

(技術資料)

## 鉄骨溶接ロボットシステムの開発状況

橋本 潔・中西紀晶・川上浩司・定廣健次・松村浩史・高田篤人

溶接カンパニー・溶接システム部

### Development of a Steel Structure Welding Robot System

Kiyoshi Hashimoto・Noriaki Nakanishi・Koji Kawakami・Kenji Sadahiro・Hiroshi Matsumura・Shigetok Takada

After the South Hyogo Earthquake in 1995, the manufacturing standard and the inspection method for steel structures in Japan were reviewed. For welding, strict heat input and interpass temperature regulation was called for. From the viewpoint of the total cost reduction, automatic, round-the-clock welding was also seen as being highly advantageous. To achieve these targets, a new welding robot system (based on Kobe Steel's ARCMAN-RON welding robot) was developed. This paper reports on this new robot system and related recent developments.

まえがき = 当社は、溶接ロボット ARCMAN-RON を用いた鉄骨溶接ロボットシステムの 1 号機を、1996 年に出荷した。これは折しも阪神大震災で倒壊した鉄骨の調査結果から製作規格や検査体制が厳格化されてゆく時期と附合した。

その後 2000 年には建築基準法の改正にともなう新鉄骨製作工場認定制度の中で溶接入熱・パス間温度管理の義務付けがなされるなど、鉄骨ファブリケータにとって、鉄骨溶接を取巻く状況は大きな変化を遂げつつある。

このような状況下で、厳しい品質要求をはじめとする顧客の多様な要求に応えるべく、鉄骨溶接ロボットシステムの開発を継続推進している。

本稿では、顧客のニーズに対応した最近の開発状況とその成果について紹介する。

#### 1. 溶接品質向上を目的とした開発

鉄骨溶接の場合、その品質検査の主たるものは超音波探傷検査であり、現状では完全溶込み溶接部については溶接線全線検査が行われており、一般的に大型構造物の非破壊検査としては最も厳しいものになっている。

さらに 2000 年には建築基準法改正にともない鉄骨工場認定制度が刷新され、溶接施工時の入熱・パス間温度管理が義務づけられた。

このような環境下でロボット施工における溶接品質に

対する期待はさらに高まっており、ロボットの機能面でもこれに応えるべく開発を行ってきた。以下にその一例を紹介する。

##### 1.1 パス分割機能

鉄骨をロボットで溶接する場合、通常は継手ごとに溶接を完結させ、順次溶接を行ってゆくが、この場合次のような問題が発生する。

- ・図 1 左側のように溶接ビードの収縮により、ダイヤフラムが角変形し、この影響で溶接中に開先形状が変化し溶接欠陥の原因となる。
- ・1 継手を連続して溶接するとビード周辺の温度が上昇し、パス間管理温度を超えてしまう。

パス分割機能は、図 1 右側のようにすべての溶接継手を 1 パスから数パスずつ分割して溶接することを可能とするもので、パソコン画面上で分割スケジュールをユーザが自由に設定できる。

この機能を用いてダイヤフラムの両側の継手を少パス数ずつ溶接することにより、ダイヤフラムの角変形を防止し、精度の高い鉄骨を製造することが可能となった。写真 1 に本機能を用いた場合と用いない場合の比較を示す。

