

## 空気圧サーボ弁と空気圧サーボ系の解析と設計 [5]

### 第2章 空気圧サーボ弁

#### 2-1 VCM 駆動直動弁

直動弁の分類を図 2-2-1 に示す。

流量制御弁、圧力制御弁と 3 方弁、5 方弁に分類されている。これらすべては、案内弁を駆動する VCM と静圧軸受が設けられた案内弁（これが可動部になる）によって構成されている。

VCM は入力電流に対する推力が正確に出力されることに特徴を持つ。どの程度の正確さかは駆動電流の SN 比とのかかわりがあり、確定的には言えないけれど、スレショルドはほぼ無限小に近いと思われる。また、VCM の構造からみて、磁気ヒステリシスもほぼ 0 に近いと思われる（正確にヒステリシスを測定する手段が今のところない）。次に示す構造図にある通り、案内弁に静圧軸受を設けたことにより、可動部分は非接触で、摩擦力が働かないようになっている。これらによって、案内弁を精密制御するための準備が整ったことになる。VCM の性能についてはアンプとのかかわりの中で評価する必要があり、後の章で詳述する予定である。

流量制御弁と圧力制御弁の構造を、図 2-2-2(a)、(b)に示す。

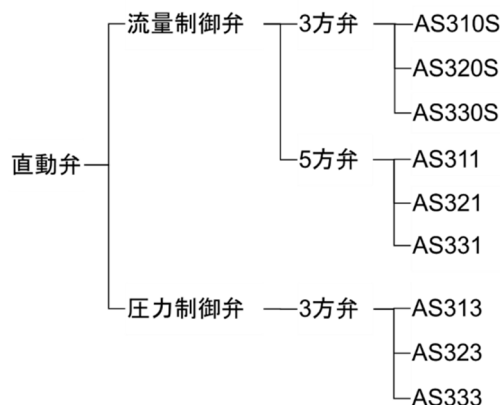


図 2-2-1 直動弁の分類

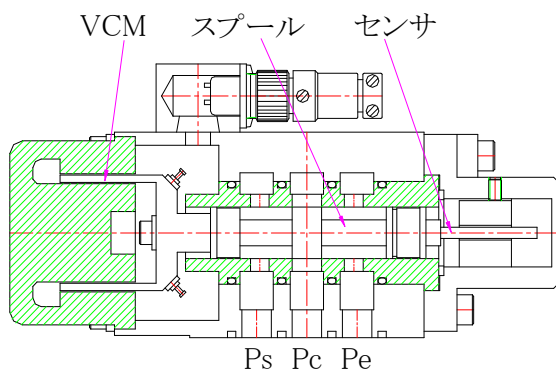


図 2-2-2(a) 流量制御弁

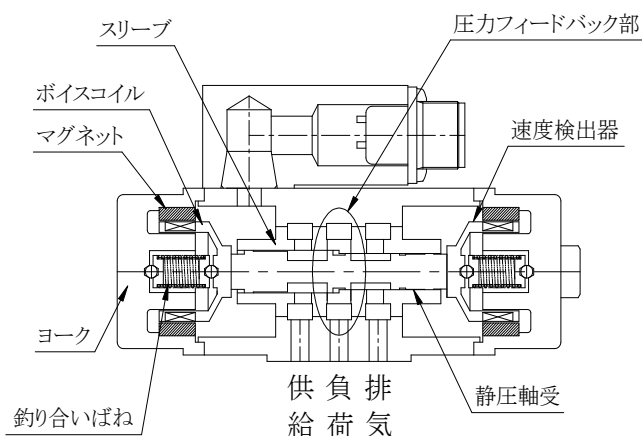


図 2-2-2(b) 圧力制御弁

流量制御弁、圧力制御弁としているが、この呼び名はあいまいである。前々章で述べた通り、弁の出力は常に、圧力と流量で表され、負荷圧力流量特性（負荷を変化させた場合）、無負荷流量特性（負荷が 0 の場合）、

負荷圧力特性（負荷が∞の場合）によって評価される。これらの特性の特徴から弁の呼び方を流量制御、圧力制御と一応決めている。よって、弁の特性を見る場合は、常に負荷との関わり（すなわち出力圧力流量特性）で見ておくことが重要である。

案内弁の出力圧力—流量特性を図 2-2-3 に参考程度の意味合いで示す。図はオリフィス流れの計算により求めている。実際の弁は流量係数、比熱比等の違いにより図と多少は異なると考えられるが、空気圧の流れの傾向はよく表れていると思われる。パラメータはスプール変位である。

