

要旨

メカトロニクス教育の一環として、腕口ロボットをパソコンを用いて操作する実験を実施している。コマンドレベルと動作レベル (VAL) の操作言語を用いて、鍵盤入力によるモータ駆動と PICK & PLACE の課題をプログラムすることにより、①計算機の入出力インタフェース②腕口ロボットのメカニズム③操作言語レベルの差異を実感できる。計算機を用いての外部機器の操作は新鮮な体験として学生に受け止められている。

1. まえがき

むきだしの構造でモータ駆動と関節動作の関連がよくわかる教育研究用腕口ロボット、ライノXRをパソコンを用いて操作する実験をメカトロニクス教育の一環として実施している。ライノXRには単純な動作コマンドしか用意されていないので、動作レベルのロボット言語として実績のあるVALをライノXR用に作成し、言語レベルの差異を体験できるようにした。

2. ライノXRと動作コマンド

ライノXR腕口ロボットは教育・研究用に製作された多関節型腕口ロボットであり、手首、手、ひじ、肩、腰の5自由度回転運動と指の開閉運動が可能である。サーボモータの運動変換機構にはチェーン、内界センサには光学式エンコーダとリミットスイッチが使用されている (図1)。表1に示す動作コマンドが可能で、パソコン側がRS-232-Cインタフェースを介してコマンドを送信し、ステータスを受信する。パソコン側言語には実習済みのFORTRANを使用した。

3. ライノ用VAL言語の作成<sup>1)</sup>

VALは6自由度多関節ロボットPUMA用に開発され、ハンドの位置、姿勢を目標値に指定して動作させる命令が基本となっており、異なった腕口ロボットに対しても同等の命令による実行が出来る。

手先端の位置 ( $X_p, Y_p, Z_p$ ) と傾き ( $\theta_a$ ) を与えた時の、4つのモータの回転角 ( $\theta_1 \sim \theta_4$ ) は図3の座標系、関節パラメータ、補助変数  $\phi, r, \psi$  を用いて以下の様に求まる。

$$\phi = \pi - \tan^{-1} \left\{ \sqrt{X_p^2 + Y_p^2} / (Z_p - d_1) \right\} - \theta_a$$

$$r = \left\{ a_2^2 + \sqrt{X_p^2 + Y_p^2 + (Z_p - d_1)^2} - 2a_4 \sqrt{X_p^2 + Y_p^2 + (Z_p - d_1)^2} \cos \phi \right\}^{1/2}$$

$$\psi = \cos^{-1} \left[ \{ a_4 - \sqrt{X_p^2 + Y_p^2 + (Z_p - d_1)^2} \cos \phi \} / r \right]$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \{ (2a_2 - r^2) / 2a_3 \}, \theta_4 = (\pi - \theta_3) / 2 + \psi, \theta_2 = (\pi - \theta_3) / 2 - \psi + \theta_a, \theta_1 = \tan^{-1} (Y_p / X_p)$$

ライノXRでは以下の点がPUMAと異なるため、

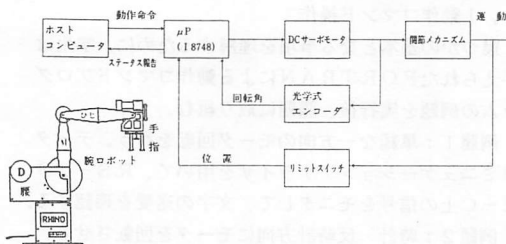


図1 ライノXR腕口ロボット

区分	内容	コマンド	機能
動作命令	START	x + n	nで指定された量だけxモータの駆動を設定せよ 復帰で実行、(n=1~95)
	STOP	x X	xモータ停止せよ
報告命令	QUESTION	x ?	xモータのエンコーダ状況を知らせよ
	STATUS	I	C-Hモータのリミットスイッチ状況を知らせよ
出力命令	RESET	Q	コントローラをリセットせよ
実行命令	DO START	復帰	モータ駆動を実行せよ

表1 動作コマンド

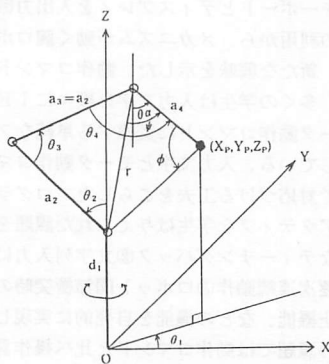


図2 座標系、関節パラメータ

作成したVAL言語はサブセットとなる。①各サーボモータの速度変更が出来ないため、目標点までの経路は制御されず、基本動作命令MOVEの軌道運動が本来の命令と異なる。②5自由度であり、ツール座標系の設定が出来ない。③ティーチングを行わずにオフラインプログラミングでのみ動作を記述する。

