切断
- (2) ペイオフリールへのコイル自動そう入装置、テンションリールからのコイル拔出し。これはコイルの自動高さ調心、自動幅調心と自動シーケンス運転の組合せより成っている。
- (3) コイルの自動結束

これらはいずれも四重圧延機では成功している技術であるが、センジマーミルとしては初めての試みである。

3.2 ペーパーコイルの自動ハンドリング

コイルの広幅化、大径化に伴い中間そう入ペーパーの取り扱いが困難になるので、下記を自動化または遠隔操作化したものである。

- (1) ペーパーコイルの自動装てん
- (2) ペーパーコイルの自動供給
- (3) ペーパーコイルの自動巻もどし

これはステンレス鋼板のように高級材に使用するペーパーのハンドリングの自動化で、センジマーミル独特のものである。

3.3 自動通板

コールドタンデムミルでは自動通板は成功しているが、4Hレバーシングミル、センジマーミルではまだ試みられていないが、次の2例について自動通板を試みている。

- (1) ペイオフリールよりレベラーを経てミル入口まで
- (2) ペイオフリール通板ガイドを経てテンションリールまで

3.4 自動運転

作業員の労働の軽減を図り、製品の歩どまりをよくするため下記自動運転を取り入れている。これの詳細については別途に紹介される予定であるので、ここでは項目のみ列記するにとどめる。

- (1) テンションリールグリップ位置の正確停止
- (2) 自動レバース
- (3) 自動減速
- (4) 自動正確停止

これはレバース運転の場合、できるだけオフゲージ部を少なくし、かつ万一誤ってオフゲージ部に乗り上げて過負荷を生じロールなどを損傷しないためのもので、オフゲージ部の直前で圧延を停止する方式である。

4 製品品質の向上

4.1 製品板厚精度の向上

4.1.1 センジマーミルのミル剛性

センジマーミルの剛性については理論計算と測定結果を報告した⁽³⁾が、この結果を表3に、他の形式のミルとの比較を図3に示すが、センジマーミルは四重圧延機および他の形式の多段ミルより剛性が高く、ミル自体が素材の板厚むらを強力に

表3 センジマーミルの各部の変形の割合 センジマーミル本体各部分の変形の割合を計算した結果を示す。

Table 3 Deformation Distribution in Parts of Sendzimir Mill		
部 品 名	変形の割合(%)	
ロールハウジング	3.63	
支持ベアリング軸	6.47	
支持ベアリングサドル	4.76	
圧 下 装 置	1.14	
ロールの接触部	84.0	
合 計	100.0	

