

高速2スタンド タンデム 冷間アルミニウム圧延設備

High Speed Two Stand Tandem Cold Mill for Aluminium

The high speed two stand tandem cold mill for aluminium installed in 1973 at Sumitomo Light Metal Industries, Ltd. incorporates many technical breakthroughs including rationalized coil penetration by means of Carousel type pay off reel, adoption of high performance hydraulic roll positioning device "HYROP-S", and high speed high reduction through cooling of strips between stands. This article introduces this outstanding mill and its features.

近藤 繁* Shigeru Kondo
馬場武明* Takeaki Baba
福井嘉吉** Kakichi Fukui
藤野伸弘** Nobuhiro Fujino
小島竜次** Tatsuji Kojima
松香茂道*** Shigemichi Matsuka

1 緒 言

最近、我が国においてもアルミニウム製品の需要は大幅に伸びている。特に罐材への進出は著しく、昨今の省資源の要求から今後ますます需要が増加することが予想される。これに対処するには、従来より一段と飛躍した高能率、高性能の設備が必要となってきた⁽¹⁾。

昭和48年秋、住友軽金属工業株式会社にて稼動に入った2スタンド タンデム 冷間 ミルは、このような背景のもとに、同社の豊富な圧延技術と、日立製作所の各種圧延機で培った新技術を基に、両社の緊密な協力のもとに完成されたもので、表1に示す仕様一覧表のように、2スタンド タンデム ミルとしては世界最高の1,530m/minの圧延速度、厚物から薄物まで広範囲な圧延を単一設備で行なうという特質を満し、高能率、高性能の設備とするように配慮されたもので、カルーセル形ペイオフ リールの使用によるコイル前処理の合理化、高能率化と出側くず巻取リールの組合せによる半連続圧延の

実現、コイル搬送の自動化、新開発の高性能油圧压下装置 "HYROP-S"の採用による板厚精度の向上、形状制御、高速圧延に対する種々の配慮、大幅な計算機制御の採用など新機軸を折り込んだ最新鋭の設備である。以下にその特長について説明する。

2 作業能率の向上及び省力化

2.1 コイル ハンドリング

高能率な圧延を行なうには設備の高速化とともに、それに見合ったコイル ハンドリングの合理化が必要となる。

- アルミニウムの冷間圧延の特長は、
- (1) 圧延材が多品種である。
 - (2) 1パス1方向圧延の繰返しで、パス間にコイル冷却と焼鈍工程が入り、コイルの流れが複雑である。
 - (3) 1パス1方向圧延のため、1パスごとに、コイルの前処

表1 高速2スタンド タンデム 冷間アルミニウム圧延設備主仕様
住友軽金属工業株式会社向け圧延設備の主仕様を示す。

Table 1 Specification of High Speed Two Stand Tandem Cold Mill for Aluminium

項 目	仕 様
ミ ル 形 式	1,230mm φ & 485mm φ × 1,620mm l 2スタンド タンデム冷間アルミニウム圧延設備
圧 延 材	1030~7075 アルミニウム
素 板 板 厚	6.0~0.2mm
仕 上 板 厚	3.0~0.1mm
板 幅	750~1,470mm
コイル最大径	1,700mm φ
コイル最大重量	8,000kg
圧延速度(最大)	No. 1 ミル 1,080m/min No. 2 ミル 1,530m/min
巻取速度(最大)	1,760m/min
主 電 動 機	ペイオフ リール 2-240kW
	No. 1 ミル 2-1,680kW
	No. 2 ミル 3-1,370kW
	テンション リール 3-450kW

