

日本鉄板株式会社南陽工場納
セ ン ジ マ ー ZR 22-50 形 圧 延 設 備
 Sendzimir ZR 22-50 Mill Equipment Supplied to Nihon Teppan Co., Ltd.
 Nan-yō Works

山 本 秀 幸* 谷 口 哲 二*
 Hideyuki Yamamoto Tetsuji Taniguchi

内 容 梗 概

1958年5月、日本鉄板株式会社南陽工場に据え付け、稼動にはいった ZR 22-50 形センジマーミルは、国産の第一号機であり、しかも工業用大形のものとしては、わが国で初めての圧延機である。また機械、電機ともに同一工場で設計製作されたという点では世界最初のもので、現在好調に運転し、在来の四重冷間圧延機では到達し得ない厚み精度のステンレスを能率よく生産してそのすぐれた性能をいかに発揮しているが、初めての国産品として、その特長、仕様、工作精度などにつき紹介する。

1. 緒 言

近年精密機械および電機工業の進歩に伴い、ステンレスや珪素鋼板あるいはチタンなど、硬く伸びにくい材料で厚み精度のきわめて高い薄板の需要が増大し、これに応える精密圧延設備として作業ロール径を非常に小さくした多段ロール機および補強ロール駆動式四重圧延機が発達してきたが、その中でもセンジマーミルは、数多くの特長により急速に普及し、現在世界で100台以上（半数以上米国）が稼動中で、その用途も今後ますます拡大される傾向にある。わが国でも戦後、日本金属株式会社と東北大学の金属研究所にそれぞれ1台ずつ輸入されたが、いずれも小形のものであり、工業用大形圧延機としては、今回日本鉄板株式会社南陽工場に設置されたものが最初である。

この圧延機は戦後すでに3台の大形冷間四重圧延機の設計製作の経験を有する日立製作所が、さらにセンジマーミルの国産化を目ざし、アメリカ Sendzimir Inc. と技術提携を行って製作したもので、昭和33年3月に工場完成、同年6月から試験運転にはいった。この間この圧延機の精度を決定するロールハウジングの加工においては特殊治工具を考案し、新鋭中ぐり盤の駆使、工作法の周到な検討により、所要の高精度に仕上げることができ、また強力なストリップ張力に耐えるための巻取胴部品の特殊合金肉盛熔接も数箇月に及ぶ試験研究の結果、成功させることができた。

大形センジマーミル国産第1号機の完成を機会に、その構造、製作記録および運転成績などにつき述べる。

2. 小径作業ロールの特長とセンジマーミル

普通鋼の冷間圧延に最も普及し、賞用されている四重圧延機も、工業の進展に従い、硬く薄く幅広でかつ高精

* 日立製作所日立工場

第1表 センジマーミル普及状況 (1957年現在)

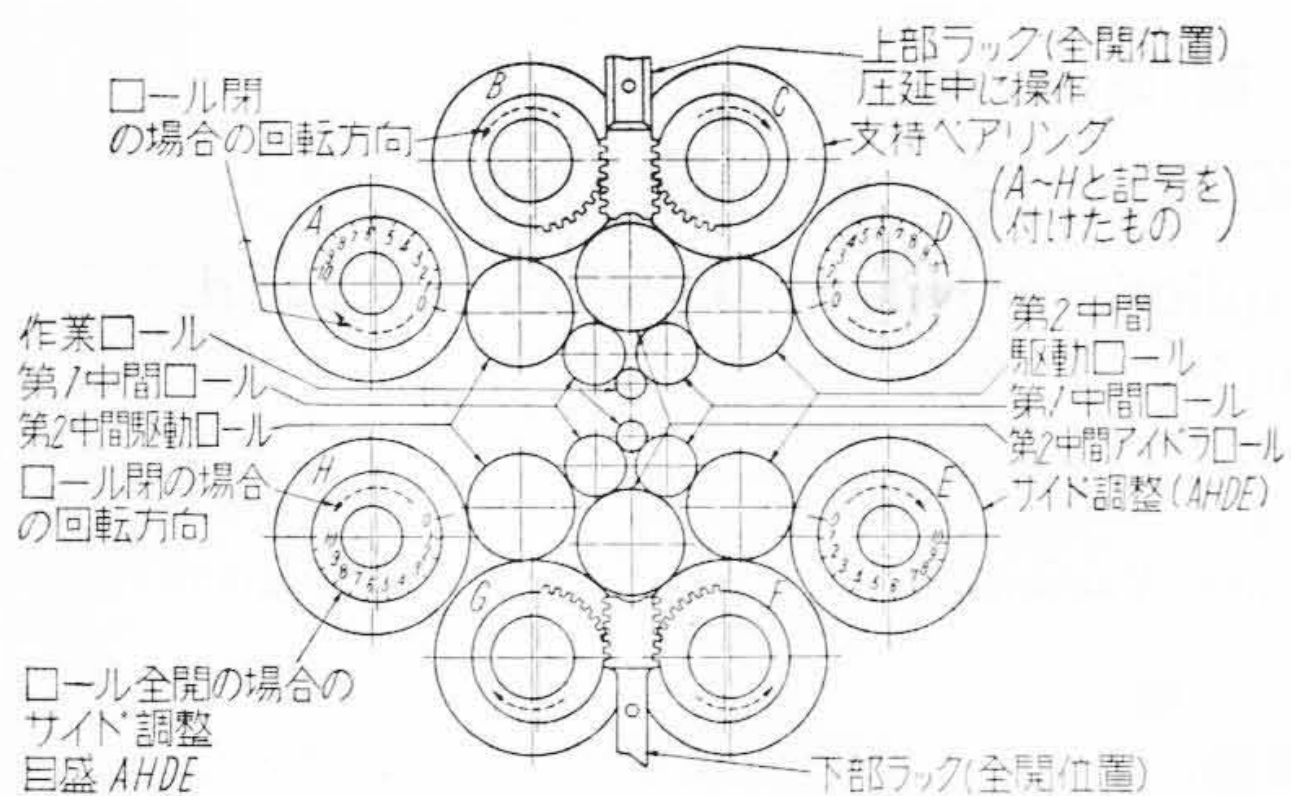
圧延材 ミルの 幅(mm)	普通鋼 および 珪素鋼	ステン レス合 金鋼	高炭素 鋼その 他	アルミ ニウム その他 非鉄	研究用	合 計 () 内米国
610mm以下	13	26	4	10	3	56 (41)
190mm以下	4	4	3	10	0	21 (15)
1510mm以下	10	18	4	4	0	36 (15)
1510mm以上	1	0	0	0	0	1
					総計	114 (71)

度の圧延製品が要求される場合には、その地位を多段圧延機へと譲らねばならなくなりつつある。それは、ロールをその軸端のベアリングでささえるという形式をとる限り、その大きな圧下力に耐えるためにはロール径を大きくしなくてはならない。ところが、ロールは圧延材との接触部分で圧延圧力により扁平に変形し、圧延材の厚みがある程度以上に薄くなるとこの扁平変形部分と圧延材の間の摩擦に妨げられて、いかにロールの圧下力を大きくしても、もうそれ以上は圧延材が薄くならないという限度のあることはよく知られているとおりである。この限界の圧延材厚み $t_{\min}$ は次式で表わすことができる。すなわち⁽¹⁾

