

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「電気自動車用リチウムイオン電池の量産化のための
高速高精度リモートレーザー溶接システムの開発」

研究開発成果報告書

平成25年5月

委託者 近畿経済産業局

委託先 一般財団法人近畿高エネルギー加工技術研究所

目 次

第1章 研究開発の概要	
1-1. 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1-2. 研究開発体制	4
1-3. 成果概要	9
1-4. 研究開発の連絡窓口	10
第2章 本論	
2-1 高速・高精度リモートレーザー加工ヘッドシステムの開発	
2-1-1 レーザ位置決め精度評価法の開発	11
2-1-2 レーザ位置決め精度の年間評価	12
2-1-3 加工面変化によるレーザー位置決め精度への影響	13
2-1-4 まとめ	14
2-2 カメラによる3次元画像処理測定技術とリモートレーザー溶接技術を統合した位置補正機能を有するテーチングレスの溶接システムの開発	
2-2-1 単一電池ケース溶接用カメラシステムの設計・製作	15
2-2-2 複数の電池ケース溶接用カメラシステムの設計・製作	15
2-2-3 まとめ	17
2-3 溶接歪を抑制する溶接施工条件の最適化	18
2-3-1 高速直線溶接の最適化	18
2-3-2 曲率を有する矩形形状の高速溶接条件の最適化	20
2-3-3 車載用電池ケースの溶接条件	22
2-3-4 曲率を有する矩形形状の高速溶接条件の最適化	23
2-3-5 車載用電池ケースの溶接条件	26
2-3-6 複数個を保持する治具の最適化	28
2-3-7 まとめ	28
第3章 全体総括	
3-1 研究成果概要	30
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	30

第1章 研究開発の概要

1-1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景・研究目的

自動車産業においては温室効果ガスの削減や石油依存度の低減が求められており、次世代自動車として期待されているプラグインハイブリッド車並びに電気自動車の一般消費者向け早期市場投入が望まれている。しかしながら従来の電気自動車用リチウムイオン電池の製造法ではレーザーの溶接速度が遅く、溶接品質を維持しながら且つ高速化ができない課題が発生していた。本研究開発では電気自動車搭載用リチウムイオン電池の高速高精度溶接システムを開発し、溶接品質を確保し、且つ一般向けの量産化に対応可能な電池製造技術を確立する。

(2) 研究の概要及び目標

従来の電気自動車用リチウムイオン電池の溶接工程では、ワークの個々のバラつきを補正するために量産化、品質安定化に課題があった。本研究開発では複数ワークの位置ずれを一括補正ができ、且つ高速高精度のレーザー溶接が実現できる画像処理装置を搭載した新しい高速高精度リモートレーザー溶接システムを開発し、自動車部品製造の量産化に寄与する。

各研究概要と目標を以下に記載する。

I 高速・高精度リモートレーザー加工ヘッドシステムの開発

従来のリモートシステムではレーザー走査指令座標に対して、レーザー照射位置座標が数百 μm オーダーで偏差が発生することが判明している。従って、自動車搭載用リチウムイオン電池ケースの溶接にリモートシステムを適用する場合には、照射位置精度を向上させる必要がある。本研究開発では照射位置精度0.1mm以下が実現するレーザー走査制御ソフトを組み込んだ高速・高精度リモートレーザー加工ヘッドシステムを開発する。

II カメラによる3次元画像処理測定技術とリモートレーザー溶接技術を統合した位置補正機能を有するティーチングレスの溶接システムの開発

リモートレーザー溶接法では、レーザー走査部と電池ケースが遠隔配置であり且つ溶接線が電池ケースとケースの蓋の重ね合わせ部のみに限定されている。従って、本研究開発では、カメラにより溶接線を含む電池ケースの画像を取得し、リモートヘッドの空間座標における電池ケースの溶接線の位置座標を算出し、リモート走査入力データへ自動変換するソフトを開発する。このとき、画像取得から座標データをオンラインで入力するまでの時間を5秒以内で完了し、ティーチングレスの溶接試験を実証することを目標とする。

III 溶接歪を抑制する溶接施工条件の最適化

従来のロボット走査やXYテーブル走査とパルスレーザー溶接法の組合せでは適用出来なかった円弧補間走査の高速化に対して、超高速走査性能を有するリモートレーザー溶接法を実現することにより量産化に対応可能な生産性の向上が期待できる。本研究開発では、リモートレーザー走査と連続レーザー溶接法の組合せによる欠陥の無い高速溶接施工条件の最適化を行うこととし、溶接品質を満足する施工条件にて複数配置のリチウムイオン電池ケースの一括溶接を実現することを目標とする。

各サブテーマの開発項目と目標を表 1-1-1 に示す。

表 1-1-1 本プロジェクトの開発項目と目標

研究開発項目	目標
I. リモートレーザー溶接システムのレーザー照射位置決め 精度の向上	位置決め精度 0.1mm 以下
II. カメラによる3次元画像処理測定技術とリモートレーザー溶接技術を統合した位置補正機能を有するティーチングレスの溶接システムの開発	カメラの画像データを用いたレーザー照射位置決め精度：0.1mm 未満 画像取得からリモート制御装置へのデータ転送完了時間：5秒以内
III. 溶接歪を抑制する溶接施工条件の最適化	複数電池ケースが一括で溶接できること。 溶接速度：2m/min 以上 溶接品質：スパッター発生の抑制 表面ビード外観：川下企業の評価 溶接性能：川下企業の評価 気密性：2kgf/cm ² 以上 生産性向上：5倍以上

1-2. 研究開発体制

(1) 研究組織

本プロジェクトの研究開発体制を図 1-2-1 に示す。

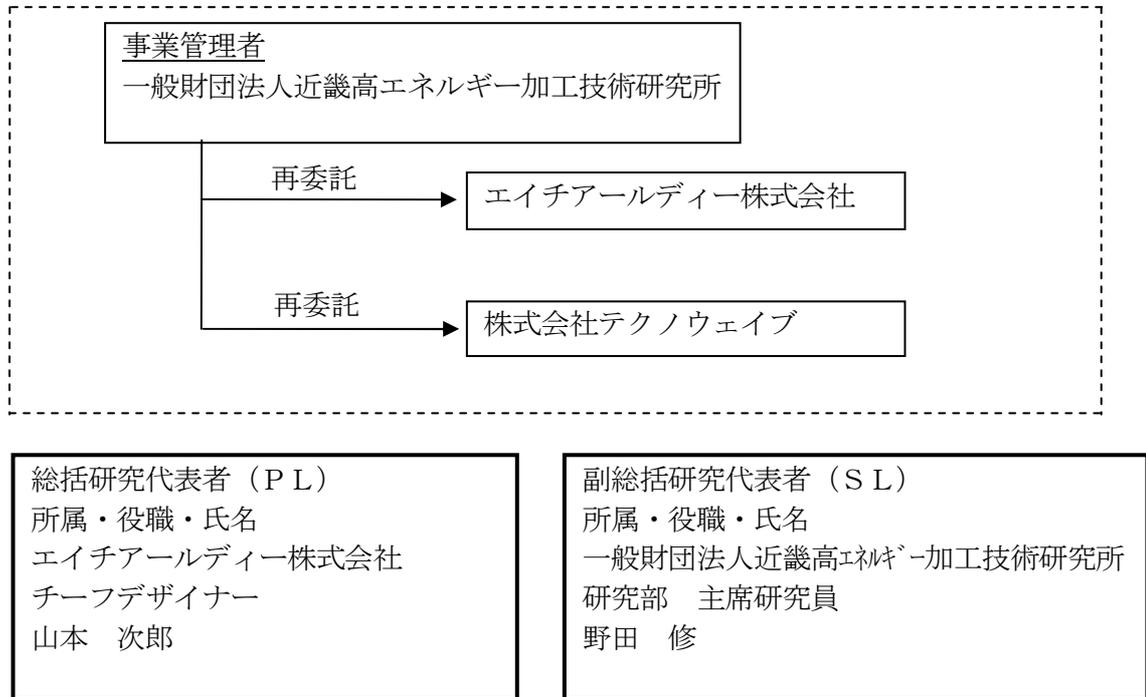
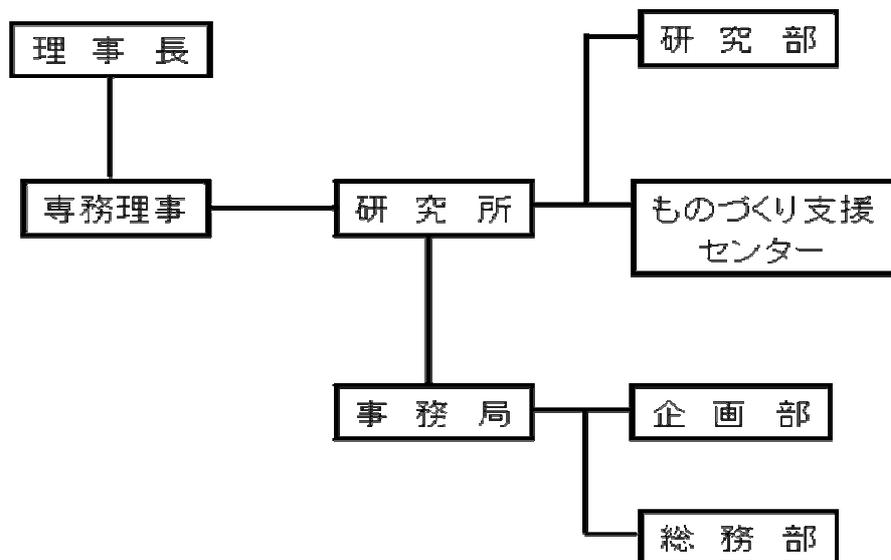


図 1-2-1 研究開発体制

(2) 研究管理体制

① 事業管理機関の体制、管理員及び研究員

[一般財団法人近畿高エネルギー加工技術研究所]



