

## レーザー穴加工におけるレーザー生成超音波の照射エネルギー・繰り返し・材料構造の依存性

Dependence of laser-generated ultrasound pressure on irradiation energy, repetition, and material structures in laser drilling

宇都宮大オプティクス ○山内楓, 渡邊竣斗, 小松宗太郎, 早崎芳夫\*

Utsunomiya Univ. CORE, °Kaede Yamauchi, Shunto Watanabe, Sotaro Komatsu, Yoshio Hayasaki

E-mail: hayasaki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

レーザー穴加工は、脆性材料の加工や数 10 マイクロメートル以下の微細な穴加工等に利用される。また、加工形状の変更が容易であることや工具の摩耗が無いことから、レーザー加工機導入の高い初期コストを相殺できるような高付加価値な応用が多く出現した。レーザー穴加工の課題は、レーザーパラメータの最適化コストの低減に加えて、加工精度を維持しつつ加工効率を向上することである。それらの産業の要求に同時に応えるために、ホログラフィックビーム成形技術に加えて、加工状態の検出とその検出結果に基づいた加工のフィードバック制御は有効である。特に、加工状態の検出に、非接触かつ深部計測を可能にする。レーザー加工時に発生する広帯域な音波を信号源として、加工のフィードバック制御を実現してきた。

我々の研究室では、これまで、レーザー生成超音波が、マイクロフォン(10Hz~200kHz)を用いた音圧計測により、アブレーション量と音圧の間の単調な関係を明らかにした[1]。穴加工の実験から、穴深さの増加に対する音圧の低下を観測した。そこで、音を最大化するように対物レンズの位置を制御することで、繰り返し実験によるレーザーパラメータを制御した加工結果と同等のアスペクト比を有する穴加工を実現した。これは、音圧計測に基づくフィードバック制御が、レーザーパラメータの最適化コストを低減する可能性を示唆した。

本研究では、照射エネルギーや繰り返し等のレーザーパラメータに対する加工現象と加工音の関係を明らかにし、レーザー加工の加工音を用いた高度な制御を目指す。

実験光学系を示す。フェムト秒レーザーをサンプルに照射し、加工音をマイクロフォンで干渉計で観測する。レーザー加工機は、主に、レーザーダイオード励起 Yb:KGW フェムト秒レーザー (Tangerine, Amplitude Laser) (最大パワー50W, 中心波長 1028nm, 最小パルス幅 129fs) 対物レンズ (EPLE-50, Sigma) ( $NA = 0.3$ , 焦点距離 20 mm) から構成された。サンプルはホワイトクラウンガラス (B270, Schott)であった。

Fig. 1は、サンプルにフェムト秒レーザーを1パルス照射したときのマイクロフォンの観測信号を示す。レーザー照射によって発生した衝撃波が観測された。レーザーの強度を高くすると音全体の強度も大きくなる。Fig. 3は、サンプルに周波数 30kHz で fs レーザーを繰り返し照射したときのマイクロフォンの観測結果を示す。加工音は、パルス照射に伴って発生されると共に、レーザー強度の変化に伴って、低い周波数の揺らぎが観測された。加工音は加工の進展に伴って、音の発生位置が深くなることによる音の伝搬ロスにより減少した。

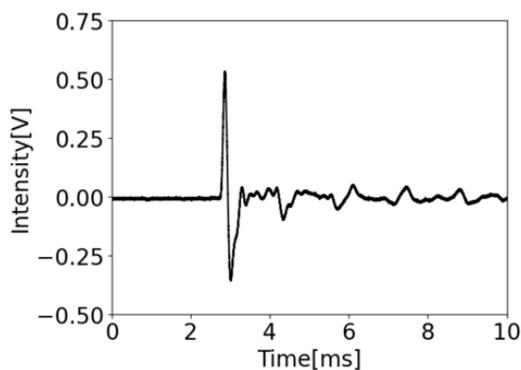


Fig.2 Ultrasound signal under single pulse irradiation.

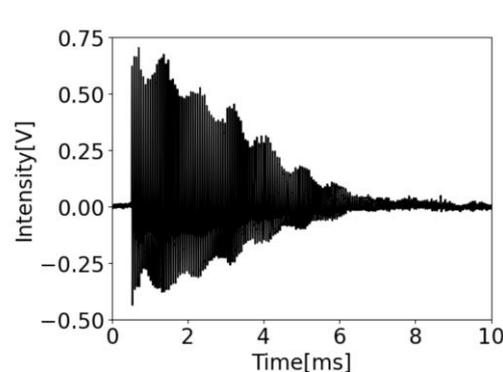


Fig.3 Ultrasound under iterative pulse irradiations