

鉛電池端子のレーザー溶接とそのシミュレーション技術

Laser Welding for Lead-Acid Batteries Terminals and its Simulation Technique

飯塚 博幸 *

Hiroyuki Iizuka

Abstract

In order to conduct terminal pole welding of lead-acid battery, laser welding was successfully applied in place of conventional burner welding. It allows battery parts to be highly integrated and enabled batteries energy density to be substantially raised. Thermal behavior during laser welding was simulated with CAE(Computer Aided Engineering), and it was demonstrated that simulation technique was essential to earn high quality of welding.

1. はじめに

鉛蓄電池は、19世紀に発明されて以来、その汎用性、低コストという特徴から、ニッケル水素、リチウムイオンといった新種の電池が、その勢力をのぼしてきている現在でも、産業界において重要な役割を担っている。

更に、最近の動向として、これら鉛蓄電池の特徴を生かしつつも、いわゆるハイテク電池化することによって、新たな適用範囲の可能性を探る動きが見られる。弊社では、そのハイテク化の一環として、小容量制御弁式鉛蓄電池の端子溶接にレーザー光を用い、電池内部の余剰空間を極限まで減らすことを試みた。レーザー光を用いることで、局所的な加熱が可能となり、部品間隔を小さくできるため、図1に示すように極板群以外の余剰空間を従来の7割以下にまで減らすことに成功した。その結果、体積エネルギー密度を飛躍的に向上させることが可能となった。

本報では、レーザー溶接を鉛電池端子部の溶接に適用した効果について述べた後、シミュレーション

技術を用いて溶接時の温度挙動を解析し、溶接条件の確立を行なった結果について報告する。

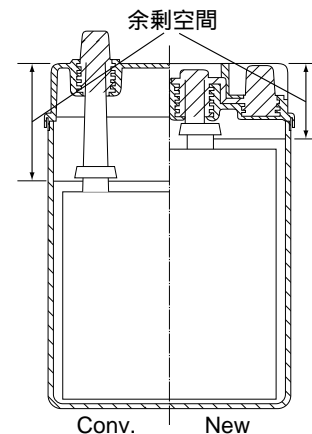


図1 一般タイプと新型構造の比較
Fig. 1 Comparison of Battery Structure Between Conventional and New Types

2. レーザー溶接

2.1 溶接機

図2にレーザー溶接機の構成を示す。発振器にて発振されたレーザー光は、光ファイバーにより射出光学部に伝送される。射出光学部にて集光されたレーザー光は、高エネルギーとなって加工物に照射され、溶接が行なわれる。

