

ロボットの現状と将来

Current Trends and Future of Robots

内需拡大による好況に支えられ、ロボットの導入が再び活況を呈している。市場に現れる新しいロボットの最近の動向としては、高性能化、操作性の向上、システム適応性の向上などが大きなテーマとなっている。

日立製作所では、これらの問題に対応するため、機構・制御両面からの高速・高精度化に加えて、使い勝手、取り扱い性、保守性の向上など、人間とロボットとのインタフェース、FA、CIM(Computer Integrated Manufacturing)など新しい生産形態やアプリケーションに対する適応性の向上をキーポイントとして製品開発を進めている。

今後のロボット技術を展望すると、制御技術を中心として、人工知能の応用などによるいっそうの高性能化、高機能化および操作性の向上が進展するものと予想される。

福地文夫* *Fumio Fukuchi*
 三宅徳久** *Norihisa Miyake*
 毛利峻治*** *Shunji Mōri*
 久保謙二**** *Kenji Kubo*

1 緒言

国内では1985年まで順調に伸びてきた産業用ロボットも、1986年には円高不況の影響を受け、約5%(出荷合計金額)ダウンした。しかし、翌1987年には政府主導の内需拡大政策の恩恵を受けて早くも回復の兆しが見え、1988年は約30%の大幅な伸びとなった(図1)。

わが国の産業界は、近隣アジアNIES(Newly Industrializing Economies)の追い上げにあい、合理化は企業生き残りに必須(す)条件となっている。産業用ロボットの導入の目的は省力・省人、環境改善、品質の均一化などであるが、その用途はハンドリングのような単純作業から人間の限界を越える高速・高精度な組立作業まで多岐にわたり、ますますその幅を広げつつある。製品に対するニーズの多様化が進行するにつれ、FMS(Flexible Manufacturing System)化が進展を見せ、産業用ロボットはその高機能端末機としてますます重要性を増しつつある。

- (1) より高度の自動化への挑戦のためのインテリジェント化
 - (2) コストパフォーマンスの向上
- により製造業の合理化を支えている。

一方、国際的にはISO(International Standard Organization)で、生産現場でのマニピュレーティング産業用ロボットについての標準化作業が進行している。

従来は、各国でロボットの定義や分類が異なっていたため、統計内容がまちまちであり、それぞれの国のロボット化の実情を把握するのも難しい状況にあった。そこでISOの委嘱を受

けたIFR(International Federation of Robotics)が1988年末ようやく新しい分類方法をまとめた。JIRA(Japan Industrial Robot Association)は、最低下記3項目の統計をとり、IFRに対し報告の義務を負うことになった。

(1) 需要部門別(Industrial Field)