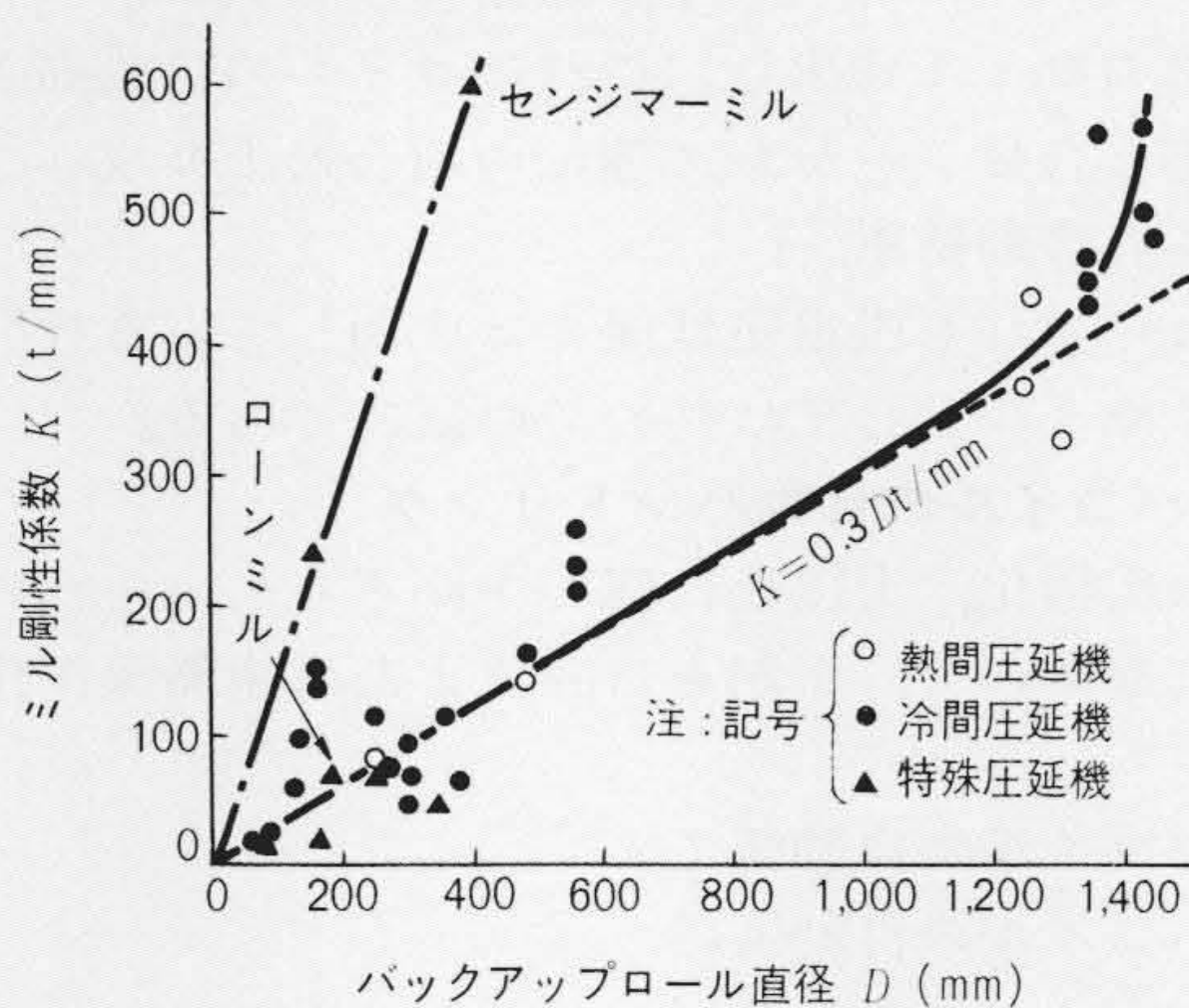


図3 各種圧延機のミル剛性比較 各種圧延機のミル剛性とバックアップロール直径Dとの関係を示す。

Fig. 3 Relation of Mill Modulus and Diameter of Back up Roll in Various Rolling Mills

矯(きょう)正する能力を持っている。これは表3でも明らかなように、ハウジングおよび圧下装置の変形が少ないため、

- (1) ハウジングのポスト部の長さが短い。
- (2) ハウジングが一体構造であるので、横はりのたわみがポスト部で抑制される。
- (3) 圧下装置部の変形が作業間げきへは約 $\frac{1}{20}$ でしかきかぬ。などがその理由と考えられる。

4.1.2 圧下装置の改良

前述のようにミル剛性が高いので、ミル自体に板厚矯正能力があるが、さらに板厚精度を改善すべく従来のフォローバルブに代わる電油サーボバルブを用いた方式が開発された。これには数種の方式があり、これらについて紹介する。なお、

この方式で応答性は、従来のフォローバルブの約4倍といわれている。

(1) Zアクチュエータ

センジマ社が開発したもので、電油サーボバルブでロータリアクチュエータを回してピニオンラックにより圧下を行なうもので、スピードフィードバックを行なっている。速度制御系の応答性は日立製作所での実測結果で15Hz(90度位相遅れにて)である(図4)。

(2) ESP用圧下装置

これはWaterbury Farrel社が開発したもので、図5に示すようにステップモータで圧下指令を与え、シリンダの位置を差動トランスで検出するもので、応答性は7Hzといわれている(図5)。

なお、日立製作所でもセンジマミル圧下装置を開発中である。

4.2 製品形状の改善

4.2.1 AS-Uロールおよび第1中間ロールラテラル調整の効果

センジマミルにはAS-Uロールクラウン調整機構と第1中間ロールラテラル調整機構の二つのすぐれた形状修整機構を備えており、小径ロールにもかかわらず、きわめて形状のよい板が得られ、これがセンジマミルが他の多段ミルに比べ数多く使用されている一因と考えられる。

この効果については、現場的には確認されているが、理論解析はまだ行なわれていない。今回日立製作所では、これを電子計算機によりシミュレートする方法を開発したので、これによりこれらの効果を解析した結果につき説明する。

(1) AS-Uロールの効果

図6は計算結果を示すものである。図の上部にバックリングベアリング軸を、下部に圧延後の板の幅方向の板厚分布を示す。すなわち、当初1のようにクラウンなしであったものを、2のようにクラウンを付けると下に示す幅方向の厚み分布が変化し形状の改善されているのがわかる。

