

3 kWシングルモードファイバーレーザーによるレーザー加工特性

杓名 宗春^A

Laser Welding Characteristics of Mild Steel using a 3kW Single Mode Fiber Laser Muneharu Kutsuna^A

Advanced Laser Technology Research Center Co., Ltd

Welding characteristics of laser welding of mild steel using a 3kW single mode fiber laser has been investigated in the present work. The diameter of the core fiber is 13 μ m is collimated and focused in a laser head for welding and cutting. The focal position was measured using a aluminum foil on copper plate. The penetration depth in welding of mild steel was measured at the different defocusing distances under the 2kW laser power.

The penetration depths was measured under the same defocusing distance of -3.0mm at the different laser powers Of 1kW, 2kW and 3kW. The deep penetration of 10mm was obtained at laser power of 3kW and welding speed of 0.5 or 1.0 m/min

Key Words: Single Mode Laser, Laser welding, Focal position, Deep penetration, Mild steel,

1. はじめに

シングルモードのファイバーレーザーが各国で開発され、その材料加工への応用が広まってきた。ここでは 世界最大級の 3 kW のシングルモードのファイバーレーザー装置 (IPG Photonics 社製) を用いて、軟鋼を溶接したときの溶接特性を調査した結果について報告する。

波長はほぼ YAG レーザに近い 1070 nm であり、コアファイバーの径は 13 μ m と極細で溶接加工ヘッドまでのファイバー長さは 4 m のものを用いた。また、溶接・切断用に設計されたレーザー加工ヘッドをこのレーザー装置用に試作した図 2 に示すヘッド ((株) レーザックス社製) を用いて、約 20 ~ 30 μ m 径に集光した。

まず、焦点の位置を簡便な方法で正確に計測する方法を検討し、非常に微細な径のビームの形状を把握した上で、レーザー溶接を行った。

これらの実験結果について報告する。

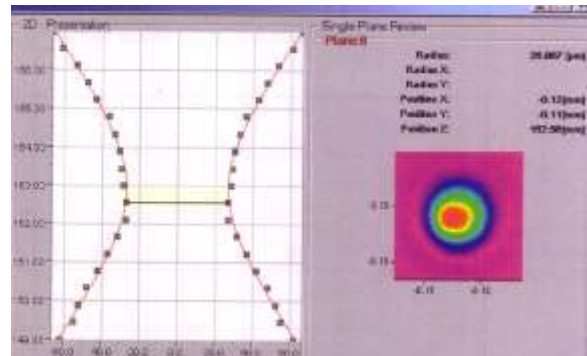
2. 3 KWSMファイバーレーザー装置特性

用いたレーザー装置の特性を次に示す。

最大レーザー出力 : 3 kW
レーザー波長 : 1070 nm
出力安定度 : $\pm 1\%$
コアファイバー径 : 13 μ m
 M^2 : 1.16

ビームの形状をビームプロファイラーで計測した結果を図 1 に示す。3 kW で焦点でのビーム半径は 26.8 μ m と微小である。

図 1 シングルモードファイバーレーザーのビーム



ムプロファイル測定結果

ビームプロファイルを見ると、マルチモード形に見られるトップハット形ではなく、むしろガウシアン形の分布をしている。ビーム径が約 30 μ m とすると、3 kW の時に出力密度は 4246 kW / mm^2 となる。これはアーク溶接のそれ (0.2 kW / mm^2) の約 2 万倍である。

発振器からコア径 13 μ m のプロセスファイバー (長さ 4 m) で加工光学系に導光した用いた加工光学系は図 2 に示すように、コリメートレンズ ($f = 150$ mm) と集光レンズ ($f = 150$ mm) を内蔵したレーザー加工トーチを用いた。集光点でのビーム径は約 20 ~ 30 μ m とと思われる。

