

# ロボットによる鉄骨柱大組溶接システム

## Large Member Welding System Using Robots for Columns (Excluding Round Columns)

田中 一男\* 千葉 正幸\*\*  
Kazuo TANAKA Masayuki CHIBA

### Summary

For welding the connections of steel columns complete automation has been difficult to introduce partly because the plate thickness is large compared with the short welding line.

A welding device applicable to such a case was developed using a six-axis articulated welding robot which enables continuous and automated welding in practical use. This system, which is operating well, is introduced below.

### 1. はじめに

建築鉄骨、橋梁など鋼構造物の製作で、溶接の自動化がさかんに進められているが、作業が簡単であり溶接線も長いすみ肉溶接では多くの自動溶接機が開発され使用されている。

しかし建築鉄骨の仕口部は、溶接線が短かい割に板厚が厚いので自動化がむずかしくまだ完全自動化にいたっていない。又建築鉄骨の柱の溶接は、多種多様な溶接が混在し、溶接形状、姿勢、あるいは溶接条件も非常に多岐にわたっている。

最近仕口部の溶接に溶接ロボットの適用が考えられ各社より可搬式の直交型ロボットで、仕口部フランジの溶接を行なえるものが実用化されている。これは一つの溶接部のみを自動溶接する装置で、一製品全体を連続的に行なう考え方をしたものは無い。

今回この部分の溶接を、一連の溶接システムとして連続的に自動溶接する事を目的とした柱大組溶接装置を(株)神戸製鋼所と共同開発、実用化したので報告する。

### 2. システムの概要

本報で紹介する柱大組溶接装置は、六軸多関節型溶接ロボットを門型走行台車に搭載し、大組立された鉄骨柱の仕口と幹部分の各種溶接を行なうもので、溶接ロボッ

ト2台、走行装置1台、ポジショナー2組及びパソコンから成っている。

前号<sup>1)</sup>で紹介したロボットによるダイヤフラム溶接では、ティーチングプレイバック方式で溶接すべき位置を一溶接線毎に教示していたが、本システムは図-1に示す様な大型装置のすべての動作をパソコンCADを用いたオフラインで入力し、光通信でロボットにデータを伝送し溶接を行なうシステムである。

又システム内に柱回転ポジショナーが2台組込まれており、一方が溶接中にもう一方で柱の入替作業を行なえる。勿論2台の柱は同一のシステム座標系の中でコントロールしている。その為作業は連続的に行なうことができ、無人運転が可能であり非常に効率的である。

今まで多関節型ロボットでは下向き溶接が主であったが、本システムでは立向き溶接も可能な為、仕口貫通、シャフト貫通タイプともにロボットを用いて溶接が可能であり、仕口フランジのみでなく、各種の金物類の溶接も可能である。図-2にシステム系統図を示す。

### 3. オフライン教示システム

オフライン教示システム<sup>2)</sup>は、パソコン上で入力したワーク図形をもとにエアカット及び溶接動作等ロボットの全動作についてのティーチングデータをパソコン上で作成、ロボット制御データに変換しこれをロボットに光

