

橋梁パネル溶接ロボットシステム

泉 敏之・丸山徳治・那須房義・原 督・木幡 茂

溶接カンパニー・溶接システム部

Arc Welding Robot System for Steel Bridge Panels

Toshiyuki Izumi・Tokuji Maruyama・Fusayoshi Nasu・Susumu Hara・Shigeru Kihata

The Cartesian robot had been applied to large structures in steel bridge building. But this kind of robot can not run non-stop for long periods of time, and can not weld vertical paths. This paper presents a new arc welding robot system that solves these problems. The new system consists of a new articulated robot and an off-line teaching system with a personal computer, which utilizes CAD data and simulates the robotic welder's operation .

まえがき = 産業用ロボットは、近年の深刻化する人手不足や作業環境の改善要請を背景に、生産工程の省人・省力化および生産性向上の有効な手段として飛躍的な伸張を遂げてきた。

そして、橋梁業界でも超大型鋼橋製作の増加にともない、溶接加工の自動化・省人化のニーズが高まり、これまで主に鉄桁・箱桁パネルを対象に各種専用機（多電極）、NC 直交型ロボットシステム（当社 GT-5000）など多くのファブリケータで積極的に導入されてきた。

しかし、いずれも「長時間の無監視運転が難しい」「立向溶接ができない」などの問題点があり、新たな自動溶接システムの開発が求められていた。

当社ではこの要望に応じて、最新の 32 ビット多関節ロボットとオフラインティーチングシステム（KOBELCO off-line teaching system : 以後 K-OTS と略す）とを合わせた新しい橋梁向けロボットシステムを開発・商品化したので、以下にその内容を報告する。

1. 溶接ロボットシステムの構成

1.1 ロボットシステムの適用部材

本システムが溶接対象とする橋梁部材は、第 1 図に示す鉄桁のウェブパネルや、第 2 図に示すような箱桁のウェブパネル、縦リブパネル、ダイヤフラムと横リブ×デッキパネルである。

これら橋梁部材の主な溶接部位は、スティフナやリブの水平すみ肉溶接であるが、ダイヤフラムや横リブ×デッキパネルでは、水平すみ肉溶接だけでなく、リブとリブの交差部立向すみ肉溶接や、リブと横リブの交差部立向すみ肉溶接も溶接対象に含まれている。

1.2 ロボットシステムの特徴

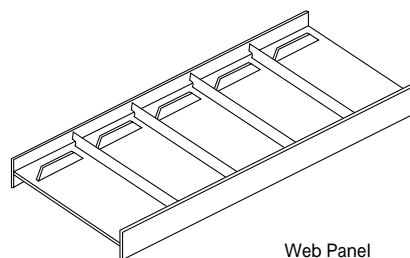
本システムには、以下に示すような特徴がある。

- 1) 最新の 32 ビット溶接ロボット採用で、厚板溶接に必要な最新機能を搭載している。
- 2) 多関節ロボットと外部移動軸の組合せで溶接可能範囲が広くとれ、多種部材への適用が可能である。
- 3) 橋梁設計用 CAD のデータを有効利用するために、CAD インターフェイスを有している。
- 4) 部材干渉チェック機能により無監視の自動溶接が可能である。
- 5) ユーザでセンシングパスや溶接パス、および溶接条件を任意に設定できる自動プログラミング機能を備えている。
- 6) 長時間連続運転に対応している。

1.3 ロボットシステムのハード構成

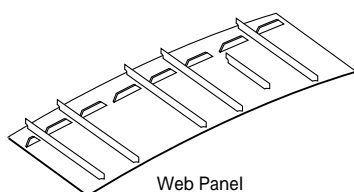
上記の橋梁部材を溶接するために、当社では 3 種類の溶接ロボットシステムを提供している。これらのロボットシステムには、すべて最新の 32 ビット多関節溶接ロボット ARCMAN・RON を搭載している。

