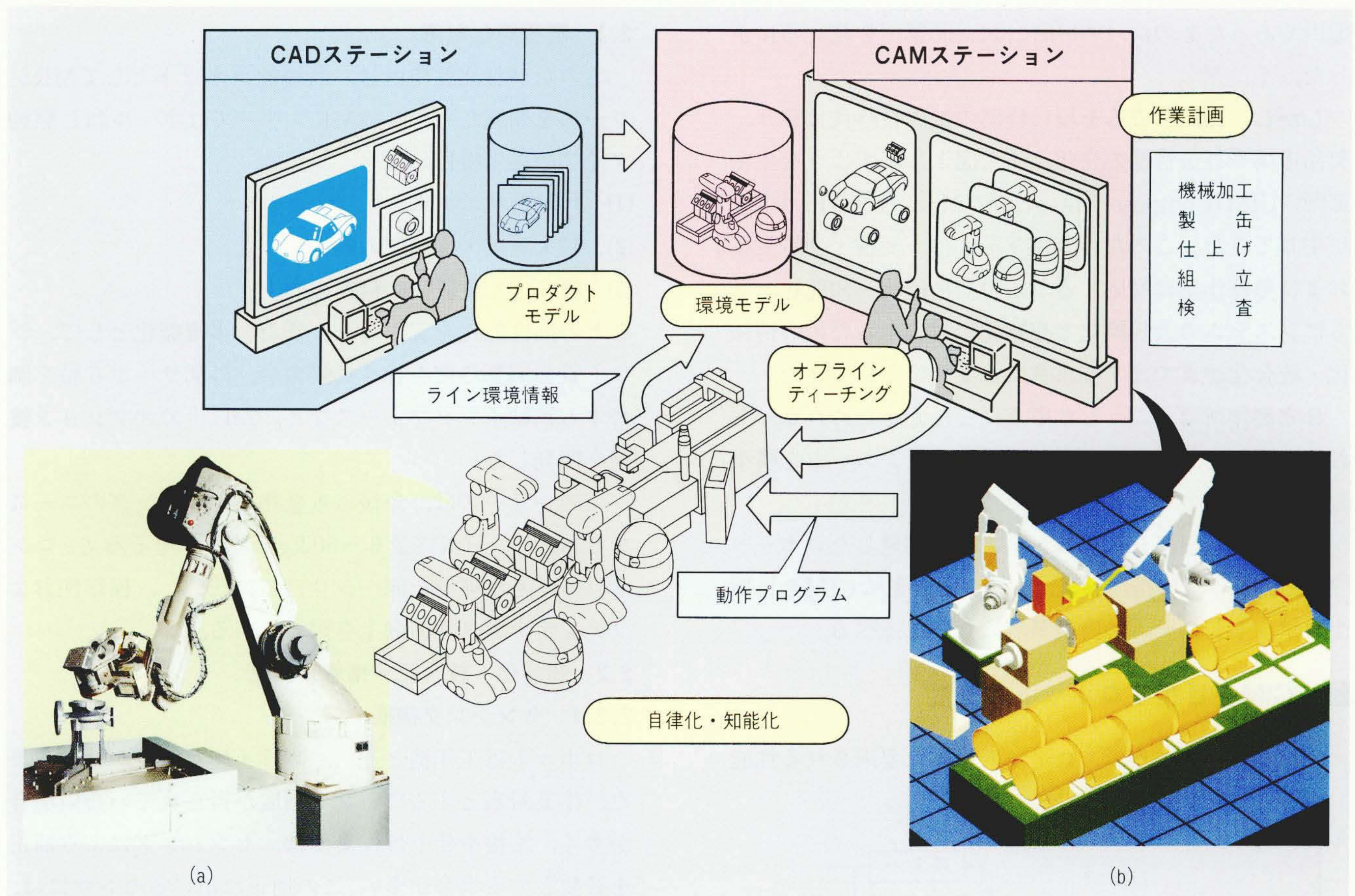


CIMを目指すロボットシステム

Advanced Robot System for Computer Integrated Manufacturing

伊藤 源 治* Genji Itô
桜庭 順 宏* Yoshihiro Sakuraba
大原 光 一 郎** Kôichirô Ôhara
尾 崎 淳 二* Junji Ozaki



視覚・力覚付きばり取りシステム(a)およびオフライン溶接システム(b) CIM化を支えるため、上位コンピュータリンク機能、センシング機能、オフラインティーチング機能などを備えた先進ロボットシステムを示す。

製品の多様化、ライフサイクルの短縮など市場の変化、悪環境職場からの人離れ、および高齢化と熟練作業不足などの社会情勢の変化に伴い、産業用ロボットは生産の自動化を支える中核的な存在として、今後さらに重要な役割を果たしていくものと期待される。

最近のCIM(Computer Integrated Manufacturing)システムの中で、ロボット自体がどのような有効技術を持ち、実用化されているか、さらに具体的

な応用システム事例を通して、センサ関連技術、周辺設備を含めたフレキシブル化技術、および上位コンピュータとのリンク技術とオフラインティーチング技術の実態についてまとめた。

今後、製造分野だけでなく、極限作業やサービスといった非製造分野へもロボットシステムが普及すると予想し、対応システムの拡大とともにロボット自身の自律化にも力を注いでいく考えである。

