U. D. C. 621.771.1-822

油 圧 圧 下 式 圧 延 機

Rolling Mill Equipped with Hydraulic Screw-down System

梶 原 利 幸* 福 井 嘉 吉*
Toshiyuki Kajiwara Kakichi Fukui

内 容 梗 概

従来の圧延機の電動圧下装置に代わるものとして，実験用圧延機で油圧式の圧下装置を開発し，それを基礎にして大洋製鋼株式会社納の可逆式コールドストリップミルに本格的な油圧圧下装置を設けた。

本機は，1964年8月より油圧圧下による運転にはいり，今や電動圧下の追随を許さぬ性能を有することが実証された。なお，現在油圧圧下式の大形コールドストリップミル2基を製作中である。以下，本油圧圧下装置の原理，特長などとともに電動圧下装置との性能の比較についてその概要を紹介する。

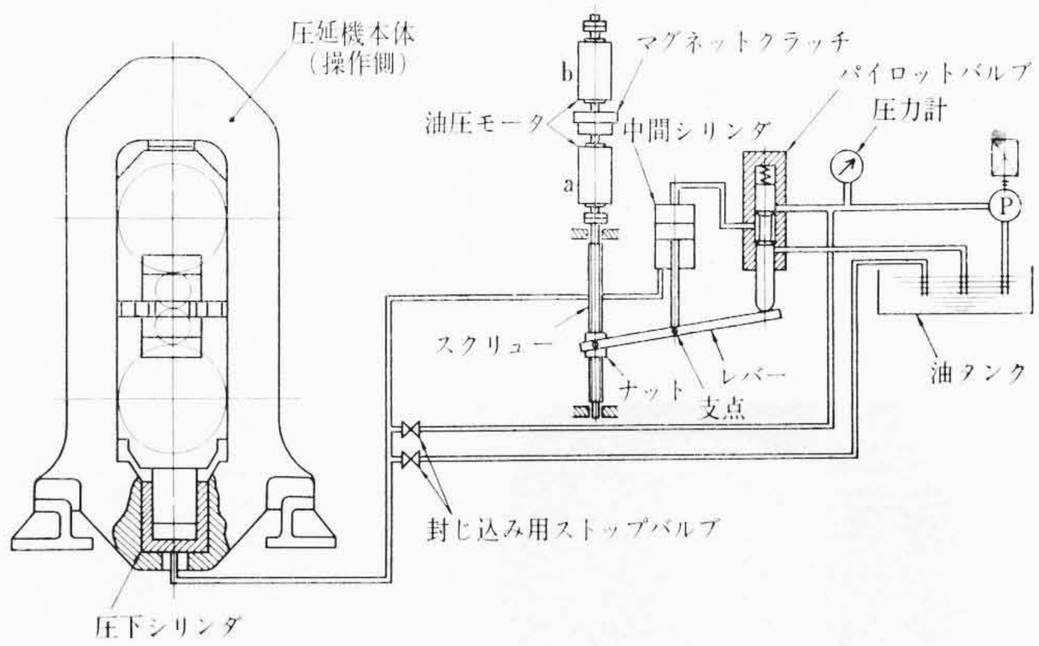
1. 緒 言

電動圧下方式では，その数パーセント以下が有効な圧下仕事となり，ほかは圧下ネジ部やウオーム減速機などの摩擦仕事と加速のために消費されている。したがって機械も大形となって，複雑化するとともに慣性も大きくなり応答性も低下することになる。これでは，板厚の変動を遅怠なく是正することが困難なため，これに対する方策がいろいろ考えられている。たとえば，圧下モータの容量を大きくして加速に振り向ける割合を高めるとか，圧下ネジ下端のスラストメタルをローラベアリングに変え摩擦抵抗の減少を図るとか，さらに圧下ナットを油圧シリンダで駆動するホイラシステムにするとかである。しかしながら，圧下モータをあまり大きくすることは，コスト的にも，スペース的にも好ましいことではないうえに，モータ自身の慣性の増加のためにその効果にも限度がある。また，スラストローラベアリングの採用は有効な方法ではあるが，摩擦抵抗の大部分を占める圧下ネジ部にころがり軸受を採用するには現段階では幾多の困難がある。この中で駆動源に油圧を用いるホイラシステムは理論的には最もすぐれておりホットストリップミルにはすでに設置されており，コールドストリップミルにも将来設置できるよう計画されたものがある。しかし本方式では，圧下ナットを扇形のピニオンとラックにより油圧シリンダで左右同時に駆動する機構のため圧下のストロークがきわめて小さいこと，および単独圧下ができないことのために通常の電動圧下装置も欠くことができず，機構の複雑さはさらに増加することになる。

ところで今回日立製作所で開発した油圧圧下装置は，圧延に必要な圧下のストロークは油圧のみで十分であり，左右の同時圧下も，単独圧下も従来の電動圧下方式と同様に行なえることはもちろんその応答性も油圧の即応性の特質を十分生かしたものである。したがって圧延機本体には，下部のジャッキシリンダが設けられるのみでハウジング頂部には何もない単純な構造となり，性能の向上以外の点でも多くの利益をもたらしている。この装置の性能はすでに実際の生産設備として実証されている。