* 技術開発部

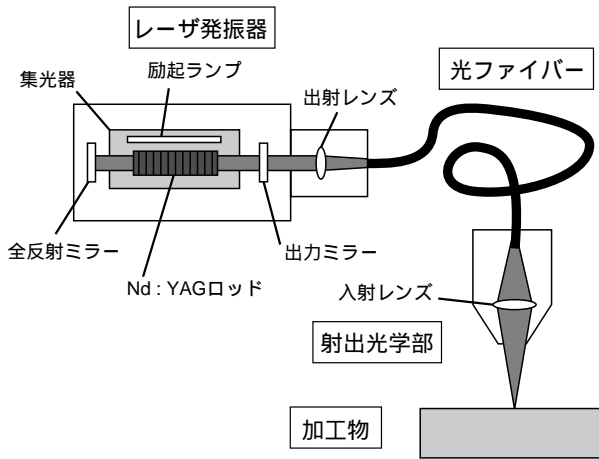


図2 レーザー溶接機の構成
Fig. 2 Laser Welding System

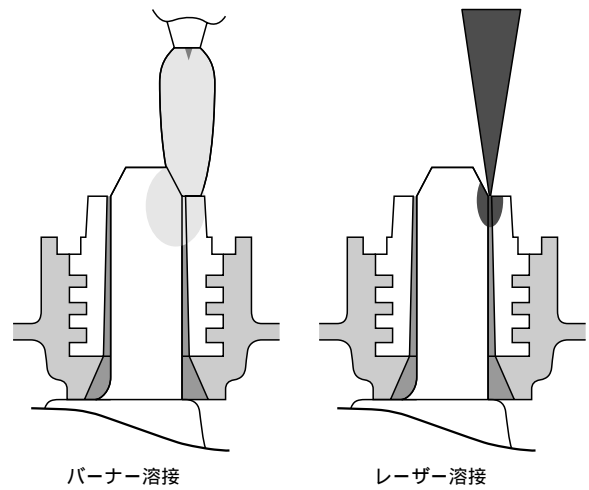


図3 端子部溶接方式
Fig. 3 Welding Form for Terminal Pole

レーザー溶接の特徴として、高エネルギーを微小スポットとして照射し、局部的に加工物を溶融させて溶接を行なうため、周囲への熱影響を最小限に抑えることができることにある。¹⁾²⁾

2.2 端子溶接への適用

電池の小型化のため、プッシング高さを極限まで小さくしようとした場合、加熱される部位と周囲の樹脂までの距離が小さくなり、これまでのバーナー溶接では、加熱中に樹脂までが融解し、電池の気密性を悪化させてしまうことがある。気密性は、電池の寿命に大きく影響するため、これまでは、プッシング高さを一定以上小さくするのが難しかった。

そこで新たに、これら端子の溶接にレーザー光を用いることを試みた。レーザー光により、溶接したい部分のみが集中的に加熱され、周囲樹脂への熱影響は最小限に抑えられることが確認された。(図3) その結果、プッシング高さを、従来よりも大幅に小さくすることが可能となった。

更に、より安定した溶接品質を得るために、シミュレーションによる熱解析を行なうことで、レーザー溶接の溶接条件を最適化することを試みた。次にその概要を記す。

3. シミュレーション解析

3.1 解析モデルの構築

解析を行なうに当たり、まず有限要素法による解析のモデルを作成・解析し、その結果を実験結果と比較することで、解析モデルの妥当性を検証した。

解析には、有限要素法 (FEM: Finite Element Method) による解析プログラム ANSYS Multi-physics を用いた。解析は、3次元モデルによる非定常非線形熱解析を行なった。解析の範囲は、溶接される極柱とプッシング及び、プッシング周囲の樹脂とし、図4aに示すソリッドモデルを作成した。このモデルについて、温度の自由度を持つ要素にて要素分割を行ない、図4bの有限要素モデルを得た。

境界条件には、図5に示すように、レーザーでの加熱を一つの要素に発熱として与え、これを一定時間ごとに隣接する要素に移すことで、レーザー光による移動照射加熱を表現した。放熱は、モデルの表面に熱伝達係数を与え、周囲空気への熱移動とした。本解析において輻射熱は無視し、鉛の溶解に伴う融解熱 (潜熱) は、鉛のエンタルピーを、温度に対し非線形とすることで表現した。

溶接時のレーザー光の基本出力シーケンスを図6に示す。このシーケンスは、レーザー光を極柱周りに約2周させた加熱となっている。このシーケンスにて解析を行ない、その結果を次に示す。

