

高出力・高輝度青色レーザーの特徴と加工性能

High Power and High Brightness Blue Lasers – Features and Processing Performances

1. はじめに

世界的に自動車の電動化が進められています。自動車は運輸手段の中で二酸化炭素排出の多くの部分を占めており、カーボンニュートラルの実現において重要だからです。そのため、各国は継続的な政策支援を通じて電動化を推進しています。

電動車には導体として銅材が多く使用されます。この銅材は、一般的な波長1070 nm帯の近赤外(infrared: IR)ファイバレーザでは高品質な溶接が難しいことが知られています。これは銅材に対して近赤外光の光吸収率が非常に低く、銅の溶融が生じないことが原因です(図1)。

そこで、当社は青色半導体レーザとファイバレーザを組み合わせたBlue-IRハイブリッドレーザ発振器「BRACE®」を日亜化学工業株式会社と共同開発し、従来のファイバレーザのみを用いた溶接と比較して、スパッタの発生を低減し、安定した深い溶け込みが得られる溶接技術を確立しました。

当社はさらに青色レーザの高出力・高輝度化を共同開発で進めてきました。その結果、青色レーザ発振器として、光出力が700 WのBR0700と世界最高レベルの光出力5 kWを実現したBR5000を開発しました。どちらも7.1 MW/cm²の高パワー密度が得られます。これにより、青単色でのレーザ加工を可能としました。本稿では青色レーザ発振器の特徴と銅の加工性について紹介します。

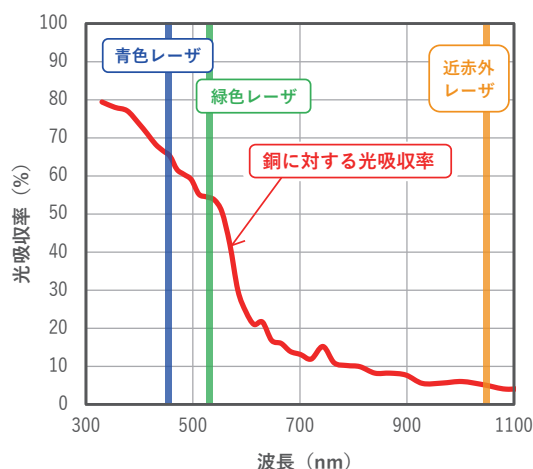


図1 銅の光吸収率の波長依存性¹⁾
Wavelength dependence of light absorption rate of copper.

2. 古河電工の青色レーザ発振器の紹介

当社はBlue-IRハイブリッドレーザ発振器BRACE Iを2021年から発売しました。その後も引き続き、青色レーザの高出力・高輝度化を進め、2024年には世界最高レベルの光出力5 kWを実現した青色レーザ発振器BR5000を開発しました。BRACE Iの青色レーザの光出力が150 Wだったのに対してBR5000の光出力はその約33倍です。パワー密度は7.1 MW/cm²であり、BR0700も同等のパワー密度を実現しています。本章では青色レーザ発振器BR0700とBR5000のそれぞれの特長について説明します。

図2に当社のBR0700の外観を示します。BR0700はファイバ出力800 Wの青色LDM (Laser Diode Module) を1個搭載しています。ファイバコア径はφ110 μm, BPP (Beam Parameter Product) は12 mm·mradです。この製品は電池箔溶接や被膜除去ができます。

図3にBR5000の外観を示します。BR5000には光出力800 Wの青色LDMを7個搭載しています。低損失・高効率ビームコンバイナ技術を適用し、7個の青色LDMからの出力光を光ファイバのままBCM (Beam Combiner Module) を介して1本の光ファイバに結合することにより、QBH (Quick Buttons and Holder) と呼ばれるコネクタ端から光出力5 kWのレーザ光を出射します。光ファイバのコア径はφ300 μm, BPPは33 mm·mradです。この製品は青色単色によって厚さ1.5 mm程度の銅材を溶接加工することができます。



図2 BR0700の外観
External view of BR0700.



図3 BR5000の外観
External view of BR5000.

3. BR0700と適用事例

最初に述べた電気自動車が普及すると最も重要となるのが動力源となるモータです。モータの製造工程には銅平角線の被膜剥離と除去された銅平角線同士の溶接の工程があります。銅平角線の被膜剥離では金型を使った機械剥離が主流となっています。銅平角線同士の溶接は、モータのステータコアの両側スロットから端子部の被膜を剥離した平角線を挿入し、端子同士を溶接してコイル形成を行う工程に用いられます。

被膜剥離の工法の課題として、銅導体の断面積の減少、金属と樹脂の混ざった削りくずの発生、金型の摩耗の3つが挙げられていました。

これに対し、当社はこれまでBR0400を使用した、レーザーによるPI (Polyimide) 被膜の除去を新工法として提案してきました。この工法によって、導体に対して損傷・ダメージなし、削りくずなし、レーザー剥離のため金型が不要と、上記の3つの課題がすべて解決します。

レーザーによる平角線の被膜除去はハッチングすることでPIの被膜を除去します。レーザー走査速度は走査光学系で決まってしまうため、ハッチングする回数を如何に減らすことができるかが、サイクルタイムに大きく影響します。今回、BR0700を使用することで加工時間を従来のBR0400を使用したときの2/3にまで減少させることができました。

図4に実際に被膜除去をしたサンプルの表面状態を示します。これを見ると、BR0700で被膜剥離をしたサンプルはBR0400で剥離したものと遜色のない剥離ができていることが分かります。これが可能となった理由はBR0700のパワー密度が1.75倍になり、効率よくPIを燃焼させることができるためです。



図4 被膜除去後のサンプル
(a) BR0400両面照射, (b) BR0700両面照射
Surface states after removing PI coating of copper rectangular magnet wire, (a) by BR0400, and (b) by BR0700, each by both side laser irradiations.