\* 松本工場製造部次長

\*\* 松本工場製造部生産技術課

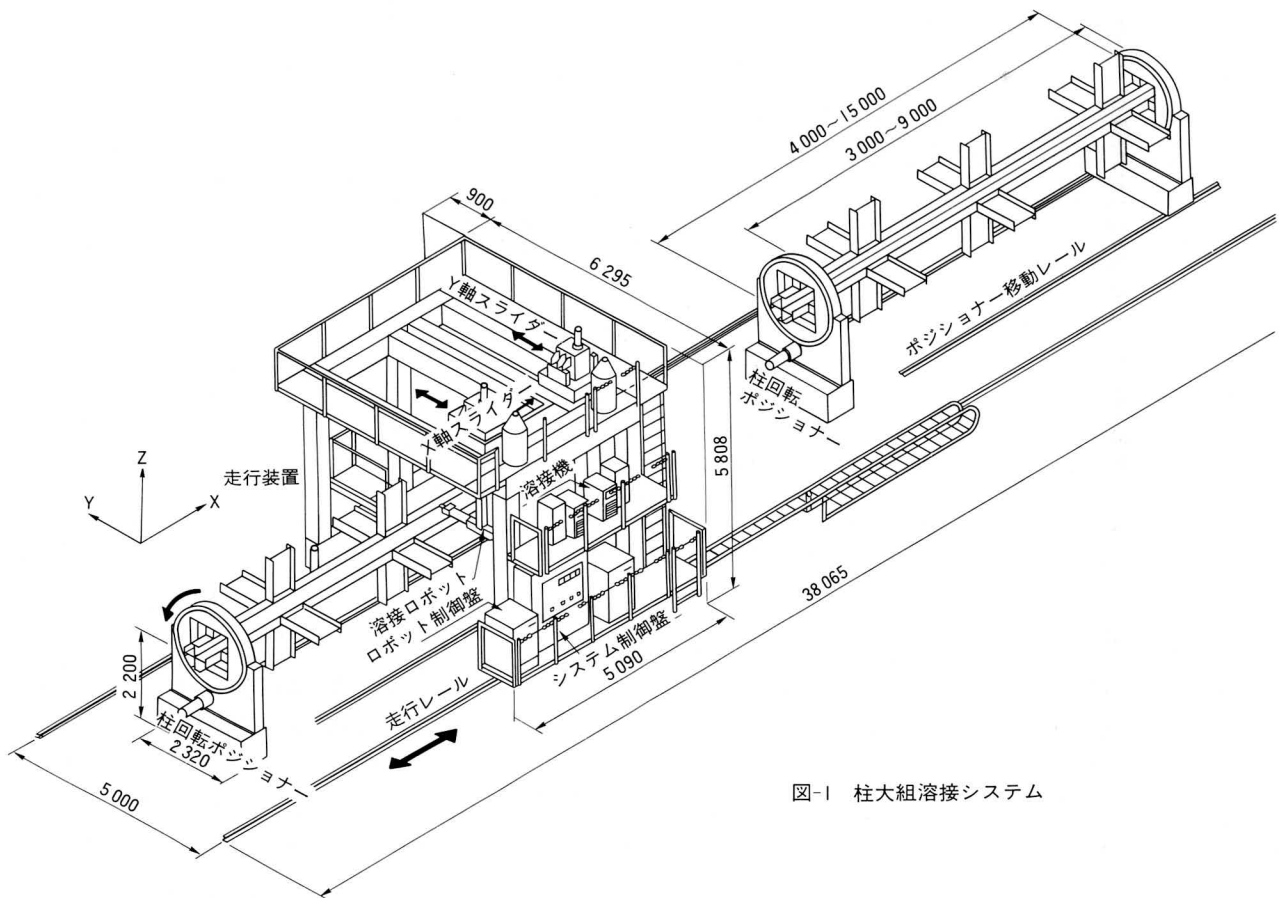


図-1 柱大組溶接システム

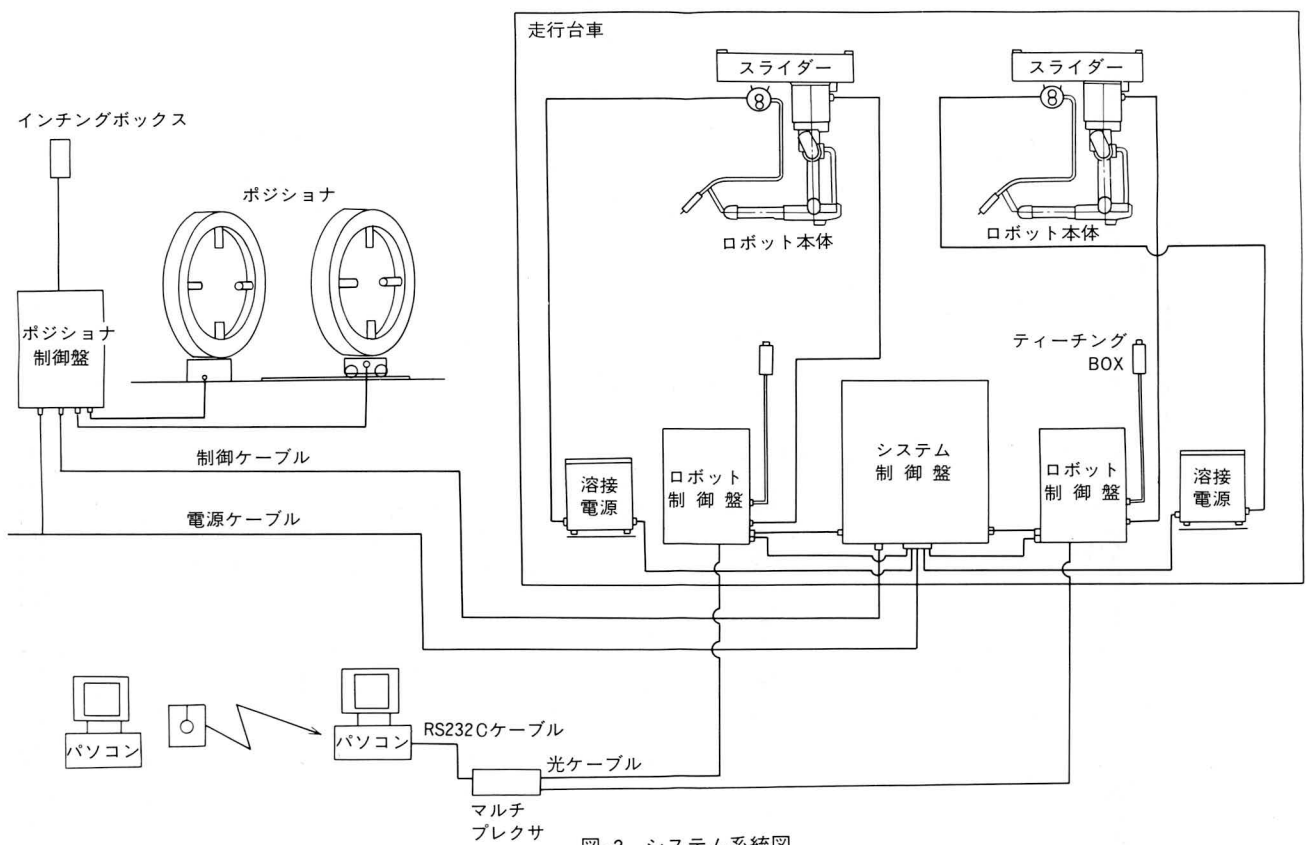


図-2 システム系統図

通信で伝送し溶接を行なうことが出来る。

又ロボットのデジタイザ機能（座標読み取り機能）を用いた座標値及び溶接条件等ダイレクトティーチングで作成したデータをパソコンにアップロードし、他のワーク用に用いる事も出来るのでデータの一括管理が行なえる。

図-3 にオフラインティーチングしたロボットの動作順序を示す。

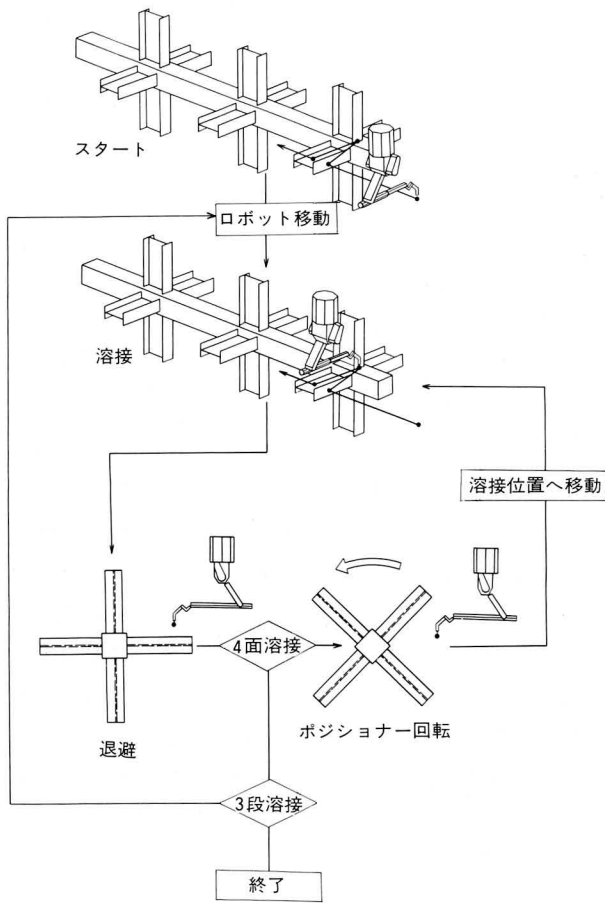


図-3 ロボット動作順序

(1) オフラインティーチングの利点

オフラインティーチングは、ロボットの動作及び制御を直接ロボットに入力せず、パソコン等を使用してロボットの動作と切りはなして入力あるいはシュミレーションを行なうものである。

ロボット動作と切りはなしている事から次の様な利点がある。

- ① ロボットを動かさずにある程度の動作シュミレーションが出来る為、ロボット動作の事前検討が行な

える。

- ② ロボットと切りはなしてティーチングデータの入力出来るので、ロボットの稼働率を上げる事が出来る。
- ③ 会話形の入力形式を取る事によりシュミレーションと合わせインプットミス防止出来る。
- ④ パソコンでデータ処理が可能なので、同一形状あるいは相似形ワークのティーチングデータの入力が簡単になる。
- ⑤ パソコンのデータファイル機能を仕様出来るので多量のデータの管理がし易い。
- ⑥ 座標計算、アーク点軌跡等の位置計算をパソコン上で行ない、ロボットでは主として動作制御を行わせることによりロボットの負担を軽くし、むずかしい溶接も可能となる。

オフラインでティーチングを行なう為の作業処理は図-4 に示す流れとなり、各項目の作業概要は次の通りである。

- ① 図形データ入力  
ここでは鉄骨柱の製作図面をもとに仕口及びシャフトを各部品ごとに作りデータファイルとして登録する。
- ② ワーク合成  
図面データ入力で作成した仕口及びシャフトの

