

CW ファイバーレーザーを用いた加工

藤田雅之^{A,B}, 染川智弘^{A,B}, 河仲準二^B

^Aレーザー総研,^B阪大レーザー研

はじめに

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 $10^4 \sim 10^5 \text{ W/cm}^2$ 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、光源の高輝度化によりアブレーションを伴う除去加工用としても使うことができるようになってきている。

また、高速掃引を可能とするガルバノスキャナが市販されており、CW レーザーであっても試料に対してパルス的なレーザー照射を行うことができる。例えば、直径 1 mm のスポットを $10,000 \text{ mm/s}$ で掃引すると、試料が感じるレーザー照射時間は $100 \mu\text{s}$ となる。ガルバノスキャナはパソコンで制御され、テンキーとマウスクリックで簡単に掃引速度を 4~5 桁にもわたって変えることができる。CW レーザーと高速掃引を組み合わせたプロセス技術が注目を集めている。

表面クリーニング

木材の塗装除去例を紹介する。図 1 (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 CW レーザー光を集光し、掃引速度 $2,250 \text{ mm/s}$ で 20 mm 角の領域を照射した。試料が受けた照射パルス幅は約 0.9 ms に相当する。図 1 (c) に照射時の様子を示す (30 fps の動画の一コマ)。炎が吹き上がって塗膜が除去されている状況が確認できる。図 1 (d) に照射後の表面を示す。図 1 (a) と比べると若干着色が見られるが、極端な炭化は起きていない。

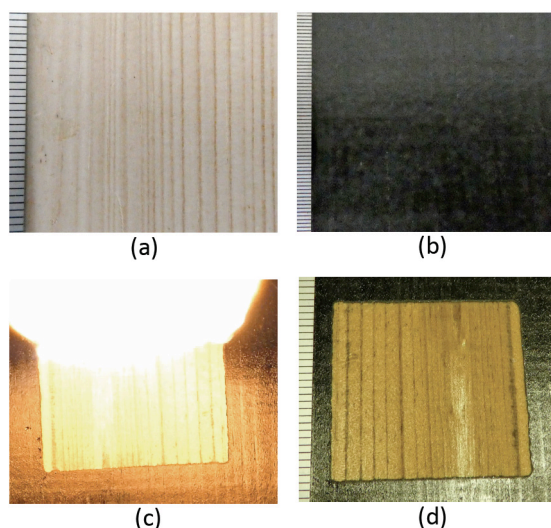


図 1 (a) 塗装前の木材 (松) の表面、(b) 塗装後の表面、(c) レーザー照射中の様子、(d) レーザー照射後の表面。レーザースポット径は約 2 mm 。

それでは、掃引速度を変えるとどうなるであろうか? 図 2 に同じ試料に対して掃引速度を $225 \sim 4,500 \text{ mm/s}$ まで変化させて 154 W の CW レーザーを照射した結果を示す。掃引速度が遅い場合は木材の炭化が見られ、早すぎると塗装の除去が不完全となる。最適な条件を選ぶことにより、下地の材料を再利用可能な状態で塗膜の除去を行うことができる。

興味深いことに、図 2 (c) と全く同じ条件で錆び付いた鉄板にレーザーを照射すると、綺麗にサビが除去できることが確認された。試料の状態を図 3 に示す。高輝度の CW レーザーと高速掃引技術を組み合わせることで様々な試料の表面除去 (表面のアブレーション加工) が可能となることが分かる。

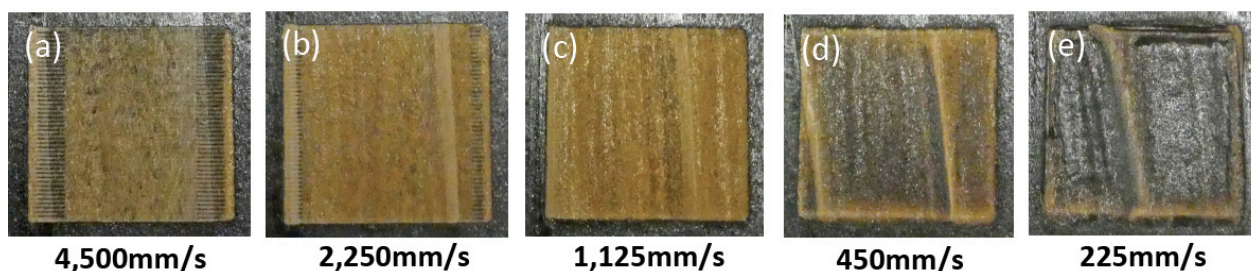


図 2 黒色に塗装された木材 (松) に対して CW レーザーを掃引速度 (a) $4,500 \text{ mm/s}$ 、(b) $2,250 \text{ mm/s}$ 、(c) $1,125 \text{ mm/s}$ 、(d) 450 mm/s 、(e) 225 mm/s で照射した結果。レーザースポット径は約 1 mm 。

