

(解説)

溶接ロボットシステム導入を推進するDX技術

福永敦史*1・日高一輝*1・東良敬矢*1・澤川史明*1・松嶋幸平*2・小向航平*1

Digital Transformation (DX) Technology to Promote Adoption of Welding Robot Systems

Atsushi FUKUNAGA・Kazuki HIDAKA・Takaya HIGASHIRA・Fumiaki SAWAKAWA・Kohei MATSUSHIMA・Kohei KOMUKAI

要旨

情報通信技術やAI技術が発展する中で、これらの技術を用いた生産現場の自動化・省人化の加速が期待されている。当社では、溶接作業の自動化やロボット適用率拡大を狙って多くの機能開発を進めてきたが、溶接ロボットシステムを導入することでティーチング作業やメンテナンスなど新たな人手作業が発生している。これら人の負荷を削減することで、今まで以上に溶接ロボットシステムの導入効果が高まり、ひいてはお客様の生産性向上につながる。当社では、ARCMAN™ Offline Teaching SystemにICT/AI技術を加えることで、人手によるティーチング作業を削減する溶接プログラム自動生成機能を開発した。また、ARCMAN™ PRODUCTION SUPPORTにカメラを搭載し、遠隔地での見える化機能を拡充した。これにより、高所作業を削減できるなど、安全性向上も期待できる。

Abstract

The rapid development of information and communication technologies, as well as the widespread use of AI technologies, is expected to accelerate automation and labor-saving measures in production sites. Kobe Steel has been developing various functions to automate welding operations and increase the ratio of robots used in welding processes. However, the adoption of welding robot systems has resulted in new manual tasks such as teaching and maintenance. By reducing these manual operations, the introduction of welding robot systems can be more effective than ever before, leading to increased productivity. To overcome these challenges, Kobe Steel has leveraged ICT/AI technology to develop an automatic function that generates welding programs, reducing the need for manual teaching work. This feature has been added to the ARCMAN™ Offline Teaching System. A camera has been mounted on the ARCMAN™ PRODUCTION SUPPORT, expanding remote visualization capabilities, which is expected to improve safety by reducing the number of workers in high places.

検索用キーワード

自動化, 省人化, ティーチレス, 見える化, ARCMAN™ Offline Teaching System, ARCMAN™ View

ま え が き = 当社では建築鉄骨、建設機械、橋梁、造船など中厚板向け溶接ロボットシステム・装置を開発・販売し、溶接工程の自動化・省人化により社会の発展やお客様の生産向上に貢献している。中厚板向け部材の溶接では、ワークが大きく組立誤差が生じやすいことや、長時間にわたり複数回溶接を繰り返す多層盛り溶接を行うため、熱ひずみが生じやすい。これらの課題に対して溶接の自動化を実現するために、溶接電流の変化を検出してロボット先端位置をあらかじめ教示した位置から補正するアークセンサ技術などを開発してきた。また近年では、レーザセンサでルート間隔を計測し、ルート間隔に応じて細かく溶接条件を切り替えることで、フレア開先など従来は熟練溶接工が手溶接していた箇所の自動化を実現した¹⁾。

このように溶接システムの適用率を高めて自動化を推進してきた反面、溶接ロボットシステムを導入することにより、従来の手溶接作業では不要であったティーチング作業やロボットオペレーション作業、チョコ停からの復帰作業など新たに人手作業が必要となっている。このような人手作業を削減するために、ティーチング作業を簡単にするARCMAN™ Offline Teaching Systemや、

ロボット生産の見える化やチョコ停低減に活用できるARCMAN™ PRODUCTION SUPPORTを提供してきた。

本稿では、これらのソフトウェアにICTやAI技術を加えることで実現した、ティーチング作業時間を削減する機能と、ロボット生産のさらなる見える化により作業性を向上する機能について紹介する。これら機能により、溶接ロボットシステムをこれまで以上に簡単に使えるものとし、溶接工程の自動化を促進する。

