

パルスレーザ適用技術の開発

Development of Pulsed Laser Application Technology



一ノ瀬 浩
Hiroshi Ichinose
ロボティクス事業部
企画管理部



春名 俊宏
Toshihiro Haruna
ロボティクス事業部
東日本センター
名古屋ロボティクスグループ

ロボティクス事業部は、自動化案件を事業の柱にして、お客様に提案を行っているが、プロセス制御技術分野に強みがある事が特徴であり、更なる強化に取り組んでいる。その一例がパルスレーザの適用開発である。パルスレーザとは、短い時間間隔で、照射を繰り返すレーザのことである。用途としては、微細加工・マーキングが得意な分野であり、製品への印字、刻印、レーザクリーニング、除去加工などに用いられる。これらは、照射領域の小さなワークであり、我々はもつと大きなワークへの適用開発に取り組んでいる。本稿は、パルスレーザの特徴、適用事例、自動化システムに対する考え方について紹介したものである。現在製品化への途上であるが興味を持っていただいているお客様もあり、ご期待に応えたい。これを機により多くの方に知って頂ければ幸甚である。

The Robotics Division provides customers with proposals for automation projects as the core of its business. The division is characterized by its strength in the field of process control technology and is working to further strengthen this area. One example is the development of pulsed laser applications.

A pulsed laser is a laser that repeatedly beams light at short time intervals. Microfabrication and micro-marking are its specialty and are used for printing and engraving on products, laser cleaning, removal processing, and so on. These are applications that irradiate small areas of workpieces, and we are working to develop applications for larger workpieces.

This paper introduces the features and application examples of a pulsed laser, as well as our approach to automated systems. Although we are still in the process of commercialization, some of our customers are interested in our products, and we would like to meet their expectations. We hope that more people will take advantage of this opportunity to learn more about a pulsed laser.

1. はじめに

ロボティクス事業部では、単なる自動化提案に留まらず、加熱・冷却や溶接、溶断、バリ取り、研磨などの各種プロセス技術を保有し、その技術を応用したライン設備、セル生産システムを提案している。新技術の産業適用として、2004年より、レーザ溶接の取り組みを開始し、テーラードウェルドブランク設備（板厚や材質の異なる複数の鋼板をプレス成型前に溶接し、1枚の被加工材にする）の商品化を実現した。現在は、パルスレーザを用いたレーザクリーニング技術の適用開発に鋭意取り組んでいる。パルスレーザは、ワンパルス当たりのエネルギーから面に与えるエネルギー密度 (J/cm^2) を設定し、均一に照射することができるため、様々な適用先に展開できる可能性がある。また、3D微細制御と連携した自動化システムを構築すれば、複数形状のワークへの対応や特定部位への照射が可能となり、省人化・省力化を進めることができる。本稿では、レーザクリーナーに関するこれまでの取り組みを振り返り、検証結果を紹介する。

2. パルスレーザとは

開発に使用しているレーザは、パルスレーザであり、短い時間間隔で、照射を繰り返すレーザのことである。照射時間をパルス幅で表し、繰り返し数は周波数で表す。パワー密度 (W/cm^2) とパルス幅の関係は、図1中左上に行くほど、パルス幅が短くパワー密度 (単位面積・単位時間当たりの投入エネルギー) が大きいことを示している。現在のパルスレーザ適用取り組み領域は、図中の赤枠範囲であり、蒸発除去加工が可能なパワー密度である。(図1参照)

