

簡易産業用ロボットに関する研究(第3報)

新技術応用部 藤沼 良夫 石川 智彦

機械金属部 小石川勝男

1. 緒 言

産業用ロボットは従来から大企業を中心に導入されてきたが、近年の社会環境の変化により中小企業にも普及しつつある。産業用ロボットの用途が多様化するにつれ、市販のロボットは多機能化、知能化へと向かいつつある。しかし、中小企業で生産ラインにロボットを導入しようとする、高級化したロボットよりもむしろ単純作業用ロボットが導入し易く價格的にも有利である。このため、市販の汎用ロボットを導入するよりも自社の生産ラインにあった簡易ロボットを自社開発しようとする企業が増えつつある。

これらの企業を支援すべく、昭和58年度から簡易産業用ロボットに関する研究を行ってきたところであるが、第1報および第2報では試作した3台のマニピュレータの基本設計方針、構造、制御系について報告したが、本報ではこれらの動作制御プログラムおよび位置繰返し精度について報告する。

2. 動作制御プログラム

ロボットの制御方式は、一般に動作内容の指令方式により分類されている。試作の3台のマニピュレータはいずれも、あらかじめマニピュレータを動作させて作業の順序、位置を記憶させ、これを再生することにより動作を実行するティーチングプレイ・バック方式である。

2.1 DCサーボモータ駆動5自由度マニピュレータ

DCサーボモータ5軌拍こよる5

自由度をもった極座標型のマニピュレータである。

ハードウェアの基本的な構成を図1に示す。

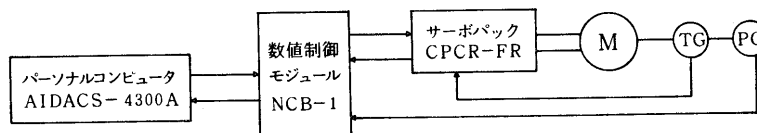


図1 ハードウェアの基本構成図（1軸分）

DCサーボモータには、タコジェネレータ(TG)とオプティカルエンコーダ(PG)が取り付け

てある。TGはサーボバックへ、PGは数値制御モジュールへ各々フィードバックをかけている。

各軸をコントロールする制御用プログラムのフローチャートを図2に示す。

データの出力とは、数値制御モジュールへの出力を意味する。パーソナルコンピュータは、数値制御モジュールに書き込んであるサーボバックコントロール用処理プログラムをコントロールすることにより、5軸の協調的動作を実現する。

このマニピュレータには、ティーチングボックスは存在しないが、各軸をステップ動作させ、カウントすることにより、ティーチング的動作を行うことができる。

2.2 エアシリンダ駆動5自由度マニピュレータ

このマニピュレータは、市販のエアサーボシリンダを5軸組み合わせたものであり、その制御系の構成を図3に示す。同図のティーチングユニットは、任意の1軸を直接動作させることにより、ティーチングを行うことができる。コントロールユニットは、エンコーダの信号をひろい、その軸の原点からの位置を

表示することができ、また、99ステップまでの動作位置(エアシリンダのストローク)を設定できるPTA式コントローラである。これら5台のコントロールユニットをシーケンサで制御することにより、即ち、あらかじめ各軸のコントロールユニットに設定した値をシーケンシャルに制御することにより、所定の動作を行わせるように構成してある。