1. ティーチングレス溶接ロボットシステム

溶接ロボットシステムで生産をする前には、ワークのどの部分をどのように溶接するかをロボットに教えるティーチング作業が必要となる。その作業では、溶接品質にかかわる溶接トーチ姿勢の作成、ワークや治具との干渉の回避、ワークのズレを考慮したセンシングの設定やその動作作成などが必要である。ロボットの操作知識に加えて溶接の知識も求められ、複雑なワークのティーチングは誰でも簡単に行えるものではない。

当社では20年以上前よりティーチングレス溶接システムの開発に取り組んでおり、建築鉄骨、橋梁、造船向

*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 溶接事業部門 技術センター)

け溶接システムにおいては、ティーチングレスシステムを実現し、多くのお客様の溶接自動化に寄与してきた^{2),3)}(図1)。ワークに応じたロボットの位置情報だけでなく、最適な溶接条件も含めて提供していることが大きな特長であり、ロボットを設置したその日から生産を開始することができる。また近年では、ワーク情報の入力に3D-CADデータを用い、設計で作成したデータをそのまま製造用データとして使用できるようにした(図2)。これにより溶接線数が多いワークに対しても短時間でワーク情報の取得が可能なティーチングレスシステムを実現した⁴⁾。

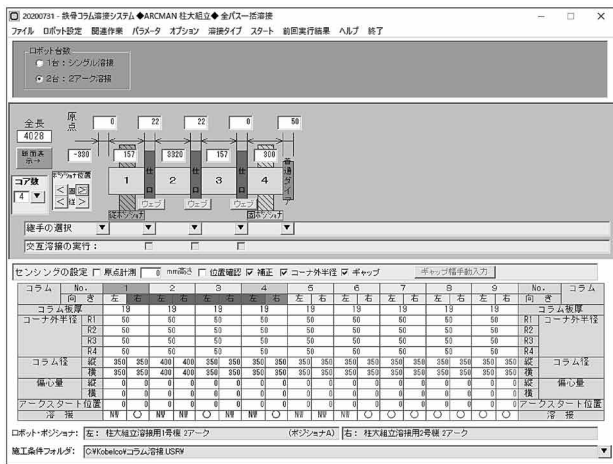


図1 鉄骨柱大組立溶接システム
Fig.1 Structural steel welding systems

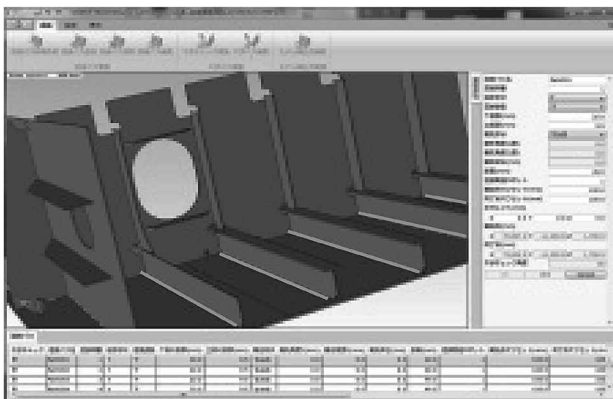


図2 造船向けCAD連携システムソフトウェア
Fig.2 SMART TEACHING™ for CAM

既にティーチングレスシステムを実現しているワークは類似した形状が多く、パターン化されており、基準となる教示プログラムを拡大縮小する方法で実現している。いっぽう、建設機械のようなパターン化が難しい複雑な形状のワークでは、同じ手法を適用することが難しく、ティーチングレスシステムは実現できていない。しかも、このような複雑なワークのティーチング作業には熟練したティーチング技術が必要であり、ティーチング作業時間も長い。そこで、教示プログラムの自動作成や、作成した教示プログラムの確認作業を簡易化し、ティーチング作業者の作業負担を軽減する機能を開発した。

