

SCiB™の長寿命と高信頼性を実現するレーザー溶接技術

Laser Welding Technologies for Realization of Long Lifetime and High Reliability of SCiB™ Infrastructure Battery

岡田 直忠

■ OKADA Naotada

東芝が開発したインフラバッテリー(注1) SCiB™は、軽量、長寿命、及び高信頼性を確保するため、レーザー溶接により封止接合されたアルミニウム合金製のセル構造体(容器)を採用している。

アルミニウム合金のレーザー溶接は不安定になりやすく溶接欠陥も生じやすい。そのため、パルス発振レーザーを用いた溶接では特殊なパルス波形を用いている。より高速な溶接を実現するため、高出力の連続発振レーザーを用いた溶接技術も開発している。

Through the application of laser welding technology to shield the aluminum-alloy bodies of the battery cells, the SCiB™ infrastructure battery developed by Toshiba achieves light weight, long lifetime, and high reliability. However, the welding of aluminum alloy using conventional pulsed lasers generally tends to be unstable and a cause of welding defects including cracks.

As a solution to this issue, we have developed a laser welding technology applying a pulse laser with a shaped-pulse waveform to obtain stable welding without defects. We are now developing a welding technology for larger batteries using a high-power continuous-wave (CW) laser to increase the welding speed.

1 まえがき

東芝は、安全で長寿命のインフラバッテリーとしてSCiB™を開発し、車載用途及び大型定置用途に提供を開始している(1)。SCiB™標準セルの外観と構造的特徴(2)を図1に示す。

SCiB™では、セル構造体(容器)に軽量で放熱性の高いアルミニウム合金を採用し、長寿命と高い信頼性を確保するた

樹脂シールした端子

- ・衝撃に強い

端子を片方向に配列

- ・バック化が容易

缶とキャップ体をレーザー溶接


- ・気密性が高い
- ・信頼性が高い

アルミニウム合金製の缶を採用

- ・軽量
- ・冷却効率が高い

レーザー溶接端子

- ・低抵抗
- ・信頼性が高い
- ・自動化が容易

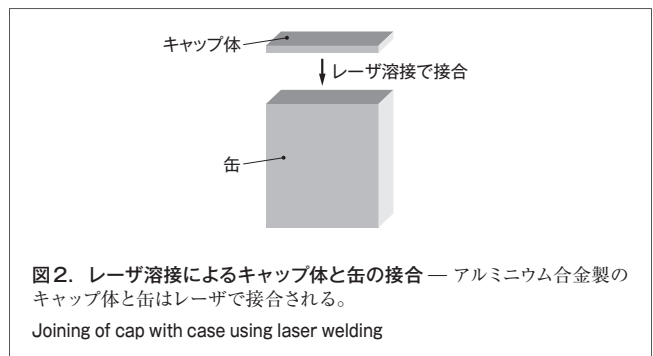


項目	仕様
公称電圧	2.4 V
公称容量	4.2 Ah
質量	155 g
外形寸法	62(幅) × 95(高さ) × 13(奥行き) mm

図1. SCiB™標準セルの外観と構造上の特徴 — SCiB™はアルミニウム合金製の缶を採用しており、軽量化と高い放熱性を実現している。レーザー溶接は缶とキャップ体の接合などに用いられており、高い気密性と信頼性を実現している。

Specifications and structure of SCiB™ cell battery

(注1) 車載用設備や定置型蓄電設備など社会インフラとして用いられる二次電池。



め、図2に示す缶とキャップ体の接合など、セル構造体の封止接合にレーザー溶接を用いている。

アルミニウム合金の場合、軟鋼やステンレス鋼に比べてレーザー溶接が不安定になりやすく、クラックなどの欠陥も生じやすいため、従来からアルミニウム合金に適したレーザー溶接技術の開発が進められてきている。ここでは、当社が持つレーザー溶接技術について述べる。

2 レーザ溶接技術

レーザー溶接の方法には、図3に示すように、パルス発振レーザーを用いた方法と連続発振レーザーを用いた方法がある。それぞれの溶接システムの仕様と性能の比較を表1に、また、それぞれの溶接システムの概要を図4に示す。

