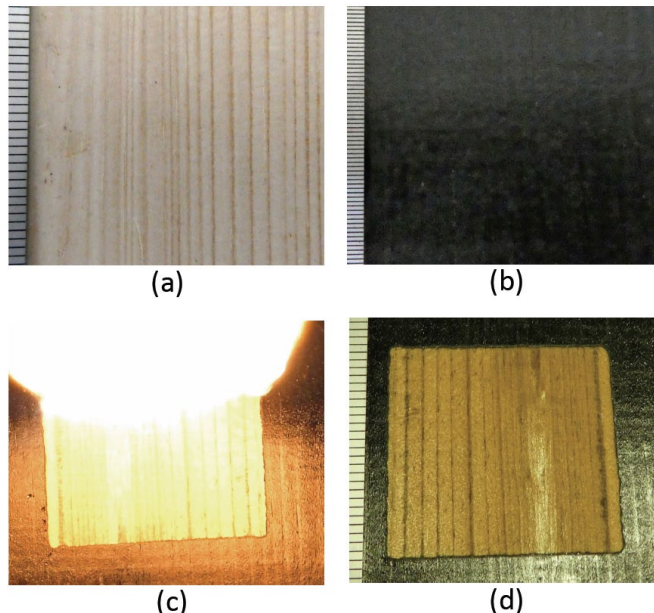


CONTENTS

- 建築部材のレーザー加工
- 産業利用の懸け橋に！
- 平成29年度「技術相談」のまとめ
- 主な学会等報告予定



【表紙図】レーザーによる木材塗装除去試験
(a) 塗装前の木材(松)の表面
(b) 塗装後の表面
(c) レーザー照射中の様子
(d) レーザー照射後の表面

建築部材のレーザー加工

主席研究員 藤田雅之

◆ファイバーレーザーとその周辺機器の高性能化

近年、ファイバーレーザーの高出力化と共に高輝度化が進み、連続波(CW)であっても $10^4 \sim 10^5$ W/cm²の照射強度を容易に実現することが可能となってきた。従来は加熱用光源としてのCWレーザーであったが、高輝度ファイバーレーザーはアブレーションを伴う除去加工用光源としても使うことができるようになり、その利用範囲を拡大しつつある。

また、ビームデリバリーに関わる周辺機器も取り扱いはやすく高性能なものが開発され、50,000 mm/sの掃引速度を可能とするガルバノスキャナが市販されている。このような高速掃引を利用すると、CWレーザーであっても試料に対してパルス的な照射を行うことができる。例えば、直径1 mmのスポットを10,000 mm/sで掃引すると、試料が感じるレーザー照射時間は100 マイクロ秒となる。見方を変えれば、CWレーザーとガルバノスキャナを組み合わせ、掃引速度を変えることで試料に照射するフルエンスを幅広く変化

させることができるといえる。

◆技術相談から

レーザー技術総合研究所はホームページ上で技術相談窓口を開設し、さまざまな産業界の悩み事、疑問、ニーズに対応している。レーザー加工に関しては、初回無料のお試し加工を実施している。

今回、持ち込まれた試料の中から建築部材に関係するものをピックアップし、ファイバーレーザーで加工を試みた結果を紹介する。これまでも建築用部材へのレーザー加工はkW級炭酸ガスレーザーやYAGレーザーを用いて試されてきたが、最近のレーザー光源とその周辺機器の性能向上により新たな局面を迎えようとしている。

◆実験装置

用いたレーザーはフジクラ社製CWファイバーレーザー(FLC-300-A)で、主な仕様は最大出力300 W、波長1095 nm、 $M^2 < 1.3$ である。コリメーター(ビーム径5 mm^φ)から出射されたレーザー光を焦点距離1,000 mm

の平凸レンズを用いて集光し、ワイイーデータ社製ガルバノスキャナを用いて試料上に掃引照射した。

◆木材の塗装除去

まず、木材の塗装除去を紹介する。いわゆる、レーザークリーニングである。表紙図(a)に塗装前の木材(松)の表面、(b)に塗装後の表面を示す。この塗装面にスポット径2 mm ϕ で154 Wのレーザー光を集光し、掃引速度2,250 mm/sで20 mm角の領域を照射した。照射強度は約5 kW/cm²、試料が受けた照射パルス幅は約0.9 ms、フルエンスは3.4 J/cm²に相当する。若干着色が見られるが極端な炭化は起きておらず、この状態であれば再塗装が可能となり木材を再利用することができると考えられる。