本章では、教示プログラムをオフラインで自動生成する溶接プログラム自動生成機能(1.1節)、生成したプログラムをオフラインで確認する精度を高めるためのケーブルシミュレーション機能(1.2節)について説明する。

1.1 溶接プログラム自動生成機能

建設機械の一つであるショベルカーは、複数の大型で複雑な形状のワークの組み合わせで構成されている。このワークは機種ごとに多種多様な形状をしているため、建築鉄骨、橋梁、造船のように形状をパターン化する方法によりティーチングレスを実現すると、膨大な量のパターンを作成する必要がある。また類似形状でない新機種が追加された場合は、新たな形状に応じて基準プログラムの設定パターンを改めて作成しなければいけないという課題がある。

そこで、建設機械のような複雑な形状のワークに対して教示プログラムを自動で生成するために、溶接に適したロボットの姿勢を「探索」という別のアプローチを採用した。これにより、ロボット、ポジション、移動装置の位置・角度を決定し、教示プログラムを自動生成する機能を開発した。探索アプローチにおいては、熟練ティーチングマンの教示方法をルール化し、そのルールに従い溶接位置や溶接施工情報からまずポジションとトーチ角度を決める。その後、ロボットの溶接姿勢を探索することにより、複数の教示プログラムの候補を作成する(図3)。そして、ロボットの動作評価と溶接動作評価の2段階評価を行い、溶接に適した候補を選定することにより教示プログラムを自動生成する(図4)。

この機能を使用することで、実機で2日かかるようなワークの教示作業を1日に短縮することができる。これにより教示作業時間だけでなく、生産ラインの停止時間も削減することができる。また、教示プログラムの作成経験が乏しい作業員でも、熟練ティーチングマンが作るような教示プログラムを簡単に作成することが可能となる。

1.2 ケーブルシミュレーション機能

オフラインで作成した教示プログラムを実機で動作確認したときに、ロボットに付属する溶接トーチケーブルが干渉して修正や再教示が必要となる場合があり、教示の長時間化をまねく。そこで、オフライン上でケーブルの挙動を確認できるケーブルシミュレーション機能を開発した。図5は、実システムにおいて人の目視ではケーブル状態を確認することが困難な狭隘(きょうあい)

部を、ケーブルシミュレーションにより確認している様子である。とくに図5右図で示されているように、ケーブルとワークの位置関係を容易に把握することができる。そのため、ケーブル干渉などが無い教示プログラムをオフライン作業で作成することができ、現場での教示修正時間を短縮できる。

ケーブルシミュレーションでは、幾何学的な曲線計算ロジックを利用することにより、実際のケーブルの動き

に似せた曲線を表現した。そのため、物理シミュレーションによる緻密な計算を行う場合と比べてケーブルを表示する計算量が少なくなり、作業ストレスのない高速表示が可能である。

ケーブルの動きの設定項目は、①ケーブルの始末端の位置、②スプリングバランサの使用有無の選択、③トーチケーブルの堅さを選択、④ケーブルの曲がり方向の4項目のみであり、誰でも簡単に使用することができる。

