

# マイクロロボット《ムーブマスター》とそのコントローラにおける マイクロコンピュータ技術

沢田 忠\*・高橋 修\*・曾原泰之\*・猫塚正道\*\*

## 1. まえがき

当社は、昭和57年4月に教育研究用を主な用途にしたマイクロロボット《ムーブマスター》RM-101形とそのコントローラ《ムーブマスター》コンピュータMX-6000を発売した。このような用途を対象にしたロボットは国内では初めてであり、今後のコンピュータ及びロボット社会の到来を示唆するものとして注目されている。

以下に、RM-101形及びMX-6000のハードウェア及びソフトウェアについて述べる。

## 2. 開発の背景

本来、ロボット開発推進の方向はFA (Factory Automation) やFMS (Flexible Manufacturing System) につながる高知能化された産業用ロボットを目指したものであると考えていたが、それとは別に、ロボットに関する関心、導入意欲の高まりという状況の中で、ロボットについての研究、研修、シミュレーションなどや、学校でのメカトロニクス教育でも、価格及び取扱い面で手ごころな製品が望まれている点に、市場調査などを通じてかねてより着目していた。

一方、パーソナルコンピュータ (以下パソコンと称す) にこれから取組もうという人も多く、そのような人にとって、パソコンで何かを動かしながらプログラムを学習することは、十分興味あることであり修得も早いと考えた。

また、ホビーとしてマイクロコンピュータやメカニカル機器の製作、プログラミングを楽しむ人も少なくない。このような背景をもとに、

- (1) ロボット導入に役立つ研究
- (2) ロボット及びパソコンの教育
- (3) 店頭でのディスプレイの道具
- (4) ホビースト向け

などを主な目的とした安価で、インテリジェンス化され、しかも汎用パソコンにも接続できるマイクロロボットを提供しようとするものである。

## 3: ロボットの構造

ここでは、《ムーブマスター》RM-101形の構造の概略について説明する。

RM-101形の外観構造図を図1に示す。このロボットは構造的には多関節形に属し、独立して自由に動かせる関節はウエスト、ショルダー、エルボ、リストロール (手首の回転)、リストピッチ (手首の曲げ) の5箇所、すなわち自由度5のロボットである。なお、フィンガの開閉は空間座標の決定に影響を及ぼさないで、ここでは自由度に含めない。これらの各関節はすべてステッピングモータにより駆動される。

ロボットベース内部には、電源及びモータ駆動回路から構成されるドライバボードとCPU (Z80A) が搭載されたインテリジェンスボードとが格納されている。またベース外部には、各種操作スイッチとヒューズホルダなどが取付けられている。ポデー内部には、カウンタウエート兼用の電源用絶縁トランスとアーム部の一次モーメントを軽減するためのスプリングが

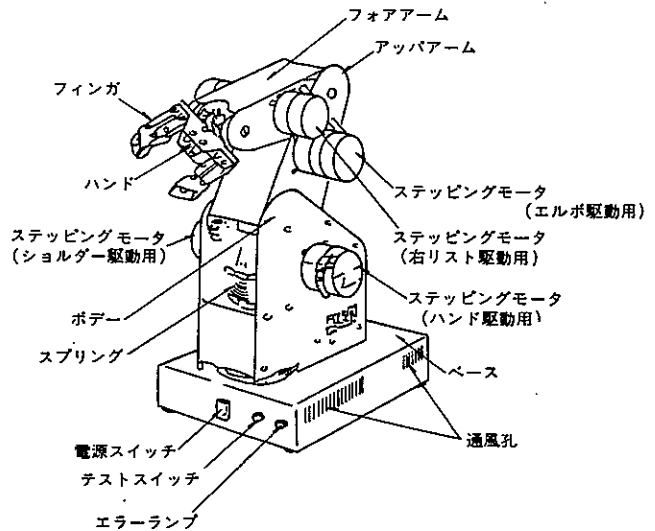


図 1. RM-101形の外観構造図

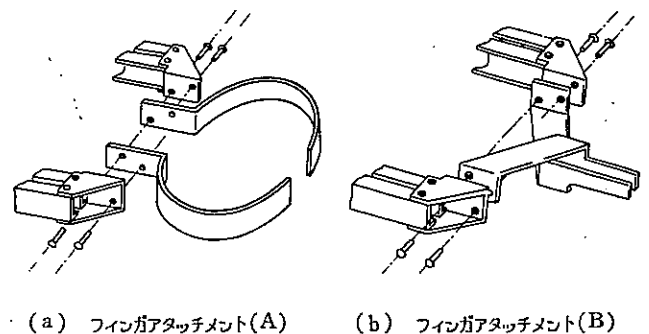


図 2. フィンガ付属品の形状

格納されている。また、ポデー外側にはショルダー及びフィンガ駆動用のモータが取付けられている。ショルダーはドライブギヤにより、また、フィンガはワイヤを介して駆動される。

