

ロボット技術を応用した配管自動溶接システム

Automatic Pipe Welding System Utilizing Robot Technology

大河原 孝 堀切 幸夫 大江 武

■ OGAWARA Takashi

■ HORIKIRI Yukio

■ OE Takeshi

各種プラントの配管は、口径、板厚、及び材質が多様多様であり、その溶接には高度な技量が必要である。しかし近年、熟練した溶接技術者の数は非常に減少しており、小型・軽量で、誰が操作しても常に高品質が維持できる自動溶接システムが求められている。

東芝プラントシステム(株)は、高度な技量を持つ熟練技術者でなくても高品質な溶接ができる、配管自動溶接システムを開発した。このシステムは、プラントの現地配管施工の効率化と高品質化を実現するため、開先センサにロボット分野などで利用されている画像センサを適用しており、平板溶接や大口径の配管溶接でその有効性を確認できた。

Advanced pipe welding skills are required for the welding of various types of pipes used in plants with different diameters, thicknesses, and materials. However, since the number of skilled welding engineers has been decreasing in recent years, there is an increasing need for an automatic welding machine for such applications that is small and lightweight but can perform high-quality work.

In response to these circumstances, Toshiba Plant Systems & Services Corporation has developed an automatic pipe welding system. This system incorporates image sensor technology utilized in the field of robotics for welding groove detection. We have verified the precision of welding torch movement in large-diameter pipe welding using this system.

1 まえがき

各種プラントにおける配管は、一般に、口径が10 mm程度から2,000 mmを超えるものまであり、板厚や材質も多種多様である。これらの配管の溶接施工には、高度な溶接技術と、狭い場所でも作業できる施工方法が必要である。しかし近年、高度な技量を持つ熟練した溶接技術者が著しく減少しており、熟練溶接技術者でなくても高品質な溶接ができる自動溶接システムの商品化が求められている⁽¹⁾。

東芝プラントシステム(株)は、これらの要望に応えるため、ロボット分野で利用されている画像センサを搭載した配管自動溶接システムを開発した。ここでは、このシステムの概要と特長について述べる。

2 自動溶接システムの概要

2.1 基本構成

自動溶接システムは溶接方法によって構成が異なるが、一般的に、溶接電源、制御コントローラ、溶接ワイヤ供給装置、溶接トーチ走行部、及びガス・冷却水供給装置などから構成されている。当社の自動溶接システムの標準的な構成を図1に示す。

制御コントローラは、パソコン(PC)で詳細な溶接条件を設定できるようになっている。配管溶接では、母材を接合するた

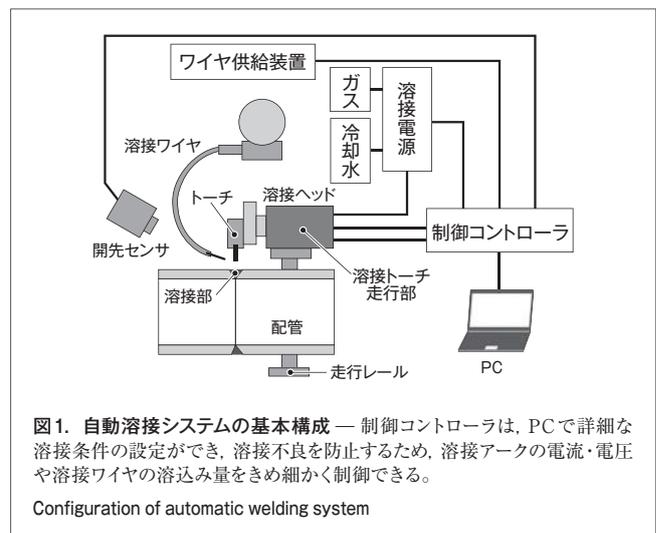


図1. 自動溶接システムの基本構成 — 制御コントローラは、PCで詳細な溶接条件の設定ができ、溶接不良を防止するため、溶接アークの電流・電圧や溶接ワイヤの溶込み量をきめ細かく制御できる。

Configuration of automatic welding system

め溶接ワイヤを溶融させるので、水平配管など円柱形状の底部で溶接トーチが上向き状態となり、溶融した金属が滴下して溶接不良の一因となる。このシステムでは、これらを防止するため、溶接アークの電流・電圧や溶接ワイヤの溶込み量を全周にわたってきめ細かく制御し、あらかじめ決められた手順で各種のパラメータを的確に制御できるので、高品質な溶接ができる。