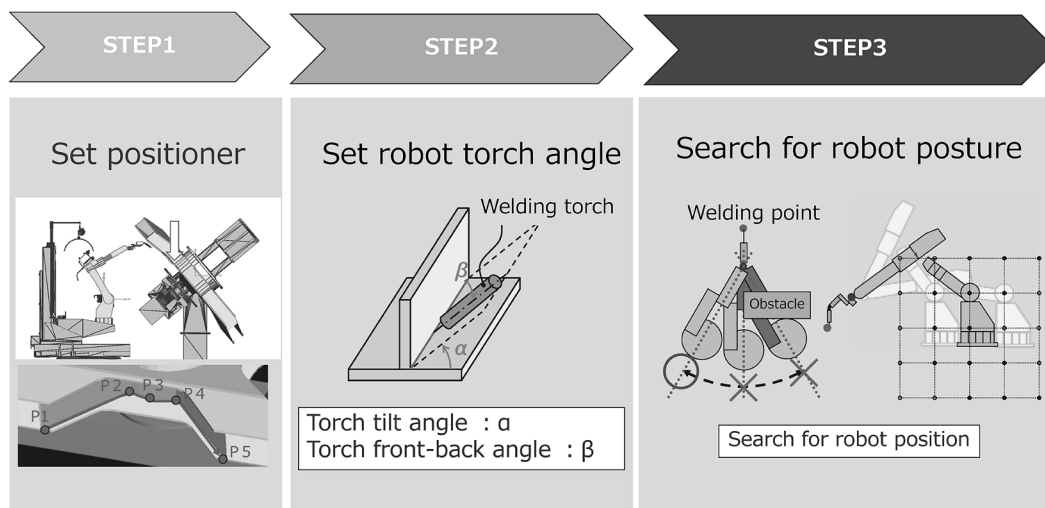


図3 ロボットの姿勢探索の流れ
Fig.3 Flow of robot pose search

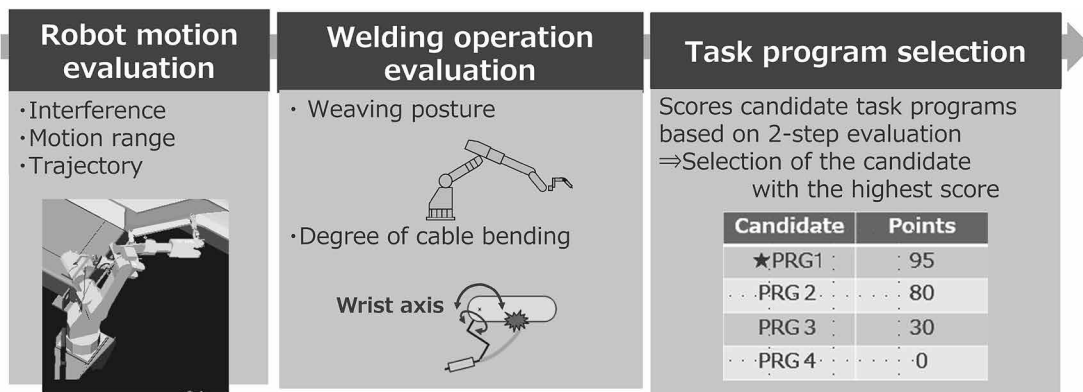


図4 2段階評価による教示プログラムの自動選定
Fig.4 Automatic selection of work programs on a two-step evaluation

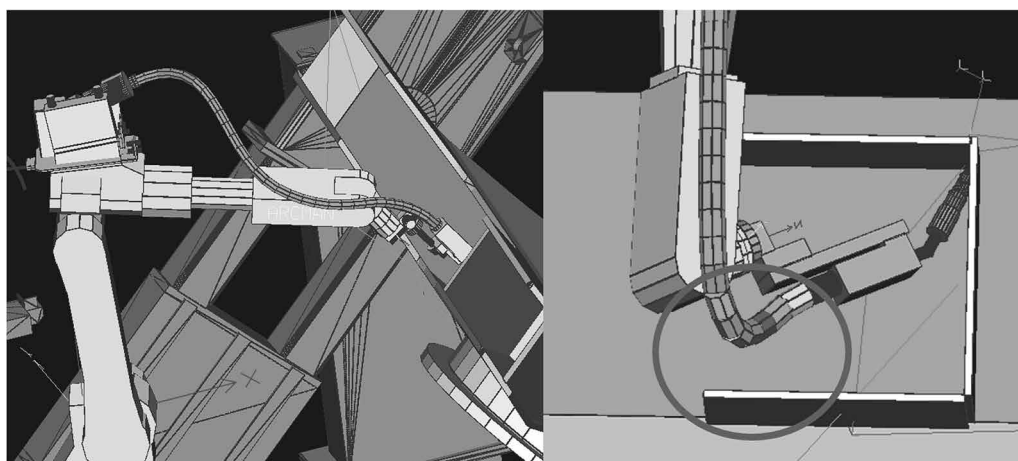


図5 ケーブルシミュレーションによるケーブル状態確認
Fig.5 Cable simulation to check distance between cable and workpiece

