

高ビーム品質ファイバレーザ溶接と ビームモード制御技術による加工欠陥抑制

Welding With High Beam Quality Fiber Laser and Suppression of Welding Defects by Beam Mode Control Technology

安岡 知道*
Tomomichi Yasuoka

茅原 崇*
Takashi Kayahara

西井 諒介*
Ryosuke Nishii

松永 啓伍*
Keigo Matsunaga

繁松 孝*
Takashi Shigematsu

〈概要〉

古河電工のシングルモードファイバレーザは、小さいコア径と高いビーム品質により、高いパワー密度を利用して低出力ながら熱影響の少ない高アスペクト比の加工をすることができる。またマルチモードファイバレーザは、その高出力を利用することで鉄材に対して10 mm以上の溶け込み深さを得ることができる。

また、一般的なファイバレーザでは溶接加工欠陥や加工部周辺の汚損の原因となるスパッタが多量に発生してしまう。これに対して、我々はビームモード制御技術の開発を進めることで、スパッタの抑制と加工欠陥の発生減少に成功した。

1. はじめに

近年、ファイバレーザは非常に注目されており、これまで使用されてきた他の溶接技術からの置き換え検討が進んでいる。これは、従来使用されてきたYAGやCO₂などの他のレーザと比較して高いビーム品質を持つためだけでなく、装置としての信頼性が高いうえにエネルギー効率が良く使いやすいためである。

本稿ではその中でも古河電工製のファイバレーザのビーム品質、およびそれを活かした加工基本特性を報告する。そして、近年注目されているビームモード制御技術の開発を進めた結果見えてきた、新しいレーザ加工について報告する。

2. 古河電工製ファイバレーザのビーム品質とその加工特性

ファイバレーザはビーム品質が高く非常に集光性が良いため、溶接時には溶け込みが深いうえに熱影響を抑えることが可能である。本章ではまず古河電工製ファイバレーザの基本的な光学特性を明示し、その中でもマルチモード6 kWファイバレーザの基本的な加工特性を明らかにする。

2.1 古河電工製ファイバレーザのビーム品質

古河電工製シングルモードファイバレーザの外観を図1に示す。発振器内部は励起用半導体レーザ、利得ファイバ、FBG

(Fiber Bragg Grating)などの部品で構成されており、発振されたレーザ光は光ファイバを通じて出力端まで伝送されている。また、このシングルモードファイバレーザを複数台結合させて発振させているのが、図2のマルチモードファイバレーザである。

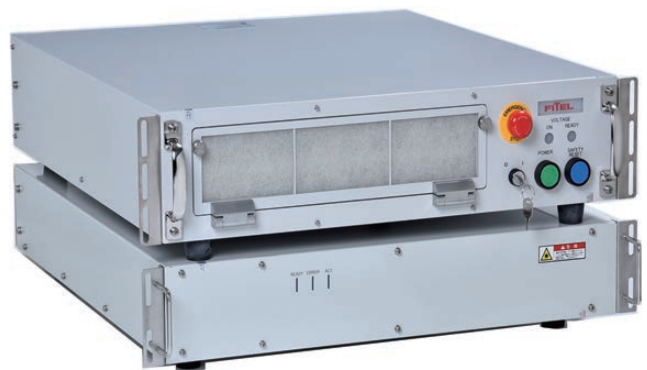


図1 シングルモードファイバレーザの外観図
External view of single mode fiber laser.

* ものづくり改革本部 次世代生産技術開発センター



図2 マルチモードファイバレーザの外観図
External view of multi-mode fiber laser.