2.2 自動溶接システムの溶接方式

溶接には様々な方式があるが、当社の自動溶接システムは、主としてTIG (Tungsten Inert Gas) とMIG (Metal Inert

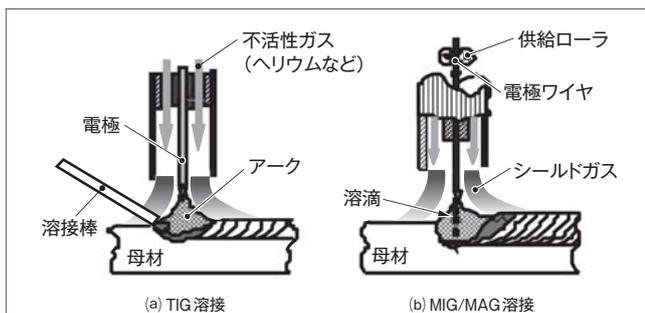


図2. 東芝プラントシステム(株)の自動溶接システムで使われている溶接方式 — 高性能なTIG方式の自動溶接システムを開発してきたが、最近では溶接速度が速く施工効率の高いMIG/MAG方式で高性能化したシステムを開発している。

Welding method of automatic welding system

表1. 溶接方式の比較

Comparison of tungsten inert gas (TIG) and metal inert gas/metal active gas (MIG/MAG) welding methods

項目	TIG	MIG/MAG
電極	タングステン(消耗しない)	溶接ワイヤ(消耗する)
速度	中速	高速
品質	溶接欠陥が極めて少ない	溶接欠陥が少ない

Gas) /MAG (Metal Active Gas) の2種類の溶接方式を採用している。それぞれの原理と特長を図2と表1に示す。

当社は、従来、ステンレス鋼配管のTIG自動溶接システムを商品化してきたが、最近では、溶接速度が速く、施工効率の高いMIG/MAG方式で、TIG方式並みの高品質な溶接を実現するシステムを開発している。

3 自動溶接システムの特長

3.1 溶接制御装置

自動溶接システムは、溶接トーチを搭載している走行台車の溶接ヘッド部のサーボ制御と、溶接アークの溶接電流・電圧や溶接ワイヤ供給系の溶接条件制御に大きく分けられる。システムの制御ブロック図を図3に示す。

溶接制御装置は、溶接トーチのアーク電流やワイヤ供給量を指示し、アーク電圧を定められた条件内で安定化させるために溶接トーチの位置を上下させるAVC (Arc Voltage Control) 機能を持っている。制御軸数は4で、駆動には溶接時のアークで発生するノイズに強いDC (直流) サーボモータを採用している。溶接制御装置と溶接電源の外観を図4に示す。溶接制御装置と溶接電源はTIGとMAGの共用型であり、現場のスペースに配慮し、溶接制御装置を溶接電源の上部に設置して使用できるサイズにしている。

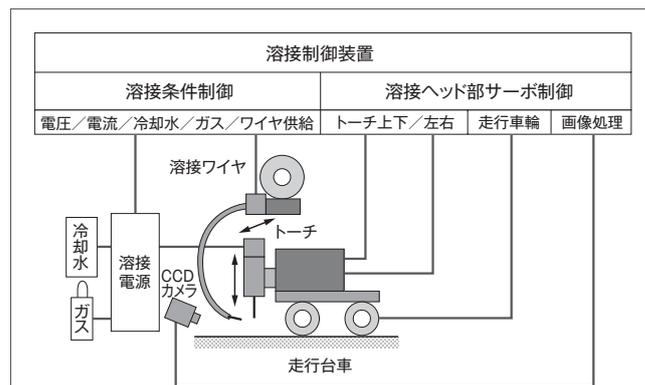
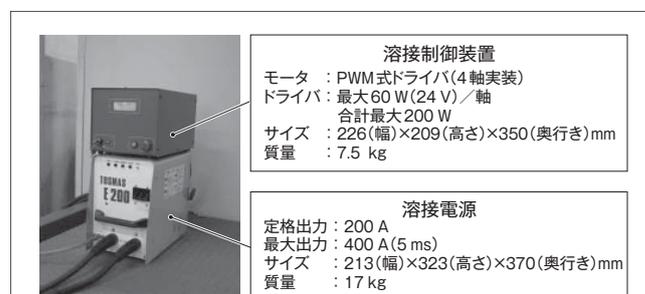


図3. 自動溶接システムの制御ブロック図 — 溶接制御装置は、溶接トーチのアーク電流やワイヤ供給量を指示し、アーク電圧を定められた条件内で安定化させるために、AVC機能を持っている。