2. 生産見える化システム

当社は、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 SUPPORT を提供している⁷⁾。

本章では最初に、従来の溶接・生産データに加えてネットワークカメラの動画情報と関連付けることで、さらなる生産性の向上を実現する ARCMAN™ View (2.1節) について説明する。続いて、生産前のワークを撮影した画像を用いてロボットオペレータの教示プログラム番号の誤設定を防止するワーク種別判定機能 (2.2節) と、モバイル端末を活用することで作業効率の向上を実現する無線遠隔モニタリングシステム (2.3節) についても説明する。

2.1 ARCMAN™ View

ARCMAN™ PRODUCTION SUPPORT のオプション機能として、カメラ機能 ARCMAN™ View を開発した。ネットワークカメラと PC を接続し、リアルタイム映像の表示や録画が可能となる。中厚板溶接システムで

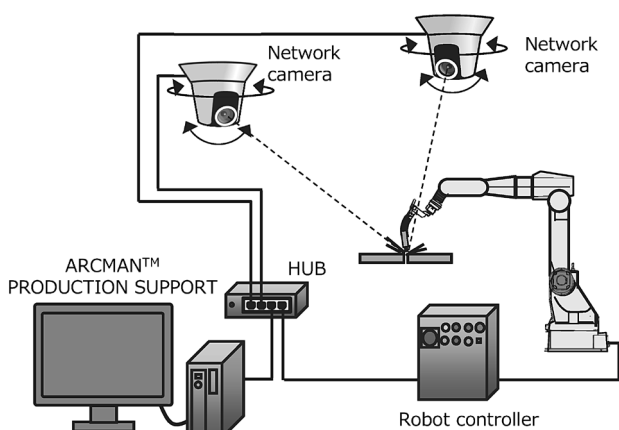


図6 ARCMAN™ View システム構成
Fig.6 ARCMAN™ View system configuration

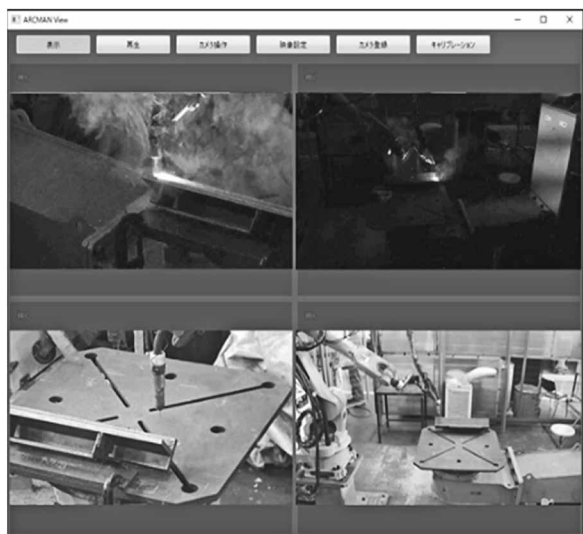


図7 ARCMAN™ View 画面イメージ
Fig.7 Sample image of ARCMAN™ View

はシステムが大型化することが多いため、ロボット先端の位置情報を取り込んでロボット先端が常に映像中心に映るようにカメラを制御する機能を備えている (図6、図7)。

ARCMAN™ View で録画した動画はエラー情報や溶接情報と連携され、各情報に対応した時間から動画を再生することができる。この動画-ログ連携機能を活用することで、エラー発生の瞬間や溶接不良が起きたときの溶接状態などを簡単に映像で確認することができ、チョコ停の詳細な原因を分析することができる (図8)。

