

アーク溶接用ロボット「ミスターアロス」

Robot for Arc Welding “Mr. AROS”

日立製作所は、このたび高機能ロボットの一環として、電気-油圧サーボによるアーク溶接用ロボットを開発、製品化した。

本機は、中厚板構造物のアーク溶接の自動化をねらったもので、従来この種のロボット化は難しいとされていた。これは、中厚板構造物では板の切断誤差、セット誤差及び溶接ひずみが避けられないからである。本機では、あらかじめ教えられた軌道の自己修正能力をもたせることにより、上記の問題を解決した。

また、この種の構造物で必ずもっているコーナ部分でも簡単なティーチングによって連続的に自動溶接できるようにした。

これらは、新しく開発したセンサとマイクロコントローラの組合せにより達成したものであり、この手法は今後の産業用ロボットのあり方を示すものと言えよう。

高野悠敬*	Yutaka Takano
安藤文蔵**	Bunzô Andô
安藤司文***	Shimon Andô
上野雅弘***	Masahiro Ueno
荒谷 雄****	Takeshi Araya
榎本勝雄*****	Katsuo Enomoto
土橋 亮*****	Akira Tsuchihashi

1 緒 言

我が国の鉄鋼生産が世界のトップレベルにあることにみられるように、鉄材を用いた機械装置、構造物の生産も増え、特に近年は大形化の傾向が見られる。組立についても原価低減を目的として、ボルト組立から溶接組立、溶接構造化され、溶接量はしだいに増大してきている。この中にあって、溶接技術者の不足が以前より叫ばれ、溶接の能率向上、信頼性の向上を図るため、自動化、省力化が進められ、このことがメーカーの最大の課題であった。ドルショック、オイルショック後でも溶接技術者、特にそのうち若年層の不足が叫ばれている。特にアーク溶接作業は、アーク熱、スパッタ、ヒュームなどを発生し作業環境が悪く、しかもこの中で神経を棒先に集中し、マスクを付け、溶接線のねらい位置を正確に保ちながら等速で手を動かす作業であるため、高年齢者の長時間労働は無理とされている。

昭和45年ごろより、産業用ロボットがこれからの省力化、省人化の担い手として華々しく登場し、自動車産業では、スポット溶接の自動化にその威力を発揮してきた。しかし、アーク溶接の分野では実用化の決め手を欠き、ごく一部でしか使用されていない。この理由は、アーク溶接の場合、溶接線アークのねらいがわずかに狂っても所定の脚長と強度が得られず、溶接品質に直接影響することにある。特に、中厚板構造物では、ワークの切断誤差を薄板プレス品なみに収めることは難しく、溶接時の熱ひずみによる変形も起こってくる。すなわち、これらの対策に決め手がなかったからである。

筆者らは、上記の問題をまずユーザーの立場から検討を始めた。その結果、これらの作業に最適なロボット機構を決め、耐熱非接触式センサ及び小形手首などを開発し、マイクロコントローラを頭脳とした制御的に柔軟性の高い画期的な装置を完成し、これを「ミスターアロス」、**“Mr. AROS”** (Arc Welding Robot with Sensor) と名付けた。

2 基本構想

中厚板構造物の自動溶接を目的としたロボットの機能として、ユーザーの意見、従来の経験から基本構想を次のよう

に立てた。

(1) ワークに合わせ溶接位置の変更ができるようにする。

ワーク切断誤差、セット誤差及び熱ひずみによる誤差を修正するための機能をもたせる。

(2) 箱物構造物に最適の構造とする。

直線構成が多いので直角座標系とし、手首は振り軸と曲げ軸を設け、極力小形にする。

(3) 箱内・外の作業に適するよう制御装置を高度化する。

内コーナの連続溶接とティーチングの容易化のため、各軸の連動を考える。また正確なティーチングをしなくてもよいようにする一方、装置の取扱いを極力容易化する。

(4) 細心の安全対策を施す。

機械的インタロック、制御のハード、ソフト両面からのインタロック、異常検出、表示などを考える。

3 装置の概要

3.1 全体仕様

本機は基本構想に基づいて開発した電気-油圧サーボ駆動による中厚板溶接用ロボットで、この意味では我が国最初のものと言える。その標準仕様を表1に示す。

3.2 ロボット本体

本体は角柱を組み合わせ、レール上を動く直角座標系とし、手首の2自由度と合わせ5自由度をもっている。駆動には油圧の往復動式アクチュエータを採用し、信頼性と保守性の向上を図った。また手首には、2自由度を一体化した二軸揺動モータを開発し、フレキシブルホースを排除して小形化を図った。図1に外観を、図2に寸法を示す。

3.3 センサ

今回開発した非接触式センサは、アーク溶接特有のアーク熱、アーク光、ヒューム、スパッタ、外部ノイズ、ワーク表面状態などの影響を極力受けないように考慮されている。

その原理は、磁束の変化を利用したもので、図3に示すように、励磁コイルC₀、検出コイルC₁、C₂から成っている。

検出コイルC₁、C₂を同一巻数、差動結線とすることで溶接

* 日立建機株式会社土浦工場 ** 日立精工株式会社 *** 日立製作所日立研究所 工学博士 **** 日立製作所機械研究所
***** 日立製作所習志野工場

表1 「ミスターアロス」標準仕様表 本体はX, Y, Zの直角座標を採用している。これら3軸のストロークは、我が国最大のものである。

項 目		ストローク	速 度 (mm/min)	早 送 り (mm/min)
ロ ボ ッ ト 本 体	垂 直(Z)	1,300mm	70~700	8,000
	水 平(Y)	1,100mm	"	"
	横送り(X)	2,000mm	"	"
	振り(SW)	±90度	"	"
	曲げ(BD)	-5~50度(直下から)	"	2,000
制 御 装 置	位置再現精度	±1.0mm		
	油 圧 源	常用圧力70g/cm ² , 流量21l/min, タンク容量100l		
	空 気 源	4 kg/cm ² 以上		
	所要床面積	1,380×4,690mm		
	重 量	1,500kg(ロボット本体)		
制 御 装 置	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) ティーチング方式によるCP制御		
	演 算 機 能	現物ならい演算, すみ位置連続演算, すみ位置自動演出		
	外 部 記 号	38種(溶接条件選択 8 種, 溶接速度選択 6 種, ポジションナ停止点選択 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	電 源	200V(±10%) 三相 50/60Hz 35kVA 100V(±10%) 50/60Hz 2.5kVA		