これらの発振器の光学特性を表1に示す。マルチモードファイバレーザのコア径と比較して、シングルモードファイバレーザのコア径は非常に小さい。そのため、図3のように非常に高アスペクト比の溶け込みを得ることができる。また、同じ倍率の光学系を用いた場合は、単位面積当たりのパワーはシングルモードファイバレーザの方がマルチモードファイバレーザよりも高く、溶け込み具合は図4のように20 m/minより早い領域では、シングルモード1 kWで加工した場合でもマルチモード2 kWで加工した場合と同等の溶け込み深さを得ることができる。その一方で、より深い溶け込み深さが必要な場合に採用される低速領域では、大出力を得ることができるマルチモードファイバレーザが使用される。

表1 ファイバレーザの光学特性
Optical specifications of fiber lasers.

| | シングルモード ファイバレーザ | マルチモード ファイバレーザ | |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|-------------|
| | | 1070 nm | 1070 nm |
| 波長 | 1070 nm | 1070 nm | 1070 nm |
| 定格出力 | 1500 W | 4000 W | 6000 W |
| ファイバコア径 | 14 μm | 50 μm | 80 μm |
| ビーム品質 M ² (Typical) | 1.06 | - | - |
| ビーム品質 BPP (Typical) | - | 2.2 mm mrad | 3.0 mm mrad |

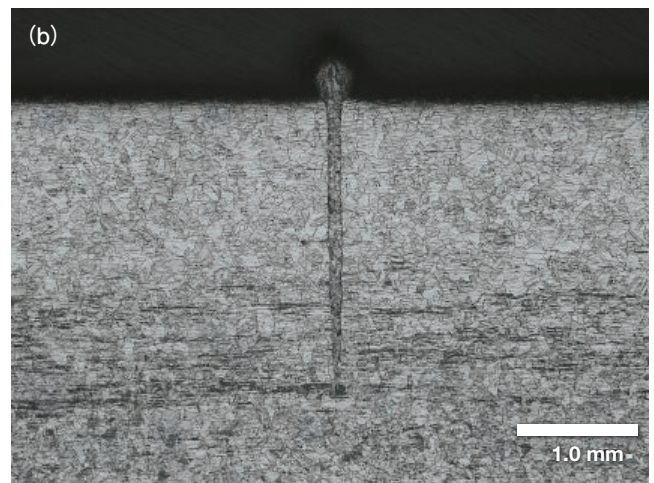
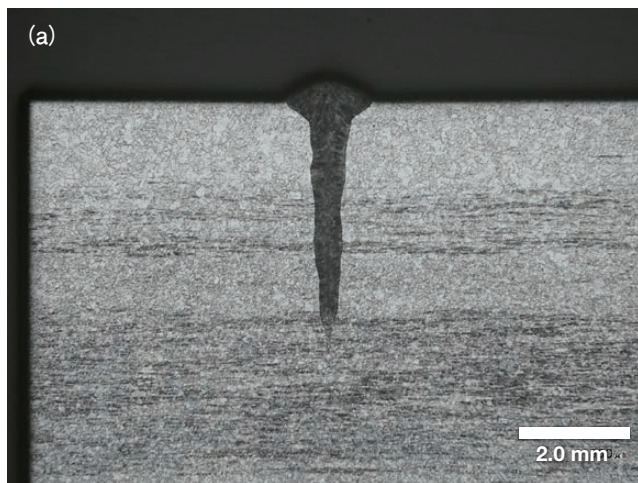


図3 1 kW シングルモードファイバレーザを用いた際のSUS304の断面図
Cross-sectional view of SUS304 with 1 kW single mode fiber laser.
(a) 1 m/min (b) 10 m/min