以下では、それぞれの溶接方法について、装置の構成と溶接条件を詳しく述べる。

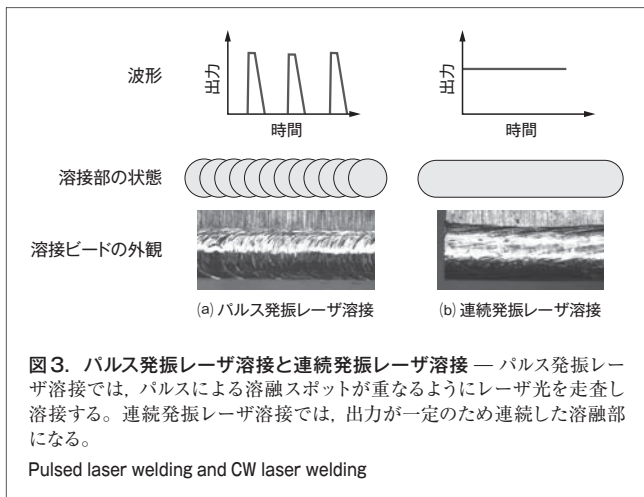
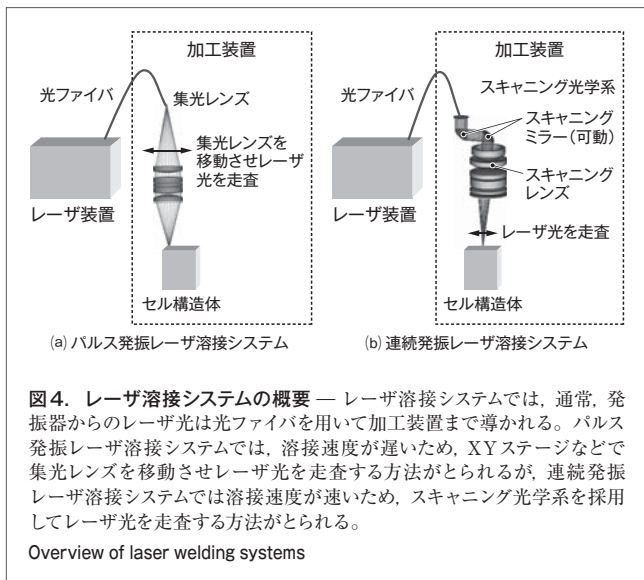


表1. パルス発振レーザーと連続発振レーザーの比較
Comparison of specifications of pulsed laser and CW laser

項目	仕様・性能	
	パルス発振レーザー	連続発振レーザー
レーザー媒体	Nd: YAG ロッド	Yb: YAG ディスク Yb: ファイバ
励起光源	Xeフラッシュランプ	赤外半導体レーザー
出力 (kW)	0.3~0.6	2~4
伝送ファイバのコア径 (mm)	0.4~0.6	0.1~0.2
ウォールプラグ効率 (%)	2~3	20~30
溶接速度 (mm/s)	40以下	200以上
最大溶込み深さ (mm)	0.5以下	1以上

Xe: キセノン



3 パルス発振レーザーによる溶接技術

3.1 パルス発振レーザー溶接システム

フラッシュランプ励起のパルス発振Nd (ネオジウム) : YAG

(Yttrium Aluminum Garnet) レーザ⁽³⁾には、レーザー媒体としてはロッド型のYAG結晶が用いられ、発振波長は1,064 nmである。また、レーザーの平均出力は600 W以下のものが一般的である。

電池缶のアルミニウム合金を安定に溶接するためには、後述するように、特殊なパルス波形を用いる必要がある。そのため、スイッチング電源によりパルス波形を自由に設定できる波形制御機能を備えたレーザーを採用した。使用されるレーザーパルスは、ピーク出力が3~5 kW、パルス幅が2~5 ms程度である。

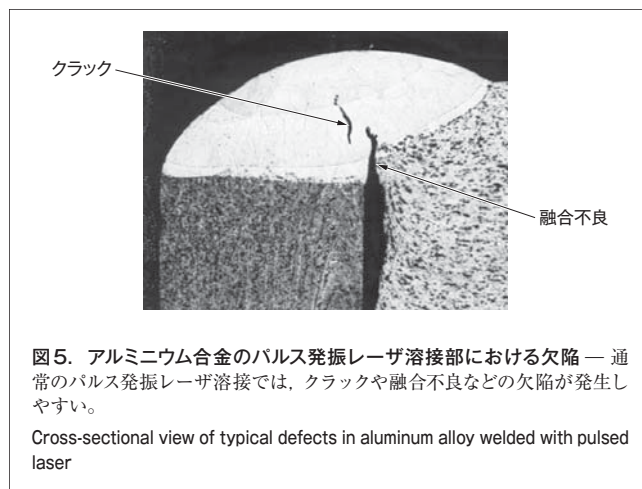
レーザー発振器からのレーザー光は、図4(a)に示すように、合成石英製で、コア径が通常0.4~0.6 mmの光ファイバによって加工用の集光レンズまで導かれ、その後、加工レンズにより加工点に結像される。通常、結像倍率を0.75~1.0倍にして、0.3~0.6 mmの集光径で溶接される。レーザー光の走査には、XYステージを用いて加工レンズ又は電池缶を移動させる。

