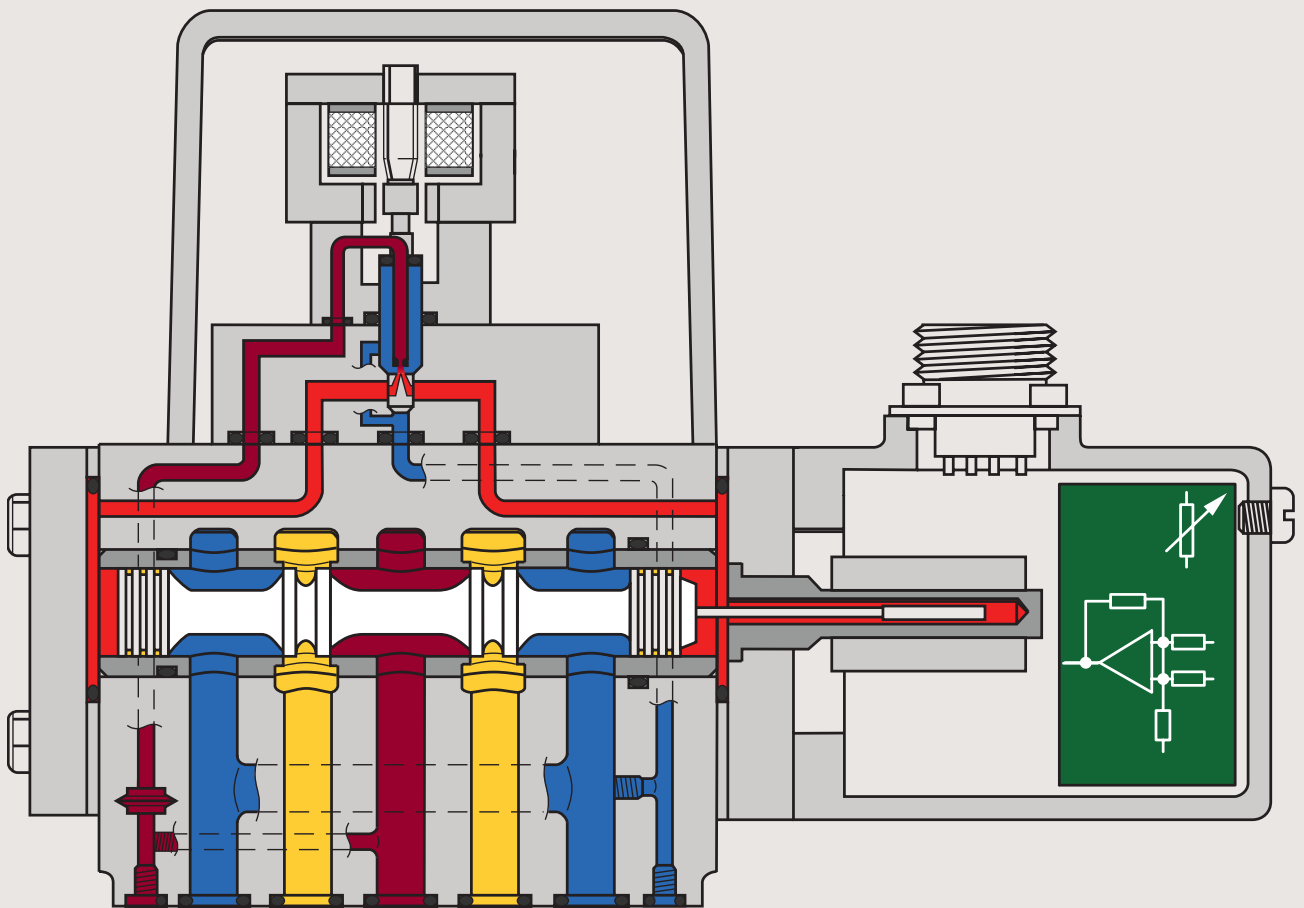


ELECTRO-HYDRAULIC-VALVES:

A TECHNICAL LOOK

電気油圧式バルブの技術展望





目次

電気油圧式バルブに関するこのガイドブックはムーグがお客様固有の製造環境に最適なソリューションを提案する際の一助として作成したものです。

- 05** ムーグ製バルブについて
- 11** 作動原理
- 20** バルブのサイズと選定
- 29** 一般的な電気油圧システムの構成
- 34** 日常の保守点検

はじめに

ムーグの一般産業用バルブ

ムーグは 65 年以上にわたって、製造業で要求される位置、速度、圧力、力の制御のための電気油圧式サーボ弁（サーボバルブ）を製造しています。サーボ弁と比例弁は電氣的に操作されるバルブで、小さい電気信号によってアクチュエータへの作動油の流れを管理し、その結果、油圧シリンダを制御することができます。

ムーグの一般産業用サーボ弁および比例弁は、世界の先端的製造業で様々な用途・市場にわたって広く利用されています。たとえば金属加工の分野では、多様な用途に向けたモーションコントロール技術の開発でムーグがリードしています。その成果は深絞りプレスや、粉末成形、鍛造、リサイクルなどのためのプレスに利用されています。プラスチック製造業でもムーグのモーションコントロールに関する専門技術が活用されており、高性能の射出成形機やブロー成形機などの重要な分野にムーグの技術が適用されています。

更に、最高レベルの精度、信頼性、生産性が要求され、極度の高温など苛酷な環境での稼働が求められることも多い鉄鋼業のような分野でも、ムーグのバルブが成功を収めています。ムーグのサーボ弁や比例弁は製鋼工場での鋼板の厚さ制御に用いられるほか、熱間加工におけるロール曲げやシフティングなど多くの用途に利用されています。ムーグのバルブはオフショア油田探査プラットフォームの安定性制御（潜在的爆発性雰囲気内で）にも用いられています。また船用ディーゼルエンジンの燃料噴射制御での利用は燃焼プロセスの最適化を通じて排気ガス量の最小化に寄与しています。

上に挙げた用途はすべて、複雑な製造工程を正確精密に制御することを要求するばかりでなく、性能低下の原因となる負荷変動にさらされることも少なくありません。ムーグのバルブはこのような問題をフィードバックによって解決しています。ムーグのバルブはすべてスプール位置の閉ループ制御機構を内蔵しており、あらゆる作動条件のもとで最適な性能を確実に発揮します。

このガイドブックについて

このガイドブックの最初の章では、現在ムーグが提供している下記の種類のバルブを説明しています。

- サーボ弁と比例弁
- 直動式バルブとパイロット式バルブ
- 電気フィードバック（EFB）および機械フィードバック（MFB：メカニカルフィードバック）バルブ
- アナログおよびデジタルエレクトロニクス制御バルブ
- 流量制御、圧力制御、軸制御用バルブ*

* 軸制御とはサーボ弁が行う 1 軸の制御を指し、フィードバック信号をサーボ弁へ帰還し、サーボ弁内蔵エレクトロニクスでフィードバック制御を行う。

A Technical Look ではバルブの作動原理を説明し、特にノズルフラップ、サーボジェット ServoJet®、リニアフォースモータ式の各バルブでのパイロットおよびスプールの駆動原理を紹介するとともに、パイロット式および直動式の EFB バルブと MFB バルブの機能を解説します。

特定の製造用途に適したサーボ弁または比例弁を選定するには、バルブ周辺に設置されるシステムについても慎重に考慮することが必要です。このガイドブックのバルブのサイズと選定の章では、お客様にバルブの選定にあたって考慮すべきバルブのタイプとシステムパラメータについて実践的な解説を行います。

この電気油圧式バルブの概要の最後には、ムーグの各種制御回路の概要と、一般的な電気油圧式システムの構成を示します。締めくくりとして、日常の保守点検を有効にするために役立つ 11 項目のガイドラインを掲げます。

ムーグのカスタマーサポート

ムーグの技術および営業の専門家が、お客様の工場のモーションコントロールニーズに最適なソリューションを探すお手伝いをします。位置、速度あるいは力の制御に関するお客様の要件に対して、弊社の専門家チームは、お客様の具体的な製造ニーズに適合したカスタマイズ設計や製品を開発・導入する事によりサポートします。ムーグのカスタマーサポートは世界の産業分野で広く認められています。ご希望のご相談内容をお気軽にご連絡ください。



ムーグの各種バルブについて

ムーグの各種サーボ弁および比例弁とその特長についての基本情報です。

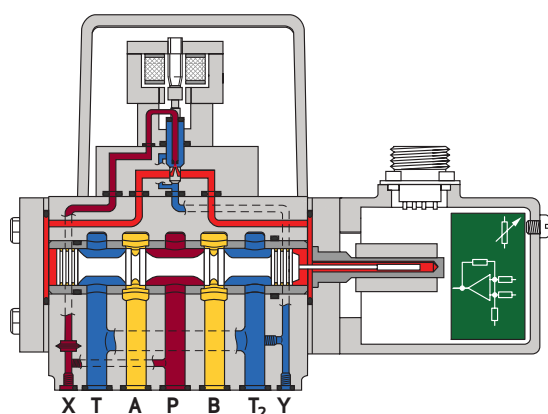
ムーグはお客様の個々のアプリケーションの要件に応えるため、様々な種類のバルブを開発・製造しています。電気油圧サーボ弁の技術紹介のこの章では、ムーグの各種バルブの相違点について説明します。サーボ弁、比例弁、MFB、EFB、pQ、ACVなどのバルブがそれぞれどのようなもので、何ができるかを知ることができます。

サーボ弁と比例弁

サーボ弁と比例弁は、アナログまたはデジタル入力信号の変化を無段階的に油圧出力へ変換する電気油圧式バルブです。一般的に言って、サーボ弁は産業機械の性能を最適化するために用いられるハイエンドのバルブと考えられるのに対して、比例弁は汎用用途に幅広く使用されています。サーボ弁と比例弁の主要な相違点は、スプールが中立位置にあるときのスプールオーバーラップにあります。ISO 5598 規格に定義されているように、サーボ弁のスプールオーバーラップがスプールストロークの3% 未満であるのに対して、比例弁のオーバーラップは3% 以上です。

ムーグのサーボ弁は通常、スプールが高硬度鋼のブッシング内を摺動することを特長としています。これに対して比例弁では、スプールは鋳鉄製のバルブ本体内部を直接摺動します。（注：ムーグはブッシングスプールを採用した比例弁も製造しています。）両バルブの構造と主な特徴を下図に示します。

ムーグサーボ弁



スプールは高硬度鋼製のブッシング内を摺動

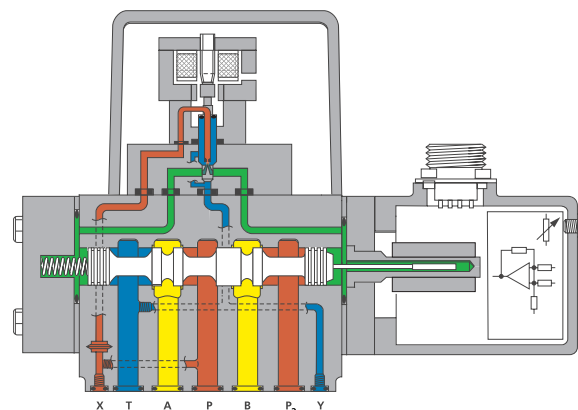
特長

- ブッシング / スプール (BSA) タイプ
- スプールオーバーラップ $< \pm 1\%$
- 極めて高い圧力ゲイン
- 極めて高い精度と動特性
- 定格流量は圧力降下 7 MPa に対して規定

ムーグ比例弁

特長

- スプール - イン - ボディ (SiB) タイプ
- スプールオーバーラップ $\pm 3\%$ 以上
- 精度と動特性はサーボ弁より低い
- 定格流量はサーボ弁より大きい
- 定格流量は圧力降下 1 MPa に対して規定