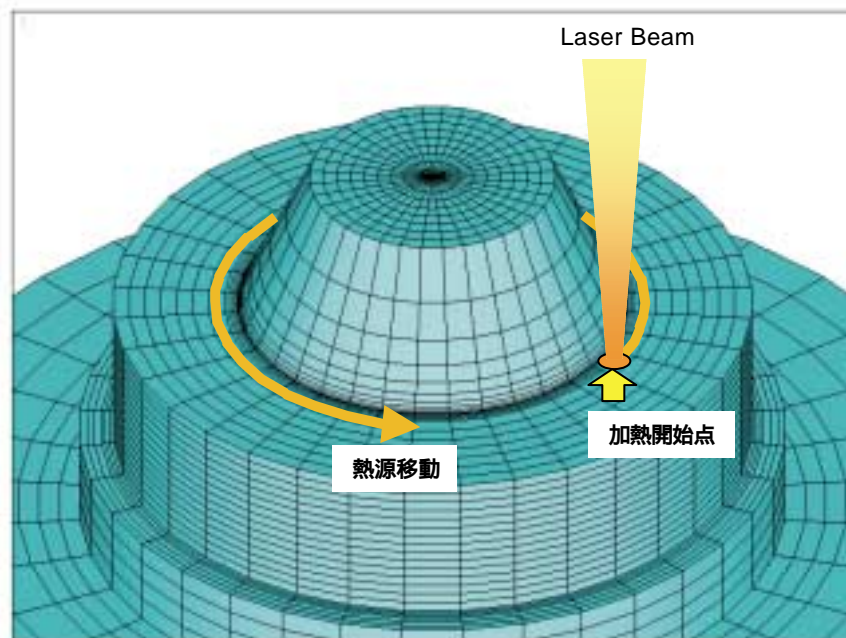
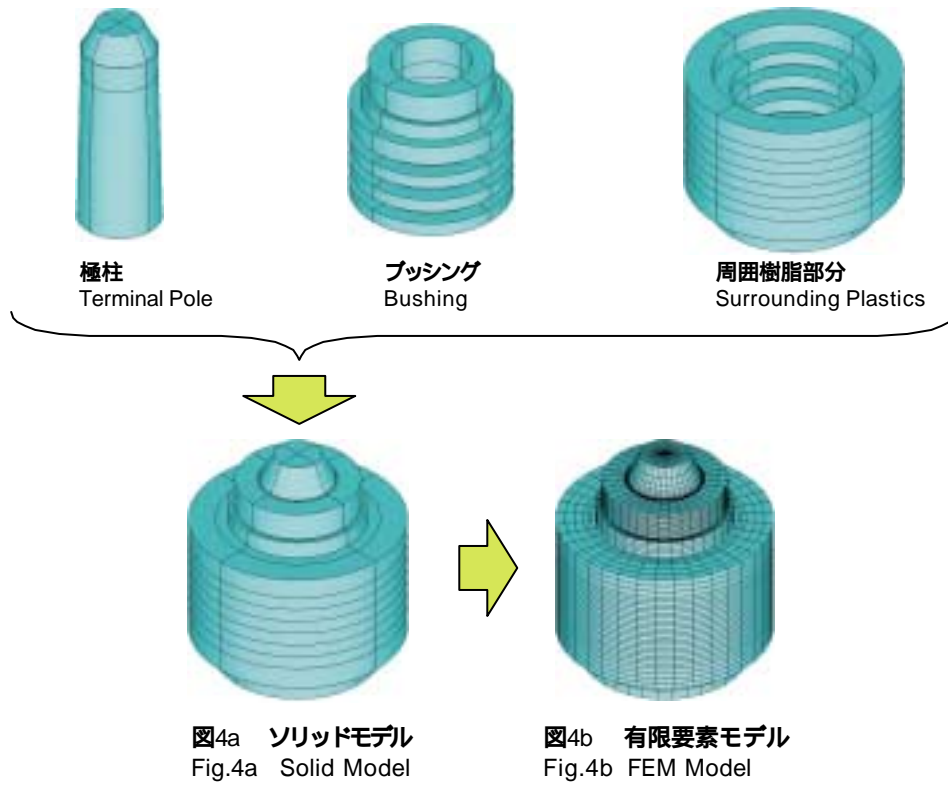


