

産業機械用油圧の動向

Trend of Industrial Hydraulics

キーワード

メカトロ化、省エネルギー化、(PZSシリーズ可変ピストンポンプ)、
(PZEシリーズ可変ピストンポンプ)、(コンパクトユニット「ナチッコ」)、
(高圧M35シリーズ)、(高速応答比例弁)、CEマーキング

油圧製造所技術部

猪原正美

庄司幸広

寺越秀夫

■ 摘要

産業機械に使用される油圧は、エレクトロニクスの進歩に伴う高機能化等とともに、国際的な競合の中で、低価格化が求められている。

本文では、これらの課題に対し当社の油圧機器で油圧ポンプおよび油圧バルブにおいて、最近の開発された低騒音形及び電子制御可変ポンプ、コンパクト形油圧ユニット、高圧化バルブシリーズ、高速応答比例弁及び電磁弁について紹介する。

■ Abstraction

High performance and cost reduction are required for the industrial hydraulics, according to the progress of electronics and global competition.

In this paper, newly developed low noise, electrical controlled variable volume piston pump and compact hydraulic power package are introduced for the hydraulic pump system, and also newly developed high pressure valve series, high response electro-proportional valve and solenoid valve are introduced for the hydraulic valve system of our company.

1. はじめに

油圧駆動システムは、流体動力伝達のフレキシブル性とアクチュエータの高い出力密度・そして容易な力と速度の制御などの特徴により、数多くの生産設備の産業機械に採用されてきた。工作機械・プレス機械・鉄鋼機械・プラスチック成形機などがその代表的な機械であり、これらの機械の発展とともに、油圧駆動システムも成長してきた。

機械の駆動システムとしては、油圧の他に電動・空気圧方式もあり、これらのシステムはその特徴を生かし互いに競合しながら、それぞれ得意とする分野で使用されている。表1に油圧と他の駆動システムとの比較を示すが、機械側からの要求に対する各駆動システムメーカーの努力によって、この評価も変化している。

2. 産業機械の動向と油圧

産業機械は、生産現場からの要求により、自動化から無人化・FMS化へと、より高機能化が進展している。

代表的な工作機械では、エレクトロニクスの進歩により、現在では殆どの工作機械が数値制御化している。

他の生産機械においても程度の差はあるが工作機械と同様な道を歩んできている。

これは、ニーズの多様化によりフレキシブルな生産を必要とすること、品質面での一層の向上が求められ、かつ労働力不足から技能をソフトとして機械に取り込むことが求められた、などの理由による。

一方では、今日の円高を契機として海外生産も進み機械輸出の比率も増加し、国際的な競合の中で、低価格型の機械

が要求され、高機能化と低価格化という相反する対応を迫られている。

当社の油圧部門では、機械側の多様な要求に応えるため種々の機器の改良・開発を進めているが、主眼とする課題は、以下の項目である。

- (1) 油圧のメカトロ化：現在の生産設備機械の制御は、エレクトロニクスによって行われており、油圧の駆動システムも電子制御による。簡単な自動化ではON-OFF制御が主体となるが、フレキシブル生産に対してはより高精度でプログラム制御が可能な機器が求められる。現在は、小出力の機械は電動サーボ駆動であるが、高出力の機械は油圧駆動が主力であり、各種の電気油圧インターフェイス機器が開発使用されている。最も多く使用される機器は、電磁比例制御弁で、最近では更に高速で応答する比例弁が開発され、また電子制御の可変ピストンポンプの採用も広がっている。当社のメカトロ油圧機器を表2に示す。
- (2) 油圧システムの省エネルギー化：簡単な小出力の機械ではエネルギー損失は余り重視されないが、油圧が得

意とする高出力の機械ではこの損失は無視できず、より効率のよい油圧システムが求められる。負荷側から必要とする間欠的で多様な圧力・流量を最も効率よく分配する油圧源、即ち必要とする圧力・流量のみを発生させるシステムが望ましく、この代表的なものがロードセンシング形可変ポンプシステムである。表3に代表的な油圧システムの効率比較を示す。

- (3) 対環境性の向上：生産現場での騒音や油漏れは望ましくなく、より静かでクリーンな機械が求められる。油圧の騒音については、長年にわたりポンプやバルブの改良が進められているが、近年は防振・防音も含め装置全体としての騒音低減方策で効果が出てきている。

またクリーン化に対しては、油漏れが発生しにくく、配管の少ない集積システムが使用されている。

3. 油圧ポンプ

不二越の産業用油圧ポンプは、表4のようにベーンポンプ、ギヤポンプ、ピストンポンプがあり、用途や要求性能に応じて、様々な機能を持つポンプが市場へ出されている。

最近、工作機械や射出成形機などの産業機械では、特に環境問題から低騒音化、機械の高速ハイサイクル化・高精度化に対する高応答・繰り返し精度の向上そして価格破壊時代に対応するため開発したPZS可変ピストンポンプ、PZE電子制御可変ピストンポンプ、およびコンパクトユニット「ナチッコ」を紹介する。

3.1 PZS可変ピストンポンプ

PZSシリーズ可変ピストンポンプの仕様を表5に、断面構造を図1に示す。PZSシリーズでは、騒音の基本周波数を支配するポンプ脈動の低減化のため、ピストン本数を11本（従来は9本）とし、振動に対しては斜板支持剛性の高い半円筒スワッシュプレートを用い、その背面には静圧軸受機構を採用している。また、高圧・高回転時のシリンダバルブの安定化のため、球面バルブプレートをを用い、最適な油圧バランスを図った。さらに、騒音低減化のため、CAE解析⁽¹⁾やパラメータ設計などの手法を用いて、バルブプレートの最適化設計を図り、使用条件の全領域で低騒音化を達成した。

可変ピストンポンプは使用条件により、様々な制御特性が要求されるが、本シリーズは豊富な制御機構のオプションを準備している。表6にオプション制御機構を示す。

表1 各種制御方式の比較

項目	油圧	空気圧	電動
操作力	中～極めて大 直線(回転)運動 容易	小～中 直線運動 容易	小～大 回転運動 容易
応答性	良好 アクチュエータがコンパクト	良好	良好
制御性	容易 速度・圧力制御が容易	容易 位置制御は困難	容易 高精度位置制御が容易
安全性	過負荷に強い 発熱・油漏れに注意	過負荷に強い	過負荷に弱い
使い易さ	取付自由度が高い	取付自由度が高い	取付自由度は中程度 制御機器が豊富
効率	中	低い	高い
寿命	油の潤滑性により寿命が長い	やや劣る	改良により寿命向上
コスト	中	安価	高価