①—①管理員

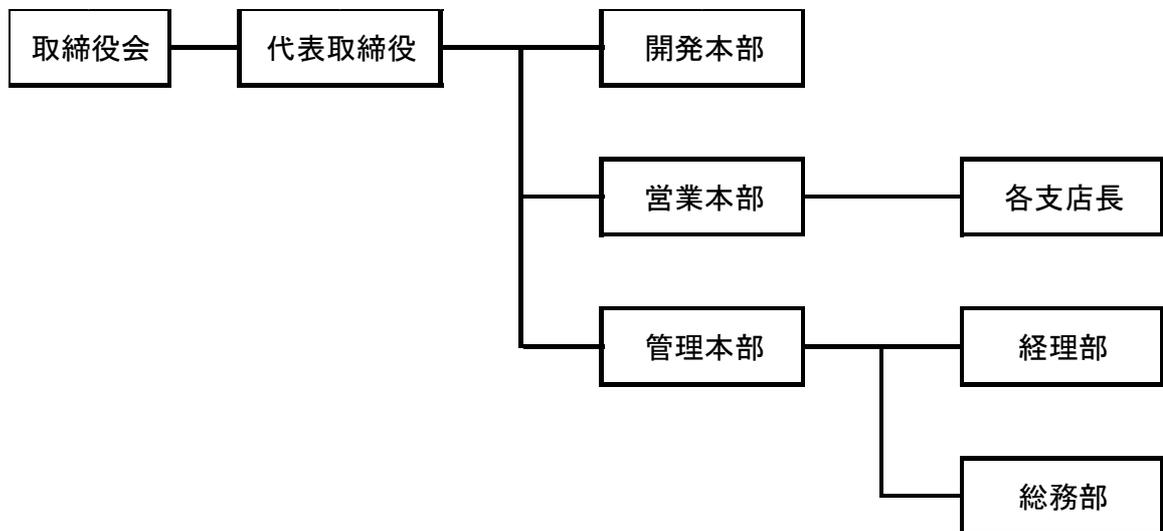
氏名	所属・役職
殖栗 成夫	研究部 部長
田中 彰夫	企画部 部長（～H24年度）
高谷 孝一	企画部 部長（H24年度）
高寄 ひろみ	総務部 事務員

①—②研究員

氏名	所属・役職
丸山 敏郎	研究部 主席研究員（H22年度）
松下 宏	ものづくり支援センター 主任技術指導員
金子 雅之	ものづくり支援センター 技術指導員
村上 敦	ものづくり支援センター 主任技術指導員 （H23年度）
大森 秀雄	ものづくり支援センター 主席技術指導員
野田 修	研究部 主席研究員
井本 正之	補助員
田中 和夏奈	補助員

②再委託先の体制、研究員

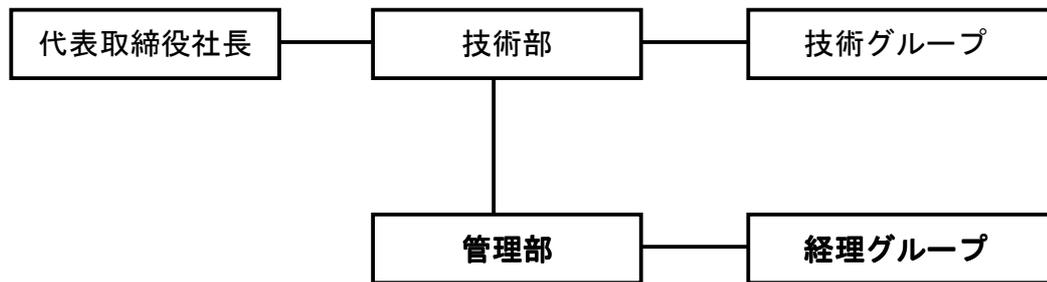
[エイチアールディー株式会社]の体制



エイチアールディー株式会社の研究員

氏名	所属・役職
山本 次郎	本社 開発本部 東京駐在 チーフ
川井 誠一	本社 営業推進本部 新商品プロジェクト 係員 (~H23年度)
田口 滋	本社 開発本部 東京駐在 係員 (H23~H24年度)
石井 和人	本社 開発本部 東京駐在 課長
芳西 孝治	本社 開発本部 東京支店長

[株式会社テクノウェイブ]の体制



株式会社テクノウェイブの研究員

氏名	所属・役職
額谷 慎一	技術部 技術グループ グループリーダー
三澤 明寛	技術部 技術グループ

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

一般財団法人近畿高エネルギー加工技術研究所

(経理担当者) 総務部 次長

別所 博昭

(業務管理者) 研究部 部長

殖栗 成夫

(再委託先)

エイチアールディー株式会社

(経理担当者) 経理部 取締役経理部長

下田 誠志

(業務管理者) 開発本部 課長

石井 和人

株式会社テクノウェイブ

(経理担当者) 経理部長

杉山 豊

(業務管理者) 技術部長

吉田 隆

(4) アドバイザー及び指導・協力事項

本研究開発の実施計画、研究成果等について、産官学から合計7名のアドバイザー参画の元、ご指導・ご協力を頂いた。

1-3. 成果概要

本事業において、今後電気自動車搭載用リチウムイオン電池製造の量産化技術の確立を目指し、ティーチングレスの高速高精度リモート溶接システムの開発を推進した。

本開発では、2個配置の電池ケースに対して前処理としてのティーチングを行うことなく、高速高精度な溶接を実現し、現行の5倍以上生産性向上を確立した。また、本開発において良好な溶接品質を達成するための「特願 2013-38271；リモートレーザ加工装置」の特許出願を行った。

本プロジェクトの研究開発項目と成果一覧を表 1-3-1 に示す。

表 1-3-1 本プロジェクトの研究開発項目と成果一覧

開発項目	目 標	結 果	判 定
I. リモートヘッドの位置決め精度の向上	位置決め精度： 0.1mm 以下	0.1mm 未満	合格
II. 加工対象物とリモートヘッドの位置座標の算出	カメラによる位置決め精度：0.1mm 未満	0.1mm 未満	合格
	画像データ転送時間：5秒以内	～2 秒	合格
III. 溶接不良の無い高品質な溶接施工条件の最適化	複数の電池ケースが一括で溶接できこと。	2 個配置の溶接可	合格
	溶接速度： >2m/min	10～15m/min	合格
	溶接品質	本件は川下企業の評価により OK。	合格
	スパッターの抑制	スパッター抑制効果のある施工条件を確立した。	合格
	気密性： >0.2MPa	気密性 1MPa において亀裂破断なし。	合格
	生産性：>5 倍	現行比 8 倍	合格

1-4. 研究開発の連絡窓口

一般財団法人近畿高エネルギー加工技術研究所 研究部長 殖栗 成夫

所在地 : 〒660-0083 兵庫県尼崎市道意町七丁目1番8

電話 : 06-6412-7800

FAX : 06-6412-7776

e-mail : ueguri@ampi.or.jp

2-1 高速・高精度リモートレーザー加工ヘッドシステムの開発

2-1-1 レーザ位置決め精度評価法の開発

リモートヘッドによるレーザー位置決め制御は「位置決め補正ファイル」によりレーザー照射位置を補正することで指令座標に対して正確にレーザー照射を行う。

レーザー位置決め精度評価では、同一の「位置決め補正ファイル」を使用して複数回の測定ポイント加工を実施し、測定ポイント毎の平均誤差を「位置決め補正ファイル」にフィードバックすることで補正量を修正してレーザー位置決め精度の向上を図る。

「位置決め補正ファイル」の補正を数回実施して位置決め精度の変化を確認した。

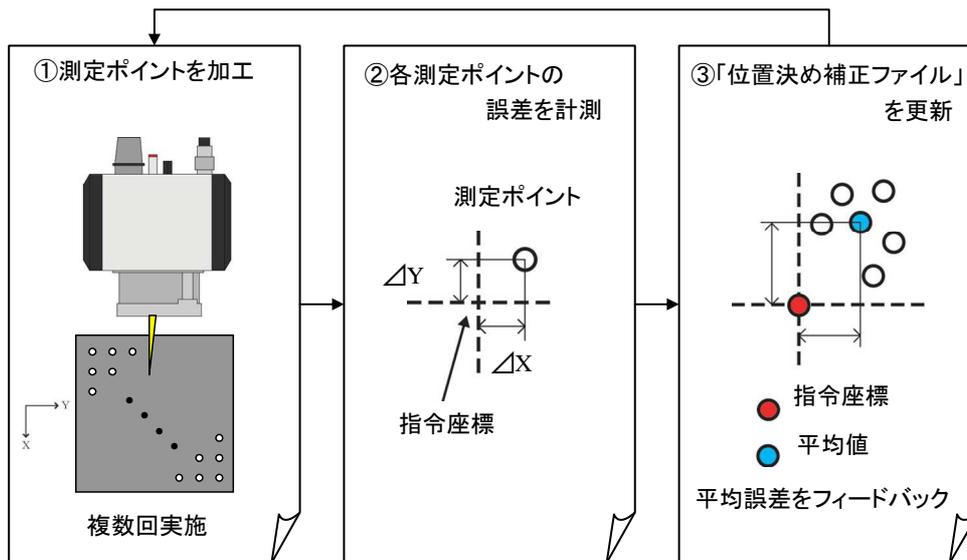


図 2-1-1 レーザ位置決め精度評価

「位置決め補正ファイル」の補正を 3 回実施する事で目標最大誤差 0.1mm 以内を達成した。

表 2-1-1 最大誤差比較

補正回数	最大誤差 [mm]
1 回目	0.142
2 回目	0.044
3 回目	0.047
目標値	0.1 以内

2-1-2 レーザ位置決め精度の年間評価

2012年6月、10月、12月に実施した位置決め精度向上試験では、いずれも目標精度である最大誤差0.1mm以下を達成し、年間を通して最大誤差が0.06mmを下回った。