フラッシュランプ励起のNd:YAGレーザーは、ウォールプラグ効率^(注2)が2~3%程度と低く、フラッシュランプは定期的な交換が必要である。また、一般に市販されているレーザー装置の出力が500~600 W程度に制限されているため、溶込み深さなどの溶接条件にもよるが、溶接速度は40 mm/s程度が上限である。

3.2 アルミニウム合金の溶接⁽⁴⁾

3.2.1 課題 アルミニウム合金から成る缶とキャップ体の封止溶接には気密性が求められるため、クラックなどの欠陥が発生することは全周にわたって許されない。

矩形(くけい)波パルスで溶接したときの溶接部の断面状態を図5に示す。アルミニウム合金は、一般に凝固時の収縮量が大きいため、クラックを発生しやすい。また、アルミニウム合金の融点が660℃以下であるのに対し、表面は融点が2,050℃の酸化膜で覆われているため、酸化膜が溶け残ること



(注2) 装置入力に対するレーザー出力の割合。

による融合不良も生じやすい。この融合不良部は、亀裂の起点となるなど接合部の健全性を損なう。更に、アルミニウム合金の溶融金属は粘度が低いため、溶接時に溶融金属がスプラッシュとして飛び出し、穴空きや溶接部の表面が粗くなるという問題が生じる。

3.2.2 アルミニウム合金の選定 アルミニウム合金には、含まれる合金元素によって様々な種類がある。1000系工業用純アルミニウムや、ジュラルミンと呼ばれる高強度の2000系Al(アルミニウム)-Cu(銅)合金、飲料缶など絞り成形に適した3000系Al-Mn(マンガン)合金、高強度で溶接性に優れた5000系Al-Mg(マグネシウム)合金、押出し性に優れたアルミサッシなどに用いられる6000系Al-Mg-Si(シリコン)合金などがある。そこで、SCiBTMの缶形成に欠かせない絞り加工が可能な1000系、3000系、及び5000系合金について、溶接試験を行った。

試験結果を表2に示す。クラックの発生は、Mg添加の有無と明瞭な相関がある。電池の容器材料としては、クラックが発生しにくいアルミニウム合金の中で、強度の高い3003合金が適していることがわかる。

表2. パルス発振レーザー溶接によるアルミニウム合金のクラック発生傾向
Results of bead-on-plate tests of several aluminum alloys

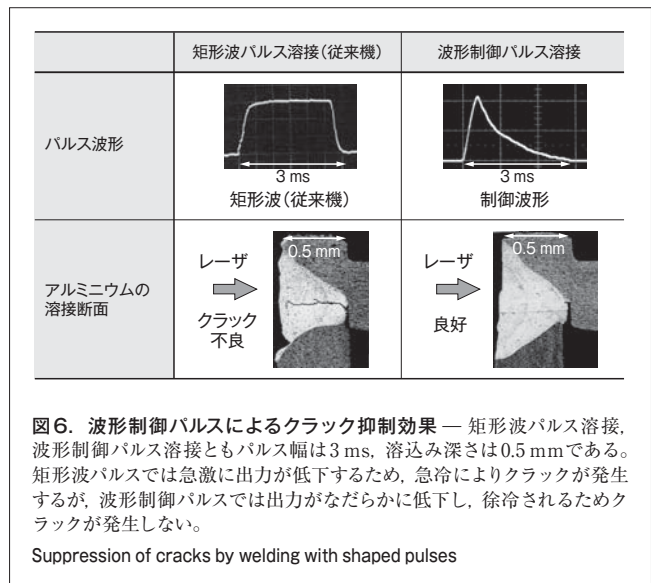
材質 (JIS規格(成分系))	クラック発生の有無	Mg量(%)	引張強度(N/mm ²)
A1050(純Al)	○	-	70
A1100(純Al)	○	-	90
A3003(Al-Mn)	○	-	110
A3105(Al-Mn)	×	0.2~0.8	115
A3004(Al-Mn)	×	0.8~1.3	180
A5052(Al-Mg)	×	2.2~2.8	195
A5083(Al-Mg)	×	4.0~4.9	290