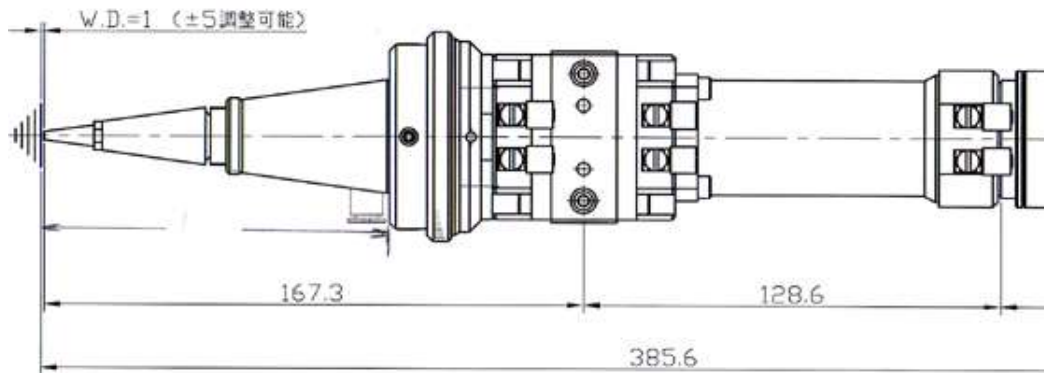


図2 3kWシングルモードファイバーレーザーに用いたレーザー加工ヘッドの形状

3. レーザビームの焦点位置の測定

固体レーザーの焦点の測定方法はなかない。そこで、従来、CO₂レーザーの時に用いたアクリルブロックを図3および4のように配置し、その上に各種の材料（感光紙、エメリー紙、アルミ箔、銅板の上にアルミ箔など）を傾斜角度15度で配置し、500Wのレーザー出力で、高速照射実験を行い、試験材料の切断溝幅（バーニング幅）を50倍のプロジェクターで測定した。図5は照射後の各材料のバーニング状況を示す。焦点がはっきり現れる材料と熱影響が大きく、ビーム径が明確で内もとがあった。比較的焦点が明確に現れたのが、銅薄板に貼り付けたアルミ箔であった。そのバーニング幅を計測した結果を図6に示す。