表2 不二越の電油インターフェイス機器

電磁比例弁	圧力 流量 方向	EPR, ER, EGB, EOGシリーズ ES, ESR, EOFシリーズ ESDシリーズ
高速応答比例弁		ESHシリーズ
電油サーボ弁		NACHI-MOOG ENシリーズ
高速電磁弁 (HYDIS) HYDISポジショナー HYDISマルチ弁		HSシリーズ HSPシリーズ DPシリーズ
電子制御可変ポンプ		PZシリーズ PZEシリーズ

表3 油圧回路としての効率比較

制御方式	油圧回路	特長	エネルギー特性	損失エネルギー $\Delta \ell$ 制御回路効率 η_u
定吐出量ポンプ (一定圧制御)		最大負荷条件に合わせてポンプ吐出量, 吐出圧を設定するため, エネルギー損失は大きい。		$\Delta \ell = 13.1 \text{ kw}$ $\eta_u = 42.8\%$
定吐出量ポンプ (負荷圧フィードバック)		負荷圧をフィードバックし, ポンプ吐出圧を設定するため圧力面でのエネルギー損失低減が図れる。		$\Delta \ell = 8.2 \text{ kw}$ $\eta_u = 54.5\%$
可変吐出量ポンプ (圧力補償制御)		吐出量が負荷減量に過渡するため, 減量面でのエネルギー損失低減が図れる。		$\Delta \ell = 3.9 \text{ kw}$ $\eta_u = 71.4\%$
可変吐出量ポンプ (負荷感応制御)		負荷圧をフィードバックし, かつ可変ポンプを使用しているため, 圧力, 減量両面でエネルギー損失低減が図れ, 大きな省エネ化が実現できる。		$\Delta \ell = 1.0 \text{ kw}$ $\eta_u = 90.9\%$

表4 産業機械用ポンプシリーズ

ポンプの種類	形式	定格圧力 MPa	ポンプ容量 cm³/rev	用途										セールスポイント			
				工 作 機	一 般 産 機	成 形 鍛 圧	鉄 鋼	車 両	低 騒 音	低 脈 動	高 効 率	省 エ ネ	小 形		安 価		
ベーンポンプ	定吐出	V	7	4.7~115	○	○											安価, メンテナンス性
		VS	7	4.3~10.6	○	○											
	可変	VDS	7	8.3	○	○											小形, 軽量
		VDR-13D	6	13.9~25	○	○											低圧制御性
		VDR-22D	14	16.7~22	○	○											
		VDC	14	16.7~67	○	○											シャープカット
VDN	8	8, 16	◎												小形, 軽量, 安価		
ギヤポンプ	内接	IPH	25	3.6~180		○	○	○								高圧, 高効率, 多連化	
ピストンポンプ	定吐出	PF	32	4.9~150		○		○	○							高圧, 高回転, 特殊作動油対応	
		PVS	21	8~45	○											低騒音, 高効率	
	可変	PZS	21	70~220		○										低騒音, 高効率	
		PZ	21	35~220		○	◎									負荷感応, 省エネ	
		PZE	21	35~220		○	◎									電子制御, センサ内蔵	
		PVM	21	45~100					◎							流量感応制御	

表 5 PZS可変ピストンポンプ仕様

形式	容量 cm ³	吐出量 (ℓ/min)				使用圧力 MPa (kgf/cm ²)		回転数 (min ⁻¹)		質量 (kg)
		1000 min ⁻¹	1200 min ⁻¹	1500 min ⁻¹	1800 min ⁻¹	定格	最高	最低	最高	
PZS-3B-70N※-10 (A)	70	70	84	105	126	21 {214}	28 {285}	500	1800	37
PZS-4B-100N※-10 (A)	100	100	120	150	180					58
PZS-5B-130N※-10 (A)	130	130	156	195	234		86			
PZS-6B-180N※-10 (A)	180	180	216	270	324		123			
PZS-6B-220N※-10 (A)	220	220	264	330	-		1500		125	

