

(技術資料)

# クレーン用ラチスブーム自動溶接システムの開発

## Development of Automatic Welding System for Crawler Crane Latticed Booms



飛田正俊\*  
Masatoshi Hida



岡本 陽\*  
Akira Okamoto



西村利彦\*  
Toshihiko Nishimura



藤原昭喜\*\*  
Akiyoshi Fujiwara



玉田喜文\*\*  
Yoshifumi Tamada



上門俊夫\*\*\*  
Toshio Kamikado

An automatic welding system for crawler crane latticed booms, made by thin steel pipes, was developed to improve welding quality and strength. This system rectifies distortions caused by real-time welding heat input. This paper introduces an outline of this system and main functions including: 1) The creation of saddle-type robot-programming data; 2) Detection of saddle-type welding seams; 3) High-reliability tracking functions.

まえがき = クローラクレーンの構成部品であるラチスブーム (図 1) は、重要な保安部品であるため溶接品質の厳しい検定をパスする必要がある。従来、コベルコクレーン (株) では、ほとんどのラチスブームを熟練溶接技能者が手で溶接を行っており、アーク溶接ロボットによる自動化は、ごく一部の中小型の量産汎用品に限られていた。

比較的小径のパイプとパイプを組合わせたラチス構造の構成部品を溶接する際、溶接による入熱の影響で対象ワークが歪み、溶接位置が溶接中に時々刻々と変化するため、ロボットによる溶接ではこの歪みのリアルタイムな補正が不可欠である。また、パイプ同士を接合するため溶接線が 3 次元の鞍形曲線となり開先形状も時々刻々と変化する。このような形状の計測・補正手段が従来は無かった<sup>1), 2)</sup> ために、従来のロボットによる溶接作業では膨大な時間と手間をかけて、溶接結果から教示データを個別に修正することで対応してきた。このため、ロボット化は効果の大きい中小型の量産汎用品のみにとどまっていた。

量産汎用品以外の大型ワークなどは、熟練溶接技能者による生産が行われているが、技能者の高齢化、減少に

より生産の維持が難しくなっており、また海外拠点での生産の観点からも「ロボット化」が急務である。

これらの課題を解決するために、アーク溶接用レーザーセンサを用いた自動パイプ溶接システムを開発した。本システムは主に、

- 鞍形教示データ作成機能
  - 鞍形溶接線検出機能
  - 小曲率溶接線に適した高信頼性溶接線追い機能
- から構成される。

### 1. システムの概要

#### 1.1 構成

開発したシステムの構成を図 2 に示す。ロボットは (株) 神戸製鋼所製溶接ロボット ARCMAN-RON<sup>®</sup> を使用している。工業用コンピュータはロボットコントローラおよびセンサ制御装置とネットワークを構築し、相互にデータの送受信を行うことができる。ロボット先端には、溶接トーチに対して 30mm 前方を計測できる、フライングスポット方式のレーザーセンサ (サーボロボ社製 M-SPOT90<sup>3)</sup>) を配置した。このセンサは溶接トーチの姿

