

(技術資料)

ロボット溶接のさらなる自動化に貢献するDX技術

木村雄士*1・日高一輝*1・東良敬矢*1・澤川史明*2・新井敦士*1・小向航平*1

Digital Transformation (DX) Technology Contributing to Further Automation of Robotic Welding

Yuji KIMURA・Kazuki HIDAKA・Takaya HIGASHIRA・Fumiaki SAWAKAWA・Atsushi ARAI・Kohei KOMUKAI

要旨

情報通信技術やDX技術が発展する中、これらの技術を用いて生産現場の自動化・省人化の加速が期待されている。当社では、溶接業務の自動化を目指し、溶接ロボットをはじめとする多くの機能開発に注力してきた。しかし、溶接ロボットシステムの導入に伴い、教示作業やメンテナンスなど人手を要する作業が新たに生じている。この課題に対し、DX技術を用いてこれらの人手作業を削減することで、溶接ロボットシステムの導入効果を今まで以上に高め、お客様の生産性向上に貢献する。当社では、ARCMAN™ Offline Teaching SystemとDX技術を連係させることで、人手作業である教示作業を削減する溶接プログラム自動生成機能やケーブルシミュレーション機能を開発した。さらに、ロボットシステムへレーザーセンサ、パス間温度センサ、ARCMAN™ Viewと連携したカメラを接続することで、溶接に必要な測定の実現した。

Abstract

Information and communication technologies, as well as DX technologies, are advancing, raising expectations for the acceleration of automation and labor-saving in production sites. Kobe Steel has been focusing on the development of various functions, including welding robots, aiming at automating welding operations. However, the introduction of welding robot systems has created new tasks requiring manual work such as teaching and maintenance. Using DX technology to reduce this manual labor can further enhance the effectiveness of introducing welding robot systems, contributing to increased productivity for our customers. Combining the ARCMAN™ Offline Teaching System with DX technology, Kobe Steel has developed new functions for automatically generating welding programs and simulating cable behaviors to reduce manual teaching work. Furthermore, connecting laser sensors, interpass temperature sensors, and cameras linked with ARCMAN™ View to the robot system has automated the measurements required for welding.

検索用キーワード

自動化, 省人化, ティーチレス, レーザセンサ, パス間温度センサ, ARCMAN™ Offline System, ARCMAN™ View

ま え が き = 当社では建築鉄骨、建設機械、橋梁、造船などの産業で多く適用されている中厚板向けに、溶接ロボットシステムを開発・販売しており、溶接工程の自動化・省人化を通じてお客様の生産性向上に貢献している。これらの産業で製作される部材の溶接では、ワークサイズが大きく組立誤差によって部材間に隙間が生じたり、多層盛り溶接により繰り返し熱が加わることで熱ひずみが生じたりすることで、溶接の狙い位置がずれて健全な溶接が行えない場合がある。また、建築鉄骨分野では入熱量やパス間温度管理の基準が定められており、毎回手動で温度計測を行う必要がある。

これらの課題に対して、溶接ロボットシステムにレーザーセンサや非接触温度センサなどを接続し、形状や温度を測定および自動制御することで、さらなる溶接の自動化を進めている。レーザーセンサはレーザー光を用いてルート間隔を計測し、計測結果に基づき最適な溶接条件を自動で選択するもので、従来熟練工が半自動溶接で行っていた隙間埋め溶接の自動化が可能になる。また、二種類の計測方法を搭載しており、計測箇所に応じて適切な方法を適用することでタクトタイムを最小化できる。いっ

ぽう、温度センサを用いることにより、パス間温度の測定および管理が自動化されるため、サイクルタイムの削減や省人化による生産性の向上につながる。

このように溶接ロボットシステムと測定技術を組み合わせることで自動化を推進してきた。いっぽうで、溶接ロボットシステムの導入により、従来の手溶接作業では不要だった教示作業やロボットの操作、センシング失敗やワイヤ詰まりなどに代表される短時間で設備復旧が回復可能な故障であるチョコ停からの復帰作業など、新たな人手作業が必要となる。このような人手作業を削減するために、教示作業をサポートするARCMAN™^{注1)} Offline Teaching System(以下、KOTS™^{注2)}という)や、ロボット生産の可視化やチョコ停時間の低減に活用できるARCMAN™ Viewを開発および提供している。

