

(解説)

# 溶接ロボットシステムの現状と今後

## Present State and Future Prospects of Robotic Welding System



芝池雅樹\*1  
Masaki SHIBAIKE



永田 学\*2  
Manabu NAGATA



本間正浩\*2  
Masahiro HONMA

Recently, exports of welding robots to overseas, especially to China, have rapidly increased. On the other hand, the robotic systems introduced in the mid 1990s are waiting to be replaced. New robotic technologies, welding technologies, equipment and software have been developed to meet the demand for increased production in emerging nations and for domestic replacements.

まえがき＝溶接総合メーカーとして当社は、長年に渡って溶接工程の品質向上や自動化、生産性向上に貢献してきた。溶接材料や溶接電源をはじめ、溶接施工法、溶接ロボットおよび周辺装置などに関して幅広く研究開発を進め、とくに建設機械や建築鉄骨などの中厚板分野向けに溶接ソリューションを提供している。現在は、国内市場で培った技術をベースに、日本から世界に向けてグローバルに事業展開している。

本稿では溶接ロボットシステムの市場動向について紹介し、溶接ロボットシステムに求められる技術、機能について、現状と今後の展望を解説する。

### 1. アーク溶接ロボットの市場動向

アーク溶接ロボットの出荷台数（ロボット工業会統計<sup>1)</sup>）を図1に示す。国内製造業は、地産地消の推進や円高対策により生産拠点を海外に移す動きが加速している。それに伴い、アーク溶接ロボットも2009年以降、輸出比率が70%を超えている。

当社においても同様に、2010年以降は海外向け比率が高まっている。とくに、建設機械の巨大市場である中国

向けが急増した。油圧ショベルの世界需要のうち、中国が約40%を占めている状況であり、新工場向けロボットの需要が拡大した。一方で、国内においてはリプレース需要が中心となっている。当社の主要市場である建設機械、建築鉄骨、鉄道車両や橋梁などの中厚板分野では、1990年代半ばに導入されたシステムが更新時期を迎えている。総じて、海外新興国では増産対応需要、国内ではリプレース需要が中心である。

顧客においては、溶接ロボットは競争力向上の武器であり、その能力を最大限引出すことが企業優位性を確保するといえる。溶接ロボットメーカーには、多様化するユーザーニーズを取込み、顧客の競争力を高める技術開発が求められている。

### 2. アーク溶接ロボットに求められる性能

溶接ロボットシステム導入にあたり、増産対応のためには高い生産能力が要求され、リプレース需要には格段の合理化と性能向上が求められる。設備導入目的によって注目する性能に違いはあるが、溶接ロボットに対する普遍的ニーズとしては以下のようなものがある。

- ① サイクルタイムの短縮：サイクルタイムを短縮し、1システムあたりの生産量を増加させる。
- ② 溶接品質の向上：溶接作業の自動化により、良好な溶接品質を安定して確保する。
- ③ ロボット適用拡大：ロボット適用率を上げ、溶接工程の省人化を図る。
- ④ 省スペース：ロボットシステムの省スペース化により、単位面積あたりの生産能力を上げる。
- ⑤ 教示作業の高効率化：簡単な教示作業で、教示時間と設備停止時間を極小化する。
- ⑥ ITによる生産性向上：パソコンやデータ通信を利用して設備稼働状況を的確に把握し、教示データ修正

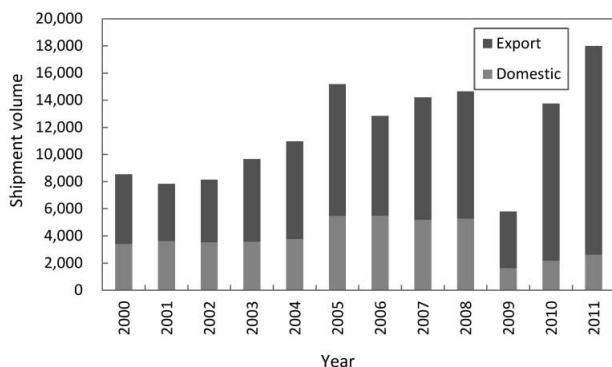


図1 アーク溶接ロボット出荷台数<sup>1)</sup>  
Fig. 1 Shipment volume of arc-welding robots<sup>1)</sup>