○:クラックなし ×:クラック発生
*0.5 mm厚の平板にパルス幅が3 msの矩形パルスを照射

3.2.3 波形制御の効果 アルミニウム合金のパルス発振レーザー溶接では、クラックの発生と溶接の不安定性が問題であったが、これらは、パルス波形の制御機能を活用することで解決した。

レーザー装置の波形制御機能により、パルス波形を変化させた場合のクラック抑制効果を図6に示す。アルミニウム合金のパルス発振レーザー溶接では、徐々に出力を低下させる徐冷部を設けた波形の採用により、クラックの発生を抑制することができる。また、制御波形を用いることで溶接状態が安定し、穴空きなどの不良も発生しにくくなる。

波形制御を用いたパルス溶接で、安定した溶込みが得られる最大深さは0.5 mm程度である。これより深い溶接を実現しようとする、溶接が不安定になり、多大なスプラッシュの発生や溶接ビード表面が粗くなるという問題が発生する。



4 連続発振レーザーによる溶接技術

パルス発振レーザーによる溶接では波形制御技術を適用することによって安定した溶接部は得られるが、表1に示したように溶接速度が遅く、溶込み深さが0.5 mm以上の溶接はスプラッシュが発生しやすいため難易度が高い。車載用途の大型SCiBTMで、生産性をよりいっそう向上させるためには、高速で溶込みの深いレーザー溶接が要求される。そのため、数kW級の高出力の連続発振レーザーを用いた、セル構造体の封止溶接技術を開発している。

4.1 連続発振レーザー溶接システム

近年、半導体レーザー励起の連続発振固体レーザーの低価格化が進み、電池の量産設備に利用できるようになってきた⁽³⁾。代表的なものに、ディスクレーザーとファイバレーザーがある。

製品化されている高出力のディスクレーザーは、レーザー媒体として0.2 mm程度と薄いYb(イッテルビウム):YAG結晶のディスクを用い、波長1,030 nmで発振する⁽⁵⁾。ファイバレーザーはYbドープのファイバがレーザー媒体で、発振波長は1,070~1,080 nmである⁽⁶⁾。

半導体レーザー励起のディスクレーザーやファイバレーザーのウォールプラグ効率は20~30%で、フラッシュランプ励起のNd:YAGレーザーの約10倍である。フラッシュランプが広い波長スペクトルで発光するのに対し、Nd:YAGなどのレーザー媒体は特定の狭い波長しか吸収しないため、ランプにより光に変換されたエネルギーの大半はレーザー媒体に吸収されず、損失となる。一方、半導体レーザーは、レーザー媒体に吸収される波長で発振するため、光に変換されたエネルギーは高い効率で利用される。

励起用半導体レーザーの寿命は数万時間と言われており、フラッシュランプのような定期的な交換は不要である。高いウォールプラグ効率により電力消費が大幅に低減できることと、フ

フラッシュランプの定期的な交換が不要なため、フラッシュランプ励起のパルス発振レーザに比べてランニングコストは大幅に安くなる。

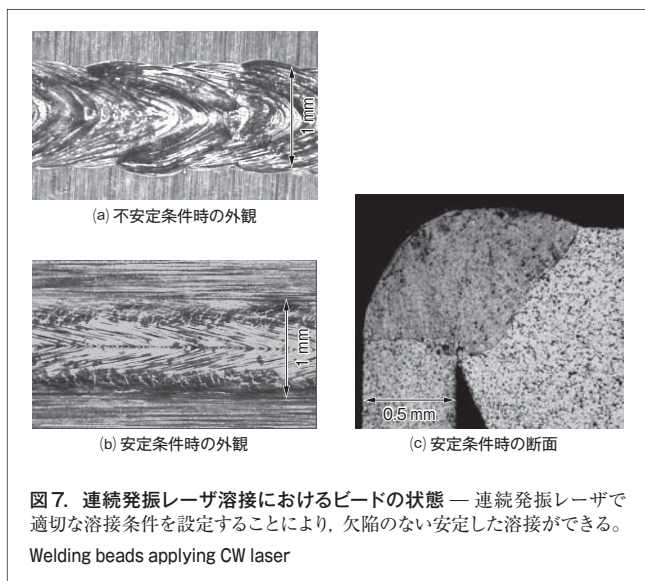
また、ディスクレーザやファイバレーザは、フラッシュランプ励起Nd:YAGレーザに比べて細い光ファイバでレーザ光を伝搬することができる。コア径0.1 mmの光ファイバで5 kW程度の出力を、コア径0.2 mmの光ファイバでは10 kW以上の出力を伝搬できる。

