U.D.C. 621.771.23:681.532.1'273.4'133

高応答性油圧圧下システム“HYROP-F”を導入した圧延機

Rolling Mill with High Response Hydraulic Roll Positioning Device “HYROP-F”

一柳　健*　*Ichiryu Ken*
藤野伸弘**　*Fujino Nobuhiro*
杉山徳治**　*Sugiyama Tokuji*
益田豊次**　*Masuda Toyotsugu*

日立製作所は冷間圧延機用の油圧圧下装置“HYROP”を開発し油圧ミル時代を開拓したが，その後更に高性能の油圧圧下装置の開発を進めてきた。

このたび，独自に開発した応答性，保守性に優れたフォースモータバルブと圧下ジャッキ内に設置された位置検出器とを組み合わせた新方式の油圧圧下装置“HYROP-F”を開発した。

“HYROP-F”は従来方式の2～3倍にも及ぶ周波数応答30Hzの高応答性を達成するとともに，保守性の面でも大幅な性能改善がなされ昭和51年に1号機が完成して以来，製作中のものを含めて9プラントの実績をもつに至っている。

この論文では，“HYROP-F”の動作原理，特性とフォースモータバルブの性能，応用例などにつき説明するとともに，実機データに関し紹介する。

1 緒　言

圧延機油圧圧下装置では，昭和39年に日立製作所が開発した“HYROP”(現在のHYROP-M[1])が世界で初めてコールドストリップミルに適用され，その成功によって世界のコールドミルは油圧圧下方式へと突入し，いわゆる油圧ミル時代が出現した。

この“HYROP-M”は，その後の大幅な応答性向上とともにゲージメータAGC(Automatic Gauge Control)システムでの好適なヒステリシス特性をもっていることが明らかとなっている。ところが，近年になり油圧圧下による制御上の応用は，AGCだけでなくより幅広い応用が考えられ，更に高応答の油圧圧下装置の開発が要求されてきた。

そこで日立製作所では，圧下ラム位置を高精度で測定できる検出器と高応答の制御弁とを組み合わせた高性能油圧圧下装置の開発に着手した。しかし，従来の制御弁はノズルフラッパなどのパイロット部をもつ電気油圧サーボ弁であり，このため，応答性向上に限界があること及び微細なパイロット部の保護のため作動油管理が厳しく製鉄機械用としては必ずしも満足のいくものではなかった。

“HYROP-F”は，日立製作所で開発したパイロット部のない直動式制御弁(Force Motor Valve：以下，FM・Vと略す。)を使用することにより，これらの問題を一挙に解決するとともに，応答性では3倍以上をもち，しかも作動油は“HYROP-M”と同様に一般の高圧油装置並みの管理でよく，その性能は既に実機で証明されているものである。