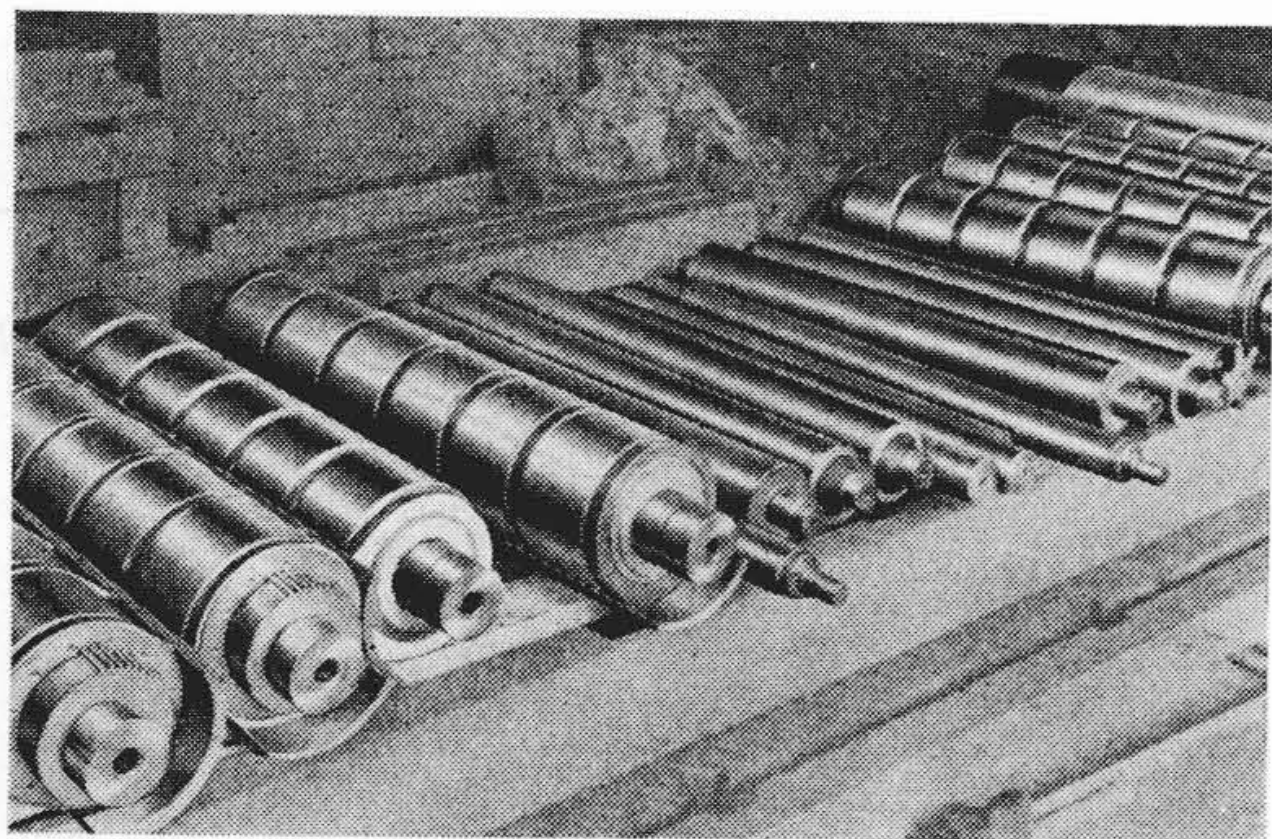
$$t_{\min} \propto \frac{d\mu\sigma}{E} \dots\dots\dots (1)$$

ここに d : 作業ロール径
 μ : 圧延材とロール表面の間の摩擦係数
 σ : 圧延材の降伏応力
 E : 作業ロールの弾性係数

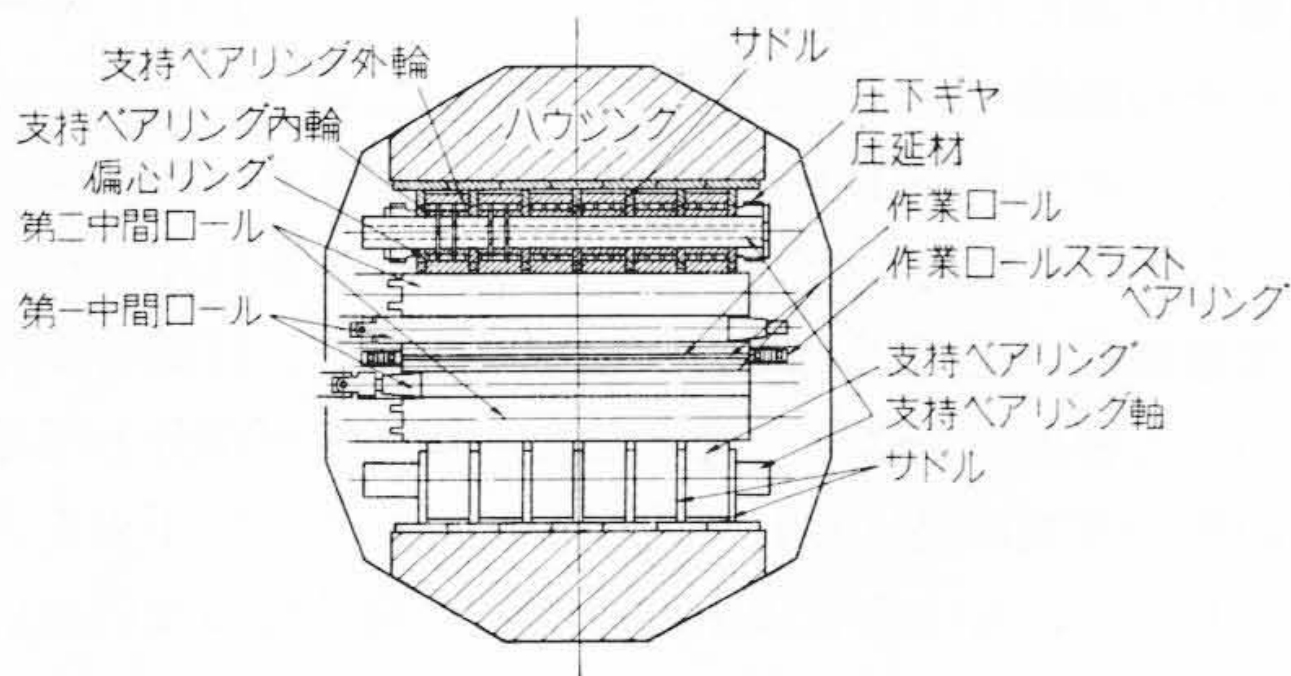
この式からわかるように圧延可能な最小厚みは作業ロール径に比例し、硬い材料すなわち σ が大であればあるほど、作業ロール径 d を小さくしなければ所要の厚みまで圧延することは不可能となる。また作業ロールにかかる圧延圧力を大径の補強ロールで支持する通常の四重圧延機においては、大きな圧延圧力に耐えるためにはきわ



第1図 センジマーミル 1-2-3-4 形のロール配置と調整方法



第2図 ロール



第3図 ロールハウジング内面における支持ベアリングのささえ方

めて径の大きな補強ロールが必要で、圧延材の幅が広くなるにつれ、この種の圧延機は巨大なものとならざるを得ない。小径の作業ロールを使用して幅の広い板を圧延し、しかも全体として小形にまとめるためにはロールの支持方式を根本的に変える必要が生ずるが、この要求により製作されたのがセンジマーミルである。第1図に示すのがその1-2-3-4形のロール配置で、圧延材と直接接して圧延を行う作業ロール2本にかかる圧延荷重は多数の中間ロールを経て支持ベアリングへ、さらに支持ベアリングから軸、サドルを経て頑丈なハウジングに伝えられる。第3図はハウジング内面における支持ベアリングのささえ方を示したもので、第1図のA B C D E F G

Hおのこの軸に支持ベアリングが取り付けられ、この軸を一定間隔で支持するため、各支持ベアリング間にサドルを設けこのサドルがハウジングの内面に固定されるわけである。在来の圧延機のロールがネック部分だけで圧延荷重をささえているのに比べると、この点が非常に大きな相違であって、圧延荷重は頑丈な一体のハウジングにより、ロールの軸方向ほとんど一様にささえられるので、ロール径が全体としてきわめて細く、また圧延材の幅が広いにもかかわらずロールの撓みは非常に少なく、硬い材料でも高精度に圧延できることになる。今幅1,250 mmの軟鋼ストリップを圧延する場合についてみると四重圧延機では最小厚み約0.25 mmであるのに対し、今回のZR-22-50形センジマーミルでは実に0.06 mmまでも圧延可能である。

