

# 産業用ロボットの溶接への応用

## Applications of Industrial Robot on Welding

溶接作業は高度な技能と永年の熟練を必要とし、悪環境下の作業であるため将来溶接工の不足が懸念されている。

この溶接作業を対象にして、マイクロコンピュータで制御される産業用知能ロボット「ミスターアロス」に引き続いて「ミスターアロスジュニア」を開発した。本シリーズのロボットは、人間の指示に従って複雑な動作が可能であること、教示内容が少なく、センサによる溶接線の自己探索が可能など諸機能をもっているため、溶接の自動化に対し優れた省力、無人効果を発揮しており、その実用例について紹介するとともに、合わせてロボットの機能をもつ多層自動溶接機、枝管溶接機、配管溶接機などの専用自動溶接機、及び今後のロボットの方向として注目される複腕ロボットによる組立—仮付け—溶接などの全溶接工程の自動化例について述べた。

安藤司文\* *Andō Shimon*  
 榎本勝雄\*\* *Enomoto Katsuo*  
 荒谷 雄\*\*\* *Araya Takeshi*  
 坂上光広\*\*\*\* *Sakagami Mitsuhiro*

### 1 緒言

溶接は高度な技能と永年の熟練が必要な作業であるため、自動化は難しいとされている分野であるが、単純な溶接作業については各種の専用自動溶接機が開発され、省力化、自動化に大きく貢献している。しかし、多自由度の複雑な動作を伴う溶接作業については従来の専用の自動溶接機では十分な自動化が達成できないために、産業用ロボットに大いに期待されている。

当初産業用ロボットは機能的に不十分であったため、期待されたほどの効果があげられなかったきらいはあったが、マイクロコンピュータが産業用ロボットに本格的に取り入れられるようになってからは急速に発達し、従来の産業用ロボットの面目を一新するようになった。

溶接はアーク熱、スパッタ、ヒュームなどを発生する悪環境下での作業であるため、将来溶接技能者、特に若年層技能者の不足が懸念されている。そのため、最近溶接の自動化に対する要望がとみに高まっている。我々は、これらの要望に応ずるため産業用ロボットとして計算機制御の溶接ロボット「ミスターアロス」を先に開発した<sup>1)</sup>。

「ミスターアロス」は、(1)複雑な動作が可能であること、(2)人間がその動作を容易にロボットに教示できること、更に、(3)できるだけロボット自身が作業内容を決め、(4)人間がロボットに教示する内容を少なくすることを基本方針としている。我々は、この基本方針に基づいて溶接ロボット「ミスターアロス」シリーズの一環として最近小形溶接ロボット「ミスターアロスジュニア」を開発した。

ここでは「ミスターアロス」の使用上での特長な機能について説明し、それがどのように利用されているかを紹介し、更に今後ロボットによる溶接自動化がどの方向に発展するかについて簡単に触れる。

更に、従来の専用自動溶接機にロボットの機能を付加することによって、より効果的な自動化、省力化を進めようというロボットとは別の、従来の自動化の延長線上にある溶接自動化の流れについても注目されるので、この点も産業用ロボットと関連をもたせて述べる。

### 2 「ミスターアロス」シリーズの特長

#### 2.1 操縦性

作業内容を教えて、それを再現するだけのプレイバック式の溶接ロボットでは、ロボット各軸の動きが互いに全く独立しているため、溶接トーチのねらい位置を任意の軌跡上に沿って、しかもトーチ角を自由に変えながら誘導することは極めて難しい。作業をロボットに教えるためには、まずロボットの手先についている溶接トーチ先端を溶接線に沿って誘導しなければならないので、ロボットの操縦性の良否がティーチングの容易性に直接関係する。そこで、プレイバック式ロボットの操縦性の悪い点を改善するために、**図1**に示すよう

