

# 高出力ファイバレーザによる自動車用アルミニウム合金の高速・高品位溶接技術の開発

Development of Welding Technology of High Speed and High Quality Welding of Aluminum Alloy for Automobiles with High Power Fiber laser

西井 諒介\*, 田邊 猛\*, 高田 一輝\*, 茅原 崇\*  
Ryosuke Nishii\*, Takeshi Tanabe\*, Kazuki Takada\* and Takashi Kayahara\*

## 1. はじめに

アルミニウム合金は軽量かつ高強度であるため様々な分野で広く採用されている。特に自動車用部材に対しては、ドア、フェンダー、ボンネット等に各種アルミニウム合金が採用されている<sup>1)~3)</sup>。それに伴い自動車の組み立て工程における接合技術の重要性が増している。我々は数多くある接合技術の中でもファイバレーザに着目し、溶接技術開発を行っている。

ファイバレーザはビーム品質が優れており集光が容易であるため、アルミニウム合金を溶かすのに十分なパワー密度が確保できることやすべてファイバで構成されているため振動に強くメンテナンスが容易であることなどメリットは多い。またアルミニウム合金は高い熱伝導率を持つため溶融させるためには大きな入熱が必要となり高速化は難しいとされてきたが、ファイバレーザの集光性の良さを活かせば溶接速度向上も狙える。

一方で一般的なアルミニウム合金溶接と同様に、酸化膜層の存在や高い熱伝導率、線膨張係数により溶接が難しくなり、変形や割れ、ブローホール等の溶接欠陥が発生しやすいという課題がある<sup>4)</sup>。さらにファイバレーザ溶接においては鉄鋼材料と比較してファイバレーザの波長における反射率が高く、より高いパワー密度が必要なことなどから安定した溶接は難しいとされていた<sup>5),6)</sup>。

これらの課題に対し、当社では、12 kW マルチモードファイバレーザとレーザのビームプロファイルを任意の形状に制御する技術(ビームモード制御技術)を用いて高速・高品位溶接にトライしてきた。今回はビームモード制御を用いアルミニウム合金に対する溶接条件を最適化することでブローホール等の溶接欠陥を大幅に抑制し、高速かつ高

品位な溶接を実現した。

## 2. ビームモード制御技術

ファイバレーザ溶接においては高いパワー密度によりキーホールが形成され、溶融池内部に急激な温度変化と激しい対流が引き起こされることが知られている。溶融池内部が不安定であるとブローホールやスパッタなどの溶接欠陥の発生につながるため、これらの溶接欠陥を抑制できる溶接技術の開発が求められている。当社はファイバレーザ溶接で発生する溶接欠陥やスパッタ発生等の課題を解決するため、レーザ集光点の光強度分布を精密に制御可能なファイバレーザ用ビームモード制御技術を開発した。このビームモード制御技術は加工光学系中にビームモード制御素子を挿入することでビームを複数に分岐し、任意の光強度分布に制御するものである。複数の集光スポットを密に配置すれば各スポットが結合され連続的な光強度分布になり、スポット間を十分に離せば離散的な複数スポットの光強度分布を形成できる。Fig. 1(a)にビームモードを制御する前のプロファイル、Fig. 1(b),(c)にビームモード制御後のプロファイルの例を示す。これらより実際に光強度分布が任意の分布に制御できていることが確認できる。この技術を用いればビームを任意の光強度分布に制御することが可能であるため、材料種や溶接・切断・焼き入れなどの用途に応じて最適なビームモードを選択できる。溶接に関していえばビームモードを選択し溶融池を安定化させることで、スパッタなどの溶接欠陥を抑制できると考えられる。このビームモード制御技術をアルミ合金の溶接へ適用すれば、高品位な溶接が実現できると考えた。

## 3. ビームモード制御技術を用いたアルミニウム合金溶接

実際にビームモード制御技術を適用しアルミニウム合金のファイバレーザ溶接を行った。実験に用いたレーザ発振

\* 古河電気工業株式会社  
FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.  
原稿受付：2020年10月15日