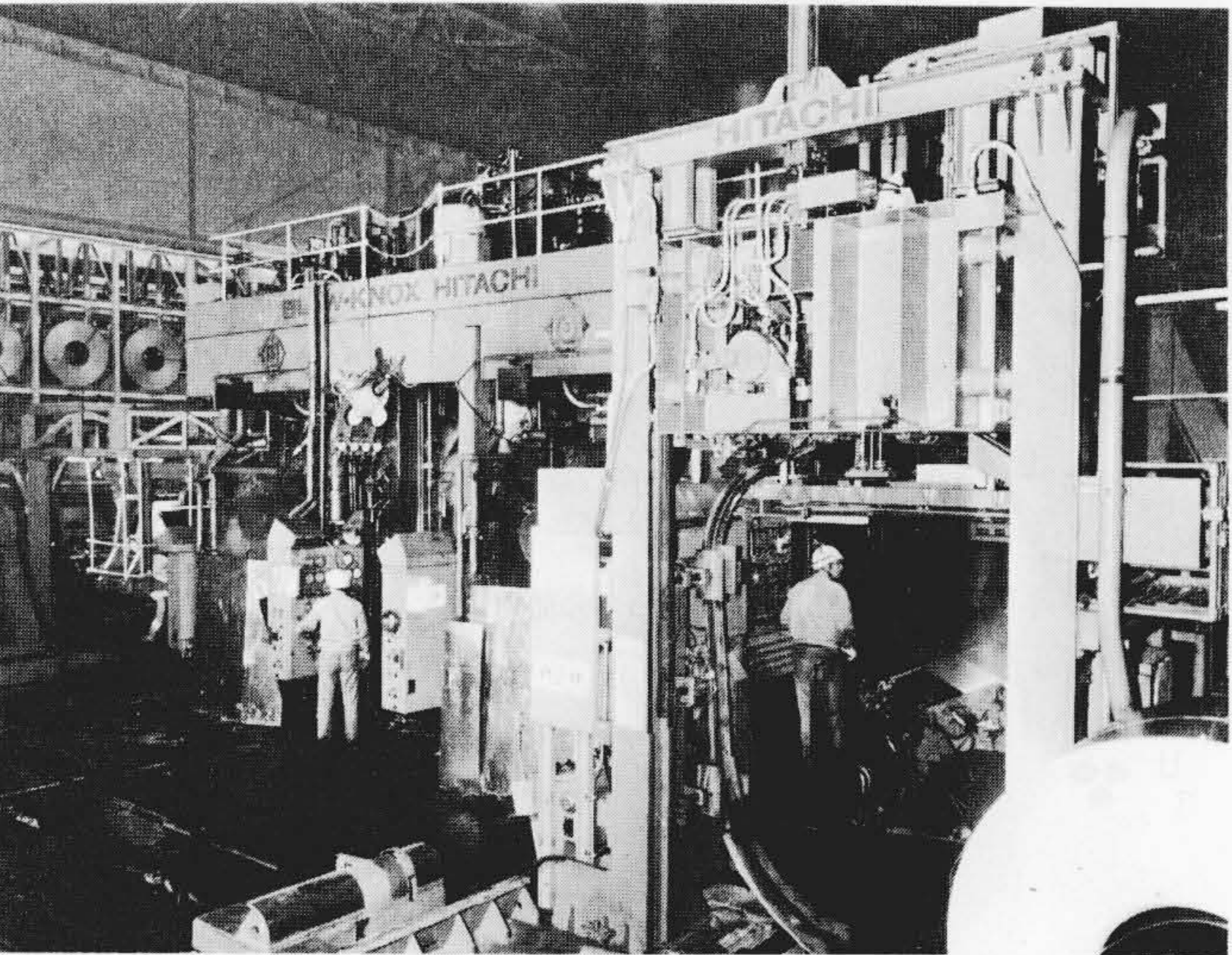


図1 高速2スタンド タンデム 冷間アルミニウム圧延設備 稼動中の住友軽金属工業株式会社向け圧延設備を示す。

Fig. 1 High Speed Two Stand Tandem Cold Mill for Aluminium

* 住友軽金属工業株式会社技術部長 ** 日立製作所日立工場 *** 日立製作所大みか工場

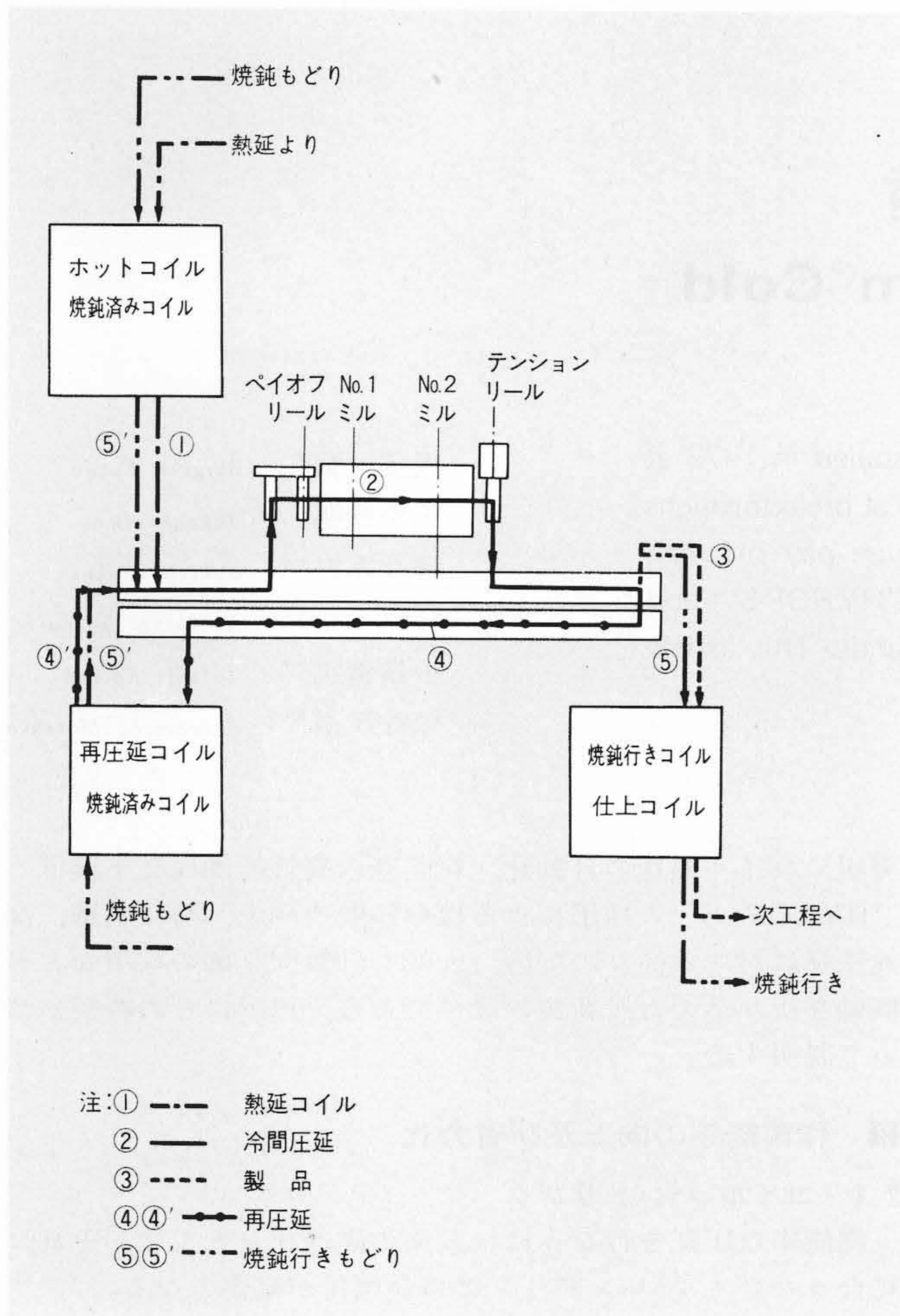


図2 圧延材の流れ コイル保管棚、パレット コンベヤなど圧延設備全体のコイルの流れを示す。

Fig. 2 Flow of Coil Coming in and Coming Out of Mill

理、口出し、コイルの挿入、取出し及び結束が必要である。などで、これらを十分考慮した設備計画が必要となる。

2.2 コイル搬送の自動化

アルミニウムの冷間圧延におけるコイルの流れは、ホットコイルの受入れ、圧延、圧延後の冷却、再圧延、焼鈍送り、焼鈍よりのもとり、再圧延、仕上工程への送りなどでこれらが材質、製品板厚によっても変わるため、極めて複雑なものとなる⁽²⁾。従来、コイルの搬送にはウォーキング ビーム式コンベヤ、チェーン式コンベヤ、トレイ式などが行なわれていたが、圧延機が高速化すると圧延ピッチが短くなり、単位時間当たりのコイル処理数が増加するため、従来方式では到底間に合わず、また人間の処理能力の限界を超えてくる。

これに対処するため、本設備では圧延機の操作側に、往列、復列2列のパレット コンベヤを設け、パレットを定められた経路に沿って運行させるパレットの自動運転を行なっている。更に、パレットの両端に多段式のコイル保管棚を設け、それぞれの保管位置に番地を付け、スタッカ クレーンを用い電子計算機の指令による工程に従って、保管棚からパレット コンベヤへのコイルのチャージ、パレット コンベヤからのディスチャージ、焼鈍送り、焼鈍後コイルの受入保管などの作業を自動的に行なうことに成功し、省力化の面でも実効を挙げている。コイル搬送装置の配置とコイルの流れの経路を図2に示す。このようにパレット コンベヤ及びコイル保管棚を配置したため、オイルセラー及び電気室の配置に特別のくふうを加えた。

