特集

自動車産業におけるリモート溶接の実用化

リモート溶接用ヘッドとリモート溶接への適用について*

坪井 昭彦**

Remote Welding Head and its Application*

by TSUBOI Akihiko**

キーワード レーザ, リモート溶接, スキャナ溶接, 加工ヘッド, ファイバレーザ, 生産性

1. はじめに

自動車は、環境との調和への取組みが最も顕著に現れている産業領域であり、

- ・燃費向上
- ・環境負荷低減（排出ガス、材料リサイクル性等）

等の実現に向けて、車体及び部品の高性能・高機能化、軽量化への技術検討が積極的に行われてきた。

1970年代、米国自動車産業界でレーザ加工の利用が始まったが、当時は大出力レーザのビーム品質も現在ほど高くなく、また選択できるレーザ光源の種類も多くなかった。最初の利用例はCO₂レーザによる焼入れであったが、その後レーザ発振器の改良、YAGに代表される固体レーザの大出力化等の技術革新が進み、より高エネルギー密度を必要とする溶接や切断、穴明け等に広く利用されるようになっていく。

自動車産業におけるレーザ加工の技術開発動向に関する日本国内調査結果をfig. 1に示す¹⁾。車体および部品の高性能・高機能化、軽量化と生産性向上（コストダウン）を両立させるべく、一体加工、同時多点加工の実現を目指しており、リモート溶接はこの実現のための最も有力なレーザ加工技術の一つと見做されている。

本稿では、特に生産性向上への寄与が期待されているリモート溶接用ヘッドについて解説する。

2. 自動車産業におけるレーザ溶接のニーズ

従来、自動車ボデーの組立にはスポット溶接等の抵抗溶接が中心となってきた。スポット溶接には、

- ・装置が高価である。
- ・合せ部分を電極で掴み、溶接するので部材に厳しい寸法精度が不要である。

という利点があるためであった。しかし、

- ・間隔を置いて溶接するため、車体強度確保のために多くのスポット（ボデー全体で数千点）が必要であり、生産性向上の制約となる。
- ・両側からのアクセスが必要であり、構造設計上の自由度を制約する。
- ・スポットを打つために必要な幅のフランジが必要であり、車体軽量化を阻害する。

等の課題もあった。これに対して、レーザ溶接は、

- ・連続溶接が可能である。
- ・一方向からの溶接が可能である。
- ・溶接に必要なフランジ幅を最小化できる。

という利点があり、欧州を中心とした多くの自動車メーカーが、レーザ溶接を積極的に採用してきた。

しかし、レーザ溶接装置は従来の抵抗スポット溶接装置と比較して高価であり、自動車の生産コスト上昇に繋

Fig. 1 自動車産業における光加工ロードマップ

*原稿受付 平成20年1月21日

**正 員 株式会社レーザックス Member, Laserx Co., Ltd.

がりがねない。このため、自動車産業における生産技術者の最大の命題は、レーザ加工の生産性向上とその結果としてのコストダウンであった。

3. リモート溶接の原理

リモート溶接とは、加工対象物から離れた位置から高速、高精度に移動、位置決めされる高エネルギー密度のレーザ光を照射する溶接法の総称であり、スキャナ溶接と呼ばれることもある。

3.1 リモート溶接用レーザ光源

長焦点（一般的には500～2000 mm 程度）光学系で金属溶接が可能な高エネルギー集光を実現するため、レーザ光源にはkW 級の高出力と共に、高いビーム品質が要求される。

各種レーザ光源の出力とビーム品質の関係を fig. 2 に示す²⁾。縦軸のビーム品質パラメータ BPP が小さい値である程、長焦点で小さなスポットを形成する能力が高いことを意味する。

CO₂レーザは低出力から高出力まで、高いビーム品質を維持できるのに対して、YAG レーザに代表される固体レーザは、低出力領域ではCO₂レーザよりも高いビーム品質を有するが、高出力になるほどビーム品質は劣化し、kW クラスになると長焦点集光は困難となる。このようなことから、当初（1990年代後半）、リモート溶接用光源はCO₂レーザに限られていた。

近年の技術革新により、ファイバレーザ、ディスクレーザと呼ばれる次世代型固体レーザの高出力化が実現し、最新のリモート溶接システムには、これらの次世代型固体レーザを光源とするものが多くなってきている。

3.2 リモート溶接用光学系

CO₂レーザ（波長 $\lambda \approx 10\mu\text{m}$ ）では折返し反射鏡を用いた空間伝送にて、近赤外光であるファイバレーザ、ディスクレーザ（波長 $\lambda \approx 1\mu\text{m}$ ）の場合には、光ファイバ伝

送にて、レーザ光はリモート溶接用ヘッドに導光される。

リモート溶接用ヘッドには長焦点集光レンズと集光レーザ光を高速で走査させるための1ないし2枚の可動反射鏡が組み込まれている。

3.3 リモート溶接の特徴

リモート溶接用光学ヘッドと一般的なレーザ加工用光学ヘッド（駆動部分の無い固定光学系）との違いは、

- ・ワーキングディスタンスが大きい。
- ・駆動するミラー及びレンズにより焦点位置決めする。
- ・一度の位置決めで対応できる加工エリアが大きい。
- ・加工中の照射角度が一定ではない。
- ・高速な加工点移動を達成できる。