2. 日立油圧圧下装置の原理

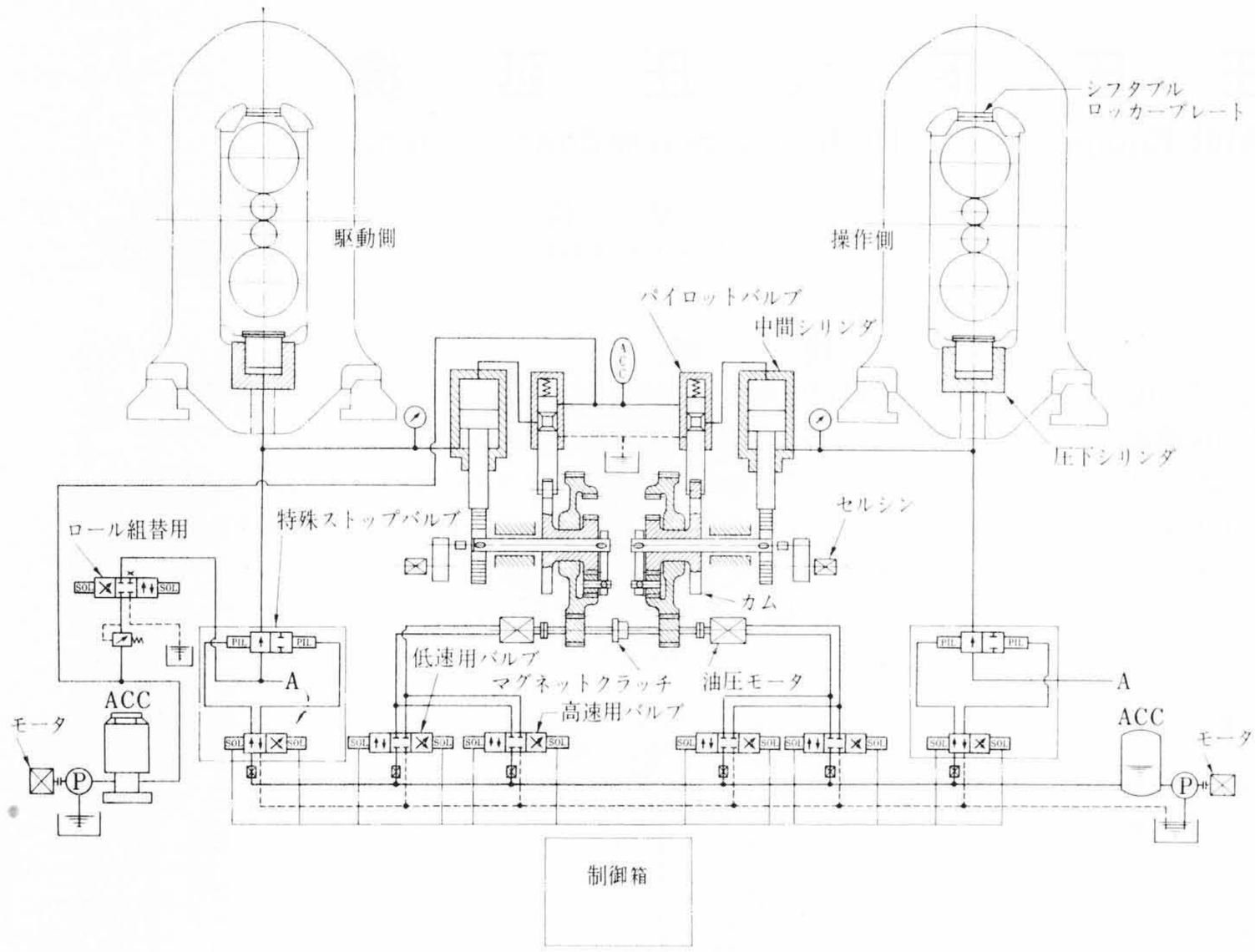
圧延機の圧下装置を前述の意図の下に油圧式でと考えたとき，解決すべき二つの関門があった。一つは油もれの問題であり，他の一つは，油量の正確な制御であった。そして最初の関門の解決は，アルミハク圧延機を油圧式圧下装置で製作した経験によるところが大きい。このミルでは，きわめて低粘度の作動油を使用することを余儀なくされたにもかかわらず，肝心の油圧ジャッキからは長期間油もれは生ぜず，漏れる個所は圧下操作バルブが使用回数によって面荒れした場合に限られている。したがって絶対に漏れないバルブを作るか，または漏れてもこれを自動的に補償するバルブ回路を作ることができればこの問題は解決するわけである。次の問題は油量の正確な制御である。