以下，“HYROP-F”の動作原理，応答性，FM・Vの特性などについて紹介する。

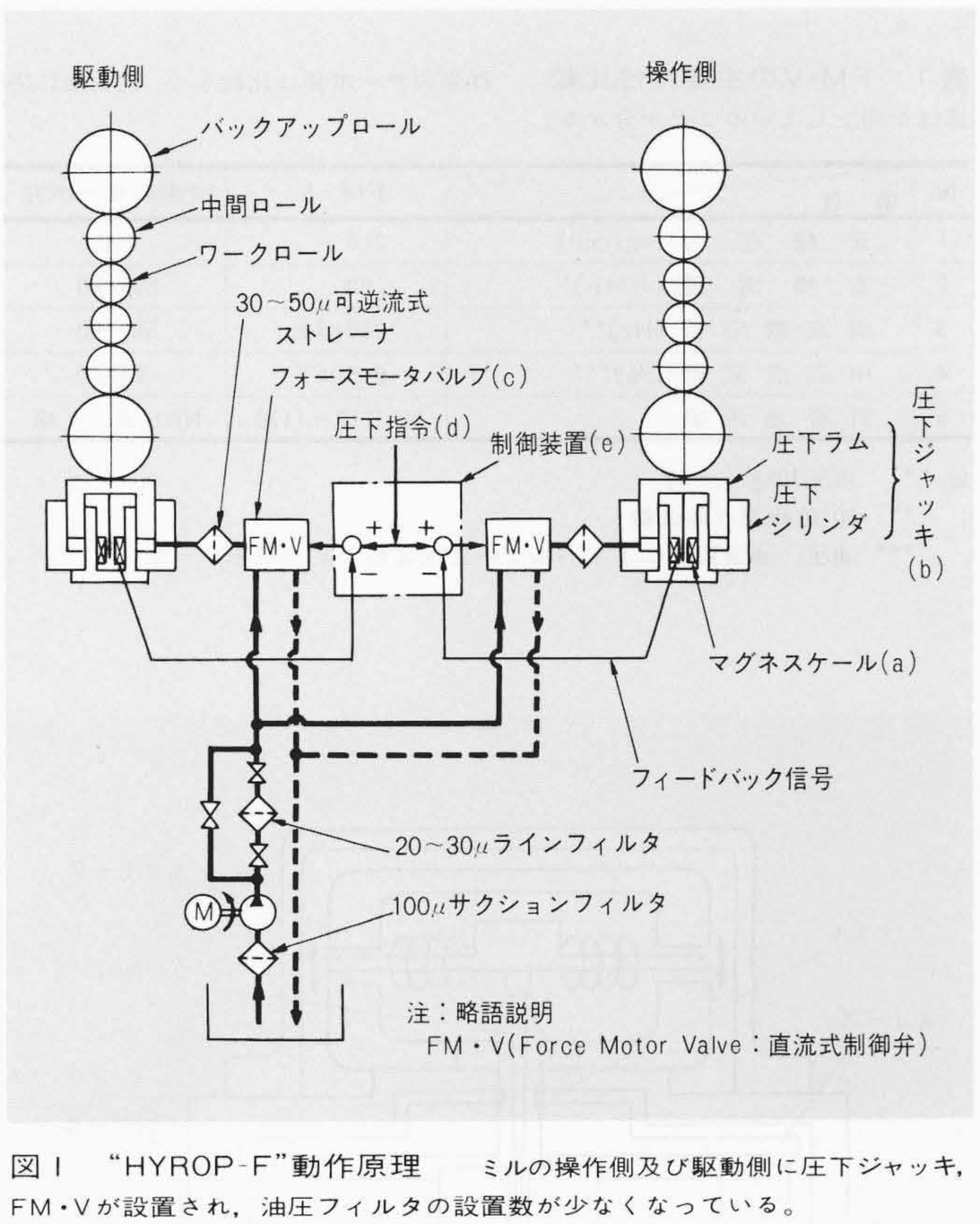

図1　“HYROP-F”動作原理　ミルの操作側及び駆動側に圧下ジャッキ，FM・Vが設置され，油圧フィルタの設置数が少なくなっている。

2 “HYROP-F”の原理

“HYROP-F”の基本構成は，**図1**に示すように圧下ラム変位をディジタルで検出するマグネスケール(a)を内蔵する圧下ジャッキ(b)，圧下ジャッキ内油量を制御するFM・V(c)，圧下指令(d)とフィードバック信号を比較演算しFM・Vを駆動する制御装置(e)及び高圧油装置から構成され，いわゆる位置サーボ系となっている。

この場合，圧下指令としては操作側と駆動側の同時圧下，レベリング動作が可能であり，手動操作又は自動板厚制御などからの入力信号である。

* 日立製作所機械研究所　工学博士　** 日立製作所日立工場

3 FM・Vの原理と特性

従来の電気油圧サーボ弁を**図2**に示すが，トルクモータへの入力によりフラッパを駆動し，ノズル及びオリフィスを利用した油圧増幅部(パイロット部)によりスプールを動作させる構成となっている。このパイロット部に微細なノズルなどをもっているため，作動油汚染による目詰まりの発生，寿命低下，更には応答性の向上が困難であった。

そこで，今回開発したFM・Vは，パイロット部をなくしスプールに直接ドライブコイル(フォースモータ)を設置し種々の工夫を施すことにより大幅な性能向上を達成したものである。

FM・Vの特長は，次に述べるとおりである。

(1) 大流量でかつ応答性は従来の3～4倍に向上した。

(2) スプールを大出力で直接駆動することにより，作動油中の異物による突発的な目詰まりがないため信頼性が高く，また，バルブ寿命が永い(2年以上)。

(3) 応答性と同時に静特性(ヒステリシス，圧力ゲイン，分解能ほか)の点でも従来の2～3倍の性能をもっている。

なお，FM・Vの外観を**図3**に，従来のバルブとの主要特性比較を**表1**に示す。

表1 FM・Vの主要特性比較 従来のサーボ弁に比較して，約3倍に応答性が向上していることが分かる。

No.	項目＼バルブ	FM・V	従来のサーボ弁
1	安格圧力 (kg/cm²)	210	210
2	定格流量 (*l*/min)*	90	50～60
3	周波数応答 (Hz)**	200以上	50～60
4	中立点変動 (%)***	0.5以下	3程度
5	許容油汚染	NAS10～11級	NAS 6～7級