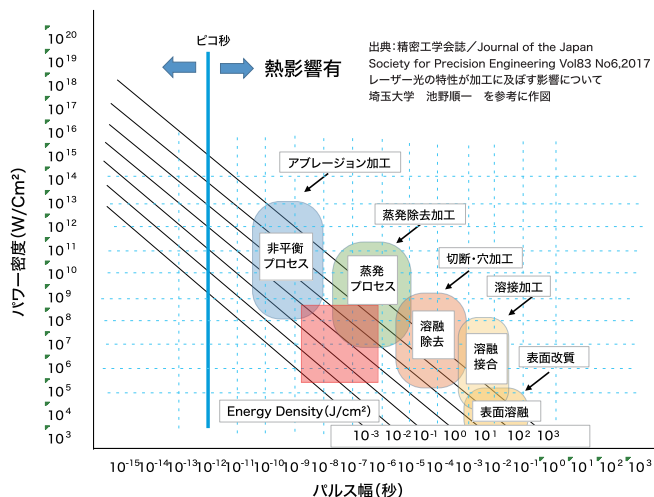


図1：レーザパワー密度とパルス幅および適用加工プロセス

3. レーザクリーニングとは

レーザクリーニングは、レーザ光を除去対象物に照射することによって、物質の蒸発および衝撃圧力が働くことを利用して、除去対象物を母材表面から剥離する。従来多くの場所で使わ

れているショットブラストは、研削材を高速で対象物に衝突させることで、除去対象物を母材表面から剥離する。この剥離機構の違いから、レーザクリーニングは、環境面（騒音・粉塵・廃棄物）で大きな優位性がある。(図2参照)

	レーザクリーニング		ショットブラスト
	騒音	低い	高い
	粉塵	極めて少ない	多い
	廃棄物	極めて少ない	多い
有効な使用方法	狭隙部 複雑、立体的		広範囲、大量 比較的平坦
剥離機構 概念図			

図2：レーザクリーニングとショットブラストの比較

4. パルスレーザによる除去表面の特性

ショットブラストは、研磨剤、除去物質の影響で均一・清浄な表面にはならない。パルスレーザによる除去は、非接触のため、表面が清浄になるが、除去した表面に熱的な影響を残してしまう。(図3参照)

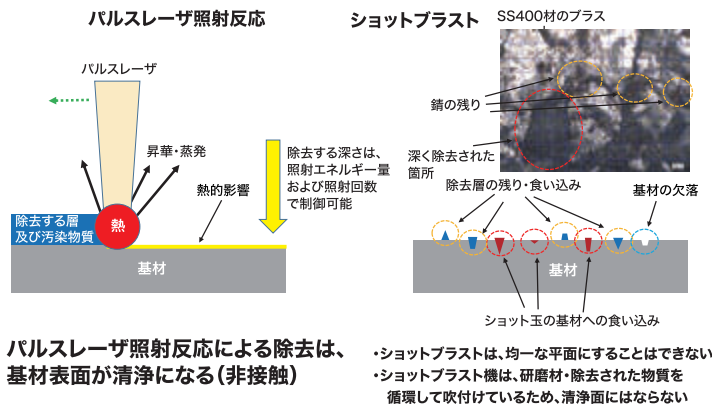


図3：パルスレーザとショットブラストの特性

5. パルスレーザの照射制御

パルスレーザの制御パラメータの第1は出力であり、100Wの場合、5～100%の範囲で調整可能である。第2は照射距離であり、レンズの焦点位置で照射すると、最もスポット径が小さく、エネルギー密度が最も高い。また、レンズの焦点位置から離れるほど、スポット径が大きくなり、エネルギー密度は低くなる。第3は、照射スポットの重ね方と照射回数で、照射エネルギー密度を制御する。対象物の材質や求められる表面状態によりこれらの照射条件を探索してきた。(図4、5参照)

