垂直関節ロボット「Mシリーズ」

Vertical Type Articulated Robot "M Series"

ロボットは、アーク溶接、スポット溶接から更にシーリング、組立、検査など、より複雑・高度な作業へと応用が拡大、多様化しつつある。ロボットに要求される内容も、高速・高軌跡精度と高性能化はもちろんのこと、機能面でもよりいっそうの高度化が要求されている。これにこたえるため、新形ロボットMシリーズを開発中である。本稿では、Mシリーズの設計概念、開発設計支援ツール、製品化したMシリーズロボット及びその適用例について述べる。

古川 隆* Takashi Kogawa 五十嵐成己** Shigemi Igarashi 计 功* Kô Tsuji

1 緒 言

1980年代に入り、スポット溶接、アーク溶接、塗装、小形 組立などの分野を中心に産業用ロボットの応用も飛躍的な発 展を遂げ、今後も引き続き伸長が予想されているがこれを支 えるためには、従来、技術的に自動化が困難とされていた分 野にも応用拡大が必要であり、ロボットに要求される性能も 一段と高度化してきている。例えば、作業に見合った可搬重 量, リーチ, 周辺装置に負担をかけずより広範囲の作業姿勢 がとれるよう手首自由度の拡大(2自由度→3自由度),ロボ ット本体の高剛性化とあいまったマイクロコンピュータを含 むサーボ制御技術の進歩による高速・高軌跡精度化、センサ 及びセンサ応用技術の適用による自動化の拡大, アーク溶接 電源の高性能化に見られるように周辺機器の性能向上による 作業速度の高速化, タクトタイムの縮減, 生産性向上など課 題は多い。日立製作所はこれら市場の要求にこたえられる一 段と高性能化を図った新形ロボットMシリーズを開発中であ り、これにより、ロボット適用範囲や分野の拡大を図ってゆ く考えである。本稿では、設計に活用しているコンピュータに よる開発設計支援システム, ロボット設計概念, 及びMシリ ーズロボットの一端について、その概要を紹介する。

2 設計手法とその内容

2.1 開発,設計における解析,シミュレーション

ロボットの動作速度を高速化し, かつ精度向上を図るため には、ロボット本体機構、制御装置、ソフトウェアなど種々 の分野からのアプローチが必要である。ロボット本体部につ いて言えば、駆動部、減速機構などの動力伝達部分と、アー ムやベースなどの構造部分を軽量にするとともに、剛性を高 めることが重要となる。そのために、日立製作所で既に開発 を行なっている機械系CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) 総合システム¹゚をMシリー ズロボットの開発にも適用して、設計初期の段階からコンピ ュータによる解析,シミュレーションを行ない,製品開発期 間の短縮と性能,強度などの信頼性向上を図っている。図1 に,ロボットの開発,設計の全体的な流れと,その中で必要 とされる解析やシミュレーション技術を示す。この図の中で, 基本構想設計の段階では、ロボット設計に固有の問題である 動作領域や速度・加速度の解析、減速比や減速機構の特性解 析,トルク,デューティ解析などの個別設計用解析プログラ ムが用意されている。これらの基本構想設計が完了すると, 動力伝達系や機構、構造系の概略設計、詳細設計に移るが、 そのときには機構解析,構造解析,歯車系解析などの一般の 汎用解析プログラムが使用される。

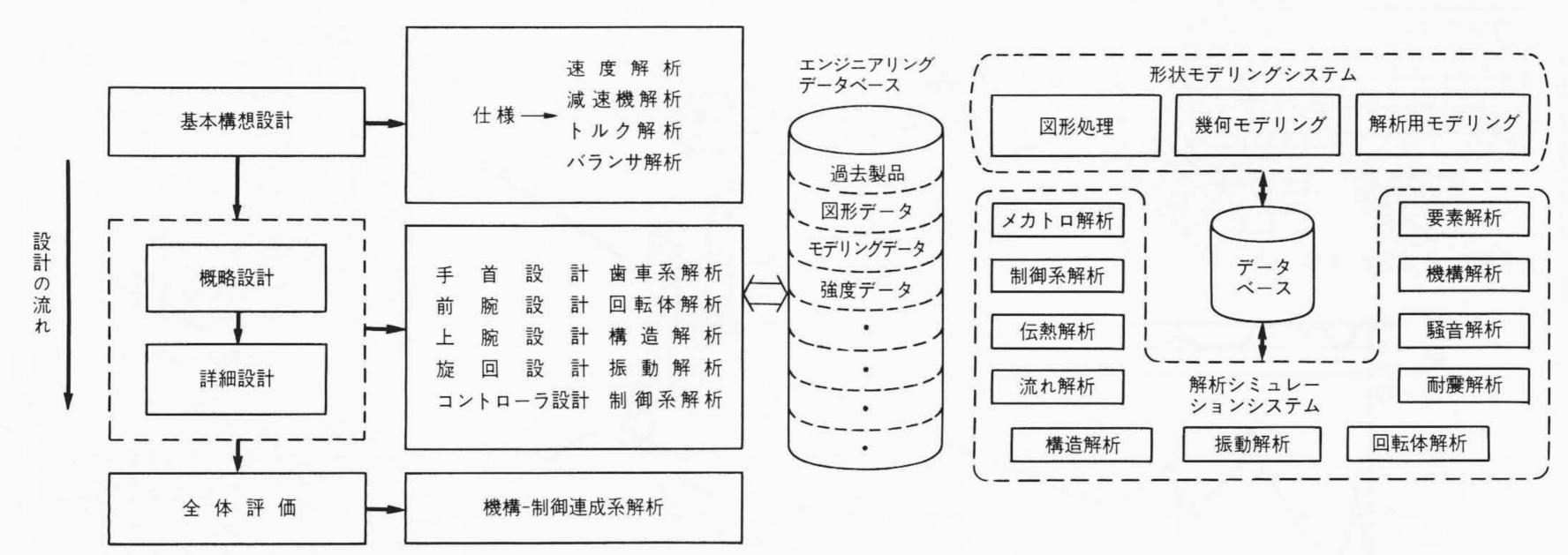


図 | ロボット開発設計手順と解析シミュレーションシステム 製品の設計を進める上で、多数の解析プログラムが必要であるが、データベースやファイルを介してフレキシブルに結合される。