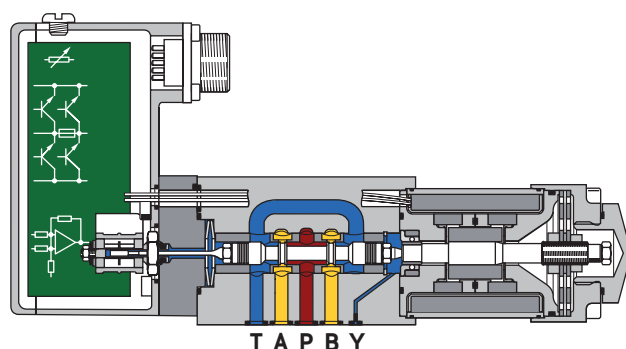
スプールはバルブ本体内部を摺動

直動式バルブと パイロット式バルブ

直動式バルブの特長は、スプールが電気機械式アクチュエータに機械的に直結されており、直接駆動されることです。このようなアクチュエータには大きさやコストに制限があるため、駆動力にも限界があります。スプールを駆動するために必要な力が流量および圧力降下と共に増加することから、直動式バルブは通常比較的低流量で使用され、したがってバルブのサイズも小型なものに限られます。ムーグの直動式バルブの大部分はリニアフォースモータで駆動され、ダイレクトドライブバルブ（DDV：Direct Drive Valve）と呼ばれています。

パイロット式バルブは、メインスプールをパイロットバルブにより油圧で駆動するもので、この方式によりスプールの駆動力を増加させることができます。パイロット式バルブでは、電気的な指令信号を油圧機構により増幅することで、極めて大きいスプール駆動力を得ることができます。そのため極めて大きい定格流量を持つバルブが実現できます。パイロットバルブは通常小型の直動式バルブであり、特にパイロットバルブの用途のために設計されています。通常の使用条件では、ムーグはノズルフラップ、ジェットパイプ、または直動式スプールバルブを用いていますが、場合によっては性能の向上を図るため 2 段型パイロット式バルブを利用します。

ムーグ ダイレクトドライブバルブ（DDV）



特長

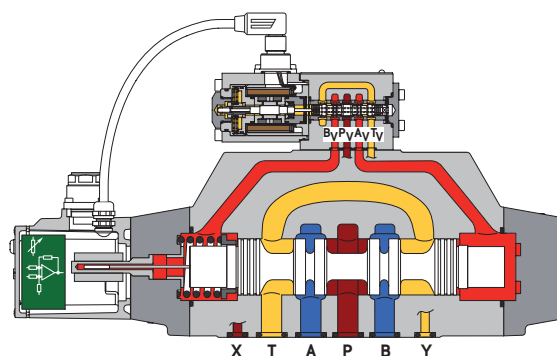
- リニアフォースモータ（LFM）のプッシュプル動作による駆動
- 内部漏洩損失が小さい
- 中立位置でのエネルギー消費量が少ない
- 油圧源にほとんど依存しない動特性
- 比例ソレノイドより高出力であり、高い圧力降下での使用が可能

ムーグ パイロット式バルブ

特長

パイロット動作の原理：

- ノズルフラップ
- サーボジェット（ServoJet®）
- ダイレクトドライブバルブ（DDV）
- 大流量
- サーボ弁としても比例弁としても提供
- 機械フィードバックまたは電気フィードバック



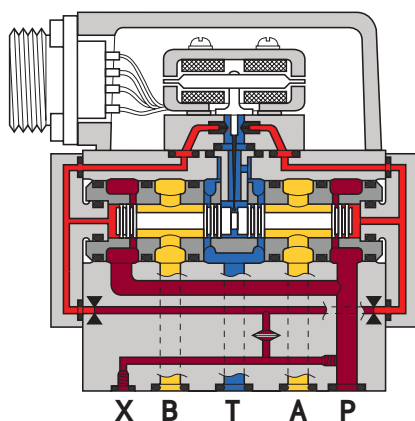
電気および機械フィードバックバルブ

ムーグのサーボ弁と比例弁はそれぞれスプール位置の閉ループ制御機構を備えており、そのためのスプール位置のフィードバックが必要です。ムーグはフィードバックに 2 つの方式、すなわち機械フィードバック (MFB) と電気フィードバック (EFB) を採用しています。

機械フィードバック (MFB) バルブは、スプールの変位によって張力を生ずるフィードバックスプリングを備えており、このスプリングの張力が機械的なフィードバックとしてトルクモーターに伝えられます。MFB バルブは動作のために内蔵エレクトロニクスを必要としません。

これに対して電気フィードバック (EFB) バルブでは、電子的な位置トランスデューサを使用してスプール位置を測定します。これに用いられる信号は電氣的にフィードバックされるので、EFB バルブはすべて制御用エレクトロニクスを介して作動します。ムーグのバルブの大部分はこのエレクトロニクスをバルブに内蔵する設計を採用しているため、外付けのコントローラカードを必要としません。

ムーグ機械フィードバック (MFB) バルブ



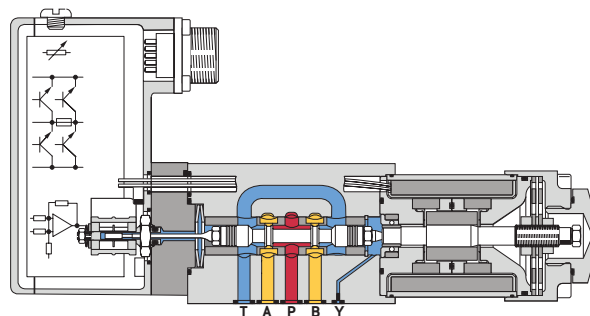
特長

- クラシックなサーボ弁のデザイン
- ノズルフラップ式パイロット
- 内蔵エレクトロニクスなし
- 機械フィードバックワイヤによるスプール位置の閉ループ制御

ムーグ電気フィードバック (EFB) バルブ

特長

- 直動式またはパイロット式
- サーボジェット (ServoJet®) またはリニアフォースモータによる作動
- スプール位置の閉ループ制御用内蔵エレクトロニクス
- エレクトロニクスはアナログ、デジタル共に提供
- オプションのフィールドバスインタフェース
- 流量制御、圧力制御、軸制御いずれのオプションも可

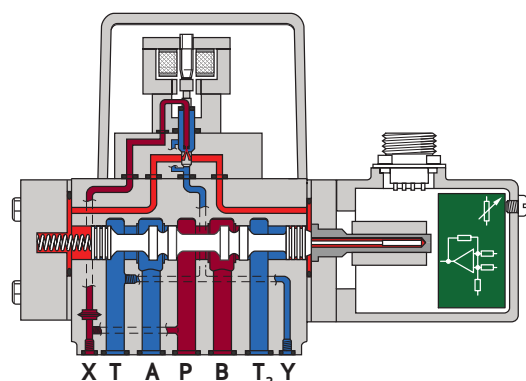


アナログまたはデジタルエレクトロニクス 内蔵 EFB バルブ

ムーグの電気フィードバック (EFB) バルブには様々な内蔵エレクトロニクスが用いられています。EFB バルブの基本形はアナログ回路基板で操作され、スプール位置制御に必要なアナログインタフェースを備えています。このバルブには、エラーおよび安全モニタ用出力などの機能を追加したバージョンもあります。

デジタルエレクトロニクスはマイクロプロセッサを基本とする回路基板で操作され、大部分の機能はソフトウェアによって実現されます。これによってバルブの性能が向上し、オプションとしてフィールドバスとのインタフェースも装備可能です。このバルブにはまた圧力制御、軸制御など他の制御機能を追加することもできます。更に、この型のバルブには種々の監視および不良検出オプションを装備することができ、ムーグデジタルコントロールバルブ (DCV:Digital Control Valve) と呼ばれています。

ムーグ電気フィードバック (EFB) バルブ アナログエレクトロニクス内蔵バルブ



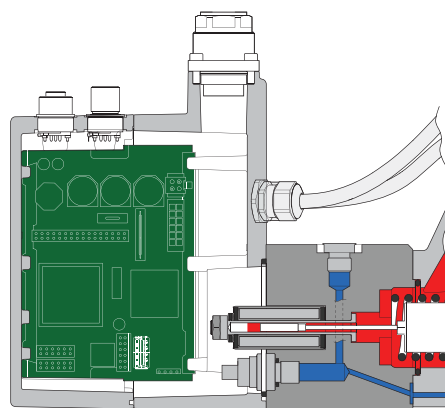
特長

- アナログ制御回路
- スプール位置制御
- 指令信号のアナログ入力
- スプール位置フィードバックのアナログ出力
- オプションとしてデジタル入出力も可能 (イネーブル、ステータス、エラー監視)

ムーグデジタルコントロールバルブ (DCV)

特長

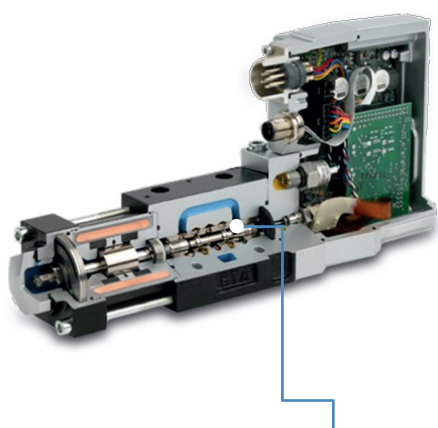
- マイクロプロセッサを用いたコントローラ
- スプール位置、圧力および軸制御
- フィールドバスインタフェースのオプション
- バルブのパラメータすべてがフィールドバス経由で利用可能
- エラー監視、不良対応
- ラップトップ PC からバルブの設定が可能



圧力・流量制御バルブと アクシスコントロールバルブ (ACV)

ムーグデジタルコントロールバルブ (DCV) の制御機能は更に拡張することができ、圧力・流量制御用 (pQ) としても軸制御用 (ACV) としても利用できます。pQ バルブは流量制御のためのスプール位置コントローラを備え、内蔵の圧力トランスデューサにより 1 軸の圧力も制御できます。したがって、例えば出力制限を効かせながら行うアクチュエータ位置決めこれらのバルブを用いることができます。アクシスコントロールバルブ (ACV) は 1 軸の制御を行うことができ、たとえばシリンダの位置、速度または力を制御することが可能です。

ムーグ圧力・流量制御 (pQ) バルブ



A ポートに内蔵された圧力トランスデューサ

特長

- A ポートに圧力トランスデューサを内蔵

作動モード：

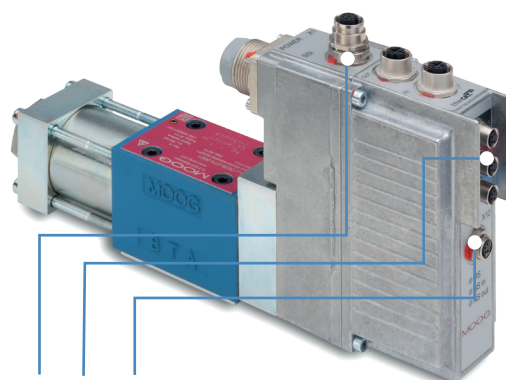
- 流量制御
- 圧力制御
- 流量と圧力の制御
- 外付けの圧力トランスデューサを用いた差圧制御

ムーグアクシスコントロールバルブ (ACV)

特長

アナログまたはデジタルトランスデューサ用インタフェース：

- アナログ入力
- SSI 入力
- エンコーダ入力
- ストレイン (歪) ゲージ入力
- フィールドバストランスデューサ
- 1 軸における位置、速度または力の制御