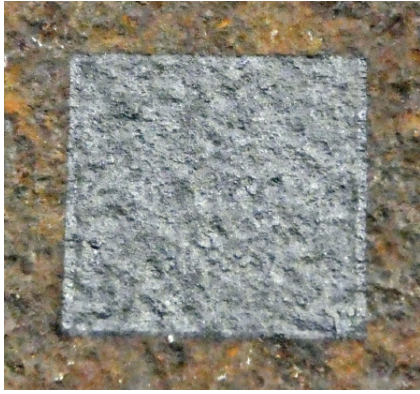


図3 図2(c)と同じ条件で鉄板のサビを除去した試料の表面写真.

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。同様のことをコンクリート等に対して行うことができるのであろうか？コンクリートはセメントと骨材を混ぜて固めたものであり、その主成分はシリカ (SiO_2) である。レーザー光で溶融させることによりガラス化を誘起し、部材同士を接合できることが期待される。

金属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、その形成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7に掃引速度を、(a) 22.5 mm/s、(b) 11.3 mm/s、(c) 4.5 mm/s、(d) 2.3 mm/s、(e) 1.13 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。スポット径は 0.6 mm^ϕ であるため、照射強度は 35 kW/cm^2 となる。掃引速度 4.5 mm/s の場合、フルエンスは約 4 kJ/cm に相当する。図5に同じ加工試料表面を拡大して観察した合成写真（図4の(a)、(c)、(e)に相当）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。

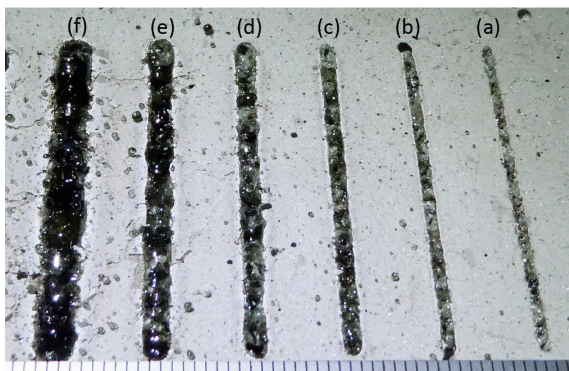


図4 掃引速度を (a) 22.5 mm/s、(b) 11.3 mm/s、(c) 4.5 mm/s、(d) 2.3 mm/s、(e) 1.13 mm/s、(f) 0.45 mm/s と変えながら形成したコンクリートの溶融ビード.

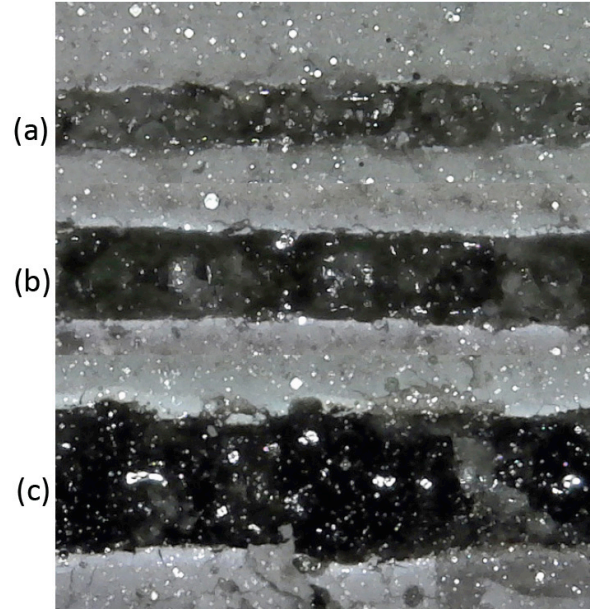


図5 図4(a), (c), (e)に相当するビードの拡大写真：掃引速度は(a) 22.5 mm/s、(b) 4.5 mm/s、(c) 1.13 mm/s.

まとめ

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レーザー照射を行うことができる。例えば、直径 1 mm のスポットを $10,000 \text{ mm/s}$ で掃引すると、試料が感じるレーザー照射時間は $100 \mu\text{s}$ となる。見方を変えれば、CW レーザー光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言える。先の例では、レーザー出力 100 W に対して照射フルエンスは $100 \text{ W} \times 100 \mu\text{s} \div 1 \text{ mm}^\phi$ から、約 1.3 J/cm^2 に相当することになる。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。

謝辞

本研究の一部は大阪大学レーザーエネルギー学研究センターの共同利用・共同研究「超短パルスレーザーの開発、制御、ならびにその応用」のもとに実施された。