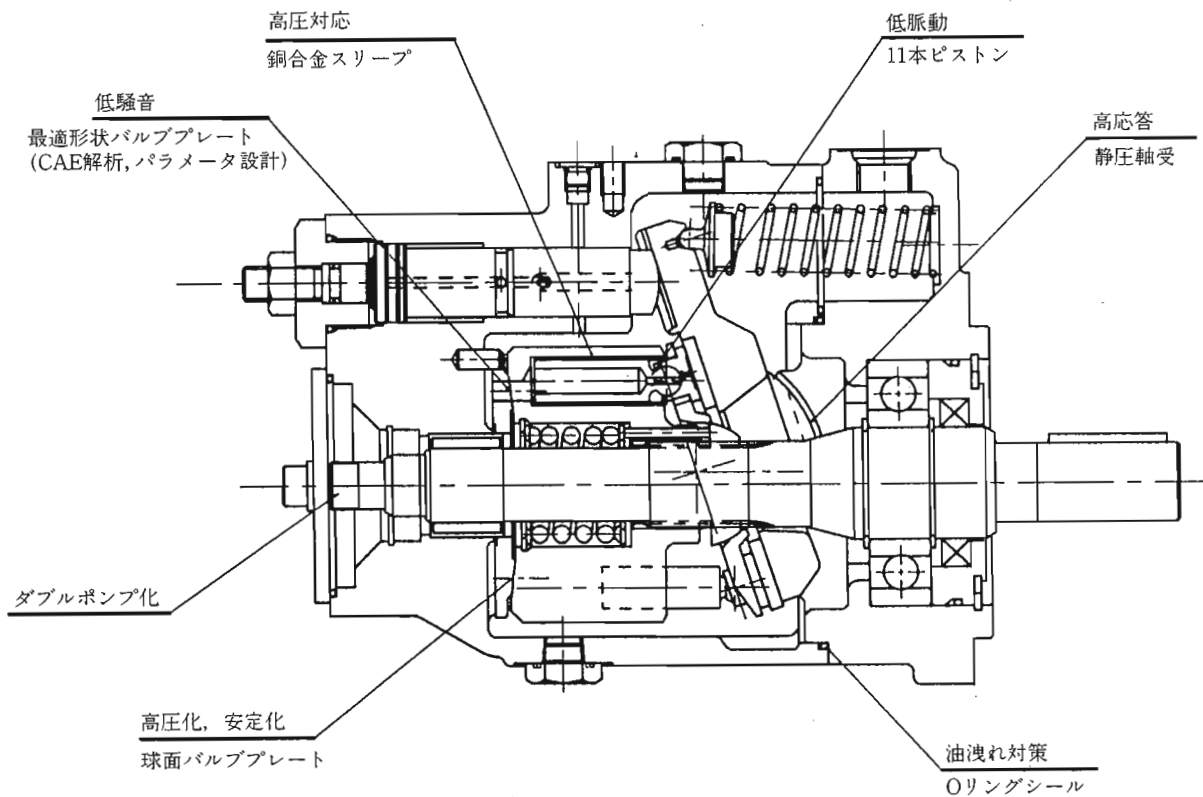
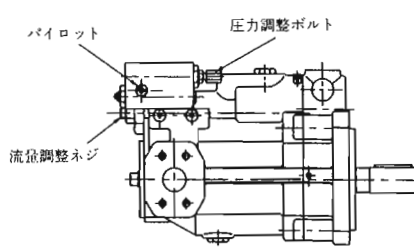
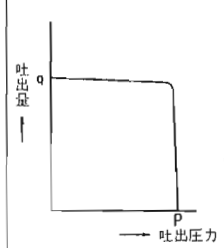
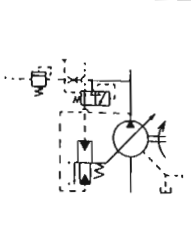
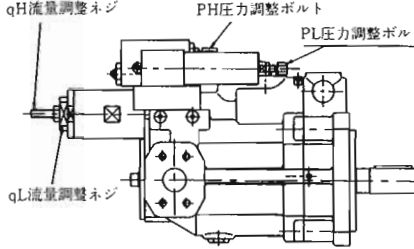
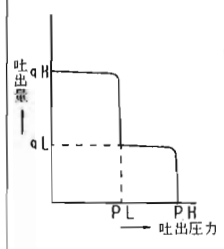
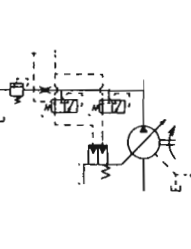
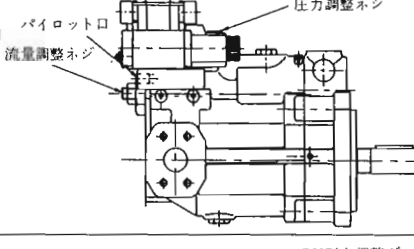
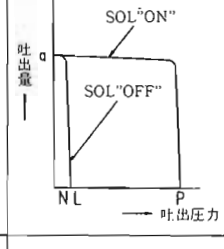
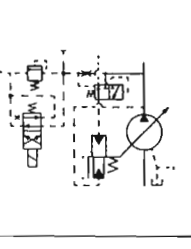
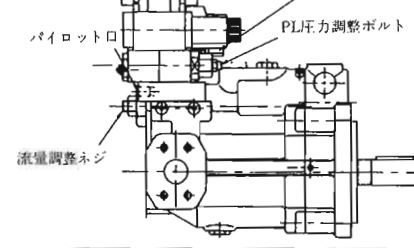
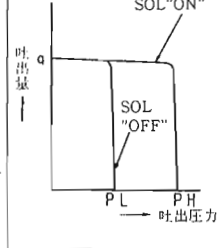
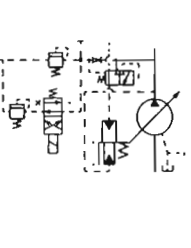
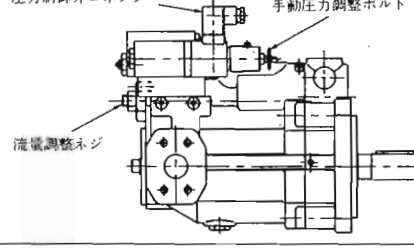
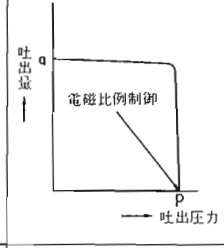
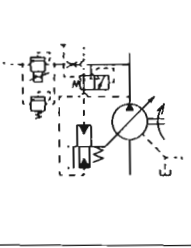
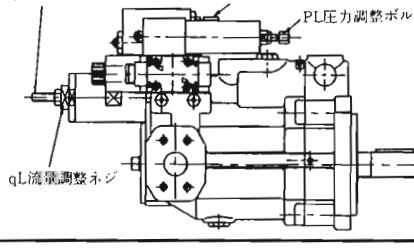
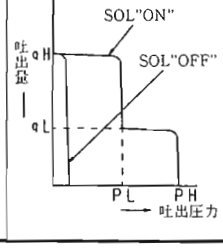
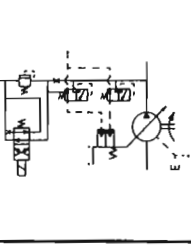


図 1 PZSシリーズ可変ピストンポンプの断面構造

表6 可変ピストンポンプのオプション制御機構

記号	制御方式	外観図	P-Q特性	油圧記号	説明
N	圧力補償形				<p>吐出圧がコンペンセータでセットされた圧力になると、自動的に圧力が減少し、セット圧を保持します。</p> <p>尚、コンペンセータに設けられたパイロットロより配管する事により、吐出圧は外部パイロット圧により調整できます。</p>
NQ	2圧2流量制御形				<p>ポンプに取り付いたシーケンスバルブにより吐出量が、2段に変化し、従来の高低圧制御が1台で行え、回路の省エネ化が可能です。</p>
RS	ソレノイドカットオフ制御形				<p>ポンプ出力不要時に、損失エネルギーを極小するため、圧力補償形にアンロード用ソレノイドバルブを組付たものです。熱発生は、極めて僅かです。</p>
WS	2圧制御形				<p>ソレノイドバルブの"ON" "OFF"により2種類の圧力補償形が得られます。アクチュエータの速度を一定にしたまま2種類の出力制御が可能です。</p>
EPR	電磁比例圧力制御				<p>吐出圧を電磁比例制御弁で設定することができ、回路圧の自動設定ができます。</p>
RQS	ソレノイドカットオフ付 2圧2流量制御形				<p>ポンプ出力不要時に、損失エネルギーを極小にするため、2圧2流量制御形にアンロード用ソレノイドバルブを組付たものです。ソレノイドバルブ"OFF"時にアンロードします。</p>

