

(技術資料)

鉄骨溶接ロボットシステムの新商品紹介

戸川貴雄*1・徐培尔*2・栗山良平*3・川西晋平*4・岸川浩久*1・藤本泰成*1

Robotic Welding System with New Equipment for Steel Structures

Takao TOGAWA・Baini JO・Ryohei KURIYAMA・Shimpei KAWANISHI・Hirohisa KISHIKAWA・Taisei FUJIMOTO

要旨

新型マニピュレータ ARCMAN™ A60と新型溶接電源 SENSARC™ RA500を搭載した建築鉄骨向け溶接ロボットシステムを開発した。新システムは、従来システムから生産性向上を目的としてサイクルタイムの短縮を実現している。本稿では、システムを構成する各機器の特長とサイクルタイム短縮を実現した技術を中心に、新溶接電源によって能力向上したREGARC™プロセスと表面処理によって送給性が改善された溶接ワイヤについて解説する。また、それらを利用することで従来の溶接施工条件より溶接電流と溶接速度を向上させた高能率溶接施工条件、およびシステム装置面の開発技術についても述べる。

Abstract

A state-of-the-art welding robot system has been developed for architectural steel frames, featuring the latest technology such as the ARCMAN™ A60 manipulator and the SENSARC™ RA500 welding power source. The system is aimed at increasing productivity and has a reduced cycle time compared with the previous model. This paper provides an overview of the system's components, highlighting the technology that has contributed to the reduction in cycle time. Specifically, the REGARC™ process is covered in detail, which has been improved by the new welding power source, and the welding wire, which now benefits from surface treatment for improved feedability. These advancements have resulted in highly efficient welding conditions, improving the welding current and speed compared with conventional welding techniques, as outlined in this paper. Additionally, the development technology used to create the system equipment is described.

検索用キーワード

溶接ロボットシステム, 建築鉄骨, 波形制御, ワイヤ送給性, 高能率, サイクルタイム短縮, REGARC™

まえがき = 近年、日本国内における建築鉄骨向け鋼材需要量は年間460万t前後で推移しており¹⁾、高度経済成長期に建設された建築物の置き換え需要もあり、しばらくは需要が継続すると見込まれている。そのような中、溶接技能者不足が課題となるいっぽうで、生産性向上や溶接品質向上が求められており、建築鉄骨分野の溶接工程の自動化において、さまざまな取組みがされている。

建築鉄骨分野の溶接工程自動化は工場内溶接の自動化と建設現場での自動化の二つに大別され、そのアプローチについても垂直多関節型ロボットを用いた自動化と可搬型の簡易型ロボットを用いた自動化に大別される。

本稿では、鉄骨ファブリケータ工場内溶接の自動化を対象に、その中でも長時間の連続運転と高い生産性を特長とした垂直多関節型ロボットを用いた溶接ロボットシステムに関して紹介する。

1. システム開発の背景

建築鉄骨の工場内溶接工程での溶接ロボットによる自動化技術は、対象となる溶接構造物が一品一様であり板厚も大きいため、ソフトウェア技術によってプログラムを自動で生成する仕組みとともに、多層盛溶接のためのロボット機能や無人運転性を高める機器を追加することで発展してきた。

鉄骨ファブリケータが新たにロボットシステムを導入する目的は、新規設備導入のほかに、既設システムの更新、および生産量の増加や省人化のための増設である。当社ではそのニーズに応えるために、生産性向上に寄与するサイクルタイム短縮を目的とした商品開発を行った。サイクルタイム短縮については、溶接時間と非溶接時間の両方の時間短縮に取り組んだが、とくに溶接時間については冷間成形角形鋼管柱（以下、コラムという）の溶接条件開発に取り組んだ。

2. システムの特長と構成

当社建築鉄骨向け溶接ロボットシステムの特長は、一品一様のワークに対して、作業者が溶接軌跡や溶接施工条件を実機ティーチングせずにロボット溶接できる点にある。システムの構成としては、溶接ロボット・溶接電源・溶接ワイヤ・ワークを搭載して溶接姿勢をとるためのポジショナ・ロボットマニピュレータを搭載して動作範囲を拡げるための移動装置・連続運転を実現するための関連機器・ロボットプログラムを自動生成する鉄骨ソフトウェアを組み合わせたものとなっている。図1に、建築鉄骨向け溶接ロボットシステムの一例を示す。