◆ニッケル鉬石の加工

技術相談で提供を受けた20~40 mm程度の大きさのニッケル鉬石に対してレーザーを集光して加工を試みた。厚さ約20 mmの鉬石に140 Wを照射したところ約0.6秒で穴が貫通した。次いで、コア抜き(円柱状に試料をくり抜く加工)を試みたが、裏面がミシン目状の円加工となり、コア抜きには至らなかった。不規則な形状をもつ試料をくり抜くためには、変調パルスを用いて入熱を制御する、切り幅を広げるなどの工夫が必要であると思われる。

◆コンクリートの溶融ビード形成

CWファイバーレーザーの主要な用途として金属部材の溶接が挙げられるが、溶接の条件出しにおいて材料表面にビード(溶融部の盛り上がり)を形成して、その状態を確認する手法がとられることがある。同様のことをコンクリートに対して行ってみた。100 Wのレーザー光を集光し掃引速度を変えながらビード形成

を試みた。図1に掃引速度を、(a) 22.5 mm/s ~ (f) 0.45 mm/s と変えながら形成した溶融ビードの写真を示す。掃引速度が遅くなるに従って単位面積当たりの入熱量が増え、ビードの幅が広がりガラス化した盛り上がりを確認できた。

◆石板の接合

コンクリートをガラス化させて溶融ビードを形成できることが確認されたので、石材の接合を試みた。試料としてホームセンターで購入したガーデニング用の“みかげ石”に似せた石板を用いた。いずれにせよ、石材であるので主成分はシリカ(SiO₂)となる。

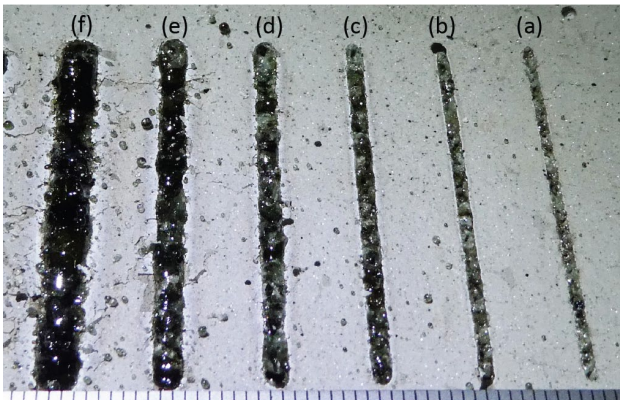
図2に2枚の石板を突き合わせて接合した試料の(a)照射前、(b)照射後の写真を示す。レーザー出力は168 Wであった。突き合わせ部がガラス化し、2枚の石板を接合することができた。

◆レーザー利用現場の拡大

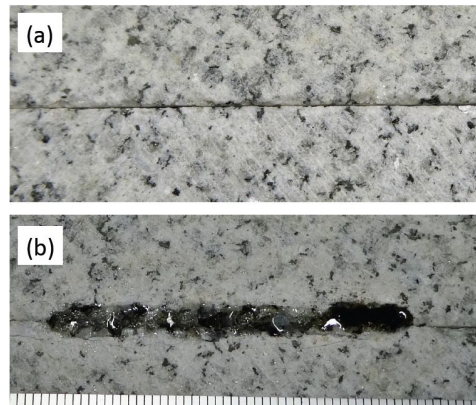
CWレーザーとガルバノスキャナを組み合わせることで、塗膜の除去から石板の溶融接合までさまざまな加工を実現することができた。ファイバーレーザーがもつ安定性、堅牢性を活かすことで、屋外での利用を想定した新たなレーザー加工の市場が開けてくるものと期待される。



本研究の一部は公益財団法人天田財団平成29年度一般研究開発助成により実施されたものであり、ここに感謝の意を表します。また、技術相談を通して快く試料をご提供いただいた各社様ならびにガルバノスキャナを無償貸与していただいたワイイーデータ社様に感謝の意を表します。