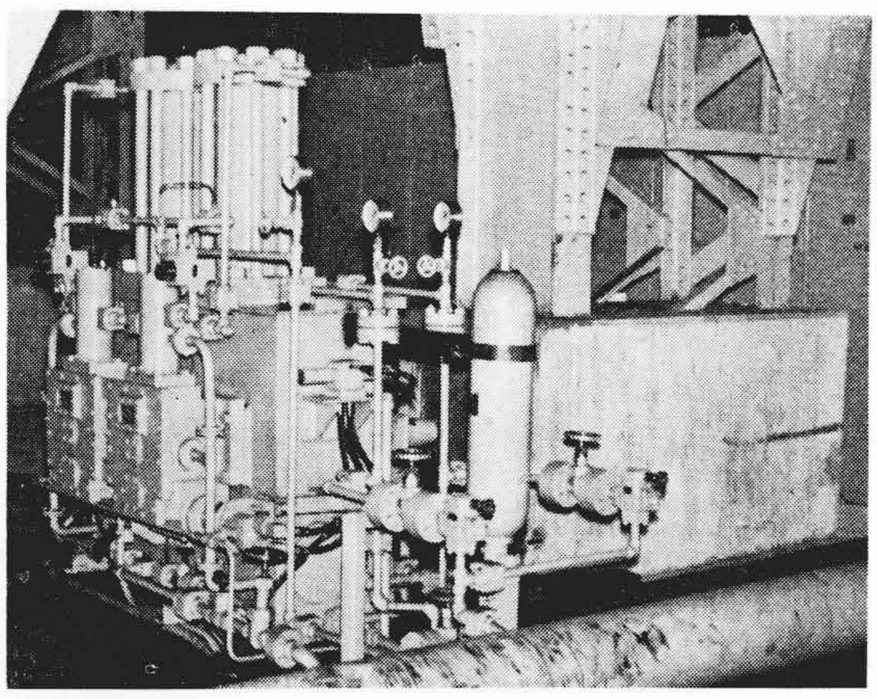
第1図 油圧圧下原理説明図

一般のストリップミルでは，圧下の手段は板厚制御上最も重要なものの一つでありきわめてひん繁に操作するものである。したがって左右の平行性がこのひん繁な圧下操作によって狂いが生ずるものではストリップミル用としては使用不可能となるわけである。今回開発したものは，バルブ回路に復元機構を適用してバルブからの油漏れを自動的に補償すると同時に，与えられた指令に完全に比例した油量を送り込む機構をも併用することにより，完全平行圧下または単独圧下を自由に行なえるようにしたものである。**第1図**は本装置の原理を，**第2図**は実際のものの系統および作動の説明図である。また**第3図**は完成品の現地写真である。**第1図**と**第2図**の相違は原理的には同一であるが，前者は復元機構にレバーを用いたのに対し**第2図**のものは差動歯車を用いた点が異なっている。原理の説明には**第1図**のほうがわかりやすいので，これによることにする。なお**第1図**では駆動側の図示が油圧モータを除いては省略されている。まず油圧モータ廻転数にまったく比例した圧下が行なわれることを説明する。指令によって油圧モータ a が一定の回転を行なうとそれに比例した量だけナットが移動し，それによりレバーが中間シリンダのピストンロッド先端を支点としてパイロットバルブのスプールを押し上げる。しかるときは，今まで中間シリンダとポンプまたは油タンクの連結がパイロットバルブにより閉じられていたものがポンプに中間シリンダが通じることになり，中間シリンダのピストンは押し下げられて今度は逆にナットを中心としてレバーが回転し，パイロットバルブのスプールは下降し，中立点まで来て中間シリン

* 日立製作所日立工場



第2図　油圧圧下装置説明図



第3図　稼動中の油圧圧下機構

ダへの油の回路を閉じる。すなわち圧下操作が終った時点ではパイロットバルブは元の中立点に戻り，ナットの移動量に比例したストロークだけ中間シリンダのピストンは移動し，それにより圧下シリンダへ油圧モータの回転数に比例した油量が送り込まれることになる。ロール間げきを開く圧下操作の場合は，油圧モータを逆転することによって同じように作動する。この場合中間シリンダと油タンクがパイロットバルブで通じられる。

このように圧下量が油圧モータの回転数にまったく比例するため駆動側の油圧モータbを操作側の油圧モータaとマグネットクラッチで連結することにより完全な平行圧下，切り離すことにより単独圧下が可能となる。またこの機構よりパイロットバルブの油漏れがまったく影響のないことが明らかであろう。なぜならばもしもパイロットバルブからの油漏れのため中間シリンダのピストンの位置が正規の位置よりずれたとすると，ナットを支点としてレバーがパイロットバルブを中間シリンダのピストンの位置を正規の位置に戻すように動かすからである。

以上が本装置の原理であるが，実際上操業に必要な事項につき述べておきたい。まず中間シリンダの容量特にその面積はジャッキシリンダに比べかなり小さくしてある。これは，油圧ジャッキシリンダそのものは，ロール組替え，ロール径の変化などのために大きなストロークを必要とするが，実際の圧延に必要なストロークは20～30 mmもあれば十分で，それ以外の場合は別の回路を利用しうるからで，このために次の利点が生れる。

（a）　装置が小さくて済む。

（b）　復元機構のギヤ関係の精度による圧下精度がジャッキと中間シリンダの面積比だけ向上する。

（c）　セルシンインジケータの増速比が小さくて済む。

さてこの場合ロール組替えなどの場合にはその別回路を使用し，使用後はその回路を閉じておかねばならない。この目的に使用するバルブは絶対に油漏れがあってはならないし，また手動では不便である。このために押ボタン操作で開閉でき，かつ絶対油漏れのない特殊バルブ(特許出願中)を採用しているが，その使用実績は上々である。

3.　日立油圧圧下装置の特長

以上原理および構造について述べたが，電動圧下式のストリップミルに比較し次のようにあらゆる面においてすぐれている。

（1）　性能の向上

（a）　圧下の即応性が良い

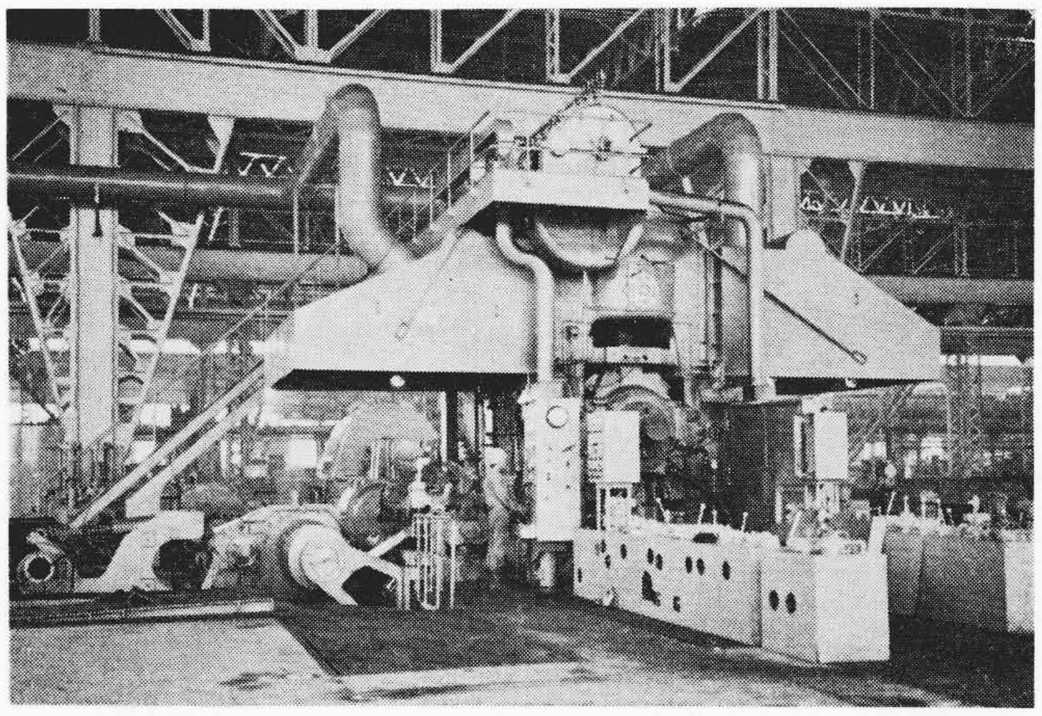
電動圧下方式では大容量電動機で駆動するため，制御系の遅れも大きくなるうえに慣性が大きく，起動後も所定速度まで達するに時間を要し，また停止指令後停止までにも時間遅れを生じ，この値は負荷の大小によって変動する欠点があるのに対し本油圧圧下方式では，油圧モータは単にパイロットバルブを操作するのみできわめて小容量で十分であり，かつこの負荷は圧延荷重には無関係であるので，即応性が格段に良いうえに圧延荷重の大小によって変動することがない。このことは同じ圧延機で電動圧下と油圧圧下によるAGCによって圧延した場合の板厚精度にかなりの差となって表われる。