3.2 PZE可変ピストンポンプ

PZE可変ピストンポンプはPZEピストンポンプをベースにセンサと制御アンプとの複合化により吐出側の圧力と流量をマイナーフィードバックすることにより、精度よく圧力・流量を制御する。作動原理図を図2⁽²⁾に示す。ポンプには斜板角を制御する比例制御弁と安全弁が搭載され、

吐出口には圧力センサと当社独自の技術による流量センサが取り付けられ、外部からポンプを制御する専用アンプが付属する。ポンプの流量と圧力は、外部指令信号(流量・圧力の入力電圧)と各センサからのフィードバック信号とがアンプ内で比較され、この偏差信号によって比例制御弁を駆動し制御される。この制御ブロック図を図3に示す。

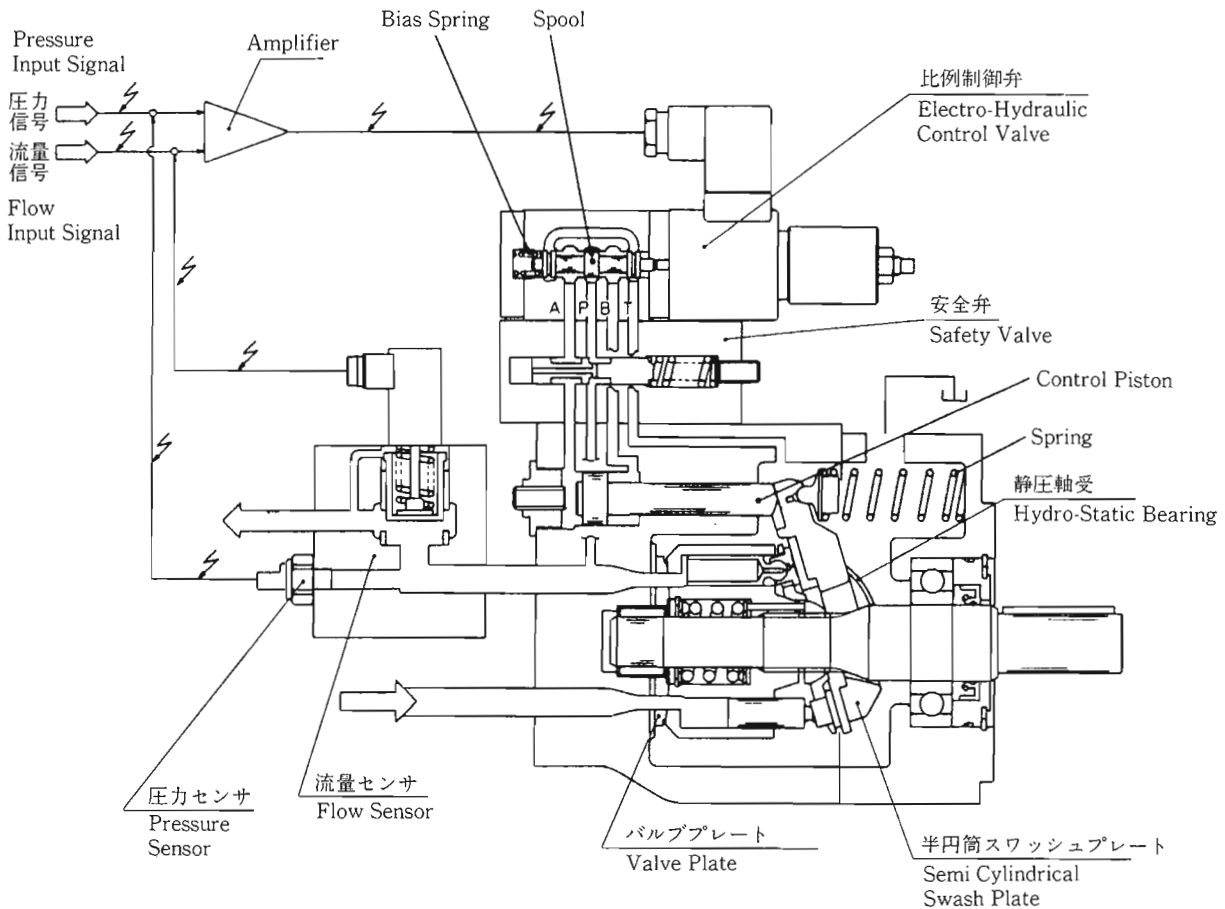


図2 PZEシリーズ可変ピストンポンプの作動原理図

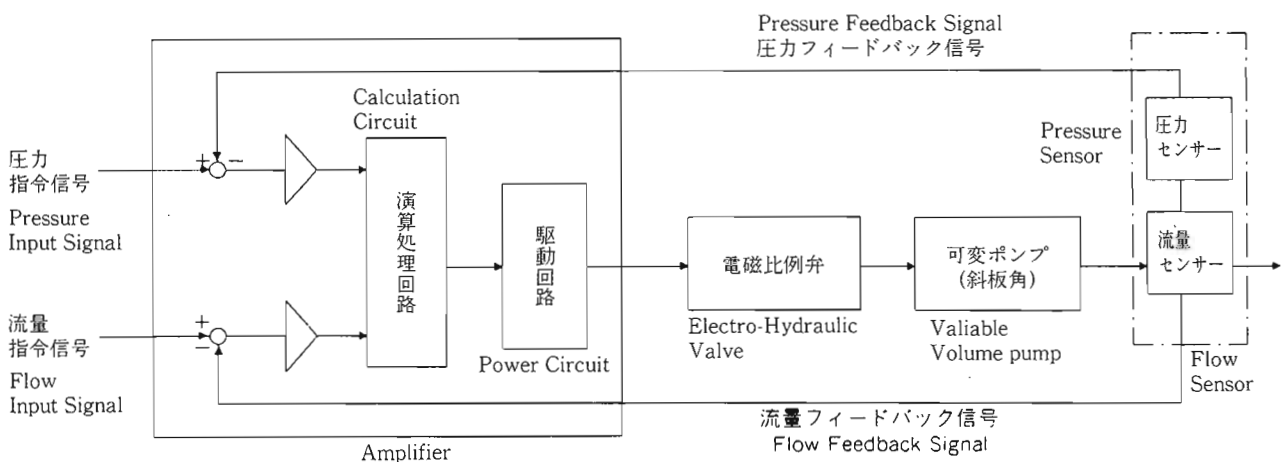


図3 制御回路ブロック図

図4, 5に入力電圧-流量特性, 入力電圧-圧力特性を示す。直線性は2%以下, ヒステリシスは0.5%以下の性能が得られている。またポンプの機差はアンプで調整されるため非常に小さく, 射出成形機など, 繰り返し性・高サイクルを要求される機械のNC化に対応できる。