2.3 カルーゼル形ベイオフ リールの採用とコイル前処理の合理化

アルミニウムの冷間圧延では前述したように、各パスごとにコイルの前処理、コイルのベイオフ リールへの挿入がひんばんに行なわれ、従来形の設備では、前処理装置で、いったん先端のカット、口出しを行なったコイルをコイル コンベヤ及びコイル カーを経てミル ベイオフ リールへ挿入するとい

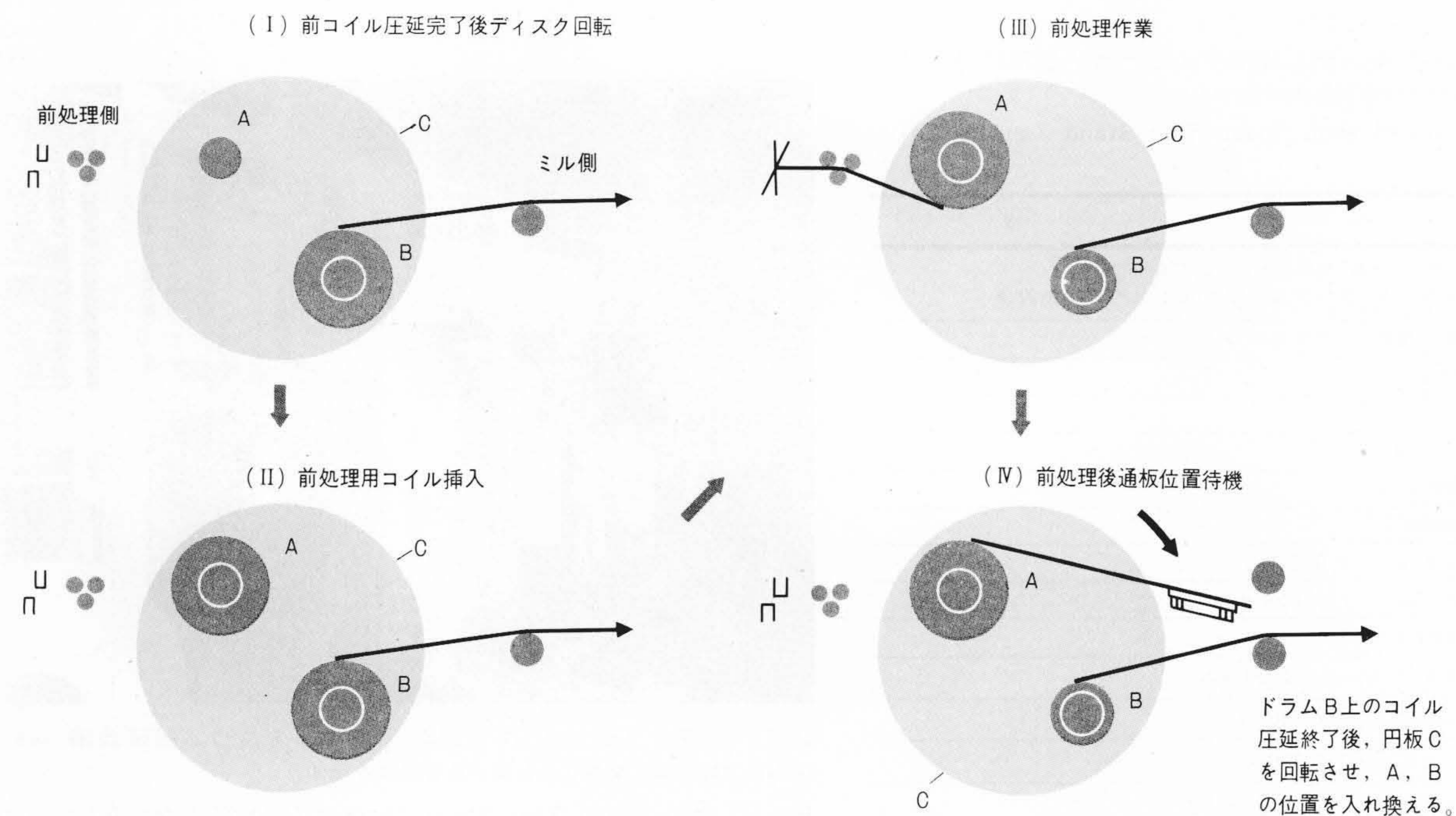


図3 カルーゼル形ベイオフ リールの作動 カルーゼル形ベイオフ リールを用いた場合の圧延、前処理作業の手順を示す。

Fig. 3 Operating Procedure with Carousel Pay off Reel

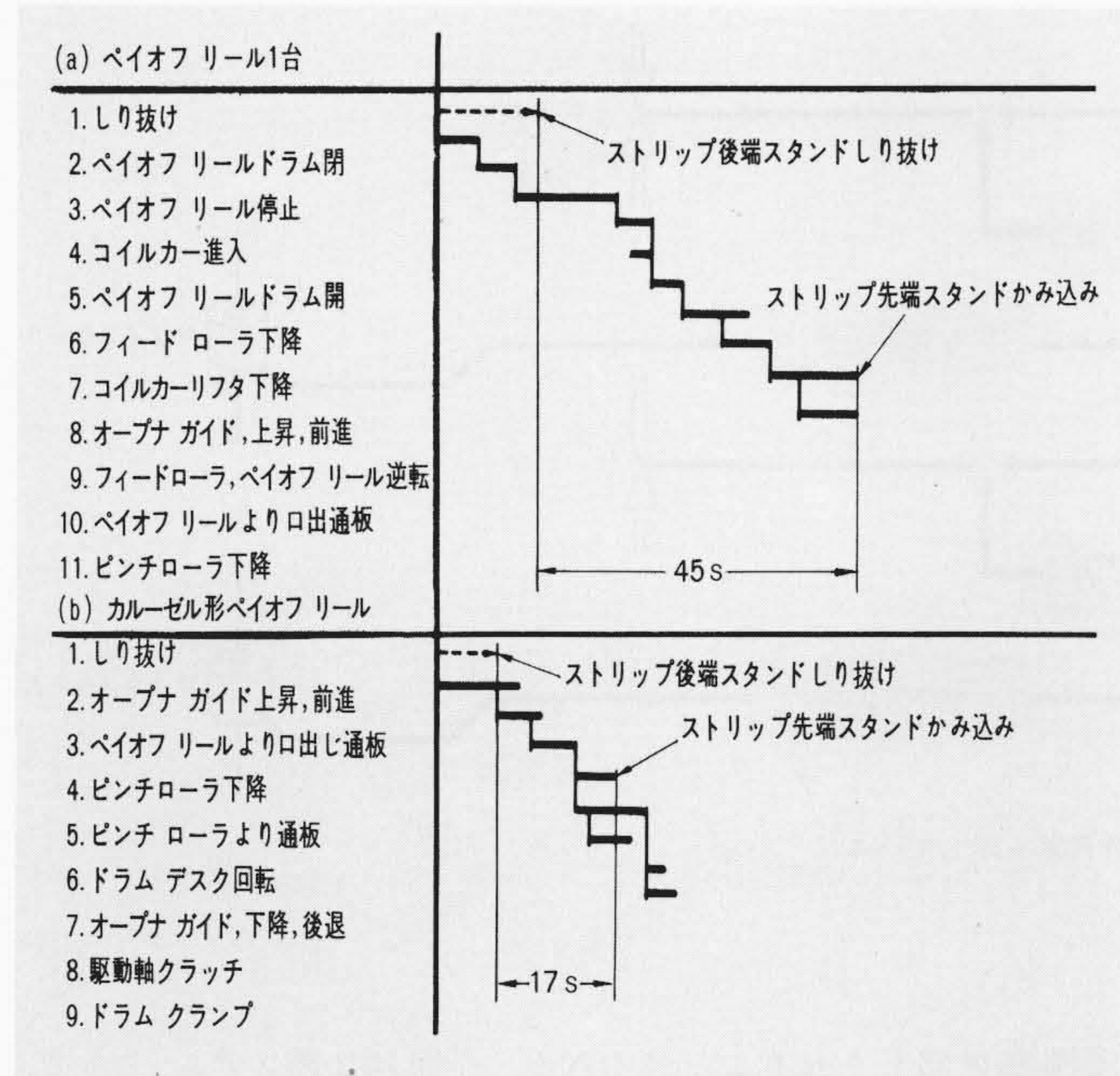


図4 カルーゼル形ペイオフ リールと普通形ペイオフ リールのタイムスケジュールの比較 ペイオフ リールにカルーゼル形ペイオフ リールを用いた場合と普通形ペイオフ リールを用いた場合の圧延機入口側のタイムスケジュールを示している。

Fig. 4 Comparison of Time Schedule with Carousel Type Pay off Reel and Conventional Pay off Reel

う方式をとっていたが、コイルハンドリングに多くの時間を要し作業が煩雑になるなど多くの欠点をもっていた。また、鉄鋼の圧延機で採用されている2ペイオフ リール方式は、一方のペイオフ リールがミルから遠くなるという欠点があり、アルミニウムの圧延ではこれすらが問題となる。

本設備では、2本のドラムA、Bを備え、一方で圧延中、他方で前処理を行ない、圧延が終了すれば、ドラムを取り付けた円板Cを回転しA、Bドラムの位置を入れ換えたカルーゼル形ペイオフ リールを採用し、これらの問題を一挙に解決した。図3は、カルーゼル形ペイオフ リールの作動図を、図4にタイムスケジュールを示す。本ペイオフ リールを用いたときの利点を挙げると、

- (1) ペイオフ リールドラムへのコイルの挿入は、前処理用も含めて1回でよいから、
 - (a) コイルの傷付の機会が少ない。
 - (b) 入側操作人員の減少、すなわちミル入側操作員で前処理作業ができる。
 - (c) 入側設備面積が減少する。
- (2) コイルハンドリング時間の減少、特にスプール使用時の効果大きい。