\*1 溶接事業部門 技術センター 溶接システム部 \*2 溶接事業部門 技術センター

など生産設備の改善作業につなげて生産性向上を図る。

当社は、これらのニーズに答えるため技術開発を継続し、市場の高い要求レベルに対し、今後も新技術、新製品を生み出し市場に投入していく。

### 3. サイクルタイムの短縮

溶接時間を短くすることは生産性向上に直結する。厚板構造部材の溶接システムにおいては、高速溶接、高溶着溶接を特長とするロボット溶接方法を開発、実用化している。

#### 3.1 タンデムアーク溶接法

タンデムアーク溶接法<sup>2)</sup>は、電氣的に絶縁された2本の電極を溶接進行方向に直列に配置し、その極間を20mm程度としてワンプールで溶接する方法である。単電極で過度に電流を大きくすると、アーク力が強くなり過ぎて凸ビードやアンダカットなどが発生しやすい。一方、2本の電極におのおの適正な電流を通电することにより、単電極あたりのアーク力抑制と相互作用による溶融池流動の抑制が図られ、高速溶接性と健全なビード形成が両立できる。この方法によれば、単電極による一般的な従来法に対して3～4倍の溶接速度が得られる。

一方で、トーチが大型化するため狹隘（きょうあい）箇所への適用が制限される。また、電極間のアーク干渉に起因して発生するスパッタの低減が課題であり、この対策として後述する波形制御による改良技術の開発を進めている。

#### 3.2 「大電流 MAG Process」

ソリッドワイヤを用いて大電流でマグ溶接を行うと、ワイヤ先端部が回転するローテーティング移行となってスパッタ発生量が増加する。また、シールド性も劣化するため、実用上、溶着速度で150～200g/min、電流で400～450Aが限界である。

当社は近年、フラックス入りワイヤを用いた新たな「大電流 MAG Process」<sup>3)</sup>を開発した。電流密度が高くなってもワイヤの構造によりフラックス柱が維持され、ローテーティングしにくいことに注目して開発したものである。耐気孔欠陥など大電流用に設計した専用フラックス入りワイヤ、および大電流でも緻密な出力制御が可能な溶接電源により、500～600Aの大電流域でもアーク長変動のない安定したスプレー移行とすることができ、200～300g/minの高溶着量が得られる。

単電極による溶接法のため、タンデムアーク溶接法のような狹隘箇所への適用制限がないうえに、ロボット教示も従来と同様に簡単である。この「大電流 MAG Process」が生産現場に広がり、定着することを期待している。

#### 3.3 REGARC<sup>TM</sup>プロセス

安価なシールドガスを用いる炭酸ガスアーク溶接法は、国内では主要な溶接法である。REGARC<sup>TM</sup>プロセス<sup>4)</sup>（以下、REGARCプロセスという）は、特殊な波形制御と専用ワイヤにより、規則的な溶滴移行を実現し、炭酸ガスでもマグ（Ar-CO<sub>2</sub>混合ガス）溶接と同等レベ

ルまでスパッタを低減させた、炭酸ガスアーク溶接法である。溶着速度も、従来法と比較して同一電流で20～25%高めることができる。

低スパッタを特長とし、鉄骨溶接ロボットシステムへの搭載が進められているが、建設機械の溶接にも一部適用され低スパッタと高溶着性が評価されている。

#### 3.4 鉄骨柱大組立・コア連結 2 アーク溶接方法

建築鉄骨向け溶接ロボットシステムにおいて2アーク溶接方法が実用化されている。1台のポジションで鉄骨柱を回転させながら2台のロボットで同時に溶接する方法であり、溶接時間を半減できる。ロボット間の速度同期制御と溶接条件の自動調整により、開先幅の異なる二つの継手も同時に溶接することができる。

柱大組立システムでの2アーク溶接方法をはじめに確立した。その後、スリムなロボットの採用と新たな動作生成アルゴリズムによって、より接近した位置での同時溶接が必要なコア連結溶接に対しても、2アーク溶接方法が適用可能となった<sup>5)</sup>。

### 4. 溶接品質の向上

溶接品質の向上は、溶接部の信頼性確保のほか、後工程での手直し作業低減にも有効である。スパッタ発生量の低減、および適正なワイヤねらい位置や溶接姿勢を維持することが溶接品質を確保する上で重要である。

#### 4.1 デジタル制御溶接機

主回路インバータの高周波化と制御回路の演算能力向上により、デジタル制御溶接機の高性能化が図られている。高速で緻密に溶接出力波形をコントロールし、前章で述べた高能率な溶接プロセスを実現するとともに、低スパッタ化など溶接品質向上に重要な役割を担っている。