注：オプション 1.ウイーピング機能 2.蛇腹保護カバー

中でもワークとの間に発生したうず電流による磁束の変化分だけを取り出せる。従って、センサの出力電圧は、距離 l に比例したアナログ電圧として得られる。

センサは小形軽量で且つワンタッチ交換が可能であり、ワークが金属であればすべて利用できるようになっている。表2にセンサの外観を図4に仕様を示す。

センサの応用分野は広いが、本溶接ロボットはすみ肉溶接を主体にしているので、センサ及びトーチ位置の修正装置をもち、二次元的に利用している。

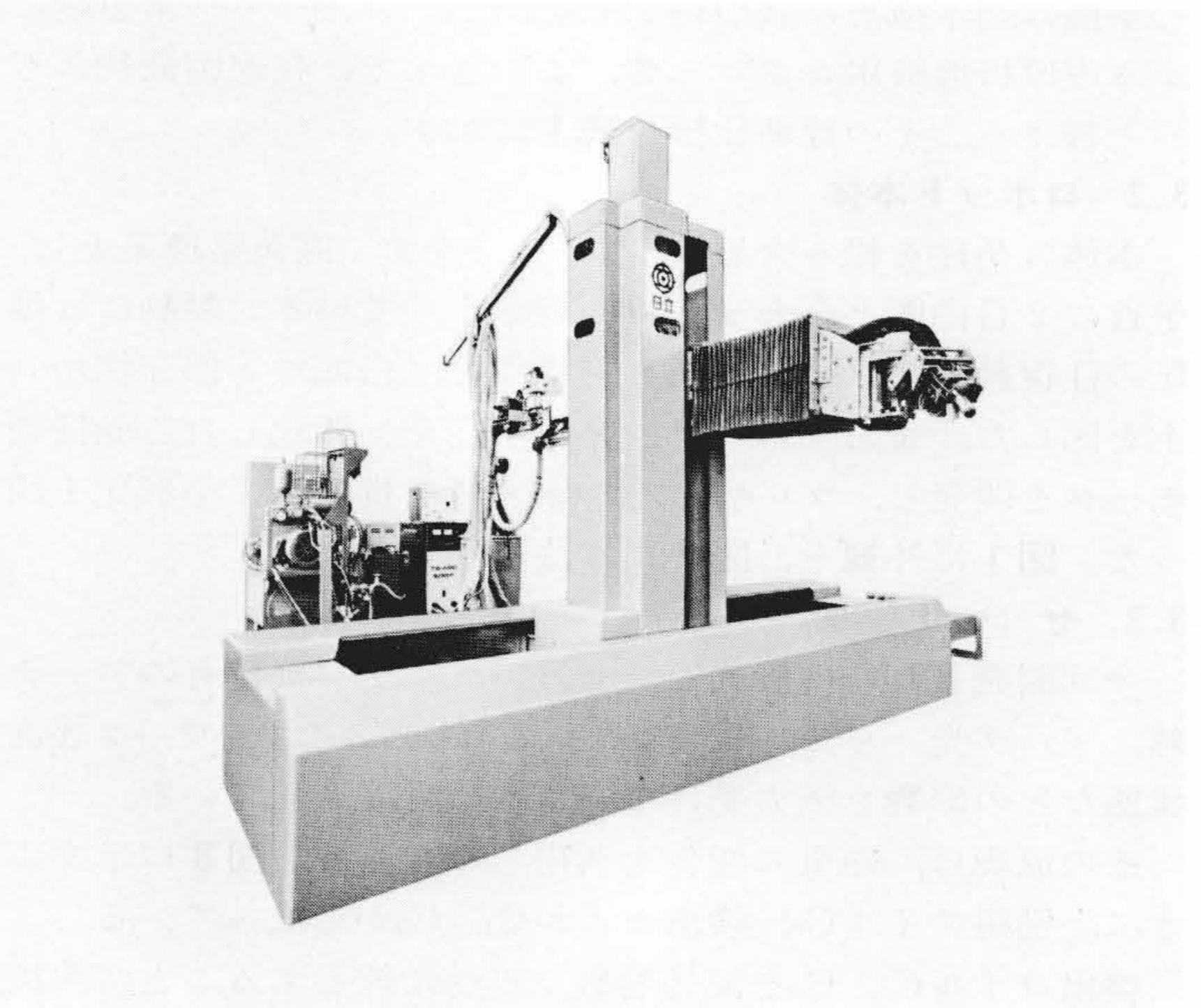


図1 アーク溶接用ロボット「ミスターアロス」 ロボット後方は、左から油圧源、冷却水装置、溶接機電源、ケーブル用スタンド及びワイヤ引出し装置を配置した。

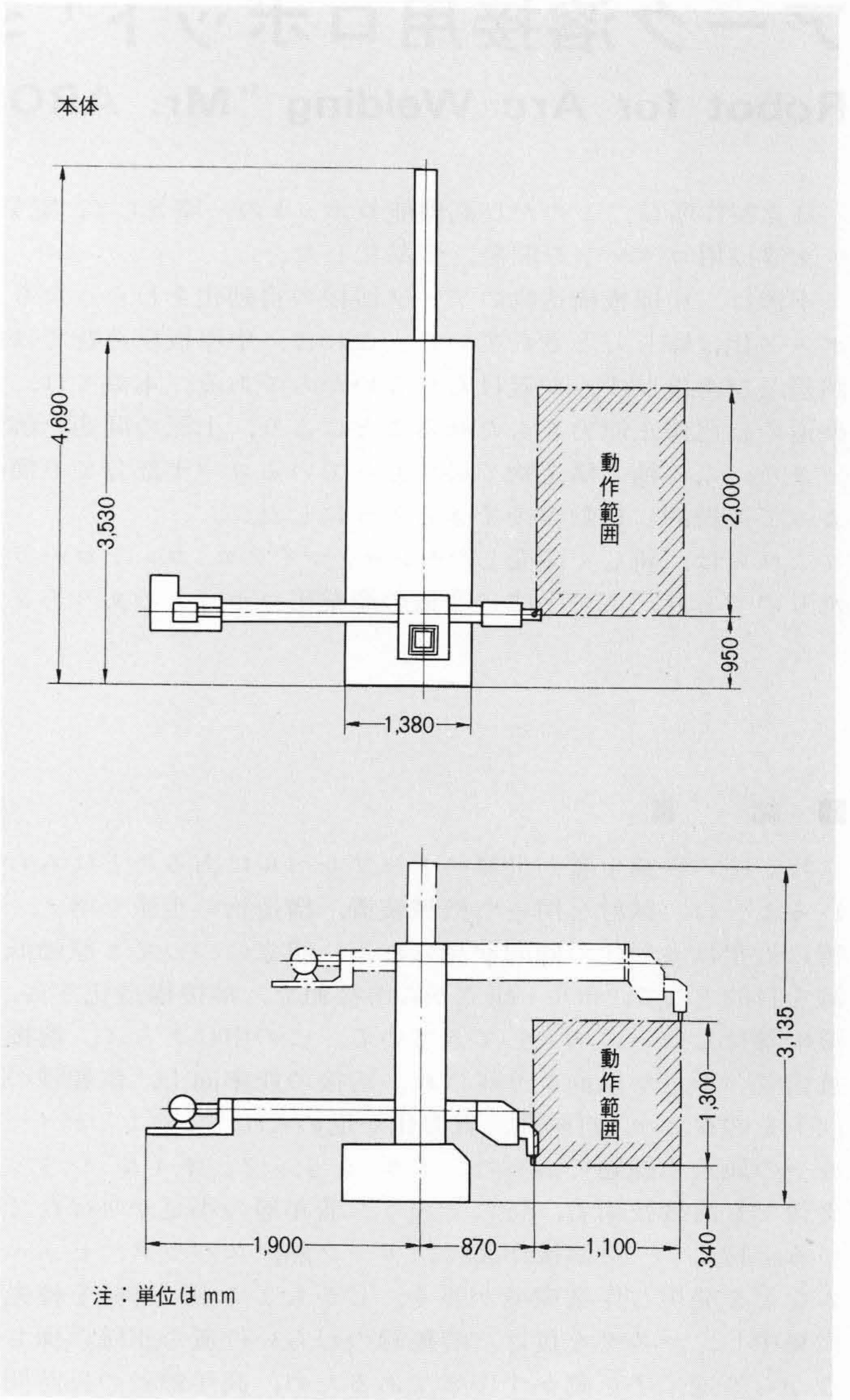


図2 ロボット本体主要寸法図 ロボット本体は、分解せずにトラック輸送することができる。

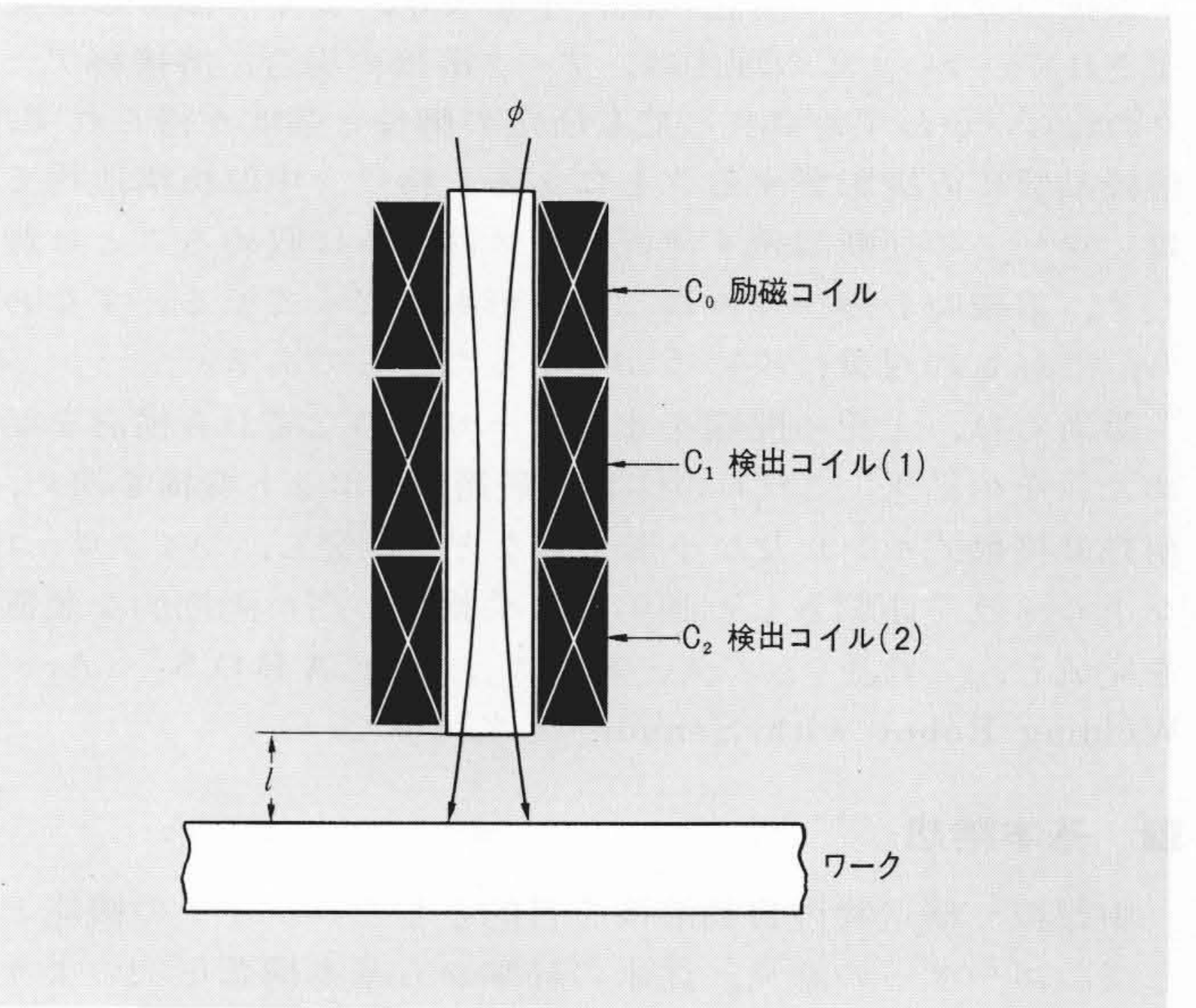


図3 センサ原理図 検出コイル(1), (2)を差動結線して、母材間距離 l の変化量を検出する。

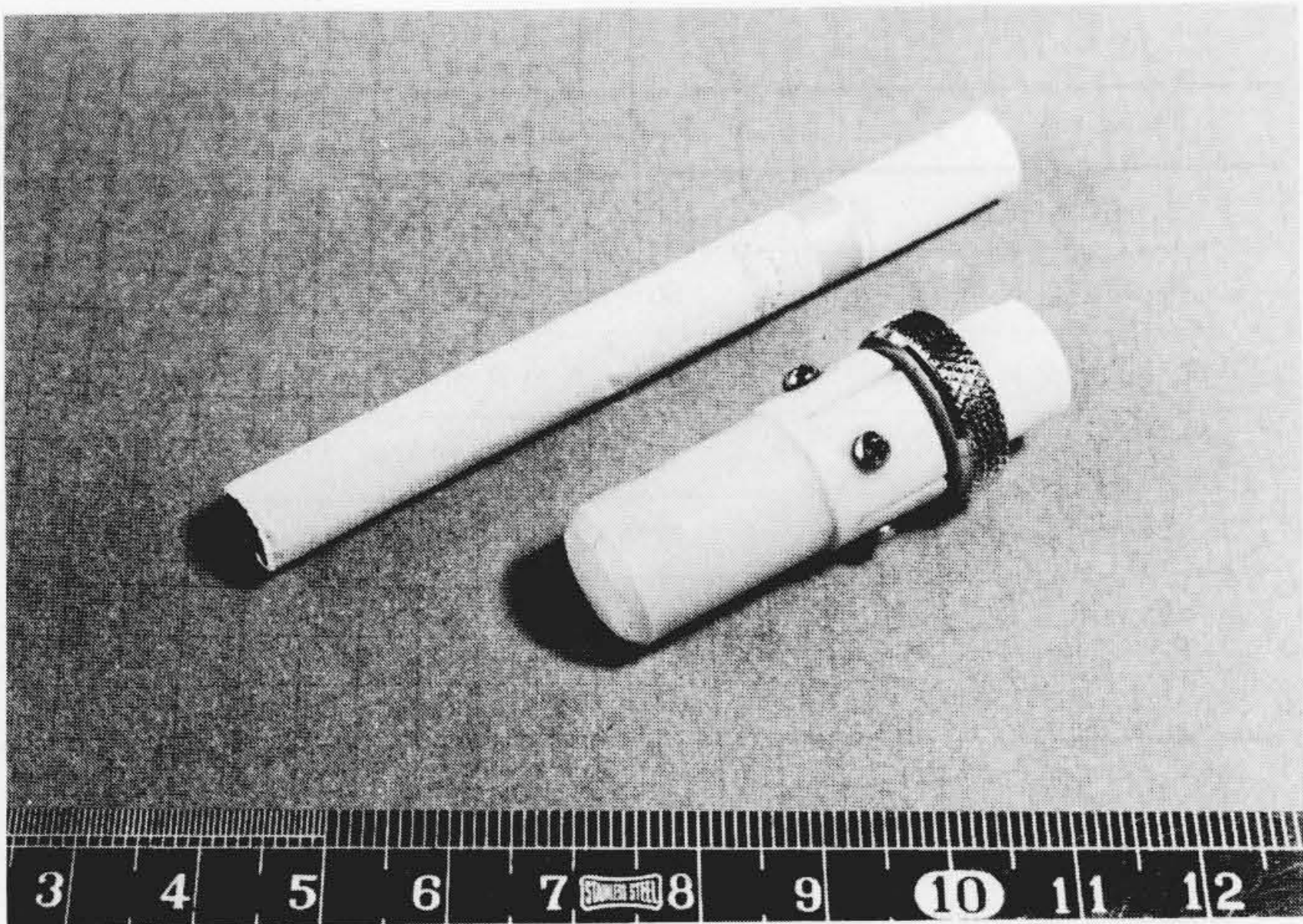


図4 センサ 写真中のたばこと比較して分かるように、非常に小形にできている。

3.4 制御装置