- (3) コイル挿入位置が高くてできるため、コイル挿入や、前処理の監視が容易であるとともに前処理後の先端スクラップの除去が容易である。
- (4) 前処理を終えたコイル先端は、ピンチローラまで通板され待機し、前コイルのしり抜けと同時に、カルーゼル形ペイオフ リールの公転により、ミル内へ通板できるので圧延ピッチが最小になる。

などで、この方式は本設備の能率向上に大きく寄与しており、これらの成功は今後のアルミニウム圧延の完全連続化の可能性を示唆している。

2.4 計算機制御

圧延機が高速高能率化すれば、コイル数の増加、スプールの数の増加などにより、これらの管理業務も高速能率化せねばならない。例えば前述したコイル管理のように人間の能力では追従できないものもあり、電子計算機の導入が必要となる。本設備では、下記の事項に計算機制御を適用している。

- (1) ミル制御
- (2) コイル管理
- (3) ロールとスプールの管理
- (4) 作業管理
- (5) 生産管理

3 製品品質の向上

3.1 油圧圧下装置“HYROP-S”

圧延機の高速度化及び高品質化の要求に対し、高性能の油圧圧下装置の使用は常識となってきている⁽²⁾。

日立製作所は、大形圧延機における油圧圧下装置(HYROP-M)を世界で初めて実用化⁽³⁾して以来約10年を経過し、その製作台数も60台を超え、優れた実績を挙げている。また、この間に種々の改良が絶えず行なわれ、その応答性は格段に向上している。

一方、圧延機の高速度化及び板厚精度のいっそうの向上が要求されつつある。これに対処するため、日立製作所では油圧圧下システムの理論解析を続けてきたが、この成果を応用して新たに高応答性の新方式油圧圧下装置“HYROP-S”を開発し、本設備がその実用第1号機となった。

この“HYROP-S”は電気油圧サーボ弁と圧下シリンダ内に設置された、デジタル位置検出器(マグネスケール)とを組み合わせ位置制御系を構成したもので、実用化においては応答性に大きく影響する圧下ラムと電気油圧サーボ弁間の配管の短縮化及び圧延機という、ロールクーラント、振動などの悪環境下で、精密な測定器を用いての正確な位置測定を行なうことに十分なふうを凝らし、所期の性能を得ることができた。本油圧圧下装置の詳細については、本誌「電気油圧サーボ弁を使用した油圧圧下装置“HYROP”の開発」に詳述されているので、ここでは省略する。図5に本圧下装置の周波数応答特性を、図6に制御構成を示す。