供給圧力 = 4Kg/cm<sup>2</sup> のときは図(a)、図(b)の特性となる。

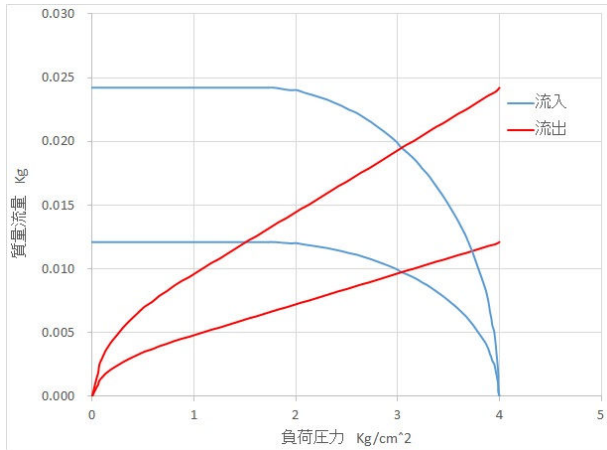


図 2-2-3(a) 質量流量

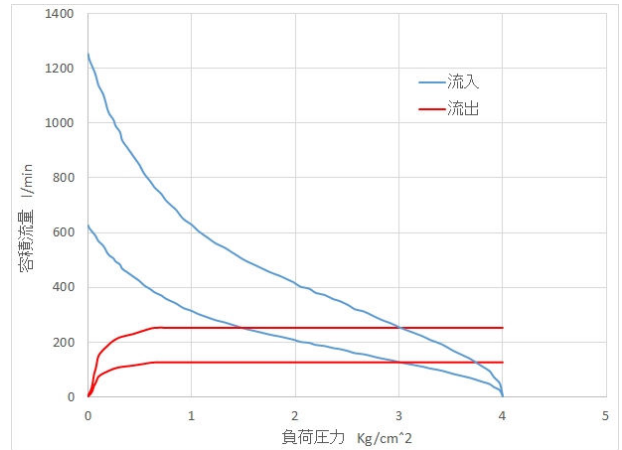


図 2-2-3(b) 容積流量

臨界圧力比以下の圧力比で用いる場合（供給圧力 = 1Kg/cm<sup>2</sup>）は図(c)、図(d)に示される特性となる。

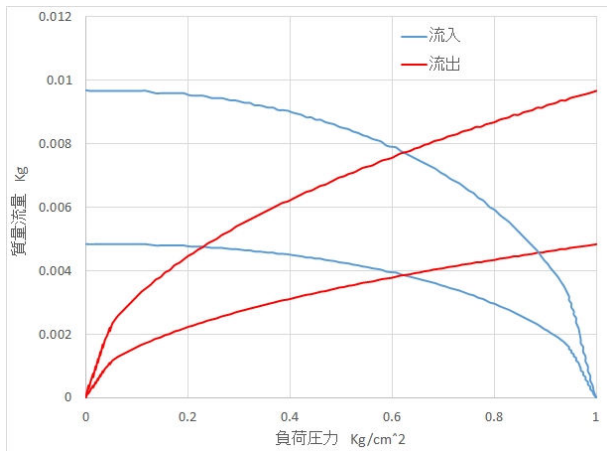


図 2-2-3(c) 質量流量

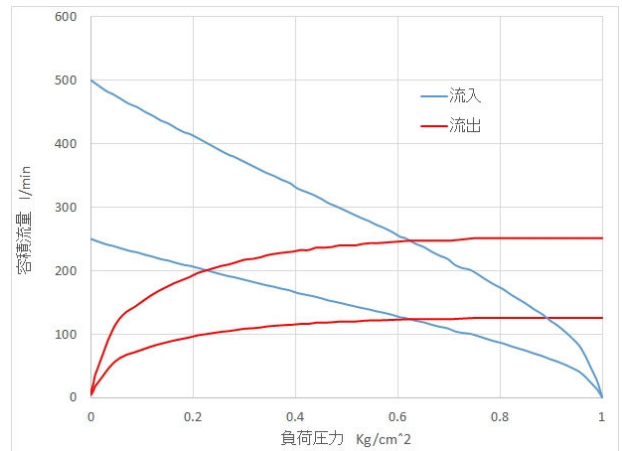


図 2-2-3(d) 容積流量

### 図 2-2-3 出力圧力—流量特性

オリフィス面積 ( $A_0$ ) : 0.3 cm<sup>2</sup> 流量係数(C) : 0.7 温度( $T_C$ ) : 293 ° K

$\kappa = 1.4$   $R = 2927 \text{ Kg cm} / \text{Kg} \text{ } ^\circ \text{K}$

ここでいう流入とは供給側から負荷側へ、流出とは負荷側から排気への流れである。

図(a)の特性は流入側と流出側との交点が高いことを除けば無理な姿をしていないと見てとれるが、容積流量で表現した図(b)では、流出側の流れが行き詰っているごとく見てとれる。メータアウト駆動として、負荷の変動を受けにくく定常速度を出すという特徴があるらしいが、空気圧サーボ制御ではあまり良い特性とは言えない。流入と流出の流量に差があるのは制御上好ましくないと考えている。流入側と排気側の定格ストロークを変えれば、最大流量は同じにできるが、流量ゲインは異なるため、最善の方法とは言えない。

図(c)と図(d)に見られるように、低圧での動作の場合は、比較的伸びやかな特性をしているというのは言い

過ぎか？許容できるなら、低圧の範囲で使用するのも選択肢のひとつである。

これらは、案内弁のポートの形状にもよること、アクチュエータの挙動を紹介する章で詳しく再考する。

空気圧の流れについては別の章でまとめて示す。このときに、同時に、空気圧にとっての教科書は？という課題にも触れる。

**図 2-2-2**にある通り、流量制御弁は VCM、案内弁、変位センサにより構成されている。VCM で案内弁を高速に駆動することによって高速応答の弁が得られる。このため VCM には高いトルク-慣性比のものが必要とされる。

VCM の機能図を図 2-2-4 に示す。

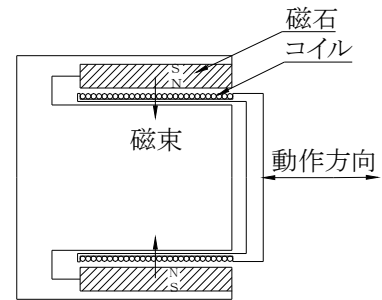
VCM の推力は次式で求められる。

$$F = l \times B \times i$$

$l$  : コイルの長さ、 $B$  : 空隙磁束密度、 $i$  : 電流

上式を満たすための条件は

1. 電流がコイルのインダクタンスと速度に比例した逆起電圧に打ち勝って流れること
2. コイルに電流が流れることによる永久磁石の減磁は無視できること
3. コイルのボビン、ヨークに渦電流が流れ、発生する力が大きく減ぜられないこと



**図 2-2-4** VCM の機能図

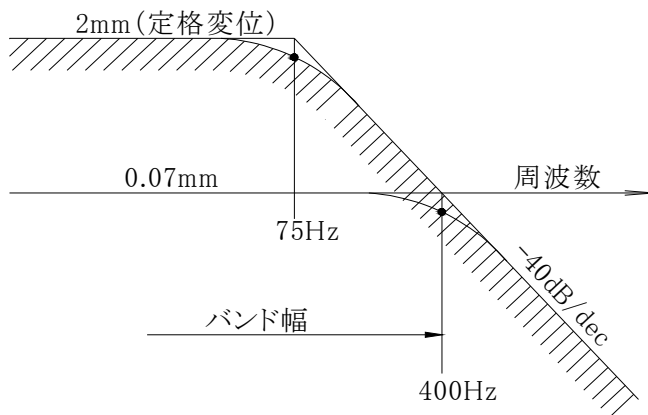
である。すなわち駆動電流  $i$  が式の通り力  $F$  に変換されるということを前提としている。

許容される電流の最大値はコイルの発熱による温度上昇の制限による。コイルの温度上昇は時間の関数であるため、電流の平均値がその制限になっているとすれば、瞬間的な電流値の上限はアンプの能力によることになる。これはまた別の課題であって、後の章でまとめて取り上げることになる。