本システムは基本制御方式としてPTP(Point to Point)制御+直線補間方式を採用し、これと新開発のセンサを組み合わせることで基本構想を実現したもので、次の制御機能をもっている。

- (1) センス機能(溶接線への溶接トーチ自動位置決め機能)
- (2) ならい制御機能(ならいによるオンライン軌道修正機能)
- (3) チェック機能(ワークの寸法誤差や取付誤差に適応するオフライン軌道修正機能)
- (4) コーナ点座標演算機能(すみの位置データを演算する機能)
- (5) 手首補正機能(手首回転時のトーチ先端静止機能)

制御装置の構成は、マイクロプロセッサを用いたマイクロ

表2 センサ仕様表 被検出材に穴があっても、7φ以下ならば有効に動作する。

項 目	仕 様
非 接 触 設 定 距 離	2 ～ 6 mm(可変)
標 準 設 定 距 離	5 mm
制 御 出 力 電 圧	2 V/mm
センサ最高使用温度	200℃
制御回路使用温度	－10～60℃
設 定 精 度	±10%
セ ン サ 寸 法	13φ×45 l
セ ン サ 重 量	19g

コントローラを中心に、上記機能の大部分をソフト化し、部品点数の減少、信頼性の向上を図った。図5に制御装置の構成を、図6、7にオペレーションコンソール、ティーチングコンソールの外観をそれぞれ示す。

記憶装置はオンラインで使用するコアメモリと、オフラインで作業プログラムの保存用に用いるカセットテープデッキを備えている。従って、数種のワークを交互にラインに流すような場合でも、カセットテープを取り替え、コアメモリへ作業プログラムをローディングするだけでよい。