作成したライノXR用VAL言語の全体構成と使用可能なVALコマンドを図3に、PICK&PLACEプログラム例を図4に示す。

#### 4. 腕ロボット実験

##### 4. 1 動作コマンド操作

幾つかの基本となる事項を理解するために、学生は与えられたFORTRANによる動作コマンドプログラムの例題を実行後、課題に取り組む。

・例題1：単純な一方のモータ回転を行う。データコミュニケーションアナライザを用いて、RS-232-C上の信号をモニタして、文字の送受を確認する。

・例題2：時計・反時計方向にモータを回転させる。動作確認の有無による運動の差異を比較する。

・例題3：回転するモータをリミットスイッチで停止させる。スイッチの開閉状態は受信データの各ビットを調べることにより検出できる。

・課題：表2に示す文字を入力してA～Fのモータを予め設定したステップ数だけ駆動するプログラムを作成し、実行する。

##### 4. 2 VALコマンド操作

・課題：基盤上のA地点の物体を取上げ(PICK)、B地点に移動して置く(PLACE)動作を複数回繰り返すVALプログラムを作成し実行する。

#### 5. 実験実施結果

学生はキーボードとディスプレイを入出力機器とする計算機の利用から、メカニズムが動く腕ロボット操作に対し、新たな興味を示した。動作コマンドによる操作では、多くの学生は入力文字を順々にIF文で判断してモータ動作コマンドに変換する単純なプログラムを作成している。入力文字とモータ動作コマンドをテーブルで対応づける工夫をこらしたプログラムも見られた。アクティブな学生は与えられた課題を発展させ①簡単なティーチングバック②文字列入力による各モータの逐次連続動作③ロボット関節衝突時のモータの自動停止機能。などの機能を自発的に実現している。

VALの課題では動作コマンドと比べ操作言語による記述能力の差を実感した様子であった。

全体の実験に対する感想では、プログラムの結果が目に見えるだけに、興味を引かれ楽しんで実験を行なった旨が述べられている。

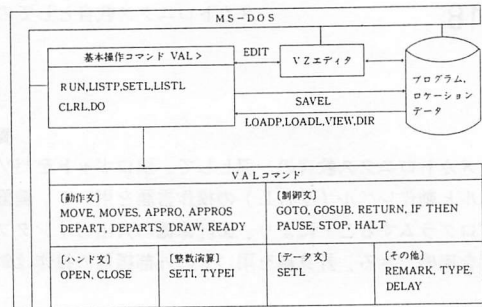


図3 ライノXR用VAL言語の構成、可能コマンド

```
REMARK PICK & PLACE SAMPLE PROGRAM
SETL P1 0, 300, 280, 0, 0   ロケーションP1指定
SETL P2 0, 300, 5, 0, 0    ロケーションP2指定
SETL P3 150, 300, 280, 0, 0 ロケーションP3指定
SETL P4 150, 300, 5, 0, 0  ロケーションP4指定
SETL P5 0, 110, 280, 0, 0  ロケーションP5指定
MOVE P5                    P5へ移動
MOVE P1                    P1へ移動
APPRO P2 50                P2の50mm上へ移動
OPEN                       手を開く
MOVES P2                   P2へ垂直に移動
CLOSE                      手を閉じる
MOVE P1                    P1へ移動
MOVE P3                    P3へ移動
APPRO P4 50                P4の50mm上へ移動
MOVES P4                   P4へ垂直に移動
OPEN                       手を開く
DEPARTS 100                手を100mm上へ移動
MOVE P3                    P3へ移動
MOVE P5                    P5へ移動
STOP                       プログラム終了
```

図4 PICK&PLACEプログラム

モータ	A	B	C	D	E	F
関節	指	手首	手	ひじ	肩	腰
方向	+:開	+ :CCW	+ :CCW	+ :CCW	- :CCW	+ :CCW
文字	1	2	3	4	5	6
方向	-:開	- :CW	- :CW	- :CW	+ :CW	- :CW
文字	Q	W	E	R	T	Y

表2 モータ駆動対応文字

#### 6. あとがき

操作実験は教室の講義だけでは不十分なメカトロニクスの実感を体験できる良い機会となっている。自発的に意欲的なプログラムを作る学生もあり、概して好評な実験であった。今後の改良点としてはライノ用VALの拡張として、ディスプレイにロボットの動きを示して教示し、それを再生する機能を付加する。あるいは外界センサを接続してより高度な操作を行なわせるなど発展の余地がある。

#### 参考文献

1) 川崎重工業株式会社ロボット事業部：KL解説書 一ロボット用プログラムおよび制御システム、1987。