焦点位置制御で、スポット径・エネルギー密度を制御

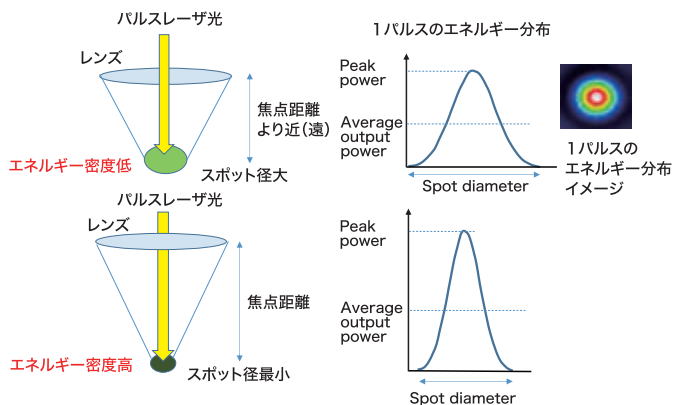
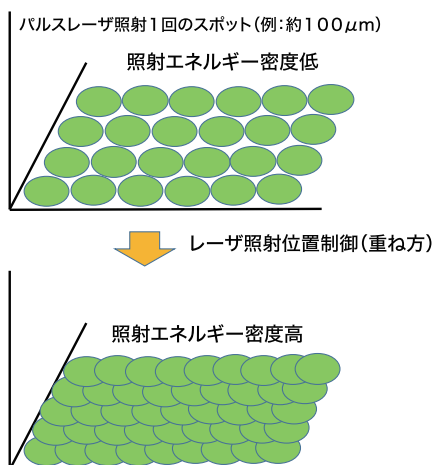


図4：パルスレーザの照射制御（1）



照射スポットの径・重ね方で表面のエネルギー密度を制御

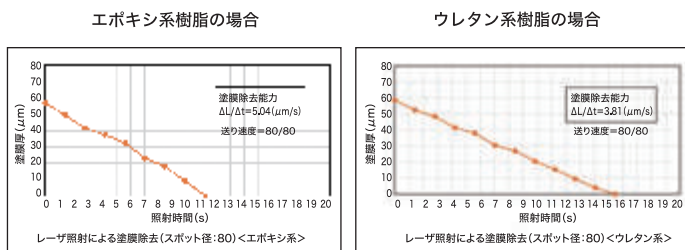
図5：パルスレーザの照射制御（2）

6. パルスレーザの適用事例

▶6.1 塗膜除去の評価

橋梁・道路橋などの鋼構造物は、維持管理のため、塗替えが行われる。再塗装する場合の下地処理として、手工具・電動工具・ショットブラストなどによる塗膜除去が行なわれるが、ここではレーザ照射による塗膜除去を評価した。100W機による試験では、塗料種にかかわらず、約60 μ mの塗膜で十数回の照射が必要であった。（図6参照）

・構造用鋼(SS400)(150L×70W×6t)の60 μ m塗装膜
(エポキシ系およびウレタン系の防食用塗料)

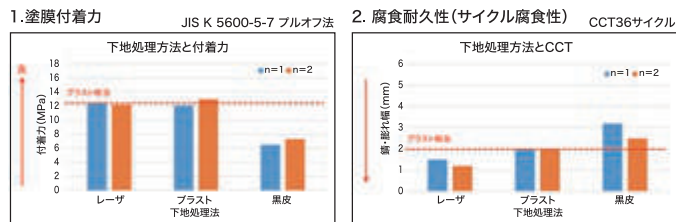


約60 μ mの塗膜厚で十数回の照射

図6：レーザ照射による塗膜除去の評価

▶6.2 塗装下地処理の評価

レーザ照射により、一般構造用圧延鋼材 (SS400) の黒皮を下地処理した後の塗装性能を評価した。塗膜付着力は、構造物用さび止めペイント (JIS K 5551 B種) をスプレー塗装で60 μ m塗布し、JIS K 5600-5-7付着性 (プルオフ法) で評価した。腐食耐久性は、鉛・クロムフリーさび止めペイント (JIS K 5674 1種) をスプレー塗装で35 μ m塗布し、CCT (サイクル腐食性) で評価した。その結果、レーザ処理は、ブラスト処理と同等以上の結果が得られた。（図7参照）

