

【技術ノート】

## 溶接ロボットの製作と実用

Fabrication and Practical Use of a Robot for Multi-Layer Welding

山崎 鉄朗\*  
Tetsurou YAMAZAKI

後藤 正光\*\*  
Masamitsu GOTO

若目田 敏夫\*\*\*  
Toshio WAKAMEDA

栗山 晋\*\*\*\*  
Susumu KURIYAMA

### 1. まえがき

我々プロジェクトチームは当初、幾つかのロボットメーカーの小型の多層盛り溶接ロボットについて、調査研究を行なってきたが、省力化生産に合致するほどのロボットを見つけることはできなかった。そのため、これと平行して行っていた同じタイプのロボットについての自社開発の計画を本格化し、このたび工場内の仕口部、建方現場の柱ジョイント部の溶接に導入する運びとなり、ここにその製作経過と実用における成果を報告する。

### 2. 開発目的

多層盛り溶接ロボットの工場内導入の必要性については、色々な要因にて検討されるものであるが、全ての場面において手溶接よりもロボットが優位に立つものでないことを、先に述べておく。むしろ溶接速度、段取り時間、欠陥数、ビード外観、取り付き可能箇所等々において、手溶接より劣る点も多い。それでも開発を進めて行く意味は、第一に大型構造物に対しては、板厚も厚く、溶接長も長いために、時間的、品質的に優位に立てること。第二に将来予想される溶接工の確保と技量維持の不安定性である。溶接は想像以上に体力を必要とし、熟練工であっても、気候や体調さらには、年令による技量の変化が表われる。第三に溶接工程の完全自動化を目指すステップとして、ぜひ完成させておかねばならない課題だからである。

次に、同型のロボットが既に多数販売されているにもかかわらず、今まで実績も経験もない著者が開発を行った理由について述べる。

第一にロボットメーカーとの協力による専用ロボット

の開発、改良が難しかったことが挙げられる。著者らとメーカー双方の問題解決に長いサイクルが必要と予測され、断念した。第二に開発環境が年々変化し、制御機器、ユニット化された電子機器が低価格で市販されており、ある程度の知識があれば短時間のうちに今回のようなシステムを組めること。第三に、メンテナンスおよび今後起こり得る問題、改良に際して自ら開発した場合には、素早く、確実に対応できること。第四に、開発途上における電子機器やメカニズムの技術の吸収、溶接機器、溶接現象の洗い直しから、今まで勘に頼っていた部分の数値化、定量化もあり、これらが技術の蓄積として残ることが、最大のメリットとして挙げられる。

### 3. ロボット概要

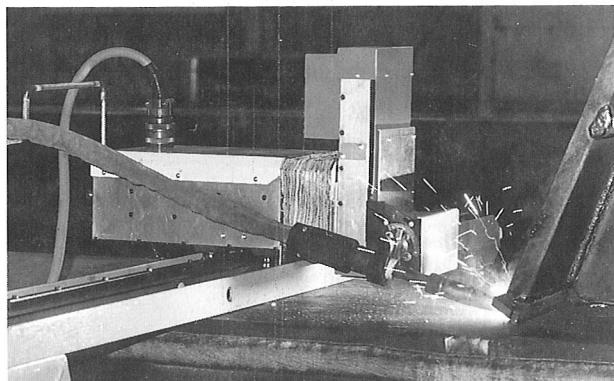


写真-1 ロボット外観(仕口溶接中)

本ロボットは多層盛り専用ロボットとして開発された。鉄骨製作において、多層盛り部は溶接線が直線的で

あり、長さも最大で2m程度と見込んで、各軸ストロークを決めている。又横向き溶接でも下向き溶接でも、柱フランジに載せて溶接できるように設計されている。メカニズム全体は繰返し精度を上げるために剛性を重視して設計されており、工場内での取扱いにも十分耐えられると確信している。下向き溶接の場合のウィービング用モータ加熱防止に水冷装置の取付けも考慮されている。