こうした高性能なデジタル制御溶接機により実現した波形制御の一例として、タンデムアーク溶接法においては、従来のパルス同期波形制御を改良した同期振幅変調制御<sup>6)</sup>を考案し、スパッタ発生量を半減している。また、炭酸ガスアーク溶接においてもREGARCプロセスによりスパッタ発生量を10%まで激減させた。

デジタル制御溶接機はロボットコントローラとの間でデジタル通信を行うことにより、様々なロボット機能と連携している。多層盛溶接の場合を例にすると、開先の初層は溶落ち防止のためパルスなしのマグ溶接を行い、二層目以降はスパッタの少ないパルスマグ溶接を行うことによって健全で良好な溶接継手を確保できる。

#### 4.2 アークセンサ

アークセンサは、トーチ周りに特別な機器を取付けることなく、溶接中に溶接線の位置ズレを検出してズレを補正することができる実用性に優れたセンサである。現在の中厚板溶接ロボットでは一般的に広く使用されている。

タンデムアーク溶接法では、先行極によるアーク倣い（ならい）機能に加え、後行極の教示誤差やワイヤ曲が

脚注：REGARC（REGARC<sup>TM</sup>）は当社の商標である。

り癖などの変化に対応するため、後行極も同時にアーク  
倣いさせる機能（デュアルアークセンサ<sup>7)</sup>）を開発し、  
溶接品質の向上や手直し低減に貢献している。

#### 4.3 ロボット・ポジショナの協調制御

ロボットとポジショナの協調制御は、下向姿勢を維持  
しつつ曲線部と直線部が混在した継手を溶接することが  
でき、ビード形状および溶込みの信頼性が格段に向上す  
る。溶接対象物が大形の場合、協調制御を行うためには  
対象物を高速で回転させる必要がある。このため、制御  
性能の向上、および大容量サーボモータの採用などによ  
って大形化のニーズにも対応している。

### 5. ロボット溶接の適用拡大

ロボットの溶接適用率を高めることにより、残溶接工  
程における省人化や手溶接設備の削減などを図ることが  
きる。また、ロボット溶接が適用可能な溶接対象物の拡  
充はロボットの稼働率向上につながり、生産性を高めら  
れる。

#### 5.1 ケーブル内蔵溶接ロボット

厚板構造部材の溶接では、溶接対象物の内面深くに溶  
接トーチが入り込むケースが多く、トーチおよびトーチ  
ケーブルが溶接対象物と干渉しやすい。その解決手段と  
してケーブル内蔵溶接ロボット<sup>8)</sup>を開発した。

ケーブルを内蔵するとともに、ロボット後方の動作範  
囲を大きくできるアーム構造とすることによって、大形  
構造物へのアプローチが容易な天吊姿勢溶接の適用可能  
範囲を大幅に拡大することが可能となり、ロボット適用  
率が向上する。図2にケーブル内蔵ロボットを用いた建  
設機械向け溶接システムを示す。

タンデムアーク溶接用トーチもロボットアーム先端の  
手首部に内蔵できるため、従来では困難だった狭隘箇所  
での適用も期待される。

#### 5.2 建築鉄骨溶接ロボットシステムの適用拡大

溶接時間が長くロボット溶接の効果が大きいコア溶接  
や柱大組立溶接を対象に自動化を進めてきたなかで、比  
較的溶接長さが短い仕口の溶接、および狭い空間の奥深  
くに溶接継手がある内ダイヤフラムの溶接は手溶接が行  
われてきた。これらの手溶接に対して、天吊マルチワー  
ク溶接システム<sup>9)</sup>、および天吊反転仕口溶接システム<sup>10)</sup>



図2 ケーブル内蔵ロボットを用いた建設機械溶接システム  
Fig. 2 Welding system using a robot with built-in cable for  
construction machinery

を実用化することにより、ロボット溶接が可能となっ  
た。この結果ロボット稼働率が上がり、ロボット導入効  
果が得られるようになった。

また、鉄骨鋼材需要量の6割を占める梁に対しては、  
溶接時間が短いことから自動化が進んでいなかった。そ  
うしたなか、梁専用ポジショナや回し溶接機能の開発に  
続き、溶接時間の短縮と溶接品質を確保した梁鉄骨溶接  
ロボットシステムも実用化した。