注：* 差圧70kg/cm²時
** 90°位相遅れ周波数
*** 油圧，油温変化によるバルブ中立点変動の定格電流パーセント

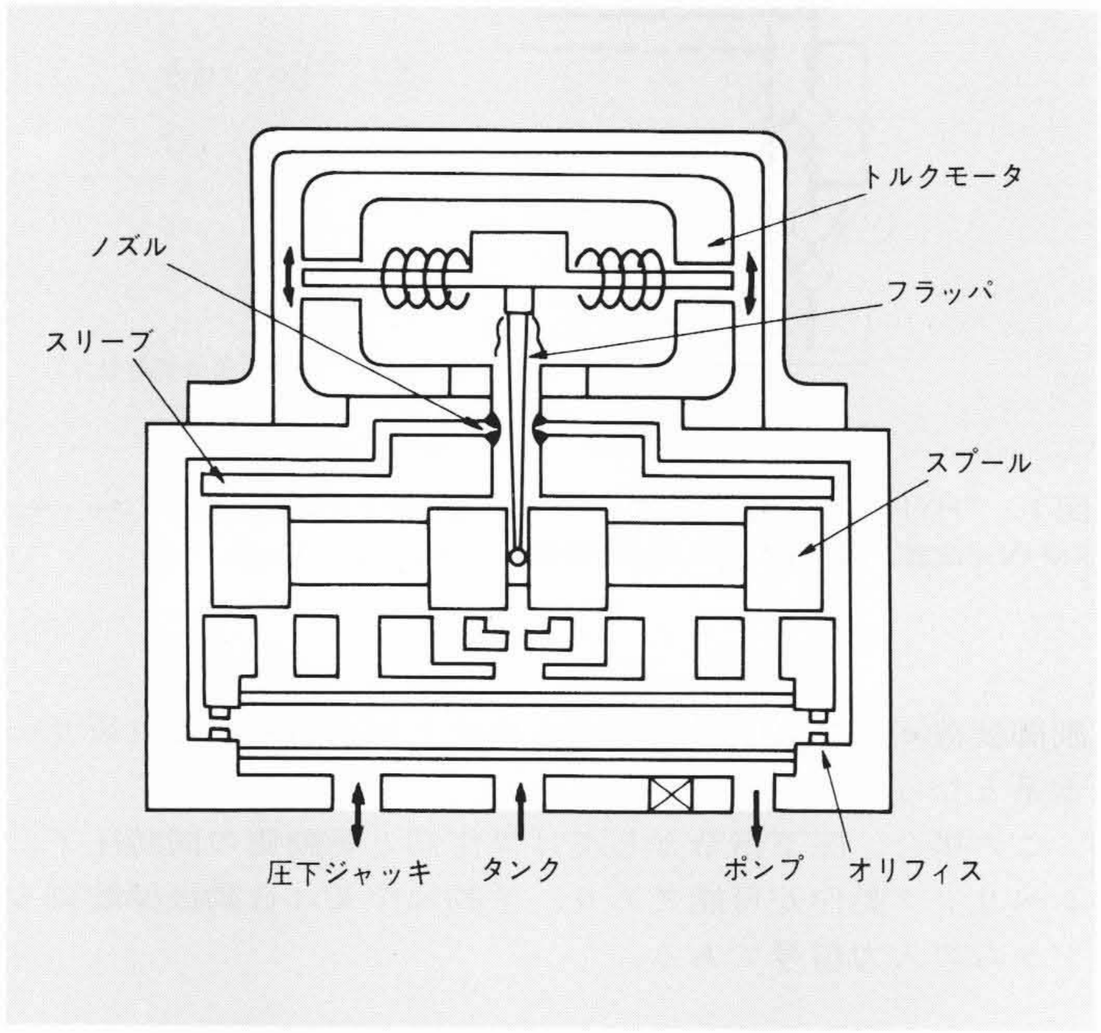

図2 従来の電気油圧サーボ弁 ノズルフラッパ方式の場合であり，ノズル及びオリフィスに微細な穴をもっている。

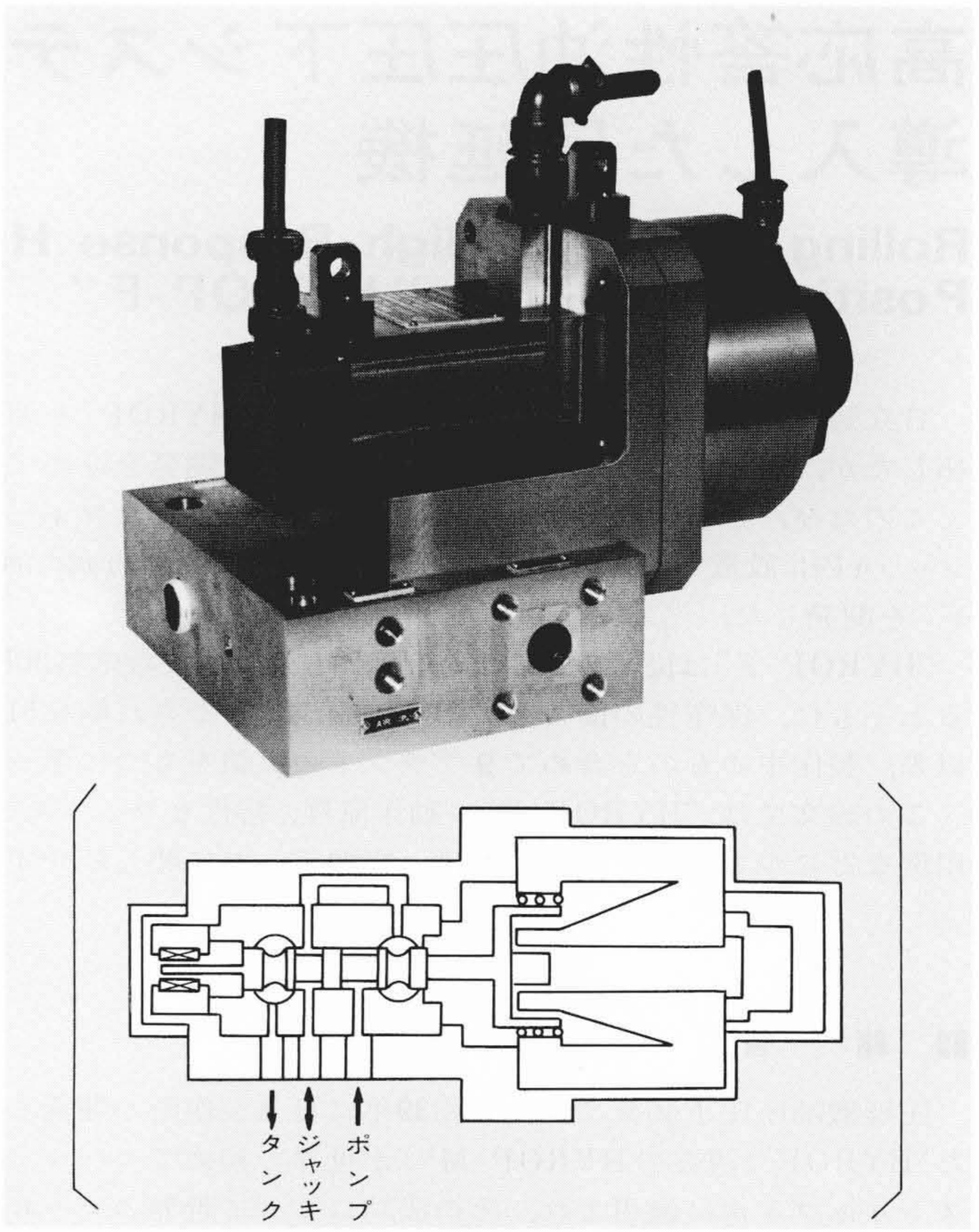

図3 FM・Vの外観 FM・Vをマニホールドへ取り付けた場合を示し，ガスケット方式により容易に交換・点検が可能となっている。

4 圧下ジャッキの構造

図4に圧下ラム変位計としてマグネスケール[2),3)]を使用した場合の設置例を示す。すなわち，マグネスケール部をカートリッジ化し，ジャッキ内部へ上下のピボットを設けて装着しており，その特長を以下に説明する。

圧下ジャッキの特長は，次に述べるとおりである。

(1) マグネスケールが圧延油，熱及び異物から保護されており，信頼性が高い。

(2) ピボット構造の採用により，圧下シリンダに対する圧下ラムの心ずれ及び傾斜に起因する検出部の損傷，誤検出が防止されている。

(3) カートリッジ化されているため，保守，点検が容易である。

5 “HYROP-F”の特性

5.1 応答性

図5に油圧圧下装置の全体ブロック線図を示す。この際，応答性の向上を図るためには，(1)制御弁の応答性向上，(2)制御弁から圧下ジャッキまでの二次配管長の短縮が特に必要であることが分かる[4)]。ここで，FM・Vと従来のサーボ弁を適用した場合の配管長による応答性の変化の理論値と実測結果につき**図6**に示す。グラフの二点鎖線部は従来のサーボ弁では保護フィルタの設置，保守のため二次配管長の短縮が宿命的に困難であることを意味している。また破線は“HYROP-M”の場合を示すが，“HYROP-M”の特長上，二次配管長が増加しても応答性は余り低下していないことが分かる。