本研究において採用したレーザ位置決め精度評価方法において安定した精度が得られる事が確認された。

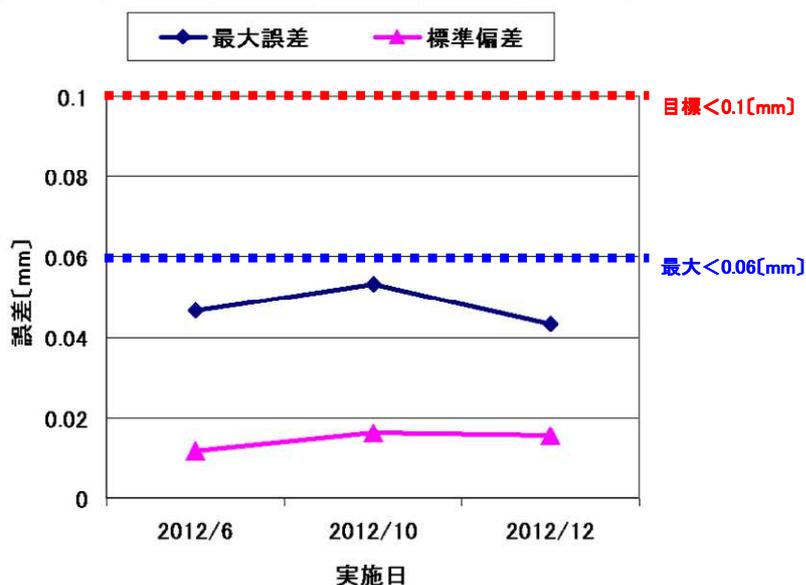


図 2-1-2 レーザ位置決め精度年間評価

2-1-3 加工面変化によるレーザ位置決め精度への影響

ワーキングディスタンス（リモートヘッド基準面から加工面までの距離、以下WD）上の加工平面において、Z軸方向の移動及びX軸、Y軸周りの傾きが位置決め精度に及ぼす影響について確認した。

Z軸方向に対しては上下方向に0.25mm、0.50mm、1.00mm変化させ、その位置でのレーザ位置決め精度を確認した。

また、Y軸及びX軸周りの傾きは、加工平面端の一辺の変化量を評価基準とし、0.25mm（ $\cong 0.16\text{deg}$ ）、0.50mm（ $\cong 0.32\text{deg}$ ）、1.00mm（ $\cong 0.64\text{deg}$ ）と変化させた場合のレーザ位置決め精度を確認した。

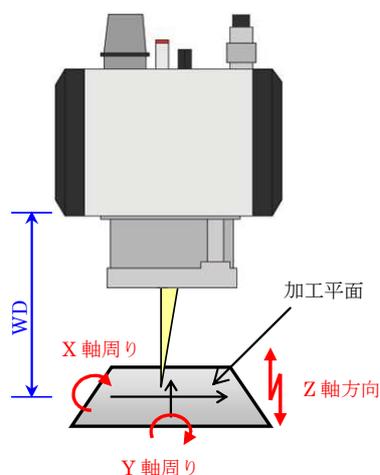


図 2-1-3 加工平面変化

Z 軸方向の移動量に対するレーザ位置決め精度の最大誤差を図 2-1-4 に示す。
Z 軸方向の移動量が $\pm 0.25\text{mm}$ 以内であれば、目標精度 0.1mm 以内を達成できる事が確認された。

同様に、Y 軸及び X 軸周りの傾きに対するレーザ位置決め精度の最大誤差を図 2-1-5 に示す。

傾きによる移動量が 0.25mm ($\approx 0.16\text{deg}$) 以内で目標精度 0.1mm 以内を達成できる事が確認された。

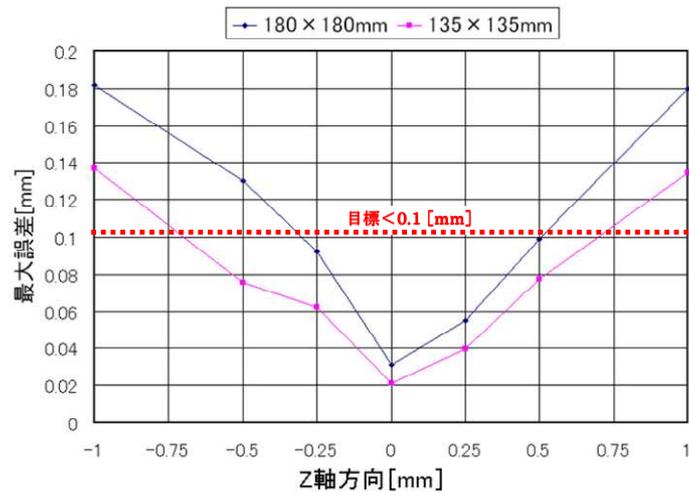


図 2-1-4 Z 軸方向移動によるレーザ位置決め精度への影響

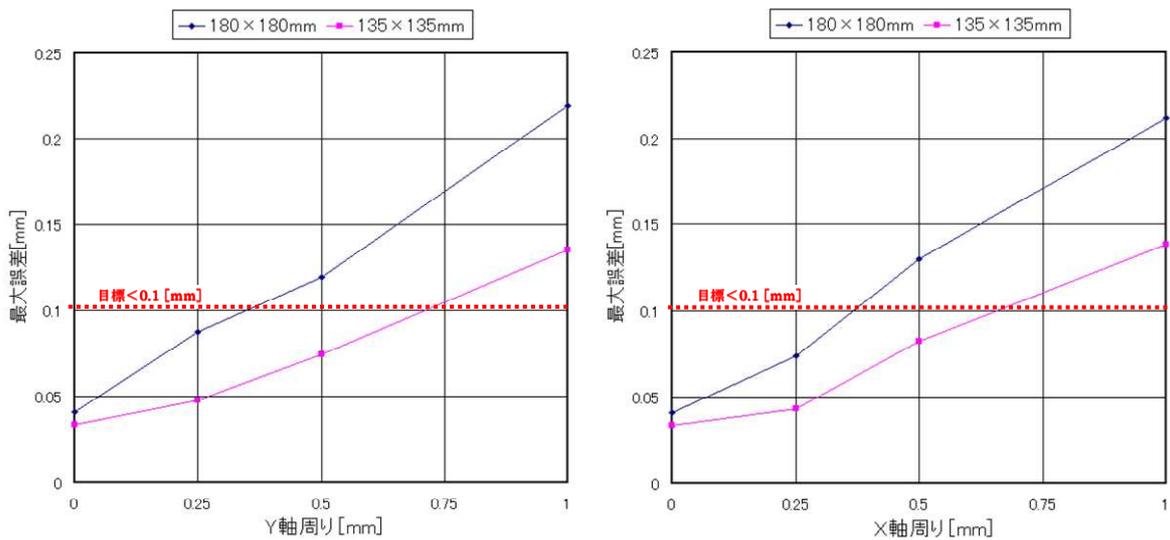


図 2-1-5 X、Y 軸周りの傾きによるレーザ位置決め精度への影響

2-1-4 まとめ

- (1) 本研究にて採用したレーザ位置決め精度評価法によって、目標精度 0.1mm 以内が達成された。通年を通して最大誤差 0.06mm 未満を実現し、安定した精度を確保する事に成功した。
- (2) 加工平面の精度を 0.25mm 未満に保つ事で、レーザ位置決め精度 0.1mm 以内が達成できる事が確認された。

2-2 カメラによる3次元画像処理測定技術とリモートレーザ溶接技術を統合した位置補正機能を有するティーチングレスの溶接システムの開発

2-2-1 単一電池ケース溶接用カメラシステムの設計・製作・性能評価

本開発では軸外カメラ方式を採用し、開発したカメラの歪補正並びに台形補正の専用ソフトを用いて、取得した画像データから電池ケースのエッジ認識法及び形状寸法標定法を考案した。カメラシステムの主な仕様を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 カメラの主な仕様

名称	品番	概要
カメラ	UI-5490RE-M-GL	10M B/W
カメラ電源	CK00090	多国仕様電源
GigE ケーブル	CK00086	GigRE
レンズ	LM16JC10M	10M 対応
照明	MDBC-CW100	Moritex
照明用電源	MLEK-A230W2LRDB-100V	専用ケーブル付

図 2-2-1 に試験装置の外観写真を示す。

μm オーダで製作した基準校正板（チェスボード）を用いてカメラシステムの画像校正試験を実施した結果、目標精度を大幅に上回る $4\mu\text{m}$ 以下を達成した。

次に電池ケースを模擬した模擬計測板を用いた場合の、中心位置座標の算出精度について評価試験を実施した結果、目標精度の 0.1mm 以下を達成し、算出データの再現性としては $15\mu\text{m}$ であった。

当該カメラシステムを用いて実際のリモートヘッド本体の座標系とカメラ座標系の整合法を考案し、スポット溶接試験を実施した。カメラの画像データから実際の電池ケースの形状認識後、電池ケースの位置座標を算出し

リモートヘッド本体の実ビーム走査指令へ反映させることにより電池ケースの溶接仮想線に沿って、スポット溶接が実現できることを実証した。

次に、量産品の製造装置を視野に画像取得から位置座標算出、算出データの転送までの時間についても重要な評価項目であることから、ログデータから処理に費やす時間を計測した結果、目標の 5 秒以内を達成していることを確認した。

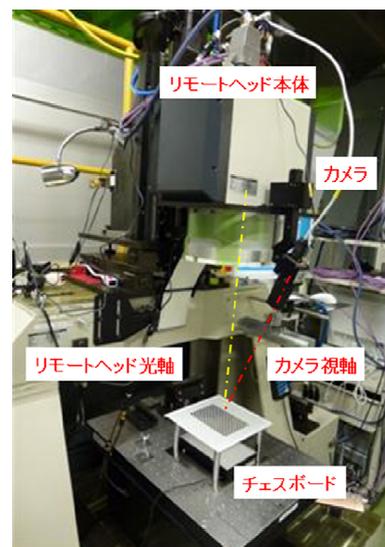


図 2-2-1 外観写真

2-2-2 複数の電池ケース溶接用カメラシステムの設計、製作、評価

本開発では、ティーチングレス溶接システムの効果をより引き出すために、単一の電池ケースから複数配置の電池ケースの位置座標を算出し、一括でリモート溶接を行うことができるシステムへの拡張を行った。

本開発では 2 個配置の電池ケース各々に対応したカメラを追設することにより、基本的な歪補正、台形補正等の画像校正精度を維持させるコンセプトで設計を実施した。

2個配置の各々のカメラで取得した各々の画像データから電池ケースを模擬した模擬計測板を用いて、位置座標の精度評価を行った結果を図 2-2-2 に示す。形状寸法が異なる模擬計測板 A、C に対して2個のカメラ画像により算出した位置座標精度としては何れも 0.1mm未満を満足する結果が得られた。