### 6. 省スペース

生産設備の設置面積を小さくすることにより、単位面  
積あたりの生産性が高くなるほか、安全通路の確保も容  
易になるなど工場スペースを有効に活用できる。

#### 6.1 ポジショナ・スライダ一体型天吊溶接システム

ポジショナ・スライダ一体型天吊溶接システムは、ロ  
ボットを吊り下げたスライダをポジショナ上に配置した  
構造としている（図3<sup>11)</sup>。このため、スライダとポジシ  
ョナをとともに床置きにするシステムに比べて設置スペ  
ースを小さくすることができ、建設機械や鉄道車両の業界  
において導入実績が多い。

本システムのポジショナは、下向溶接を可能にするた  
めの傾斜軸と回転軸の2軸に加え、さらに昇降軸を備え  
た合計3軸の構造としている。昇降軸フレーム上には左  
右軸と前後軸の2軸を備えるスライダを配置している。  
溶接ロボットは、片持ち梁となっているスライダ前後軸  
の真下に天吊状態で取付けている。省スペースでロボッ  
ト適用率も高い。また、溶接対象物の着脱の際にはポジ  
ショナの昇降軸を下げることによって高所作業を避ける  
ことができるなど、作業者の安全に配慮したシステムと  
している。

#### 6.2 プラズマ切断・アーク溶接兼用システム

プラズマ切断用インタフェースを搭載したロボットで  
は、電流や速度といった切断条件を教示データとして設  
定する。さらに、アークセンサによる切断高さ倣い、お  
よび機械式接触センサによる切断位置補正を行うことに



図3 ポジショナ・スライダ一体型溶接システム  
Fig. 3 Integrated welding system with slider and positioner

よって良好な切断結果が得られる。

プラズマ切断トーチとアーク溶接トーチを持ち替えることによって切断と溶接の二つ作業を1台のロボットで兼用することができ、ロボットの稼働率向上と省スペース化を図ることができる<sup>12)</sup>。この兼用システムは、鉄道車両業界を中心に導入されている。

## 7. 教示作業の能率化

パソコン上で行うオフライン教示は当初、生産設備を止めない教示手段として導入が進められたが、今では教示作業の効率化ツールとしてもオフライン教示は欠くことができないものとなった。膨大で複雑な教示プログラムを必要とする少量多品種の大形構造物の溶接自動化を進めるためには、教示作業を短時間で行うことが必要であり、これにはオフライン教示が有効なためである。

### 7.1 建築鉄骨のオフライン自動教示システム

建築鉄骨構造物は、物件ごとに設計が異なるためサイズや板厚が様々であるが、形状は相似形で溶接箇所は決まっている。建築鉄骨オフライン教示システムは、パソコンでワークの寸法値を入力することによってロボットの軌跡と溶接施工条件を自動的に生成するため、教示作業は極めて能率的である。

さらに、ロボットが溶接ワイヤの電氣的導通を確認することによって部材の取付け位置を自動取得するなど、入力項目をさらに少なくして教示作業者の負荷軽減を図るための機能開発を進めている。

### 7.2 橋梁のオフライン自動教示システム

橋梁構造物も建築鉄骨と同様に、案件ごとに設計が異なる、少量多品種生産の典型的な分野ではあるが、ロボットの導入実績が多い。橋梁業界では早くから専用CADが導入されており、橋梁オフライン教示システムは、このCADデータから溶接線を抽出し、ロボットの軌跡を自動的に作成することができる。また、溶接施工条件も教示プログラムに自動的に組込まれるため、作業者は溶接対象物の実際の設置位置を2点教示するだけでロボットによる溶接作業が可能となる。

### 7.3 建設機械のオフライン教示システム

ロボットシステムがリプレースされる際には、さらなる生産性向上や合理化を目指した新しい構成のシステムが導入される場合が多く、従前の教示データは流用できない。リプレース時の生産中断期間を短縮するための有効な手段としても、オフライン教示システムが使用されている。

近年、3次元CAD設計の普及により、溶接対象物のモデリングはCADデータの変換だけで済み、オフライン教示の効率的な運用環境が整ってきた。また、オフライン教示システムの導入促進と活用効果を高めるため、機能面では、ロボットと溶接対象物の干渉を自動的に回避する機能の強化など、ロボットの軌跡を作成する作業時間を短縮する開発を進めている。図4にオフライン教示システムの操作画面例を示す。

