

小型可搬型溶接ロボットの開発

Development of small portable welding robot



商船・海洋・エンジニアリング事業本部 生産センター

斉藤 幸男

SAITOH Yukio

樋口 右京

HIGUCHI Ukyo

概要

船舶建造現場では各種の自動溶接装置による施工が実施されているが、複雑な動作が可能な溶接ロボットの適用拡大は停滞している状況である。今回、簡易自動機のような使い勝手の良さも取り入れた自動溶接ロボットを開発した。本装置は通常のロボットのように**予め運転データを用意しなくとも溶接施工が可能**であり、船舶の2重船殻構造の中に持ち運び溶接施工ができるような可搬型の装置となっている。また、この装置に搭載可能なすみ肉溶接継手の隙間を計測するセンサの開発も行い、溶接条件を自動切換え可能とすることで溶接品質の確保と、複数台運用時の監視負荷の低減を図っている。今後、この溶接ロボットの実用化とその適用拡大を図ることで、熟練作業員不足への対応、溶接品質の安定化と生産性向上が期待される。

Summary

Although various types of automatic welding devices are being used at shipyards, the application of welding robots is still inactive. This time, we have developed a welding robot that incorporates the usability of an automatic welding carriage. It can weld without preparing operation data like general robots, and it is a portable robot that worker can carry into the double hull structure of a ship. We have also developed a sensor that can be mounted on this robot to measure gaps of fillet welding joints, and have also developed a function that can automatically switch welding conditions. In the future, it is expected that the practical use of this welding robot and the expansion of its application will respond to the shortage of skilled workers, stabilize the welding quality and improve productivity.

1. 緒言

船舶建造現場での溶接ロボットの利用は小組立工程、大組立工程の一部に留まっている。工場では消費する全溶接材料に対し、溶接ロボットが消費する溶接材料の重量比は5%程度で、この割合は10年以上変わっておらず、溶接ロボットの適用範囲は伸びていない。これに対し、簡易自動機と呼ばれる小型可搬式の自動溶接機の利用は大幅に伸びている状況である。この簡易自動機は、溶接トーチを搭載し、ローラを部

材に当てて溶接線を倣いながら走行できる一方、速度等の調整や溶接線を確実に倣って動作しているかを常に監視しなければならない、一般的に1人の作業者が同時に2台程度を使用するのが限度である。そこで、作業員が持ち運びできる小型可搬式で、無監視運転が実現可能な溶接ロボットの開発が求められている。

溶接ロボットの適用が進まない要因として、以下に示す課題が挙げられる。

- ① ロボットを適用するためにはあらかじめ運転データ（NCデータ）を準備する必要がある。

- ② 工程が進むに従い対象ワークが大きくなり、ロボットを施工対象にアプローチするために大がかりな装置が必要となりコスト回収が難しくなる。
- ③ 後工程に進むに従い、製作誤差の蓄積により開先精度が悪くなり自動溶接が難しくなる。

少子高齢化に伴う熟練作業者不足の中、これらの課題を解決することができれば、溶接ロボットの適用範囲を拡大し、溶接品質の安定化と生産性向上に繋がると考える。

2. 開発ロボットの概要

2.1 施工対象箇所

簡易自動機は長尺継手の施工には有用であるが、比較的短い継手で、複数の溶接姿勢がある場合は、段取り替えの手間がかかるという課題がある。開発ロボットの主な適用対象は、図1のような2重船殻構造の大組立工程での比較的短い水平および立向すみ肉溶接継手（図中赤線）が集中した箇所である。ロボットを適用することで、可動範囲の複数姿勢の継手を、段取り替えなしで連続した自動溶接が可能となる。

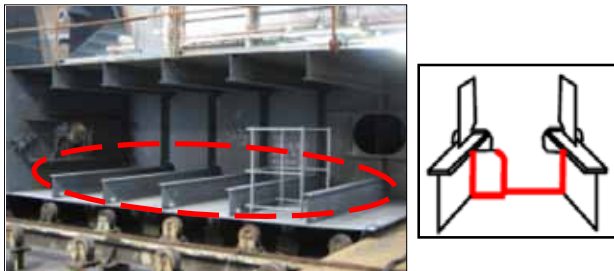


図1 対象ブロックと対象継手の例

Fig.1 Sample of target block and welding joints

2.2 装置構成

開発ロボットはロボット本体と電源盤、操作BOX、溶接機及び送給装置とそれらを接続するケーブルで構成されている（図2）。運用方法は、ロボット及び送給装置を施工対象箇所にそれぞれ運び、ケーブルを伸展し接続する。その後、送給装置に接続された溶接トーチをロボットに固定する。

