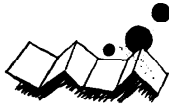


解 説

FA 用要素システム



産 業 用 ロ ボ ッ ト †

荻 原 誠††

1. ま え が き

我が国における産業用ロボットの発展は、1960年代後半の揺籃期、1970年代の実用化・成長期を経て1980年代初頭から本格的な普及期に入ったと言われている。ことに、従来の単なる自動化指向、多量生産指向から、多品種多様化生産へと生産形態の変革が明確な形をとり始めた1980年頃を境目として、産業用ロボットはFMS、FAの中核的要素の1つとして産業界はもとより、世一般の注目を集めるようになった。1981年において1千億円産業に成長した我が国の産業用ロボットは、今後さらに大きな伸びを示し、1985年および1990年にはそれぞれ3千億円および5千億円の規模に達するものと予測されている¹⁾。

本稿においては、このような産業用ロボットの概要、現状および動向について、なるべく情報処理の側面ごとに制御に力点をおいて述べる。

まず、産業用ロボットとは何か、一応のイメージづけをした上で現在の利用状況につき概観し、次に産業用ロボット技術の現状を説明し、更に今後の動向について簡単に触れることとした。

ここで、今後の大きな流れとなるであろう知能化に関しては、本特集の各所ごとにFA用情報処理技術の章において関連技術が詳述されるので、本稿では「現状の」技術に記述を限定することをご了承いただきたい。

2. 産業用ロボットとは

ロボットのイメージは極めて多面的で、以前から様々な定義が試みられているが十分なものはない^{5),6)}。

産業用ロボットについても事情は同じで、国際的な統一定義はなく、JIS³⁾にも明示されていない。現在日本産業用ロボット工業会(JIRA)で統一化が試みられているが、まだ集約するに到っていない。

このような情況にもかかわらず、あえてその要件と定義との関係をまとめてみたものが表-1である。本表の作成にあたってJIRAの案とISOでの米国の提

† Industrial Robots by Makoto OGIWARA (Robotics Div., NEC Corporation).

†† 日本電気(株)ロボティクス事業部

表-1 産業用ロボットの要件と定義

要 件	要 件 の 内 容	産 業 用 ロ ボ ッ ト の 定 義		
		下位機種	中位機種	上位機種
課題実行機能	① 産業上の各種課題を実行するために、対象物(材料、部品、工具、専用装置、製品・半製品など)を移動・動作させる機能	○	○	○
	(□人間の要求に応じて動作する機能)	○	○	○
動作機能	② 人間の四肢の機能に類似した柔軟な動作機能	○	○	○
	(□生体の運動部の機能に類似した柔軟な動作機能)	○	○	○
感覚機能	③ 内、外界の状態を検知もしくは計測する機能		○	○
知的機能	④ 感覚、記憶などを媒介として、判断、認識、適応、学習などのいずれかもしくはこれらの組み合わせを司る機能			○

注) □、○ はそれぞれ(本来の)ロボットの、①、②に対応する要件。

案とを参考にした。

現在の産業界では、事の当否は別として、知能を持たないもの（下位および中位機種）でも産業用ロボットとして扱われている。また現状の動作機能は人間の四肢に対応するものとされているが、今後、技術の進歩により、生体の運動部にまで拡大して考えられるようになるだろう。

3. 産業用ロボットの用途と市場

産業用ロボット導入の効果は、①生産性向上、②労働福祉の向上、③生産管理の改善、④新技術創出と新産業分野発展の促進、⑤社会福祉の向上、⑥人材活用の高度化、⑦省資源、省エネルギー等とされている^{1),2),8)}。