ロボット機能としては、ワークの組立時に発生するルートギャップの差を補正する機能や、溶接中のワーク変

*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 *3 溶接事業部門 技術センター 溶接開発部

*4 溶接事業部門 技術センター 溶接システム部 (現 コベルコ溶接テクノ(株) ソリューション技術部)



図1 鉄骨柱大組立溶接ロボットシステム

Fig.1 Structural steel large assembly welding robot system

形に追従するアークセンサ機能を発展させてきた。また、開先多層盛溶接に対してロボットを停止することなく再生運転するために、長短のノズルを交換する機器、スラグ除去工程を自動化する機器、ワイヤカットやトーチ周りの清掃をする関連機器を標準的に搭載している。

鉄骨ソフトウェアには対象継手に応じた複数の溶接条件を格納しており、使用者が継手情報を入力することで継手に応じた溶接条件を呼び出すことができる。用意している溶接条件は、定電圧溶接に加えて、パルス波形制御によるグロービュール移行で安定した溶滴移行を実現できる低スパッタ REGARC™ プロセスを用いた溶接条件の2種類である。REGARC™ プロセスは、パルス波形制御と専用溶接ワイヤとの組合せによって、定電圧溶接法と比較して溶接中のスパッタ発生量の低減を実現している。そのため、母材表面に付着するスパッタが低減し、後工程でのスパッタ除去作業を軽減させることができる。

次章以降において、新電源により能力向上した REGARC™ プロセス、溶接ワイヤ、それらを利用した高能率溶接施工条件、およびシステム装置面での開発技術について述べる。

3. 溶接施工^{2), 3)}

3.1 REGARC™ プロセスの改良

3.1.1 ワイヤ突出し長さ変化に対する溶滴移行の安定性向上

REGARC™ プロセスは、ピーク電流の異なる2つのパルス波形を交互に出力することで溶滴の形成と離脱を安定させ、炭酸ガスアーク溶接のグロービュール移行において低スパッタが実現されている。しかし、溶接中にワイヤ突出し長さが変動してアーク長が変動することで、溶滴移行が不安定となりスパッタが増加することが一つの課題であった。

建築鉄骨向けの溶接構造物の溶接継手形状は、ギャップのあるレ形開先が主である。溶接施工においては、溶込みなどが健全な継手を得るためにウィービング動作をするが、このウィービング動作に伴って開先両端部でワイヤ突出し長さが変化する。このワイヤ突出し長さの変