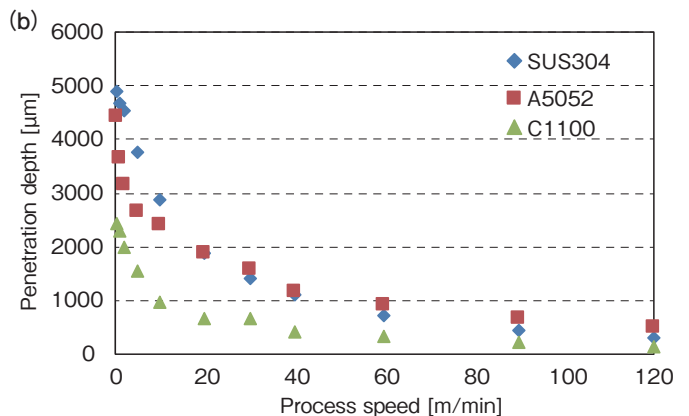
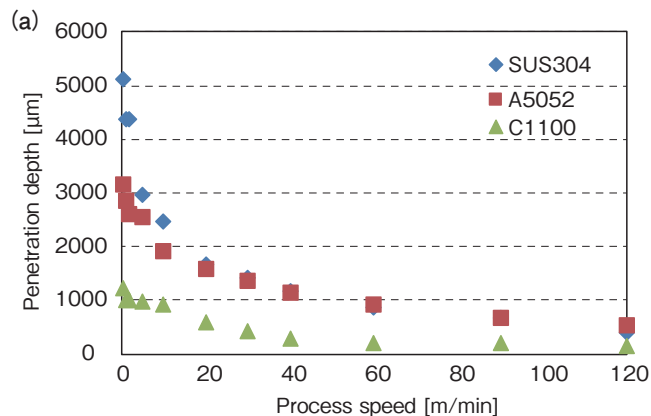


図4 各種レーザによる溶け込み深さ比較
Comparison of penetration depth.
(a) 1 kW シングルモードファイバレーザ 1 kW single mode fiber laser
(b) 2 kW マルチモードファイバレーザ 2 kW multi-mode fiber laser

2.2 マルチモードファイバレーザ

マルチモードファイバレーザを使用してSUS304, A5052, C1100に対してビードオンプレートテストを実施した。図5, 6はSUS304およびA5052の溶け込み断面である。図3と図5を比較すると、溶け幅は太くなっているが、高アスペクト比の形状は維持したままで深い溶け込み深さを得ていることが分かる。また、加工速度を変化させた際の溶け込み深さは図7のようになり、ステンレス、鉄、アルミニウムでは低速領域で10 mm以上の深い溶け込み深さを得ることができる。

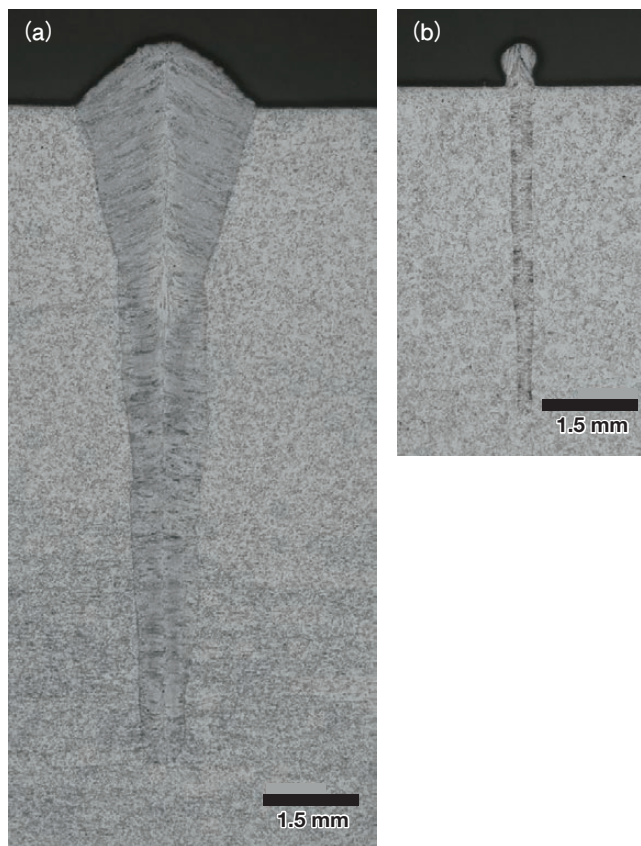


図5 6 kW マルチモードファイバレーザを用いた際のSUS304の断面図
Cross-sectional view of SUS304 with 6 kW multi-mode fiber laser.
(a) 1 m/min (b) 10 m/min