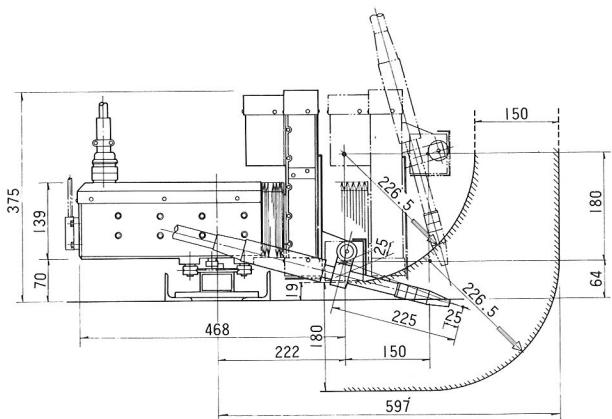


図-1 ロボット外寸図

下向きではMAX180mm、実用上130mm、横向きではMAX150mm、実用上100mmのストロークを持っている。

#### 4. 開発準備

##### (1) メカニズムの基本設計

ロボットに行わせる溶接の仕様を決定し、それに対するメカニズムの適応範囲を決め設計基準とした。基準項目は以下の通りである。

- ① 適応板厚、溶接姿勢（運動範囲、運動姿勢）  
軸ストローク、軸数、座標系
- ② 溶接再現性（先端精度）  
モータ分解能、減速比、軸剛性、バックラッシュ
- ③ 溶接条件（先端速度）  
モータ速度、腕モーメント、軸慣性質量、減速比、モータトルク
- ④ 耐久性（耐摩耗、耐衝撃）  
軸剛性、スラストおよびジャーナル許容荷重、ケース、カバー、防塵
- ⑤ デザイン（部材干渉、外観）  
ケース、カバー、基本構造、アクセサリー
- ⑥ 使用環境（周囲温度、湿度）  
カバー、空冷効果、水冷装置、塗装

##### (2) ハードウェアおよびソフトウェアの基本設計

メカニズムの取り決めをもとに、いかに最適に、速く、簡単に溶接を行うかを細部にわたる動作制御の設計基準とした。基準項目は以下の通りである。

- ① 適応板厚、溶接姿勢（最大層数、パス数）

主メモリ容量、補助記憶装置容量

② 繰り返し誤差、応答速度（演算精度、速度）

演算方法、CPU処理速度、I/O速度

③ 近似精度（なめらかさ、分解能）

溶接線分割数、テーパ計算、折れ線近似

④ 割込み処理（非常停止、途中停止、パス間停止）

多重割込み処理、例外処理ルーチン

⑤ 各種タイマ（クレータ時間、走行開始遅延など）

割込み自動タイマ、プログラムループタイマ

#### (3) コントローラの基本設計

アクチュエータを時間管理しながら制御し、キーボードからの情報を取り込み、必要に応じて情報を表示する。設計項目は以下の通りである。

① 拡張性（軸増設、入出力増設）

コントロールボード独立、PC切離し

② 操作性（ティーチングBox、入力部）

TBのレイアウト、ケーブル類の選択

③ 使用環境（防塵、防湿）

完全密閉、冷却、防湿

#### (4) 溶接条件の設定

溶接条件を完全にソフトウェアに組み込むことは現在不可能である。断面計算の溶着量を得られたとしても、ビード外観、溶込み、欠陥等を満足させることは限らない。下向き溶接でも、溶込み不足、オーバラップ、アンダーカットが起こり得る。まして横向きではビードの垂れ、外観などに問題を残す。そこで実際にテストピースを使い、さまざまな板厚、ルート、開先角度に対して最適と思われる条件を熟練者の目で作成し、これをデータベースとして蓄積し、利用する方法を主に取っている。

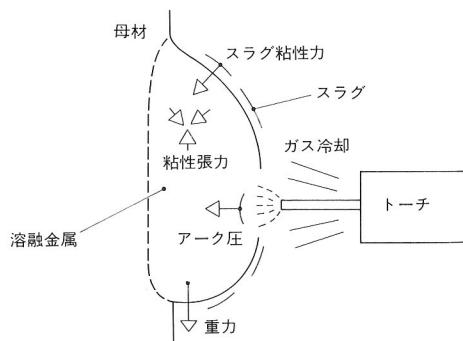


図-2 ビード形成力

しかしながら、溶接のように熱を使う現象は扱いにくく、入熱、室温、母材材質、熱容量などが影響し合い、さらに溶融金属の粘度、スラグ量と粘度、ガス冷却効果、溶接姿勢などがからみ合いビードを形成する。その上、時間的な温度上昇と重なり、溶融金属の流れを完全につかむことは難しいことである。

## 5. 溶接原理

本ロボットの多層盛り方法は、板厚、ルート、開先角度をデータとして入力し、適合する溶接条件を探し、あるいは作成して、ティーチングデータのもとに展開し、溶接するものである。この時、希望の溶接を行うには、ワイヤー送給量を完全に把握し、制御しなければならない。これは本ロボットの生命線である。

### (1) ワイヤ送給量

鉄の比重  $\rho_{FE} = 7.85$  [g/cm<sup>3</sup>]

