

多関節形組立ロボット

Articulated Type Assembly Robots

悪環境での溶接・塗装作業のロボット化が進むとともに、自動化の難しい組立作業のロボット化が積極的に推進されてきている。

組立作業は人間の行なう作業の総称ということができ、簡単な移載作業から部品の認識と挿入、検査、調整など、複合的で高度のものまでを含む。このような組立作業は、価格との対応から、対象作業の部品重量、タクト、要求される制御機能に応じた機種シリーズ展開が必要である。

本論文では、これまでに開発したシリーズ化について述べるとともに、各種の適用例を示し、組立作業の自動化の一助とする。

井田大二郎* Daijirô Ida

武市謙三** Kenzô Takeichi

1 緒 言

1980年代に入ってからFA (Factory Automation) 化の波に乗り、多くのタイプのロボットが出現し、産業用ロボットは飛躍的な成長を遂げつつある。その中で組立ロボットは、ここ2〜3年で急速に実用段階へ開発が進んできた。

組立といっても作業内容は様々であり、ロボットが効率的に働くための周辺設備や装置をいかに計画するかが成功のかぎである。この点からも、組立ロボットは自動化の難しい分野の一つである。組立ロボットは他のアーク溶接ロボットや塗装ロボットなどに比べて、作業そのものの付加価値は低い。しかし、組立作業は人間の基本的にもっている柔軟性を備える必要があり、かつ比較的安価で機能の高いものが要求される。

これらのニーズにこたえて、低価格ながら4自由度を備えたA4010シリーズ、高精度・高速動作のA3020、A3100シリーズ及び高機能垂直多関節形をそろえ、多様な市場ニーズに適合できる組立ロボットのラインアップを整えた。

2 水平多関節形ロボット

水平多関節形ロボットは、人間の腕を水平方向に関節動作させる基本機構で、第1、第2アームの2本の腕とその先端に設置した上下軸で構成し、縦組付けの作業に適した構造である。

組立作業は作業難易度の差が非常に大きい。簡単な移載から、ワークを選択し組立状態に見合う姿勢にして組付けしな

ければならない難しい工程まである。カラー、座金などの単純部品の簡単な組付け工程は、一般に移載ユニットを利用した専用機ステーションで行なわれ、表1に示すような複雑形状部品の組付けにはより高度の組立ロボットを必要とする¹⁾。このような複雑形状部品には、自動化に適する設計改善を加え、最適のハンドを用いても、なお図示する複雑な組付け動作が必要となる。

このような複雑な組付け動作を実現するためには、上下軸の上下動と水平動作とを同期させる上下軸同時制御方式と、これに適する機構が不可欠となる。日立組立ロボットは上下軸サーボ同時制御方式などを採用して、表1に示す複雑な組付け動作を可能にし、組付作業の適用拡大を図っている。

2.1 A4010シリーズ

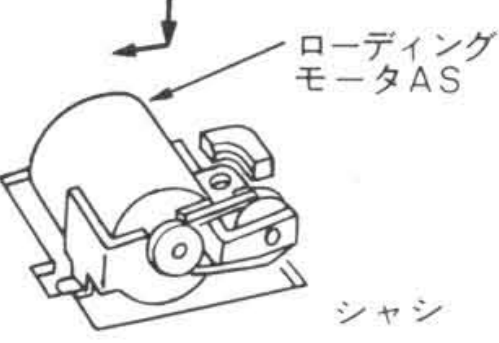
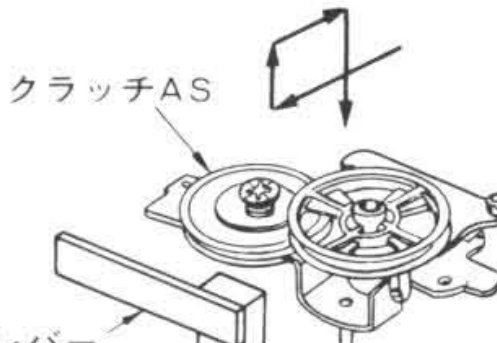
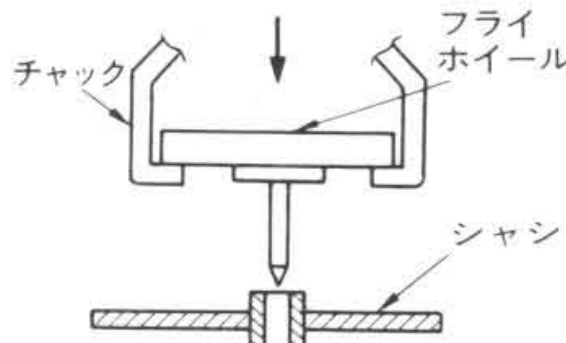
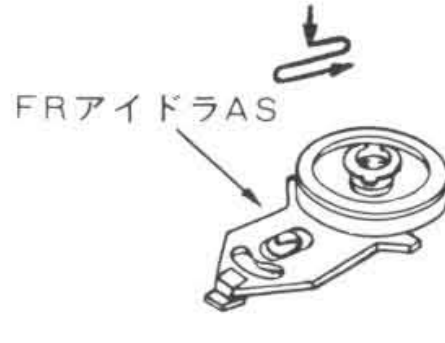
小物部品の移載やパレタイジング作業などの軽作業用に開発したA4010シリーズは、より設備投資の少ない効果的システムを達成するために、コストパフォーマンスを追求した組立ロボットである。