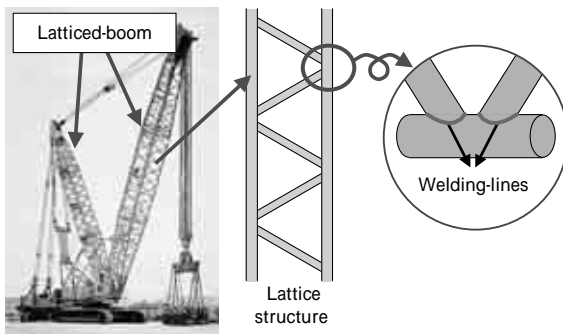


図 1 ラチスブームと溶接位置  
Fig. 1 Welding-lines at latticed-boom

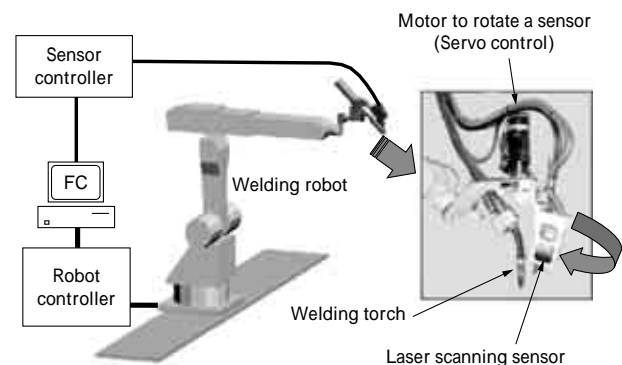


図 2 システム構成  
Fig. 2 System configuration

\*技術開発本部 生産システム研究所 \*\*コベルコクレーン (株) 生産本部 製造部 \*\*\* Thai Kobelco Construction Machinery Ltd.

勢によらず常に溶接線前方を計測するため、溶接トーチ軸周りにセンサを自在に回転できるサーボ制御可能な回転モータを設置した。

## 1.2 特徴

本システムは、鞍形教示データ作成機能、ワーク位置検出機能、鞍形溶接線検出機能、高信頼性溶接線追い機能から構成される。鞍形教示データ作成機能は、既に教示データを作成した同一のパイプ形状にはその溶接位置に教示データを複写生成するが、新しいパイプの形状に対しては、近似形状の教示データから幾何学形状の変換を行い教示データを自動作成することにより、大幅な教示時間の短縮を図れる。これにより量産品以外のワークに対しても簡単に本システムの適用を可能にした。ワーク位置検出機能は、ロボットに搭載したレーザセンサを用いて溶接対象となるパイプの取付位置を検出し、CAD情報と実ワークとのズレ量を算出して、ロボットの溶接開始位置を補正する。パイプという3次元上の特徴点が明確に検出できない対象ワークに対するズレ量の検出方法に工夫を凝らした。鞍形溶接線検出機能は、時々刻々と角度や形状が変化するパイプの接合部の開先形状を正確に検出できる方法を開発した。高信頼性溶接線追い機能は、仮止溶接などにより溶接位置が直接検出できない場合でも、実際の溶接線から大きく外れることなく安定した溶接を実現するための追い方法に工夫を凝らした。

## 1.3 追い動作の概要

溶接追い動作のフローは、以下のとおりである(図3)。ロボットからセンサ制御用パソコンへアーク追い開始コマンドが通知される。

センサ制御用パソコンはロボットの最新の位置情報を時々刻々と取得する。

センサ制御用パソコンはサンプリング周期ごとにセンサからの計測データを取得する。

にて取込んだ計測データを元に開先位置を検出し、の情報を使って検出した開先位置をロボット座標での位置に変換し、記憶しておく。

ロボット先端が の検出位置近傍に到達したところで、先端のズレ量を演算する。

ロボットに のズレ量を送信し、ロボット先端位置を補正する。

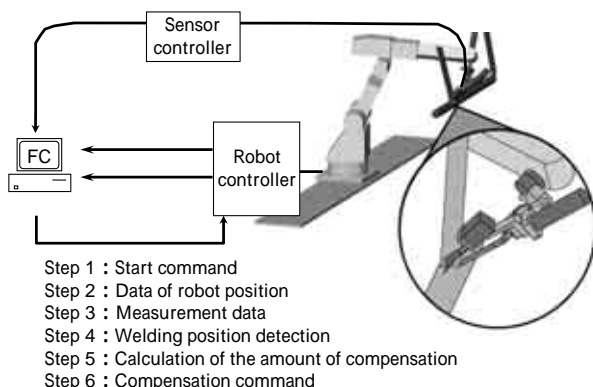


図3 追い動作  
Fig. 3 Tracking procedure

なお、これらのセンサ制御用パソコンの動作ソフトは当社開発のリアルタイムOSを用いて実現しており、各演算処理はマルチタスクによる処理を行っている。

## 2. 機能の詳細

### 2.1 鞍形教示データ作成機能

実用的なシステム性能として、少量非汎用ワークに対する教示時間短縮が非常に重要である。このため、一度作成した教示データと同じ形状の鞍形溶接線に対しては、教示データのデータベース(以下、DB)から引当てて所定の位置に複写して全体の教示データを自動作成する機能(図4(a))と、形状が近似している鞍形溶接線に対しては、近い条件のDBを引当てて幾何学的な変更を行って教示データを自動作成する機能(図4(b))を開発した。