本サーボ弁のように VCM により駆動される要素が慣性質量であるとすると、下式となる。

$$F = m \times a$$

上式は駆動されるものの動きにかかわらず力が働くことを意味しており、高速で移動した場合でも力は減じられないことより、定力源と考えられる。よって、周波数に応じて下図のような応答となる。



$$F = m \times \omega_n^2 \text{ が周波数応答}$$

の上限を決める。

$$m = 0.035 \text{ Kg}$$

$$F_{MAX} = 1.5 \text{ Kg}$$

**図 2-2-5** 周波数応答の上限（参考値）

VCM 駆動の流量制御サーボ弁の場合は位置の制御を行っており、図に示した破線が応答になる。これは周波数応答の最大値を示す。

定力源と考えられない場合は、駆動アンプの特性も含め、詳細を後述する。

うめくさ 3

サーボを扱う場合、いかに大きなパワーを高速に動かすか？というのが、一つの評価の基準になることは 0 章の図 1 及び本章の図 2-1-1 にある通りである。これはモータの世界ではパワーレシオと呼ばれ、サーボモータの仕様の一つになっている（文献[1, 2]）。

VCM を例にとって、パワーレシオを算出してみる。

図 2-1-1 に提示した動的応答と出力パワーの図から、パワーに周波数をかけるとパワーレシオに相当するものが求まる。パワーは推力  $F \times$  速度  $V$  である。これに周波数  $\omega$  をかけると以下になる。

$$P_r = FV\omega = FY\omega^2 = F^2 / m \quad (F = m\alpha \quad \alpha = Y\omega^2)$$

回転型モータの場合は同様にして

$$P_r = T^2 / J \quad (\text{トルク慣性比})$$

ばねが支配的と考えられる（ピエゾアクチュエータの場合など？）場合は以下になる。

$$P_r = FV\omega = KYV\omega = KV^2 \quad (F = KY \quad V = Y\omega)$$

パワーの動作点を定めその点でのパワーレシオを算出してみると、

力と速度は相互に関わり、式で表すと次になる。  $v = f(F, t)$  または  $F = f(v, t)$

よって、力または速度のどちらかを定めると動作点になるので、その点のパワーレシオは、パワーを時間微分することによって求まる。

$$\frac{dP}{dt} = F_0 \frac{dv}{dt} = F_0 \alpha$$

$$F = m \times \alpha \quad \text{より}$$

$$\frac{dP}{dt} = F_0 \alpha = \frac{F_0^2}{m}$$

回転体の場合は同様にして、

$$\frac{F^2}{m} \rightarrow \frac{T^2}{J}$$

となり、トルク慣性比と呼ばれるものになる。

ちなみに力が

$$F = K \times x \quad (K \text{ はばね定数})$$

の場合、

$$\frac{dP}{dt} = v_0 \frac{dF}{dt} = K v_0^2$$

がパワーレシオに相当するものになる。

慣性質量とばね負荷の場合のパワーレシオはちょうど双対（これをケネリー双対：基礎工学セミナー、高橋利衛 P=336 を基にしているとしてよいか？）になっている。

パワーレシオはレバーやギア比によって変わらない不変量である。一般的に  $T/J$  であらわされるトルク－慣性比はレバーやギア比によって変化する。よってパワーレシオ（回転体の場合のここでのトルク－慣性比）がアクチュエータを評価するうえでの一つの重要な基準であると考えられる。サーボ弁の特徴を示す図 2-1-1 は前述したとおり、パワーレシオを表しており、アクチュエータ等の変換要素を通過しても変わらない値として、評価の基準になっていることを納得することができる。

VCM 駆動の流量制御弁の構成は図 2-2-6 にある通り、変位センサによってスプールが位置決め制御されている。センサによる位置フィードバックは伝達関数上、ばねに相当するため、ばねマス系として 2 次の振動系を構成している。ここでダンピングを適当に付加しなければ、系は振動的になってサーボ弁の用をなさない。ダンピングの付加はこれまでにいろんな方法が提案されてきた。速度検出器をつける方法（これが一番性能的には優れている：圧力制御弁の項で説明する）、オブザーバで速度を推定する方法、変位信号を微分する方法（カルマンフィルタを用いる場合も含む）などである。ここでは変位を微分し速度信号をえる方法を採用している。

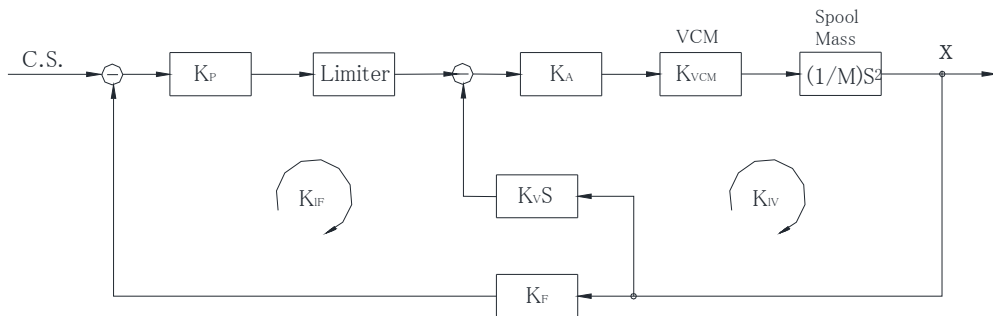


図 2-2-6 流量制御弁のシステム構成

精密制御をするためにサーボ弁に求められるのは、高速応答とスレショルドの小さいことである。このため、サーボ弁を構成する各要素には、

- ・前述したとおり VCM の  $F/m$  及び  $F^2/m$  を大きくすること。

可動部 (m) を小さくすること。

電流 (i) を大きく、空隙の磁束密度 (B) を大きく (図 2-2-2 にある VCM の構造では、F を大きくするため、コイルに直行して流れる磁束密度 B を大きくする必要がある。そのため、保磁力の高いネオジウム磁石を用いている。VCM には最適である。ただ、温度による減磁が希土類磁石より大きいことと、表面が酸化する難点がある) とコイルの全長を長くすること。

- ・サーボアンプの応答速度を系の応答速度の数倍以上にすること。
- ・変位信号の応答をサーボアンプの応答と同等とすること。
- ・センサの分解能をできるだけ小さくすること。
- ・変位を微分して速度を演算するためアンプ内部の高調波のノイズを小さくすること。
- ・可動部の摩擦をなくすため、案内弁に静圧軸受を設けること。