その用途を樹木表現で示すと図-1のごとくなり⁷⁾、利用と市場の状況をまとめると次のようになる。

(1) 従来の利用は製造業用ロボットが圧倒的に多く、中でも、溶接・塗装用、組立用の比率が大きい。

(2) 業種別では、電機、自動車関連の利用度が高い。

(3) 上記の傾向はここ当分持続し、特に組立用の伸びと電機業界の利用度の拡大が注目されている。

(4) 年平均成長率が非常に大きく、20%を超える。

(5) その結果、1990年には5,000億円強の出荷が見込まれている。

(6) 非製造業用ロボットは今後徐々に普及してゆく。

4. 産業用ロボットの構成

ハードウェアの側面から見た産業用ロボットの構成を図-2に示す¹⁰⁾。通常、本体機構部と制御部とを合

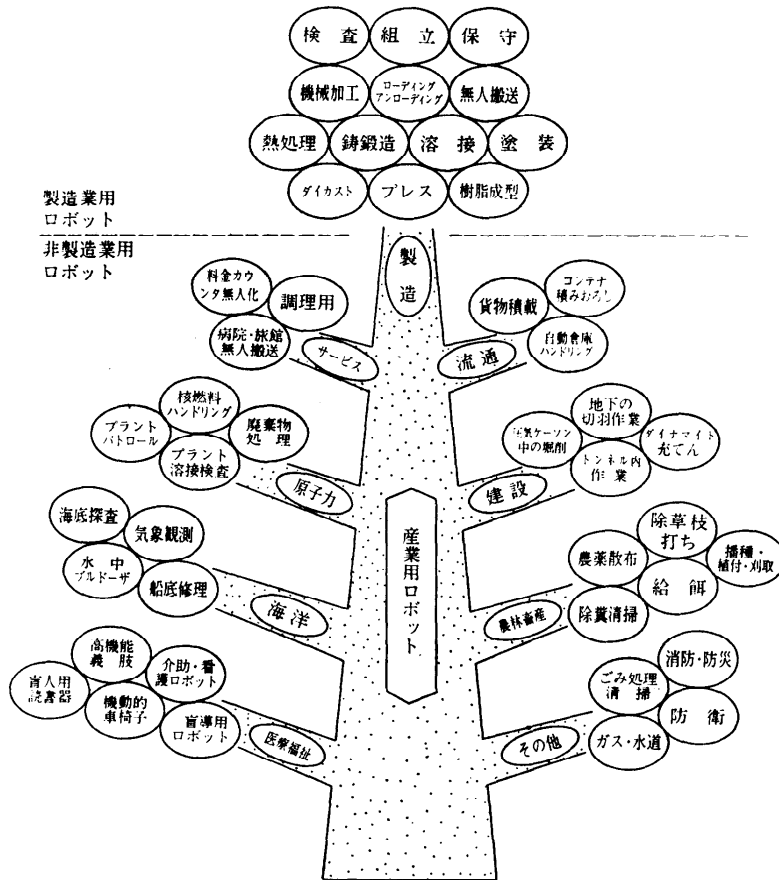


図-1 産業用ロボットの用途別利用例

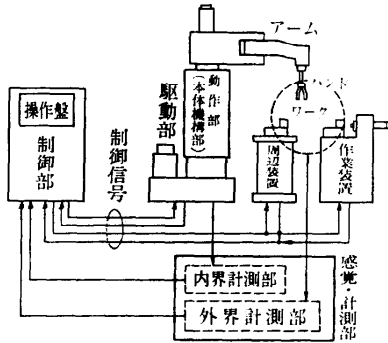


図-2 産業用ロボットのハードウェア構成例

せてベースマシンと言うことが多い。産業用ロボットでは殆んどの場合、作業はベースマシン単独で行われるよりも、周辺装置（部品供給機など）や作業装置（加工機など）との連係において実行される。

5. 産業用ロボットの種類と機構

産業用ロボットの分類は各種観点からなされているが、ここではアーム動作形態からの分類を表-2 に掲げる^{9),9),10)}。表-3 は、表-2 の各单位機構に対する構造例を示したものである^{9),11)}。現実に使われているものは、表-2 の各形式の複合形が多く、殊に多関節形

は単位機構の組合せによる変形が幾つもある。なおスカラ形(Selective Compliance Assembly Robot Arm)は水平多関節形の代表的なもので組立作業指向のロボットである¹²⁾。

