

(技術資料)

新型アーク溶接ロボット

New Arc Welding Robots



湊 達治*1
Tatsuji MINATO



五十嵐大智*1
Taichi IGARASHI



村上元章*2
Motoaki MURAKAMI



和田 堯*3
Takashi WADA

A series of arc-welding robots, the ARCMAN™ series, comes in sizes suitable for various welding objects, and many have been adopted by users in the field of medium-to-heavy gauge plates. This paper introduces the features of a large-sized robot, ARCMAN™ A80, and a small-sized robot, ARCMAN™ A30, both newly developed. ARCMAN™ A80 is a robot suitable for welding large structures, such as construction machinery, and has enhanced features for improving welding applicability, including a larger approach area around works, while inheriting the features of the conventional ARCMAN™ XL. ARCMAN™ A30 is a small robot aimed at applications in narrow spaces and features an operating speed and arm shape particularly suitable for the shipbuilding assembly process.

まえがき = 当社のアーク溶接ロボットは、中厚板分野（建設機械、鉄骨、橋梁、鉄道車両）をターゲットとして、これまで国内および海外のユーザで数多く採用されてきた。

図1に溶接システムの例を示す。中厚板分野での溶接では溶接対象物（以下、ワークという）が大きく、ロボット単独の動作領域ではワークの溶接箇所全てをカバーすることは困難である。当社溶接システムは、ワークに適したサイズのロボットとロボットを搭載する移動装置、ワークを最適な溶接姿勢に位置決めするポジションを組み合わせて、要求される溶接箇所をカバーするように機器を構成している。当社は、大型～小型のサイズのロボットをそろえており、それら全てが高品質な溶接の実現に必要な動特性を備えていることが特長である。

当社のロボットの機種構成を図2に示す。小型ロボットでは、ロボット質量が軽くて移動装置への負担が少なく、システムとしては軽量コンパクトにできる。その反面、ロボットの最大リーチが短く動作領域が小さいため、大きなワークへの適用の面で不利になる。大型ロボットではその反対である。そのため、動作領域の広さとロボット質量のバランスの良い最大リーチ1,300～1,800mmの中小型機が、溶接システムを構築する上で多く採用されてきた。

いっぽう、ロボットの最大リーチを拡大した大型機では、ロボットを移動装置に搭載することなくワークの溶接箇所に適用することによって、システム構成をよりシンプルにすることができる。この点で大型ロボットの価値は高い。また、ワークの内面などの狭隘（きょうあい）部材への進入が必要な造船現場などには、小型ロボットを適用することで、これまで溶接工によって行われてきた作業を自動化することが可能となる。

本稿では、従来機からモデルチェンジした大型アーク溶接ロボット ARCMAN™^{注1)} A80と、新規に開発した小型アーク溶接ロボット ARCMAN™ A30の特長について紹介する。

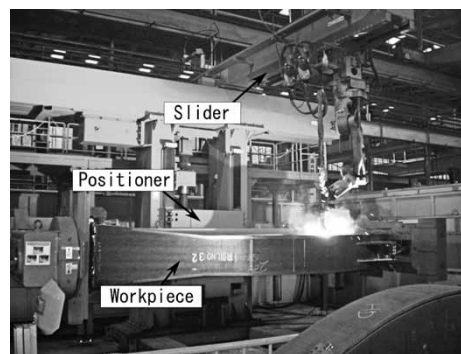


図1 溶接システム
Fig. 1 Welding system

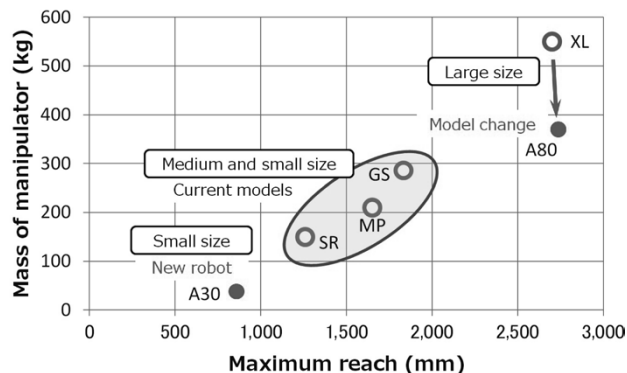


図2 ロボットサイズ整理による機種構成
Fig. 2 Lineup by robot size

脚注1) ARCMAN™ (ARCMAN™) は当社の商標である。

*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 *3 技術開発本部 生産システム研究所

1. 大型アーク溶接ロボット ARCMAN™ A80

これまで当社がラインナップするロボットの中で最も大型な機種は ARCMAN™ XL (図2, 図3) であった。最大リーチはP点 (S5軸回転中心点) で2,698mmであり、その特長を活かして建設機械や鉄道車両といった大型のワークを扱う業界に適用されてきた。ARCMAN™ XLより大型ワークに適した特長をさらに加えた ARCMAN™ A80を後継機として開発した。

