

マイクロコンピュータの産業用ロボットへの応用

Application of Microcomputers to Industrial Robot

アーク溶接作業をロボット化するには、正確な経路制御、寸法誤差への適応性、操作性の改善などの問題がある。我々は、スパッタに影響されない小形非接触式センサとマイクロコントローラの機能を巧みに使い、上記の問題を解決した。また、ロボットの機能はほとんどソフトウェアにより実現しているため、ユーザー仕様に適応しやすいと同時に、従来のロボットにないきめ細かい異常処理機能を持たせ、機器の信頼性及び安全の確保が可能になった。本稿では、上記の機能を実現したハードウェア、ソフトウェアの概要を中心に述べる。

古川 隆* *Kogawa Takashi*
 川崎恭一* *Kawasaki Kyôichi*
 寺本和良* *Teramoto Kazuyoshi*
 安藤司文** *Andô Shimon*

1 緒 言

我が国の産業用ロボットは、ユーザー側の省人、省力化に対する強い意欲と、メーカー側の積極的な開発努力とにより、堅実な発展を遂げ、今や世界のトップレベルに達している。

しかし、現在最も普及している産業用ロボットは、比較的単純な移載作業を目的としたものか、スポット溶接ロボットに限られており、ユーザーの広範囲の要求仕様を満足できる汎用性のある産業用ロボットとしてはまだまだ機能が不足し、限定された目的以外は機能、価格、安全性など、あらゆる面で十分とは言えなかった。一方、作業現場では単純作業、危険作業及び悪環境作業から人間を解放するための努力が払われ、これがロボット普及の大きな力になってきた。悪環境作業の典型的な例として挙げられるアーク溶接作業用ロボット分野では、早くからプレーバック式アーク溶接ロボットが使用されているが、これには2.で述べるような問題がある。我々は制御にマイクロコントローラ(マイクロコンピュータを内蔵した汎用制御装置を総称する)を使い、センサ^{1), 3)}情報と組み合わせ従来操作者の判断に頼っていた手動による動作を、完全に自動化して上記の問題を解決した、いわゆる自分でねらい位置を修正する有視覚アーク溶接ロボット「ミスタアロス」(日立製作所商品名)及びそれを小形化した「アロスジュニア」(日立製作所商品名)を製品化した。本稿では、アーク溶接ロボットとして要求される性能、それを實現した制御装置の構成、及びソフトウェアの概要について述べる。

2 アーク溶接ロボットの問題点と新機能²⁾

従来のアーク溶接ロボットは、

- (1) ワーク精度、セット誤差など、寸法誤差に対する適応性がない。
- (2) ティーチング作業が複雑すぎる。
- (3) 動作経路をあらかじめ決められた一定速度で正確にトレースする必要があり、制御が難しい。

以上のような大きな問題があったが、マイクロコントローラを使用することにより、その演算処理能力、センサ出力情報処理能力をフルに活用した次の新機能を付加し、解決することができた。

(1) センス機能

センサ情報によりトーチねらい位置を溶接線上に正確に自動位置決めする。

(2) チェック機能

これから溶接するワークの溶接線とティーチデータのずれをティーチ点をたどりながらセンサでチェックし、ティーチ位置データを自動修正する。

(3) コーナ点座標演算機能

母材のコーナ部を正確にティーチすることは困難である。2本の直線の交点(コーナ)は直線のティーチ情報から自動的に計算し、ロボット各軸を演算制御する。

(4) 直線補間計算機能

ティーチされた2点間を線速一定で、しかも直線的動作を行なうよう補間演算制御する。

(5) 手首補正機能

手首の2軸を動かしても、トーチ先端が動かないようにロボット本体の主軸を自動的に制御する。

(6) 倣い制御

センサによって溶接線を倣いながら溶接する。

3 ロボット

ロボットの仕様は、対象ワークと作業内容によって決められるが、溶接施工上から要求されるワークの姿勢制御はポジション側で行なう。標準仕様のロボットとワーク形状に合ったポジションとの組合せにより、大抵の溶接線の自動溶接が可能である。図1に小形化した「アロスジュニア」の外観を示す。