ダイレクトティーチングによる位置教示及び制御部を本体に内蔵したコンパクト設計で、簡単な操作と取扱いができる。駆動は全軸ステッピングモータによるオープンループ制御であるが、8ビット系のマイクロコンピュータ6個による独立制御と、エンコーダによる位置の自動検知により信頼性の向上を図っている。また、アームに特殊プラスチックを採用するなど安全性にも細かい配慮をしている。図1にロボットの

表1

ロボットによる複雑形状部品の組付け動作例

複雑形状部品の組付けには、上下軸サーボ、同時制御方式の高度な組立ロボットが必要とされる。

部品名 組付け	ローディングモータAS	クラッチAS	フライホイール	FRアイドラAS
組 付 け				
備 考	下降後、横移動し、引掛け動作をする。	不安定部分を、レバーに押し当て安定させた後、組み付ける。	クリアランス5μのはめあい作業をする。	下降後、ピン溝を探り組み付ける。

* 日立製作所習志野工場

** 日立製作所栃木工場



形 式		A4010	A4010H
ロ ボ ッ ト 本 体	動作自由度	4	4
	可搬重量	1kg	1kg
	最大速度	730mm/s	1,200mm/s
	位置繰返し精度	±0.2mm	±0.1mm
制 御 部	教 示 方 式	ティーチングプレイバック (直接教示方式)	ティーチングプレイバック (直接教示方式)
	制 御 方 式	PTP	PTP
	記憶容量	位置	200ポイント (100ポイント/1ジョブ)
		順 序	200ステップ (100ステップ/1ジョブ)

注：略語説明 PTP(Point to Point)

図1 A4010シリーズ 制御部を本体に内蔵した小形、軽量構造としている。

外観と概略仕様を示す。

2.2 A4010シリーズの適用例

A4010シリーズの生産工場である日立製作所の工場では、開発を機会に各種小物部品の移載、組付け、パレタイジング、デパレタイジング作業など既に17システム、45台を導入し、ロボットによるFA化の積極推進を図ってきた。

図2、3はコンプレッサ組立ラインのロボット化例で、ロボットの水平方向の柔らかいコンプライアンスを利用し、特殊な治具やハンドを必要とせず10~25μのクリアランスの精密組立を行なっている。

2.3 A3020²⁾、A3100シリーズ

本ロボットはロボット本体、制御盤、ティーチングボックス又はプログラミング装置から構成されている。ロボット本体の外観を図4に、概略仕様を表2に示す。本シリーズは可搬重量、動作範囲、動作自由度及び制御方式がそれぞれ異なる6機種で構成し、電気、電子、機械などの幅広い産業分野の組立や検査作業の自動化に最適な機種の選択を可能にしている。

この組立ロボットは第1アーム、第2アームのほか上下軸駆動にもサーボモータを採用し、16ビットマイクロプロセッサを搭載することで3軸、4軸の同時制御を実現している。このため、クリアランス10μ以下のかん合に部品を回転させながら挿入したり、ピン溝を探り当てながらの挿入など、人間の作業に近い動作を行なうことで、安定した確実な組付け作業を可能にしている。