1.1 ARCMAN™ A80の特長

ARCMAN™ A80の主な特長は下記の通りである。

- シリアルリンク化：ワークへのアプローチ域の拡大
動作範囲の拡大およびロボットアームの上腕がロボット後方まで折れ曲がる姿勢 (逆エルボ姿勢) への対応により、従来不可能だったワークへのアプローチを可能にした (図4)。
- S1軸へのケーブル内蔵：ケーブル類のワークとの干渉を防止
ロングアームという ARCMAN™ XLの最大の特長を継承し、既納入システムへのリプレイスを考慮してアーム長さを同じにして互換性を持たせた。そのうえで、最新の部品の使用および3D-CADを用いた設計や解析によってフレームを最適化した。また、後述のシリアルリンク化を行った。これらにより、従来機に対して約35%の軽量化を実現した。性能面では動作速度を向上させ、より生産性の向上が図れるものとした。

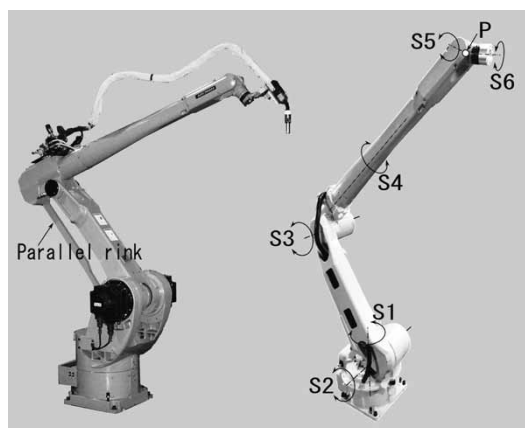


図3 ARCMAN™ XL (左) と ARCMAN™ A80 (右)
Fig. 3 ARCMAN™ XL (left) & ARCMAN™ A80 (right)

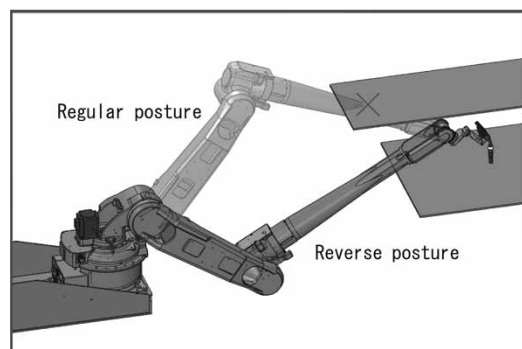


図4 ARCMAN™ A80の逆エルボ姿勢
Fig. 4 Reverse posture of ARCMAN™ A80

1.2 シリアルリンク化

ARCMAN™ XLは平行リンク構造を採用しており、S3軸の駆動部容量を小さくできるうえに、剛性的にも有利な構造であった。しかし、動作範囲と動作速度に制限が生じることや、ロボットの大型化、部品点数の増大などの短所があった。ARCMAN™ A80ではシリアルリンク化することにより、性能の向上をはじめ、部品点数の削減や軽量化を実現した。

シリアルリンクタイプのロボットは構造上、平行リンクタイプと比較して剛性確保が難しく、剛性低下は中厚板溶接で重要となるウィーピングの精度悪化を招く。とくに、大型ロボットではロボット基部からトーチまでの距離が長いので、精度悪化の影響は大きく致命的な問題となる。そこで、設計と制御の両面からこの問題を解決した。

機械設計では、3D-CADと数値解析を使用した設計により、フレーム形状の最適化による高剛性化を図った。溶接時に軌跡精度が最も厳しく要求されるロボット姿勢とそのFEMモデルを図5に示す。ロボット姿勢をFEM解析モデルで表すことで、ロボット全体での固有振動数の予測を行った。また、全体剛性に大きく寄与する重点的補強点を割り出し、剛性の向上を図った。その結果、フレームを剛体と見なしたときの理論値とほぼ同等の剛性を確保することができた。