さらに冷間圧延における圧延圧力 P 、および単位生産量あたりの圧延動力 E は次式

$$P = WL\sigma \frac{e^{\frac{\mu L}{t}} - 1}{\frac{\mu L}{t}} \dots \dots \dots (2)$$

$$E \left(\frac{HP-hr}{T} \right) \propto \left\{ \frac{(L^2-l^2)\pi E}{16L(1-\nu^2)r} + S_1 \right\} \frac{(t_1-t_2)}{t^2} \dots \dots \dots (3)$$

ただし t_1, t_2 : 圧延前後の圧延材の厚さ

W : 圧延材の幅

S_1 : 入口張力

r : 作業ロール半径

$$l = \sqrt{r(t_1-t_2)}$$

ν : 作業ロールのポアッソン比

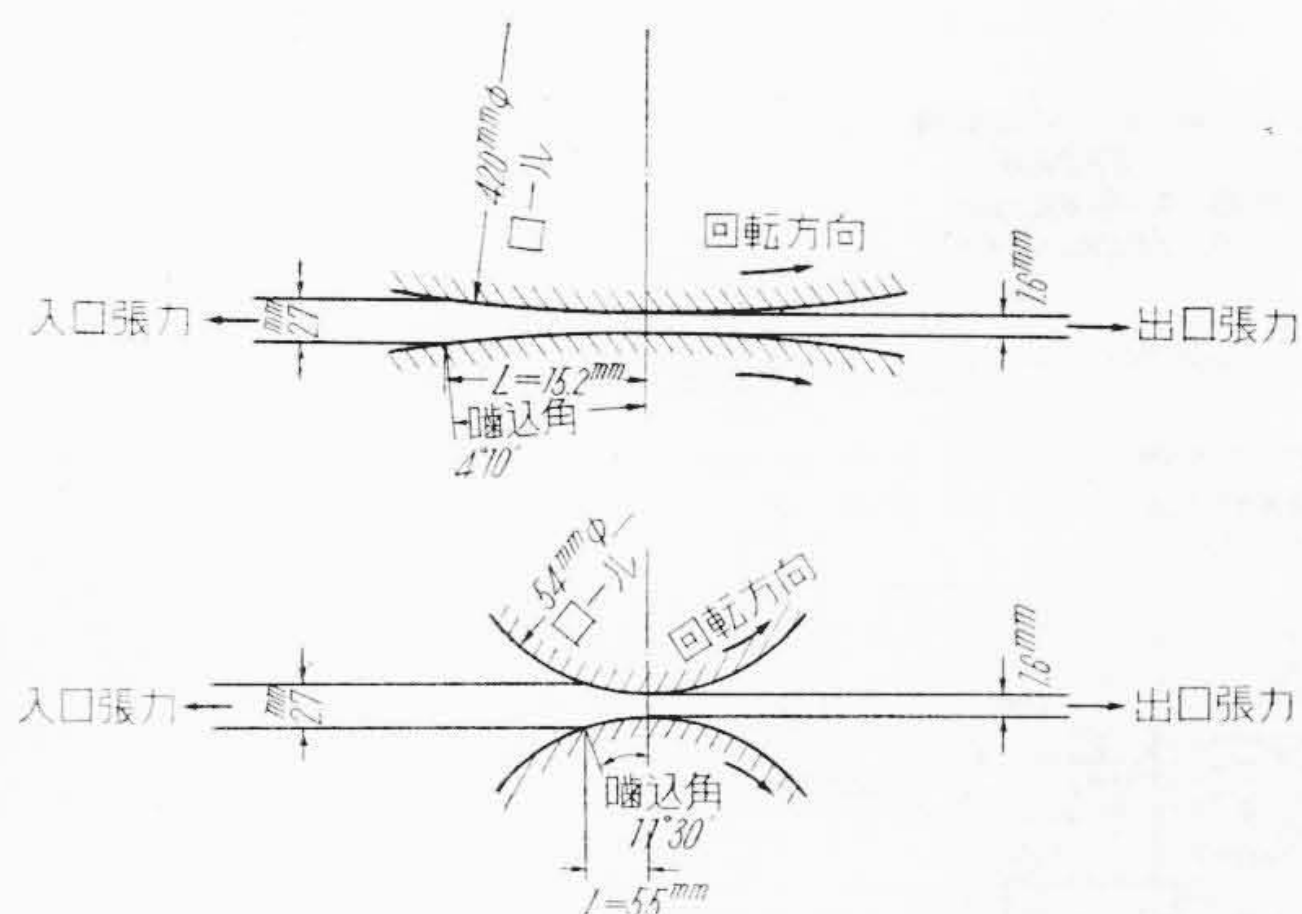
L : ロールと圧延材の接触長で

$$\left(\frac{\mu L}{t} \right)^2 = 16 \left(e^{\frac{\mu L}{t}} - 1 \right) \frac{\mu \sigma r (1-\nu^2)}{\pi E t} + \frac{\mu^2}{t^2} r (t_1-t_2)$$

を解いて得られる値

で表わすことができるが、この式および第4図からもわかるように、圧下量が同一であれば、接触長 L はロール径の小なるほど小さく、圧延圧力は作業ロール径の小なる方が著しく小さくなり、かつ圧延機とのスリップの起る範囲も狭くなるわけであるから、摩擦による発熱、動力損失、ロール面の摩耗が減少することになる⁽²⁾。

今軟鋼ストリップの圧延作業を、四重圧延機で行う場合と、センジマーミルで行う場合とで比較してみると第2表のようになる。さらにまた第3図からわかるように作業ロール径が小さければ接触長 L が短い上、嚙込角が大きいのでストリップに与えられる入口張力は圧延圧力の減少に対しきわめて有効に働き、また出口張力による厚み変動の是正も行われやすくなる。それに作業ロール径が小さいと、ストリップ縁部の応力分布が中央部とそ