機能実現に際しては、(株)神戸製鋼所の溶接ロボット用オフライン教示システム<sup>4)</sup>をベースに開発を行い、干渉チェックによるロボットの姿勢検出、溶接条件およびウィーピングパターンの編集を可能とするとともに、ワーク形状に応じて登録した教示データDBを引当てる鞍形教示データ作成ツールを開発し、高度なオペレータスキルを有効に活用できるシステムを実現した。これにより、既存の教示データを活用する場合は、ワーク形状を対話的に設定するだけで誰でも簡単に利用できるようになった。また、形状が近似している溶接部位に対して教示データを自動作成する機能では、新規に教示データを作成する時間に対して約75%の時間短縮が図れた。

### 2.2 ワーク位置検出機能

実機での運用を実現するために、溶接線追いに使用するレーザセンサを用いたワーク位置検出機能を開発し、ワーク仮組時のパイプ取付位置ズレ量の補正を可能にした(図5)。対象ワークがパイプであるため、レーザセンサをパイプの横方向から照射した断面形状は楕円形状となる。楕円形状をフィッティング処理にて最凸部を導出し、誤差の載りにくい半径方向の成分のみを使用した補正を行うなどの工夫により、パイプ取付位置の検出を行い、検出精度0.5mm以下を実現した。

