

# リチウムイオン電池製造 プロセスにおける レーザー加工技術

古河電気工業(株)  
松永啓伍, 松本暢康

## 1 はじめに

持続可能な開発目標 (SDGs) の達成に向け、CO<sub>2</sub>排出量の少ない電動車 (xEV) の導入が世界中で進んでいる。さらに、アフターコロナの世界において、人による感染を抑えることができる自動運転車の要望が強まり、自動運転と親和性の高いxEVの普及はより加速すると考えられる。その中でxEVの主要な構成要素であるリチウムイオン電池の需要も増加しており、高い生産性と高性能化が求められている。図1に角型リチウムイオン電池の製造工程の例を示す。当社ではこの製造工程のうち、①電極切断②電極の積層溶接③集電部の接合溶接④パッケージの封止溶接⑤モジュール化・バスバーの溶接に着目し、様々なファイバーレーザーと革新的な独自技術を組み合わせることでソリューション提案を行っている。

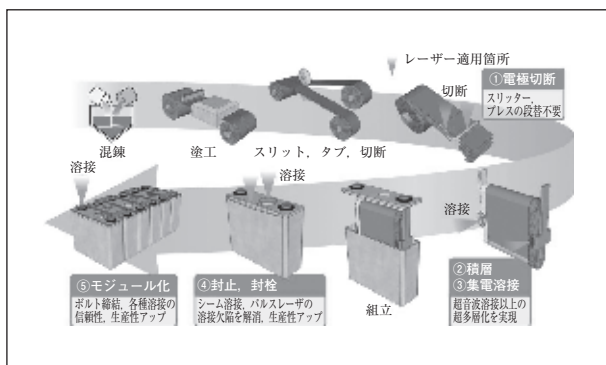


図1 角型リチウムイオン電池製造工程の例

本稿では古河電工のファイバーレーザーの特徴と、それらを用いた加工アプリケーション事例について報告する。

## 2 古河電工のレーザー技術

### 2.1 古河電工製ファイバーレーザーの特徴

古河電工では励起用半導体レーザーや特殊ファイバー等の開技術を基盤として、ファイバーレーザーの高出力化や高ビーム品質化を実現してきた。現在においては、近赤外の波長 (1070 nm) で発振するシングルモードレーザーで1.5 kW, マルチモードレーザーで12 kWまでを製品化している。図2に1.5 kWシングルモードレーザー、図3に12 kWマルチモードレーザーの外観写真を示す。

当社は、通信分野で培われた高い部品品質と独自のコ



図2 近赤外1.5 kWシングルモードレーザー



図3 近赤外12 kW マルチモードレーザー

ンバイナ構造により、各出力において従来のファイバーレーザーよりも小さい伝送ファイバーコア径を実現し、より安定且つ高ビーム品質を有するファイバーレーザーを提供している。シングルモードレーザーでは伝送ファイバーコア径 $\phi 14 \mu\text{m}$ 、光出力端における典型的なビーム品質はBPPで $0.36 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$  ( $M^2=1.06$ ) と $M^2$ が1に近く良好な集光特性を有している。また、マルチモードレーザーの伝送ファイバーコア径はレーザー出力毎にラインナップを取り揃えており、ファイバーコア径 $\phi 50 \mu\text{m}$ で出力 $\sim 4 \text{ kW}$ 、 $\phi 80 \mu\text{m}$ で出力 $\sim 9 \text{ kW}$ および $\phi 100 \mu\text{m}$ で出力 $\sim 12 \text{ kW}$ まで対応している。ファイバーコア径 $\phi 50 \mu\text{m}$ 、 $\phi 80 \mu\text{m}$ および $\phi 100 \mu\text{m}$ のマルチモードレーザーの典型的なビーム品質は、BPPで $1.7 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$  ( $M^2=5.0$ )、 $3.0 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$  ( $M^2=8.8$ ) および $3.5 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$  ( $M^2=10.3$ ) である。

これらの近赤外レーザーに加えて、2020年6月に日亜化学工業(株)と高出力青色レーザーダイオードモジュールを共同開発し、高出力青色レーザー発振器(波長465 nm)と近赤外シングルモードレーザー(波長1070 nm)を組み合わせたBlue-IRハイブリッドレーザーを2021年1月に製品化する予定である。本レーザーの特徴については後述する。

## 2.2 ビームモード制御技術

ファイバーレーザーは、その高いビーム品質や高出力といった特徴から、局所的かつ深い溶け込み深さを得ることができる。しかし、高いパワー密度によって形成されるキーホールは、溶融池内部に急激な温度変化と激しい対流を引き起こすことが知られている。このような不安定な溶融池はブローホールやスパッタなどの溶接欠陥の原因となり、接合強度の低下や検査工程などの後工程の増加を引き起こす<sup>1)</sup>。ファイバーレーザーを用いたより高効率・高品質な溶接を実現するためには、この課題を解決する必要があった。