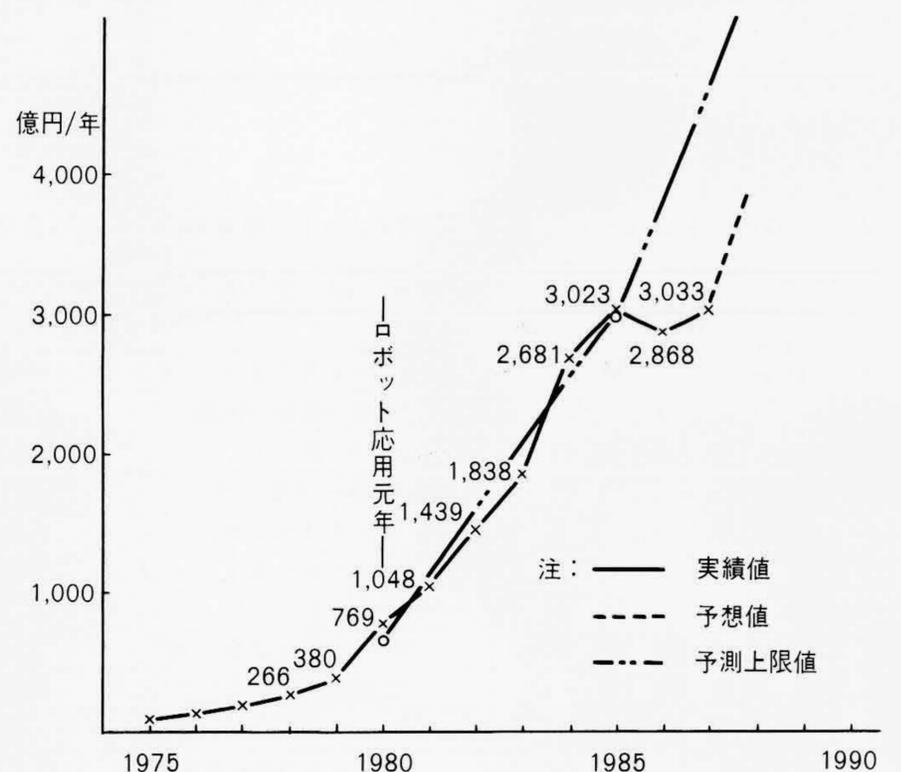


図1 産業用ロボットの出荷統計 産業用ロボット工業会では、5年ごとに長期需要予測を行っている。本図の予測値は1979年度に行ったものを示す。

* 日立製作所商品事業本部 ** 日立製作所機械研究所 *** 日立製作所生産技術研究所 **** 日立製作所日立研究所

(2) 用途別 (Application)

(3) タイプ別 (Type of Robot)

またこの統計は、IFRから国際連合統計委員会にも報告され、公表されたものとなる(表1)。

1988年の統計によれば需要部門別、用途別、タイプ別に従って、それぞれのベスト3を表2に示す。三つの区分には相関関係があり、市場の特徴を示すものでもある。すなわち、

- (1) 電気部門—組立用—数値制御ロボット
 - (2) 自動車部門—溶接用—プレイバックロボット
 - (3) 合成樹脂—取り出し用—シーケンスロボット
- に区分できる。

表1 産業用ロボットのタイプ 1988年10月IFRの分類WG(Working Group)で決まったロボットのタイプ分類を示す。全会一致にはならなかったため、当面A、Bのいずれの分類に従ってもよいことになっている(左右のロボットは、ほぼ同じと考えている)。

No.	分類 A	分類 B
1	Sequence Control Robot	Non-Servo, Pose to Pose Control Robot
2	Playback Robot CNC Robot	Servo, Pose to Pose Control Robot Servo, Continuous Path Control Robot
3	Intelligent Robot	Adaptive Control Robot
4	Teleoperating Robot	Computer Aided Teleoperating Robot

また、全体の1%強でしかないが、急速な伸びを示しているのが研磨、ばり取り用ロボットである。この種のニーズは膨大なものがあると予想されているが、製品や部品にもそれぞれ特徴があり、合理化・自動化の遅れている分野であり、今後の技術開発が待たれる。

技術的な動向を表3に示す。機構部としては、高速・高精度を実現するためある程度の剛性を確保しながら単純化し、動作範囲を拡大し、床取り付け以外の取り付けにも対応できるように姿勢に対する自由度を増す努力がなされている。機構部材の材質の改良、CAE(Computer Aided Engineering)の活用による合理的設計などによって、可搬質量・自重比の改善も大きなテーマとなっている。

制御の面から見れば高性能、高機能、多機能化であり、より適用範囲を拡大するためのセンサ利用、システム化のための通信機能の向上などである。

表2 産業用ロボットのニーズ動向 1987年度の各分類の上位三つを示す。この順位は近年ほぼ定着した傾向にある。

区分	順位	1位	2位	3位
需要部門別		電気	自動車	合成樹脂
用途別		組立	樹脂成形	溶接 (アークスポット)
タイプ別		シーケンス ロボット	プレイバック ロボット	数値制御 ロボット

表3 ロボットの技術動向 産業用ロボットの項目別進展方向を示す。性能、機能に加えて使い勝手や拡張性なども重要なテーマである。

		従来方式	新方式		ねらい	
ロボット本体制御装置	駆メ 動力 方構 式成	旋回	H D	特殊減速機	直接駆動	高速・高精度化 動作範囲拡大 無調整化
		腕 (動力変更)	ボールスクリュウ	同上	同上	
			回転→直動→回転	回転	回転	
	手首	リンク	減速機	直接駆動	無調整化	
	サ ー ボ	アクチュエータ	DCサーボモータ	ACサーボモータ	DDモータ	メンテナンスフリー
		位置検出機	インクリメンタル	アブソリュート		原点合わせ作業不要化
		フィードバック	セミクロズドループ	セミクロズドループ		高精度化
		回路構成	アナログ	デジタル		同上
		制御方式	ハードウェアサーボ	ハードウェアサーボ		高性能化
		制御理論	古典制御理論	現代制御理論		同上
構成		単軸	多軸		コンパクト化	
制御範囲	ロボット(Max. 6軸)のみ	周辺(Max. 6軸)を含む		システム対応		
制 御		操作の簡易化 保守の容易化 高速・高精度化 高機能・多機能化 センサ対応力向上 通信機能向上			取扱い性の向上 システム対応力向上 アプリケーション対応力向上	

