

展 望

ロボットコントローラの歴史と展望

History and Future of Robot-Controller

三 橋 寛 治* *川崎重工工業株式会社 電子・制御技術開発センター応用技術部

Kanji Mitsuhashi* *Application Engineering Dept. Electronic & Control Technology Development Center. Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

1. はじめに

工場でロボットが働いている状況をTVでよく見かけるが、そのコントローラまで映し出されることは、まずない。いつも主演は、ロボットアームであり、そのコントローラは隠れた存在である。

では、コントローラはどのような役割を果たしているのだろうか。これをどういう切り口で論じるかは、非常に難しい。機能の充足度、年代別、エレクトロニクスハードウェア技術の進歩からくる影響度などが考えられるが、以下は、一応年代別をステップとして論じることとする。

なお、以下に論ずるロボットコントローラとは、産業用に供されているものに対象を絞ることとする。

2. 年代に見るコントローラの役割

2.1 揺籃期 (1960年代後半~1970年代前半)

ロボットコントローラの第一義的な役割は、もちろんロボットアームを動かすことである。衆知のようにロボットの特徴は、「教示モード」と「繰り返しモード」を有することにある。したがって、コントローラは、これを実現するために最低、以下の3大機能を有していなければならない。すなわち、アームの移動に関するアーム情報、作業に関する作業情報、および周辺機器とのインターロック情報を記憶する記憶部、記憶された情報を作業手順に応じて読み出すシーケンス制御部、アーム各軸に指令値を伝える多軸時分割サーボ制御部が必要である。

1969年わが国に初めて導入された産業用ロボット「ユニメート」はこの原型をなしていた。特徴的なことは、アームの操作を容易にするためにコントローラの操作面から離れて操作できる「教示(ティーチ)ペンダント」を備えていたこと、その記憶部は回転式の磁気ドラムを用いていたこと、また、サーボ制御部は、アナログ式が多軸制御部で

構成されていたことなどがあげられる。

1970年代の前半は、ミニコンピュータが全盛の時代であったが、ロボットコントローラにコンピュータを導入する技術まで進んでいなかった。当時の記憶部は、ワイヤメモリを用いた大がかりなもので、記憶容量も少なく、その他の回路もデジタルIC素子の組み合わせにより複雑なメモリ入出力回路やシーケンス回路を構成していた。

当時の課題はとにかく信頼性を高めることであった。

2.2 発展期 (1970年代後半~1980年代前半)

1970年代後半より、産業界にマイクロプロセッサの導入が始まり、特に8 [bit] マイコンが制御用機器に数多く利用されるようになると、ロボットコントローラへの適用も活発化し始めた。これにより、記憶部もICメモリにおきかわり、大容量化を実現し始めた。ロボットコントローラの発展過程で、最も寄与したのは、エレクトロニクス技術の進歩であることは言うまでもない。

コントローラにコンピュータが導入されると色々な可能性がでてくる。最も効果的だったのは、コンピュータの演算機能を活用してアーム先端の空間軌跡を指定することができるようになったことである。多軸の座標変換を行うことによって、直線動作や円弧動作を可能にした。また、手首軸だけの座標系を基準にして、物体の把持動作を教示しやすくした。また、マンマシン系にも変化をもたらした。メモリ容量が大幅に増加するにしたがって、幾つかの複雑な作業プログラムを自由に組み替えることができるようになり、「教示」操作が込み入ってきた。そのことが「教示」を進化させ始めた。

ここで「教示」のことを少し述べてみたい。

先に、ロボットの特徴は「教示モード」を持っていることである、と述べた。「教示」という行為は、ロボットに作業内容を教えることであり、それは、ある作業をどの場所でどう作業し、次に何処へどの経路をたどって、どの程度の速度で行き、どの作業をし、ついには何処で終わるのか、を細かく教えることであった。すなわち、これを分解すると、前述のアーム情報と作業情報およびインターロック情報になる。アーム情報とは、アーム各軸の位置情報と