図7，8に“HYROP-F”の周波数及びステップ応答の一例を掲げる。

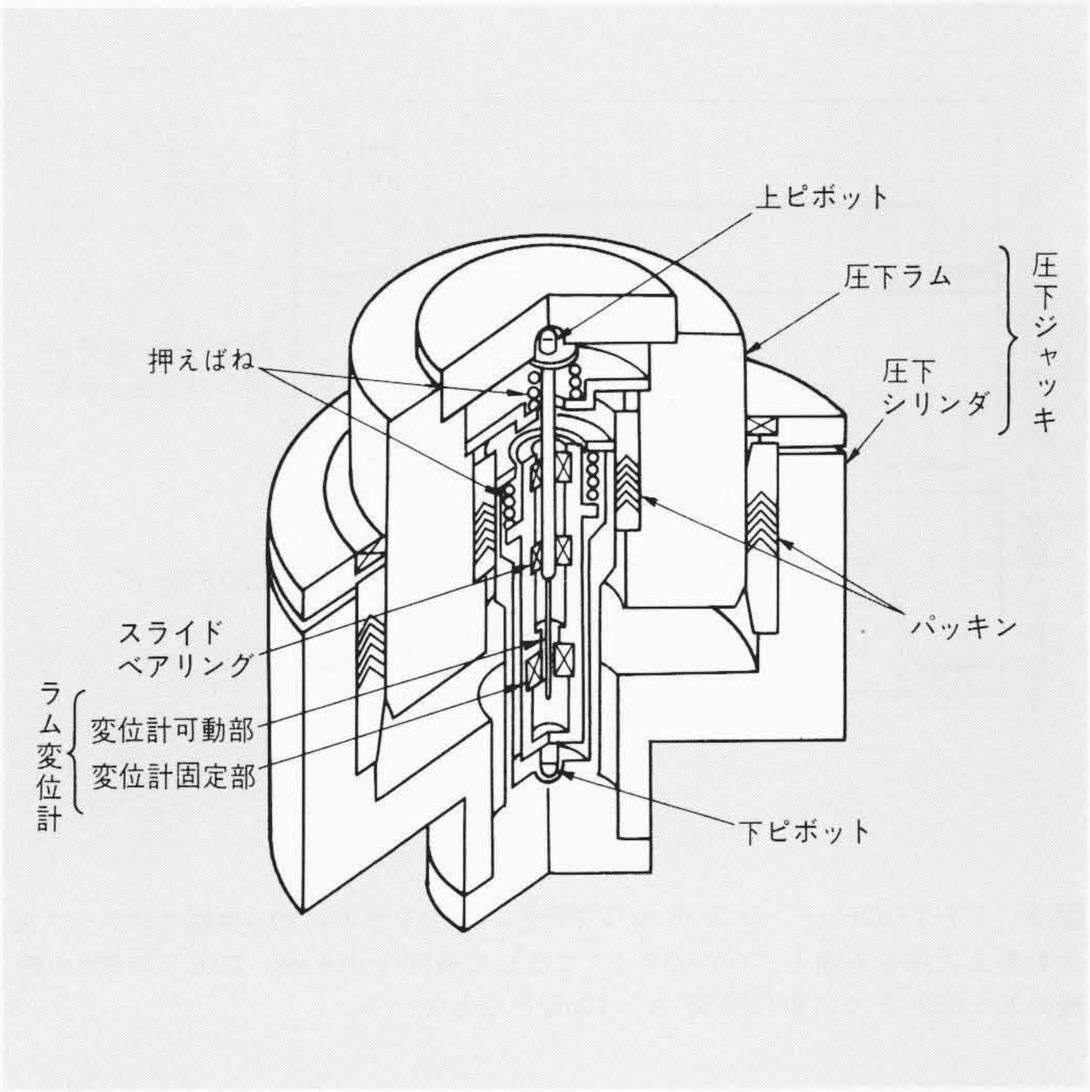

図4　マグネスケール内蔵形圧下ジャッキの構造　マグネスケールが上下のピボットにより支持されて取り付けられている。

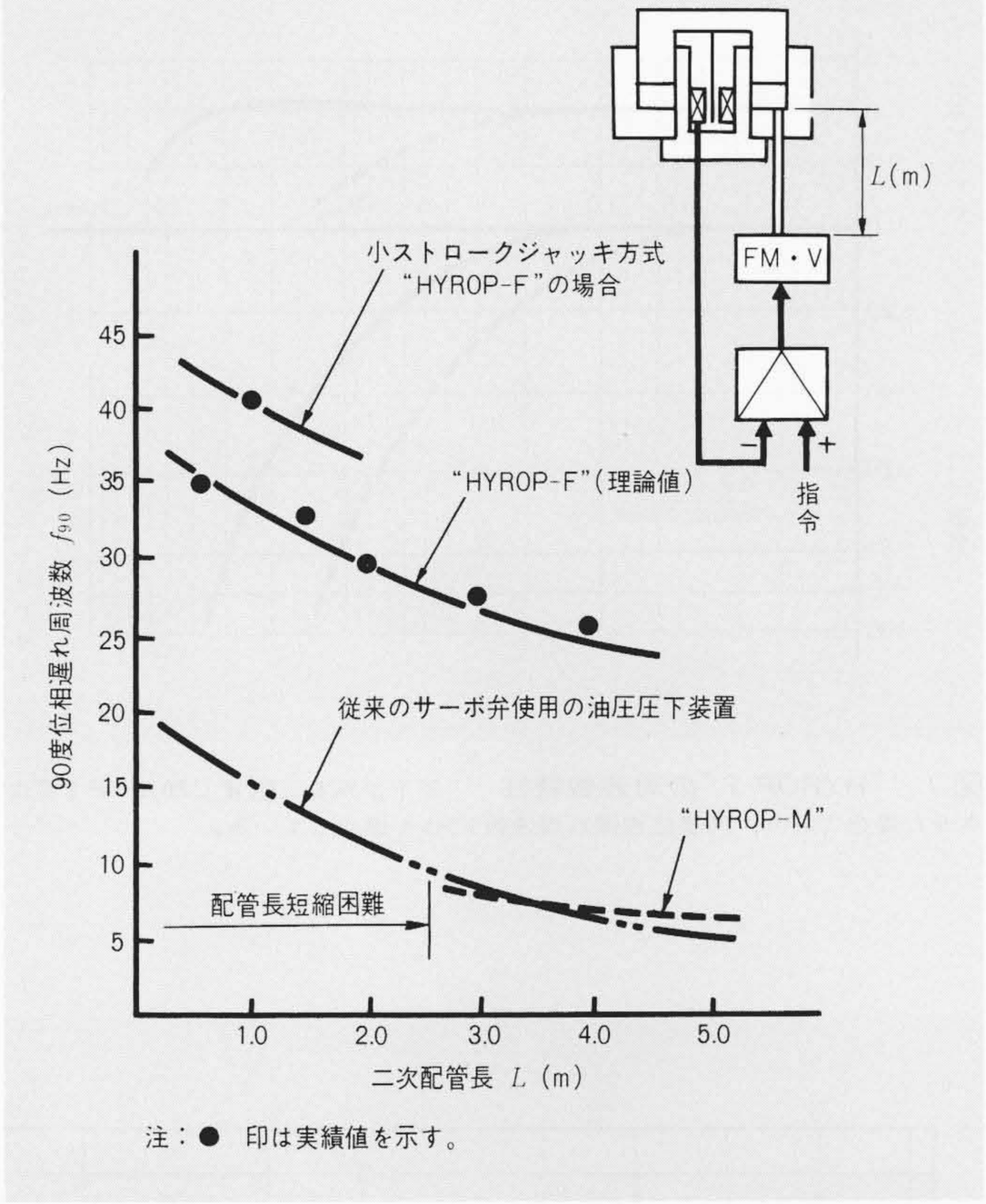

図6　圧下装置の応答性と二次配管長の関係　圧下装置応答性向上のためには，特に二次配管長の短縮が必要であることが分かる。

5.2　保守性

FM·Vの採用により，圧下装置として作動油汚染管理がNAS10～11級と一般の高圧油装置並みとなり，保守頻度及び時間共に約$\frac{1}{3}$～$\frac{1}{5}$に軽減することが可能である。

