

高圧・大容量ソレノイドバルブ SA/SS-G01-30 シリーズの活用事例

The Application of High Pressure, Large Capacity Solenoid
Operated Directional Control Valve "SA/SS-G01-30" Series

キーワード

ソレノイドバルブ, 流体反力補償, 許容背圧, コイル表面温度,
ダウンサイジング, 衝突力, M35 シリーズ

油圧製造所技術部

奥出敏史

1. はじめに

ソレノイドバルブは電気信号で油圧を制御できる点で、重要な油圧機器であり、油圧を利用する機械には必ず使用されているといってもよい。

一方、油圧を利用している機械は多種多様である。比較的低压で使用されることが多い工作機械、エネルギー密度の点から高圧大容量化が求められている鍛圧機械、地下建機など様々な仕様で使われている。これら広範囲の分野のニーズに対応するため、従来シリーズに対し大幅な高圧大容量化をはかったSA/SS-G01-30 シリーズを開発し、1997年10月から発売している(図1)。

SA/SS-G01-30 シリーズは小形、軽量といった従来シリーズの特長に加え、許容背圧を向上し、さらに使いやすいバルブとしている。

また、製造面からは、部品の共通化による部品点数

の縮減(21%減)、レーザ溶接の採用による溶接部の信頼性の向上など、設計・管理生産・生産技術・製造・品質管理の各部門の協力による品質向上と“作り易さ”の追求を徹底的に推進している。

例えばソレノイドガイド溶接工程においては、溶接後に仕上機械加工を行わない構造とすることで、リードタイムの短縮をはかり、さらに部品の清浄度の向上といった相乗効果をねらっている。

2. 特長

2.1 高圧・大容量化に対応する新しい流体反力補償機構

ソレノイドバルブに限らず、油圧バルブに常につきまとい性能向上の妨げになっている最大の要因は流体反力である。

流体反力は、バルブ内を通過する作動油の方向変化による運動量の変化の反力である。直感的には、図2に示すように、スプール弁やポペット弁の開口部分に作動油が流れ込む際に流速が増加するために圧力降下が発生し、弁の圧力バランスが崩れ、結果として開口部分を閉じようとする力として理解することができる。図3に一例を示すが、ソレノイドバルブの場合、流体反力がスプールを駆動する力(ソレノイドの吸引力)の数割に達する場合があります、その影響は非常に大きい。

流体反力そのものを小さくする試みは過去数十年にわたって研究されてきた。しかし、コストと性能がバランスした方策は未だに存在していない。そのた

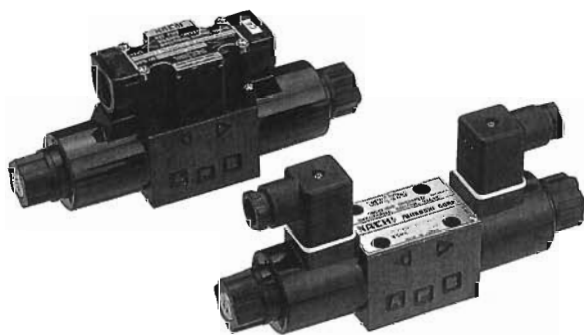


図1 バルブ外観 (SA/SS-G01-30)

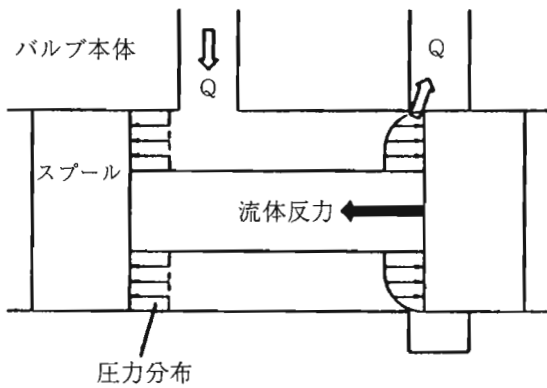


図2 スプール弁に作用する流体反力

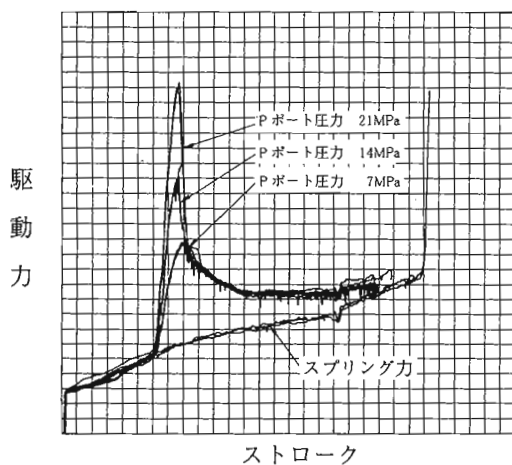


図3 流体反力の一例
(駆動力=流体反力+スプリング力)

