

空気圧サーボによる位置制御の研究

新技術応用部 藤沼 良夫

1. 緒言

産業用ロボットの動力源としては、従来から電気モータ・油圧・空気圧の3種類が主に使用されてきた。これらの動力源はそれぞれ特徴があり、用途に応じて使い分けられている。空気圧の場合には、位置精度が良くない。出力は中程度である。摩擦などの非線形要素が大きい。などの欠点があるため、簡単な動作の簡易型ロボットとして利用され、サーボ機構としてはあまり使用されていない。しかし、空気圧には 清浄である。保守が容易である。出力/重力比が電気に比べ高くなる。空気の圧縮性のため動きがなめらかである。力制御が可能である。またバイラテラルサーボ系を構成しやすい。などの長所がある。¹⁾

近年、上述の長所に着目して、空気圧機器をロボット用アクチュエータとして使用することへの関心が高まり、空気圧ピストンシリンダを高精度で位置決めする研究が報告されている。ピストンを高精度で位置決めする方法として、機械的にブレーキをかける方法²⁾、パルス駆動による方法³⁾、圧力を制御する方法⁴⁾、電気空気圧制御弁やサーボ弁による方法⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾などが研究されている。

本研究では、電気空気圧制御弁(電空変換器)を用いて空気圧サーボ系を構成し、空気圧駆動2自由度マニピュレータの第1関節の位置制御を試みたので報告する。

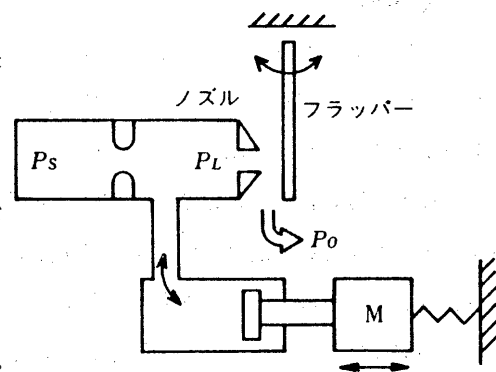


図1 電空変換器の基本原理⁹⁾

2. 電空変換器の基本原理

電空変換器の基本部の原理は図1に示すように、空気圧マイクロメータと同じ原理を利用しており、ノズル、フラッパ及び上流側の固定オリフィスより成り立っている。供給空気Psは固定オリフィスを通して圧力PLのノズル背圧となり、一部は管路を通してシリンダ内に流入してピストンを変位させ、その他はノズルとフラッパの間に形成される絞りを通過して、大気中に排出され大気圧Poとなる。

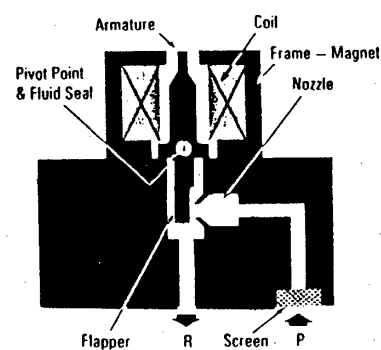


図2 電空変換器⁹⁾

ここで使用した電空変換器は図2に示すように、空芯コイルに電流を流すと永久磁石との間に吸引力または反発力が生じ、この力に応じてフラップの支点は右または左に動き、入力信号に比例して圧力あるいは流量を制御している。⁹⁾

電空変換器の入出力特性を図3に示す。図3よりわかるように、入力電流の上昇時と下降時にヒステリシスがあり、使用時にはこの非線形特性を補償してやる必要がある。

電空変換器の周波数応答を図4に示す。この図から一次遅れ系に近似できることがわかる。

3. 空気圧ピストンシリンダの位置制御の基本原則

空気圧ピストンシリンダの位置制御の基本部だけを取り出せば図5のように表わせる。ピストンシリンダのロッド側とヘッド側に2個の電空変換器を取り付け、この2つの電空変換器の絞りと開きを互いに逆動作するように電氣的に連動させることによって、即ち、それぞれの電空変換器に供給する電圧を互いに連動させることにより、出力圧を制御し位置制御を行うことができる。

4. 空気圧サーボ実験装置

空気圧シリンダを用いた2自由度マニピュレータを図6に示す。このマニピュレータは2軸のスカラ型アームを持ち、腕の長さはそれぞれ300mmであり、2個の空気圧ピストンシリンダにより駆動される。関節角度は各関節に取り付けたポテンショメータにより検出できる。今回の実験は、肘関節に相当する第2関節は固定し、肩関節に相当する第1関節のみの位置制御を行った。