4. BR5000と適用事例

本章ではBR5000を用いた銅板の重ね溶接と平角線の溶接に適用した事例について紹介します。

当社はファイバレーザを用いた銅加工で様々な開発をしてきました。前述の様に、ファイバレーザのみを用いた銅材溶接では、銅のIR光吸収率が小さいことが原因でスパッタが多く発生し、溶け込み深さが安定しないことが知られています。

一方、BR5000の波長(465 nm)では銅の光吸収率が65%と非常に大きいため、安定的な光吸収により理想的な溶融地が形成されます。これによって、ファイバレーザよりも少ないスパッタで加工することが可能です。また、2024年までは青色レー

ザの最高光出力は2 kWでした。そのため、熱伝導溶接しかできませんでした。最高光出力5 kWを実現したBR5000によって板厚1 mmの銅板の重ね溶接が可能となりました。

図5に銅製のバスバを想定した板厚1 mmの銅板を2枚重ねて表面上をジャストフォーカスとした場合の溶接ビード写真を示します。材質は無酸素銅です。図5(a)がファイバレーザのみで照射したもの、図5(b)がBR5000で照射したものです。図5(a)を見ると、ビード幅が安定せず、スパッタが飛散した跡や穴状のピットが観察できます。一方、図5(b)の方は、ビード幅が安定しており、一部ではファイバレーザで溶接したものに比べて、ビード幅が広がっています。このことから、溶接界面の接合面積はBR5000を用いた図5(b)の方が広がっていることが考えられます。また、図5(b)にはスパッタの飛散跡が少なく、ピットなど溶接不良も観察されません。この例が示す様に、無酸素銅の重ね溶接はファイバレーザに比べて青色レーザの方が高品質な加工を行うことができます。

図6にPEEK (Poly Ether Ether Ketone) 被覆付き平角銅線の平角線溶接部の写真を示します。平角線溶接とは前述のステータコアのコイル形成で必要となる工程で、ステータコアに銅製の平角線を挿入し、端子同士を溶接することです。この平角線溶接は一つのステータコアに対して、溶接個所が数百点以上となるため、非常に厳しいサイクルタイムが求められます。また、電気伝導度や強度も必要となるため、高速かつ高品質加工が求められます。

当社は従来、光出力6 kWのファイバレーザに回折光学素子(diffractive optical element: DOE)を用いたり、Blue-IRハイブリッドレーザ発振器で複雑な軌跡を描くことで銅平角線に対する溶接条件を最適化してきました。一方、今回のBR5000を用い

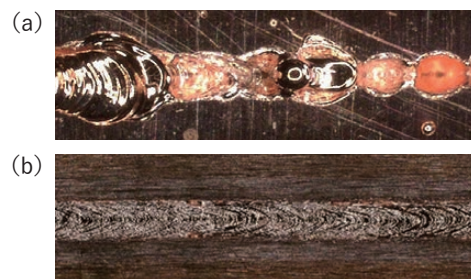


図5 レーザ溶接した純銅板表面
(a) ファイバレーザのみ, (b) 青色レーザのみ
Optical images of weld beads for laser welded on the surface of pure copper plates, (a) by fiber laser only, (b) by blue laser only.

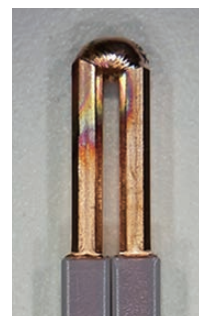


図6 PEEK被覆付き平角線溶接部
Optical images of welded copper rectangular magnet wires with PEEK coating.

るとファイバレーザーより高速で効率的に熱を投入することが可能で、かつDOEや複雑な軌跡を必要とせず定点照射のみによって平角線溶接が可能となります。その結果、簡略化によって一つのヘヤピンあたりの溶接時間を20%短縮できることを実証できました。これによってBR5000が求められている高速・高品質加工により適したアプローチであることを確認しています。

5. 先進レーザー加工ソリューションラボの紹介

上述のBR0700およびBR5000は愛知県刈谷市にある先進レーザー加工ソリューションラボ（通称：CELL）にてお客様のサンプルを持ち込んで要素実験を行うことが可能です。このラボは当社と日亜化学工業株式会社が共同で運営しており、高出力・高輝度青単色レーザーはじめ高出力のIRレーザー、Blue-IRのハイブリッドレーザーが集約されています。お客様のレーザー加工の要求によって適切なレーザー発振器を選択いただくことが可能で、X線や断面観察など評価も一貫して行うことができます（図7）。



先進レーザー加工ソリューションラボ
Cutting-Edge Laser processing solution Lab.
通称：**CELL**

図7 先進レーザー加工ソリューションラボ
Cutting-Edge Laser processing solution Lab.

6. おわりに

本稿で述べた通り、当社の高出力・高輝度青色レーザーは競合他社にはない高い集光性を持った高パワー密度の製品であり、様々な製品の高品質加工や高速化の実現に寄与すべく開発を進めています。

今後もさらなる高パワー密度化を行うことで、様々なソリューション提案ができるよう努力して参ります。

＜製品お問い合わせ先＞

営業統括本部中部支社

電装エレクトロニクス営業部 産業レーザー営業課

TEL：0566-91-4103

お問い合わせフォーム：

<https://inquiry-fec-form.spiral-site.com/fiberlaser>

参考文献

- 1) Spisz, E. W., Weigand, A. J., Bowman, R. L., & Jack, J. R.: "Solar absorptances and spectral reflectances of 12 metals for temperatures ranging from 300 to 50K" NASA Technical Note, SCIENTIFIC AND TECHNICAL INFORMATION DIVISION NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, D-5353, 18 (1969).