図3 ビーム焦点測定状況。



図4 レーザビームの焦点位置測定用治具（アクリル製）

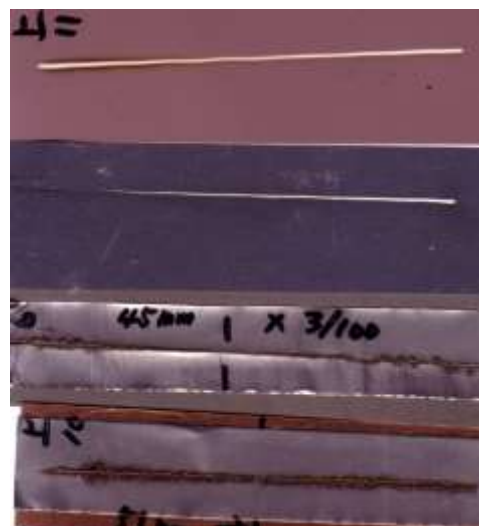


図5 各種材料のバーニング状況
（上から、感光紙、エメリー紙、エメリー上にアルミ箔、銅薄板上にアルミ箔）

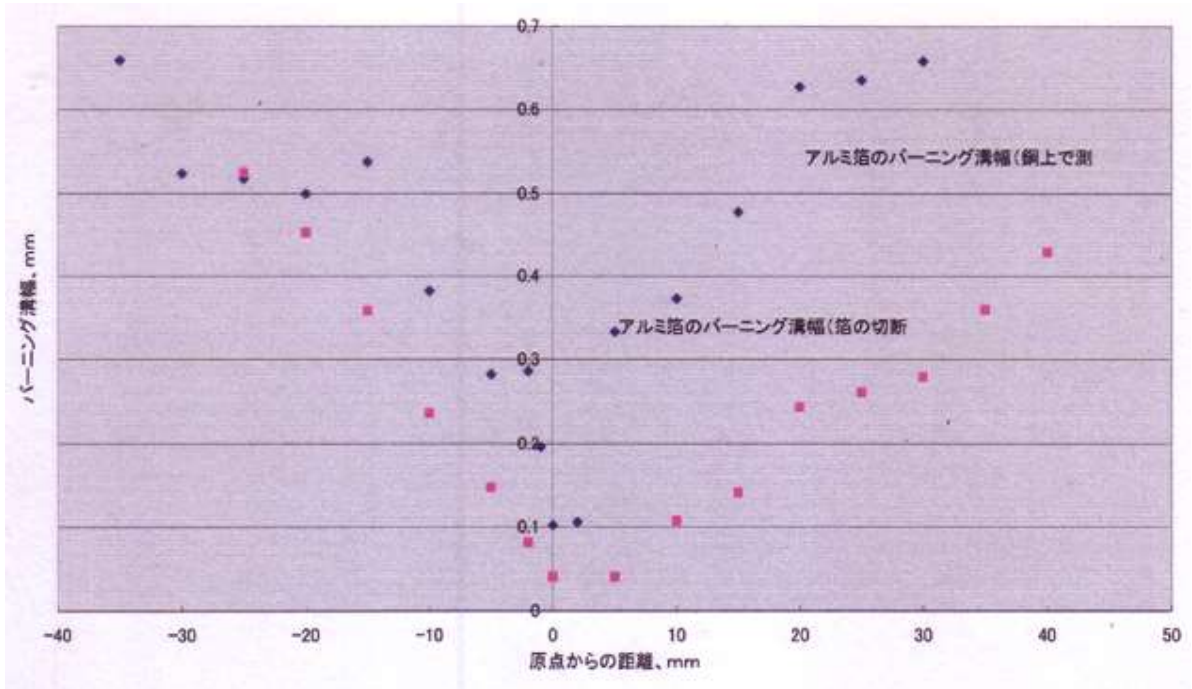


図6 ビーム焦点位置測定結果 (材料: 銅薄板上のアルミ箔のバーニング幅の測定)

バーニング幅を銅板上に現れた溝幅で測定すると、溝幅が広く現れる傾向にある。それに対して、バーニングにより除去されたアルミ箔の切断幅として溝幅を測定するとより狭い値となった。いずれも測定の原因(0点)近くに焦点位置が現れた。感光紙ではこのような焦点を明確に見つけることが困難であったが、この方法ではCO₂レーザーのように

非常に明確に焦点位置を測定できた。

4. 軟鋼のレーザー溶接実験

次に、この測定方法で測定された焦点位置からの距離を変え、レーザー出力2 kWで、溶接速度2 m/min一定として、溶接実験をおこなう。焦点はずし距離と溶込み深さの関係を求めた。その結果を図7に示す。

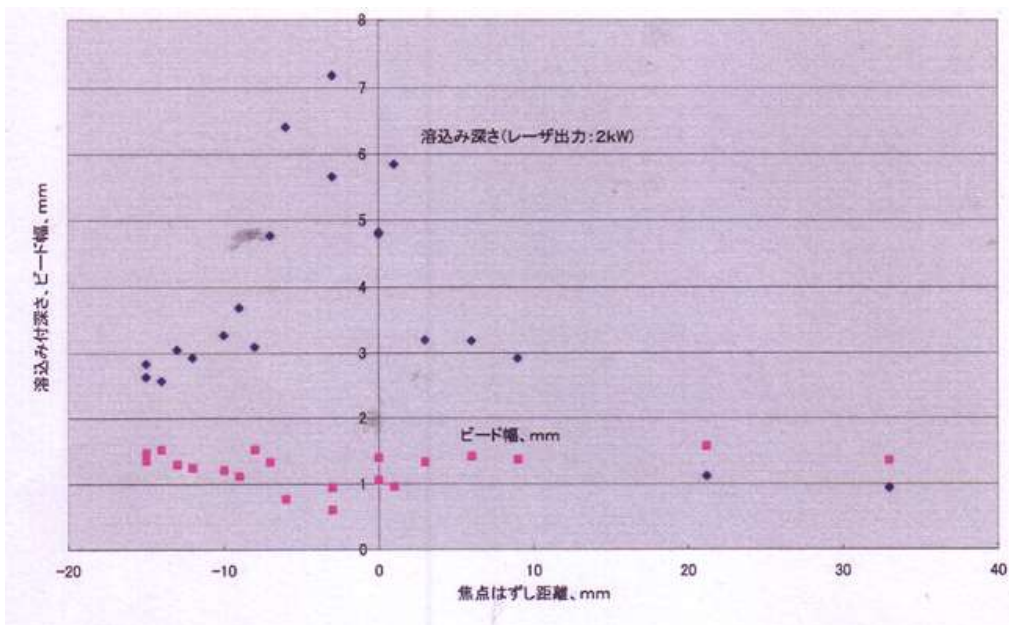


図7 焦点はずし距離と溶込み深さの関係 (出力 2 KW、溶接速度 2 m/min)