また、ハンディタイプのティーチングコンソールにも必要な機能を集め、ボタン配置を考慮し、更に直列伝送方式を採用して信号ケーブルを少なくし、オペレータの便を図った。

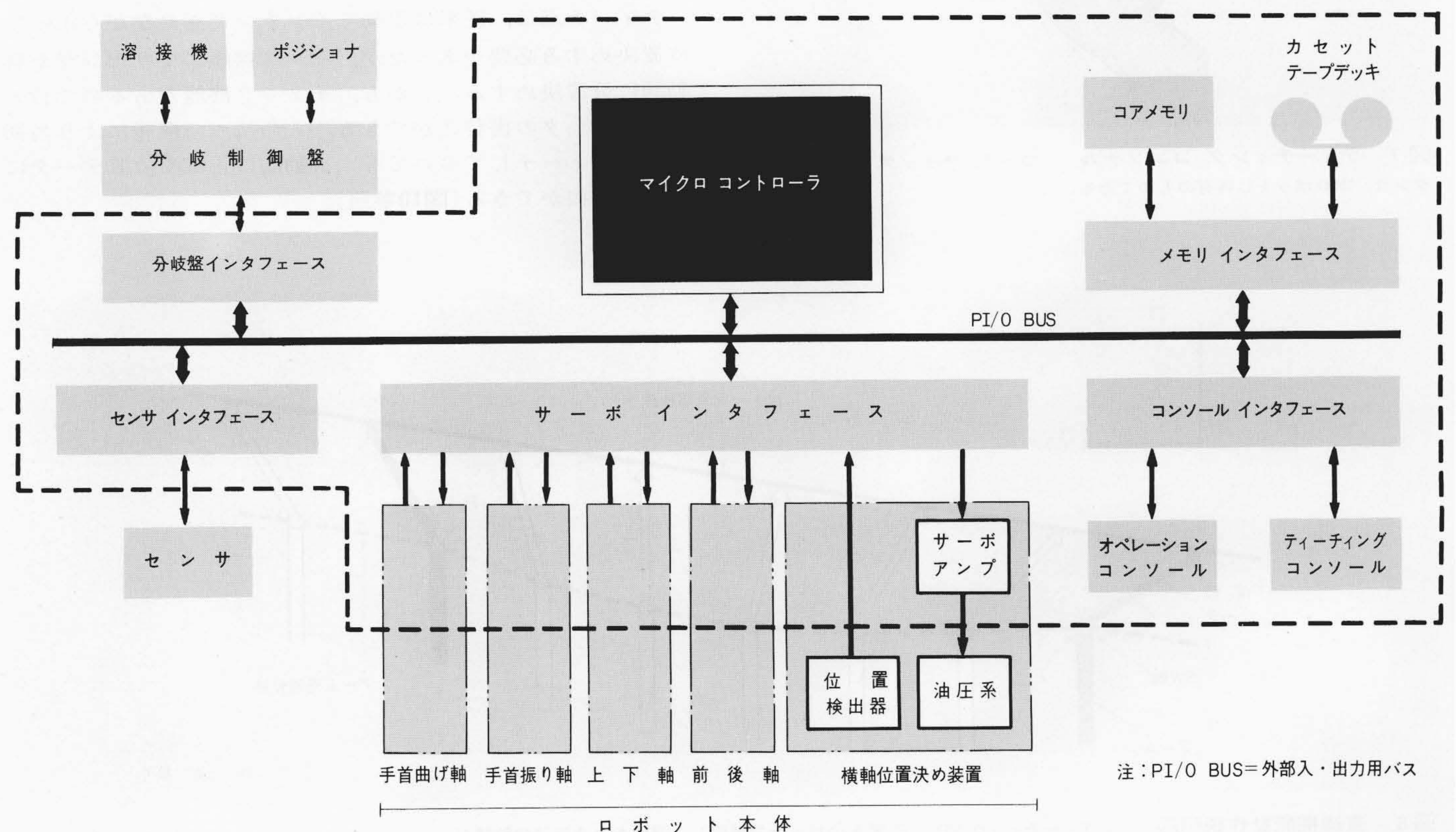


図5 制御装置構成図 マイクロコントローラを中心に構成して機能及び信頼性の向上を図った。

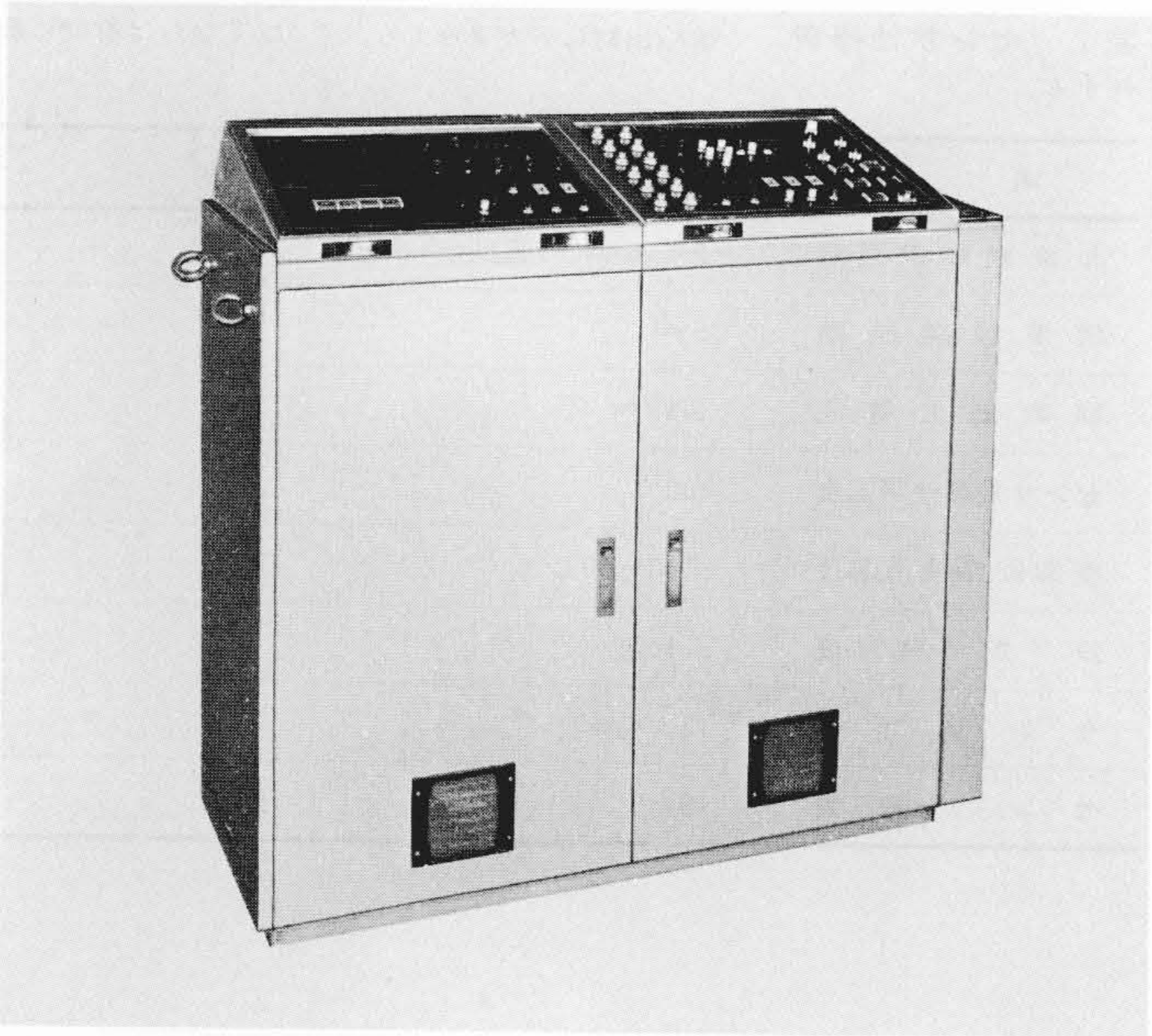


図6 オペレーション コンソール ロボット本体制御用の電子装置はすべてこの中に収められている。

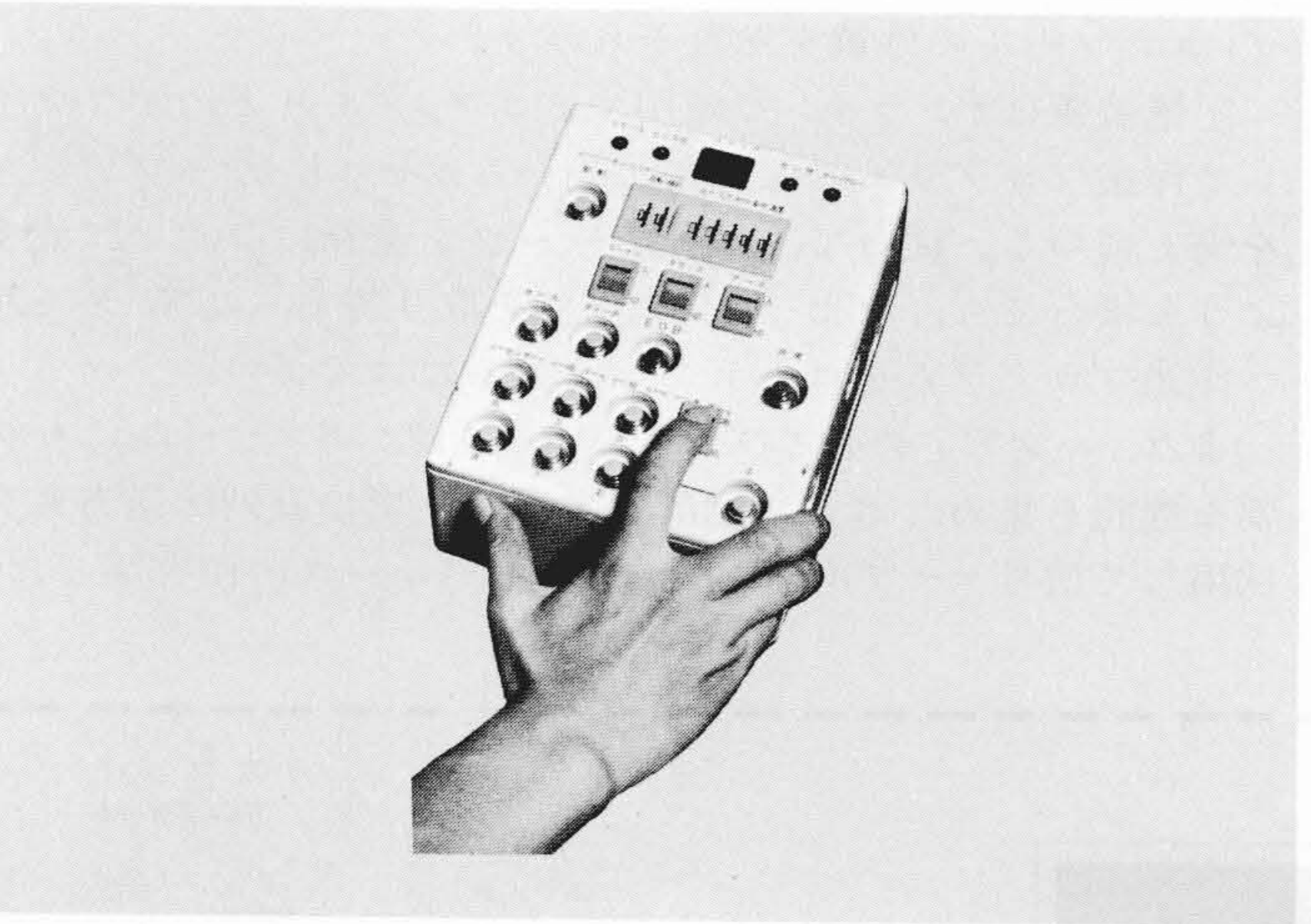


図7 ティーチング コンソール コーナ、チェック、センスの各ボタンは、本ロボットに特有のものである。

表3 溶接機仕様表 この容量では最大12mmの脚長が得られる。

形 式	DR-TF500
定 格 容 量	500A(AC200V 三相)
二 次 電 流 調 整 範 囲	50～500A(使用率60%)
スタート、クレータ条件	0.1～5s(タイマ)
溶 接 条 件	6条件自動選択可能
ワイヤ送給方式	電気式プッシュ・プッシュ方式
自動用トーチ	水冷式500A(使用率60%)