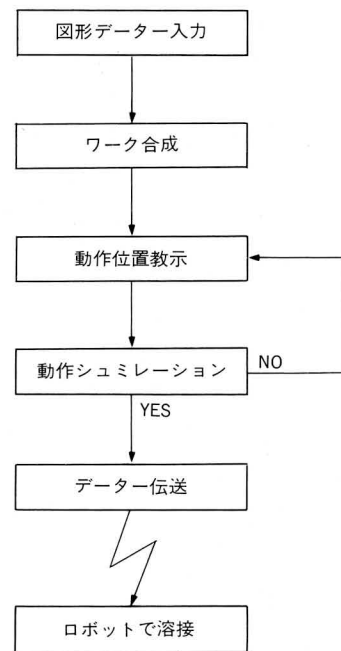


図-4 オフライン教示システムフローチャート

部品を製作図面通り大組立し、各柱ごとにワークデータファイルとして登録する。

### ③ 動作位置教示

ワーク合成で大組された柱に対し溶接部のティーチングをなう。図-5に示す様にパソコンの画面には、平面図、正面図、側面図及びパース図が表示される。

ティーチングポイントは、数値入力又はマウス、カーソルキーにより移動出来、実ワークをティーチングすると同様にパソコン画面上で教示をしていく。この時ロボットが有している機能すべてを入力することが出来る。

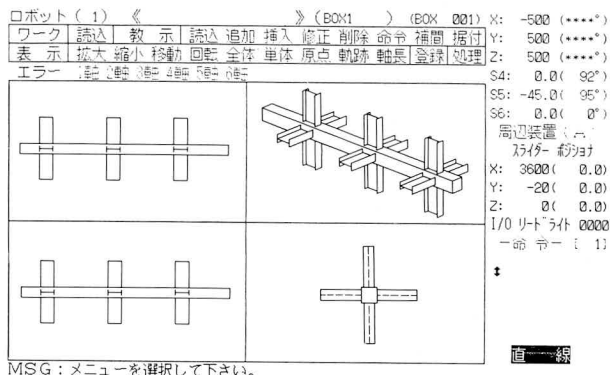


図-5 動作位置教示画面

### ④ 動作シュミレーション

動作位置教示で教示したデータをパソコン上でシュミレーションし誤りがないか確認し、もし誤りがあれば修正をする。

### ⑤ データ伝送

動作シュミレーションで誤りのない事を確認したデータをロボットに伝送する。

本システムはロボット2台を使っているので各ロボット毎にデータを伝送する必要がある。(但し1台目のロボットで作成したデータを転出出来るので操作は簡単である。)

### ⑥ ロボットで溶接

パソコンより伝送されたデータをもとに溶接を行なう。この時データ伝送で自動スタートを用いればロボットにデータが伝送されると同時に自動的に溶接を開始することも出来る。

## (2) 実際の溶接

オフラインでのワークの据付位置と実ワークの据付位置は、正確に合わせる事は不可能であるし、実ワークの開先寸法も若干の誤差があり、中にはテーパーギャップもあるのでオフラインティーチングしたデータと実際の作業には若干のズレが生じている。

このズレをなんらかの方法で修正しなければならないが、ここでは次に説明するセンシングにより位置修正及びルートギャップの変動に対応している。

### (a) 三方向センシング

三方向センシング<sup>3)</sup>とは、図形上で溶接狙い位置を教示しておけば実作業空間でその位置がどこにあるのかを、ワイヤセンシング方式でロボット自身が探し出す機能である。したがって、オフラインティーチング時に溶接位置と、センシング開始位置を教えておくと、オートプレイバックの時センシングを行ない実際と図形上のズレ量だけティーチングポイントに対して平行シフトし、図形上の座標値と実際の座標値を一致させる。

### (b) ギャップセンシング

今までのロボット溶接では、溶接条件の入力は各板厚別にルートギャップごとに作成して、同一サイズの板厚でもルートギャップがちがえば別のデータとしてあつかっていた。

ギャップセンシング<sup>3)</sup>を使用すると各板厚の標準開先での溶接条件のみ有していれば、開先寸法をロボット自身が計測し適用条件を計算して溶接する。

ギャップセンシングとは、溶接1パス目に先だってゼロパス目として指定区間内の溶接線についてワイヤアースセンシングを行ないギャップの計測をして、1パス目以降はこの計測したギャップデータを基に溶接速度、ウイピング幅、ウイピング周期を自動補正して溶接を行なうものである。