まず、鉄桁ウェブパネル・箱桁ウェブパネルの専用ラ

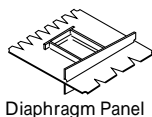


Web Panel

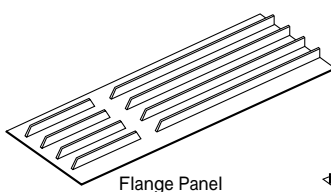
第 1 図 鉄桁パネル
Fig. 1 Plate girder panel



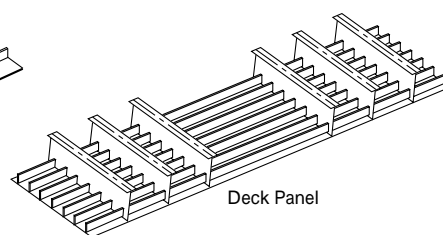
Web Panel



Diaphragm Panel



Flange Panel



Deck Panel

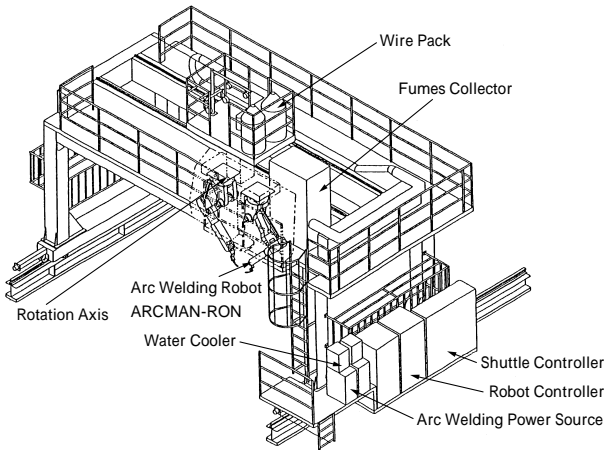
第 2 図 箱桁パネル
Fig. 2 Box girder panel

写真1 ツインタイプ溶接ロボットシステムの外観

Photo 1 Overview of twin-type arc welding robot system



写真2 ロボット溶接例
Photo 2 Example of arc welding by robots



第3図 ツインタイプ溶接ロボットシステムの構成
Fig. 3 Configuration of twin-type arc welding robot system

インのように、部材両側の水平すみ肉溶接が大半を占めるような溶接には、写真1に示すツインタイプのロボットシステムが適している。このロボットの概略図を第3図に示す。レール走行方向と横行方向に直交した外部移動軸があり、さらに外部回転軸下に2台のロボットを対向配置しているの、部材の両側同時のツイン溶接を容易にしている。写真2はこのツイン溶接例である。もちろん、1台のロボットを休ませたシングルタッチでの溶接も可能である。

次に、鉸桁ウェブや箱桁ウェブパネルだけでなく、これまでロボット溶接の適用が困難であった立向溶接が多いダイヤフラムや横リブ×デッキパネルも対象にした多目的生産ラインでは、写真3に示すシングルタイプのロボットシステムが適している。このロボットの概略図を第4図に示す。このロボットシステムには、レール走行方向や横行方向以外に昇降方向の外部移動軸があり、水平溶接姿勢のほか、昇降軸との連動による立向溶接姿勢や大きな障害物の回避姿勢をとりやすくしている。写真は門型台車式であるが、片門型台車式もある。

さらに、橋梁部材適用では大きさの制限があるものの、工場の天井高さや設置スペースに制約がある場合は、写真4に示すコンパクトシングルタイプのロボットシステムが適している。