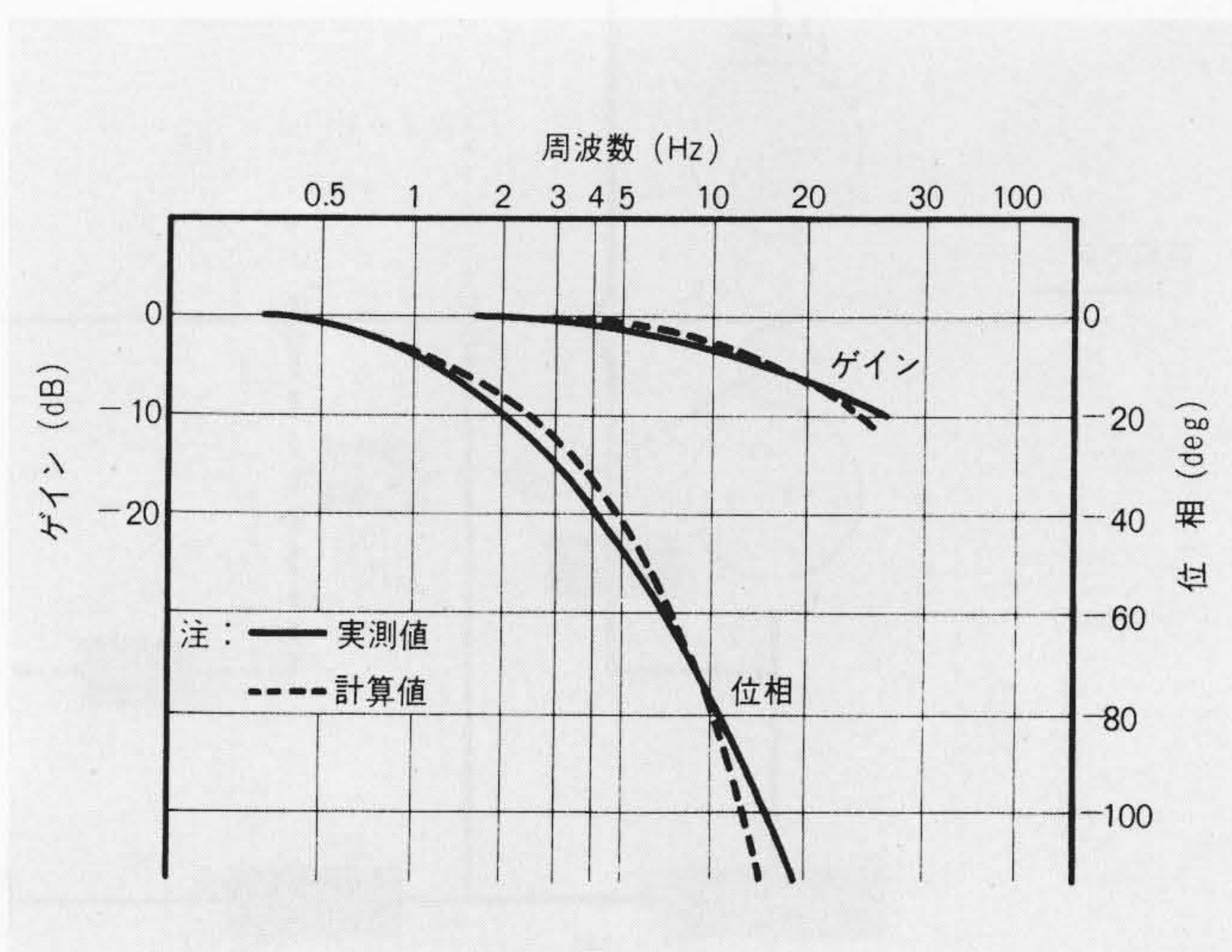


図5 “HYROP-S”の周波数応答特性 周波数応答特性の計算値と実測値を対比して示す。

Fig. 5 Frequency Response of “HYROP-S”

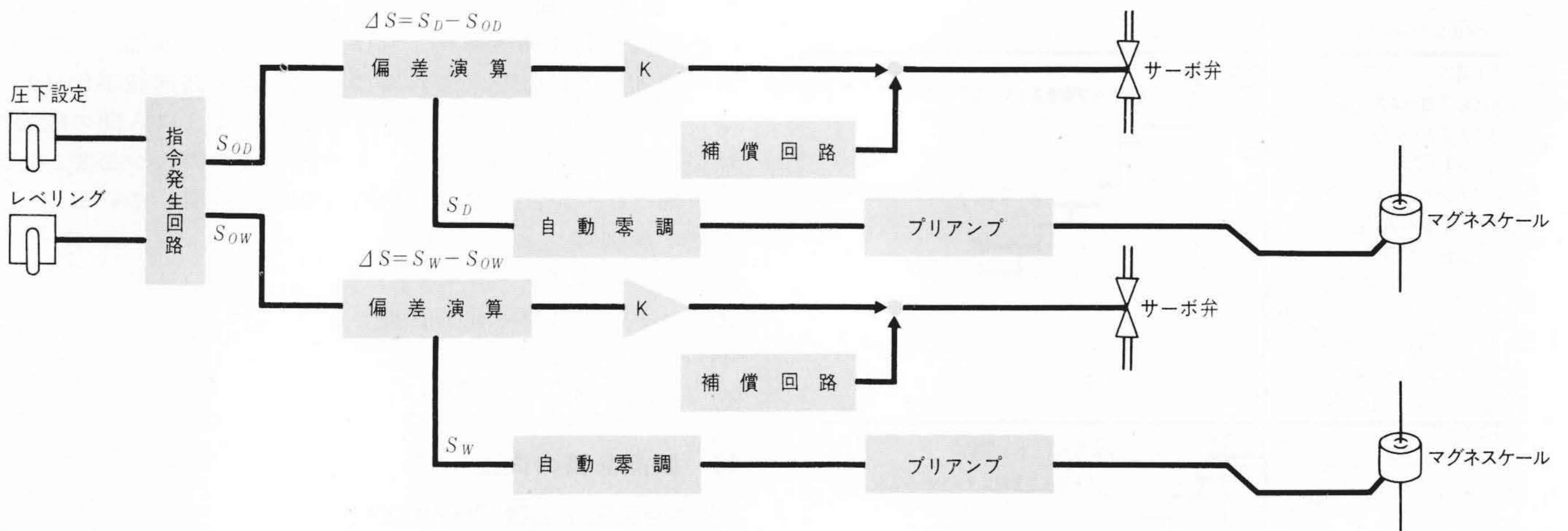


図6 “HYROP-S” 制御構成図 “HYROP-S” の制御回路の基本構成と操作回路を示している。
Fig. 6 Control Block Diagram of “HYROP-S”

3.2 自動板厚制御 (AGC)

アルミニウムの圧延では、取り扱う材質が非常に多く、各種材料の機械的性質も広範囲にわたって変化する。更にアルミニウムは高価であるため、いっそう高い歩どまりが要求されている。このような背景のもとに前述の“HYROP-S”の特質を生かし、高速2 タンデム ミルに適合したシステムにした。特に配慮した点は、

- (1) アルミニウム圧延の多様性に対処するため、ミル モジュラス コントロール(MMC) の採用及び材質板厚に対するX線厚み計のモニタ値に対するAGCのゲインを電子計算機で計算する方式をとっている。
- (2) “HYROP-S”では、ラム位置をマグネスケールを用いて検出しているため、信号がデジタル化でき電子計算機の利用が容易となった。
- (3) 圧延材の板厚偏差を、それがロールにかみ込まれる前に検出しておけば、ロールに達したとき適当な補正ができ、板

