

技術論文

溶接ロボットにおける3Dデータ活用

Utilization of 3D Data for Welding Robot

安 保 雅 基
Masaki Abo
中 西 弘 樹
Hiroki Nakanishi
稲 田 孝 治
Koji Inada

コマツのアーク溶接作業では、従来から溶接ロボットによるアーク溶接作業の自動化が行われている。ロボット化されたシステムにおいては、新機種の速やかな量産対応や継続的な改善活動が必要となる。溶接ロボットのプログラム作成では、3Dモデルのデータを活用したオフライン教示ソフトを開発し、教示に活用している。ロボット稼働状態の監視では、KOM-MICSと連携し、3Dモデル上でロボットの状態を表示することで稼働状態を容易に確認可能なシステムを構築している。

In Komatsu, arc welding work has conventionally been automated with the welding robots. A robotized system requires quick preparation for mass production of a new model and continuous efforts for improvement. In programming of the welding robots, we have developed an off-line teaching software utilizing 3D model data and used it for teaching. For the monitoring of the robot operating status, we have built the system which allows easy check of the operation status by displaying the robot status on the 3D model in conjunction with KOM-MICS.

Key Words: 溶接ロボット, 3Dデータ, オフライン教示, 見える化

1. はじめに

コマツのアーク溶接作業では、従来から溶接ロボットによる自動化が行われている。ロボット化されたシステムにおいては、新機種の速やかな量産対応や継続的な改善活動が必要となる。ロボットのプログラム作成は人が行う必要があり、溶接とロボット両方の専門的な知識と技術が求められる。また、自動化後もロボットの稼働状態を継続的にモニタリングし、チョコ停（短時間の停止）の低減や稼働率の向上を図るためにプログラムの改善が必要である。建機の部品は溶接箇所が多く、品番も多いためこれらの活動が特に重要になる。コマツで開発したオフライン教示ソフトや稼働率モニターでは、3Dデータを活用することが可能であり、効率的な運用を可能にしている。それらのソフトについて紹介する。

2. オフライン教示における3Dデータ活用

2.1 溶接ロボット用オフライン教示ソフト

コマツでは従来より、実機ではなくPC上の3D空間上でロボットを教示するオフライン教示が活用されている^[1]。通常、ロボットのプログラム教示はティーチングプレイバック方式であり、人がロボットを操作し、目標点に移動させ位置を1点ずつ登録してプログラミングを行う。オフライン教示では、PC上で教示が可能であり、設備立ち上げ前や、稼働中の設備の生産を停止させることなく、教示が可能となっている。

従来のオフライン教示ソフトはポリゴンモデルのみ読み込みが可能となっていた。今回、オフライン教示ソフトの大幅なバージョンアップを行い、STLファイルに加え、汎用のCADフォーマットであるSTEPファイルの読み込みが可能となっている。STLファイルのポリゴンデータでは、円弧形状などは多角形の形状に近似されているため、後述するツールパス機能の実現ができなかった。STEPファイルでは、正確な円弧形状のデータを保持しているため（**図1**）ツールパス機能の実現が可能となっている。

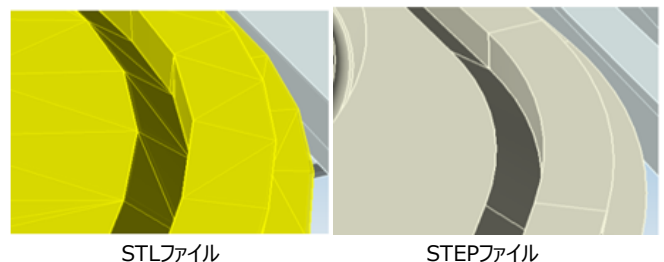


図1 STLファイルとSTEPファイル

2.2 建機溶接ロボット特有の操作

建機用の溶接ロボットシステムでは対象ワークが非常に大きいため、ロボットのみでなく走行軸やポジション軸を備えたシステムが必要になる(図2)。そのため、オフライン教示ソフトの機能においては、走行軸やポジション軸を有したシステム表現が可能となっている。また、走行軸、ポジション軸との連動を前提とした機能を有している。