め、バルブの大容量化を実現するためには、流体反力を何らかの手段で相殺する必要がある。

この目的のため、従来からスプール弁の切り換え時にTポートへ噴出する作動油を利用してバルブの切換性能を向上させる、流体反力補償機構を採用している。図4に示すように、補償力はTポートへの流路が開くと同時に発生し始め、スプールのストロークが増加すると共に大きくなっていく。さらに、ピーク値をとった後、今度は減少し始めほぼ一定値となる。また流量の増加にともない補償力も増加するので都合がよい。

しかし、バルブ通過流量がある値を超えると、発生する補償力はリターンスプリング力を上回ることであり、スプール弁の中立状態への復帰が困難となるという問題が発生し、大容量化へのネックとなった。そこでストロークエンドでの補償力を小さくすることにより解決を図ることとした。

具体的には、図5に示すように、スプールに衝突壁を設け、Tポートから噴出する作動油の衝突力を使

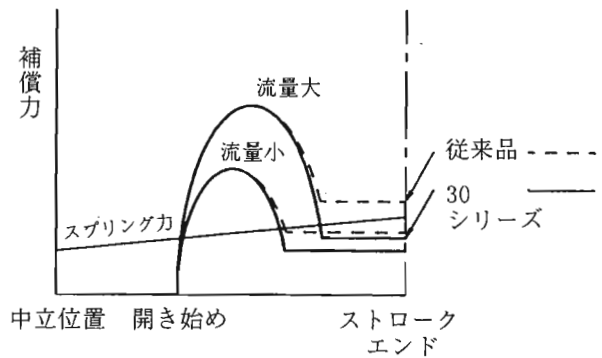


図4 スプールストロークと補償力

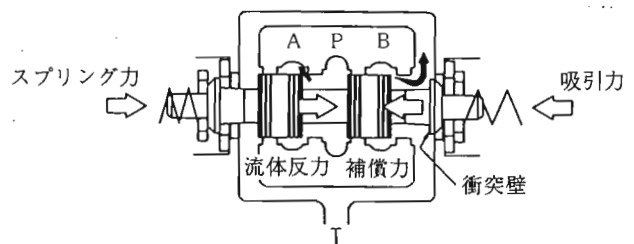


図5 スプール弁に作用する力

ってストロークエンドでの補償力を減衰する方法を採用した。

これにより、バルブの大容量化が可能となり、C5(スプリングセンタ、オールポートブロック)で35MPa、100l/min、A3X(スプリングオフセット、クローズドクロス)で35MPa、80l/minと従来品に比較して格段の性能向上を達成することに成功した。

また、この方法は従来構造と比較しても、コストアップ要因にならず、かつバルブ内部にしめるスペース増加が全くないという大きな特長があり、今回の開発の最重要ポイントとなった技術である。

2.2 許容背圧の向上

ソレノイドガイドは磁気回路を構成する関係上、磁性材料-非磁性材料-磁性材料を接合した構造とし、ソレノイドが発生する吸引力を高めている。そのためには溶接、ろう付けといった接合の技術が必要となる。これにくわえて、ソレノイドガイドはTポートの圧力を受ける圧力容器という機能を併せ持つため、接合部には非常に高い信頼性を要求される。不二越では従来TIG溶接を主用してきたが、信頼性、生産性のさらなる向上を目的にSA/SS-G01-30シリーズではレーザ溶接を採用した。