さらに本機能を用いることにより、少パス数溶接して他継手に移動することが可能となるため、パス間冷却時間を十分にとることができ、この間他継手の溶接を続行

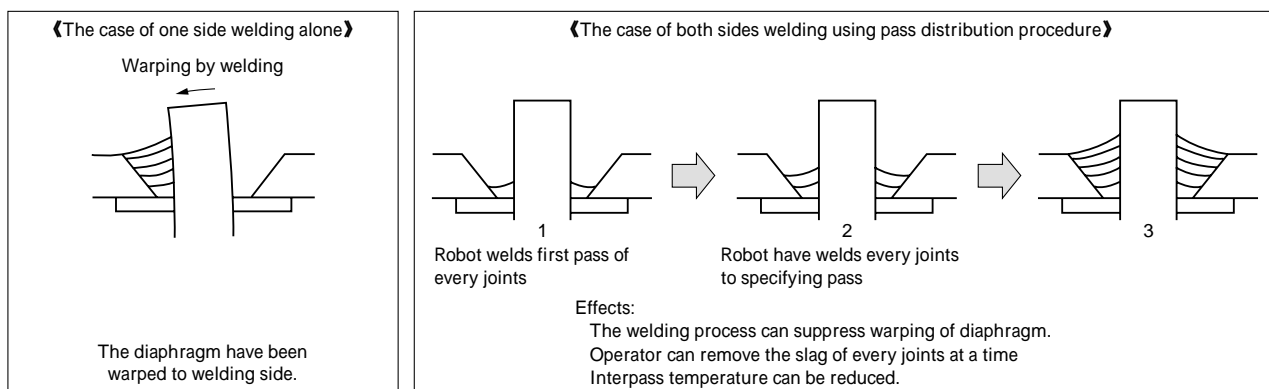
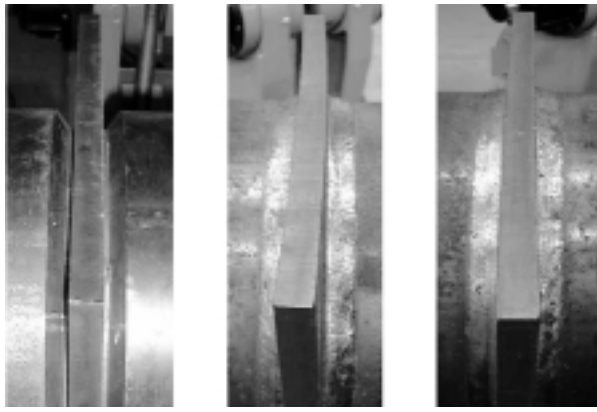


図 1 パス分割機能  
Fig. 1 Pass distribution procedure



Before welding      Welded the left side joint before the right side joint      Pass distribution procedure applied

写真1 パス分割機能の適用例  
Photo 1 Application of pass distribution procedure

しているため、生産性を低下させることなくパス間温度を低減させることができる。

### 1.2 中間パス倣い機能

鉄骨、特に柱大組立溶接では、長さ十数メートルの柱構造物に多数の継手が存在し、溶接中は熱歪みにより複雑に収縮や変形を繰り返している。これは図2のように、収縮による位置ずれや曲がりや倒れによる変形が生じ、この様相が刻々と変化する。構造物の寸法にもよるが、特に初期の数層で複雑な変形が生ずる傾向が見られる。

パス分割機能を用いて全継手を少パス数ずつ溶接し、元に戻ってさらに上層を溶接する場合、この変形に追従して行く必要があり、アークスタート直前にタッチセンシングで開始点位置を確認・補正したうえで溶接を開始し、溶接中はアークセンサで開先に追従しつつ施工している。従来は、1層目をアークセンサで倣い溶接を行った結果の位置データ補正量を上層パスの位置データに加算することにより、位置補正を行っている。

しかしこの方法だと、2層目以降に新たに生じた変形が補正されず溶接欠陥発生の可能性が高まる。

ところが従来、アークセンサは開先表面及び裏当金表

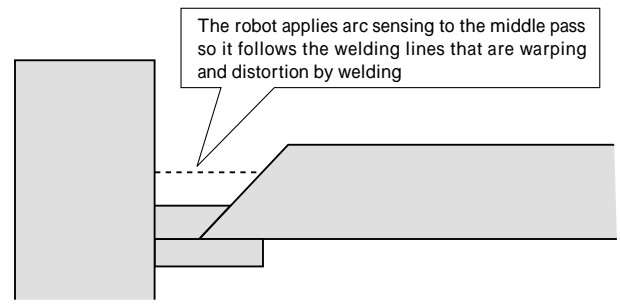


図3 中間パス倣い  
Fig. 3 Arc sensing of the middle pass

面に直接アークを当てられる1層目に限定して使用するのが一般的であり、2層目以降は前パスのビード表面形状にアークセンサが影響されるため、これを用いずに溶接されていた。

新たにロボット機能として中間パスのアークセンサ補正結果が上方パスに反映されるように改良されたのを利用し、図3のように2層目以降にもアークセンサを適用することを前提に溶接条件開発を行い、3層目まで安定してアークセンサを適用することが可能となった。これにより溶接途中の変形にも対応でき、これに起因する溶接欠陥を防止し、溶接品質向上をはかることができた。