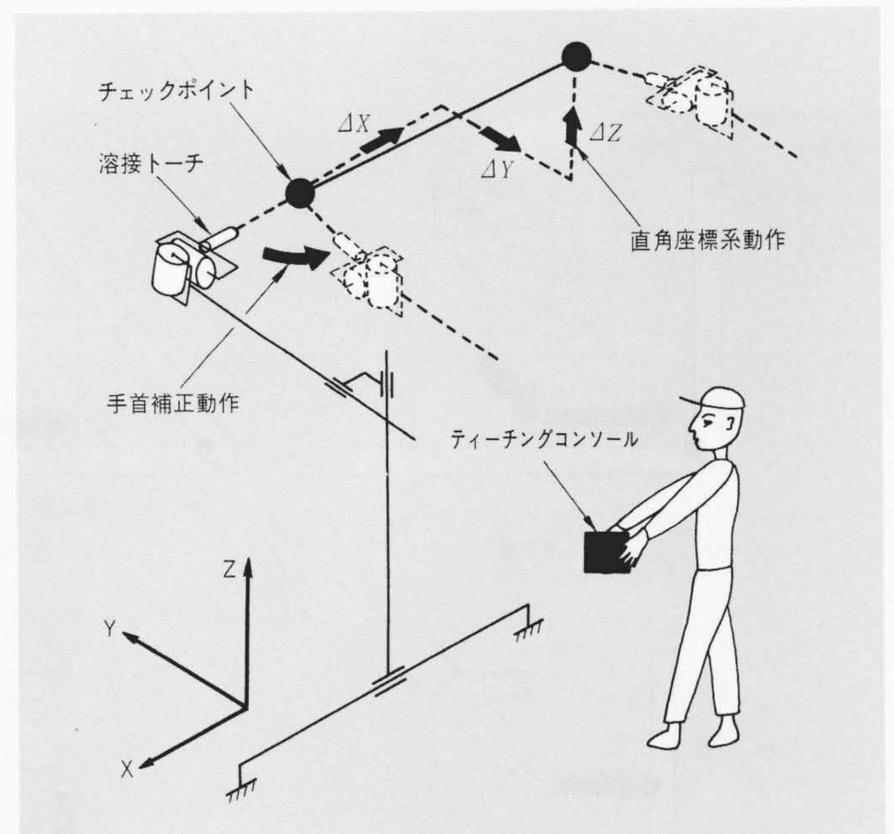


図1 「ミスターアロス」シリーズ(本ロボット)の操縦 ティーチングコンソールの操作ボタンによって、直角座標系動作と手首補正動作が行なえる。

\* 日立製作所日立研究所 工学博士 \*\* 日立製作所習志野工場 \*\*\* 日立製作所機械研究所 \*\*\*\* 日立精工株式会社

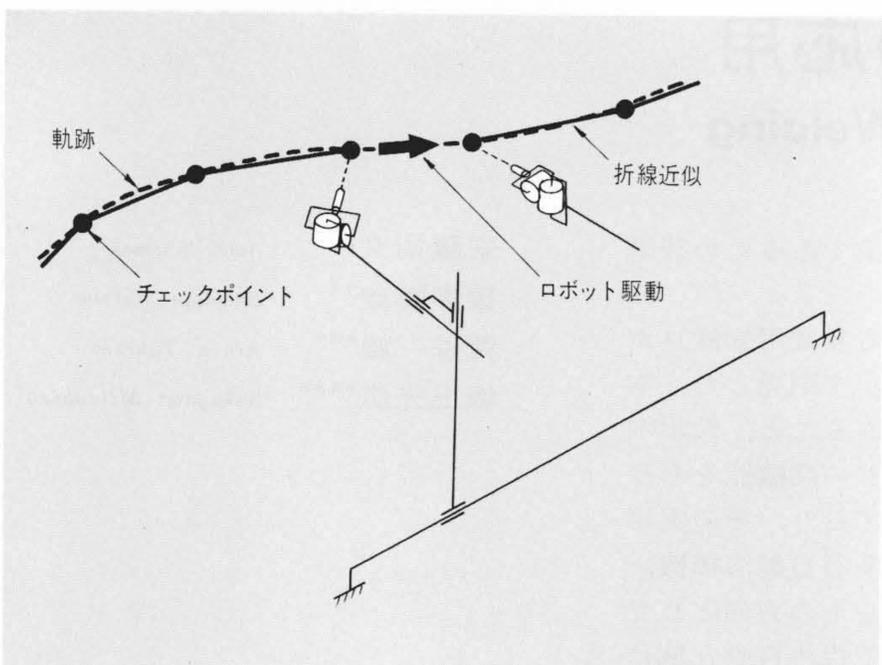


図2 「ミスターアロス」シリーズ(本ロボット)の制御ソフトウェアの基本的な考え方 チェックポイント間の誘導はロボットが行なうので、チェックポイントの検出をロボット自身が行なえば軌跡上の誘導はすべて無人で行なえる。

に、トーチ先端のねらい位置をティーチングコンソールのボタン操作に応じてX、Y、Z軸方向に指定された速度で動作する機能と、ねらい位置は変わらず、トーチ角だけが変えられる手首補正機能をもたせることにした。この手首補正によって、溶接ねらい位置とトーチ角度は全く独立に変えることができるので、溶接ロボットにとっては不可欠な機能である。

教示点が多いことも従来のプレーバック式ロボットの大きな難点であった。例えば、図2に示す軌跡上を溶接する場合は軌跡上に小刻みに数多くの点を取り、各点の位置とトーチ角をすべてティーチしこれを再現しているので、ティーチデータが膨大になり、ロボットの操縦に多大の時間と労力が必

要であった。そこで本ロボットでは、軌跡上の任意の点をチェックポイントとして選び、そのチェックポイント間を直線で結ぶようにロボットを計算機で駆動することにした。したがって、任意の曲線はチェックポイント間の折線で近似されるが、人間がロボットに教示するのはチェックポイントだけである。もしこのチェックポイントをセンサによってロボット自身で探索することができれば、人間が何も教えなくてもすべてロボット自身で溶接線を見つけ、無人で溶接作業を行なうことができる。このように考えると溶接ロボットの基本的な機能は、ロボット駆動による2点間補間とチェックポイントの算出による軌跡制御、及びチェックポイントの探索とに分けることができ、これらを組み合わせることによって、溶接ロボットの機能を多様化し用途の拡大を図ることができる。次に、溶接ロボットを活用するうえで重要なチェックポイントの探索について述べる。

### 2.2 溶接線の検出

「ミスターアロス」は2点から直線を求め、更に二つの直線の交点を算出する機能をもっているので、溶接線が直線で構成されている場合はその各直線上の2個のチェックポイントを検出することによって全溶接線を決定することができる。

図3に、チェックポイントが検出できるワークの形状を示す。溶接トーチには同図に示すように、水平方向及び垂直方向の鋼板との近接距離が測定できる非接触センサが2個取り付けられている。同図(a)のように、鋼板が互いに直交している場合には図示した探索動作を行なうことによって、鋼板の位置から鋼板の交線上のチェックポイントの位置を求めることができる。鋼板が同図(b)のように傾斜している場合は、検出点から補正量を求めチェックポイントを算出することができる。また、鋼板が同図(c)のように鈍角に大きく傾斜している場合は、傾斜鋼板に対してセンサの接近方向が垂直になるように探索動作を行なえばチェックポイントを検出することができる。