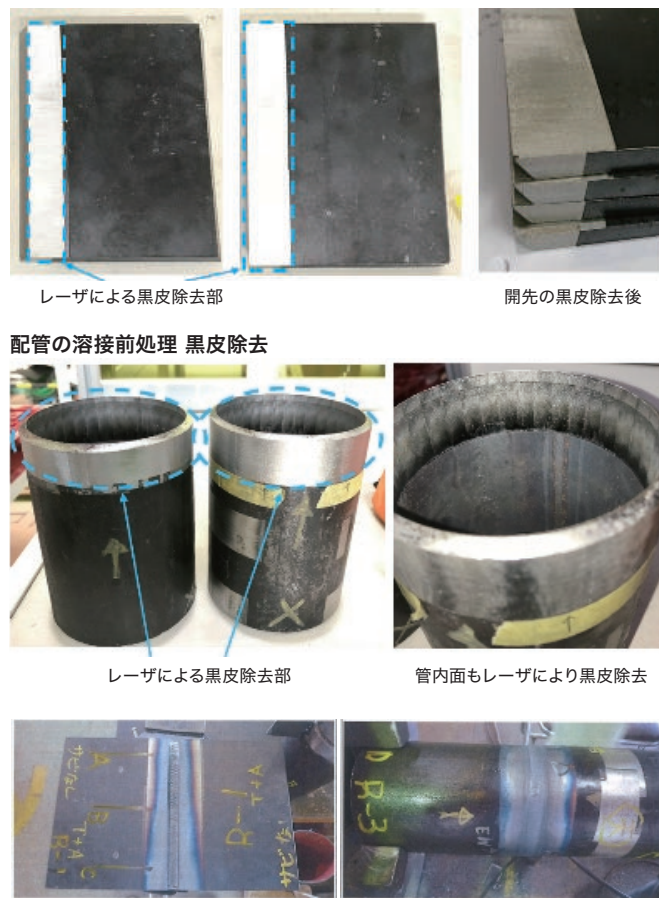


ショットブラストとレーザ処理は、塗膜付着力と腐食耐久性が同等以上

図7：塗装性能評価結果

▶6.3 溶接前処理の評価

溶接前処理として、レーザ照射による黒皮除去を行い、溶接性能を評価した。目視による黒皮の除去、溶接性および溶接後のRT、曲げ、引張の試験で全く問題はなかった。（図8参照）



溶接後RT、曲げ、引張結果異常なし

図8：溶接前処理の評価

▶6.4 ステンレスの溶接後処理の評価

ステンレスの溶接部は、熱影響による鋭敏化で耐食性が一般面よりも低下し、構造物においては耐久性が脆弱な部分となる事が知られている。また、外観では溶接焼けが残るため、工具による研磨、酸洗処理、電解研磨などの溶接後処理が行われている。焼け色除去にレーザーが用いられる場合の照射後の耐食性能を評価した。

ステンレスの試験片でJIS G0577・B法準拠した孔食電位測定を行ったところ、溶接部、母材ともに孔食電位が向上、特に溶接部は著しく改善した。(図9参照)