冷却水装置	1kg/cm ² , 1.2l/min 容量100l

3.5 溶 接 機

本溶接ロボットに使用した溶接機は、炭酸ガスアーク溶接機で、その仕様を表3に示す。同表の「日立TSアークFシリーズ」は、電源電圧及び周囲温度の変動に対して、安定した出力が得られる点でロボットに適した溶接機である。

ワイヤの送給は、ペイルパック ワイヤ側に定トルク モータを、トーチ側に定速モータを使用して理想的送給方式とした。

溶接ヘッドとしては、小形水冷トーチを開発し、自動的なノズルのスパッタ除去装置を設けて、安定した自動溶接を可能にした。

4 特長的作業

3.で述べた機能の構成により、従来にない特長をもった使いやすいロボットにすることができた。本ロボットの作業には、直線補間と手首補正が基本になっており、これらは図8、9に示すとおりである。

- 次に作業の特長について述べる。
- (1) ラフなティーチングでも溶接線を正確に溶接できる。
- ティーチ点は、従来は手動でインチングさせながら正確に位置決めする必要があったが、センス機能によりセンサが自動的に位置決めする。しかも、チェック機能があるので教え込んだデータの書替えができる。この二つの機能により当初ラフにティーチしておいても、自動的に正確な位置データに書替え溶接ができる(図10参照)。

