

# 非接触洗浄装置「レーザクリア」の紹介

松坂 文夫<sup>\*1</sup>  
Matsuzaka Fumio

非接触洗浄装置「レーザクリア」の技術、製品、適用事例について紹介する。レーザによる非接触洗浄技術の概要、洗浄の原理および特長について解説し、環境負荷が低く、取り扱いが簡便で、自動化にも適した洗浄技術を紹介する。

キーワード：レーザ洗浄、ドライプロセス、環境改善、低ダメージ

## 1. はじめに

洗浄は生活のなかで日常的な行為であり、なじみ深いものである。産業のなかでも生産工程の一環として、古くからなくてはならない技術として存在する。例えば機械加工の後処理としての脱脂洗浄などは直ちに思い浮かべることができる。その他にも、メッキや塗装の前処理としての除錆、不純物除去、脱脂は昔から実施されているものである。現在では、精密加工や半導体製造などの先端加工技術の発展に伴い、材料清浄度確保は従来の生産技術におけるよりも重要となっており、それに伴って新しい洗浄技術が開発されている。レーザ洗浄もそのような新しいニーズに合わせて開発が進められている。

洗浄の方式は物理的洗浄方法と化学的洗浄方法に大別されるが、レーザ洗浄は物理的洗浄方法のひとつである。溶剤や酸、アルカリにより化学反応、溶解などを利用する化学的洗浄方法に対して、工具や研磨、加熱、圧力等を利用する物理的洗浄方法にあって、レーザ洗浄は「レーザアブレーション」現象による、加熱・圧力を利用した方

法である。レーザ光という高密度エネルギーを非接触な「工具」として活用する従来方式にない特長を備えており、SDGsの目標として近年重視される環境問題・労働問題の改善にも対応する。図1にレーザクリアが貢献するSDGs目標を掲げる。当社の事業分野においても、例えばインフラ事業領域における廃棄物の削減や労働環境の改善など関連性の高い分野を有しているため、技術開発、製品化に取り組んできた。本稿では当社の非接触洗浄装置「レーザクリア」の紹介をする(図2)。以下、



(私たちは持続可能な開発目標を支援しています)

図1 レーザクリアが貢献するSDGs目標

\*1：機器装置事業部 メカトロシステム部 部長



図2 レーザクリア [LF-100] 外観

最初に洗浄の原理および特長について述べ、続いて「レーザクリア」およびその適用事例を述べる。

## 2. レーザ洗浄の原理・特長

### 2.1 レーザ洗浄の原理

レーザ洗浄の原理を図3の模式図により説明する。

図は洗浄を行いたい材料(母材)の表面に、汚染物質等(表面層)が付着している状態を示す。ここ

に強いレーザ光を照射して、エネルギーを表面層に吸収させると、瞬時に表面層の物質が蒸発や分解する「アブレーション」が発生する。固体から急激に分解/気化すると同時にレーザ光の強い電磁界によりプラズマ化するために、爆発的な圧力上昇を引き起こす。その結果、表面層の物質は一気に周囲に飛散して取り去られる。

洗浄の工程は一般に、

浸透 → 分離 → 拡散 → 排除

の段階を経て成り立つと説明されるが、レーザ洗浄においては

- ①浸透：レーザ光照射（エネルギー吸収）
- ②分離：アブレーション（蒸発・分解）
- ③拡散：アブレーション（プラズマ化）

が以上の原理で説明され、

- ④排除は、送風や吸引、清掃等の補助的な手段により実施される。

また、アブレーションに際してはエネルギーが蒸発・分解に消費され、飛散物質とともに取り去られるため、原理的には母材の温度上昇を抑制できる。特にQスイッチパルスレーザのようなレーザ持続時間が短く、パルス発振中のレーザ強度の強いレーザ種類を用いる場合は投入エネルギーに対する発熱比率を抑える制御が可能である。この他、紫外光を得られるエキシマレーザやパルス持

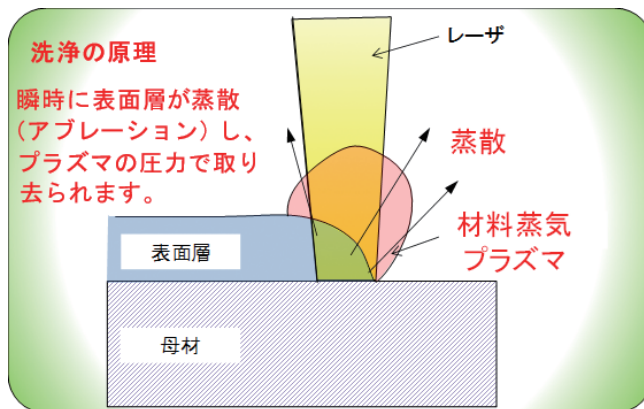


図3 レーザ洗浄の原理 模式図

続時間がフェムト秒程度( $10^{-13} \sim 10^{-15}$ s)の超短パルスレーザーでは非熱的なアブレーションが可能であり、より発熱を抑制可能である。