アップアーム内部には、フィンガの握り圧力を前記ワイヤの張力で検出するためのリミットスイッチが取付けられている。また、アップアーム外部にはエルボ駆動用のモータが取付けられ、ローチェーンを介して駆動される。フォアアーム外部には、リスト駆動用モータが左右対称に2個取付けられ、これら2個のモータの回転方向を変えることで、リストのロール又はピッチ、あるいはロールとピッチの複合動作をさせることができる。ハンドは、フィンガ駆動用ワイヤを引張ることによりフィンガが開閉、逆にゆるめるとハンド内部に設けられているばねの力で開く。なお、フィンガは図2に示す2種類の形状のものも付属している。

## 4. 仕様及び特長

表1. にこのロボットの仕様を示す。このロボットの主な特長は次のとおりである。

表 1. RM-101 形の仕様

形 式	RM-101		可 搬 重 量 (g)	500 (ハンドの重量含まず)	
用 途	教育用・ホビー用		最 大 速 度 (cm/s)	ハンド先端で 7	
構 造	関節形・薄板構造		位 置 精 度 分 解 能 (mm)	0.3 台	
動 作 自 由 度	5		駆 動 部 制 御 部	駆 動 モ ー タ	ステッピングモータ 6 個
動作範囲 (°)	胴 体 旋 回	240 (左右 120)		速 度 制 御	台形波制御
	肩 回 転	150 (後方 75, 前方 75)		各 軸 制 御	6 軸同時複合動作可能
	肘 回 転	120 (後方 45, 前方 75)		インタフェース	セントロニクス準拠
	手 首 曲 げ	180		プログラム言語	ロボット言語「M-ROLY」又は BASIC Assembly, その他
	手 首 ね じ り	360		所 要 電 源	AC 100 V 単相 50/60 Hz 60 W コード 2 m 付
巨形ハンドの爪の間隔 (mm)	最大 80		重 量 (kg)	約 10	

4.1 ロボットのインテリジェンス化

このロボットは、パソコンなどのコントローラからコマンド(命令語)を受取るため、ロボット自体が CPU を搭載している。

- (1) ロボットに CPU を搭載し、あらかじめ人間の意志に近い文字のコマンドを覚え込ませておく。
- (2) 次に、前述のコマンドを用い、コントローラに入力する。
- (3) ロボットの CPU はこのコマンドを翻訳し、各関節のステッピングモータを駆動する信号を出力する。
- (4) この翻訳過程でロボット自体の制限条件などを判定演算し、自動的に最適運転をする。
- (5) この際、コンピュータは、ロボットの CPU にコマンドとそれに付随するパラメータを受渡した後、必要に応じて動作の終了又はエラー動作を確認するだけでよく、この間ソフト的な工夫をすることでコンピュータには別の演算、制御をさせることができる。すなわち、ロボットの複数台制御とかビジョンセンサとの結合といった高度のシステム化が可能になる。

4.2 セントロニクス準拠のインタフェース

パソコンとロボットとのインタフェースはセントロニクス社のプリンタインタフェースに準拠している。これは汎用パソコンがプリンタとのインタフェースとして最も一般的なものであるため、ユーザーの新たな経済的負担なしにパソコンと接続できることを配慮したためである。

4.3 ステッピングモータによる駆動

ロボットの関節部はすべてステッピングモータによる開ループ制御で駆動され、一般的に産業用ロボットと呼ばれるものが閉ループ制御であるのに比べて大きな違いである。これは教育・研究用という用途を考慮して、ユーザーがプログラムを作る場合、モータの移動角とステップ数との関係が比例関係にあるため、空間座標の演算が簡単になることと、コスト的にも有利であることによる。