が一つの選択であり、設計上の指針としている。

サーボ弁の実際の応答例を AS310S に代表させて、図 2-2-7(a) (フル入力時) 及び図 2-2-7(b) (微小入力時) に示す。

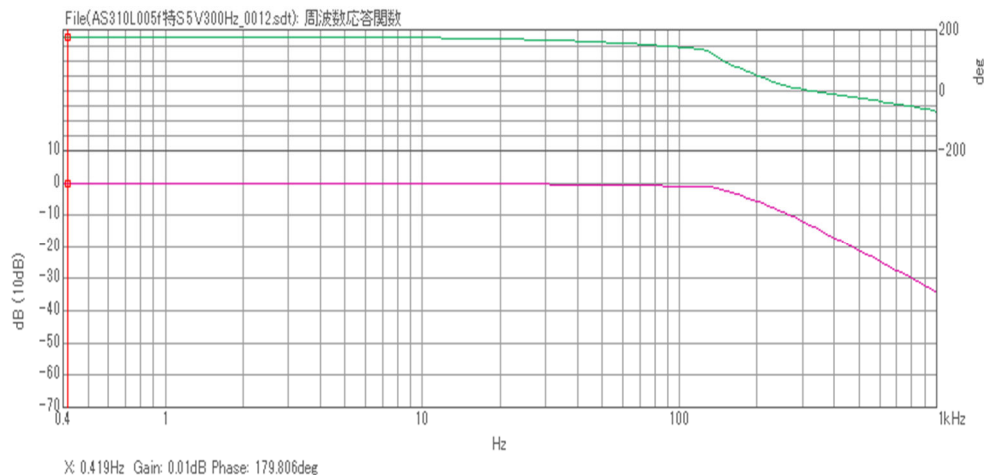


図 2-2-7(a) AS310S の ±100% 入力時の応答 (位相は逆転しているので  $180^\circ \rightarrow 0^\circ$  とみなす)