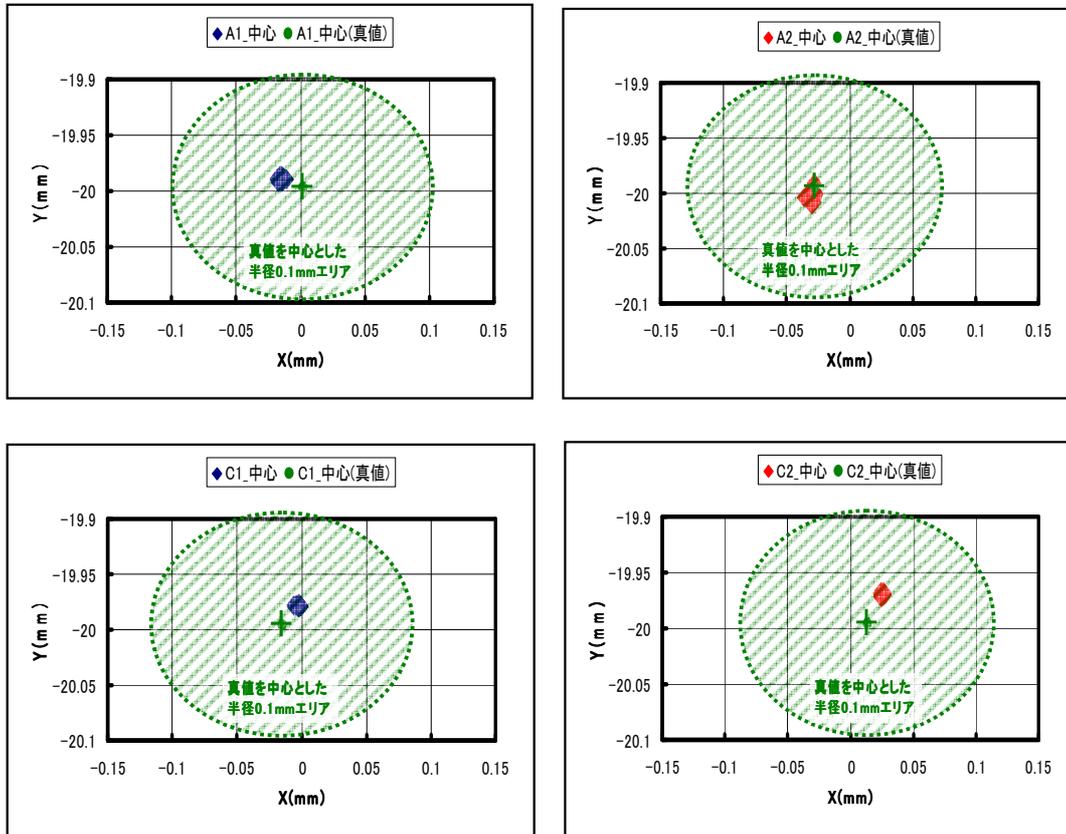


図 2-2-2 中心位置座標計測精度の安定性 (連続 100 回計測)

これまで、カメラとリモートヘッドシステムは個別のシステムで開発が進められたが、最終的にはリモートヘッド制御装置へのシステム統合を行った。システム統合では、量産化に必要なカメラの画像データ及び位置座標算出結果、誤認検知機能、リモート走査の誤射防止機能を追設し、信頼性評価試験時のデータベース管理ができるように改善を行った。

システム統合後に電池ケース設置後の画像データ取得開始から、2個配置の電池ケースの溶接施工が完了するまでの時間について評価を行った結果、現状の単一電池ケースをパルスレーザで溶接施工する時間に対して、目標の5倍以上の短縮を実現した。

2-2-3 まとめ

- (1) 単一電池ケース溶接用カメラシステムについて設計、製作を行い、目標精度0.1mm未満を実現する画像処理ソフトを開発することができた。
- (2) 複数の電池ケース溶接用カメラシステムについて設計、製作を行い、目標精度0.1mm未満を実現する画像処理ソフトを開発することができた。
- (3) カメラシステムとリモートヘッド制御システムのシステム統合を行い、複数の電池ケース設置後の画像取得から各々の電池ケースの位置座標算出並びに複数の電池ケースの溶接施工が完了するまでの施工時間を評価した。従来の電池ケース溶接施工法（パルスレーザー溶接法）に対して生産性として5倍以上短縮できることが判明した。

2-3 溶接歪を抑制する溶接施工条件の最適化

高集束レーザとリモート溶接システムによる溶接熱を
拡散させる加工技術の開発

本項では、リチウムイオン電池生産における溶接加工の最適化について実施した研究結果を報告する。

本研究で想定している、リチウムイオン電池生産工程における溶接加工概要を図 2-3-1 に示す。

研究では上図工程 4 の電池ケース溶接を検討項目としており、本報告もこの溶接を目標とし検討を行った。

電池ケースの溶接は、構造保持の他に電池内容物（電解液）の封止が必要であり、機械強度と共にシール性が必要となる。また、上図のように溶接部材には電気集電用の部品が取り付けられており、この部品は電気絶縁を確保するために、樹脂部品が取り付けられている。そのため、樹脂部品の破損を防ぐため、ワーク温度上昇を抑える必要がある。また、内部は高密度のエネルギーが蓄えられているため、導電性の微細な異物混入でも、電池内部で短絡すると爆発的な電池の崩壊が起こる。従って、加工工程に置いても異物混入が発生しないよう留意する必要がある。さらに、本研究で対象としている電気自動車用リチウムイオン電池は 10 年の寿命が必要とされており、この期間問題なく使える加工品質が必要となる。

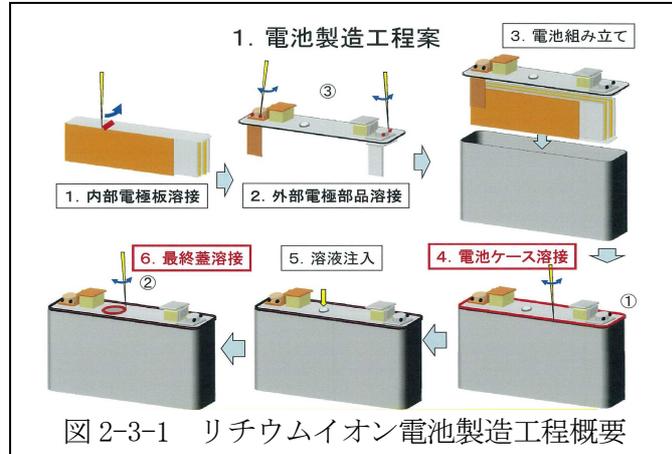


図 2-3-1 リチウムイオン電池製造工程概要

そこで、本研究では、このアルミケース溶接について本研究で開発した高精度・高安定性の加工装置を適用し

1：複数個を保持する治具の最適化

目標 ・ 2 ケースの同時溶接

2：溶接の最適化

目標 ・ 2m/min 以上での良好な加工 ・ 安定した溶接痕
・ 表面酸化がない ・ 内部欠陥がない
・ 十分な強度（加圧テスト 0.2MPa）

の検討を行った。

2-3-1 高速直線溶接の最適化（固定ヘッドによる加工テスト）

まず、標準的な固定光学系による実験装置で、本実験の対象となる材料について、その加工特性の確認および最適化を行った。

2-3-1-1 実験装置

本実験で用いた実験装置の概要を図 2-3-2 および表 2-3-1 に示す。

$\phi 200 \mu\text{m}$ のファイバーで出力される 6kW 連続発振のディスクレーザ（波長 $1.03 \mu\text{m}$ ）を 3 倍の加工ヘッドでワークに照射。ワークは多軸制御のロボットステージ（X-Y）に設置。材料はリチウムイオン電池ケースに用いられている A1000 系のアルミ板材とした。

ワーク治具概要を図 2-3-3 に示す。同図のように、アルミ溶接部の酸化を防ぐため溶接部外周から不活性ガスであるアルゴンを吹きつけた。

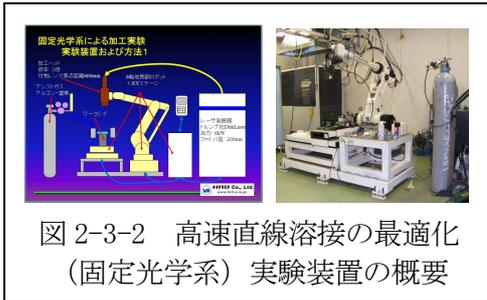


図 2-3-2 高速直線溶接の最適化
(固定光学系) 実験装置の概要

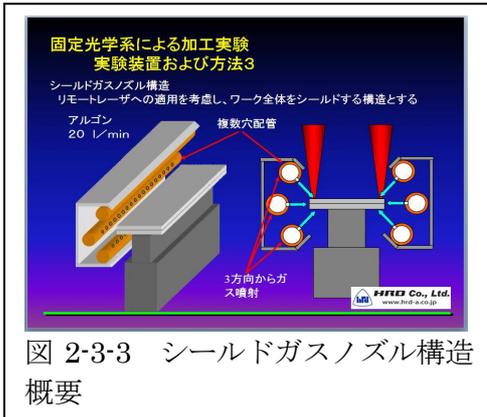


図 2-3-3 シールドガスノズル構造
概要

**表 2-3-1 高速直線溶接の最適化
(固定光学系) 実験装置の概要**

装置	レーザー	トルンプ社 6kW CW 発振 近赤外レーザー
		波長 1030nm
		最大出力 6kW
ファイバー		SI
		φ200 μm
加工ヘッド		トルンプ社
		倍率 3倍 スポット径 φ600 μm
加工ステージ		
ワークジグ		オリジナル加工サンプル保持具(別紙参照)
ワーク	材質	A1000 系
	サイズ	100mm × 10mm × t0.8mm 100mm × 10mm × t2.0mm
アシストガス	アルゴン・窒素・エア	

2-3-1-2 実験方法および目標

実験方法の概要を図 2-3-4 に示す。加工は 2 枚の材料の重ね溶接とし、速度、レーザー出力、狙い位置（ワーク端からの照射中心位置）をパラメータとした。フォーカス位置は加工面の表面で固定し、さらに、戻り光対策として 5° 傾けて照射した。

評価は、外観および断面の光学顕微鏡による観察（溶け込み深さ、のど厚、溶接幅、溶接欠陥の有無）を行った。なお、重ね溶接実施の前に、オンビード溶接（単板への単純照射による溶け込み形状の観察）を実施した。本研究では、2m/min 以上の良好な溶接を目標とし、本実験では、その可能性調査と課題・問題点の抽出を目的とした。