トランスデューサ入力



作動原理

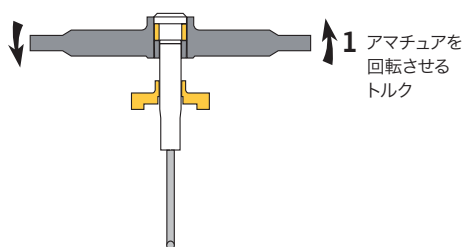
この章ではムーグのバルブに用いられている種々の作動原理を解説します。主としてパイロットおよびスプール駆動の様々な方式を扱い、またパイロット式および直動式 EFB、MFB バルブの動作機能についても触れます。

トルクモータ

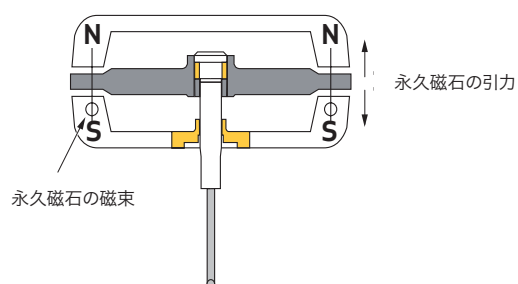
トルクモータは永久磁石と電磁石の組み合わせで力を発生する回転式アクチュエータです。ムーグのノズルフラップ式パイロットステージには下図に示すデザインが採用されています。サーボジェット ServoJet® パイロットステージもトルクモータを使用しますが、デザインはやや異なります。

トルクモータは永久磁石、上下のポールピース、アマチュア、コイルから成っています。トルクモータの作動原理は以下に示すとおりです。

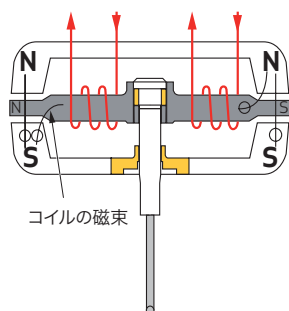
トルクモータの作動原理



基本原理はアマチュアをその固定点の周りに回転させるトルクを発生させることです。



装入した永久磁石によってポールピースが磁化されます。



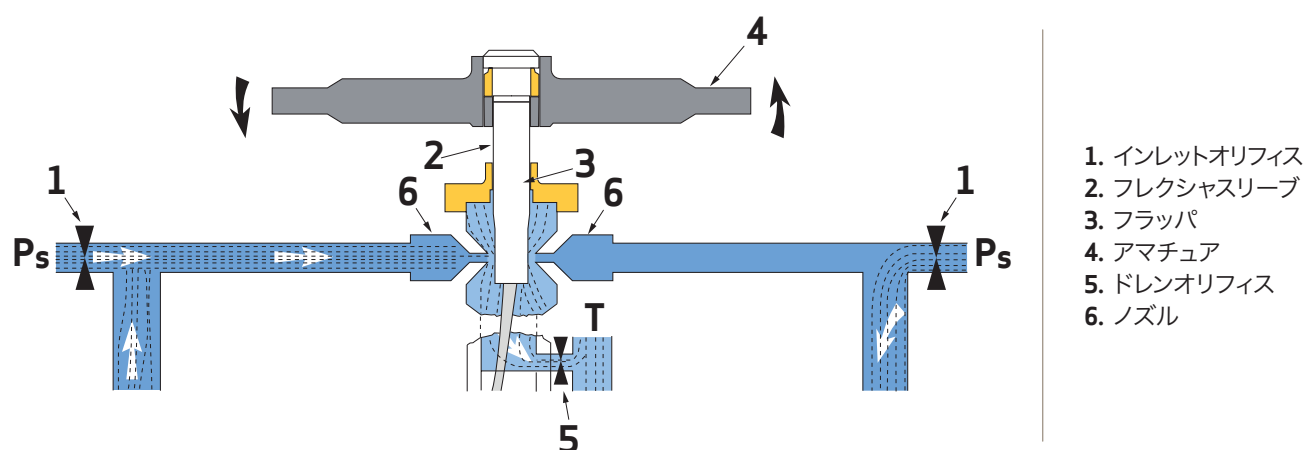
コイルに直流電流を流すと対角線上にあるエアギャップ内の力が強まります。力の大きさは電流に比例します。力の方向は電流の方向によって変わります。

ノズルフラップ式 油圧増幅器

トルクモータのアマチュアはフラップに堅く結合されており、この結合部分は薄肉のフレクシャスリーブで支持されています。このスリーブがトルクモータの中立位置を保つスプリングとして働きます。フレクシャスリーブはまた、バルブの電磁気部分を油圧部分から分離する役目をしています。

ノズルフラップ式増幅器の作動原理を以下に図解します。

ノズルフラップ式増幅器の作動原理

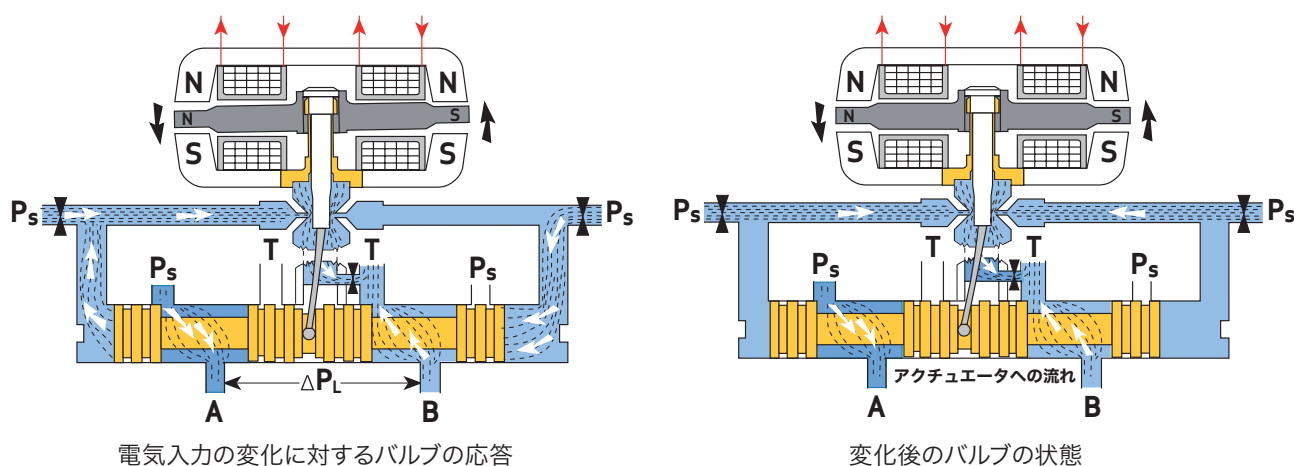


作動油は圧力側 p_s から両側のインレットオリフィスを通して連続的に流入し、対抗する2つのノズルを通してノズルフラップ空間に入ります。ここから作動油はドレンオリフィスを通してタンクに入ります。アマチュアとフラップの回転運動は、各々一方のノズルを通過する作動油のの流れを絞り、スプール両端に圧力差を発生させることから、流れがスプール片端に偏ります。

ノズルフラップパイロット式バルブ (機械フィードバック付き)

機械的な位置フィードバック付き 2 段形バルブのノズルフラップ式増幅器の作動プロセスを下図に示します。この方式のバルブはスプール位置を管理するための閉ループ制御回路を備えており、スプール位置のフィードバックに機械的なフィードバックスプリングを用いることからしばしばメカニカル（機械的）フィードバックバルブ（MFB）と呼ばれます。

ノズルフラップ式増幅器の作動プロセス



フィードバックワイヤの一端はフラップに接続され、他端にはカーバイド製のボールが溶接されています。フィードバックワイヤのボール側の端はスプールの孔に挿入、支持されており、スプールの動作によってフィードバックスプリングがたわみ、アマチュア / フラップアセンブリに力を加わえます。

フラップの動作により差圧が生じてスプールが動き、スプリングから伝わるフィードバック力によってフラップが中立位置に戻り、差圧が減少します。このようにしてスプールのバランスが保たれ、指令信号が変化するまで現在位置が維持されます。

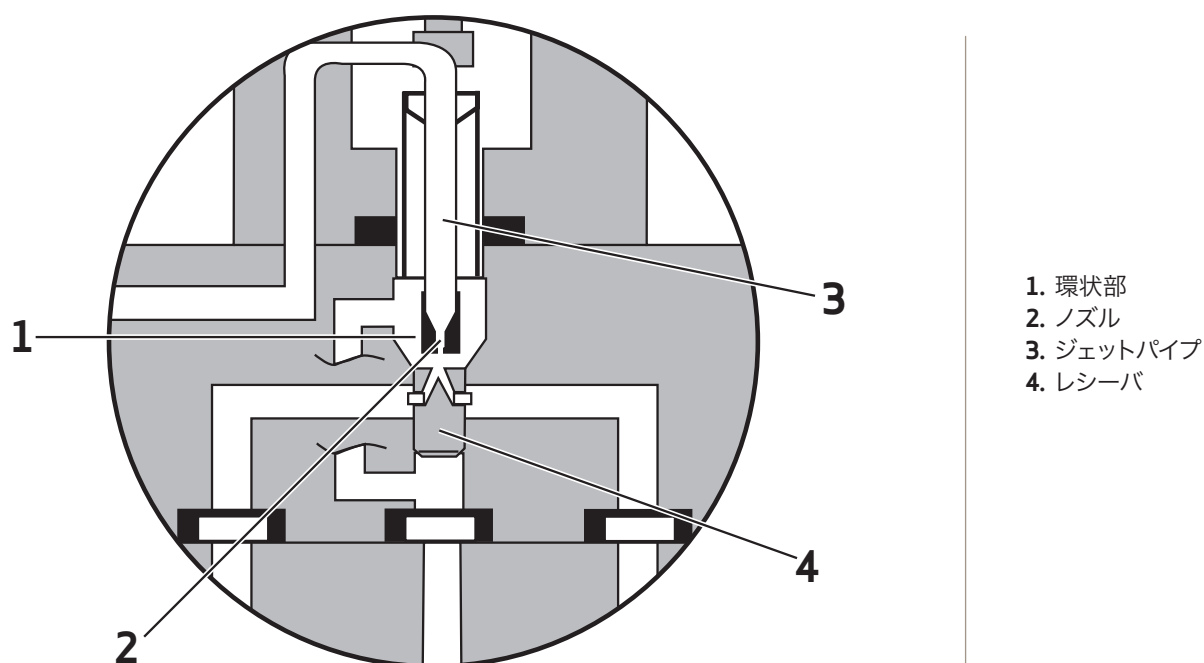
サーボジェット (SERVOJET®) で 作動するバルブ

サーボジェット ServoJet® パイロットのムーグバルブは電気フィードバック (EFB) バルブとしてのみ製造されており、バルブ内部のスプール位置制御ループは電子コントローラと位置トランスデューサにより閉ループ制御されます。内蔵されたアナログまたはマイクロプロセッサベースのエレクトロニクスが、トルクモータのコイルに流れる電流を制御します。

サーボジェット (SERVOJET®) 油圧増幅器

サーボジェット ServoJet® パイロットステージは主に、トルクモータ、ジェットパイプ、レシーバにより構成されています。ジェットパイプはトルクモータに接続され、その運動によってたわみます。サーボジェット ServoJet® のジェットパイプとレシーバを下図に示します。

サーボジェット SERVOJET® の ジェットパイプとレシーバ



トルクモータに流れる電流によってジェットパイプが中立位置から移動し、この移動とノズルの独特な形状との組み合わせによって、作動油の噴流がレシーバの2つの孔の中央からどちらか1方の孔へ向けて移動します。これによってレシーバからスプール端に接続されている2本の流路の間に圧力差が生じ、スプールを駆動する力が発生します。

