

産業用ロボットの塗装への応用

Application of Industrial Robot to Spray Painting

日立製作所は、このたび高機能ロボットの第2弾として、電気-油圧サーボによる多関節形塗装ロボットを開発、製品化した。

本機は、塗装としては最も難しいとされている自動車ボデーの内・外板、補正塗りの自動化をねらったもので、まだこの種のロボットで実用化されているものは見当たらない。これは、狭い箇所へ手首を突っ込んで作業を教えること、構造上からくるコンベヤとの同期などが難しかったからである。本機はこれらについて「ミスターアロス¹⁾」の技術をベースとし、塗装ロボットとしては従来のものとは全く異なった発想、P.T.P(Point to Point)によるリモートティーチという方法などにより解決した。これは「ミスターアロス」同様マイクロコンピュータの機能をフルに活用し成功したものである。

榎本勝雄* Enomoto Katsuo
 古川 隆* Kogawa Takashi
 土橋 亮* Tsuchihashi Akira
 前田健次* Maeda Kenji
 安藤司文** Ando Shimon

1 緒 言

流れ生産方式をとっている工場では、どこでもコンベヤラインによる塗装作業工程がある。この作業は塗料を被塗物に吹き付けるといって見ると単純な作業のように見える。しかし、塗装作業は、最後の部品組付け前に行なわれるため、被塗物は複雑な形状のものが多く、このため単に塗料を上下、左右から吹き付けただけでは、一様な塗膜が得られないばかりか塗れない箇所もでてくる。すなわち、塗装作業は作業者が被塗物の形状を目で見て自分の腕の動きを考え、更に塗りながら塗料の付き具合を目で判断し、一様な塗膜となるよう腕を動かすという熟練作業が必要であるとされていた。したがって、吹付作業を機械化しても、その後工程に人手によって塗るといって補正塗り作業が残り、この完全自動化が課題とされていた。

昭和45年ごろから登場した産業用ロボットの本来の目的は、単に生産性の向上を目指したのものだけではなく、(1)悪環境のため人間がいやがる作業、働く人がいなくなる作業(人間性尊重、公害規制)、(2)専用機では自動化ができない難しい作業、(3)熟練作業の合理化、熟練者が得られなくなる作業、などを人間に代わって行なうものであろうと考える。したがって、この塗装作業のロボット化は、アーク溶接作業と同じく第一に取り上げるべきものであると考える。しかし、先に述べたように、人間が目で見ながら腕を動かすといった作業であるとされていたため、今までに登場したロボットは、熟練作業者がロボットの腕にティーチングハンドルを付けて、塗料を吹き付けながら動かして作業を教え、これをプレーバックするといった方式をとっていた。このため使用上に制約があり、自動車産業でのスポット溶接ロボットのようにまだ広く採用されるまでには至っていない。

筆者らは、この塗装作業の自動化、特に補正塗りを必要とするようなものの自動化について、ロボットに要求される機能、塗装作業での技能、熟練作業者の作業ぶりなどについて検討した。その結果、ロボット本体としては多関節形で据付面積の小さい独特の構造のものを開発した。制御装置も先に開発実用化したアーク溶接ロボット「ミスターアロス」の思想を取り入れ、マイクロコントローラを頭脳とした従来と全

く異なった方式のものを開発、製品化した。以下、その概要と用途例について紹介する。

2 基本構想

最良の塗装品質は経験と実験から図1に示すように塗装ガンを塗面に直角に、一定の距離から一定の塗料圧力で塗面の速度一定となるよう運行することにより得られる、ということの基本とした。したがって、従来の塗りながら目で状態を判断し、腕を必要な箇所へ動かすという、いわゆるフィードバック機能は必要ないとした。

対象被塗物としては、最も自動化の要望が強く、しかも形状が複雑で難しいとされている自動車ボデーの内・外板の塗装に焦点を絞り、基本構想を次のように立てた。

(1) 人間並みの据付スペース、関節腕とし、手首回りを極力小形化する。

既設の塗装ブースにもそのまま設置できるよう、また、狭い箇所へ首を突っ込んでの塗装、障害物を回り込んでの作業ができるようにする。

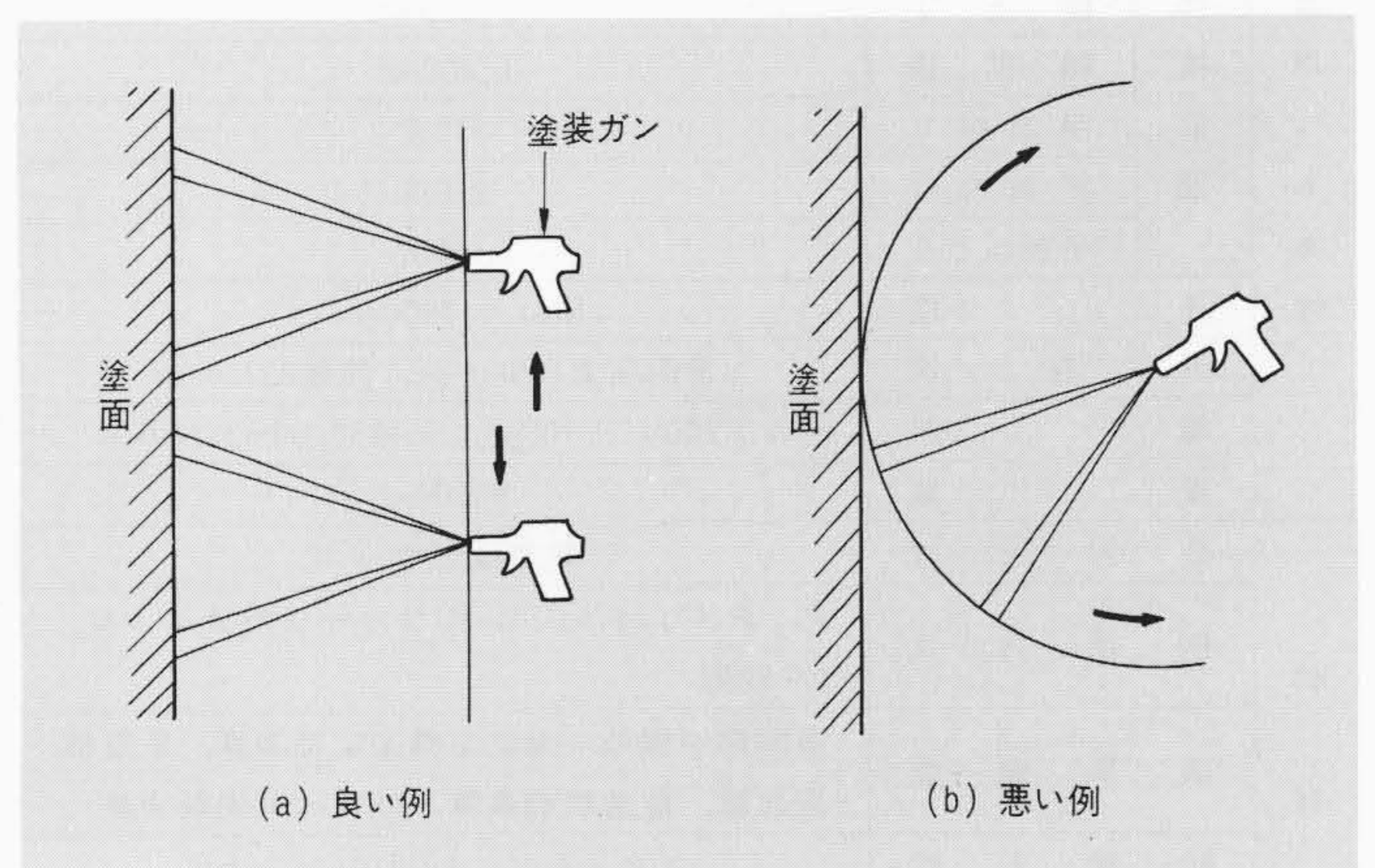


図1 塗装ガンの運行 被塗物を塗る場合、ガン運行の良い例、及び悪い例を示す。

* 日立製作所習志野工場 ** 日立製作所日立研究所 工学博士

(2) ティーチングボックスのボタン操作で行なうP.T.P(Point to Point)リモートティーチによるCP(Continuous Pass)制御方式とする。