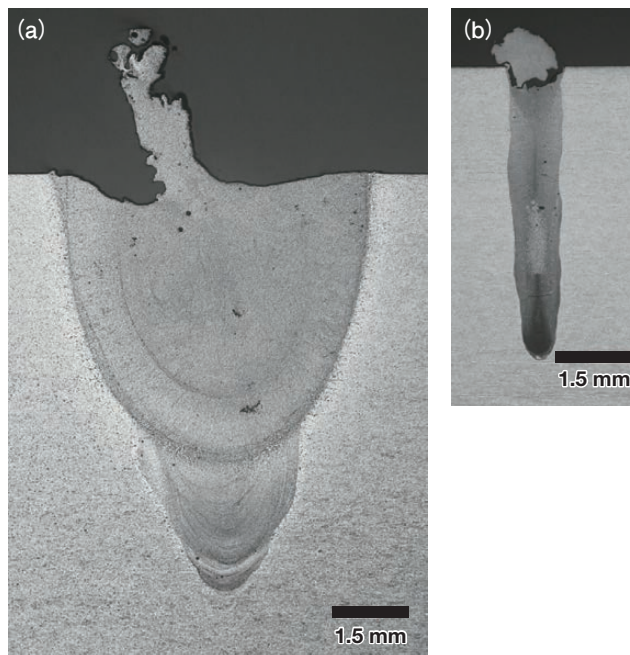


図6 6 kW マルチモードファイバレーザを用いた際のA5052の断面図
Cross-sectional view of A5052 with 6 kW multi-mode fiber laser
(a) 1 m/min (b) 10 m/min

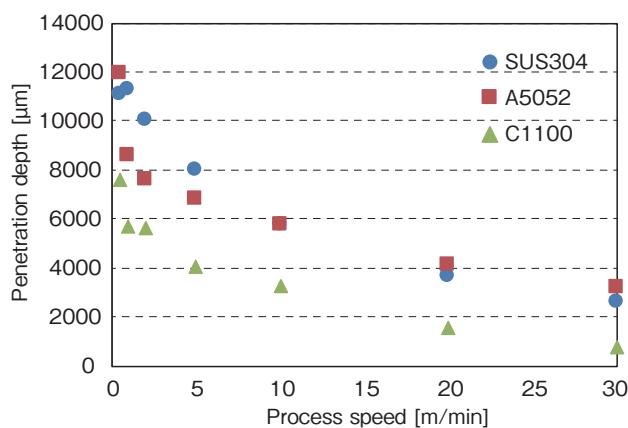


図7 6 kW マルチモードファイバレーザを用いた際の各種材料に対する溶け込み深さ
Penetration depth of some materials with 6 kW multi-mode fiber laser.

3. ビームモード制御技術

これまで述べたように、ファイバレーザはその高いビーム品質や高出力により、局所的かつ深い溶け込み深さを得ることができる。これにより、生産時のサイクルタイム改善やレーザ光が吸収されにくい材料の加工を可能にしてきた。その一方、ファイバレーザを用いた溶接時には多量の熔融金属の飛散、つまりスパッタが発生する。このスパッタは様々な溶接欠陥を引き起こし、接合強度の低下や次工程の増加を引き起こす。また、それらを使用してデバイスを製造した際に、デバイスの特性低下による歩留まりの悪化を引き起こす可能性もある。ファイバ

レーザを用いたより効率的な生産工程を提供するには、この問題を解決する必要がある。

そこで我々は、この問題に対応するために古河電子株式会社と共同でビームモード制御技術の開発を行いスパッタや溶接欠陥の抑制に成功した。本章ではそれらの中でも、亜鉛めっき鋼板および銅とアルミニウムのスパッタ・欠陥抑制に関して報告する。

3.1 鉄材料におけるスパッタ抑制

亜鉛めっき鋼板は防錆・耐食機能を付与するために自動車の車体や建材などに幅広く使用されている。しかし、この部材は、密着させて溶接すると、発生した亜鉛蒸気により図8(a)のように大量の溶接不良が発生してしまう。これは、鋼板の表面にある亜鉛めっきが鋼板の融点付近で蒸発してしまい、溶接時に蒸気として噴出してしまうためである。そのため現在は、鋼板間に0.1～0.3 mm程度の隙間を開け、その隙間から溶接時に発生した亜鉛蒸気を取り除きながら溶接する方法が主流である。この方法では、治具の複雑化や溶接個所の四方に蒸気を逃す必要があるために溶接形状の選択肢がないなどの制約があり、ファイバレーザ導入による工法の簡便化や、そもそも形状設計時の自由度がないということが問題となっている。