焦点はずし距離が約-3 mmのとき、最も深い溶込み深さが得られることが確認された。その時の表面ビード幅が最も小さくなるこ

とも確認された。焦点深度が深いいためか -6 mmからほぼ +1 mmまで、深い溶込みが得られた。

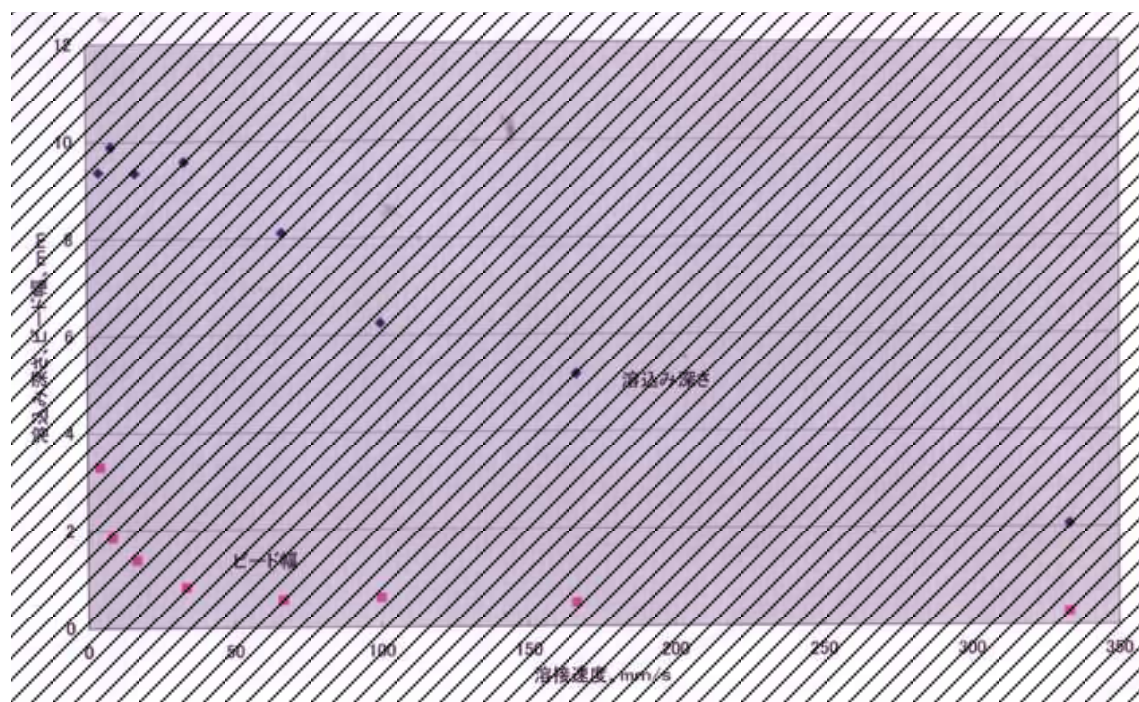


図8 3 kW シンプルモードファイバーレーザの溶込み深さとビード幅

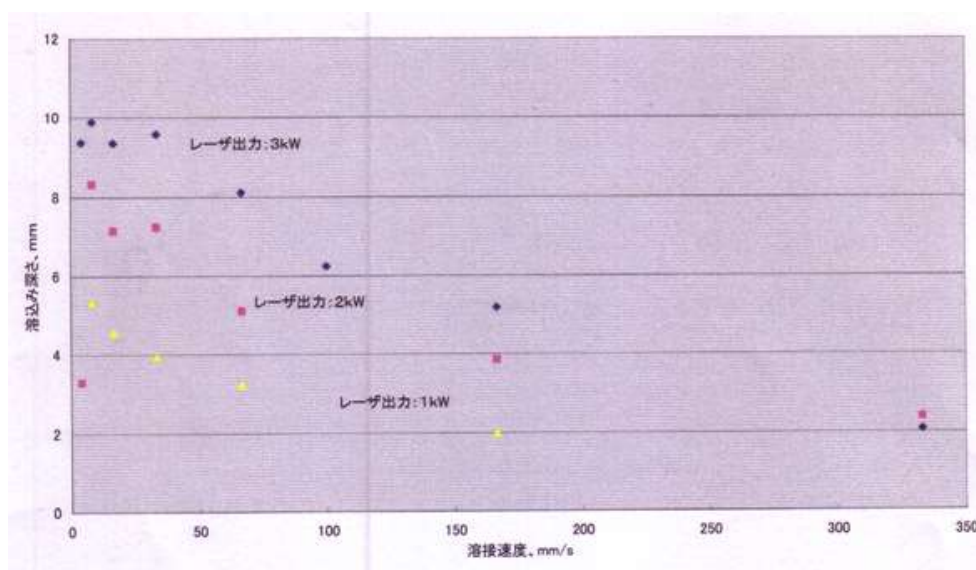


図9 レーザ出力による溶込み深さの違い

焦点はずし距離を-3 mmとして、溶接速度を0.5 m/min ~ 20 m/min の範囲で変化させた時の溶込み深さとビード幅を図8に示す。3 kWでは溶接速度20 m/minでも2.0 mmのと溶込みが確保されることが分かる。また、溶接速度が0.5 ~ 2.0 m/minの範囲でほぼ9 mm ~ 10 mmの溶込み深さが得られる。今回の溶接実験ではプラズ

マ除去ガスを用いていないので、低速度ではビード幅の急増が起こり、溶込み深さの増大がなかった。

レーザ出力が1 kW、2 kWおよび3 kWの時の溶込み深さを図9に示す。溶接速度が2 ~ 10 m/minの範囲で、2 kWに比べて、3 kWではより深い溶込み深さが確認された。ビード幅も図10に示すように1.0 mm以