図5 レーザー光の加熱条件設定
Fig.5 Heating Condition by Laser

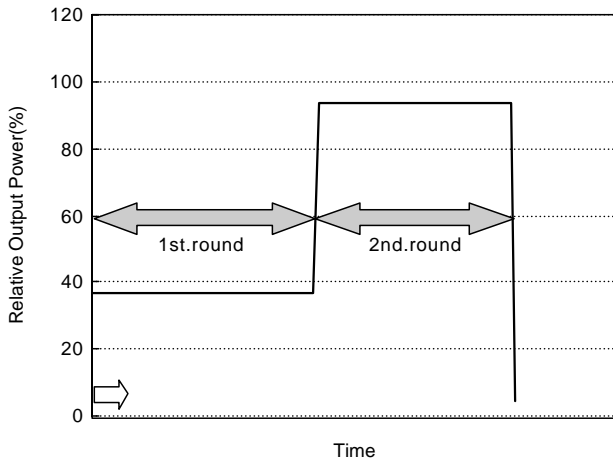


図6 レーザー出力シーケンス
Fig.6 Sequence of Laser Output Power

3.1 解析結果とその検証

図7に、解析結果として温度分布の経時変化を示す。赤の範囲が、鉛の融点327 以上になっている範囲、つまり、その時点にて溶解している範囲を示している。一方、図8には各時点までの最高温度を記録した分布を示す。赤い範囲が、鉛の融点である327 以上になったことがある部分であり、その時点までに溶接された範囲を示している。

図7, 8の緑色で示した範囲は、周囲樹脂の融点である160 以上の部分を示している。溶接の終盤では、この160 以上の範囲が、わずかに樹脂部分にまで及んでいることから、この部分で樹脂の融解が進行することが予想される。樹脂の融解が起これば、電池の気密性が損なわれ、電池性能が悪化する恐れがある。この対策については、次節にて検討を行なっている。

図9には、モデルを側面から見たときの溶接された範囲（鉛の融点以上になった範囲）を抜き出し、赤色で示している。各時点、各位置での溶接の深さを見て取ることができる。

図10に、溶接が完了した時点での溶接深さを、溶接開始位置からの角度ごとに求めた結果を、実測値（溶接された極柱を切断して測定）と共に示す。シミュレーション結果は、実測値とよく一致することが確認された。

図11に、周囲樹脂部分の温度の時間変化を求め

た結果を、実測値（温度センサーを樹脂部に挿入して測定）と共に示す。加熱点が円周上を移動するため、計測点と熱源との距離が変化し、両者共に階段状の曲線となっている。この結果においても、シミュレーションと実測値が、非常によく一致することが確認された。

以上のシミュレーション結果と実験値との比較から、この解析モデルが、レーザー溶接時の温度挙動を評価するのに妥当であることが証明された。

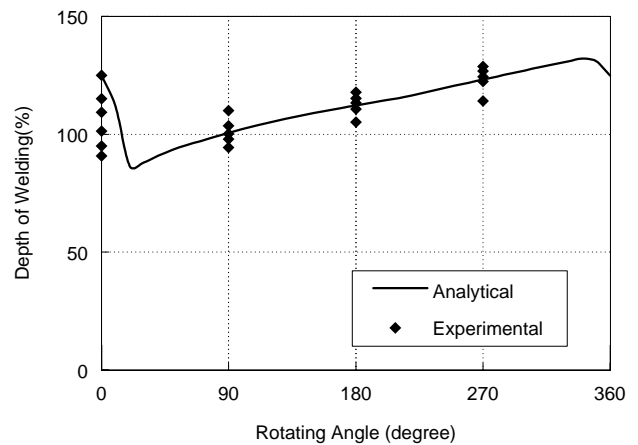


図10 溶接の深さの実験値と計算との比較
Fig.10 Comparison of Depth of Welding Between Analytical and Experimental Results

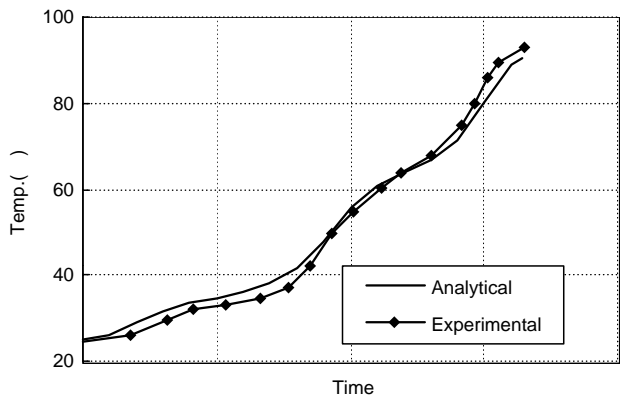


図11 溶接中の樹脂部温度の実験値と計算値との比較
Fig.11 Comparison of Surrounding Plastics Temperature Between Analytical and Experimental Results