ロボットに仕事を覚えさせるときは、狭い箇所や高所でも、また一人でも行なえるよう、また塗装ノウハウをデータ化できるようにする。

(3) コンベヤなどで移動する被塗物に同期して動き、塗装できるようにする。すなわち、作業を教えるときは静止状態で行ない、コンベヤなどで走行しても追従し、塗装作業が行なえるようにする。

(4) 塗装作業に適するよう、制御装置を高度化し、しかも操作は極力単純化する。

塗装結果をみてティーチの部分修正、塗装スピードを部分変更してみてもよければの検討、タクトタイムの事前検討などができるようにする。ティーチング作業は最小のボタン操作でできるように各軸の連動を考える。

(5) ロボット本体は、本質安全防爆構造とする。

3 装置概要

3.1 全体の仕様

ロボット本体は、基本構想に基づいて開発した多関節形で、その標準仕様を表1に、塗装ロボットシステムとしての基本構成を図2に示す。危険場所に設置されるロボット本体は、本質安全防爆構造“i2G4”にしてある。ティーチング作業時だけ使用するティーチングボックスはプレーバック時は使用する必要がないことから標準仕様としては防爆構造を採用していない。ただし、必要な場合は、オプションとして防爆構造タイプのものも製作可能である。また図2には示していないが、ブース内に簡単なロボット状態表示盤を必要に応じて増設することも可能である。

3.2 ロボット本体

本体は人間の胴体に相当する旋回装置と、二つの関節をもつ腕から成り、手首の3自由度と合わせて6自由度で構成し

てある。駆動源にはコンパクト化とスピード化を考慮し、油圧式を採用した。旋回装置及び手首の駆動には揺動モータを、関節機構には直動形シリンダをそれぞれ採用し、信頼性と保守性の向上及び構造の簡素化を図った。

旋回装置にはロボットの架台と油圧配管ロータリジョイントの両方の機能をもたせた高剛性の大形揺動モータを開発し、その出力軸に旋回体を直接固定する方式をとった。これにより、旋回体の各アクチュエータへ作動油を供給するためのフレキシブルホース及び動力伝達歯車を排除でき、更に人間並みの設置面積というユーザーの希望にも応じられるスペースに収めることができた。手首には、ねじり、振り及び曲げの3軸と位置検出器を一体化した揺動モータを開発し、手首回りから油圧配管をなくし小形化を図った。

また本体は、動作時に腕が後方に突き出さないでも所要のストロークが出せるよう、すなわちデッドスペースを極力とらないで広い動作範囲がとれる構造とした。図3に塗装中の外観を、図4に動作範囲寸法を示す。

3.3 制御装置

基本構想から制御方式はP.T.Pティーチ方式によるCP制御方式を採用し、しかも多関節極座標系的複雑な動作を行なう本ロボットに対し、次に述べるような制御演算機能をもたせた。

- (1) 多関節座標一直交座標変換演算機能
- (2) 直線補間演算機能
- (3) 手首補正演算機能
- (4) コンベヤ同期演算機能

制御装置の基本構成は、先に製品化された「ミスターアロス」とほぼ同じで、8ビットのマイクロプロセッサに16kバイトのPROM(Programable Read Only Memory)ボード、及び16kバイトRAM(Random Access Memory)ボードで構成されるマイクロコントローラに、専用のインタフェースを付加したもので、図5にその構成を、図6、7にオペレーションコンソール、ティーチングボックスの外観をそれぞれ示す。

表1 標準仕様 ロボット本体及び制御装置の標準仕様を示す。

項目		仕様	
ロボット本体	腕 旋 回	110度 (2,850mm)	
	作 業 範 囲	腕 上 下	2,500mm
		腕 前 後	1,200mm
		手 首 振 り	210度
		手 首 曲 げ	210度
		手 首 ね じ り	180度
	速 度	Max. 1,750mm/s	
	油 圧 源	常用圧力105kg/cm ² , 流量29l/min	
	電 源	AC 200V(±10%), 三相50/60Hz 10kVA	
	重 量	約500kg	
駆 動 方 式	電気油圧サーボ		
制 御 装 置	制 御 方 式	P.T.P(Point to Point)ティーチ方式によるCP制御	
	演 算 機 能	多関節座標系一直交座標系変換演算, 手首補正演算, 線速制御演算, コンベヤ同期演算	
	記 憶 方 式	コアメモリ, 4k語(16ビット)	
	ティーチング方式	ティーチングボックスによるリモートティーチ	
	プログラム選択	4種類	
	外部同期信号	送受信各7回線	
	電 源	AC 100V(±10%), 50/60Hz 1kVA	