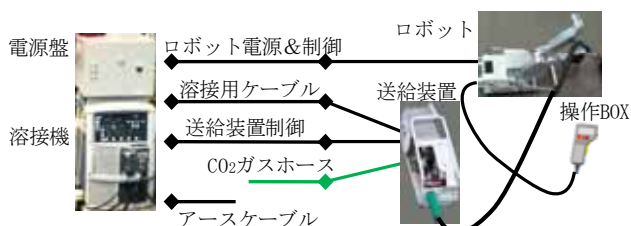


図2 装置構成

Fig.2 Device configuration

2.3 ロボット本体

ロボットの外形形状を図3に、装置仕様を表1に示す。ロボット本体は15kgで、格納時のサイズは2重船殻ブロック内にマンホールを通して持ち運びができるサイズである。小型にも関わらず、ロング間隔が900mmの箇所でも高さ600mm程度までの立向継手の施工が可能となっている。また持ち運びのための持ち手がついており、動作時は前方へ回転させ固定させる。また、ロボット前方に向けて2個のレーザポインタを設置し、前方の部材が基準距離にある時、その光点が一致するようにしているため、おおよその位置決めを容易に行うことができる。位置決め後、後方のマグネットにより固定する。

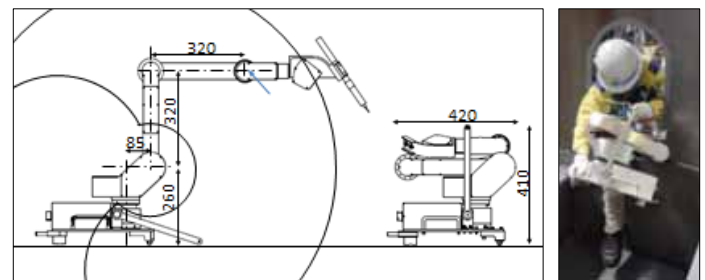


図3 ロボット外形形状(左)、マンホール通過時の写真(右)

Fig.3 Robot outline shape (left), Photo of manhole passage (right)

表1 装置仕様

Table1. Equipment specifications

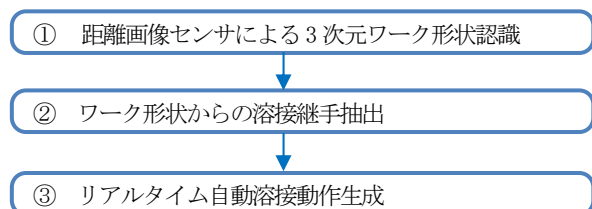
名 称		HIROBO J-Boy
構 造		垂直5軸多関節型
質 量		15kg
可搬重量		3kg（溶接トーチ）
最小寸法(mm)		(W)300×(D)425×(H)410
動作範囲	J1：旋 回	-170° ～ 170°
	J2：上 腕	-90° ～ 170°
	J3：下 腕	-210° ～ 90°
	J4：手首振り	-210° ～ 210°
	J5：手首回転	-240° ～ 240°
駆動モータ ブレーキ		全軸DCブラシレス、ブレーキなし J1～J3：70W、J4～J5：50W
固定方式		マグネット
搭載センサ		タッチセンサ アークあいセンサ 距離画像センサ ギャップ計測センサ 加速度センサ
操 作		操作ペンダント
ケーブル		最大40m 20m（標準）+10m（延長）×2 溶接用ケーブル：アルミ導体使用
電源盤	外形寸法	(W)400×(D)500×(H)300
	質 量	約33kg
	電 源	AC200V/220V
	機 能	溶接機I/F タッチセンシング制御