保守上の利点は，次に述べるとおりである。

(1)　サーボ弁のミル装着予備が不要となり，保管予備員数も約$\frac{1}{5}$になる。

(2)　保護フィルタの設置数が約$\frac{1}{3}$に軽減されるとともに，メッシュも粗いため長寿命となる。

(3)　作動油汚染チェックスタンド，フラッシングスタンドなどが不要である。

(4)　作動油の交換頻度が約$\frac{1}{3}$に軽減される。

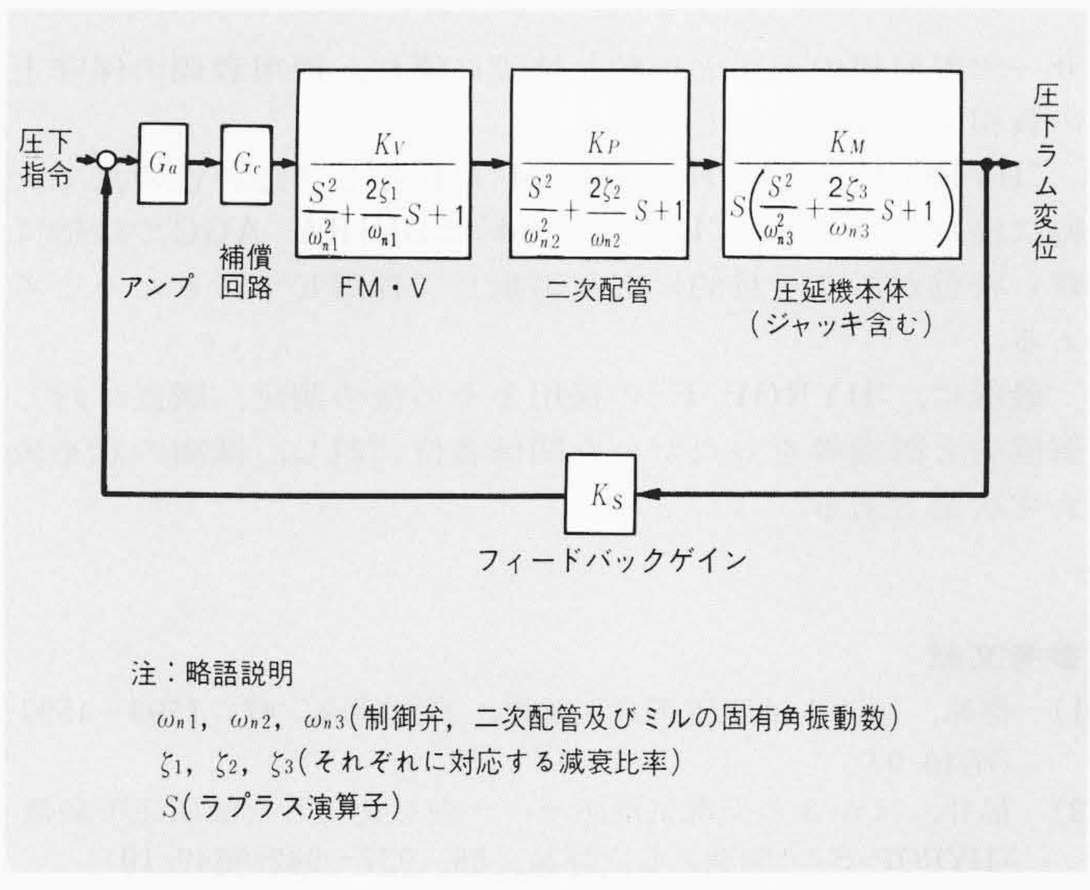

図5　“HYROP-F”の全体ブロック線図　圧下系の応答性向上のためには，特にω_{n1}，ω_{n2}を高くすることが効果的であり，ω_{n1}はバルブ単体の応答性向上，ω_{n2}は二次配管長の短縮が必要であることが分かる。

6　“HYROP-F”の稼動状況

“HYROP-F”に関しては開発されて以来，**表2**に掲げるように計9プラント，10スタンドが稼動又は製作中であり，その応答性，保守性の点で今後大いに需要の伸びが期待される。

図9に“HYROP-F”を採用したコールドリバースミルの板厚データの一例を示す。

表2　“HYROP-F”の納入実績　特に，タンデムミルで初段での“HYROP-F”使用による板厚精度向上が効果的である。

No.	圧延機機種	“HYROP-F”設置スタンド数	稼動年
1	コールドリバースシングルミル	1	昭和51年
2	ホットシングルミル	1	昭和52年
3	コールド2タンデムミル	2	〃
4	センジマーミル	1	昭和53年
5	コールドスキンパスミル	1	〃
6	コールド5タンデムミル	1	製作中
7	〃	1	〃
8	コールドリバースシングルミル	1	〃
9	〃	1	〃

注：合計9プラント，10スタンド(昭和54年5月現在)