この上下軸サーボ同時制御方式は、一般の空気シリンダ方



図2 コンプレッサ部品組立ライン外観 A4010シリーズロボット7台によるコンプレッサ部品の自動組立を行なう。

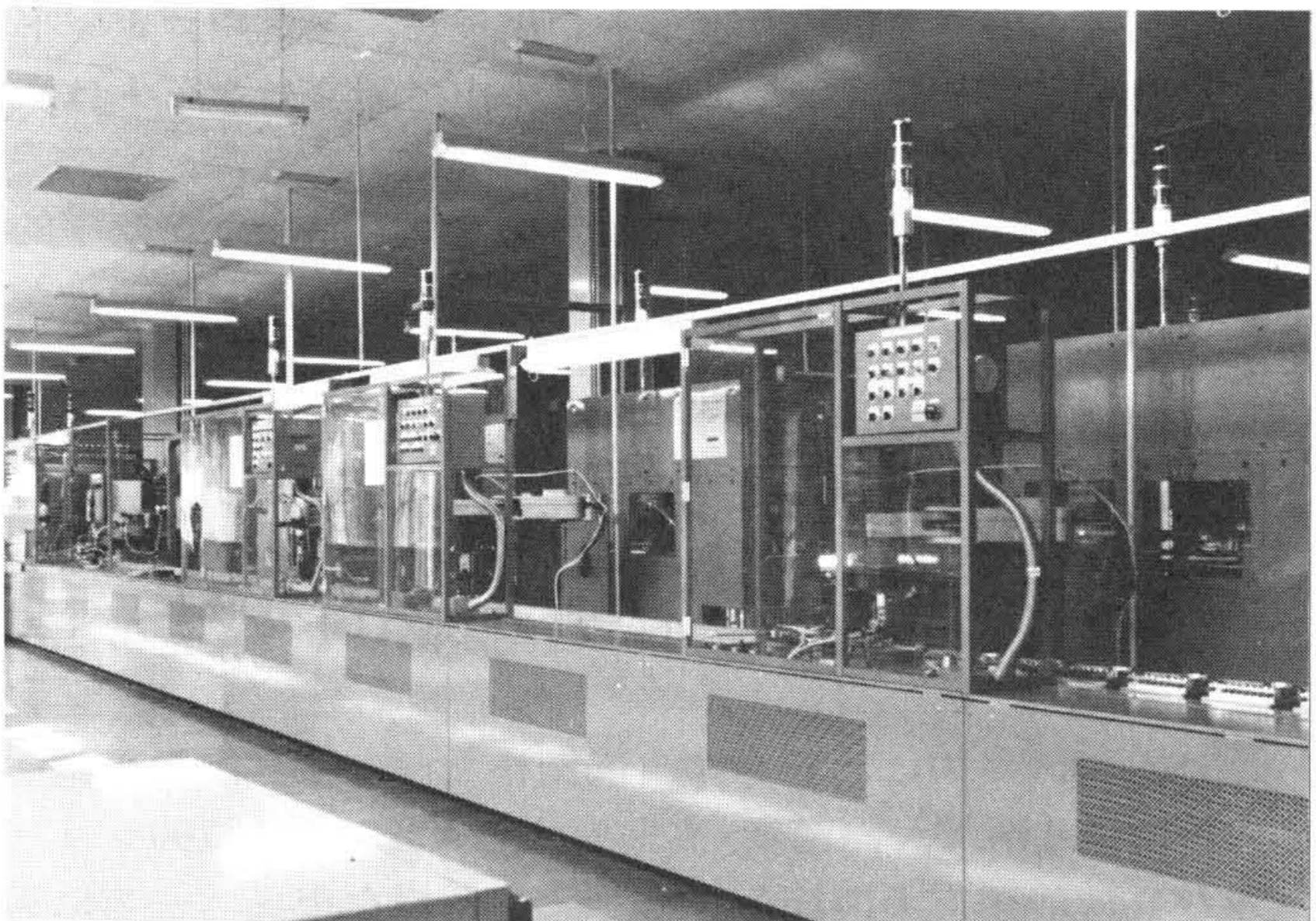


図3 コンプレッサ自動組立ライン外観 本自動組立ラインには、A4010シリーズが16台導入されている。

式に比較し、自動化でのタクトタイムの縮減に大きな効果を発揮する。表3は部品挿入でロボット上下軸が保持したワークを挿入寸前まで高速で動作した後、低速で挿入する例を示すが、動作ストローク110mmでは0.5秒の差がみられる。このような機能により、A3020を11台採用したVTR(ビデオテープレコーダ)メカニズム組立ラインではラインタクト4秒、マシンタクト3.5秒を実現している。

2.4 A3020、A3100シリーズの適用例

ティーチングやデータ編集の容易さは、ロボットが人間に代わって幅広い作業を行なう上で重要な要素である。

図5の適用例ではA4020を6台使用しており、直線や円弧補間機能、ティーチング時間の短縮に有効なシフト機能、座標系選択機能、相対動作機能、その他イベント機能、ジョブ機能、自己診断機能などの豊富な内蔵機能をCD(Compact Disk)プレーヤー用ピックアップの組立自動化ラインに役立てている。

図6は高精度が要求され6種類のICを選別、搬送するA3020を示す。またPTP制御タイプは、制御装置を重量、容積ともに約1/3にコンパクト化し、複数台のロボットティーチングに使用できる専用プログラミング装置を採用している。プログラミングや位置教示など、ロボット操作のすべてがこの