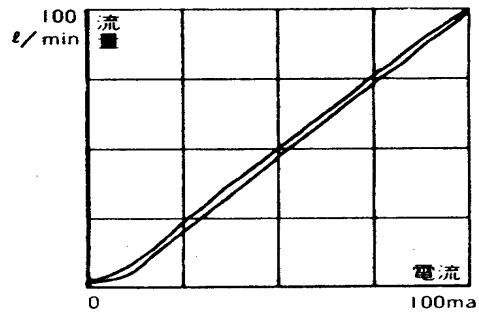


図3 電空変換器の入出力特性⁹⁾

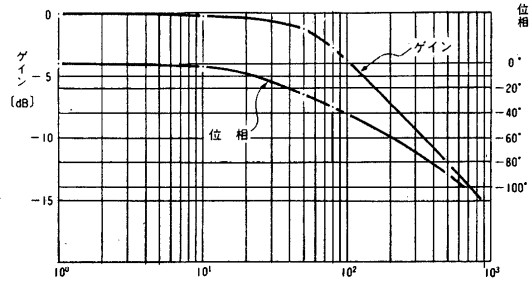


図4 電空変換器の周波数応答⁹⁾

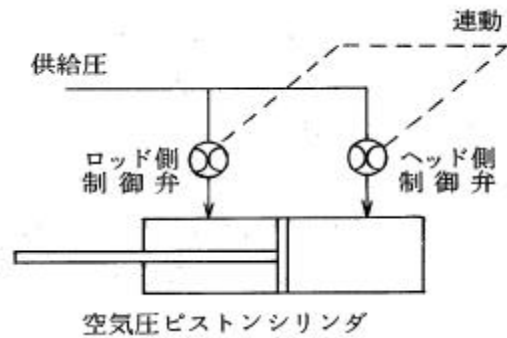


図5 空気圧ピストンシリンダの位置制御の基本原則

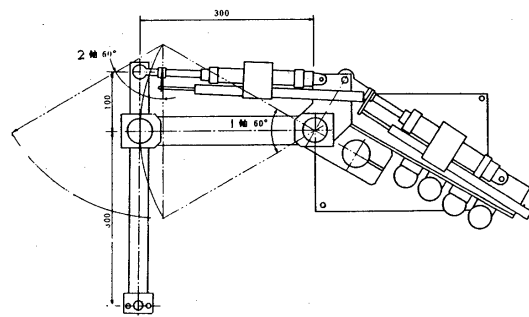


図6 空気圧駆動2自由度マニピュレータ

5. 制御システムの構成

Kp: 比例ゲイン

K : 電気-空気変換ゲイン

Tv: 電空変換器の時定数

P : シリンダ内圧力

A : ピストン面積

F : ピストンに加えらる力

T : 関節トルク

J : 慣性モーメント

C : 粘性摩擦係数

r : モーメントの長さ

: 出力角度

Ps: 供給空気圧

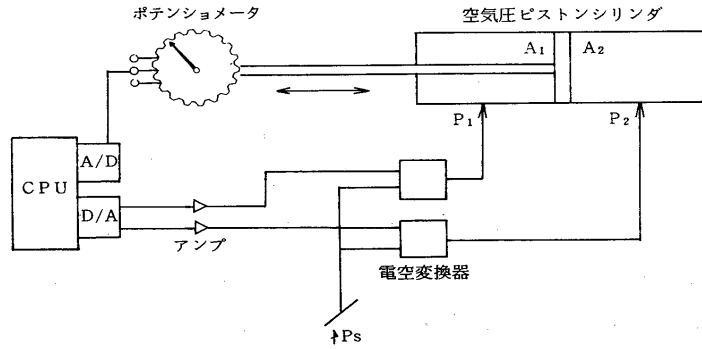


図7 位置サーボ機構

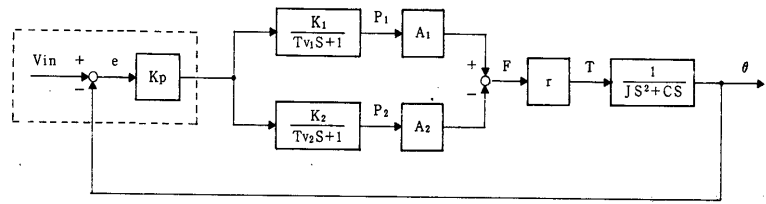


図8 位置サーボ機構ブロック図

空気圧ピストンシリンダの位置サーボ機構を図7に示す。またこの電空変換器の特性は図4に示すように一次遅れ系で近似できるから、この位置サーボ機構のブロック線図は図8のように表わすことができる。ただし、ピストンに加わる外力は考えないものとする。