【図1】掃引速度を (a) 22.5 mm/s ~ (f) 0.45 mm/s と変えながら形成したコンクリート表面の溶融ビード



【図2】2枚の石板の突き合わせ接合(接合長44 mm) : (a) 照射前、(b) 照射後

産業利用の懸け橋に！ 平成29年度「技術相談」のまとめ

技術相談担当 本越伸二

レーザー技術総合研究所(ILT)では、レーザーおよびレーザー応用に関する相談を受ける「技術相談窓口」を設けている。これは、ILTホームページ上から簡単にアクセス、相談が可能であり、相談内容に応じて専門研究員が1週間以内に回答するように努めている。相談内容により、面談打ち合わせや、お試し照射なども実施することで、レーザー装置の利用を検討している方から、既に利用しているレーザー装置でお困りの方まで、幅広い課題にお応えするものである。開設以来、既に15年になるが、技術相談から共同研究、事業化に移行したものもあり、産学連携のハブ的存在として、さらに裾野を広げて行きたい。

平成29年度は57社68件の相談を受け、そのうち30件に対してお試し照射、また受託試験を実施した。相談内容の内訳を図1に示す。全体の6割がレーザー損傷耐性を含む「光学部品」の特性評価に関するものであった。これは、ILTがレーザー損傷耐性試験を行う国内唯一の機関であり、またレーザー装置の高出力化に伴い、損傷や非線形効果、寿命など現状の課題が存在するためと考えられる。次に、レーザー「加工」、レーザー「超音波」診断と続く。レーザー加工については、フェムト秒パルスレーザー加工以外にも、高出力ファイバーレーザー装置が比較的入手しやすくなったことから、一定の相談が必ず来ている。また、レーザー「超音波」を用いたコンクリートの内部健全性評価が、国家プロジェクトに採用され、新聞報道等でも広く宣伝された結果、他の診断応用の相談も増加している。

本稿では、より多くの方に技術相談を利用してもらうために、「超音波」以外のレーザー「計測」技術のILTシーズを紹介するとともに、光学部品の相談で対応できなかったニーズについてまとめ、今後の課題とした。

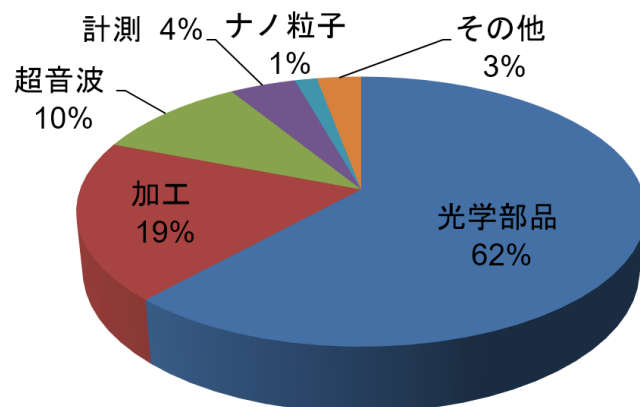
●ILTのレーザー「計測」応用

測距器をはじめ、振動計、速度計、粒度計、分析装置など、レーザー光を利用した計測器、診断装置は多く実用化されている。コンクリートの内部健全性評価

にも加振用レーザーの他に、振動計測用レーザーが利用されている。レーザー振動計は独立で利用可能であることから、機械や構造物の振動を計測し、異常検出への利用も期待される。

分析装置には、評価対象の誘起蛍光や、絶縁破壊時の発光を検出することにより、対象物や不純物の成分の評価ができる。特に、ラマン散乱分光は、比較的低出力のレーザー光源でガスや液体の成分分析が可能であり、近年では、半導体レーザー光源を利用することにより小型化にも成功している。ILTでは、さまざまな波長のレーザー光源が既設されていることから、対象媒質の特徴に応じてレーザー光源を選択することが可能である。これまでに水溶存CO₂(本誌No. 278、No. 285、No. 349)の検出や、油成分の分析(同No. 329、No. 341)などの実証実験が終了している(図2)。

「超音波」と同様に内部診断として注目されているのが、テラヘルツ波計測である。光と電波の中間的な周波数域の電磁波を指し、その両方の特徴を合わせ持つことから、内部診断、成分分析として、さまざまな応用が検討されている。ILTでは、電力設備応用として、絶縁材料の内部欠陥検出に取り組んでいる(同No. 309、No. 330)。金属以外のほとんどの材料が透過することから、今後さらに利用が広がると予想される。



【図1】平成29年度の技術相談内容

●新しいニーズと評価の課題

レーザー損傷耐性試験を含めた光学部品の性能評価に関して年間42件の相談をいただいた。その中で評価試験の実施まで至らなかった内容についてまとめ、今後の課題としたい。

