

プログラム名：ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現

PM名：佐野 雄二

プロジェクト名：超小型パワーレーザー応用

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 2 9 年 度

研究開発課題名：

リチウムイオン電池向けレーザークリーニング

(テーブルトップレーザーによる一括ビーム照射)

研究開発機関名：

国立研究開発法人産業技術総合研究所

研究開発責任者

新納 弘之

# I 当該年度における計画と成果

## 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

(目標) ナノ秒パルスを活用する材料表面加工技術における産業実用化を指向した性能検討の実施として、浜松ホトニクス社 中央研究所 産業開発研究センター内の設置されている同社の開発機であるテーブルトップレーザ装置 (小型パワーレーザ) を用いて、一括ビーム照射下でのレーザクリーニング試験を行い、産業実用化に向けた具体的な除去性能の明確化を検討する。

(計画) 前年度 (H28 年度) の FS 段階で実施したパルス幅 5.7ns, 1 J/パルスのテーブルトップレーザでの液滴除去は、下地のアルミ材を溶融させずに除去できることは確認済みであるので、今年度は、レーザ照射時の基板表面からの液滴の飛散状況を、(1) 接写型超高速カメラ画像測定、(2) マルチアングル同期・同時観測型高速カメラ画像測定によって、レーザ照射現場において、液滴飛散の動的な挙動を詳細に評価する。照射実験を行った試料については、産総研つくばセンターにおいて試料表面の詳細分析を行う。産総研が既保有の分析評価機器 (表面元素分布マッピング装置、三次元形状評価装置など) を活用することで、レーザ照射後の加工表面の詳細な把握を行う。これらの検討に基づき、コスト、サイズ、除去性能等について、競合レーザ装置であるハンドヘルドレーザとの二者間で比較可能な実験データを取得する。

## 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

### 2-1 進捗状況

浜松ホトニクス社において、テーブルトップレーザ装置を用いた一括ビーム照射下でのレーザクリーニング試験について、表 1 に進捗状況を示す。照射実験の設定は、波長：1064nm、パルス幅：35ns、強度：最大1 J/パルス、パルス繰返し：1Hz (MAX バースト 300Hz)、照射角度：落斜照射 45° である。液滴組成は、炭酸エステル系有機化合物の混合物溶液を用い、参照液滴として、精製水ならびにエタノールを使用した。また、当該受託研究事業 (50万円以上の取得資産：接写型カメラレンズ、及び、同期・同時観測型高速カメラ装置) で得られた実験データ等の研究成果を適切に管理し、確認可能な方法で保存している。

表 1 レーザクリーニング試験の進捗状況

試験項目	実施状況	検討事項	結果概要、補足事項
1. 接写型超高速カメラ画像測定 (一方向からの測定)	浜松ホトニクス社において実施	・液滴飛散開始のレーザ強度 (フルエンス) しきい値を取得 ・液滴の滴下量やフルエンス値に依存した飛散現象の追跡	産業実用化に向けた具体的な除去性能の明確化について、良好な観察結果を得た
2. マルチアングル同期・同時観測型高速カメラ画像測定	浜松ホトニクス社において実施	・フルエンス値に依存した飛散現象の追跡	除去性能の明確化には、カメラ配置のさらなる最適化が必要
3. レーザ照射試料基板表面の詳細分析	産総研において実施	・表面元素分布マッピング ・三次元形状評価	良好な測定結果を得た

## 2-2 成果

アルミ基板上の炭酸エステル系有機化合物溶液では液滴飛散のフルエンスしきい値として、 $2.6\text{J}/\text{cm}^2$  が得られた。このフルエンスしきい値近傍のレーザー照射では、アルミ基板表面に損傷痕は形成されなかった。また、28年度実施のFS検討におけるフルエンスしきい値  $0.6\text{J}/\text{cm}^2$  (使用レーザーのパルス幅:  $5.7\text{ns}$ ) と比較すると、今回の照射系では4倍強大さくなった。これはレーザーパルス幅に大きく依存して液滴飛散が起こっていることを示している。競合レーザー装置であるハンドヘルドレーザーはピコ秒パルスであるので、しきい値は最も小さかった。

接写型超高速カメラ画像測定からは、フレームレートを  $30\text{kfps}\sim 150\text{kfps}$  に設定し、液滴の飛出し初期速度を精度高く測定することができた。 $6.6\text{J}/\text{cm}^2$  の一括照射 ( $1\text{J}/\text{パルス照射時}$ ) では、液滴の飛出し初期速度として  $330\text{m}/\text{s}$  が観測され、フルエンスに対して飛出し初期速度が一次相関を有していることが分かった。

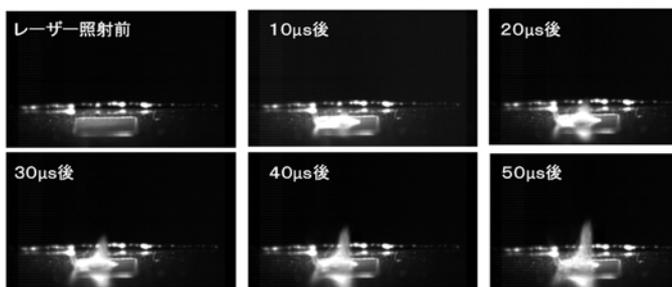


図 1 接写型超高速カメラ画像測定による液滴飛散観察結果 ( $3.3\text{J}/\text{cm}^2$ 、フレームレート:  $100\text{kfps}$ )

レーザー照射試料基板表面の表面元素分布マッピングおよび三次元形状評価の詳細分析からは、基板表面の物理的損傷 (熔融など) や化学的な汚染が起きていないことを確認した。

基板上の液滴量を  $20\mu\text{L}$  まで大きくした系では、ビーム状の巨大液滴群の直上飛散が観測された。そこで、マルチアングル同期・同時観測型高速カメラ画像測定に代えて、巨大液滴群の飛散状況を三次元的に捕捉することを試みたが、カメラ配置の最適化に今回は至らず、多方向から同期の取れたマルチアングル観察結果を得ることができなかった。次回測定までに解決したい。

上記の研究成果は、レーザー加工分野での著名な国際会議である「19th International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2018)、会期: 25-28 June 2018、開催場所: エジンバラ大学、英国 Edinburgh」において、口頭発表として受理された (投稿日: 2018年2月25日、題目: Laser-induced ejection of millimeter-sized liquid droplet from metal surface with a 1 Joule/pulse ns-laser、発表日 2018年6月26日)。また、該研究分野の動向調査として、LPM2017 国際会議 (富山市、会期 2017年6月5日~8日) に国内出張し、レーザー加工に関する国内外からの研究発表を聴講・調査した。基礎分野ならびに応用分野に関する最新研究動向を整理し、とくに固体基板表面からの飛散物ダイナミクスに関する詳しい調査を遂行することができた。

## 2-3 新たな課題など

産業実用化に向けた具体的な除去性能について、さらなる明確化結果を得るにあたっては、マルチアングル同期・同時観測型高速カメラ画像測定におけるカメラ配置のさらなる最適化が必要であることが今回判明した。光学テーブル上の限られた狭い空間配置での複数カメラの設置となるので、解決は容易ではないが設置治具などを工夫することによって、今年度解決したい。

## 3. アウトリーチ活動報告

本研究開発として行ったアウトリーチ活動はない。