4. 溶接品質向上検討

前節にて行なった溶接シーケンスでは、図10に示すように、円周上の各地点での溶接深さが均一でなく、特に10 °~ 90 °の範囲では、必要な溶接深さ

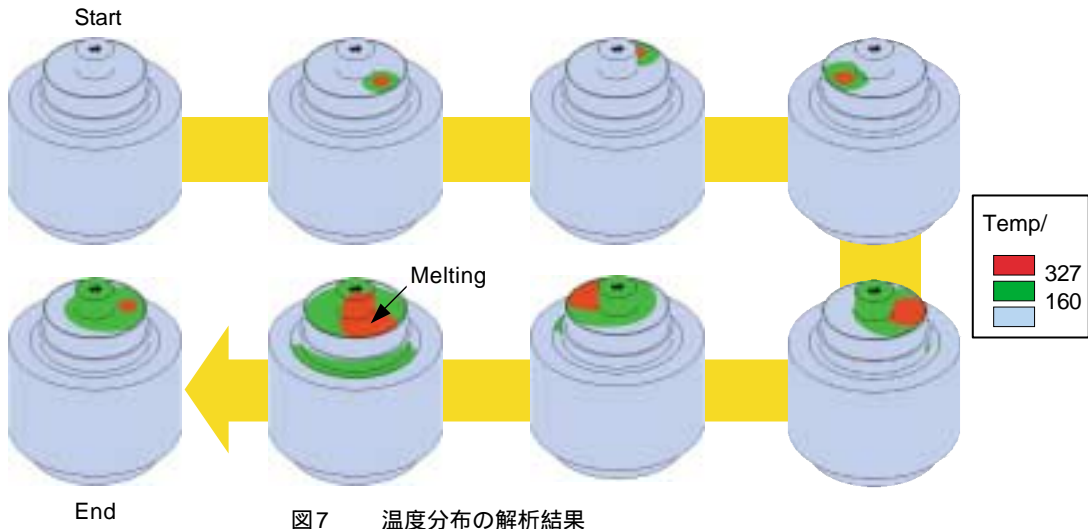


図7 温度分布の解析結果
Fig. 7 Distribution of Temperature

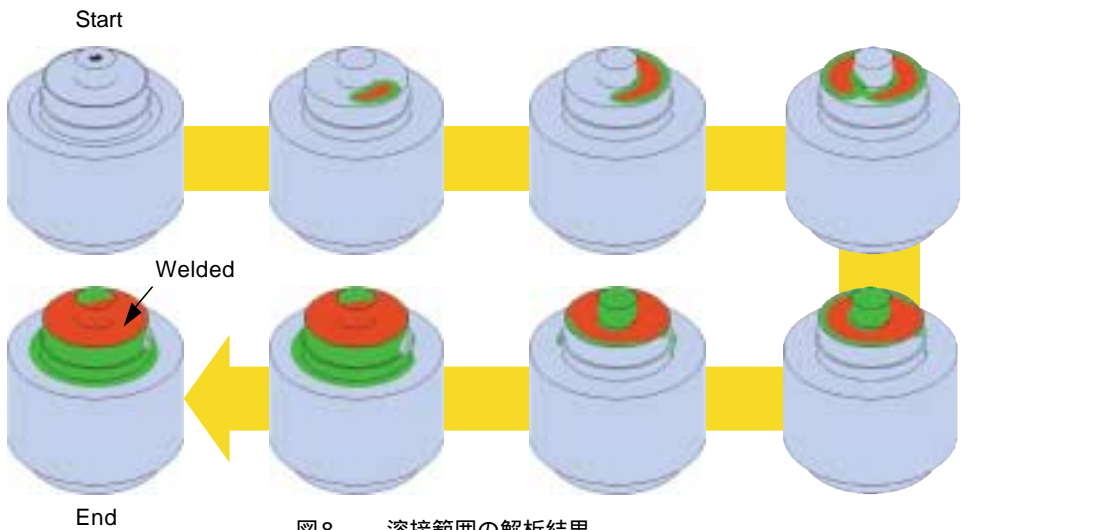


図8 溶接範囲の解析結果
Fig.8 Range of Welding

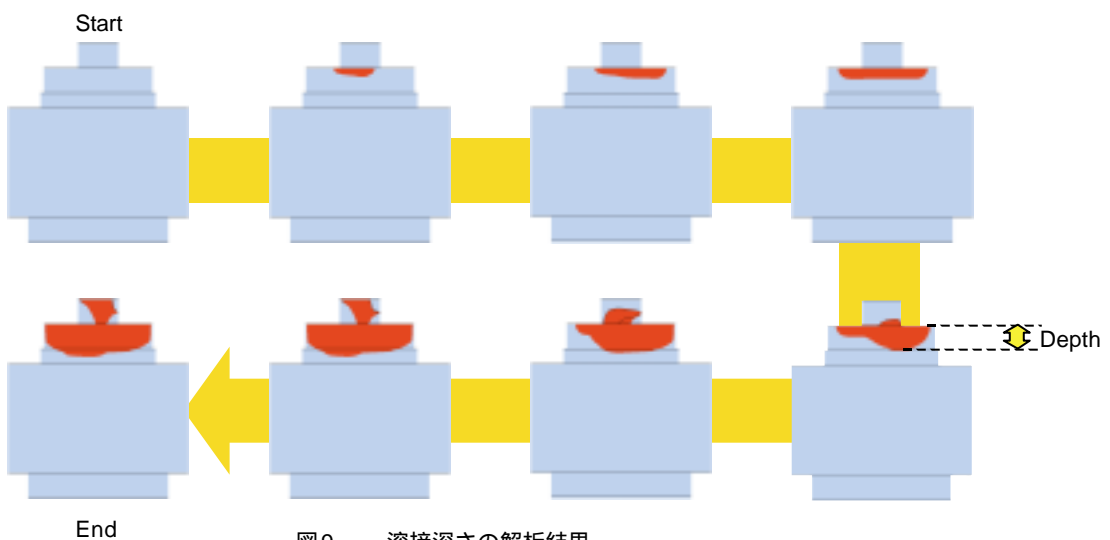


図9 溶接深さの解析結果
Fig.9 Depth of Welding

(= 100 %) が得られないことが確認された。その対策として、全体のレーザー出力を上げたところ、ブッシング周囲の樹脂までが融解してしまい、電池の気密性が損なわれてしまうことが判った。