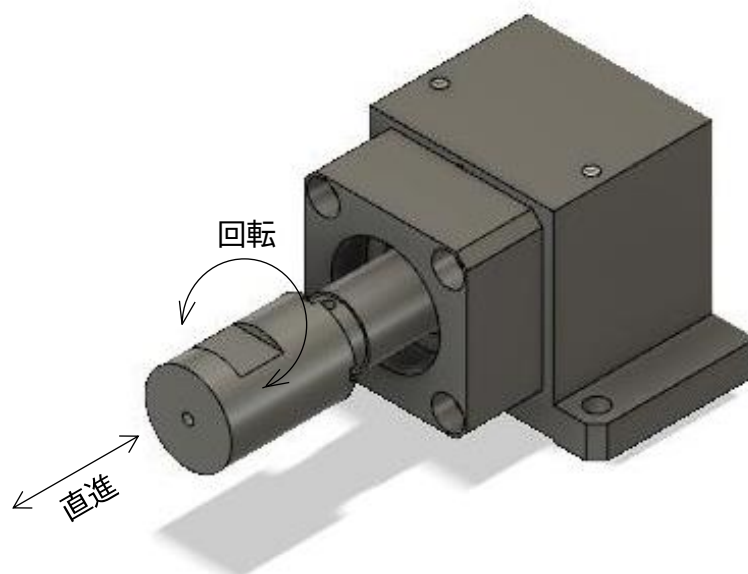


技術レポート NO.3 <その1>



複合アクチュエータとその制御



メカ&トロ研究チーム

1. はじめに

回転及び直線運動をするコンパクトなアクチュエータを実現するために空気圧サーボを採用した。空気圧サーボの特徴は次のとおりである。

- ①アクチュエータが小型、軽量になる。
- ②シリンダの変位と力制御が容易である。
- ③力制御には圧力センサを用いることで、荷重センサを用いることなく、壊れにくく、簡易的である。

以上の特徴を生かすため、アクチュエータを構成する要素である、空気圧サーボ弁、シリンダ、ロータリアクチュエータ、センサ等が小型、軽量である必要がある。このため、空気圧サーボ弁とロータリアクチュエータを新しく開発した。また、回転運動を直線運動するシリンダのピストンに伝達するため、特殊なばねを用いている。この構成にも特徴がある。

直線の変位計にアブソリュートのデジタル変位計、回転角度は、1回転24ビットのアブソリュートエンコーダを用いている。これらのセンサ信号を取り込み、フィードバック、フィードフォワード等の演算を行い、サーボ弁に電流出力するデジタルコントローラを開発した。このコントローラの演算部分にFPGAを用いている。

デジタルコントローラは下記の特徴がある。

- ①演算を浮動小数点法で行い、制御演算の中での飽和をなくしていること。
 - ②演算パラメータの設定が容易で、再設定時においても過去の設定した遺産を用いることができること。
 - ③制御系の構成等もソフトを書き換えることにより変えることができること。
- また、演算速度も制御系に対し十分

な速さを持っている。

2. 開発経緯

今回対象としているアクチュエータを開発する前に、外部より回転を入力する構造のアクチュエータを開発した。このアクチュエータを1次試作型とする。これはS社の依頼によるもので、空気圧サーボ弁は、直動3方弁(AS310型)で、セミアブソリュート変位計によりスプールの位置決め制御がなされていること、案内弁は静圧軸受を設けることによって、スレシヨルドを低減していることなどに特徴がある。回転は、外部のモータとプーリーやギアなどの組み合わせにより行われる。この回転力を、シリンダのロッド及びボールベアリングに支持されたブッシュを正方形にし、かつこの部分に静圧軸受けを設けることによって摩擦なくシリンダに伝える構造となっている。この構造が本シリンダの



写真 1(旧型複合アクチュエータ)

特徴である。

シリンダの外観を写真1に示す。

写真にもある通り、方形のピストンロッドと方形のピストンロッドを支える方形の穴を持つブッシュが、回転を伝える機構である。ロッドが、直線運動するときの摩擦をなくすため、ロ