（b）　最適圧下速度が容易に得られる

油圧モータの油圧回路の絞りを調整することによって高速，低速ともに最適の圧下速度に容易に調整できる。また電動圧下では一般に大荷重の下では圧下速度は低下するものであるが，本油圧圧下式では圧延荷重が大きい場合でもこれに関係なく高速圧下が可能のため，板厚が大きく変動を生ずる加減速時などにおけるオフゲージを少なくすることができる。

（c）　圧延機のバネ常数が変えられる（コンビネーションミルに適用）

圧延機のバネ常数と製品の精度との関係についてはすでに詳述した[1]のでここでは省略するが，バネ常数は一概に大きいほど良いとは言えない。少なくともスキンパスミルにおいては異論は少ないと思われる。本邦における可逆式冷間圧延機では冷間圧延と調質圧延に兼用するコンビネーションミルが圧倒的に多い。したがって冷間圧延と調質圧延によって圧延機のバネ常数を変更できれば好都合である。電動圧下方式ではバネ常数を大幅に小さくすることはたいへん困難なことである。この点油圧圧下方式では，冷間圧延の際は本油圧圧下方式を用い，調質圧延の際は油圧ジャッキさえ設けてあればバネ常数を小さくすることは油圧回路で簡



第4図　稼動中の油圧圧下式圧延設備（電動併設）

単にできる。そして重要なことは，本油圧圧下方式のバネ常数は意識的に小さくしないかぎり，電動圧下方式のものに比べ遜色がないことである(本件については次章で詳細に述べる)。

(d)　正確な圧延圧力の測定

ロードセル形式のものは一度狂いを生ずると較正が困難で信頼度が低い。それに対し油圧圧下方式では油圧を通常の圧力計で測ることにより圧延圧力を知ることができるので，信頼度の高い圧延圧力を知ることができる。この圧力計は単に圧延圧力を知るばかりでなく左右圧力計の差を見ることが板の形状に大いに有効である。

(e)　ロール組換の迅速化

ロール組換時間をできるだけ短縮して稼動率を高めることは圧延設備の高速高能率化とともに重要である。とくに作業ロールの交換はひん繁に行なわれるのでその要請は強い。本油圧圧下装置では，圧下ネジがないため簡単な構造にてロールハウジングと上補強ロールチョック間のライナを水平方向に移動させることによって，作業ロール組換に必要なロール間げきを瞬間的に得ることができる。

(2)　保守性安全性の向上

(a)　事故に対する安全性

圧延中絞り込みなどによる過負荷を生じても，あらかじめ設計された力以上になった場合は自動的にパイロットバルブから排油されるし，また電動圧下のように圧延中の停電で圧下を解放できずロールを傷つけるようなことがない。油圧圧下では簡単に油圧を解放することによって回避される。

(b)　保守点検の便

電動圧下装置のようなめんどうな保守点検から解放される。特に調質圧延機やアルミ圧延においては，ストリップの汚染や圧延の不均一を防止するため，圧下装置からの油漏れには最も神経を使うところであるが，圧延機の上部に何もない油圧圧下式ではこの心配がない。

(c)　建設費の低減

油圧式は電動式よりも圧延機の高さが 1.5～2 m も低くなるので，建屋の高さが圧延機の高さにて決められる場合には建屋が低くて済み建設費が低減する。

4. 大洋製鋼株式会社納可逆式四重冷間圧延用油圧圧下装置

これまで日立油圧圧下装置の原理構造および特長について述べたが，次に大洋製鋼株式会社の船橋工場へ納入した油圧圧下装置の概要とその使用結果について報告する。**第4図**は稼動中の圧延設備を示したものである。

(1)　大洋製鋼株式会社納可逆式四重冷間圧延機のおもな仕様

(a)	ミル形式	1,240/360 ϕ×1,170 l　4H レバーシングコールドストリップミル
(b)	駆動方式	補強ロールツインドライブ
(c)	圧下方式	油圧圧下方式(電動圧下併設)（注）
(d)	圧延速度	300～750 m/min
(e)	圧延材料	軟鋼 1.6～3.2 mmt×1,050 mmb　最大 17 t コイル
(f)	製品最小板厚	0.140 mm
(g)	主要電動機	
	主電動機	DC 1,200 kW　2台(ツインドライブ)
	リール用電動機	DC 370kW×2　2台
(h)	圧下装置	
	電動圧下	
	圧下用電動機	DC 37 kW　550/1,650 rpm　～2台
	圧下速度	5.5 mm/min（負荷時）　16.5 mm/min（ロール組換時）
	最大圧延圧力	約 1,500 t
	油圧圧下	
	圧下速度	4.8 mm/min & 11.5 mm/min(負荷時)　ただし調節可能
	最大圧延圧力	約 1,500 t