また、ARCMAN™ View の映像を活用し、ロボットに近づかずにモニタ画面を見ながらロボットを操作することが可能となる。しかし、映像では奥行きが把握できないため、溶接開始位置にロボットを正確に操作するのは難しい。そこで、電圧変化によってワイヤがワークに接触したことを検知するタッチセンシング機能を、操作者が任意のタイミングでセンシング電圧を印加することにより実行でき、ワイヤがワークに接触するとロボットが停止するセンシングリモート機能を開発した (図9)。この機能を活用することで、安全柵外からのロボット操作が可能となり、高所などの危険な場所での作業を削減することができる。

2.2 ワーク種別判定ソフト

中厚板溶接システムでは、天井クレーン等によりオペレータがワークをシステムへ搭載し、再生する教示プログラムを教示ペンダントや操作盤に手作業で設定する場合がある。しかし、作業者の判断ミスによって形状が類似している別のプログラムを選択してしまう場合があり、間違った位置で溶接したりトーチがワークに接触するなどの問題が生じる。

この問題を解決する手法として RFID (Radio frequency identification) を使用する方法などが考えられる。しかし、建設機械のような大型金属物体に RFID を使用するには、金属表面からの電波の反射などの影響を受けにくい高精度の RFID リーダが必要となり、初期投資とランニングコストの増大に繋がる。

そこで当社では、初期投資とランニングコストを抑え

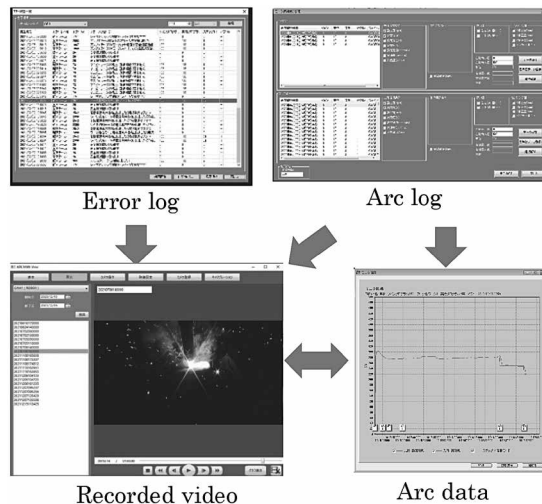


図8 動画-ログ連携機能
Fig.8 Concept of log linkage function

つつ問題を解決する方法の一つとして、カメラとAIを使用して判別を行うワーク種別判定ソフトを開発した。カメラ画像より対象物の種類を推定する画像認識技術は広い分野で研究されてきた^{5), 6)}。いっぽう、AIの認識精度は人と同等かそれ以上になったとしても100%にはならないという課題がある。そこで、人とAIがダブルチェックを行う機能として実現した。

オペレータがロボットに溶接を行わせるためには、ワークを搭載した後にワーク種に応じたプログラムを選択し、再生スタートスイッチを押す作業を行う。開発したワーク種別判定ソフトは再生スタートスイッチが押された瞬間にロボットと通信を行い、作業員が選択したプログラム番号を取得するとともに、カメラでワークを撮影する。撮影した画像からワーク種を判別し、判別したワーク種に応じたプログラム番号とオペレータが選択したプログラム番号の組み合わせが正しいかどうかを判断する。そして、誤った組み合わせであれば再生を中止し、