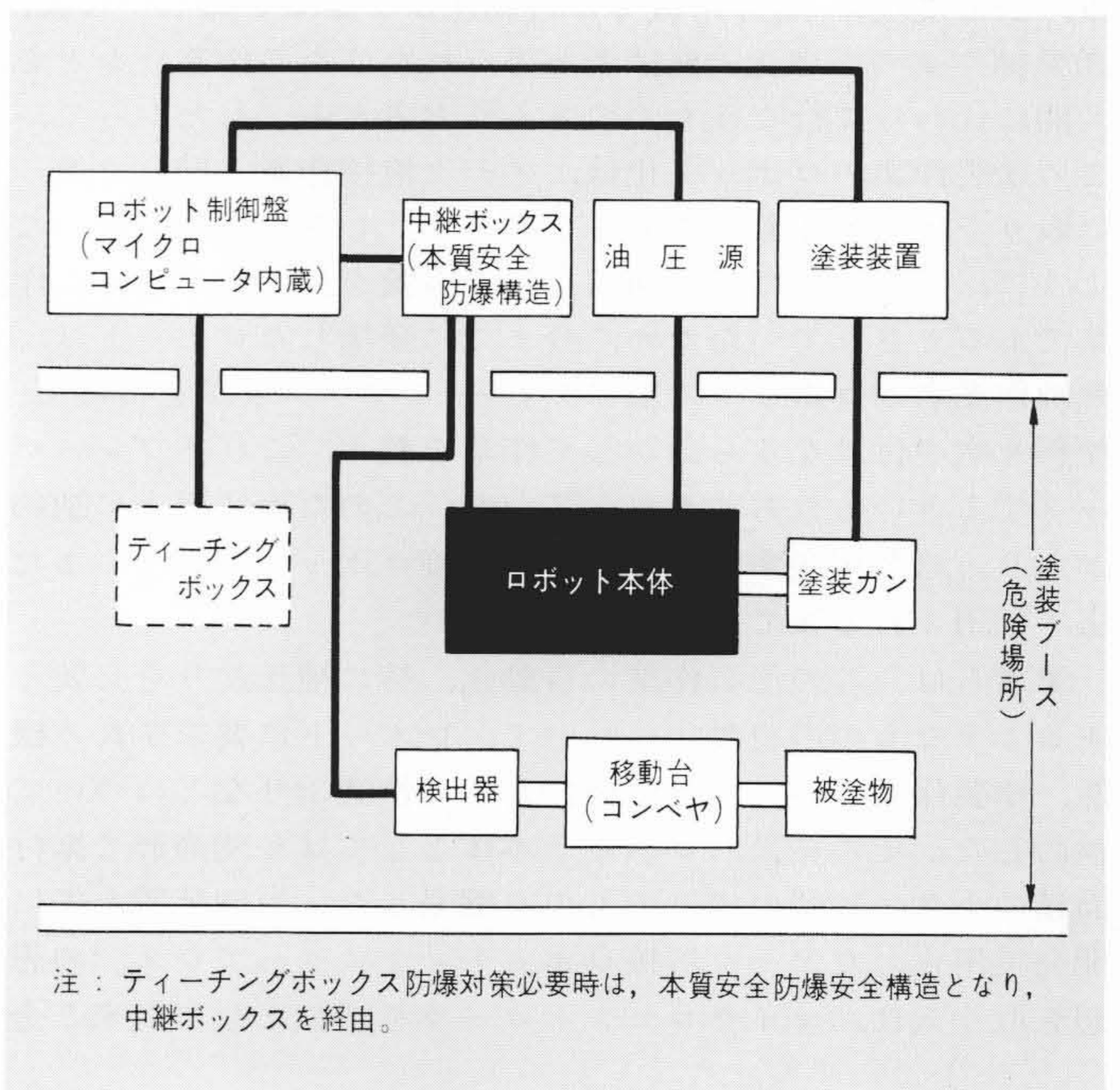


図2 塗装ロボットシステム構成 標準システム構成機器の概要を示す。

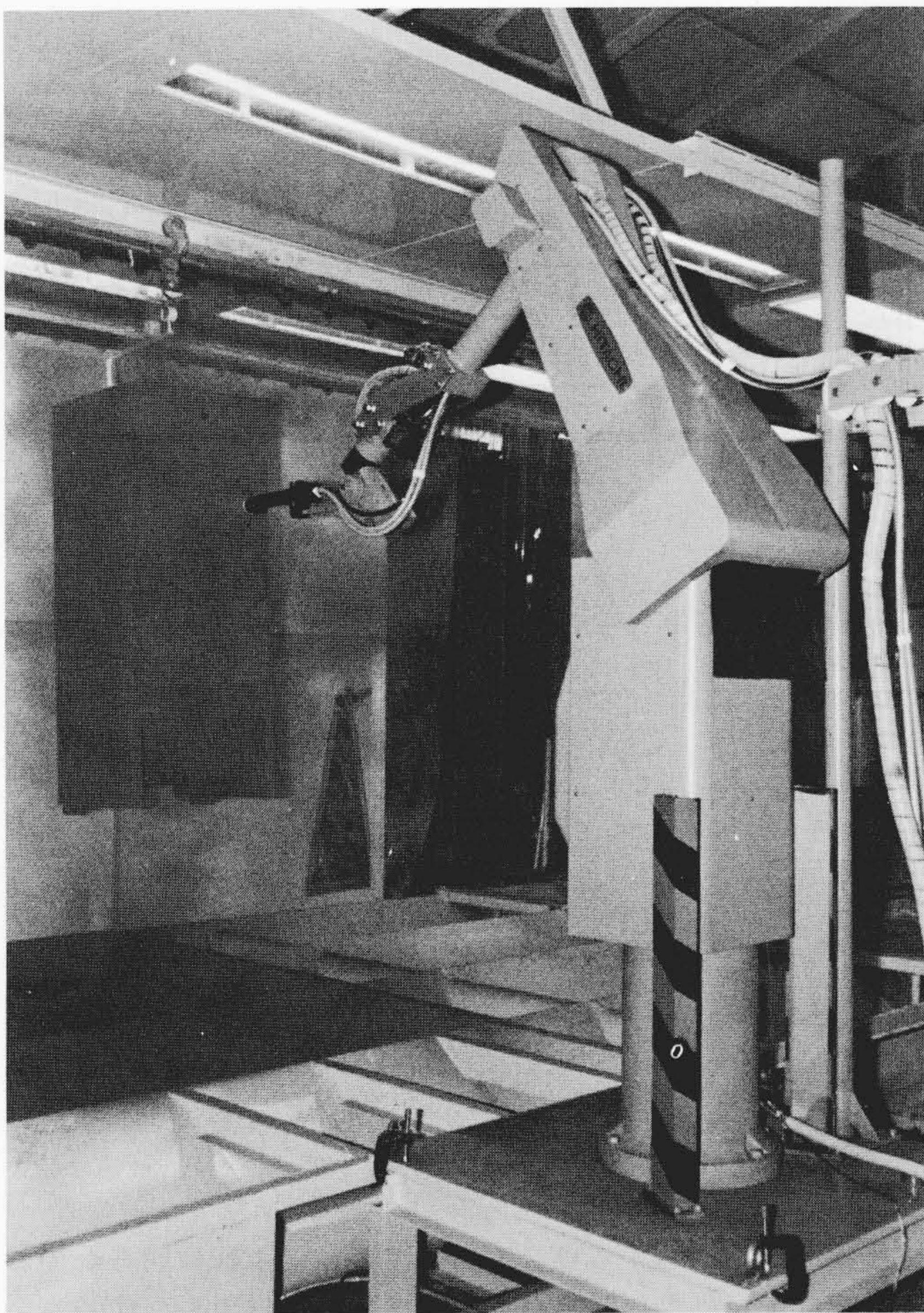


図3 塗装中のロボット外観 コンベヤに同期して動き、塗装試験を行なっている状態を示す。

制御機能はほとんどソフトウェアで実現させたが、複雑な動きを高速で演算処理を行なわなければならないため、数値計算速度が問題となるので、専用の乗除算ハードウェアと三角関数テーブルを付加し、その他ハードウェア、ソフトウェア両面からの処理速度の向上に工夫を凝らした。

3.4 安全対策

プレーバック制御方式のロボットでは、作業をティーチする際、本ロボットのようにリモートティーチング方式を採用していても、オペレータはロボットの動作領域に入り込まざるを得ない。したがって、安全に対しては細心の注意が必要である。本システムでは、「ミスターアロス」で効果が実証されている次の3段階の処理方式をとっている。

(1) 非常処理

ロボットが暴走する恐れがある場合に、ソフトウェアを介さず直ちに油圧をアンロードし、周辺装置にも指令を出す。ロータリエンコーダのランプ切れや、制御装置の故障に適用する。

(2) 異常処理

直ちに危険な事態には至らないが、正常ではない事故に対する処理で、ソフトウェアを介して瞬時停止や、サイクル停止の処置をとる。50°C以上の油温異常上昇時のサイクル停止処理、60°C以上油温異常上昇時の瞬時停止処理などがある。