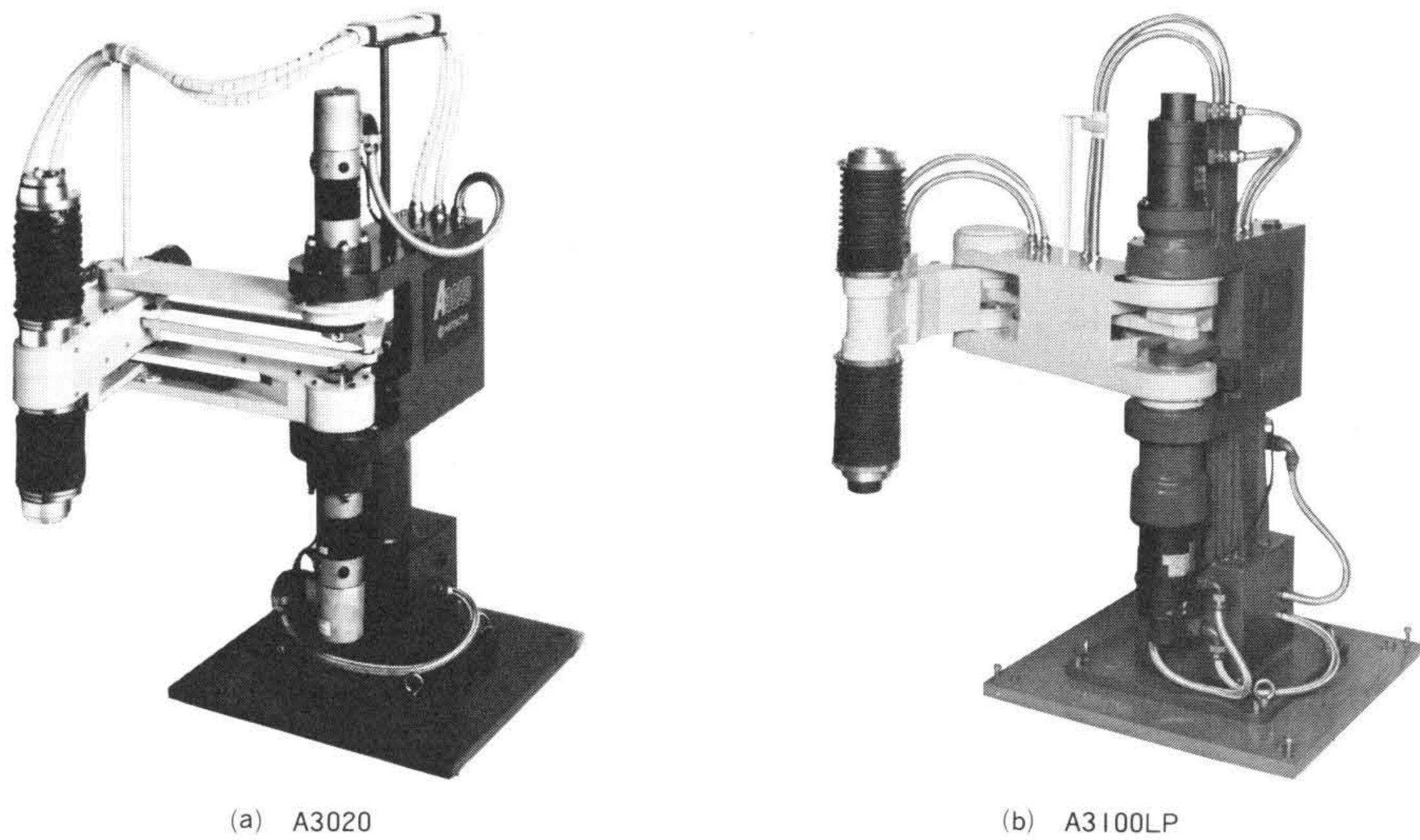


図 4 A3020, A3100 シ リ ー ズ
可搬重量 2 kg タイプと 10kg タイプがあ
る。PTP制御タイプは制御装置を重量、容
積ともに約 $\frac{1}{3}$ にコンパクト化し複数台の
ロボットのティーチングに使用できる専
用プログラミング装置を採用している。

表 2 A3020, A3100シリーズの概略仕様 可搬重量, 動作範囲, 動作
自由度及び制御方式がそれぞれ異なる 6 機種で構成し, 用途に合わせた最適な機
種選択ができる。

形 式		A3020	A3020P	A4020	A4020P	A3100LP	A4100LP
項 目	動作自由度	3	3	4	4	3	4
	可 搬 重 量	2kg	2kg	2kg	2kg	10kg	10kg
	位置繰返し精度	±0.05mm	±0.05mm	±0.05mm	±0.05mm	±0.1mm	±0.1mm
制 御 装 置	教 示 方 式	ティーチング プレイバック	ティーチング プレイバック	ティーチング プレイバック	ティーチング プレイバック	ティーチング プレイバック	ティーチング プレイバック
	制 御 方 式	CP制御	PTP制御	CP制御	PTP制御	PTP制御	PTP制御

注：略語説明 CP(Continuous Path)

表 3 上下軸サーボ制御によるタクトタイムの縮減 上下軸サー
ボ, 同時制御方式は一般のエアシリンダ方式に比較し, タクトタイムの縮減効果
が大きい。

	A3020, A3100シリーズ	一般市場製品
上下軸 機 構	サーボ制御上下軸機構	エアシリンダ上下軸機構
上下軸 制 御	同時制御	非同時制御
タクト タイム の 縮 減	高速で接近し 低速で動作 高速 90 低速 10 0.8秒 ワーク グリッパ	挿入動作に合わ せ低速で動作 低速 100 1.3秒 ワーク グリッパ

専用プログラミング装置でインプットでき, メニュー選択キ
ーと数値キーだけの操作で簡単にプログラムを作成できるメ
ニュー式プログラミングにより, 効率の良いプログラミング
を実現している。