図4に、レーザー洗浄装置の構成模式図を示す。装置の主要部はレーザー発振器、ガルバノスキャナ(レーザー光偏向装置)、 $f\theta$ レンズ(集光レンズ)により構成される。ガルバノスキャナに入射したレーザー光は～数百Hzの高速スキャンにより偏向され、 $f\theta$ レンズにより対象面上に集光される。集光・吸収されたレーザーエネルギーがアブレーションを引き起こすエネルギー以上となることで表面洗浄が行われる。レーザー光は連続波(CW)またはパルス列として照射されるので、スキャンおよび装置の移動により所定の面積が洗浄される。

## 2.2 レーザ洗浄の特長

レーザー洗浄の特長を以下に挙げる。

- ①水・薬剤・プラスト材を使用しない。
- ②ドライプロセスである。
- ③非接触である。
- ④母材へのダメージが、薬剤・プラスト等従来技術に比べて小さい。
- ⑤高精度な局所的洗浄が可能。
- ⑥低騒音である。

①および②の特長は、レーザー洗浄が洗浄工程の浸透～拡散をレーザー光のエネルギーのみを使用することによる。このため洗浄に付加的な材料が不要で、廃棄物の発生や、工程での発塵、化学物質による浸食などが少なく、環境負荷を抑え、衛生的な作業環境を実現できる。

加えて、レーザー光は出力制御性、位置制御性に優れ、洗浄点が極小かつ非接触のために洗浄範囲の高精度な形状制御が可能である。④、⑤の特長はこれらの特性から得られる。アブレーションには大きなエネルギーを要する一方で、過大なエネルギー投入は母材の損傷をも招くため、適切なエネルギー制御が必要である。レーザーは高い出力制御性を備えるために、母材がアブレーションされることを回避することができる、以下の条件が成り立つエネルギー範囲に制御することが容易である。すなわち、アブレーション閾値のエネルギーが、式(1)の場合、母材を損傷することなく付着物のみの洗浄が可能な条件となるが、レーザー光のエネルギーELを式(2)の範囲に制御すればよい。

$$E_c < E_s \quad (1)$$

$E_c$  : 表面付着物のアブレーション閾値

$E_s$  : 母材のアブレーション閾値

$$E_c < E_L < E_s \quad (2)$$

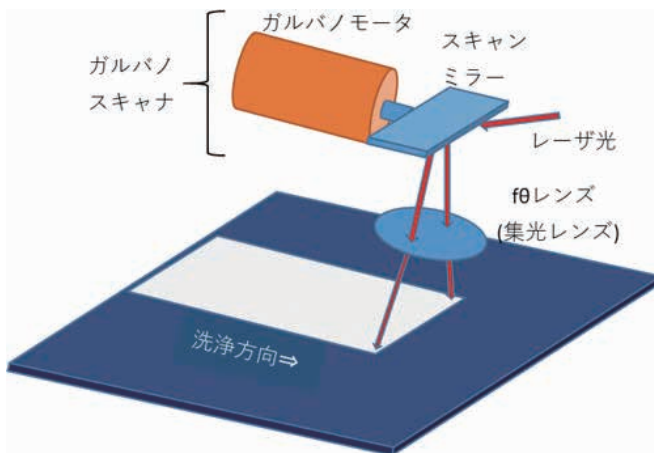


図4 レーザ洗浄装置 模式図

一方高精度な局所洗浄が可能であることから、  
 マスキングが不要となり、工程の自動化も容易で  
 ある。

### 3. レーザクリア LF-100 の仕様・特長

#### 3.1 仕様

レーザークリア「LF-100」の外観(ヘッド外観図・本体  
 表面図・側面図)を図5に、仕様一覧を表1に示す。



図5 レーザクリア「LF-100」外観図仕様

表1 レーザクリア「LF-100」仕様

レーザー種類	ファイバーレーザ クラス4
レーザー波長	1,085 ~ 1,095nm
発振モード	Q スイッチパルス
レーザー平均出力	0 ~ 100W
レーザー繰り返し周波数	100 ~ 200kHz
スキャン幅	0 ~ 100mm (標準レンズ使用時)
スキャン周波数	0 ~ 300Hz
ダイオード寿命	10,000 時間 (期待値)
重量	39kg (照射ヘッド: 2.4kg は含まず)
サイズ 本体 / 照射ヘッド	W642mm × D465mm × H990mm (車輪含む) / W104mm × D370mm × H57mm
電源	50/60Hz AC100V 15A (最大消費電力 1.5kW)
冷却方式	空冷
動作環境条件	動作温度範囲: +5 ~ +35℃ 動作湿度範囲: 75%RH 以下 (ただし結露なきこと) 動作雰囲気: オイルミスト、粉塵、腐食性及び 可燃性ガスのなきこと