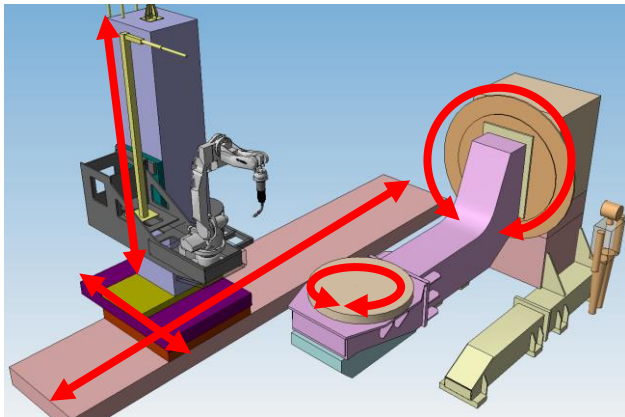


図2 走行3軸, ポジショナ2軸のシステム例

例えばロボットの姿勢を図3(a)から図3(b)の姿勢に操作したい場合、ツール先端をマウス操作することで操作が可能となっている(図3)。走行軸を備えているロボットシステムでは、走行軸を動作させることでロボットのツール先端位置を変更させることが可能となっているが、図4(a)の場合はロボットの姿勢が伸びている状態なので図4(b)のような姿勢に移動させたい。この時、走行軸を動作させるとロボットのツール先端位置が移動してしまうが、ツール先端位置を逆方向に動作させることでワークから見た時ツール先端位置を固定した操作が可能となっている(図4)。ほかにも、ロボットの操作方法としてトーチ軸周りの動作、ツール座標系での動作、トーチ方向の動作などロボットの教示に便利な操作系を有している。