図4に主制御部のフローチャートを示す。

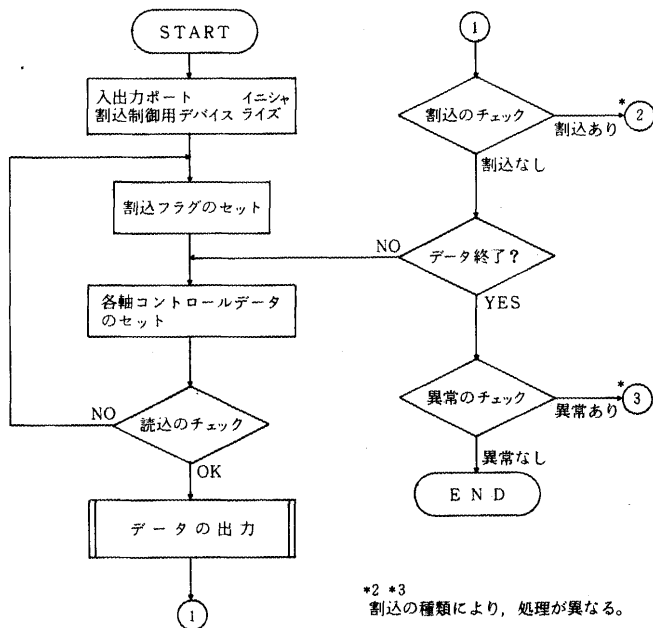


図2 制御用プログラムのフローチャート

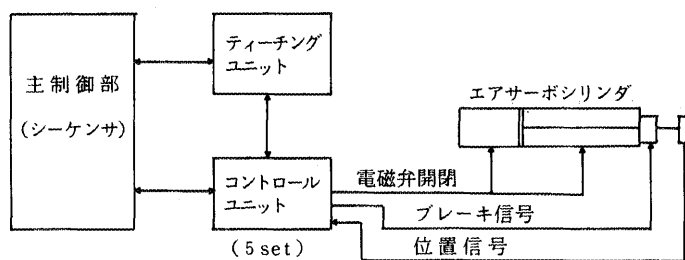


図3 構成図

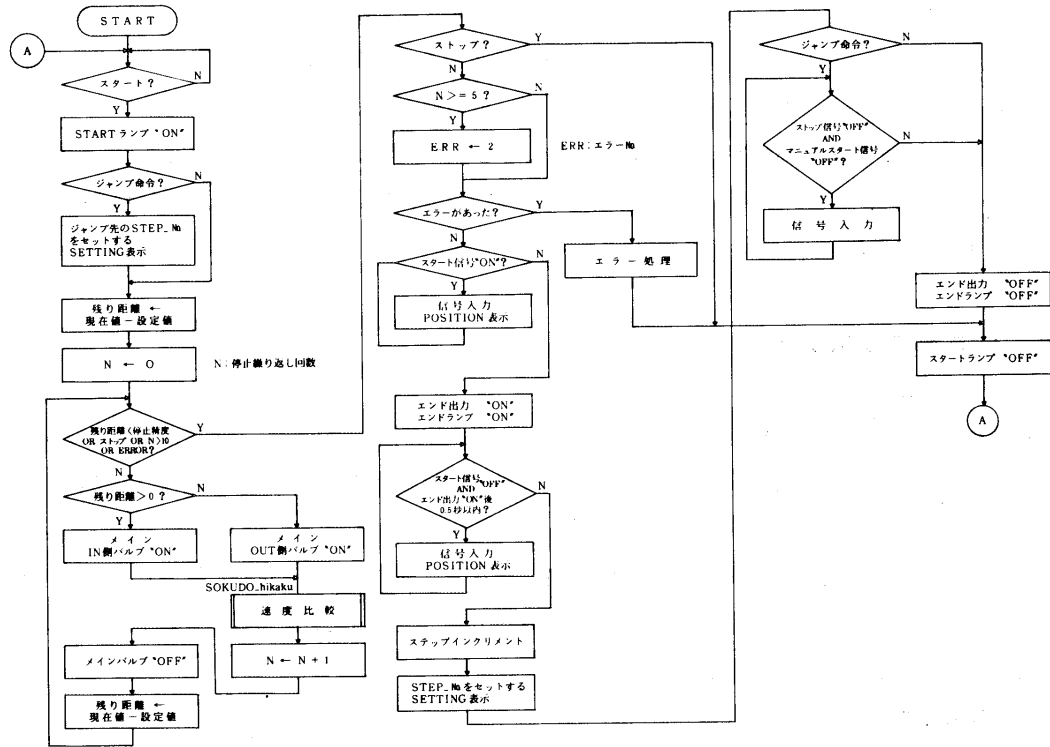


図4 フローチャート

2.3 エアサーボ弁駆動3自由度マニピュレータ

X-Y平面にサーボ弁，Z軸方向にエアシリンダをもったエア3軸マニピュレータである。更に，Z軸方向のエアシリンダの先にグリッパをもち，軽量物のピックアッププレイスを行うことができる。ハードウェアの基本的な構成を図5に示す。

制御用プログラムは，すべてBASIC言語を用いて記述している。制御プログラムの構成を図6に示す。各々の命令をルーチン形式で作成している。MOVE命令は，X—Y平面上の2

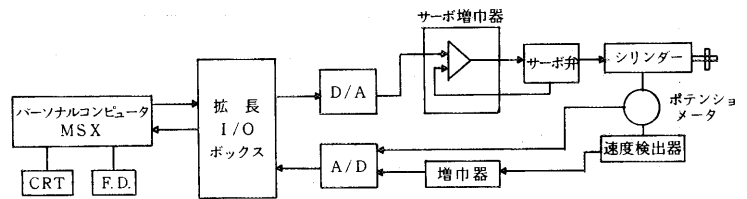


図5 ハードウェアの基本的な構成 (1軸分)

