

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業

研究成果報告書



平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14245

研究課題名（和文）形状記憶推進剤を用いたレーザーアブレーション推進

研究課題名（英文）Laser ablation propulsion using shape-memory propellant

研究代表者

横田 茂（YOKOTA, Shigeru）

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：30545778

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、磁性流体を推進剤として用いたレーザーアブレーション推進の実現可能性を示した。まず、低出力のレーザーを用いて、アブレーションの可否およびアブレーション前後の表面形状変化の有無がないことを確認した。次に、高出力のレーザーを用いて、磁性流体が飛散する様子を確認し、磁性流体ではアブレーションにより液滴が発生しても飛散せずに磁力によって母液に引き寄せられて回収可能であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we demonstrated the feasibility of the laser ablation propulsion using magnetic fluid as a propellant. First, we verify if the magnetic fluid can be ablated experimentally. The surface shape of the magnetic fluid did not changed after the ablation. Secondly, we observed the splash during the ablation using a high-power laser. The result shows that the droplet generated by the ablation can be returned to the remaining propellant because it was attracted by the magnetic force.

研究分野：宇宙推進工学

キーワード：宇宙推進 レーザー推進

1．研究開始当初の背景

レーザーアブレーション推進は、レーザーパルスを固体推進剤に照射して蒸発させ（アブレーション）、その反作用で推力を得るものである。パルス的に数 μNs 級の微小力積を発生させることができるため、衛星のデジタル制御を可能とし、また、推進剤が固体であるため、流体推進剤と異なりバルブの開閉時の振動による姿勢維持への悪影響が存在しない。このため、次世代宇宙望遠鏡などの超精密姿勢制御に最適な推進機となる可能性を秘めている。

一方で、同一箇所に何度もレーザーを照射すると、発生する力積が徐々に減少する傾向が見られ、それが固体推進剤表面形状によるものであることもわかっている（Tsuruta, et.al, J.Proppul Power, 2014）。他の研究機関では、推進剤をテープ状にして徐々に巻き取りながらレーザー照射位置に常に新しい推進剤が来るように工夫を行っているが、これでは衛星にトルクが発生してしまうため、超精密姿勢制御が不可能になってしまう（C. Phipps, et.al, J. Propul. Power, 2012）。

そこで、推進剤として磁性流体を用いることとした。磁性流体を磁場によって表面形状を制御し、常に同じ形状を保ちながら、レーザーアブレーションさせることが可能であると考えられる。この手法ならば、テープを巻き取るモーターも、また、流体を磁場で制御できるためにバルブも必要ない。

2．研究の目的

本研究の目的は、磁性流体を推進剤としたレーザーアブレーション推進の実現可能性を示すことにある。

具体的には、まず、現状では、宇宙においては小型のレーザーのみ使用可能であることを想定し、小型の低出力レーザーにおいてもアブレーションが起きるか、その閾値を明らかにする。この際、レーザー照射前後で表面形状等に変化がないことも示す。

一方で、液体においてレーザーアブレーションを行うと、液体が飛散することが知られている。飛散した液体は低速で放出されるため、無駄になってしまう。そこで、磁性流体において液体が飛び散る現象を観測し、必要に応じて飛散低減への指針を明らかにする。

3．研究の方法

(1) アブレーションの閾値および表面形状変化有無の確認

まず、図1に示す実験系を組み、磁性流体のアブレーション有無の確認し、また、その閾値を確認する。このとき用いた磁性流体の諸元は表1に、レーザーの諸元は表2に示すとおりである。光学系のレンズの諸元は表3