上記2つのセンシング機能によりオフラインと実ワークの誤差を自動的に修正して溶接が行なえる。

### (3) オフライン教示システムを応用した立向き溶接<sup>4)</sup>

立向き溶接は、ロボットから伝送されるワークの開先位置データ、オペレーターが入力するルートギャップの実測値及び立向き溶接条件データから、立向き溶接プログラムをパソコンで自動的に作成するものである。

作成された立向き溶接プログラムをロボットに伝送しブロックプレイバックで立向き溶接を行なう。

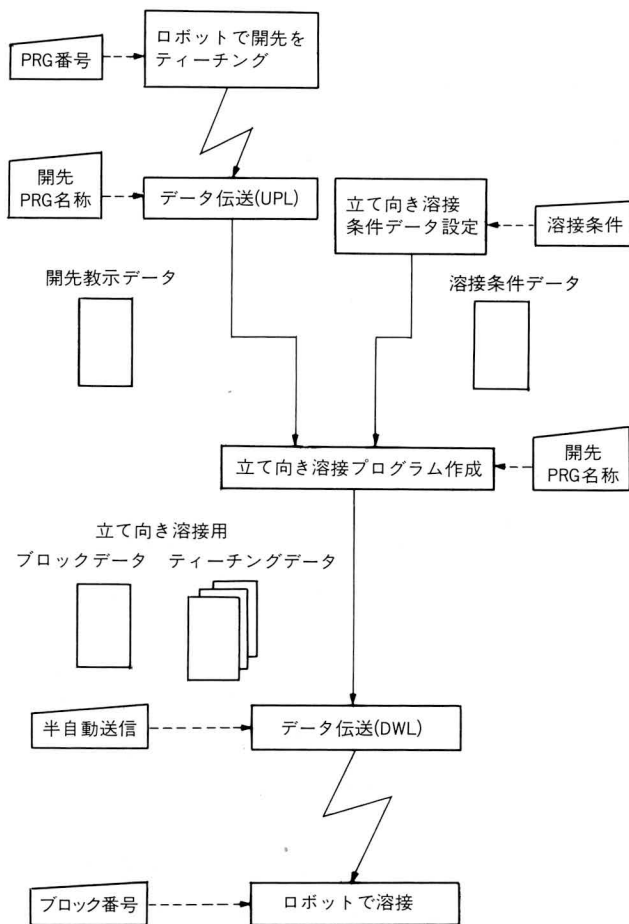


図-6 立て向き溶接動作処理フロー

立向き溶接を実行する処理フローを図-6に示す。

(a) ティーチング

立向き溶接は、下向き溶接と同じくオフライン上ですべてティーチングが行なえるが、オフラインでのワーク据付位置と実ワークの据付位置の修正が下向き溶接の時採用したセンシング機能は使用出来ないため、実ワークの開先位置をロボットを使用して座標読み取りを行ない、パソコンに逆転送し開先プログラムとして使用する。

図-7に示す様にティーチングは、7ポイントのみですむ為ティーチングに要する時間は、1溶接線あたり約5分ですむ。またティーチングポイントのP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>6</sub>、P<sub>7</sub>の4点は溶接開始及び終了の待避点で、立向き溶接プログラム作成に使用するのはP<sub>3</sub>~P<sub>5</sub>までの3点である。

P<sub>3</sub>のポイントで溶接開始コードを、P<sub>5</sub>で溶接終了コードを入力して他のティーチングポイントと区別している。P<sub>4</sub>は柱側のかたむきを検知するものである。