Conventional

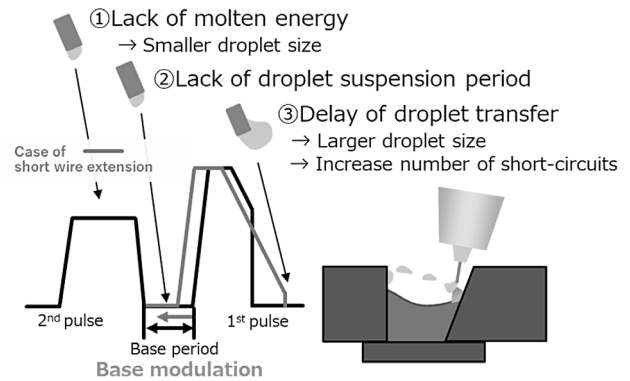


図2 スパッタの発生メカニズム

Fig.2 Spatter generation mechanism

New method

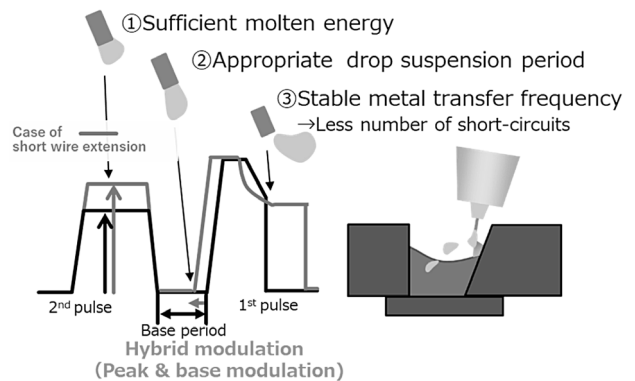


図3 スパッタ発生量の抑制法

Fig.3 A method for reducing spatter generation

化によってスパッタが発生し、とくに開先側で発生したスパッタがワークの立板側に付着していた。

ワイヤ突出し長さの変化によって溶滴移行が不安定となり、スパッタが発生するメカニズムの一例を図2に示す。溶接中にワイヤ突出し長さが変化すると、電流変化に追従するためにパルスのベース期間を変調させている。ベース変調によってベース期間が短くなった場合、エネルギー不足となり溶滴が十分に成長せず、溶滴のくびれと自重が不足して適切なタイミングで溶滴が離脱できない。離脱できなかった溶滴は徐々に成長し、肥大化する場合がある。この肥大化した溶滴が、溶融プールとの接触やアーク反力などにより大粒のスパッタとなる⁴⁾。

このメカニズムに対して、グロービュール移行領域におけるアーク長変動を抑止しつつ、溶滴移行の安定性向上およびスパッタ発生量の抑制をするために、図3に示すような改良を行った。

従来制御では溶滴形成のためのベース期間のみを変調させていたが、加えてパルスのピーク電流を変調する制御を同時に行い、ワイヤを溶融して溶滴を形成するための十分なエネルギーを確保した。また、溶滴形成期間のパルスのベース期間で十分な時間を確保することによって、より安定した溶滴の形成を実現した。あわせて、溶滴離脱期間のパルスの立下り期間に固定電流区間を設けて、所定の溶滴移行周期内での溶滴離脱成功率を向上さ

せた。その結果、溶滴の過大な成長を抑制し、大粒スパッタの発生を低減させている。

溶接電源RA500を用いた新しいREGARC™プロセスにおいては、従来のREGARC™の基本波形を踏襲したうえで、さらに波形制御を最適化し、グロービュール領域における溶滴移行形態の安定性向上およびスパッタ低減を実現した。図4に、開先内の溶滴移行現象の比較を示す。

3.1.2 溶接電流領域の拡大

溶滴移行の安定性を向上させた結果、REGARC™でのワイヤ送給速度を従来の16.4 m/minから18.0 m/minへ、最大溶接電流を320 Aから340 Aへ拡大することができた。その結果、詳細は3.3節で記述するが、高能率溶接施工の実現に寄与することができている。

ワイヤ送給速度18 m/min、設定溶接電流340 Aにおける、従来のREGARC™プロセスと新たなREGARC™プロセスの溶滴移行形態の比較を図5および図6に示す。図5の従来法では溶滴が成長後に溶融池と短絡することなどで大粒のスパッタとなっているが、図6の改善後の制御では規則的な溶滴形成と安定した溶滴離脱ができていく様子が見られる。

3.1.3 鉄骨構造物の開先内のスパッタ発生について

新たなREGARC™プロセスは、従来の溶接電流領域における溶滴移行形態でも安定性が向上している。従来のREGARC™プロセスと新たなREGARC™プロセスによって、建築鉄骨の構造物を模した板厚22 mmのコラム試験体を溶接したときのスパッタ発生量を、ギャップ4 mmと10 mmの場合で比較した結果を図7と図8に示す。設定電流280 A、ワイヤ送給速度13.8 m/minの溶接条件において、ギャップ4 mm、10 mmのいずれの場合においてもスパッタ発生量が低減している。このことから、基準となるギャップ7 mmに対して組立精度によるギャップ変動が生じたとしても、スパッタが低減する効果が認められる。

3.2 専用溶接ワイヤの開発

当プロセスに適用する溶接ワイヤは、従来プロセスに比べてワイヤ溶融速度すなわちワイヤ送給速度の増加に対応できるワイヤでなければならない。ワイヤ送給速度の上昇に伴い、ワイヤが送給経路の内面から受ける反力も上昇するため、安定したワイヤ送給速度を保つことはより難しくなる。断続的に長時間連続して溶接されることを前提とする場合、ワイヤ送給速度の変動を抑制して