2. オフラインティーチングシステム

2.1 オフラインティーチングシステムの構成

オフラインティーチングシステムの構成を第5図に示す。ハードウェアには、安価なパソコンを採用しており、ロボットシステムとこのパソコンは、通信回線で結

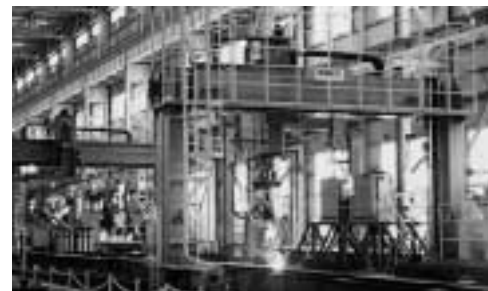


写真3 シングルタイプ溶接ロボットシステムの外観

Photo 3 Overview of single-type arc welding robot system

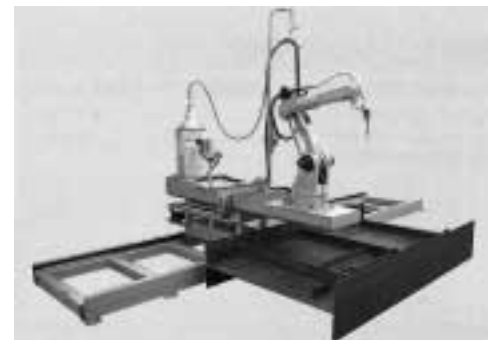
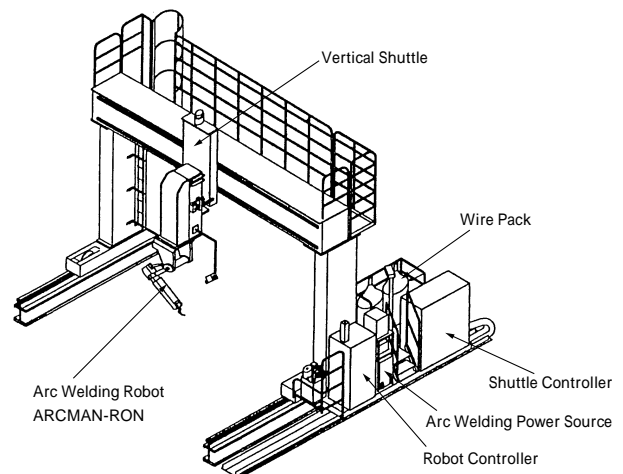


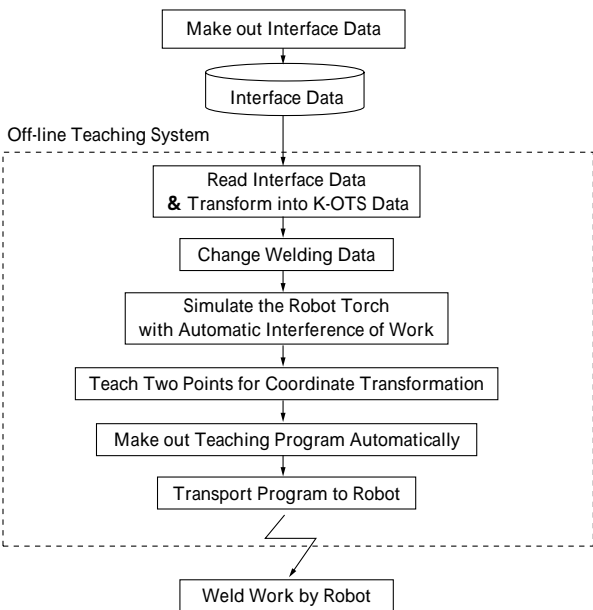
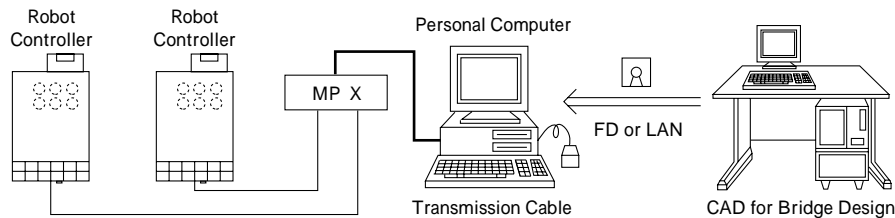
写真4 コンパクトシングルタイプ溶接ロボットシステムの外観

Photo 4 Overview of compact single-type arc welding robot system



第4図 シングルタイプ溶接ロボットシステムの構成
Fig. 4 Configuration of single-type arc welding robot system

第5図 オフラインティーチングシステムの構成
Fig. 5 Configuration of offline teaching system



第6図 データ処理の流れ
Fig. 6 Flow of processing data

ばれている。そして、自動プログラミングされた教示プログラムは、この通信回線でロボットに伝送される。なお、橋梁CADのデータは、FD(フロッピー・ディスク)を媒体として転送する。また、この転送はLANを経由しても可能である。

第6図に、オフラインティーチングの処理フローを示す。本システムでは、オペレータに必要な操作を、極力少なくしている。

たとえば、CADデータ読込後は、脚長変更や溶接長短縮などの編集作業が可能であるが、必要なればこの作業は省略できる。その後は、溶接ラインに設置されたワークの基準位置を2点教示するだけで教示プログラムを自動作成できる。あとはロボットにデータを伝送すれば、ロボットの自動溶接が実行可能である。