(3) 合理性チェック

運転方案に反する操作や、正常動作範囲を超えてティーチした場合、合理性のチェックを行なって可能な限りトラブル

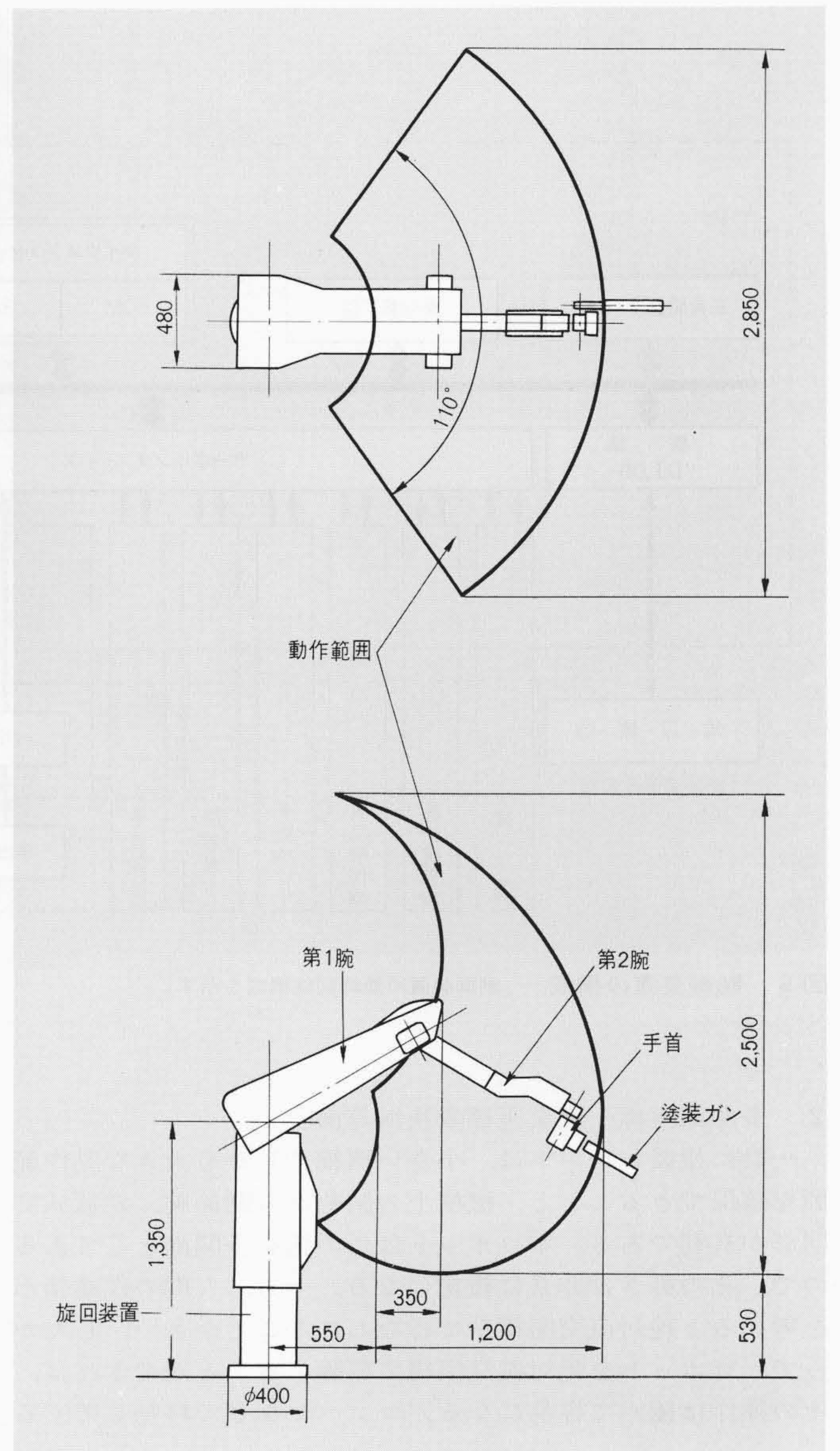


図4 動作範囲 ロボットの動作作業領域を示す。

の防止を図るとともに、トラブルの内容を表示し、異常な作業がティーチされることを事前に極力排除し、ティーチング作業の能率を上げられるようにした。

4 特長的機能

基本構想がそのまま大きな特長となっているが、ここでは操作上、動作上の主な特長的な機能について述べる。

(1) リモートティーチング方式

基本構想で述べたように、最良の塗装品質を得る方法として、ティーチングボックスの押しボタン操作による主要点だけのティーチで連続動作ができる方式を採用した。その理由は、塗装ガンをこのように動かす作業は本来人間はあまり得意ではなく、むしろコンピュータを利用してロボットを自動的に制御したほうがはるかに正確に動かせるからである。また、この方式によりティーチング作業も楽になり、何分間でティーチしなければならないというようなティーチング時間を気にする必要は一切なく、しかもティーチデータの部分修正も簡単にできる。更に、これら塗装ノウハウをデータ化することもできるので作業の改善、作業方法の確立が図れる。

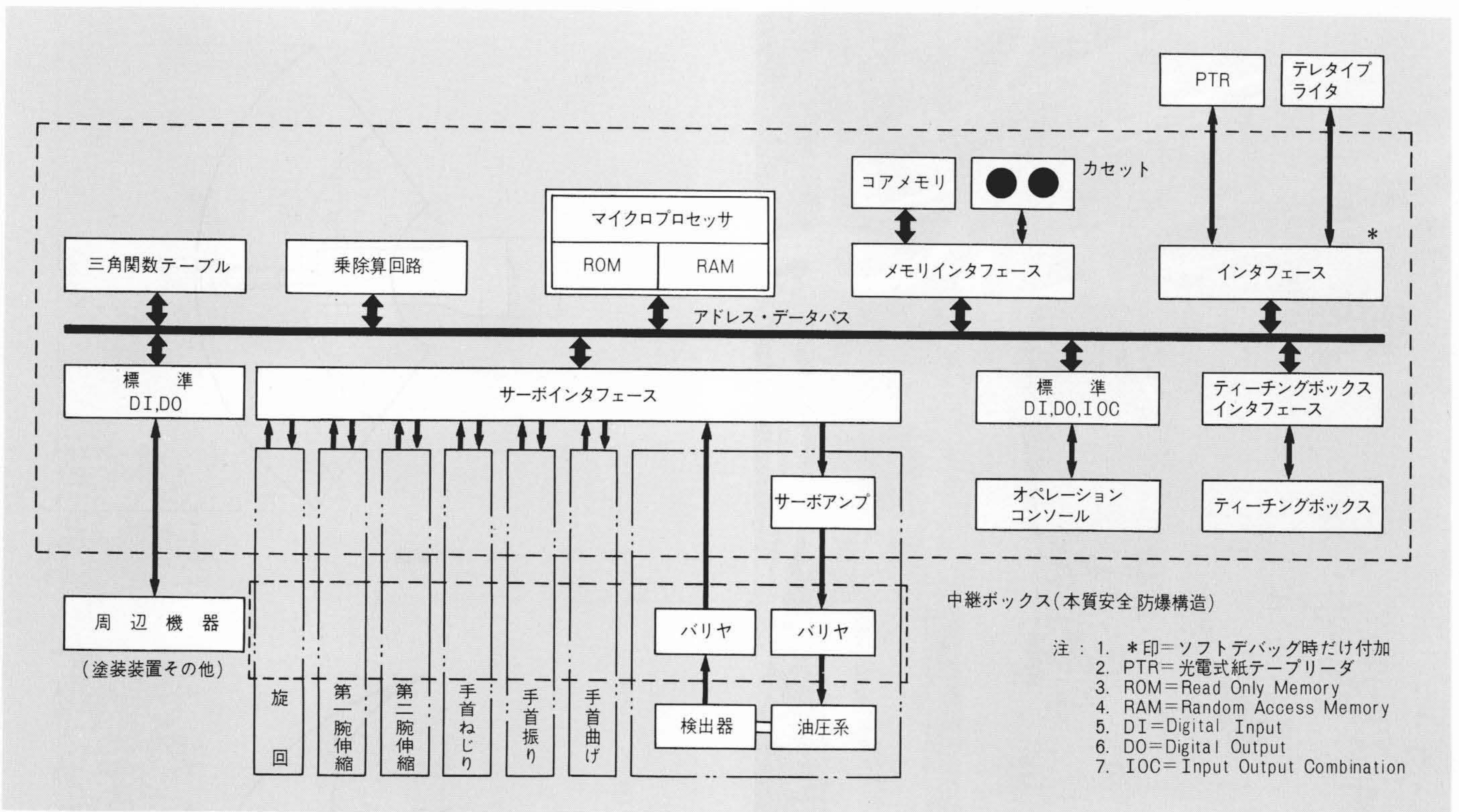


図5 制御装置の構成 制御装置の概略回路構成を示す。

(2) 多関節座標一直交座標変換演算機能

一般に塗装ロボットは、小さい機構でしかも大きな動作範囲を確保できることと、機構上の制約から関節腕、定置式旋回形が有利である。本ロボットはこの腕を多関節としてあるので、その動きは非常に複雑になる。一方、人間の作業指示を考えると絶対直交座標系で行なわれることが多い。したがって、ロボットを絶対直交座標で駆動することができれば、その操作は極めて容易になる。コンベヤなどで移動してくる

被塗物をティーチする場合を考えてみればこれは明らかである。そこで自動動作時はもちろん、手動操作でも、塗装ガンをあたかも直交座標系のように動作させる機能をもたせた。すなわち、ティーチングボックスに直交座標系動作、関節動作の選択スイッチを設け、ティーチング作業時、塗装ガンを目的位置まで移動させる際、使い分けができるようにした。これは操作性の大幅な向上に役立ち、複雑な多関節機構でありながら他には見られない使いやすいロボットとすることが