厚精度を向上させることができる。今回は2 タンデム ミルで、スタンド間に厚み計を設置しているので、No.2 スタンド入口の板厚偏差を測定して、No.2 スタンドの圧下を調整するフィードフォワードAGCも採用した。

(4) 厚み計はNo.1 スタンド出口に分割式を、No.2 スタンド出口に一体形を2台設置し、それぞれ相互にモニタし合う方式を採用し、精度の向上を図った。

(5) 板厚の絶対値をチェックするため、リールへの巻数及びコイル径により板厚を求めるラップチェック方式を採用し、これをオンラインで電子計算機により板厚を算出する。

(6) 比重補正 (Aluminium Index) の採用。

3.2.1 AGCのモード

図7に本設備のAGC系統図を示す。本設備では前述の特長を生かし、次の制御方式を使い分けている。

- (1) ロール間隙の初期設定
電子計算機による初期設定

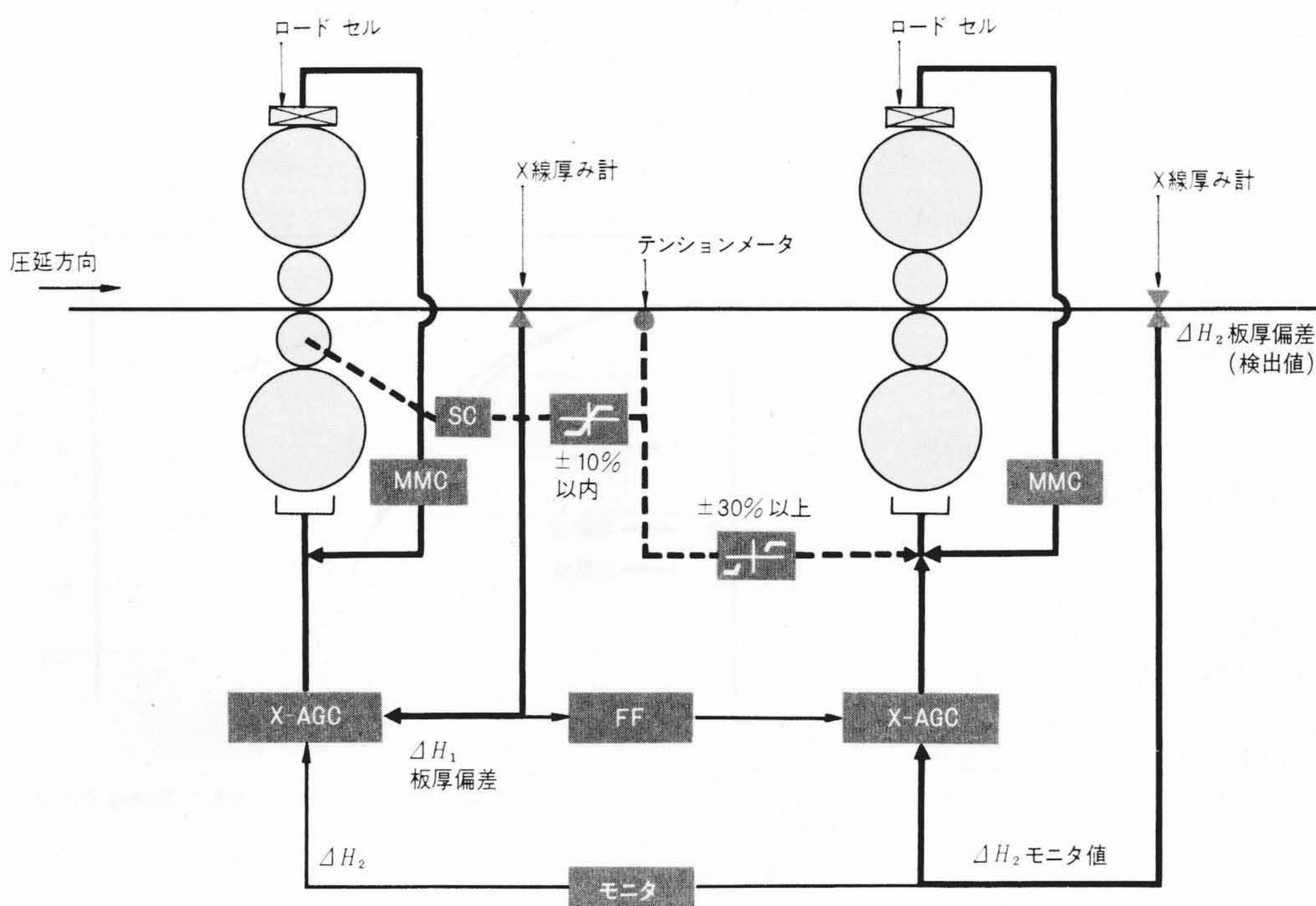


図7 AGCの系統図
本設備の自動板厚制御装置に使用している各モードを示している。
Fig. 7 Schematic Diagram of Automatic Gauge Control

- (2) 通板しり抜時の板厚制御
一定圧力制御
ゲージメータ式板厚制御
- (3) 加減速補正
- (4) 定常圧延時のAGC
ゲージメータ式AGC
X線モニタAGC
フィードフォワードAGC

図8にAGCの一例を示す。

3.3 形状制御

良い形状の製品を得ることは板厚精度の良い製品を得ることと同じく、圧延技術の究極目的の一つである⁽⁴⁾。特にアルミニウムのように比較的軟らかい材料ではロールカーブの変化がストリップ形状に大きく影響する。このロールカーブ変化の原因は、

- (1) 加工熱によるロールの熱膨張→ロールクーラント制御
- (2) 圧延荷重によるたわみ→ロールベンディング制御
- (3) 軸受部の発熱によるロールの熱膨張→軸受構造の改良であり、これらの影響を補正するため種々の方策をとった。以下にその概要を示す。なお、(3)については次章4にて説明する。

3.3.1 ロールクーラント制御

アルミニウム圧延ではクーラントにミネラル油を使うが、この冷却性能が低いため設備上次の配慮を行なった。

- (1) クーラントヘッダの適正配置及びセクションの細分化とオンオフ弁による流量制御
- (2) クーラント圧を高くし、流量調整範囲を増した。

制御方策としては、ロールの蓄熱を考慮し、板幅ごとに、各

スケジュールごとに、予測制御を行なっている。

(3) エッジヒータ

ロール端部のストリップをかんでいない部分では、ロールが過冷されロールカーブが崩れるが、これを緩和するためエッジ部を温めるエッジヒータを設けている。

3.3.2 ロールベンディング

設備面では、

- (1) ロールの変形とベンディング効果を理論計算により予測し、最適ロール径を選定した。
- (2) ロール軸受部は、可能な限り大きなベンディング力を与え得るよう、且つその効果が大なるよう寸法を決定した。
- (3) 圧力調整には電油サーボ弁を用い、インクリースベンディング、デクリースベンディングのいずれをも可能とし、且つインクリース減よりデクリース増への変化がスムーズに行なわれるよう回路に特別のくふうを払った。