実際、オフラインティーチングの操作にオペレータが必要とする時間は、1ワークあたり10分弱である。

2.2 橋梁設計用CADとのインターフェイス

多品種少量の橋梁生産には、早くから橋梁設計用CADが導入されており、ティーチング作業時間短縮のために、CADデータ利用を前提としたロボット導入を進める場合が大半である。

本システムでは、CADデータを有効利用するため、CADとのインターフェイスを幅広く設けている。

第1表に、現在CADリンク可能なインターフェイスデータの種類を示す。

まず、FLデータは現在橋梁業界で普及しつつあるデータで、図形情報のほかに溶接情報を含むため、CAD

第1表 橋梁CADとのインターフェイス
Table 1 Interface of CAD for bridge design

Data Format	CAD for Bridge Design
FL Data	MIPSON, MASTERSON, STCAD, ADAMS, ADAMS- , CA *BRIDGE- , CA *JUPITER
CL Data	MIPSON, MASTERSON, STCAD, ADAMS, ADAMS- , CA *BRIDGE- , CA *JUPITER
Extended FL Data	CA *BRIDGE- , CA *JUPITER
DXF Data and Other	Corresponding to each CAD Individually

データ出力後に、オペレータが入力する項目を少なくできる。このため、本システムでは、基本的にFLデータでCADデータを読み込むことにしている。

また、ケガキや切断で利用されるCLデータは、橋梁CADで多く普及しているが、これには、部材の高さや形状、それに溶接情報が含まれていない。そのため、本システムでは、別途CL FLデータ変換ソフトを用意しており、簡単にCLデータからFLデータを作成できるようにしている。

そのほかにも、汎用CADで普及しているDXFデータやユーザ独自のインターフェイスデータにも、別途個別に対応している。

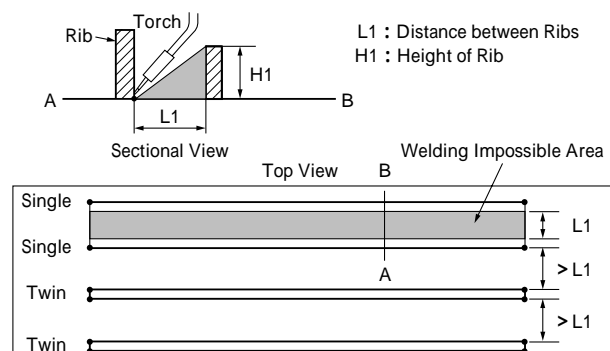
なお、水平すみ肉以外に立向溶接にも対応するためにFLデータに立向溶接線データを付加した拡張FLデータにも対応している。

2.3 部材干渉チェック

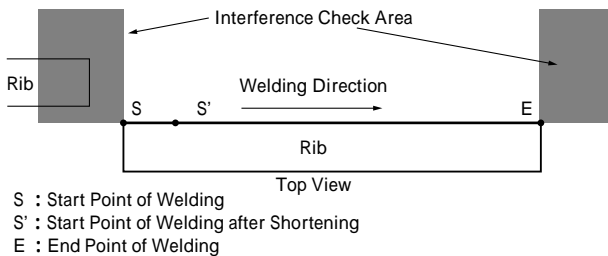
橋梁パネルの部材は、上方にオープンな形状であるが、局所的には狭隘な溶接箇所もあり、ロボットの教示プログラム作成には、トーチと部材の干渉チェックが必要となる。

本システムでは、通常の本溶接区間と、角巻き溶接やセンシングをおこなう始末端区間において、それぞれ自動的に干渉チェックしている。

第7図に、本溶接区間におけるチェック例を示す。トーチ角度を45°前後とし、トーチと平行部材の干渉



第7図 溶接区間の干渉チェック例
Fig. 7 Example of interference check for welding section



第 8 図 溶接開始 / 終了点における干渉チェック例
Fig. 8 Example of interference check for start and end points of welding

の有無を、平行部材の間隔と高さの関係で判断している。ここで干渉ありと判断すれば、この溶接線を溶接不可とする。この図では、部材間隔が L_1 以下であれば溶接不可と判断している。また、ツイン溶接では、部材の両サイドの干渉を同時にチェックし、片側が溶接不可であれば、両側とも溶接不可と判断する。