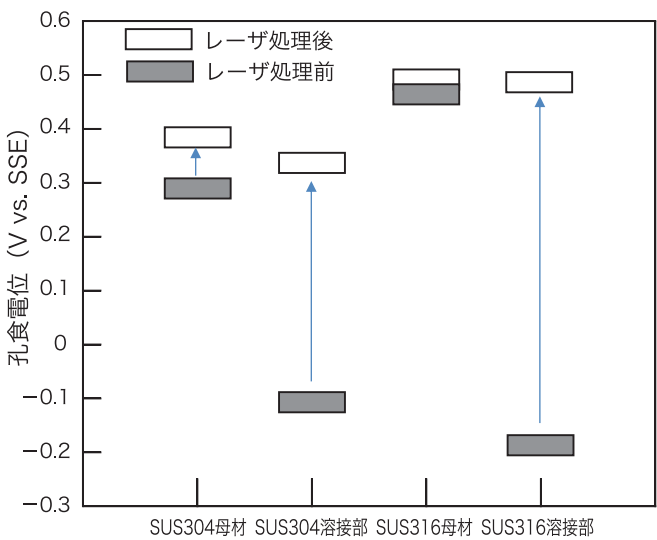


図9：レーザー処理前後の孔食電位

SUS304の孔食試験では、レーザー照射により、孔食が改善することを確認できた。この結果より、安価なSUS304の製品にレーザー照射することによって、高耐食性製品として価値を向上できる可能性があることを検証した。(図10参照) (特許出願済み)

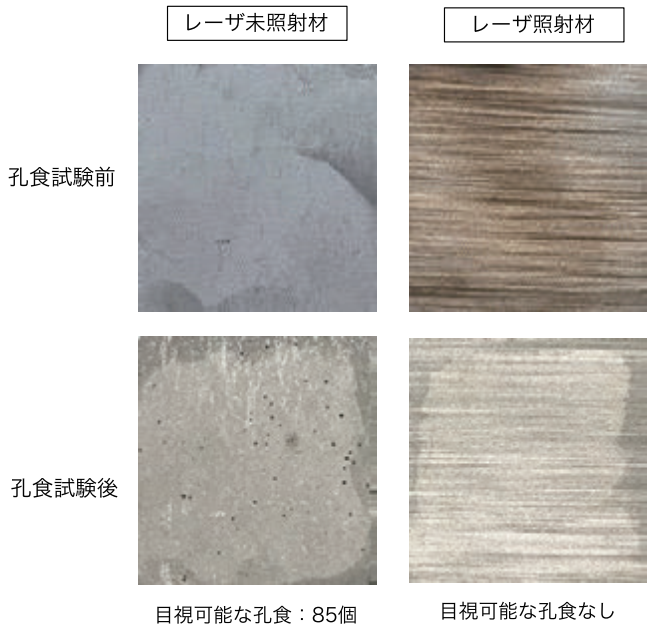


図10：SUS304 (母材) の孔食試験結果

▶6.5 レーザクリーニングの適用事例

レーザークリーニングは、日本より海外に適用事例が多い。以下に適用事例を紹介する。日本では、特許出願状況から、電気・電子、電池分野への適用事例が多いと推察されるが、海外では、それ以外の分野にも適用されている。(表1参照)

表1：レーザークリーニングの適用事例

適用先	作業用途
鉄道車両	溶接前後の洗浄
	溶接
	塗装下地処理
	メンテナンスでの洗浄
航空・宇宙	溶接前後の洗浄
	塗装下地処理
	メンテナンスでの洗浄
	金型洗浄
電気・電子	基板のコーティング除去
	ウェハー洗浄
	塗装除去
	治具洗浄
自動車	アルミ製ボディの溶接前洗浄
	塗装下地処理
	Low-Eガラスの接着前洗浄
	塗装ハンガー・台車洗浄
	その他溶接前洗浄
タイヤ	金型洗浄
	タイヤ内側洗浄
電池	電極(箔)のレーザー切断
	バスバーのレーザー溶接
船舶	溶接前後の洗浄
	メンテナンスでの錆・塗膜除去
橋梁・高速道路	塗装下地処理
	メンテナンスでの錆・塗膜除去

黄色マーカー部：国内の主な用途

7. 品質モニタリング

レーザークリーニングの品質は、現状目視確認が主体である。著者らは、鋼材からの黒皮剥離試験中にレーザー照射部の色情報が表面品質の判定に役立つことを見出した。照射部からの色情報によるリアルタイムでの品質判定をシステム化し、パルスレーザーの自動化装置に組み込むことで、品質制御されたパルスレーザーの自動化システムを実現できる。：特許第7213328号 (図11参照)