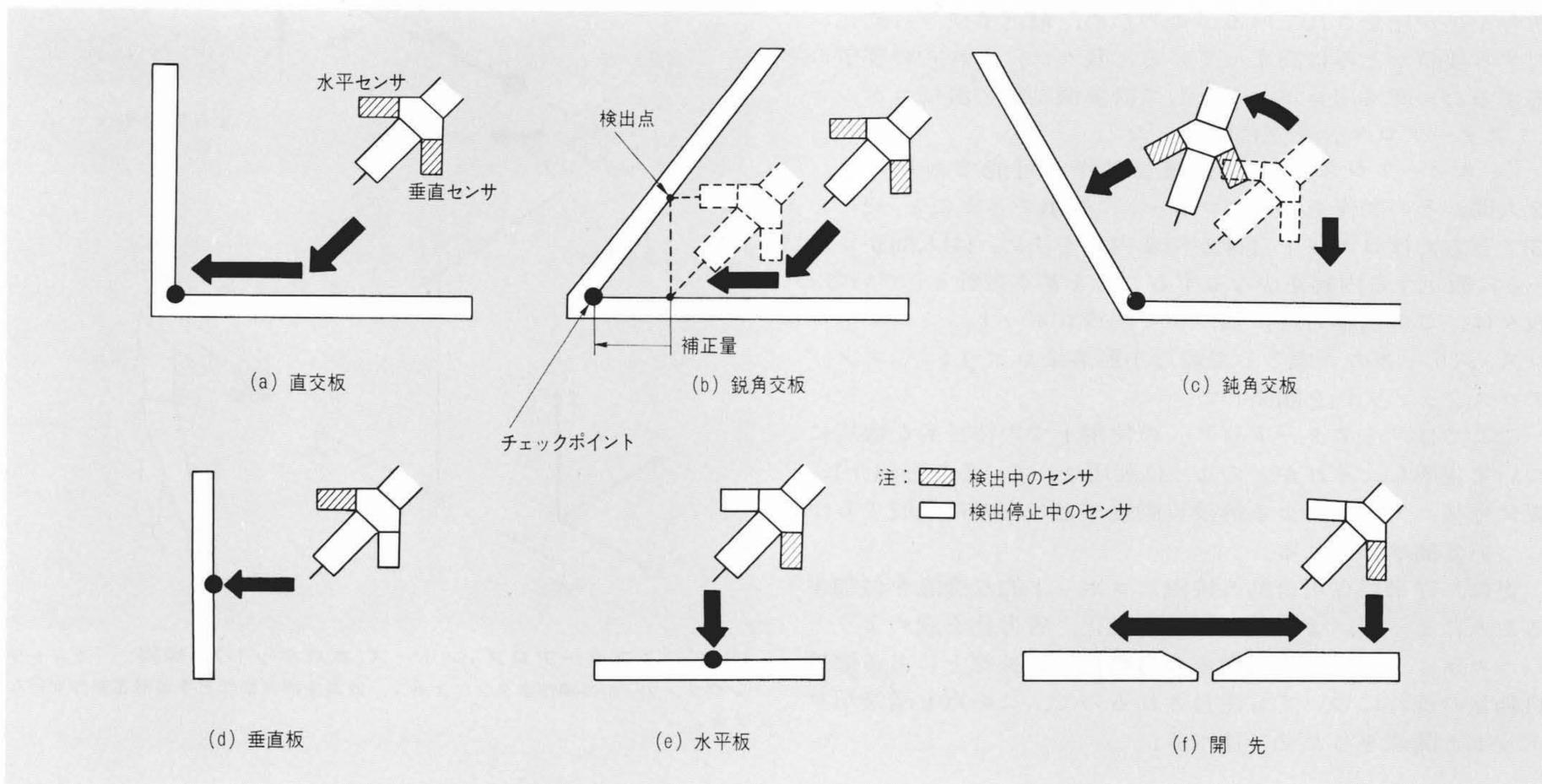


図3 チェックポイントが探索できるワークの形状 センサで検出する近接距離とセンサの位置から、チェックポイントの位置を算出する。

チェックポイントが直接検出できなくても、チェックポイントとの定量的な関係が明らかな場合、適当な基準点を検出することによってチェックポイントを算出することができる。基準点が鋼板である場合、二つのセンサのうちどちらかを効かすことによって検出することができる。すなわち、同図(d)、(e)の場合、水平センサか垂直センサかのどちらかを働かせて鋼板を検出することができる。同図(f)の開先については鋼板を検出し、そのあと鋼板との距離を一定に保ったまま鋼板に沿って揺動運動を行なわせ、センサの出力から開先の中心位置、及び幅も検出することができる。

このような方法を組み合わせることによって、かなり複雑な溶接線の検出が可能である。

また、「ミスターアロス」はセンサと鋼板との近接距離を一定に保ったまま溶接トーチを駆動することができるので、溶接線が曲線の場合でも、ならい動作を行なわせることができる。

次に、最近開発された小形溶接ロボット「ミスターアロスジュニア」についてごく簡単に紹介する。

### 2.3 「ミスターアロスジュニア」

本ロボットは小形ワークの溶接に「ミスターアロス」を手軽に導入したいという顧客の要望に応じて開発したもので、その外観を図4に、標準仕様を表1に示す。ロボット本体を小形化したことにより、ロボットに必要な配線、配管はベースから可動部に直接供給する一体構造と簡略化し、溶接ワイヤ送給モータを上部に取り付け溶接電源ケーブルなど溶接関係配線、配管だけを後方から供給するようにした。手首の曲げ軸は「ミスターアロス」と異なり0度、22.5度、45度(真下から)と手動で切り換えて使用するが、トーチ先端には2個の非接触式センサを備えており、制御装置もマイクロコンピ