原稿受付 1996年5月29日

キーワード: History and Future of Industrial, Robot-Controller

*〒673 兵庫県明石市川崎町1丁目1番地

*Akashi-shi, Hyogo

アームの先端の移動速度およびその軌跡指定に関する情報であり、また作業情報とは、作業手順に応じたアーム先端停止位置の順序を指定する情報とアーム先端に装着した作業固有のツールを作動する為の指示情報である。それゆえ、実際にはオペレータが「教示モード」で、以上のような教示情報を逐次ロボットに教えて行かねばならない。作業が簡単な場合はそれでも何とか可能であった。しかし、メモリ容量の増加に伴い、コントローラとしては、複雑な作業にも対応可能となると、オペレータに限界が来た。すなわち、作業内容の複雑さが増すにしたがって教示時間も長くなり、また、教示ミスも発生しやすくなり、オペレータの負担が大きくなった。これがオフライン教示を生んだ要因でもある。すなわち「教示」は、「作業プログラミングを作ること」と「実際のロボットを用いて作業対象物との位置関係を現物合わせすること」に分けられるようになった。

1980年代前半から始まった作業プログラミングの作成方法は、ロボットアームを用いずにコントローラの中だけで予めプログラムを作成する方法が用いられた。具体的には、ロボット言語を用いる方法で、各ロボットメーカーはそれぞれのロボット言語によるプログラミング方式を競って開発した。その結果、実際の作業位置関係に関わる情報の教示が「(実ロボットを用いた)教示」として残った。すなわち、上記ロボット言語によるプログラムを予め作成しておき、それに実機から得られた「教示」データを結合させて、全教示(全作業プログラム)を完成させる方法に移り変わっていった。当時、オペレーションの簡素化を図って、コントローラの操作面に画面表示方式が採用されたこともこういった方法の定着を容易にした。

2.3 第一次成熟期 (1980年代後半~1990年代前半)

1980年代後半になると、ロボット言語方式も充実してきたが、一方では、複雑、高度化された作業プログラムを予め検証することが必要となり、コントローラから離れてオフィスのEWSなどでそれを実行するようになっていった。すなわち、オフィスで予め作業プログラミングを作成すると共に、そこでプログラムの検証を行うために作業シミュレーションを行う方向に発展した。コントローラを用いた「教示」は、年と共に少しずつコントローラから抜け出して、一人歩きを始めたのである。ただ、小規模のロボットシステムでは、当初のロボットを用いた「言語なし」の全教示方式が簡便であることにより、現在でも広く用いられているし、コントローラを用いたロボット言語方式も今なお大いに使われている。

エレクトロニクス技術の発展は、サーボ系にも変化をもたらした。1970年代初期には油圧駆動方式のロボットも多く見られたが、位置決め精度、メンテナンス性、省電力性の点で電気駆動方式が優位となった。1980年代前半に電力用半導体素子が開発されるとサーボ増幅器は、PWM

を用いたデジタル方式が一般的になり、ACブラシレスサーボモータが普及し始め、油圧駆動式ロボットはしだいに姿を消していった。電動式サーボ増幅器は、当初、アームの軸単位で構成されていたが、1990年代前半になるとその構成内容をさらに分割して、多軸時分割制御が可能な「前段増幅部」とモータ容量の大小によって形状・寸法が異なる「パワー増幅部」に2分されるようになった。それは、「前段増幅部」にも独立のCPUを設けて、制御ゲインをソフトウェア的に処理しようとする流れによるものであった。その結果、コントローラの寸法を左右する「パワー増幅部」が、のちに、弱電回路を主とするコントローラの構成から別置きにされるきっかけを与えたと言える。