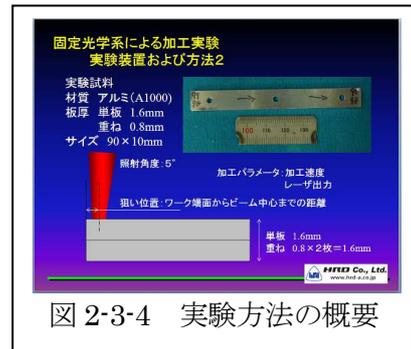


図 2-3-4 実験方法の概要

2-3-1-3 実験結果

ビードオン溶接加工特性の結果（レーザー出力と溶け込み深さの関係）を図 2-3-5 に示す。同図より検討範囲内において 2m/min 以上で十分な溶け込み深さ（1mm 以上）の溶接が可能であることがわかった。また、熱伝導型の溶接範囲を特定した。さらに、5m/min では、レーザー出力に対する溶け込み深さの変化が非常に大きく制御が困難であることがわかる。

同図から、本実験の範囲内では溶接速度 10～15m/min の範囲で良好な加工が可能と推測される。

次に重ね溶接の結果を示す。重ね溶接の評価を行う上で、溶接状況を図 2-3-6 に示すように 5 つのパターンに分類し評価した。断面は、平板の 4 つのコーナーの溶融状況に注目し、残っているコーナーの数により A～E に分類した。本研究では上下の板が溶接され（接

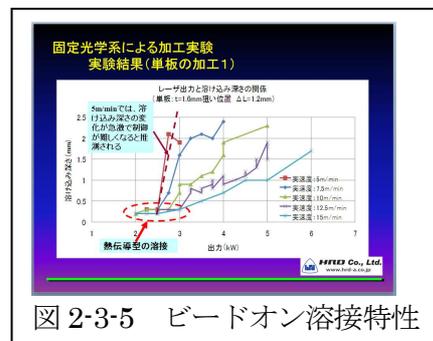


図 2-3-5 ビードオン溶接特性

合し) 安定してDの状況になる条件であれば、安定した加工が行えると推測した。

狙い位置、レーザー出力、溶接速度をパラメータとした溶接加工結果を図2-3-7に示す。図中アルファベットは上記断面分類、○は上下の板が接合、×は溶接されていない

この図より、前述の結果と同様に5m/minでは加工形状の制御が困難で、ある程度の速度が必要であることがわかる。また、狙い位置0.8mmより0.4mmの方が断面形状は安定し、より安定した加工が行えるものと推測される。さらに、レーザー照射位置は0.4mm単位で正確に制御する必要があり、量産時の安定性を考慮すると、0.1mm単位での正確な照射位置制御が必要なるものと推測される。なお、本研究のレーザー照射位置制御の目標は0.1mmであり、本実験結果から要求される照射位置精度と合致する。

次に断面の詳細を、図2-3-8に示す。同図より、断面の観察からは、ポロシティ、割れ等の内部欠陥はなく、良好な溶接が行えていることがわかった。

今回加工したビードは、表面が酸化して光沢の無いビードになっている。断面は問題ないが、表面に酸化があると、溶接の始終点を重ねた場合、表面の酸化膜がビード内に取り込まれるため、溶接不良を発生させる原因になる。さらに、製品としての美観も悪く量産への適用は困難である。原因として、今回のノズルは噴流でガスを流しているため、周りの空気を巻き込んでしまった為と推測され、シールドガスノズルの開発課題の抽出ができた。

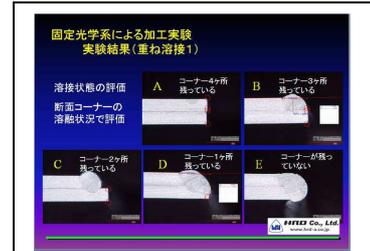


図 2-3-6 溶接断面評価基準説明図

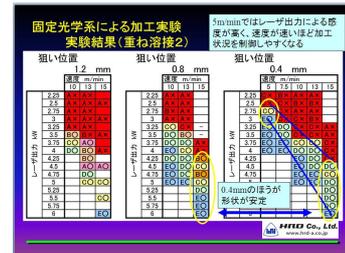


図 2-3-7 重ね合せ溶接結果



図 2-3-8 重ね合せ溶接断面写真

2-3-2 曲率を有する矩形形状の高速溶接条件の最適化

(リモートヘッドによる加工テスト1)

前述までの、固定光学系のテストで、本実験条件範囲内で、2m/min以上の速度でアルミ材料を内部欠陥のない溶接が可能であることがわかった。次に、本研究で適用するリモートレーザー溶接法について、前述の実験条件での加工の再現および高速溶接条件の最適化を行った。

2-3-2-1 実験装置

本実験で用いた実験装置の概要を図2-3-9 および表2-3-2に示す。

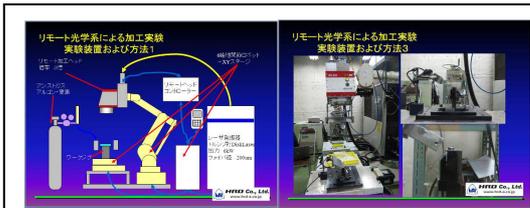


図 2-3-9 リモート光学系溶接実験装置
外観および写真

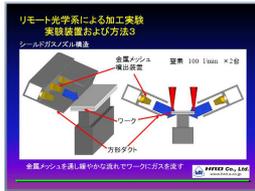


図 2-3-10 改造型シールドガスノズル
概要説明図

表 2-3-2 リモート溶接の最適化実験装置
仕様

装置	レーザー	トルンブ社 6kW CW 発振 近赤外レーザー
		波長 1030nm
	ファイバー	SI φ200 μm
	加工ヘッド	ハイヤグ社製リモート加工ヘッド
		Laser Processing Head RLSK
	Focusing system (magnification @ focal length) 3.0 @ 450mm*	
	ワークジグ	オリジナル加工サンプル保持具(別紙参照)
ワーク	材質	A1000系
	サイズ・形状	
アシストガス	窒素	

φ200 μm のファイバーで出力される 6 kW 連続発振のディスクレーザー (波長 1.03 μm) を結像倍率 3 倍のリモートレーザー加工ヘッドでワークに照射する構成を採用した。ワークは多軸制御のロボットステージ (X-Y) に設置。材料はリチウムイオン電池に用いられている A1000 系のアルミ板材とした。シールドガスノズルの概要を図 2-3-10 に示す。固定光学系の実験時にシールドガスの供給法に課題がありビード表面が酸化した。原因として、シールドガスを噴流として吹きつけたためと推測された。本装置では、多孔のメッシュよりガスを吹き出すように改良し、緩やかな流れとなってワークの加工面にガスを供給するようにした。さらに、対向する 2 台のノズルを用意し、それぞれにバルブを取り付け、必要ならノズルのみガスを供給できるようにした。

2-3-2-2 実験方法および目標

実験方法の概要を図 2-3-11 に示す。加工は 2 枚の材料を 90° に組み、実ワークの加工と同じ継手溶接とした。加工パラメータは、溶接速度、レーザー出力、狙い位置 (ワーク端からの照射中心位置) とした。フォーカス位置は加工面表面で固定とした。

評価は、外観および断面の光学顕微鏡による観察 (溶け込み深さ、のど厚、溶接幅、溶接欠陥の有無) を行った。

本研究では、2m/min 以上の良好な溶接を目標とし、本実験では、その可能性調査と課題・問題点の抽出を目的とした。

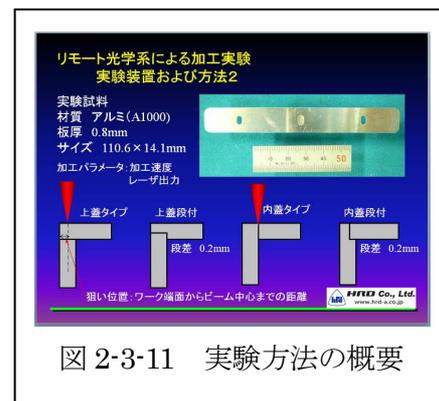


図 2-3-11 実験方法の概要

2-3-2-3 実験結果

図 2-3-12 にワーク加工外観を示す。同図より、なめらかで光沢のある連続した良好な溶接が行えていることがわかる。加工条件は、固定光学系での実験条件とほぼ同じ条件で加工が行えることがわかった。上蓋継手の場合、6kW、15m/min で良好な加工が行えることがわかった。

図 2-3-13 にワーク断面 (溶接方向) を示す。同図より、溶接領域全域で光学顕微鏡で観察されるポロシティや割れなどの溶接不良は見られず、良好な溶接が行えていることが

わかった。前述の外観と合わせ、リモートレーザで電池製造に必要な溶接品質を達成できる目途をつけた。

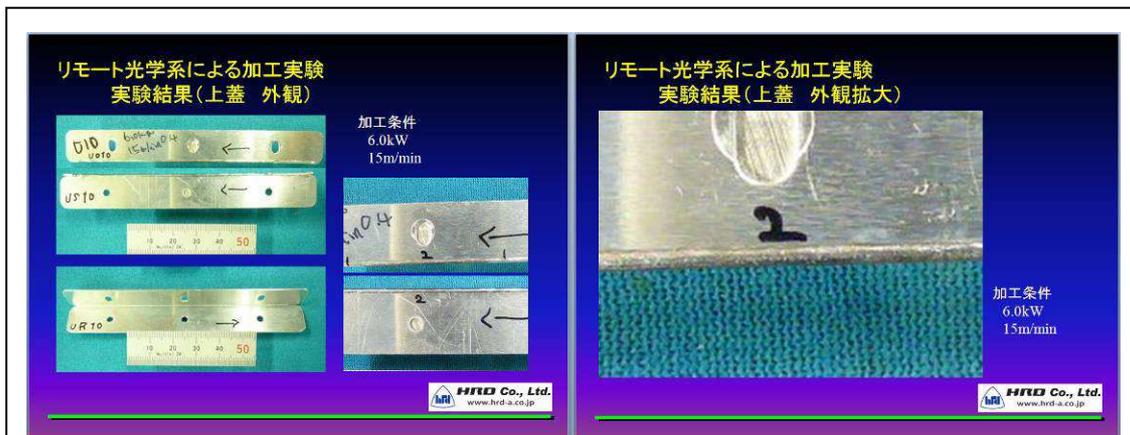


図 2-3-12 リモート溶接ワーク外観



図 2-3-13 リモート溶接断面

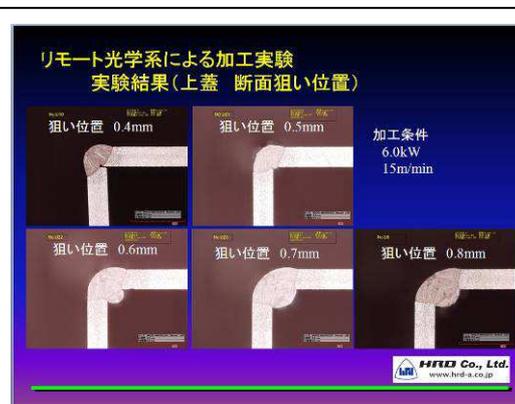


図 2-3-14 狙い位置に断面の差

図 2-3-14 に狙い位置の違いによる断面形状の違いを示す。同図より、0.1mm 単位で断面形状が大きく変化することがわかる。この結果からも、本加工法においてレーザ照射位置の制御は 0.1mm 単位での正確な制御が必要であると言える。従って、本研究が目標とする高精度な位置決めのできるリモートレーザ装置の開発が本加工法に置いて必ず必要となる技術であるといえる。