Control block diagram of automatic welding system



PWM : Pulse Width Modulation

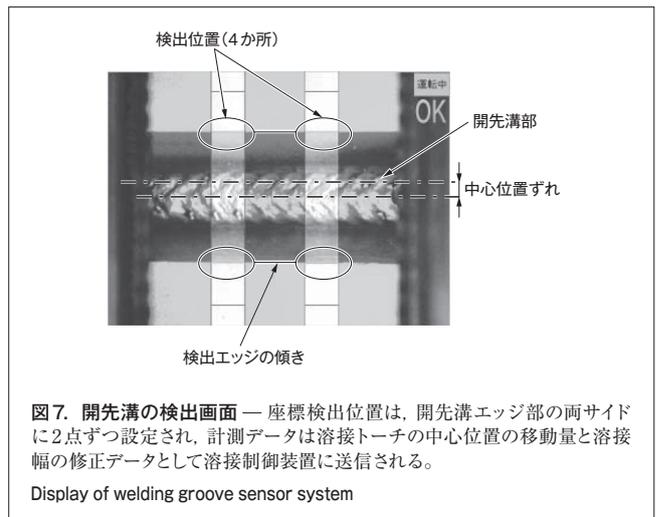
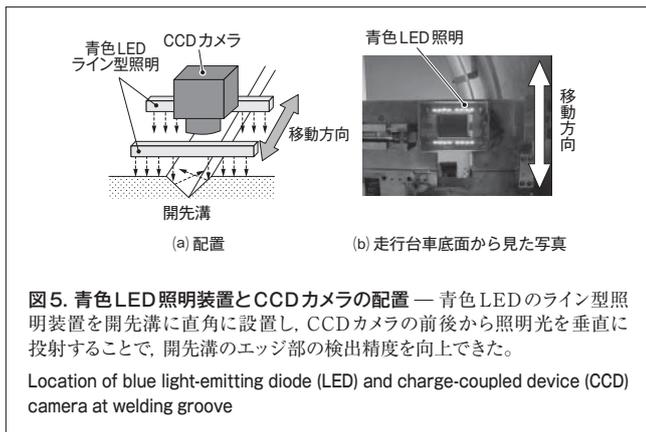
図4. 溶接制御装置と溶接電源 — 溶接制御装置と溶接電源はTIGとMAGの共用型で、施工現場の広さを考慮し、溶接制御装置を溶接電源の上に設置できるサイズにしている。

Controller and power unit of automatic welding system

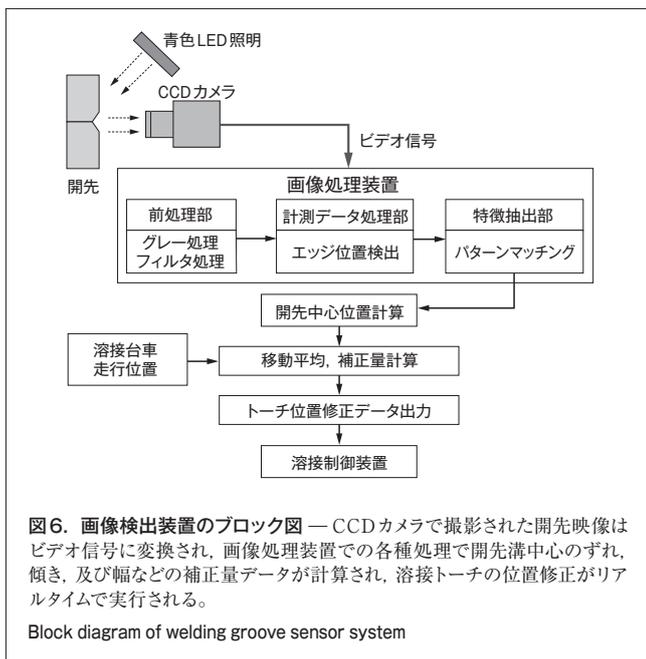
3.2 開先センサ

自動溶接システムでは、溶融した金属を開先部に決められた手順に従って何層にも盛り上げ、各層の間にすき間や溶込み不良が生じないように溶接トーチの位置や溶接条件を的確に制御し、溶接欠陥が発生しないようにする必要がある。当社は、ロボット分野などで利用されている画像センサが安価で、計測精度と画像処理技術の進展が著しい点に着目し、これを開先センサとして応用する技術の開発を進めた。画像センサを開先センサとして使用するには、溶接金属表面での光の乱反射などの影響を抑え、開先溝のエッジ部を的確に検出する必要がある。しかし、種々の照明方法を実験した結果、青色LED (発光ダイオード) のライン型照明装置を開先溝に直角に設置し、CCD (電荷結合素子) カメラの前後から照明光を垂直に投射することで、開先溝のエッジ部の検出精度を向上できた。画像検出用のCCDカメラと青色LED照明装置の配置を図5に示す。