(b) 立向き溶接プログラムの作成

上記のデータをパソコンに転送し、このデータと

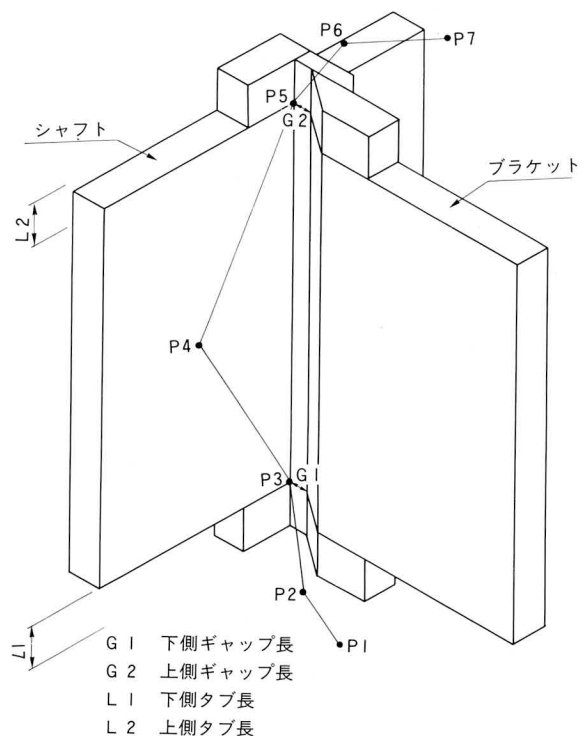


図-7 開先部のティーチング

溶接線のルートギャップ及び開先角度を、パソコン上でキー入力し溶接プログラムとして合成する。

立向き溶接条件データは図-8に示すように18項目からなっている。

条件データがそろったら図-9に示す立向き溶接プログラム作成画面で、開先プログラム、溶接条件データ等13項目を入力して立向き溶接プログラムが完成する。

以上のデータを基にしてすべての演算を行なうわけであるが、立向き溶接個有のトーチ運棒パターンは図-10に示す様な台形パターンを取り入れている。

\* 立向き溶接条件設定 \* <br> <small> (TATE100) [25-6 005]</small>

ワーク読み込み	データ読み込み	共通項目	挿入	削除	登録終了
《設定範囲》 1~500 (x0.1mm)					
《備考》 全溶接盛高: 4428 mm 板厚換算値: 3803 mm					
パス番号	1	2			
溶接開始部ループ回数	20	10			
溶接開始部溶接盛高	板厚	250			
パス間々隔	開先角度	350			
溶接電流	基準ギャップ長	60			
溶接電圧	上進角度	20			
上昇回数/サイクル					
上進速度	8287	60			
面側速度	4	50			
中側速度	28	5			
外側速度	40	6			
面側中停止時間	60	0			
面側外停止時間	6	0			
柱側外停止時間	5	0			
柱側中停止時間	2	0			

MSG: 項目入力 又は、メニューを選択して下さい。

図-8 立向き溶接条件設定

\*立て向き溶接プログラム作成\*

ワーク 開先プログラム 溶接条件データ プログラム作成 終了

ワーク 名称 : [TATE100] 《 》

開先 プログラム : [TATE 001]

溶接条件 データ : [25-6 010]

登録ブロック名称 : [AROB0001]

登録ブロック No. : [ 1]

プログラム作成パス [ 0]

開先 パターン [ **A1** A2 B1 B2]

上側 タブ長 [ 30 ] (mm)

下側 タブ長 [ 30 ] (mm)

上側 ギャップ長 [ 6 ] (mm)

下側 ギャップ長 [ 6 ] (mm)

上昇 ピッチ 幅 [ 1 ] (mm)

振り幅 増減値 [ -1 ] (mm)

MSG : 項目を入力して下さい。設定 (左ボタン) 取消 (右ボタン)

図-9 立向き溶接プログラム

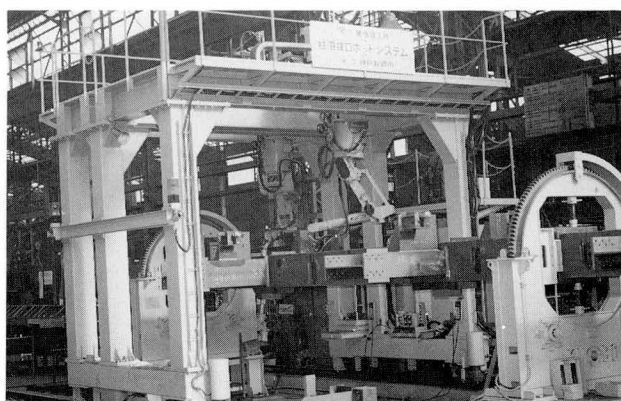


写真-1 溶接状況

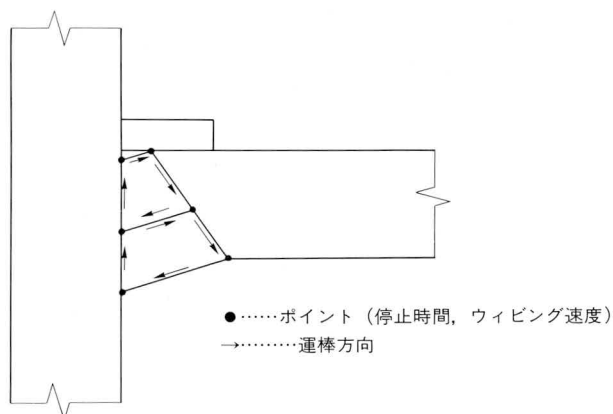


図-10 台形パターン

この軌跡の計算は図-8、図-9に示すデータを基にして、各ポイントのマイクロ座標及び運棒速度を演算し、実際のロボット動作の命令として数百ステップのデータを生成する。

このステップ数は板厚が厚くなるとかなり多量なものとなりプログラム単位の記憶容量を超える場合がある。

この時は複数プログラムに分割し、これを集めてブロックと言う概念を取り入れ一括して扱える様にしている。

#### (c) ロボットでの溶接

立向きプログラムをパソコンからロボットにデータを送り、ブロックプレイバックで溶接を行なう。ロボット2台で溶接中のもやうを写真-1に、溶接ビード外観を写真-2に示す。