^{*} 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所機械研究所

表 | 解析シミュレーションプログラムの例 機械工学のあらゆる 分野にわたって、汎用性のある解析シミュレーションプログラムが用意され、 機械系CADシステムを構成している。

分	野	プログラム名	内 容 の 概 略	
		NAVIA 2	2 次元層流解析	
: 	ħ	TURB 2	2 次元乱流解析	
流		MARK 3D	3 次元ポテンシャル流れ解析(静止系)	
		POT 3D	3 次元ポテンシャル流れ解析(回転系)	
/=	熱	HI-HEAT	3 次元熱伝導解析	
伝		MARK 3	非定常熱伝導解析	
		HISTRAN	線形構造解析(汎用)	
構造解析		HI-EPIC	非弾性構造解析(汎用)	
		CAPIT	接触問題解析	
構造振動		HISTDYN	線形構造振動解析(汎用)	
		HIVIPS	同上(ビルディングブロック法による。)	
		CNDYN	がたを含む系の振動解析	
機	構	HISLAP	機構系の解析(振動解析も含む。)	
回転軸系		HIROT シリーズ	危険速度,不つりあい振動,バランシング 安定性,非定常応答などの解析	
77.1	震	SLOSH	容器内の流体のスロッシング解析	
而寸		HISAC	建屋と地盤の連成振動	
車由	受	TPDYN	ティルティングパッド軸受の解析(静特性・動特性)	
		MLACG	多円弧軸受の解析(静特性・動特性)	
		DYNLJB	変動荷重ジャーナル軸受の解析	
告古	車系	HISG 4	伝達動力解析	
		SBSY	歯形係数計算	
#X	*	HICONT	プラント騒音の解析	
騒 音		NCONT	音場予測	

構造解析プログラムは、対話形で構造解析から強度評価まで一貫して行なうことができ、図形処理、幾何モデリング、有限要素モデリングなどを行なうプリプロセッサや、変形量図示、等応力線表示、応力ダイヤグラム表示、過大応力部分の表示、動的応答の表示、アニメーション表示などの出力図

示機能が備えられている。

表1に、図1のはん(汎)用的なプログラム群のうちで代表的なものについて、その概略内容を示す。

図2は、本システムをMシリーズロボットの設計に適用した一例を示すもので、ロボット本体を構成する前腕部、上腕部、ベース部分について、構造解析用の要素分割図とロボット全体系の振動特性を示す周波数応答計算結果である。

このように,設計段階で各部の強度,剛性を解析し,更に 全体系の動特性を予測,評価しながら,軽量化と高剛性化を 図っている。

2.2 設計内容

(1) 主軸駆動機構

主軸駆動系については、各種の駆動方式が考えられるが、 シミュレーションと要素試験を併用して性能評価を行ない、 上前腕駆動系には、ボールねじを用いた駆動機構を採用し、 旋回軸駆動機構には、新たに開発した多段ギヤによる減速機 構を採り入れた駆動機構を用いている。

主軸駆動系の減速機構として回転形の減速機を用いた場合には、主軸駆動系が、減速機から生じる加振力成分と共振する例が多く、アーム先端の軌跡精度を悪くする一因となっていた。しかし、上前腕系にボールスクリューを用いた場合には、駆動系がボールねじ部分を含めてリンク機構を構成するため、一般に剛性を高くできトルク変動も小さいため、ロボットの動作速度領域では、顕著な共振振動現象が避けられ軌跡精度向上にとって有利になる。