ッドを支えるブッシュの内面に表面紋りによる静圧軸受が成型されている。

この方形のロッド及びブッシュに成形された静圧軸受のクリアランスは、数ミクロンである。この構造は簡易的であるが、円形のものに比べ、製作と検査が格段に難しい。

直進運動をしながら、回転を伝える構造には、ボールスプラインなどがある。しかし、摩擦なく、かつ転がり軸受を用いることなく実現するには、新しい構造のもの開発が必要であった。また、小型、コンパクトであることが開発の前提であった。

3. アクチュエータの構成

新しい構造のアクチュエータ(2次試作)は、ノズルフラップを前段増幅部に持つカフィードバック型空気圧サーボ弁(4方弁)、ベーン型ロータリエンコーダ、アブソリュート型変位計及び、回転と直進運動を接続する特殊ばねによって構成されている。これらのほとんどが、開発要因を持っている。

外観を写真 2 に示す。

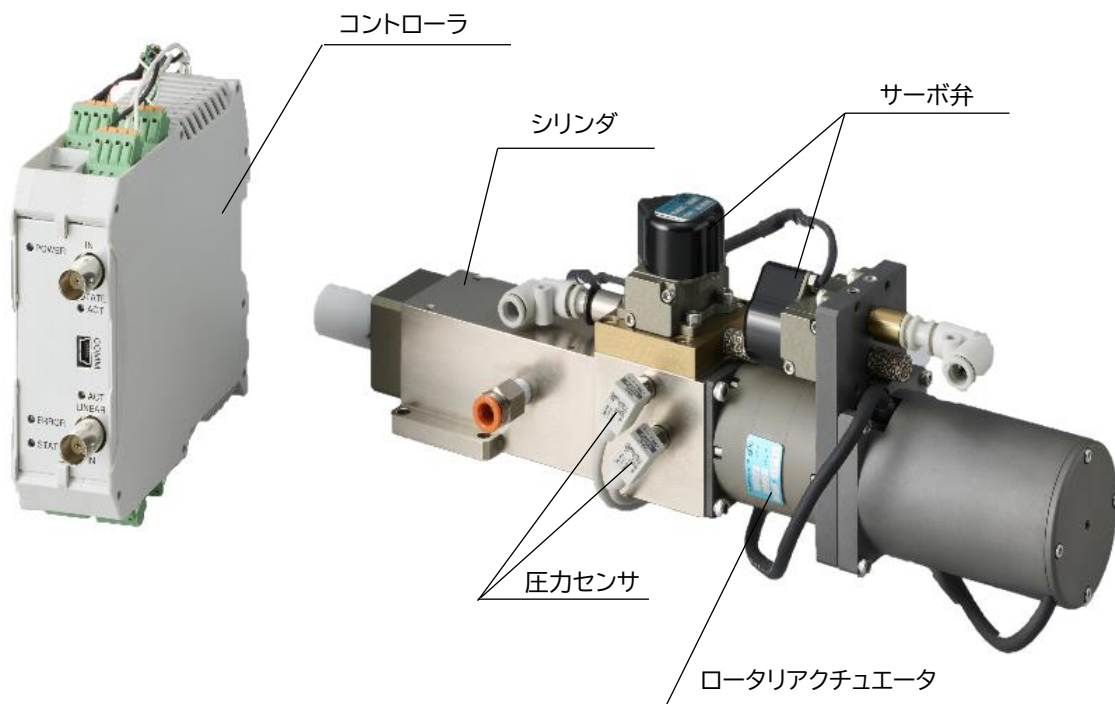


写真 2(新型複合アクチュエータ)