(2) 第1中間ロールラテラル調整の効果

図7はシミュレーションの結果を示すものである。上部は第1中間ロールテーパ位置を、下部はそれに対応する幅方向

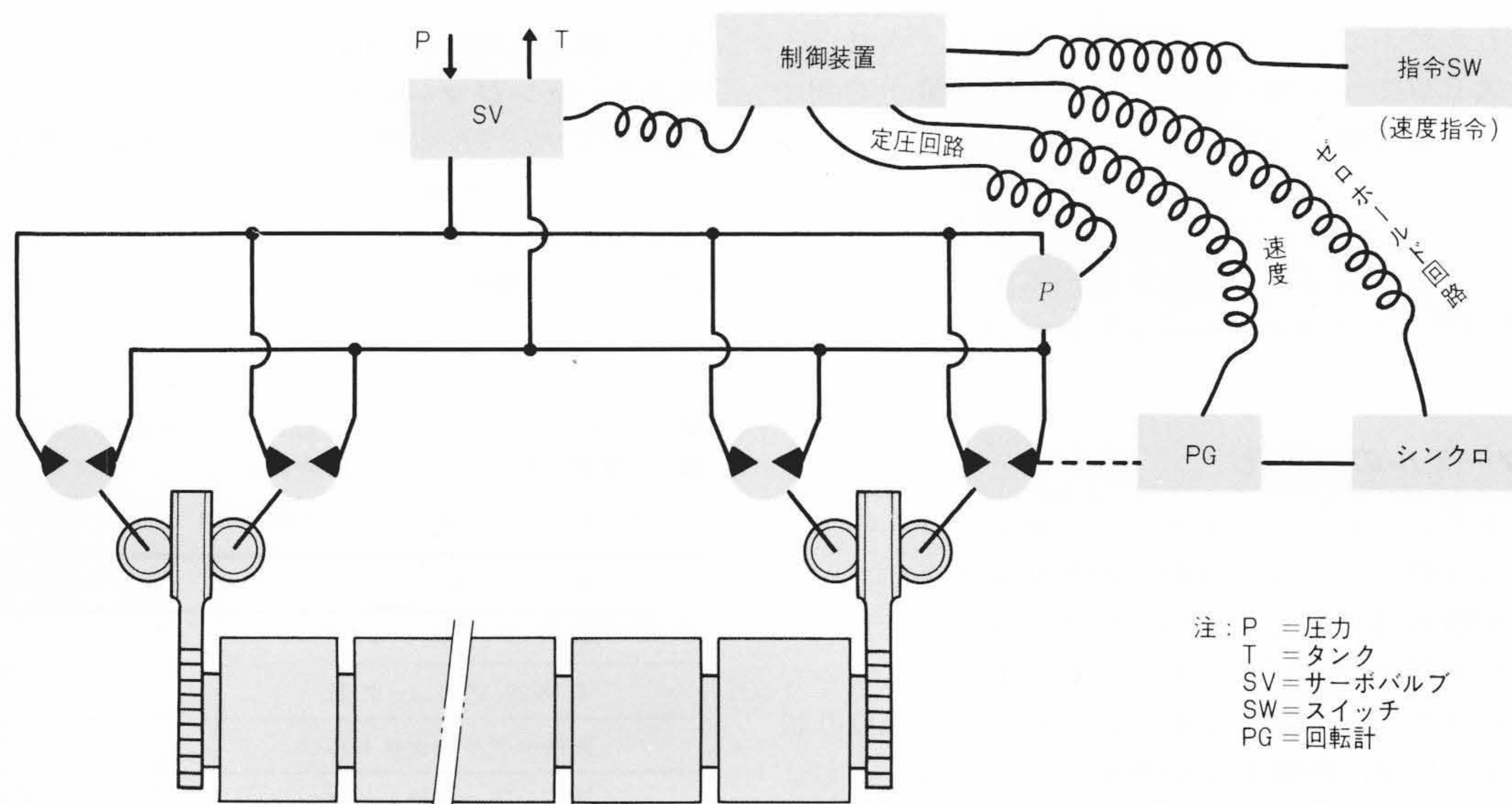


図4 Z アクチュエータ原理図 最近のセンジマミルに使用されているZ アクチュエータ式圧下装置の原理を示す。

Fig. 4 Principle of Z Actuator

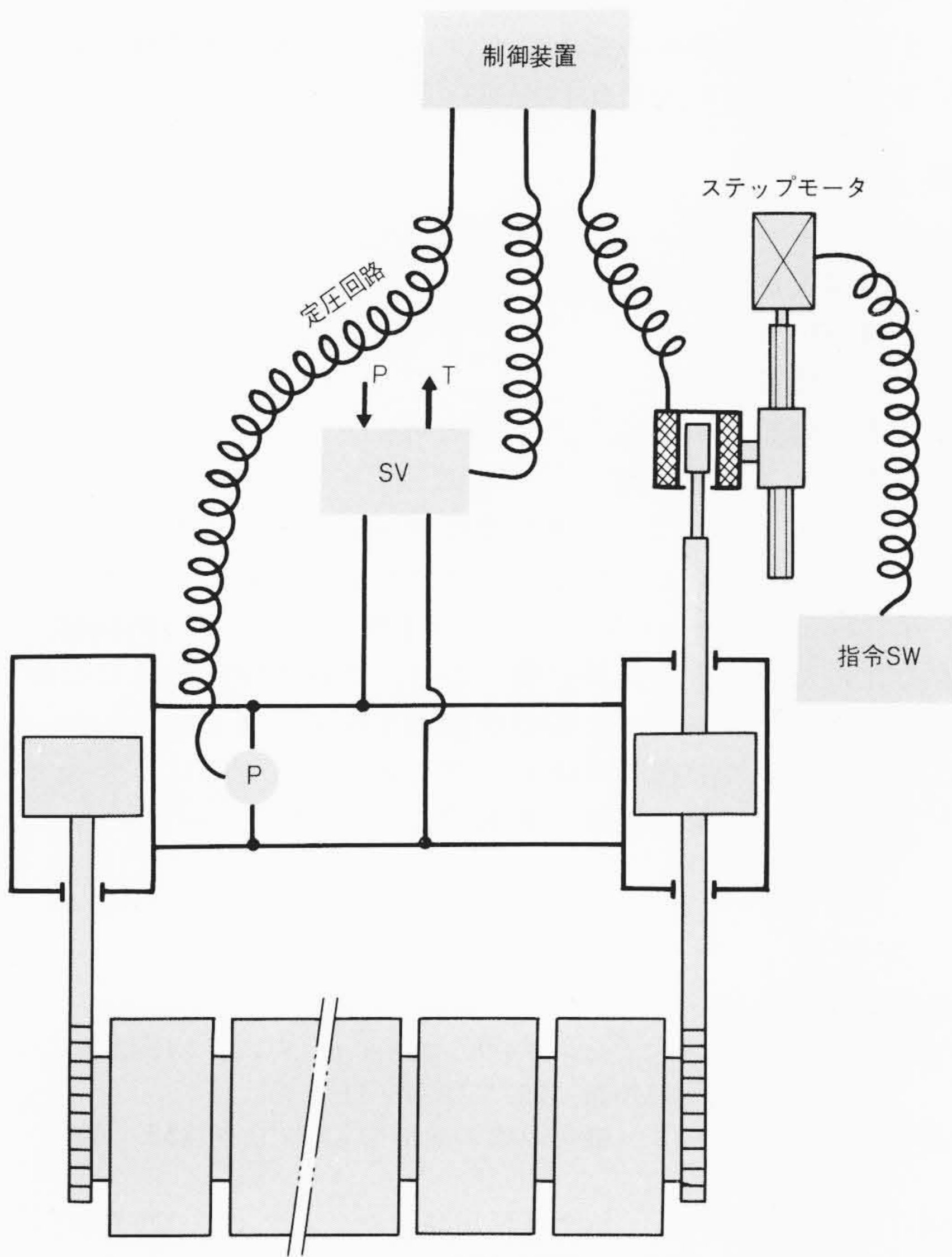


図5 ESP用压下装置原理図 Waterbury Farrel社が開発した自動板厚調整装置ESPシステムに使用されている压下装置の原理図を示す。

Fig. 5 Principle of Hydraulic Roll Positioning Device for ESP

の板厚分布を示す。図に示すように、テーパ位置 1.2.3 に対応し形状が著しく変化するのがわかる。3 の位置での形状はよいが、ややエッジドロップがある。これはテーパがまだ適切でないため、図8に示すように適切なテーパを選べばエッジドロップの全くないという極端によい形状の板も得られる。

4.2.2 AS-Uロールと第1中間ロールラテラル調整の特長

(1) AS-Uロールの特長

- (a) 油圧モータ駆動で、かつ、しゅう動部にころがり軸受を使用しているので、圧延中も調整可能で圧延材の形状を見ながら修整できる。
- (b) 1本の調整棒でBC2軸の調整が同時にできるので、確実に左右対称に調整できる。