そこで我々は溶接欠陥等の課題解決のため、ビームモード制御技術の開発を行っている。当社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任意の光強度分布に制御することが可能であり、従来のビームモード制御素子では実現できなかった高いレーザーパワー耐性とビーム変換効率を備えている。これまでも、当社の1.5 kWシングルモードレーザーから12 kWマルチモードレーザーまで、広い出力範囲のレーザーを用いた加工に適用されており、自動車用亜鉛めっき鋼板溶接時の溶接品質改善や、純銅溶接時のスパッタ抑制に効果があることが確かめられている<sup>2)</sup>。

## 3 電極箔の切断

リチウムイオン電池の電極集電体は銅箔(負極)とアルミ箔(正極)であり、その箔の両面または片面にリチウムイオンを放出・吸収するための活物質が塗布されている。製造工程においてはこの電極箔をロールtoロールでタブ形状に切断する必要がある。レーザーを用いた切断加工では、従来のスリッターやプレスによる機械加工と比較して、刃物や金型などの消耗品の交換などのメンテナンスが不要であり切断軌跡を容易に変更可能なことから、生産性の向上及び仕様変更のコスト削減が可能である。一方で、レーザーを用いた切断では切断品質の確保が課題となっていた。

図4(a)に、 $21 \mu\text{m}$ に集光したシングルモードレーザーを用いて速度 $2 \text{ m/sec}$ 、出力 $1500 \text{ W}$ の条件で厚さ $10$

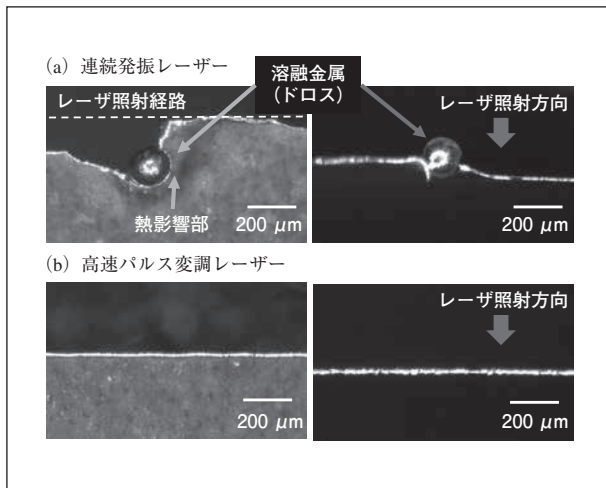


図4 レーザー切断した銅箔の表面画像と切断断面画像

μmの銅箔をレーザー切断した際のレーザー照射表面画像と切断断面画像をそれぞれ示す。図4 (a) から、中央部に熔融した銅箔が固まったドロスになり、ドロスを中心に熱変色していることがわかる。このように、連続発振のレーザーを用いた切断加工では切断時の投入熱量が過剰になり、切断品質が低下することがある。そこで我々は、連続発振シングルモードレーザーを200 kHz以上で超高速パルス変調させて切断する手法を開発した。本手法を用いることで、数十μmの微小なビーム径と数kWのピーク出力を保ったまま最適な投入熱量に制御することができ、最小限の熱影響での切断が可能となる。図4 (b) に、超高速パルス変調を用いて切断した際の銅箔の観察画像を示す。図4の (a) と (b) を比較すると、ドロスの発生がなくなり、熱影響を抑えることができることがわかる。

本手法は、活物質が塗布された金属箔にも有効である。図5に、厚さ20 μmのアルミ箔の両面に活物質を塗布した総厚み100 μmのサンプルに対して、連続発振レーザー、超高速パルス変調レーザーで切断した加工断面画像をそれぞれ示す。図5 (a) の結果から、入熱が過剰になることで発生した熔融金属が付着し、活物質層-アルミ層-活物質層の境界が不明瞭となった。一方で、図5 (b) の断面図ではそれらの境界をはっきりと確認することができ、熱による影響を低減できていることがわかる。

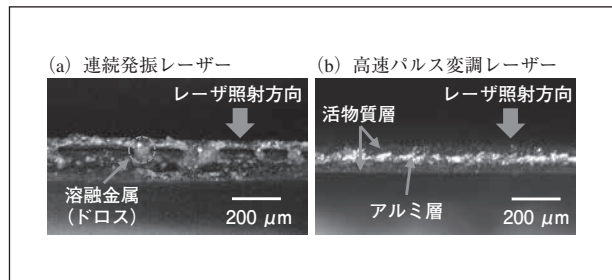


図5 レーザー切断した活物質塗布アルミ箔の断面画像

## 4 パッケージの封止溶接

角型のリチウムイオン電池の製造工程では、集電部が一体化したバッテリーセルをアルミニウム合金のパッケージに挿入し、電解液を注入して封止する。バッテリーセルの気密が取れていない場合、電解液の漏えいや湿度の侵入による性能低下につながるため、封止工程での気密性はリチウムイオン電池の品質に大きな影響を与える。しかし、アルミニウム合金溶接全般として、表面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、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った。また、鉄鋼材料と比較してファイバーレーザー波長の反射率が高く高パワー密度が必要なこと、熔融したアルミニウム合金の粘性が低いことから安定な溶接が難しいとされていた。