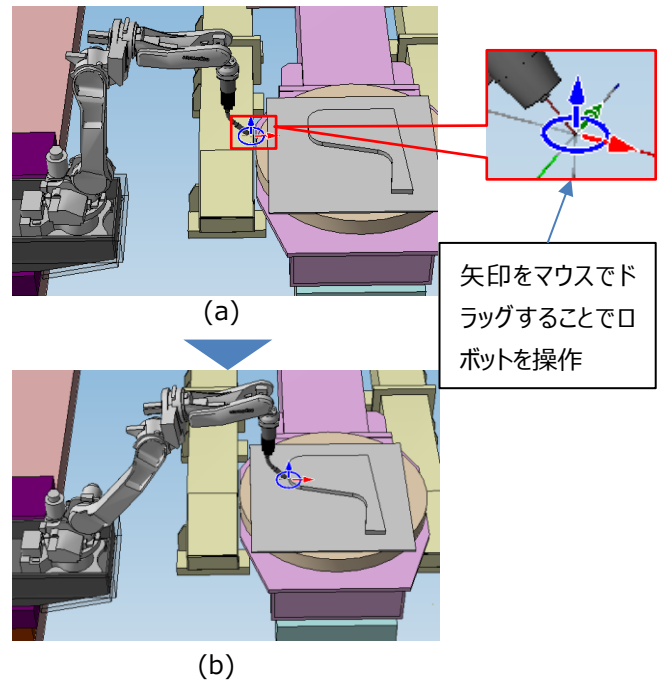


図3 ロボットのマウス操作例

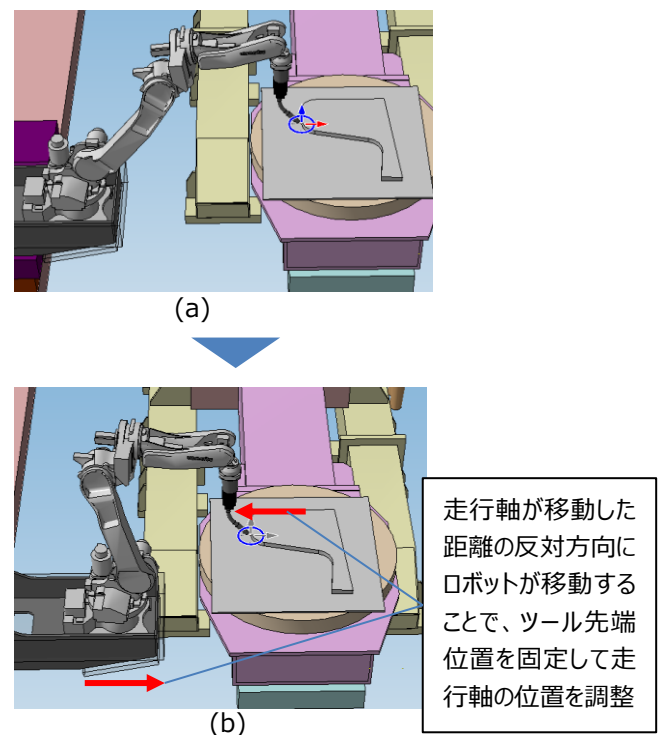
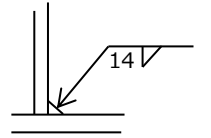
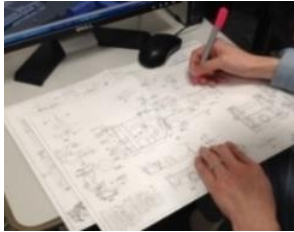


図4 ツール先端位置固定でのロボット操作例

2.3 溶接線情報の読み込み

溶接線を教示する際には、2次元の図面（図5）から溶接情報を読み取って教示を行う必要がある。製品の図面は形状が複雑であり、溶接線の数が非常に多く読図に時間がかかる。



例：隅肉14×14

図5 2次元の図面のイメージ

課題解決のために、3Dモデルに製品の特徴（寸法、材質、注記など）や製造に必要な情報を付加した3DAモデル（3D Annotated Model）の活用トライアルを行っている。オフライン教示ソフトで、3Dモデルに付与された溶接線情報の読み込みに対応している。読み込まれた溶接線情報は、3Dモデルに重ねるように表示される（図6）ため容易に溶接箇所が確認可能である。また、溶接線を選択することで脚長などの必要な情報の確認が可能となっている（図7）。

溶接線情報ファイル



青線：溶接線

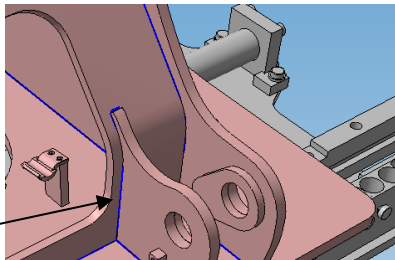
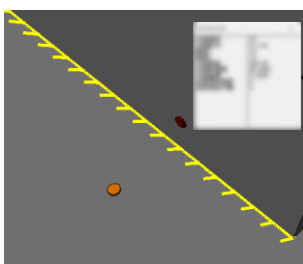


図6 溶接線情報のインポート



溶接線情報	
溶接記号	隅肉
脚長 1	14
脚長 2	14

溶接線情報の表示イメージ

図7 溶接線情報の表示

2.4 ツールパス生成機能

アーク溶接では、溶融金属が重力の影響を受けるため、溶接時の姿勢が重要である。図8のような下向き溶接の姿勢が溶接品質を安定させ、大電流での溶接を可能にする。そのため、ツール先端位置、ツール角度、ポジション角度をそれぞれ作成して教示する必要がある。これらを実機ロボットで教示する場合、図8のように順番で作成する。円弧溶接時は、常にポジション角度が変