産業用ロボットは一言で言えば、サーボ機構で駆動される多自由度メカニズム¹³⁾であり人間の腕や手を模したものであるが、現在はまだ遥かに幼稚な動きしかできない。動きの巧緻性、柔軟性を増すために6自由度以上の冗長自由度を設けることもあるが、現場における実際の作業には必ずしも多自由度が望ましいとは限らず、むしろ多自由度ゆえの剛性低下、精度低下、

表-3 産業用ロボットの単位機構の例

種 類	図 記 号	構 造 例
直動	直線上の伸縮	
回転	同一軸上での回転	
旋回	アームの軸方向の変化	
その他	手(ハンド)	
		ハンド自体、幾つかの単位機構を有する
	ベース	

表-2 産業用ロボットの動作形態からの分類

形 式	形 態 別	機 構 例	特 徴	主 な 用 途
直角座標形			<ul style="list-style-type: none"> 機構上精度が出し易い。 座標系がなじみ易く、制御し易い。 設置床面積の効率が良くない。 	<ul style="list-style-type: none"> 精密組立 搬送 ハンドリング
円筒座標形			<ul style="list-style-type: none"> 動作領域広いがアーム後部にデッドスペースが生ずる。 座標変換、ワークの姿勢制御を必要とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ハンドリング 搬送
極座標形			<ul style="list-style-type: none"> 動作領域に比し設置面積小。 座標変換、ワークの姿勢制御を要す。 比較的巧緻性あり。 	<ul style="list-style-type: none"> 塗装、溶接 ハンドリング
多関節形	垂直多関節形		<ul style="list-style-type: none"> 占有床面積小。 柔軟かつ巧緻な動きが可能。 座標変換、ワーク姿勢制御を要す。 	<ul style="list-style-type: none"> 塗装、溶接 ハンドリング 搬送、組立
	水平多関節形(スカラ形)		<ul style="list-style-type: none"> 比較的高精度で低コスト。 相対的に動作領域が広い。 座標変換、ワーク姿勢制御を要するが比較的制御性は良好。 	<ul style="list-style-type: none"> 垂直動作の組立 ハンドリング 搬送

制御の困難さの増加等のため、現状では性能価格比の低下をきたす場合が多い^{10),13)}。

6. 産業用ロボットの制御

産業用ロボットの急速な発展は、①マイクロプロセッサ、メモリ等の電子デバイス、②モータ、大出力用素子などのパワー部品、③利用技術を含めた制御用ソフトウェアなどの発展に支えられた制御技術の進歩に負うところが大きい。

産業用ロボットの制御部の基本的な機能は、作業対象物（ワーク）や工具を、所望の精度を保持しつつ適切な運動形態と順序の下に動かし位置決めすることである。この際に特徴的なことは、いわゆる教示の存在であり、これが他の専用自動機械と異なり産業用ロボットに著しい汎用性を与えている。