第 8 図に、溶接開始 / 終了点における干渉チェック例を示す。溶接開始点や溶接終了点で干渉ありと判断すると、溶接線を一定長短縮して再度同チェックをおこない、干渉がなくなるかまたは溶接長が最小溶接長以下になるまで、溶接長を短縮する。この図では、最初の溶接開始点 S で干渉ありと判断されているので、溶接終了側へ短縮した溶接開始点 S' を自動生成している。この点 S' で干渉がなくなれば、溶接開始点 S' が決定される。

実際は、このトーチと部材の干渉チェックを三次元のサーフェイスモデルでおこない、干渉チェックの精度を高めたり、溶接線の途中で干渉した場合にその干渉区間で溶接線を自動分割しているため、溶接残しを極力少なくできるようになっている。

このように、溶接前にトーチと部材の干渉を自動的にチェックしているので、ラインを止めてロボットを使用した動作確認をしなくても、無監視の溶接作業が安心しておこなえる。

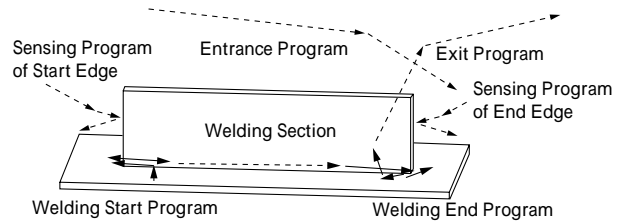
2.4 自動プログラミング

多関節ロボットの自動プログラミングは、ロボットでティーチングした動作軌跡を、あらかじめシステムに登録しておき、これを加工することにより新たな動作軌跡を作成するマスタプログラム方式が主流となっている。第 9 図にこのマスタプログラム作成例を示す。

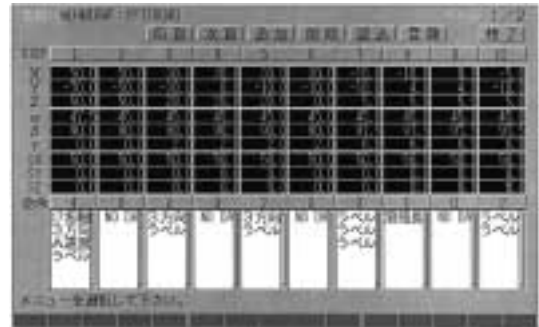
しかしながら、この方式では、ロボットを使用したティーチング作業が必要なため、動作軌跡を変更するたび生産ラインを停止しなければならないという問題があった。

そこで、本システムでは、このような問題を回避するため、新たにマスタデータ方式を採用した。この方式では、溶接線に対するロボットの姿勢を第 10 図のように記述するだけで、ロボットの動作軌跡が定義できる。指定するパラメータで、 X, Y, Z は溶接線に対するトーチ先端の位置を示し、 θ は、第 11 図に示すように溶接方向に対するトーチ角と前進角の指定である。溶接線を基準に指定するので、ロボットの座標系を意識しなくてもよい。

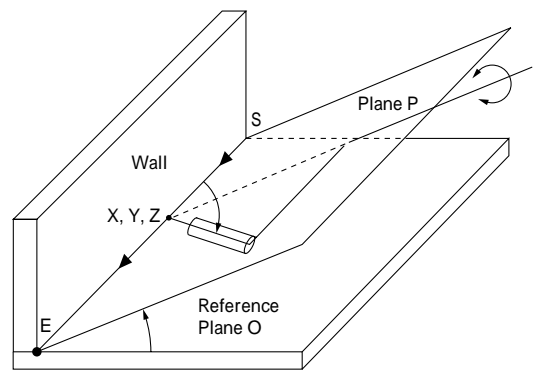
さらに、この方式では、ユーザで動作軌跡のポイント



第 9 図 マスタプログラムによる教示プログラム作成例
Fig. 9 Example of making out teaching program with master programs