(2)　バネ常数値

冷間圧延の場合においても板厚精度とバネ常数の関係は，ロールの偏心や加減速時におけるオイルフイルムベアリングの油膜厚みの変化などを考慮に入れると，性能の良い AGC を有する場合は必ずしもバネ常数が大きいほど好結果を生むとは限らないことはすでに発表[1]したとおりである。ただし油圧圧下方式においては，バネ常数を小さくすることは簡単であるが，大きくすることには電動圧下同様に限度がある。したがってその限度においての大きさを両方式について比較するのははなはだ興味があるので，その測定結果について報告する。ただし今回の圧延機は電動圧下併設のため，純粋の油圧圧下に比べ圧下ネジ，圧下メネジ，スラストメタルおよび圧延圧力計の変形が余分に加わることになる。したがって，いま

K_m：電動圧下式圧延機の作業ロール間げきに関するバネ常数　t/mm

K_h：油圧圧下式圧延機の作業ロール間げきに関するバネ常数　t/mm

K_S：圧下ネジなど油圧圧下式圧延機には不要な部分のバネ常数　t/mm

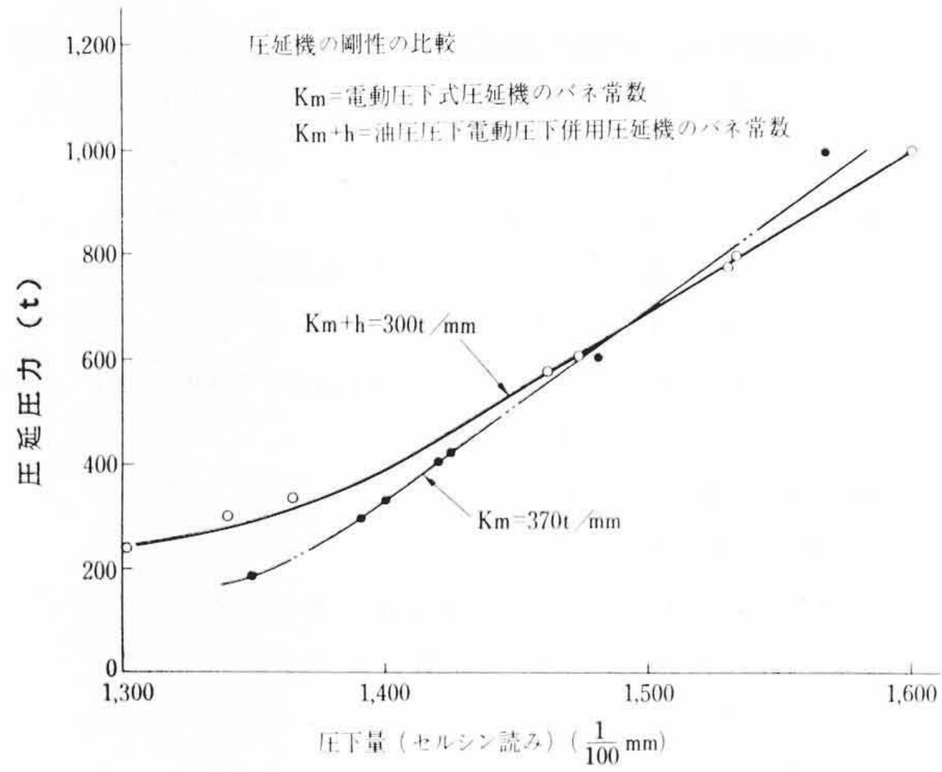
K_{m+h}：油圧，電動両圧下装置併設の圧圧機のバネ常数　t/mm

とすれば明らかに次の関係が成立する。

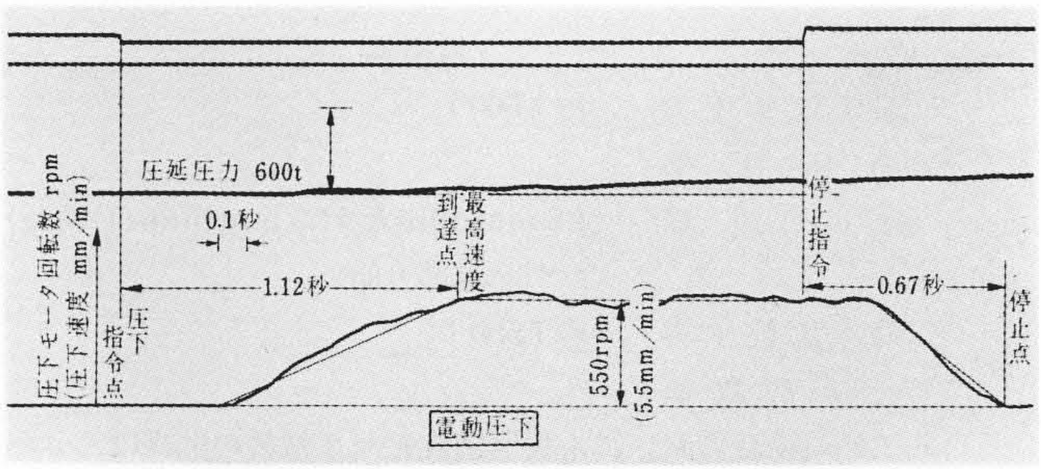
$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{K_h}&=\frac{1}{K_{m+h}}-\frac{1}{K_S}\\ \text{または}\quad K_h&=\frac{K_{m+h}\times K_S}{K_S-K_{m+h}}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(1)$$