#### (d) 立向き溶接部の機械的性質

ロボットでの立向き溶接の試験結果を表-1及び写真-3に示す。

いずれの場合も規格値を満足している。

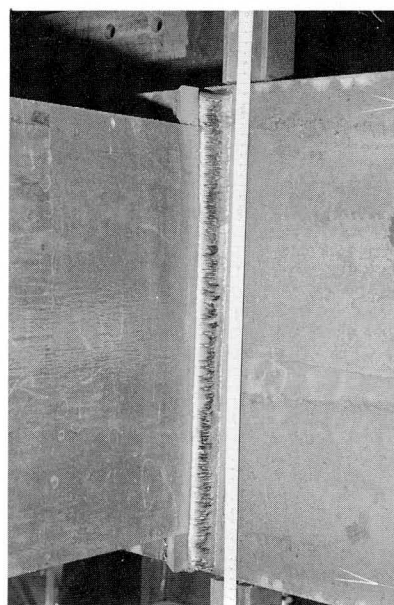


写真-2 ビード外観

#### (e) 溶接欠陥

現在まで立向き溶接では、数百個所の溶接を行ない、超音波探傷検査を実施したところ合格率は、98.7%で非常に高い品質を確保していると言える。

不合格となった1.3%の欠陥の内容を分析して見るとそのほとんどが初層部のブローホールであり、組立精度に原因している事が多い。

又、ロボットに限らず自動溶接の場合、開先誤差に対する適応性の悪さが有るが、この点を含め組立精度の問題は今後の課題であると考えられる。

#### (f) 稼働率

立向き溶接でシステムが稼働をはじめてからあまり日数もたっていない。表-2に示す様にアークタイム率は

表-1 機械試験結果および化学分析結果

十字突合せ溶接機械試験

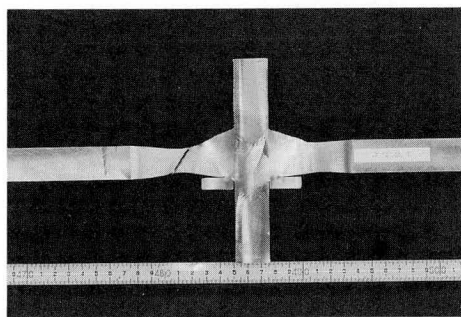
板厚 ルート ギャップ	溶接条件	入熱量 kJ/cm	継手引張試験			丸棒引張試験			十字 曲げ 試験	シャルピー衝撃試験 kgf-m				
			降伏点 kgf/mm <sup>2</sup>	引張強度 kgf/mm <sup>2</sup>	破断 位置	降伏点 kgf/mm <sup>2</sup>	引張強度 kgf/mm <sup>2</sup>	伸び率 %		Bond(21)	Bond(22)	Haz(23)	Haz(24)	Depo(25)
										3個平均	3個平均	3個平均	3個平均	3個平均
t=25mm RG=6mm	1パス目 225 A 24 V 2パス目 200 A 20 V	177.56	37.7	58.4	Haz~ 母材	34.2	52.7	23.0	良	16.2	5.5	18.1	8.4	7.9
			38.0	58.0	Haz~ 母材	35.0	52.6	26.6						

レ型突合せ溶接機械試験

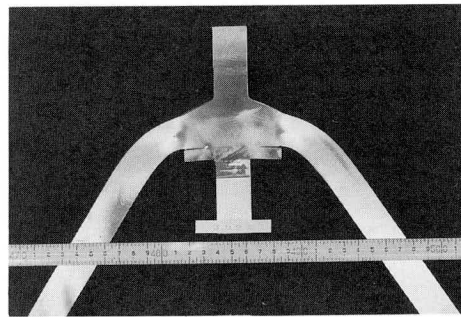
板厚 ルート ギャップ	溶接条件	入熱量 kJ/cm	継手引張試験			溶接金属引張試験			曲げ試験			シャルピー衝撃試験 kgf-m		
			降伏点 kgf/mm <sup>2</sup>	引張強度 kgf/mm <sup>2</sup>	破断 位置	降伏点 kgf/mm <sup>2</sup>	引張強度 kgf/mm <sup>2</sup>	伸び率 %	表曲げ	裏曲げ	側曲げ	Bond(21)	Haz(22)	Depo(23)
									3個平均	3個平均	3個平均	3個平均	3個平均	3個平均
t=25mm RG=6mm	1パス目 225 A 24 V 2パス目 200 A 20 V	177.56	39.0	56.2	Depo	39.4	53.9	39.6	良	良	良	7.5	24.1	6.9
			38.2	54.4		38.2	54.4	38.0						
			39.5	55.9	Depo	38.7	54.3	42.0	良	良	良			