制御面では、試作機設計における剛性および軌跡シミュレーションの精度を向上させるため、実機により近い数値モデルを作成した。このモデルを用いて、とくにウィーピング時にロボット先端に発生する共振現象に関して高精度なシミュレーションを行った。図6に示すように、シミュレータはロボットモデルとコントローラ

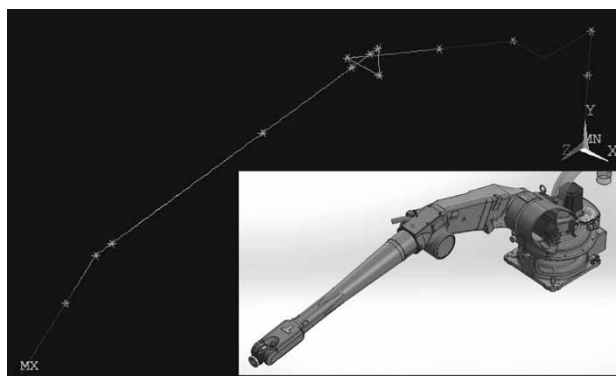


図5 ARCMAN™ A80のFEMモデル
Fig. 5 FEM model of ARCMAN™ A80

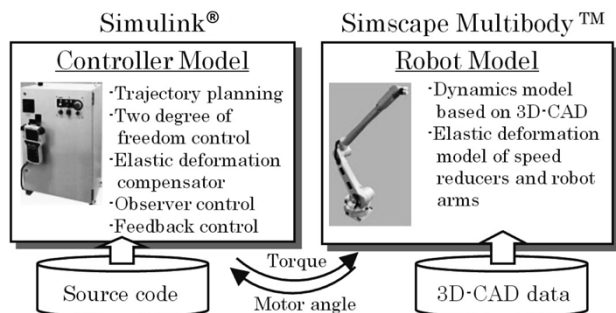


図6 3D-CAD連携シミュレーション
Fig. 6 Simulation collaborating with 3D-CAD

モデルから構成される。ロボットモデルに関しては、Simscape Multibody™ (MathWorks製シミュレーションツール) を用いて3D-CADでの設計データを取り込むことで、ロボットのリンク構造や各リンクの質量、重心位置、慣性を厳密にモデル化した。つぎに、コントローラモデルは、実際のコントローラのソースコードをベースにSimulink™ (MathWorks製) にて制御アルゴリズムを再現した。ウィービング時のロボット先端軌跡の一例を図7に示す。シミュレーション結果は、実験機のロボット先端挙動を良く捉えていることが確認できる。なお、ロボットの制御アルゴリズム^{1), 2)}は、所望のウィービング動作精度を実現するために、フィードバック制御だけでなく、動力学モデルに基づくフィードフォワード制御による2自由度制御や慣性力や重力によるロボットたわみを補正する弾性変形補償制御、周期外乱成分に着目した周期外乱オブザーバなどにより構成されている。図8にロボットの制御ブロック図を示す。

構築したシミュレータを活用して、制御パラメータのチューニングや制御アルゴリズムのブラッシュアップを行い、ロボットの共振による動作精度悪化の問題を解決した。

ロボットの高剛性化と新制御技術によりシリアルリンク化したARCMAN™ A80実機で所望のウィービング動作精度を確保した。

1.3 ケーブル内蔵化

とくに中厚板分野では、溶接電流400Aを超える溶接

が主になるため、高い電流に耐え得る太径の溶接用ケーブルやトーチ冷却水用ホースが必要となる。また、ツールの持ち替えやオプションのセンサ類が併用されることもあり、ケーブルが増える傾向にある。これらのケーブルがロボットの動作に追従して振られると、ワークや溶接システムを構成する周辺装置への干渉が懸念される。また、質量のあるケーブルを保持するための器具も必要になり、これらへの対策のため、システムのレイアウト設計に制限が生じる。

そこで、ARCMAN™ A80ではとくに太径で質量のある溶接パワーケーブルは、アーム部では機体にはわせ、ベース部分ではロボットに内蔵できるようにした。これらによって、溶接システムのレイアウト設計に自由度を持たせ、システムの適用性や溶接品質の向上を図れるようにした。

