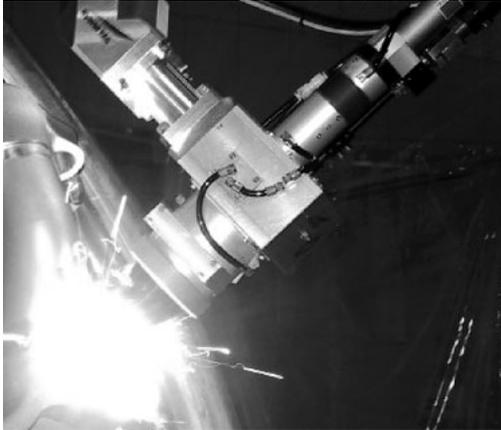


# 複雑三次元形状対応レーザ加工システム

## —同軸レーザ加工ヘッドの開発—

### Laser Welding System for Various 3D Welding -Development of Coaxial Laser Welding Head-



坪田 秀峰\*1  
Shuho Tsubota

石出 孝\*2  
Takashi Ishide

渡辺 眞生\*3  
Masao Watanabe

赤羽 崇\*3  
Takashi Akaba

自動車ボディ等の複雑な三次元形状を対象とした溶接への適用を狙い、アークとレーザを組み合わせたハイブリッド溶接ヘッドを開発した。電極とレーザの同軸化により溶接方向依存性を解消し、少ない軸数での施工を可能とした。さらに同軸化技術をレーザブレイジングに展開した。本報では開発ヘッドによる施工例を紹介し、ギャップ許容量増大、方向依存性解消、ろう材浸透性向上等の効果を示した。

## 1. はじめに

レーザ溶接は低歪な高能率溶接法として実用化が推進されており、特にYAGレーザはビーム伝送の容易さと安定したビーム品質から、近年の高出力発振器登場に伴って自動車産業を中心に適用が進んでいる<sup>(1)~(4)</sup>。その一方で開先ギャップ許容量が小さく、高精度な開先加工や合わせ、狙い設定が必要であることから、施工裕度の緩和が求められていた。

これに対し、アークとレーザを組み合わせたハイブリッド溶接技術により広いギャップ裕度の施工を可能とした。開発技術はより少ない軸数で方向依存性の無い溶接施工を実現するため、レーザ光軸とワイヤ送給を同軸化した構造を特徴としている。さらに同軸化技術をワイヤの同軸送給が可能なレーザブレイジングヘッドに展開した。

本報では、開発溶接ヘッドとその施工結果例について紹介し、有効性を示す。

## 2. アーク/レーザハイブリッド溶接

### 2.1 同軸ハイブリッド化コンセプト

レーザとアークのハイブリッド溶接技術は、各社にて研究開発が進んでいる<sup>(5)(6)</sup>。これらはレーザ光軸に対し、アークを側方に設置する構成であり、三次元形状の溶接が求められる自動車をはじめとした各種製品の組立溶接では、アークトーチを溶接進行方向に対して一定の向きとなるよう制御する軸が必要である。これに対し、より少ない軸での駆動を可能とするため、

アークをレーザ光軸と同軸化する検討を行った。同軸化の基本コンセプトを図1に示す。光ファイバより出射されたビームをミラーにより分割した後、レンズにより集光する。この際、分割により生じた空間へのアーク溶接電極配置によりレーザ光軸とアーク電極の同軸配置が実現する。

図2は分割された光が焦点近傍で集光される様子を光線追跡により解析した結果を示したものである。同図は、コア径0.6 mmの光ファイバより出射した光が、ジャストフォーカス位置で直径1.2 mmに集光される場合の解析結果である。この場合、焦点より上方8 mmの位置ではビームが完全に分割されており、この空間に電極が配置される。この集光特性は、レーザのビーム品質、ヘッド寸法要求、対象材料（種類、板厚、開先形状）、併用するアーク溶接機等々の要因を加味して決定される。例えば、継手形状に関して、厚板の突合せ溶接には小径の集光が有効であるが、すみ肉溶接では深溶込みは必要なく、幅広のビード形状が必要であることから比較的大径の集光で十分であるなど、対象に応じた使い分けが望ましい。集光径が溶込み深さに及ぼす影響を調査した結果の一例を図3に示す。レーザ出力2 kWでステンレス鋼溶接時、集光径1.2 mmから0.6 mmに小径化することで約1.3倍の溶込み向上が認められる。