本稿1章では、KOTS™にDX技術を組み込むことで教示作業時間の削減を実現した事例を紹介する。2章以降では各種センサを使用し、ロボット溶接のさらなる自

脚注1) ARCMANは当社の登録商標(第1715437号)である。

脚注2) KOTSは当社の商標である。

*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 技術センター溶接システム部(現 技術開発本部 デジタルイノベーション技術センター)

動化および効率化した実例を紹介する。

1. ARCMAN™ Offline Teaching System

本章では溶接ロボットシステム ARCMAN™ 専用のオフラインシミュレータである KOTS™ の活用事例などについて紹介する。KOTS™ は、ARCMAN™ 本体以外に周辺装置や搭載したワークの動きも再現することができるソフトであり、事前の適用検討など様々な場面で活用されている¹⁾。

1.1 溶接プログラム自動生成機能

溶接ロボットはあらかじめ教示されたデータに従って動作するため、同じワークを大量に生産する場合には高い生産性を発揮する。しかしながら、一つ一つ異なる形状のワークを生産する場合には、それぞれについて教示データを作成する必要があるため、生産性を高めることが難しいという問題を抱えていた。

当社はこの問題を解決するために、溶接プログラムの自動生成機能を開発した。これは熟練教示作業者の教示方法をルール化し、そのルール・システム構成・溶接施工情報などから溶接プログラムを自動で生成する機能である。これにより、ティーチング経験が乏しいオペレータでも簡単に溶接プログラムを作成可能となり、これまで二日かかっていた教示作業を、一日に短縮することができるようになった。

1.2 ケーブルシミュレーション

KOTS™ のオプションとして、ケーブルシミュレーション機能がある。これは ARCMAN™ に搭載するタッチケーブルの動き、ロボットアームへの巻き付きや閉所空間進入時のワークとケーブルの干渉を、KOTS™ 上で確認することができる機能である²⁾。とくに閉所空間への進入時のケーブル動作を実機で確認する場合、ケーブルとワークの干渉によりロボットへ予期せぬ負荷がかかり、ロボットやワークの破損につながる可能性がある。従来は、二日程度をかけて、ロボットの姿勢ごとに CAD 上で逐一ケーブル形状をモデリングして、干渉の有無を確認していたが、KOTS™ によりあらかじめ干渉可能性のある動作に内在するリスクの評価が行えるようになるため (図 1)、検討時間が半日程度に削減できるようになった。

1.3 多品種少量生産へのロボット適用

溶接プログラム自動生成機能によって、ワークモデルと溶接施工情報から溶接プログラムを自動で出力できるようになり、多品種少量生産のワークごとに人が教示を行う必要がなくなった。現在も建設機械分野に焦点を当てて、溶接プログラム自動生成機能の開発を続けている。今後は、落橋防止向け鋼製セグメントをはじめとする、様々な溶接へと対象を拡大するべく開発に取り組んでいく (図 2)。さらに、当社ではシミュレーション環境と現場環境の差を減らし、現場での教示修正を削減する取り組みとして、溶接ロボットシステムの機体誤差補正機能や、さらなるセンシング機能を開発している。将来的には、CAD データから溶接プログラム自動生成機能で教示プログラムなどを自動生成し、ロボットシステ

ムと関係させることで、溶接工程の完全自動化を実現することが最終目標である。

1.4 KOTS™ を利用した社内作業効率化の取り組み

当社では、事前にお客様の状況を把握して、最適な溶接ロボットシステムを提案している。このためには、対象ワーク形状に適したロボットやスライダ、ポジションなどの選定と、それらの組み合わせや配置を決定する必要があるが、その検証には膨大な時間を要する。とくにロボット溶接が可能かどうかを判断するための教示プログラム作成が、機器配置設計時間の大部分を占めている。この問題を解決するために溶接プログラム自動生成機能を利用することで、溶接プログラム作成時間の短縮と作成する溶接プログラムの品質均質化が可能となり、検証時間の削減と品質向上につながった。