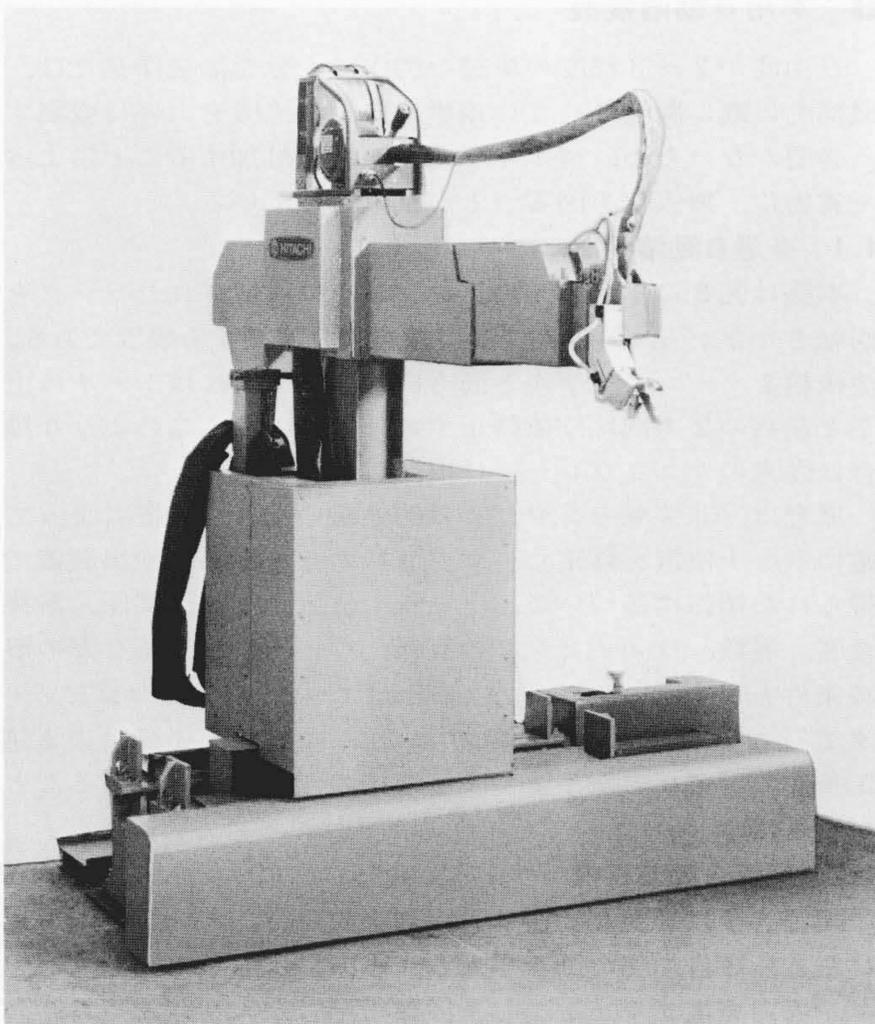


図4 「ミスターアロスジュニア」(溶接ロボット)の外観 「ミスターアロス」に比べて大きさが一まわり小さいだけで、「ミスターアロス」の機能をほぼ備えている。

ュータを中心に構成した「ミスターアロス」と同じものを使用している。したがって、「ミスターアロス」より動作範囲が狭いだけでほとんど同様な次の特長をもっている。

- (1) ワークの状態に応じて自分で軌道修正を行なう。
- (2) 同一形状のワークは一度のティーチで何個でも自動溶接が行なえる。
- (3) 溶接線の自動検出が行なえる。
- (4) 溶接トーチの姿勢制御が1個のボタン操作で行なえる。
- (5) 最低のティーチ点できれいな連続溶接が行なえる。
- (6) コーナ部分でも連続して自動溶接が行なえる。
- (7) 曲率半径 300mm以上の曲線部分では、ならい溶接が行なえる。
- (8) ティーチデータの部分修正、部分追加も行なえる。
- (9) ティーチデータの保存ができ、またテープの交換により多種類のワークの溶接も行なえる。
- (10) 非常処理、異常処理、合理性のチェック及び取扱いを考慮して二重、三重の安全対策を施こしてある。

### 3 「ミスターアロス」シリーズによる溶接自動化例

「ミスターアロス」納入後のユーザーでの活躍は当初の予想以上であり、その一例は技術雑誌などにも既に紹介されている<sup>2),3)</sup>。「ミスターアロス」の活躍中の状況を図5に示す。この「ミスターアロス」は、図6に示すように油圧パワーショベルのセンタフレームの溶接を行なっている。同図でも分かるようにワークは箱形で、溶接線はほとんど直線で構成されており、しかも各溶接線は直交する鋼板のすみ肉部であるため、「ミスターアロス」の得意とする作業である。部材精度や仮組精度が多少悪くても、またワークのポジションへの位置決めが正確でなくても、溶接前にロボットが自分自身で溶接

表1 「ミスターアロスジュニア」(溶接ロボット)の標準仕様  
「ミスターアロス」に比べて動作ストロークが小さいだけで、「ミスターアロス」のもつほぼ全機能を備えている。

項目	ストローク	速度 (mm/min)	早送り (mm/min)
ロボ ット 本 体	腕 垂直(Z)	500mm	100~1,000
	腕 水平(Y)	700mm	"
	腕 横送り(X)	1,500mm	"
	手首 振り(SW)	±100度	"
	手首 曲げ(BD)	0度, 22.5度 45度(直下から)	—
位置再現精度	±0.3mm		
油圧源	常用圧力 70kg/cm <sup>2</sup> , 流量 15l/min		
空気源	4kg/cm <sup>2</sup> 以上		
所要床面積	900×3,500mm		
重量	850kg(ロボット本体)		
駆動方式	電気-油圧サーボ		
制御方式	PTP(ポイント ツー ポイント) ティーチ方式によるCP(軌跡)制御		
演算機能	現物ならい演算, すみ位置連続演算, すみ位置自動演算		
外部記号	38種(溶接条件選択8種, 溶接速度選択6種, ポジション停止点選択7種, その他17種)		
記憶容量	512ステップ		
位置情報の自動修正	PTPは各記録点の修正, CPは区間単位で修正		
電源	200V(±10%)三相50/60Hz, 10kVA 100V(±10%)50/60Hz, 1kVA		