5. RM-101 形制御プログラム

RM-101 形のソフトウェアは、2 種のテストモードプログラムと 15 のインテリジェンスコマンドで構成する。

5.1 テストモードプログラム

これは、ロボットをパソコンから切り離し、ロボット本体内蔵の制御回路で、ロボットのハードウェア及びソフトウェアの機能チェックをするためのプログラムであり、テストモード 1 は、ロボットの各関節を 1 軸ずつ動かすことができ、またテストモード 2 は全関節を複合動作により、連続自動運転させることができる。

5.2 インテリジェンスコマンド

インテリジェンスコマンドは以下に示すように、コマンドだけのものとコマンドにパラメータが付随したものとに分類される。これらのコマンドはすべてロボットコントローラ(例えばパソコン)で、ASCII コードに変換して出力する必要がある。

- (1) コマンドターミネータ
- (2) コマンドパラメータ(パラメータ, …… , パラメータ)ターミネータ

表 2 にインテリジェンスコマンド及びパラメータの形式を示す。表 3 にインテリジェンスコマンドとその機能を示す。ロボットを動作させるには、これらのコマンドをパソコンから出力命令(MX-6000 では LPRINT

表 2. インテリジェンスコマンド及びパラメータの形式

項 目	形 式
コ マ ン ド	英大文字
パ ラ メ ー タ a	10 進数整数
パ ラ メ ー タ b	16 進数
カ ソ ン マ	ASCII コード 2C
タ ー ミ ネ ー タ	ASCII コード 0A 又は 0D

表 3. インテリジェンスコマンドとその機能

名 称	インテリジェンスコマンド	パラメータ数	パラメータ		機 能	備 考
			形 式	最大桁数		
G. CLOSE	C	0	—	—	グリッブを閉じる。	1
HERE	E	1	a	3	ロボットに任意の現在位置を記憶させる。	2
G. OPEN	F	0	—	—	グリッブを開く。	1
HOME	H	0	—	—	ロボットに動作基準位置を記憶させる。	2
MOVE I	I	6	a	4	パラメータで指定した分だけ各関節を動かす。	1
LIMIT	L	1	a	1	ロボットの可動範囲をソフト的に監視する。	6
MOVE	M	1	a	3	E 又は P コマンドで定義した位置に動かす。	1
NEST	N	0	—	—	H コマンドで定義した位置にもどす。	1
OUT 8	O	1	b	4	8 ビットパラレル出力ポートを制御する。	5
POSITION	P	7	a	a <sub>0</sub> : 3 a <sub>1</sub> ~a <sub>4</sub> : 4	ホームポジションからの位置と位置 No. とを指定する。	2
OUT 4	Q	1	a	2	4 ビットパラレル出力ポートを制御する。	5
SPEED	S	1	a	1	ロボットの動作速度を定める。	3
TIME	T	1	a	2	パラメータで指定した分だけ動作を一時停止する。	4
SWH	U	4	a	1	4 ビットパラレル出力ポートを制御する。	5
SWL	V	4	a	1	4 ビットパラレル出力ポートを制御する。	5

注 備考欄の数字は以下を示している。  
 1: ロボットに動作を指示するコマンド。  
 2: 位置を記憶するためのコマンド。  
 3: 速度を制御するためのコマンド。  
 4: 時間を制御するためのコマンド。  
 5: I/O ポートを制御するためのコマンド。  
 6: そのほか。