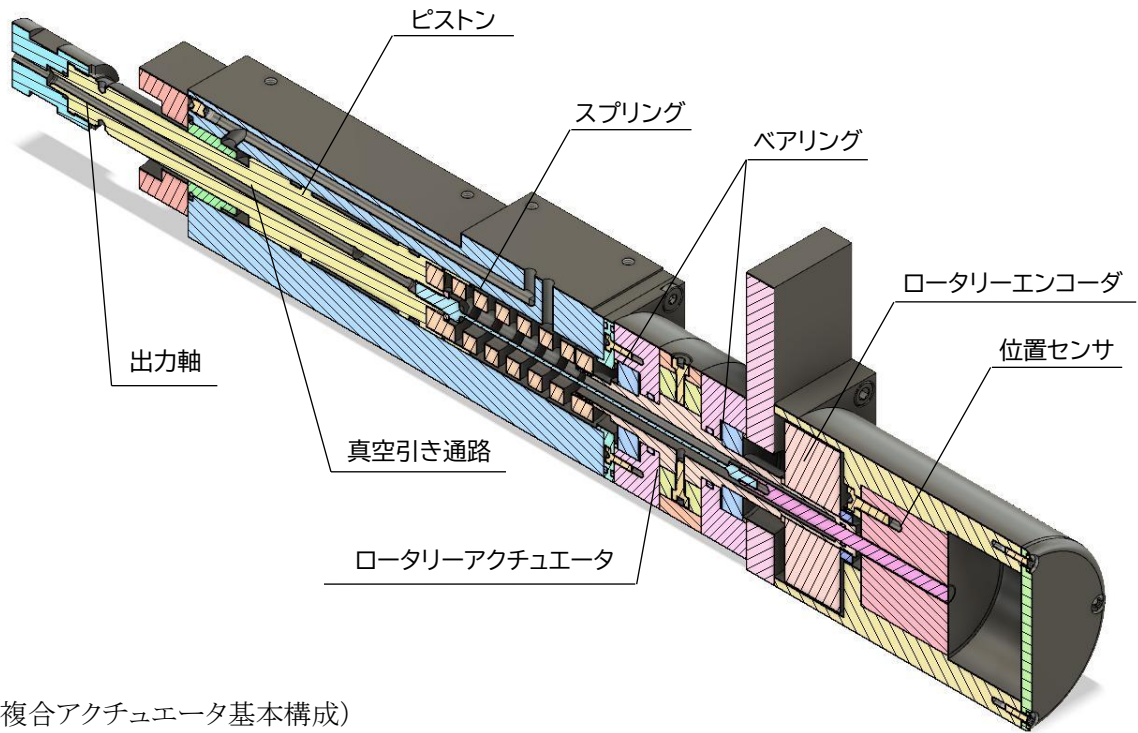


図1(新型複合アクチュエータ基本構成)

基本構成を図1に示す。

シリンダは片ロッドで、4方弁で駆動される。シリンダの、ピストン及びロッド部に静圧軸受けが組み込まれており、摩擦を低減できるようになっている。ピストンロッドの先端に、真空引きするための口が設けられている。この口は、ピストン部及びシリンダチューブを介して外部につながり、外部より真空引きを行うことができるようになっている。

カフィードバック型空気圧サーボ弁は、空気圧サーボ弁の新しい構造のものにあたるため、技術資料として別項を立てて説明する。よって、ここでは割愛する。

ロータリーアクチュエータは1ベーンである。それにより軸には偏心荷重がかかる。この荷重は軸を支える玉軸受で受けている。ベーンとケーシングには数ミクロンの隙間があり、空気圧の漏れを許容している。このような精密隙間を安定して継続させ

