

ロボットの歴史と将来

●
期 日

1998年 4月24日

会 場

東京本社 第三会議室

出席者：阿波加克実^{*1} 伊東輝樹^{*2} 浦田茂明^{*3}蟹谷 清^{*4} 浜田博文^{*4} 丸山 章^{*4}司 会：藤堂安人^{*5}

はじめに

当社は70周年を期に経営ビジョンを「ものづくりの発展に貢献し、企業の成長をはかる」と新しくし、21世紀に向けて新しい不二越の具体化に取り組んでいる。

現在の経済危機が言われる中で、消費財から生産財・資本財に中心が移動した日本の製造業の強みが再認識されている。当社は創業以来一貫して、そうしたものづくりの基盤を提供してきた。当社のロボットは、ものづくりの基盤である設備機械として自動車メーカー各社の生産に貢献しているが、一方「帰ってきた機械」とも呼ばれ、いろいろな技術が総合的に生かされる分野でもある。

今回は、日経メカニカル 藤堂編集長の道案内のもと、ロボットについてその現状と次世代技術の方向について論議した。

ロボットとは

司 会：本日のテーマは「ロボットの歴史と将来」です。その過去から現在、そして将来と幅広くみなさんに論議していただきます。ロボットという言葉は非常に広がりのある言葉ですので、整理の意味で、先ずナチロボットのアウトラインを紹介して下さい。

浦 田：当社のロボットは1969年に油圧のロボットでスタートしました。国内で産業用ロボットに取り組んでいた会社は2~3社ぐらいしかありませんでしたから、最も早くから産業用ロボットに取り組んだと言えます。70年代は油圧のロボットの時代でした。当社の工作機械と油圧の2つのシーズ技術があっただけで可能になりました。81年には、国内で初めて大形ロボットの電動化に成功し、国内の自動車メーカー各社にロボット溶接用として大量に導入していただき

今日のロボット部門の基礎ができました。80年代からは電動ロボットの時代になり、工場内の設備として要求される高生産性と高信頼性の観点から改良を行っています。

浜 田：ロボットと言うとすぐアニメの世界を想像します。1956年に発表された「鉄人28号」はリモートコントロール型のマニピュレータです。1963年には「鉄腕アトム」がテレビ放映されました。これは知能型かつ自立型のロボットに分類されます。新しくなって「ガンダム」は力フィードバック型のマニピュレータとなります。なんといっても現在の一番人気は「ドラえもん」で、分類としては鉄腕アトムと同じ知能型・自立型になるのですが、ユーザフレンドリーであるところに時代の反映を感じます。技術的にも、駆動系や制御系を収納しようとするところからズングリムックリの形には妥当性あり、注目の形といえるでしょう。(笑)

