特集

最新のレーザ溶接技術

高精度リモート溶接の可能性*

鳥越 功**

Possibility of the Precise Laser Remote Welding*

by TORIGOE Isao**

キーワード レーザ溶接, 多関節ロボット, スキャナー, リモート溶接, テーラードブランク

1. はじめに

レーザ発振器の高出力化, ビームの高品質化に伴い, スキャナーを使用した長焦点の高速リモート溶接が可能になった。リモート溶接は, ミラーを走査してレーザを照射するので, ミラーのわずかな動きで, 加工点が瞬時に移動できる特徴がある。これにより, 空走時間がほとんど無くなり, タクトタイムの短縮が可能となる。ロボットやスキャナーの高精度化が進められており, リモート溶接の突合せ継手や狭所など, 精度を必要とされる部位への適用が検討され始めている。

実用化に当たって懸念されるのが, 生産現場は温度や湿度など過酷な環境にあることが多く, カタログに示されたとおりの精度を引き出すのが難しいということである。また, 単体としての精度は保証されているが, 設備としてシステムを構築した際の実力値は未知であり, 設備メーカーのノウハウに依存するところが多い。

本稿では, リモート溶接システムによるテーラードブランク材の溶接を目的として, 多関節ロボット, スキャナーの位置精度を調査した結果を報告し, 高精度リモート溶接システムの可能性について考察する。

2. スキャナーの位置精度

スキャナーの高精度化に当たって, 従来と大きく異なるのが, 制御方式がアナログ制御からデジタル制御へ変わったことである。デジタル制御は, 温度ドリフトが小さく, ノイズの影響も受けにくいので, 繰り返し位置決め精度が高い。Fig. 1 に示したデジタルスキャナーは, 新規に開発された光学式エンコーダが搭載されており,

フルデジタル制御によって, アナログ制御と比較して, 高い位置再現性を実現している。

これは, 生産設備を設計する際に非常に重要なことである。画像認識などを利用した位置補正は, スキャナーの原点を位置決めしているに過ぎない。リモート溶接において, 実加工点の位置再現性はスキャナーの精度に大きく依存するのである。

本実験では, デジタル制御のスキャナーを使用し, 温度ドリフトと繰り返し精度を調査した。

2.1 温度ドリフト

Fig. 2 は, スキャナーの冷却水温度を $25 \pm 5^\circ\text{C}$ で変化さ

スキャンエリア	320 × 190mm 横円
フォーカス面積移動量	±100mm
スポット径	466mm (ファイバーコア 100 μm)

Fig. 1 スキャナーの基本仕様 (CANON 製)

Fig. 2 温度ドリフトによる原点シフト

*原稿受付 平成23年7月14日
** 前田工業株式会社 Maeda industries Co.Ltd

Table 1 スキャナーの動作回数と繰り返し精度

スキャナー動作回数	繰り返し精度(μm)
10	14
100	16
500	26

Table 2 スキャナーの熱負荷の違いによる繰り返し精度

動作内容	繰り返し精度(μm)
レーザを照射しながら スキャナー動作10回	24
冷却水温度が25℃から30℃の範囲で スキャナー動作10回	67

せた際の原点位置の移動量を軸別に示したものである。移動量のレンジは X 軸で $65\mu\text{m}$ 、Y 軸で $130\mu\text{m}$ となり、Y 軸の方が大きく影響を受けている。また、X 軸、Y 軸共に、温度の上昇に伴い勾配は大きくなることが分かる。

2.2 繰り返し精度

Table. 1 は、スキャナーの冷却水温度を 25℃ に一定とした際の、繰り返し精度のレンジを示したものである。動作回数の増加に伴いレンジが広がっている。モーターの発熱による影響で、僅かながら温度ドリフトが起きている。

Table. 2 はスキャナーへの熱的な負荷を変化させた際の、繰り返し精度のレンジを示したもので、ミラーを介したレーザによる熱影響と、冷却水温度による影響を比較したものである。結果として、レーザによる熱影響を受けた状態では、繰り返し精度が $24\mu\text{m}$ であったのに対し、冷却水温度が変化した場合場合は $67\mu\text{m}$ と、水温変化による影響が顕著に表れた。

これは、冷却水が光学系以外にも、ドライバーなど内部の制御系も冷却しており、より直接的に影響を与えるからである。したがって、スキャナーは冷却系をコントロールすることが非常に重要で、これを達成することで、外気温やレーザなどの影響を受けずに安定した精度を得ることができる。

3. ロボットの位置精度

近年、レーザ加工など精密加工用に高精度ロボットが開発され、テラードブランク溶接などへの適用が進んでいる。これらのロボットにスキャナーを持たせることで、スキャナーの加工範囲は広がり、3次元のダイナミックな加工が可能になる。しかし、スキャナーは溶接・切断ヘッドに比べて重く、重心もロボットの手首から遠くなるため、精度が出にくい。オン・ザ・フライ加工時には軌跡の精度も必要になり、スキャナーと組み合わせるのは、より高精度なロボットが要求される。