化するため、円弧1つに対して最低3つのポジション姿勢の作成が必要（図9）となり教示時間がかかる。

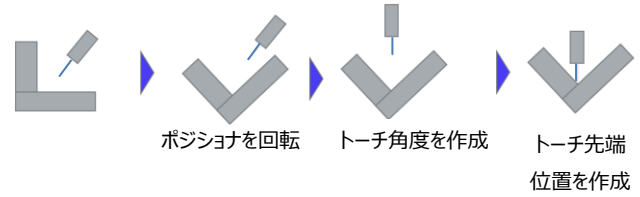


図8 下向き溶接の教示例

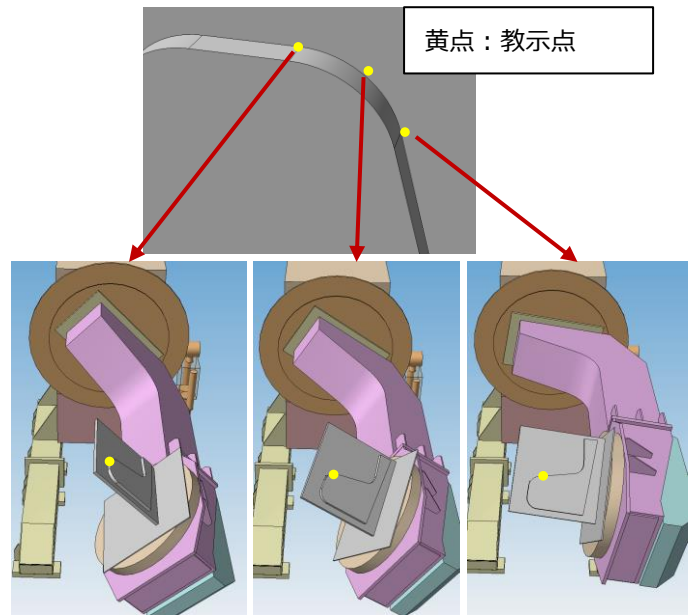


図9 円弧での下向き溶接のポジション姿勢例

また、ロボットとワークとの干渉回避、ロボットの動作範囲外への移動の防止、特異点の回避などを行うために、走行軸の位置の調整や、トーチ軸周りの姿勢の調整（図10）を行う必要がある。通常の教示を行う場合は、3点教示したあとにロボットプログラムを実行してロボットの動作を確認、再度修正を行う必要があり教示に手間がかかる。

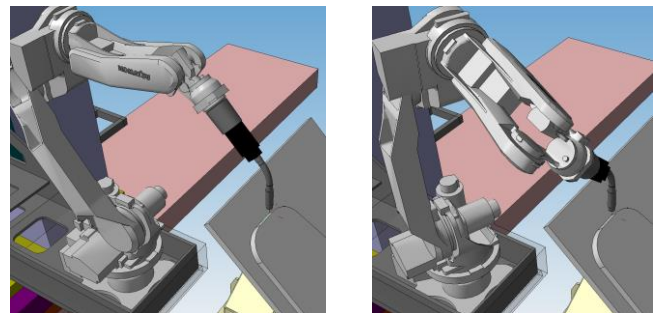


図10 トーチ軸周りの姿勢調整

このような教示を容易にするために、オフライン教示ソフトでは、溶接線情報またはCADモデルのエッジ情報からポジション角度、トーチ角度、トーチ位置を自動で生成するツールパス機能が搭載されている（図11）。ツールパス機能では、ロボット、走行軸、ポジション軸の動作を含めた位置情報が生成される。ツールパスの任意の位置にロボットを移動させることで、その時のロボットの姿勢の確認が可能となっている。（図12）

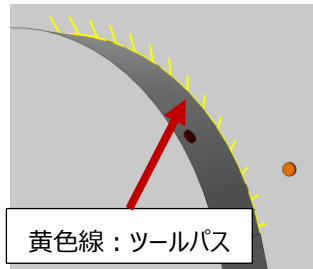
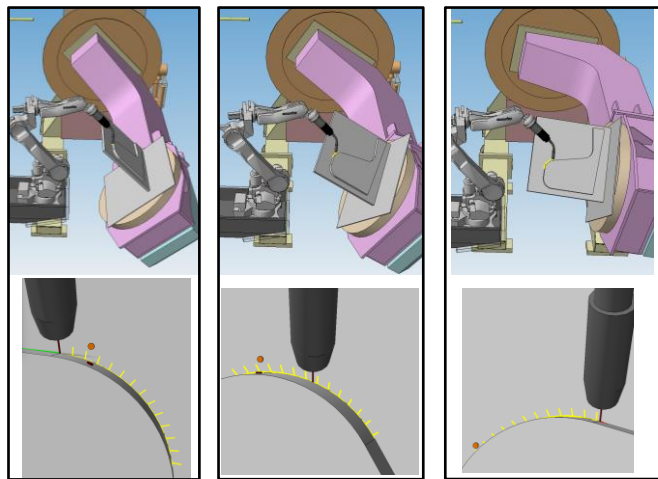