1980年代後半に入るとロボットコントローラは、マルチCPU時代となる。前述のように、サーボ増幅器用CPUも採用され、ティーチペンダントにもそれを制御するCPUが採用され始めた。1つのコントローラの中には、約10個近くのCPUが設けられ、それぞれの役目を機能的に処理するようになった。すなわち、作業用途に応じた適用作業処理機能、適用作業用データベース機能、生産システムの統括を行う高度なシーケンス制御機能、各周辺機器との情報授受を行うための通信制御機能、ビジュアルセンシング機能などの多くの機能が充実し、ロボットコントローラは、単に自らのアームをコントロールするのみならず、対象作業に深くかかわりをもつことが可能となった。表1に、コントローラが有する作業特化機能の代表例を示す。また、表2に、コントローラのハードウェア構成とその保有機能に関する歴史を示す。

1990年代に入ると、この傾向は益々顕著になり、バブル全盛の頃になると複数ロボットの協調作業の実施例も出現した。多軸同時制御の高度化が一層進んだ現れである。

表3に、現在の市販コントローラの平均的なカタログ仕様を示す。

このように、画一化された作業に対してはかなり順調にロボット化を進めることができた。しかし、ロボットのもつ汎用性を真に発揮するためには、複雑な作業への対応、

表1 ロボットコントローラが保有する作業特化機能

適用分野	特化機能
スポット溶接	溶接条件制御、サーボガン制御、溶接シーケンス制御、短ビッチ高速移動
組立/ハンドリング	内蔵ビジョン、コンプライアンス機能、パレタイズ機能
アーク溶接	ポジショナ協調制御、溶接条件制御、タッチセンシング、アークセンサ、ウィービング、多層盛
塗装/シーリング	コンベヤトラッキング機能、吐出量制御機能、軌跡&速度制御機能
バリ取り/ポリシング	力制御、連続回転式機能

表 2 年代に見るロボットコントローラの構成と機能

〈ハードウェア構成〉

項目	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代
制御ロジック素子	・トランジスタ	・IC (SSI, MSI)	・LSI	・ASIC ・VLSI
演算部	・専用回路	・専用回路(一部ポータコンピュータ)	・16ビットCPU	・32ビットCPU
メモリー部	・専用磁気ドラム 2[KB]	・磁気ワイヤメモリ 8[KB]	・ICメモリ 8~32[KB]	・ICメモリ 64[KB]~数[MB]
サーボ制御部	・位置ループ : デジタル ・速度, (トルク)ループ : アナログ		・位置, 速度ループ : デジタル ・トルクループ : アナログ	・全ループ : デジタル
ヒューマン インターフェース部 オプション	・個別スイッチ, ・ランプ, カウンタ	・個別スイッチ, ・ランプ, 数字表示器	・ワイド文字表示器, ファンクションキー ・キーボード, メニュー選択	・外部軸制御 ・シーケンサ内蔵

〈ソフトウェア機能〉

項目	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代
補間機能	・PTP	・一部で各軸補間	・直線補間 ・円弧補間	・関数補間
プログラミング機能	・レコードボタンによる順次記憶方式		・ロボット言語 ・編集機能	
ダイナミクス制御機能	・比例制御	・比例制御+フィードバック補償	・PI制御+ダイナミックフォワード	・現代制御理論
シーケンス制御機能	・ON/OFF 信号入出力 ・信号入力待ち機能 ・タイマー機能	・外部プログラム選択機能 ・ジャンプ機能	・割り込み機能 ・サブルーチン機能	・PCプログラム実行機能 (マルチタスク)
自己診断機能	・エラーランプ	・エラーコード表示	・エラーメッセージ表示 ・トラブルシューティング&シーケ ンス表示	・自己診断機能 ・遠隔診断機能
オプション機能			・通信機能 ・コンペアトラッキング ・適用作業データベース機能	・ビジョンコントロール内蔵