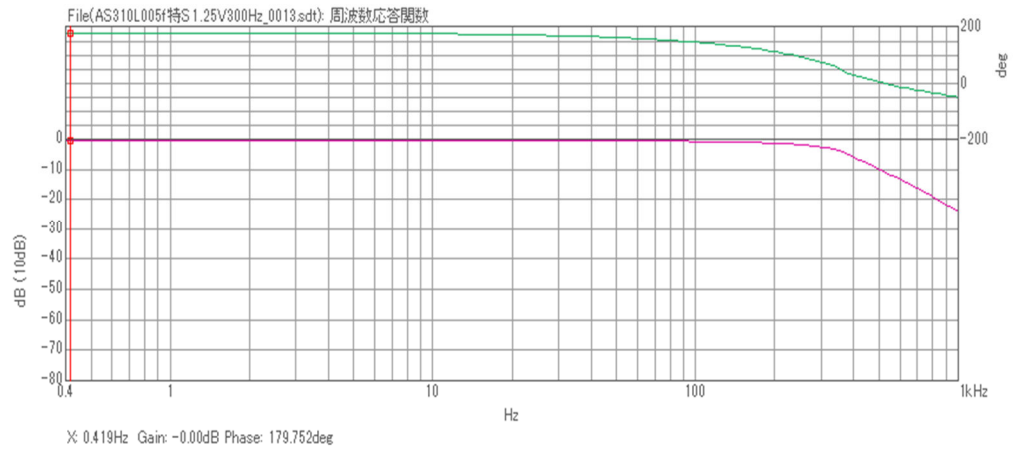


図 2-2-7(b) AS310S の±25%入力時の応答（位相は逆転しているなので 180° →0° とみなす）

AS310S の流量特性、圧力ゲイン特性、内部流量特性を、図 2-2-8(a)、(b)、(c)に示す。

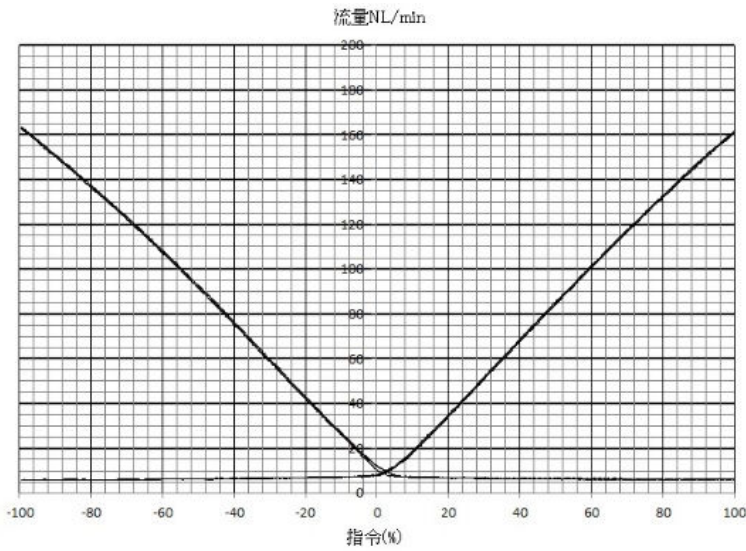


図 2-2-8(a) 流量特性

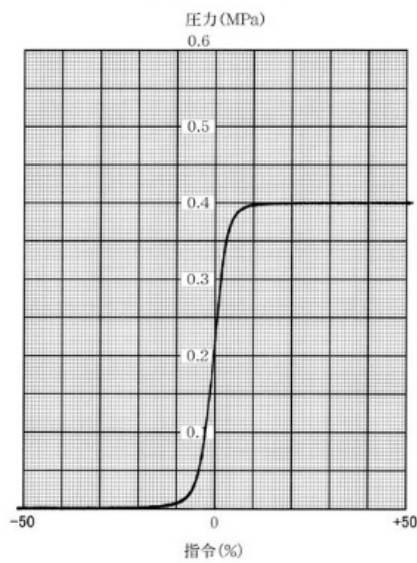


図 2-2-8(b) 圧力ゲイン特性

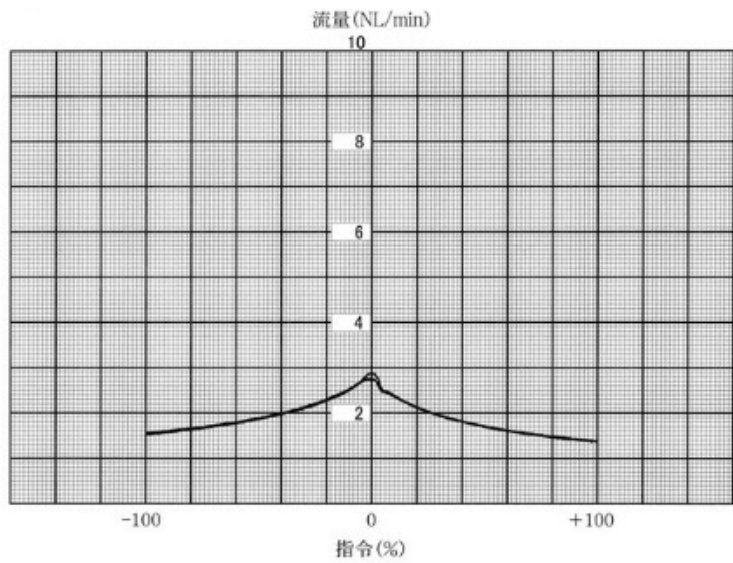


図 2-2-8(c) 内部流量特性

これらは流量制御弁の特徴をよく表しており、特に中立点で圧力が切り替わる圧力ゲイン特性に特徴がある。流量特性については、**図 2-2-3**にもあるとおり、供給側から負荷側へと負荷側から供給側への流れの抵抗が異なるため、案内弁のポートの大きさを変えることによって流量ゲインを同じにする方法がとられる場合もある。これについては、試験機用アクチュエータを検討するときに詳細を説明する。

スレショルドについて、その大きさをもっと具体的に知るには、たとえば圧力制御したときの最小圧力制御振幅で表すほうがよいと思われるので、後の章で計画している圧力制御時のデータを示しながら詳述する。

流量制御弁のスプールの位置決めには変位センサが用いられている。変位センサの精度は 1 対 1 でサーボ弁の精度になる。磁氣的構造を持つデジタルセンサと LVDT (アナログ) の 2 種類があり、要求に応じ使い分けられている。

デジタルセンサは、(株) アミテックの後藤氏が開発したもので、現在は村田機械 (株) が販売している。「これだけ小型化できた大きな理由は、国内で初めて、検出部と変換部を一貫して開発した点にある」(文献 [3])。この文献によると、センサの機能は以下のとおりである。

一方、直線型検出部は**図 7**のような構造。直線変位を検出するヘッドとそれを貫通して動くロッドからなる。大きさは、ヘッドが外径 6×長さ 4.096mm、ロッドが外径 2.5mm (長さは自由) である。

ヘッドは外径 6×厚さ 0.5mm の扁平なコイル 9 個を軸方向に並べたもの。左から数えて奇数(1,3,5,7,9)番目は 1 次励磁コイル、偶数 (2,4,6,8) 番目は 2 次誘導コイルになる。5 個の 1 次励磁コイルは、巻き方向を合わせて直列につなぐ。2 次誘導コイルについては、巻き方向を逆にして 2 番目と 6 番目、4 番目と 8 番目を直列に結線する。

またロッドは、外径 2.5mm の非磁性パイプの中に強磁性の球と非磁性の球を交互に詰める。磁性球と非磁性球で 1 組、1 ピッチとしている。この長さ 4.096mm。ヘッドの長さにちょうど一致する。

回転型検出部と同様、1 次励磁コイルには、

$$V = A \sin \omega t$$

の交流電圧を印加。コイル内部、すなわち軸方向に磁界が発生、2 次誘導コイルには電圧が誘起される。

(一部略) ロッドの直線変位を  $x$  とすれば、2 番目と 6 番目の 2 次誘導コイルの誘起電圧  $V_1$  は、

$$V_1 = A \sin \omega t \cdot \sin x$$

4 番目と 8 番目の 2 次誘導コイルの誘起電圧  $V_2$  は、

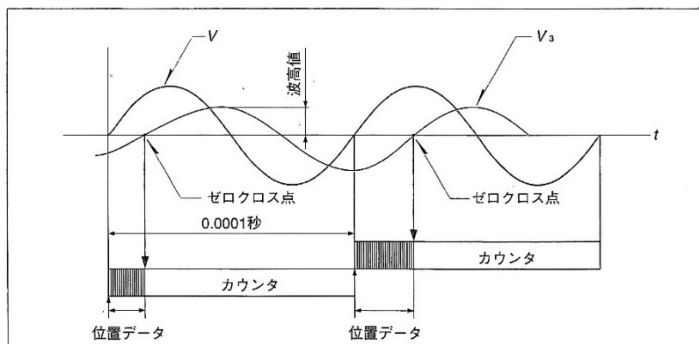
$$V_2 = A \sin \omega t \cdot \cos x$$

になる。

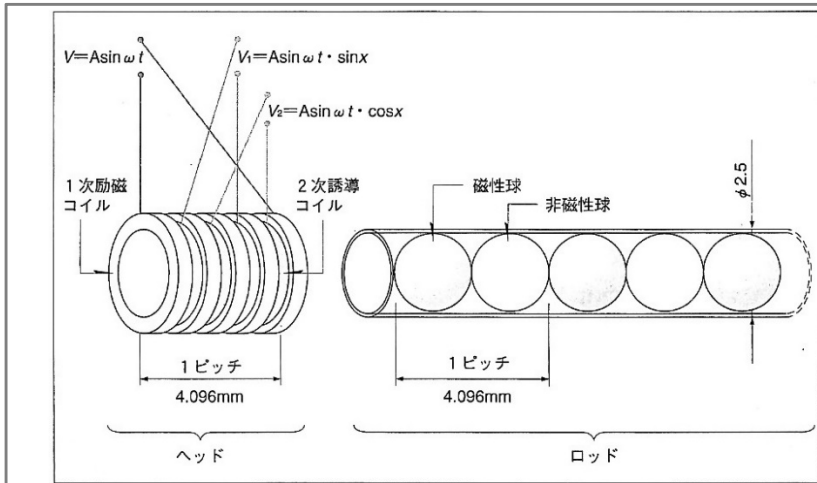
この後の信号処理は、回転型検出部のときと全く同じ。合成波は、

$$V_3 = A \sin(\omega t \pm x)$$

搬送波と合成波の位相差として直線変位  $x$  (図 6 参照：引用者) を検出する。



[図 6] 搬送波  $V$  と合成波  $V_3$  の関係。波の高さではなく位相差を位置データとして検出する。従って、ゼロクロス点を認識できるレベルの出力があれば良い