2-3-3 車載用電池ケースの溶接条件の最適化 (リモートヘッドによる加工テスト2)

前項までに、基礎的なアルミ溶接条件の検討及び、リモートレーザによる溶接の検討を行い、本研究の目標である 2m/min 以上の溶接速度で、良好な溶接が行えることがわかった。本実験では、この結果に従い、実際の電池ケースの溶接を試み、実ワークでの溶接条件の最適化を行った。

2-3-3-1 実験装置

実験装置は、前述の、曲率を有する矩形形状の高速溶接条件の最適化と同じ装置を適用した。

2-3-3-2 実験方法および目標

実験は、提供頂いた実際のリチウムイオン電池ケースに、本研究で用意したアルミの蓋

を溶接した。評価は、外観、断面観察、加圧テスト（歪テスト）を行った。本研究での目標値は、溶接速度 2m/min、加圧テスト 0.2MPa（溶接部の破損なし）である。

2-3-3-3 実験結果

溶接したワークは、テストピース加工と同様に、なめらかで光沢があり、連続した溶接が行えている。溶接の開始位置および終了位置に於いても外観から問題となるような不具合は認められなかった。なお、加工条件は、前述までの実験と同様の条件で良好に加工できた。このことは、本実験の初期の固定光学系で求めた加工条件表が本加工の範囲内で再現性があり、本加工の基礎データとして十分なものであると考える。

本加工の特徴として、仮止めと2回に分けたスキャン加工がある。溶接は、まず蓋を固定しスポット溶接で仮止めを行う。この時スポットの位置及び数は、溶接状況に応じて最適化する。仮止め後スキャン加工を行う。この工程で加工することで、溶接の歪が小さく、また、溶接部全域で良好なビードとなる加工が可能となった。

光学顕微鏡で断面観察をした範囲内で、ポロシティーや割れなどの内部欠陥は認められなかった。外観検査と合わせて、良好な溶接が行えていることがわかる。

溶接の品質のうち、溶接強度を確認するため、加圧テストを行った。加圧テストは、溶接したケースに加圧用の空気栓を取り付ける。その栓より圧縮空気を送り込み溶接部の剥離等が生じないか確認した。なお本研究では、0.2MPaの加圧で破損がないことを目標とする。実験では目標の0.2MPaより高い圧力の0.25MPaまで加圧した。加圧するとケースは大きく膨らみ変形するが、溶接部が剥がれたり割れたりすることはなかった。この結果からも、本検討条件において良好な溶接が行えていることが分かり、量産加工応用への可能性を示せたと考える。

2-3-4 曲率を有する矩形形状の高速溶接条件の最適化

H23年度に開発した精密位置決めが可能な加工装置用い電池缶溶接実験を行い、システムの評価および溶接条件の最適化を行った

2-3-4-1 実験装置

本実験で用いた実験装置の概要を図2-3-2および表2-3-1に示す。



図 2-3-15 本研究開発のリモートレーザー溶接実験装置の概要

φ 200 μ m のファイバーで出力される 6 kW 連続発振のディスクレーザー（波長 1.03 μ m）を結像倍率 3 倍のリモートレーザー加工ヘッドでワークに照射。ワークおよびリモートヘッドは本研究で開発した精密位置決め装置に固定され、高い精度での位置再現性を確保して実験が可能にな

表 2-3-3 本研究開発のリモートレーザー溶接実験装置の概要

装置	レーザー	トルンプ社 6kW CW 発振 近赤外レーザー
		波長 1030nm
		最大出力 6kW
	ファイバー	SI
φ 200μ m		
加工ヘッド	スキャラボ社 + テクノウェーブ制御システム	
	倍率 3倍	スポット径 φ 600 μ m
加工ステージ	ワークジグ	
	オリジナル加工サンプル保持具(別紙参照)	
ワーク	材質	A1000 系
	サイズ	100mm × 10mm × t0.8mm
		100mm × 10mm × t2.0mm
アシストガス	窒素	

っている。

2-3-4-2 シールドガスノズルの開発

本研究で加工品質に重要な影響を与える加工装置にシールドガスノズルがある。初年度は図 2-3-16 に示すようなノズルを開発し良好な加工結果を得た。しかしこのノズルはサイズが大きく、今後複数のサンプルを並べて加工する場合その配置に問題を生じる。そこで次年度ではこのノズルの小型化を実施した。

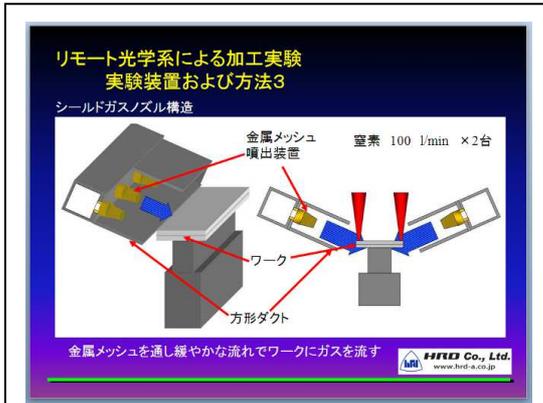


図 2-3-16 平成 22 年度開発ノズル

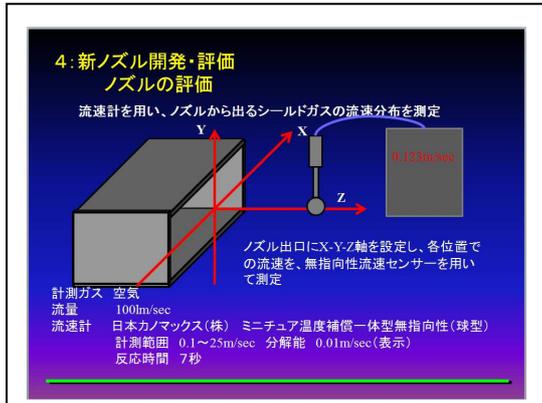


図 2-3-17 ガス流速分布測定の概要

ガスノズルの開発にあたり、ガスノズルの評価方法として、ガスノズルからの流速分布を測定し、加工結果と照らし合わせて評価を行った。ガス流速分布の測定方法を図 2-3-17 に示す。

研究開発の結果、良好な加工結果を得るには、層流状態で各方向に均一な流速分布である必要がわかった。そこで、ノズルからの流れが層流でかつ、加工方向に均一なガスノズルを開発した。その流速分布の比較を図 2-3-18 に示す。流速分布のムラが大幅に改善できた。

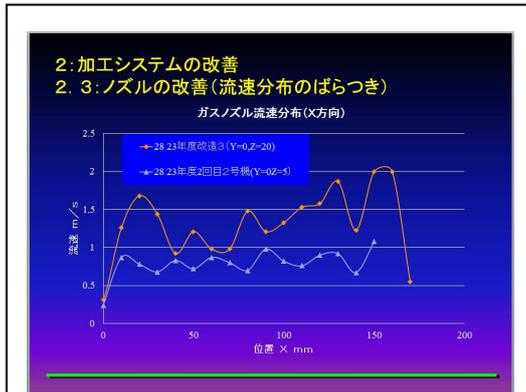


図 2-3-18 ノズル流速分布

2-3-4-3 ワーク固定治具の開発

本研究を進める中で、加工結果が加工治具により大きく影響されることが明確になってきた。加工時の入熱によるワーク変形により加工部に隙間が空き、加工結果へ大きな影響を与える。そこで、ワーク固定用の治具についていくつかの試作を行い、図 2-3-19 および図 2-3-20 に示すような治具を用いることで、加工の安定性・再現性を得ることができた。

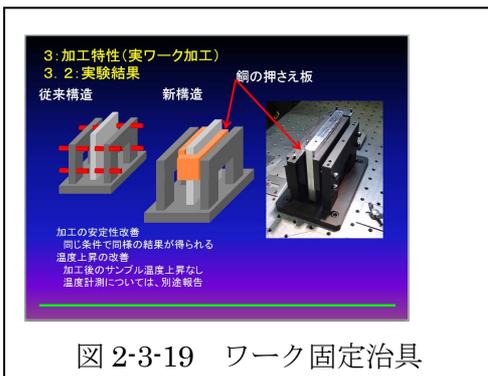


図 2-3-19 ワーク固定治具



図 2-3-20 ワーク固定治具

2-3-4-4 蓋形状の検討

蓋とケースの関係は図 2-3-21 に示すように、大きく上蓋、内蓋に分かれ、さらに段付きが考えられる。この蓋とケースの関係について検討を実施した。

組み立ての容易性等から、当初上蓋方式を中心に検討してきた、しかし、ビードの裏抜けが製品品質上問題があると判明し“裏抜けが発生しない条件”を検討したが、条件範囲が非常に狭く、ワークなどの僅かな変化により加工状態が変化してしまい、本研究の範囲で制御することが困難であることが判った。図 2-3-22 に示すように、比較的安定したビードを得るためには、相対的に出力を大きくする必要があるが、レーザ出力が大きくなると、裏抜けが発生する。裏抜け防ぐため、レーザ出力を小さくすると、ビードが不安定になり、場合によっては接合が困難になる。“裏抜け”と”良好な溶接”、”未接合”が混載するサンプルが発生し、同一条件の加工でも僅かな加工状況の変化で状態が変わってしまい制御できないと判断した。そのため、内蓋方式について検討した。