図3は、旋回軸駆動系に用いる減速機の選定のために、各種の減速機について、回転円板を用いた一軸要素試験による特性比較の結果を示すものである。

この結果から、今回開発した多段ギヤ減速機の特性が、他の方式に比較して良好であることが分かる。

(2) 手首機構

大形機の手首駆動機構に関しては,駆動用電動機を前腕部 に搭載することにより,駆動系の伝達経路を簡素化,短縮化

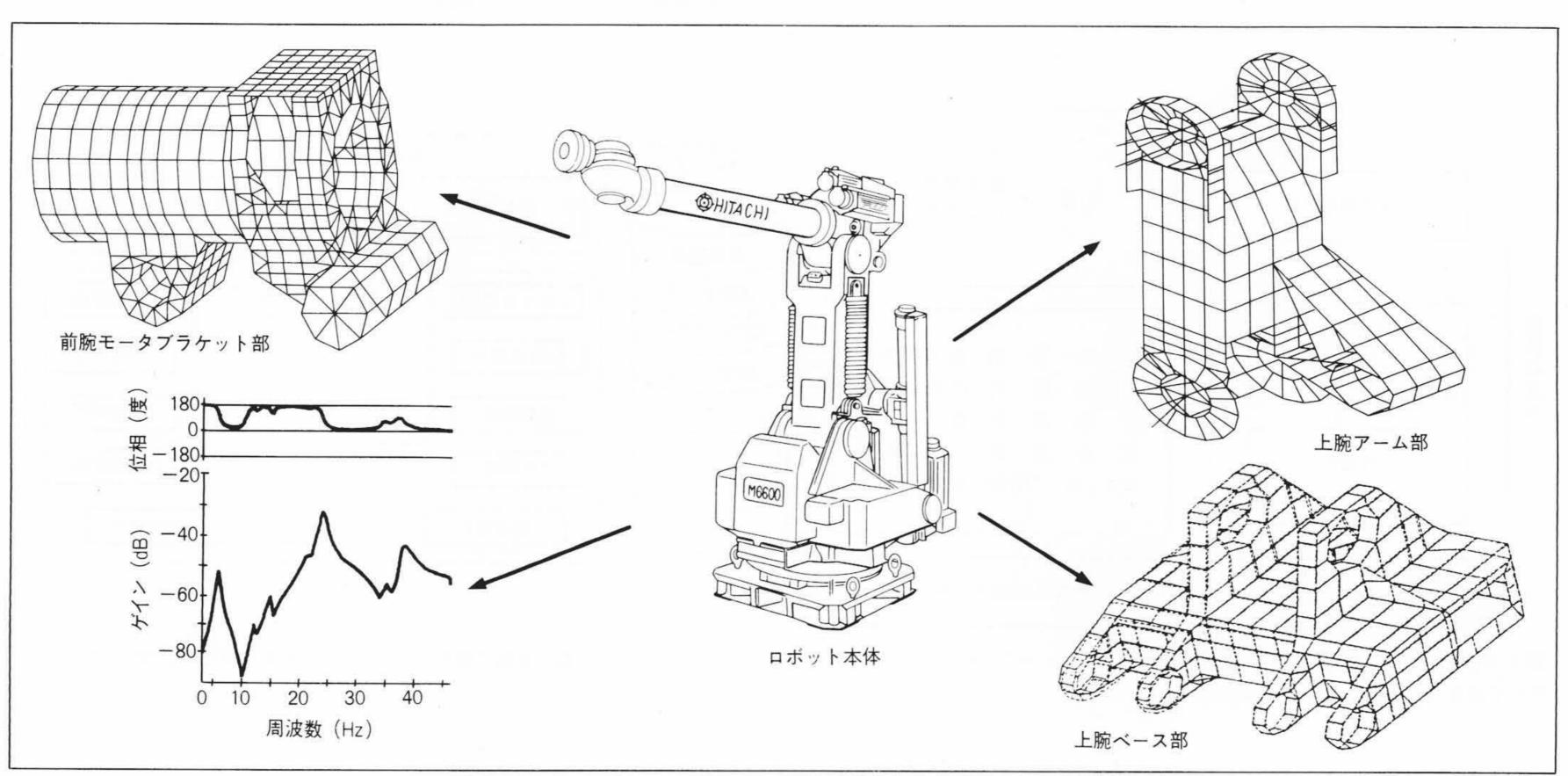


図 2 ロボット本体部の構造解析と振動解析 機構,構造解析システムを用いることにより,構造解析と振動解析を一貫して行なうことができる。

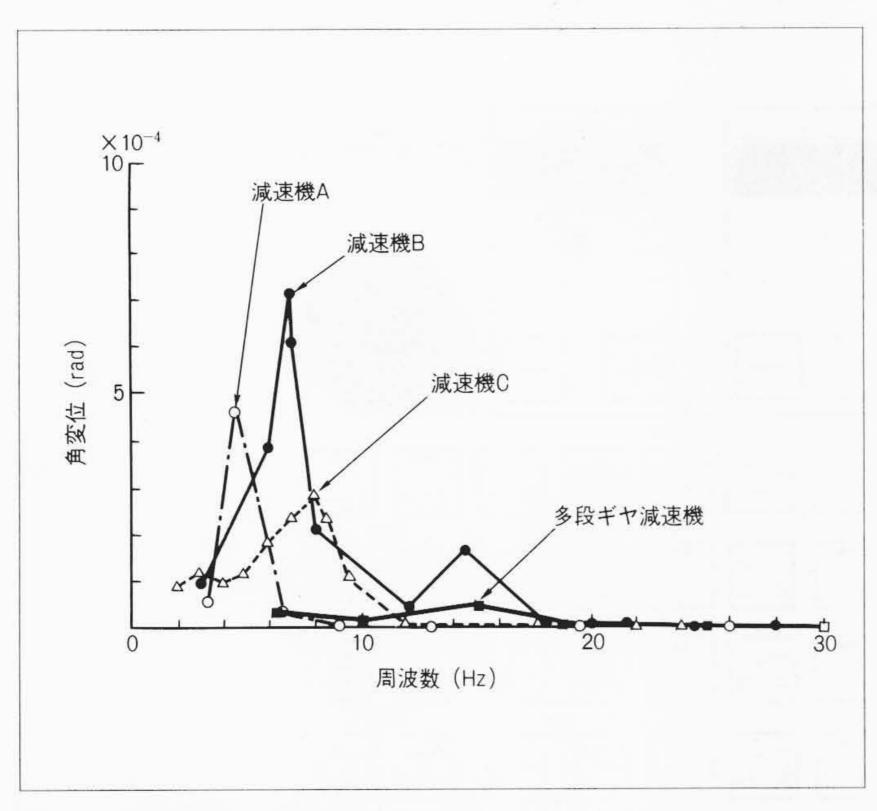


図3 減速機の特性比較 旋回駆動系に使用される各種減速機の要素試験結果から、多段ギヤ減速機の良好な特性が分かる。

するとともに,手首部に減速機を配置する構成をとり,剛性 向上を図っている。また,手首部の自由度は3自由度構成と して,機能性を改善している。

(3) サーボ制御技術

サーボ制御技術に関しても種々の新しい手法を盛り込み、 高速・高精度化への対応を図った。ここではその一つとして、 速度フィードフォワード制御について説明する。これは従来 のフィードバック サーボ制御に加えて、サーボ ループに前 向きに速度指令信号を与えることにより、定常位置偏差を減 少させる制御方式であり、これにより軌跡精度の向上が可能 となる。Mシリーズ ロボットの制御装置では、ソフトウェア サーボ制御方式を採用しており、このフィードフォワード制 御についても、ソフトウェア サーボにより実現させている。

このような新しい制御方式の導入に当たっては、設計時での事前検討を十分に行なうことが必要である。このため、日立製作所で既に開発済みのDDSL (Digital Dynamics Simulation Language)を用いたロボットの動特性シミュレー

ション専用プログラムを開発し、これにより制御パラメータの選定、性能の事前評価を行なっている。**図4**にシミュレーション結果の一例として、直角のコーナ部を通過するような動作指令を与えた場合の実際の動作軌跡を示す。同図から、フィードフォワード補償の付加により軌跡精度が大幅に改善されていることが分かる。

3 構成と機能

3.1 構 成

2章で述べた設計概念に基づいて、多目的関節ロボットを開発し、M5100、M6060 IIの製品化及びM6300L、M6600の製品化を推進中である。M5100、M6060 II は、可搬重量 6~10 kg、ロングリーチでワイドな動作範囲をもち、アーク溶接、ハンドリングなど多方面の用途に適した機能を備えている高機能ロボットである。M6300L、M6600は、可搬重量30~60 kg、シーリング、スポット溶接、重量物ハンドリングなど重作業用ロボットであり、ACサーボモータ駆動方式を採用し、高信頼性及びメンテナンス性の向上を図っている。