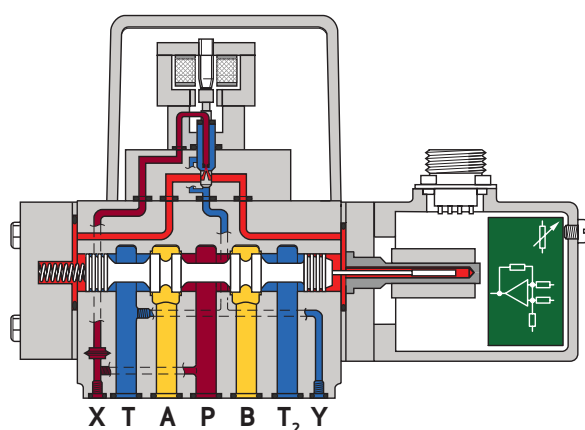
サーボジェット SERVOJET® パイロット式バルブ (電気フィードバック付き)

サーボジェット ServoJet® の 2 つのレシーバ流路はメインスプールの駆動面にそれぞれ接続されています。2 つの面に生じる差圧により力が発生し、スプールが移動します。

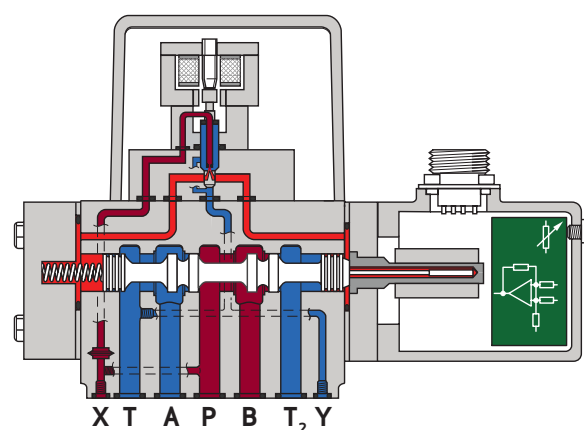
電気指令信号がバルブエレクトロニクスに加えられると、位置トランスデューサから得るスプール現在位置と指定されたスプール位置との比較がエレクトロニクスによって行われます。両者に差があれば、その差に比例した電流がトルクモータに加えられます。これによってジェットパイプがたわみ、スプールが移動します。

スプールが指定された位置に達すると、制御偏差はゼロになり、エレクトロニクスはトルクモータに加える電流を減少させ、ジェットパイプは中立位置へ戻ります。このように連続的に働くスプール位置制御回路によって、スプール位置は外部から加えた指令信号との比例関係を維持します。

サーボジェット SERVOJET® パイロット式バルブ (電氣的フィードバック付き)



D661 バルブ (中立位置の場合)



D661 バルブ (P → B 位置の場合)

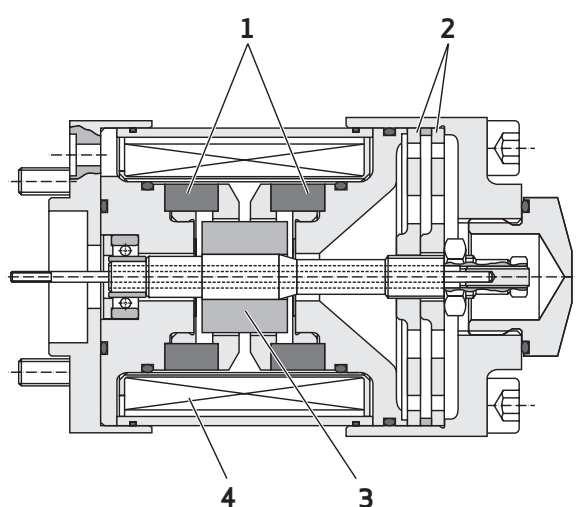
リニアフォースモータで 作動するバルブ

ダイレクトドライブバルブ (DDV) はムーグのリニアフォースモータで駆動されます。これは必要な磁力の一部を永久磁石から得る磁気差動モータの一種です。このモータは中立位置を起点に、いずれの方向にも力を発生し移動できるため、1 方向のみに動作する比例ソレノイドドライブに比べて有利な点があります。リニアモータの力とストロークは印加した電流に比例します。

リニアフォースモータの作動原理

ムーグのリニアフォースモータの主要な作動部品は、高エネルギー希土類磁石 2 個、コイル、アマチュア、センタリングスプリングです。

リニアフォースモータの作動部品



1. 永久磁石
2. センタリングスプリング
3. アマチュア
4. コイル

コイルに電流が流れていないときは、アマチュアは永久磁石とスプリングによって平衡位置に保たれています。電流が流れると、コイルが電磁場を発生するため平衡が崩れ、アマチュアをスプリングに対抗して動かす力が発生します。この電磁場と永久磁石の磁力が重なり合うことから、電磁石のみの場合よりも強い作動力が得られます。このように比例ソレノイドに比べ十分に大きな出力が得られます。

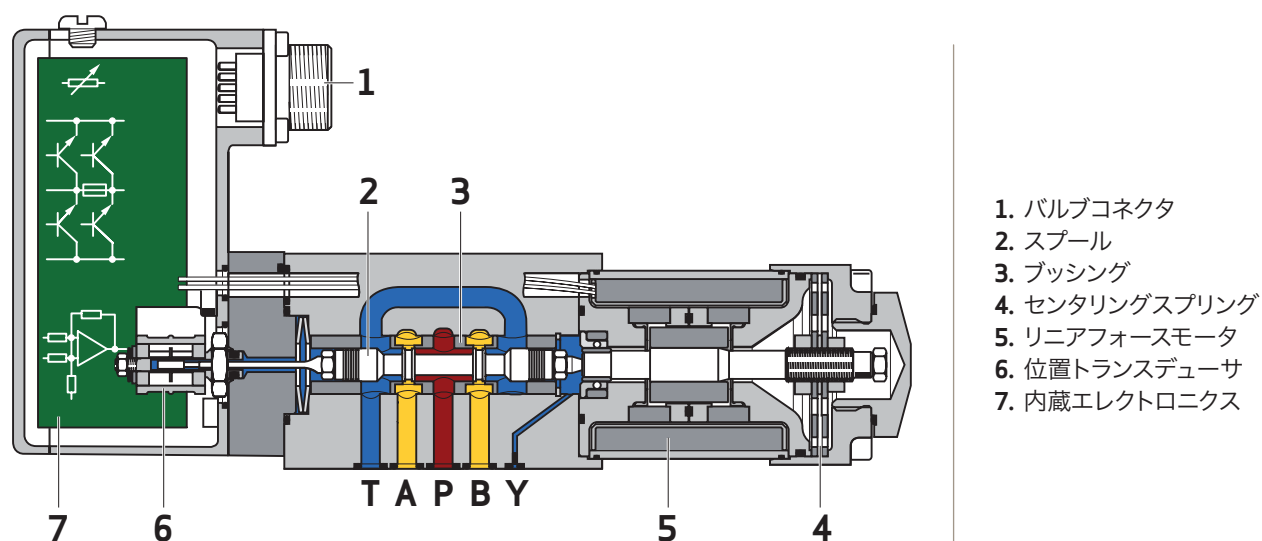
作動力の方向はコイルを流れる電流の方向によって変わります。この電流によってリニアフォースモータが双方向アクチュエータとして働くことが、1 方向アクチュエータである従来のソレノイドとの相違点です。このようにしてリニアフォースモータはスプールを双方向に動かすことができ（プッシュプル動作）、それに伴ってスプリングがスプールを中立位置に戻す働きをします。これはスプールの戻り動作の際に駆動力を増強するものです。このため、リニアフォースモータ駆動のバルブは汚染物質の影響を受けにくくなっています。スプリングで保たれている中立位置からごく僅かの電流で起動できることもリニアフォースモータの利点です。これによってエネルギー損失やアクチュエータの発熱を低減することができます。

これに対して比例ソレノイドは、スプリングの反発力のみによって作動するか、または 1 つのスプールに 2 個の対向するソレノイドを取り付ける必要があります。

ダイレクトドライブバルブ (DDV) (電気フィードバック)

ムーグのダイレクトドライブバルブは、内蔵エレクトロニクスおよび電子的スプール位置制御用の閉ループ回路を備えた電気フィードバックバルブとして通常製造されています。

ムーグダイレクトドライブバルブ



ムーグダイレクトドライブ（直動）式バルブのスプールは、一端がリニアフォースモータに、他端が位置トランスデューサに接続されています。エレクトロニクスに指令信号を加えると制御偏差が生じ、これによりリニアフォースモータのコイルに流すパルス幅変調（PWM）電流が発生します。これによってバルブのスプールが変位します。位置の変化に従って、位置トランスデューサによる制御偏差の測定値も減少し、その結果 PWM 電流も減少して、スプールは指定する位置で停止することになります。

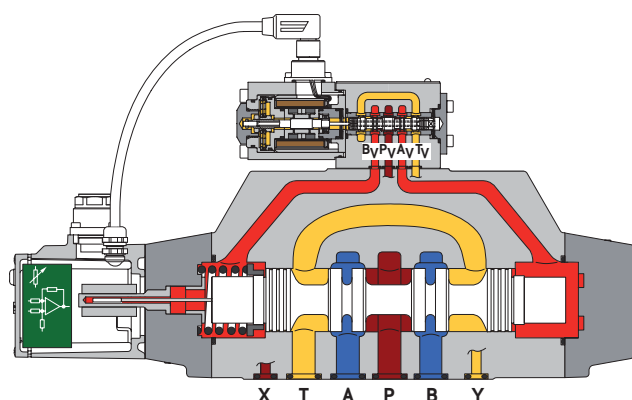
このようにスプール位置は電氣的な指令信号に比例します。

パイロット式バルブ (DDV パイロット)

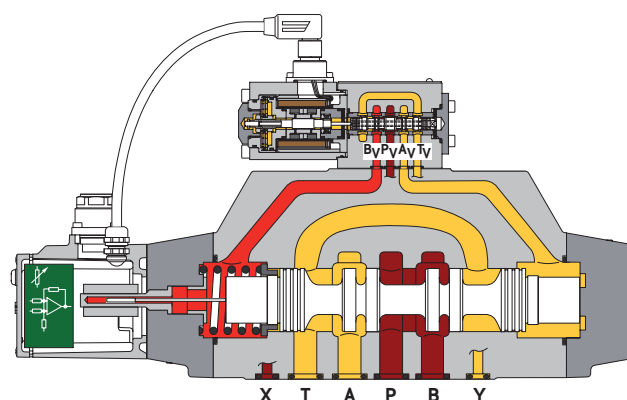
ムーグはパイロット式バルブのパイロットステージにノズルフラップやサーボジェット ServoJet® のほか、ダイレクトドライブバルブを用いたものも製造しています。これらのパイロット式バルブのメインステージはすべて電気フィードバックバルブであり、位置トランスデューサと内蔵エレクトロニクスを搭載しています。

DDV パイロットは、電気フィードバックのない開ループのパイロットバルブの場合と、スプール位置制御ループを持つ閉ループ制御パイロットバルブの場合があります。後者のバルブでは、パイロットバルブ用とメインステージ用の 2 つの位置制御ループがカスケード接続されています。その利点は、動特性がやや向上すること、直列的変動が減少すること、バルブ全体としての汚染物質への耐性が向上することです。

D684 シリーズバルブ (開ループ制御パイロットバルブ)



D684 バルブ (中立位置)



D684 バルブ (開位置 P → B)