ビームモード制御技術の開発を進めたところ、図8(b)のように亜鉛めっき鋼板を隙間なく重ねて溶接することに成功した。また、内部に関しても図9のように内部欠陥が抑制されていることが確認できる。

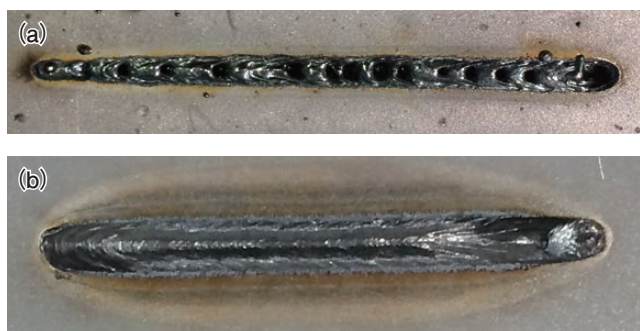


図8 亜鉛めっき鋼板の溶接ビードの様子
Optical images of welding beads on galvanized steel.
(a) ビームモード制御技術無し
Conventional focused beam
(b) ビームモード制御技術有り
With beam mode control technology

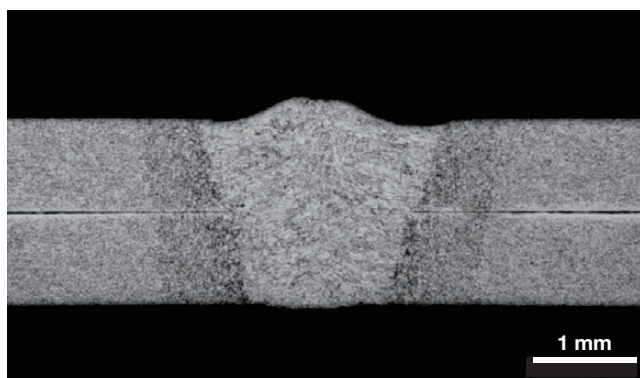


図9 ビームモード制御技術を用いた際の亜鉛めっき鋼板溶接の断面
Cross-sectional view of galvanized steel with beam mode control technology.

3.2 非鉄金属におけるスパッタ・溶接欠陥抑制

銅やアルミニウムは1070 nmのレーザ光を吸収しづらい材料であり、ファイバレーザが現れるまではレーザで加工することすら難しかった。しかし近年、これらの材料はファイバレーザの高いパワー密度により加工可能になりつつある。近年では自動車の電動化の流れもあり、自動車の軽量化に貢献できるアルミニウムや電気デバイスに多量に含まれている銅がファイバレーザで溶接加工できれば、生産効率が向上できることから非常に魅力的である。

その一方で、銅にレーザ光を当てて溶融させた場合は、スパッタ以外にも図10(a)のようにブローホールと呼ばれる表面に挟まれた穴のような欠陥ができてしまう。この欠陥ができてしまうと、外観を損ねるだけでなく、部品として使用した際に電気抵抗値の増加や熱伝導率の低下を引き起こしてしまい、最悪の場合デバイスとして機能しなくなってしまう。

この純銅に対しても最適なビームモード制御技術を開発することで図10(b)のようにブローホールの一切存在しない銅の溶接に成功した。また、この技術を応用し8 μmの銅箔を50枚重ねて溶接した結果が図11である。通常ファイバレーザで溶接した場合は図11(a)のように銅箔が破れてしまうが、ビームモード制御技術により図11(b)(c)のように破れることなく内部まできれいに溶接できていることが確認できる。またアルミニウムに関しても図12のようにスパッタの抑制が確認された。