4 制御装置

制御装置は、8ビットのマイクロプロセッサに16KバイトのPROM(Programmable Read-Only Memory)ボード、及び16KバイトのRAM(Random Access Memory)ボードから成るマイクロコントローラに専用のインタフェースを付加した構成で、詳細を図2に示す。前記の新機能をソフトウェアで実現するため、オンラインで補間係数計算、補間予備計算、手首補正計算、及び倣い補正計算を、オフラインでコーナ点座標計算、コーナ点データ修正計算など多数の演算処理が要求される。アロスシリーズ位置データの分解能は、主軸3軸(水平、垂直、横送り)0.086mm、補軸2軸(振り、曲げ)はトーチ先端換算で0.134mmである。いまロボットの動作速度を700mm/minとすると、ロボットを分解能単位で制御するには、サンプリング周期($T=0.086 \times 60/700$)7.37ms以内に一連の

* 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所日立研究所 工学博士

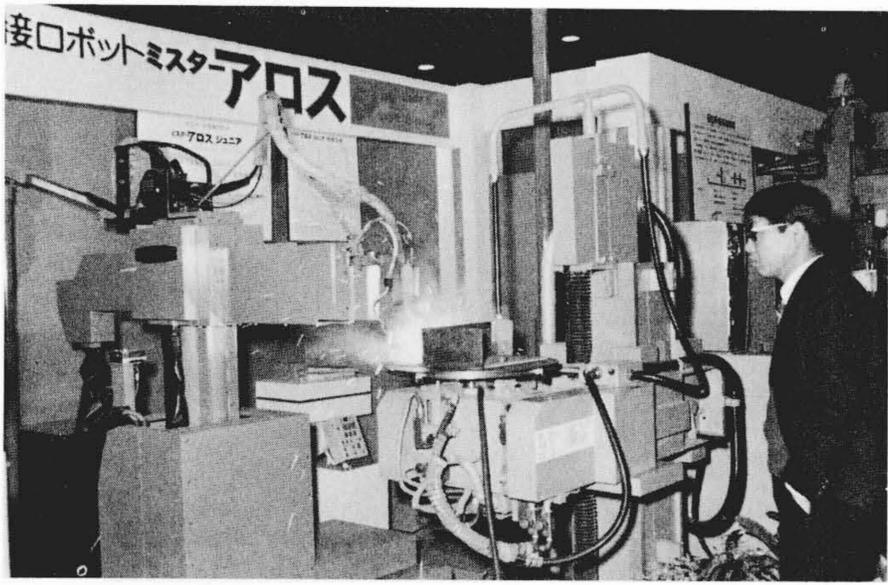


図1 アーク溶接ロボット「アロスジュニア」の外観 '77年国際ウエルディングショーで、展示用テストピースを自動溶接中の「アロスジュニア」を示す。

処理計算実行が必要で、処理速度が問題になる。7ms間に要求される計算は倍長の掛算10回、sin, cos計算各3回、倍長加減算その他通常の処理である。本件については次の二つのハードバックアップで対処した。

- (1) 乗除算専用ハードウェアを付加した(2バイト×2バイト)の乗算,(4バイト÷2バイト)の除算をどちらも8μsで実行する。
- (2) 三角関数については、4Kバイト/90°のPROMテーブルを持った。