表 3 現在の各社コントローラの外部仕様

項目	平均的な外部仕様
制御軸数	標準 6 軸(最大 10~12 軸)
動作形式	PTP, CP(直線, 円弧)
教示方式	ティーチペンダント
座標系	ワールド, ツール, ワーク
記憶容量	標準 2000~3000 ステップ(オプション有り)
外部入出力	入出力各々 16~48 点
外部インターフェース	RS-232C
インターフェース機能	フロッピーディスク
耐環境性	温度 0~45℃, 湿度 85%(結露無)

すなわち、非定形作業への対応を可能にしなければならない。これを実現するためには、特に、センシング技術とその情報処理技術および知的判断処理技術の発展が不可欠である。しかし、この課題に関しては、いまだに個別のテーマの解決にとどまっており、一般化されていないのが現状である。個別テーマの積み重ねがロボットの知的能力を次第に高めているのは事実であるが、今後の課題でもある。

コントローラは、エレクトロニクス技術の発展と共にその保有機能のみならず、外見上のかたちや寸法も変化してきた。コントローラの中を覗き込んでみると、大きく3つに分けられる。電源部、制御部、パワー増幅部からなる。筐体面には、操作部とティーチペンダントがある。一般に、電源部は重量の加減で下部に、制御部は中央に、パワー増幅部は、側面に配備されている。図1に初期のコントローラとティーチペンダントの外観図を示す。操作部にディスプレイ装置が装着され始めた1980年初期より、表示の見やすさを重視して、コントローラの高さは、人間の背

丈位に設定されたが、コントローラ筐体の設置面積をできるだけ小さくするようユーザより強く要望された。機能の充足と省スペース化という一見、相矛盾する課題も、その後のエレクトロニクスの進歩により、それを可能にした。最近では、コントローラ寸法の標準化、省スペース化をさらに推進するために、モータ容量に依存して、大小が決定されるパワー増幅部を別置きとすると共に、ディスプレイを含む操作面も別置きの可搬式として、コントローラの筐体から外す試みもなされている。図2に最近のコントローラの外観図を示す。このことは、コントローラが形の上からも、操作部(マンマシン系)、制御部、パワー増幅部の3部作に分かれて行くことを示唆している。

3. コントローラの将来

最近、パソコンNCが話題になっている。それにつれてパソコンロボットも話題となりつつある。アメリカでは既に、現場で使われだしており、日本への上陸も間近い。前述のようにマンマシン系がコントローラから分離されていけば、それがパソコンにおきかわるには想像に難くない。ロボットのコントローラにパソコンを導入することの直接的なメリットは、マンマシン系の公開であろう。すなわち、現在、ロボットメーカーの技術者のみで対応しているマンマシンソフトウェアの作成は、パソコン用ソフトを開発している一般のソフトウェア技術者も参加できるようになる。このことは、豊富な市販のアプリケーションソフトが容易に利用できることも大いに関係している。また、パソコンの有する通信機能を用いることによって、現在の

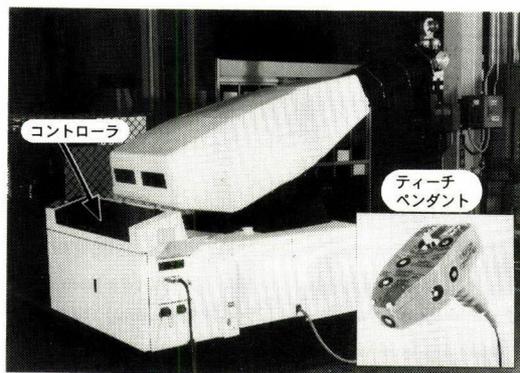


図1 初期のコントローラとティーチペンダント (1969年)

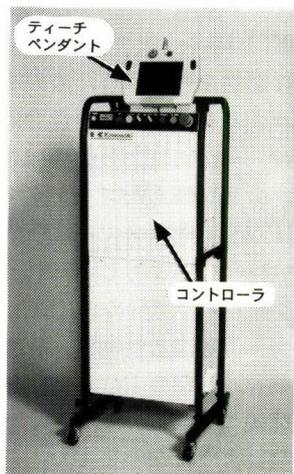


図2 最近のコントローラとティーチペンダント (1995年)