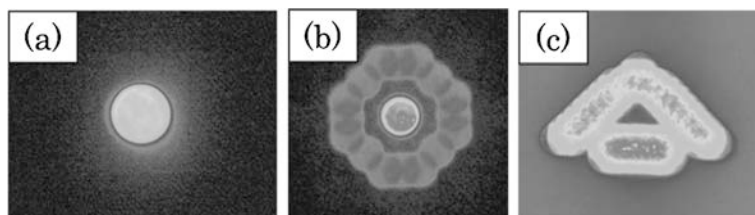


Fig. 1 ビームモード制御例 (a)通常のビームモード, (b)センター&リング形状, (c)当社ロゴ形状



Fig. 2 古河電工製12 kW マルチモードファイバレーザ外観

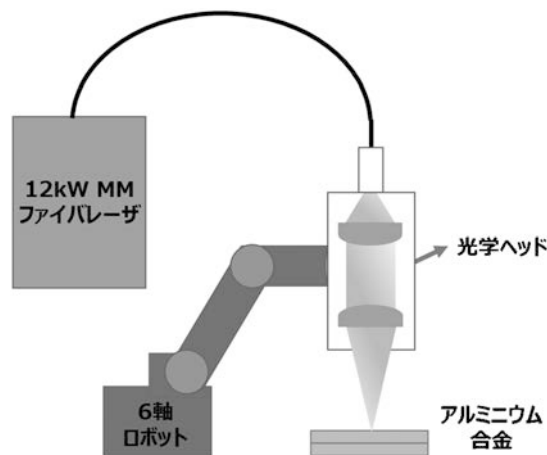


Fig. 3 溶接設備構成

Table 1 古河電工製12 kW マルチモードファイバレーザの光学特性

型式	FEC12000M
定格出力	12000 W
波長	1070 nm
ファイバコア径	100 $\mu$ m
ビーム品質 BPP (Typical)	3.5 mm rad

器は古河電工製マルチモードファイバレーザであり、外観を Fig. 2 に、光学特性を Table. 1 に示した。この特性により高いパワー密度を実現し、高い熱伝導率を持つ材料であっても局所的に温度を上昇させ、溶融させることができる。

設備構成を Fig. 3 に示した。6 軸ロボットに光学ヘッドを取り付け、この光学ヘッドにより12 kW マルチモードファイバレーザから出射されたレーザ光を集光した。レーザ出力は6~12 kW、掃引速度は6~10 m/minとした。ビームモード制御を適用し、光強度分布を制御することで溶接欠陥等の抑制を狙った。用いたサンプルはアルミニウム合金 (A6061)  $t=2$  mm であり、2 枚を重ね合わせた状態でサンプル表面にレーザを照射した。溶け込み深さは非貫通溶接となる4 mm 未満に制御した。

比較のため溶接条件を最適化する前の溶接欠陥が発生した場合のアルミニウム合金のファイバレーザ溶接結果を Fig. 4 に示した。Fig. 4(a)は溶接ビード外観写真、Fig. 4

(b)は内部 CT 画像、Fig. 4(c), (d)は溶接部断面写真である。Fig. 4(a)より表面ビードに関しては溶接欠陥がみられないことがわかるが、Fig. 4(b), (c), (d)より溶接ビード内部にはブローホールが発生していることがわかる。これは溶接時に発生した金属蒸気や巻き込んだ金属蒸気が放出される前に溶融金属が凝固しているためと考えられる。このようにアルミニウム合金溶接においては欠陥が非常に発生しやすい。次にビームモード制御を適用した場合の溶接結果を Fig. 5 に示した。Fig. 5(a)に溶接ビード外観写真、(b)に内部 CT 画像、(c), (d)に溶接部断面写真を示す。Fig. 5(a)より溶接ビードにハンピングやブローホールがなく外観良好であることが確認できた。また Fig. 5(b), (c), (d)より溶接部内のブローホールの発生も抑制できていることが確認できた。これは光強度分布を制御し溶融池の挙動を安定させることで金属蒸気の放出口も安定し、溶融金属が凝固し終わる前に金属蒸気が放出されたためだと考えられる。これらの結果よりビームモード制御技術の優位性を確認することができる。

また高速度カメラを用いて溶接時の溶融池を観察した。溶接欠陥が発生した場合の高速度カメラ像を Fig. 6(a)に示した。Fig. 6(a)の溶融池を観察することで、溶接欠陥が発生する場合の溶融池は大きさが不安定であり、金属蒸気が放出される様子はみられないことがわかった。次にビームモード制御を適用した場合の溶融池高速度カメラ像を Fig. 6(b)に示した。溶融池の大きさはほぼ一定を保ち、