エレクトロニクスにより指令信号と現在の位置信号が比較されます。制御偏差に従って、PWM 電流がパイロットバルブに加えられます。パイロットバルブが変位し、メイン段のスプールが移動します。制御偏差がゼロになればパイロットバルブは閉じられ、メイン段スプールは指定する位置に保たれます。



バルブのサイジングと選定

ある用途のために適切なサイズと種類のサーボ弁または比例弁を選定するためには、対象とするシステムの境界条件を認識することが必要です。境界条件とは、シリンダの寸法、ストローク、負荷、要求される速度などのパラメータであり、これらが総合的に適切なバルブサイズを決定します。それ以外にも、適切なバルブの種類を決定するために、可動部の質量、固有振動数、要求される動特性などのシステムパラメータも考慮する必要があります。

この章では、面積の等しいシリンダを希望する速度で動かすために必要な定格流量を計算する方法を簡単な例で説明します。またバルブの動特性とオーバーラップなどに関する一般的なガイドラインを示します。最後に適切な種類のバルブを選択するためのヒントを掲げます。

アプリケーションの要件によっては、適切なバルブを選択し最適のシステムレイアウトを計画することは複雑な作業になることがあります。そのような作業についてはムーグに問い合わせることを推奨します。

必要とする流量の計算

バルブ定格流量への要件は、要求される動作速度、シリンダの駆動面積、および外部負荷の計算を通じて決定します。

注：以下の計算は面積の等しいアクチュエータと 4 ポートのバルブを接続した場合にのみ適用されます。面積が等しくない場合、または廻し回路接続されたアクチュエータの場合には、ピストンおよびロッド側の駆動面積の差異を考慮に入れる必要があります。

負荷条件下でのバルブに必要な流量は次のように計算します。

負荷を受けている状態での バルブに必要な流量

$$Q_L = 0.00006 * A_{Cyl} * v$$

ここに

Q_L = 負荷条件下での体積流量 (L/min)

A_{Cyl} = シリンダ面積 (mm²)

v = 最大動作速度 (mm/s)

バルブに必要な定格流量

$$Q_{Rated} = 1.2 * Q_L * \sqrt{\frac{\Delta p_{Rated}}{P_s - P_L}}$$

ここに

Q_{Rated} = 定格流量 (L/min)

Q_L = 負荷条件下での体積流量 (L/min)

P_s = システム圧力 (MPa)

P_L = 負荷圧力 (MPa)

Δp_{Rated} = 定格弁圧力降下:
比例弁では 1 MPa
サーボ弁では 7 MPa

注記：
上記の式が示す、バルブの定格流量の係数 1.2 は必要な負荷条件下での流量が開度 70 ～ 80% で得られるように選択されたものです。これによって、バルブには 短時間のピーク負荷などの外乱を制御システムが補償するための十分な余裕を持たせることができます。

サーボ弁または比例弁を閉ループで用いる場合に、弁圧力降下の理想値はシステム圧力の 1/3 です。すなわち負荷圧力はシステム圧力の約 2/3 が望ましい値です。弁圧力降下がこれより大きいと無用なエネルギー損失が発生し、弁圧力降下がこれより小さいと制御性を低下させ、必要以上に大きなバルブサイズを求めることになります。

バルブ動特性

パイロット式比例弁のステップ応答時間

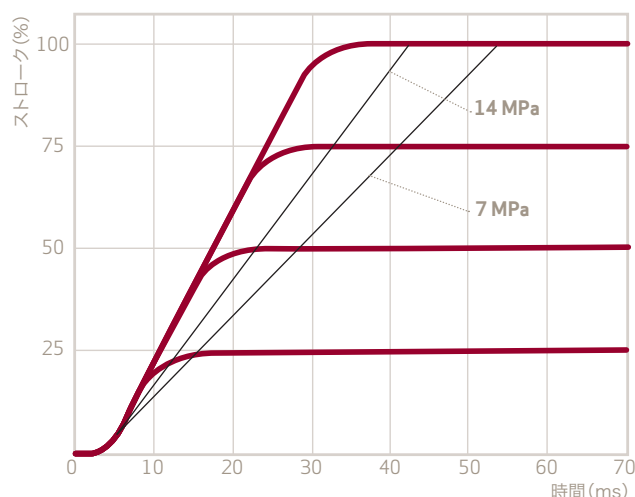


図 1：パイロット式比例弁の作動時間 (21MPa)

パイロット式比例弁の周波数応答

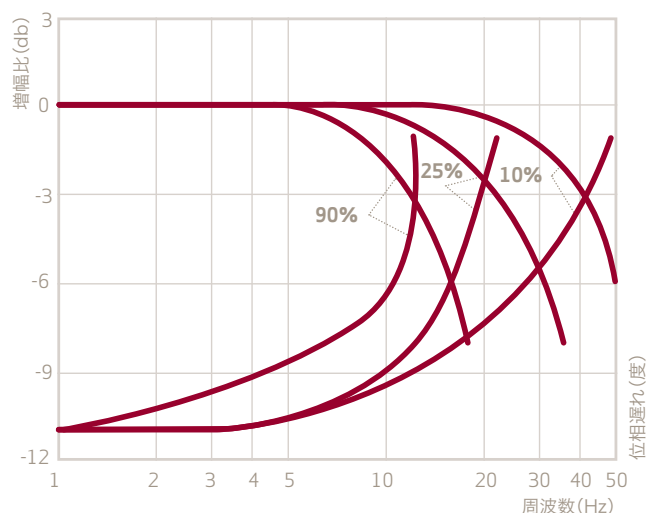


図 2：パイロット式比例弁のボード線図 (21MPa)

バルブの動特性は原理的に、作動応答時間と周波数応答特性によって定義されます。作動応答時間とは、中央位置にあるバルブが指定する目標値（出力流量）に達するまでの時間です。すなわち作動応答時間はアクチュエータの加速・減速時の挙動を規定します。ムーグのバルブのカタログではこれを、いくつかの目標値へのバルブ応答を示す「ステップ応答」（図 1）として定義しています。

システム設計に関わる制御特性として、周波数応答が同じく重要です。バルブでは周波数応答を、周波数変化を伴う正弦波信号でバルブを入力したときの増幅比曲線（dB）と位相曲線（°）で記されたボード線図で表現します。バルブのカタログでは通常、小・中・大の入力振幅に対する周波数応答曲線が示されます。その一例を示す図 2 では 10%、25%、90% の値が示されています。

通常 -3dB および -90°（90°位相遅れ）に対する周波数と減衰性がバルブの動特性を表す値です。-3dB 時の周波数は増幅比曲線が -3dB に達する点、すなわち出力振幅が入力値の約 70% に減衰する点を示します。-90° はバルブのカットオフ周波数であり、すなわちバルブが正弦波入力に対して出力が -90° の位相差で応答する際の周波数です。バルブの減衰性は -90° 点での増幅比の減衰量から計算されます。制御ループの詳細設計には減衰性および固有振動数を知る必要があります。固有振動数も同じく周波数応答のデータから計算されます。

システムの動特性には、バルブの動特性だけでなく、特定の制御方式（位置、速度、または圧力 / 力）、負荷の挙動、固有振動数、配管などの要因も影響します。たとえば負荷の固有振動数が著しく低いときには、制御戦略全体をそれに適合させなければ最適の性能を得ることができません。

システム圧力とパイロット圧力

カタログの数値を参照するときは、動特性が通常システム圧力またはパイロット圧力 21 MPa で測定されていることに注意する必要があります。パイロット式バルブの場合、動特性はパイロット圧力と共に低下します。これに対して、直動式バルブの動特性はシステム圧力の影響をほとんど受けて、弁圧力降下に影響され、弁圧力降下が大きくなると低下します。バルブの動特性は流体力が大きくなると低下します。しかしこの影響は、パイロット式バルブでのパイロット圧力の影響よりもはるかに小さいものです。システム圧力とパイロット圧力に関する更に詳しい情報については、電気油圧システム設計の章を参照してください。

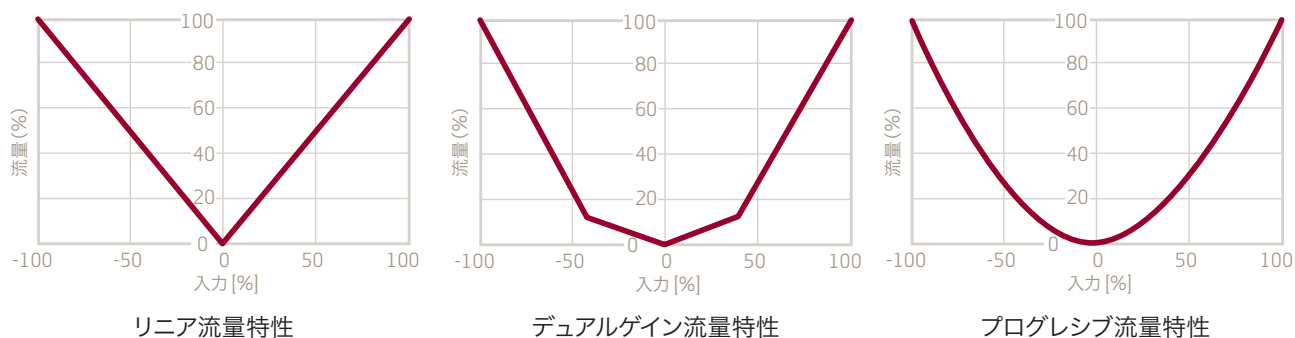
流量特性とオーバーラップ

ムーグは種々の流量特性とオーバーラップを持つサーボ弁と比例弁を提供しています。それぞれに使用できるオプションも各バルブのカタログに記載されています。ご要望に応じてその他のオプションも提供できます。

流量特性

バルブの最も一般的な流量特性は下図に示す（左から右へ）、リニア、デュアルゲイン、プログレシブの3種類の流量対入力信号曲線で表されます。その他にも、流量を差動シリンダの面積比に適合させた流量曲線などのオプションがあります。たとえば A:B = 2:1 であり、その他にも特定のアプリケーションに適合させた流量特性があります。

サーボ弁および比例弁の 各種流量対入力信号特性曲線

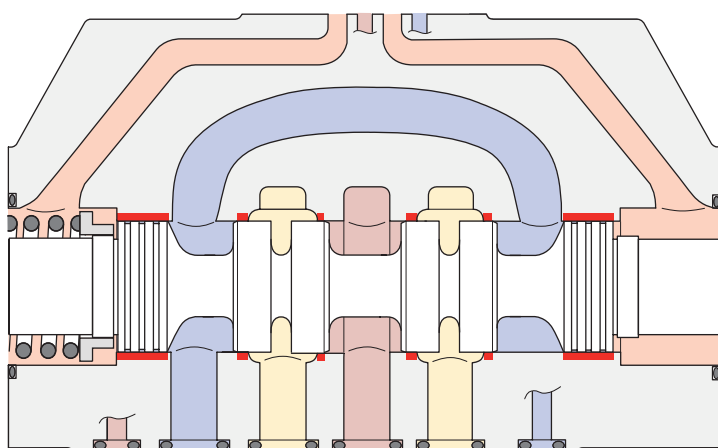


一般に、リニア流量特性曲線を持つバルブは、線形性コントローラと適合させやすく、制御ループへの組み込みが比較的容易です。しかしバルブに複数の機能、たとえば速度と力の制御を担わせる場合には、目的相互間に矛盾が生じる可能性があります。簡単に言えば、速度制御のためには大流量（大型のバルブ）が必要であるのに対して、力の制御には小さい流量ゲイン（小型のバルブ）が求められます。1つのバルブで両用途を兼ねる場合、一つの妥協としてプログレシブまたはデュアルゲイン流量特性曲線を持つ大型バルブを使用することが考えられます。高速度を制御するときはバルブの開度を大きくし、高い流量ゲインを利用することで十分に高い速度を達成できます。反対に力の制御では流量ゲインの低いゼロ付近の範囲を用い、小型バルブと同様の分解能と高精度の制御性を実現することができます。