3 高機能垂直多関節形ロボット²⁾

複雑で器用な手首動作の実現を目指した 3 自由度手首をも
つ, 6 自由度垂直多関節形ロボット A6030の外観と概略仕様
を図 7 に示す。

位置決め 3 軸と曲げ, 振り及びひねりの手首 3 軸, 計 6 軸
の同時CP(Continuous Path)制御による円滑なアーム動作

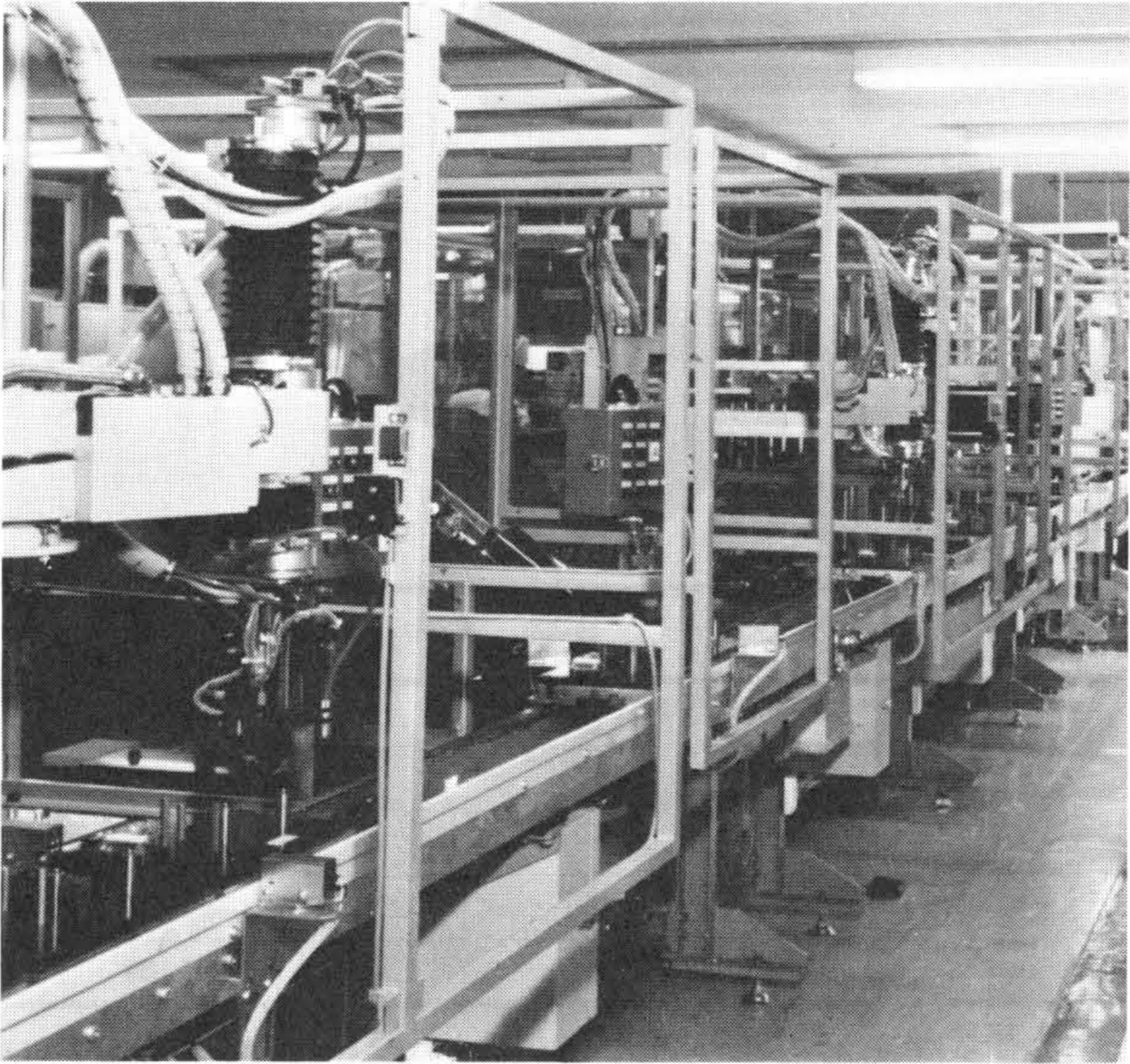


図 5 CDプレーヤー用ピックアップの組立自動化ライン外
観 A4020を 6 台導入し, 複雑形状部品の自動組立を行なう。