3.3 コンパクトユニット「ナチッコ」

「ナチッコ」は工作機械や一般産業機械のコンパクト・高性能・低価格化の要求に対応するため, 大幅な小形・軽量化を実現した油圧ユニットである。表7⁽³⁾にユニットの仕様を, 図6に「ナチッコ」に使用しているユニポンプの断面構造を示す。従来の可変ベーンポンプは標準ポンプを用い, キーシャフトを電動機のシャフトに組み込んでいた

が, 本ユニットでは, 電動機とポンプのフランジを一体化し, ユニポンプ専用構造とすることにより, 小形・軽量化を可能とした。また, ポンプについてはシャフトとロータを分離, ロータ両サイドの油圧バランスの最適化により, ポンプドレン量の低減, 低発熱化を図った。電動機については, ナチッコ専用を開発し, 軽量化と低騒音化を図り, また, EU諸国への輸出に対応するためIEC34-1に準拠している(端子箱は保護等級IP54)。以上のポンプや電動機の改良に加え, ラジエータの標準化, 戻り油に混入する気泡の除去やコンタミネントの沈殿対策を行いタンクの小形化を図った。(当社従来比: 据え付け面積40%減, 質量50%減)

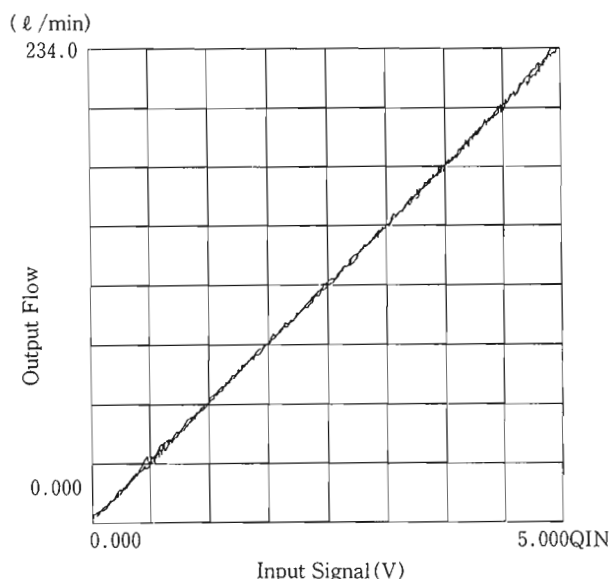


図4 入力電圧-流量特性 (PZE-4B-130, 回転数1800 [min⁻¹])

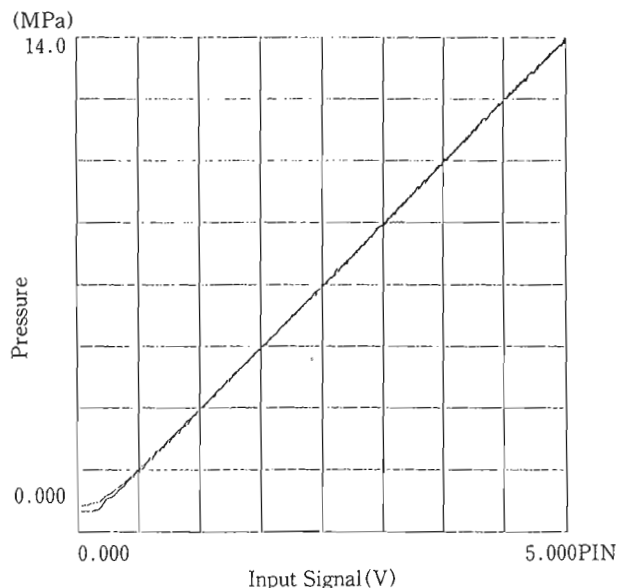


図5 入力電圧-圧力特性 (PZE-4B-130, 回転数1800 [min⁻¹])

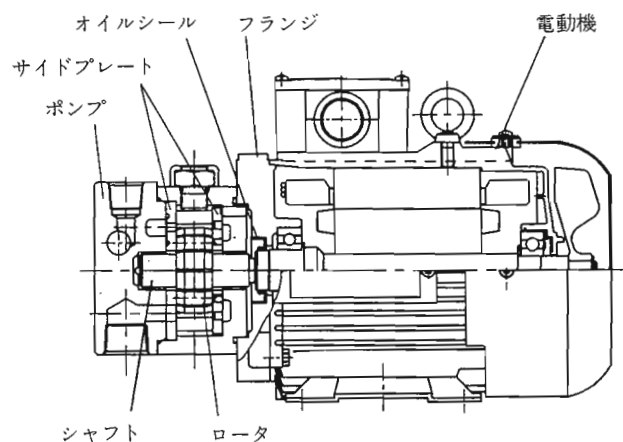


図6 「ナチッコ」用ユニポンプの構造

表7 ユニット仕様

項目	形式	NSP-※-※ VDOA	NSP-※-※ VDIA
ポンプ容量	cm ³ /rev	8.0	16.0
最高圧力	MPa	8.0 (81.6 kgf/cm ²) (フルカットオフ圧力)	
電動機出力	kW	0.75, 1.5	1.5, 2.2
タンク容量	ℓ	10, 20	
所要床面積	mm	300×400	
概算質量	kg	43 (10ℓ, 1.5kW, オプション含まず)	

4. 油圧バルブ

油圧バルブでも、①コンパクト化、②高圧化、③高応答化、④低価格化が強く求められている。当社は、'93年より高圧化に取組み、M35シリーズを商品化してきた。図7は、油圧バルブ商品群を示したものであるが流量300l/minまでは、ソレノイドバルブ、モジュラーバルブ、それ以上の流量にはロジックバルブで35MPa {357kgf/cm²}まで対応できるようになった。