この結果、多品種、且つ広範囲の板厚の材料に対し、同一のイニシャルロールクラウンで圧延でき、またロール交換の頻度を少なくでき作業能率の向上にも寄与している。

制御面では、各スケジュールに対し、最適ベンディング力を電子計算機で計算し、圧延条件の変化に応じて閉ループで制御している。

更に本設備ではNo. 2 スタンド出口に住友軽金属工業株式会社にて開発されたFlying Flatness Gauge (FFG)を取り付け、これで検出した形状をロールベンディング回路にフィードバックして自動形状制御を行なっている。これは初めての試みであるが、高速圧延での形状修正という困難な作業からオペレータを解放し、極めて平坦度の良い製品が得られた。

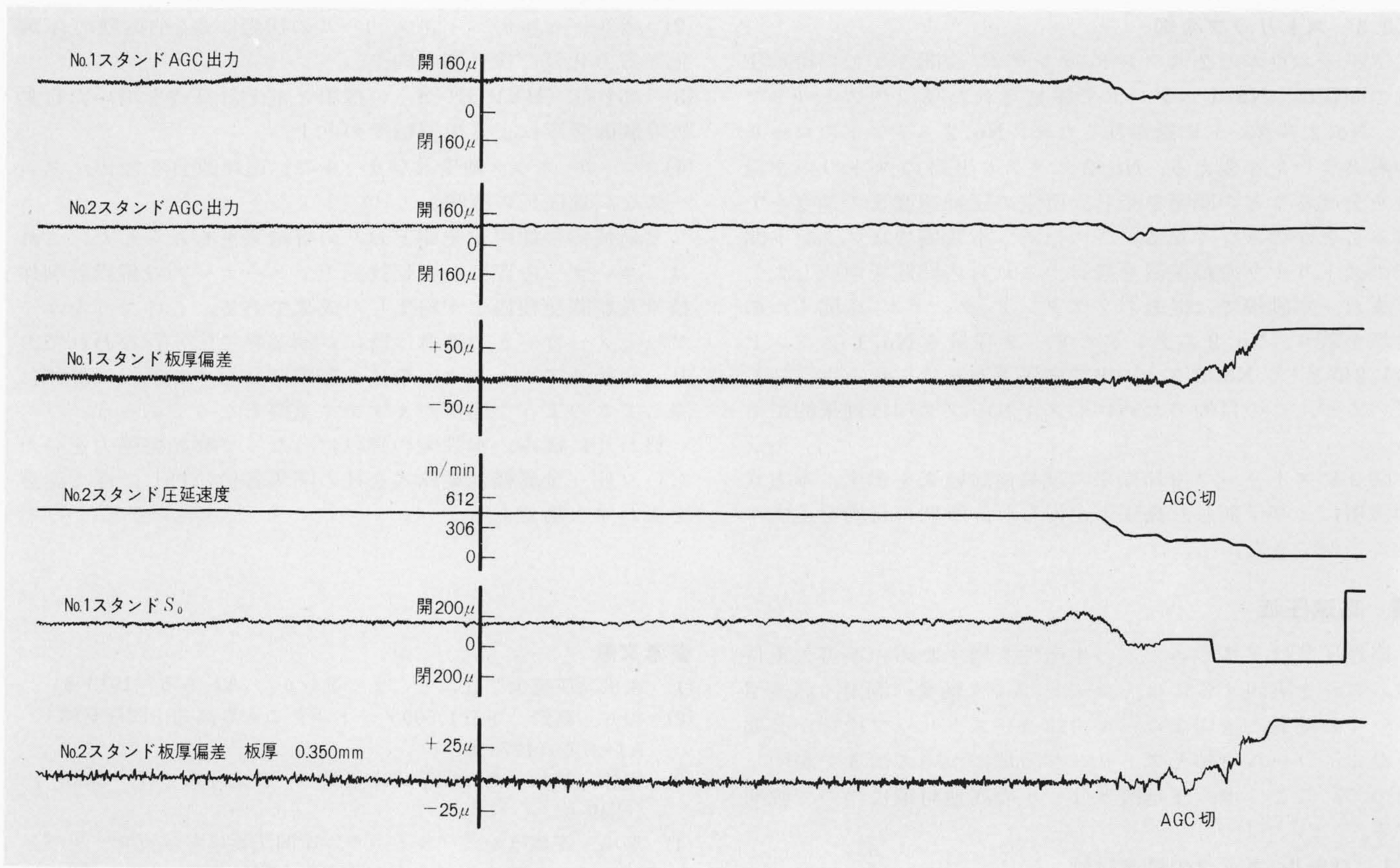


図8 AGC特性 AGC作動時の板厚精度実測オシログラムを示す。

Fig. 8 A G C Property

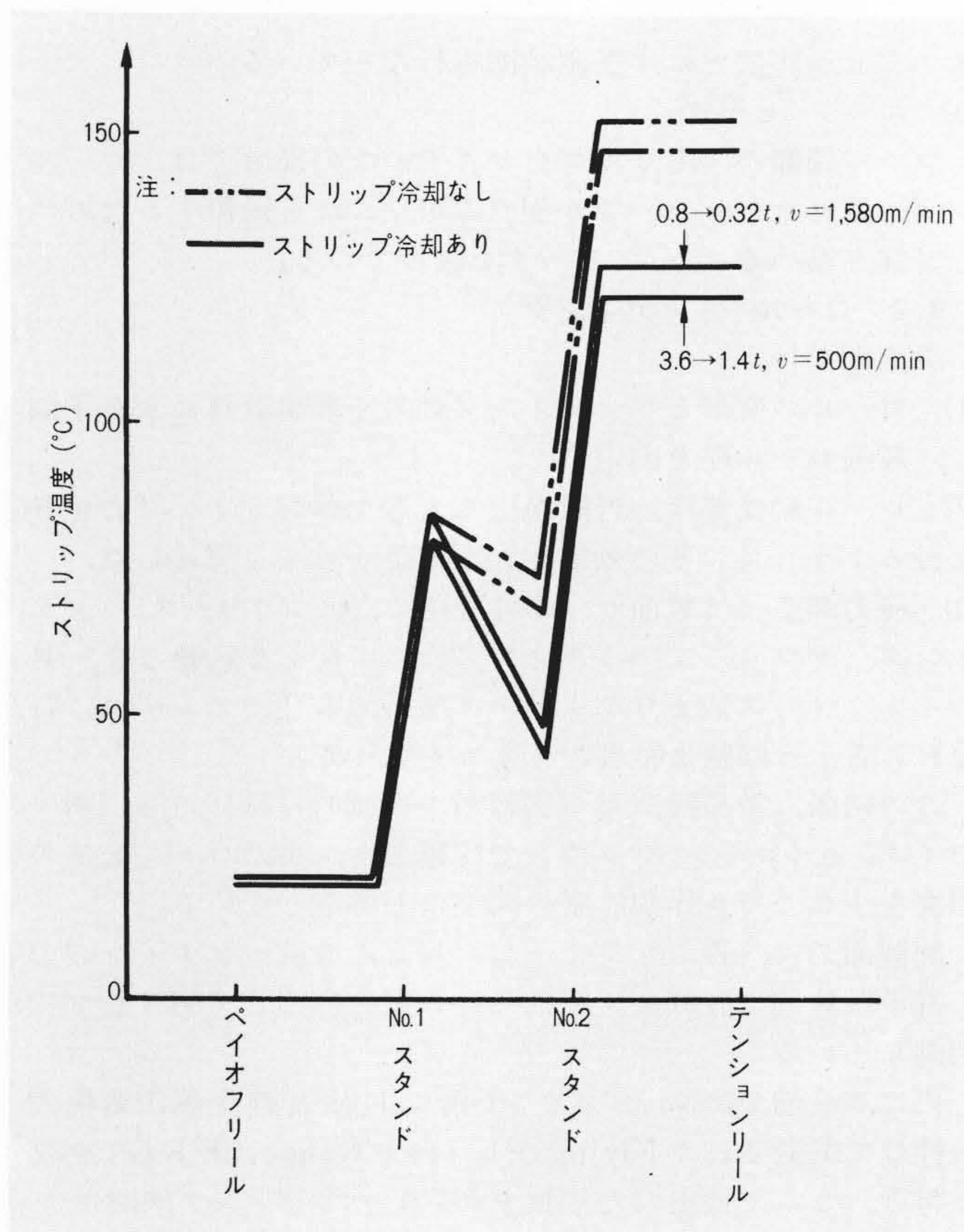


図9 ストリップ冷却効果 ストリップ冷却を行なうことによりNo.2スタンドのストリップの温度を約25°C程下げることができる。

Fig. 9 Effect of Strip Cooling in 2 Stand Tandem Cold Mill for Aluminium

3.3.3 ストリップ冷却

アルミニウムの2スタンドタンデム冷間ミルの冷却圧延の問題は、No.1スタンドで圧延された高温のストリップが、No.2スタンドに送られるため、No.2スタンドのロールの熱クラウンを変える、No.2スタンド出口のストリップ温度を上げるなどの問題を生じ、所定の圧延速度まで速度を上げることができなくなる。このため、本設備ではスタンド間でのストリップ冷却装置を設け、これらの問題を解決した。

また、本設備では従来の2スタンドタンデム冷間ミルの常識を破り、No.2スタンドのモータ容量をNo.1スタンドの1.2倍とし、No.2スタンドで高圧下かけられるようにしているが、この目的のためにもストリップ冷却は効果的である。

図9にストリップ冷却効果の理論検討結果を示す。本方式の採用により予期した高圧下が得られ、所期の目的を達成することができた。

4 高速圧延

高速圧延はアルミニウムの生産性を増すための不可欠条件で、これを実現するには、ロールネック軸受の潤滑、高速用リールの開発、適切なロール冷却及びストリップ冷却が必要となる。ロール冷却とストリップ冷却については3で説明したので、ここでは、圧延機とリールの高速対策について説明する。

4.1 ロールネックの最適設計

高速圧延において軸受が焼損せず安定した運転ができることが肝要であるが、材料の軟らかいアルミニウム圧延機にお

いては、軸受部の発熱がロールカーブに影響しないことが必要である。このため本設備では次の点に留意した。

(1) ロールネック軸受の潤滑性能の向上