*1 軸受製造所 生産技術課

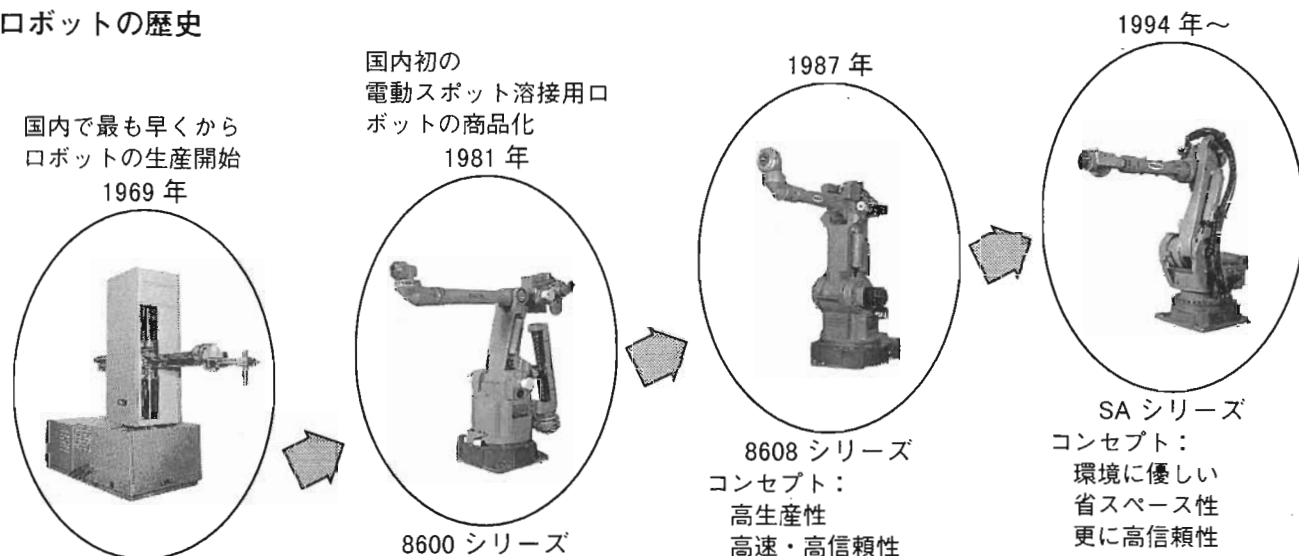
*2 ロボット製造所 技術部

*3 ナチロボットエンジニアリング (NRE)

*4 ロボット事業部 ロボット開発部

*5 日経BP社 日経メカニカル

ロボットの歴史



産業用ロボットは、一応鉄腕アトム系に属する訳ですが、ISO の用語によると「自動制御され、再プログラム可能な、多目的で、3 軸以上のマニピュレーション機能を持つ」と定義されていて、センシングとサーボ技術にその特徴があると思います。

司 会：鉄腕アトムと実際のロボットにはギャップがあったのではありませんか。

浦 田：アニメの世界を想像して入社したのに、油圧のロボットでしたから、かなりのギャップがありました。一度、老人会でロボットについて講演を依頼されたことがありますが、さてどこから話したら良いか迷ったものです。

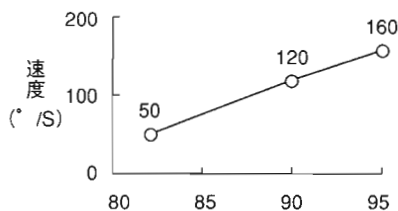


「81 年国内初の電動化がロボット普及のきっかけ」
浦田茂明 (NRE)

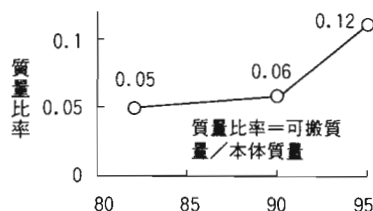
蟹 谷：「位置を自由にプログラムできて、それを繰り返し可能」というのがロボットなので搬送に特化していると言えます。工作機械が作業目的に合うように作られるのに対し、この点が特徴的です。人間を手本にすると、足・腕・指が有るわけですが、整備された工場内での搬送ということで腕のみでの搬送が一般化し、指の代わりに専用のツールを取り付けます。このツールが溶接ガンの場合には溶接用ロボットと呼びます。要素では、アームに制御技術とコンピュータ技術を付加したもので、中でもコンピュータ技術の進歩が性能の向上の鍵でした。

阿波加：使う側（軸受部門）から見ると、ロボットは人間に代わりうるものであり、更に人間にできないことができるもの、高精度の測定あるいは検査機能を付加したものです。現在使っているロボットは、シリンダを単に組み合わせた搬送用から、水平多関節、垂直多関節タイプのロボット等、いろいろなものを用いています。最終的には、人間に近い形で自由に動き回り、フレキシブルに作業をこなす、ロボットそのものも柔軟な素材でできているものになるだろうと考えています。

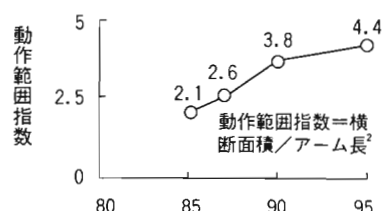
ロボットの性能改善の経過



最高速は3倍に高速化



ロボットは1/2に軽量化



動作範囲は2倍に広がる

ロボットの改善の経過

司 会：80年に電動化してから、性能・機能面で向上したのはどの点でしょうか。現在もその延長上にあるのですか。

伊 東：電動化した当初はDCモータとボールネジを使用していました。この電動化によりMTBFは、油圧ロボットの5000時間から1万時間となり、その後、ボールネジを回転減速機とし、DCモータをACモータにすることでモータブラシ交換が不要になり、更に2万時間へと改良されました。CAE解析技術の応用や潤滑方法の改良により、4万時間を越えるレベルとなり、現在ではMTBF 6万時間をめざす活動をしています。

丸 山：制御を行うアナログ回路がソフトウェアに移行し、部品点数が減ると共に経年変化要因が無くなり、信頼性が向上しました。一方でゲイン調整といった調整要素のダイナミックな変更が可能となり、機械に無理をさせずに性能向上を図ることが可能となりました。