2. 小型アーク溶接ロボットARCMAN™ A30の特長

ARCMAN™ A30の外観を図9に示す。本機は、造船溶接現場の大組立工程など、ワークの狭隘部に入り込んで溶接作業を行うような現場に適用することを目的とした小型ロボットである。

2.1 用途に応じた2種類の仕様

日本国内における産業用ロボット(定格出力が80Wを超えるもの)の運用に関して、「当該産業ロボットに接触することにより労働者に危険が生ずるおそれのある

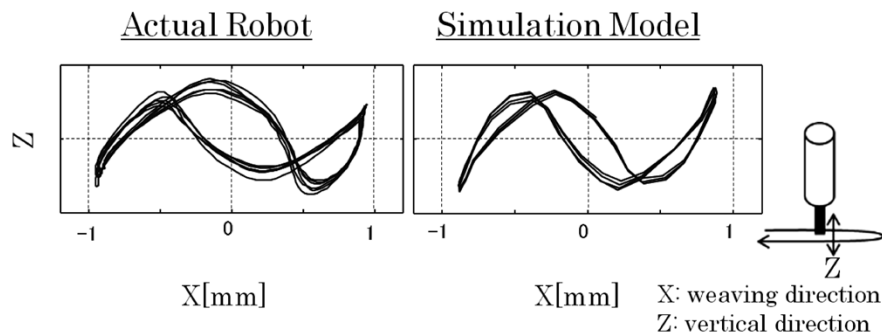


図7 実験機とシミュレーションのウィービング時のロボット先端挙動比較
Fig. 7 Robot tip behavior of actual machine and simulation