ワイヤー単重  $W_{1.2} = 8.88 \text{ [g/m]}$

$$W_{1.4} = 12.45 \text{ (g/m)}$$

$$W_{1.6} = 15.90 \text{ (g/m)}$$

溶接速度  $W_v$  [mm/sec]

溶着体積  $V_o$  [mm<sup>3</sup>]

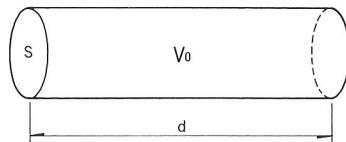


図-3 ビード溶着体積

溶着体積  $S_n$  ( $\text{mm}^2$ )

ワイヤー送給量  $W_{FV}$  [mm/sec] とすれば

と簡単に表わせる。(ワイヤー径1.2mmの場合を示す)

$\alpha$ はスパッタ、スラグによる減少率を考慮したものである。

## (2) 多層盛り方法

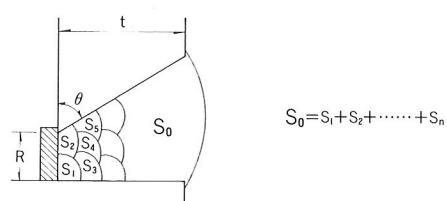


図-4 多層盛りビード

この一括予測とも言える方法は、前記のワイヤー送給量を正確に管理すれば、各パスの断面 $S_n$ の和として開先断面 $S_o$ が規定どおり埋まるとするものである。欠点としては、実際のビードを判別せずに、前置きのビードの上をバックデータの予測のもとに埋めるために、突発的なビード変形には対処できない点であるが、機構がシンプルで、故障の心配が無く、作業速度が速いことが大きな利点として評価される。しかもバックデータを純粋な計算予測ではなく、実験実測を基本としている点が、本ロボットの強みである。

6. システム紹介

### (1) 特 徵

本システムの特徴を以下に挙げる。

- ① テーチングプレイバック方式。
  - ② ルート中心の軌跡を計算。
  - ③ ウィーピングの基本はサインカーブ。
  - ④ 片道、往復溶接ができる。
  - ⑤ ウィーピング両端停止を+/-別にセットできる。
  - ⑥ 走行およびクレータ移行待ち時間を設ける。
  - ⑦ 手動によるアーク出しが可能。
  - ⑧ 溶接中に狙い変更ができる。
  - ⑨ パス間停止がプログラムあるいはキー入力可能。
  - ⑩ 横向き、下向き溶接が可能。
  - ⑪ テーパーギヤップの溶接が可能。
  - ⑫ 最大パス数100パス。
  - ⑬ 教示点数max255, min 2点。
  - ⑭ 直線、折れ線近似が可能。
  - ⑮ 最大溶接長は10mとする。
  - ⑯ 本体重量は、24kgと軽量。

表-1 各軸仕様(直交座標)

	X 軸	Y 軸	Z 軸	K 軸
移動方向	左・右	上・下	走行	トーチ回転
ストローク	150mm	180mm	3,000mm	±60°
溶接速度	4.7~60mm/分	4.7~60mm/分	70~900mm/分	1~120mm/秒
最高速度	600mm/分	600mm/分	9,000mm/分	