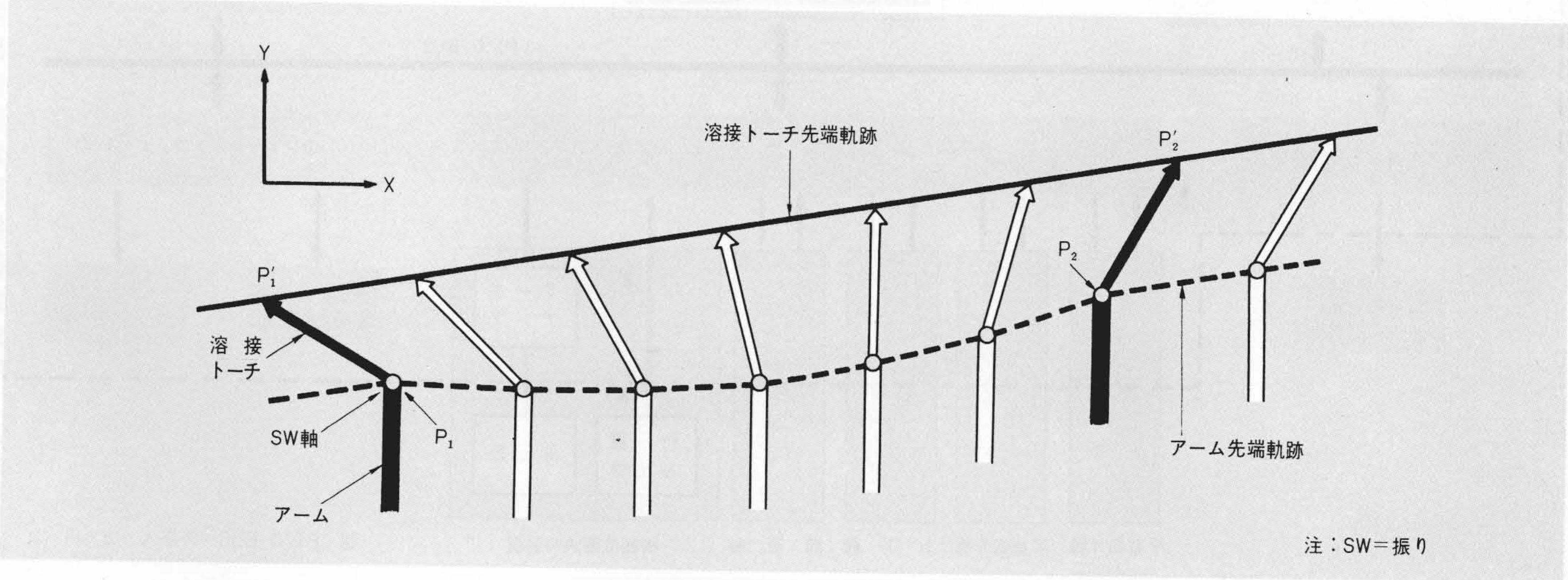


図8 直線補間動作説明図 2ティーチング点P₁、P₂間を小ピッチで補間し、溶接トーチ先端の軌跡が直線になるように全軸の動作を協調させる。

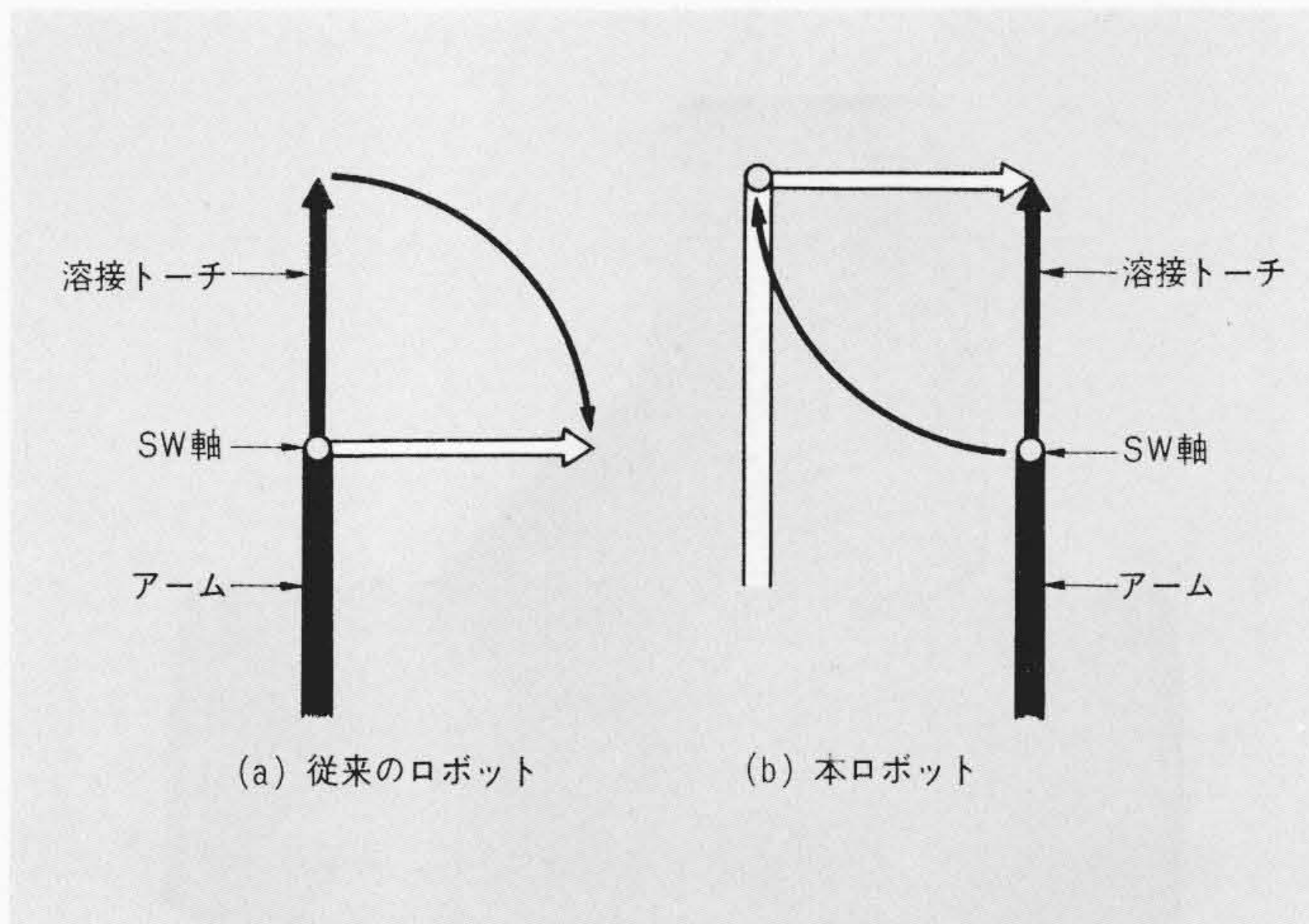


図9 手首補正機能説明図 手首(ここではSW軸, BD(曲げ)軸も同様)を駆動しても溶接トーチ先端の位置が変わらないようにアーム(主軸)位置を補正している。

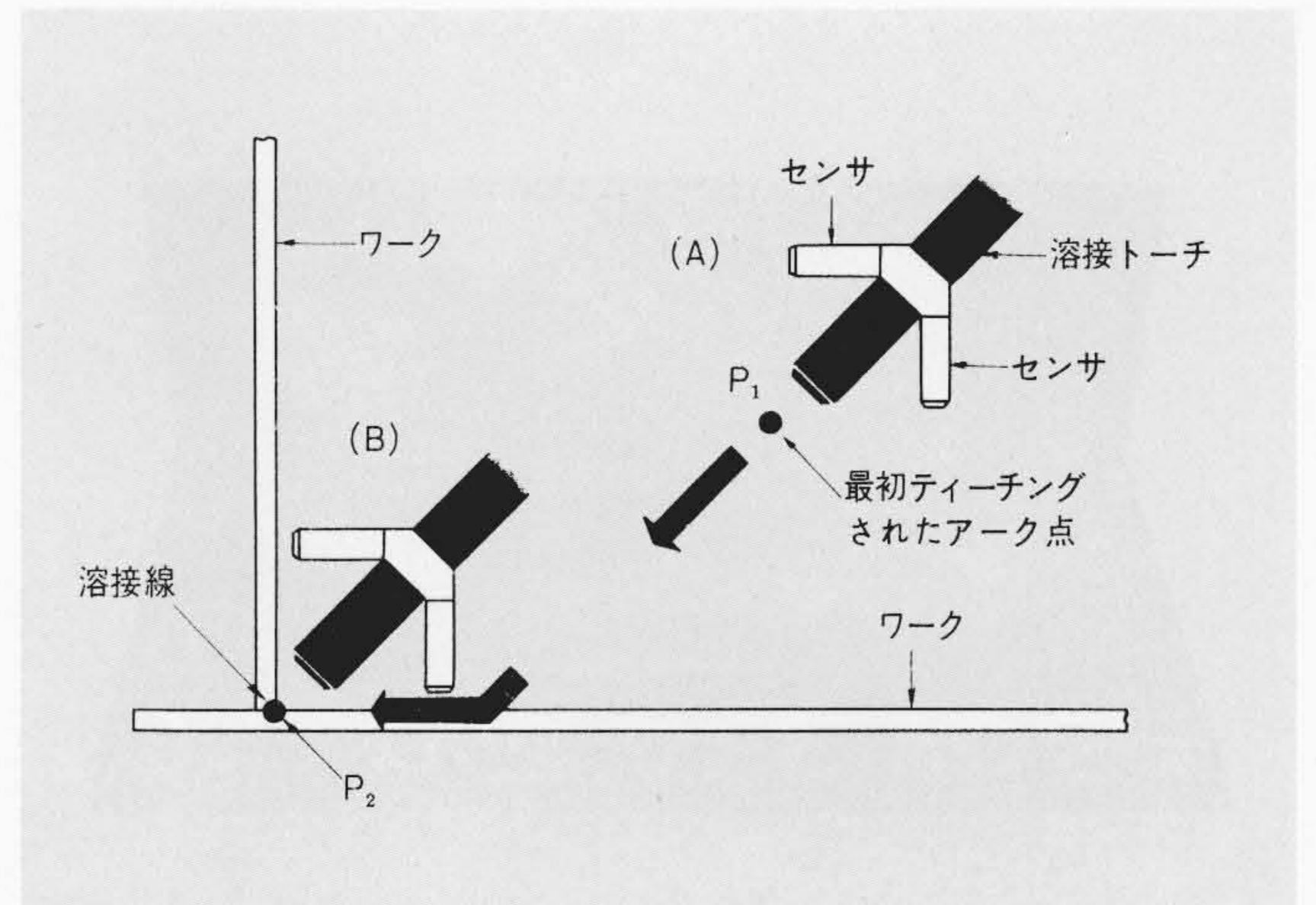


図10 センス動作説明図 最初, P_1 点に位置決めされた溶接トーチを, センサにより自動的に溶接線上の P_2 点に移動させる。

(2) センサが使える個所ではならい溶接ができる。

センサの使用条件を満足していればならいで溶接ができる。従って, 溶接ひずみが起こっても正確な溶接が可能である。図11に示すような場合でもセンサが使えるれば, 両端2点をティーチしておくだけで溶接することができる。

(3) 内コーナ部分でも連続溶接ができる。

コーナを形成する二つの直線につき2回ずつと, コーナ付近でコーナであることをラフに1回ティーチするだけで, 二つの直線の交点をコーナと見なし, 経路を自動演算して溶接できる。これらの作業内容を図12に示す。最初に作業原点から $P_1 \sim P_2$ の点をティーチし, 原点に戻る。次に作業をトレースしながらチェック点ごとにセンス機能を用いて溶接線の位置を実測する。このときコーナと指定された点がある場合には, チェックが終わり原点に戻ったとき, コーナ点の座標を計算し, ティーチされているデータと交換する。これにより