### 7.4 その他少量多品種向けオフライン教示システム

少量多品種であっても、形状が類似している溶接対象

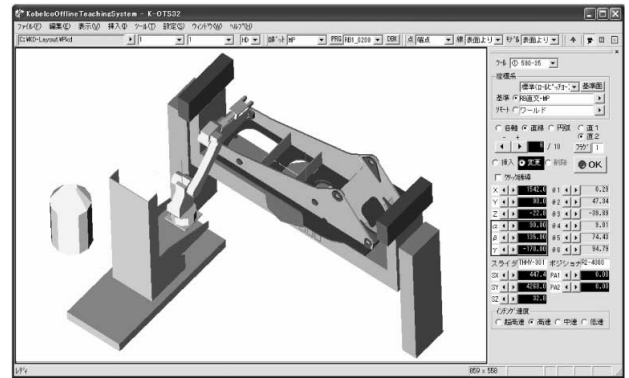


図4 オフライン教示システムの操作画面  
Fig. 4 Operating display of off-line teaching system

物にはオフライン教示システムが有効である。あらかじめ、一つの溶接対象物が実システムで溶接可能な教示データを作成し、ソフトウェア上で自動的に変形して寸法が異なる種類の溶接対象物に対応する方法が使われている。

## 8. ITによる生産性向上

ネットワーク接続したロボットコントローラから各種情報をパソコンに取り込み、生産管理用情報に加工するソフトウェアを開発している。この情報は生産性の向上に活用されている。

### 8.1 鉄骨生産管理情報ソフト

ロボットの運転状況や溶接完了予測時刻の把握により、的確な段取りが可能になる。また、ロボット稼働実績データは精度の高い工程計画の作成に有効であり、無駄のない生産につなげることができる。

さらに、継手のギャップ幅の変動や溶接入熱の実績をデータとして蓄積することにより、品質管理に役立てることができる。

### 8.2 安定生産支援システム

ロボットシステムの安定生産を維持するにはシステムを常に監視し、問題の発生を未然に防ぐ必要がある。また、問題が発生した場合には速やかに改善することが求められる。

当社は、アーク発生率や日々の生産量など生産管理データを容易に把握し、エラーの発生箇所や内容をはじめとする問題発生時の情報の取得を正確かつ容易にした、生産改善を支援するシステムを開発した。顧客においては、ロボットの稼働率向上や稼働時間の増加に向けた改善作業が実施されている。

むすび=溶接工程の自動化を進める上で、ロボット制御技術と溶接材料・溶接電源を含む溶接技術、各種センサ技術、オフライン教示技術、ポジショナなどの周辺装置、および生産管理情報活用技術の進歩が必要である。また、これらの技術を組合せ、顧客に最も適したシステムを構築するエンジニアリング技術が重要である。当社は今後も技術開発を推進し、溶接の高効率化と高品質化のための溶接ロボットシステムを提案し具現化することによって世界に向けて溶接ソリューションを提供していく。

## 参考文献

- 1) 一般社団法人ロボット工業会. 統計データ「年間統計」.  
<http://www.jara.jp/data/index.html>, (参照 2012.11.05).
- 2) 横田順弘ほか. 溶接法ガイドブック 5. 溶接学会溶接法研究委員会編, 2003, p.Ⅱ-211-225.
- 3) 辻 勝之ほか. 溶接技術. 産報出版, 2012, Vol.60, No.11, p.112-117.
- 4) 山崎 圭ほか. 溶接技術. 産報出版, 2010, Vol.58, No.5, p.80-84.
- 5) 岸川浩久. 神戸製鋼所ホームページ. 溶接だより技術レポート, Vol.48, 2008-9, (参照 2012-11-05).
- 6) 佐藤英市. 神戸製鋼所ホームページ. 溶接だより技術レポート. Vol.50, 2010-6, (参照 2012-11-05).
- 7) 重吉正之. 神戸製鋼所ホームページ. 溶接だより技術レポート. Vol.48, 2008-12, (参照 2012-11-05).
- 8) 湊 達治. 神戸製鋼所ホームページ. 溶接だより技術レポート. Vol.51, 2011-9, (参照 2012-11-05).
- 9) 中西紀晶. 神戸製鋼所ホームページ. 溶接だより技術レポート. Vol.46, 2006-6, (参照 2012-11-05).
- 10) 宮田俊介. 神戸製鋼所ホームページ. 溶接だより技術レポート. Vol.49, 2009-6, (参照 2012-11-05).
- 11) 戸川貴雄. 神戸製鋼所ホームページ. 溶接だより技術レポート. Vol.47, 2007-12, (参照 2012-11-05).
- 12) 武富康宏. 神戸製鋼所ホームページ. 溶接だより技術レポート. Vol.45, 2005-10, (参照 2012-11-05).