3.2 機 能

Mシリーズでは、日立製作所の長年の経験、ノウハウを生かして、機能面でも種々の改良を行なっている。

第一は,使い勝手の向上である。このため,次の事項について改良を行なった。

- (1) ティーチングボックスのボタン割付けの見直し
- (2) 非常停止復帰後の継続動作の可能化
- (3) 待ち要因の表示
- (4) TCP(ツール センタ ポイント)の自動変更機能の追加
- (5) 拡張I/O(拡張入出力)のサポート

など。このうち(1)及び(4)について次に述べる。

(1)は日立製作所のプロセスロボットPW10IIのティーチング ボックスについてのユーザー及び日立製作所メンテナンスマ ンの意見を吸収して改良を加えたもので、主な改良点を次に 述べる。

- (a) 従来,例えば溶接条件ナンバー,速度ナンバー,タイマナンバーとに分けて設定していたものを条件ナンバーに一元化した。これにより,ティーチ時に設定する項目が減り操作性が一段と向上している。
- (b) EOP(エンド オブ プログラム)ボタンを押している間 だけ有効なモーメンタリーボタンを設け位置をティーチン

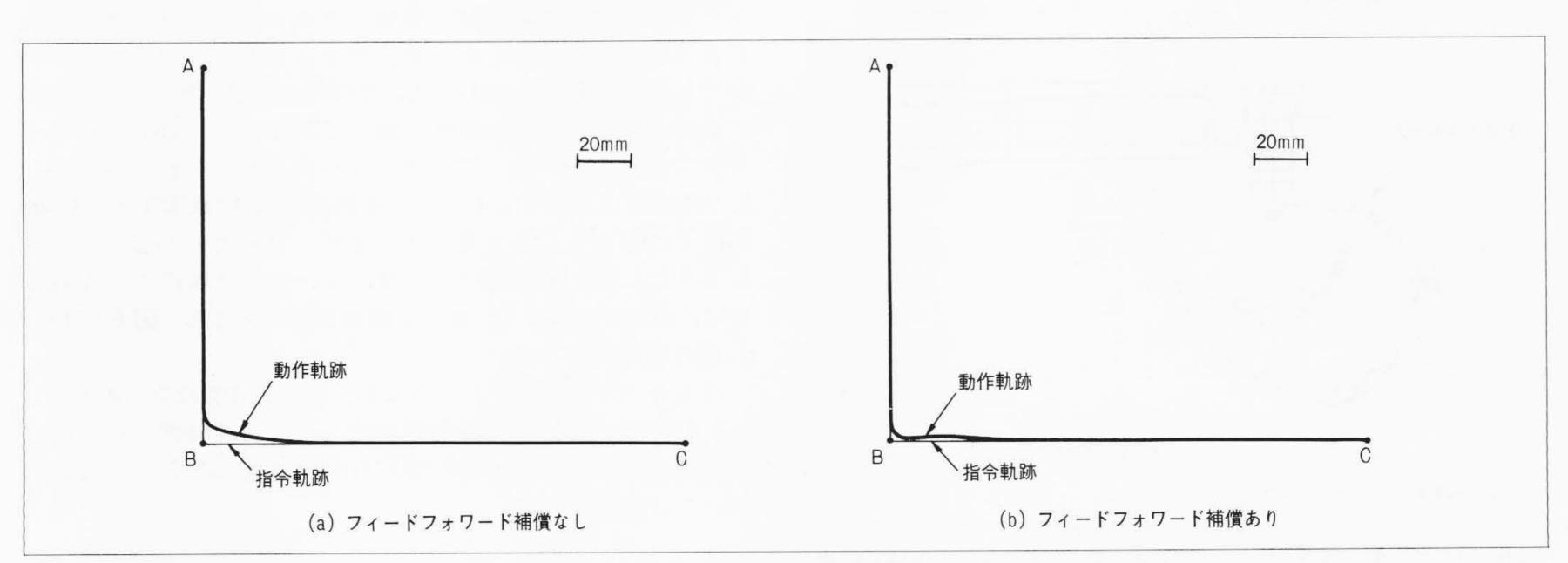


図4 高精度化制御方式のシミュレーション例 A→B→Cの順に直線補間動作指令を与えた場合の動作軌跡を示す。フィードフォワード補償によりコーナ部での軌跡誤差が大幅に減少していることが分かる。