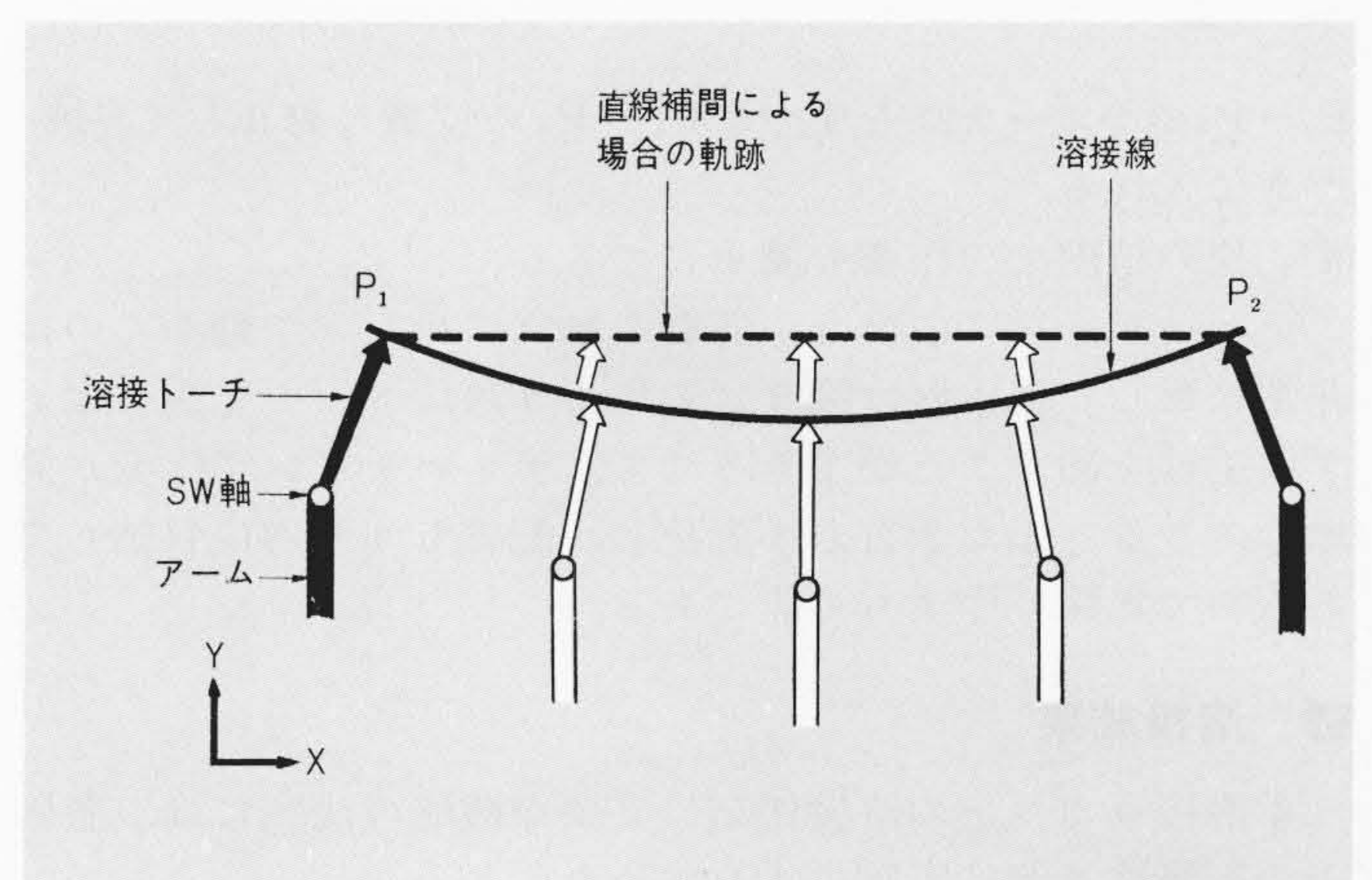
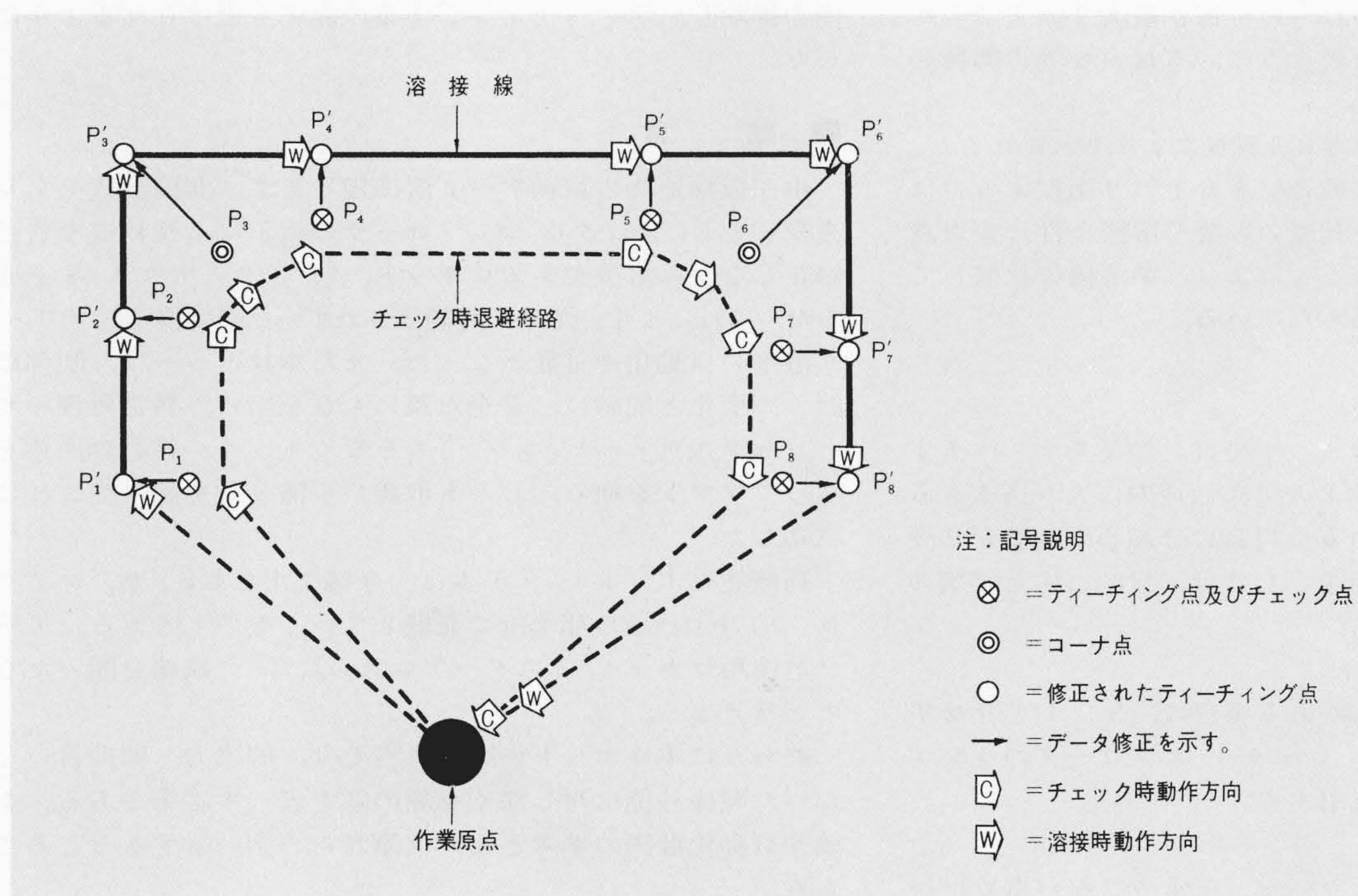


図11 ならい制御説明図 溶接線が曲線でもセンサが使える条件にあれば, 2点のティーチングで溶接できる。



注: 記号説明

- ⊗ = ティーチング点及びチェック点
- ⊙ = コーナ点
- = 修正されたティーチング点
- = データ修正を示す。
- C = チェック時動作方向
- W = 溶接時動作方向

図12 チェック及びコーナ点演算機能による溶接作業 チェック動作でチェック点の溶接線上の位置データを実測し, そのデータを用いてコーナ点の座標を求める。その後, これらのデータをもとに溶接作業を行なう。