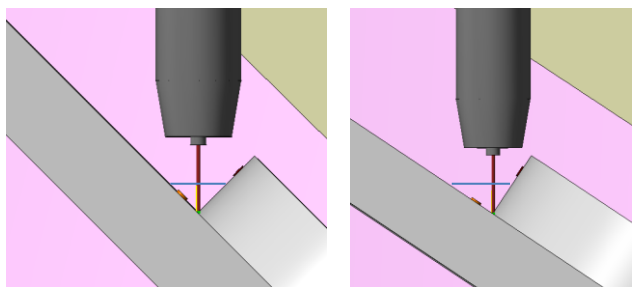
図11 ツールパス機能



ツールパス始点 ツールパス中点 ツールパス終点

図12 ツールパス機能の使用例

また、溶接では不等脚長や下進溶接の教示のために、トーチ角度やポジション角度を調整するときがある。ツールパス機能では、パラメータ調整を行うことでこのような調整も可能となっている。



脚長：10×10 脚長：10×15

図13 不等脚長指定例

また、複数の直線、円弧の選択も可能となっている（図14）。作成したツールパス上を自動でロボットを動作させることで、ワークとの干渉チェックやロボットの動作範囲外ではないかの評価も可能となっている

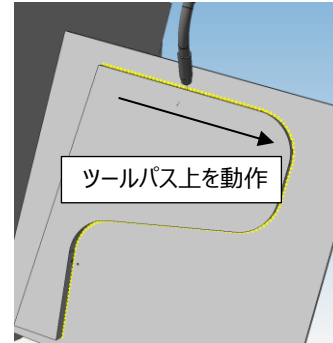


図14 複数エッジ選択例

ツールパス上を自動で動作したあと、正常に動作可能な箇所はバーの下部が水色で表示されるが、ワークと干渉する箇所は赤色、ロボットの動作範囲外の箇所は黄色に表示される。図15は、ロボットとワークが干渉している例である。

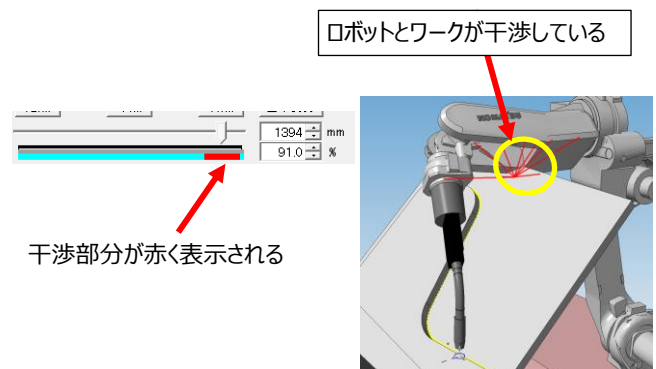


図15 ツールパスの干渉チェック機能

ワークとの干渉がある箇所にロボットを移動させ、トーチ軸周りまたは走行軸の位置を調整し、再度干渉チェック機能を実行することで容易に教示後の調整も可能となっている（図16）。

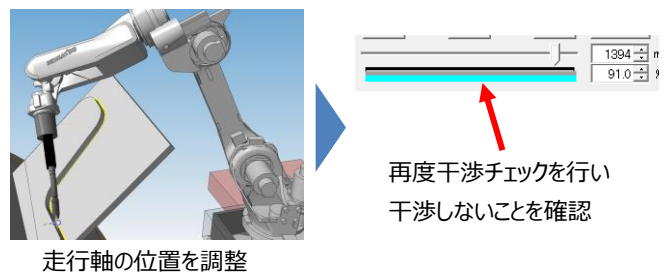


図16 ツールパスの干渉回避の教示

ツールパス機能を活用することで、溶接線の教示時間がおよそ50%低減、円弧部に限ると80%低減が可能となっている。

以上のように、溶接ロボットのオフライン教示では、3Dモデルを活用した建機溶接に特化した機能開発を行い、ロボットの教示作業の容易化を進めている。

3. 工程改善における3Dデータ活用

これまで述べてきたオフライン教示ソフトとコマツの生産性改善システムKOM-MICS^[2]を連携することで、さまざまな工程改善を行うことができる。

3.1 KOM-MICSでの3Dモデル管理機能

コマツの社内には溶接ロボットや工作機械などのさまざまな生産設備がある。これらの設備から稼働率データを収集し、そのデータをさまざまなアプリで見える化し、改善を行うシステムがKOM-MICSである(図17)。コマツ製品の部品はコマツ社内だけでなく、協力企業でも生産しているため、このシステムを協力企業にも展開して使用できるようにしている。これにより、KOM-MICSはコマツグループ全体の生産を効率化するシステムとして機能している。