角度指令値 r は電圧の形で与え、フィードバック信号と比較されて動作信号となる。動作信号は比例ゲイン K_p を経て2個の電空変換器の入力となる。2個の電空変換器はシリンダ内のピストンに両側から圧力を及ぼし、これによりピストンには、

$$F = A_1 P_1 - A_2 P_2$$

の力が加わり、マニピュレータを動かす関節トルクは、

$$T = J \ddot{\theta} + C \dot{\theta}$$

で表わすことができ、

$$\frac{\Theta(s)}{T(s)} = \frac{1}{J s^2 + C s}$$

の関係がある。

J は関節の慣性モーメントであり、 C は粘性摩擦係数であり関節部の摩擦とピストンシリンダ間の動摩擦もここに含まれる。

関節角度 θ はポテンシオメータによりフィードバックされる。

6. 実験結果

マニピュレータは真直ぐに伸ばした状態を初期状態とし、関節角度 = 0 である。実験はこの状態から目標値 = 30° へのステップ応答を試みた。その結果を図9に示す。

図9より、空気の圧縮性のため立ち上がりまでに時間遅れがあるが、目標値 30° までに 0.6 秒で収束していることがわかる。比例ゲイン K_p は応答を速めようと大きくするとピストンが振動を起し、小さくするとオフセットを生じる。

このため、電空変換ゲインを $K_v=6.09$ に固定し、比例ゲイン $K_p=0.181$ のとき最も良い応答を示し、その結果が図9である。また、図9は2回繰り返したときの応答であり、再現性も良いことを示している。

なお、図8のブロック図の破線で囲った部分はソフトウェアにて行っている。

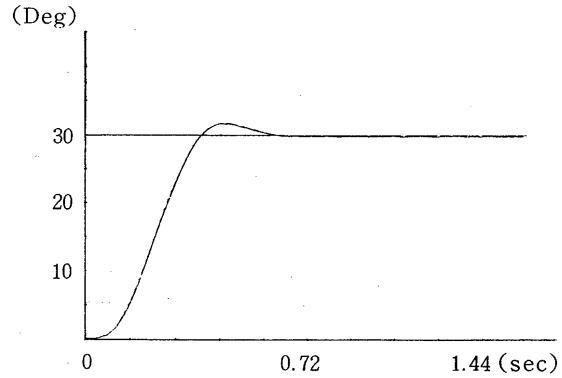


図9 位置制御のステップ応答

7. 結 言

電気空気圧力制御弁を用いて、空気圧サーボ系を構成し、空気圧駆動 2 自由度マニピュレータの第 1 関節の位置制御を行ったところ、概ね良好な応答特性を得ることができた。

今後の課題は次のとおりである。

- 1) 1つの関節に2個の電空変換器を使用したけど、ピストンロッド側を一定圧力に保ち、ヘッド側の圧力を制御する手法をとれば、系がもっと簡素化できる。
- 2) 比例ゲイン K_p 、電空変換ゲイン K_v を大きくすると、即ち剛性を高めると不安定となり振動的になる。これは速度フィードバックを行うことにより改善が可能である。
- 3) 更に高精度に行うには、圧力のマイナーフィードバックも必要となる。
- 4) 今回、外力項を無視したが、今後検討する必要がある。
- 5) 空気圧の特徴である柔らかさを実現するには、力制御すなわち圧力制御を行い、コンプライアントな機能を有する制御実験を行う必要がある。

参考文献

- 1) 中野栄二: ロボット工学入門 P - 43
- 2) 山 藤 ら: スプリングブレーキによる空気圧シリンダの位置決め, 油圧と空気圧, 10 - 3, 147 (昭和 54)

- 3) 則次ら:マイコン制御によるPCM方式デジタル空気圧サーボの構成,計測自動制御学会
論文集,23- 3, 253 (昭和62)
- 4) 田中裕久:圧力比例弁による電気空気圧制御,油圧と空気圧,15- 7, 552 (昭和56)
- 5) 小山ら:電気空気圧サーボ方式によるピストンシリンダの位置決め,油圧と空気圧,16 - 4,
275 (昭和60)
- 6) 杉本 旭:空気圧サーボによるマニプレータの開発に関する研究,日本機械学会論文集
53 - 495(昭和62)
- 7) 吉本堅一:空気圧サーボ機構の特性改善,日本産業用ロボット工業会,ロボット No.30
- 8) 山藤ら:空気圧シリンダの最適制御,日本機械学会論文集 53 - 487(昭和62)
- 9) (株)インターナショナル・サーボ・データー:電空変換器カタログより