〔図 7〕 直線型検出部の構造。ヘッドは 9 個のコイルから、ロッドは磁性球と非磁性球からなる。1 ピッチはヘッドの長さ、1 組の磁性球と非磁性球の長さに一致する。位置データの検出の考え方は、回転型検出部と同じ

以上のように、このセンサの一つの特徴は 2 次コイルの波形ではなく 0 クロス点の位相差を見ているところにある。搬送波、2 次コイルの誘導電圧の振幅が変わっても影響を受けにくいと考えられる。

ただ、文献[3]と異なり、現在サーボ弁に用いているセンサは、コイルの巻き方が若干異なっているし、1 ピッチが 8.192 であり、16 ビットで分割しているため最小分解能は  $0.125 \mu\text{m}$  である。1 ピッチ分がアブソリュートの範囲であるため、サーボ弁の定格ストロークが  $\pm 3\text{mm}$  以下であればうまく適合できる。

LVDT の場合は定格変位に対する定格電圧が  $5\text{V}$  として、信号処理の最小値は S/N からみて、1/10000 の  $0.5\text{mV}$  が限界に近い。サーボ弁の定格変位が  $0.5\text{mm}$ (AS310L) の場合は S/N が  $0.05 \mu\text{m}$  相当、定格変位が  $3\text{mm}$  (AS330L) の場合は  $0.3 \mu\text{m}$  相当になり、これが S/N の最小値である。ただし分解能はこの 1/10 くらいの能力があると考えられる。理由としては、ノイズが LVDT の搬送波 (20KHz) 及びそれ以上の高調波であり、サーボ弁を使用する周波数域に比べて高いことによる。いずれにしても、デジタルセンサまたはアナログセンサの最小分解能は以上の通りである。アブソリュート型のセンサとして扱う場合は、デジタルが無条件に高い分解能を持つということではない。LVDT についてはアンプもしくはコントローラとの組み合わせによってその性能は大きく変わる。また、アンプと LVDT 間のケーブル長が  $20\text{m}$  を超える場合は、ケーブルの仕様に制限がかかる。これらについては、のちの章の小型試験機の紹介の中で詳しく述べることにする。

2 種のセンサの外観を写真で示す。大略同じ大きさである。



左側が LVDT、右側がデジタルセンサである。

圧力制御弁の構造は図 2-2-2 に示している。制御圧力と VCM の推力がつりあう構造をしている。このことによって、入力電流に比例した制御圧力を得ることができる。

圧力制御弁のシステム構成を図 2-2-9 に示す。

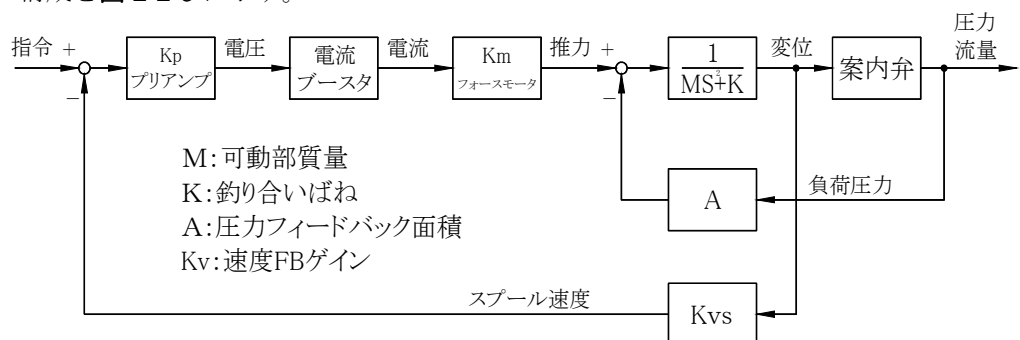


図 2-2-9 圧力制御弁のシステム構成



案内弁の速度を検出する速度検出器は磁界中をコイルが動くことによって励起される電圧を利用して、速度に比例した電圧は、電圧を受けるアンプの入力インピーダンスをコイルのインピーダンスより高くとってあるため、高周波域まで応答する。速度検出器の出力電圧は以下で求められる。

$$E = B\ell v \quad B : \text{空隙磁束密度、} \ell : \text{コイル長さ、} v : \text{コイル速度}$$

圧力制御弁の一巡伝達関数は以下の通りである。

$$K_l = \frac{K_Q \times A_P}{VS(MS^2 + K_A K_V K_v S + K)}$$

上式でカッコ内の S 一乗の項が速度フィードバックによるダンピングである。VCM の出力力に対する出力圧力は次式で求まる。

$$\frac{P_{out}}{F_{out}} = \frac{1}{A_P} \frac{1}{\frac{VS}{K_Q A_P} (MS^2 + K_A K_V K_v S + K) + 1}$$

静的には

$$\frac{P_{out}}{F_{out}} = \frac{1}{A_P}$$

で、VCM の推力と圧力×受圧面積 ( $A_P$ ) が釣り合うことは前述したとおりである。この ( $A_P$ ) 部の詳細を **図 2-2-10** に示す。

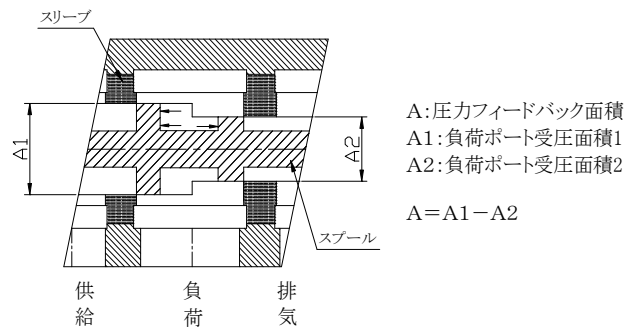
伝達関数は 3 次の系であることが解る。3 次系の根を求め、序章で述べたような根の軌跡を、パラメータを変化させて表せば、応答の姿が明確になるが、根を求めるのは煩雑な計算を必要とするため、簡易的に以下のように応答を概略推定する。