コンソールインタフェース、ポジショナ、溶接機など、周辺機器用特殊専用インタフェースは一切持たず、すべて標準

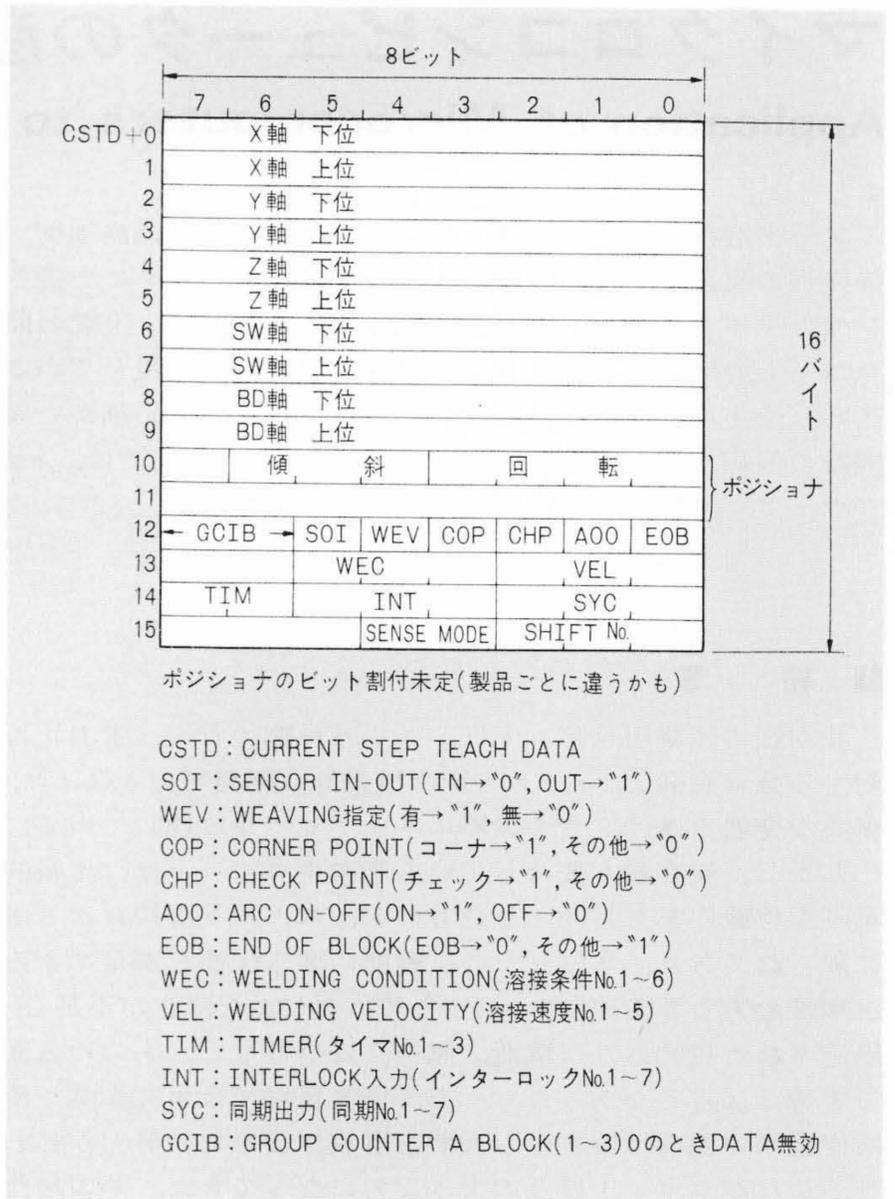


図3 1ステップ分ティーチデータ配置図 1ステップ分コアメモリ収納データ8ビット×16ワードの記憶情報とビット割付けを示す。

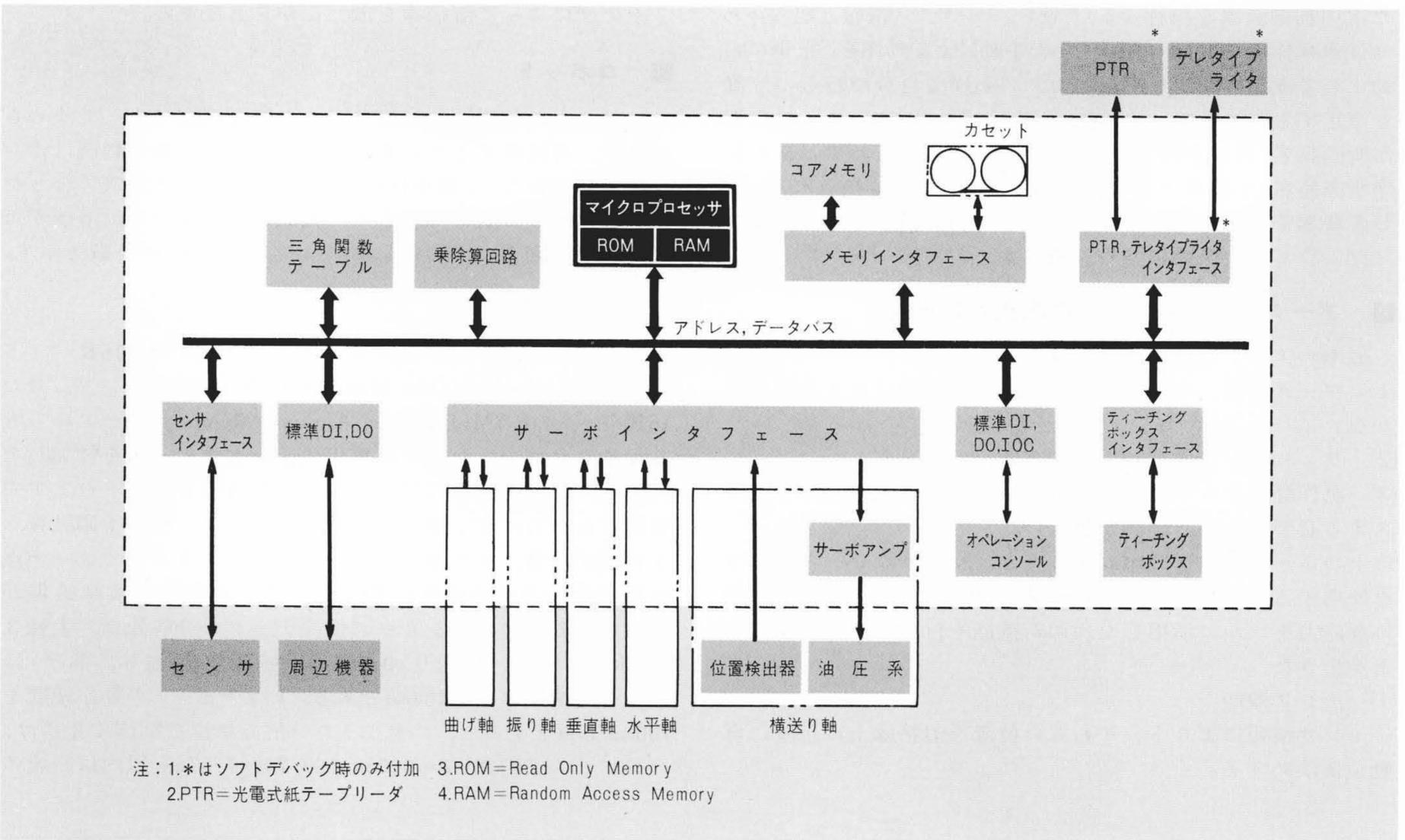


図2 制御装置の構成 制御装置概略と回路構成を示す。

デジタル入力(DI)、デジタル出力(DO)、デジタル入出力(IOC)の3種類で構成し、しかもソフトウェアからの要求によりI/Oポートはプログラムループの中で順々にポートナンバを変更するのに不便なI/O命令は使わず、倍長命令も利用可能なメモリ扱いとした。コアメモリは、ティーチデータが停電により消滅するのを防ぐティーチデータ保存用である。1ステップ分ティーチデータ配置を図3に示す。補助記憶用カセットテープの制御は、専用のLSI(大規模集積回路)を使用し、記録フォーマットもISO(国際標準化機構)規格を遵守した。