* 日立製作所 機電事業部 ** 日立製作所 習志野工場

1 はじめに

ロボット元年と言われた1980年からの10年間、ロボットの主要納入先は量産部門である自動車・電機メーカーが多く、用途もアーク溶接、スポット溶接および組立ての3用途で大半を占め、年率20～30%増の勢いで伸長を続けてきた。このためロボット生産額は、1981年に1,000億円であったものが、1990年には4,500億円を超えるに至った。

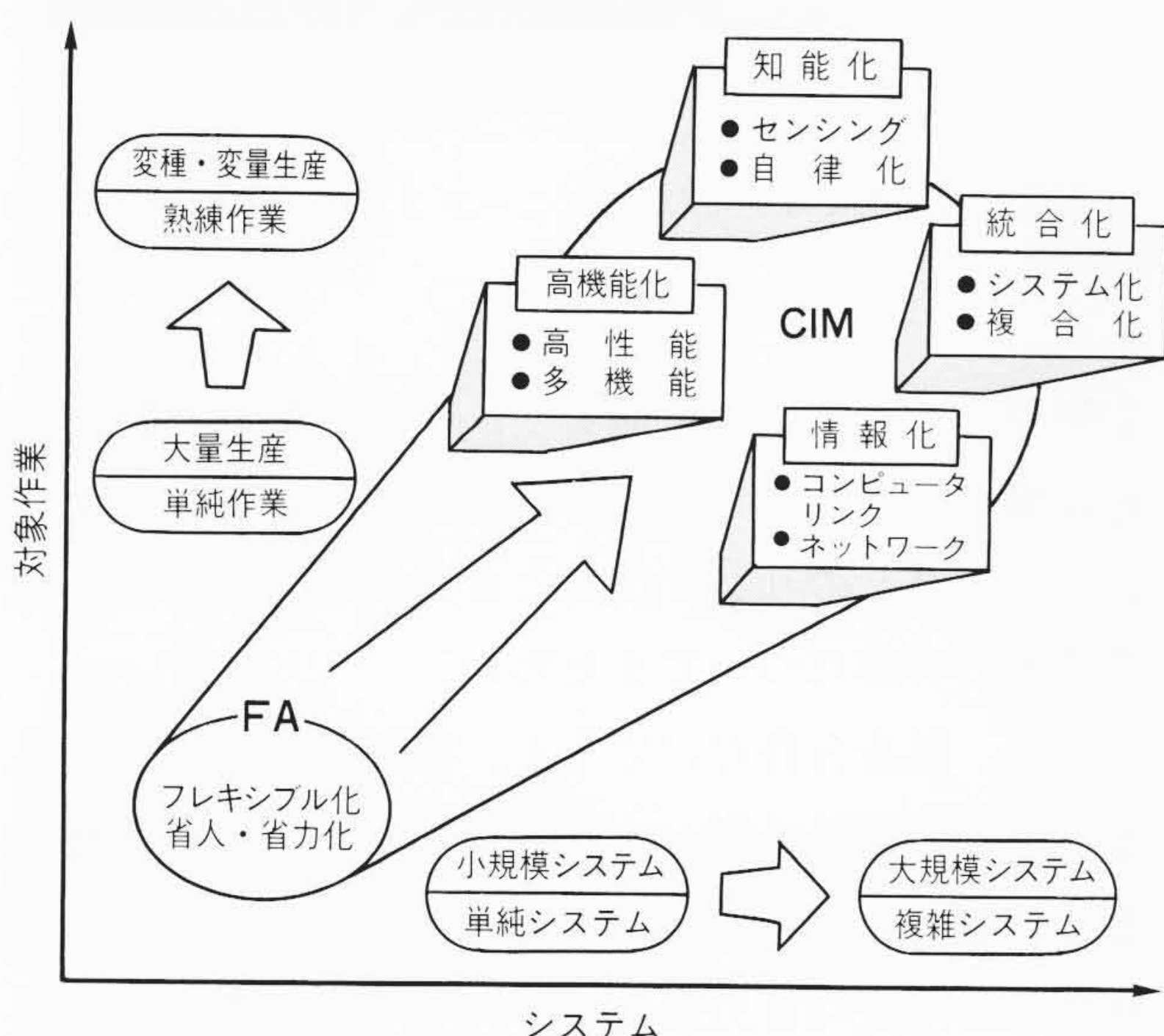
しかし、1990年ごろを境に経済の低成長時代に移り、製品市場や社会情勢の変化、また図1に示すような生産部門のCIM(Computer Integrated Manufacturing)指向が生じてきた。このためロボットには、変種・変量生産および熟練作業に対応するための高機能化・知能化、さらにシステムの大規模化と複雑化に対応するための情報化・統合化がますます要求されるようになってきた。

日立製作所は、こうした要求にこたえるためロボットおよびその応用技術を開発し、ロボットシステムを構築している。

ここでは、CIMシステムを踏まえて開発したロボット「MRシリーズ」の持つ機能、および具体的なCIMを目指すロボットシステムの構築事例について述べる。

2 CIMを目指すロボットの機能

CIMシステムの中で、ロボット単体に要求される性能



注：略語説明 CIM (Computer Integrated Manufacturing)

図1 CIMシステムの定義 ロボットシステムをCIM化するための技術的課題を、システム内容と対象作業内容のテーブルに整理した。

も変化してきた。CIMを目指すロボットには、高機能化として高速・高精度・高剛性の高性能化に加え、各種オプション機能による多機能化が要求されている。また、知能化として溶接時のセンシングの高速化もさることながら、視覚・力覚センサなどを用いた自律化も要求されている。さらに、情報化・統合化としては、上位コンピュータとリンクした高い情報処理能力が要求されている。