CCDカメラによる開先センサのブロック図を図6に示す。CCDカメラで撮影された開先映像をビデオ信号に変換し、画像処理装置に送信する。画像処理装置では、前処理部でビデ



である位置修正データに基づいて溶接トーチの位置修正を行うように制御している。



オ信号をグレー処理、フィルタ処理し、計測データ処理部でエッジの位置を検出する。検出したエッジ位置の座標データを基に、特徴抽出部であらかじめ設定したパターン形状とマッチング判定を行い、同じと判断された計測データから、開先データ演算部で開先溝中心のずれ、傾き、及び幅などの補正量データを計算する。計算した補正量データを溶接トーチの位置・動作補正データとして溶接制御装置に出力し、溶接トーチの位置修正をリアルタイムで行う。

開先溝エッジ部の実際の画像検出方法とモニタ画面を図7に示す。座標検出位置は、開先溝エッジ部の両サイドに2点ずつ設定し、計測データは溶接トーチの中心位置の移動量と溶接幅の修正データとして溶接制御装置に送信される。カメラは24万画素のCCDを使用しており、溶接トーチの位置修正が0.1 mm単位で行えるように取付け距離を設定している。CCDカメラと溶接トーチの位置は、数百ミリほど離れており、溶接トーチが実際の計測位置に到達した時点で、先に記憶し

4 適用事例

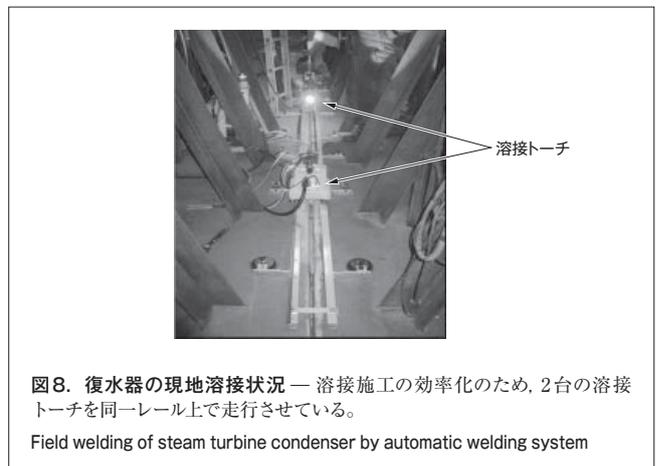
4.1 平板の溶接

開先センサを搭載した平板用の定電流MAG自動溶接システムを試作し、溶接実験を行った結果、高品質な溶接を行えることが実証されたので、実際に火力発電所の復水器胴体の溶接に適用した。適用箇所の材質はSS400材で、板厚は19 mmである。溶接施工の効率化のために、2台の溶接トーチを同一レール上で走行させた。現地の溶接状況を図8に示す。

現地での溶接は、狭い場所で行われるため、作業員の負担軽減も含め、作業の効率化と高品質の溶接にこのシステムが有効であることがわかった。

4.2 大口径配管の溶接

復水器胴体溶接に画像センサによる開先センサが有効であることが立証されたので、この方式を大口径配管の自動溶接システムに適用する技術の開発を進めた。従来、配管自動溶



接システムは、固定式走行レール上に溶接トーチを搭載した台車を走行させるシステムであった。しかし、この方法では、口径が大きくなるとレールの質量が増加し、取付け作業とレールの位置合わせに多くの時間が必要であった。これを解決するため、大口径の配管でも簡便に取り付けられる新レール方式として、柔軟性のある穴あきスチールベルト方式を開発した。レールの質量は、口径3,000 mm用のスチールベルト方式で約8 kgと、従来の口径350 mm用の固定レールと同程度になった。

大口径配管の自動溶接システムの構造を図9に示す。従来の走行レールは、台車の質量もすべてレール上で保持していた。新レール方式では、スチールベルトはあくまで台車のガイドとし、台車の質量は台車自身の車輪で保持する方式とした。このため、走行時の台車の移動偏差量は従来の固定式レールに比べ大きくなるので、走行時の台車上の溶接トーチ位置を開先形状に沿って修正する必要があり、その制御手段として先に開発した開先センサを搭載した。開先センサは、溶接トーチの前方に取り付けられ、開先溝のエッジ部の画像を検出し、溶接トーチの位置修正を行うシステムである。