(2) 第1中間ロールラテラル調整の特長

- (a) 圧延スケジュール、板幅の変化に対し、同一ロールでその軸方向の位置調整で形状を修整できる。
- (b) 圧延時の熱膨張によるヒートクラウンにも位置調整で対処できる。
- (c) 適切なテーパを付けることにより圧延材端部が薄くなる、いわゆるエッジドロップを防止でき、製品の歩どまり向上に寄与する。
- (d) 上記(a), (b)によりこの調整装置を備えていない圧延機に比べ、予備ロールの数が著しく少なくて済み、この費用とロール交換に要する時間を大幅に低減できる。

5 バッキングベアリングのオイルミスト潤滑

オイルミスト潤滑は四重圧延機では多くの実績をあげており、高速用圧延機の軸受潤滑法の代表的なものとなっているが、これをセンジマーミル用に応用したもの（センジマー社

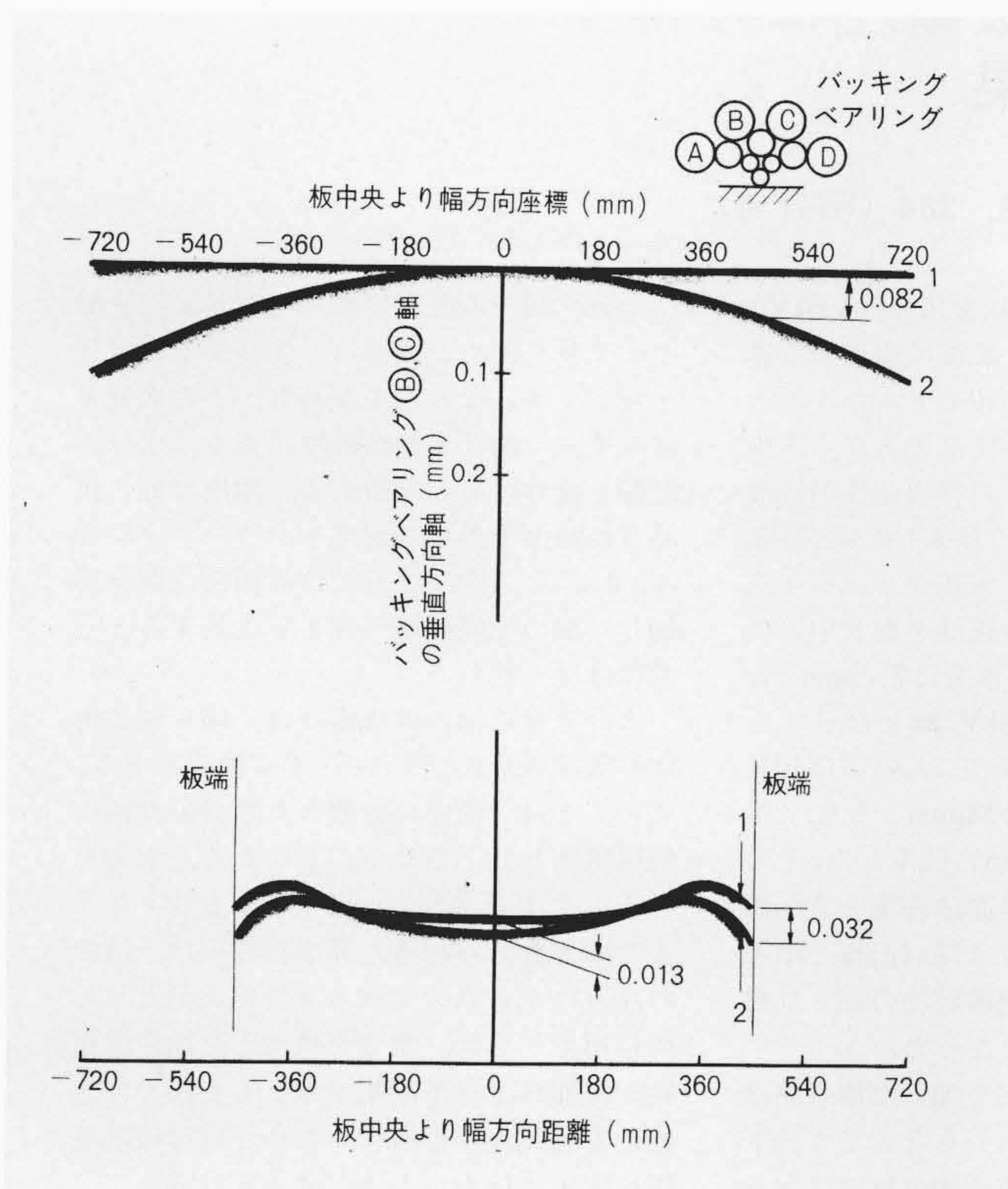


図6 AS-Uロールの効果 AS-Uロールのクラウン調整量と板クラウンの関係を示す。

Fig. 6 Effect of AS-U Roll Roll Crown Adjustment

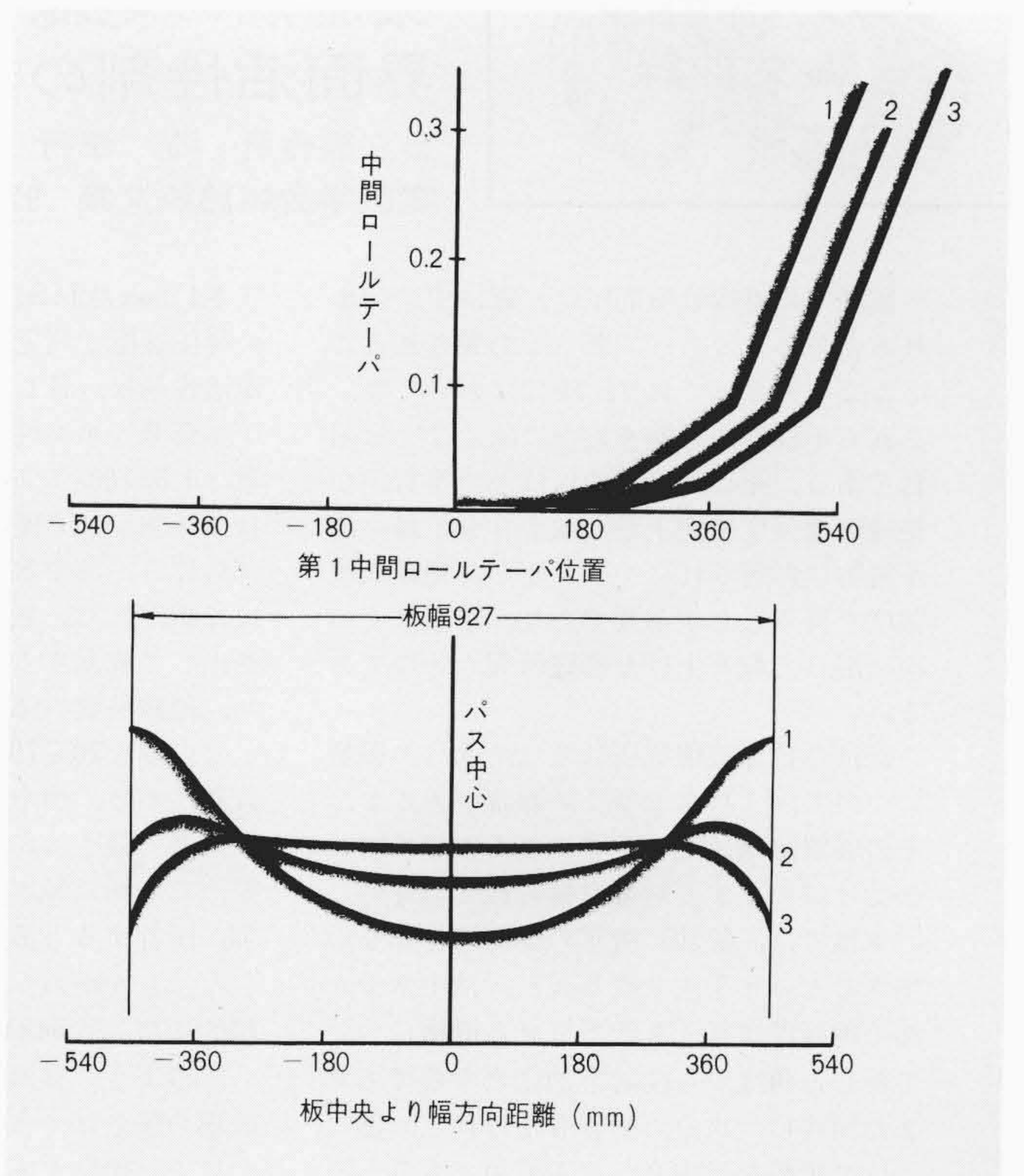


図7 第1中間ロール軸方向調整の効果 第1中間ロール軸方向位置と板クラウンの関係を示す。

Fig. 7 Effect of the First Intermediate Roll Lateral Adjustment