2.1 高機能化対応

このたび日立製作所は、高機能ロボットとしてMRシリーズを開発した。このMRシリーズはボールねじ駆動タイプの従来機種に比べ、

- (1) 作動領域の拡大
- (2) 最大速度・加速度の向上
- (3) 繰り返し位置決め精度の向上

などの高性能化を実現した。また、多機能化として、シフト量の演算処理を行う拡張命令、外部サーボ6軸を制御する補軸インタフェースなど、20以上のオプション機能を開発した。

このシリーズは、今後の重量物ハンドリングのニーズをとらえて、可搬質量6～50 kgの4機種をそろえ、コントローラも全機種を同一シリーズに統一し、操作性およびメンテナンス性の向上を図っている。

2.2 知能化・統合化・情報化対応

2.2.1 センシング機能

ロボットは工作機と比べ、剛性・絶対精度が低い。また、作業対象とするワークも精度が得られていない場合が多く、溶接や仕上げ作業では、センシングによる補正を必要とする場合が多い。この補正に用いるセンサには、溶接時のアークセンサ・タッチセンサおよび仕上げや組み立て時の視覚センサ・力覚センサがある。ここでは、最近注目されている視覚センサと力覚センサについて述べる。

(1) 視覚センサ

視覚センサ“HV/R-4”は、カラー認識のほかに、白黒対応の従来機種に比べ高速認識を可能とし、白黒やカラー共用で対応できるように開発したロボット向け視覚センサである。このHV/R-4は、ロボットに視覚センサリンクージソフトウェアを搭載することにより、ロボットとの協調動作を容易に実現できる。また、標準装備のばら置き部品認識機能などによって、より高度な識別・検査作業が自動化できる。

(2) 力覚センサ

力覚センサは、力をリアルタイムで検出するセンサで

ある。この力覚センサとロボットを組み合わせ、力の情報を仮想コンプライアンス制御を用いてロボットにフィードバックすることによって、機械的に高い剛性を保ったままで柔軟な動作をロボットに行わせることができる。日立建機株式会社が開発した力制御ロボット“FR630”は、この力覚センサとロボットのシステムアップを図った製品である。このロボットは人間の感触に近い力感覚機能を持っているので、従来のロボットでは不可能であった研磨・研削作業を容易に行うことができる。

2.2.2 コンピュータリンケージ機能

CIMを目指すロボットは、上位コンピュータとのリンクが必要不可欠である。これを実現するため、ロボットのコンピュータリンケージ機能を開発した。

この機能は、以下に示す三つの機能で構成しており、これらを用いることで必要に応じた上位コンピュータとのリンク形態を実現できる。

(1) 遠隔操作機能(通信モード)

コンピュータから、プログラム選択やサーボオン・オフ、起動・停止、異常解除などの遠隔操作が可能である。

(2) 管理情報通信機能

コンピュータから、稼働実績や異常来歴など、管理情報が参照できる。

(3) プログラム転送機能(アップ・ダウンロード)

コンピュータとの間で、ロボットプログラムや制御条

件(溶接条件など)データの転送が可能である。

2.3 オフラインティーチング

これまでのロボットシステムでは、新製品開発などによるワーク変更のたびにラインを停止し、多大な時間をかけてティーチングする必要があり、変種・変量生産にフレキシブルに対応するには実用的でない場合が多かった。そのため、生産部門のCIMシステムの中で、上位コンピュータを利用したオフラインティーチング手法が近年クローズアップされてきた。

これに対して、以下に述べる三つのオフラインティーチングシステムを開発し、実用化した。その概要を表1に示す。

(1) 相似形オフラインティーチング

基準となる1ワークについて従来どおり手作業でティーチングし、このデータをもとに類似ワークのロボットプログラムを自動生成する。

(2) NC(数値制御)オフラインティーチング

ワーク形状(CAD)データをもとに、直接ロボットプログラムを自動生成する。

(3) グラフィック オフライン ティーチング

三次元シミュレータを用いて画面上で人がティーチングする。

表1 オフライン ティーチング システム方式 変種変量生産にフレキシブルに対応する三つのオフライン ティーチング システムを開発し、実用化した。

	相似形オフラインティーチング	NCオフラインティーチング	グラフィック オフライン ティーチング
概 要	相似変換コンピュータ	NC変換ワークステーション	三次元オフラインワークステーション
対象ワーク	相似形単純ワーク	単純ワーク	制限なし
汎(はん)用性	専用システム	半専用システム	汎用システム
適用分野	相似形ワークの多種生産	大物ワークの多種少量生産	大物・複雑ワークの多種生産

注：略語説明 NC(数値制御)

3 CIMを目指すロボットシステムの事例

変種・変量生産にフレキシブルに対応できるCIMを目指すロボットシステムとして、センシング機能やオフラインティーチング機能を備えたロボットシステムの具体的構築事例を、2例紹介する。

3.1 視覚・力覚付き鋳ばり取りシステム

CIM構築上で、熟練作業の自動化は欠かすことのできない重要な課題の一つである。熟練作業の代表的な作業とされている鋳物部品の鋳ばり(以下、ばりと略す。)取り作業を、視覚認識機能と力制御機能を備えたロボットを用いて自動化した。

3.1.1 システムの概要

三次元複雑形状を持つポンプなどの鋳物部品に発生する大きさ・位置の特定できないばりを除去する作業を対象としたシステムである。

このシステムの構成を図2に示す。このシステムは力制御ロボットFR630を中心に、ワークチャック装置、コンベヤで構成している。ロボットの手先部には、視覚センサ、力覚センサを装備している。さらに、オート ツールチェンジャを介してばり取りツール、あるいはハンドリングツールが装着できるようになっており、ワークの搬送、ばり取りをロボット1台で行っている。