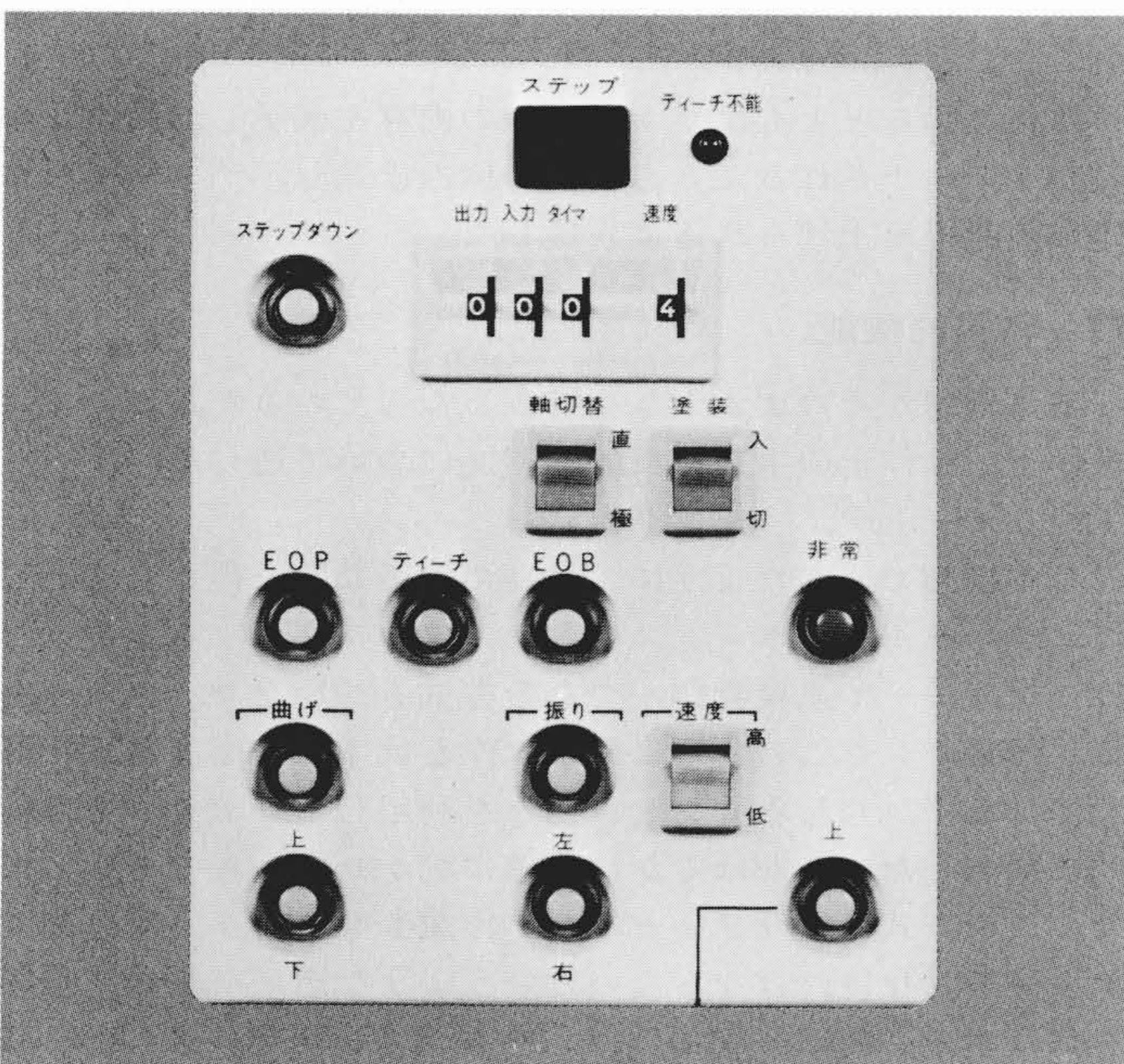


図6 ティーチングボックス 多関節座標一直交座標切換選択スイッチは、本ロボット特有のものである。

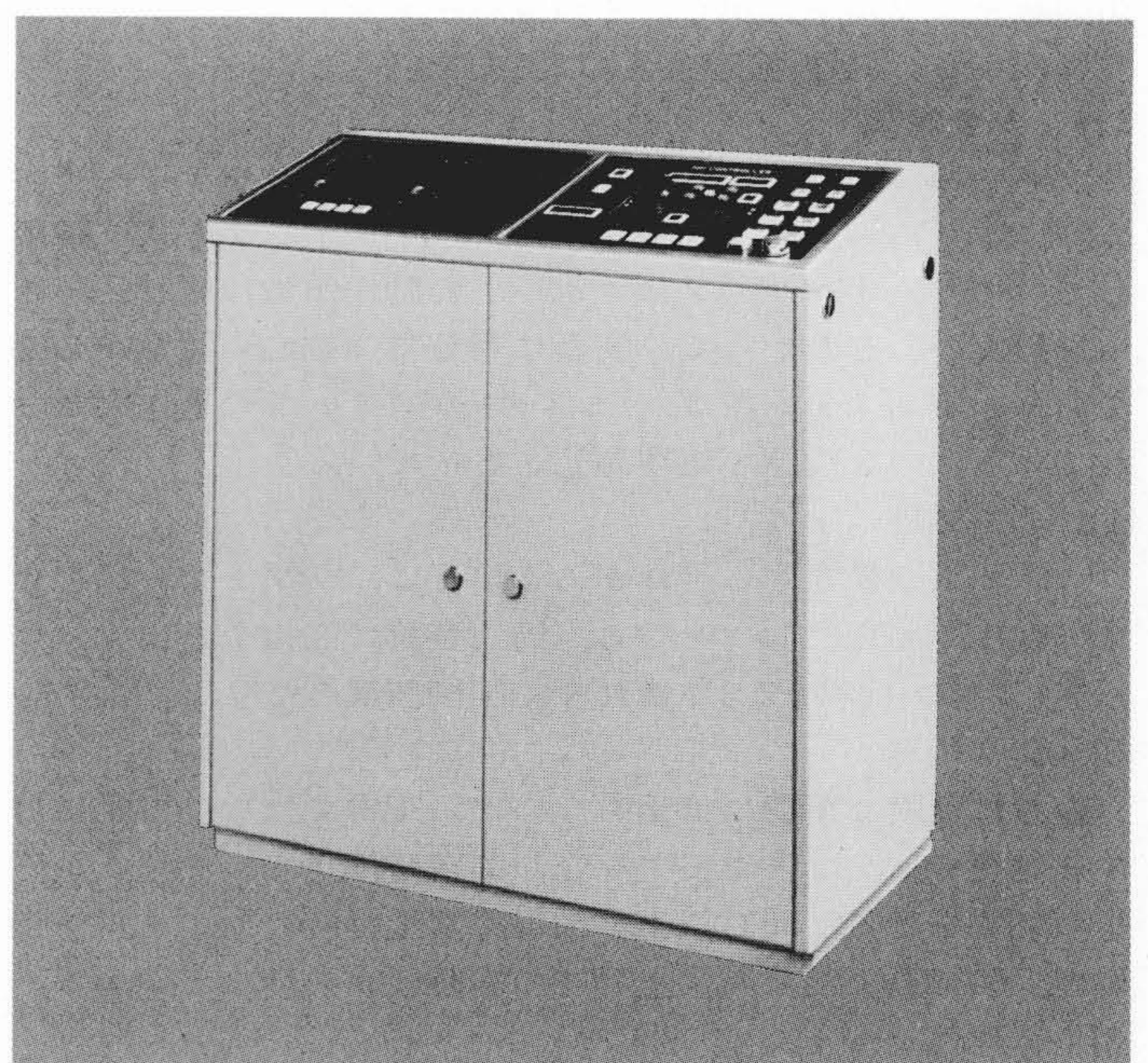


図7 オペレーションコンソール ロボット本体制御用のマイクロコンピュータを含む電子制御装置は、すべてこの中に収められている。

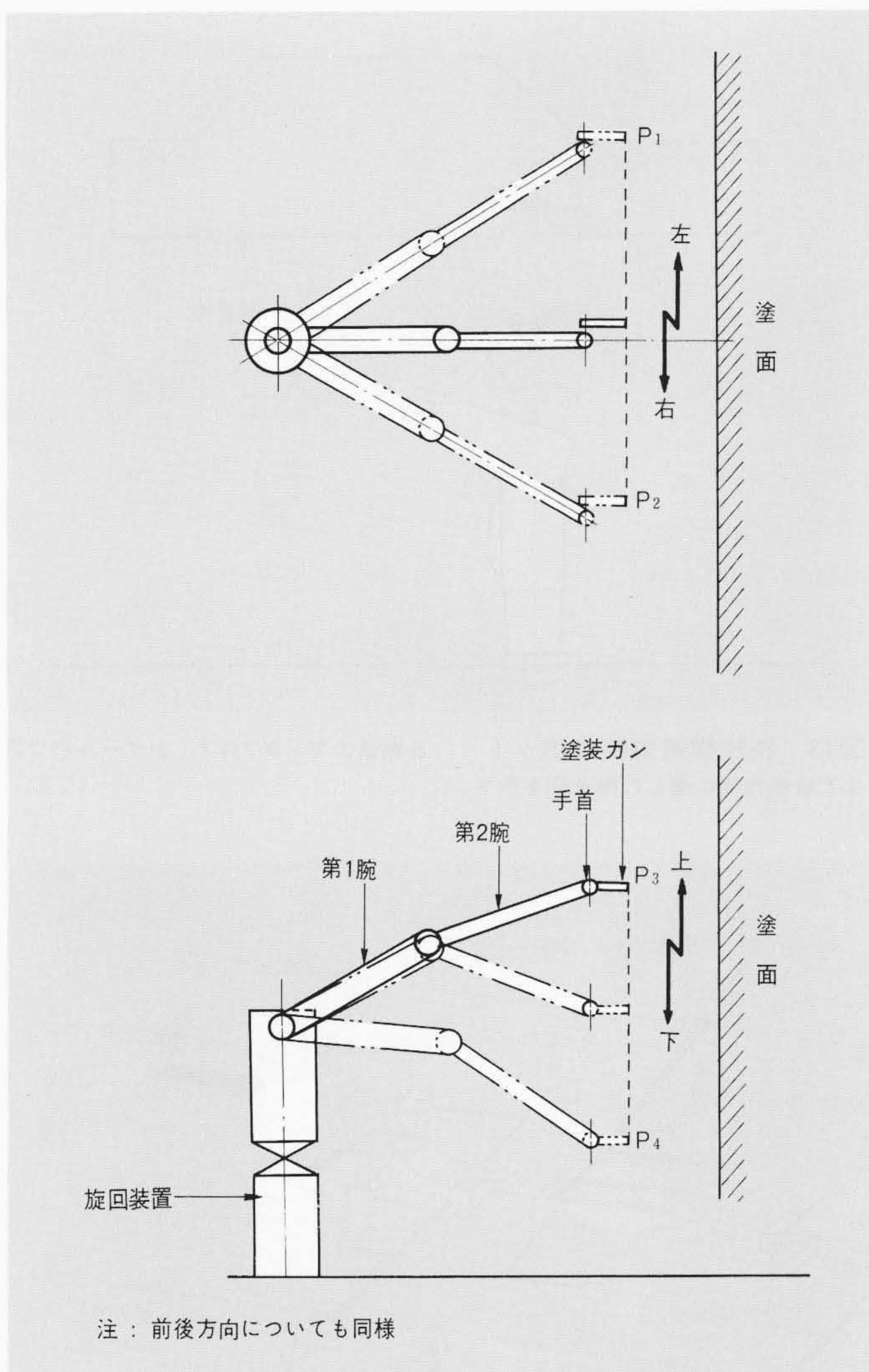


図8 関節座標一直交座標変換説明図及び直線補間機能説明図
座標変換により、直角座標系で動く状態を示す。同時に二つのティーチ点が関節腕であっても、直線的に動く状態も示している。

注：前後方向についても同様

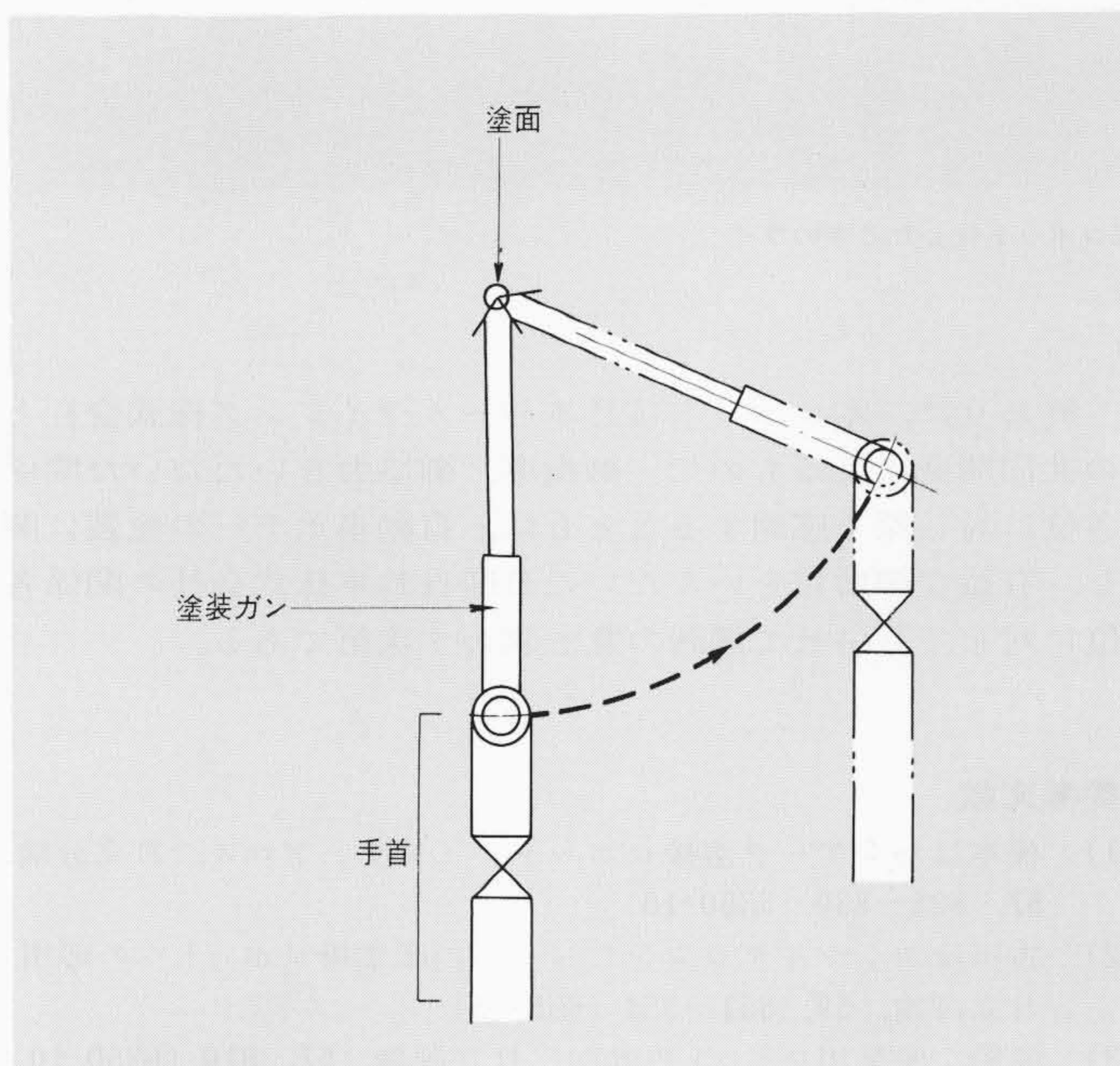


図9 手首補正機能説明図 手首を動かしても塗装ガンのねらい位置が変わらないことを示す。

できた。

図8にその動作説明を示す。

(3) 直線補間計算機能

ティーチされた2点間を線速一定で、しかも直線的動作を行なうよう補間演算制御する機能である(動作説明は図8を参照)。

(4) 手首補正演算機能

手動操作時、手首の各軸を動かしても、ガンのねらい位置(ガンから一定距離の塗面)が動かないようロボット本体の主軸を自動制御する機能で、図9にその動作説明を示す。