色情報を利用した品質評価(黒皮除去)

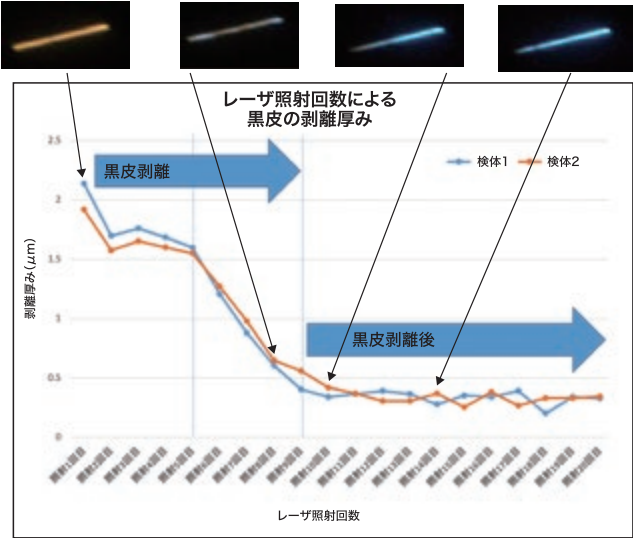


図11：品質モニタリング

8. パルスレーザーの自動化システム

▶8.1 自動化のための技術

パルスレーザー照射制御、適用事例、品質に関して紹介したが、自動化システムについては、形状対応制御を加え以下のように考えている。(図12参照)

課題	必要技術	対応方法
表面洗浄・加工 (作業環境改善)	使用条件探索評価 (既存技術対比)	パルスレーザーの 適用条件把握
不定形・不特定の 形状への対応	画像処理による 形状認識	3次元測定データ による ロボット做い制御
手動作業からの 脱却	ロボットによる自動化	表面品質制御
処理品質への対応	状態モニタリング	

図12：自動化のための技術

また、自動化システム構成の一例を示す。(図13参照)

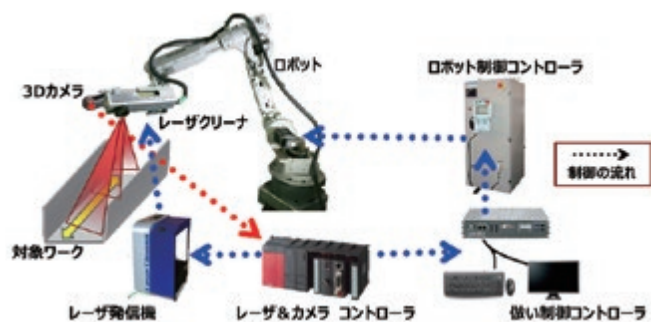


図13：自動化システムの構成例

ワークの3次元測定データによる自動做い制御の事例を以下に示す。ワークの形状に做い、レーザー照射を行う。これまでに培ったロボット制御技術を展開したものである。(図14参照)



図14：3D局面做い制御

9. おわりに

種々の素材や状態に対して、照射条件の拡大を検討し、レーザークリーナーの実用化へ繋げていきたいと考えている。海外では、軌道交通分野でのアルミ車体製造や金型製造分野でのタイや金型の洗浄など、日本よりもレーザークリーナーの実用展開が進んでいる。日本でも、展開の余地があるものと考え、ユーザーニーズを探索しながら、実用化に向け取り組みを進めていく所存である。

レーザークリーナーの活用に関してご興味をお持ちのお客様は是非ご連絡ください。お客様のテストパネルやワークへのレーザー照射の効果を確認する試験の対応も承ります。

お問い合わせ先

ロボティクス事業部
本社企画管理部 営業Gr.

TEL 03-6860-6627

西日本センター

TEL 079-237-5377

東日本センター 名古屋ロボティクスGr.

TEL 052-604-4164

東日本センター 苫小牧ロボティクスGr.

TEL 0144-57-0177