制御を担当する立場から見ると、ロボット



「ロボットの制御も飛行機の制御も基本は同じ」

丸山 章（ロボット開発部）

の制御も飛行機やプラントの制御も同じです。制御対象をニュートンの運動方程式で記述し、こうして記述したモデルが望みの挙動をするように操作量を決定します。古典的なPID（比例-積分-微分）制御を基本にしつつも、要求性能のアップの要求に対して、制振制御や予測制御といった現代制御理論に基づく制御を取り入れています。しかし、実際にやってみるとそれほど簡単にはいきません。というのは摩擦力や予期せぬ振動があり、発生するモータトルクに制限があるのでモデルがよく分からないものになってしまいます。このような状況においては、現代制御理論も限界があるのではないのでしょうか。

司 会：信頼性は総合技術だということですね。古典的なPID制御と現代制御との比率はどうですか。

丸 山：80%はPID制御です。

浜 田：ロボットを制御するソフトウェアはこの10年ほどで14倍となり、プログラムの行数で140万行、プログラムの流れを記述するフローチャートを巻紙に順繰りに書いていくと、粗く書いても2kmを越す長さになります。そこでこのソフトウェアの信頼性確保が新しい課題として浮かび上がってきています。

司 会：なぜプログラムの行数が増えたのですか。

浜 田：それはコンピュータの性能向上に伴い、制御の対象が増えてきていることによります。スポット溶接ロボットで見ますと、従来はロボットアームの制御だけしていたものが、溶接機や治具等の周辺機器制御も一局集中で行える操作の一元化と保守性の向上、更にネットワークを使った品質管理へと変わってきました。

溶接ガンも、溶接品質の向上やサイクルタイムの短縮、騒音の低減を狙い、従来の空気圧シリンダによるエアガンからサーボモータ駆動によるサーボガンに代わってきています。これはロボットの腕にサーボガンという指がついた形であり、ワークを挟む時のスピードも力も制御しています。

ロボットの現状

司 会：それぞれの適用分野で、現状と今後について語って下さい。

阿波加：軸受FMSラインへの適用例は、検査工程の中で軸受の内輪、外輪、ボールの識別と選別を行っています。ロボットは、専用の検査装置への部品の出し入れを行っています。しかしながら装置の段取り替えやトラブル発生時の対応は作業者が行っています。省人化の観点からは、将来、段取り替えやメンテナンスといった人手作業の部分を担当する人形の智能ロボットの導入が期待されます。

司 会：こうしたロボットは、現在の技術の延長上で実現可能なものですか。

蟹 谷：工場内のライン環境を整備し、検査機能を限定すれば可能です。例えば、工場内にレーン敷いてしまえば、巡回機能は現状技術のままでOKです。ただ、検査そして判断の部分が隘路になるでしょう。人間の目は非常に性能が良く、分解能及び分光感度特性が例えば CCD といった機械の目に比べて随分と良い訳で、我々の目には見えるがカメラでは見えないという事態が傷の検査などで発生します。又、見えたとしても、研削液の洗浄状態によりそれが正常であるのか異常であるのかの判断の部分が、5年

で10倍の速度でコンピュータの性能が向上していても可能にならない難しさがあり、そこに人工知能の限界が存在します。

伊 東：多機能なロボットの場合、ロボット手首の先にどんなハンドをつけるかが問題になります。ハンドの標準化というか、多目的に使えるハンドも重要なポイントです。



「多目的ハンドの開発がフレキシブルなロボット実現の鍵」伊東輝樹（ロボット製造所）

司 会：広く、溶接等の一般マーケットを見た場合将来的に、どんな生産ラインを志向して、それに対してロボットがどう位置付けられますか。

浦 田：入手しやすい低価格なものと智能化されたものとに2極化していますが、現在は低価格化先行です。やはり、どう安く作るか、そのためには車の電気配線のように人が得意な部分は人に任せるといった考え方が必要となります。近未来では、人とロボットの作業が共存し、柵がなくても良いロボットが望まれます。

伊 東：安全柵からロボットを出す場合、4つの課題があります。①ロボットのパワーを制限して人に危害を加えないこと②軽量化、いかにトルク重量比で軽くするか③センシング技術、周りがあるものを素早く検知する技術④柔軟な被膜を付ける、というのは軽量化や瞬時停止に限界があるので当たっても柔らかい当たりを実現するのです。小形軽量化の点ではモータや減速機といった駆動系の軽量化は頭打ちの段階に来ており、新しい考え方が求められています。そういう点からCFRPを構造体を使う試作を進め