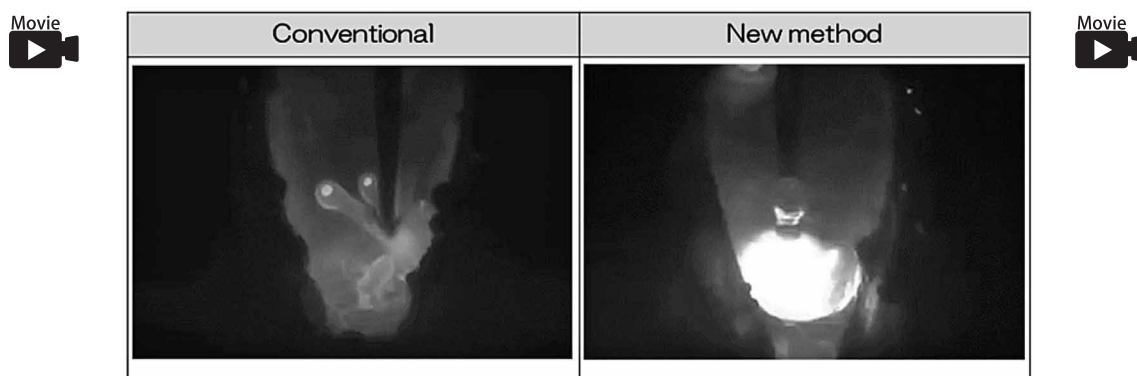


図4 開先内の溶滴挙動の観察
Fig.4 Observation of Metal droplet transfer in the Welding groove



図5 REGARC™プロセスの溶滴移行形態
Fig.5 Metal droplet transfer by conventional process



図6 New REGARC™プロセスの溶滴移行形態
Fig.6 Metal droplet transfer by new process

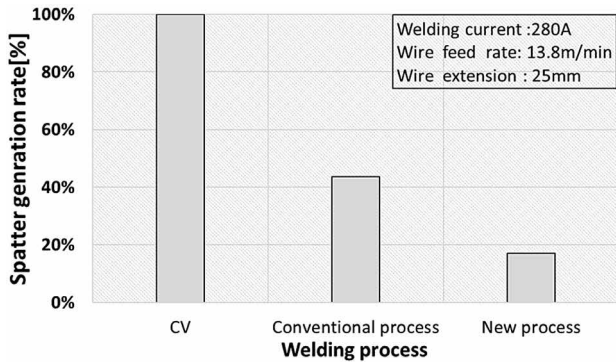


図7 コラムコア (t: 22mm, gap: 4mm) スパッタ比較

Fig.7 Comparison of spatter generation rate between conventional process and new process (column t: 22mm, gap: 4mm)

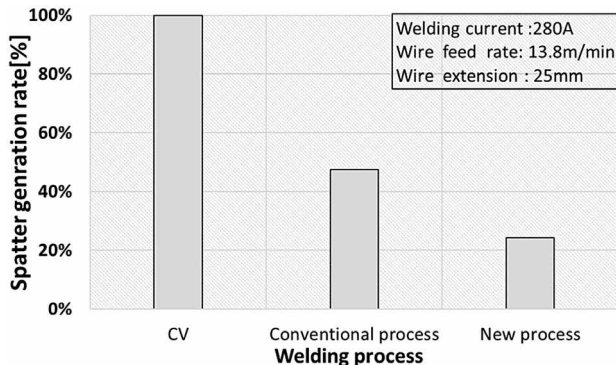


図8 コラムコア (t: 22mm, gap: 10mm) スパッタ比較

Fig.8 Comparison of spatter generation rate between conventional process and new process (column t: 22mm, gap: 10mm)

安定した溶接を実現するためには、ワイヤ送給性はより優れたものでなければならない。

ワイヤ送給速度の変動に影響をおよぼす因子として、送給経路の湾曲状態や送給経路内の固形物詰りなどが挙げられる。送給経路の湾曲については、極端に小さい曲率半径にならないようにロボットシステムは設計されているため、ここでは送給経路内の固形物詰りについて詳しく言及する。