多種のワークを対象としているため、ハンドリングツ

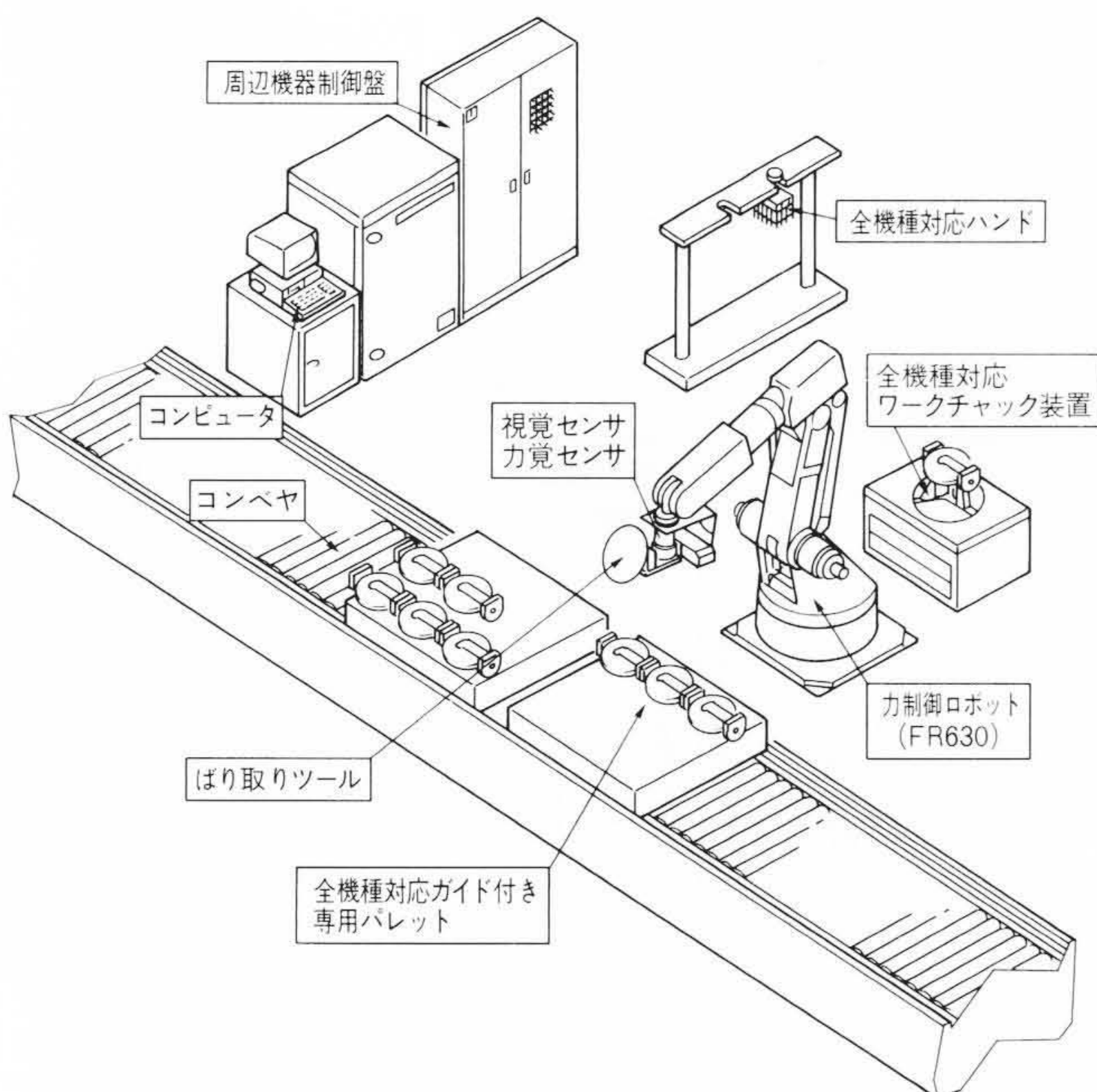


図2 視覚・力覚付きばり取りシステム構成 視覚センサ・力覚センサを備えたロボットで、三次元複雑形状の鋳物部品に発生する大きさ、位置の特定できないばりの除去を実現した。