ています。重量では従来の半分になり、剛性面でも、十分な強度がありますが、価格がネックになっています。

司 会：CFRP の低価格化に当たっては、射出成形を検討する方向もありますね。ところで、グローバル化・国際化の流れの中で、例えばアジアと北米とを比較しての地域差がありますか。

浦 田：ロボットでない品質が作り込めない工程についてはアジアにおいてもロボット化が進んでいます。しかし、単に物を動かすといった作業についてはロボット化が遅れると思います。

司 会：ナチロボットが得意とするスポット溶接における展開についてはいかがですか。

浜 田：スポット溶接用ロボットの基本的な機能そのものは飽和状態にあります。従来の空圧ガンをサーボ駆動のガン変えることで品質向上・サイクルタイム短縮・騒音低減をはかります。更にロボットコントローラに溶接機の制御を内蔵し、周辺機器の制御もネットワークでつないで行います。ちなみに国内で使われるサーボ駆動ガン付きロボットの90%以上は当社製です。

そうした中で、使いやすさが重要と考え、各適用に特化したソフトウェアをこの後開発し、それをユーザに自由に作っていただければと考えています。



「ロボットの使いやすさが重要」
浜田博文（ロボット開発部）

司 会：ロボット制御装置における、デファクトスタンダードの動きはどうでしょうか。

蟹 谷：パソコン NC の世界では、GM の提唱する

OMAC が最も有名で、一昨年は国内でもブームでした。しかし、昨年秋頃からその熱も少し冷め、より実態にあった動きに変わってきていると思います。GM でも OMAC とは少し離れた形でのロボットの標準仕様作りが行われています。

従来はロボットメーカーが、例えば不二越は不二越の仕様というように、それぞれの仕様をユーザに押しつけてきたのではないかと。それには、同じ物を量産することで低価格を実現できるという各ロボットメーカーの考えがあったからだと思います。しかし、各自動車メーカーには、それぞれが国際化の中でロボットの仕様を操作も含めて統一したいというニーズがあります。そこで各企業レベルで「デファクトスタンダード化」が行われているというのが現状です。つまり、ロボットメーカー基準からユーザ基準に変わりつつある過渡期といえます。ネットワーク機能や周辺機器制御に加え本来各ユーザで個別に展開する部分までロボット側に取り込んで高機能化し、結果として操作が複雑になってしまう。これを単純化して使いやすくするためには、従来メーカー毎に3種あった操作を1種に標準化するというやり方があります。

これはソフトの「デファクトスタンダード化」の動きですが、ハード面では文字通りの「デファクトスタンダード化」が進んでいます。ロボットの性能向上にはマイコン（制御機器組込用マイコン）が切っても切れない関係に有ったのですが、現在はこのマイコンが無くなってパソコンに一本化されつつあります。例えば、制御機器組込用マイコンでは、電源遮断時の状態を記憶して次の電源投入時に即再スタートするという機能を実現するため、SRAM（スタティック RAM メモリ）が必須ですが、パソコンでは、大きなメモリ空間を安価で実現できる DRAM（ダイナミック RAM メモリ）にメモリチップが一本化されつつあります。

司 会：ソフトのユーザ主導でのデファクトスタンダード化は、各ユーザの傘下も含めて進んでいくということですね。ではハンドリングロボットの現状と将来は。

- 伊 東：高速性と省スペースをキーワードに改善をすすめてきました。設備に求められる課題は「より少ない設備面積で、より速く生産する」ことです。80年代初めと現在とを比較すると最高速度で3倍、小形軽量化の観点では2倍に性能がアップしています。こうした課程でより高速化と、人と協調する安全性が求められています。
- 阿波加：使う側からは、より安いロボットで単純作業を行い、点検作業などには付加価値のあるロボットを使っていきたいですね。