第4図 圧延材とロールの接触長のロール径による相違

第2表 軟鋼ストリップの同一圧延作業に対する四重圧延機とセンジマーミルの比較計算

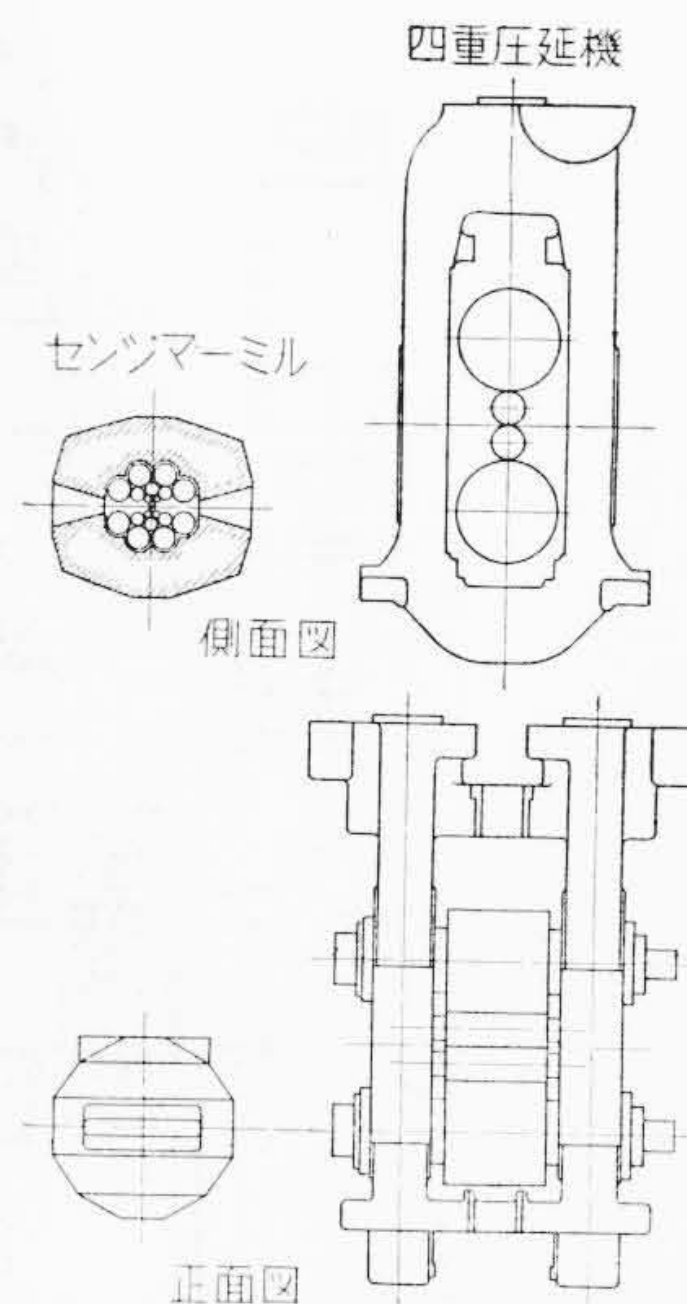
ストリップ幅 圧延速度		915mm 235mm				
パス	No	1	2	3	4	5
板厚 (mm)		2.70	1.60	1.00	0.60	0.40 0.29
圧下量 (mm)		1.10	0.60	0.40	0.20	0.11
圧下率 (%)		40.7	37.5	40.0	33.4	27.5
全圧下率 (%)		40.7	63.0	77.8	85.2	89.2
圧延圧力 (t)	センジマー	290	230	220	140	120
	四重	890	900	920	770	830
圧延馬力 (kW)	センジマー	2,010	1,680	1320	730	440
	四重	2,490	1,750	1650	950	510

第3表 センジマーミルによる種々の圧延作業例

圧延材材質	幅	圧下量	全圧下率	パス回数
18-8 ステンレス	920mm	3.2mm → 0.63mm	79%	7
17Cr ステンレス	920	3.5 → 0.20	94	12
7-3 黄銅	630	1.9 → 0.11	94	8
52S ジュラルミン	630	2.8 → 0.23	92	5
2S ジュラルミン	630	1.5 → 0.13	92	2
3% 硅素鋼	300	0.33 → 0.05	85	2
低炭素鋼	800	1.8 → 0.25	86	4

れほど変りなくなるので、張力により縁に亀裂のはいる危険が著しく少なく、圧延後もほとんどトリミングの必要のない平滑な縁部をうることができる。

実際センジマー式圧延機の特徴が発揮されるのは、硬く薄い材料を圧延する場合であって、第3表に種々の材料についてその作業例を示す。いずれも中間焼鈍なしで圧延する場合のものであるがこの表に見られるように加工硬化性の著しい材料を、中間焼鈍も行うことなくわずか数パスで 80% 以上の圧延ができるわけで、小径ロールの特長を遺憾なく発揮しており、かつこれによる製品の精度についてみても、厚さ 0.5 mm, 幅 1,000 mm の軟鋼ストリップは在来の四重圧延機では 0.03~0.006mm の厚み変動は避けられなかったのに比し、センジマーミ