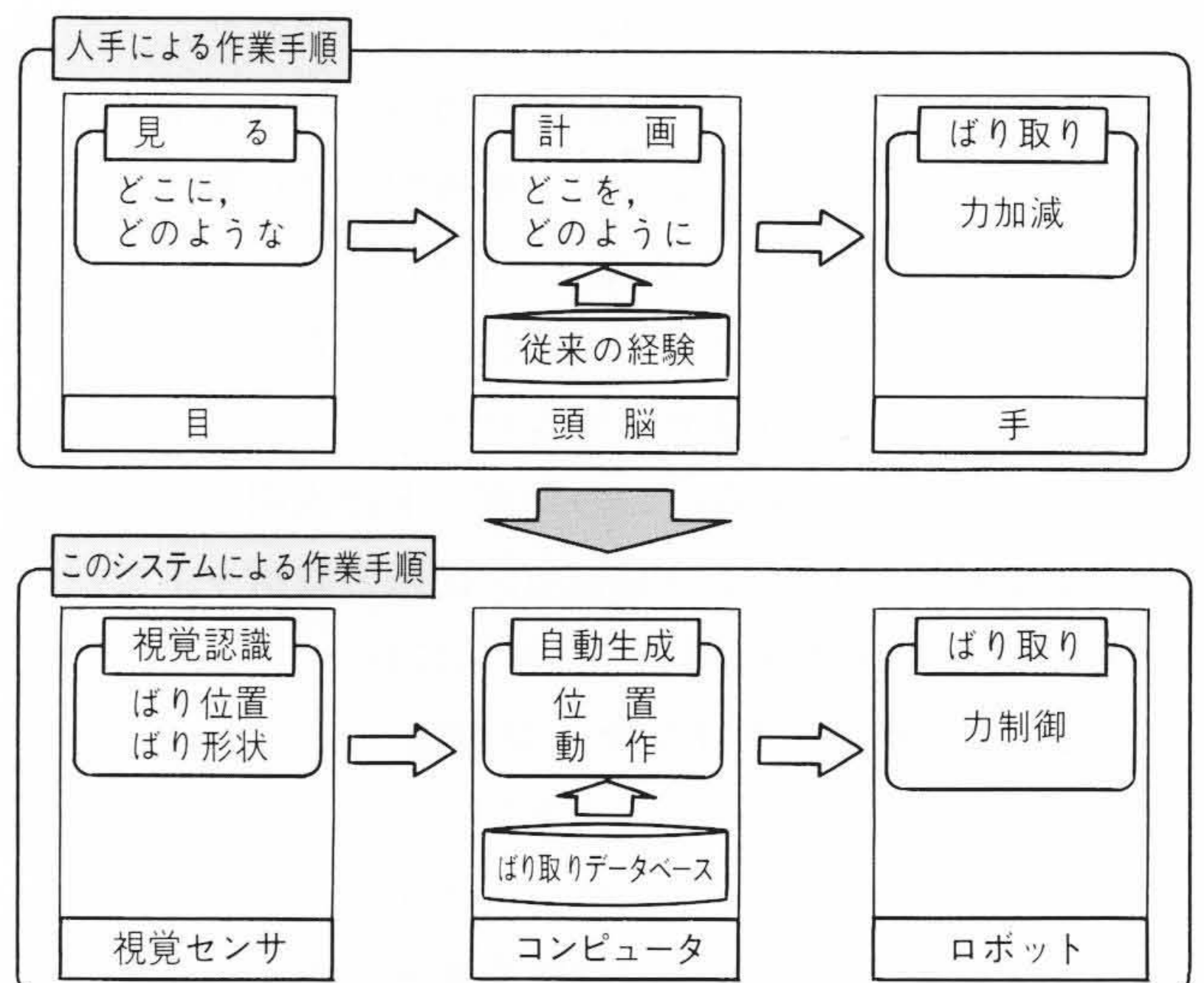


図3 ばり取り自動化作業手順 人手により作業手順の「見る」、「計画」、「ばり取り」を、このシステムで「視覚認識」、「プログラム自動生成」、「ばり取り」に置き替え、ばり取りの自動化を実現した。

ールは、ワークの形状にフレキシブルに対応できる可動ヨーク形マグネットハンドを使用している。ワークチャック装置に関しては、ロボット自身が位置決めを行うことで、これら周辺装置の無段取り化を実現している。また、コンピュータリネージ機能を用いることで、ロボットの起動・停止を含めたシステム全体制御をコンピュータで行っている。このため、操作性の面でも従来のシステムとは異なり、コンピュータ画面の表示に従って操作するロボットシステムとなっている。

3.1.2 システムの特長

(1) ばり取り自動化作業手順

- 従来の人手によるばり取り作業は、図3に示すように、
- (a) どこに、どのようなばりがあるかを、目によって見る。
 - (b) これまでの経験を踏まえて、どこをどのようにに削るかの計画を頭脳で考える。
 - (c) この計画に従い、力を加減しながら手でばり取りを行う。

という手順で行われる。

このシステムではこの作業手順と同様、

- (a) 目の代わりに、視覚センサでばりの位置と形状を認識する。
- (b) この情報に基づき、ばり取り作業のためのデータベースを用いて、コンピュータによってばり取り動作のロボットプログラムを自動生成する。
- (c) このプログラムに従い、ロボットが力制御を行いながらばり取りを行う。

という手順でばり取り作業の自動化を実現している。

(2) ばり視覚認識

ばり視覚認識の概要を図4に示す。あらかじめ作成した視覚認識動作のロボットプログラムに従い、ロボット手先部に備えられた視覚センサをワーク外形に沿って移動させる。これにより計測データが得られると、まず、ばりのパターンを判別するための条件を用いて、パターン判別する。続いてパターン判別の結果から、そのパターンに付随するばり形状の情報を算出する条件を用いて、鋳肌面の位置とばりの断面積をばり形状の情報として算出している。