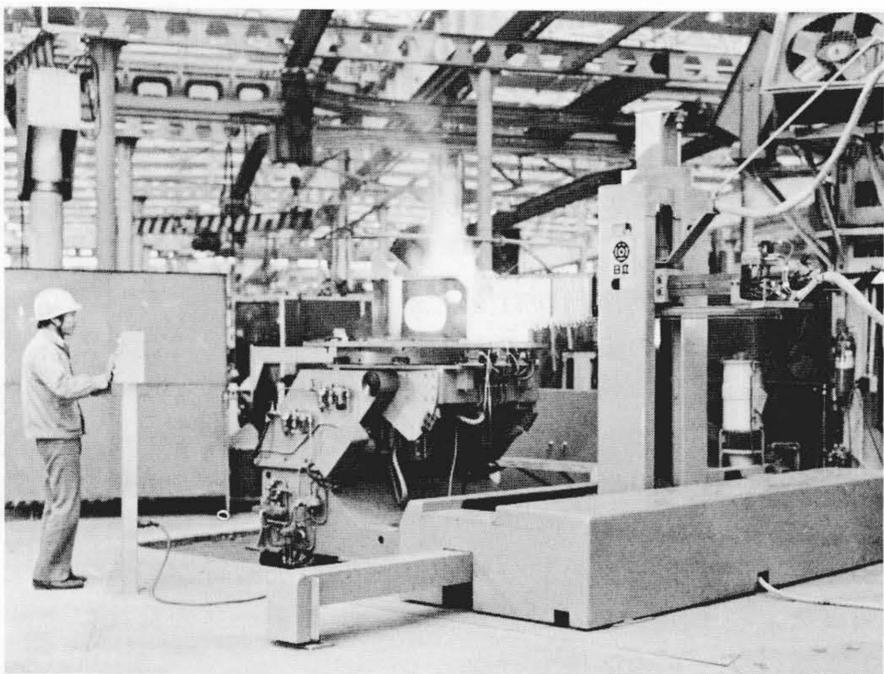


図5 溶接作業中の溶接ロボット「ミスターアロス」 ロボット自身で溶接線を検出し、無人で休みなく炭酸ガスアーク溶接作業を行なっている。

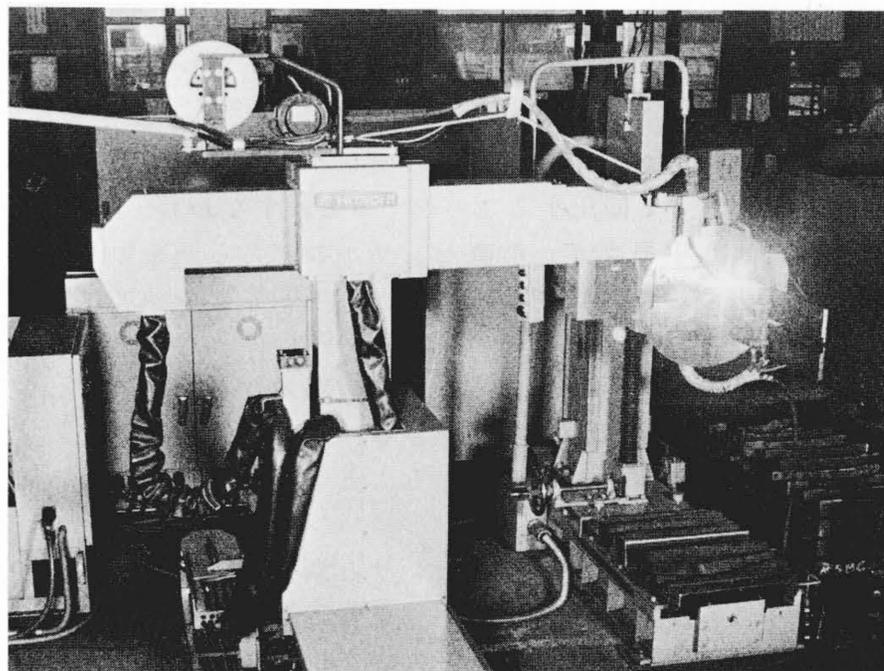


図7 「ミスターアロスジュニア」の稼動状況 電磁ブレーキ部品の炭酸ガス溶接を行なっている。

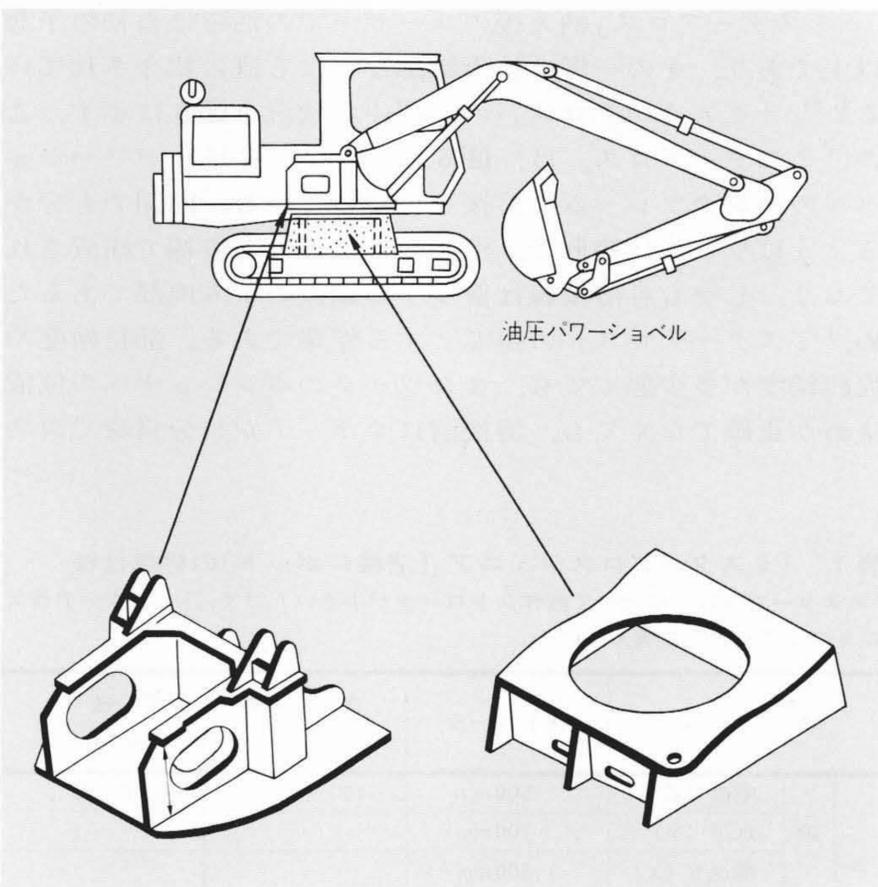


図6 油圧パワーショベルのセンタフレーム 中厚鋼板製の箱形構造であるため、「ミスターアロス」の得意とするワークの形状である。

線を正確に検出、確認してから溶接を行なうので、人間は何も手助けをする必要はなく、始動ボタンを押したあとは無人で溶接作業を行なっている。従来、単なるプレーバック方式の溶接ロボットでは、溶接作業そのものは省力化できても、部材加工、組立作業の精度をあげなければならず、ワークの位置決め精度も難しかった。このためせっかくロボットを導入しても、使いにくいとか、特定のワークにしか使えないといった別な問題が生じていたが、「ミスターアロス」ではこれらの問題も含めて解決することができた。