注 HD:ハーモニックドライブ DD:ダイレクトドライブ

2 新形ロボット

ここでは前章に述べたロボットの動向を踏まえ、最新の技術を盛り込んで製品化した新形ロボットM6100と、コントローラHRC2000について述べる。

2.1 機 構

新形ロボットM6100の機構は、**図2**に示すように垂直関節形で6自由度を備えており、可搬質量は10 kgである。手首機構は、回転、曲げ、ひねりの3自由度が1点で交わるインライン構造を採用し、狭いスペースでの作業にも対応可能なコンパクトな機構とする一方、高剛性化を図り、高速・高精度化との両立を実現している。

各軸の駆動には、ACサーボモータを採用し、直流電動機でのブラシ交換などを不要とし、メンテナンスフリー化を図った。また、各軸の位置検出器として、アブソリュート形のを搭載することによって、従来電源投入時に必要とされていた原点合わせ作業が不要となるなど、取扱性が大幅に改善されている。

2.2 制 御

新形コントローラHRC2000の外観を**図3**に示す。本コントローラは上述したM6100をはじめ、種々のロボットに適用できるように、柔軟性や拡張性を十分考慮して設計が行われている。ロボットの機種に対する汎(はん)用性に加えて、ロボットの行う作業の種類あるいはシステムの形態にも柔軟に対応

できることが重要であるが、これについてはCIM(Computer Integrated Manufacturing)を中心とするシステム対応としての観点から、次章にまとめて述べる。

ロボットコントローラは、文字どおりロボットの機構を駆動制御する機能のほかに、操作者とロボットの間を結ぶマンマシンインタフェースとしての機能を併せ持っている。ここでは、まず操作者から見たコントローラの使い勝手の向上に関して、新形コントローラの特徴について述べる。

ロボットの操作装置としては、従来、作業の教示に用いるティーチングボックスと、簡易ロボット言語の入力および自動運転に用いるオペレーションコンソールの二つが用いられていた。新形コントローラでも基本的にはこの二つに対応する操作装置を備えているが、ティーチングボックスに相当する**図4**に示すプログラミングユニットにほとんどの操作機能を盛り込み、操作性の向上を図った。これにより、安全上ロボットの可動領域外に固定したコンソールから操作すべき自動運転起動スイッチ以外の通常の操作は、すべてプログラミングユニットを用いて行うことができる。プログラミングユニットの表示器にはバックライト付きの液晶を用い、各操作に対するガイダンスを状況に応じてわかりやすい形で表示するとともに、次に行うべき操作の内容をメニューとして表示している。このため、操作法を熟知していなくても、ガイダンスに従ってメニューを選択していただければ一とおりの操作を行うことが可能である。このようなガイダンス機能は、特