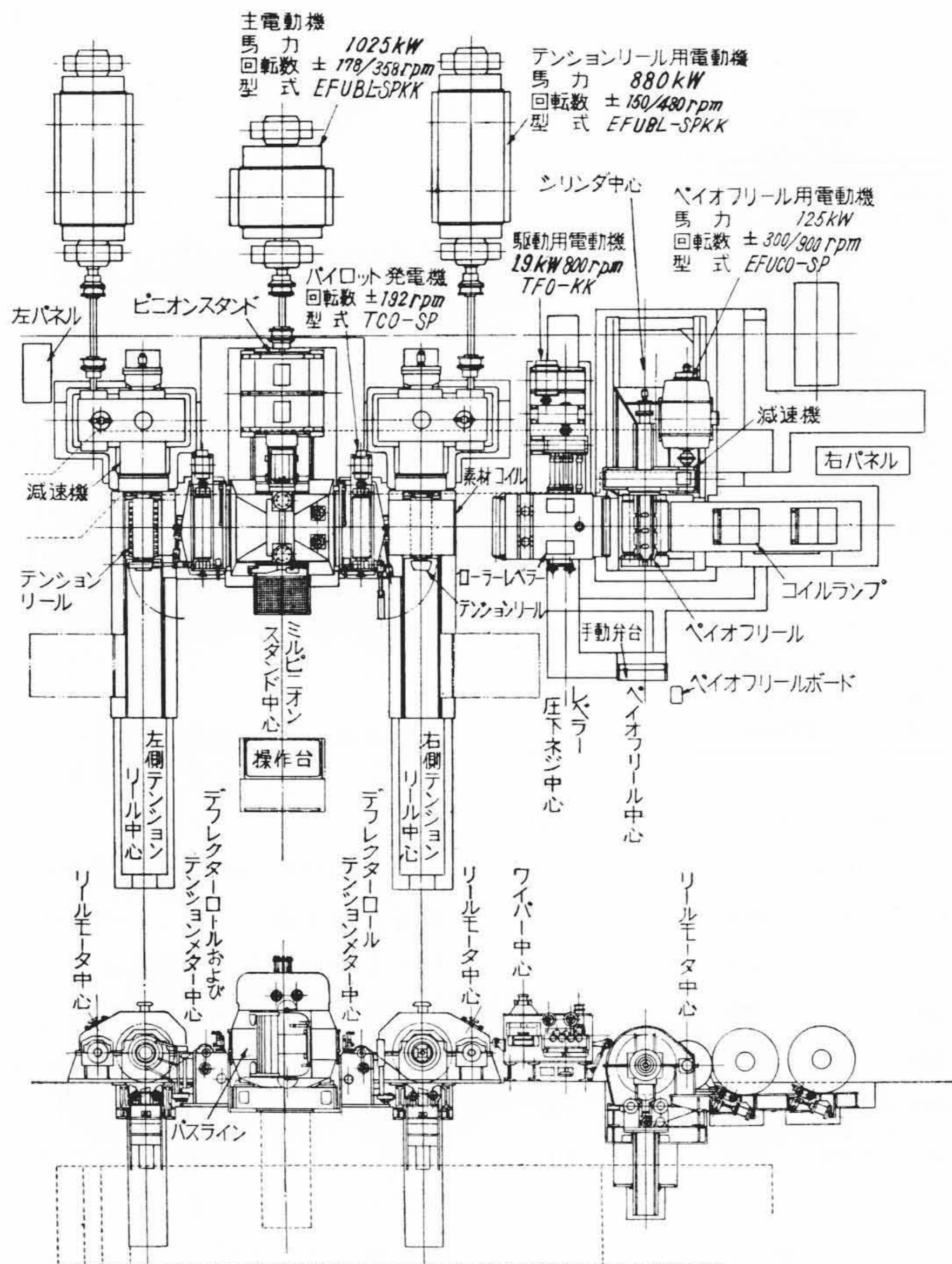


第5図 同一幅のものを圧延する圧延機——四重式とセンジマー式の大きさの比較

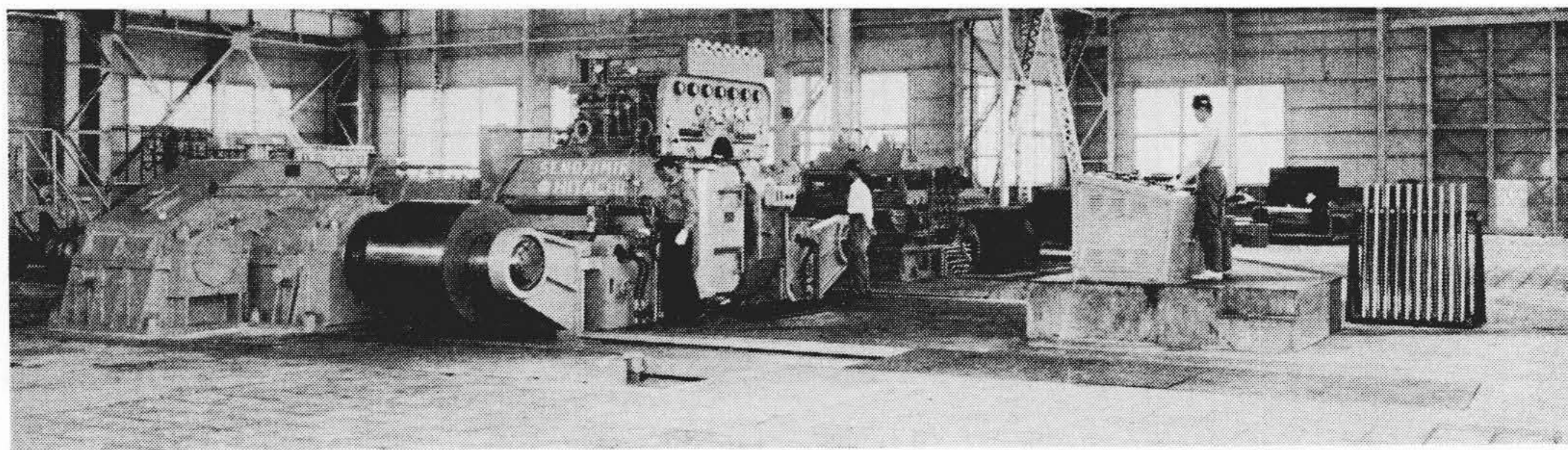
ルでは 0.005 mm 以内の誤差に仕上げることは容易である。第5図はこの二つの圧延機の大きさを比例的に示したものであり、四重圧延機ではきわめて大径ではあるが補強ロールの両軸端を長大なロールスタンドでささえるため圧延圧力による作業ロール間隙の変形が非常に大きく、これが仕上製品の精度にそのまま影響してくるのに対して、センジマーミルではロール径が小さいので圧延圧力そのものが著しく小さくなる上、圧延荷重は連続梁を形成する支持ベアリングにより小形で頑丈なロールハウジングに伝えられるので、ごくわずかな変形もロール軸方向一様であり、ロールがいずれも精密加工できることと相まって、圧延製品の精度を著しく向上する。特に作業ロールは、第一中間ロールと圧延機の前後面ドアに付けられているスラストベアリングのみでささえられているため、前面ドアを開くだけで引き出すことができ、交換に5分とかからないので、作業能率をいささかも落すことなく、ロールを交換して仕上表面のきわめて美しい製品が得られることも大きな特長の一つである。そのほかロールが小さいため、四重圧延機に比して、グラインダも小形であるなどロール径が小さいことによる利点は多い。一方欠点としては、シート圧延には不向きであること、ロールの熱容量少なく熱的に敏感であるため、多量の冷却剤を必要とすること、ストリップの形状を優良に保つために強大な出口張力を要することなどをあげることができる。