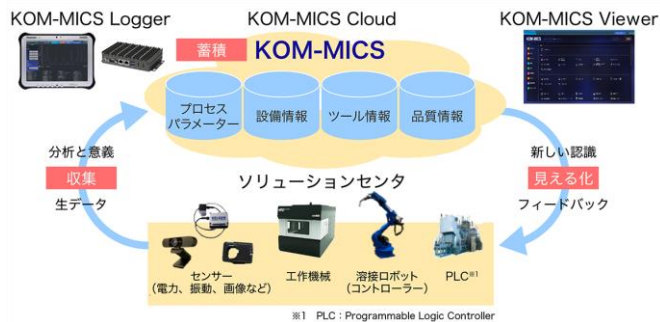


図17 KOM-MICSの概要図

溶接ロボットにおいては、国内外、協力企業含め約500もの設備が接続されており、日々稼働率データが収集されている。3Dモデル活用における本システムの強みとして、上記のロボットシステム、ワークおよびポジションの3Dモデルがデータベースとして一元管理されているということがある。図18のように、国内外のロボットリストから任意のシステムを選択し、3Dモデルを表示&ダウンロードすることができる。すなわち、KOM-MICSを利用しているユーザなら、登録された3Dモデルを使って新規ティーチングや溶接ジョブの動作確認を行うことができるようになっている。

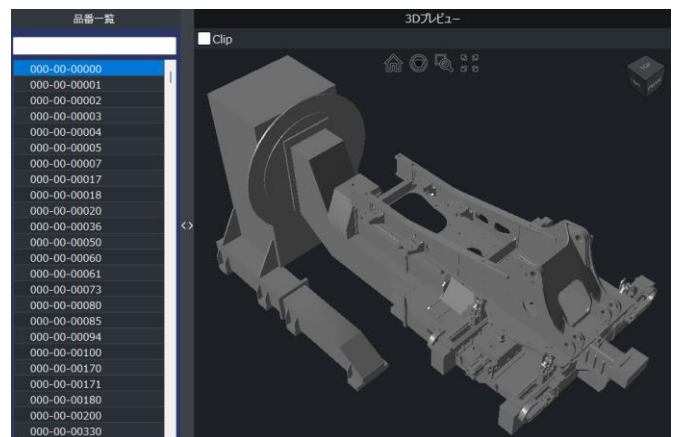


図18 KOM-MICSの設備3Dモデルデータベース

3.2 稼働率データと3Dモデルの連携による工程改善

KOM-MICSで収集した稼働率データには、その時々におけるロボットの位置データやポジションの回転角度などが保存されているが、これらはただの数値データであるためそのままではロボットの動きをイメージしづらい。そこで、KOM-MICSには前述のオフライン教示ソフトと連携する機能が備わっている。図19のように、稼働率データ内の溶接電流値などをKOM-MICSでグラフ表示しながら、オフライン教示ソフトで任意の時間におけるロボットの位置と姿勢を確認できる。これを利用して、例えば溶接姿勢や溶接順序は適切であるか、よくエラー停止が起こっている姿勢はどのようなものかななどを直感的に把握し、改善につなげることができる。



図19 KOM-MICSとオフライン教示ソフトの連携

また、一つのワークを複数台で溶接するシステムを多頭ロボットシステムというが、このようなシステムのサイクルタイム低減にも上記の連携機能が役立てられている。図20はその一例である。多頭ロボットシステムでは、改善前のタイムチャートのようにピンク部の待ち時間が多々発生する。これは、一方のロボットが溶接しているときに他方のロボットが溶接できる適切な溶接線がないことが原因である。そこでこれまで、前述の連携機能でロボットの姿勢を見ながら溶接順序を適切に入れ替えたり、ロボット間の作業を平準化したりすることで待ち時間を減らす活動が行われてきた。このような活動により、例えば図20の例ではサイクルタイムを15%低減することができている。