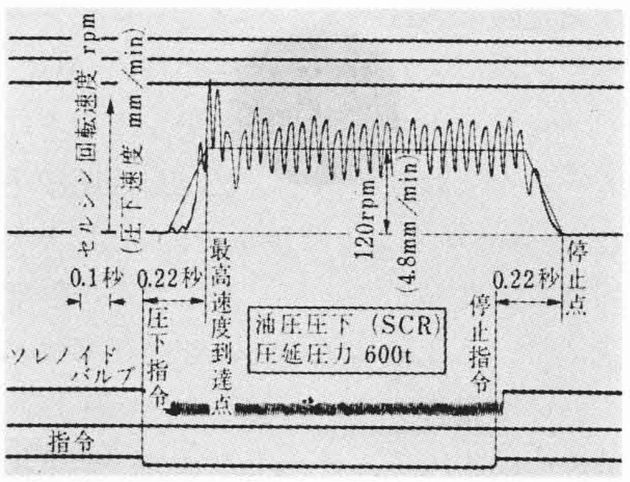
大洋製鋼株式会社の圧延機についての実測記録を**第5図**に示す。この結果油圧圧下用の油圧シリンダから油を完全に解放し純粋に電動圧下としたときのバネ常数 K_m は約 370 t/mm で筆者らがす

(注)　油圧圧下と電動圧下を併設したのは，実際の生産用圧延機として最初のものであり，安全を期すことと両者の性能比較が行ないやすいという理由による。



第5図　圧延機の剛性の比較





第6図　圧下即応性の比較（低速）

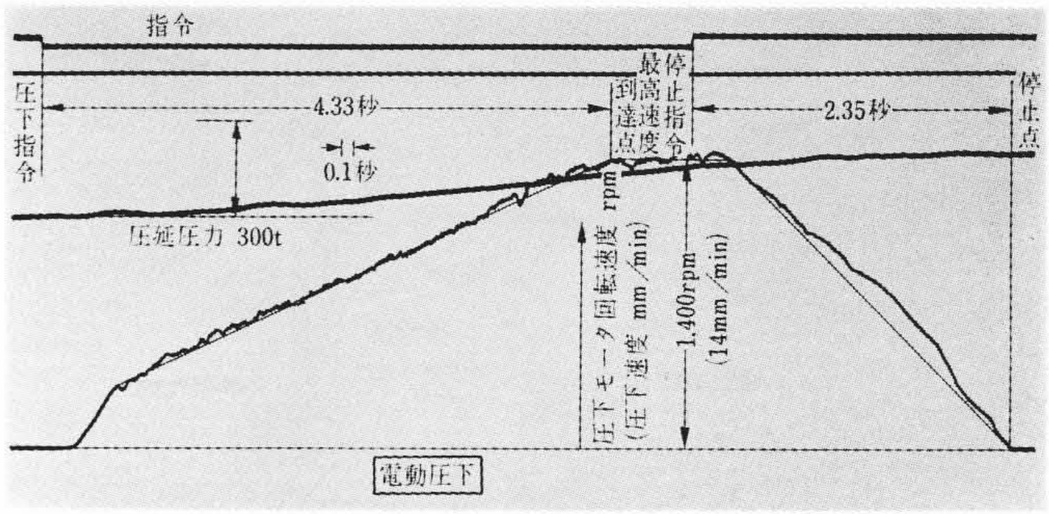
でに提案したバネ常数の近似式 $K=0.3\times$補強ロール径 (mm) で計算した値 $0.3\times1{,}240=372$ t/mm とよく一致している。次に油圧圧下で行なった場合 K_{m+h} は 300 t/mm を示した。ところでこの場合，純粋の油圧圧下式圧延機では圧下スクリュー，スクリューボックス，スラストメタルおよび圧延圧力計が不要で，これらの剛性を正確に求めることは困難であるが，大略全体の 20% 程度の変形を生じているものと推定される[2]。いま20%と仮定すると

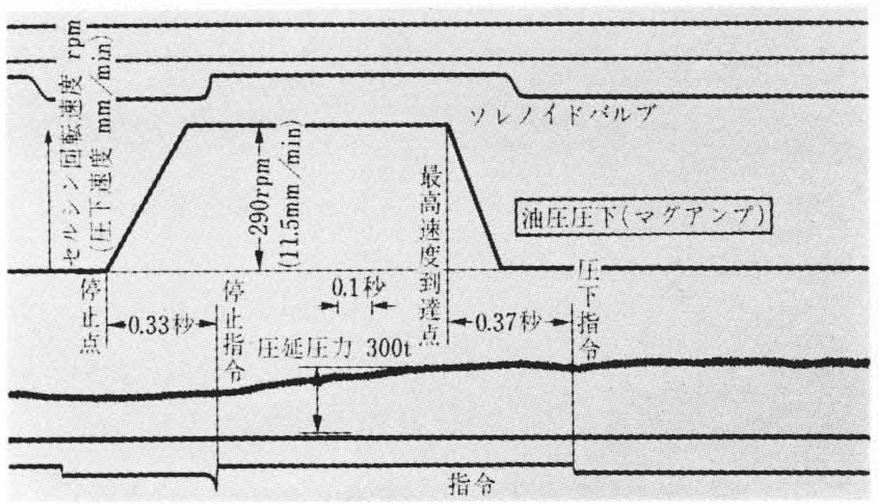
$$K_S=K_m/0.2=370/0.2=1{,}850\ \text{t/mm}$$