(5) コンベヤ同期演算機能

ティーチング作業時、コンベヤ上のワークをプレーバック時と同一状態で動かしながら、ロボットにティーチングを行なうことは至難の業である。本機能があれば、ティーチング作業はワークを停止させた状態で行なえる。プレーバック時はコンベヤ側から信号を受け、その移動速度を計算し、ロボット各軸の変位成分に自動換算制御し、相対関係を保ち追従する。これはマイクロコンピュータによる演算制御方式を採用していることから、はじめてできる機能である。同期塗装中の状況を図10及び前出の図3に示す。

以上述べた各機能を実現したことにより、操作性も大幅に向上し補正塗りについても可能となった。

5 応用例

本ロボットは、図11に示すような特殊取付も可能で、これにより従来のロボットでは適用不可能な場合でも応用ができる。図12は自動車工場での中塗り、又は上塗り塗装ラインを全部ロボット化した場合の例である。

図13はロボットの関節構成を変えて、アンダーフロア、ホイールハウスなどの塗装作業に適用した例である。

しかし、特殊用途に対しては、制御装置、手首機構を生かし、ロボット本体はモジュール構成^{3,4)}としたほうがよい場合もある。我々はこのようにすることによって、ロボットがあらゆる塗装作業分野へ広く適用することが可能と考えている。