4.1 高圧M35シリーズ

一般産業機械で高圧化が最も進んでいるのは鍛圧関係で、現在32~35MPaが一般的となっている。高圧でかつコンパクトに因るため、当社ではモジュラーバルブに新しくG04シリーズを商品化した。表8に示す様に、従来の06サイズより大流量対応で、バルブのダウンサイジングが可能となった。同じ回路でスペース比較したものを図8に示す。取付スペースで約半分、エネルギー密度4倍と非常にメリットがあることがわかる。又、高圧化に伴い、スプールタイプでは解決できない内部リークの増加の問題も、ノン

リーク形バルブ⁽⁴⁾(許容漏れ、1滴/1分)で一気に解決を図っている。本ノンリーク形バルブは、35MPaに耐えるソレノイドガイドの開発により、図9に示すように他に類をみないシンプルなバルブとなっている。尚、本バルブの06サイズでは、図10に示すように03サイズのコイルを、電子制御により高吸収力を発生するECコネクタを初めて採用し、03サイズのコイルの大ききで06サイズのバルブを構成するという新しい試みを行った。

4.2 高速応答比例弁

成形機分野では、高精度な成形技術を確立するため電気・油圧サーボ弁並の高応答なバルブが要求されている。当社では従来のゴミに強い比例弁の特性をそのまま活かし、よりサーボ弁に近い高速応答比例弁を商品化してきた。図11にそれを示す。高速応答比例弁は、周波数応答20Hz以上を達成すると同時に、スプールの変位そのものを常時監視しており、誤動作対応が容易に行える様配慮されている。第4の安全ポジションは、サーボ弁にはない断線時あるいは緊急停止時の安全機構として評価されている。

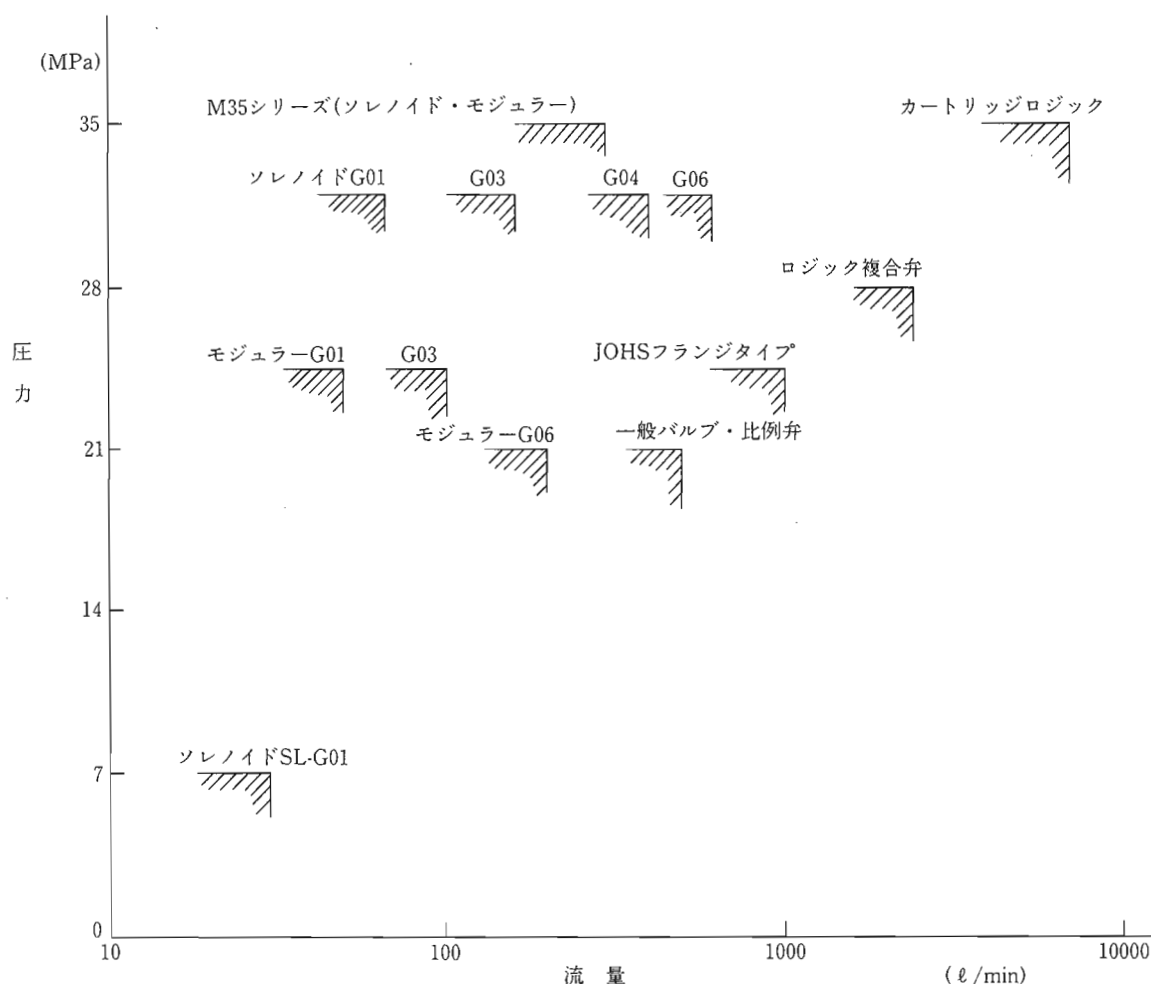
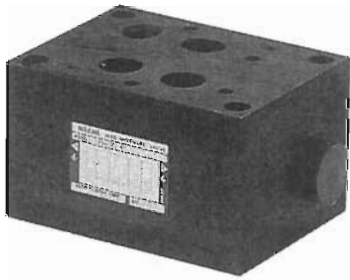
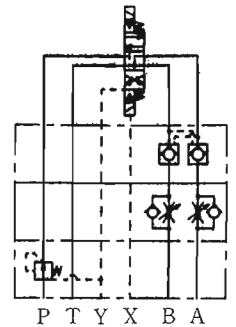
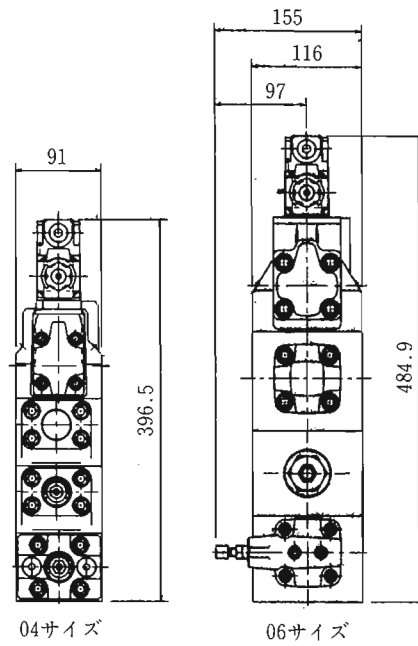