また、当社建築鉄骨向け溶接ソフトウェアでは、コラムや仕口などあらかじめワークの寸法が分かるものについては、それらを入力することで教示プログラムが自動で生成される³⁾。このソフトウェアで生成した教示プログラムの動作確認に KOTS™ が利用可能であり、実システムや様々な大きさの実ワークを用意せずに動作確認できる。また、今まではシミュレーションできなかったロボット機能であるワイヤタッチセンシングを、KOTS™ 上で使用できるように開発したことで、ワークのズレを想定したセンシング動作の確認まで KOTS™

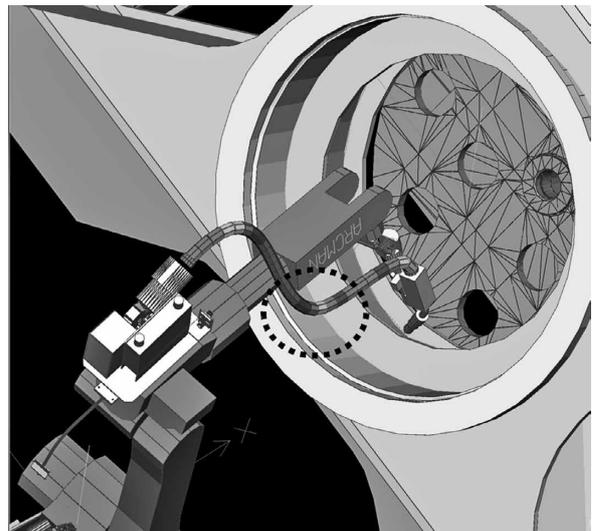


図 1 ケーブルシミュレーションおよび曲率表示
Fig.1 Cable simulation and curvature display

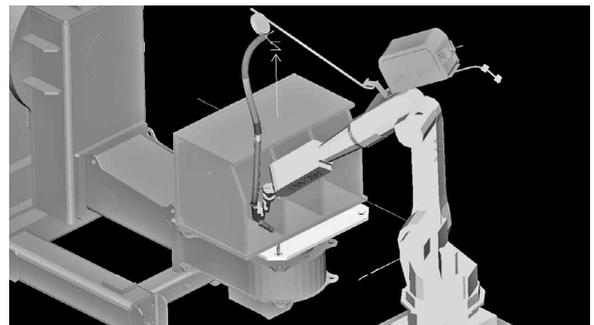


図 2 落橋防止装置向け適用検討
Fig.2 Feasibility study for application to anti-dropping bridge devices

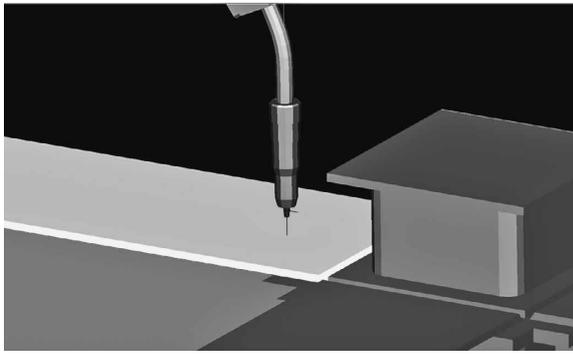


図3 三方向センシングシミュレーション
Fig.3 3-way sensing simulation

上で可能となった。これにより、溶接プログラムの自動生成関連ソフトウェアの開発工数や、ワーク購入費などを削減することができた(図3)。

これらの技術を活用することで溶接自動化を実現する最適なシステムをお客様に提案可能にしていきたい。

2. センシング技術

当社の溶接ロボットには、特別な測定機器を必要としないワイヤタッチセンシングや、開先形状の歪や変形を補正するアークセンサといったセンシング技術が備わっている。しかし、これらのセンシング技術では複雑な開先形状が測定できないなどの課題がある。また、特定の溶接対象物には温度管理の規定があり、ロボットによるさらなる溶接自動化の妨げとなっていた。これらの課題を解決するために開発した、レーザセンサによる複雑な開先を有する難溶接の自動化や、温度センサを活用した建築鉄骨向け溶接自動化の事例について紹介する。