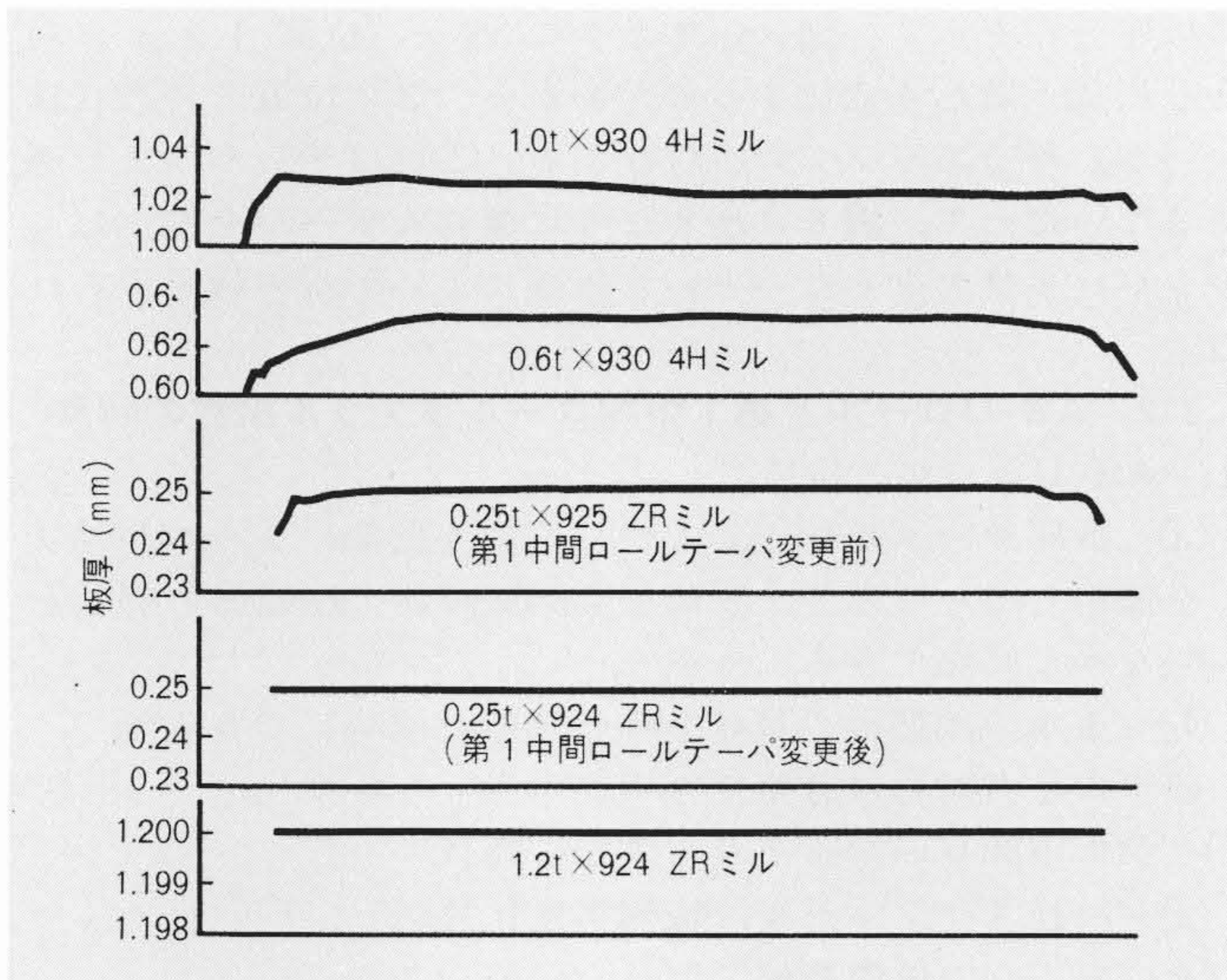


図8 センジマーミルと4Hミルの幅方向板厚精度の比較 センジマーミルで圧延したあとの板の幅方向の厚み分布と、4Hミルで圧延したあとの板の幅方向の厚み分布を示す。

Fig. 8 Comparison of Gauge Accuracy in the Direction of Strip Width

の特許)で、バックリングベアリングの潤滑には従来圧延油が使われていたが、これを専用の潤滑油で潤滑するので、軸受の損傷が少ないといわれている。特に、圧延油にソリュブル油を使う場合は微細なフィルタが使用できぬので、圧延油中の微粉で軸受転動面が荒れることが多かったが、オイルミストの出現でこの問題が解決された。なお、センジマーミルと