るため、ロータリーアクチュエータの材質を、6-4チタンとしている。

ロータリーアクチュエータの断面構造を図2に示す。

図にある通り、アクチュエータの軸のスラスト方向も玉軸受けで受けて

いる。この構造だと、スラスト方向の外力には強くなく、特殊ばねのばね定数が小さいことを前提としている。

スラスト方向の外力としては、本複合アクチュエータに用いられる限り、特殊ばねからのみ働く構造である。

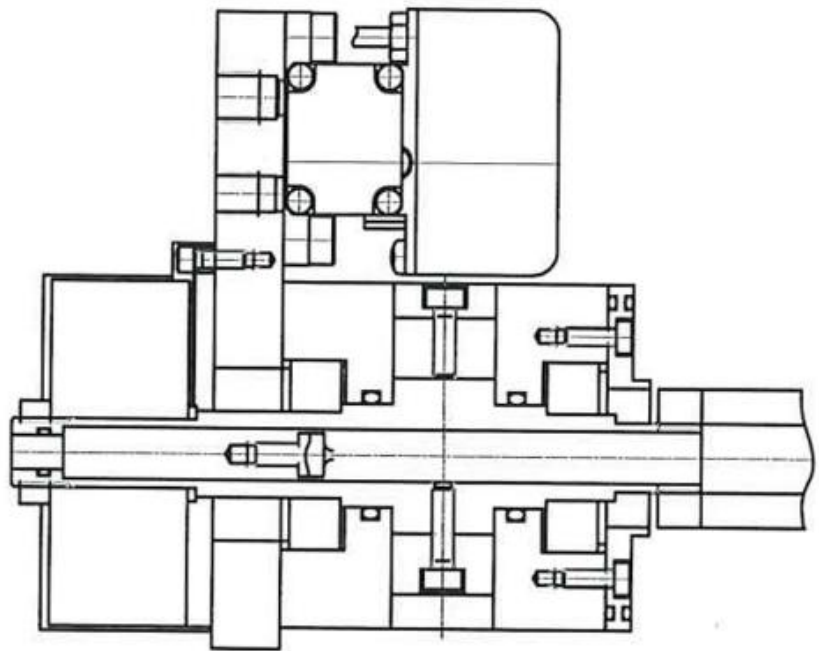


図2(サーボロータリー断面構造)

特殊ばねは、伸び縮み方向のばね定数ができるだけ小さく、回転方向のねじり剛性の高いことが要求される。ストロークが比較的長く、ばね定数が小さい場合、ばねのサージング現象がシリンダの出力に現れる場合がある。また、コイルばねでは伸び又は縮みによって、ねじり方向に変化し、直進及び回転を独立に、かつ精密に制御する場合に不向きである。機械要素の中の基本中の基本であるばねにも、解決すべき課題がある。

ばねの具体例を写真3に示す。このばねは2条ばねである。

前述した角度センサは、ロータリアクチュエータの出力軸の変化を見ている。ロータリアクチュエータの出力軸は、ばねを介してシリンダロッドに接続されているため、ばねが圧縮されまたは伸長されたとき、回転方向に少しねじられる。このねじり角は、ロータリアクチュエータの出力角度の誤差として、シリンダロッドに伝わる。このねじり角の変化量は、ばねの伸び縮みの変化量すなわちシリンダのストロークにはほぼ比例していると考えられるため、シリンダのストロークを検出することによって、この角度補正を行うことができる。ただし、より精密な制御をするためには、伸び縮みによって、ねじり角の生じないばねを必要とする。より精密なアクチュエータが求められる場合の一つには、以上の課題を解決したものになる。



写真3(特殊ばね)

4. システム構成

本アクチュエータは、直進及び回転の2軸の制御系で構成されている。また、これら2つの系はそれぞれ独立して構成されている。シリンダによる直進運動から順次述べていく。

4.1 直進運動

直進運動は次の2つの機能を持つ。

①変位センサを用いた変位制御。

②圧力センサを用いた力制御。

これら2つの制御系は、上位のコントローラからの指令によって切り替える、もしくは内部の設定で切り替える必要がある。切り替えは母機の要求によって決まるが、基本はシリンダの停止状態でのタイミングになる。変位又は力のオフセット量は基本的に次の要件を満たすものとしている。

すなわち

変位から力への切り替えは、その時点での力が変化しないオフセット量を指令として与える。

力から変位への切り替えは、その時点での変位が変化しないオフセット量を指令として与える。

こうすることによって、切り替え時の急激な変化を押さえることを目指している。

変位及び力を同時にフィードバックし、いわゆるサーボスプリングを構成することもできる。これであれば上述の制御パターンの切り替えをすることなく、負荷に応じて、すなわち固い負荷の場合は力制御、やわらかい負荷の場合は変位制御が主となって現れるため、簡易的で負荷感応型の制御系になる。