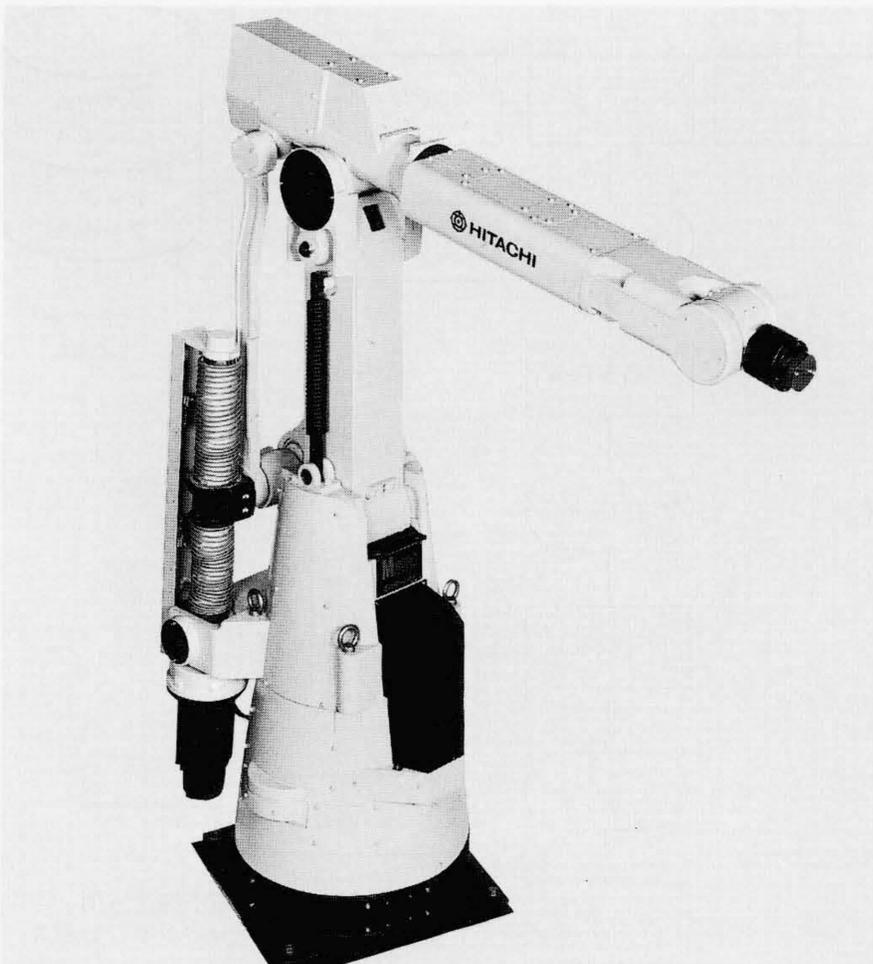


図2 M6100ロボットの外観 スリムなインライン手首、絶対番地式位置検出器、ACサーボモータなどの採用により、作業性を大幅に向上している。

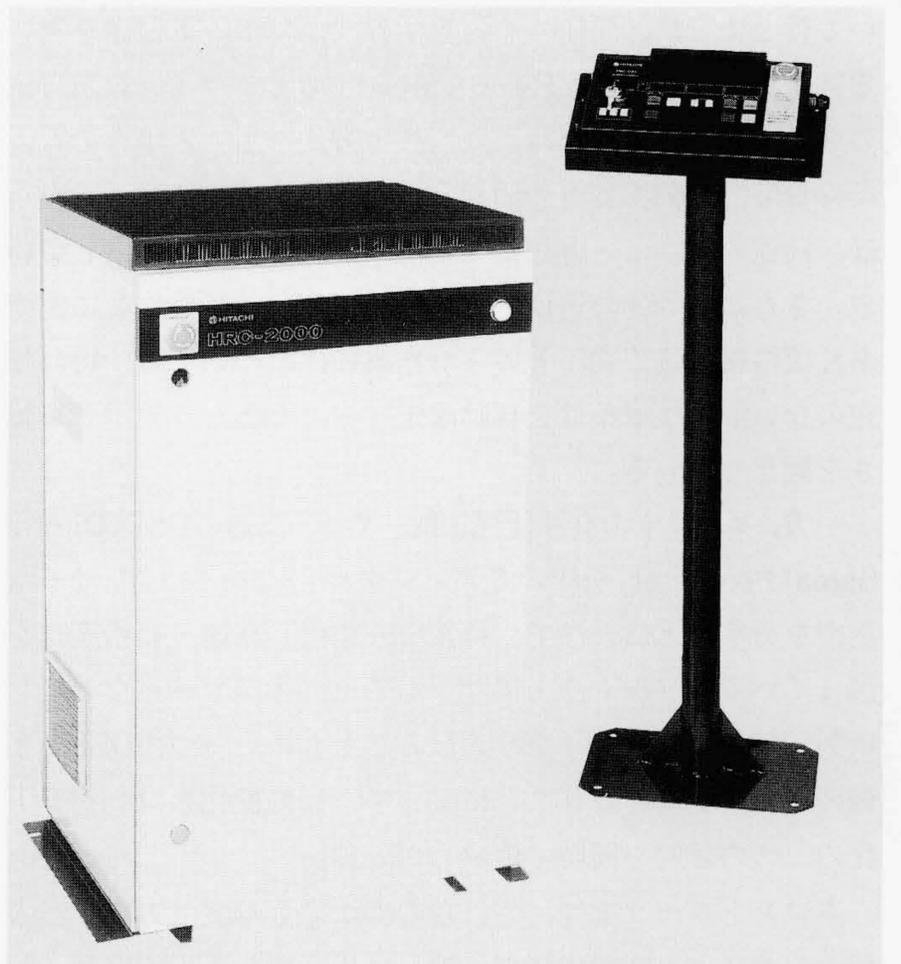


図3 HRC2000コントローラの外観 プレイバック、コンソールを分離し、小形・省スペース化を図っている。最大6軸の補軸、センサなどの拡張が容易となるよう考慮している。