本実験では、ロボットが指定位置に移動・停止後、スキャナによる加工、の繰り返し動作を想定し、ロボット

Fig. 3 ロボット精度測定位置

高精度6軸ロボット (KUKA KR60HA)

最大リーチ:	2033mm
繰り返し位置精度:	$\pm 0.05\text{mm}$
繰り返し軌跡精度:	$\pm 0.16(\text{ISO } 9283\text{準拠})$
重量:	665kg
最大可搬重量:	60kg
防護等級:	IP 64
動作温度:	10℃ ~ 55℃

Fig. 4 KR60HA 基本仕様 (KUKA 製)

Fig. 5 ロボット位置決め精度

の繰り返し位置決め精度を調査した。

3.1 繰り返し位置決め精度

ロボットの精度を調査するに当たって、留意すべきことがある。それは、ロボットは各軸の回転運動によって動作していることである。姿勢毎に使われる軸や回転量が変化するので、姿勢によっては精度が出にくく、特異点も存在する。特に、アームを稼働範囲の限界近くまで伸ばすことはロボットに厳しく、精度が低下する要因となる。

本実験では、Fig. 3 に示すように、位置とアプローチ方向による、精度の変化を測定した。使用したロボットは6軸多関節ロボットで、基本仕様をFig. 4に示す。

Fig. 5 は、送り速度 15 m/min で目標点に10回アプローチした際の、目標点からの絶対値の最大ずれ量と、繰り返し精度を示したものである。最大ずれ量は $114\mu\text{m}$ 、繰り返し精度は $25\mu\text{m}$ と、ロボットとしては、十分な精度を発揮した。最大ずれ量は、ロボット正面の a 点においてはアプローチ方向の違いによる差は少ない。しかし、オフセットされて、各軸の動きがより複雑となる b 点においては、Y 座標で $50\mu\text{m}$ 以上の差が見られる。アプローチ方向による違いも、a 点では $30\mu\text{m}$ 程度、b 点では

Table 3 リモートテーラード溶接結果

断面観察結果		狙いずれ(μm)			
		0	100	200	300
ギャップ (μm)	0	○	○	○	○
	100	○	○	○	○
	200	○	○	○	×

Fig. 6 ビード断面品質基準

50 μm 以上差が見られ、姿勢やアプローチ方向による精度の変化が表れている。

プログラムを作成する際は、姿勢によってアプローチ方向を選択し、より精度の高い動きを引き出すことで、高精度な加工が可能となる。

4. リモートシステムによるテーラードブランク溶接の品質

リモート溶接は、加工点にガスをかけず、レーザーの照射角も刻々と変化するため、加工ヘッドによる従来の溶接とは状況が異なる。実績のある材質、板厚、継手であっても、新たに品質を確認するのは必須の要件である。

これまでの調査により、スキャナーとロボットを組み合わせた際の、複合的な繰り返し精度は、50 μm (片側 25 μm) となることが分かった。ここに、ロボットによる絶対値の最大ずれ量 114 μm を考慮すると、140 μm 程度の狙いずれが起きることが予想される。また、ワーク精度により、ギャップが 0.1mm 発生することも予想される。

本実験では上記を考慮し、ハイテン材 1.4t を用いて、溶接線からの狙いずれを 0 から 0.3mm、継手のギャップを 0 から 0.2mm まで変化させてリモート溶接を行い、許容範囲を調査した。ロボットによる位置誤差を無視できるように、加工は XY ステージで行った。Table. 3 は、ビードの断面調査を実施した結果をまとめたものである。ビード断面の品質基準を Fig. 6 に示す。その結果、

Photo 1 リモートテーラード溶接サンプル

Photo 2 リモートテーラードブランク溶接断面

ビード断面はギャップ 0.1mm まで品質基準を満たすことができた。ギャップが 0.2mm でも、狙いずれ 0.2mm まで許容でき、エリクセン試験は全て合格となった。従来の溶接と遜色ない品質と言える。参考までに、Photo 1, 2 に外観、断面を示す。

5. ま と め

本実験の結果から、リモート溶接によるテーラードブランク溶接の可能性が見えた。ロボットの位置誤差を画像認識などで補正することで、更に位置精度を向上させる事が、実用化への近道となる。しかし、ロボットの能力を引き出し、更に高い位置精度を確保できたならば、補正システムに頼る必要がなくなり、システムを簡素化し、コストダウンできるメリットが生まれる。

また、スキャナーを使用することは、スピニング、ウイーピングなどの高速で複雑な溶接が可能になり、溶接手法を広げる事ができるので、ギャップ裕度拡大も期待できる。

ロボットの絶対値精度の向上と、リモート溶接の溶接性を追求することで、リモートテーラードブランク溶接の実用化への道が開けるであろう。