3. 日本鉄板 ZR 22-50 形センジマーミル

第6図は日本鉄板株式会社南陽工場に納められた ZR 22-50 形センジマーミルの配置を示すもので、第7図は



第6図 日本鉄板 ZR22-50 形 センジマーミルの配置



第7図 日本鉄板 ZR22-50 形センジマーミルの運転状況

その稼動中の状況である。本設備のおもな仕様は下記のとおりである。

圧延機形式……………ZR22-50

作業ロール径……………54 mmφ

第一中間ロール径……………102 mmφ

第二中間ロール径……………173 mmφ

支持ベアリング外径……………300 mmφ

被圧延材料……………特殊鋼（ステンレスおよび軟鋼ストリップ）

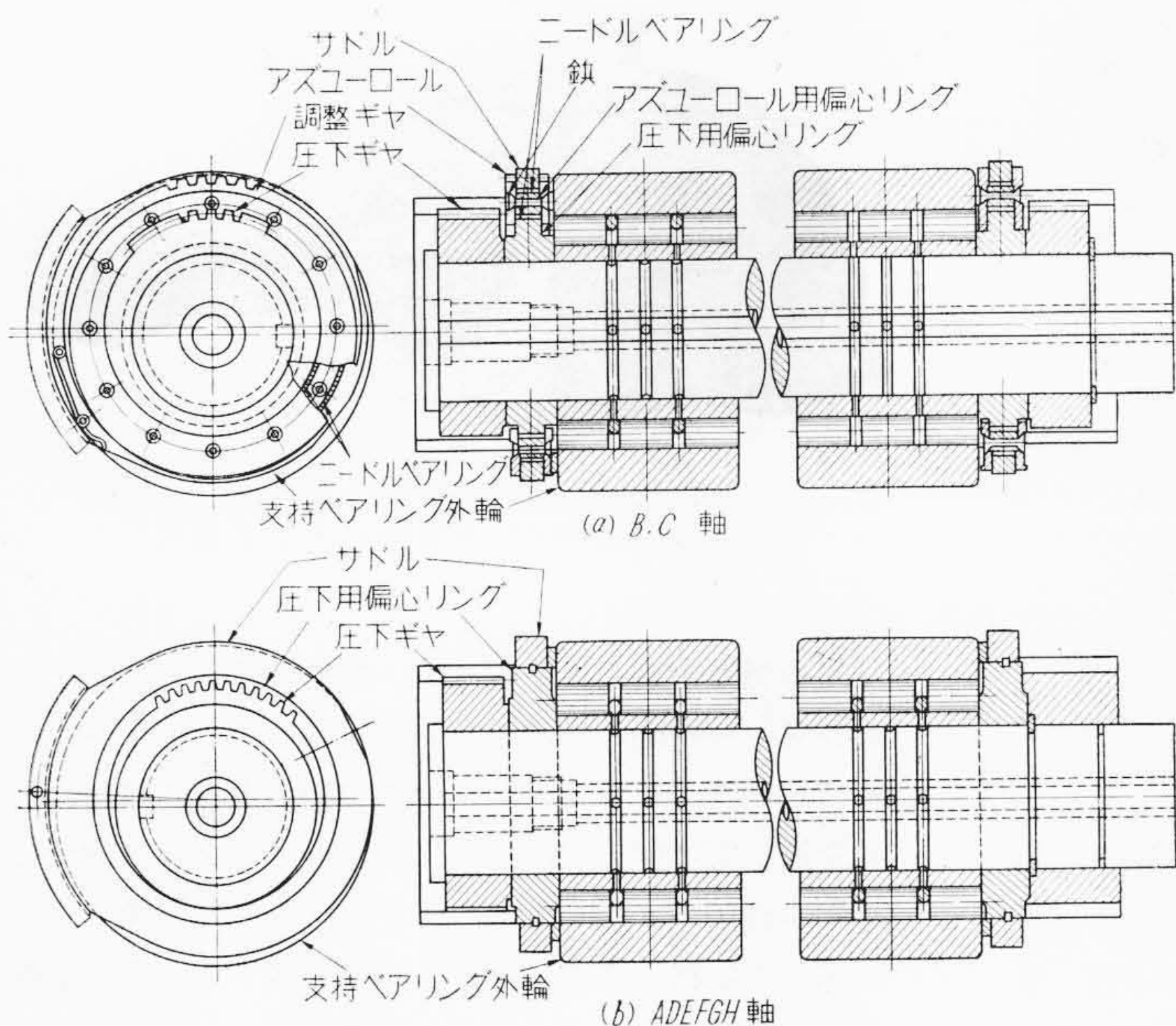
コイル仕様……………幅最大 1,240 mm

厚さ最大 4.06 mm

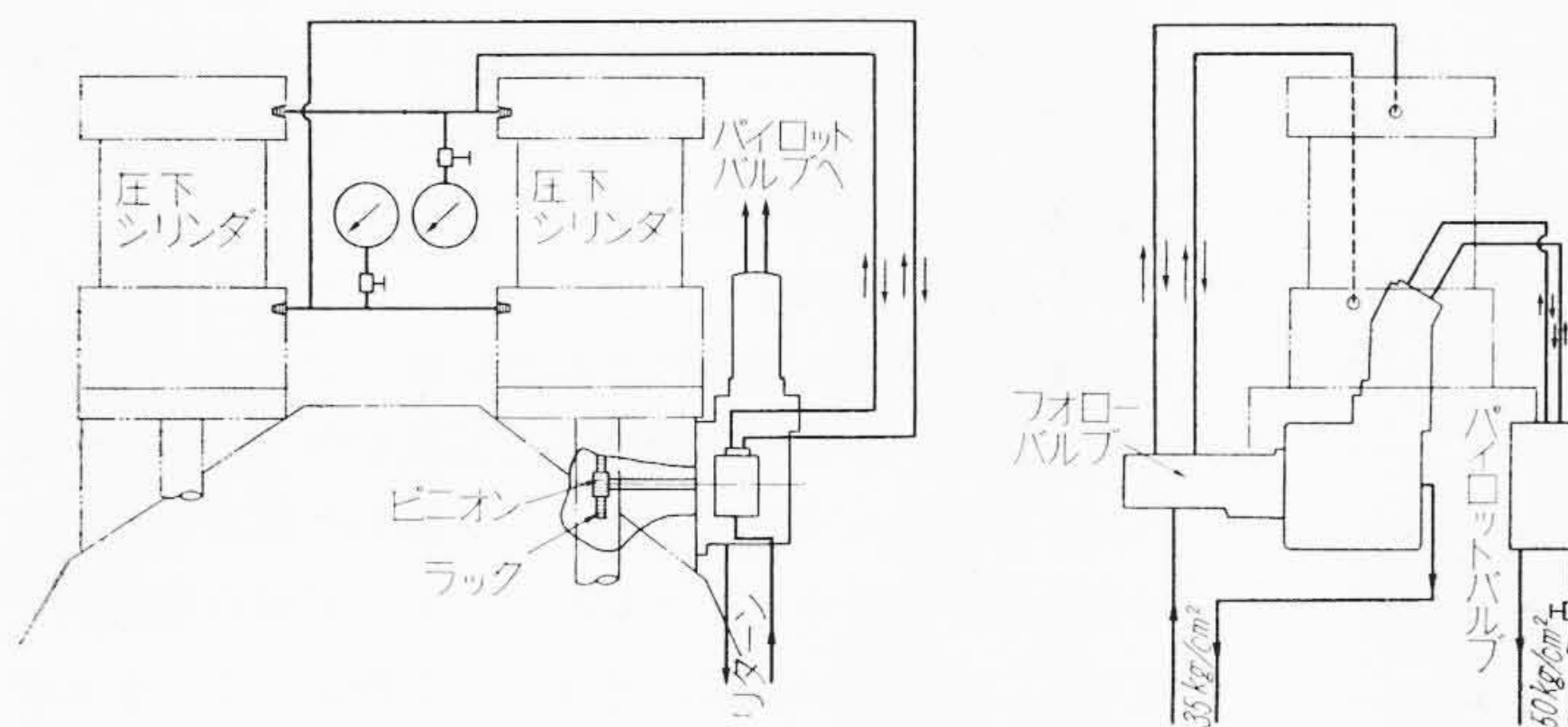
内径 510 mmφ

主電動機 1,025 kW ± 178/358 rpm 1台

巻取用電動機 880 kW ± 150/480 rpm 2台



第8図 支持ベアリングの構造



第9図 ロール圧下油圧機構

圧延速度 0～±118～±237 m/min

巻取張力 最大 22,500 kg (200 m/min で)

ペイオフリール用電動機 125 kW 300/900 rpm

ペイオフリール巻出張力 3,600 kg

以下構造そのほかについて概要を述べる。

3.1 機 構

3.1.1 ロール間隙の調整

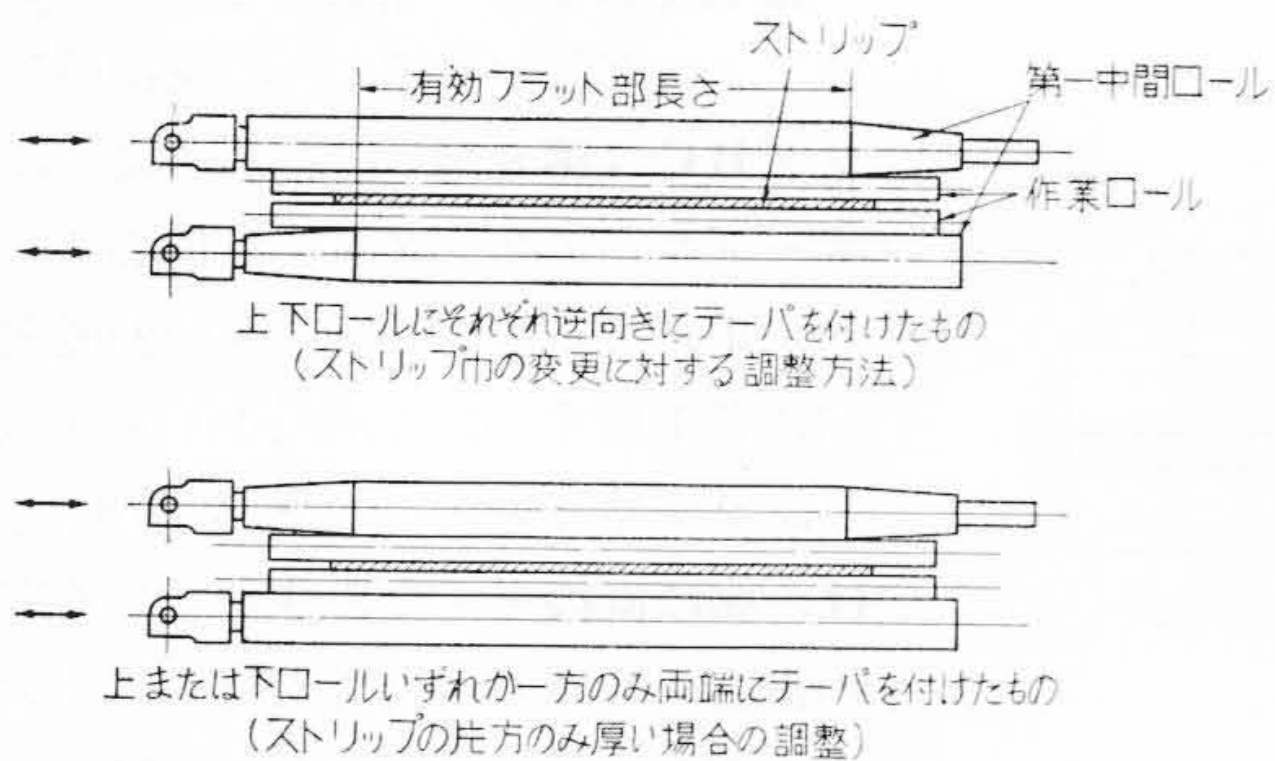
四重圧延機など、在来の各種の圧延機が、ロール間隙の調整を圧下ネジで行っているのに対し、センジマーミルでは油圧駆動の偏心リングによっている。

第8図にみるようにA～H各支持ベアリングはいずれも軸が偏心リングおよびサドルを介して、ハウジング内面に保持されているので、軸にキー止めされている偏心リングを回転すればサドル内面に対して軸の中心、したがってそれにはまっている支持ベアリングの中心が移動し所要のロール間隙の調整が行われることになる。