図4 プログラミングユニット(HRC2000) メニューガイダンス方式により、ティーチングからテスト運転まですべての操作を手元で行うことができる。

にエラー発生時の復帰の際などにも有効である。

ロボットの操作で、最も手間のかかるものは作業の教示である。新形コントローラでは、3レベルの教示方式が用意されており、作業の内容やレベルに応じて最適な方式を選択することができる。すなわち、従来ティーチングボックスを用いて行っていたと同様の点列教示方式、ロボット言語を用いる言語教示方式およびFA-BASICによるオフライン教示方式の3レベルである。なお、点列教示方式を用いる場合でも、条件分岐、外部機器との同期などのシーケンスに関する教示は、前述のメニュー方式により簡単に行えるよう考慮している。さらに、動作の速度、加速度、あるいは溶接作業の例であれば溶接電流、電圧といった作業条件については、特に指定のない限り標準条件を自動設定することとし、教示の煩雑さを回避している。

一方、ロボットの高性能化に関しては、高速のDSP(Digital Signal Processor)を用いてデジタルソフトウェアサーボ制御を行うことによって、特性の安定化、高速・高精度化を図っている。ソフトウェアサーボでは、オブザーバなど新しい制御アルゴリズムを採り入れるとともに、一つのDSPで多軸のサーボ制御を行うことによって、高性能化とコンパクト化の二つの目的を同時に達成している。

本コントローラでは、これらのほかにも視覚、力覚など各種センサによる智能化制御、補軸に代表される周辺機器の制御など、高機能化のためのハードウェア、ソフトウェア両面にわたる考慮がなされている。

3 システム対応

ロボットは単独での利用も多いが、近年、製造システムの要素としての役割が重要となってきた。これは、CIMという新しい生産形態の内でのロボットのあり方、すなわちシステム対応力のあるロボットが重要であることを示す。

3.1 システム体系

ロボットの作業対象はさまざまであり、その使用環境にきめ細かく対応することが不可欠である。このためには、ロボットの制御ソフトウェアを変更することも必要となる。これをすばやく行うには、システム変更を容易に行えるしくみが必要ではない。その基本をなすものがシステム体系である。今回、図5に示すような開放形システム体系(オープンアーキテクチャ)を採用した。すなわち、全体をいくつかの層に分け、それらの間に標準化されたソフトウェアインタフェースを設けた。各層のサブシステムが将来の変更の単位となるものである。すなわち、力センサなどを用いた高度な作業に対し、動作と密接に関係する場合は動作制御系を改良し、それほど密に結合しないセンサにはそれ以上の層のサブシステムを変更することにより容易に目的が達成される。標準インタフェースを守るかぎりでは、おのこのサブシステムを独立に置き換えることも可能であり、ロボット利用者の独自の