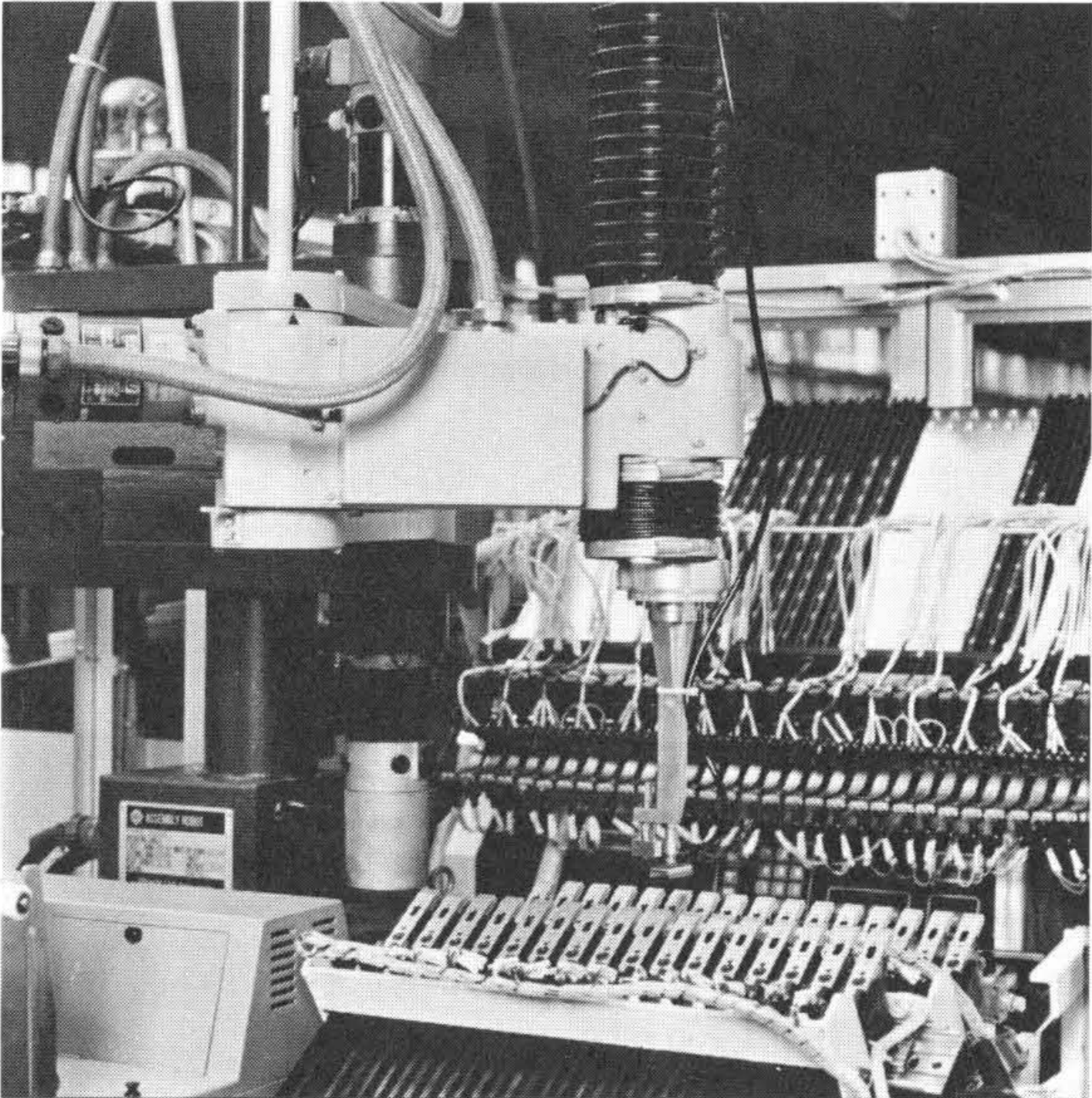


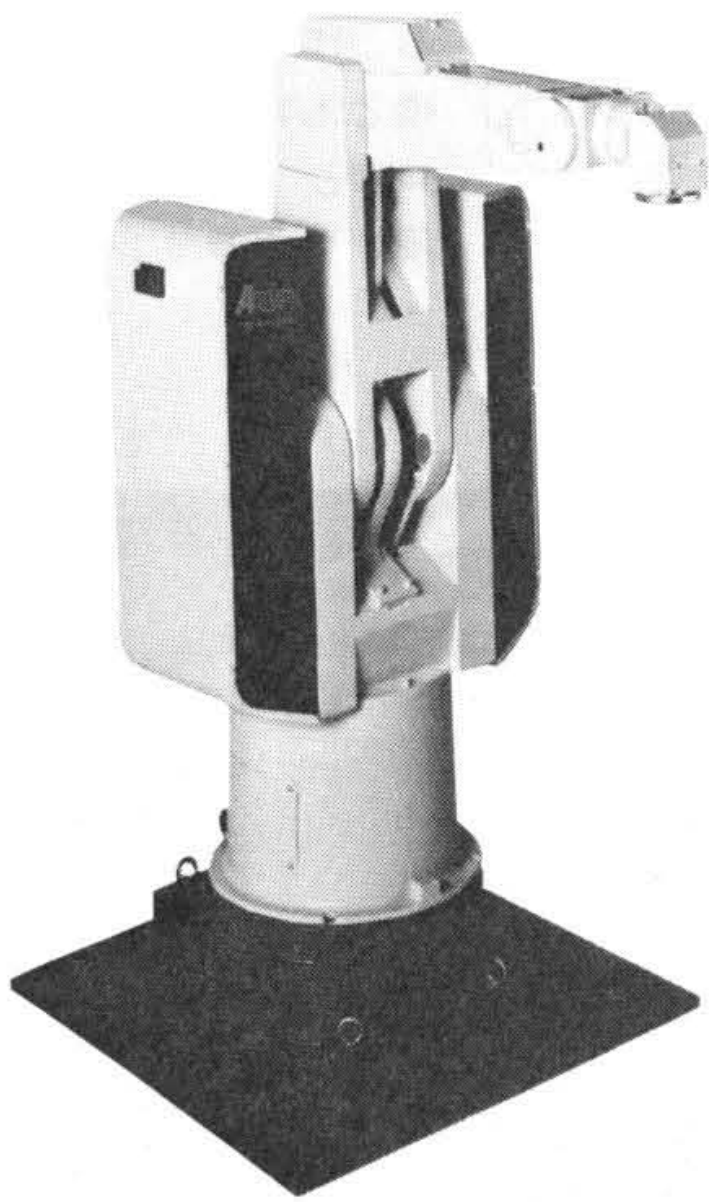
図 6 IC部品の搬送作業 専用ハンドを設置したA3020が 6
種類のICの選別, 搬送を行なっている。

は、サーボモータ、高減速比の減速機、ダブル平行リンクなどの機構によって達成している。したがって、このロボットは水平関節形ロボットに比べて、より人間の動きに近く、複雑な作業を行なうステーションの自動化に適している。