図10 純銅板の溶接ビードの様子
Optical images of beads on plates with copper plate test.
(a) ビームモード制御技術無し
Conventional focused beam
(b) ビームモード制御技術有り
With beam mode control technology

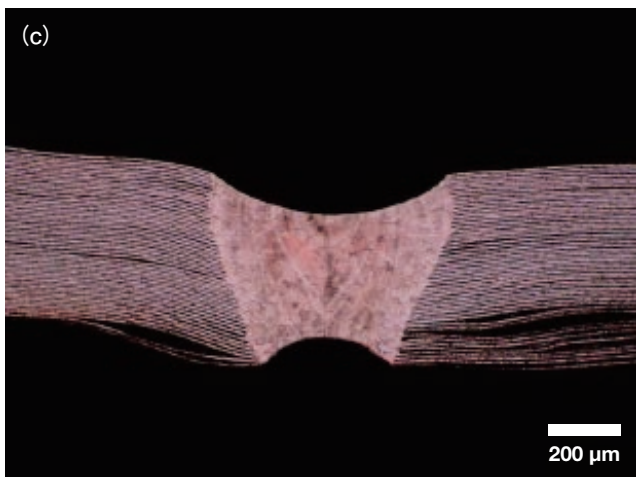
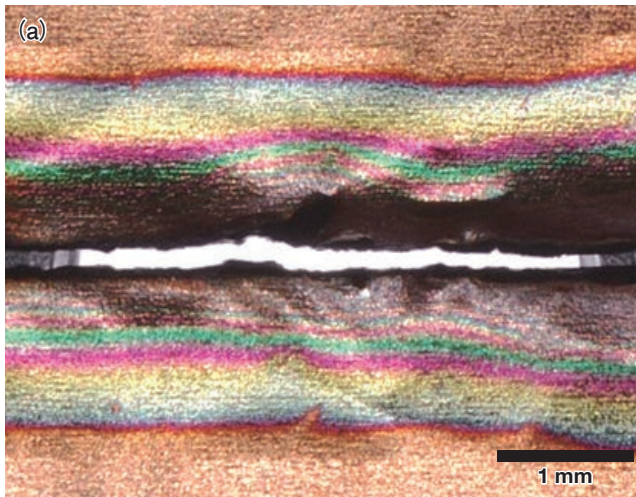


図11 純銅箔の溶接ビードの様子
Optical images of welding beads on copper foils.
(a) ビームモード制御技術無し
Conventional focused beam
(b) ビームモード制御技術有り
With beam mode control technology
(c) (b)の断面
Cross section of (b)

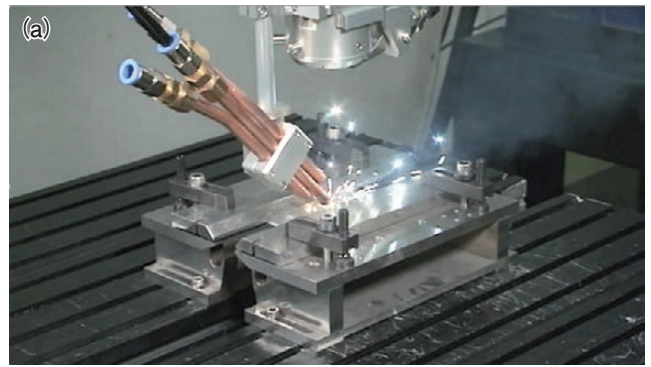


図12 アルミニウム板溶接時の様子
Welding aluminum plates.
(a) ビームモード制御技術無し
Conventional focused beam
(b) ビームモード制御技術有り
With beam mode control technology

4. おわりに

本稿では、古河電工製ファイバレーザによる基礎的な加工特性と、ビームモード制御技術により種々の材料に対してスパッタや加工欠陥が抑制できることを報告した。

これらの技術を活用することで、我々は来るEV化と高効率な生産技術を必要とする社会に対して貢献することが可能であると考えおり、これらの生産技術を広く提案していきたい。

また、さらに開発を進め、より一層魅力的なレーザ加工ソリューションを提案していきたい。