これにより、溶接開始時のズレ量を補正し、センサによる追い動作ができない溶接開始区間での品質向上を図

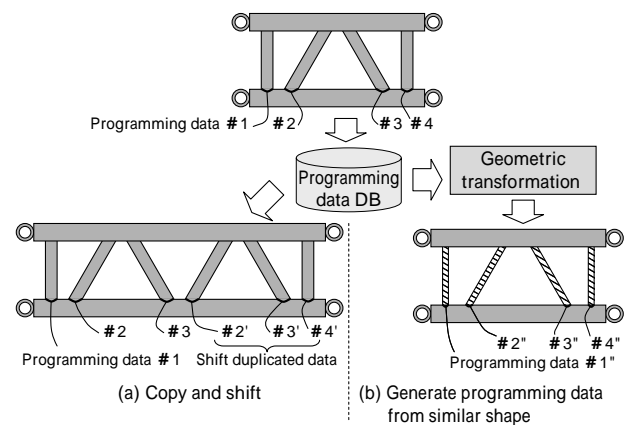


図4 鞍形教示データ作成機能  
Fig. 4 Generate programming data of saddle type

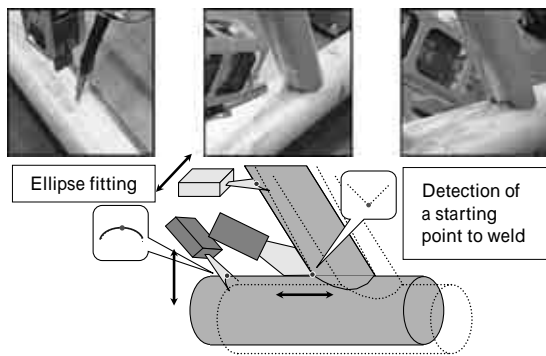


図5 ワーク位置検出機能  
Fig. 5 Detection of a work position

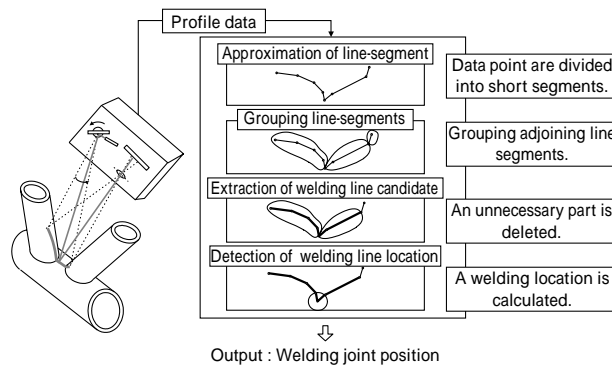


図7 溶接位置検出方法  
Fig. 7 Detection of a welding joint position

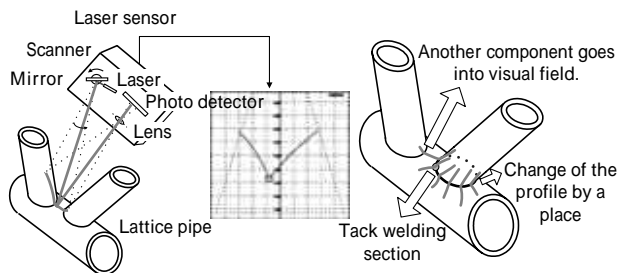


図6 鞍形溶接継手の検出上の課題  
Fig. 6 Problem of detecting saddle type welding line

った。

### 2.3 鞍形溶接線検出機能

従来、隅肉、突合わせ開先などの形状が大きく変化しない溶接線継手に対する溶接線検出手法は実用化されていたが、開先形状が図6にあるように時々刻々と大きく変化する鞍形溶接線に適用可能な手法は存在しなかった。

そこで、ラチスブームの鞍形形状に適した決定木方式検出ロジックを特徴とする溶接位置検出方法を開発し、開先形状が時々刻々と変化しても溶接継手位置を正確に検出することを可能とした(図7)。この溶接位置検出方法は、断面形状データである2次元点列を線分に分割、さらに線分を隣接グループ化の中で、不要部位やアーク光などのノイズを削除し、溶接線部位を絞り込む。さらに、絞り込まれた部位形状から、仮止部や開先ありなどを判別して、形状に応じて最適な溶接線位置を検出する。

この手法を用いることにより、計測中に出現する仮付

溶接部の判定機能や、ワークの仮組誤差に起因する接合部位にすき間を有する溶接継手に対する検出位置の安定化、スパッタなどによるノイズ対策が可能となり、実運用面での信頼性が向上し実ワークに対して検出率95%以上を達成した(図8)。

### 2.4 高信頼性溶接線検出機能

従来よく用いられているセンサ検出位置追従方式では、仮付溶接部や表面状態の影響でセンサによる検出ができない区間が発生した場合、現在位置から検出できた位置の方向に直線的に補正をかけてしまうため、対象パイプのような曲率の大きな溶接線に対しては、溶接線から大きく外れてしまい正確な追従が困難であった。このため、以下のような新たに教示データを積極的に活用する検出方式を考案した(図9)。

センサにてズレ量が検出できたときは、先端位置を補正するとともに、元の教示データ全体をシフトする。センサにてズレ量が検出できなかったときは、その直前までにシフトされた教示データを用いて動作する。

使用する教示データは、対象となる鞍形溶接線に対して、溶接の入熱歪によるワークの変形が無ければ溶接位置を追従できる教示データを使用している。このため、センサが検出できない区間が発生しても、直前までに補正された教示データにしたがって動作するので、溶接線から先端位置が大きくずれることはない。