3.1 適用例

従来、困難とされてきた検査調整作業への適用例を図8に示す³⁾。

検査調整工程は作業が複雑で自動化が困難なうえ、機種ごとの作業内容の違いが大きいため、ロボットは視覚センサや上位コンピュータとのリンケージ機能など、自由度の高い作



区 分	項 目	仕 様
ロ ボ ッ ト 本 体	動 作 自 由 度	6
	可 搬 重 量	3kg
	位 置 繰 返 し 精 度	±0.1mm
制 御 装 置	教 示 方 式	ティーチングプレイバック
	制 御 方 式	CP制御

図7 垂直多関節形ロボットA6030 位置制御3軸、手首姿勢制御3軸の計6軸同時CP制御により、円滑なアーム動作を実現している。

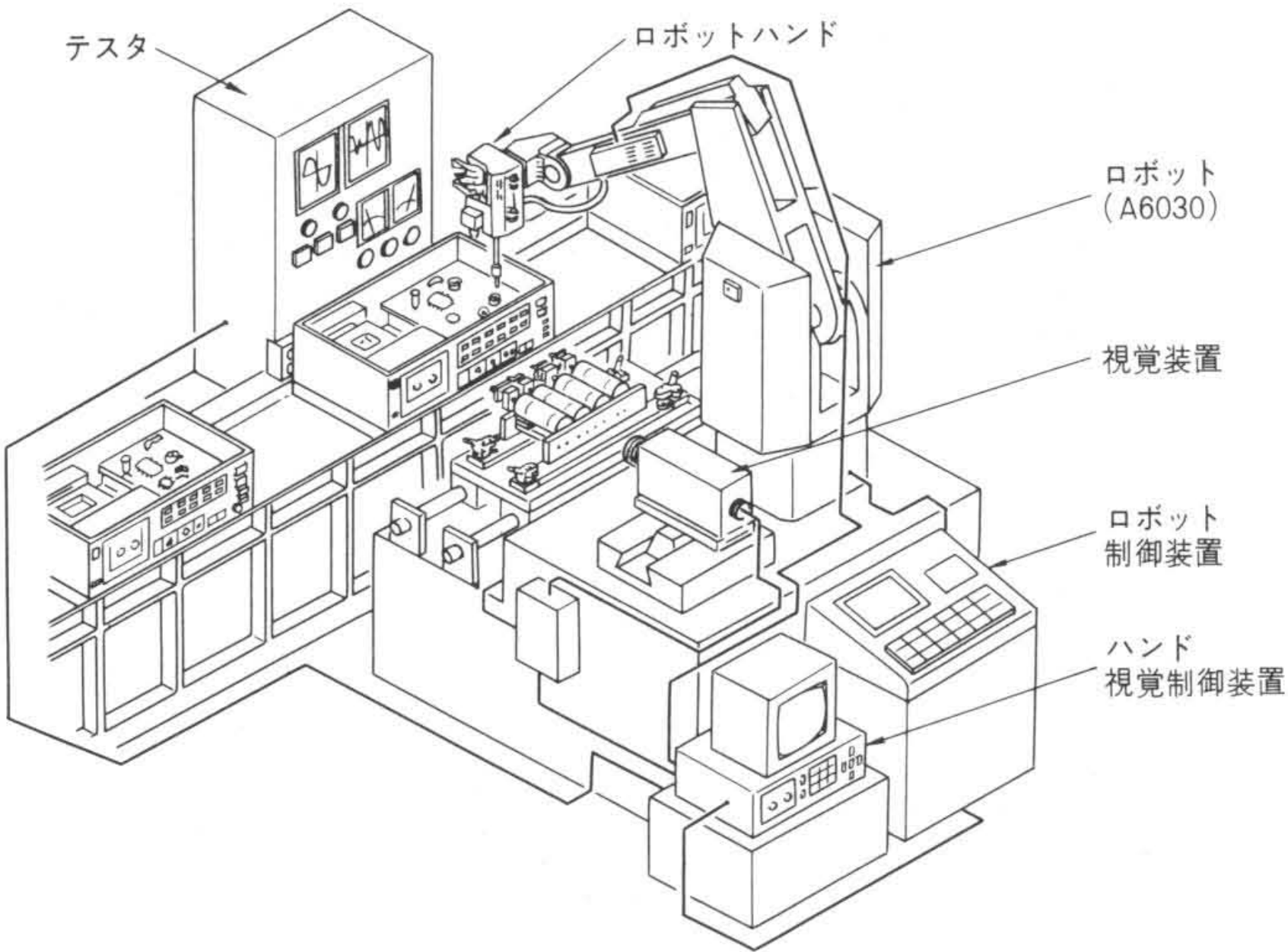


図8 検査調整ロボットステーションの外観 ロボットは視覚装置、テスタの信号を受けてスイッチ類を調整する。

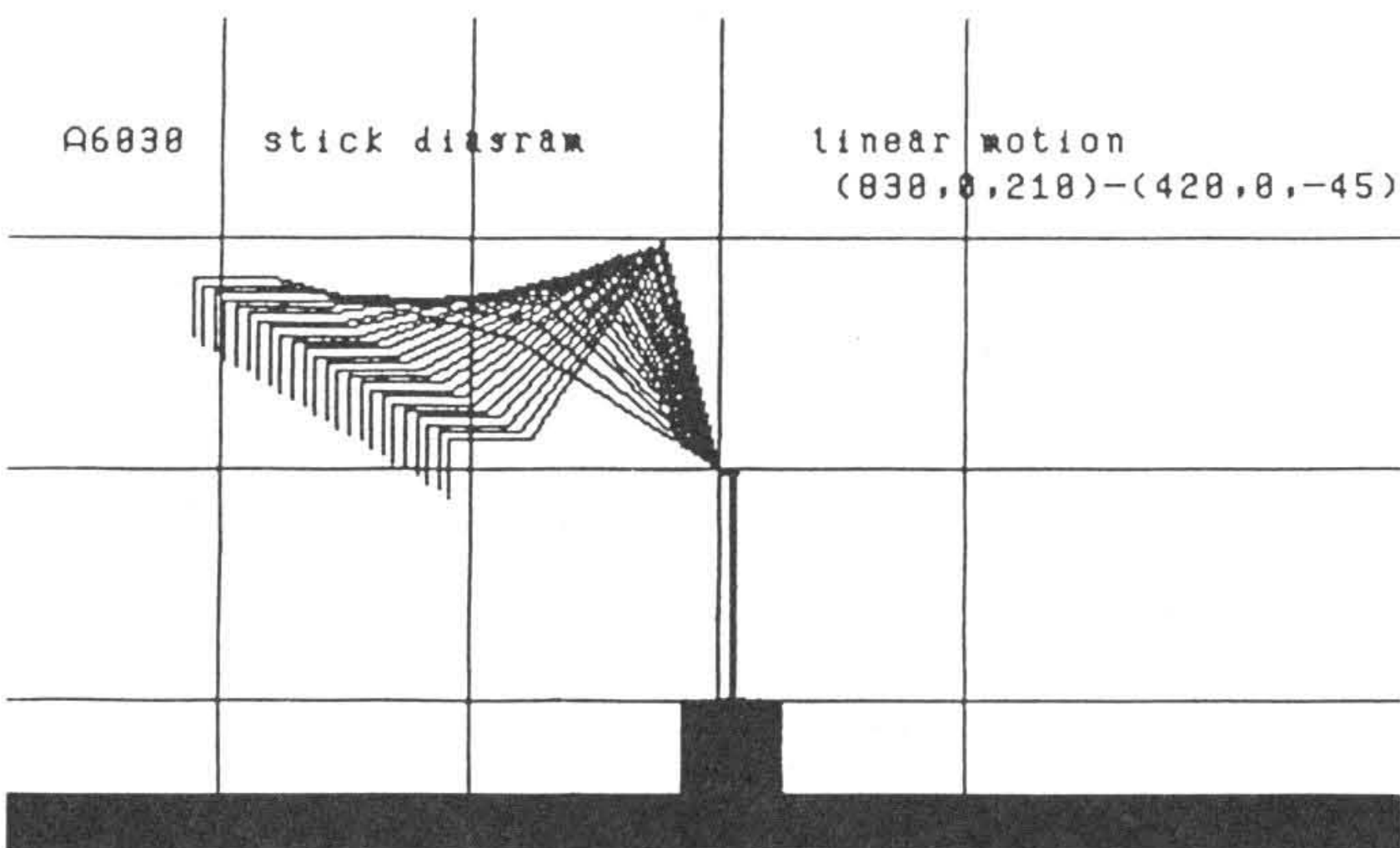


図9 A6030手首動作図 各軸の連動により複雑な動作ができる。

業が要求される。図8で、ロボットは視覚装置、テスタの信号により操作力検出センサをもつハンドを介して、押し、回転、スライド及びハンドリングの基本動作でスイッチ類を調整している。このようなA6030を用いた検査調整ロボットシステムは、各種家庭電気製品、計測器など広範囲な分野への応用が期待できる。

3.2 動作シミュレーション