### 2.2 商品機仕様

商品化に際し、図1のプロトタイプ機に対してコンパクト化したヘッドを開発した。

図4に溶接ヘッド外観及び標準仕様、図5に標準装

\*1 技術本部高砂研究所製造技術開発センター

\*2 技術本部高砂研究所製造技術開発センター長 工博

\*3 神戸造船所機械・環境プラント部機械設計課主席

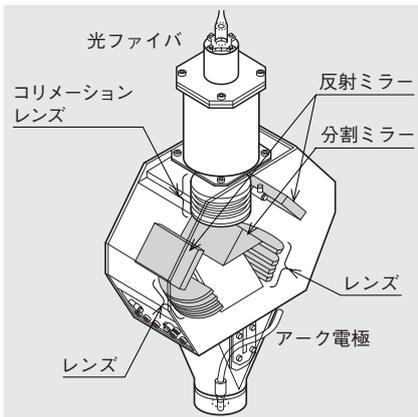


図1 アーク/レーザ同軸化コンセプト ビームをミラーにより2ビームに分割し、得られた空間にアーク電極を配置することで同軸化を実現した。

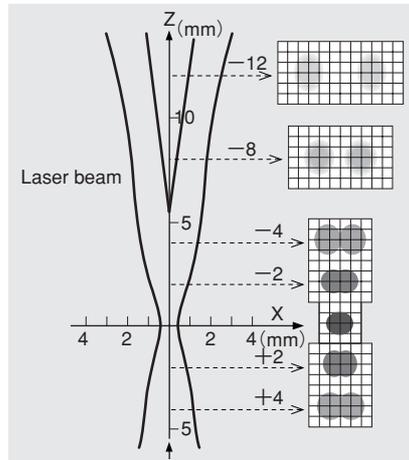


図2 ビーム集光状況 焦点近傍の集光状況を示す。

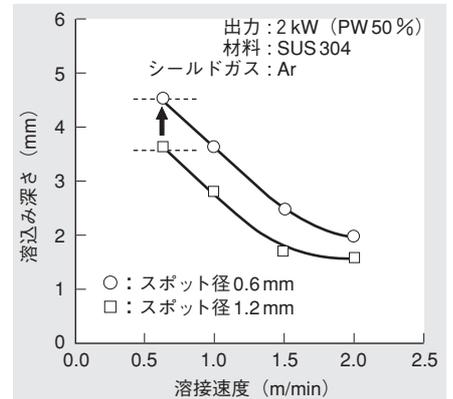


図3 集光径が溶込み深さに及ぼす影響 スポット径の小径化(1.2 mm → 0.6 mm)により溶込み深さが約1.3倍に増大する。  
出力: 2 kW (PW50%)  
材料: SUS304  
シールドガス: Ar



図4 MIG-YAGハイブリッド溶接ヘッド外観 ロボット駆動を想定し小型化を図ったヘッド外観。

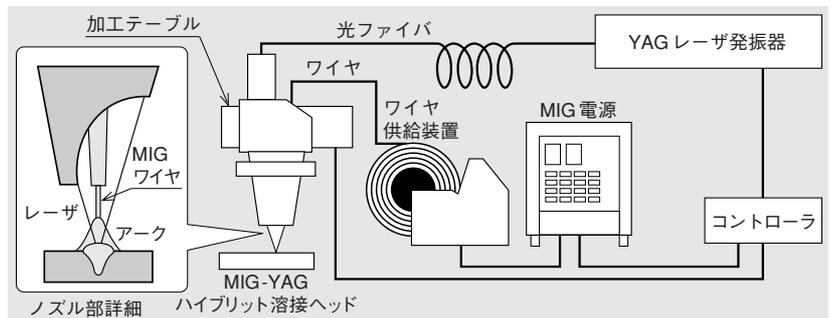


図5 標準装置構成 ハイブリッド溶接のための周辺機器を含めた全体構成例。

施工法	Laser	MIG	MIG-YAG
溶接条件	4 kW	300 A/24V	4 kW + 300 A/24V
ビード断面 (AC 4CH-T6 / A5454P) (速度 3 m/min)			