本ロボットの主な機能は制御プログラムに集約されているので、新しい制御プログラムを開発することによって機能が拡充できる可能性もある。特に溶接作業は施工上のノウハウが重要とされているので、それをデータ化してロボットに教えることにより、高度な溶接作業が可能である。逆にロボッ

トにいろいろ条件を変えて溶接を行なわせ、最適の条件をデータ化することもできる。「ミスターアロス」では他の付属装置を使わずにこれらのことが簡単にでき、従来の専用溶接機では考えられなかった大きな効果をあげている。

図7は「ミスターアロスジュニア」の稼動中の状況を示すもので、「ミスターアロス」同様、中厚鋼の溶接に適しており、電磁ブレーキ部品の溶接を行なっている。このほか、ギヤモータのケーシングの溶接なども行なっている。

このように、溶接ロボットは導入した生産技術者の熱意にも支えられ、次々と新しいワークの自動化が進められており、またロボット向きの生産設計にワークも変わりつつある。

#### 4 専用自動溶接機

自由度が2～3程度の単純な動作で十分な溶接作業では、機構的に既に開発されている専用自動溶接機を大幅に変更する必要がないため、ロボットの機能を付加することによって省力化、無人化を図ることが試みられている。

##### 4.1 多層自動溶接機

本機は図8に示すようにポジションに設置されたワークを回転させながら、円周状の溶接線を自動溶接する装置である。溶接線をターンテーブルと同心円状に設置すればトーチは上下と左右の2方向に位置修正すればよいので、このような場合は従来のマニプレータに取り付けて用いる。

原理は、非接触センサによる開先縁のならい装置によって常にトーチ位置を修正し、ローラ状のビード高さ検出装置で得られた情報に基づいて、トーチの位置、電流、電圧、溶接速度、層数、ウィーピングの有無、ウィーピング幅などの溶接条件を決定する。これらの制御はすべてマイクロコンピュータで行なわれるので、溶接中のアーク監視、手動による施工条件の変更などが不要で多層溶接の無人化を実現することができた。

##### 4.2 配管自動溶接機

配管溶接に必要な動作は、円周上の走行、トーチの上下及び左右の3自由度の動きである。本機は、原子力発電プラント、火力発電プラントなど多種類の配管が入り組んでおり、狭いところが多いなど、作業条件が悪く、しかも高品値が要求されるところに用いられる。

本機は、図9に示すようにキャリヤと一体化されたガイド



図8 ケーシングの溶接中の多層自動溶接機 ビードの高さを検出し、その値に基づいて溶接電流、電圧、ウィーピング幅などの溶接条件を決定して、パルスMIG溶接を行なっている。

リングと溶接ユニット、センサユニット及びドライブユニットに分割されており、任意に取付け取外しができる。非接触センサと溶接トーチは互いに独立しており、センサで溶接部を検出し、その情報に従って溶接トーチを駆動して多層自動溶接を行なう。溶接中は溶接ユニットに取り付けた小形テレビカメラで遠隔監視を行なうことができる。ドライブユニットは、各ユニットを円周上に走行させる機構のほかに、心線供給装置ももっている。

本溶接機は、溶接後溶接ユニットをグラインダをもつ自動仕上げ装置と交換してビードの仕上げを行ない、更に、触覚ユニットを超音波探傷ユニットに交換することによって超音波検査が可能である。

本機は、駆動制御及び溶接条件制御は計算機（HIDIC 08）で行なわれているため信頼性の高い溶接が行なえる。

#### 4.3 枝管自動溶接機

本機は、母管上に直交して取り付けられた枝管の溶接を行なう自動機である。母管と枝管との溶接線はくら形状の軌跡をしている。溶接トーチのねらい位置をこの軌跡に沿って動かすために、溶接トーチを枝管の中心軸の周りに回転させ、それに同期して同軸上を摺動させている。また常に下向き溶接を行なうために、ワークと上述の駆動部とを一緒に母管の中心軸に対して回転させているが、これらの動作は演算制御によって行なっている。溶接条件の設定、トーチの位置決め、母管のチャック及び位置決めの操作が簡単なため作業能率が良い。図10に外観を示す。