A6030は上述の高機能ハンドや視覚センサなどと接続して複雑な動作を実現するが、手首動作の複雑さのために作業可否の判断が困難となる。このため、システム設計のツールとして汎用パーソナルコンピュータを用いた動作シミュレータを開発している。図9は動作解析を行なった例で、ロボットの動きをステック線図で示している。腕長さ、動作範囲などの条件をパラメータとして設定でき、座標変換ルーチンを変更することで軸構成の異なるロボットにも適用可能である。

このような動作シミュレータを活用することで、効率の良い作業計画を実現している。

4 結 言

日立多関節形組立ロボットは豊富なラインアップに加え、組立作業に要求される高速化、高精度化及び高機能化、そしてシステム性の向上に努めている。これらを構成するメカニズム、ハードウェア、ソフトウェアは、いずれも現時点での最新技術の結集であると確信している。しかし、製造工程の自動化は総組立、配線、検査調整などへと拡大しつつあり、組立ロボットに対しては多様化する部品や生産形態に対応して、各々の目的に合う専用化が要求されてきている。

多様な市場ニーズにこたえ、ユーザーにとって真に使いやすい、信頼できるロボットとなれるように今後もよりいっそう努力を続けていく考えである。

参考文献

1) 松永, 外: 量産工場における組立ロボット応用システム, 日立評論, 65, 12, 847~852(昭58-12)
2) 井田: 高速・高精度・高機能組立ロボット, 電子材料, 77~81(昭58-6)
3) 河野, 外: 検査調整作業へのロボット応用技術の研究, 昭和59年度精機学会春季大会学術講演会論文集, 847~848(1984, 3-27)