鋼板および溶着金属の化学分析

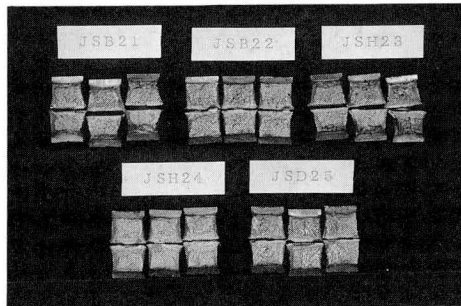
分析位置	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Al	Nb	V	N
鋼材はさみ板	0.18	0.29	1.33	0.017	0.004	0.015	0.021	0.027	<0.005	0.005	0.013	<0.005	<0.002	0.0020
鋼板フランジ	0.19	0.29	1.35	0.017	0.004	0.015	0.022	0.027	<0.005	<0.002	0.013	<0.005	<0.002	0.0021
溶着金属	0.09	0.68	1.24	0.012	0.010	0.210	—	—	—	<0.002	0.005	<0.005	<0.002	0.0081



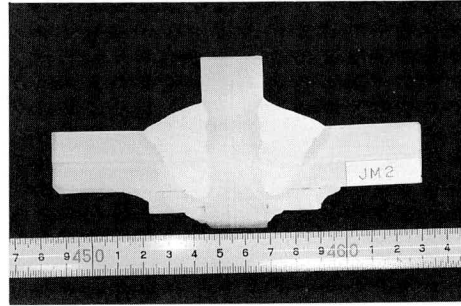
十字引張試験



十字曲げ試験



シャルピー衝撃試験



マクロ

写真-3 機械試験結果

表-2 稼働率

作業時間	235.5 H
溶接時間	145.87 H
溶接量	2 949 m
アークタイム率	62%
溶接能率	12.5 m/H

かなり高い値を示しているが、時間当り溶接量はあまり多いとは言えない。これは立向き溶接で溶接速度が少ない為であるが、搭載ロボットの数を増加する事で改善の余地が有ると考えている。

#### 4. 装置設計上の問題点

##### (1) ワイヤーの曲り

下向き溶接では溶接電流が高く溶融プールも大きいので溶接中ワイヤーが曲っても溶接結果には影響はないが、立向き溶接においては直ちにビート外観不良、アンダーカット等の悪影響をおよぼす。原因はコンジットケーブルにあるが、現段階ではワイヤーの曲りを矯正するのはむずかしく今後の課題である。

##### (2) 立向き溶接でのオフラインティーチングの拡張

システムとして今後改良しなければならない点は、立向き溶接をオフラインティーチングですべて行なえる様にすることである。

これはロボット内の記憶容量の増加、より精度の高いセンシング技術の開発により解決出来ると思われる。

#### 5. 結び

以上、溶接ロボットとオフライン教示を応用した大形構造物の完全自動溶接をねらったシステムの例を紹介した。

ロボット技術は急速な進歩をしている。今後もっと狭い個所の溶接の出来る物が開発されれば、適用範囲が広がりさらに溶接の自動化、無人化に寄与すると考える。

最後に本システムを製作するに際し多大な協力と、本稿を執筆するにあたり多くの資料を提供していただいた(株)神戸製鋼所 溶接棒事業部の関係者の方々に対し、この紙上を借りて感謝申し上げる。

#### <参考文献>

- 1) 田中、千葉；ロボットによるボックス柱厚板ダイヤフラムの溶接施工、宮地技報No.4、1988年3月
- 2) (株)神戸製鋼所；溶接ロボット ARCMAN-VX 用 オフラインティーチングシステム Ver1.0 操作説明書 (S118G011)
- 3) (株)神戸製鋼所；知能型汎用アーク溶接ロボット ARCMAN-VX オプション機能操作説明書 (S106G035)
- 4) (株)神戸製鋼所；オフラインティーチングシステムを応用した立向き溶接システム 操作説明書 (S118G014)

#### グラビア写真説明

**KDKビル** (株)関電工が創立40周年事業の一環として、港区芝浦4丁目に新本社ビルを建設したもので、昭和63年12月12日より新本社で業務を開始した。

このビルは、高度情報化時代にフレキシブルに即応できるインテリジェント機能を、同社の保有する様々な技術を結集して実現した。例えば、情報通信システムの効率化やコスト低減をはかる設備、オフィス環境をトータル的に自動コントロールするシステムおよび設備の保全をコンピューターで自動コントロールする仕組みなどで、それらの配線は全て同社開発のフラットケーブルによりカーペットの下を有効活用しているということである。(永瀬)