### 1.3 横向突合せ溶接機能

横向溶接は昨今の鉄骨における低入熱溶接施工要求の中で、低入熱施工法として注目されている。

また、ロボット溶接においては、図4に示すように梁の溶接を大組立ロボットシステムで一括して施工するための手段としても期待されている。

従来から柱貫通柱の梁取付けのためのT継手横向溶接は存在したが、このたび鉄骨の主力である梁貫通柱のダイヤフラム・梁フランジの横向突合せ溶接を開発した。

横向突合せ溶接は、梁フランジとダイヤフラムが形成する垂直面に沿ってビード表面を形成する必要があるため、ビード形状をフラットに形成するのが困難であった。

そこで図5に示すように、ビード表面近くまで積層が進んだところで断面の小さなパスを並べて行くという

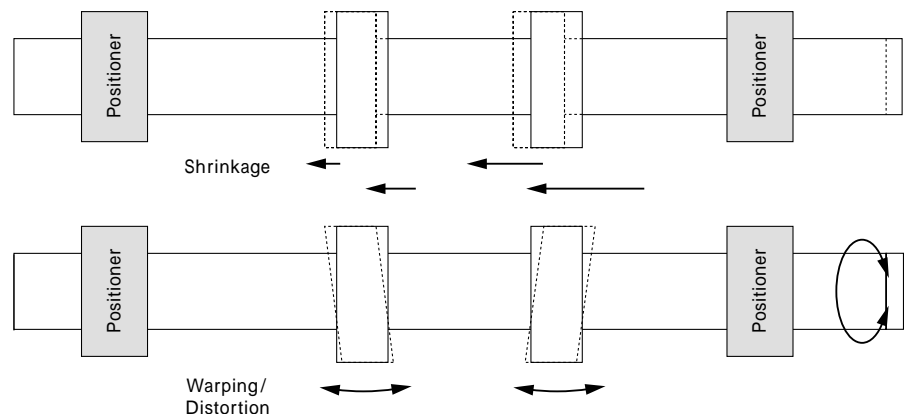


図2 鉄骨柱の溶接中の変形  
Fig. 2 Warping and distortion of thermal expansion by welding

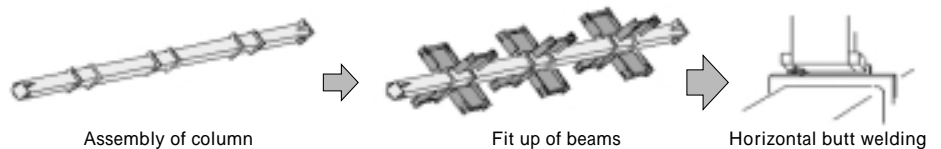


図4 梁一括横向溶接の一例  
Fig. 4 Application of horizontal butt welding

コンセプトでビード表面形状を整え、ロボットでの横向突合せ溶接を実現した。ビード外観写真を写真2に示す。

## 2. 長時間連続運転を目的とした開発

長時間無人化運転機能は、ユーザから最も注目されている能力である。それは夜間無人運転を意図したもので、これを実現することにより、大幅なコスト低減と省力化につながることは明白であり、開発作業としてもノズルオートチェンジの開発など、最も力を入れてきたものの一つである。ここでは最近の開発例を紹介する。

### 2.1 スラグ自動除去機能

鉄骨の溶接、特にロボットの主たる適用継手は裏当金付きの完全溶込み継手であり、板厚25mmを超えるような厚板溶接では、ビード表面に堆積するスラグ量が過剰となり、そのまま溶接を続行するとスラグ巻き込みなどの溶接欠陥やアーク不安定などのトラブル原因となる。

従来は開先深さ25mm程度で一時停止させるようあらかじめ設定しておき、一時停止中に人手でスラグ除去作業を行っていた。

また上述のパス分割機能を活用して、全継手を開先深さ25mm程度に相当するパスまで溶接して一時停止するように設定し、一括してスラグ除去作業を行い、効率化を図っている。しかしながらスラグ除去作業を人力に頼る限り、無人化連続運転には限界がありこの自動化が望まれていた。

今回開発したスラグ自動除去装置は、ツールチェンジャを用いて溶接トーチをスラグチップに持替えるもので、パス分割機能を用いて全継手をあらかじめ設定した中間スラグ除去パスまで溶接した後、ロボットはトーチを置台に移しスラグチップを自動装着し、全継手のスラ

グ除去作業を行う。この際アークセンシングで最後に記憶した軌跡をたどるため、常に正確な狙い位置でスラグ除去作業が可能となる。写真3にスラグ除去装置を示す。

### 2.2 エラー自動回避機能

長時間無人化運転を実現するために大きな障害となっていることの一つに、ロボットの異常停止がある。原因の多くは、アークスタートミス、溶接終了時のワイヤスティック、溶接中にシールドノズルが開先壁に接触するノズル接触であり、これらを克服するため異常発生時にこれを自動的に回避する機能が開発されてきた。