この方式の配管自動溶接システムで溶接しているようすを

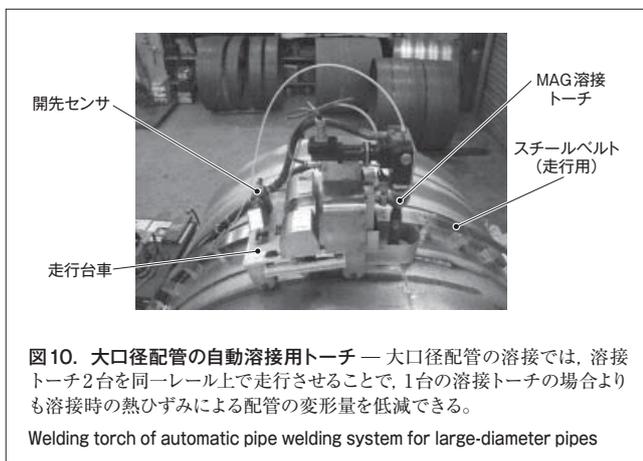
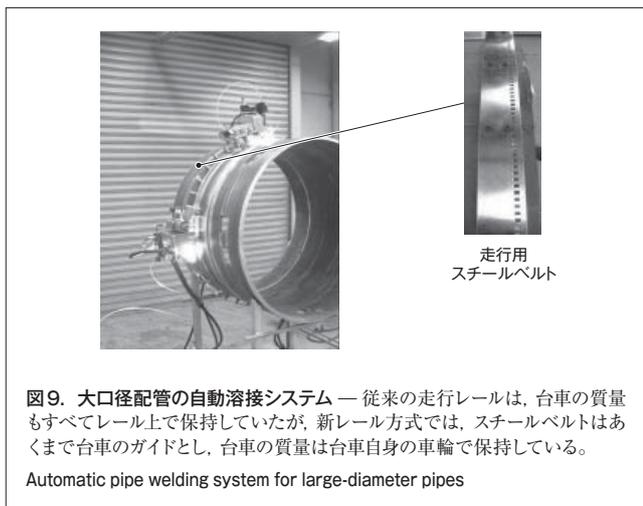


図10に示す。ここで定電流MAG溶接方式の台車を口径1,200 mmの配管へ搭載した。溶接トーチの台車の走行速度は、最大で1,048 mm/minとしている。大口径配管の溶接では、溶接トーチ2台を同一レール上で走行させることで、1台の溶接トーチの場合よりも溶接時の熱ひずみによる配管の変形量を低減できる。

画像センサ技術による開先センサを適用したスチールベルト走行方式では、従来は自動溶接システムの適用が難しかった口径500～3,000 mmクラスまで同一レールで溶接が可能となり、大口径配管の溶接施工の効率化と溶接の高品質化を両立できるようになった。

5 あとがき

配管自動溶接システムにロボットの性能の鍵となる技術の一つである画像センサを開先センサとして応用し、走行レールなどの走行メカニズムを改良することで、柔軟で拡張性が高く、従来では難しかった大口径配管の溶接施工の省力化と高品質化を実現できた。

ロボット技術を応用することは、溶接などの自動機にとって、コストパフォーマンスに優れたシステムを構築するのに有効であることがわかった。現在、ロボット分野で応用が検討されているオープンコントローラは、種々のデバイスを簡便に接続でき、システムを構築しやすい特長がある。今後、次世代自動溶接システムの溶接制御装置への適用についても検討していく。

文 献

(1) 浅井 知, ほか. 溶接法ガイドブック3. 黒木出版社, 1995. 352p.



大河原 孝 OGAWARA Takashi

東芝プラントシステム(株) 技術企画部 技術開発部主幹。
メカトロ機器の開発に従事。日本ロボット学会, 日本機械学会
会員。機械工学部門, 総合技術監理部門技術士。
Toshiba Plant Systems & Services Corp.



堀切 幸夫 HORIKIRI Yukio

東芝プラントシステム(株) 技術企画部 技術開発部主査。
自動溶接技術の開発に従事。溶接学会会員。
Toshiba Plant Systems & Services Corp.



大江 武 OE Takeshi

東芝プラントシステム(株) 技術企画部 技術開発部主務。
自動溶接技術の開発に従事。溶接学会, 溶接法研究委員会
会員。
Toshiba Plant Systems & Services Corp.