溶接機・電源盤とロボット・送給装置間のケーブルは標準 20m で、10m のケーブルを 2 本追加することで最大 40m まで延長できる。持ち運びを考慮し、溶接用ケーブルには高強度アルミ導体を使用した軽量タイプを用い、20m のケーブル一式（溶接用ケーブル+送給装置制御線+ロボット電源&制御線+ガスホース）で 25kg 程度となっている。

2.4 特徴

開発ロボットの特徴は、**運転データを準備する必要がない**ということである。通常、溶接ロボットを使用するには、オフラインティーチングなどにより事前にロボットの運転データを作成する必要があるが、このロボットではそれを不要にしている。

具体的な方法は以下の通りである。



また、船舶建造の後工程では製作誤差の蓄積により取付け精度が悪くなり溶接継手に隙間（ギャップ）が発生する。これを考慮せず溶接を行うと、溶接欠陥が発生しロボット溶接後の手直し作業も多くなるため、開発ロボットにも搭載可能な溶接継手の隙間（ギャップ）を計測する小型センサを開発し、溶接施工前に継手のギャップを自動で計測し、ギャップに応じた溶接条件の選定を自動化した。

以後、これらの技術について紹介する。

3. 自動溶接動作生成処理

3.1 ワーク形状の自動認識

3 次元のワーク形状計測が可能なセンサは各種あるが本開発では、計測範囲が数 m で、安価・小型な赤外線パターン照射式の距離画像センサを用いた。距離画像センサでは、ワークまでの距離情報として、3 次元の点群データが取得できる。一方、センサ画角が広角でないため、開発ロボットでは、このセンサを上腕部に設置し、複数のロボット姿勢で計測、それらを合成してワーク形状を認識している（図 4）。

センサの距離精度は 1% 程度であるが、最終的な継手位置をタッチセンシングにより計測するため、十分な精度である。また、センサからの入射角が大きい面（ロンジのフェースプレートやトランス付きの補強材など）は距離データを取得することが出来ないため、

図 5 に示すように 3 次元形状認識データが空白（点線内）になる。このような箇所に対しては、一般的な船殻構造の特徴を仮定し、データを補完する処理を行う。これにより実際のワークで干渉しないようなロボット動作を生成することが可能になる。なお、現在対応している面は平面のみで、曲面については今後開発の予定である。

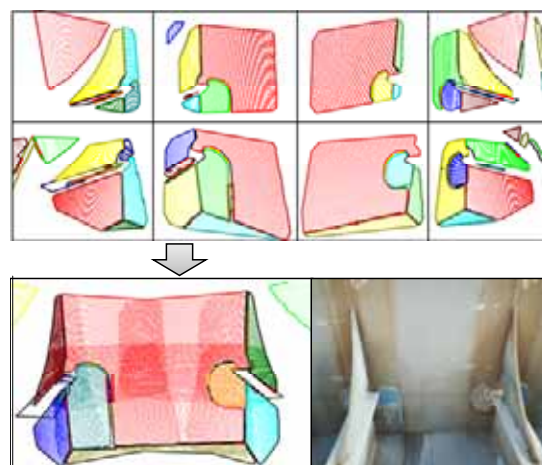


図 4 形状認識処理イメージ

Fig.4 Overview of shape recognition processing

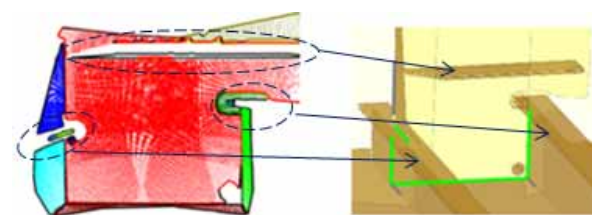


図 5 計測エラー箇所からの形状生成

Fig.5 Shape generation from measurement error location

3.2 溶接継手の自動抽出

3 次元の平面が認識できれば、各平面間の溶接継手の認識は容易である。対象とするのは、すみ肉継手と重ね継手である。今回は大組立工程を対象としているため、重ね継手はカラープレート部で発生する。カラープレートの形状は設計標準により形状の特徴が決まっており、得られた平面の外形形状をそれに合わせて修正し、継手を生成している。