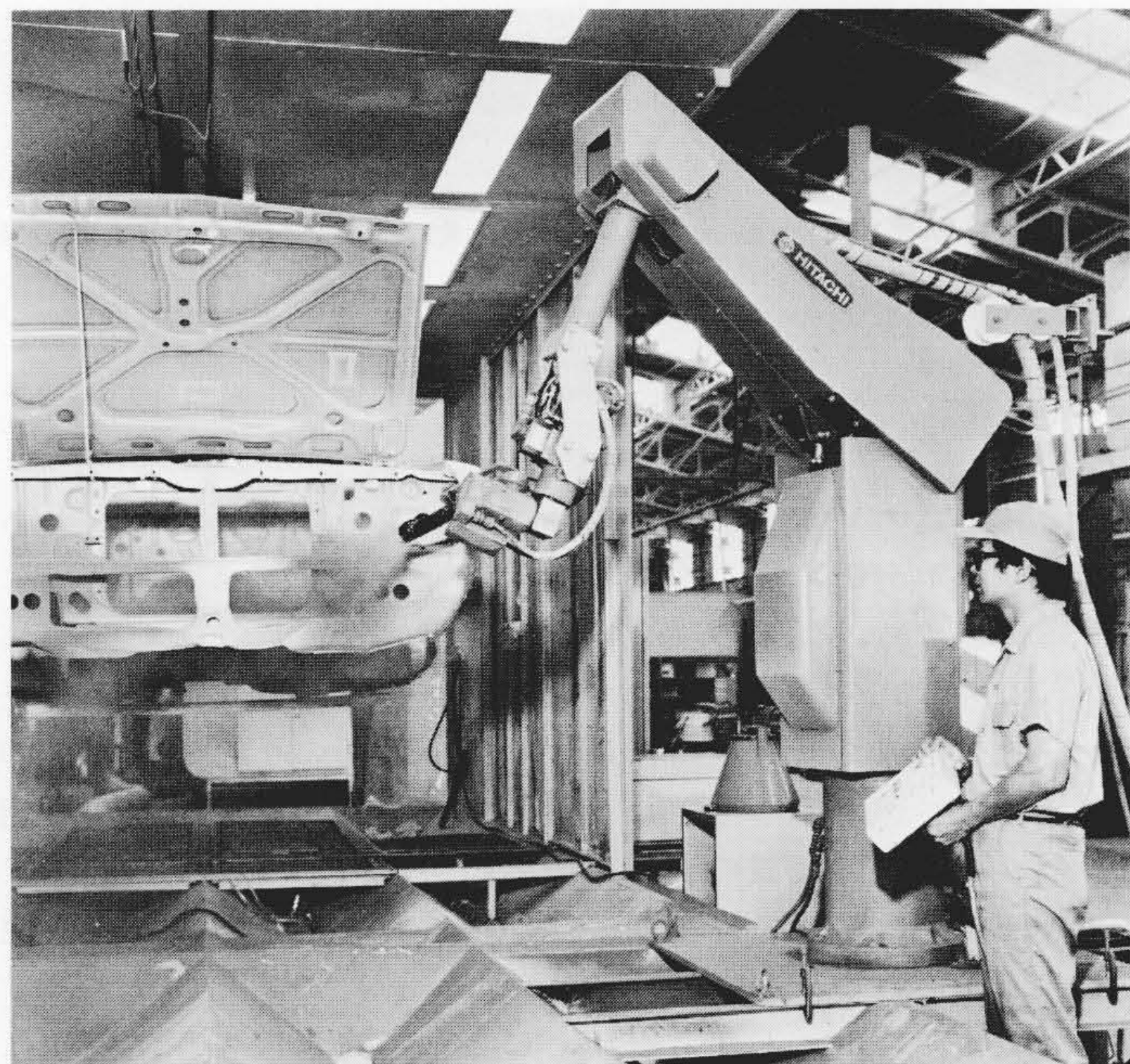


図10 塗装試験中のロボット 静止状態でティーチした後、コンベヤの動きに同期し、相対関係を保ちながら塗装中のロボットを示す。

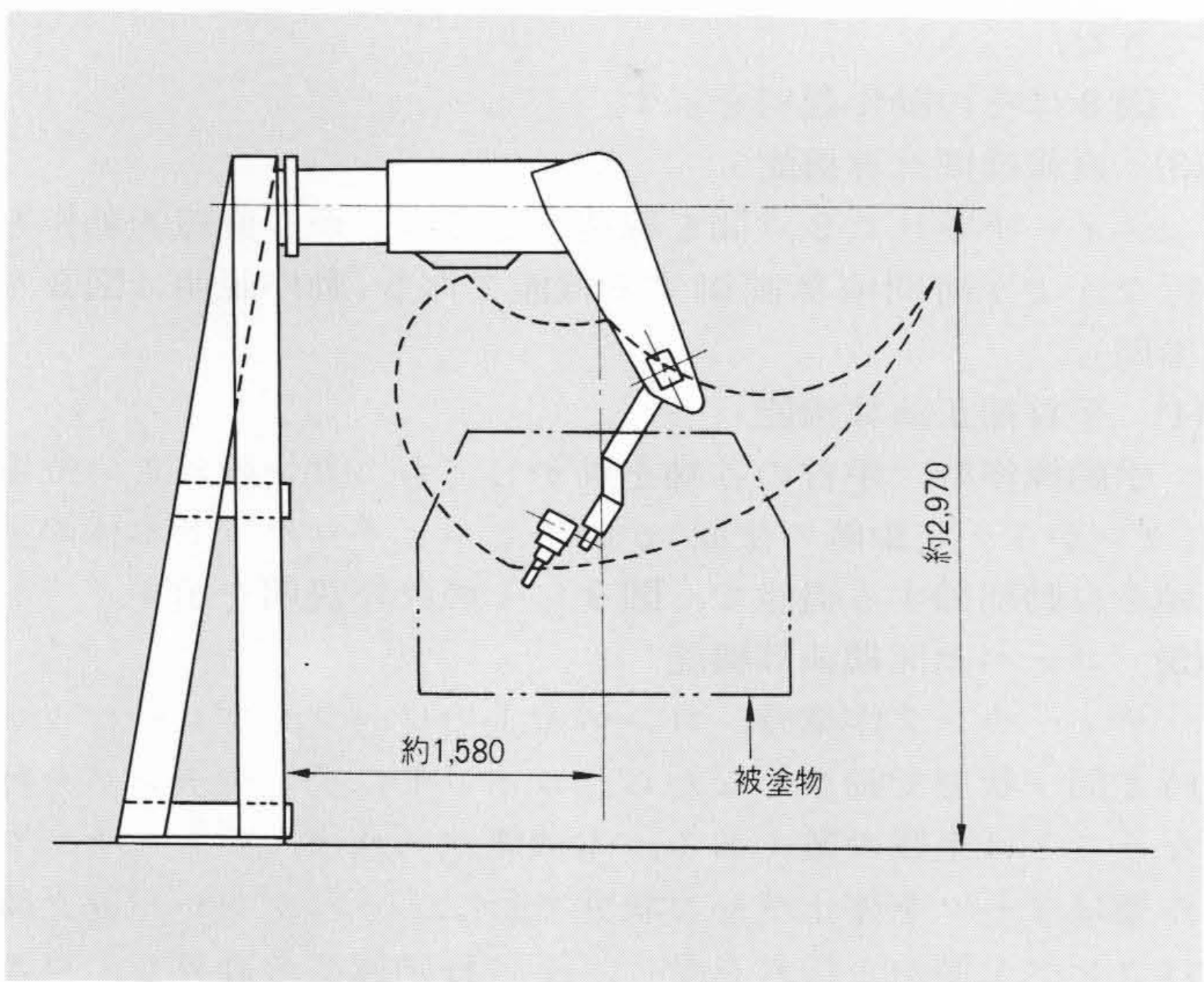


図11 ロボットの特種取付例 自動車ボデーのルーフ、ボンネット、トランクなど、高所の平面部塗装用特種取付例を示す。

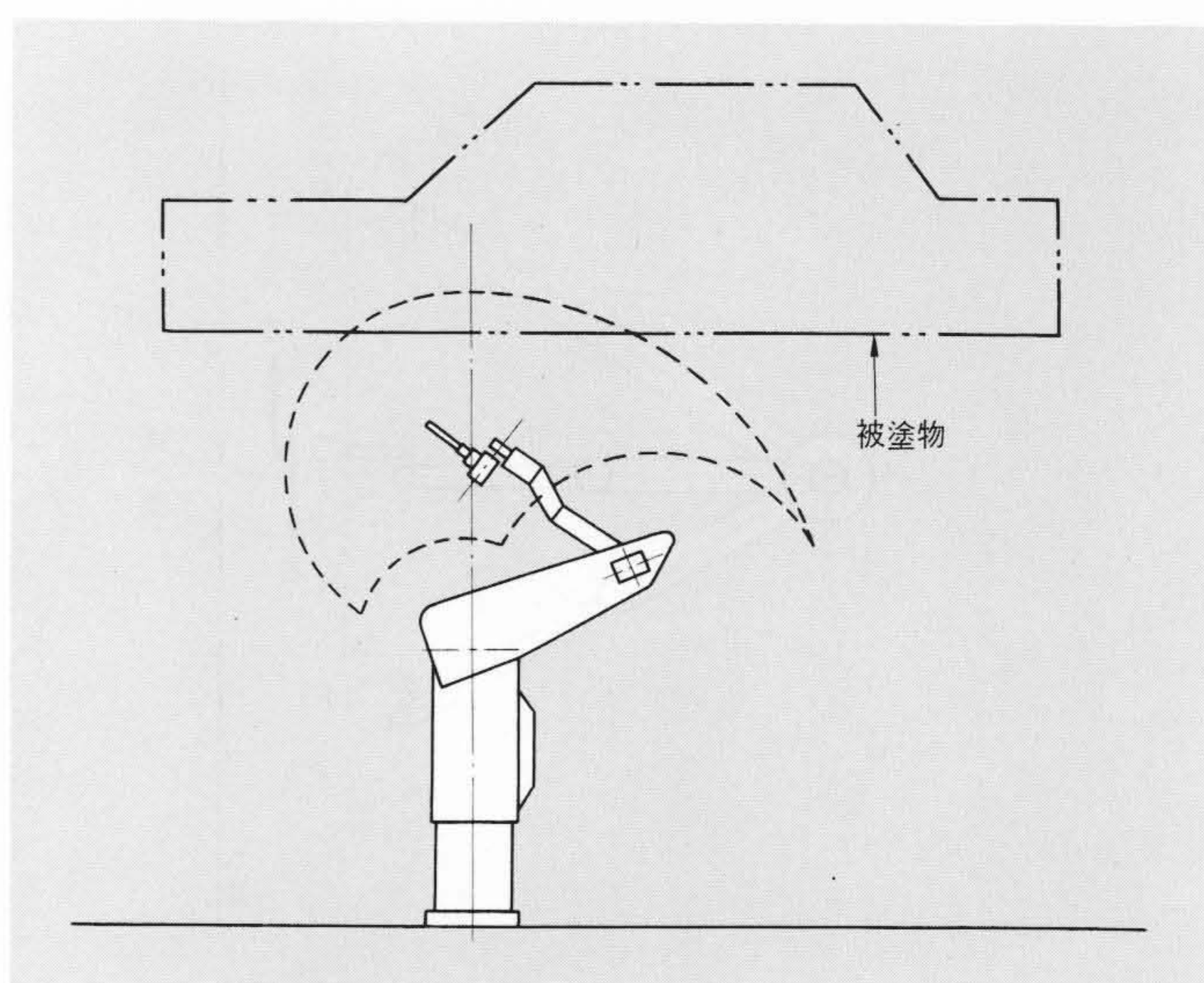


図13 特殊構造塗装ロボット 自動車のアンダフロア、ホイールハウスなど底部作業に適した構造例を示す。

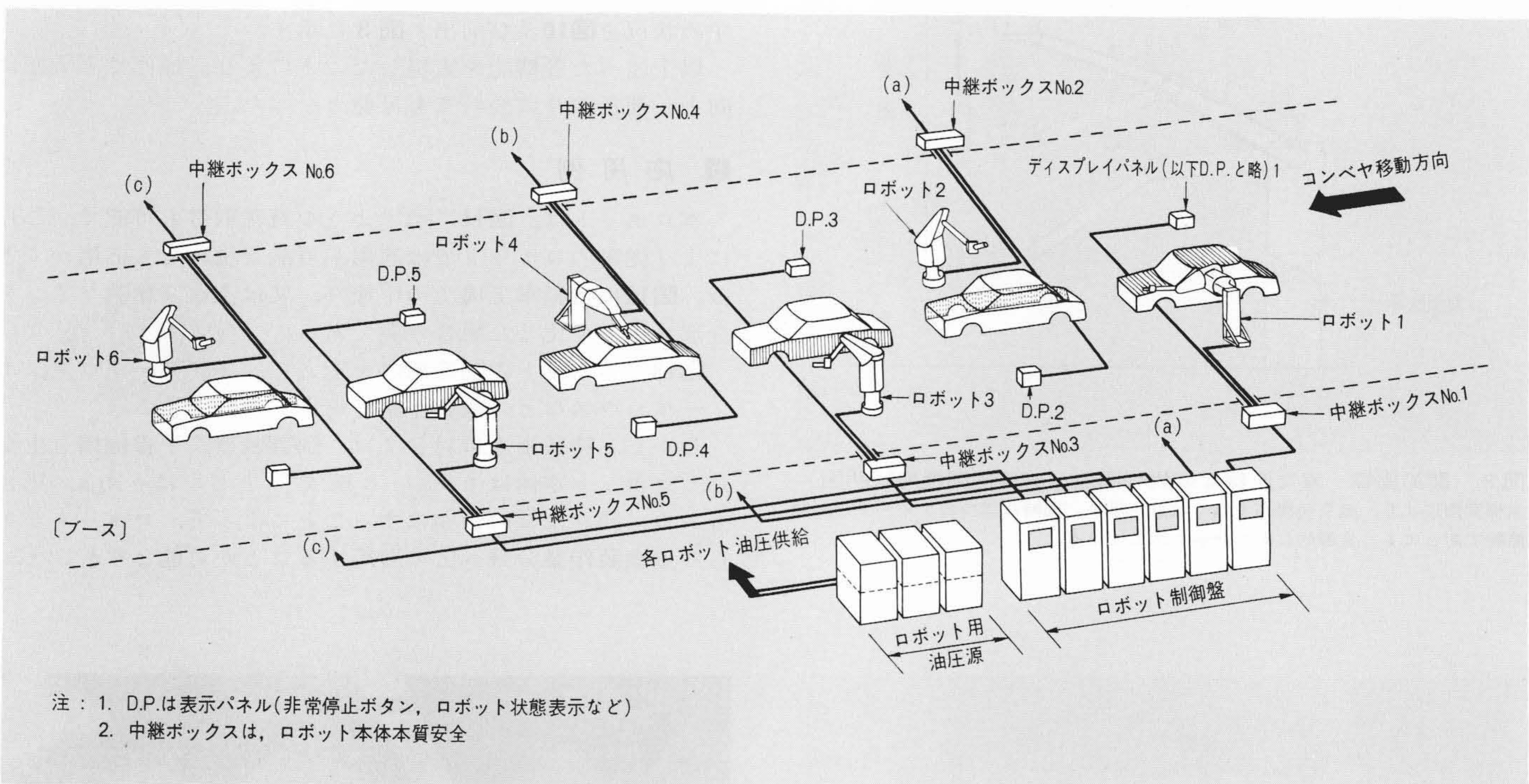


図12 自動車ボデー塗装ライン例 ボデーの中塗り(又は上塗り)作業を全部ロボット化したときのラインの構成例を示す。

6 結 言

塗装作業のロボット化でいちばん難しい被塗物とされている自動車ボデーに焦点を絞り、人間並みの設置スペースで、関節腕をもち、従来の塗装ロボットとは全く異なった発想による制御方式で、マイクロコンピュータを頭脳とした塗装ロボットを完成させた。これにより狭い箇所のティーチング作業、コンベヤとの同期、及び塗装ノウハウのデータ化が可能となった。制御装置の構成は、既に実績のある「ミスターアロス」をほぼ踏襲し安全面、操作性に意を用い取扱いの簡便化を図っている。

我々は本ロボットがユーザーにとって真に使いやすい頼れるロボットとなれるよう、今後もよりいっそうの努力を続けてゆく考えである。

終わりに、本ロボットは日本パーカライジング株式会社との共同開発によるもので、御指導、御協力をいただいた関係各位に対し深く感謝するとともに、自動車ボデーの塗装に関し、有益な御助言をいただいた日産自動車株式会社の関係各位に対しても併せて深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 榎本ほか：アーク溶接ロボット，ミスターアロス，日立評論，57，825～830（昭50-10）
- 2) 古川ほか：マイクロコンピュータの産業用ロボットへの応用，日立評論，59，351～354（昭52-5）
- 3) 眞船：産業用ロボットの動向，日立評論，57，810（昭50-10）
- 4) 榎本：生産工場が求めるロボット，応用機械工学，187，69（昭51-1）