オーバーラップ

バルブ中立位置での個々のポートの間のシールは、スプールとバルブ本体またはブッシングとの間の環状隙間により形成されます。この隙間の高さはスプールとバルブ本体とのクリアランスで決まり、隙間の長さはスプールのいわゆるオーバーラップで決まります。加えられた圧力によりますが、少量の作動油（内部漏洩量）がこの隙間を常に流れています。

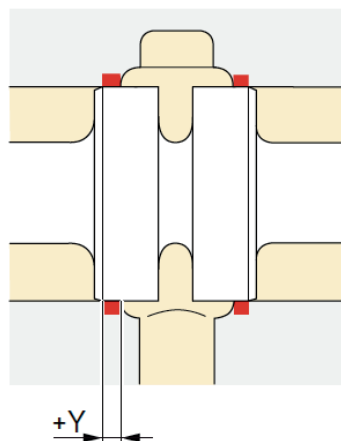
スプールと摺動面間の隙間シールによる ポートのシール



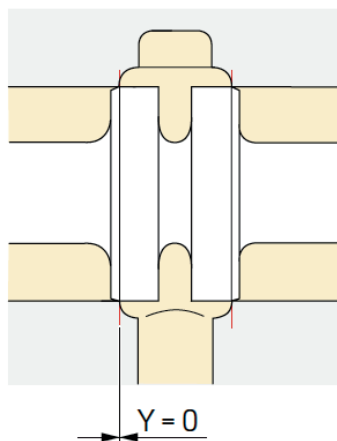
制御エッジが開いて流量出力が可能となるスプールが到達すべき位置をバルブのオーバーラップと呼びます。オーバーラップは通常公称ストロークに対する百分率で示されます。オーバーラップには、正のオーバーラップ、ナルカット（= ゼロオーバーラップ）、アンダーラップ（負のオーバーラップ）の3種類があります。

正のオーバーラップでは、バルブ本体内の環状の溝を閉じるスプール表面が溝自体よりも幅広く作られています。したがって制御エッジが開くまでスプールは一定距離を移動しなければなりません。ナルカットの場合は、スプール面とバルブ本体または制御ブッシングの環状溝の幅が等しくなっています。アンダーラップでは、スプール面は環状溝より幅が狭く、そのためポートが完全に閉じることはありません。

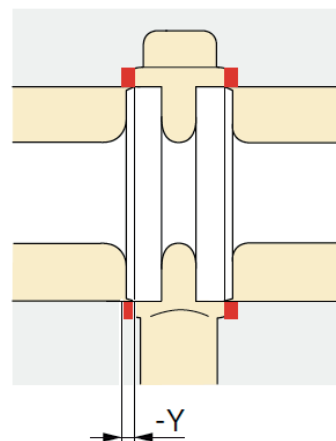
正のオーバーラップ



ナルカット



アンダーラップ



一般的に次のことが言えます。オーバーラップが大きいほど、内部漏洩量が小さく、バルブが中央位置にあるときのエネルギー損失が少なくなります。したがってエネルギー効率の点では最大のオーバーラップが望ましいこととなりますが、実際には機能上の理由で小さいオーバーラップが採用されます。

オーバーラップ使用時の追加情報

内部漏洩量を小さくして、低いクリープ速度でアクチュエータを安全に保持するために、10% から 20% の大きな正のオーバーラップを主に用います。しかしその場合はアクチュエータが動き出すまでにスプールがオーバーラップ分を移動しなければならないので、動特性や位置決め精度の点では不利になります。

3 ~ 5% の小さな正のオーバーラップの場合は性能を損なうことがあります。たとえば位置決め精度に影響が出る可能性があります。ナルカットやアンダーラップに比べればエネルギー効率は良好です。そのため、このようなオーバーラップが多くの用途に利用されています。ナルカットは位置決めのためには理想的です。これは高い圧力ゲインによってダイナミックで正確な位置決めが可能になるためです。

-3% ~ 0% の小さいアンダーラップは圧力や力の制御の用途には適していますが、エネルギー効率の点では不利です。そのため、こうした用途にも僅かに正のオーバーラップのスプールが採用されています。

ムーグではアクチュエータを開放する使い方として、-5% ~ -15% の大きな負のオーバーラップ（アンダーラップ）を推奨しています。通常はタンクポートに接続されている制御エッジ（A-T、B-T）のみをアンダーラップにして、圧力側の接続（P-A、P-B）には正のオーバーラップを与えています。

バルブ種類の選定

ムーグは様々な種類のサーボ弁および比例弁を提供しています。この章ではバルブの種類と用途の適合性についていくつかのヒントを述べます。

直動式かパイロット式か

直動式バルブは同等のパイロット式バルブに比べて、パイロットの作動油を必要とせず構造が単純である分、エネルギー効率が高く低価格です。アクチュエータの駆動力がパイロット圧力に影響されないので、操作圧力の変動する用途に最適です。一方、直動式バルブはコントロールスプール自体がリニアフォースモータで直接駆動されるため、パイロット式バルブに比べて、駆動力は低くなります。このため直動式バルブは、公称サイズ 10 (NG10、ISO 4401 サイズ 05) までの低流量にしか用いられません。

大流量や高い弁圧力降下が予想される場合、特にシングルエッジ動作の場合や直動式バルブの動特性では不十分な場合には、パイロット式バルブの使用が望ましいといえます。ムーグはサイズ 16 (NG16、ISO 4401 サイズ 07) 以上についてはパイロット式バルブのみを提供しています。

サーボ弁か比例弁か

サーボ弁と比例弁のどちらを使用するかは、アプリケーション固有の要求条件によって決まります。

サーボ弁はオーバーラップの公差が狭く、コントロールスプールとブッシングの間のクリアランスが小さいため、機差のばらつきが少なく良好な再現性が得られます。圧利ゲインが高く、応答性を必要とする精密な位置決めに適しています。また高硬度の制御ブッシングにより摩耗が小さく、バルブは長寿命となります。

上記のような事柄を考慮する場合には、比例弁よりもサーボ弁の方が適しています。しかし同サイズで比較したとき、比例弁の方が定格流量が大きく、高硬度の制御ブッシングを使用しないため価格も安くなります。

EFB バルブか MFB バルブか

MFB バルブは通常ノズルフラップ式のパイロット制御機構を持ち、内蔵エレクトロニクスを搭載しない堅牢で単純なサーボ弁です。このため高温環境や強い振動があるなどの苛酷な条件での使用に適しています。また取付スペースも小さくて済みます。しかし位置フィードバックが機械式であるため、ヒステリシスやスレッシュホールドは EFB バルブより大きくなります。

製品開発を続けた結果、MFB バルブのフィードバックワイヤとコントロールスプールの間にあるボールへの摩耗発生は取り除かれています。現在ではムーグは、スロットに代えてスプールの孔に収める方式でカーバイト製ボールを使用しています。

MFB バルブは機械式の位置フィードバックであるため、停電の場合でも常に閉ループ制御状態を維持します。したがって中立位置、またはバイアスを掛けた位置に留まります。

EFB バルブは電気的な位置フィードバックと、位置制御用の内蔵エレクトロニクスを備えています。ムーグのエレクトロニクスシステムは堅牢で、エラストマ製マウントでバルブ本体と絶縁されているものもあり、振動に対して高い耐性を持っています。ただし周囲温度や作動油温度の許容値は MFB バルブよりも低くなります。

しかし EFB バルブは MFB バルブよりもヒステリシスとスレッシュホールドが大幅に小さく、また制御スプール位置のフィードバック信号により連続的な監視が可能です。またデジタルエレクトロニクスを用いれば、フィールドバスとの統合、圧力制御、軸制御など多くの機能の付加が容易になり、かつ詳細なエラー監視が可能になります。

どのパイロット方式を選ぶか

ムーグはパイロット式バルブのパイロット方式として、ノズルフラップ式増幅器、ServoJet® ジェットパイプ式増幅器、リニアモータ駆動の DDV パイロットバルブの 3 種を提供しています。

ノズルフラップ式増幅器は動的性能と動作の安定性の点で優れています。しかし設計上、一定量のパイロット流量が必要であり、パイロットバルブが中立位置にあるときも作動油は消費されます。ノズル径が小さいため、運転中の作動油清浄度への要求も高くなります。もし汚染物質により内蔵フィルタ (60 μm) が汚染されると、制御圧力の低下を引き起します。作動に必要な電力は極めて少なく、このためノズルフラップ式増幅器を用いた MFB バルブは危険区域向けの本質安全防爆を備えた形式で多く使用されています。

サーボジェット ServoJet® ジェットパイプ式増幅器は極めて堅牢で、優れた動特性を示しますが、やはり作動油流量を常に必要とするため消費量は多くなります。サーボジェット ServoJet's® のノズル径はノズルフラップ式増幅器の場合より大きく、作動油中の汚染物質の影響をあまり受けません。すなわち作動油がかなり汚染されていても動作の信頼性は保たれます。汚染物質の侵入は 200 μm の内蔵制御フィルタにより保護されています。汚染が著しいときはフィルタが目詰まりすることがあります。

リニアモータ駆動のパイロットバルブは、優れた動特性を持ち、パイロット段としても高い流量を有します。このためメイン段スプール部の制御容積が大きい場合でもメイン段の制御時間が短くなります。内部漏洩量はノズルフラップやジェットパイプ式増幅器の場合よりかなり小さく、スタンバイモードでの制御用作動油消費は少なくて済みます。しかしコントロールブッシングとスプールの間のクリアランスが小さいため、細かな汚染物質に対してはノズルフラップまたはジェットパイプ増幅器よりも敏感です。DDV パイロットバルブの圧力ゲインは他に比べて高く、パイロット圧力が低い、または変動するような用途には最適です。



電気油圧システムの一般的な構成

システム計画時に重要なガイドラインの概要です。

電気油圧システムを組む際には、多数のシステムコンポーネントとその特性を考慮しなければなりません。以下では、システム開発において考慮すべき重要なガイドラインを紹介します。

電気油圧システムの一般的な構成

特に重要なのは、高い応答性が求められるアプリケーションには定圧システムを使用することです。ポンプによる圧力の脈動や可変容量ポンプによる流量の変動を補償するため、アキュムレータを使用することが推奨されます。

油圧供給源

高い応答性が求められるシステムにパイロット式バルブを使用するときは、パイロットバルブへの圧油を外部から供給する必要があります。バルブの急速な動きによって生ずるパイロット流量変動を補償するために外部パイロット Px ラインにアキュムレータを追加することが有効です。

ムーグのバルブカタログに記載されている、各バルブのパイロット必要流量を参照してください。

可能ならば、配管エアが混入することやキャビテーションの発生を避けるため、戻りラインを 0.2 ～ 0.5 MPa の圧力となるようにしてください。

1 つのポンプで複数の重要なシステムに作動油を供給するときは、相互影響を避けるため、チェックバルブとアキュムレータを用いて各システムを分離してください。

制御精度を長期間にわたって高く保つことが重要である場合は、作動油温度を制御する必要があります。

圧力リリーフ弁を適切に調節して、通常の運転時には開かないようにします。リリーフ弁からの作動油流出はエネルギーの浪費となります。

システム圧力とパイロット圧力

ノズルフラップ式または サーボジェット ServoJet® 式パイロットバルブは、一定のシステム圧力またはパイロット圧力で作動するように設計されており、一定量のパイロット流量を必要とします。ムーグのバルブのカタログには必要な流量が示されており、供給源の流量を定める際にはこれを考慮する必要があります。