## (2) システム構成

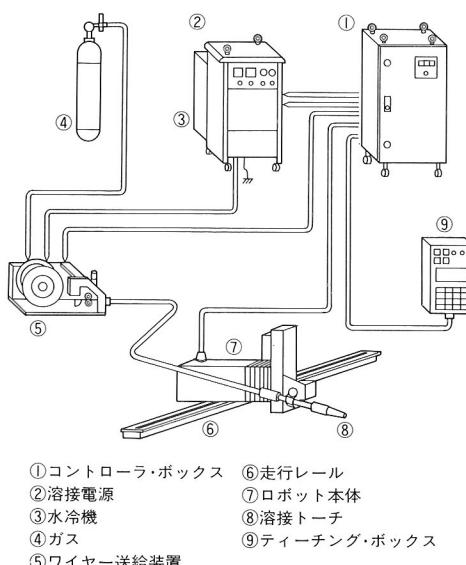


図-5 機器構成図

各装置間はケーブル、ホース類で結ばれる。動力はコントローラ、ロボットがAC100V、溶接電源がAC200V

三相を使用。ガスはコスト面から炭酸ガス100%を使用している。

### (3) データ, プログラム

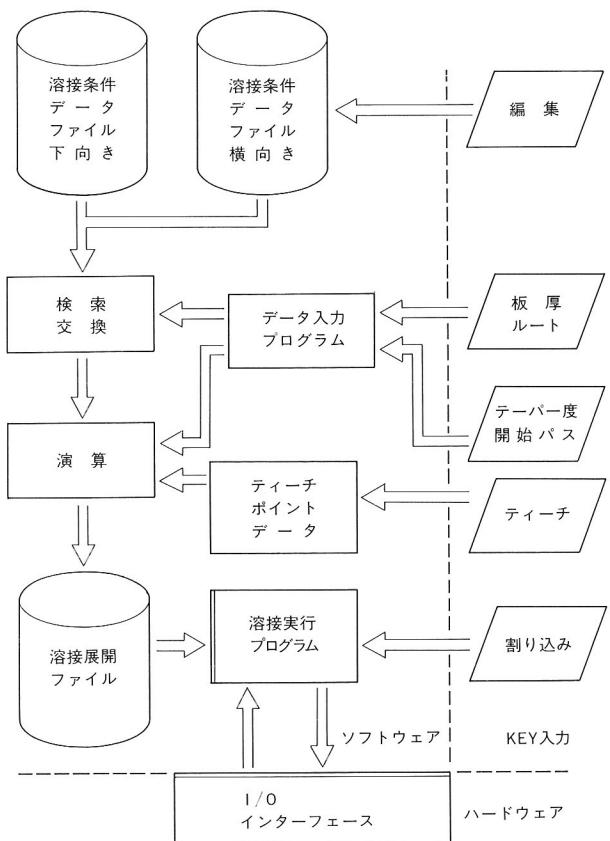


図-6 データフロー

溶接条件データファイルは補助記憶装置に登録されており、オプションにて編集、修正、追加登録が可能。

#### (4) 溶接条件

表-2 横向き溶接条件

ワキテ ケイシヨウ	スライレ カタヒラ ツキアセ
カイキ リフト	15.0°
リダクター	55 mm
ルート キャップ	10 mm
ワキケン カボル	25 mm
ワイヤー ケイ	1.2mm
トレー カット	84.0°
ガス	CO2

表-2が板厚55mm、ルート10mm、開先角度15°の溶接条件例である。これがデータファイルの構成単位で、下向きでは板厚12~45mm、ルート4~13mmで約130テーブル。横向きでは板厚20~100mm、ルート4~15mmで約170テーブルを持つ。なお開先角度は35°レ形とする。この他に横

向きレ形平30°が160テーブル用意されている。

7. 実用

昭和62年8月1日現在、栃木工場において本ロボット8台を有し、そのうち4台を工場内柱仕口部の溶接に、2台を現場建方柱ジョイントの溶接に出している。

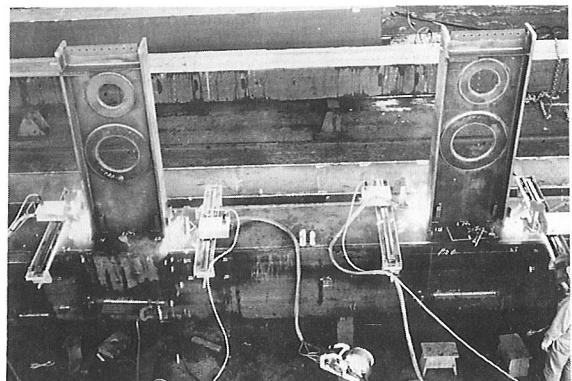


写真-2 工場内仕口部溶接風景

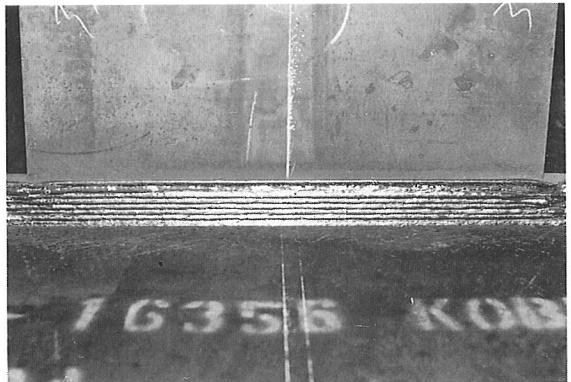


写真-3 仕口部ビード外観

工場内においては現在、一人で4台を操作している。対象は主にボックス仕口部の横向きのレ形T突合せ溶接である。写真—2では1.5mのレールを柱フランジに載せ溶接している。