図7 油圧バルブの商品群



- (04サイズ)と(06サイズ)の比較
- 取付スペースが約1/2
 - バルブ質量が約30%軽減
 - エネルギー密度が約4倍
(容量比率×圧力比率×流量比率)
- と優れており、従来の06サイズにか
わって使用できます。



油圧回路図

図8 04, 06サイズのスペース比較

表8 04, 06モジュラー仕様比較

主仕様 \ サイズ	G04	G06
最高使用圧力 (MPa)	35	21
最大流量 (ℓ/min)	300	200
バルブ幅	91	116
バルブ高さ	70	120

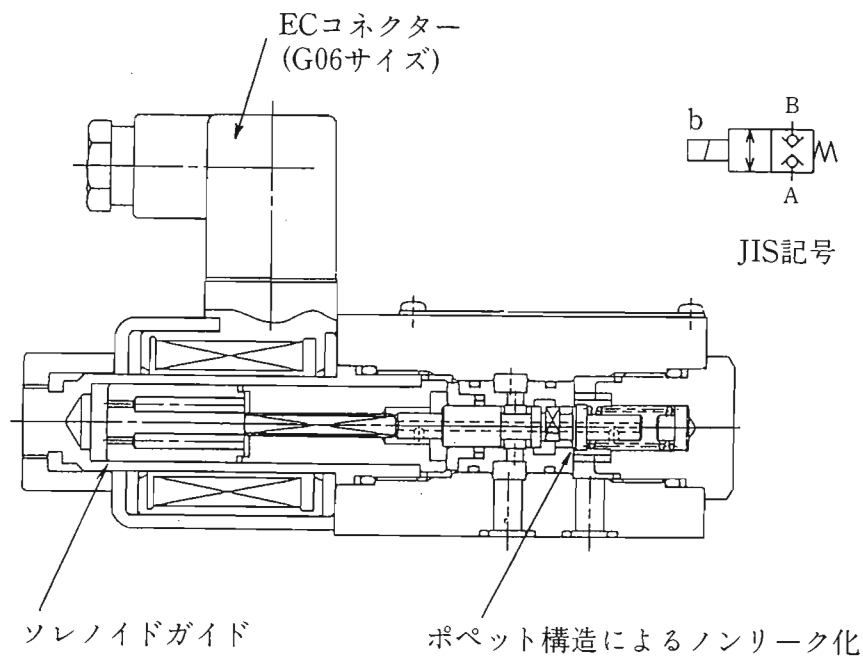


図9 ノンリーク形ソレノイドバルブ

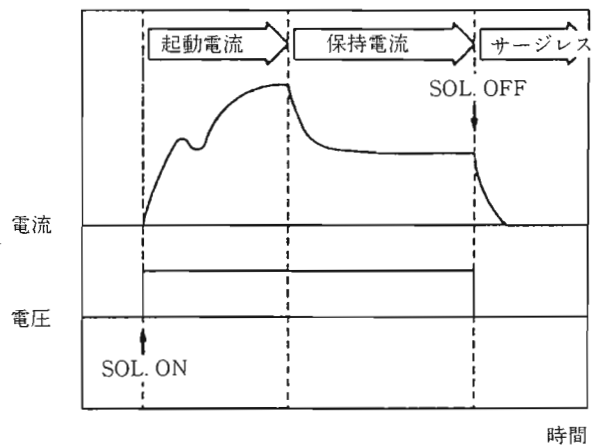
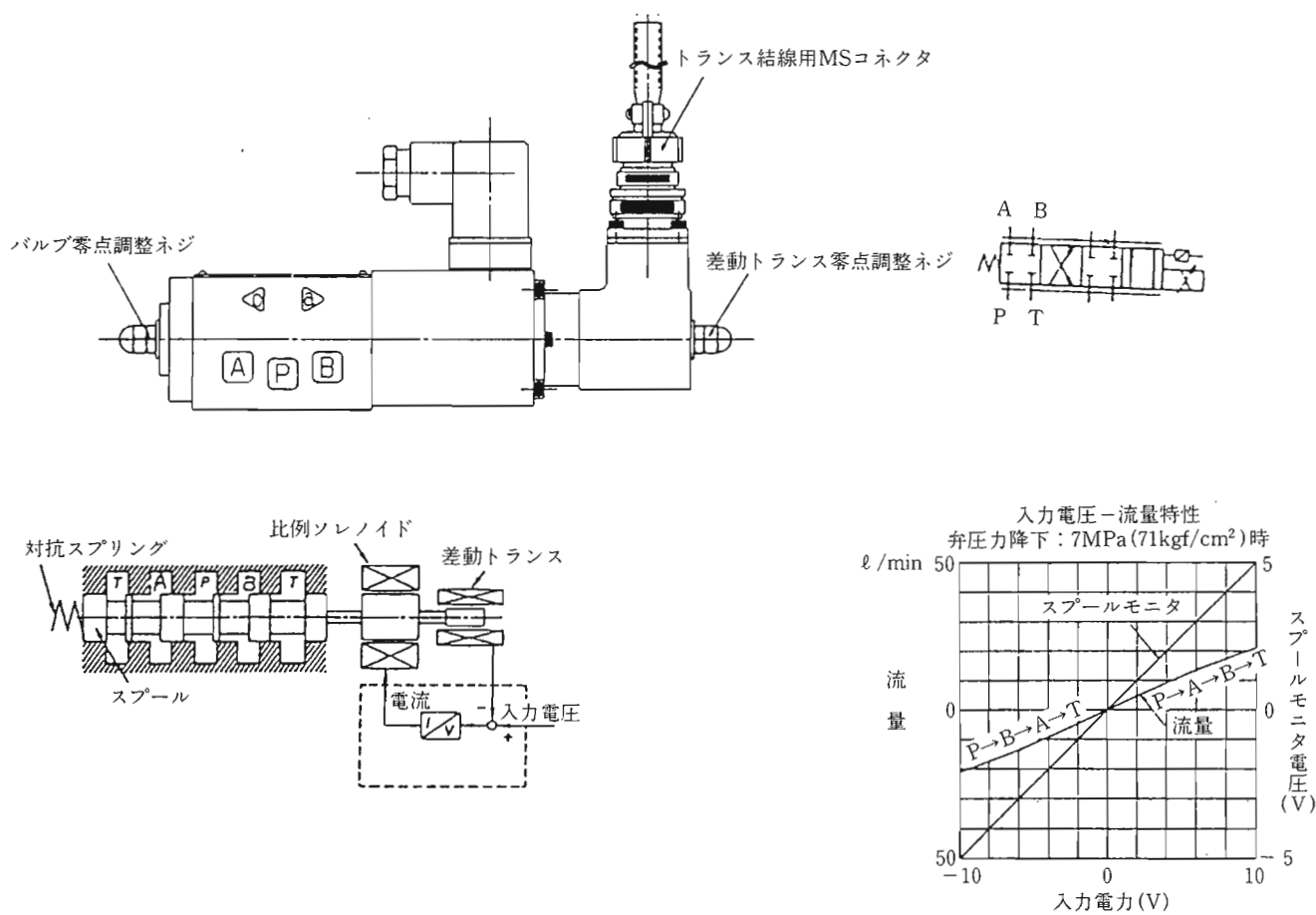