(3) ロボットプログラム自動生成

ばり取り動作のロボットプログラムを自動生成する上で、研削力と送り速度を自動で決定する必要がある。

一般に、研削の際の研削力 F と単位時間当たりの研削量は比例し、単位時間当たりの研削量は、研削断面積 A と送り速度 v の積で表せる。研削力 F を一定とし、ばりだけの研削を行うためには、研削断面積 A をばり断面積 A' に一致させなければならないので、送り速度 v は視覚認識の結果に基づいて次式によって決定している。

$$v = k' / A'$$

ここで、 v ：送り速度(mm/s)、 k' ：比例定数(mm³/s)、 A' ：ばり断面積(mm²)である。

この関係に基づいて決定した送り速度によってばり取りを行い、ばり取り仕上げ精度0～1mm(ワークを削り込む方向)を実現している。

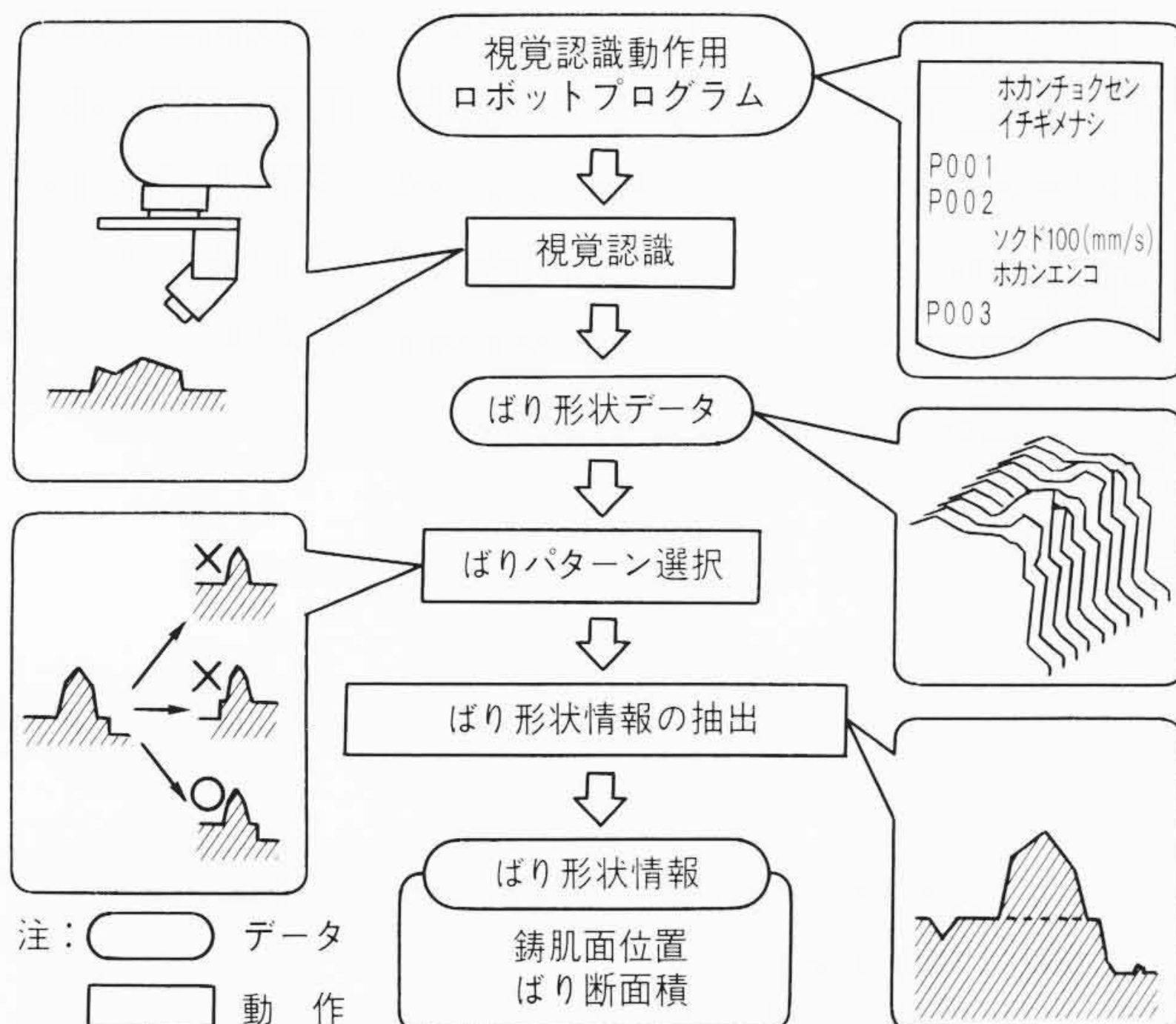


図4 視覚認識の手順 視覚センサでワーク外形に沿って計測データを得て、ばりパターンを判別し、その結果から鋳肌面の位置とばりの断面積を算出する。