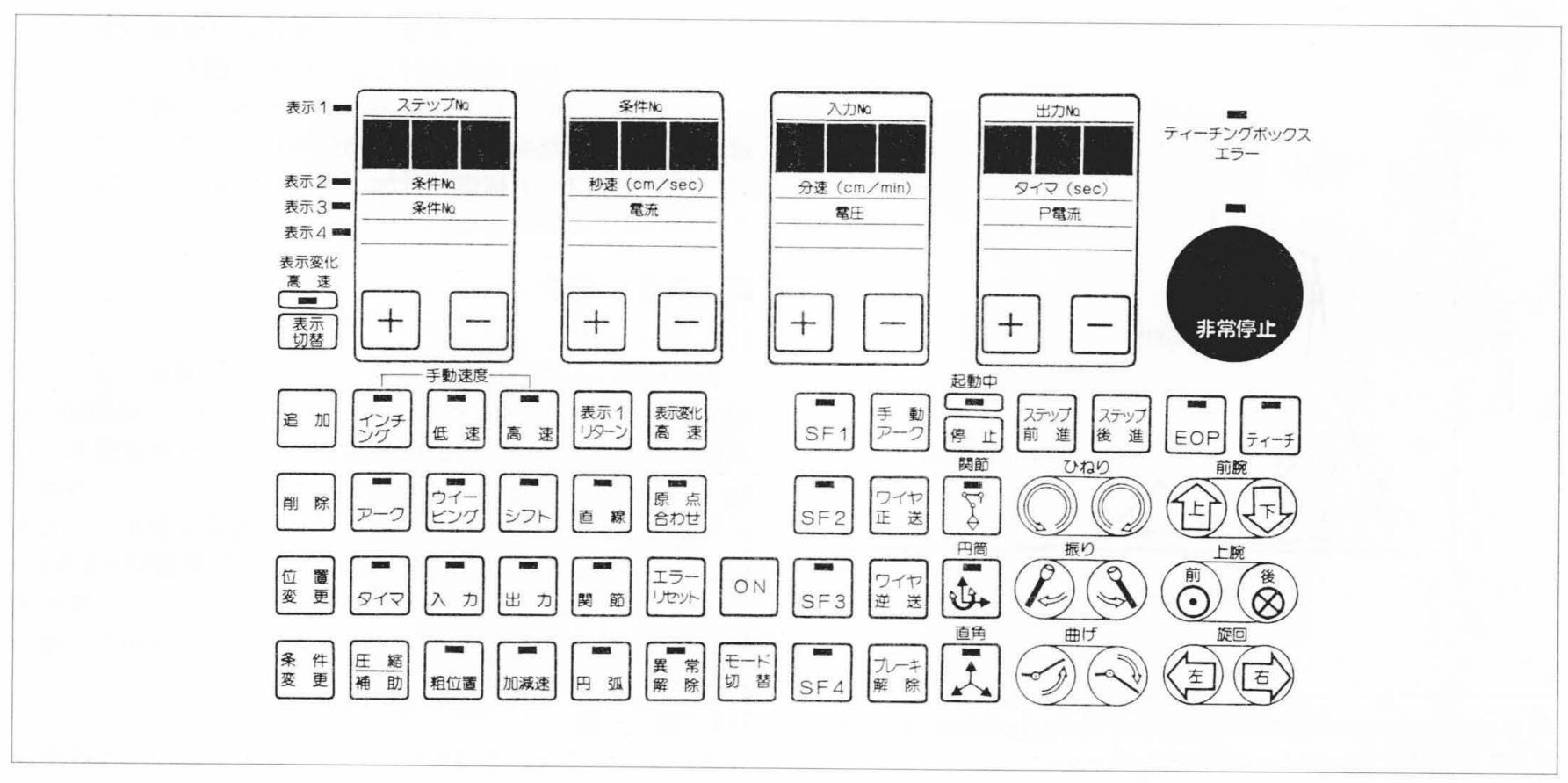


図 5 ティーチングボックスボタン配置図 使い勝手、操作の安全性を向上させたティーチングボックスである。

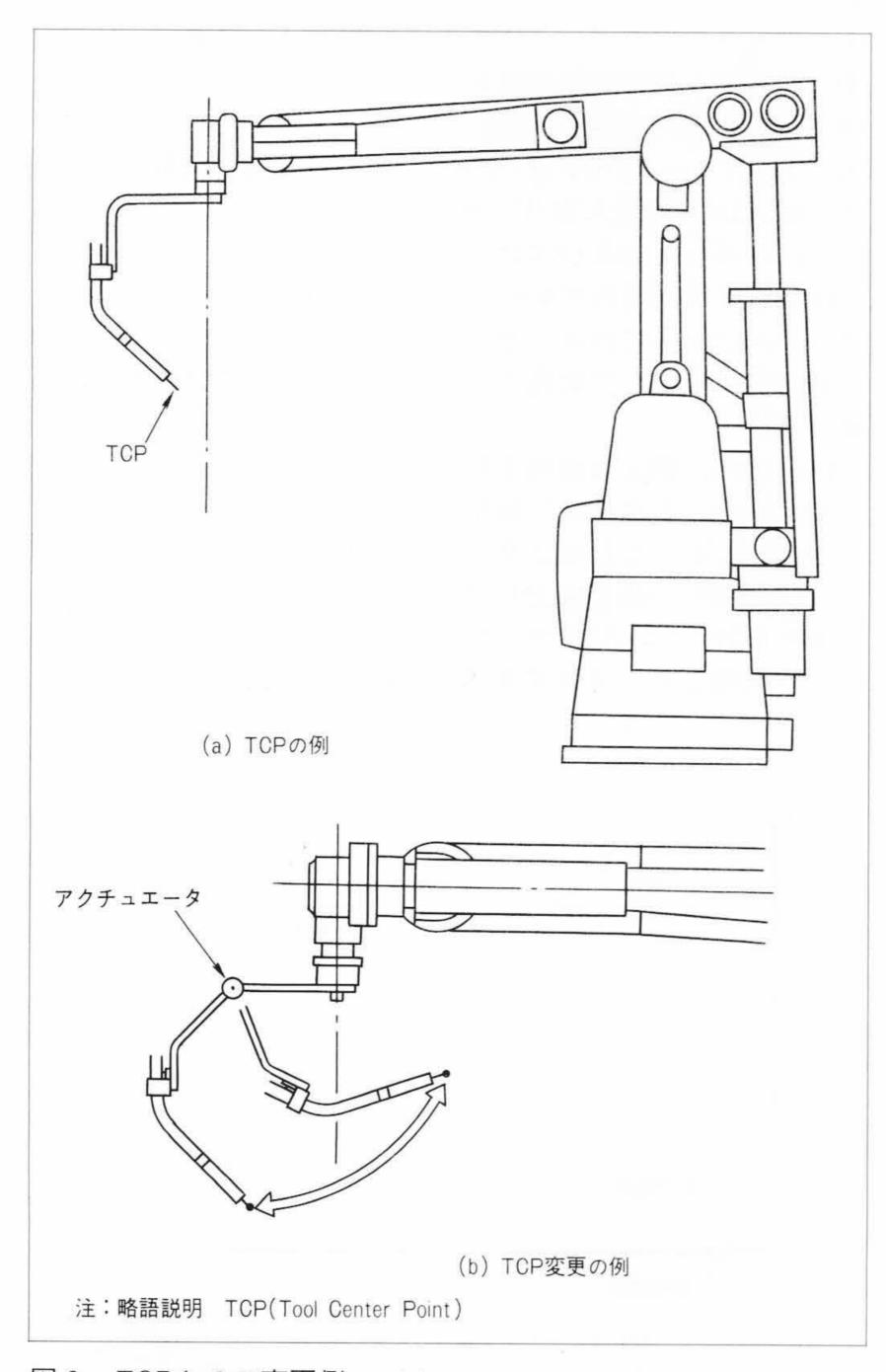


図 6 TCPとその変更例 (a)にTCPの例を示す。ロボットはこの点(TCP)を指示された軌跡速度になるように制御される。(b)はTCPの変更例である。ロボットの各軸の位置は一定でもTCPは変更される。

