

報告番号	甲 第 12060 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 **STUDY OF IMPULSE CHARACTERISTICS INDUCED BY
REPETITIVE LASER PULSE ABLATION**

(繰返しパルスレーザー照射によるアブレーション力積特性
に関する研究)

氏 名 鶴田 久

論 文 内 容 の 要 旨

レーザーアブレーションは、レーザー照射を受けた物体（アブレター）表面が加熱されることにより、固体粒子、液体、中性／荷電粒子気体が混在した状態で噴出する現象である。レーザーアブレーション推進は噴出する物質の運動量の反力を推力として利用する。宇宙ゴミ（スペースデブリ）除去や宇宙推進への応用を鑑みた場合、単一レーザーパルス照射で生じる力積では不十分であり、高繰返し周波数のレーザー照射による力積増大が必要となるが、その際の力積特性ならびにその決定要因は未だ不明な点が多い。また、アブレターの材質とレーザーパルス仕様の組み合わせは、力積特性に大きな影響を与える。一般的な高分子化合物は、スペースデブリの構成要素でもあり、金属に比べて融解および気化の潜熱が小さく、より大きな力積が得られる可能性がある。また、加工し易い、低密度、低価格というメリットがあることから、スペースデブリの除去および回転停止の推進剤として有望であるほか、マイクロスラスタとしての宇宙推進への応用も検討に値する。しかし、現実的に運用が可能と考えられる、1 μm 帯の波長の高繰返しレーザーパルスに対する力積特性に関する知見は明らかに不足している。

本研究は、繰返しレーザーパルス照射による力積発生について、レーザー照射条件や物質の状態との定量的関係および関連する物理機構を明らかにすることを目的として行われた。

波長 1047 nm、パルス幅 5-15 ns の Nd:YLF レーザーを 1 kHz の繰返し周波数でアルミニウムに繰返し照射し、発生力積とねじれ式振り子を用いて計測したところ、力積特性は、レーザーパルス照射回数の増加に伴い積算力積が一旦増加するが、その後飽和した。

レーザーパルスのエネルギーをアブレーター上でのレーザー照射面積で除した値、フルエンスで整理すると、この積算力積の飽和値は、6~24 J/cm²において、フルエンスの増加に伴い増加した。これらの力積特性の決定要因を調べる為に、波長 1064 nm、パルス幅 7 ns の Nd:YAG レーザーをアルミニウムに繰り返し照射し、発生力積とアブレーター上に形成されるクレーター形状の関係を調査した。クレーター深化に伴う表面形状の変化をレーザー顕微鏡で計測し、パルスエネルギーをクレーター表面積で除した実効フルエンスを算出して評価に用いたところ、発生力積をレーザーエネルギーで除した運動量結合係数は、実効フルエンスの関数としてほぼ単一の関数形で整理されることがわかった。運動量結合係数は、実効フルエンスの増加に伴い一旦増加してゆき、ピークを形成した後なだらかな低下に転じた。これらの結果から、クレーターの過度な深化および運動量結合係数の低下を防ぐため、実用時は一定のパルスを照射したのち照射位置を新たな場所に移動させることが必要となることが、裏付けられた。

次に、幾つかの代表的な高分子化合物に対するレーザーアブレーション力積特性を調べた。乳白色の結晶性高分子化合物であるポリアセタール (POM) とポリテトラフルオロエチレン (PTFE) および透明な非晶性高分子化合物であるポリメタクリル酸メチル (PMMA)、ポリカーボネート (PC)、およびポリエチレンテレフタレート (PET) を用い、Nd:YLF レーザーを 1 kHz で 200 パルス照射した際の力積特性を調査した。運動量結合係数はすべての高分子化合物においてアルミニウムで得られた最大値である 18 μNs/J を上回った。また、ランベルトベールの法則およびアブレーション時のエネルギー保存式を用いて得られた運動量結合係数の理論式を、実験結果と比較して実効吸収係数を算出すると、アブレーションを伴うときの値は非アブレーション時より 3~6 桁大きくなるという結果になった。運動量結合係数の最大値 66 μNs/J は、実効吸収係数がほかの高分子化合物と比較して約 6 分の 1 である PTFE によって得られた。これはレーザー光の吸収深さが 6 倍であることと等価であり、力積の質量依存性と整合するものである。

以上の結果は、レーザーアブレーションの宇宙推進、具体的にはスペースデブリの除去および回転停止、宇宙輸送、人工衛星の高度および姿勢制御などへの応用に対して、半導体レーザーやファイバーレーザーなど軽量かつ高効率の高繰り返しレーザーを利用することによって、近い将来の実用も視野に入れることが可能であることを示唆するものである。