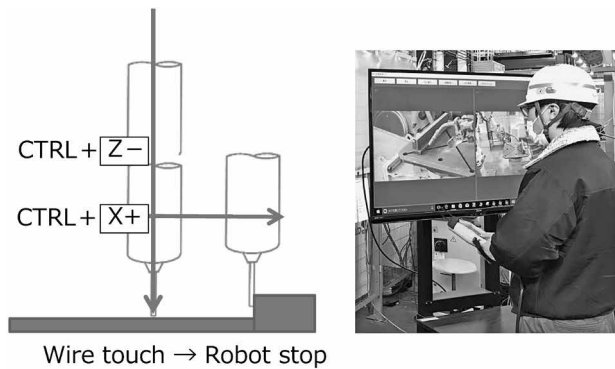


図9 センシングリモート機能の概要
Fig.9 Concept of sensing remote

作業員へ再確認を促す(図10)。

また、ワーク種別判定ソフトが動作する生産ラインでは、生産するワークの追加が発生したときには新たに追加ワークの画像を学習させる必要がある。その場合は、従来はAI技術を有した開発者が関与する必要があった。そこで、生産中に取得されたワークの画像で学習を自動的に続けるシステムを構築した。本システムにより、運用開始時には学習データ数が少なく判別精度が低いワーク種や、新規ワークを追加して判別精度が低くなってしまった場合でも、生産をしながらソフトウェア自身が学習して判別精度を高めていくことが可能となる(図11)。

2.3 無線遠隔モニタリングシステム

デスクトップPCやノートPCを利用した溶接の見える化に加え、タブレットなどモバイル端末を活用した無線遠隔モニタリングシステムの開発にも取り組んでいる。現場によっては、溶接品質を確保するために熟練作業員が溶接状況を常時監視する場合もある。熟練作業員が減少している昨今、複数の溶接装置を同時に稼働することができず、作業効率を上げられないことが問題となっている。無線遠隔モニタリングシステムの導入により、複数の溶接システムを遠隔地から確認できる。本モニタシステムにより、各溶接装置の操作は非熟練作業員に任せ、熟練作業員が複数の作業員をサポートするような体制を実現することも可能となる。

無線遠隔モニタリングシステムは、SESTM本体とAndroid (Google LLC の商標) を搭載した産業用モバイル端末間で無線通信し、数値やグラフによるリアルタイムでの溶接状況の確認ができる。また遠隔での溶接条件の変更や、取得したモニタリングデータのCSV形式