図3に系の全体構成を示す。

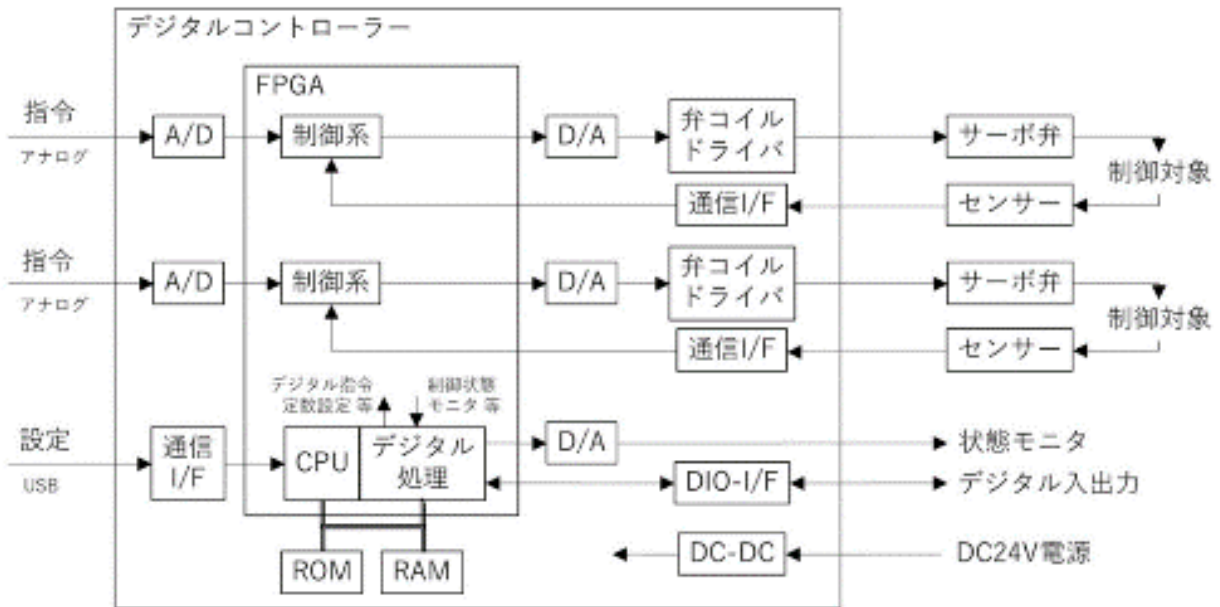


図3(FPGAを用いたデジタルコントローラの基本構成)

4. 2 回転運動

回転はロータリアクチュエータで行われる。このアクチュエータの回転角度は $\pm 150^\circ$ である。回転角度をアブソリュートのエンコーダで検出しフィードバック信号とする。このフィードバック信号を基順に、デジタルコントローラによって角度制御を行う。

制御系の構成を図4に示す。比例制御系のみで構成されており、

所定の精度を得ることができている。本アクチュエータは、チップマウント等を想定して開発されているため、大きな負荷を想定していない。高い剛性の負荷や回転外乱が働く場合などは制御系の変更やパラメータなどを再構築する必要がある。

図にもあるとおり、本制御系は比例フィードバック、速度フィードバック、加速度フィードバック、比例フィード

フォワード、速度フィードフォワード、加速度フィードフォワードによって構成されている。本制御系は他の装置の制御系と共用しているため、本アクチュエータに必要なとされない機能も持っている。これらは、古典制御系に属するものである。