制御部はまた、教示や操作の過程を介して人間と本体機構部とを結合するものであるから、マンマシンインタフェースの面からも重要な役割りを担っている。

6.1 制御部の構成

図-3 および図-4 に、制御部のそれぞれ機能構成⁹⁾およびシステム構成例¹⁰⁾を示す。初期には比較的単純なシーケンスコントローラが主体であった制御部も、

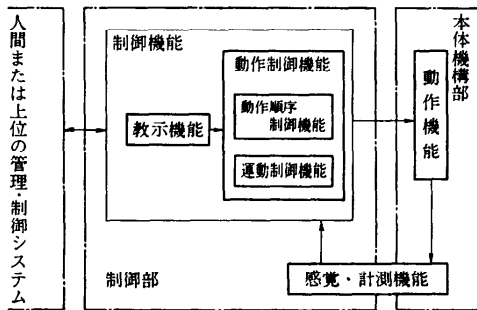


図-3 産業用ロボット制御部の機能構成

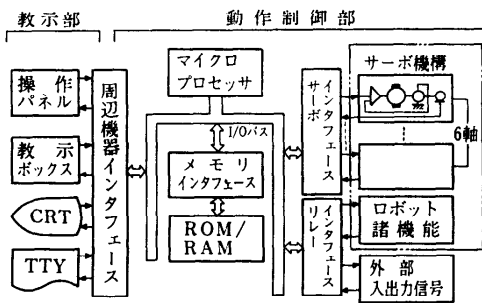


図-4 制御装置のシステム構成例

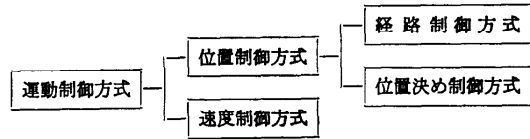


図-5 運動制御の方式

最近ではリアルタイム・プロセッサとしての形を整えてきた。そして機構部の高速高精度制御のみならず、センサからの信号の実時間処理や、運転データの教示、登録、変更、修正さらにはシステム生成などを司るインタフェース関連の処理の実行に便利のように、マルチプロセッサ構成をとるようになってきた。

6.2 動作制御

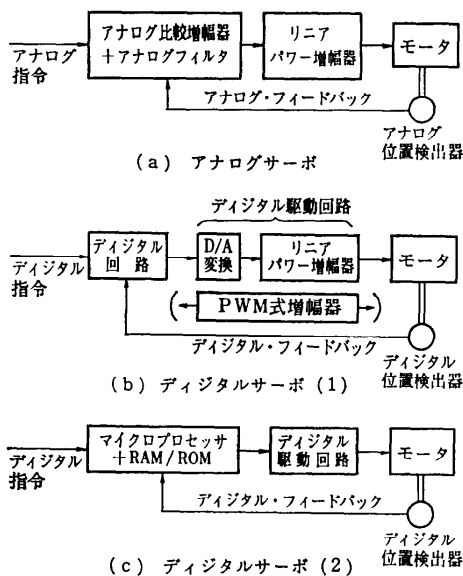
動作制御機能は、ロボット動作のシーケンス制御たる動作順序機能と、本体機構部の動きそのものを制御する運動制御機能とに分かれる。ここでは後者につき、図-5 に示した構成要素の主なものにつき述べる。

(1) 経路制御：作業目的に応じたハンド先端の経路の制御には、PTP (Point to Point) 制御と CP (Continuous Path) 制御とがある。PTP 制御は2点の位置のみに注目し途中の経路は問わないもので、たとえば、搬送、ローディング・アンローディング (周辺装置、作業装置への着脱)、パレタイジング・デパレタイジング (パレット、載物台への物の整列、取り出し)、点溶接、組立などに用いられる。CP 制御は輪郭制御 (Contouring) とも呼ばれ、動作経路そのものが重要な作業、たとえば塗装、連続溶接、切削加工、シーリング (封止) などの作業に用いられる。CP 制御には、経路指定のための関数補間および速度制御が関連する。

関数補間は、離散的に与えられた点を滑らかに接続するために、適当な関数を選んで途中の各点の座標をその関数値として与えるもので、直線補間、円弧補間などがよく用いられている。

(2) 位置決め制御：最近ではサーボ機構によるものが主流になってきたが、ステッピングモータによるものもある。さらに下位の機種ではいわゆる「当て止め」方式が使われることがある。

(3) 速度制御：PTP 制御の際に目標点への最適な位置決めを行うために速度を制御する場合、CP 制御の下に行う作業の必要上、たとえばどんな位置でも一定速度を保つようにするなど、速度そのものが第一義的な制御対象となる場合がある。時には加速度や力を制御する場合もある。

図-6 サーボ駆動制御部¹⁴⁾

6.3 サーボ機構

現在実用に供されている産業用ロボットは、すでに確立されたレベルのサーボ技術を活用しているものが殆んどである。

図-6 にサーボ駆動制御の種類を示す¹⁴⁾。最近では図-6(a)のアナログサーボから(b), (c)の順序で全デジタルサーボ(ソフトウェアサーボ)に移行してきた。

デジタルサーボ^{15), 16)}は次のような利点を有する^{10), 14)}。

① デジタル化にともなう制御の高精度・高安定化

② 回路の統一化による無調整、無ドリフトの実現

③ 回路構成の単純化にともなう部品点数の減少、

その結果としての信頼性向上、低コスト化

④ CPU、論理制御部との整合性の顕著な向上

⑤ 機能がソフトウェアで与えられることによる、特性改善や新規開発の容易化、柔軟性向上、など。

サーボモータ、センサなどについては本特集の別稿に譲り、ここでは、最近 AC サーボ化の動きが強まってきたこと、位置検出に主としてコスト面から磁気記録方式の採用の試みがあることを付言するに止める。