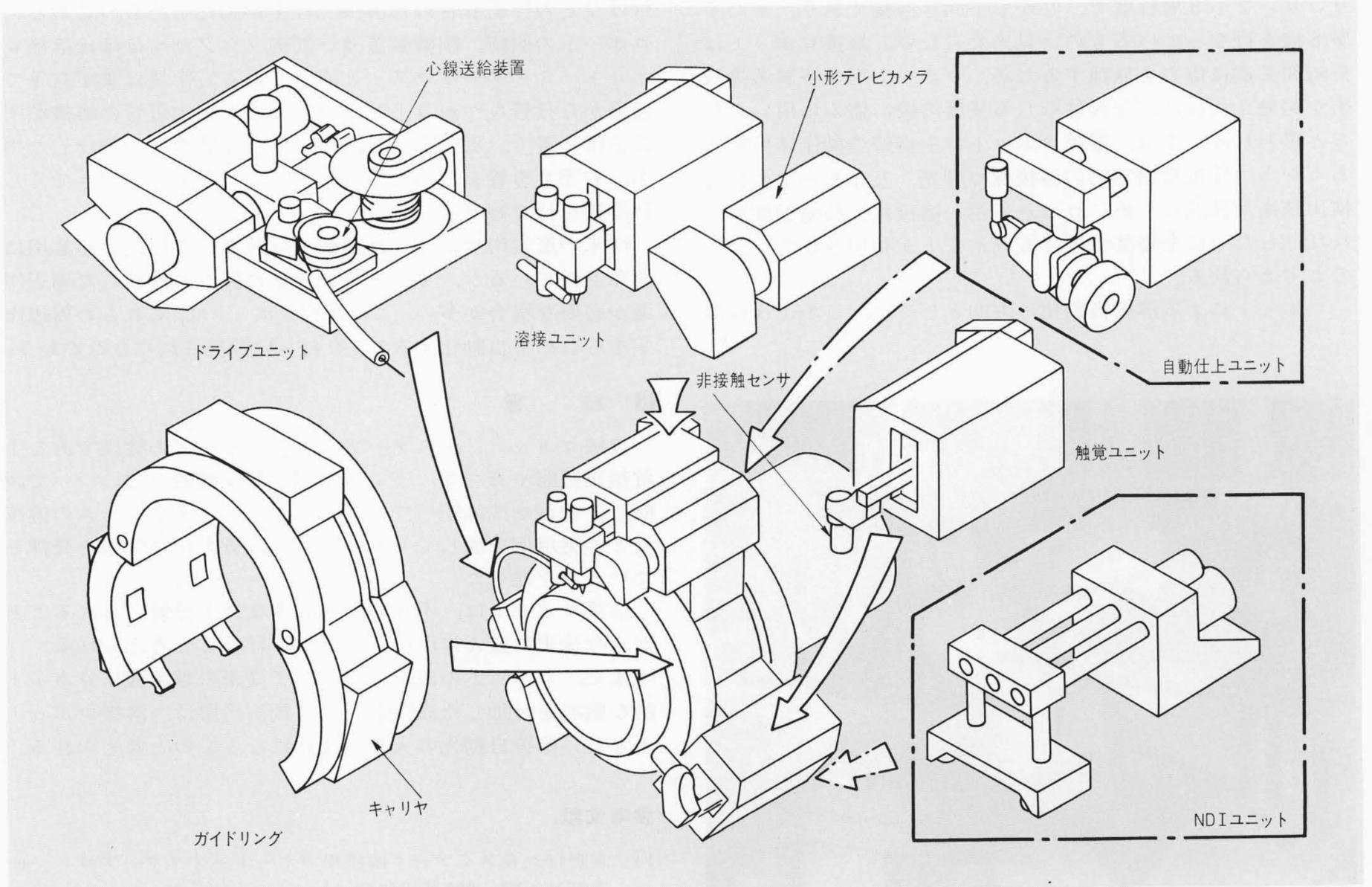


図9 配管自動溶接機 非接触センサをもつ触覚ユニットで開先を検出し、溶接ユニットのトーチでTIG溶接を行なう。全体はガイドリング上を円周上に駆動し、溶接中は小形テレビジョンで遠方監視し遠隔操作ができる。また、自動仕上げ、超音波検査も可能である。