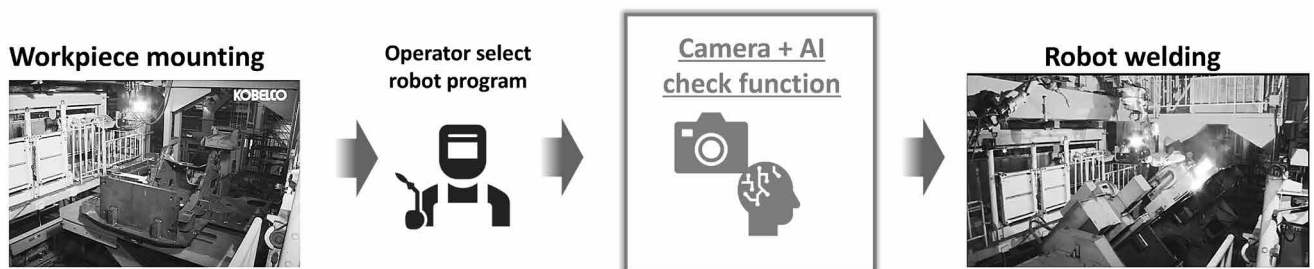


図10 ワーク種別判定ソフトの運用フロー
Fig.10 Work type determination software operational flow

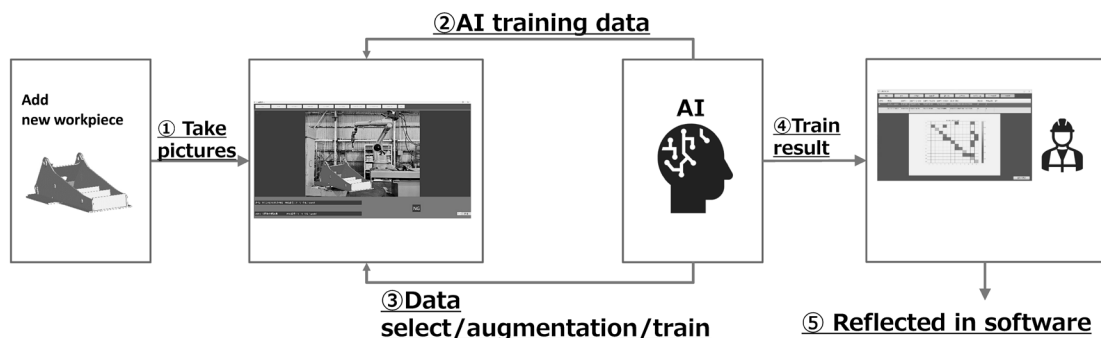


図11 新規ワークへのAI自動学習フロー
Fig.11 Automatic AI learning flow for new work piece

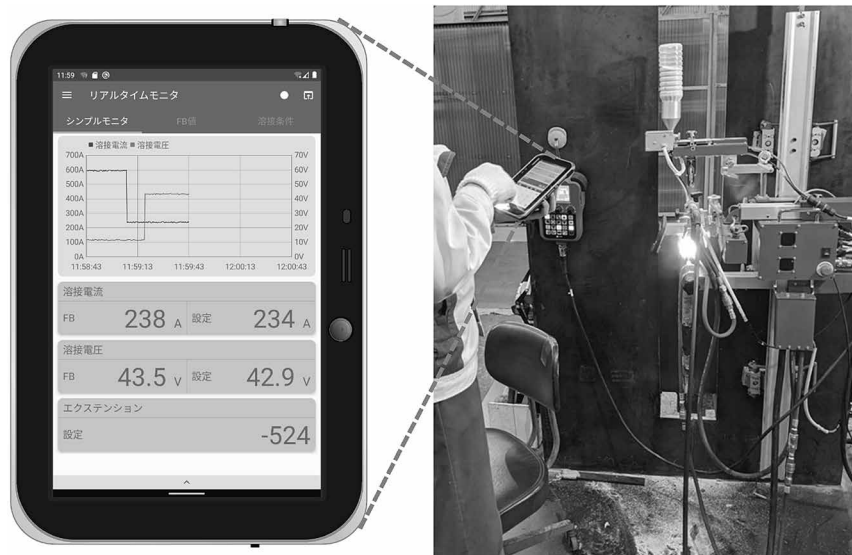


図12 SESLA™用リモートアプリ
Fig.12 SESLA™ and remote application for SESLA™

での保存などが可能となる (図12)。

無線遠隔モニタリングシステムについては、SESLA™用のモニタシステムにとどまらず、様々なシステムで活用できるように開発を進めていく予定である。

むすび = 本稿では、当社が保有するノウハウや溶接技術にICT・AI技術を組み合わせた機能について紹介した。今後、国内の少子高齢化の進展に伴って生産現場の自動化・省人化ニーズはさらに強くなると予想されている。このため、人手不足解消や作業者を重労働から解放することを目指した開発に注力し、溶接の自動化、品質向上に取り組むことによって、お客様の生産性、安全性向上へ貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 定廣健次ほか. R&D神戸製鋼技報. 2004, Vol.54, No.2, p.76-80.
- 3) 泉 敏之. ほうだより技術がいど, 技術レポート. 2005, Vol.45 2005-12.
- 4) 定廣健次. ほうだより技術がいど, 技術レポート. 2017, Vol.58 2017-2.
- 5) 柳井啓司, 情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア. 2007, Vol.48, No.SIG16 (CVIM19), p.1-24.
- 6) 矢野正基ほか. 電子情報通信学会論文誌D. 2019, Vol.J102-D, No.2, p.34-52.
- 7) 福永敦史. ほうだより技術がいど, 技術レポート. 2011, Vol.51 2011-3, p.1-6.
- 8) 柿崎智紀. ほうだより技術がいど, 技術レポート. 2020, Vol.61 2020-3.