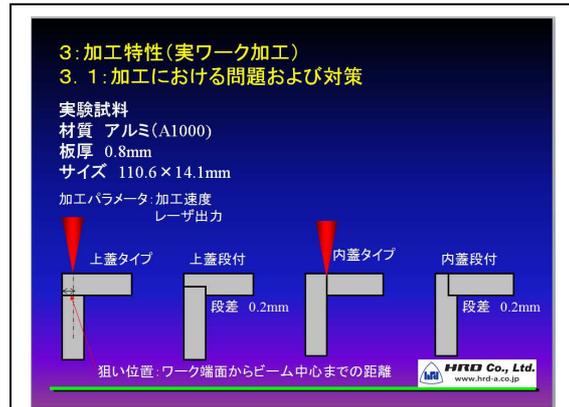


図 2-3-21 溶接方式概要

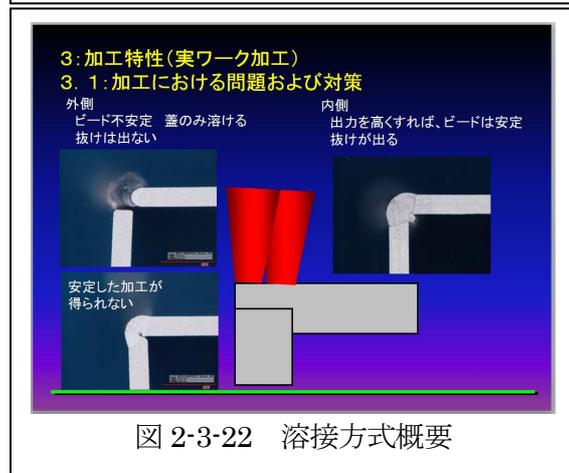


図 2-3-22 溶接方式概要

2-3-4-5 溶接条件の最適化

上述までの検討内容をふまえ、溶接条件の最適化を行った。内蓋方式の溶接方法には大きく

1: 熱伝導型の溶接

(レーザ光を加工表面で吸収し、その熱を熱伝導により材料内部へ伝え材料を溶接する方法)

2: キーホール型の溶接

(レーザ照射部にキーホール(穴)を形成し、材料内部に直接レーザを照射して熱を加え溶接をする方法)

がある。この二つの方法について最適化を行った。

2-3-4-6 熱伝導型溶接条件の最適化

熱伝導型の溶接は、外観(ビード)が非常に安定してきれいである。熱伝導型の溶接では、前述の治具の改善などでその発生量は少なくなったが、溶接部にクラックが観察される確率が非常に高い。また、クラックの改善および、溶接強度の改善のため、溶融深さを大きくしたいと条件を検討したが、熱伝導による熱移動のためか大幅な改善が出来ず、H24年度の検討の範囲内では、リチウムイオン電池溶接に適用できる条件の最適化はできなかった。しかし、外観の安定性等から、強度を必要としない溶接などへの適用が考えられる。

2-3-4-7 キーホール型溶接の最適化

キーホール型溶接は、熱伝導型と比較するとその外観は不安定になる。キーホール型の

溶接によるビード外観は熱伝導と比較すると不安定である。断面は、熱伝導と比較し深い溶接が可能である。また、同一の治具を用いて加工した場合でも、熱伝導型溶接と比較しクラックの発生が少ない溶接方法について検討した。

このキーホール型の溶接について、外観の改善およびクラックの減少できる加工方法としてウォブリングを適用した。このウォブリング機能は高速でレーザービームを揺動できるリモートレーザでの特徴的なビームスキャン方法である。ウォブリングを適用することで、ビード外観は改善しさらにクラックの発生を少なくすることができた。

キーホール型の溶接では、キーホールの安定した形成が必要になると考える。キーホールを形成するには十分なエネルギー密度のビームが必要になる。(キーホールを維持するための最低出力がある。)本研究の範囲では、約4~4.5kW以上の出力が必要となる。さらに、より安定させるためには5kW程度の出力が必要となる。この出力で溶接を行う場合、想定板厚みの0.8mmでその半分程度(0.4mm)の溶け込み深さで加工を実施しようとする、加工測度を20m/min以上に設定する必要がある、しかし、この速度になると、キーホールの移動の限界か、ビードが不安定になる。すなわち

- 1 : キーホールを維持するためにはある程度のレーザー出力が必要。(5kW)
- 2 : 安定したビードを形成するためには、キーホールの移動速度に限界がある。
- 3 : 現状では5kW、10m/min程度であるが、この条件では加工深さが過大となる。

となっている。本研究の対象である材料厚みは0.8mmで今後さらに薄くなることが予想される。この相反する加工条件に対し、より低いエネルギーでキーホールが維持できれば上述の相反する加工条件を改善し、目的の加工が可能と推測される。キーホールの形成は十分なエネルギー密度と推測され単純にレーザー出力を低くしてもエネルギー密度が低くなりキーホールが形成できない。

2-3-4-8 高速溶接条件の最適化結果

溶接条件の最適化を実施し次の結果得た。

- 1 : 5kW、15m/min ウォブリング実施で安定した光沢のある溶接が可能
- 2 : 断面観察の結果から、内部に問題となる欠陥は見られなかった。
- 3 : 耐圧テストを実施し0.2MPaにおいて、リーク破損は見られなかった
- 4 : 以上の結果から、前述目標を達成したと考える

- 目標
- ・2m/min以上での良好な加工
 - ・安定した溶接痕
 - ・表面酸化がない
 - ・内部欠陥がない
 - ・十分な強度(加圧テスト0.2MPa)

2-3-5 車載用電池ケースの溶接条件の最適化：2ケースの同時溶接

前述までに、本研究で開発したリモートレーザ溶接システムで、ケース溶接の基礎検討を行い5kW、15m/minでキーホール型溶接の良好な加工ができることを確認した。次に、本研究の目的である、リモートレーザの広い加工エリアを利用し、複数個のワークを加工エリア内に設置し、1回の設置で複数個のワークを加工するために必要な治具の検討を行った。なお、本研究では2個のワークでの加工を目標とし実験・研究を行った。

2-3-5-1 実験装置

実験装置は、前述の、曲率を有する矩形形状の高速溶接条件の最適化と同じ装置を適用した。この加工装置に、2個のワークを設置できる治具を開発し設置した。2個用治具の概要を図2-3-23に示す。この治具は、より多くのワークが並べられるよう、極力ワークを

接近させ、ワーク間の距離を 60mm として設計した。また、この 60mm の中に左右それぞれにシールドガスを吹き付けるノズルを開発した。ノズルの開発は、これまでと同様にガス流れの層流化および加工方向の流速分布の均一化をはかった。開発したノズルの外観を図 2-3-24 に、構造を図 2-3-25 に示す。60mm の狭い空間に 2 個のノズルを配置することができる。また、図 2-3-26 に示すよう均一な流速分布となっている。

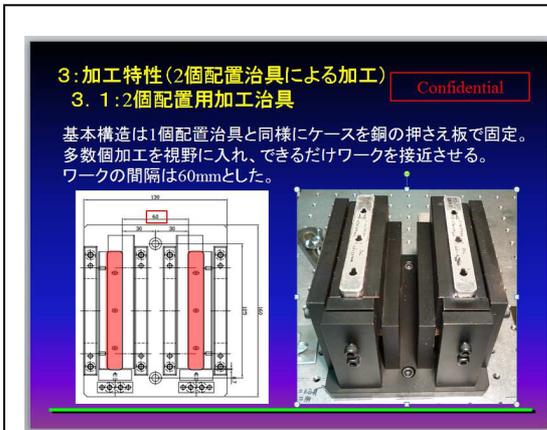


図 2-3-23 2 個治具の概要



図 2-3-24 2 個用ノズル外観

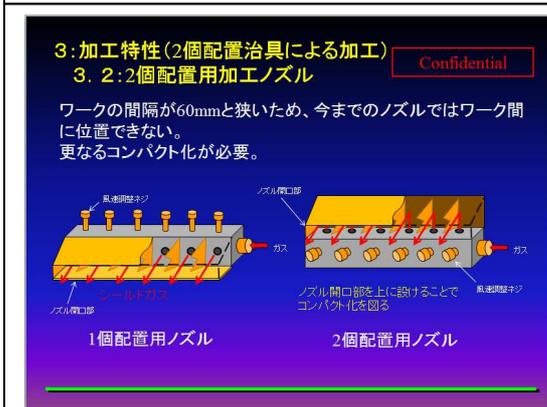


図 2-3-25 2 個用ノズル構造

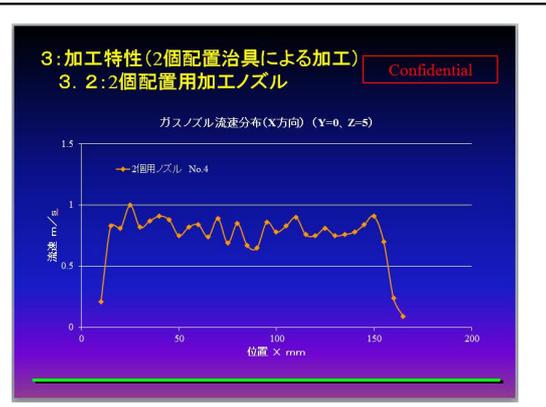


図 2-3-26 2 個用ノズル流速分布

2-3-5-2 実験方法および目標

前述の実験装置を用い、リチウムイオン電池ケースに、本研究で用意したアルミの蓋を溶接した。評価は、外観、断面観察、加圧テストを行った。本研究での目標値は、溶接速度 2m/min、加圧テスト 0.2MPa（溶接部の破損なし）である。

2-3-5-3 実験結果

溶接実験を行った結果、左右のワークで目視による差異は確認されず、前述までの加工テストと同等の、表面に光沢のある比較的安定したビードでの溶接が実現できた。また、図に示すように溶接断面に於いても問題となる欠陥は観察されず、2 個配置の加工においても良好な加工結果を得ることができた。なお、加工条件は、5kW、15m/min で、目標の 2m/min 以上での加工が可能となっている。