#### 2.2.1 アークリトライ機能

ビード上のスラグなど、絶縁介在物が原因でアークスタートができない場合、スタート位置をずらして再スタートを試み、アークスタートに成功したら本来のスタート位置に戻って動作を継続する機能である。

#### 2.2.2 ノズル接触回避機能

シールドノズル(以下ノズル)は必要なシールド性能を得るため、その直径を可能な限り大きくしているが、軽微な開先角度不整やワイヤ曲がり、開先へのスパッタ付着などがあつた場合、ノズルがワークに接触する事がある。

ロボットはこれを検出して停止するが、実際にはウィーピングの両端で瞬間的に接触する機会が多く、この程度のノズル接触は無視するのが適当である。そこでノズル接触の継続時間に応じてエラーとする機能を実現した。

#### 2.2.3 スティックチェック機能

溶接終了時、ワイヤと母材との接触をチェックし接触している場合は微小時間溶接電流を通電し、接触を断つ機能である。これらの機能追加により、長時間運転能力は大幅に向上した。

## 3. 商品力向上を目的とした開発

### 3.1 柱大組立システムの小型化

鉄骨ロボットシステムの普及の中で、中小の鉄骨ファブにも大型の柱大組立ロボットシステムが入り始めるにつれ、狭い工場スペースを有効に活用すべく設備の小型化要求が高まってきた。これに応じて、特に設備の幅を大幅に小型化した新型大組立システムを開発した。

図6に、搭載重量最大15tf、柱径最大1000mmの柱大組立ロボットシステムの旧型との比較を示す。

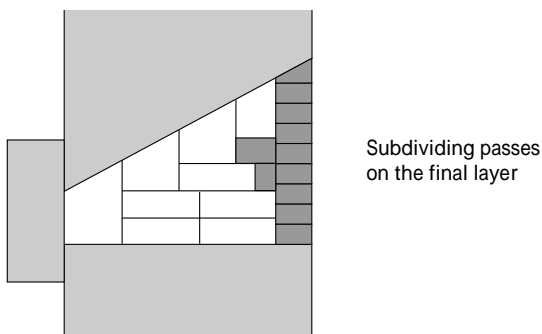


図5 横向突合せ溶接の積層法模式図

Fig. 5 Pass sequence idea of horizontal butt welding

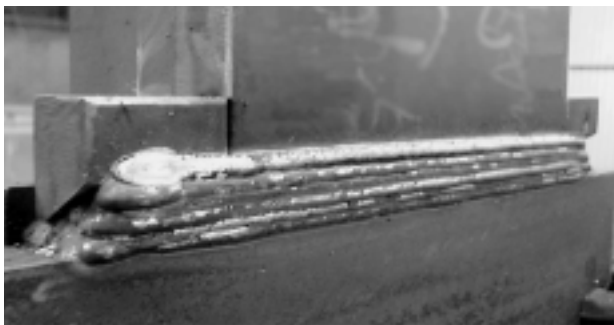


写真2 横向突合せ溶接のビード外観

Photo 2 Bead appearance of horizontal butt welding



写真3 スラグ自動除去装置

Photo 3 Automatic slag remover

この例では搭載能力は従来使用のまま、幅寸法を25%削減した。

### 3.2 溶接条件の高速化

鉄骨のような厚板構造物の溶接では、ロボット稼働時間の中に占めるアーク発生時間の比率が大きく、溶接時間短縮をはかることがロボット稼働時間短縮に最も有効である。この観点から溶接の高速化を進めてきた。特に裏当金の取付方法によっては、溶落する危険性のある初層とビード外観を重視する最終層を除く中間層で溶接電流と溶接速度の増大をはかった。図7に旧溶接条件とのアークタイムの比較を示す。

### 3.3 鉄骨溶接ロボット認証対応

2001年4月より建築鉄骨溶接ロボットの型式認証制度が発足した。これは鉄骨溶接ロボットの導入がすすむにつれ、鉄骨業界の中からロボットに関する公式評価基準制定の要望が高まり、これに応じて(社)日本溶接協会ロボット溶接研究委員会が中心となり検討を重ねてきたもので、日本溶接協会とロボット工業会の共同規格として制定された。表1にこの規格番号を示す。