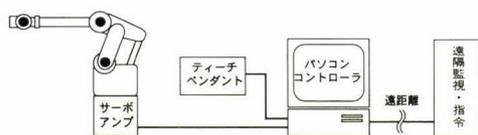


図3 ロボットコントローラの将来図

独立型ロボットからネットワーク型ロボットに発展するだろう。すなわち、ロボットへのおおまかな作業計画の提示、ロボットの作業実績の集計、作業状況のモニタリング、異常時の原因把握などが遠隔地において可能となる。さらに、パソコンの能力が高まり、リアルタイムOSが容易に可能となればコントローラの中核である制御部の機能をも取り込むことができる。すなわち、動作指令作成機能、センシング情報の加工および固有の作業情報生成機能、固有の作業に付随するデータベース機能、周辺装置とのインターロックシーケンス機能などがこれにあたる。このようにして、やがてロボットコントローラは「パソコン」と「パワー増幅部」の2つに分解されていく。こうなると「パワー増幅部」もまた、一人歩きを始める。すでに、欧米では、「パワー増幅部」のインターフェースの標準化が進み

始めている。やがて、インターフェースの標準化された「パワー増幅部」だけを市販で購入できるようになる。ロボットアーム部もまたしかり。かくて、誰もがアーム部、パワー増幅部、パソコン部をそれぞれ単品で購入できるようになり、それに市販ソフトを組み合わせればでき上がりとなる。図3にコントローラの将来予想図を示す。しかし、現在のコントローラが今すぐこうなるわけでない。なぜならば、コントローラの中には、多くの保護機能や耐環境性のための工夫がなされており、それらの回路がどこでどう吸収されるかを解決しなければならない。さらに、ロボットが現場でどのように使われ、どのようなノウハウを必要としているかを知らなければ、適用に便利なソフトウェアのメニューもすぐには出揃わない。しかし、道筋がはっきりしていると意外に早く進展する。ロボットコントローラの将来像が見えてきたような気がする。

4. おわりに

ロボットコントローラの進化は、大雑把に言えばロボットの性能を含めた「ロボットの扱いやすさ」への追求でもあった。産業用であれば価格の妥当性を筆頭に、信頼性、安全性、耐久性、形状・重量の制限などの条件の中でこの扱いやすさ、すなわち、内部機能の充実を追求しなければならない。今まで、産業用ロボットに手出しができなかった研究者も「パソコンロボット」になれば現場問題に参加できることも確かである。それが、現場に智能ロボットを呼び込むトリガーとなることを期待したい。

最後に、本論文作成にあたり、データ作成に協力して下さった当社FA・ロボット(事) 松島幹治氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 稲垣：“産業ロボット技術の発展動向”，日本産業用ロボット学会20年のあゆみ，pp. 74-78, 1992.
- [2] K. Mitsuhashi, N. Sasaki, A. Sonoda, T. Maehara：“Recent Development in Spot Welding Robots,” Proceedings of 26th ISIR, pp. 247-252, 1995.
- [3] 前田他：“TDR委員会報告書”，日本ロボット学会タスクダイレクティブロボットクス(略：TDR)研究専門委員会, 1996.



三橋寛治 (Kanji Mitsuhashi)

1938年1月31日生。1961年姫路工業大学工学部電気工学科卒業。1961年川崎重工業株式会社に入社。1968年産業用ロボットの国産化に従事。1986年同社ロボット事業部技術部長，1992年同社技術総括部応用技術部長，現在に至る。現在の研究分野・興味を持つテーマは、ロボットを含む自動化省力化機器(システム)に関する応用研究。技術士(情報処理)。

(日本ロボット学会正会員)