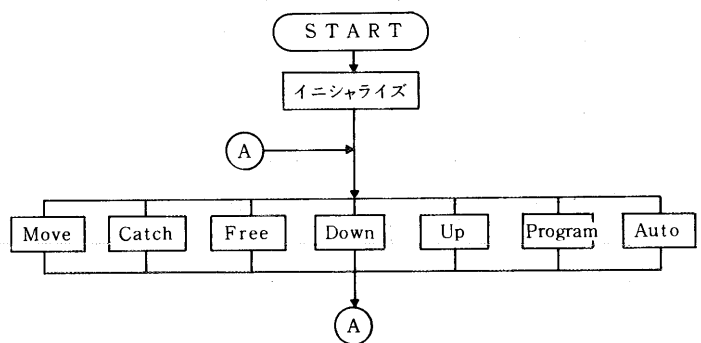


図6 制御プログラムの構成

点を設定することによりアームを移動させる。UP, DOWN命令はZ軸方向のエアシリンダの上下を設定し, CATCH, FREE命令はグリッパの開閉を設定する。各々の命令は, 単独の命令として動作させることもできるし, PROGRAM命令により, 一連の動作として行うこともできる。また, AUTO命令では, PROGRAM命令により作成された一連の動作を繰返し行うことができる。一度入力(ティーチング)されたデータを, FD.(フロッピーディスク)を保存しておけば, 再起動時におけるティーチングを省略することができる。

3. 位置繰返し精度試験

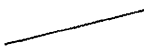
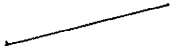
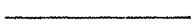
3.1 実験方法

産業用ロボットの特性・機能試験についてはJISで測定項目, 測定条件, 測定方法が定められている。測定項目は10項目定められているが, 今回は位置繰返し精度および動作速度についての試験を行った。

位置繰返し精度の測定方法は, 各軸の動作を十分反復させ動作条件が安定した状態で, 7回の再生位置をダイヤルゲージで測定した。動作速度(角速度)は, 上述の設定値における動作開始から停止までの時間をストップウォッチで測定した。

3.2 実験結果

3.2.1 DCサーボモータ駆動5自由度マニピュレータ

	繰返し誤差 (deg)	^{※1} 相対誤差 (%)	動作速度 (deg/Sec)
X 軸 (胴回転)	$\pm 6.65 * 10^{-3}$	$\pm 1.66 * 10^{-2}$	2.60
Y 軸 (前腕)	$\pm 1.03 * 10^{-3}$	$\pm 3.43 * 10^{-3}$	5.17
Z 軸 (上腕)	$\pm 1.00 * 10^{-3}$	$\pm 3.70 * 10^{-3}$	2.60
a 軸 (手首上下)	$\pm 5.95 * 10^{-3}$	$\pm 3.31 * 10^{-2}$	5.17
b 軸 (手首回転)			
総合3軸 (YZa軸)	$\pm 7.41 * 10^{-3}$		^{※2} 1.46

※1 相対誤差とは, 動作角に対する繰返し誤差の割合を示す。(以下同じ)

※2 先端部における角速度を示す。

3.2.2 エアシリンダ駆動5自由度マニピュレータ

	繰返し誤差 (deg)	相対誤差 (%)	動作速度 (deg/Sec)
$\theta 1$ (胴回転)	$\pm 7.10 * 10^{-2}$	± 0.355	15.4
$\theta 2$ (上腕)	$\pm 0.60 * 10^{-2}$	± 0.023	18.0
$\theta 3$ (前腕)	$\pm 1.00 * 10^{-2}$	± 0.049	36.9
$\theta 4$ (手首上下)	$\pm 1.40 * 10^{-2}$	± 0.012	135.0
$\theta 5$ (手首回転)	$\pm 6.90 * 10^{-2}$	± 0.221	34.7

3.2.3 エアシリンダ駆動3自由度マニピュレータ

	繰返し誤差 (deg)	相対誤差 (%)	動作速度 (deg/Sec)
X 軸 (上腕)	$\pm 0.73 * 10^{-1}$	± 0.715	25.6
Y 軸 (前腕)	$\pm 1.14 * 10^{-1}$	± 0.750	38.1
先端部上下	$\pm 0.37 * 10^{-1}$ (mm)	± 0.082	450 (mm/Sec)

先端部上下の項に関しては、直線運動のため、mm単位で表現してある。

3.3 考 察

DCサーボモータ駆動5自由度マニピュレータにおいては、各軸とも1/1000度台という高い精度で安定している。本マニピュレータは、モータから駆動部までをチェーンを介しているため、チェーンの遊びや、ギアのバックラッシュ等により、誤差が生じることが考えられるが、エンコーダからの信号をサーボバックにフィードバックをかけることにより高い精度を得ることができている。しかし、手首関係のモータは肘部分にもっているため、モータから駆動部までの距離が長くなり、他の部分に比べ精度が落ちたものと思われる。このような遊びを取り除くには、モータ自体をダイレクトドライブモータにし、各関節に取り付ける直接駆動の方式等の効果的な方法をとるとか、チェーン中間部にギアをかませる等の機構的な手法を用いる必要がある。