図6 アルミ合金重ねすみ肉溶接における施工法比較 レーザ単独, MIG単独では不可能な脚長・溶込みを共に満足した施工がハイブリッド溶接により実現する。

置構成を示す。新規設備導入のみならず、既存のレーザ発振器やアーク溶接電源等との組み合わせにも対応可能である。

### 2.3 溶接施工結果例

図6は、アルミ合金の重ねすみ肉溶接結果例を示している。レーザ単独では十分な脚長の確保が難しく、MIG単独では高速域でビード形状が不安定化しやすく溶込みも不足する。一方、ハイブリッド溶接では、十分な溶込みを確保しつつ高速域でも安定したビードを得ることが可能である。

図7は開先ギャップを有するステンレス鋼の突合せ溶接結果例を示している。開先はシャーリング加工し、表面に0.5 mmピッチで最大2 mmのギャップを設けた

場合の突合せ溶接結果である。板厚5 mmに対して最大ギャップ量2 mmまで一定条件にて施工可能であり、広いギャップ裕度を有する施工が実現することがわかる。

図8はアルミ合金の突合せ溶接を行った結果例を示している。板厚4 mmを0.7 m/minの高速で溶接施工可能である。また図9に示す通り従来のMIG溶接と比較して変形抑制効果が顕著である。本ヘッドはアークを同軸供給しており、方向依存性のない施工が可能であるという利点も有する。図10の円周溶接結果が示すとおり、ワイヤ送給方向の調整が不要であり、二次元・三次元形状の施工における狙い位置設定への負荷を軽減することが可能である。