これを(1)式に代入すると油圧圧下式圧延機のバネ常数 K_h は 360 t/mm となり，電動圧下方式と同程度の値を有するものと考えられる。

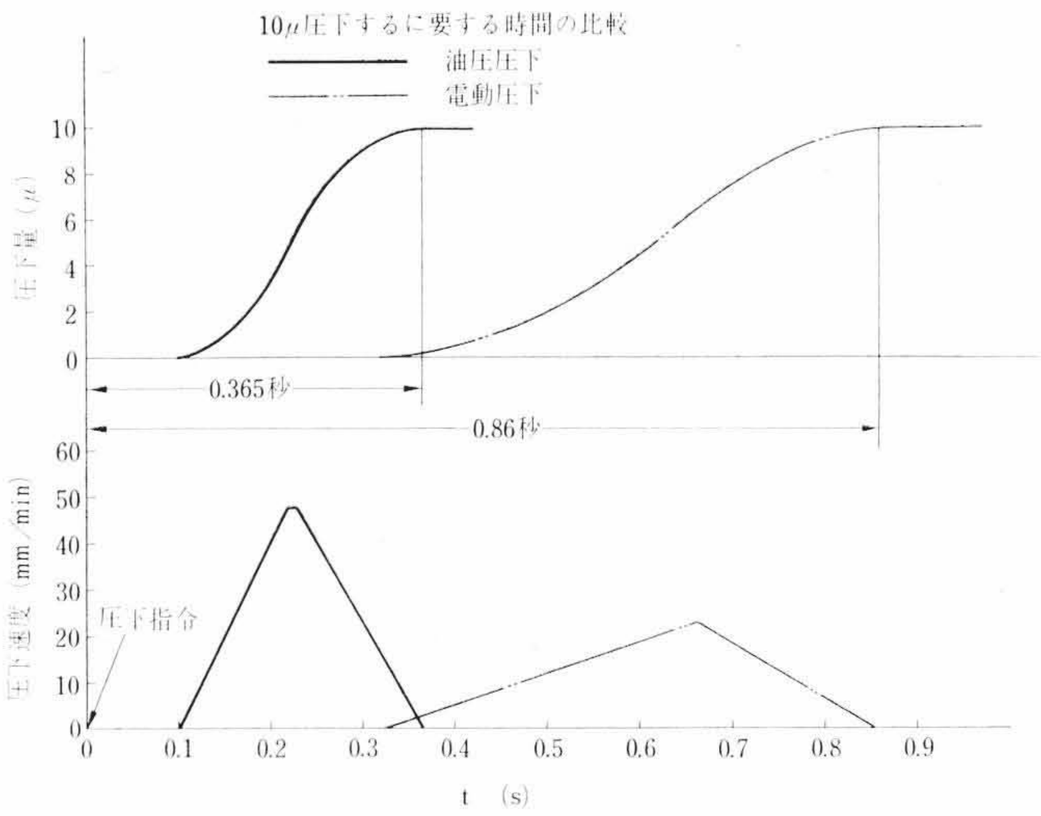
(3)　圧下即応性の比較

第6図は大洋製鋼株式会社の同じ圧延機で油圧圧下を用いた場合と電動圧下を用いた場合との比較である。この場合のデータはいずれも低速圧下の場合で油圧圧下 4.8mm/min，電動圧下 5.5 mm/min である。油圧圧下の場合はセルシン発信機の代わりに回転計を取り付けて測定した。また電動圧下の場合はセルシン軸への取付けが困難であったため，圧下モータの回転軸に取り付けこれをビジグラフに記録した。なおこの場合の油圧圧下の制御回路には SCR を使用している。この記録より圧下指令を発した時





第7図　圧下即応性の比較（高速）



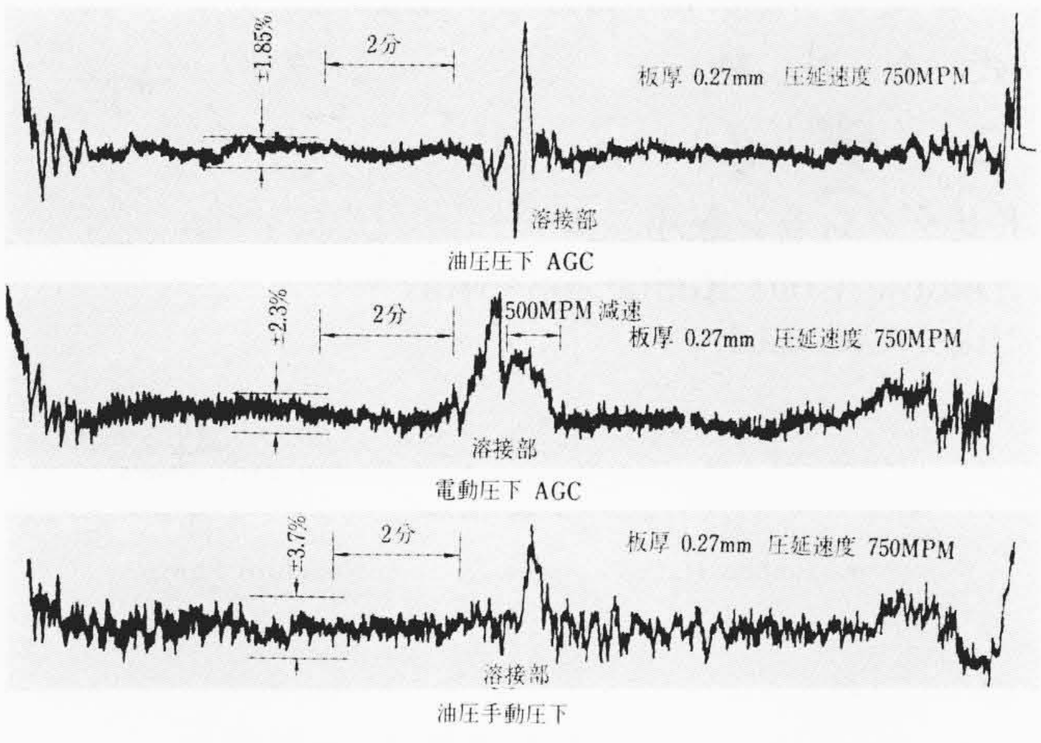
第8図　10 μ 圧下するに要する時間の比較

点より最高速度に達するまでの時間は油圧圧下で 0.22 秒，電動圧下で約 1.12 秒，また停止指令より完全停止までの時間は油圧圧下で 0.22 秒，電動圧下で 0.67 秒と格段の差があることがわかった。