この内容は申請者がロボットのメーカ、型式、溶接ワイヤの規格、シールドガスの種類、溶接板厚範囲などを指定し、その内容に基づいて継手の部位、溶接姿勢によって細分化された試験種目ごとに立会溶接を行い、上記規格で定められた非破壊試験、機械試験を経て、合否が判断される。

当社はすでにARCMAN-RON鉄骨溶接ロボットとして第一回の受付に対応し、受験しており、表2に2001年12月時点での認証取得種目を示す。今後も機能追加や改良の折には、随時認証範囲を拡大していく。

むすび = 1980年代後半から本格的な導入が始まった鉄骨溶接ロボットは、今や必須の生産手段として大手から中小の鉄骨ファブリーケータに至るまで確実に根付いてきた感がある。

今後も多岐に渡るニーズを受け、真にタイムリかつ有用な開発を心がけ、トップシェアを維持するよう精進してゆきたい。

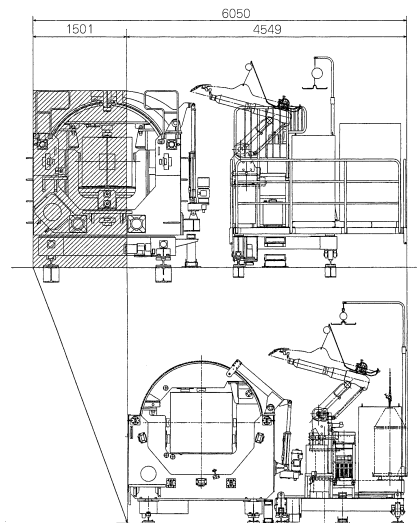


図6 大組立溶接ロボットシステムの小型化  
Fig.6 A view of miniaturizing robot system for final factory assembly of steel structure

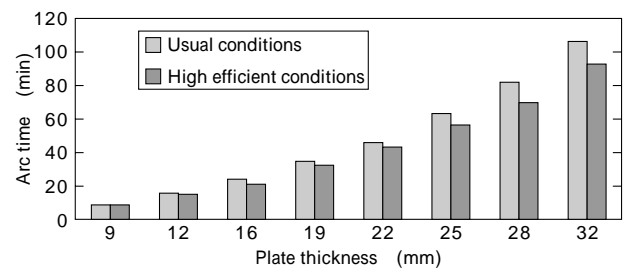


図7 新旧アークタイムの比較  
Fig.7 Comparison of the arc times

表1 建築鉄骨溶接ロボット認証規格  
Table 1 Standard of certification for welding robots of building structure

	The Japan Welding Engineering Society	Japan Robot Association
Standard qualification procedure for welding robots of building structures	WES 8703-2000	JARAS 1012-2000
Certification procedure for welding robots of building structures	WES 8704-2000	JARAS 1013-2000

表2 ARCMAN-RON 建築鉄骨溶接ロボット認証取得範囲 (2001年12月現在)  
Table 2 Extend of certification for ARCMAN-RON welding robot of building structures (situation in Dec. 2001)

Joints	Extend of certification								No.
	Welding position	Thickness (mm)	Root gap (mm)	Groove angle	Welding wire		Shielding gas	End tub	
					JIS	Diameter			
Beam-column connection (T-joint/SRC)	Flat	9~40	4~10	35°	YGW11	1.2	CO <sub>2</sub>	Flux	PPFF010
					YGW18			Steel	PPFS018
	Horizontal	9~40	4~9	35°	YGW11	1.2	CO <sub>2</sub>	Flux	PPHF011
					YGW18			Steel	PPHS012
Vertical	16~40	4~10	35°	YGW11	1.2	Ar-CO <sub>2</sub>	Flux	PPVF025	
				YGW18			Steel	PPVS026	
Beam-diaphragm connection (Butt joint/connection)	Flat	9~40	4~10	35°	YGW11	1.2	CO <sub>2</sub>	Flux	DPFF015
					YGW18			Steel	DPFS016
	Horizontal	9~40	5~8	35°	YGW11	1.2	CO <sub>2</sub>	Steel	DPHS017
					YGW18			Flux	PPVF027
Vertical	16~40	4~10	35°	YGW11	1.2	Ar-CO <sub>2</sub>	Steel	PPVS028	
				YGW18			-	SDFN013	
Diaphragm-steel square pipe connection	Flat	9~40	4~10	35°	YGW11	1.2	CO <sub>2</sub>	-	SDFN013
Diaphragm-steel tube connection	Flat	9~40	4~10	35°	YGW11	1.2	CO <sub>2</sub>	-	CDFN014