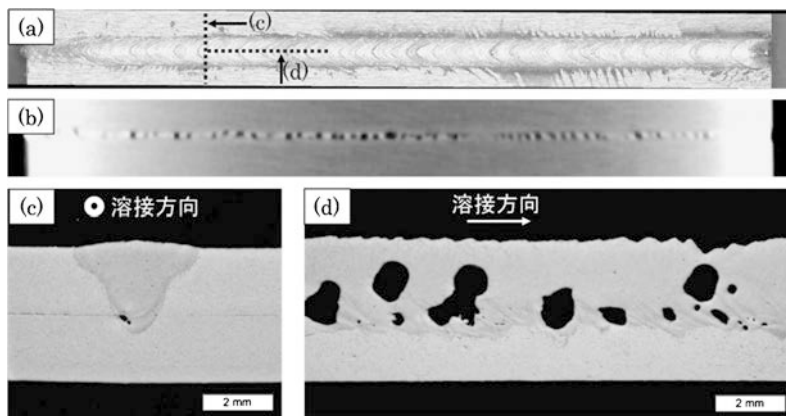


Fig. 4 ブローホールが発生したアルミニウム合金溶接結果(a)溶接ビード外観, (b) CT 画像上面図, (c)ビード横断面, (d)ビード縦断面

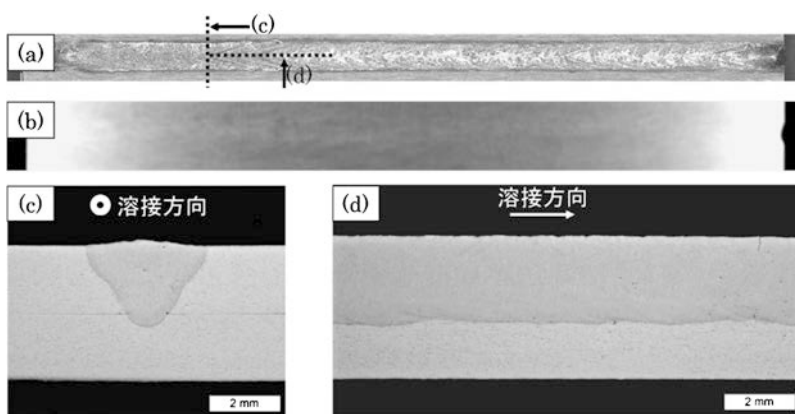


Fig. 5 ビームモード制御を適用したアルミニウム合金溶接結果(a)溶接ビード外観, (b) CT 画像上面図, (c)ビード横断面, (d)ビード縦断面

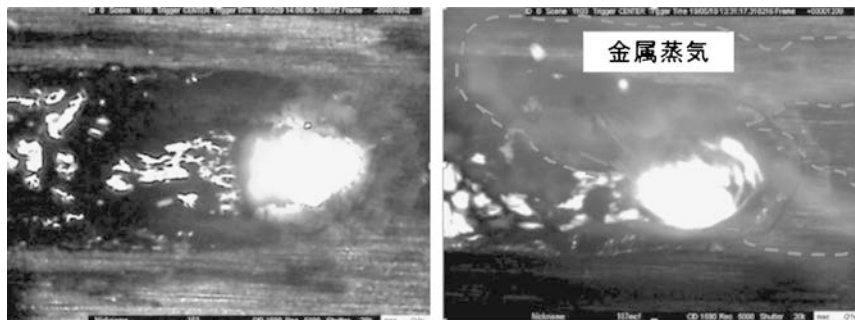


Fig. 6 溶融池の高速度カメラ像(a)溶接欠陥発生時, (b)ビームモード制御適用時

溶融池から金属蒸気が放出される様子が確認できる。レーザー出力, 速度, 溶け込み深さ, 凝固するまでの時間, 溶融池の面積などが適切であると金属蒸気が放出され, 欠陥の少ない溶接が実現できることを示した。次に溶接中の加工内部の状況を疑似的に作り出し観察した。Fig. 7 にセットアップ概略図を示す。Fig. 7 に示した通り重ね合わせたアルミニウム合金の側面にガラス板をあて, それらの境界にレーザーを照射し側面側から高速度カメラで撮影した。