## 3.2 特長

レーザークリア「LF-100」の特長を、2.2 節で示したものを含め、以下に示す。

- ①水・薬剤・プラスチックを使用しない。
- ②ドライプロセスである。
- ③非接触である。
- ④母材へのダメージが小さい。
- ⑤高精度な局所的洗浄が可能。
- ⑥低騒音である。
- ⑦空冷のレーザーを用い取り扱いが簡便である。
- ⑧小型・軽量で足場の悪い現場での使用も可能。
- ⑨Q スイッチ型のファイバーレーザーを使用し低入熱・高効率である。
- ⑩ロボットやスライダと組み合わせた自動化に対応している。
- ⑪家庭用コンセント（AC100V）で駆動できる。

以上のうち、⑦「空冷」⑧「小型・軽量」と⑨「Q スイッチファイバーレーザー使用」は差別化された特長である。⑦と⑧は特に現場で使用する際に重要であり、不安定かつ空間の制約の大きい場所では不可欠である。これは小型高出力化に適したファイバーレーザーを使用していることも寄与している。加えて⑨は2.1 節で述べたように発熱を抑えた洗浄に有効な方式である。現在レーザー洗浄装置は多くのメーカーより発売されており、なかには1kW 以上の平均出力を謳う製品もあり、「レーザークリア」はそれらより低出力であるが、現時点で空冷Q スイッチファイバーレーザーは最大で100W クラスであり、パルスエネルギーの大きさや集光性に優れ、作業性や高効率・高品質を併せ持つ製品であると考えている。

## 4. 用途・適用事例

### 4.1 レーザ洗浄の用途例

レーザー洗浄は以下のような業種・適用箇所で使用されている。

- ①自動車：溶接前後処理、金型洗浄、酸化膜除去、塗装剥離
- ②航空機：部品洗浄、塗装剥離<sup>はくり</sup>
- ③食品：ベーキングプレート等の油脂・焦げ<sup>ざんし</sup>残滓の洗浄
- ④電力：鉄塔のメンテナンス（除錆等）
- ⑤原子力：火力タービンの洗浄、除染
- ⑥半導体製造：IC パッケージ金型の洗浄、パーティクル除去
- ⑦文化財・美術品：さびなどコンタミ層の除去
- ⑧橋梁：塗装剥離・除錆
- ⑨産業機械：板金加工（局所塗膜剥離）

このようにさまざまな業種・目的で使用されているが、特に溶接前処理、塗膜除去、除錆、金型洗浄は需要が多い例である。放射性物質の除染目的では遠隔・非接触で使用可能な特長が適合する。

### 4.2 レーザクリアの適用事例

#### 「橋梁におけるボルト部の素地調整作業」

再塗装を伴う補修を要する橋梁が増加しており、再塗装工程にレーザー洗浄を使用する例も報告されている。鋼道路橋の再塗装時素地調整の施工基準は「鋼道路橋防食便覧（平成26年）」に規定されるようにRc-I 塗装系（ふっ素樹脂塗装）においては第1種ケレンが要求されている。第1種ケレンでは、さび、旧塗膜を全て除去し鋼材面を露出させること、除錆度としてISO Sa2 1/2 相当とすることが定められており、一般的にはブラスト工法により施工される。レーザークリアはこれと同等の除去性能が得られるため、代替として、あるいはブラストの適用が困難な狭隘箇所<sup>あい</sup>・ボルト等の凹凸面に適用してより完全な素地調整を実現するための方法として適用が検討されている。

本稿では橋梁のボルト素地調整の例を紹介する。

図6は橋梁に使用されるM22ボルト・ナットで、膜厚約400 $\mu\text{m}$ ふっ素樹脂塗料系の塗装除去の状況を示す。図6(a)はレーザー照射の状態、レーザーが照射されている部位では塗膜が蒸散・プラズマ化している様子を示している。図6(b)は除去完了した状態を示し、塗膜が完全除去され、ボルトの地肌が露出し、酸化等で黒変することなく金属光沢を見せている。

## 5. おわりに

「レーザークリア」は高効率で作業性に優れ、工場での自動化にも、現場での環境改善にも貢献するレーザー洗浄装置である。発塵の低減・化学薬品使用量の低減を図ることができ、環境問題・労働環境の改善への寄与が期待できる。これらの課題に積極的に取り組むツールとして「レーザークリア」をご活用いただければ幸いである。



(a) レーザ照射中の状態



(b) 除去完了状態

図6 ボルト部レーザー洗浄状態



機器装置事業部  
メカトロシステム部  
部長

松坂 文夫

TEL. 045-791-3525  
FAX. 045-791-3538