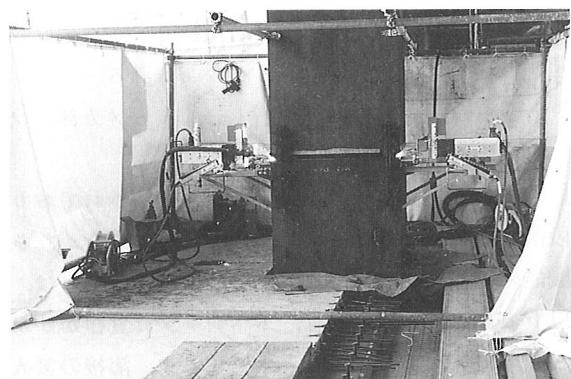


写真-4 現場建方柱ジョイント溶接風景



写真-5 ジョイント部ビード外観

部材搬入、搬出、ロボットのセットなどで違いはあるが、一人で一日平均25箇所の溶接を（溶接延長にして約300m）消化できる。

現場建方においては、2台を一組みとして、写真-4の様な治具を柱フランジに取付けし、溶接している。外周は風対策用のシートである。

現場では、足場も悪く、ケーブルやホース類の引き回しも難を強いられ、この経験から色々な改良の提案がなされた。なお、1,000mm角のボックス柱、板厚50mmの溶接で、一人で一日に一本を楽々こなしている。

## 8. 問題点および今後の課題

問題点および今後の課題を以下に列挙する。

- ① 工場や現場における一次電源の負荷変動からくるアーカ変動を安定制御する。
- ② ティーチングのキー操作を減らし、同時にケーブル類の軽量化を計る。
- ③ ロボット本体の剛性を維持しながら、軽量、コンパクト化を行う。
- ④ ワイヤー送給量、電流、電圧をさらに正確に制御し、あらゆる溶接に対応させる。
- ⑤ 部材取り付き用治具の開発と改良
- ⑥ 溶接条件の定量化を完成させ、適応開先条件の拡大を行う。
- ⑦ トーチの改良により、狭開先に対応する。
- ⑧ コントロールボードを自社開発し、現在のソフトの制限を乗り越え、コストダウンも計る。
- ⑨ さらに大型長尺の多層盛りに対するメカ部、ソフト部の対応検討を行う。

以上まだまだ問題点は大、さまざま残されており、現段階での完成度は一応満足できるものであるが、さらに機能の追加が必要である。しかし操作の面からは、これ以上に複雑にすることは、オペレータに負担がかかることも予想される。ロボットオペレータ、溶接の素人を含めた細部にわたる洗い直しが必要である。視点をえて、新しい溶接方法も開発する必要がある。

## 9. むすび

今、ロボットメーカー各社は、ブームが去った後の大規模な試練に立たされている。ロボットの大口需要者であった自動車、電子機器産業の不振もあるかも知れないが、汎用ロボットだけでは作業効率がそれほど上がらないということが一般に認識されたためではないだろうか。それ故、メーカーでは汎用ロボットを組み合わせたシステム、CAD/CAMによるオフラインティーチングシステムや、専用ロボットの開発という方向へ向わざるを得ない。著者らも、汎用ロボットによる鉄骨製作ラインを始めとする自動化計画を進めて来たが、その一環として、仕口部の突合せ溶接専用のロボットを開発したわけである。これは汎用ロボットでは適応の難しい、仕口部を、何種類かの機能の異なるロボットで作業させる計画の一部である。

今回、このロボットの開発を通して痛感させられたことは、ロボットの製作よりも、溶接現象のつかみにくさであった。バーンバック、アーク切れ、ワイヤの曲がりや、突出し長の変化による狙いのズレ、ビード外観の不整、溶着量の変動等々、原因の究明から解決まで相当の時間を費やすものが多く、解決していない問題もある。また溶接機や溶材メーカーの協力なしには解決できない問題もある。しかし、基礎的な問題のとらえ方、その解決策の展望がひらけはじめ、これから本当の改良が始まられる段階に達したと言える。

現在、あらゆる業種で様々な自動化が試みられているが、導入する機器がいかに優れても、単なるブラックボックスとして扱っているだけでは進歩は望めない。電子機器、精密機械の分野は進歩の速い分野であるが、それらの新しい技術を吸収し、発展させる基礎技術が必要である。その意味においては、このロボットの開発は、過去のロボット使用の経験から出発し、必要な電子機器や、機械の要素技術を身につける努力をしてきた訳である。ユーザーが開発に参加できる強みと、より良い物を作るという精神で、今後も開発を進める所存である。