2.1 レーザセンサ

レーザセンサは、レーザ光を開先や溶接部材に照射することで、ワイヤタッチセンシングでは計測できないような様々な形状の開先を高速に計測することができるものである。レーザセンサの特長として、ワイヤタッチセンシングでは隙間の計測ができなかったフレア開先や、T継手を含めた幅広い継手に対し、高精度の計測が可能であることが挙げられる。また、小型のレーザセンサを採用することで、狭隙部でも安定したセンシングを行うことができるという特長も有している⁴⁾(図4)。

2.1.1 自動化難溶接への適用

中厚板分野におけるワークの多くが大型な構造物のため、歪みや組み立て誤差により溶接線に意図せず隙間が生じる場合がある。従来は、ロボット溶接の前工程にて、この隙間を人による半自動溶接で埋める必要があった。これに対し、レーザセンサを用いて隙間の計測を行い、ロボットに隙間を埋める溶接を担わせることで、作業者の負荷を低減できるようになった。この機能は、レーザセンサによる計測結果を、あらかじめ作成した隙間の幅に応じた溶接条件(データバンク)から、ロボットが最適な条件を選択することで自動化を実現するものである(図5)。

2.1.2 レーザセンサを利用したタクトタイム短縮

レーザセンシングでは、ライン状のレーザ光を開先に



図4 レーザセンサ付き溶接トーチ
Fig.4 Welding torch with laser sensors

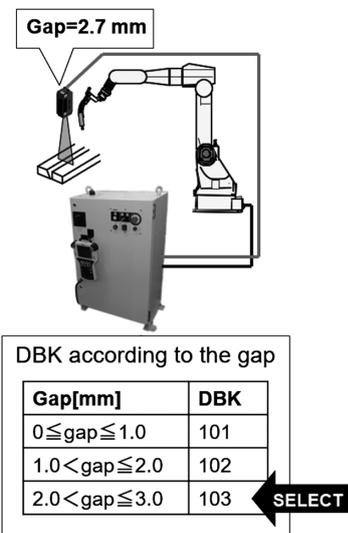


図5 レーザセンサを利用した溶接条件切替
Fig.5 Switching welding conditions using laser sensors

対して照射し計測を行うことで、ワイヤタッチセンシングに比べて複数回の検出動作が不要となる。従来のワイヤを用いたルートギャップの測定では、三回の検出動作が必要になるため、約10秒の時間を要するのに対し、レーザセンシングを用いると1秒と測定時間が10分の1になる。このレーザセンシングでは、走査計測とワンショット計測の二種類の計測方法が利用可能である。走査計測では、レーザセンサを溶接線方向に一定距離走査させて複数の計測データを取得し、平均化した結果を出力する。これにより溶接によるワーク開先内部、あるいは表面へのヒュームやスパッタなどの付着や、加工や組み立て時についたキズなどによる誤計測の影響を低減することができる。いっぽうでワンショット計測では、走査動作なしに一点でのみの計測を行うため、より高速な計測が可能となる。これらは専用命令により、計測箇所に応じた適切な計測方法を選択することが可能である。