我々は当社独自のビームモード制御技術を10 kWマルチモードレーザーに適用し、溶接条件を最適化することでブローホールなどの溶接欠陥を大幅に抑制することに成功した。図6にアルミニウム合金 (A6061) の板厚2 mm同士の非貫通重ね溶接のビード外観と断面観察結果を示す。図6 (a) はレーザー出力5 kW、溶接速度3 m/min、図6 (b) はレーザー出力10 kW、溶接速度8 m/minの場合の結果である。いずれの条件もビームモード制御を用いているが、ビームモードやその他条件が不適切である場合はブローホールが発生しやすい。材質、板厚に応じて、レーザー出力、溶接速度および最適なビームモードを選択することで良好な接合状態を得ることが可能となった。

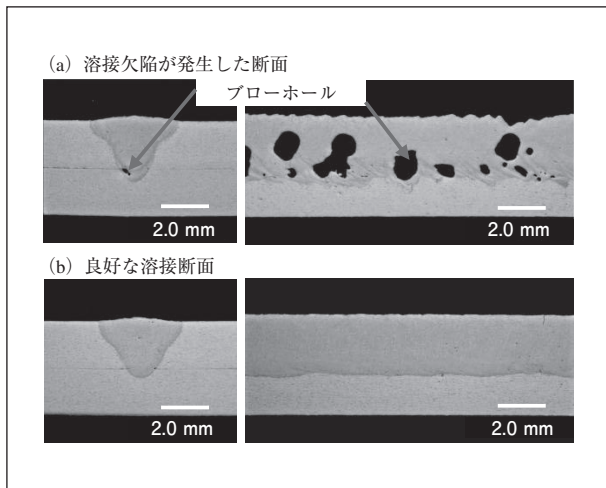


図6 2 mm厚の6000系アルミニウム合金の重ね溶接断面

## 5 Blue-IRハイブリッドレーザーを用いた加工

### 5.1 Blue-IRハイブリッドレーザーの特徴

これまで見てきたように、近赤外ファイバーレーザーを用いて様々なアプリケーションが可能である。一方で、赤外領域では図7に示すように銅に対する吸収率が低い<sup>3)</sup>ため、銅を加工する際に溶融池が安定せず、スパッ

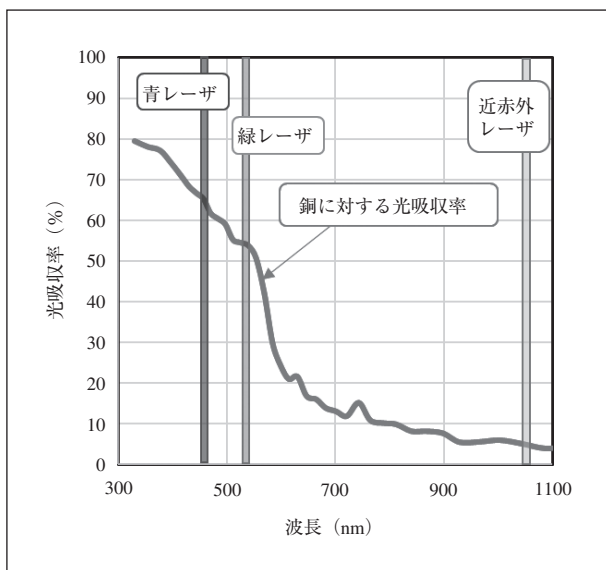


図7 波長に対する各種金属の光吸収率変化

タやブローホール等の溶接欠陥が多く発生するという課題がある。これらの溶接欠陥を抑制した銅加工に有効とされ、開発が進められているのが銅への吸収率の高い青や緑などの短波長レーザーを用いた加工技術である。しかし、これらのレーザーによって得られる溶融は「熱伝導型」といわれるモードであり、近赤外ファイバーレーザーによる加工で得られる「キーホール型」溶融モードと比較して高品質加工が得られる一方、溶け込み深さには課題が残る。特に熱伝導率の高い銅などの金属材料では、吸収した熱エネルギーがワーク全体へ広がりやすく、溶け込み深さへの課題は顕著である。そのため、溶接可能な加工対象の厚さも他の金属に比べ限定的である。また、より深い溶け込みを得るには加工速度が極端に遅くなってしまう可能性がある。