7　今後の応用

特に，FM·Vの諸特性の利点を生かし下記への応用が期待され，既に一部が実現を見ている。

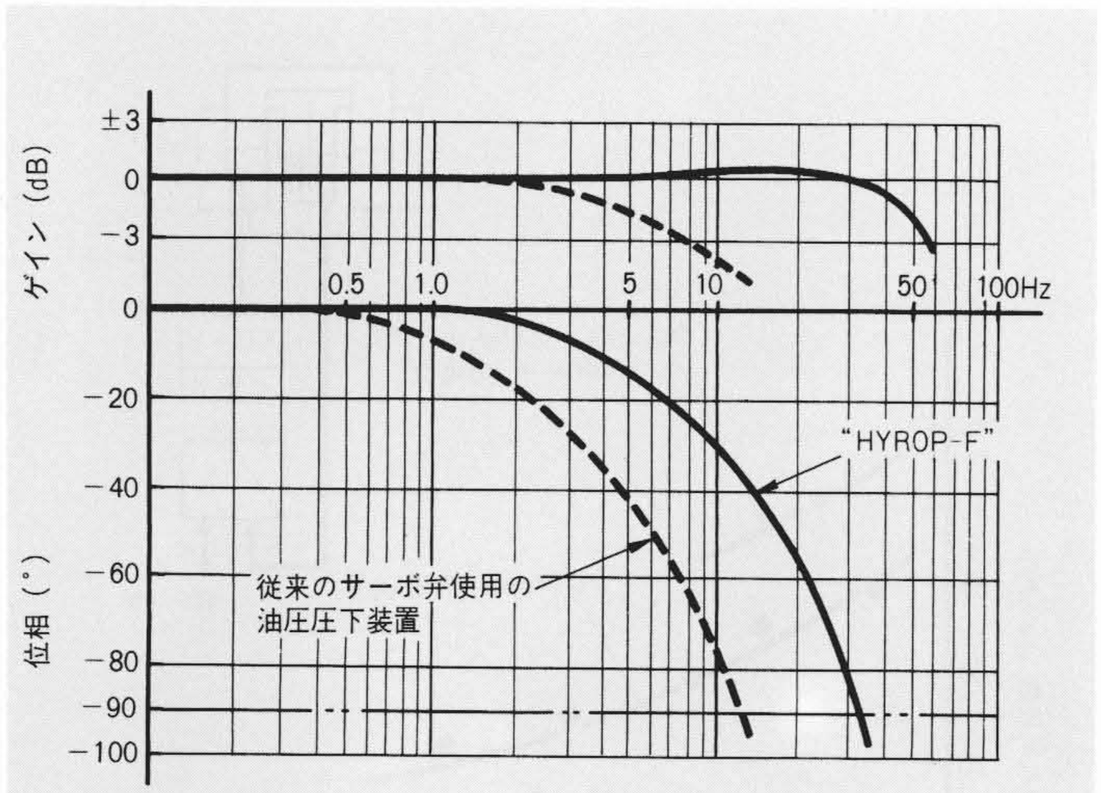

図 7 "HYROP-F"の周波数特性　圧下ラムを正弦波で20μP-Pで変位させた場合であり，90度位相遅れ周波数32Hzを達成している。

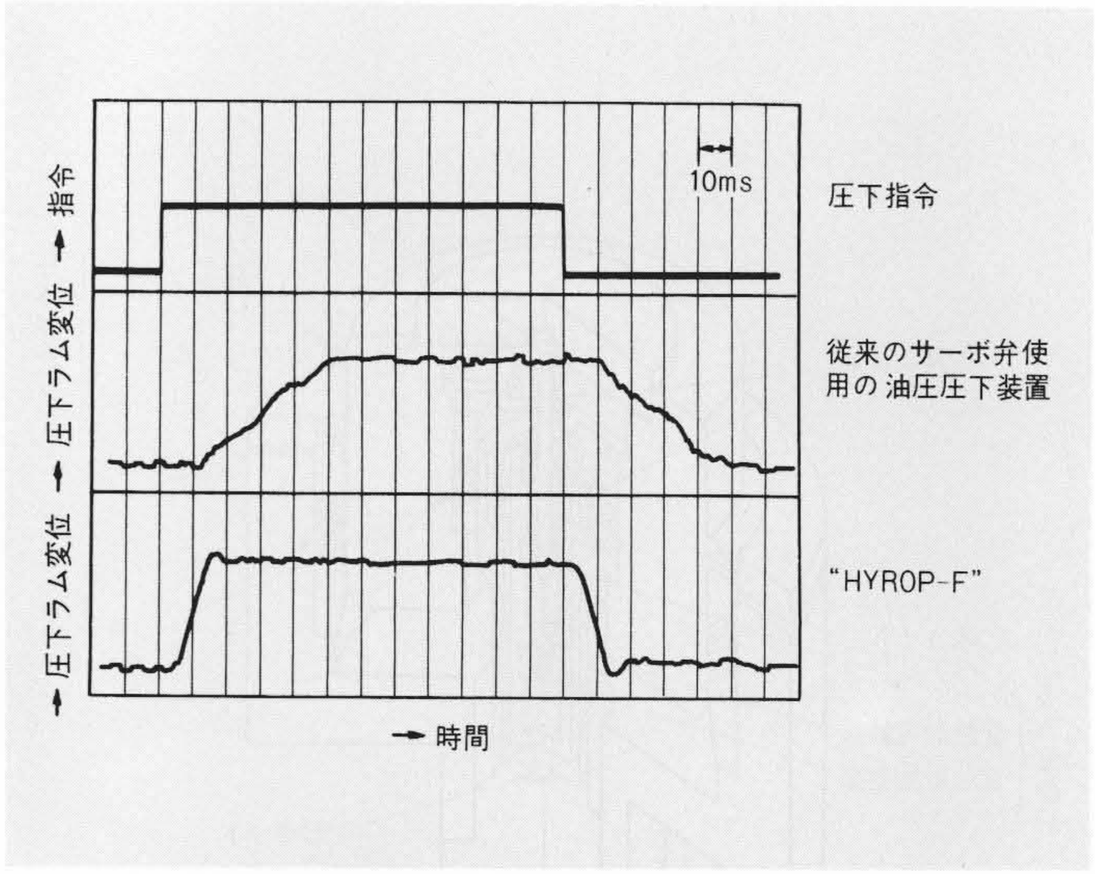

図 8 "HYROP-F"のステップ特性　圧下ラムに30μ振幅のステップ指令を与えた場合を示し，"HYROP-F"ではむだ時間 3 ～ 4 ms，立上り時間(全振幅の 5 ～95%までの動作時間) 9 ～10msとなっている。

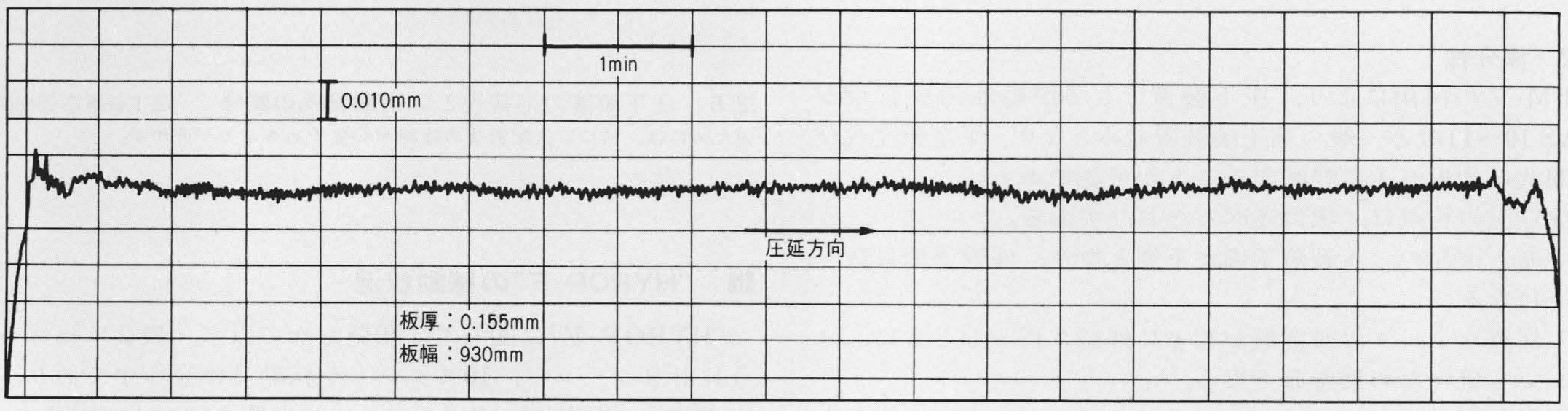

図 9 板厚データの一例　リバースミルでの軟鋼板の板厚データの一例を示す。

(1) 油膜軸受を使用した高速圧延機でのロール偏心補償制御用として不可欠な応答性をもっている。

(2) 作動油として一般の鉱物油だけでなく，水-グライコールほかの難燃性油又は不燃性油が使用でき，防災性の向上が図れる。

(3) したがって，耐環境性及び防災性の面で特にホットミルへの適用効果が大である(応答性の面では，**図6**の小ストロークジャッキ方式のデータが示すように**40Hz**という超高応答を既に達成している)。