2.2 パス間温度センサ概要

建築鉄骨分野ではパス間温度の管理基準が定められており、次のパスを溶接する直前に、所定の位置の温度を

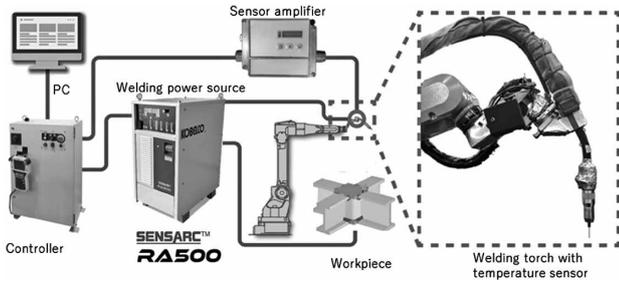


図6 温度センサを用いたシステム構成
Fig.6 System using temperature sensors

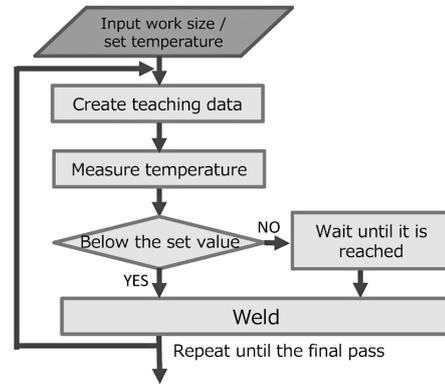


図7 温度測定ワークフロー
Fig.7 Temperature measurement workflow

人が温度計または温度チョークを用いて測定するのが一般的である。これにより、パス間温度が管理基準以下になっていることを確認した後、次のパスの溶接を開始する。

鉄骨溶接ロボットシステム向けに開発したパス間温度測定機能は、これまで人が実施していたパス間温度の測定と管理を自動化したものである。本機能により作業によるパス間温度の測定が不要となるため、その時間をほかの作業に活用することによるサイクルタイムの短縮や、確実なパス間温度管理による溶接継手品質の安定化が期待できる⁵⁾。また、パス間温度測定のために、作業者が安全防護柵の中に入る必要がなくなるため、安全性の向上も実現できる。

本機能を搭載したシステムについては、既にSグレードの鉄骨製作工場を保有する鉄骨ファブリケータなどで実際に導入されている。

2.2.1 システム構成

パス間温度測定機能のシステム構成を図6に示す。非接触型の温度センサが、ロボットの手首付近の溶接動作に影響のない位置に取り付けられているため、温度センサとトーチを持ち替える動作は不要である。いっぽう、温度センサから取得したデータは、センサアンプとコントローラを経由してPCに送信され、測定した温度はPCモニタと教示ペンダント画面で確認できる。

2.2.2 パス間温度測定フロー

パス間温度測定機能の処理フローを図7に示す。ロボットは、溶接開始直前に測定箇所へ移動して温度を測定する。ここで設定値より温度が高い場合は、設定値以下になるまでロボットが待機する。測定中の温度は、PCの画面で確認でき、測定した温度が設定値以下になるとロボットが溶接を開始する。これを最終パスまで繰り返す。

2.2.3 パス間温度の記録

本溶接ロボットシステムには、溶接電流、アーク電圧、入熱量などを自動で記録し、施工レポートとして出力する機能がある。従来は、この施工レポートにあるパス間温度の欄に、人が測定したパス間温度を記入、もしくはPCから入力する必要があったが、本機能を使用すると、測定したパス間温度のデータが自動で入力されるようになるため、入力作業の削減や入力ミスの防止につながる(図8)。