6.4 教示(ティーチング)・再生(プレイバック)

人間が所要の作業を産業用ロボットに教え込むこと

を教示という。教示は位置、速度、動作指令、動作の実行順序などに関して行われ、その内容は制御部内のメモリに記憶される。動作時にはこの内容が再生されてプログラムが実行される。このようなロボットをプレイバック・ロボットと称する。これに対し、順序、位置及びその他の情報を数値により外部から指令するものを数値制御ロボットと言う⁹⁾。現在の産業用ロボットの大半はこの2つで占められている。

教示の現在の技術レベルは残念ながら極めて不満足な状態にあって、ロボットの効率的運用に大きな妨げとなっている^{13), 17)}。すなわち、教示に時間がかかる、人手がかかる、個人差が大きい、教示後の修正が多い、などの問題がある。1例を挙げると、塗装作業で教示箇所が250の場合、新製品に対する教示に2人がかりで30~50時間を要し、稼働後の修正が1回/週、1時間/回も必要である¹⁷⁾。この主な理由は、①本体機構部の精度、②ワーク・治具の精度、③教示動作とその結果に対する確認と修正の確実有効な方式、④教示データの編集その他の処理機能、⑤言語レベル、などのそれぞれがまだ十分でないことによる。

現在、オフマシン・プログラミング方式などが開発中であるが、いずれにせよ教示効率の改善が当面の急務である。

6.5 マイクロプロセッサ

制御部の頭脳部分に使用されるマイクロプロセッサ(μP)の現在の主流は8bit μP であるが、16bit μP もすでに浸透し始めている。これにより関数補間、座標変換(直角座標と円筒座標など)等の演算やCRT制御、言語処理、専用パターン認識などが比較的容易に行えるようになってきた¹⁸⁾。今後32bit μP の導入も知能化の動きにともなってははかれようが、その前に当分の間は16bit μP の時代が存在すると思われる。

ソフトウェアについては、基本的にはマイクロコンピュータと同じであるが、機械システムのリアルタイム制御およびそれに関連した演算処理の部分が、産業用ロボットについては特徴的であると言える。そういう観点からすれば、応用ソフトの面ではかなり異なるところもあるが基本ソフトの核の部分については工作機械のNC装置と共通するところが多い。

7. 今後の動向

産業用ロボットの今後の動向について明らかに言えることは、知能ロボットの研究開発成果が逐次導入さ

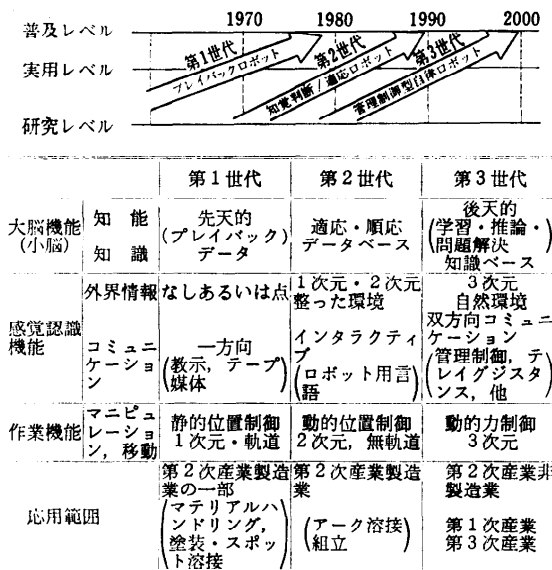


図-7 ロボットの世代わけとその特徴¹⁾

れ実用に供されるであろうということである。知能化に関する話題は、本特集第3章の殆んどすべての項目に係わりがあり、詳細はそれらに譲ると共に文献19~26)もあわせて参照いただきたい。紙数も尽きてきたので、ここでは図-7に文献19)の図の一部を簡略化して掲げ今後の動向のまとめとさせていただきます。