5 プログラム

本ロボットの機能は、主要部分はすべてソフトウェアで実現している。図4にプログラムの構成概要を示す。

プロセスモニタシステム(PMS)は、タスクを多重処理する。起動優先度の高いレベルには、当然ながら非常、異常停止処理関係のタスクを割り当て、その他処理内容を十分考慮して、タスク割当てを検討し、全体の処理時間の短縮を図った。表1にタスク一覧を、表2にサブルーチン一覧を示す。制御機能をソフトウェア化したことにより、従来のロボットにないきめ細かい異常処理機能、インターロック機能を持た

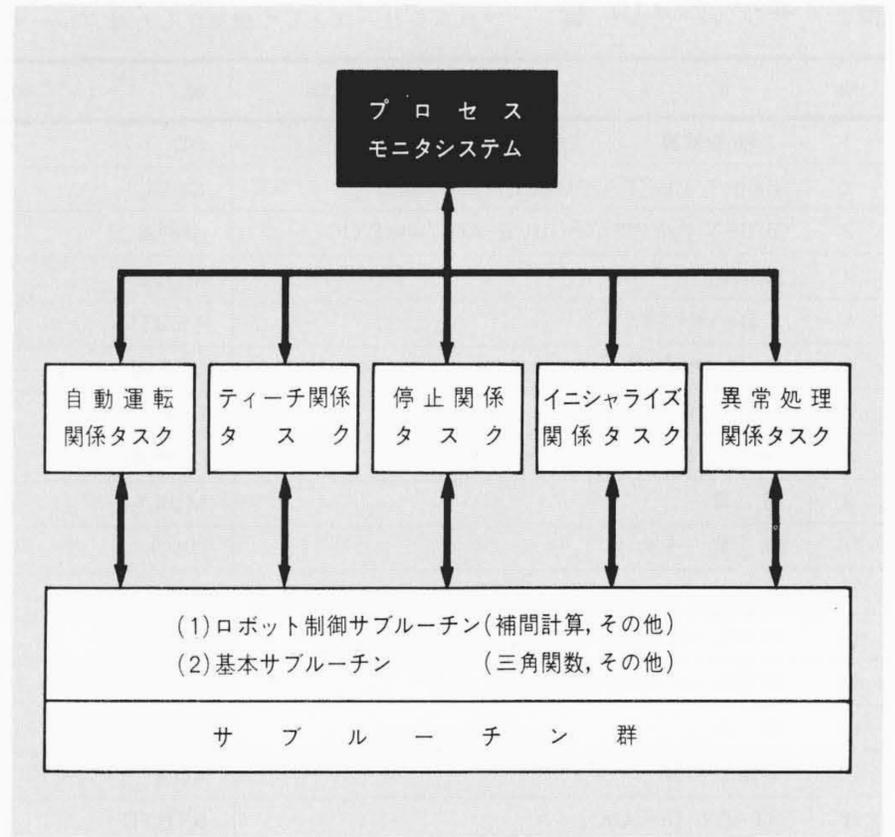


図4 プログラムの構成 プログラムの機能別基本構成を示す。

表1 タスク一覧 タスクの分類と割付けを示す。

要因	略称	I/Q	備考	要因	略称	I/Q	備考
0 0	TIMER	I	TIMER BASE 100ms	4 0	DRLD	Q	DUMP & RECORD PROGRAM
0 1	CNSLT	I	TTY よりのREQUEST	4 1			
0 2	ESTOP	I	非常停止	4 2	EMGG	Q	非常停止中
0 3	STOP	I	瞬時停止	4 3	TPLY	Q	再生 (CASSETTE TAPE)
0 4	ABNMI	I	異常 I (瞬時停止と同一)	4 4	TREC	Q	記録 (CASSETTE TAPE)
0 5	BSTOP	I	BLOCK停止	4 5	TREW	Q	巻もどし (CASSETTE TAPE)
0 6	ABNM 2	I	異常 II (BLOCK停止と同一)	4 6	TMODG	Q	TAPE MODE 中
0 7	CSTOP	I	CYCLE停止	4 7			
1 0	RCVRY	I	非常停止回復	5 0	ULODG	Q	UNLOADING
1 1	LOAD	I	油圧 LOADING	5 1	SNSDV	Q	SENSOR ON-OFF
1 2	ULOD	I	油圧 UNLOADING	5 2	POSDV	Q	POSITION
1 3	CTAUT	I	自動 MODE 切換え	5 3	MANDV	Q	手動運転
1 4	CTSTP	I	STEP MODE 切換え	5 4	SENST	Q	SENSE TASK
1 5	CTMAN	I	TEACH MODE 切換え	5 5	TEACH	Q	TEACH TASK
1 6	CTTAP	I	TAPE MODE 切換え	5 6			
1 7	CTREM	I	REMOTE MODE 切換え	5 7			
2 0	STUPD	I	STEP & GROUP COUNTER操作	6 0	STOPG	Q	瞬時停止中
2 1	MANR 1	I	手動REQUEST (ROBOT)	6 1			
2 2	MANR 2	I	手動REQUEST (その他)	6 2			
2 3	START	I	始動 (自動及びSTEP)	6 3	STEP	Q	STEP運転
2 4	TSTOP	I	TAPE停止	6 4			