グボックス右側から左側のティーチボタンの隣へと移動した。制御システムは、EOPがティーチされると、そこをプログラムの終了点とみなし、以降のティーチデータを自動的にすべて消去するという機能をもっているため、誤ってEOPをティーチして、ティーチデータを消してしまうというミスが少なからず発生していた。本変更は、このような可能性を減少させるためのものである。

以上の改良を施したティーチングボックスのボタン配置図 を図5に示す。

(4)については、M6300Lに組み込んだ機能である。TCPは速 度, 軌跡の制御される点で, アーク溶接作業ならば溶接トー チの先端の箇所、シーリング作業ならばシーリングガンのノ ズル先端の箇所のことである。M6300Lは、シーリング作業を 主な作業対象としているが, このシーリング作業は車など複 雑な形状で, しかも広範囲な作業領域を必要とするものが対 象ワークとなることが多い。このためロボットの手首先端部 に簡単なON/OFF制御によるアクチュエータを設け、これに シーリングガンを取り付け実質上ロボットの動作範囲を拡大 することを行なう。このため、ロボット本体各軸の位置が一 定でも前述のTCPが変化する。TCP自動変更機能は, 前述の アクチュエータの停止位置に応じてTCPの切り換えを行なう ものである。TCPは、アクチュエータその他の構造や寸法に よりさまざまな値をとるので、その値の設定はCRT(Cathode Ray Tube)から行なえるようにして、ユーザーが容易にでき るようにした。本機能によれば、ユーザーは目視できるTCP だけに注目すればよく、著しく操作性が向上する。図6にTCP とその変更例を示す。

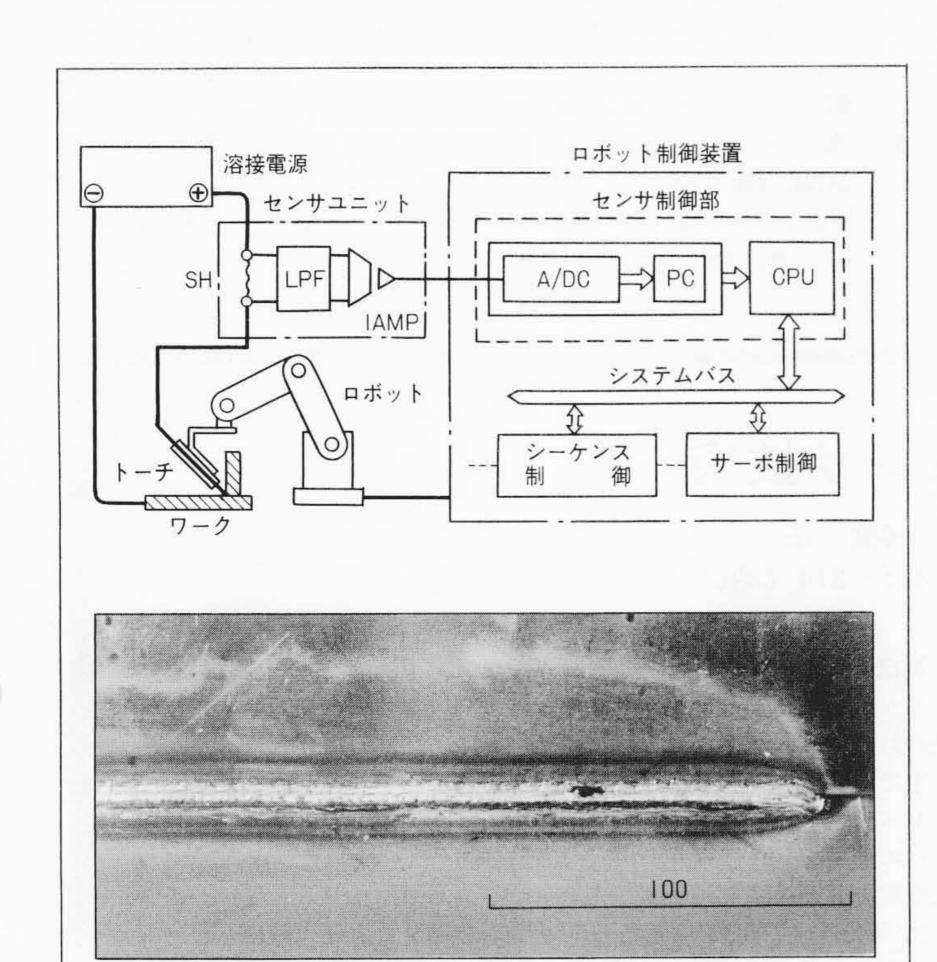
以上述べた使い勝手のほかにも、拡張I/O増設などのオプションの充実、位置検出分解能の向上及び演算精度の向上による経路精度の向上なども行なったが、紙面の都合上これらについては割愛する。

4 適用技術

ロボット自体は単にある約束に基づく動作や判断をする能力をもつだけであって、人間の五感や言葉に相当するセンサやロボット言語を介して初めて外部に反応し、外に向かって特定の仕事をすることができる。したがって、センサの機能や言語レベルのいかんがロボットの能力を実質的に支配するため、この分野の研究開発にも注力している。ここでは、Mシリーズの中小形機が当面対象とすると思われる溶接や組立作業などに関連するこれらの技術について抄述する。

4.1 アーク溶接センサ

溶接線倣い用センサには、光学的手法、磁気的手法あるいはアークの特性を利用した手法²⁾のものなどがあるが、使い勝手・経済性の面でアーク特性を利用したアークセンサが広く用いられている。この方法では、重ねすみ肉溶接で最小板厚に制限があるが、溶接電流波形の特定周波数スペクトルに着目した制御とアークの安定化技術により、板厚2mm程度の重ね継手を毎分150cm程度の溶接速度で溶接することができるまでになっている。図7に、アーク溶接センサのシステム構成及びその適用例を示す。