3.3 リアルタイム自動動作生成&制御

溶接動作生成処理は、従来の設計 CAD 情報を元に溶接動作を生成する溶接ロボット用 CAM システムの流れとほぼ同様である。すなわち、設計 CAD からの 3 次元の情報の代わりに計測した 3 次元ワーク形状面を用いて動作を生成している（図 6）。

従来システムとの大きな違いは、この動作生成を作

業者による操作やセンサによる計測結果に応じ、リアルタイムで監視&実行する処理としていることである。

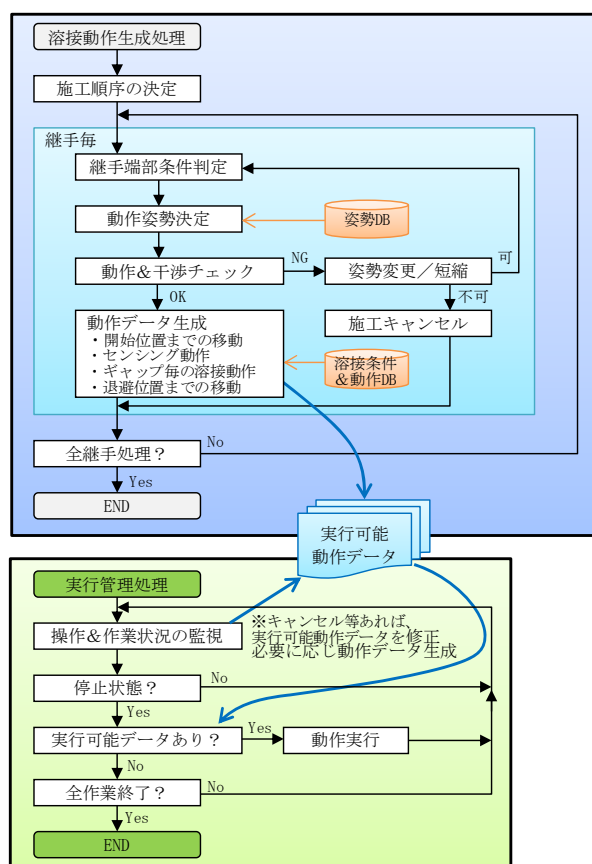


図6 動作生成フロー図
Fig.6 Flow chart of motion generation

4. 継手計測

4.1 ギャップ計測センサ

今回、継手溶接の品質を上げるべく、小型可搬型溶接ロボットに搭載可能なギャップ計測のためのセンサを開発した。仕様を表2に示す。このセンサは光切断法を利用したもので、十字のレーザーマーカとカメラモジュールで構成されている。

表2 センサ仕様
Table2. Sensor specifications

計測方法	十字レーザーマーカによる光切断方式
センサ	1/1.8"CMOS 1280×1024 グローバルシャッター
本体寸法(mm)	82(W)×85(D)×35(H)
検出範囲	150mm×112mm@250mm先
分解能	光軸方向0.5mm、光軸直交方向0.1mm
レーザ波長	635nm
レーザ出力	1mW以下 Class2
入力	デジタル入力：シャッター開閉
出力	USB2.0 カメラ画像
電源	DC5V

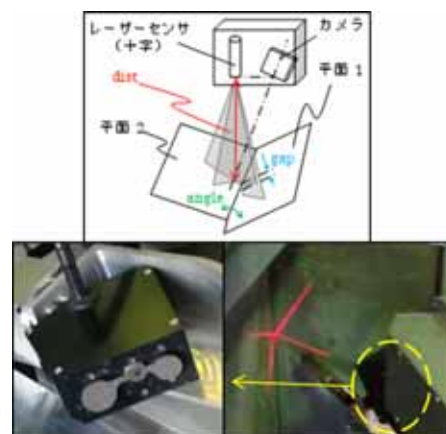


図7 ギャップ計測センサ
(原理図と外形および計測状況)
Fig.7 Gap measurement sensor

また、ケース部には、溶接時のスパッタやヒュームの付着を防止するための回転式シャッターを備えている(図7)。開発センサの特徴は、1回のセンシングですみ肉継手の位置、継手を構成する面の角度、及びギャップ量が同時に計測できるという点である。なお、開発ロボットでは脱着式のトーチを用いておりトーチ先端と開発センサとの位置関係がずれる恐れがあることや、仮付け溶接部や計測面に残存するゴミなどの影響による誤認識の恐れがあることから、最終的な継手位置の検出にはタッチセンシングを用いている。