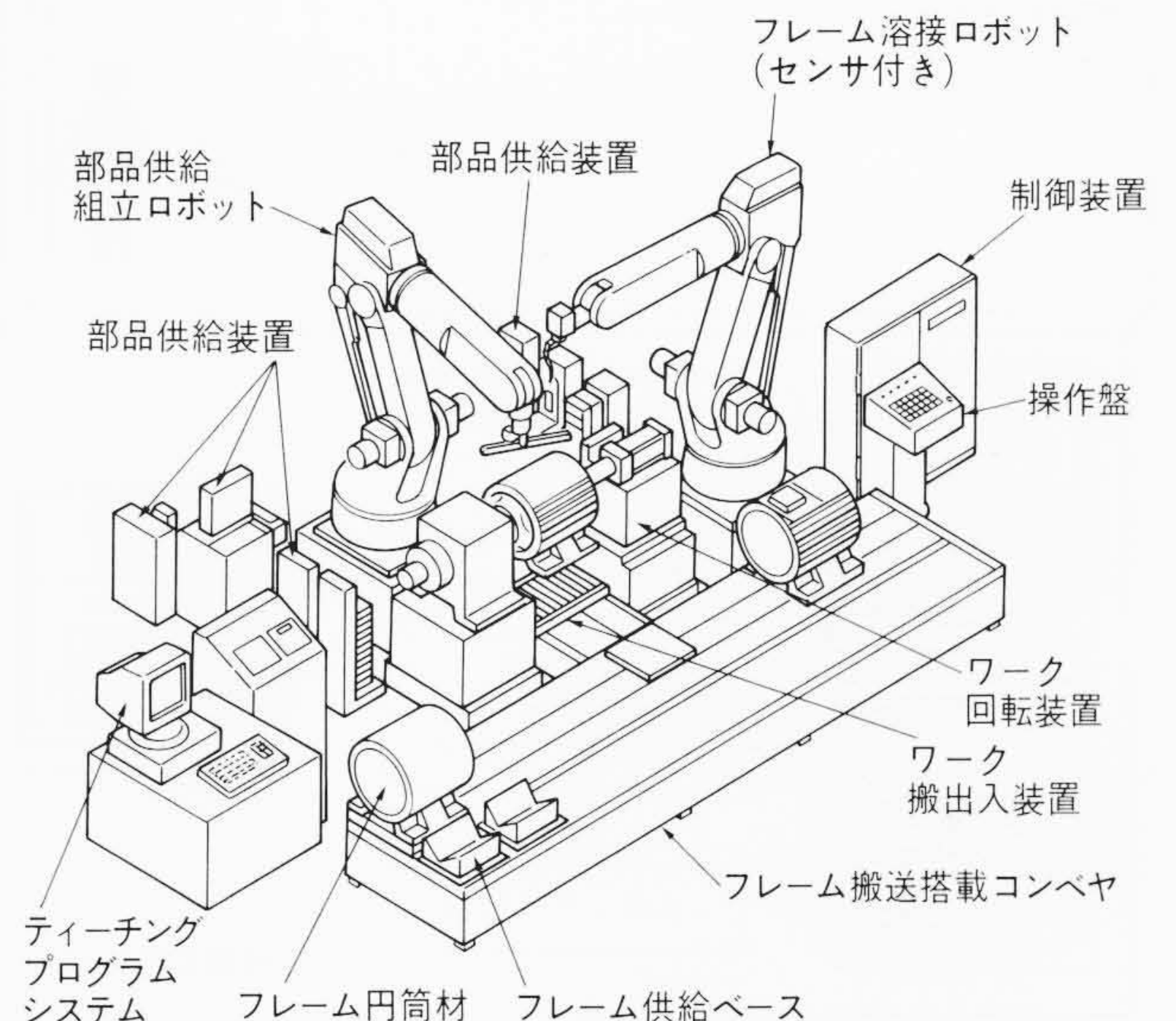


図5 オフライン溶接システムの構成 オフラインティーチングを利用して、生産機種の切り替えをフレキシブル化した。

3.2 オフライン溶接システム

製品ニーズの多様化、製品ライフサイクルの短縮化に伴い、生産リードタイムの短縮がCIM構築上の大きな課題である。この生産リードタイムの短縮を目的として、注文品対応製品の部材溶接作業を、オフライン ティーチング システムを備えたロボットと各種溶接部品にフレキシブルに対応する周辺装置を開発し、自動化した。

3.2.1 システムの概要

このシステムは、ワークの代表寸法をコンピュータに入力することで、生産機種の切り替えが可能なシステムである。

このシステムの構成を図5に示す。このシステムは主体部品の搬入・搬出コンベヤ装置、ワーク回転用ポジション装置、部品供給位置決め用ハンドリングロボット、およびセンシング溶接を行うアーク溶接ロボット、各ワークのロボットプログラムを自動生成するオフラインティーチングシステムで構成している。ワークの搬入・搬出と部品の組付け溶接を一貫して行うシステムとなっている。