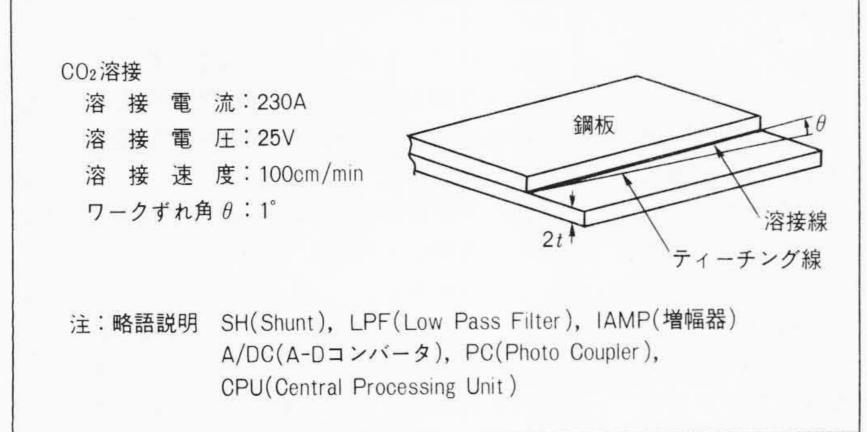


図7 アーク溶接センサのシステム構成と適用例 溶接電流波形の特定周波数スペクトルに着目した制御とアークの安定化により、従来困難とされていた薄板の重ねすみ肉継手の倣い溶接を可能にした。

4.2 視覚センサ

ロボットに視覚を付与することにより、その機能は飛躍的に拡大される。日立製作所が今までに開発してきた視覚センサの代表的なものとして、パターンマッチング方式のSBIP³)、 濃淡処理方式のHIDIC-IP⁴)、形状特徴量認識方式のHISEC-SP⁵)、HV/R-16°などが挙げられるが、このうちHV/R-1は、新開発の線分化処理方式を用いて特にロボットによる組立や

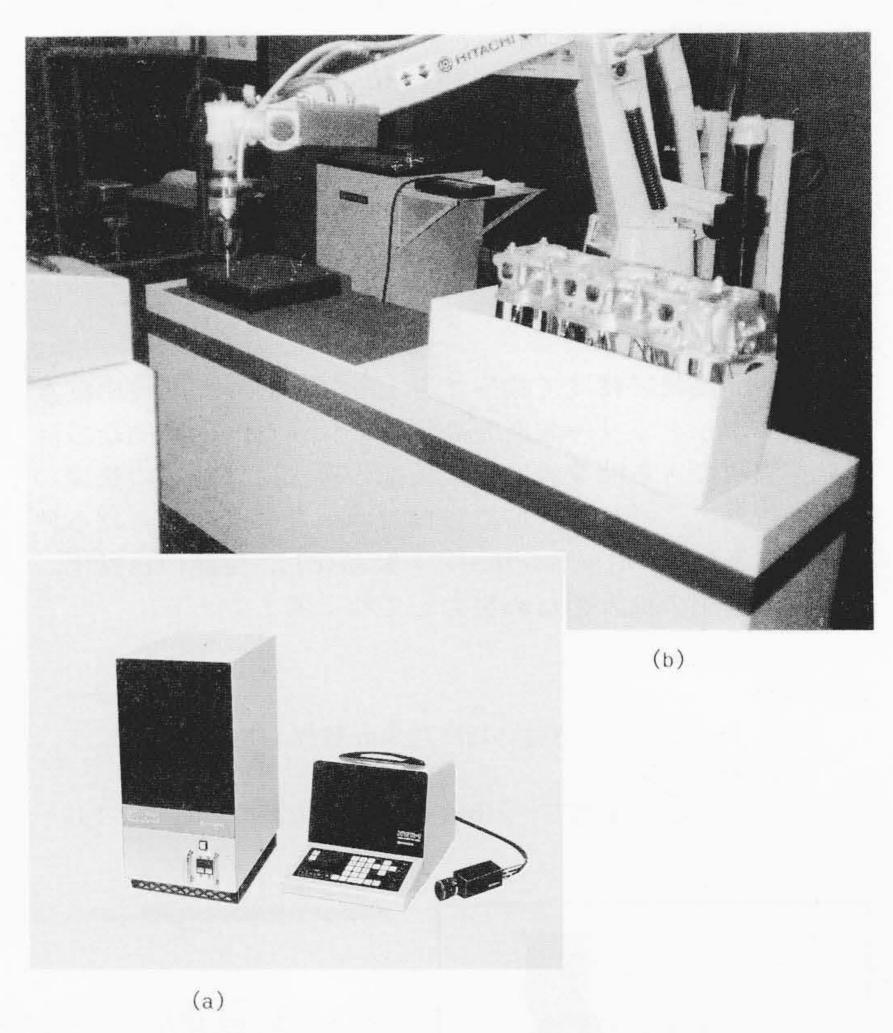


図 8 視覚センサHV/R-1の外観とその適用例 (a)HV/R-1は小形コンパクトな画像処理装置として構成されている。使いやすい専用のオペレータコンソールをもち、メニュー方式によるオペレーションの指示が可能である。処理結果もオペレータコンソールに画像として表示される。(b)視覚センサの助けを借りてバルブをエンジンブロックに自動挿入する。バルブ挿入時、ロボット手首は一定姿勢を保つように制御されている。

表 2 コンピュータリンケージの主な仕様 コンピュータとロボットの制御装置間でデータ通信が可能である。ロボットの遠隔操作、ティーチングデータの相互間転送、ジョブ言語との対話など多彩な機能を用いて作業内容の一元管理が行なえる。

項 目	仕
伝送方式	直列伝送
伝送速度	150, 300, 600, 1,200, 2,400, 4,800, 又は9,600bps
通信方式	半二重通信
同期方式	調歩同期(スタートビット・ストップビット) ストップビットの数: 1, 1.5又は2ビット
伝送手順	JIS C6362(ISO R1745)基本形伝送制御手順
起動方式	ポーリング セレクション方式
応答方式	ACK, NAK
通信コード	ASCIIコード,キャラクタビット長: 7 ビット
誤り検出	垂直パリティチェック 水平パリティチェック
誤り回復	NAK