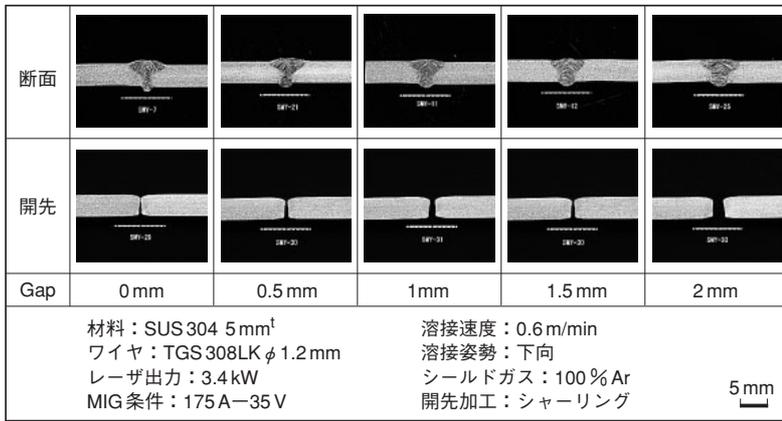


図7 ハイブリッド溶接によるギャップ裕度の拡大 開先ギャップ 0～2 mmまで同一条件での施工が実現する。

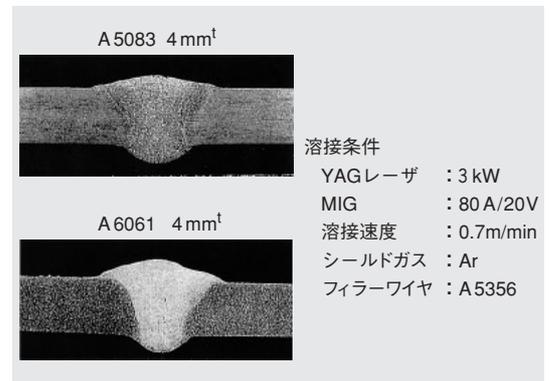


図8 アルミ厚板溶接結果例 アルミ合金厚板 (4 mm) の高速1パス溶接が実現する。

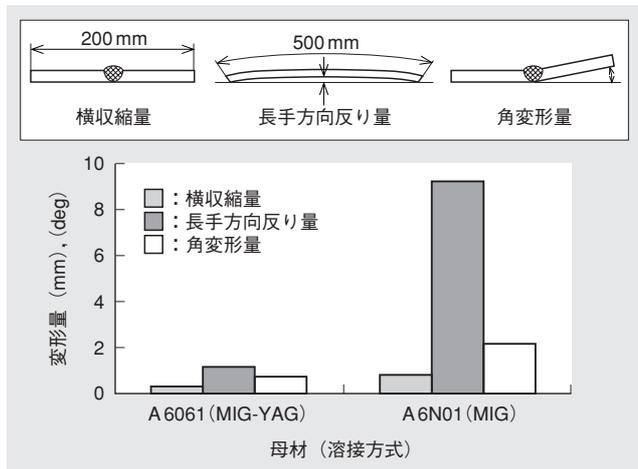


図9 溶接変形量の比較 ハイブリッド溶接により、MIG溶接と比較して長手方向の反りを1/9程度に抑制可能。

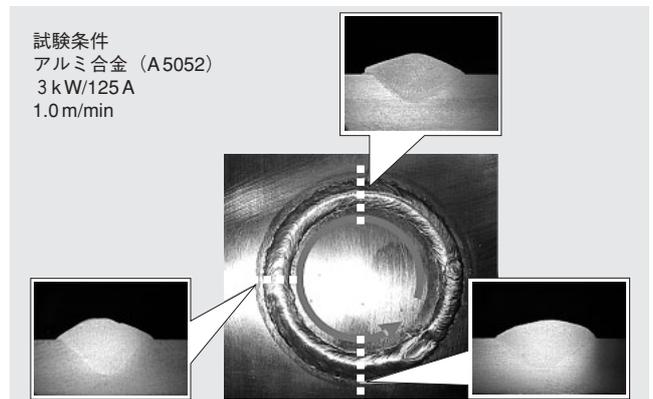


図10 円周溶接結果例 アークとレーザーの同軸化により円周駆動時にもアークトーチの駆動軸が不要。

### 3. レーザブレイジング

#### 3.1 商品機仕様

ハイブリッド溶接ヘッドと同様にワイヤを同軸送給することが可能な同軸レーザーブレイジングヘッドも開発している。本ヘッドは、近年特に欧州自動車メーカーで適用が進んでいる自動車ボディのレーザーブレイジングを対象としており、トランクリッド等の急峻な溶接線方向変化に対応した施工を実現したいというユーザーニーズに応えることが可能である。図11にヘッド外観及び仕様を示す。

#### 3.2 施工結果例

図12に施工結果例を示す。ワイヤ同軸供給による方向依存性解消により、平面内の一筆書きも安定して施工可能である。また、溶接線の急峻な方向変化にも滑らかに対応したビードが形成されている。

図13はフレア継手の断面を示している。ワイヤを側方から供給した場合には、ろう材が開先内部まで浸透しにくいのにに対し、本ヘッドの使用により開先内部

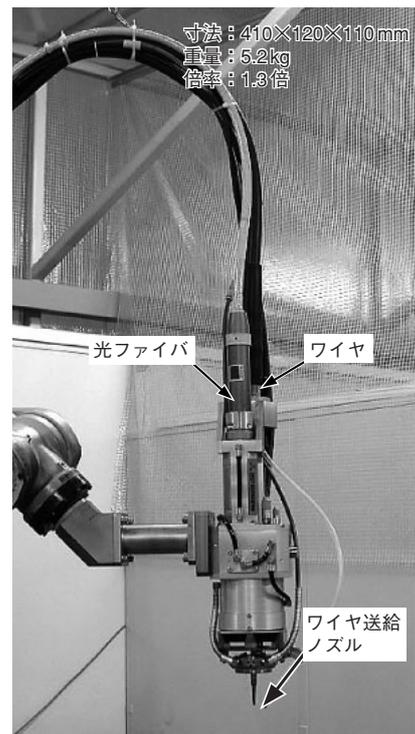


図11 同軸レーザーブレイジングヘッド外観 レーザとワイヤをコンパクトに同軸化し、ロボット駆動時の操作性を向上した。

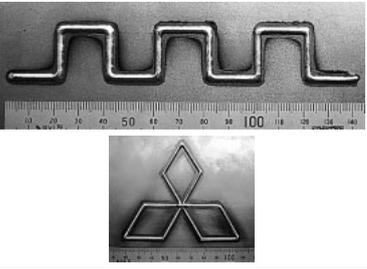
ロウ付け条件		ビード外観
種類	ビードオン	
材質	銅板	
板厚	3.0mm	
レーザ出力	2.0kW	
速度	0.8m/min	
ワイヤ量	2.8m/min	