そのため、加工光学系に図4(b)のようなスキャニングミラーとスキャニングレンズを使用した、リモート溶接システムが適用可能となった⁽⁵⁾。走査範囲の広いスキャニングレンズでは、ファイバのコア径より小さい集光径を実現することは困難で、通常ファイバコア径の2~3倍になる⁽⁷⁾。コア径0.1~0.2 mmの細径ファイバを用いれば、2~3倍の拡大倍率のスキャニングレンズを用いても、溶接に適した0.3~0.6 mmの集光径が実現できる。

XYステージで質量の大きい加工レンズを走査する場合、慣性が大きいので、角型電池の外周に沿った長方形の溶接軌跡を速度200 mm/s以上で走査することは容易ではない。これに対し、ガルバノスキャナは慣性が小さいため高速で走査できる。市販されているガルバノスキャナは、走査速度1,000 mm/s程度まで対応している。

4.2 アルミニウム合金の溶接

アルミニウム合金の溶接ではクラックの発生と溶接の不安定性が問題となるが、連続発振レーザによる溶接ではクラックは発生しにくい。レーザ照射後、凝固するまでに約10 msを要し、1~2 msで凝固するパルス発振レーザ溶接に比べて冷却速度が遅いためである。しかし、パルス発振レーザ溶接以上に不安定になりやすく、図7(a)のように、溶接ビード幅や溶込み深さが安定しない。



溶接の不安定性は、集光径、加工速度、レーザ出力、及びガス雰囲気などのパラメータを適正化することで解決できる。安定した溶接ビードの外観と断面状態を、図7(b), (c)に示す。数kWの出力で、加工速度200 mm/s以上、溶込み深さ1 mm程度までの安定した溶接が実現できた。

5 あとがき

SCiB™ではアルミニウム合金製のセル構造体を採用しており、長寿命と高い信頼性を確保するため、レーザ溶接による密封封止構造を採用している。

アルミニウム合金のレーザ溶接は鉄鋼材に比べて不安定になりやすく、溶接欠陥も生じやすいため、量産工程への導入は困難であった。パルス発振レーザを用いた溶接では、レーザパルス波形を自由に設定できる波形制御技術を利用し、最適なパルス波形でアルミニウム合金を安定して溶接する技術を実用化した。

今後、電池は大型化するため、高速で溶込みの深い溶接が必要となる。そのため、高出力の連続発振レーザを用いた溶接技術を開発しており、適切な溶接条件を選択することで、安定した高速溶接を実現できることがわかっている。また、最新の高出力連続発振レーザは効率が高く、電力の使用量が従来のフラッシュランプ励起パルス発振レーザに比べて1/10になる。これからはパルス発振レーザ溶接に代わって、高速化や深い溶込みが実現でき、ランニングコストも大幅に削減できる連続発振レーザ溶接へ移行していくと思われる。

文 献

- 本多啓三. 安全で超寿命の新型2次電池「SCiB」. 次世代電池2010. 東京, 日経BP社, 2009, p.42 - 51.
- 小杉伸一郎 他. 安全性に優れた新型二次電池SCiB™. 東芝レビュー. 63, 2, 2008, p.54 - 57.
- Koehnner, W. Solid-state Laser Engineering (6th edition). Berlin, Springer, 2006, 748p.
- 岡田直忠 他. YAGレーザ加工の最新技術動向. 機械と工具. 46, 6, 2002, p.60 - 64.
- Mann, K. 他. 高生産性リモート溶接アプリケーション用の新しいディスク・レーザとスキャナ光学系. 溶接学会誌. 77, 3, 2008, p.16 - 19.
- IPG Photonics Corp. "1 Micron Lasers CW". IPG Photonics. <<http://www.ipgphotonics.com>>, (accessed 2011-01-20).
- Smith, W. Modern Lens Design (2nd edition). New York, McGraw-Hill, 2004, 631p.



岡田 直忠 OKADA Naotada, Ph.D.

生産技術センター 光技術研究センター研究主幹, 博士 (工学)。レーザ加工, 光学部品や光学システム, 光学検査の研究に従事。応用物理学会, 日本光学会, レーザ学会会員。Optical Technology Research Center