次いで**第7図**は高速回路で行なった測定で最高速度は油圧圧下の場合は 11.5 mm/min，電動圧下の場合は負荷によってはっきりした線はないが結果として 14 mm/min となった場合を示す。これを見ると油圧圧下の場合は 0.37 秒（この場合制御回路は Mag Amp で SCR に対し約 0.1 秒遅れている），電動圧下の場合は約 4.3 秒となっている。電動圧下の場合 550 rpm (5.5 mm/min) 以上では出力トルクが減少する特性になっているので，これをそのまま両者の差とするには問題があるが，高速圧下を負荷時でも行なうためには圧下モータの容量をさらに大きくする必要があることは明らかである。

(4)　圧下特性と板厚精度

(3)項で述べたように，指令から所定速度に達するまでの時間は油圧圧下のほうが格段に短いことがわかったが，実際には所要の圧下量を得るまでの時間，換言すれば厚みむらを発見しこれを是正するまでの時間の差が板厚精度に直接の関係を持つ。そこで



第9図　各圧下方式による板厚精度の比較

厚みむらを修正するに要する1回の圧下量を10 μ と仮定し，この10 μ を圧下するに要する時間を比較すると**第8図**のようになる。なお厳密には，厚みむらを発見し圧下指令を発するまでの時間も問題であるが，これは AGC の制御回路の問題で，圧下装置の性能比較には直接関係ないのでこれは除いて考える。しかるときは，油圧圧下では 0.365 秒，電動圧下では 0.86 秒と約 0.5 秒の差を生ずる。これは圧延速度 750 m/min の場合，ストリップ長にして約 6 mに当たる。**第9図**に板厚の測定結果を示す。これによると同じく AGC を行なった場合，電動圧下では ±2.3% の板厚精度に対し油圧圧下の場合は ±1.85% と板厚精度は向上している。なおこの場合の油圧圧下の制御回路は Mag Amp が使用されており SCR にした場合はさらに精度の向上することが期待される。

次に重要なことは，ストリップの歩留りである。コイルの前後および途中溶接個所における加減速のための板厚変動は大きく，これを修正するためには負荷時における高速圧下が望ましい。この問題に対する両圧下方式の性能の差は前述のようにさらに大きくなるがこのことは如実に，加減速による歩留りの格段の差となって現われている。

5. 圧下装置の性能と板厚自動制御方式の関連について

現在実用化されている AGC は，原理的には板厚の目標値からの偏差を検出して自動的に目標値に近づける方法である。すなわち偏差の検出と偏差是正法の二つから成り立っている。前者には，厚み計による方法と圧延圧力計による方法 (BISRA 方式) の二つがあり，後者には圧下とストリップ張力がある。多くの場合，偏差是正法はこの圧下と張力が併用されていて，おのおのその特色を生かすよう工夫されている。ここでは主として検出法と圧下方式の関係について述べる。

いま，圧延機のロール中心から厚み計までの距離を2 mとし，圧延速度をそれぞれ 600m/min (2,000 ft/min)，900m/min (3,000 ft/min)，1,200 m/min (4,000 ft/min) とした場合各方式における厚み是正完了までに通過するストリップの長さを比較すれば**第1表**のようになる。

第1表　AGC の各方式と厚みむら是正完了までに通過するストリップ長さの関係

検出法	圧延圧力計		厚み計	
圧下方式	油圧圧下	電動圧下	油圧圧下	電動圧下
圧延速度				
600 m/min	3.65 m	8.6 m	5.65 m	10.6 m
900 m/min	5.48 m	12.9 m	7.48 m	14.9 m
1,200 m/min	7.30 m	17.2 m	9.30 m	19.2 m
1,500 m/min	9.15 m	21.5 m	11.15 m	23.5 m

この表より検出法がいずれの場合でも，油圧圧下のほうがオフゲージの長さが短くて済むことが明らかであるが注目すべき点は，圧延圧力により検出を行なう電動圧下の場合よりもさらに，厚み計により検出を行なう油圧圧下のほうが格段にすぐれていることである。これはきわめて重大な意味を含んでいる。すなわち厚みむらを速く是正するためには，早期検出と急速な圧下の二つが必要であるが，厚み計による検出はどうしても圧延点からの距離を必要としその分だけ遅れることになる。この欠点を解消するため発明されたのが，BISRA 方式で圧延圧力計を厚み計の代用にするものである。しかしこの方式の画期的な思想にもかかわらず，ロール偏心の影響が無視できないコールドミルにおいては必ずしも有効ではない。これは，BISRA 方式が，無制御の状態においてはロール偏心の板厚にうつる割合が10～50% 程度で済むものを100% うつしてしまう特性を有していることを考えれば当然のことである。したがって BISRA 方式の完全な活用はロール偏心に対する防御策の完成にまたねばならない。これは思想的にはともかく実際的にはかなり困難なことである。しかるにこの油圧圧下方式は，厚み計との組合せで，電動圧下式を採用した将来の完成された BISRA 方式よりもはるかにすぐれた性能を現在発揮している。

6. 結　　言

以上今回大洋製鋼株式会社へ納入した4H コールドストリップミルの油圧圧下装置の概要とその性能について実測を基にして説明した。そしてあらゆる面において電動圧下式よりもすぐれた性能を有することを実証した。最後の一点はその信頼性と耐久性の点であるが，現在約一年余りの運転実績から推して心配するところはないといえる。現在さらに改良を加えた油圧圧下装置を製作中であるが，この最初の油圧圧下装置を積極的に採用していただいた大洋製鋼株式会社のご英断に対し深い感銘と感謝をささげる次第である。

参　考　文　献

（1）　原口，梶原：　コールドミルの剛性と圧延特性　塑性と加工 Vol. 5, No. 42 (1964-7)
（2）　たとえば　第24回圧延理論分科会資料