に示すとおりである。

アブレーションの閾値を割り出すためにレーザーの出力を変更する必要があるが、レーザーの出力はNDフィルターをレーザーと凹レンズの間に挿入することで調整を行った。

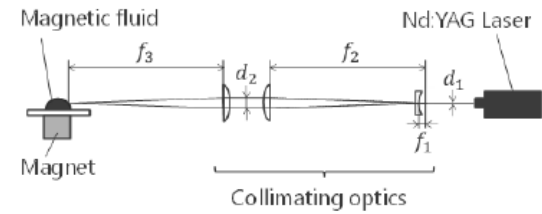


図1 磁性流体アブレーション閾値確認試験用光学系

表1 磁性流体の諸元

諸元	値
磁性体	Fe_3O_4
母液	アルキルナフタレン
磁化[mT]	36
磁性分割合[wt%]	約 40
粘度[mPa・s]	356
蒸気圧@20 [Pa]	1.0×10^{-7}

表2 Nd:YAG レーザーの諸元

型番	FTSS 355-50
波長[nm]	532
M^2	<1.5
ビーム径[μm]	450 ± 150
ピークパワー[kW]	38
パルス幅[ns]	0.9-1.3
横モード	TEM_{00}

表3 レンズの諸元

	平凹	平凸
型番	LC2969-C	LA4874-YAG
焦点距離[mm]	6.0	150.0
透過率@532nm[%]	85.2	93.7

(2) アブレーションによる飛散の観測

次に、高出力レーザーとしてCO₂レーザーを用いて、推進剤を飛散させ、その様子を高速カメラにて観測を行った。図2に示すのはその概略図である。レーザーの出力は3Jとした。

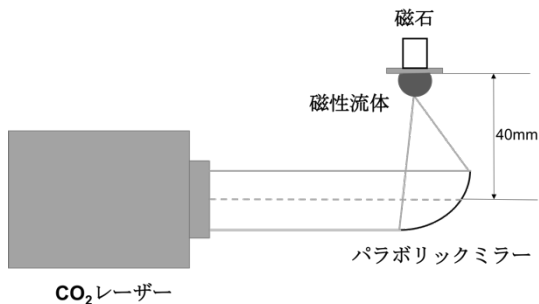


図2 磁性流体飛散試験の実験系

4. 研究成果

(1) アブレーションの閾値および表面形状変化有無の確認

図3より、レーザー光線が散乱されてレーザーの軌跡が見られることから、磁性流体がアブレーションして周囲に粒子が漂っていることがわかる。また、図4に示すとおり、この際、照射前後で形状に変化がないことがわかった。



図3 レーザーアブレーションの様子



(a) 照射前

(b) 照射後

図4 レーザー照射前後の磁性流体の様子

また、ND フィルターを用いてレーザー出力を変更し、レーザーアブレーションの有無を確認した結果、アブレーションの閾値は $4.3 \sim 1.1 \times 10^1 \text{ MW/cm}^2$ の範囲にあることがわかった。

これらのことから、比較的小型のレーザーを用いてもアブレーションが可能であり、宇宙機精密微小制御への使用可能性が示された。

(2) アブレーションによる飛散の観測

図4に高出力レーザーによるアブレーション時に磁性流体が飛散した際の連続写真を示す。

アブレーションガスが発生すると同時に、液滴が発生したが、液滴の状態では磁性があるため、液滴が母体に戻る様子が確認された。従って、液滴は発生するものの飛散してしまつて無駄になってしまう現象は起きないことがわかった。

このことから、磁性流体をレーザーアブレーション推進の推進剤として用いることは、固体の推進剤を用いる場合と比較して、推進剤が無駄になる可能性が抑制される魅力的な推進剤となりうる可能性が示された。



図4 液滴発生時の写真

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計1件)

T. Sakai, S. Yokota, K. Shimamura,
“Feasibility study of Laser Ablation Propulsion using Magnetic Fluid as a Propellant,” Propulsion and Energy Forum, Atlanta, Georgia, U.S., 2017.

〔その他〕

ホームページ等

<http://spl.kz.tsukuba.ac.jp/research.html>

6．研究組織

(1)研究代表者

横田 茂 (YOKOTA Shigeru)
筑波大学・システム情報系・准教授
研究者番号：30545778

(2)研究分担者

嶋村 耕平 (SHIMAMURA Kohei)
筑波大学・システム情報系・助教
研究者番号：90736183