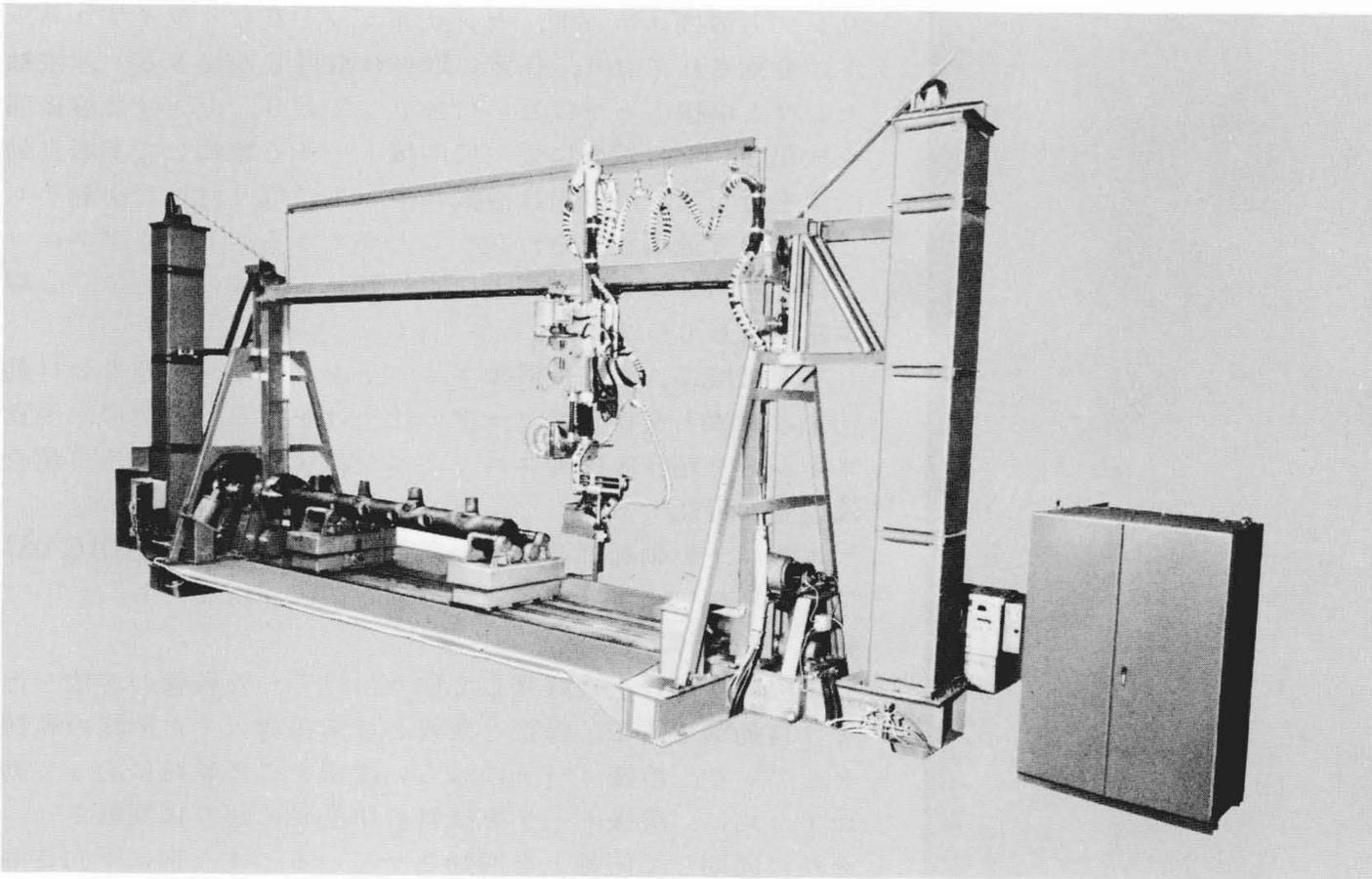


図10 枝管溶接機 溶接トーチは枝管の円周を回ると同時に、母管とともに回転し、常に下向きで溶接を行なう。

## 5 ロボットによる溶接自動化の今後の方向

動作が単純な専用自動溶接機では、全姿勢の多層溶接も行なっているが、多自由度を必要とする複雑な動作を伴う溶接作業を対象とする溶接ロボットの場合は、ほとんどが単層かせいぜい2～3層程度で、しかも下向き溶接であり、まだ多層溶接を行なっているものは見当たらない。溶接ロボットは長時間労働に偉力を発揮するため、ロボット用の多層溶接技術が開発されれば、今後はむしろ多層溶接に盛んに用いられると思われる。また、溶接ロボットは全姿勢の動作は可能であるから、複雑な構造物の溶接線や開先、及びビードの形状検出技術が発達し、更にロボット用の溶接施工技術が開発されればだいに全姿勢溶接にもロボットが利用されていくものと考えられる。

ロボットによる溶接自動化の方向としては、このように溶

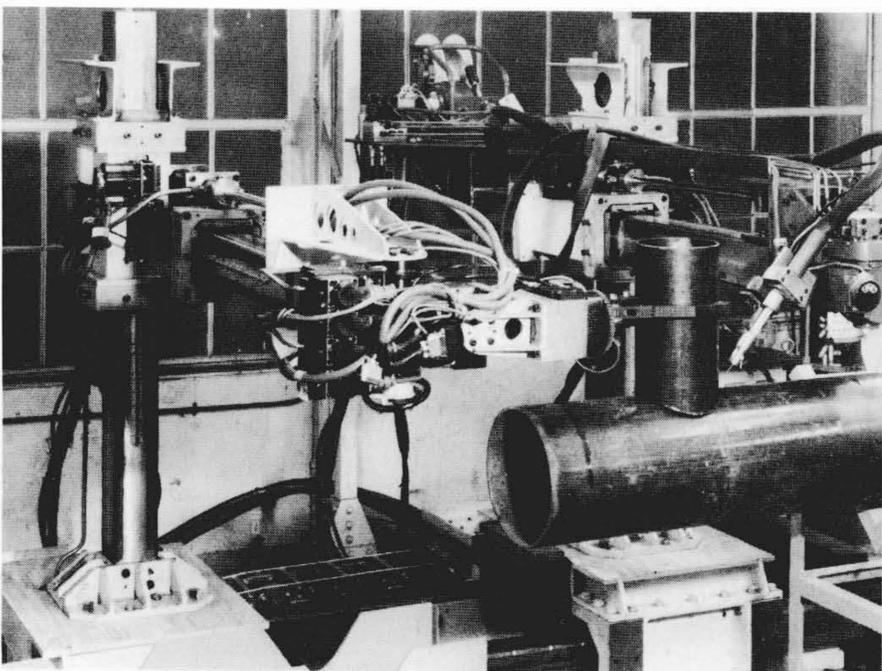


図11 複腕ロボットによる枝管溶接 向かって左の手で置場から枝管をつかみ上げ、母管にセットし、右手の溶接トーチで仮付けしたのち、くら形溶接を行なう。

接ロボットに高度な溶接技能をもたせようという方向のほかに、次に紹介する複腕ロボットのように溶接作業に付属する周辺作業も含めて自動化しようという傾向がみられる。

図11は右手(向かって左側)にハンドリング装置、左手に溶接トーチをもった複腕ロボットで、枝管溶接作業で組立一仮付けなどの作業も含めた溶接工程を自動化したものである。ロボットの機構、制御装置及び制御プログラムはほぼ溶接ロボット「ミスターアロス」と同じである。作業はまず右手で置場から枝管をつかみ上げ、つかんだままで母管の溶接箇所を正確に置く。次に左手の溶接トーチで数箇所仮付けしたのち、右手で母管をつかんで回転させながら常に下向きでくら形溶接を行なわせている。

従来の産業用ロボットは溶接や塗装など専用の作業用に開発されているが、その作業には常に何かの付属した周辺作業が必要な場合が多い。この複腕ロボットは、これらの周辺作業をも含めて自動化することをねらい開発されたものである。

## 6 結 言

溶接ロボット「ミスターアロス」シリーズの特長である手首補正機能やセンサによる溶接線の探索機能などについて説明し、合わせて油圧パワーショベルのセンタフレームの溶接などの実用例を通してそれが自動化、省力化に偉力を発揮している点を述べた。

溶接ロボットは、不休の長時間作業に十分耐えられることから今後更に盛んに用いられるようになると思われる。

また、ロボットの波及効果として従来の専用機にロボットの機能を付加した高機能専用自動溶接機は、溶接ロボットとともに溶接自動化の大きな流れになるものと考えられる。

## 参考文献

- 1) 高野ほか6名：アーク溶接用ロボット「ミスターアロス」日立評論, 57, 825 (昭和50-10)
- 2) 土橋ほか：中厚板溶接構造物を対象した大形溶接ロボット, 溶接技術, 23, 71 (昭和50-10)
- 3) フォトルポ, 省力と自動化, 8-2 (昭和52-2)