2 5	TSTRT	I	TAPE起動	6 5			
2 6		I		6 6	STIME	Q	SENSOR動作TIMER
2 7		I		6 7	AUTCR	Q	自動運転
3 0		I		7 0	MMODG	Q	TEACH MODE 中
3 1		I		7 1	SMODG	Q	STEP MODE 中
3 2		I		7 2	AMODG	Q	自動MODE 中
3 3		I		7 3	RMODG	Q	REMOTE MODE 中
3 4		I		7 4			
3 5		I		7 5			
3 6		I		7 6			
3 7		I		7 7	CPUIT	Q	CPU INITIALIZE

↑ 起動要因 { I: 割込み
Q: QUEUE

↑ 起動要因 { I: 割込み
Q: QUEUE

表2 サブルーチン一覧 アロスシリーズとして標準化したサブルーチン一覧表を示す。

No.	名 称	略 称	No.	名 称	略 称
1	2倍長減算	SD	21	FLOATING TO FIX CONVERSION	FIX
2	SHIFT LEFT DOUBLE LOGICAL	SLDL	22	FIX TO FLOATING CONVERSION	FLOAT
3	SHIFT RIGHT DOUBLE ARITHMETIC	SRDA	23	指数合わせ	MEXP
4	転 送	MOVE	24	正規化	NORM
5	2 BYTE TEST	TEST	25	ADD FLOATING	AF
6	RAM CLEAR	CLEAR	26	SUBTRACT FLOATING	SF
7	ENCODE DATA	ENCOD	27	MULTIPLY FLOATING	MF
8	DECODE DATA	DECOD	28	DIVIDE FLOATING	DF
9	乗 算	MULT	29	SHIFT RIGHT TRIPLE ARITHMETIC	SRTA
10	除 算 その1	DIV I	30	OPERAND 取り出し	TOPR
11	\sqrt{N}	SORT	31	ABSOLUTE	ABS
12	CORE MEMORY 読み出し	RCORE	32	DISPLAY ERROR NO	DSPER
13	CORE MEMORY 書き込み	WCORE	33	BIT CHECK	BCHK
14	待 ち	WAIT	34	ERROR 表示消灯	OFERR
15	4倍長加算	AD 4	35	CONSOLE 表示出力	CNSDO
16	START CHECK	STRTC	36	BCD TO BINARY	BCDTB
17	ティーチングデータ取り出し	TTDAT	37	原点チェック	OPCHK
17'	SINE	SIN	38		
18	コーナ演算	CCRN	39		
18'	COSINE	COS	40		
19	予備計算	PCOMP	41		
19'	LOAD FLOATING	LF	42		
20	STORE FLOATING	STF	43		