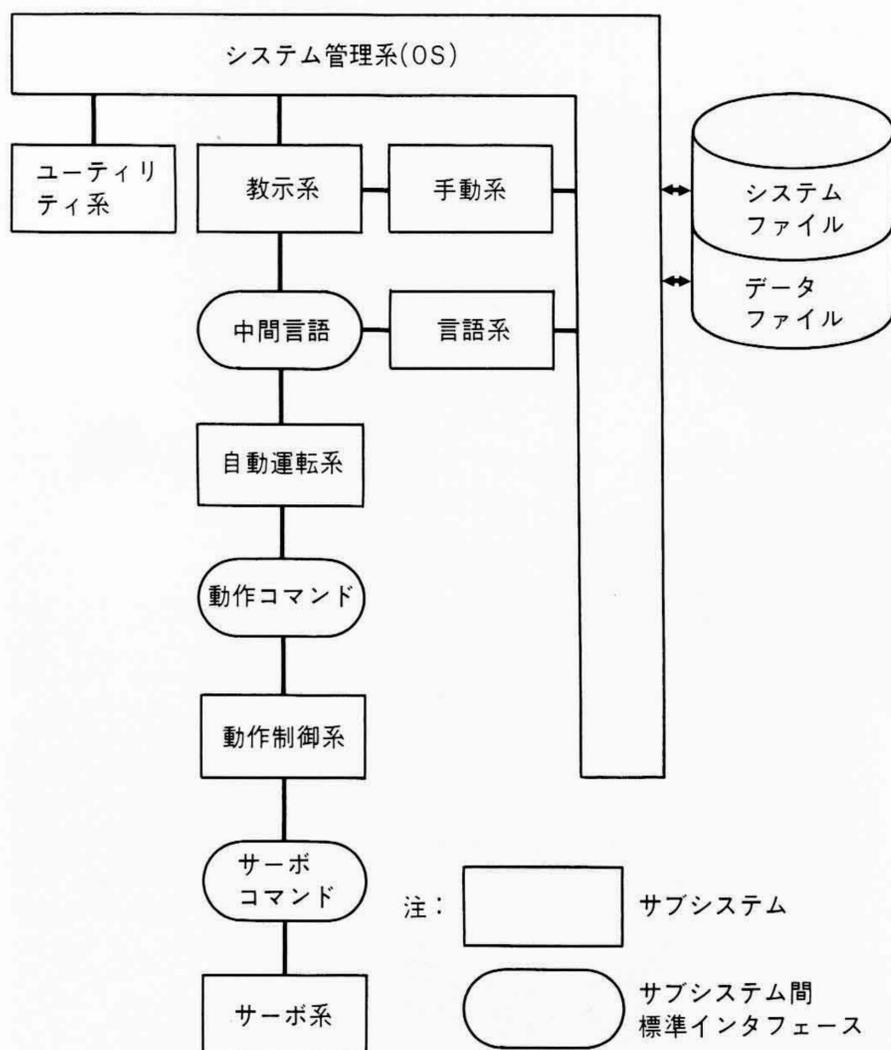


図5 ロボット制御システムの体系 各サブシステム間を標準化されたデータインタフェースで区切り、システムへの追加・変更に対する柔軟性を図っている。

オフライン教示システムを構築することも可能である。

この体系を支える重要なものとして全体管理系(OS)がある。本システムでは、汎用のリアルタイムOSを採用しており、システムの追加・変更・拡張をすばやく行うことを可能としている。また、現場設置後でもシステム改良を容易に行うことも可能とした。

また、システムバスとして汎用バスを採用しており、ミニMAPやイーサネットのようなLANの制御も、市販ボードの利用により行える。

3.2 オプション機能

M6100には種々のオプション機能が準備されている。表4にオプション機能を示す。それらの機能の選択により、比較的小規模なものから大規模なシステムに対応できるようにしている。例えば、補軸は6軸まで可能で、ポジションとの連動はもちろん走行軸を含むような事例にも対処できる。また、視覚センサも簡便に付けられる。さらに、将来の通信による制御に備え、シリアルポートサポート数も増加した。ロボットコントローラが中心となり、作業セルの制御を行うことも可能としている。

3.3 コンピュータリンケージ

ロボットの機能をフルに発揮しようとする、オペレータが介入し、次々と指示をする方式でなく、管理用のコンピュータからの指示に基づいて、むだなく動かすことが必要となる。これを行うのがコンピュータリンケージ機能である。この場合、ロボットは上位コンピュータからの指令を受け、応答する一種の端末機器の様相を呈する。このコンピュータリンケージの機能として重要なものが、生産スケジュールに沿った自動運転である。上位システムで作られたロボット制御データを、作業の進捗に合わせてダウンロードする機能は不可欠である。本システムではこれに必要な各種管理機能とロボットが動作中でも制御データをダウンロード・アップロードする機能を備えている。

通信手順としてはJIS準拠の基本形手順をサポートしてお

表4 オプション機能 M-6100では標準機能に加え、種々のオプション機能を用意し、比較的小規模なシステムから大きなシステムまで対処可能としている。

項目	標準機能	オプション機能
入出力点数	16/16	入出力合計448点
補軸	—	6軸まで(同時)
外部記憶装置	—	3.5インチ フロッピーディスク
シリアルポート数	2チャンネル	2(合計4チャンネル)
プリンタ出力	—	可
コンピュータリンケージ	—	可

り、パーソナルコンピュータでの高機能な群制御システムの実現が可能である。

以上述べたように、新形ロボットM6100、新形コントローラHRC2000は、表3に示したロボットの進展動向を先取りしたシステムであると言える。

4 将来展望

ロボットの進展方向については表3および3章、4章に述べた。制御技術に関しては際限のないテーマである。ロボットはメカトロニクス総合技術製品であり、究めなければならないテーマが実に多い。それらすべてについて言及することはとうてい無理であるが、そのうちの主なテーマを選んで以下に述べる。

第一は高速・高精度化であろう。ロボットの動特性はサーボ技術に負うところが大きい。ロボットは一般の機械と異なり、各関節駆動系の特性が、アームの姿勢あるいは他の軸との干渉などによって変化する。これを補償し位置決め精度、経路精度などに代表される基本性能の向上を図るためには、アームの動力的挙動を考慮したダイナミクス補償制御、または現代制御理論を駆使した状態フィードバック制御、モデル規範適応制御などの新しい方式が有効である。これらの新しい制御方式はデジタル シグナル プロセッサなどのエレクトロニクス技術の発展とあいまって、今後急速な実用化が進むと期待される。