表 4. 応用プログラム例

コマンド	行番号	プログラム	動作説明
HOME	5	LPRINT "H"	ホームポジションを定める。
POSITION	10	LPRINT "P1, 2000, 0, 0, 0, 0"	ホームポジションを基準に入力数を記憶する。
POSITION	20	LPRINT "P2, -2000, 0, 0, 0, 0"	ホームポジションを基準に入力数を記憶する。
POSITION	30	LPRINT "P3, 0, 500, 0, 0, 0"	ホームポジションを基準に入力数を記憶する。
POSITION	40	LPRINT "P4, 0, -500, 0, 0, 0"	ホームポジションを基準に入力数を記憶する。
MOVE	50	LPRINT "M1"	P1 で記憶させた位置に動作させる。
TIME	60	LPRINT "T1"	1秒間動作を停止する。
MOVE	70	LPRINT "M2"	P2 で記憶させた位置に動作させる。
TIME	80	LPRINT "T1"	1秒間動作を停止する。
MOVE	90	LPRINT "M3"	P3 で記憶させた位置に動作させる。
MOVE	100	LPRINT "M4"	P4 で記憶させた位置に動作させる。
NEST	110	LPRINT "N"	ホームポジションに戻す。
MOVEI	120	LPRINT "I0, 500, 0, 0, 0, 0"	ステッピングモータを入力数の位置に動作させる。
HERE	130	LPRINT "E5"	行番号120で動作させた位置を記憶する。
NEST	140	LPRINT "N"	ホームポジションに戻す。
MOVE	150	LPRINT "M5"	行番号130で記憶させた位置に動作させる。
NEST	160	LPRINT "N"	ホームポジションに戻す。

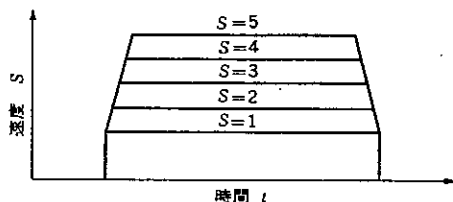


図 3. モータの速度制御

又は OUT 命令) で出力する。ロボット側では、このコマンドをセントロクス準拠のインタフェースで受けて CPU に取込み、ロボットを動作させる。インテリジェンスコマンドは表3. (注) に示すように6種類に分類される。以下にこれらのコマンドの内、主な幾つかについてその特徴を説明する。

5. 2. 1 動作コマンド (I, M, N)

これらのコマンドでロボットに動作を指示した場合には、ロボットのハンド先端が略直線補間 (各関節動作同時開始, 同時終了) になるように動く。すなわち、各モータへのパルス配分が時間的に均一になるよう制御される。

5. 2. 2 位置記憶コマンド (P, E)

これら両コマンドは次のとおりである。

(1) P コマンドはホームポジションを基準にした絶対位置をプログラム上で指定するコマンドである。

(2) E コマンドは実動作上でこのコマンド実行時の任意の位置を記憶させるコマンドである。

記憶できる位置は、標準装備 RAM 2K バイトで両コマンド合わせて 100 点まで、また RAM 6K バイト増設時 600 点までである。

5. 2. 3 速度制御コマンド (S)

ロボットのすべての動作に対して図 3. に示すような台形波速度制御を行い、荷搬時の二次モーメントの影響がステッピングモータの起動及び停止特性に及ぼす影響が少なくなるよう配慮している。

5. 2. 4 I/O ポートを制御するコマンド (O, Q, U, V)

これらの命令はロボットに接続される視覚センサなどの入力機器やリレーその他の出力機器を制御するコマンドである。

5. 3 応用プログラム

表 4. にインテリジェンスコマンドを用いた応用プログラム例を示す。表 3. から分かるように、インテリジェンスコマンドを用いることにより、プログラムのそれぞれのステップをロボットの具体的な動作に対応させて記述できる。

6. MX-6000 の仕様

《ムーブマスター》RM-101 形の専用コントローラ MX-6000 の仕様とハードウェア、ソフトウェアについて述べる。

6. 1 MX-6000 の仕様と構成  
MX-6000 を開発するにあたり、次の点を主眼とした。

- (1) 2 台のロボット (RM-101) を駆動できる。
- (2) ロボット操作プログラム作成後容易にプリントアウトできる。
- (3) 将来の拡張性 (特にビジョ

ンシステムとの接続) をもたせる。

(4) 小形ながら大容量のメモリを設ける。

このため MX-6000 は、入力装置としてキーボード、表示装置としてコンパクトな 5 インチ CRT 装置、出力装置としてプリンタ装置、外部記憶装置として 5 インチフロッピディスク装置を一体に構成したオールインワンタイプの 8 ビットマイクロコンピュータとした。また内部のメモリには、64K ダイナミック RAM を使用し、フロッピディスク装置とメモリ間はダイレクトメモリアクセスを使用している。表 5. に MX-6000 の仕様を示す。

また、上記ハードウェア機器をコントロールするためにオペレーションシステム (以下 OS と称す) として、CP/M バージョン 2.2 を用い、高級言語として CP/M ベースのカナベシックを使用した。