Fig. 8 に溶融池の疑似断面像を示す。Fig. 8(a)は溶接欠陥発生時の疑似断面であり溶接部に気泡が残った状態で

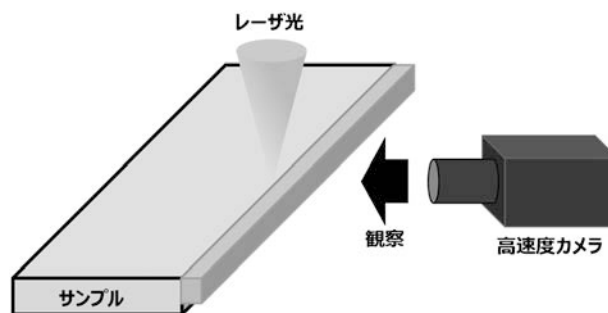


Fig. 7 溶融池の疑似断面(a)溶接欠陥発生時, (b)ビームモード制御適用時

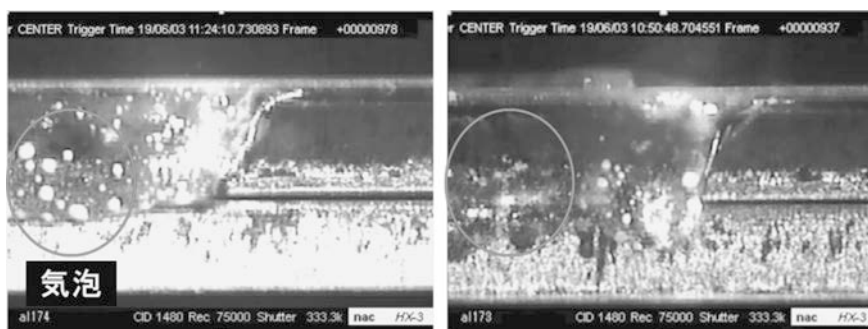


Fig. 8 溶融池の疑似断面 (a) 溶接欠陥発生時, (b) ビームモード制御適用時

凝固していることが確認できる。一方、ビームモード制御を適用した際の疑似断面 Fig. 8 (b) ではほとんど気泡が残っていないことがわかる。ビームモード制御を適用し、最適化した条件では金属蒸気の放出が安定して行われるため溶接部内の気泡が少なくなる傾向があった。このことから出力、速度だけでなくビームモード制御を用いて溶け込み深さ、凝固するまでの時間、溶融池の面積などを最適化することでブローホールを抑制できることがわかった。

#### 4. おわりに

ファイバレーザを用いたアルミニウム合金の高速・高品位溶接にトライした。通常の溶接ではブローホール等の溶接欠陥が生じやすいが、ビームモード制御技術により溶融池を安定させることで溶接欠陥を大幅に抑えた加工が可能となった。ファイバレーザの高パワー密度を活かした高速溶接にビームモード制御技術を適用することで、高速・高品位溶接を実現することができた。今回はアルミニウム合金を紹介したが、ビームモード制御技術を用いれば他の難加工材料へも対応可能である。この技術を活かし今後は古河電工としてさらなる溶接技術の開発を行い、その発展に貢献し、お客様にソリューションを提案していきたいと考えている。

#### 参 考 文 献

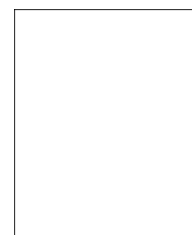
- 1) A. Das, I. Butterworth, I. Masters and D. Williams: Evaluation of Key Geometrical and Mechanical Properties for Remote Laser Welded AC-170PX Aluminum Joints, *Journal of Laser*

- Micro/Nano engineering, 14-1 (2019), 1-7.
- 2) 渋江和久：特 UACJ の高機能アルミニウム材料開発と将来展望, *UACJ Technical Reports*, Vol. 5, (2018), 2-13.
- 3) 小西徳次郎：自動車車体の溶接・接合, *溶接学会誌*, 74-8 (2005), 6-9.
- 4) 圓城敏男：アルミニウムおよびその合金の溶接, *軽金属*, 33-8 (1983), 482-490.
- 5) 山岡弘人, 結城正弘, 土屋和之：Al-Mg-Si 系合金レーザ溶接部における凝固割れ防止に関する検討, *溶接学会論文集*, 18-3 (2000), 422-430
- 6) 片山聖二：アルミニウム合金のレーザ溶接, *軽金属*, 62-2 (2012), 75-83.

#### 執筆者の紹介



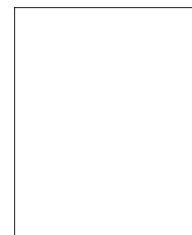
西井諒介



田邊 猛



高田一輝



茅原 崇