図10 ECコネクタの電気制御



・主仕様

サイズ	G01	G03	G04	G06
最高使用圧力 (MPa)	32	28	32	32
最大流量 (ℓ/min)	35	80	180	350

図11 高速応答比例弁

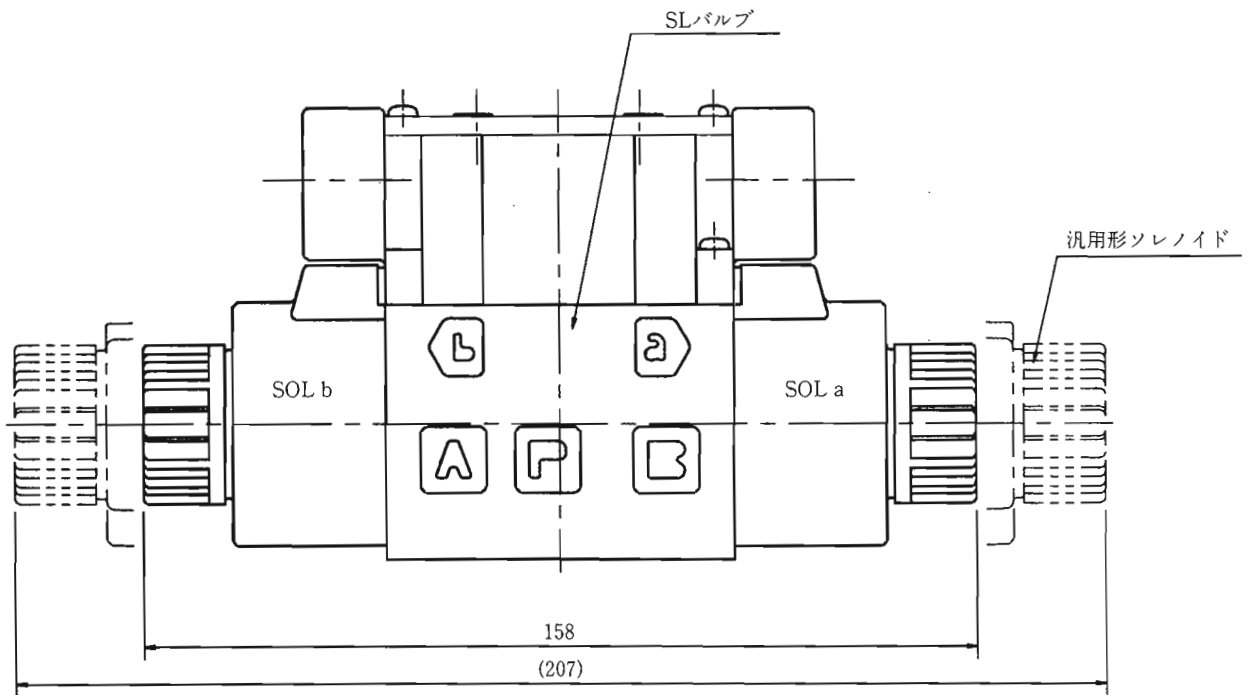


図12 SLバルブ寸法比較 (交流タイプ)

4.3 SLシリーズソレノイドバルブ

工作機械分野は、より小形、低価格のうえに、ヨーロッパの安全規格に合致したCEマーキング対応が要求されている。CEマーキングに関しては、当社SLシリーズのソレノイドバルブ (交流タイプ) がTÜV (ドイツの認証機関) の認定を取得している。コンパクト化に関しては、現状のISO取付寸法の制限がネックとなっており、各社苦慮しているのが実情である。図12に示すSLシリーズのソレノイドバルブ (交流タイプ) は、標準のソレノイドバルブに対し、大幅に全長を短くコンパクトになっているが、更に小さなものが求められており、今後の課題となっている。

5. おわりに

本文では、産業機械の動向と当社の油圧について、最近の開発事例の一端について述べたが、油圧のメカトロ化、省エネルギー化、環境性の向上などの要求に応え、より魅力ある油圧へと開発・改良をすすめる考えである。

文 献

- (1) 池生慎一；PZSシリーズ可変ピストンポンプ、機械設計油圧・空気圧シリーズ9 第40巻、第2号、P49-54 (1996. 1月別冊)
- (2) 長谷川高則、庄司幸広；PZEシリーズ電子制御可変ピストンポンプ、不二越技報、47 (2)、P19-27 (1991)
- (3) 前沢則浩；工作機械用コンパクト油圧ユニット“ナチッコ”不二越技報、52 (2)、P34-37 (1996)
- (4) 荒木一雄；電磁切換弁の現状と課題、油圧と空気圧25巻6号 (1994)



猪原正美

1972年入社。油圧製造所技術部配属。油圧バルブ、ポンプの開発設計を担当し、現在に至る。



庄司幸広

1980年入社。油圧製造所技術部配属。可変ピュメントポンプの開発設計を担当し、現在に至る。



寺越秀夫

1974年入社。油圧製造所技術部配属。油圧シリンダーの設計、ロジック、ソレノイドバルブの開発設計を担当し、現在に至る。