直動式バルブの動作性能はシステム圧力とはほぼ無関係です。したがって直動式バルブは圧力が変動するシステムでの使用に適しています。

DDV パイロットで作動するパイロット式バルブも、パイロット圧力が変動する、または低い場合に好適です。しかしその動特性がパイロット圧力に影響されることに注意が必要です。更に、この形式のバルブを動的に作動させる場合、パイロット圧油の供給量に大きな変動が生ずる可能性があります。パイロット供給流量を定める際には、これを考慮しなければなりません。

必要最小な供給圧力はバルブの種類によって異なります。直動式バルブは圧力 0 Mpa でも作動しますが、パイロット式バルブは一定の最小供給圧力またはパイロット圧力がないと作動しません。その値については製品個々のカタログを参照してください。

供給圧力またはパイロット圧力の最大値もバルブの種類およびパイロットバルブによって異なりますが、通常 21 ～ 35 MPa の範囲です。

パイロット供給ライン Px (カタログに示されたオプションとして選択可能) を用いるバルブでは、バルブ動作の信頼性を確保するために、パイロット圧力と供給圧力との比率を考慮する必要があります。システム圧力に対してパイロット圧力が低すぎると、流量または圧力降下が大きいときにスプールの動作の信頼性を失う場合があります。

作動油

作動油の必要量はバルブの種類によって異なります。以下に一般的なガイドラインを示します。

作動油の種類：ムーグバルブの大部分については、DIN 51524 パート 1 ～ 3 および ISO 11158 規格で推奨されている作動油の使用が最適です。これらに収載されていない作動油を使用するときは、バルブに使用されている材料（特にシール材）との不適合を避けるため、弊社までご連絡ください。

作動油の粘度：個々のバルブのカタログに、バルブが仕様どおりの機能を発揮できる作動油の粘度範囲が記載されています。この範囲を外れる粘度、あるいは範囲内であっても許容最大値付近の粘度では、バルブの性能に影響が出る可能性があります。

作動油の清浄度：ムーグバルブのカタログでは通常、作動油の清浄度について 2 つの推奨値を挙げています。1 つは通常動作時にバルブ動作の信頼性を確保するための値、もう 1 つは寿命優先時の値です。バルブを可能な限り長期間にわたって作動させるためには、後者の値を推奨します。

フィルタの使用

フィルタの使用に関するムーグの考え方は概略以下のとおりです。

サーボ弁または比例弁の上流側に必ずバイパスのない 絶対濾過度 10 ～ 15 μm の高圧フィルタを使用してください。フィルタはアキュムレータの上流側に取り付けます。フィルタには決して逆流を通さないでください。逆流を確実に防ぐため、フィルタとアキュムレータの間にチェック弁を設置してください。外部パイロット供給ライン(X ポート)を用いるパイロット式バルブでは、上記とは別にパイロット供給ライン専用の高圧フィルタを使用してください。

必要に応じて、戻りラインに 3 μm の低圧フィルタを使用してください。

オフラインの濾過ループには 3 ～ 5 μm の低圧フィルタを使用してください。個別に濾過（および冷却）ループを用いることは、作動油品質を一定に保つのに有効です。このループではリザーバ容積分の量を 1 時間に約 5 回循環させます。このようなシステムレイアウトを用いることで下記が達成できます。

供給ラインの高圧フィルタはシステム内の機器を保護します。作動油浄化効果の主な部分はオフラインフィルタで実現されるため、その場合は高圧フィルタのメッシュを粗いサイズにすることができます。戻りラインのフィルタはリザーバに戻ってくる作動油すべてを浄化し、システムからの汚染物質がタンクに到達するのを防止します。

オフラインフィルタは作動油の全容量を絶えず濾過する事により、常に高品質の作動油が確実に供給されるようにしています。この独立した回路には流量または圧力の変動が発生しないので、安価な低圧フィルタエレメントが使用できます。

その他の推奨事項：

オイルリザーバにはエアブリーザフィルタを装着してください。特にタンク内の流量レベルが運転中に変動する場合には必須です。このフィルタは周辺雰囲気中の空気中の汚染物質粒子がタンク内に吸い込まれて作動油を汚染することを防止します。

常に汚染インジケータまたは圧力スイッチ付のフィルタを使用して、フィルタが目詰まりする前にフィルタエレメントを交換できるようにしてください。

新しいオイルは輸送・梱包の過程で汚染されているものと考えする必要があります。初回運転時には安価な低圧フィルタエレメントを使用してシステムのフラッシングを行ってください。

ムーグはシステムのフラッシングには以下の手順を推奨します。

機械装置製造元の指示に従ってシステムの十分なフラッシングを行います。

最良の結果を得るため、作動油温度を作動温度またはそれ以上とします。

フラッシング中の流量は少なくとも機械・装置の作動時と等しくすることが必要です。可能ならばそれ以上の流量を用いることで良好な結果が得られます。

フラッシング中はオンライン粒子カウンタなどを用いてオイルの清浄度を監視し、推奨される清浄度（上記参照）が達成されるまでフラッシングを継続します。

最小フラッシング時間は次式で計算されます。

$$t [h] = 5/60 * V / Q$$

ここに

t (h) = フラッシング時間

V (L) = タンク容量

Q (L/min) = フラッシング中のポンプ流量

サーボ弁と比例弁の設置

この形式のバルブは、閉じ込め作動油容量をなるべく少なくするため、できるだけアクチュエータの近くに設置してください。作動油は圧縮性があるため、配管がローパスフィルタまたは減衰器のような作用をし、システムの動特性を制約することになります。サーボ弁または比例弁をシリンダに直付けできれば理想的です。

バルブとアクチュエータをフレキシブルな配管で接続するとシステム剛性が大きく低下するので、原則として避けてください。

供給ラインまたは戻りラインに長いフレキシブルな配管を使用するときは、配管またはホースのローパス効果を補償するため P ラインおよび T ラインのバルブ付近にアキュムレータを設けることが有効です。

ムーグのサーボ弁および比例弁は、どのような向きにでも設置できます。リニアフォースモータ駆動の直動式バルブ、またはリニアフォースモータ駆動のパイロットを持つパイロット式バルブを使用するときは、バルブが油圧システムの中で最も高い位置に来ないようにしてください。これが避けられない場合には、リニアフォースモータ（システム構成により T ポートまたは Y ポート）に接続されている戻りラインに、チェックバルブを用いて予め 0.2 ～ 0.5 MPa の圧力となるようにしてください。これによってリニアフォースモータの作動油喪失が防止できます。

フィードバックトランスデューサ

フィードバックトランスデューサはループを閉じるものであり、その特性は根本的に重要であり、以下に特記します。

- 直線性、および直線性を示す範囲
- 分解能およびヒステリシス
- 温度または時間によるドリフト
- 周波数応答：システム中の最も遅い要素より 3 ～ 10 倍速いことが必要
- デジタルエレクトロニクスとフィールドバスインタフェースを持つバルブを使用しているときは、各種のデジタルまたはアナログセンサをバルブに直接接続し、センサの信号をバルブからフィールドバス経由で配信することができます。
- トランスデューサをアクチュエータの出力側に配置すれば、スプリング・質量系や遊びを排除することにより制御上の問題の多くを回避できる可能性があります。しかしこれによって制御が必要な点における精度が保証されるものではありません。

PLC/ モーション軸制御

制御用エレクトロニクスの動特性はサーボ弁その他の油圧機器・機械部品よりも良好なことが多く、そのため多くの場合無視されています。

しかし一方ではデジタルシステムには必要な動特性に欠けるものもあります。このことが問題となる場合には下記を確認してください。

- i. PLC のアップデート速度がバルブの 90°位相遅れ周波数の約 10 倍あること。
- ii. バルブに指令信号を送る D/A コンバータのアップデート速度がバルブより速いこと。コンバータはバルブの 90°位相遅れ周波数よりも通常 20 倍以上、できれば 100 倍速いことが必要です。
- iii. 12 ビット以上の D/A コンバータを使用してください。これより低いものはバルブの分解能に悪影響を及ぼします。
- iv. 今日使われている高度な制御ユニットの多くでは、複雑な制御構成の採用が可能となっています。しかし位置制御ループの 90% は、セットアップも運転中のトラブルシューティングも容易な比例 (P) 制御コントローラで処理できることに注意してください。

軸コントローラは電動モータ制御装置やその他の強い電磁場を発生するコンポーネントに近づけることを避け、必要に応じてシールドを考慮してください。

バルブとフィードバックトランスデューサとの接続には、干渉を最小限にするため、シールド付きツイストペアケーブルを使用してください。接地ループを避けるため、シャーシ側のみを接地するようにしてください。EFB バルブの接地とシールドの詳細については、ムーグノート TN353 を参照してください。



日常的な 保守作業

ムーグの各種バルブの効果的な保守および修理のための推奨ガイドラインです。

日常的な保守作業

システムへの作業

一般に、油圧部品や油圧回路は、通常の運転中に手を加えたりすることは厳禁です。

特にサーボ弁や比例弁は、トラブルシューティングによって故障箇所と特定されない限り、取り外してはなりません。

システムへの作業が必要な場合（たとえば配管、ホース、バルブ、アクチュエータなどの交換のため）、サブプレート取付のバルブをすべて取り外し、代わりにフラッシングプレートを取り付けます。続いて新システムのスタートアップ手順を実行します。

バルブの取外しと交換

バルブを取り外す必要があるときは、ゴミの出ない素材のワイパなどでサブプレートの周辺を入念に清掃した後に、バルブを表面から持ち上げます。

バルブ機能が重要視されている場合には、予備のサーボ弁または比例弁を常備してください。取り外したバルブの代わりに予備のバルブを取り付け、予備バルブの SHIPPING プレートを取り外したバルブに取り付けて、修理のためにムーグへ返送してください。清浄度を最高に保たないと、新しく取り付けたバルブが取付直後に故障を発生することがあります。

バルブの保管に関するその他の推奨事項については、テクニカルノート TN516「バルブ、スペアパーツ、アクセサリの保管に関する推奨事項」を参照してください。

予備バルブがないときは、バルブの取付け面を清浄な樹脂シートで覆って汚染を防ぎ、取り外したバルブを修理のためムーグに返送してください。

バルブの中立点（ゼロ点、ナル）調整

ムーグのバルブの大部分には中立点調整ピン、ポテンショメータ、または機械式の中立点アジャスタが付属しています。デジタルエレクトロニクス内蔵のバルブ以外では、作動現場環境でこれ以外の調整を行うことはできません。

中立点調整はバルブの製造中に行われており、多くの場合現場で変更する必要はありません。

バルブが著しい中立点ドリフトを示したときは、作動油汚染が生じている可能性があります。

MFB バルブの中立点調整を行うときは、バルブコネクタを外すことを推奨します。

ナルカットのスプールでは、温度変化やバルブの経年劣化によって中立点が僅かにドリフトすることがあります。1 ～ 2% のドリフトは許容範囲であり、閉ループコントロールによる修正が可能です。

バルブの中立点調整に関する取扱い方法は各バルブのデータシートに記載されています。

現場修理に関する警告

トルクモータおよびリニアフォースモータは製造工場で作られた精密機器であり、適合する部品を使用し、高性能なスプール駆動のために個々に調整されています。取外し、分解、交換は厳禁です。これらは恒久的で費用が高額となる損傷の原因となります。