ロボットシステムに搭載するパック入りワイヤは、フレキシブルコンジットから送給装置を通過し、トーチケーブル内のコンジットライナや溶接トーチ内のインナーチューブを経由して、コンタクトチップで給電されながら溶接に供される。このとき、送給装置より後に通過するコンジットライナ・インナーチューブ・コンタクトチップにワイヤ表面から発生する銅粉などの固形物が堆積し続けると、ワイヤ送給性やアーク安定性に悪影響を及ぼす。とくに、ワイヤ送給経路の先端に位置するコンタクトチップはワイヤとの空隙も小さいため、固形物が詰り易い構造となっている。定期的に送給経路内を清掃することで、堆積していく固形物の弊害を抑止することは可能であるが、ロボットシステムの連続運転性を考慮すると頻繁に送給経路内を清浄化することは現実的ではない。

表1に示すNew REGARC™専用ワイヤは、ワイヤ製造工程で特殊な表面処理を施すことで、溶接電流が高い過酷な溶接条件においても、図9に示すとおり従来ワ

表1 New REGARC™専用ワイヤのラインナップ
Table 1 Products applied New REGARC™ process

Products' name	JIS Z 3312 classification	T.S. grade of deposited metal
FAMILIARC™ MG-50R(A)	YGW11	490MPa
FAMILIARC™ MG-56R(A)	YGW18	550MPa
TRUSTARC™ MG-60R(A)	G59JA1UC*	590MPa

*Index of chemical composition; 3M1T

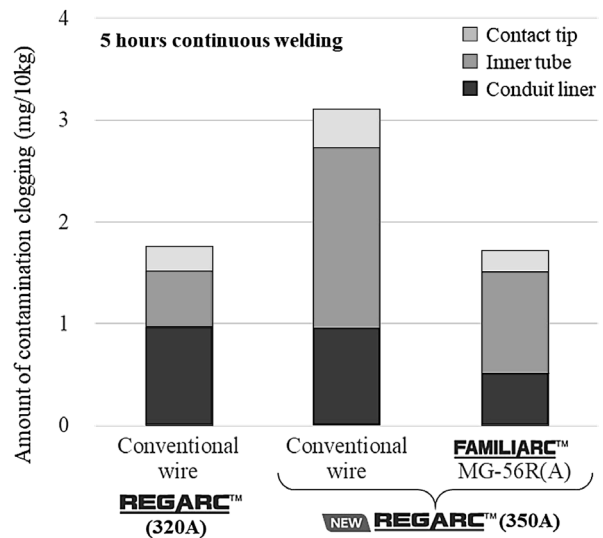


図9 送給経路内 固形物詰り量の一例

Fig.9 Example about amount of contamination clogging in wire feeding route parts

イヤに比べて送給経路詰り量を抑制する特長を有している。これはワイヤ表面に施した特殊処理により、ワイヤ表面とコンジットライナあるいはインナーチューブとの摺動（しゅうどう）摩擦抵抗を低減させることができたことで、送給経路内でワイヤ表面の銅めっきが脱落しにくくなった効果が大きいといえる。New REGARC™専用ワイヤを適用することで、長時間の連続溶接でも安定した溶接パフォーマンスを実現させることができる。

3.3 コラムの高効率溶接施工条件

3.1節で記述したとおり、新たなREGARC™プロセスでは、図10のように溶接電流およびワイヤ送給速度を向上させることが可能となった。この拡大された溶接電流とワイヤ送給速度の領域を活用し、コラムと通しダイアフラムの周溶接を対象とした新しい溶接施工条件を開発した。開発した高効率溶接施工条件では、従来どおり1パスごとの入熱を30 kJ/cm以下に制限しており、従来のREGARC™と同等の機械性能を維持するとともに、溶接電流と溶接速度を上げることでサイクルタイム短縮を実現している。

3.4 継手性能

従来のREGARC™溶接条件と新たに開発した溶接条件を用いて、板厚32 mmのコラムと通しダイアフラム継手を模した試験体を用いて性能を比較した。パス間温度は250℃以下で、溶接ワイヤはFAMILIARC™MG-56R(A)