圧力のフィードバックがない場合の伝達関数は

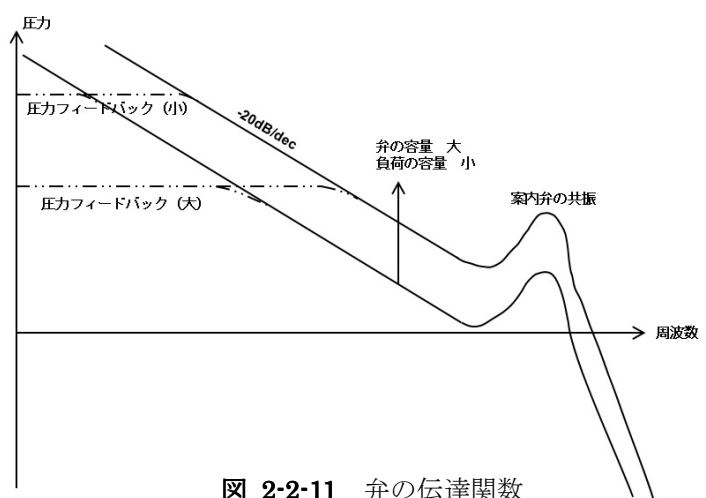
$$\frac{P}{F} = \frac{K_Q}{VS(MS^2 + K_A K_V K_v S + K)}$$

であり、ボード線図で表せば **図 2-2-11** となる。図中で  $\frac{K_Q}{V}$  をパラメータに 2 本の線を引いてある。負荷の容量と弁の流量ゲインの比とで圧力制御系の応答が変わることが予測できる。

図にもある通り、積分特性と案内弁部の動特性によってあらわされている。ここに圧力フィードバックをした場合の概略の応答を破線で示してある。圧力フィードバックした場合、案内弁の動特性はその影響を受けて変化する。すなわち、3 次系の 3 つの根が変化する。ただ、厳密にはその通りであるが、設計するうえでは、**図 2-2-11** に示したような簡易的な方法は、大まかな応答を知るうえで有効なときがある。シミュレーションによる詳細な評価は、本弁でいろんな容量の圧力制御をした結果とともに行うこととする。



**図 2-2-10** 圧力 FB 部詳細



**図 2-2-11** 弁の伝達関数

図 2-2-12 に本弁の特徴である圧力特性を示す。

圧力フィードバックをしているため、低圧出力時に非線形特性が表れていること以外は、線形性は比較的よい。低圧力時には、案内弁の 0 点近傍の圧力の切り替わり特性（流量制御弁でいうところの中立点圧力ゲイン）の影響が出ているため非線形になっている。図にあるとおり、供給圧力を変えても、制御の最大圧力が変わるだけで、圧力のゲインはほとんど変わらないし、中立点も変わらない。

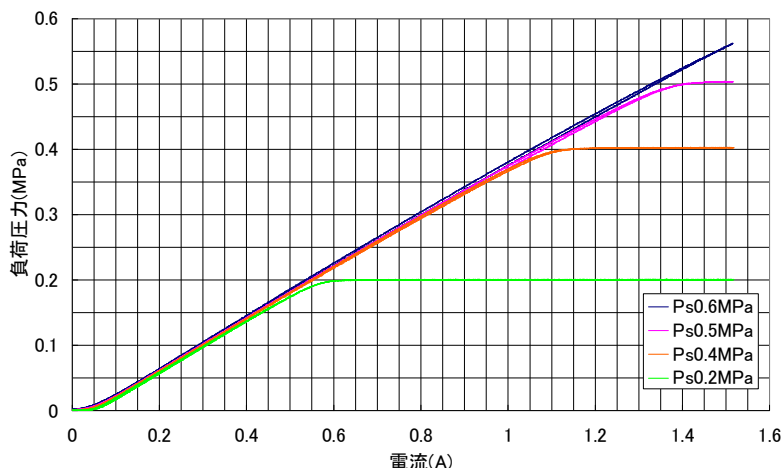


図 2-2-12 圧力制御弁の入力対出力圧力特性

案内弁には静圧軸受けが設けられており、案内弁の摺動による摩擦はないが、両端のばねの支持部の影響が出て、ヒステリシス及びスレシヨルドが、電氣的に圧力フィードバックしたときに比べて悪い。

#### うめくさ 4

サーボ弁でいうところの、流量特性、圧力特性は、正確に言うと、無負荷流量特性、負荷圧力特性であり、それぞれ、負荷が 0 すなわち負荷圧力が 0 のときの流量と負荷が  $\infty$  すなわち負荷への流量が 0 のときの圧力特性を表している。

サーボ弁の出力特性は、負荷圧力-流量特性で表されるが、この特性の X 軸と Y 軸だけに注目した特性（すなわち無負荷流量特性、負荷圧力特性）で表されるのがほとんどである。ただし、空気圧の場合は、条件によって、オリフィス流れが閉塞（チョーク）状態になるため、常に負荷圧力-流量特性を念頭に置いておくのがよいと思われる。

図 2-2-13 に内部リーク特性を示す。内部リーク特性は、負荷を閉じて、入力を 0 から +100% 変化させたときの、供給側から排気側への流量を、測定したものである。負荷圧力特性測定の場合と同じである。この時案内弁は中立点近傍で VCM の推力とバランスをとりながら案内弁の中立点圧力ゲイン範囲で動作している。よって、特性の姿は通常の弁の内部リーク特性と異なっている。内部リークの最大流量は定格流量の数%以下であり、NF 弁と大きく異なる。

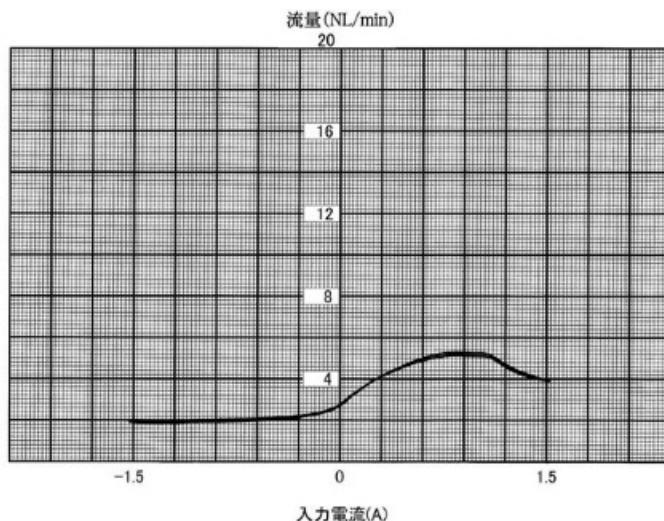


図 2-2-13 内部流量特性

AS313 を対象に、負荷を容量だけとした場合のステップ応答を図 2-2-14 に示す。負荷の容量を変えて示してある。

右図で小さな容量のときにオーバーシュートがみられるが、容量に合わせて速度フィードバックゲインを調整すれば、オーバーシュートはなくなる。応答は安定している。圧力の微小応答、そこに見られる分解能、スレシヨルドなどの詳細はのちの章で個別に示す。