従来のTIG溶接では、電極が消耗する為、定期的に電極を交換する必要がある。この欠点を解消するた

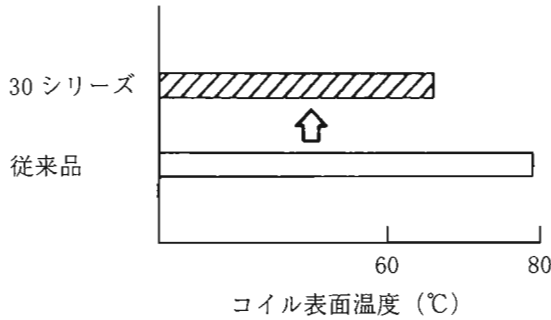


図6 コイル表面温度の比較

〔測定条件 外気温；20℃
電圧；定格電圧〕

めに、レーザ溶接機の導入及び一連の自動溶接ライン、自動検査ラインを構築した。これにより上記の問題が無くなり、かつ長時間の無人運転が可能となったため信頼性、生産性を大きく向上させる事ができた。

また高信頼性の溶接方法の採用に加え高強度材料の採用により、許容背圧を従来の 16MPa から 21MPa に向上させることができた。

2.3 コイル表面温度の低減

バルブを長時間にわたり連続通電で使用した場合、コイル表面が高温となっている場合がある。そのため安全上の観点からコイル表面温度の低減が求められるようになってきている。開発にあたっては、この点について特に留意し設計した結果、図6に示すように、従来品に対しコイル表面温度を下げる事ができ、人に優しいバルブとなった。

3. より使いやすくするために

3.1 バルブ仕様

従来シリーズは流路形態ごとに最高使用圧力が異なっており、バルブ選定に際し注意が必要であった。SA/SS-G01-30 シリーズでは、全ての流路形態について最高使用圧力を 35MPa に統一し、選定時の煩わしさを解消した。

なお表1に示すように、流路形態は従来シリーズと同様の 21 機種を採用した。

3.2 ソレノイド仕様

日本国内の交流電圧は 100V または 200V である。一方、輸出される機械に使用する場合 110, 115, 220, 230V といった電圧で使用されることも多い。

表1 バルブ仕様

形 式	標準形	ショックレス形		
		最高使用圧力 MPa(Kgf/cm ²)	最大流量 l/min	
JIS 記号	作動記号			
	-A2X-	30	30	
	-H2X-			
	-E2X-			
	-A3X-			
	-H3X-			
	-E3X-			
	-A3Z-	80		
	-H3Z-			
	-E3Z-			
	-A5-	35 [357]	25 [255]	
	-H5-			
	-C2-			
	-C5-	100		
	-C9-			
	-C1S-			
	-C6S-	ACソレノイド 65 DCソレノイド 80		
	-C1-			
	-C6-			
	-C4-	50		
	-C7Y-			
	-C8-			
				40

これらの電圧に対して、従来は準標準品として対応してきたが、SA/SS-G01-30 シリーズでは標準品とすることで、ユーザの選択の幅を広げ、より使いやすくした。

また、その他の電圧に対しても、コイルを社内製作しているメリットを活かし、迅速に対応できる体制作りを行っている。

3.3 SK シリーズの同時開発

建設機械、農業機械、特装車などでは省スペースのバルブの要求がますます高くなっている。さらに、母機の使用環境上から、バルブに対する防水性の要求も高い。

ソレノイドバルブでは取付面寸法の規格があるため、バルブ本体寸法の変更による小形化には限界がある。そこで、SA-G01 をベースに DIN コネクタを取り去ることで省スペース化を図ることにした。

防水性の面では DIN コネクタの防水性が IP65 であることから、より高い防水性を確保するためには、DIN コネクタを使用しない構造とする必要がある。このことから、省スペースと防水性の向上をねらったバルブとして、ソレノイドコイルから直接リード線を出した構造の SK シリーズを同時に開発し、標準化した（バルブ外観を図 7 に示す）。

また防水性に関しては、より実機に近い形での評価方法を取り入れた試験を実施したので紹介する。

電気機器に対する防水試験方法に関しては“JIS C0920-1993 電気機械器具の防水試験及び固形物の侵入に対する保護等級”で制定されているが、試験方法は単に水をかけるレベルのテストであり、実機使用条件を十分に包含しているとはいえず、実際の使用状態は、より過酷であると考えられる。

例えば、建機車輛等では機械を使用した後、洗車するために水をかける。この時、水のかかる位置のコイルは、使用直後の高温状態から急激に冷却されることになる。コイル内部に水が入るのはこの様な急