運転時圧下量の調整を行うのはBCベアリング軸のみで、この支持ベアリングBCは第8図(a)に示すように、ニードルベアリングを介し偏心リングが二重になっており、ミルの前後面上部に各1個ずつある油圧シリンダにより、ラックピニオンで軸を回転すれば、軸に直接キー止めされている内側の偏心リングの作用で支持ベアリングが上下し、所要の圧下調整が行われる。圧下量および圧下速度を規定するのは油圧シリンダに送り込まれる高圧油流量であり、第9図に示すように、フォーローバルブとパイロットバルブの巧みな組合せにより、高低速二段階で任意の位置にロールを正確に設定し維持することができる。ADEFGHの各ベアリングは第8図(b)に示すように、サドル内面と偏心リングがブレンベアリングの形で接触しており、AとH、DとEはそれぞれ1組となって、圧延機本体後面（駆動側）にある電動機で偏心リングが回され、ロール研磨によるパスラインの移動を補正するためのもので、またFGは圧延機下部にある油圧シリンダで、ラックおよびギヤを介して偏心リングが回され、下部ロール群の位置を調整し、また上部のBCと同時に開いて通板および作業ロールの装入を容易にするものである。

3.1.2 ロールクラウン調整機構

在来の二重、三重または四重圧延機など、ロールを軸端で支持する形式の圧延機では、幅方向均一な厚みの成品をうるためにはロールの撓みを補償するようなクラウンをつけてロールを研磨しなくてはならない。そしてこのクラウンの量は、研磨の際に定まってしまうから、厳密に言えばロール冷却そのほかの条件が同じで、平行なロール間隙を保つためには、どのパスでも圧延材の幅が一定でかつ圧延圧力も同一にしなければならない。この不便をセンジマーミルではアズユーロールと呼ばれる機構で解決している。すなわち第8図(a)のようにBC軸の偏心リングは二重になっているが、中間の薄い偏心リングは、圧油モータで各サドル別々に、ある範囲内で任意の量だけ圧延中に回転することができ、これによりBC軸上各サドルの位置で圧延荷重の分担の仕方が変化し、第二、第一中間ロールを経て作業ロールは軸方向の所望の位置が強く圧下を



第10図 第一中間ロールによるロールクラウン調整

行い、ほかの部分は軽く圧下することが可能となる。

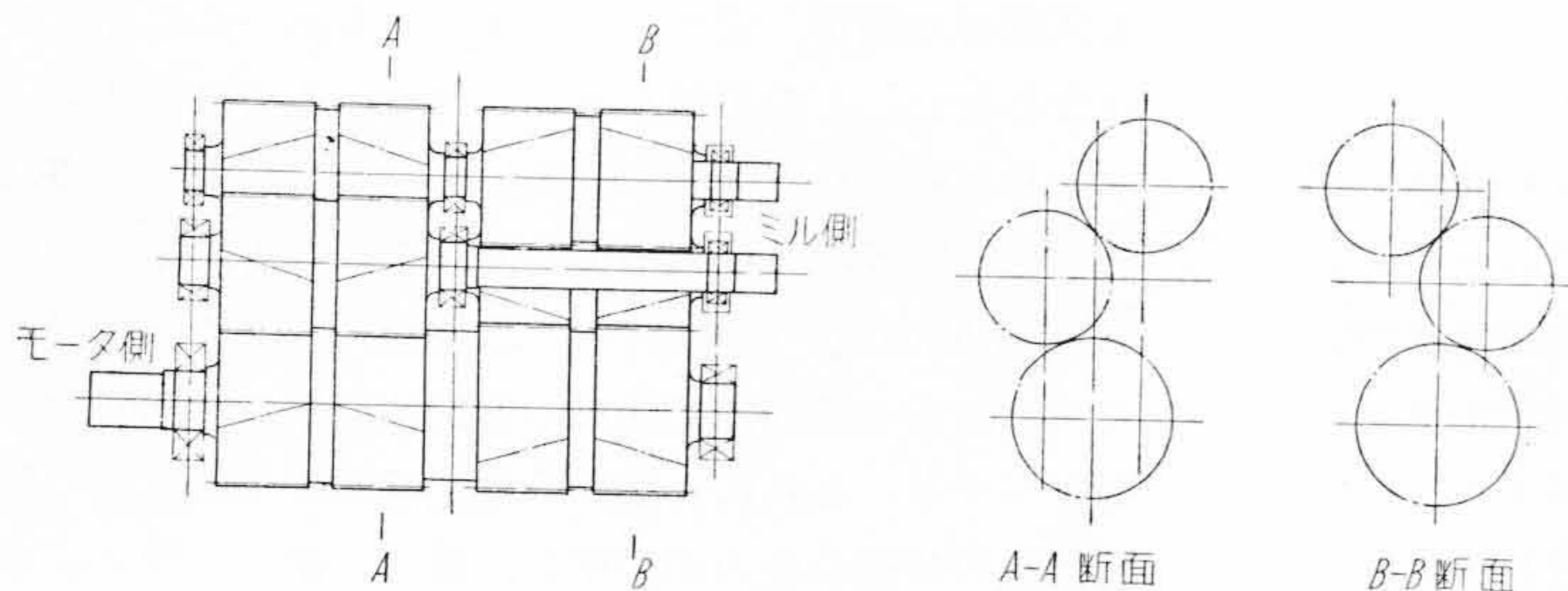
また上下各2本ずつの第一中間ロールは、軸方向の位置を調整でき、第11図はこれによるロールカーブの調整を示すもので、第一中間ロールの上下一方、または両方の端部にテーパをつけ軸方向の位置を変えて、上下、重り合っている平行部分の長さまたは位置を調整し、圧延材の形状を整えようとするものである。これによるロールカーブの調整は、アズユーロールと異なり圧延中に行うことはできないが、アズユーロールで微細な調整をするのに対し、ロールカーブを大きく変えたいときに用いるものである。

3.1.3 ロール駆動方式

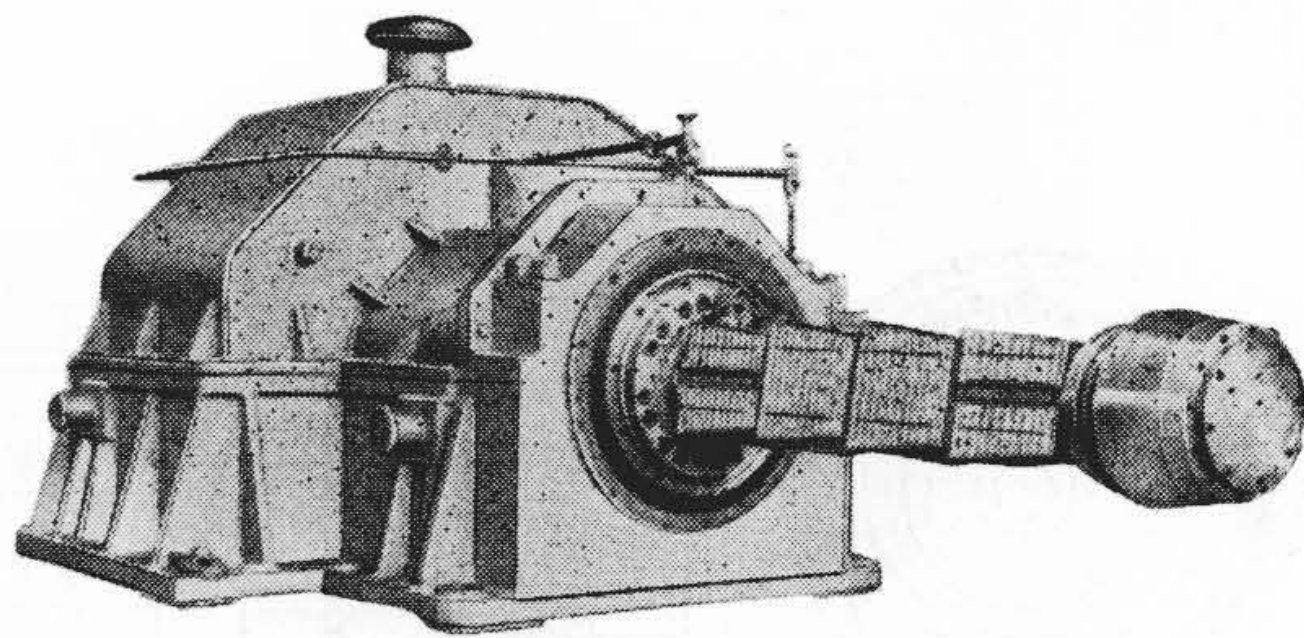
このセンジマーミルは、支持ロール駆動の方式を取り、第1図に示す第二中間ロール上下各3本のうち外側の各2本が、第11図のように配置されたピニオンを介して主電動機により駆動させる。このため作業ロールが小さいにもかかわらず圧延に必要な十分の大きさのトルクを作業ロールに伝えることができる。