日立製作所では新日本製鐵株式会社君津製鉄所向け6スタンド冷間タンデムミルで2,500m/minの世界最高速⁽⁵⁾を経験しているが、本設備ではその経験に基づいて、その後の研究結果をも加え、高速ミル用の軸受及びチョック構造の設計にくふうを加えた⁽²⁾。

(2) 軸受部の発熱を考慮したロール面長の決定

軸受部の発熱の影響がロールカーブに及ばぬよう適切なロール面長を選定した。

4.2 高速リール

薄物、軟質材の高速圧延では張力が小さいため、張力変動を最小にすることが必要で、電気制御上のくふうもさることながら、機械損失の極めて少ないリールが要求される。

本設備では厚物から薄物まで板厚範囲が広いため張力範囲も1:35と幅広く、これに対し2モータと高速・低速のギヤチェンジの組合せによりこの広張力範囲を可能とした。

(1) 高張力圧延：低速、2モータを使用

(2) 低張力圧延：高速、1モータを使用

低張力圧延時の機械損失を少なくする⁽²⁾ため、高速時はモータと直結になる特殊変速機の採用、ドラム開閉には回転シリンドを用いた直結式とするなど特別の考慮を払い、機械損失の極めて少ないリールが得られた。

5 結 言

以上、住友軽金属工業株式会社にて稼動中の高速2スタンドタンデム冷間ストリップミルについて、

(1) パレットコンベヤ、コイル棚、スタッカークレーン及び電子計算機の使用によるコイル搬送の自動化。

(2) カルーゼル形ペイオフリールの採用による前処理の合理化と省力化及び稼動率の向上。

(3) 高性能“HYROP-S”の採用と電子計算機を用いた自動板厚制御装置による板厚精度の向上。

(4) ロールネック軸受及びリールの構造に改良を加え、スムーズな高速圧延の実現。

など新技術の採用が予期どおりの好結果をもたらした。これは、ユーザーの豊富な圧延技術と、メーカーの設備設計製作技術及び開発技術とが結集した成果である。このようなユーザーとメーカーとの連携は既に鉄鋼業界で広く行なわれており、今後のアルミニウム製品の需要増に対する新設備計画に際してこのような連携がますます重要となるであろう。

終わりに臨み、本設備の建設に当たって終始御協力をいただいた住友金属軽工業株式会社の関係各位に対し、深く謝意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 永田「圧延大型化はどこまで進むか」AI-ある(1973-8)
- (2) 福井、藤野「毎分1,500メートルをこえる高速冷間圧延機」AI-ある(1973-8)
- (3) 梶原、福井「油圧圧下式圧延機」日立評論 47, 1593 (昭49-0)
- (4) 馬場、安藤ほか「アルミニウム冷間圧延におけるロールベンディングに関する一実験」住友軽金属技報13, 189 (昭47)
- (5) 森本、才木ほか「君津、名古屋両製鉄所第3冷間圧延機について」製鉄研究 276, 10196 (昭47)