3.2.2 システムの特長

(1) オフライン ティーチング システム

オフライン ティーチング システムの構成を図6に示す。このシステムは相似形オフラインティーチング方式を採用している。機能は次のとおりである。

(a) マスタプログラム、部品リストの登録

基準となるティーチングデータは、いったん部品単

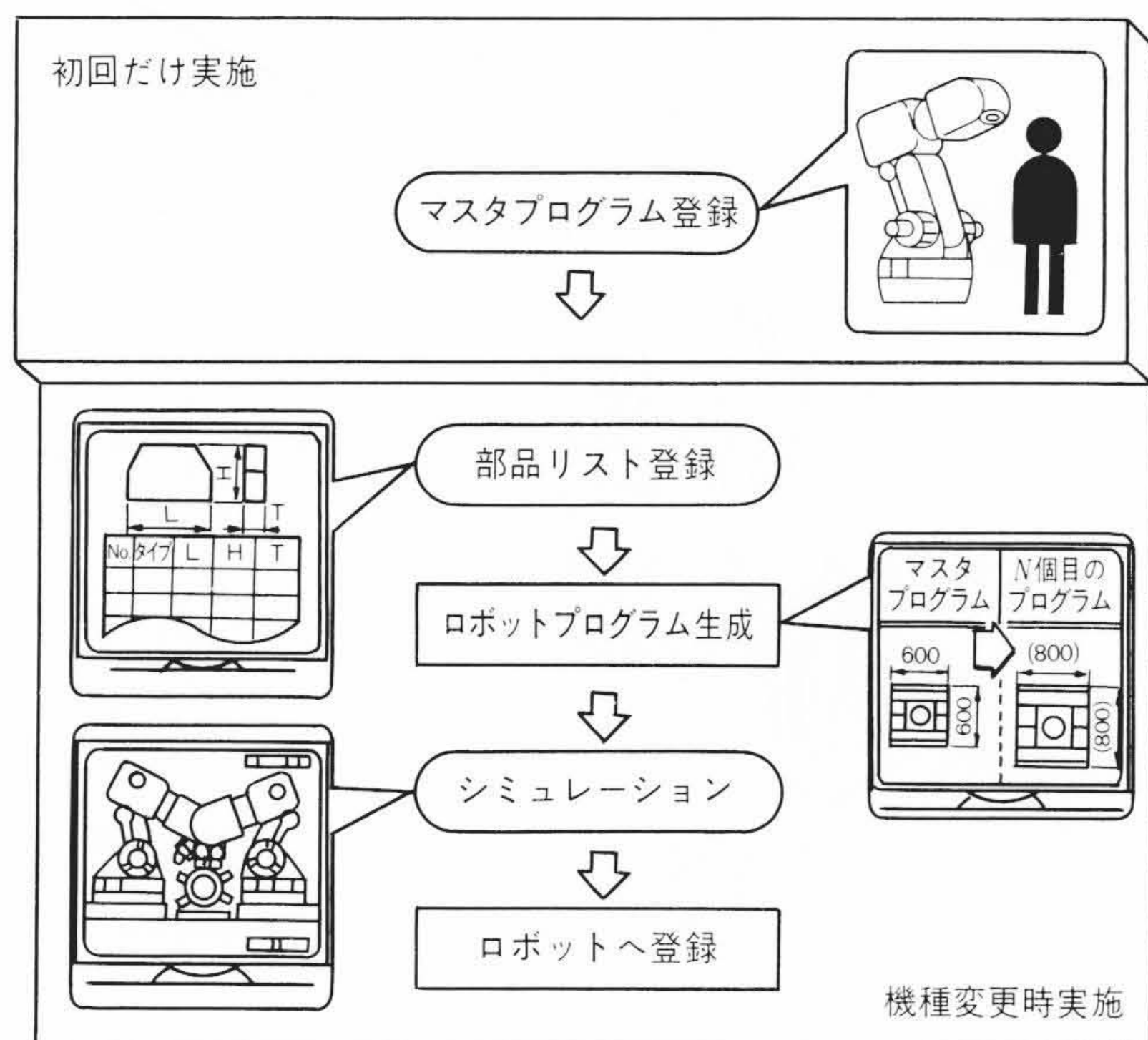


図6 オフライン ティーチング システムの概要 初回のワーク時に作成したマスタプログラムからN機種目のワークのプログラムを自動生成し、動作シミュレーション解析の後、ロボット実機へ登録する。

位で展開され、各部品の種類ごとにマスタプログラムとして登録される。部品リストには、ワークを構成する部材の種類、サイズなど形状データを登録する。

(b) ロボットプログラムの自動生成

マスタプログラム、部品リストから、対象機種を構成する部品ごとにティーチングデータを自動生成する。また、部品形状が同一でなくても相似形であればロボット位置データの拡大・縮小により、自動的に生成することができる。生成された部品別プログラムは、対象機種のロボットプログラムとして最適な動作となるよう構成される。

(c) シミュレーション

出来上がったロボットプログラムのロボット動作を、グラフィックス表示によって確認することができる。また、同時にロボットプログラムの追加、修正作業を行う機能をサポートしている。

(2) フレキシブル部品供給方法

部品供給は、部品の形状や寸法に制約されないフレキシブルフィングを備えた供給組立ロボットによって行われ、部品をフレキシブルに供給することができる。部品の把握、組付け位置決定は、部品の形状や寸法からオフライン ティーチング システムによって自動的に行われる。

(3) ロボット溶接の信頼性向上

ワーク寸法精度のばらつきなどにより、溶接トーチのねらい位置に1～2mm程度のずれが生じる。そのため、このシステムではタッチセンサにより、溶接開始位置の補正を行い、さらに溶接中はウィービング方式のアークセンサによって溶接線追従を行い、溶接の信頼性を向上している。

このシステムにより、段取替え作業を従来方式の $\frac{1}{3}$ に短縮し、連続10時間の無人運転を実現している。

4 おわりに

以上、CIMを目指すロボット技術およびシステムの事例について述べた。ロボットは単純繰り返し作業の代替えから、溶接・鋳造・仕上げ・めっきなどの悪環境下作業の代替えへと拡大が進み、少しずつ知能を持つロボットへと近づいてきた。今後はさらに、原子力・宇宙・防災といった極限作業ロボットシステムや、高齢者介護・医療・福祉といったパーソナル ロボット システムまで発展し、これまで困難であった自動化が可能となる日も間近いと予想する。

日立製作所はその流れに沿うため、生産技術研究所および機械研究所で、CAD・CAM直結、自律・自走・歩行ロボットなどの基礎研究を進めている。それらの実用技術を徐々にシステムの中に取り込んで、きたるべきIMS (Intelligent Manufacturing System: 知的生産システム) の構築に向け努力していく考えである。

参考文献

- 1) 福地, 外: ロボットの現状と将来, 日立評論, **71**, 6, 535～540(平1-6)
- 2) 平成5年度の日立技術の展望, 日立評論, **75**, 1, 107(平5-1)
- 3) 一戸, 外: 視覚・力覚機能付き鋳物バリ取りロボットの開発, 1993年精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 407～408(平5-3)
- 4) 大原, 外: バリ取り・研磨作業ロボット「MR 6300」, メカトロニクス, **18**, 5, 21(平5-4)