このように、センサでの検出状況に応じて、ロボットの軌跡制御を切替えるハイブリッド軌跡制御を行うことにより、センサデータ欠落時でも溶接線から大幅に外れ

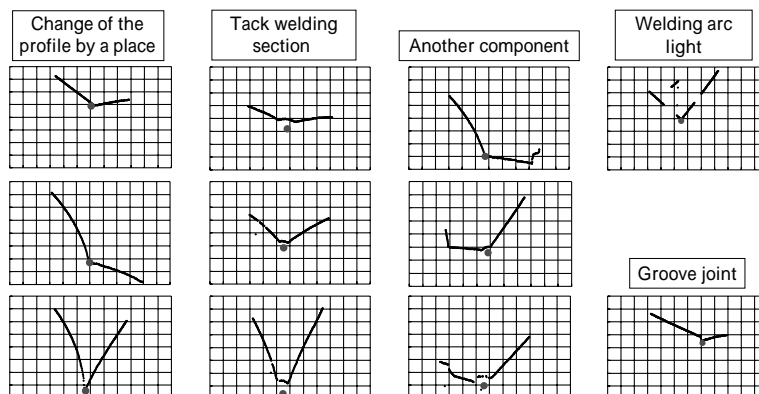


図8 鞍形開先形状の検出例  
Fig. 8 Example of welding line profile on a saddle type part

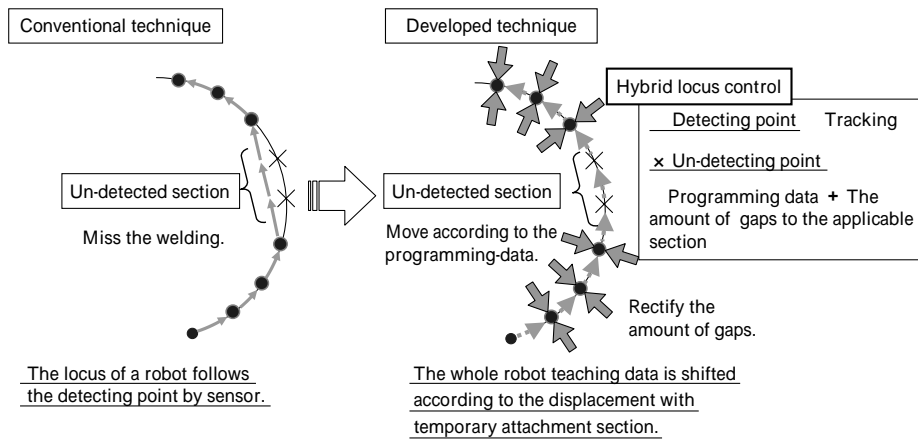


図9 高信頼性倣い方法

Fig. 9 High-reliable tracking method

ることなく安定して動作する方法を開発した。

### 3. 溶接結果

本システムでは、2章で述べた各機能の相乗効果により、先端の溶接線倣い精度 0.5mm 以下を達成し、安定した溶接を行うことができた。写真1に、本システムにて実際に溶接を行ったときの溶接外観を示す。

むすび = 3次元の鞍形曲線であつ開先形状が時々刻々と変化する溶接線に対する検出技術はこれまで無かった。そこで、実用性・将来性を考慮して、アーク溶接用レーザセンサを採用するとともに、開先位置検出機能と溶接線倣い機能を分離した制御方法を考案した。今回開発した開先形状の変化に自動適応する検出技術は、仮付溶接部の検出や多層盛溶接状態での検出が可能である。また、教示データを活用した溶接線倣い機能にてセンサが検出した情報を有効に活用することにより、一層高品質な溶接を実現した。

また、ロボット化における課題の一つである教示作業時間の短縮についても、当社の溶接ロボット用オフライン教示システムをベースに、ワーク形状に応じて登録した教示データDBを引当てる鞍形教示データ作成機能を開発し、高度なオペレータスキルを有効に活用できるシステムを実現した。



写真1 溶接外観

Photo 1 Appearance of welding bead

本技術開発は、ロボット制御技術、画像処理技術などの高度な知識の融合により可能となったが、実用化にあたっては現場の生産技術者からのニーズ(コスト、運用方法、品質)が不可欠であった。生産技術者と個々の技術者の密接な共同作業によって、本システムの開発および実用化を実現することができた。

#### 参考文献

- 1) 清原裕次ほか: 溶接学会全国大会講演概要, 第61集(1997).
- 2) 川崎重工 FA・ロボット事業部: 川崎重工技報, 132号(1997) p.78.
- 3) J. P. Boillot : Proceedings International Symposium on Automotive Technology & Automation, (1998) p.61.
- 4) 原 督ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No.2 (2004) p.96.