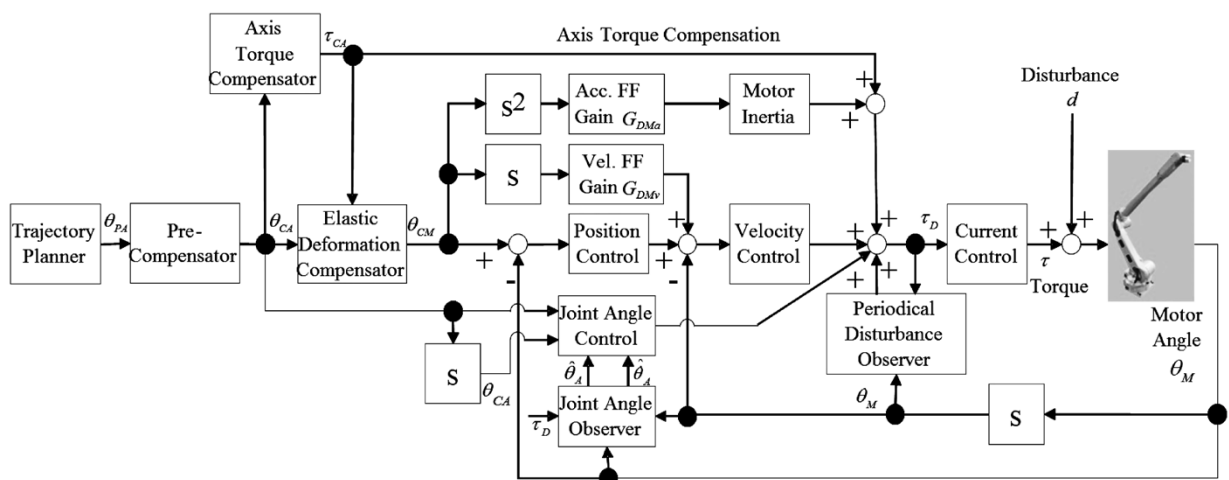


図8 コントローラ内の制御ブロック図
Fig. 8 Block diagram of control system

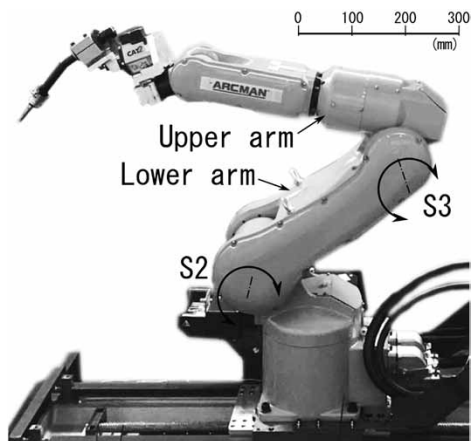


図9 ARCMAN™ A30外観
Fig.9 ARCMAN™ A30

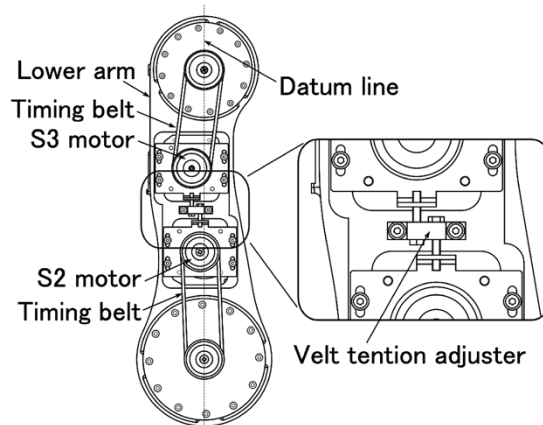


図11 下腕構造
Fig.11 Structure of lower-arm

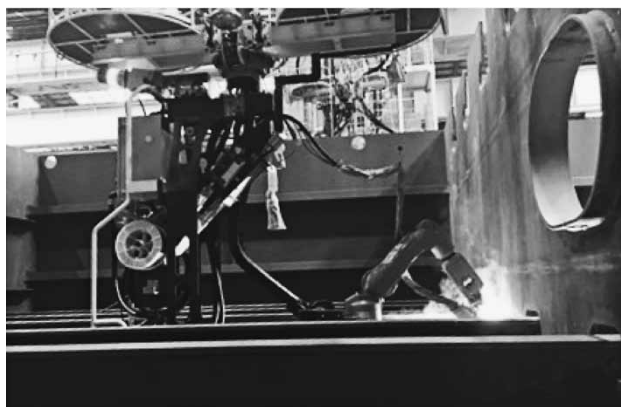


図10 造船の溶接作業現場
Fig.10 Welding site of shipbuilding

2.2 小型化を実現する下腕構造

造船大組立工程では、船体ブロック内部の狭いスペースにロボットが入り込み、水平すみ肉溶接や立向き溶接の溶接姿勢をとる必要がある。このため、ロボットアームは下腕、上腕ともリンク長の比較的短いものとなる。そのために、溶接姿勢によってはロボットの突起物にトーチケーブルが巻き付き、溶接ができなくなることが懸念される。そこで、ARCMAN™ A30ではS2軸およびS3軸のモータを下腕に内蔵し、ロボット表面の突起物を極力排除する構造とした。S2軸およびS3軸二つのモータを下腕内部の限られた空間に配置するため、S2軸とS3軸のベルトテンション調整部品を共通化した（図11）。ベルトとプーリを覆う樹脂製カバーも丸みを帯びたデザインとした。こうした工夫により、空間の狭い溶接作業現場においても、ケーブルがロボット本体に引っ掛かることなく溶接できるようになった。

むすび= 当社のアーク溶接ロボットの機種構成と、新機種の特長について紹介した。今後も、建設機械などの大型構造物の溶接にはARCMAN™ A80を、造船の大組立工程など狭隘部材に対してはARCMAN™ A30を核として、それぞれの溶接現場に適した最良の溶接システムを提供していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 西田吉晴ほか. 計測と制御. 2012, Vol.51, No.9, p.874-879.
- 2) 稲田修一ほか. R&D神戸製鋼技報. 2013, Vol.63, No.1, p.89-93.

ときは、さく又は囲いを設ける等当該危険を防止するために必要な措置を講じなければならない」ことが規定されている（労働安全衛生規則第150条の4）。

ARCMAN™ A30の主な狙いとする造船大組立工程での溶接作業状況を図10に示す。このような現場では、作業者とロボットとを柵（さく）または囲い（以下、安全柵という）で隔離することが運用上困難な現場であり、上記規則に対して、安全確保のための対応が必要である。いっぽう、安全柵を設けることが可能な業種や現場からは、生産性向上のためにロボットの高速度（高出力化）が求められる。

こうした相反する問題とニーズに対して、コントローラ側でモータ出力を制限するようにサーボアンプを2種類備えることによって、幅広い分野、市場への展開を図った。