6. 2 MX-6000 のハードウェア

この項では、MX-6000 のハードウェアの構成並びにその特長について述べる。

図 4. に MX-6000 のブロック図を、図 5.、図 6. にそれぞれメモリマップと I/O マップを示す。ディスクベースのコンピュータのため、ブートロード用に ROM を 4K バイト、CRT 用にビデオ RAM を 2K バイト使用し、他の 58K バイトをユーザエリア並びに OS エリアに開放するようにした。この 58K バイトのメモリには 64K ダイナミック RAM を使用

表 5. 仕様

形 式		MX-6000	
C	P	U	Z-80 A クロック周波数 4 MHz
メモ	ROM	RAM	4K バイト
			58K バイト (64K ダイナミック RAM 使用 VRAM 2K バイト含む)
語 長	命 令	デ ー タ	8, 16, 32 ビット
			8 ビット
C	R	T	5 インチ グリーンディスプレイ フォーマット 40 文字×16 行 640 文字 キャラクタフォント 7×9 ドット
扱 える 文 字			カナ, 数字, 英大文字, 英小文字, 記号
使 用 言 語			BASIC, Assembly
キ ー ボ ー ド			JIS 準拠 (5 ファンクションキー, 5 スイッチキーを含み 71 個)
フロッピディスク			5.25 インチ 両面倍密度 1 台内蔵 (増設 内部 1 台)
プ リ ン タ	印字方式	インパクト式ドットマトリクス	
	印字構成	5×7 ドットマトリクス	
	印字速度	約 1.2 行/秒 用紙 普通紙又はノーカーボン紙	
	送り速度	約 10 行/秒 用紙幅 114.3mm	
文 字 数			40 文字 スプロケット付き
周辺機器へのインタフェース			シリアルポート RS-232 C 1 個 パラレル {セントロニクス準拠 2 個 (ロボット用) インタフェース システムバス 1 個 (ビジョンシステム用)}
電 源			AC 100 V 単相 50/60 Hz 140 W コード 2m 付き
重 量			約 22 kg