フィードバックによって精度を保証し、フィードフォワードによって、応答を改善しているともいえる。

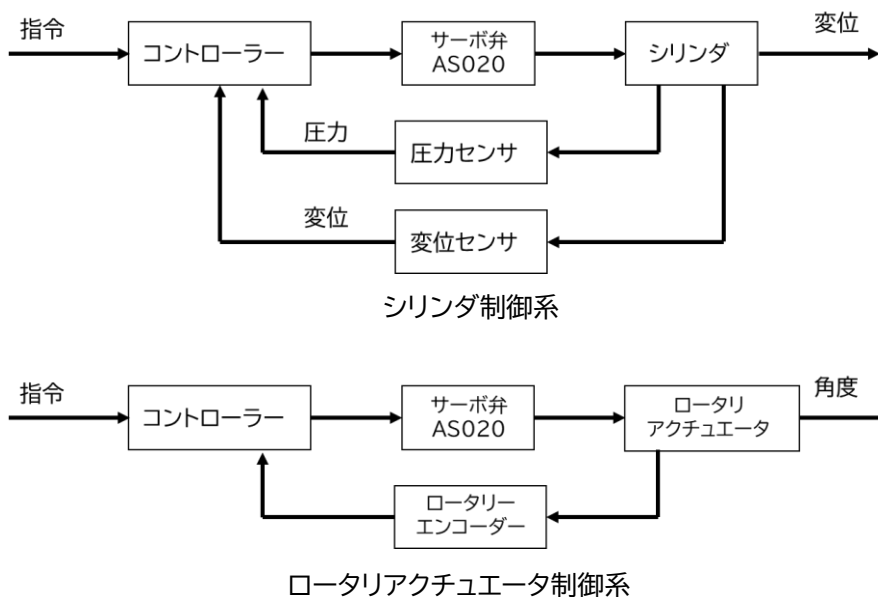


図4(制御系の構成)

6. コントローラの構成

コントローラの構成は図5に示す通りで、FPGA を中心にデジタル制御系となっている。

コントローラの入出力は

- ①アナログ入力: 直進及び回転の指令信号、圧力センサよりの信号。

- ②アナログ出力: サーボ弁への出力電流 (2 系統)

- ③デジタル I/O: デジタル変位センサ及びエンコーダよりの信号の受け渡し。

- ④通信
となっている。

7. 概略仕様

以上述べた仕様をまとめて、表1に示す。

以降、本アクチュエータの特性、性能について、その2として続ける予定である。

(つづく)

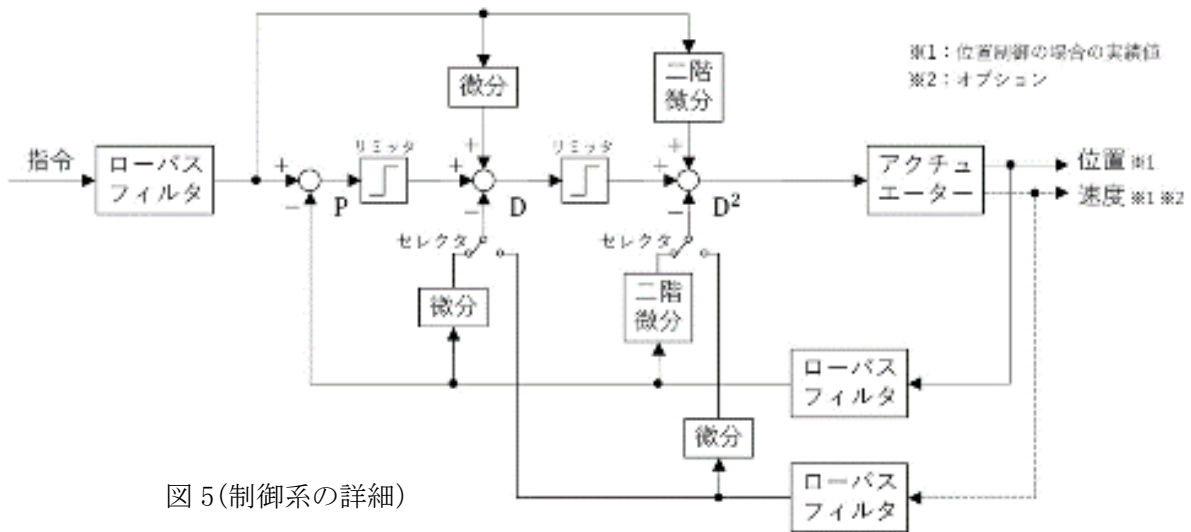


図 5 (制御系の詳細)

シリンダ	ストローク	20mm
	推力 出側	150N
	引側	80N
	変位センサ	アブソリュート0.5μ m
	圧力センサ	電圧 1~5V出力 総合精度 約2%
サーボ弁	AS010	
ロータリーアクチュエータ	回転角度	300°
	回転トルク	50Nm
	角度センサ	360° アブソリュート 16bit 分解能
	サーボ弁	AS010
コントローラ	電源	24V
	制御素子	FPGA
	出力	±30mA
	入力	±10V
	制御軸数	独立2軸制御
	パラメータ設定	外部P/Cを接続し設定

表 1 (概略仕様)



ピー・エス・シー株式会社
Pneumatic Servo Controls LTD.
www.psc-net.co.jp