下で、ビードのアスペクト比（ビード幅に対する溶込み深さの比）が10から20にも達するビードも見られた。

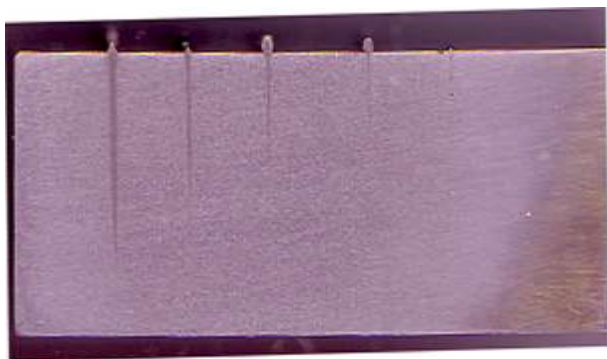


図10 3 kW SPMファイバーレーザーによる軟鋼（ $t = 11.5 \text{ mm}$ ）の溶接断面マクロ写真

図11はSUS304型ステンレス鋼（板厚：6 mm）を2 kWで溶接したときの溶接ビードの顕微鏡組織写真を示す。溶込み深さの2分でのビード幅は $250 \mu\text{m}$ で 溶込み深さは5.2 mmである。アスペクト比がほぼ20である。



図11 シングルモードレーザーによるステンレス鋼の溶接ビード例

5. まとめ

本研究は昨年暮れに日本に第1号機として導入された3 kWのシングルモードのファイバーレーザー装置の溶接特性を明らかにするために行ったものである。その結果、次のことが明らかになった。

- 1) 3 kW SPMファイバーレーザーの集光特性を確認する方法として、銅薄板上にアルミ箔を貼り付けし、15度の傾斜角度を持たせて行う方法は有効である。
- 2) 3 kW SPMファイバーレーザーにより板厚10までの軟鋼中厚板のレーザー溶接が可能であることを確認した。
- 3) 3 kW SPMファイバーレーザーにより軟鋼のレーザー溶接により得られる溶接ビードは溶接速度 2 m/min 以上では、アスペクト比が10から20と高いものになった。

以上