第 10 図 マスタデータパラメータ例
Fig. 10 Example of master data parameter



第 11 図 トーチ姿勢例
Fig. 11 Example of torch pose

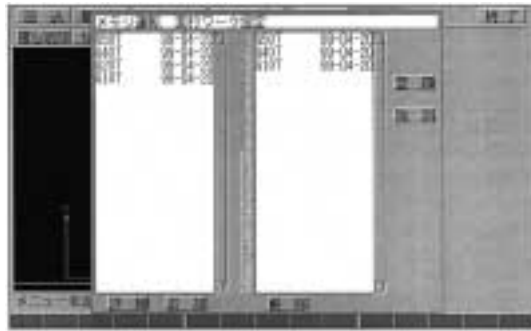
第 2 表 端部形状と角巻き溶接

Table 2 Boxing welding for edge shape

Edge Type	Edge Shape	Boxing Welding
Normal Cut		Boxing Welding for Normal Cut
Scallop Cut		Boxing Welding for Scallop Cut R = 35 ~ 50mm
Snip Cut		Boxing Welding for Snip Cut Height = 10mm Snip Angle = 45 °
Corner Cut		No Boxing Welding
Other		No Boxing Welding

数を任意に増減させたり、各ポイントでロボットの制御命令や溶接命令を自由に設定できるため、角巻き溶接などの細かな運棒の動きも任意に作成できる。

また、この自動プログラミングでは、部材端部の形状により動作軌跡を自動的に切り替えることができる。第 2 表に対応する端部形状を示す。このため、端部形状に柔軟に対応した角巻き溶接が可能である。



第12図 メモリ運転設定例
Fig. 12 Example of setting for memory running

3. 長時間連続運転

長時間無監視の連続運転を可能にするために、本システムでは、複数ワークを連続で溶接できるメモリ運転機能を搭載した。

教示プログラムの作成されたワークを、第12図に示す操作画面で溶接順に指定すれば、最大20個までのワークを連続溶接できる。この図の左側リストの中から選択されたワーク名を右側リストに設定し、この順序でロボットはワークを溶接することになる。

また、本システムには、長時間溶接のために、写真5に示すノズルクリーナやノズルオートチェンジャなどの周辺関連機器を搭載している。とくに、ノズルオートチェンジャは、ノズルを外してオリフィスの奥に付着したスパッタも除去できるので、数時間にも及ぶ長時間溶接には欠かせない機器となっている。

本システムでは、周辺関連機器の作業を、それぞれの機器ごとに、設定された溶接線本数の間隔で自動挿入することができる。この設定は、ワークごとに変更することも可能である。

さらに、当社のロボットには、ちょこ停防止のためにリトライ機能やノズル接触回避機能を備えている。リトライ機能は、センシングミスやアークスタートミスをリトライすることで、ちょこ停を少なくしている。そして、ノズル接触回避機能は、ノズルがワークに接触するとノズルを障害物から逃がす動作ができるようになっている。このような、種々の機能を備えて、無監視で複数のワークを長時間連続溶接できるようにした。

4. ロボットシステムの成果

本システムは、GT-5000の後継機として位置づけられ、ここ3年余りで約20システムの納入実績をえてきた。そして、GT-5000で実現できなかった立向の自動



Automatic Nozzle Changer Wire Cutter Nozzle Cleaner

写真5 周辺機器
Photo 5 Accessory equipment



写真6 溶接ロボットの溶接ビード
Photo 6 Weld bead of arc welding robot

溶接や長時間無監視連続運転が可能になった。

写真6に示すようなロボットによる立向溶接の実現は溶接ロボットの適用拡大につながり、本システムが橋梁だけでなく造船パネル溶接などにも利用されるようになった。

また、長時間無監視連続運転は、ユーザによっては数時間にも及ぶ実績をえており、夜間での運用も可能になっている。これは、設備の生産能力を上げるだけでなく、生産コスト削減にも結びついている。

むすび=橋梁パネル溶接ロボットシステムは、ハードとコンピュータソフト技術の向上により、ロボット溶接の適用拡大や長時間無監視連続運転を実現した。今回は橋梁部材を溶接対象としたシステムであるが、開発してえられた技術はより汎用的な部材の溶接に展開できるものである。今後は、橋梁溶接ロボットシステムの改善とともに、汎用的な自動溶接への展開を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 村上 集ほか：溶接学会誌，Vol. 62, No. 1 (1993), p.23.
- 2) 泉 敏之ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol. 45, No. 1 (1995), p.6.