工事名称				作業日		2022/06/30	
柱番号				ロボット名称		オペレータ	
継手名				部位		コラム	
母材				溶接姿勢		記録者	
板厚	32mm	ルート間隔	8.9mm	積層図			
開先角度	35°	下向姿勢		11層16パス			
溶接材料				規格			
				ワイヤ径			
				メーカー			
				銘柄			
管理				バス間温度		250°C	
				溶接入熱		30000J/cm	
パス	区間	溶接電流(A)	アーク電圧(V)	溶接速度(cm/min)	溶接入熱(J/cm)	バス間温度(°C)	
1	直線	318	34.8	24.0	27666	100°C以下	
	コーナ	301	33.3	24.0	25058		
2	直線	295	35.8	26.8	23644	100°C以下	
	コーナ	289	34.4	26.2	22767		
3	直線	280	36.0	26.3	22996	100°C以下	
	コーナ	269	35.1	25.2	22480		
4	直線	283	35.7	25.3	23959	102	
	コーナ	280	35.1	24.1	24468		
5	直線	282	34.8	32.7	18006	100°C以下	
	コーナ	270	34.2	32.1	17259		
6	直線	288	35.1	30.7	19756	113	
	コーナ	270	34.7	31.1	18075		
7	直線	286	35.1	29.7	20280	134	
	コーナ	281	34.4	28.6	19594		
8	直線	286	35.1	28.2	21358	136	
	コーナ	259	34.8	28.0	19313		
9	直線	290	35.2	30.1	20348	116	
	コーナ	269	34.7	28.9	18731		
10	直線	282	35.2	28.5	20897	137	
	コーナ	259	34.5	27.6	19425		
11	直線	283	34.9	30.0	19753	157	
	コーナ	274	34.6	30.0	18960		
12	直線	277	35.2	27.1	21587	152	
	コーナ	264	34.6	26.4	20760		
13	直線	256	33.6	32.4	15928	126	
	コーナ	247	33.6	30.0	16598		
14	直線	270	33.3	31.3	17235	132	
	コーナ	231	33.4	27.9	16592		
15	直線	284	33.6	31.6	16842	145	
	コーナ	235	33.6	27.8	17041		
16	直線	254	33.9	28.7	17395	143	
	コーナ	245	33.7	26.3	18836		

図8 施工レポート例
Fig.8 Welding procedure report example

3. ARCMAN™ View

本章では、溶接ロボットシステムの稼働データを集積し、溶接・生産データの見える化を行うことで、チョコ停や溶接不良の解析、および生産管理を支援するARCMAN™ PRODUCTION SUPPORT⁶⁾のオプション機能であるARCMAN™ Viewの活用事例について説明する。

3.1 ARCMAN™ Viewの概要

ARCMAN™ Viewはネットワークカメラにより稼働中のロボットをリアルタイムに映像表示したり、その映像を録画したりすることが可能になるオプション機能である(図9、図10)。

3.2 ARCMAN™ Viewによる安全な作業への貢献

ARCMAN™ Viewの特長として、常にロボットに搭載された溶接トーチ先端が映るように、カメラが追尾す

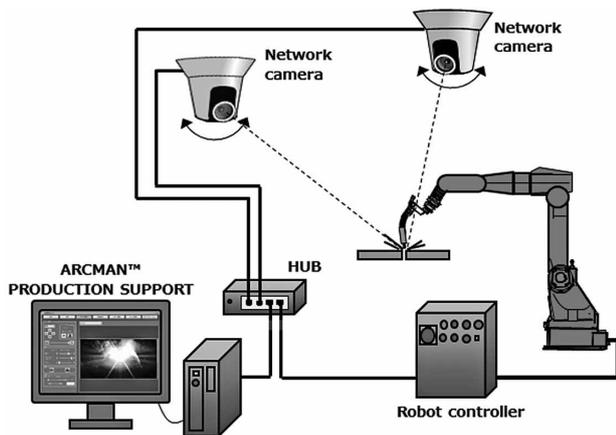


図9 ARCMAN™ View システム構成
Fig.9 ARCMAN™ View system configuration



図11 柵外からの操作例
Fig.11 Sample of remote operation outside the fence

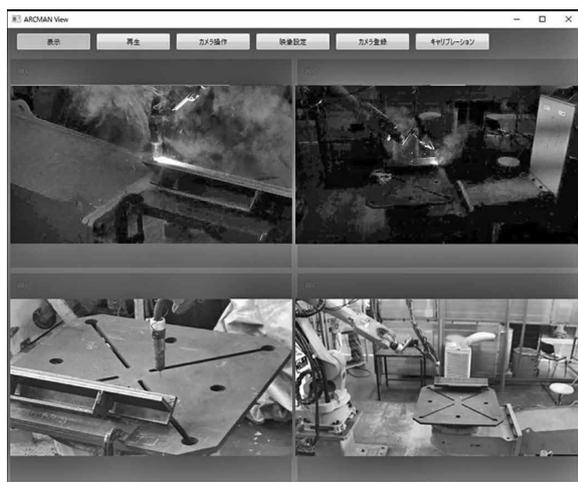


図10 ARCMAN™ View 画面イメージ
Fig.10 Sample image of ARCMAN™ View

る機能が挙げられる。本機能により、手動でカメラを動かさずとも常に溶接トーチ先端周辺の状態をPCのモニターで確認することができ、モニター越しでのロボット操作も可能となる⁷⁾。