ことである。

4. リモート溶接用ヘッドの仕様・構造例³⁾

筆者等のグループが開発している固体レーザを光源とするリモート溶接用ヘッドALIMS-RHを具体例として、その仕様、構造を説明する。

筆者等は、経済産業省の平成16、17年度地域新生コンソーシアム研究開発事業採択テーマとして、最新レーザ利用生産システム（ALIMS=Advanced Laser Integrated Manufacturing System、以下「ALIMS」と記載）の開発を行ってきた。この取組みのサブテーマの一つとしてリモート溶接用ヘッドのプロトタイプ機を開発した。本プロジェクトで使用した光源は2kW ファイバレーザである。開発目標仕様を table. 1 に、加工ヘッドの構造概略を fig. 3 に示す。

光ファイバ伝送可能な固体レーザ光の自由度を最大限に活かすため、小型多関節ロボットに搭載可能な小型軽量ヘッド（10kg 以下）の実現を目指した。このため、稼動反射鏡は1枚構造を採用した。加工研究側からの幅広い要求に対応するため、コリメーションレンズを交換することにより、ワンタッチでスポットサイズを切り替え、

Fig. 2 各種レーザのビーム品質

Table. 1 リモート溶接用ヘッド ALIMS-RH 開発仕様

加工可能エリア	200mm×200mm
ワーキングディスタンス	400~450mm
レーザスキャン角度	±15°
繰り返し位置決め精度	±0.1mm以下
最大ポジショニング速度	0.15sec以下（レーザスキャン角度±15°時）
スポットサイズ	φ0.3mm, φ0.4mm, φ0.6mm切替 (結像倍率: ×3, ×4, ×6切替)

Fig. 3 リモート溶接用ヘッド ALIMS-RH 構想図

集光エネルギー密度の範囲を広く変更可能としている。

電気系統図を fig. 4 に示す。将来の搭載ロボット側との協調動作，同時一括制御への拡張も考慮し，リモートヘッド内の駆動はガルバノメータではなく，全てサーボモータを採用した。

実際に製作したプロトヘッドの外観 (fig. 5) にて，その構造を詳しく説明する。

光ファイバで伝送されたレーザ光はコリメートレンズホルダ上部からヘッドに導かれる。コリメートレンズ通過後，90度折返し反射鏡で曲げられる。この反射鏡はダイクロミックミラーと呼ばれる部分透過鏡であり，反射鏡の裏側に観察用カメラやモニタリング用センサを取り付け可能となっている。

90度折返し反射鏡で曲げられたレーザ光はレンズ駆動ユニット内に導かれ，f600 mm の長焦点集光レンズを通過する。この長焦点レンズはリニアモータで高速に前後駆動制御されており，この動きにより，集光点は上下 (Z 軸) に移動する。

集光レンズを通過した光はスキャンユニット内に導かれ，1 枚の反射鏡により加工対象物側 (下側) に折返される。スキャンユニット自体が光軸中心に回転制御され，内部反射鏡が光軸に対して直行する軸中心に回転制御されることにより，集光点は XY 方向に移動する。反射鏡の回転のみでは，集光点の移動は反射鏡中央を回転中心とする球殻状になってしまう。よって反射鏡の回転と集光レンズの前後駆動を同期制御することにより，集光点を XYZ 空間内で所定の速度で移動，位置決め可能としている。

多関節ロボット (20 kg 可搬) に完成した ALIMS-RH を搭載した状態を fig. 6 に示す。加工領域内での大きな移

Fig. 4 リモート溶接用ヘッド ALIMS-RH の電気系統図

Fig. 5 リモート溶接用ヘッド ALIMS-RH 外観

Fig. 6 多関節ロボットに搭載した ALIMS-RH 外観

動は多関節ロボットが分担し、溶接箇所から次の溶接箇所への高速移動、溶接作業の動きをヘッド側が分担する。

5. まとめ（リモート溶接の効果）

リモート溶接の効果を整理すると、

- ・溶接箇所から次の溶接箇所への移動位置決め時間が短く、レーザ光稼働率が最大化し、高い生産性を達成できる。
- ・重ね合わせシームの縮小による構造の自由度が拡大する。
- ・溶接の高速化、溶接順序の最適化により、加工中に発生する熱ひずみを低減できる。
- ・狭隘な箇所にもピンポイントでレーザ照射し、溶接可能となる。

等々の項目が挙げられる。

既に幾つかの日本国内自動車及び自動車部品メーカーにおいて、欧米製リモート溶接ヘッドおよびシステムの導入稼働事例が報告されている。

筆者等は国産初のリモート溶接ヘッドの開発を終え、市場へ参入する。純国産技術のメリットを生かして、個々のユーザーニーズに、きめ細かな対応を行い、更に改良を積み重ねて、ヘッドおよびシステムの完成度を高めていく所存である。

参考文献

- 1) (財) 光産業技術振興協会, 「光テクノロジーロードマップ報告書—光加工分野—」 (2003/3).
- 2) 荒谷, 羽田, 「ファイバーレーザの加工特性および加工事例」, レーザ学会第354回研究会.
- 3) 坪井, 杏名, 「最新レーザ利用生産システムの開発」, レーザ学会学術講演会第26回年次大会予稿集 (2006), 131.