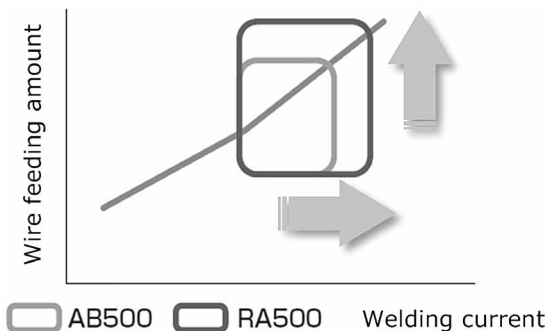


図10 REGARC™の溶接電流範囲の拡大
Fig.10 Expansion of welding current range of REGARC™

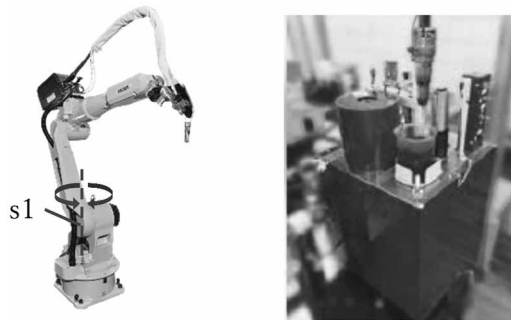


図12 ARCMAN™A60, 自動ノズル交換装置
Fig.12 ARCMAN™A60, nozzle auto changer

表2 従来法と開発施工条件での溶接金属の機械的性質比較
Table 2 Comparison of mechanical properties of weld metal between conventional process and developed process

Item	Location	Conventional	Developed
TS(MPa)	Straight	650	643
σ_{E0c} (J)	Straight	111	108
	Corner	123	124

を使用した。溶接継手の機械性能として、全溶着金属の引張試験結果とシャルピー衝撃試験結果の比較を表2に示す。なお、シャルピー衝撃試験はコラム上面から板厚方向へ深さ7 mmの位置で実施した。引張強度とシャルピー衝撃試験値は、ともに従来法と同様に建築鉄骨で求められる基準を十分に満たしている。また、溶込み深さについても、図11の断面マクロ写真が示すとおり、従来法と新たに開発した条件において同等の結果が得られている。

4. 新鉄骨溶接ロボットシステムの構成と特長³⁾

本章では、2章で説明したシステム構成機器のうち、アーク溶接ロボットARCMAN™ A60、ノズルの自動交換清掃装置(NAC-3)、そのほかの関連機器に関して説明する。図12に、溶接ロボットとノズル自動交換清掃装置の外観を示す。

ARCMAN™ A60の特長の一つとして、ロボット1軸駆動部の中心が中空となっており、1軸部にケーブルを

内蔵することが可能となったことが挙げられる。鉄骨溶接ロボットシステムでは、溶接トーチとの持替えが可能なスラグ除去自動化装置を使用しており、必要なエアホースや信号線をロボット手首部まで配線している。これらのホース類や信号線を、従来システムではロボット後方で空中配線としていたが、新鉄骨溶接ロボットシステムでは1軸部を通してマニピュレータ下腕に沿って配線した。これによって、ロボットが動作した際に、後方で空中配線していたホース類や信号線との干渉の懸念がなくなった。

ノズルの自動交換清掃装置(NAC-3)では、ノズル着脱ミスの防止、および交換動作時間の短縮を実現している。加えて、セットされたノズルが指定の位置のものと一致しているかをノズル交換動作前に確認することで、システム停止や装置故障を未然防止する機能を担っている。また、NAC-3の開発とあわせて、ロボット移動装置に搭載される関連機器の配置検討やロボットの運転方案の最適化を実施したことにより、ノズル清掃やノズル交換、ワイヤカットなどの非溶接時間を短縮した。図13に、従来システムARCMAN™MPと新システムARCMAN™ A60での動作時間の比較を示す。

以上のように、移動装置に搭載されるARCMAN™ A60および関連機器に関する取組みを紹介してきたが、移動装置本体も構造・部品形状の最適化により厚板溶接に求められる高い剛性を実現している。