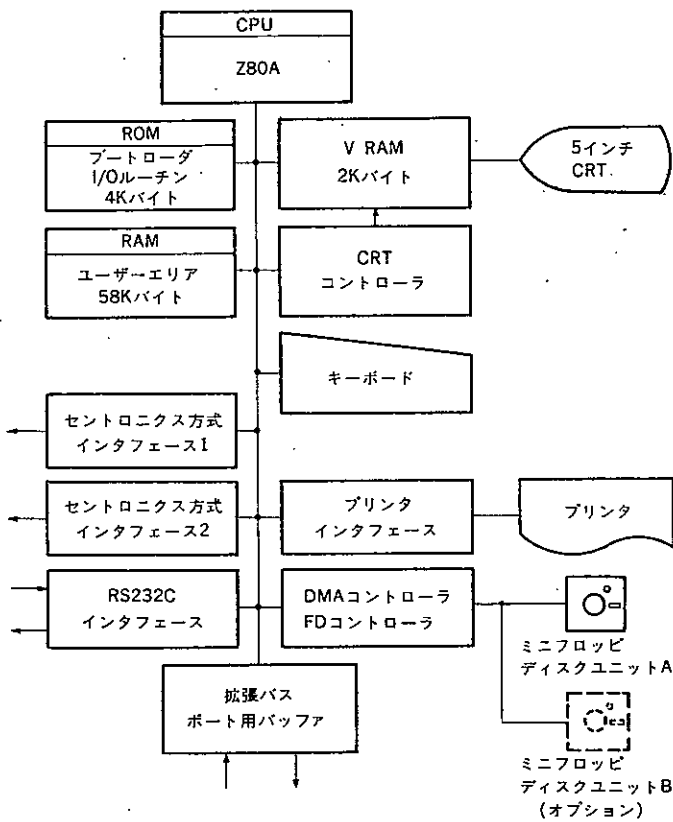


図 4. MX-6000 ブロック図

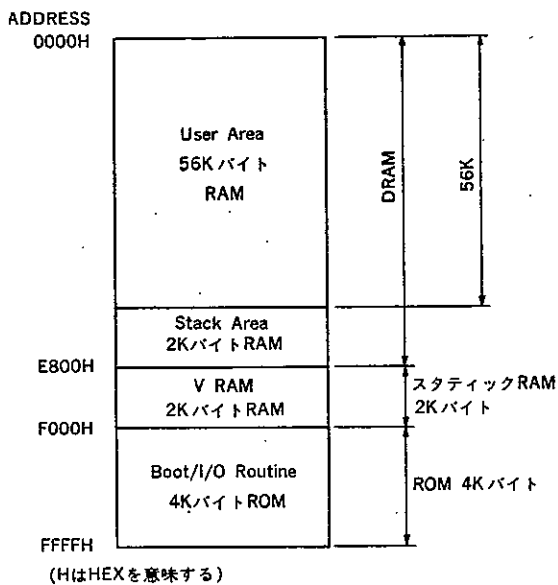


図 5. メモリマップ

し、リード、ライトの高速化を図っている。また、外部出力インタフェースにセントロニクス方式インタフェースを2系統(ロボット駆動用)、RS232Cインタフェースを1系統設け、更に拡張バスコネクタを設けている。I/Oマップではユーザーが利用しやすいようにDOH~FFHまでを使用している。また、内部58Kバイトメモリとフロッピーディスク間はDMAを使用して高速化を図るようにした。

### 6.3 MX-6000のソフトウェア

MX-6000には現在マイクロコンピュータ用のOSとして広く用いられて

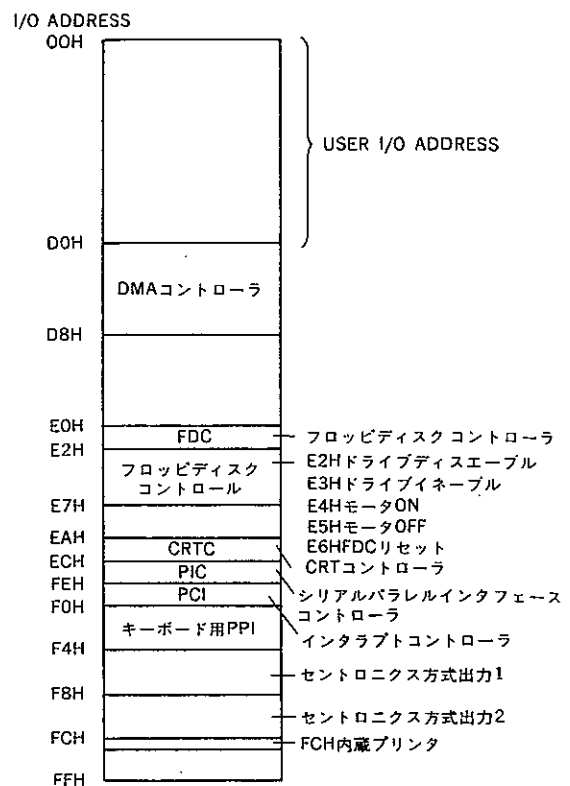


図 6. I/O マップ

いるCP/Mの2.2バージョンが用いられている。以下、MX-6000の関連ソフトを紹介する。

#### (1) BASIC-80 (インタプリタ)

MX-6000に付属しているBASIC-80は完全なカナ文字表示が行え、だれでも簡単にプログラムを組むことができる。

#### (2) OS

MX-6000のOSとしてCP/Mが搭載されているので、付属のエディタ、アセンブラ、ディバッガにより、作られた機械語プログラムと、BASIC-80を組合せることにより、より高速でフレキシブルなプログラムを作ることが可能である。

#### (3) そのほかの付属プログラム

##### (a) FORM

5<sup>1</sup>/<sub>4</sub>インチフロッピーディスクをインチャライズするためのプログラムである。

##### (b) COPY

ディスクのコピーを1台のフロッピーディスク装置で行うためのプログラムである。

##### (c) ROBOT用プログラム

MX-6000はRM-101形を2台同時に接続することができる。このため2台同時に動かすためのプログラム参考例がファイルされている。

## 7. む す び

以上、今回開発したマイクロロボットRM-101形とそのコントローラMX-6000について概略説明してきたが、今後ロボットの用途はますます多様化し、またその操作性、コストなどに対する要求も一段と厳しくなるであろう。今後これらの要求に対して安価で操作性の優れたロボットの供給を目指し、開発を進めていく考えである。