表3 異常の原因と処理内容 チェックしている異常項目と対応処理の内容を示す。

信号名	異常の原因	処 理 内 容
非常停止	非常停止ボタンを押したとき	<ul style="list-style-type: none"> ○サーボ弁への偏差信号OFF ○アークを停止する。 ○非常停止ランプ点灯 ○ポジションナ停止 ○油圧電源OFF (同時にアンローディング)
油温異常A	油温50°C以上	○ブロック停止
油温異常B	油温60°C以上	<ul style="list-style-type: none"> ○非常停止と同じ処理 ○異常表示(メインコンソール)
モータ過負荷	油圧ユニットのサーマル・トリップ	<ul style="list-style-type: none"> ○非常停止と同じ処理 ○異常表示(メインコンソール)
エンコーダのランプ切れ	エンコーダ内のランプ断線	<ul style="list-style-type: none"> ○非常停止と同じ処理 ○異常表示(メインコンソール)
トーチ接触	トーチがワークに接触	<ul style="list-style-type: none"> ○非常停止と同じ処理 ○異常表示(メインコンソール)
CPU異常	CPUが動作を停止する。	<ul style="list-style-type: none"> ○非常停止と同じ処理 ○異常表示(メインコンソール)
ティーチング・ボックス異常	ティーチング・ボックス内の回路異常又はティーチング・ボックスからの伝送ミス	<ul style="list-style-type: none"> ○非常停止と同じ処理 ○異常表示(メインコンソール)
アーク切れ	溶接電源全般の異常	<ul style="list-style-type: none"> ○自動運転の瞬時停止 ○異常表示(メインコンソール)
センサ異常	センサの断線, 又はセンサとワークの異常接近	<ul style="list-style-type: none"> ○非常停止と同じ処理 ○異常表示(メインコンソール)

せることができた。操作者の間違っただティーチ, 間違っただ操作を監視する合理性チェックは34項目に及び, 事前に不合理操作の内容に対応した, 数字表示で操作者に教えるので, プレーバックしてみて, はじめて間違っただティーチが判明する従来のロボットと違い, ティーチング工数低減, 事故の未然防止のうえからも多大の効果があった。表3にチェックしている異常の原因と処理内容を示す。

6 結 言

プレーバックタイプアーク溶接ロボットの問題点を, 非接触式センサとマイクロコントローラの機能をフルに使い, 新機能を付加することにより解決した。また, レベルは低いが見視覚情報をもとに判断する機能を持った, 従来のロボットより一歩進んだ産業用ロボットの実用化ができた。ロボットは機能の主要部分をほとんどソフトウェアにより実現したことにより, 機能の柔軟性が大幅に増し, 制約はあるが多様なユーザー仕様に対してもタスク, 又はサブルーチンの単位で適応でき, 広く利用できるものと考え。特に本稿では触れなかったが, 上記の制御装置をより低機能の, 例えばスポット溶接ロボットその他の制御に応用することは, 機能の削減であり簡単に適応できることは言うまでもない。

参考文献

- 1) 榎本ほか: アーク溶接ロボット, ミスターアロス, 日立評論, 57, 826 (昭50-10)
- 2) 土橋ほか: 中厚板溶接構造物を対象にした大形溶接ロボット, 溶接技術, 23, 71 (昭50-10)
- 3) 榎本ほか: 日立アーク溶接ロボット「ミスターアロス」, ロボット工業会雑誌, 10 (昭50-11)