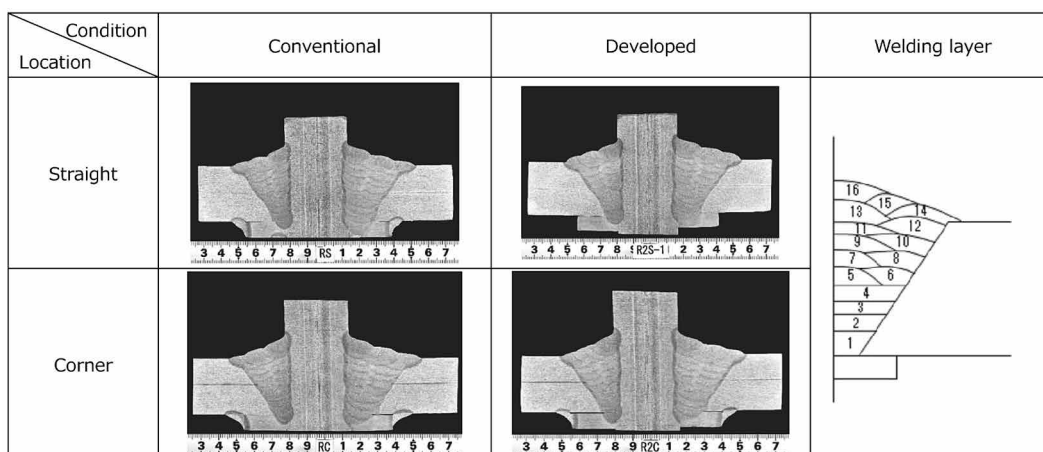


図11 従来法と開発施工条件での断面マクロ比較
Fig.11 Cross-sectional macro comparison between conventional method and developed construction conditions

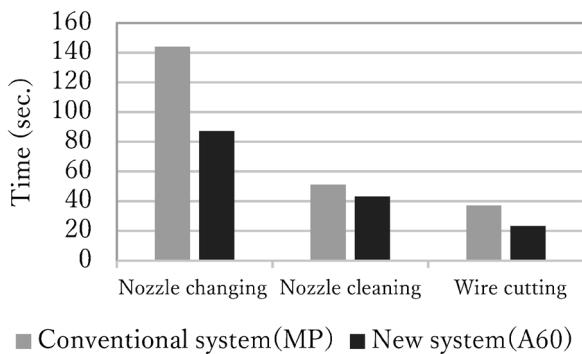


図13 柱大組立システムでの関連機器時間比較

Fig.13 Comparison of related equipment time in structural steel assembly welding robot system

5. 導入効果

これまで述べてきた溶接施工条件変更による溶接時間の短縮や、関連機器配置見直しなどによる非溶接時間の短縮によって、コラム溶接におけるロボットでの生産時間を最大10%以上短縮することができた³⁾。

一例として、コラム径□800 mm、板厚32 mm、ルートギャップ7 mmの1継手のサイクルタイムを試算して、比較した結果を表3に示す。全体のサイクルタイムの約15%、アーク発生時間の約12%が短縮されている。また、アーク発生時間の削減に伴い、シールドガスの使用量も削減される。なお、本サイクルタイムは、開発した溶接施工条件と関連機器動作時間の実測値をもとに、当社の鉄骨ソフトウェアを用いて試算したものであり実機でのサイクルタイムとは異なる。また、本サイクルタイム試算値には、中間層のスラグ除去のための時間を含んでいる。

表3 サイクルタイム見積試算比較
Table 3 Comparison of estimate cycle time

	Conventional MP×AB500	New system A60×RA500
Cycle time (min)	201	171
Welding time (min)	148	129
Arc ratio (%)	73.4	75.5
Shielding gas consumption (L)	3,689	3,229
Pass count (pass)	16	16


むすび＝本稿では、当社鉄骨溶接ロボットシステムの新商品にかかわる最新技術・特長について紹介した。これら新技術による生産性向上のベースとなるのは、連続運転において途中で停止しない安定稼働である。紙面の都合により十分な記述をしなかったが、生産性向上のみならず当社では安定稼働・品質向上についても取り組んでいる。

これらの新技術・新商品が生産現場で活用されることで、溶接分野における生産性向上と品質向上の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 鋼構造出版. 鋼構造ジャーナル. 2022, No.2082, p.1.
- 2) 山崎 圭ほか. 溶接技術. 2010, Vol.58, No.5, p.80-84.
- 3) 藤本泰成ほか. ほうだより技術ガイド, 技術レポート. 2022, Vol.513, p.2-6.
- 4) 横田順弘ほか. R&D神戸製鋼技報. 2013, Vol.63, No.1, p.42-47.

PDFにて本記事をご覧の方へ

図4, 5, 6にある動画マーク  をクリックいただくと動画が再生されます。