第二はAI(Artificial Intelligence: 人工知能)の応用であろう。生産方式のFMS化の進展とともに、ロボットに対する作業の教示に関しては、ロボット言語を用いたオフラインプログラミングやCAD/CAMが実用化されつつある。しかし、ロボットが行う作業自体の条件については、作業内容を熟知したオペレータが入力を行う必要があり、教示の自動化は完全ではない。この問題に対する解決策の一つとして、AI技術の導入がある。熟練作業者の知識やノウハウをデータベースとして格納し、推論エンジンの働きによって自動的に最適作業条件を決定し、ロボットに指令するエキスパートシステムは、この一例である。日立製作所でもすでに初歩的なものではあるが、アーク溶接作業用(図6)のものを開発し発表済みである。

なお、オフラインプログラミングにせよ、CAD/CAMにせよ、プレイバックせずにロボットを制御する場合は、絶対精度が良くなければならない。しかし、現実には部品の加工精度、組立誤差によるロボットの機構誤差、据付け位置誤差などが存在する。したがって、ロボットを動作させて教示データの補正を行っているが、簡単な測定でこれら機構誤差や設置誤差の補正技術も進展しつつある。絶対精度の向上が図れば、教示データの無修正や他のロボットとの相互利用が可能となる。

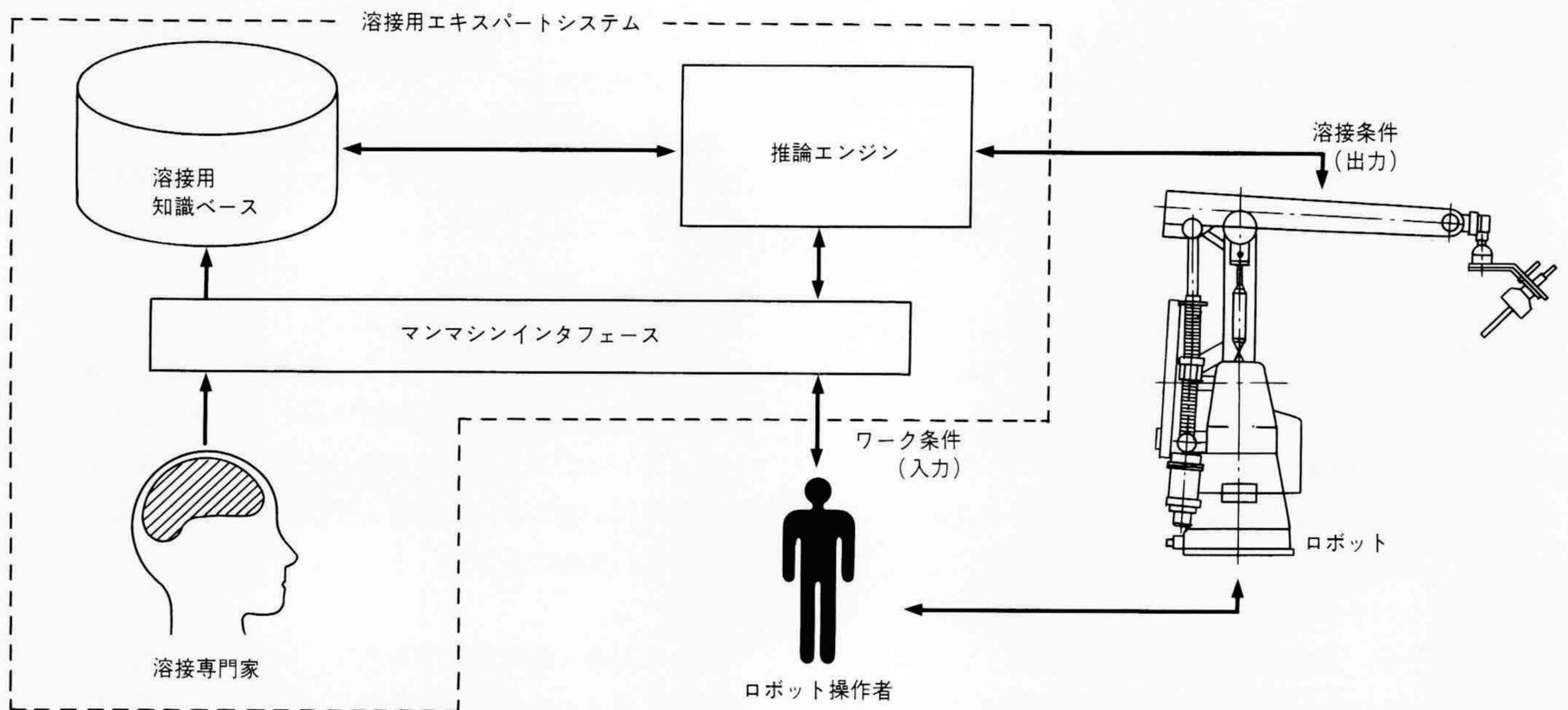


図6 溶接用エキスパートシステム 溶接用エキスパートシステムの概念図を示す。溶接技能者不足を補う有力な手段と考えている。

5 結 言

日立製作所は以上に述べた一般産業用ロボットばかりでなく、原子力や宇宙向けの特種ロボットの開発も手がけている。日立製作所は総合力を生かし、これらロボットの性能、機能

の向上はもとより、コストパフォーマンスの改善にも努めている。そして、少しでも多くのユーザーに使用してもらえるように、使いやすく、かつ安全なロボットおよびロボットシステムの供給を通じて、ユーザーの合理化努力への手助けをさせていただきたいと考えている。

論文抄録

メタノール燃料電池の高効率運転方法についての考察

日立製作所 津久井 勤

電気学会論文誌B
107B, 11, 549~555(昭62-11)

メタノール燃料電池にとって最も重要な課題の一つは、効率の良い運転を行うことである。そこで、燃料電池の運転条件についての理論的検討と実験による検証を行って考察を加えた。

効率の良い運転を行うには、燃料利用率を高くとることにあり、燃料極に供給するメタノール燃料(希硫酸とともにポンプにより循環供給される。)の濃度 C_m と供給量 Q_m が重要であることがわかった。燃料利用率を上げるには濃度が低いほうがよいが、そのとき燃料供給量が不足すると、性能が大幅に低下するので供給量を増やす必要がある。この関係を示したのが次の不等式である。