このようなモニター越しでのリモート操作を活用することで、例えば従来は安全柵の中に入ってロボットを目視しながら操作する必要があるような状況でも、柵の外側から安全に操作することができる(図11)。実際に導入いただいた鉄道車両メーカーでは、高所溶接中にチョコ停が発生した際に、ARCMAN™ Viewのモニターを見ながら安全柵外から復帰作業を行ったという事例もある。

3.3 ARCMAN™ Viewによる溶接評価

ARCMAN™ Viewの新機能として、溶接中の画像からスパッタに該当する部分を判別し、ピクセル数を数値としてリアルタイムに表示し、ログデータとしての保存を行うスパッタ量計測機能を開発した(図12)。本機能により、溶接条件や溶接状態に伴うスパッタ量の増減を簡単に数値化することができ、条件変更時の結果確認作業時間の短縮や、溶接不良の検知につながる事が期待できる(図13)。

むすび=本稿では、DX技術を活用した溶接ロボットシステムの教示機能や測定技術について紹介した。国内の

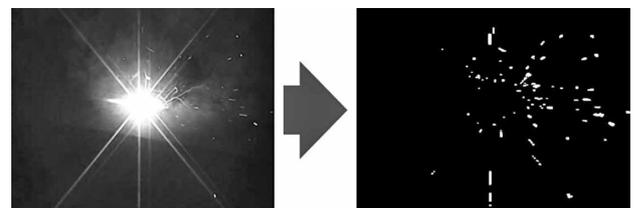


図12 スパッタ検出イメージ
Fig.12 Image of spatter detection

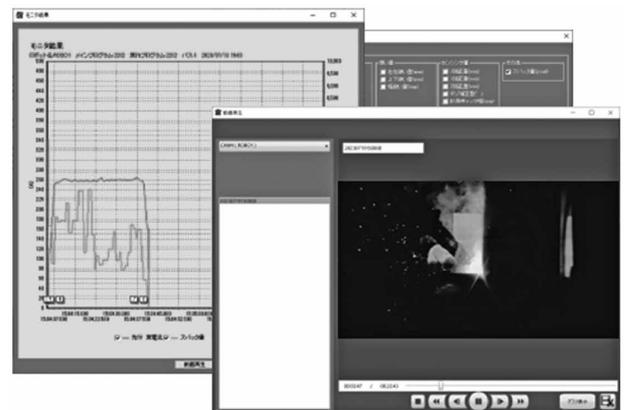


図13 スパッタ量の表示イメージ
Fig.13 Image of spatter amount display

少子高齢化が進む中、生産現場における自動化や省人化へのニーズは、今後さらに高まると予想される。この背景を踏まえ、人手不足の解消と作業者を重労働から開放することを目指し、溶接プロセスの自動化と品質向上に注力することで、お客様の生産性と安全性の向上に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 泉 敏之ほか. R&D神戸製鋼技報. 2013, Vol.63, No.1, p.94-98.
- 2) 福永敦史ほか. R&D神戸製鋼技報. 2023, Vol.72, No.1, p.21-26.
- 3) 松村浩史. R&D神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.3, p.67.
- 4) 東良敬矢. ほうだより技術がいど. 技術レポート. 2019, Vol.60, 2019-5.
- 5) 新井敦士. ほうだより技術がいど. 技術レポート. 2023, Vol.64, 2023-2.
- 6) 福永敦史ほか. R&D神戸製鋼技報. 2013, Vol.63, No.1, p.99-103.
- 7) 小池 武ほか. R&D神戸製鋼技報. 2018, Vol.68, No.2, p.59-62.