3.1.4 潤滑および冷却

上述のように本圧延機は従来のものとは根本的に構造が異なっているため、潤滑には特別の考慮が払われている。すなわち、ハウジング内は、半分以上の高さまでミルオイルが充満し、圧延材およびロールはほとんどこれに浸った状態で運転され、圧延によるストリ



第11図 ロール駆動ピニオンの配置



第12図 引張巻取機
巻取胴セグメントを除いたところ

ップの発熱を抑えるとともに、支持ベアリング軸受および各ロール間の潤滑をあわせ行っている。ミルオイルは、一部が各支持ベアリングの軸の中心に穿たれた孔を通して半径方向に吹き出し、ベアリングの潤滑と冷却を行い、また一部は、ノズルによって直接ロール間隙の圧延材に吹き付けられ冷却を図りかつ圧延を容易にしている。かくて冷却と潤滑を終ったミルオイルは、作業の種類に応じて二重三重の濾過器で濾され、自動的に温度を調節されて清浄となり、ふたたび圧延機に送られることになる。これによって圧延温度は一定に保たれ、圧延精度の維持に役だっている。

3.1.5 引張巻取機

圧下を助けまた製品の平坦度を良くするために著しく大きなストリップ張力の下で圧延を行うが本圧延機においてはこの大きなストリップ張力に耐えるため巻取胴先端を支持するとともにピラミッド形の巻取胴を採用し、巻取胴が拡張してコイルを巻取っているときも胴が中実で十分な強度をもたせ、またこの強大な巻締力のもとで摺動するピラミッド表面は特殊の合金を肉盛熔接しかつ高圧に耐える潤滑剤を使用して摩耗を少なくしている。

3.1.6 送込みレベラ

本設備には特に送込みレベラを設け、第1パスに圧延材の端を通す作業を著しく容易にした。

3.1.7 油圧装置

圧延を遠隔操作で容易にするために、センジマーミル

では油圧操作が豊富に採用されており、操作盤、または操作スタンドのボタン、またはレバーによって容易に操作できるようになっている。

3.2 加工方法と仕上精度

圧延された製品の精度に最も大きく影響するのは、ロールの精度、およびロール軸受部分とそれをささえているロールスタンドの加工精度で

あり、冷間圧延機では特にこれが重要である。

本圧延機の製作にあたって、ハウジングの支持ベアリングサドル支持円筒面8個の仕上は、幅 1,600 mm にわたり、平行度 0.01 mm 以内に加工した。重量約 50 t のハウジングは、この精度を満足するために、鋳造後まず完全に焼鈍し、荒削後さらに焼鈍を行って、十分に内部応力を除いてから治具を強固に取り付け、大形横中ぐり盤で仕上加工を行ってピッチ精度を出し、さらにゲージバーとの摺合せ加工により所要の平行精度を出した。

3.3 運 転 成 績

かくて完成された今回のセンジマーミルは、現在好調に運転されている。軟鋼ストリップはもちろん、ステンレスストリップも難なく均一な厚みに圧延しており、製品の厚み精度は予想どおり、在来の四重冷間圧延機によるものに比し、薄いもので 0.005 mm 以下というようにきわめて高く、高度の圧下にも中間焼鈍を必要としない。

また圧延速度が変わってもストリップの厚みにはほとんど影響が現れないので、加減速部分のストリップも十分

規格内におさまり、さらにいったん、圧下量を設定すれば、そのパスの間はほとんど圧下調整の必要なく、一定厚みの製品が得られるなど、すぐれた性能を発揮している。

4. 結 言

以上センジマーミルについての一般的考察および今回の日本鉄板納めの ZR22-50 形に関して述べてきたが、かくのごとく高精度の大形圧延機の国産に成功したことは非常に喜ばしく、本機製作の機会を与えられた日本鉄板株式会社および同社大浜技師長に厚く感謝する次第である。

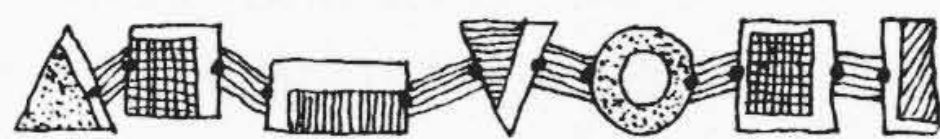
今回は輸入にまつたベアリングその他の部品も、今後すべて国産化し、完全な国産センジマーミルを世に送る日の一日も早からんことを期待している。

参 考 文 献

- (1) M. D. Stone: Iron and Steel Engineer Dec. '56
- (2) T. Sendzimir: Iron and Steel Engineer Year Book '46



特 許 の 紹 介



実用新案 第 472010 号

岩 城 秀 夫

直 流 発 電 機 の 界 磁 調 整 装 置

この考案は、ワードレオナード制御装置において界磁調整抵抗を加減して直流発電機の実出力電圧を加減するに際し、界磁調整抵抗加減用の操作電動機を所望の加減位置にいつでも一回に正確に移動停止せしめる装置に関するものである。図について作用の概略を述べると、発電機 G 、その界磁 2、界磁調整抵抗 3 があり、3 は操作電動機 CM によって加減される。加速用磁気増幅器 MA_1 と減速用磁気増幅器 MA_2 とを一对用意し、それらの制御線輪 C 、 C' を単方向整流器 4、4' によってきまる逆方向電流によって付勢するように速度整定用可変抵抗 1、1' の中間タップ e 、 f 間に接続する。タップ f は抵抗 3 の可動腕に連動する。 DG は CM の指速発電機でその出力回路に MA_1 、 MA_2 の補助線輪 d 、 d' を接続し、 d 、 d' はそれぞれ C 、 C' に作用相反するように巻かれる。6、6' は MA_1 、 MA_2 の出力回路に入れた接触器線輪で、 CM の正転および逆転用接触器 7、7' を開閉する。電動機（圧延用その他）の加速または減速要求に応じてタップ e が上下に移動されるわけであるが、そのいずれかに応じて $e-f$ タップ間を 4 を介しあるいは 4' を介して電流が流れる。制御線輪 C あるいは C' のうち C が付勢されると MA_1 には出力を生じ 6 を付勢し 7 を閉合して CM を正回転させる。それに応じて抵抗 3 が G の電圧上昇方向に移動して電動機の加速を促す。一方において

タップ f は e の移動に追従して移動し e に一致すれば線輪 c の電流が零となって接触器 7 を開くことになる。ところが CM は直ぐ止まれないからタップ f は行きすぎることになる、今度は f から e に向う電流によって C' 線輪が付勢され MA_2 に出力を生じて 6' を付勢し 7' を閉合して CM を逆回転させる。このようなパンピング作用は指速発電機 DG の出力に応じて付勢される逆作用の補助線輪 d 、 d' によって完全に防止される。

(宮崎)