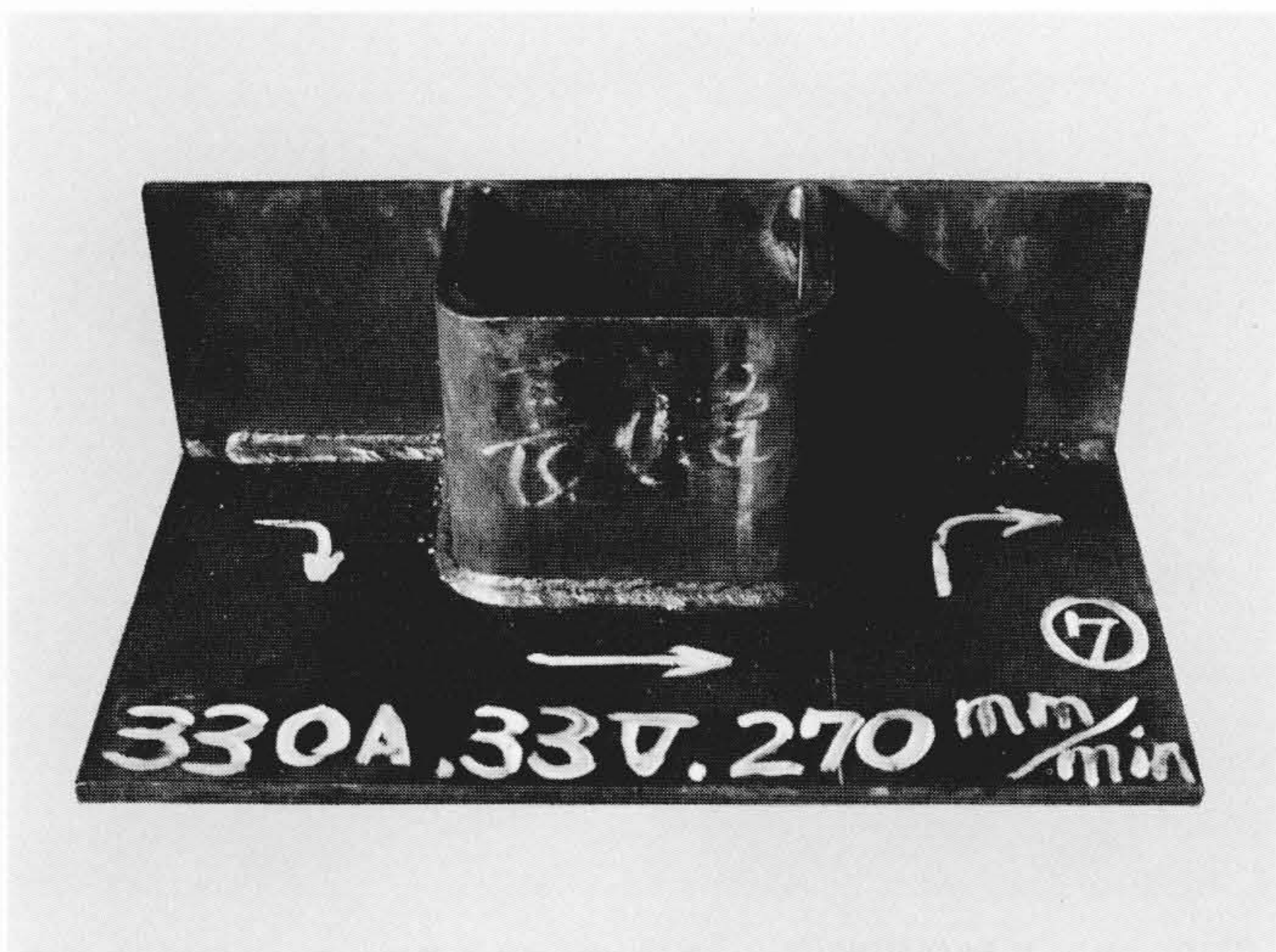


図13 コーナ部の連続溶接ビード 本溶接は、水平すみ肉溶接(トーチ角度45度)で炭酸ガス流量25l/minを使用し、心線にはDS-1の1.2φのもので行なった(溶接条件は電流330A、電圧33V及び速度270mm/minである)。

P₁～P₈のティーチ点をすべてP'₁～P'₈の位置に修正して溶接作業に入れる。

(4) 狭い箱内での作業も簡単にできる。

ティーチングの場合、各軸を独立に少しずつ動かすのは非常に難しい。本機は図9に示すように、トーチ先端を変えずに手首を回すことができるので、ティーチング作業が簡単にできる。また手首も小形化し、配線もうで内に収納してあるので奥深い作業も可能である。

5 溶接結果

本溶接ロボットの溶接作業に必要な機能の決定には、各因子の影響度を溶接実験により求めた。

一例として図13に本溶接ロボットにより溶接した直角コーナと外回りコーナ部の連続溶接ビード外観を示す。

また溶接トーチのねらい位置のずれが最大何ミリメートルまで許されるかを知るために、他の条件を固定して種々溶接試験を行なったが、トーチのねらい位置が最大2mmまでずれても、図14に示す断面マクロのように、きれいな等辺脚長を得ることができる。

溶接条件は溶接姿勢と要求される脚長により決定されるが、ユーザーが必要とする条件の組合せを6とおり選択するのは難しいことではなく、トーチ角度の影響や溶接条件の変更点を溶接ソフトとして組み込むことにより、手溶接に比較して格段に均質な溶接ビードが得られている。

6 安全対策

プレイバック制御方式のロボットでは、作業をティーチする際に、オペレータはロボットの動作領域内に入り込まざるを得ない。このような場合の安全対策には細心の注意が必要である。本システムの安全対策としては、目的に応じて次の3段階に分けて処理している。

(1) 非常処理

ロボットが暴走するおそれがある場合に、ソフトを介せず直ちに油圧をアンロードする。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

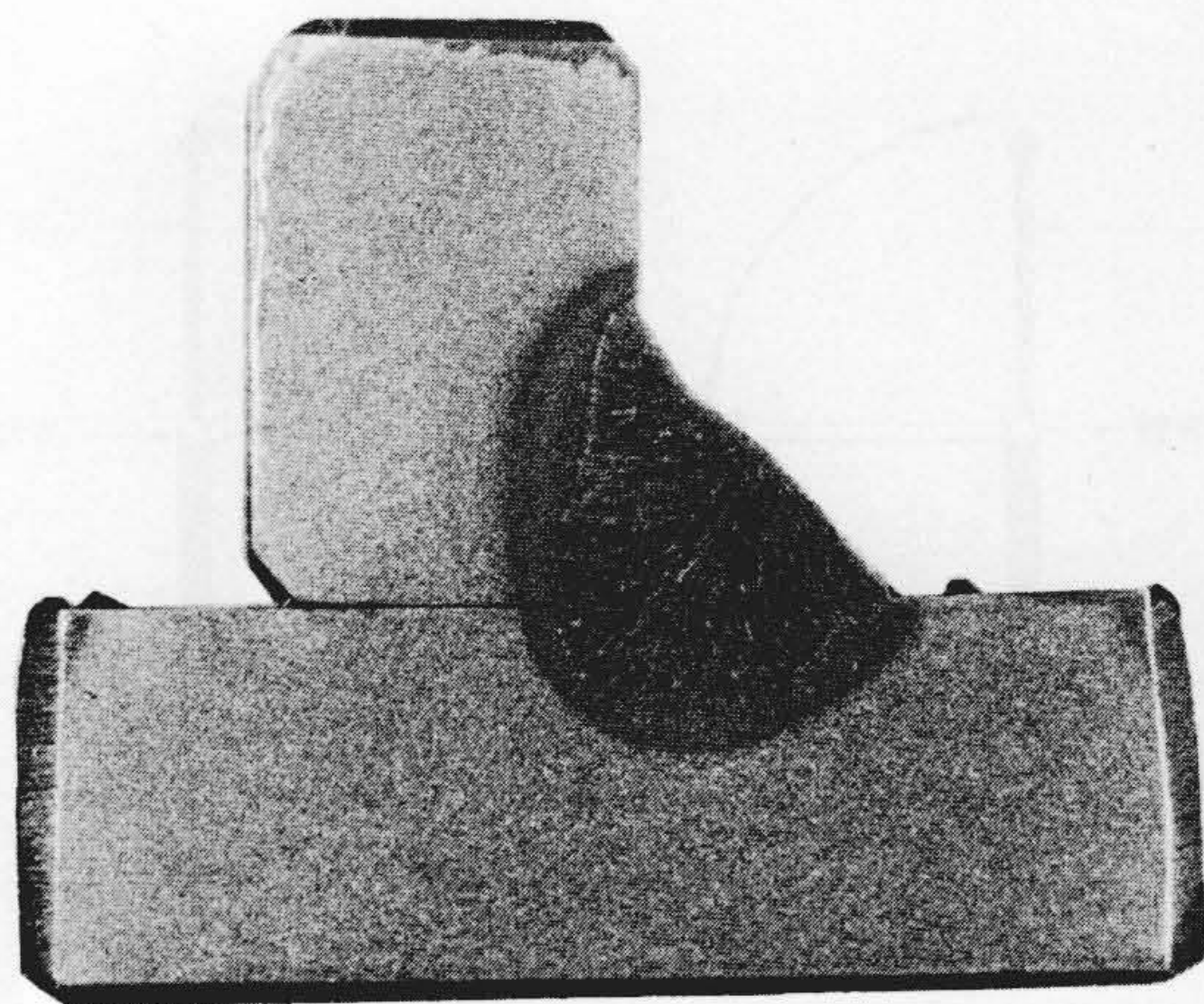


図14 溶接部断面マイクロ写真 トーチねらい位置が2mmずれても、このような等辺脚長が得られる。

する処理で、ソフトを介して瞬時停止や、サイクル停止の処置をとる。アーク切れや60℃以上の油温異常上昇に適用する。

(3) 合理性チェック

運転方案に反する操作や、溶接品質を損うティーチングがなされた場合、合理性のチェックをして、可能な限りトラブルの防止を図りトラブル内容をランプ表示する。アーム退避前にポジションを駆動させたり、溶接時のトーチ姿勢不良などに対処する。

これらの対策により、異常な作業がティーチされることを極力排除し、ティーチング作業の能率も上げられるようにした。

7 結 言

中厚板構造物の自動アーク溶接用として、非接触式センサを視覚とし、マイクロコントローラの指示により軌道を自己修正しながら溶接できるロボット、「ミスターアロス」を完成した。これにより、従来不可能とされていた箱物構造物のアーク溶接の自動化が可能となった。また本ロボットは、制御機能の高度化と同時に、安全対策にも意を用い、異常処理やオペレータのティーチングミスをなくすよう、細心の注意を払ってソフトを組み、しかも取扱いの簡易化を図ってこれに成功した。

高機能ロボットシステムは、今後ますますセンサ、マイクロコントローラの組合せで発展していくものと考えられる。アーク溶接用ロボット「ミスターアロス」は、その端緒を開いたものと言えよう。

終わりに本ロボットの開発に当たり、御協力・御助言いただいた関係各位に対し深く感謝の意を表わす次第である。本稿が自動化計画の参考となれば筆者らの幸いとするところである。