また、複数軸を複合的に動作させた場合、軸相互間の干渉や各軸における角速度等の相違により、精度が落ちるものと思われる。複雑な動作を行い、かつ精度を上げるには、マニピュレータ全体を1つの系と考え、最適ゲインや最適加減速パターンを求める必要がある。

エアシリンダ駆動5自由度マニピュレータの精度は、 $\theta 2, \theta 3, \theta 4$ が $\pm 1/100$ 度とかなり良い精度であったが、 $\theta 1, \theta 5$ は $\pm 7/100$ 度である。これは、 $\theta 2, \theta 3, \theta 4$ がピボットであり、エアシリンダからチェーンを介して回転軸のギアを直接駆動させているのに対して、 $\theta 1, \theta 5$ は同軸回転であるためと考えられる。 $\theta 1$ はギアとギアのかみ合せでありそのうえ入力側より出力側の回転速度を増幅しており、 $\theta 5$ は直線運動と回転運動に変換するためギアを複雑に組み合わせてあり、そのバックラッシュによるものと考えられる。

エア3自由度マニピュレータの場合、X-Y平面上では重力項を考慮する必要がないため、比較的応答性は良かった。このマニピュレータは、サーボ弁を使用しているため、ゲイン調整や空気圧の調整等により、応答性や精度に影響が生じる様である。単純なピックアンドプレイス動作においては、十分な精度であるが、位置決め制御を行う場合には、誤差が大きい様である。これは現在オープンループであり、フィードバックをかけていないためであるが、関節部におけるポテンショメータからの信号をフィードバックすることにより精度は上がるものと思われる。また、先端部Z軸方向のシリンダ精度は、ストロークエンドで止めているため、精度は他に比べ良い結果となった様である。

4. 結 言

試作した3台のマニピュレータの動作制御プログラムおよび位置繰返し精度試験結果について述べた。制御方式は3台ともティーチングプレイバック方式のため、簡単な動作に対しては容易に動きを教示できるが、動きが複雑になると教示に時間がかかり多大な労力を必要とする欠点がある。そのうえ外界からの信号処理や他の機械との協調動作を行うのが難しく、使い易くするには各種のソフトウェアを開発する必要がある。また、位置繰返し精度は予想以上の高精度を得たが、しかしこれは1軸のみの結果であり、特性を知るには負荷、速度、姿勢、変位量等をパラメータとした精度試験が必要である。これを行うには多大な装置と時間を必要とするが、動特性解析のためには今後必要となるであろう。

昭和58年度から3年度にわたり「簡易産業用ロボットの研究」のテーマのもとに、全くの手さぐりの状態から設計にあたっては、最新の理論、機器、技術を取り入れることよりも産業用ロボットの基礎技術を習得することを基本方針として3台のマニピュレータを試作し、マニピュレータの運動方程式の解法、制御理論の適用、センサの利用を経てソフトウェアの開発および動作試験まで行ったわけである。この間研究スタッフは5人から3人に削減されトンまた、配線ミスやソフトのバグによりたびたびの暴走により修理を余儀なくされた場合もあった。しかし、昭和61年2月に行った「簡易ロボットの基礎から設計まで」の2日間の講習会では200人も応募があり、産業用ロボットに対する関心の高さと

県内中小企業のかかえている問題点が明らかになるとともに、当センターの使命の重さを痛感させられた。

今後は、3年間で培ったロボット制御技術を基礎として、中小企業の自動化・省力化ひいてはメカトロニクス化に寄与すべく研究を開始する所存である。

5. 謝 辞

本研究をすすめるにあたり多数の方々からご支援をいただきました。特に工業技術院機械技術研究所ロボティクス部自律機械課の伊藤英世氏、新井健生氏、山羽和夫氏ならびに同課の皆様からは、3年間にわたり研究方針から内容まで多大なご支援をいただきましたことを深く感謝いたします。更にまた、設計、試作にあたっては、アイ電子測器(株)、(株)安川電機製作所、三菱電機(株)、(株)インターナショナルサーボデーター、(株)セイド、常陽三協電機(株)の皆様の過分なるご協力をいただきましたことを深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 高島ら:簡易産業用ロボットに関する研究(第1報) 茨城県工業試験所年報第12号5
- 2) 高島ら:簡易産業用ロボットに関する研究(第2報) 茨城県工業試験所年報第13号5