現場での調整も不可能です。これはバルブのフェイルセーフ動作に悪影響を及ぼし、故障の場合には制御する軸に危険な動作を生ずるおそれがあります。

同様に、メイン段のスプールを取り外すことも禁止です。

すべての場合におきまして、バルブは修理のためムーグに返送してください。

ムーグの修理方針

ムーグはバルブの部分的修理を行いません。常に当初の仕様を回復することが弊社の方針です。デジタルエレクトロニクス内蔵バルブの場合も同様で、ユーザ設定のパラメータは出荷時設定にリセットされます。この場合はムーグのバルブおよびポンプ設定ソフトウェアと共に、パラメータをログファイルに保存しておくことを推奨します。詳細についてはムーグにお問い合わせください。または当該ユーザマニュアルを参照してください。

作動油清浄度に関する考慮

サーボ弁は精密機器であり、最高レベルの作動油清浄度を要求します。サーボ弁または比例弁に関しては、フィルタの使用について下記 2 ケ条を考慮することが必要です。

粒子による汚染：油圧駆動のパイロット式サーボ弁または比例弁は、「ラストチャンス」と呼ばれるパイロットスクリーンフィルタを内蔵しています。このフィルタは故障原因となり得る危険な大型粒子（たとえば 40 μm 以上）の捕捉を目的としています。これより小さい粒子は目詰まり防止のため通過させられますが、適切なシステムフィルタによってそれらの粒子も減らさなければなりません。パイロットスクリーンフィルタではこの役目を果たすことができないので、細かな粒子まで除去するシステムフィルタが極めて重要となります。フィルタの使用に関する詳細については、「電気油圧システムの一般的構成」の章を参照してください。

シルト（微細粒子）による汚染：シルトによる汚染の可能性が高い特定の極端でまれな状況下では、シルトによってブッシング内でメインスプールが固着するおそれがあります。しかしミクロン級、更にはサブミクロン級の微粒子もバルブのスレッシュホールドを増大させ、あるいはスプールの制御エッジを摩耗させる可能性があります。そこで、システムでのフィルタ使用を計画する際にはこのような点も考慮しなければなりません。

DDV パイロットバルブは 2 段式パイロットバルブよりも駆動力が小さいため、シルトの影響により敏感であることに注意してください。

汚染防止

汚染物質は様々な所から作動油に入り込みます。

精油所から出荷される新しい作動油は空のバレルの底に溜まっていた残渣をかなりの量含んでおり、100 μm 級の粒子も珍しくありません。

汚れた漏斗の使用やその他の清潔に保たれていない充填工程からも汚染物が入ります。これを避けるため、ムーグでは 3 μm の低圧フィルタの上流側に給油ポンプを設けることを推奨しています。疑わしい場合にはバルブを取り外し、フラッシングブロックを挿入してシステムのフラッシングを行った後、バルブを再度取り付けてください。

多くの工場では油圧動力源付近の空気中に細かな粉塵が多く含まれ、それが腐食性である場合もあります。リザーバに出入りする空気の流量が大きいときは、ムーグは3 µm のエアブリーザフィルタの使用を推奨します。

空気中の汚染物質は油圧シリンダのロッド側にも集まり、ロッドのワイパ効率によって様々な程度で汚染物質がシリンダ内に引き込まれます。これらの大部分は3 µm の低圧フィルタで捕集できます。

ゴムホース、ポンプ、テフロンテープ、バルブの摩耗による金属性シルト粒子なども作動油を汚染します。

ムーグは3ヶ月ごとの定期的な作動油分析を推奨します。

レーザ粒子カウンタによる微粒子検査のほか、システム内で連続的な水分監視装置が設置されていない場合は水含有量の分析も行います。

少なくとも年1回は、より精密なパッチカウント法による作動油チェックを行ってください。

オンライン粒子カウンタなどの予防的メンテナンスを行いシステムを監視してください。

作動油交換の計画

作動油交換の頻度は、フィルタの濾過性能が高いか、油温が妥当な範囲に維持されていたか、結露が少ないか、作動油自体が劣化していないか、などの要因に左右されます。

点検窓で作動油の色を頻繁にチェックすることで、作動油の質について大雑把な目安が得られます。

作動油交換には定まった規則があるわけではなく、作動油が透明で機械の正常な運転条件が維持されているならば、交換の必要はありません。油圧系の作動油はエンジンオイルと異なり、絶えず化学的汚染を被るということはありません。

作動油交換が予定されている日にフィルタに汚染の兆候がなければ、フィルタはそのまま1～2日使い続けてから交換します。

油圧源がバルブのみを供給先としているときは、作動油交換が必要になるまでに数年が経過することもあります。1つの大型油圧源がバルブも他の機能もサポートしている場合には、より高頻度の交換が必要になることもあります。

トラブルシューティング用機器

閉ループシステムで不良なコンポーネントを特定し遮断するトラブルシューティングは面倒な作業です。バルブを試験する最も簡単な方法はムーグのバルブテストを使用することです。

注意：トラブルシューティング中に手作業で指令信号をバルブに送るときは、アクチュエータの想定外の動きによって人や機械に危害が及ぶことがないように注意してください。

ムーグは機械的・電気的両方のフィードバック付きバルブ用として各種のバルブテストを製造しています。これについての詳細は www.moog.com でご覧ください。

ムーグのテストでは、指令信号を独立した発生器から手動で送信してバルブを動かすことができます。テストを用いてサーボアクチュエータのストロークの範囲内での位置決めや移動ができ、指令信号と移動速度との比例性を見ることができます。更にEFBバルブの位置フィードバック信号がテストに表示されます。

デジタルエレクトロニクス内蔵のバルブの調整と監視は、ムーグのバルブおよびポンプ設定ソフトウェアで行うことができます。このソフトウェアは弊社ウェブサイトから無料でダウンロードできます。www.moogsoftwaredownload.com

このソフトウェアを使用するときは、試運転用ケーブル TD3999-137、USB と CAN のアダプタ C43094-001、M12x1 と M8x1 のアダプタ CA 40934-001 が必要です。

更に詳細な情報についてはムーグまでお問い合わせください。あるいは該当するマニュアルまたは上記リンクを参照してください。

ムーグについて

Moog Inc. は精密制御用コンポーネントおよびシステムの設計・製造・インテグレーションを行う世界的企業です。ムーグのインダストリアルグループは、エネルギー・発電関連機械、産業用生産機械、シミュレーションおよび試験装置にわたる広範な用途に向けて、電気・油圧およびハイブリッドテクノロジーと専門家によるコンサルティング・サポートとの組み合わせによる高性能のモーションコントロール用ソリューションを設計製造しています。弊社はパフォーマンス指向の企業の次世代機の研究開発を支援しています。

ムーグは世界 40 ヶ国に事業拠点を展開しています。この大きなネットワークにより、弊社の技術者は機械メーカーのニーズに寄り添い、お客様の困難な問題に対してもフレキシブルな設計によるソリューションや専門技術を提供することができます。

弊社の専門技術者はモーションコントロールシステムの設計に際して機械メーカーや各分野の技術者と密接に協力し、生産性・信頼性の向上、優れた接続性、保守費用の低減、作業効率の改善を実現しています。ムーグはその地理的な広がり、産業に関する知見、デザインの柔軟性を生かして、使用環境に適合したモーションコントロールソリューションを実現し、各地の規制や規格に適合しつつ機器の性能を一段高いレベルに引き上げることができます。

製品

ムーグのすべてのソリューションの核心は、高い精度・性能・信頼性を実現した一連の製品です。ムーグの製品は 60 年以上にわたって、特に重要な機械のために指定されています。

その中には特異な動作環境のために特別に開発されたものもあります。様々な産業用の機械に標準装備となったものも数多くあります。すべての製品は継続的に改善が加えられ、最新の技術進歩、技術革新が取り入れられています。

ムーグ製品としては次のようなものがあります。

- サーボ弁および比例弁
- サーボモータおよびサーボ駆動機構
- サーボコントローラおよびソフトウェア
- ラジアルピストンポンプ
- アクチュエータ
- 油圧マニホールドシステムおよびカートリッジ弁
- スリップリング
- モーションベース

ムーグのグローバルサポート

ムーグはグローバルサポートを通して、ムーグの熟練技術者が世界トップクラスの修理およびメンテナンスサービスを提供することをお約束します。ムーグは、世界各地に拠点を保有するトップメーカーのみが提供できる信頼性に基づき、お客様の装置が期待通りに機能し続けることができるよう、信頼できるサービスと専門知識を提供します。

ムーググローバルサポートには、以下のような数多くのメリットがあります。

- 重要な機械をピーク性能で継続的に運転させることにより、ダウンタイムを低減します。
- 製品の信頼性、多機能性、長寿命を確保し、お客様が投資した機械を保護します。
- お客様のメンテナンス計画を改善し、体系的なアップグレードを可能にします。
- ムーグの柔軟なプログラムを活用し、お客様の施設に固有のサービス要件に応えます。

以下を含むムーグのグローバルサポートにご注目ください。

- 熟練技術者が最新の仕様に基づいて OEM パーツを使用した修理サービスを実施します。
- 予備用の部品と製品について在庫管理を行い、想定外のダウンタイムの発生を防止します。
- 柔軟なプログラムにより、アップグレードや予防的メンテナンス、年間または複数年契約といったニーズに細かく対応します。
- 現地サービスによって専門技術を提供し、検収試験、セッティング、診断を迅速に実施します。
- 信頼性の高いサービスにより、世界共通の一貫した品質を保証します。

ムーググローバルサポートに関する詳細は

www.moog.com/industrial/service でご確認ください。



より詳しい情報はこちらへ

ムーグでは、本カタログで説明した製品を補完する様々なモーションコントロール製品を設計しています。また、すべての自社製品についてサービスとサポートを提供します。詳細については弊社ウェブサイトをご覧ください。また最寄りのムーグの事業所までお問い合わせください。

アルゼンチン
+54 11 4326 5916
info.argentina@moog.com

インド
+91 80 4057 6666
info.india@moog.com

シンガポール
+65 677 36238
info.singapore@moog.com

オーストラリア
+61 3 9561 6044
info.australia@moog.com

アイルランド
+353 21 451 9000
info.ireland@moog.com

南アフリカ
+27 12 653 6768
info.southafrica@moog.com

ブラジル
+55 11 3572 0400
info.brazil@moog.com

イタリア
+39 0332 421 111
info.italy@moog.com

スペイン
+34 902 133 240
info.spain@moog.com

カナダ
+1 716 652 2000
info.canada@moog.com

日本
+81 46 355 3767
info.japan@moog.com

スウェーデン
+46 31 680 060
info.sweden@moog.com

中国
+86 21 2893 1600
info.china@moog.com

韓国
+82 31 764 6711
info.korea@moog.com

スイス
+41 71 394 5010
info.switzerland@moog.com

フィンランド
+358 9 2517 2730
info.finland@moog.com

ルクセンブルク
+352 40 46 401
info.luxembourg@moog.com

トルコ
+90 216 663 6020
info.turkey@moog.com

フランス
+33 1 4560 7000
info.france@moog.com

オランダ
+31 252 462 000
info.thenetherlands@moog.com

イギリス
+44 168 429 6600
info.uk@moog.com

ドイツ
+49 7031 622 0
info.germany@moog.com

ノルウェー
+47 6494 1948
info.norway@moog.com

アメリカ
+1 716 652 2000
info.usa@moog.com

香港
+852 2 635 3200
info.hongkong@moog.com

ロシア
+7 8 31 713 1811
info.russia@moog.com

www.moog.com/industrial

MoogはMoog Inc. およびその子会社の登録商標です。本カタログに記載の商標はすべてMoog Inc. とその子会社の財産です。

©2021 Moog Inc. All rights reserved.

Electrohydraulic Valves: A Technical Look
SMM/PDF, Rev. E、June 2021、Id. CDL6566-jp / TI351-003 -