「省人化と品質面の両面でロボット化を推進」
阿波加克実（軸受製造所）

今後のロボットの課題

- 司 会：今、多品種少量生産を更に進めて変種変量生産へと変わりつつありますが、それに対するロボットの課題は。
- 浜 田：ロボットそのものは多目的を前提とするものですので、本質的には多品種少量生産に適しているといえます。ただ生産の前にロボットにプログラムをしなければならない。品種が増えてくるとこのプログラム時間も増えてしまいます。例えば1週間の内、平日は生産をして、土日にプログラムの入れ替えをする。この場合ライン外で作成したプログラムは、実際のロボットに入れると2~3mmずれてしまうのが現状です。ライン外で作成したプログラムを修正無しでどうやって動かすかです。ロボットの座標系のゆがみのような非線形な関係をニューラルネットのような新しい制御の考え方で構造を同定し、自動的に補正できないものかと考えています。
- 丸 山：ロボットの制御は、マイコンの発展と密接に関連しています。サーボ制御がアナログからプログラムによるデジタル制御へと変わってきました。ロボットの小形・軽量化に対応して柔らかいアームの制御となり、振動しやすい点を改善し、高速性能を高めるため、80年代に完成した現代制御理論の取り込みへと発展してきました。この現代制御理論は、当初自動車の4WS制御や航空機、プラント制御といったロボット以外での適用が主体でした。現代制御にはモデルに特化し、モデルに違いがあると著しく性能が劣化するという問題があるため、今、ポスト現代制御理論で、古典的な制御の良いところと現代制御の良いところを統合していこうとしています。
- 司 会：ポスト現代制御というのもポストモダンの一種であり、自己規定しないアンチテーゼですが、次世代制御理論の萌芽はありますか。
- 丸 山：まだ見えてきていないですね。
- 伊 東：ロボットの重量比率を見ると、25%がモータと減速機、25%が駆動系、50%が構造体です。柔らかいアームの制御の話がありましたが、小形・軽量化により全体としてアーム剛性は低くなってきています。人と協調する安全なアクチュエータという面では、空圧アクチュエータをうまく使っていくことも今後求められると思います。
- 司 会：ロボットの小形・軽量化を考えるうえで、パソコン筐体の歩みは参考になりませんか。CFRPのプレス化から射出成形に移り、現在マグネシウム合金を射出成形するなどドラスチックに動いています。
- 蟹 谷：コンピュータの処理速度は5年で10倍の速度で進歩していきます。我々は、「ロボットの過去-現在-未来」といった場合に、一直線に進歩するという暗黙の前提の上に立っています。「15年で1000倍になるので、15年後には人間並みの頭脳が1000ドルになる。」といった見方です。しかし、どうもそう単純にはいかないようです。パソコンで見ると、ペンティアム、ペンティアムⅡと処理速度は速くなっているが、ワ

ープロ機能で見ると5年前に比べて決して速くなっていない。映像情報を取り込むことができるようになったのが違いで、性能アップ分がOSに食われてしまっています。ロボットも同様に基本性能は大きく変わらないと見ています。センサ技術では触覚・圧覚に相当する機能の適用は進むと思います。人間の情報圧縮速度は、視覚は 10^6 ビット/秒、聴覚は 10^4 ビット/秒、触覚は 10^2 ビット/秒といえます。触覚程度の情報処理はかなり自在に扱えますが、視覚センサになるとちょっと手に余ります。当面は使う環境を整えて機能を限定して使用する状態が続くと思います。先日、「見る脳・描く脳」という本を見ていましたら、現代の絵画はそれまでの網膜絵画から、脳の絵画・モジュール絵画に変わってきているとありました。例えばピカソの絵は、脳の中の運動・形態・空間視の特定処理を切り出して強調したものというわけです。

ロボットの目の機能は、時間軸の進展では一直線に行かない。これを克服するためにはコンピュータ言語に代表される記号系のアプローチとは別のパラダイム、例えば生態学的なアプローチが要求されると考えています。



「ロボットビジョンの機能アップには新しい考え方が必要」 蟹谷 清（ロボット開発部）

司 会：切り口を変えて、メンテナンスの観点からはどうでしょうか。

浦 田：自己診断機能のレベルアップが重要になってきます。ロボットそのものの機能が高度になり、難しくなってきますので、ユニット毎に切り分け、世界に何カ所か補給センタを置き、そこから補修用のユニットを配送し、ユニット毎に交換する。世界中に散らばった工場間をインターネットでつなぎ、例えば日本とアメリカの拠点で半日ずつ交替して24時間サービスをする。故障を診断し、予防保全をして補修用部品の配送を指令し、交換を指令する形になります。この際、どれがどのように壊れているかを正しく診断することが重要です。

司 会：今日は「ロボットの歴史と将来」について不二越のロボットの具体的な姿を様々な角度から聞かせていただき、実りの多い座談会であったと思います。どうもありがとうございました。



「ロボットの小形・軽量化に際してパソコン筐体の歩みも参考に」

司会：藤堂 編集長（日経メカニカル）

1981年日経マグロウヒル社（現日経BP社）入社
日経メディカル、日経マテリアル&テクノロジー編集などを経て、
1997年3月より日経メカニカル編集長