激な温度変化を伴う場合が一番多い。

そこで不二越では、より実機に近い試験方法として“焼き入れ法”と呼ぶ方法を採用している。この試験方法は①定格の 125% 電圧で 2 時間連続通電する、②通電終了直後、常温の水に 30 分間水没する、を 1 サイクルとし、これを数十サイクル繰り返すものである。

この様な試験を実施することで、SK シリーズの防水性を評価し、IP66 の防水性を得ることができ、建機などの屋外使用に充分満足できる防水性を実現した。なお、屋内使用のバルブの防水性に関しては“SL-G01”シリーズで TUV（ドイツ認証機関）の認証を取得しているが、SA-G01-30 シリーズで IP65、SS-G01-30 シリーズで IP64 である。

4. 活用事例

4.1 バルブのダウンサイジング

シールド機械等の、マシンスペースが小さい機械では、使用する油圧機器も可能な限り小さくしたいという要求がますます強くなってきている。圧力損失に余裕のある回路では、単に切り換われればよいことから、03 サイズから 01 サイズへのダウンサイジングが大きな効果がある。

SA/SS/G01-30 シリーズの開発により、これが可能となった。

表 2 は 03 サイズと 01 サイズの比較を示したものである。スペースメリットに加え、最近の省エネルギーという観点からも有効な方法といえる。

表 2 03 サイズと SA/SS-G01-30 の比較

項目	03 サイズ	SA/SS-G01	比較
取付面積	1	0.65	35%減
質量	1	0.51	49%減
消費電力	1	0.59	41%減

4.2 シリーズ回路での使用

バルブの T ポートには圧力をかけないで使うことが基本であるが、許容背圧が 21MPa まで高くなってきたことにより回路の自由度が増えてきた。

図 8 はインタロック回路として使用される回路であるが、今回の許容背圧アップにより、シリンダサイズのダウンが可能になった。具体的には塵芥車で採用されている。

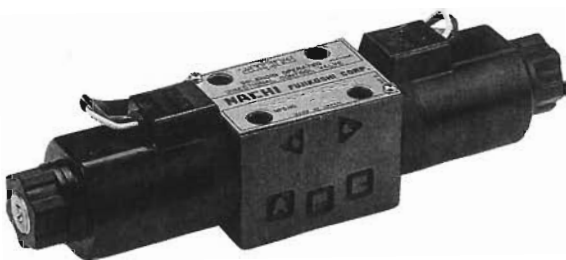


図 7 バルブ外観 (SK-G01)

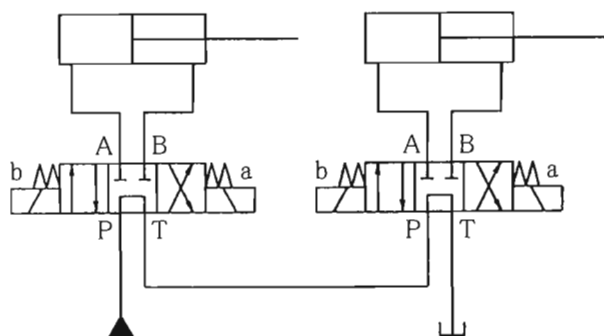


図8 インタロック回路

4.3 屋外使用への展開

建機・車両用のソレノイドバルブは、防水性が重要な要求項目になる。今回、リード線形のSKシリーズ（防塵・防水ランクIP66）の開発により、建機・車両分野での、直接水のかかる場所での使用も容易になった。

また、ソレノイドコイルは丸形であり、線の取り出し部が360°回転することから、さらに取り付け自由度は増している。

例えば、雪上車、コンクリートポンプ車、ラフテレーンクレーン車などの過酷な環境で使われる場所に採用されている。

4.4 コイル温度の低減

この効果は、これからの市場評価を待つことになるが、温度上昇は工作機械での機械精度への影響の低減に効果があるものと考えている。

5. おわりに

長年にわたる技術の蓄積と新しい技術の融合により、高圧・大容量ソレノイドバルブSA/SS-G01-30シリーズを開発することができた。

今後は多様化するニーズに対応すべくさらなる研究、開発を続け、高品質の製品を市場に提供していきたい。

文 献

松崎，栢沢；不二越技報，43（1），P.119-136（1987）