

ダブルパルス照射時におけるレーザー照射条件の 最適化およびシミュレーションの開発

Studies of laser condition optimization and simulation code development
for laser peening using double pulses

部谷 学 (Heya Manabu)

1. 本研究の目的

本研究では、レーザーパルスの時間波形制御の 1 つである、ダブルパルス照射によるレーザーピーニング (Laser peening: LP) 効果の増大に関する研究に取り組む。従来の LP 処理では、数から数十ナノ秒のパルス幅のパルスレーザー (市販のレーザー発振器から出力されるレーザーパルス) が主に用いられている。レーザー切断やレーザー穴あけで利用されている、従来のダブルパルス照射とは異なり、LP では透明体 (閉じ込め層) である水の慣性によって閉じ込められる高密度のプラズマの生成および加熱をダブルパルス照射によって実現させる必要がある。ダブルパルス照射における適切なレーザー条件を求めるためには、レーザー光の水での吸収、予備的なプラズマの生成、プラズマ膨張の抑制と膨張過程、メインパルスによるプラズマの加熱、といった物理現象を定量的に把握する必要がある。

本研究の目的は、「ダブルパルス照射時のプラズマ圧力を計算できるシミュレーションコードの開発とレーザー照射条件の最適化」である。研究代表者は、シングルパルス照射時におけるプラズマの生成および加熱、そしてプラズマ圧力を計算できるシミュレーションコード (ISLAP: Integrated Simulation code for Laser Ablation Peening) の開発に成功している。ISLAP では、レーザー光の吸収、金属の相変化 (固体、液体、中性気体、プラズマ)、電子およびイオンの温度・密度、プラズマ圧力など、の時間挙動の計算が可能である。本研究では、ダブルパルス照射時の LP 現象を計算できるように開発済みの ISLAP コードを改良する。

2. 本研究の成果

本研究の主な成果として、ダブルパルス照射 LP に対応できる ISLAP コードの改良があげられる。一般的に、角周波数 ω で時間変動する電場が電子に与える影響を計算する際、ドルーデモデルが使用される。ドルーデモデルにおいては、電気伝導率 (電気抵抗率 ρ の逆数) や減衰係数 Γ を仮定し、誘電関数を導出する。つまり、この ρ と Γ を事前に何らかの実験値と対応させて求めておく必要がある。

図 1 に、シングルパルス照射 LP 時における、パワー密度を変化させたときのアルミニウムの反射率の結果を示す。図 1a は、L. Berthe ら (L. Berthe et al., ICALEO 2014, 552 (2014)) によるシングルパルス LP 時におけるアルミニウムの反射率の実験結果

(レーザー波長 532 nm) である。パワー密度が低い領域 (0.1 GW/cm^2 以下) では、アルミニウム表面にプラズマがほとんど発生していないため、60%程度の高い反射率となっている。パワー密度が大きくなると、レーザー照射によって金属表面がプラズマ化され、プラズマ中の入射レーザー光の吸収が起こる。そのため、通常 LP で用いられる数 W/cm^2 では反射率が数%程度となり、入射レーザー光はほぼ 100%吸収される。図 1b に、 ρ を 1.0、 Γ を 3.0×10^{15} に仮定した場合の反射率の計算結果を示す。低パワー密度領域では、反射率がほぼ 100%となり実験結果とは一致しないものの、高パワー密度領域における低い反射率は実験結果とほぼ一致した。また、図 2 に、 ρ を 1.0、 Γ を 3.0×10^{15} 、2つのレーザーパルス (パワー密度 3.5 GW/cm^2 、パルス幅 10 ns)、パルス時間間隔 75 ns の場合のプラズマ圧力の時間波形結果を示す。1つ目の圧力パルスからおよそ 75 ns 後に 2つ目の圧力パルスが確認できる。以上のように、ダブルパルス照射 LP 時のプラズマ圧力を計算できる環境を整えた。

しかしながら、卒業研究テーマであるダブルスポットレーザーピーニングの実験を優先したため、ダブルパルス照射時の圧力計測実験を実施できなかった。必要な装置は準備したため、今後、継続して研究に取り組んでいく予定である。

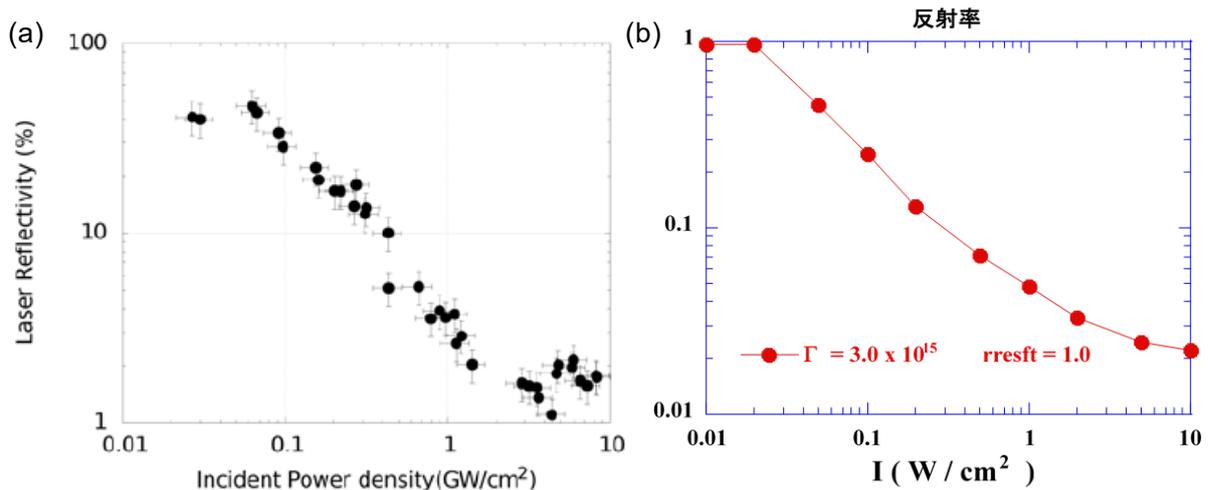


図 1 LP 時のアルミニウム表面の反射率の(a)実験結果および(b)計算結果

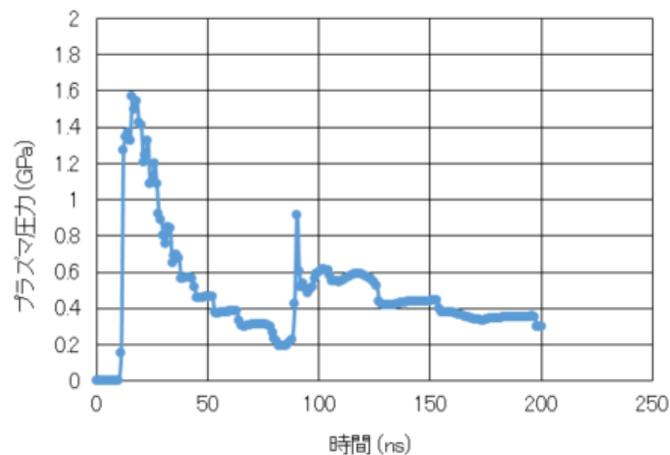


図 2 ダブルパルス照射時の圧力波形の計算例。