いう特殊な構造のものであるだけに、使用油、圧延油のシールなどに特別の工夫が払われている。

6 結 言

最近のセンジマーミルの動向として、

- (1) 設備大形化への対策
- (2) 自 動 化
- (3) 压下装置の開発
- (4) 形状修整の解析
- (5) オイルミスト潤滑

について述べた。以上、現在ではセンジマーミルもようやく四重冷間圧延設備と同程度の新技術が取り入れられてきたばかりである。今後センジマーミルの特質を生かした自動制御、省力化のための自動化が必要となる。これを実現するには従来にも増したユーザーの指導が必要となる。ここにユーザー各位の今までのご指導に深く謝意を表わすとともに、今後のご支援をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 西村, 尾本ほか:「センジミア コールド タンデム圧延機について」 日新製鋼技報, 25, (昭46-11)
- (2) 秦, 木村ほか:「引張巻取機の巻締力」, 日立評論50, 606 (昭43-7)
- (3) 川口, 広政ほか:「軟鋼圧延用高速センジマミルの特異性」, 日立評論45, 1939 (昭38-12)
- (4) 日本鉄鋼協会編:圧延理論とその応用, 378 (昭44 誠文堂新光社)



吸湿油の絶縁破壊電圧に及ぼす界面活性剤の効果

日立製作所 堤 泰行

電気学会雑誌論文集 92-A-8, 384 (昭47-8)

鉱油中の絶縁破壊電圧は、鉱油中に含まれる水分などによって著しく影響されることはよく知られており、実器においては、これら不純物の影響を完全に除くことは困難である。そこで実用的には油の本質的な絶縁破壊強度を向上させるよりも、種々の不純物に影響されにくい安定した絶縁破壊強度を得ることが重要であり、本報はその線に沿って取り上げた基礎研究の一つである。

鉱油の絶縁破壊電圧に及ぼす水分の影響について、これまで多くの報告があるが、その破壊機構は明らかではなく水分の影響を受けにくくする対策も知られていない。

本報では、鉱油に微量の界面活性剤を添加するという手法を取り入れ、油中水分が油の絶縁破壊電圧を低下させる機構について新しい角度から検討を加えたものでありまた同時に、水分の影響を受けにくい油について重要な示唆を与えるものである。

油の交流破壊電圧は、12.5φ 球対球、間

げき1.5mmのJIS標準電極を用い、1.5kV/sの昇圧速度で測定した。鉱油に添加する界面活性剤は、HLB価約10のアルキルエーテル形非イオン性界面活性剤であり、添加量は0.5～2%である。この界面活性剤は液状で鉱油に加え攪拌(かくはん)すると容易に溶ける。油中水分はカールフィッシュ法にて測定した。無添加の鉱油を真空中に吹き出して脱水すると油中水分は7.5ppmとなり、絶縁破壊の強さは33kV/mmとなった。

この油を20℃78%RHのふんい気に10日放置すると、油中水分は54ppmとなり、絶縁破壊の強さは8.8kV/mmに低下した。その後、この油に脱水した界面活性剤を2%添加、攪拌すると油中水分は72.4ppmと増加したにもかかわらず、絶縁破壊の強さは飛躍的に増加し34kV/mmとなった。

このように界面活性剤を加えた油の絶縁破壊の強さは、多量の水分を含んでも低下しにくい傾向があり、無添加の鉱油に比べ水分の影響を受けにくいことがわかった。

一方、同一の湿度にさらすと界面活性剤をより多く加えた鉱油は、より多くの水分を含むようになる。すなわち、より水分を含みやすい油ほど絶縁破壊の強さは水分の影響を受けにくいと言える。油中水分の代わりに油面上の相対湿度をパラメータにとり、0.5%、1%、2%だけ界面活性剤を添加した油の絶縁破壊の強さを比較すると三者はほぼ一致した。

水分を含む油の破壊電圧は、同一油で何回も破壊させると段々高くなる傾向がある。このことは、油中に分散した水分子が油の破壊電圧を低下させるのではなく、水分を吸着した油中浮遊物が破壊電圧を低下させるためと考えられる。界面活性剤は、油中の浮遊物から水分を取る液状乾燥剤としての作用もしくは、水分を吸着した油中浮遊物が電界によって凝集することを防ぐ浮遊物の安定化作用を有するため、絶縁破壊電圧の向上に役だつものと考えられる。