当社では、加工品質および溶け込み深さ（または加工速度）を両立する技術として、近赤外シングルモードレーザーと青色レーザーのBlue-IRハイブリッドレーザー技術を開発した。本技術は1070 nm波長のファイバーレーザーと450 nm波長の青色半導体レーザー、およびこれらを合波する加工光学ヘッドを組み合わせることで実現した。加工光学ヘッドを通してレーザー光を純銅表面に照射すると、吸収率の高い青色レーザーによって安定溶融を起こすと同時に、高ビーム品質であるファイバーレーザー由来の深溶け込みを達成することができた。

### 5.2 加工事例

図8に純銅に対する近赤外シングルモードレーザーのみ、およびBlue-IRハイブリッドレーザーによるビードオン加工結果をそれぞれ示す。加工条件は青色レーザーの有無以外はすべて同条件である。ビード表面写真から明らかなように、Blue-IRハイブリッドレーザーを用いることで、近赤外ファイバーレーザーのみでの加工における課題であったビードの乱れやスパッタの発生を抑制し、高品質加工が得られることがわかる。さらに加工部の断面写真より、近赤外ファイバーレーザー単体では得られないようなアスペクト比の高い深溶け込みを実現している。

このように、Blue-IRハイブリッドレーザーは純銅の加工に対する最適なソリューションの提供が可能であ



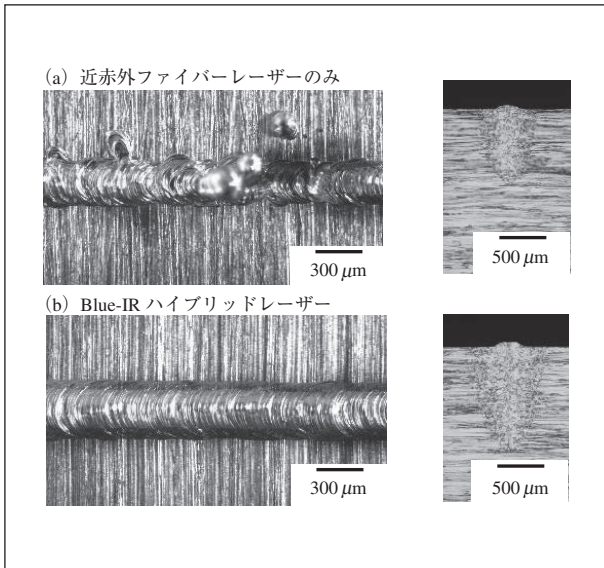


図8 純銅のビードオン加工結果

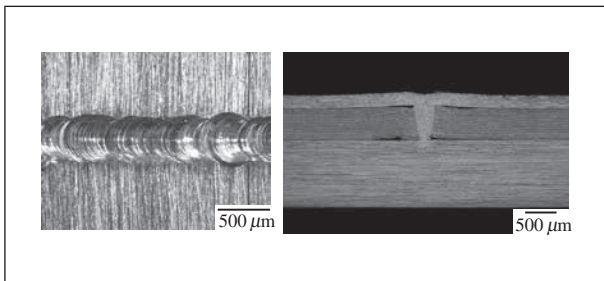


図9 銅箔50枚と銅板2枚の重ね溶接結果

る。さらにBlue-IRハイブリッドレーザーでは各レーザーの加工条件を個別に設定することで、様々な加工対象に応じた加工ソリューションの提供が可能であるという利点を持つ。

図9に、電池集電体の溶接を模擬して銅箔50枚を2枚の銅板で挟み込んだ構造を溶接した結果を示す。Blue-IRハイブリッドレーザーの特徴である高品質加工と深溶け込みの両立によって、スパッタやブローホールといった欠陥のない良好な溶接を達成している。

## 6 まとめ

近年、xEV向けの用途を中心にリチウムイオン電池の需要が増大する中、レーザーを用いた生産性の向上に大きな期待が寄せられている。古河電工では、様々なレーザーと独自技術を用いたりチウムイオン電池の製造工程に適用可能なレーザー加工ソリューションを保有しており、その中から顧客の個々の課題に合わせた提案が可能である。

### 参考文献

- 1) 片山聖二, "1-4 レーザ溶接." 溶接学会誌78.2 (2009): 124-138.
- 2) 茅原崇, et al. レーザ加工学会誌 = Journal of Japan Laser Processing Society 27.2 (2020): 89-94.
- 3) Spisz, Ernie W. National Aeronautics and Space Administration, (1969).

### ■ Laser processing in the lithium-ion battery manufacturing process

- ①Keigo Matsunaga ②Nobuyasu Matsumoto
- Furukawa Electric Co., Ltd.

①マツナガ ケイゴ ②マツモト ノブヤス  
所属：古河電気工業株