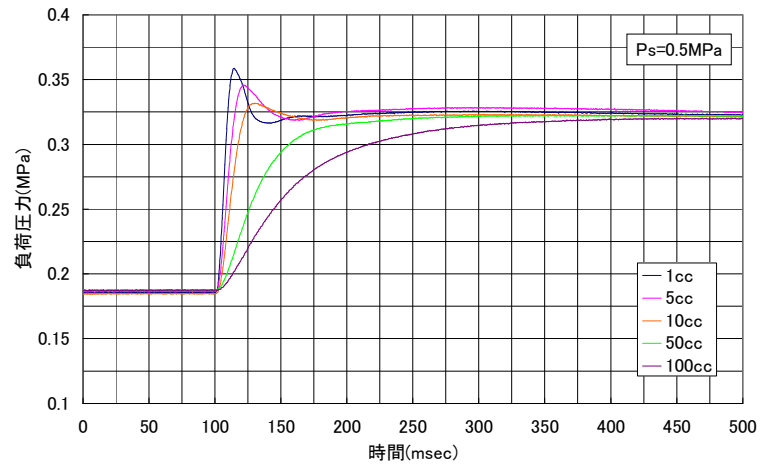


図 2-2-14 圧力制御弁のステップ応答

図 2-2-15 に 5 方弁の構成を示す。3 方弁を 2 台使って 5 方弁と同じ機能を持たせる場合（精密ステージの位置決め装置等）もあるが、アクチュエータの構成によっては、5 方弁が選択される場合もある。弁の特性については大略 3 方弁と同じであるので、詳細説明はアクチュエータとの組み合わせた性能の説明のときに譲る。

サーボ弁の案内弁として、制御ポートの機械（結果は流体的）寸法の精度とスプールスリーブのクリアランスが主要件である。これらの寸法精度によって、無負荷流量特性、中立点圧力ゲイン特性、内部流量特性が決まる。以上の 2 要件は解析的になかなか決めにくい。通常はクリアランスとの関係で、少しオーバーラップとしている。

案内弁に働く外力（内力）は空気圧の場合、主に軸力である。軸力は流体のモーメント変化が案内弁に力として働くもので、ばねとしての働きをする。軸力が働く範囲は限られており、スプール変位に比例して増加し、次第に飽和がみられるようになりその後減少する。スプール変位に比例して増加する部分が軸力として、文献[4]に油圧の場合の算出式が示されている。油圧の場合、流れの案内弁への流入角度が経験値として 69° と定められており、実際もほぼこのとおりである。空気圧の場合は異なると思われるが、基本的な考え方は同じであるとみる。参考に油圧の場合の流れを図 2-2-16 に示す。

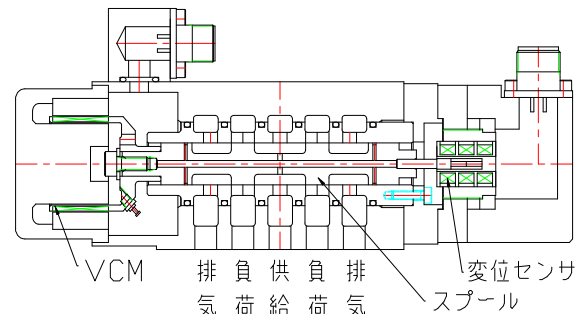


図 2-2-15 流量制御弁（5 方弁）

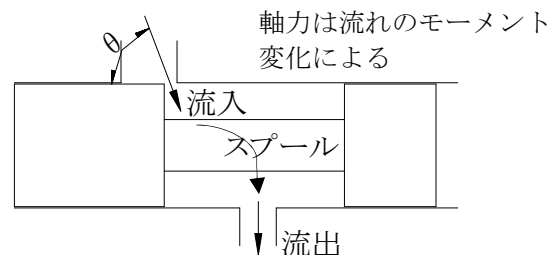


図 2-2-16 流れの模式図

軸力は次式であらわされる。

$$F = Q \cdot v \cdot \rho \cdot \cos \theta = \frac{\dot{G}}{g} \cdot v \cdot \cos \theta$$

$F$  : 軸力

$Q$  : 通過流量

$\dot{G}$  : 質量流量

$v$  : 流速

$\rho$  : 流体密度

$\theta$  : 流出角度

油圧に比べ、空気圧の比重は格段に小さいため、超精密位置決めを行う場合など、超がつく制御をおこなうと、その軸力のばね性と反力としての最大値がサーボ弁の挙動に影響を及ぼし、応答を変化させる。ただ、その影響は小さく、案内弁のラップ量にもかかわっているため、必要に応じ、章を改めて検討することとする。

#### うめくさ 5

オーバーラップ、アンダラップは案内弁の制御ポートの重なり具合を表している。オーバーラップは各ポートが少し重なっている。アンダラップは少し開いている。これらは、中立点での流体の流れに密接に関連しており、精密制御の精密度が高くなっていくに従いその影響も大きくなる。またアクチュエータのリークとのかかわりもある。

アンダラップの場合は、アンダラップの範囲でポートの開口比が倍になり、流量ゲインも倍になる。空気圧サーボ弁はこれらの寸法精度が重要であり、アクチュエータを駆動し制御した場合には、その精度を左右する要因の一つになる。

直動弁を駆動する当社標準の電流アンプ部は PWM 駆動である。直動弁の場合は特にアンプとのかかわりが強く、弁の性能に大きくかかわっている。PWM 駆動の良し悪し等も含め、アンプとして別の章をたてる。

サーボ弁とアンプの写真を掲載する。



#### 文献

- [1] G.C.Newton,Jr. Comparison of Hydraulic & Electric Servomotors. Proceedings of the National Conference of Industrial Hydraulics. 1949.
- [2] 長坂長彦. パワレイトによる直流サーボモータの選定法. J.I.E.E.J. 1969.
- [3] 後藤忠敏. 位置センサが進化した. NIKKEI MECHANICAL, 491, 1996.
- [4] Edited by J.F.Blackburn, G.Reethof, J.L.Shearer. Fluid Power Control, The M.I.T. Press.