そこで、シミュレーション解析により、必要な溶接深さを得ることと、周囲樹脂へ熱影響を及ぼさないことを両立できる新たなシーケンスを求めることを試みた。

図 12 に、従来シーケンスと、シミュレーションにより最終的に求めた新シーケンスを示す。新シーケンスの従来からの変更点は、先ず従来の 10 ° ~ 90 ° 付近にあった不十分な溶接深さを解消するため、溶接 2 周目の最初のレーザー出力を上げ、更に必要以上の加熱は抑えるため、その後の出力を徐々に落としたことである。

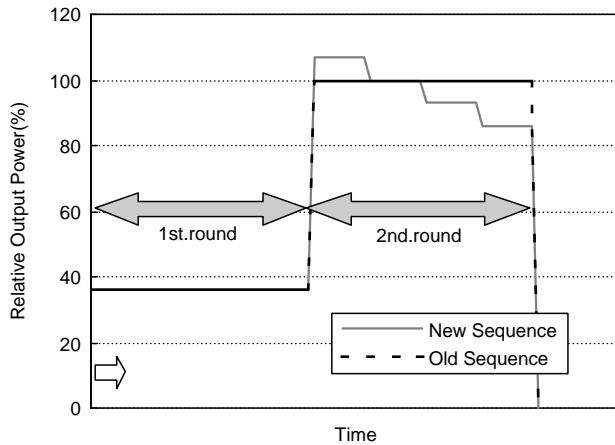


図 12 レーザー出力シーケンス新旧比較
Fig.12 Comparison of Laser Output Power Between New and Old Sequences