(1)多様な波長への対応

現在ILTでは、Nd:YAGレーザー装置を基本とした1,064 nm、532 nm、355 nm、KrFおよびArFエキシマレーザー装置による248 nm、193 nmについては、常時試験可能な状態で維持している。それ以外に、他の応用研究と共用しているTiサファイアレーザー装置(800 nm、100 fsパルス)、Ybファイバーレーザー装置(1,090 nm、CW)を用いて、光学素子の評価を行っている。半導体レーザーや光パラメトリック発振の出力増加により、さまざまな波長の高出力レーザー光が比較的容易に得られるようになり、その波長に対応した光学素子が必要になる。しかし、これら新しい波長に対するレーザー損傷耐性の情報は少なく、その評価が求められている。

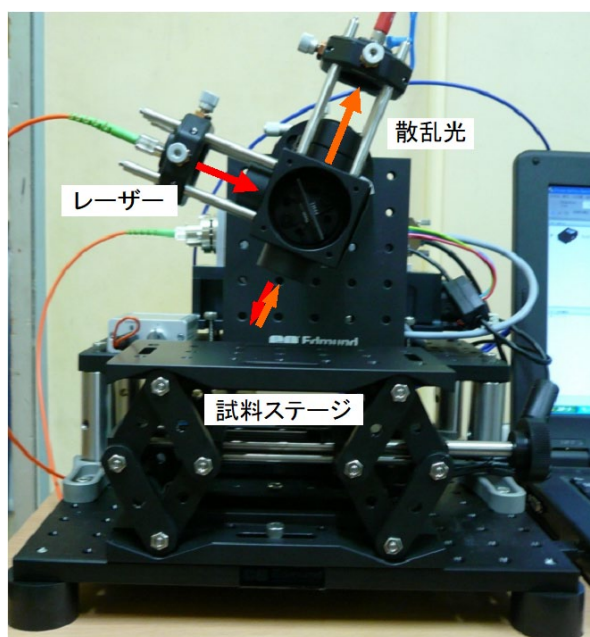
(2)青色半導体レーザーへの対応

半導体レーザーの出力向上は著しく、直接加工や3Dプリンティングの光源としても実用化されている。特に、青色半導体レーザーは、加工、プロジェクタ、車両用ヘッドライトなど、さまざまな応用が検討され、開発が進んでいる。固体レーザー励起源として近赤外の高出力半導体レーザーが先行しているものの、可視域、そして青色になるに従い光学材料自身の吸収も増加するため、高出力の青色半導体レーザーに対する光学素子の耐性評価が要求されている。

(3)長時間評価と加速試験

光学素子に対して高いレーザー損傷耐性を求めるとともに、長寿命であることもまた装置運用上重要な要素である。1,000時間、10,000時間照射をしてほしい、

という相談があるが、レーザー装置の運転費および安全上の理由からお断りしている。しかし、将来的には、評価ができる体制を整えたい。1台のレーザー装置で1個の光学素子进行评估するのでは、コストが合わないので、複数の評価ビームラインを構築し、モニター系、安全装置を加え、評価システムを構築すれば安定かつ長時間の評価も可能になる。もう一方で、寿命の基準を明確にする必要がある。長時間照射では損傷のような破壊現象ではなく、透過率や反射率など光学特性の変化として現れることが予想される。そのため、何%の変化を寿命とするのか、また反射率99%のミラーと50%のミラーは同じ定義でいいのか、などさまざまな素子に対して検討する必要がある。また照射パワー密度と光学特性の変化の関係を明らかにし、加速試験が可能になれば、さらに現実的な試験方法が確立できるものと考えられる。これらは、メーカーや標準規格化関連機関とも相談し、対応していきたい。



【図2】ラマン分光を用いた携帯型油種識別装置

主な学会報告

- 9月9日(日)～14日(金) IRMMW-THz 2018 (名古屋国際会議場)
李 大治 「Development of terahertz radiation source based on composite grating」
- 9月10日(月)～13日(木) SPIE Remote Sensing (ベルリン)
染川 智弘 「Development of the Marine Raman Lidar System」
- 9月18日(火)～21日(金) 応用物理学会(名古屋国際会議場)
李 大治 「高効率テラヘルツ光源を目指す新型電磁放射体設計」
谷口 誠治 「ゼロフォノンライン励起Yb:YAG TRAMレーザーの出力特性」
染川 智弘 「ラマンライダーによる海中モニタリング技術の開発」