$$Q_m \geq \alpha J / C_m \geq Q_{ma}$$

ここに J : 電流密度, Q_{ma} (供給量の最低値), α (定数)

以上の条件で C_m , Q_{ma} を選ぶと、性能の低下もなく燃料利用率の高い運転ができることを見いだした。

リン酸形燃料電池の特性解析

日立製作所 堤 泰行・幹 淳・他2名

電気学会論文誌B
109, 4, 169~176(平成元年-4)

リン酸形燃料電池内の定常状態での3次元の電流分布、ガス偏流・ガス濃度分布および温度分布を解析する理論の詳細を明らかにした。また、燃料電池内に配置した電位線により、各部の抵抗降下を測定して電流分布の変化を予測する手法を開発し、空気利用率を変えた場合の特性変化について、理論と実験結果との対比を行った。その結果、空気利用率が高くなると空気出口側の酸素分圧が下がり、出口側の起電力が低下し電流が空気入口側へ偏るとの理論解析結果を実験で確かめることができた。また、空気利用率が低いときは、空気入口側温度は空気温度の影響を強く受け、空気利用率が高いときは電流の偏りにより、空気入口側の温度上昇、出口側の温度降下が生ずるとの理論解析結果も実験で確認できた。

電流、ガス濃度偏流、温度分布は互いに影響し合うため、これらを包含した特性解析が必要であることを明らかにした。

高温純水中における鉄鋼材料の腐食に及ぼす溶存酸素濃度の影響

日立製作所 大橋健也・本田 卓・他2名

防食技術
37, 4, 198~204(昭63-4)

BWR(沸騰水型原子炉)の炉水環境での一次冷却系配管材料の耐食性を明らかにするため、288℃の流動純水中で、ステンレス鋼および炭素鋼を対象に腐食挙動に及ぼすDO(溶存酸素濃度)の影響を脱気から1,000 ppbの範囲で検討した。その結果、いずれのDOでも腐食減量および金属溶出量は炭素鋼が最も多く、SUS304鋼、SUS316L鋼の順に減少することを明らかにした。ここで、炭素鋼はDOの増加に従い耐食性が増加する。一方、SUS304鋼では脱気条件でCrを含んだ皮膜が腐食を抑制し、SUS316鋼ではさらにMoで耐食性が補われる。炉水条件はDO200 ppb付近であるが、DO100 ppb以上ではSUS304およびSUS316L鋼表面にFeとNi主体のフェライト酸化物が形成され、炭素鋼より高耐食性を示すことがわかった。以上の知見は、BWRプラント構造材の腐食抑制対策に反映されている。