新シーケンスでの、シミュレーション解析結果と実際に溶接を行なった結果を以下に示す。

図 13 に、新シーケンスでシミュレーション解析を行ない、溶接深さを求めた結果を示す。従来条件と比較して溶接深さは均一になり、全周で必要溶接深さ (= 100 %) が得られた。更に、周囲の樹脂部の最高温度は、従来よりも約 10 ° 低下するため、樹脂が融解する可能性を小さくすることができた。

図 14 に、新シーケンスにて、実際の溶接を行ない、溶接深さを測定したときのヒストグラムを、従来シーケンスで同様に行なった結果と共に示す。従来条件では、溶接深さのばらつきが大きく、必要値

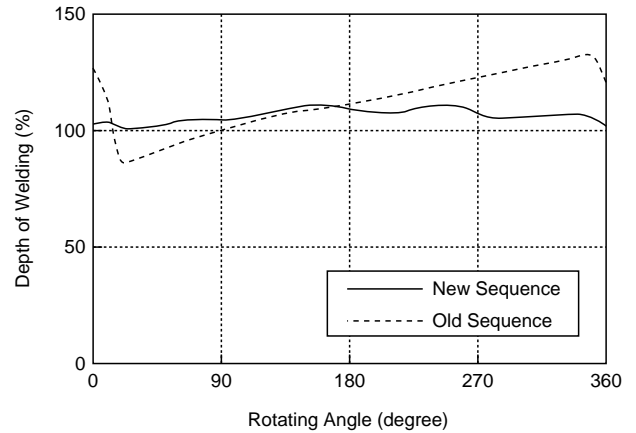


図 13 新旧シーケンスによる溶接深さシミュレーション比較
Fig.13 Comparison of Simulated Welding Depth Between New and Old Sequences

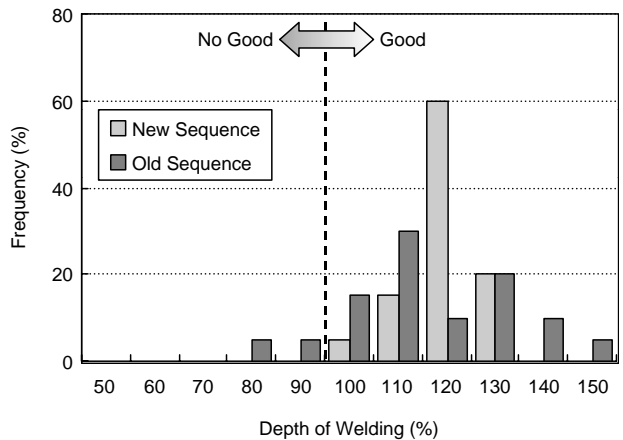


図 14 新旧シーケンスによる溶接深さ実験値比較
Fig.14 Comparison of Measured Welding Depth Between New and Old Sequences

を下回るものも見られていたが、新シーケンスでは、溶接深さのばらつきが従来の半分以下にまで減少し、全てのサンプルにおいて必要値を得ることができた。

以上の結果から、レーザー溶接にて良好な溶接状態を得るには、シミュレーション技術が非常に有効な手段であることが実証された。

5. 結言

鉛蓄電池端子部をレーザー溶接することにより、電池部品の高集積化が可能となり、体積エネルギー密度を飛躍的に向上させることに成功した。

レーザー溶接のシミュレーションモデルを構築

し、その温度挙動を明らかにした。

レーザー溶接にて良好な溶接状態を得るのには、シミュレーション技術が、非常に有効な手段であることを実証した。

謝辞

本解析を行なうにあたり、シミュレーション技法のご指導をいただいた、古河電気工業株式会社 横浜研究所 基盤技術センターの皆様にご心から感謝いたします。

(参考文献)

- 1) 難波進, レーザーと加工, 共立出版(1983)
- 2) 川澄博通, レーザー加工技術, 日刊工業新聞社(1985)