図12 レーザブレイジング結果例(1) ワイヤの同軸送給により、矩形の急峻な溶接方向変化や複雑形状の一筆描きへの対応を実現した。

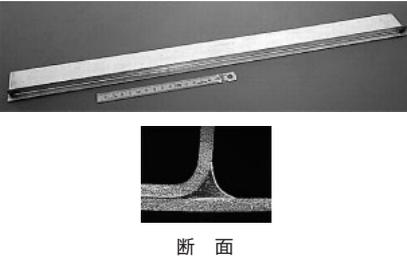
ロウ付け条件		ビード外観
種類	フレア継手	
材質	亜鉛メッキ銅板	
板厚	0.75mm	
レーザ出力	3.0kW	
速度	3.5m/min	
ワイヤ量	7.0m/min	

図13 レーザブレイジング結果例(2) レーザビームによるワイヤ予熱効果により、開先内への浸透性向上を実現した。

まで十分に浸透している。これはレーザと同軸にワイヤを送給することでワイヤ予熱効果が得られ、溶融効率が増したためと考えられる。

#### 4. アプリケーション例

アーク又はワイヤとレーザ光軸の同軸配置の優位性から、開発技術の自動車ボディの組立溶接等への適用が期待される。図14には車体組立にMIG-YAGハイブリッド溶接を適用した例を示す。各種適用検討を通して、同軸送給の有効性が確認されている。

#### 5. まとめ

自動車ボディの組み立てをはじめとする複雑な三次元形状の溶接に適した溶接ヘッドを開発した。アークとレーザのハイブリッド溶接では、アーク溶接に対し、高速化・変形抑制・溶込み深さ確保等の効果が、レーザ溶接に対し、すみ肉溶接における脚長確保、ギャップ裕度の拡大等の効果が確認された。また同軸配置により制御軸数低減が可能となることが確認された。レーザブレイジングでは、ワイヤ予熱効果が開先内へのろう材浸透性を向上させるとともに、方向依存性のないろう付が可能となることを示した。

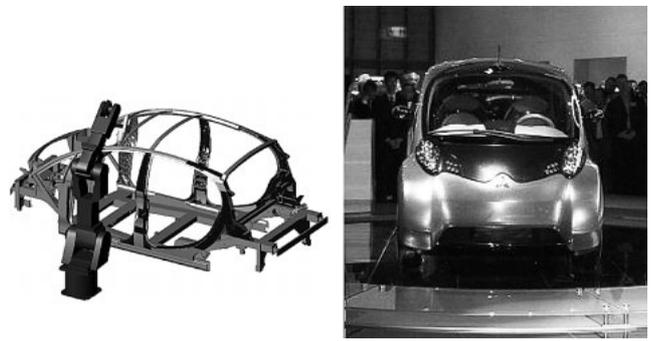


図14 車体組立への適用(三菱自動車工業(株)提供コンセプトカー“i”) ハイブリッド溶接により組み立てられた車体の一例(2003東京、フランクフルトモーターショー出品)。

開発技術は、YAGレーザとの組合せに限られるものではなく、近年高出力化に伴い注目される半導体レーザ、ファイバレーザにも対応可能である。今後、ユーザーニーズに対応した溶接ヘッドをラインナップしていくとともに、開先センシング/品質モニタリング、駆動システムと組み合わせた総合溶接システムとして提供していく予定である。

#### 参考文献

- (1) 白井雅人, 三次元構造ボデー部品: トルーフのレーザ溶接, 第55回レーザ加工学会論文集(2002)p.1
- (2) 森清和ら, レーザ溶接の車体組み立てへの応用, 第55回レーザ加工学会論文集(2002)p.7
- (3) 樽井大志, 欧州における自動車産業へのレーザ適用動向, 第61回レーザ加工学会論文集(2004)p.152
- (4) K.Löffler, Laser applications Golf V: Concept and Implementation in production, Proc. of European Automotive Laser Application 2004, p.181
- (5) 牧野吉延ら, CO<sub>2</sub>レーザ・アークハイブリッド溶接法, 第53回レーザ加工学会論文集(2001)p.31
- (6) 富田直良ら, LDMIGハイブリッド溶接ロボットシステムのアルミ合金への適用, 第56回レーザ加工学会論文集(2002)p.69



坪田秀峰



石出孝



渡辺眞生



赤羽崇