8. む す び

産業用ロボットをその制御に少しく力点を置いて解説した。本特集の他の部分との重複を避け、言語、知能化、センサ、アクチュエータ等の記述は割愛したが、この他に、安全問題、人間もしくは社会との係わりという大切な問題にも触れ得なかった。ともあれ本稿が産業用ロボットのイメージを掴んでいただけた一助にでもなれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 米本完二：産業用ロボットはどこまで普及しているか、するか、日本機械学会誌, Vol. 85, No. 766, pp. 1069-1077 (1982).
- 2) 長谷川幸男：産業用ロボットはなぜ日本で広く用いられているか, ibid., pp. 1052-1057 (1982).
- 3) 日本工業規格：産業用ロボット用語, JIS B 0134-1979.
- 4) 日本工業規格：産業用ロボット図記号 (原案), JIS B 0138-1979.

- 5) 辻 三郎：ロボット研究の流れ, ロボット (白井良明編), pp. 9-16, 共立出版 (1976).
- 6) 梅谷陽二：概念と定義/オートメから知能ロボットへの発展系譜, 日本の科学と技術, Vol. 23, No. 215, pp. 26-30 (1982).
- 7) 日本経済新聞社・三菱総合研究所編：ファクトリーオートメーション (日経グラフィカル), p. 96, 日本経済新聞社 (1983).
- 8) 日本産業用ロボット工業会編：新しい経営とロボット, p. 175 (1979).
- 9) 日本産業用ロボット工業会編：産業用ロボットの技術, p. 233, 日刊工業新聞社 (1979).
- 10) 佐藤茂信編：産業用ロボットのメカニズム, p. 222, 日刊工業新聞社 (1983).
- 11) 木下源一郎：ロボット技術への挑戦, p. 294, 工業調査会 (1982).
- 12) 牧野 洋ほか：SCARA ロボットの開発, 精密機械, Vol. 48, No. 3, pp. 378-383 (1982).
- 13) 花房秀郎：ロボット技術の展望, 計測と制御 (小特集：ロボットの新技术), Vol. 21, No. 12, pp. 1089-1094 (1982).
- 14) 長谷川健介：ロボットとエレクトロニクス, 電子技術, Vol. 24, No. 1, pp. 24-28 (1982).
- 15) 村上尚徳：サーボモータのデジタル制御, 計測と制御, Vol. 18, No. 11, pp. 916-923 (1979).
- 16) 伊藤正美：デジタル制御理論の展開, 計測と制御, Vol. 22, No. 11, pp. 587-593 (1983).
- 17) パネルディスプレイ：ロボットにおけるデータ入力-ティーチング方式かプログラム方式か (精機学会主催：第1回ロボットに関するマラソン・シンポジウムから), オートメーション, Vol. 28, No. 9, pp. 174-195 (1983).
- 18) 戸田日出夫, 三橋寛治：産業用ロボット, 電子通信学会誌, Vol. 65, No. 4, pp. 433-438 (1982).
- 19) 館 暉, 小森谷清：第3世代ロボット, 計測と制御, Vol. 21, No. 12, pp. 1140-1146 (1982).
- 20) 田中幸吉：総論-知能情報処理とロボットの研究開発動向, 電子通信学会誌, Vol. 65, No. 4, pp. 334-345 (1982).
- 21) 辻 三郎：ロボティックスの最近の進歩-単能ロボットから知能ロボットへ, ibid., pp. 413-419 (1982).
- 22) 中野栄二：産業用ロボットの将来, 日本機械学会誌, Vol. 85, No. 766, pp. 1078-1082 (1982).
- 23) 小特集ロボットの新技术, 計測と制御, Vol. 21, No. 12 (1982).
- 24) 辻 三郎：知能ロボット, 日本ロボット学会誌, Vol. 1, No. 1, pp. 25-30 (1983).
- 25) 後藤達生, 杉山謙吾：ロボットの産業応用, ibid., pp. 31-37 (1983).
- 26) Reddy, R. (editor): Robotics and the Factory of the Future (Special Issue), Proc. IEEE, Vol. 71, No. 7, p. 126 (1983).

(昭和59年2月4日受付)