4.2 実ワークでの計測方法

開発したギャップセンサの運用としては、認識した継手の両端間の移動中に、一定距離間隔でギャップ計測を行い、計測した複数の結果から仮付け等による外れ値などを処理した上で継手のギャップ量として利用している。現状は平均のギャップ量により、施工する溶接条件を調整している状況であり、継手内のギャップ変動や仮付け部への対応が次の課題である。

実ワークによる検証の結果、センサ精度としては±1mm弱であった。開発ロボットでは、このセンサによる計測結果をログに残すことで、ロボット溶接施工箇所の取付け精度の記録が残る。図は、横軸にギャップ量、縦軸が頻度を示した例である。W1は正面の水平すみ肉継手、W3/W4は左/右側の立向継手を示している。この計測時は左側にカラープレートが取り付くワークであり、左側(W3)のギャップ量が小さくなっている状況がわかる。

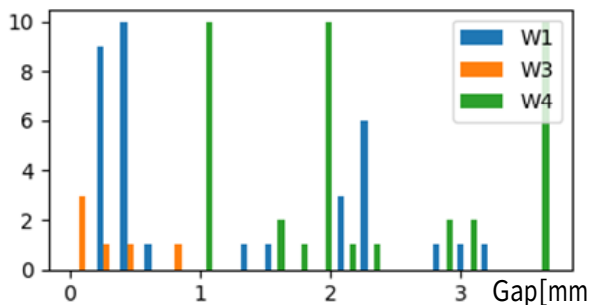


図8 ギャップ計測記録
Fig.8 Gap measurement record

5. 実ワークによる検証

開発ロボットでは対象ワーク情報に応じた運転データを準備しないため、継手の脚長については作業者が指示する必要がある。対象ワークの形状センシング&継手抽出後に、個々の継手の脚長指示を行う必要があるが、2重船殻ブロック内の対象継手は類似した升目区画となっており、施工継手を分類することが可能である。そこで、運転開始前にこの分類継手毎に脚長指示や、既に溶接施工済みの箇所は「施工なし」を設定し、その後開始ボタンを押すことで、ワークの自動認識、自動動作生成による溶接施工を連続して実行できるシステムとしている。

ロボットがワークを認識した結果をタブレットなどの画面に表示し、その上で作業者が施工指示を入力する方法も可能ではあるが、僅かな時間ではあるがワークのセンシング時間を待つ無駄を省くため、前述のように、先に施工指示を与え、センシング後そのまま溶接施工を実施する手順としている。



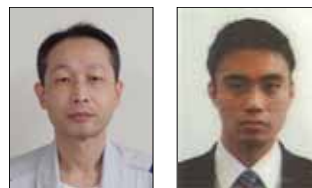
図9 実ワーク検証状況
Fig.9 Photo of work verification in actual work

現在、開発ロボットを用いて実ワークでの検証を進めている段階である。検証状況の写真を図9に示す。

6. 結 言

少子高齢化により今後さらに進む熟練作業者不足への対応、溶接品質の安定化、生産性の向上を目指し、運転データ準備を不要とする機能と、ギャップ計測センサを開発し、これらの機能を組み込んだ小型可搬型溶接ロボットを開発した。このロボットの最初のターゲットとして2重船殻ブロック内の溶接施工への適用検証を開始した状況である。今後、当該箇所への実機導入を実現すべく検証を進めると共に、別工程への適用も検討していく予定としている。ロボットによる自動溶接適用範囲の拡大により、船殻溶接作業の一層の生産性向上に取り組んでいく所存である。

なお、この開発ロボットは、国土交通省の海事生産性革命 (i-Shipping) 推進のための先進船舶・造船技術研究開発費補助事業の支援を受けて実施しています、この紙面をお借りし、関係各位に感謝の意を表します。



斉藤 幸男 樋口 右京