(4) 圧下装置に限定されず，耐環境性及び保守上油圧サーボの適用が遅れている機器や，従来のサーボ系を応答性及び保守性の面で大幅に向上させたい場合，例えば，ホットストリップミルのルーパ用や"HC-MILL"(日立製作所製品名称)の中間ロール移動用など広い分野での適用が可能である。

8 結　言

以上，日立製作所は"HYROP-M"に引き続き"HYROP-F"を開発した。この両者とも保守性の点で，市販品の電気油圧サーボ弁使用のものと比較し格段に優れ，使用者側の保守上の負担を大幅に軽減している。

"HYROP-F"は，"HYROP-M"に比較して応答性の点で大幅に優れているが，"HYROP-M"はBISRA AGCでは捨て難い特色があり，目的に応じ選択して採用して行きたいと考える。

最後に，"HYROP-F"の採用とその後の測定，調査に対し御協力と御指導をいただいた関係各位に対し，深謝の意を表わす次第である。

参考文献

1) 梶原，福井：油圧圧下式圧延機，日立評論，**47**，1593～1597(昭40-9)
2) 福井，ほか 3 名：電気油圧サーボ弁を使用した油圧圧下装置(HYROP-S)の開発，日立評論，**56**，937～942(昭49-10)
3) 植村，村本：磁気格子による測尺，計測と制御，2(昭38-10)
4) 一柳，梶原：圧延機油圧圧下系の応答，日立評論，**56**，931～936(昭49-10)