注:略語説明 ACK(Acknowledge)
NAK(Negative Acknowledge)

検査用に開発された廉価な高速・小形視覚センサであり、FA の組立ラインなどを中心に適用が拡大されつつある。図8に その外観とエンジン組立への適用例を示す。

4.3 コンピュータリンケージとFA言語

ロボットはますます複雑な生産システムにかかわってゆくことになるが、多数のロボットが複雑化と高度化が進むFAシステムの中で整然と所定の作業を実行するためには、ロボットとコンピュータのリンケージ化によるローカル制御と上位大形コンピュータによるシステム統率がぜひとも必要である。更に、この統率言語はロボットを含む多様なFA機器を自在に制御することが可能な、統一的かつ能率的なプログラム言語である必要がある。日立製作所は早くからこの言語の開発を手がけ、プログラム規模が従来の $\frac{1}{10}$ 以下となる高能率FA言語"FA-BASIC"の開発に成功している 7 。表 2、3 にコンピュータリンケージとFA-BASICの概要を示す。

5 結 言

高速かつ高軌跡精度で業界でもトップレベルの6自由度垂直関節ロボットシリーズを製品化した。また、効率的な設計開発を実現できる開発設計支援技術の確立、ツールの整備の推進と併せて、これを武器に多様なニーズにこたえられる使い勝手に優れたロボットシリーズを製品化し、生産の自動化、ロボット応用の拡大のため努力してゆく考えである。

参考文献

- 中沢,外:機械,構造物の対話形設計解析,日立評論,65,3, 183~188(昭58-3)
- 2) 辻,外:ロボット用アーク溶接センサ,日立評論,66,10,741~

表 3 FA-BASICの構成 FA-BASICは、組立セルを構成するロボット、センサ、プログラマブルコントローラのための統一言語であり、問題向きコマンドと共通コマンドから成っている。

問題	FA-BASIC/R	FA-BASIC/V	FA-BASIC/C			
題向きコマンド	●ロボット動作記述●センサ入出力記述●座標系定義●位置演算	線分化画像処理特徴抽出関数図形処理演算パターンマッチング	●マルチタスク管理●リレー形・ステップ 形制御記述向き●割込制御			
	共通拡張部	-				
共	●各種変数,データ交信文,グローバル変数●信号入出力,条件制御					
通						
コー						
マ	基本BASIC					
ン	●整数					
۲	●演算子(+, -, *, /, ^, AND, OR, NOT, ······					
	●制御文(IF, FOR-NEXT, GOTO, STOP)					

744 (昭59-10)

- 3) 加藤, 外:電子部品検査向きの小形画像処理装置 "SBIP", 日立評論, **67**, 9, 731~734(昭60-9)
- 4) 小林,外:汎用画像認識解析装置"HIDIC-IP",日立評論,67,9,723~726(昭60-9)
- 5) 秦,外:位置・形状計測に向いた小形画像処理装置,日立評論, 67,9,727~730(昭60-9)
- 6) 秦,外:ロボット視覚用小形画像処理装置 "HV/R-1",日立 評論,66,10,735~740(昭59-10)
- 7) 武田,外:FAセル制御統一言語 "FA-BASIC",日立評論, 67,9,685~690(昭60-9)



小形電動機用センサ技術

日立製作所 宮下 邦夫・高橋 正 電気学会雑誌 106-4,311~314 (昭61-4)

最近のOA機器, FA機器の発達は目覚ましいものがあり, これらの機器に使用される制御用小形電動機も高精度化, 高速化に対応し進展している。これに伴い使用されるセンサも機能, 性能の改良が行なわれている。

小形電動機のセンサとしては、位置センサ,速度センサ及び電流センサがあり、前二者は電動機の回転情報をセンシングするものであり、電動機の性能に最も強い影響を与えるため、研究開発の盛んなセンサである。ここでは回転センサを動作から大別して、速度発電機、レゾルバ、エンコーダの三つについて紹介し、次いで電流センサ及びトルクセンサについて簡単に述べている。

速度発電機には交流速度発電機と直流速度発電機があり、後者が構造が簡単で取付けが容易という特徴があり、サーボモータの速度検出器に広く用いられている。最近はブラシをもつことに起因する摩耗、スパ

イク発生などの問題を解決するために,位 置検出器とアナログスイッチを使ったブラ シレス検度発電機も使われている。

レゾルバは磁気式が主で、鉄心と巻線だけで構成できるブラシレスレゾルバが多く使われている。レゾルバの使用方式には進展があり、従来の位相変調方式と振幅変調方式のほかに、PLL方式が開発されている。レゾルバは本来位置検出器であるが、速度センサとして共用する例が多い。イナーシャが大きい点を改善するために、偏光などを利用した光方式も提案されている。

エンコーダはレゾルバのような励磁回路を必要とせず、構造も簡単なために急速に需要が拡大している。方式は磁気式と光学式があり、前者が小形化及び耐環境性の点で優れており、最近急速に進展してきている。また、磁気エンコーダは機能を複合化することも比較的容易にでき、ACブラシレスモータの磁極センサ付きエンコーダなどが開発されている。より信頼性の高いセン

サとして、磁気式アブソリュートエンコー ダが単位磁極の組合せにより開発されてい る。磁気エンコーダは実用化されてからま だ数年しか経っていないが、サーボモータ 及びVTR用小形電動機をはじめ応用される 例が急激に増加している。

光エンコーダは歴史も古く、種類も豊富なセンサである。出力信号の種類として方形波出力タイプと近似正弦波タイプがある。前者のほうがディジタル処理が容易で数多く使用されているが、分解能向上のために後者を使う例もある。また、精度の向上を図るため全周積分形光式回転センサも提案されている。

電流センサは非絶縁形と絶縁形があり、 後者の代表的なものとしてホール素子を応 用したものがある。

トルクセンサはトーションバーのねじれ 角を測定するのが一般的で、アモルファス 金属の磁わいなどを利用するものが発表さ れているが、実用化はこれからである。