加圧テストを行った結果、目標の 0.2MPa の加圧で、リークおよび破損は認められず、目標を達成した。なお、溶接強度については、電池安全弁の解放圧力が 1.5MPa 程度とのことから、目標を 2MPa へ変更する。

2-3-6 複数個を保持する治具の最適化

本研究において、開発した精密位置決めが可能な加工装置を用いて電池ケース溶接実験を行い、治具およびノズルの評価を行った。

本研究を進めていくうえで、加工結果が加工治具により大きく影響されることが明確になった。加工時の入熱によるワーク変形により加工部に隙間が空き、加工結果へ大きな影響を与える。そこで、ワーク固定用の治具についていくつかの試作を行った。

しかしながらこの治具は、ワーク固定治具およびワーク上部固定治具の2組の組合せによる固定になっており、ワーク上部固定治具においては、ワーク周辺を22本のイモネジで締めこむため、2組の治具をセッティングするには時間がかかり過ぎる。量産を目的とするには更なる簡易化およびコンパクト化が要求される。

そこで、この2組の治具を一体化させた治具を製作した。治具の概要を図2-3-27 および図2-3-28に示す。

新しい治具はワークの固定を3本のネジのみとしてセッティング時間を大幅に減少させた。また押さえの形状は、以前の治具が22本のイモネジを締めこんだ機構であるのを反映させてピッチ10mmで押さえ部分が3mmの波型とした。新しい治具で加工した結果、押さえはしっかりできているものの、押さえた部分と押さえしていない部分の溶け込みに違いがあり加工ムラになることが分かった。この加工ムラを解消すべく押さえ部分の形状は波型ではなく直線に改造することにした。

また、ネジの締めこみによる押さえはセッティングの都度に変化してしまうために、この点を改善する必要がある。

上述のように、治具の改造によりワークのセッティング時間は短縮したものの、加工までの間にノズルをセッティングする工程も入ってくる。ノズルは合計4ヶ所あり、1つずつセッティングしていくと結構な時間を要してしまう。また3個以上の同時加工を実現するためにはノズルの更なるコンパクト化が必須である。

以上の改善点をまとめると以下の3点となる。

1. 加工ムラをなくすために押さえ部分の形状は波型ではなく直線にする。
 2. ノズルを治具と一体化しセッティング時間の短縮およびコンパクト化を目指す。
 3. ワークの押さえの力が常に一定になるようにする。
3. を改善するために、押さえが常に一定になるトルグクランプを使用することにした。以上3つの項目を達成する治具を製作した。

図2-3-29に新しい2個配置治具を示す。治具とノズルを合体させることで治具のコンパクト化およびセッティング時間の短縮化を実現した。内側の2ヶ所のノズル部は固定になっており、ノズルにワーク押さえ部分がついている。外側のノズル部にもワーク押さえ部が付いておりガイドに従いスライドする機構になっている。外側のノズル部でワークを挟み込むように固定する。固定は外側のトルグクランプを使用することで、ワークを押さえ



図 2-3-27 ワーク固定治具概



図 2-3-28 ワーク固定治具押
さえ部分拡大

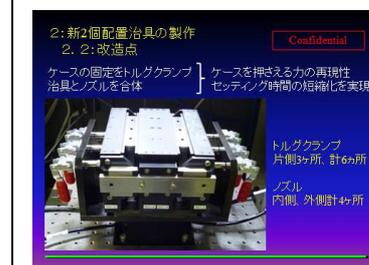


図 2-3-29 2個配置治具の外

る力を一定且つ再現性があるようにした。

ノズルの構造は図 2-3-30 に示すようにダクトの流路縮流構造の工夫により圧損のみで流速分布を均一にさせる特徴をもっている。電池ケースの長さ約 100mm 以上に渡って均一な流速分布を保つことで均一な加工品質を実現している。図 2-3-31 にノズルの流速分布を示す。

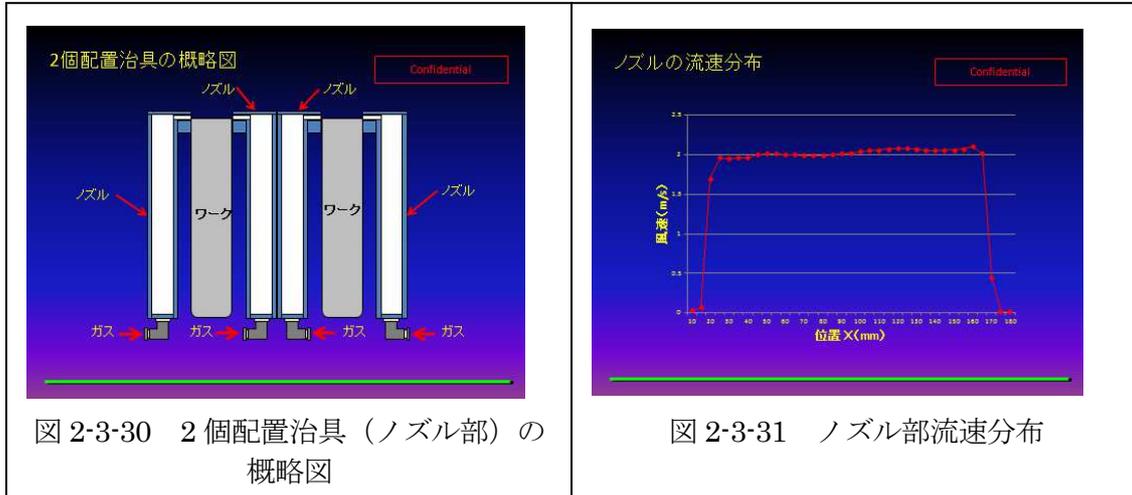


図 2-3-30 2 個配置治具（ノズル部）の概略図

図 2-3-31 ノズル部流速分布

2-3-6-1 溶接条件の最適化

焦点による加工ではスパッタが発生してしまうため、スパッタが発生しない状態までフォーカス位置をずらした。デフォーカスで溶接することでスパッタが発生せず、溶け込み深さも得られる条件を探した。溶接条件として、4kW、10m/min 程度 デフォーカス（インフォーカス側）で溶接した結果、スパッタレスで溶け込み深さは約 220~460 μm 得られた。

溶接後に耐圧試験をおこなった結果、約 3MPa で溶接部の破断が見られた。これは目標とする 2MPa 以上を達成している。

2-3-7 まとめ

電気自動車用リチウムイオン電池の量産化のための高速高精度リモートレーザ溶接システムを開発し、溶接歪を抑制する溶接施工条件の最適化について、高集束レーザとリモート溶接システムによる溶接熱を拡散させる加工技術の開発を行い、次の結果を得た。

- 1 : 2 個配置用の治具を製作し、ケース押さえ力の再現性および短時間のセッティングを実現し、2 ケース同時溶接の施工条件の最適化をおこなった。
- 2 : スパッタレスの加工は、2m/min 以上での良好な加工が実現し、加工品質としては、安定した溶接痕であり、表面酸化がなく、内部欠陥も見られなかった。耐圧は目標の 2MPa 以上で、破損はなかった。

第3章 全体総括

3-1 H22年度の研究開発成果

- (1) 3次元のリモートヘッドを用いてレーザの走査位置決め精度の補正法について研究開発を行い、目標精度を達成するための施工手順を確立した。
- (2) 車載用リチウムイオン電池ケース及び蓋の封止溶接を想定し、アルミ材を用いた溶接施工条件の最適化を行い、溶接欠陥の無い施工条件を見出した。

3-2 H23年度の研究開発成果

- (1) 3次元リモートヘッドの起動直後からの位置決め性能及び年間を通じた位置決め精度の安定性に関するデータを取得し、量産化に向けた基礎データの蓄積を行った。
- (2) カメラの画像データを用いて、加工エリア内に設置した単一の電池ケース溶接の位置ずれ量を算出し、リモートヘッド本体の走査位置座標を補正する技術について研究開発を行い、ティーチングレスの溶接施工法について適正化を行った。
- (3) 車載用リチウムイオン電池ケースの固定法、シールドガス供給法の適正化を行い、従来のパルスレーザ溶接法と比較して数倍の高速溶接が実現できることを実証した。

3-3 H24年度の研究開発成果

- (1) 3次元のリモートヘッドを用いたレーザの走査位置決め精度の評価試験法について高度化を行い、目標の位置決め精度の1/2以下の性能を年間を通じて確保できることを実証した。
- (2) 量産化に向けて複数配置の電池ケースに対応したカメラシステムへ拡張し、単一の電池ケース溶接用とほぼ同等の位置決め性能を実現した。
- (3) 電池ケース封止溶接用としてティーチングレスの高速高精度リモート溶接システムとして統合し、溶接施工条件の最適化を実施した。電池ケース設置後から溶接完了までの全工程の適正化により、従来のパルスレーザ溶接法と比較して5倍以上の短縮が可能であることを実証した。
- (4) 信頼性評価試験において、一部の電池ケースに発生した溶接品質劣化箇所と原因を細かく究明していくことが今後の課題として挙げられる。課題については実用化に向けて更に補完研究において実施していく予定。

3-4 研究開発後の課題・事業化展開

今回開発した「電気自動車用リチウムイオン電池の量産化のための高速高精度リモートレーザ溶接システム」については溶接速度、安定した溶接痕、2個以上の同時加工等々に於いて良好な結果を得ている。現在、電池メーカー各社に於いても同様な研究を行っていると思われる。高速高精度リモートレーザを使用する事で従来のパルスレーザでの溶接に比べ10倍以上の高速で溶接できるシステムは導入すれば生産性が大きく向上し、高価なレーザ発振器の設置台数を減らすことができ、ラインスペースの低減も図ることが出来る。

事業化の形態については、リチウムイオン電池メーカー各社は秘匿性の高い製造ラインに関して情報開示が無く溶接方法や基準も各社各様の為、溶接装置も各社仕様に合わせてものを開発する必要が出てくる。現在は川下企業殿よりご提供頂いたケースでの溶接を行っているが、今後は電池メーカー様の賛同が得られれば共同開発という形で更に改良し販売したい。また、今回得られたリモート溶接技術を発展させリチウムイオン電池の溶接のみではなく燃料電池用溶接システムや各種薄板溶接への技術応用を行って行く。