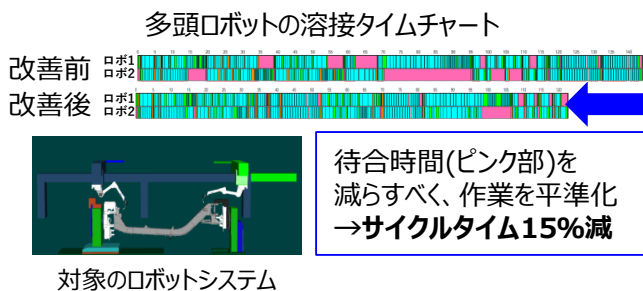


図20 多頭ロボットのサイクルタイム改善

3.3 3Dモデル上への溶接軌跡の表示機能

オフライン教示ソフトには、稼働率データを読み込んで3Dモデル上に溶接の軌跡を表示できる機能がある(図21)。ここで、軌跡が表示されている箇所はロボットによって自動溶接が行われている箇所である。ユーザは、この軌跡と予め3Dモデルに付与された溶接線情報とを比較することで、溶接の未自動化部位を把握することができる。未自動化部位に対しては、溶接条件の新規作成や、ロボットの新機能開発を行うことで、日々自動化が進められている。

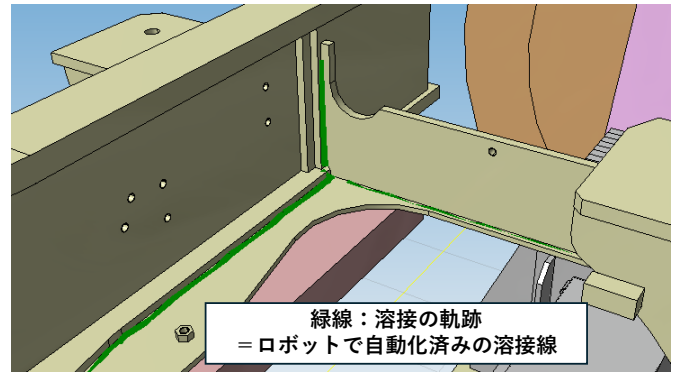


図21 溶接軌跡の表示機能

4. おわりに

「溶接ロボットにおける3Dデータ活用」の研究・開発において得られた結果を以下に記述する。

- (1) オフライン教示ソフトをアップデートし、汎用CADファイル、3Dモデルに付与された溶接線情報の読み込みに対応した。
- (2) 溶接線情報、および3Dモデルの形状データからのロボット姿勢、走行軸、ポジション姿勢を自動で作成するツールパス生成機能を開発した。
- (3) KOM-MICSとの連携により、ロボット稼働状態を容易に3Dモデル上で確認可能とした。

参考文献

- 【1】 山中伸好, “オフラインティーチングシステム「ティーチモア」の紹介”, KOMATSU TECHNICAL REPORT, 2005, VOL.51 No.155, p.17-21
- 【2】 齋藤尚登, 坪井啓介, “生産現場“つながる化” KOM-MICS”, KOMATSU TECHNICAL REPORT, 2016, VOL.62 No.169, p.9-14

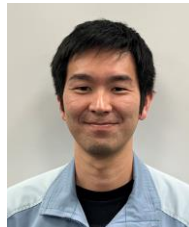
筆者紹介



Masaki Abo
安 保 雅 基 2017年, コマツ入社.
生産本部 生産技術開発センタ所属



Hiroki Nakanishi
中 西 弘 樹 2020年, コマツ入社.
生産本部 生産技術開発センタ所属



Koji Inada
稲 田 孝 治 2010年, コマツ入社.
生産本部 生産技術開発センタ所属

【筆者からひと言】

今後更に, 設計や製造, 建機の稼働においてデジタルデータ活用がされることを期待したい. そのために, 各種工程でのデータ取得や連携, 活用が可能な仕組みづくりを行いたい.