

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2011～2011  
 課題番号：23656537  
 研究課題名（和文）  
 空力作用を利用したトラクタービームレーザー推進の原理実証  
 研究課題名（英文）  
 Demonstration of tractor beam laser propulsion using aerodynamics effects  
 研究代表者  
 佐宗 章弘（SASOH AKIHIRO）  
 名古屋大学・工学研究科・教授  
 研究者番号：40215752

研究成果の概要（和文）：レーザービームを推進剤に照射しそのアブレーションを利用して推力を得るレーザーアブレーション推進において、通常発生するレーザービーム源から遠ざかる向きとは逆に、レーザービーム源に近づく向きに推力が発生することをトラクタービーム推力と呼ぶ。これを実証することを目的とし、ねじり振子式の精密なインパルススタンドを作成して推進力積の測定精度を確保し、大気中および真空中にてトラクタービーム推力が発生することを実証した。

研究成果の概要（英文）：‘Tractor beam’ thrust is defined in laser ablation propulsion as generating a thrust in the direction toward a laser device. In order to demonstrate the feasibility of this technique, a torsion-type impulse stand with a high accuracy was designed and manufactured. Using this, the generation of a tractor beam thrust was demonstrated both in the atmosphere and in vacuum.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：非化学宇宙推進

科研費の分科・細目：航空宇宙工学

キーワード：レーザー、推進、アブレーション、インパルス

1. 研究開始当初の背景

レーザー推進の意義：レーザーパワーによって推力を発生するレーザー推進は、遠隔的にパワー伝送できるため動力源を搭載する必要がなく、ロケットに頼る既存の宇宙輸送手段から脱却し大幅な低コスト化を実現する手段として期待されている。アブレーション・レーザー推進（ALP）は、レーザービームを推進剤（アブレーター）に照射し発生するジェット運動量で推力を発生するレーザー推進の一形態である。通常レーザービームを照射した面からアブレーション気体のジェットが発生し、その反作用としてビームから遠ざかる向きに推力が発生する。しかし、ターゲット内でのレーザービームの反射、透過を上手くコントロールすることによって、上記とは逆向きの推力を発生させる（以下

「トラクタービームレーザー推進（Tractor-Beam Laser Propulsion, TB-LP）」ことが可能である。このアイデアは、すでに Sinko らによって公表されているが、精密な推進力積測定に基づく実証がなされておらず、提案された幾つかの方式の優劣についても、評価がなされていない状況だった。

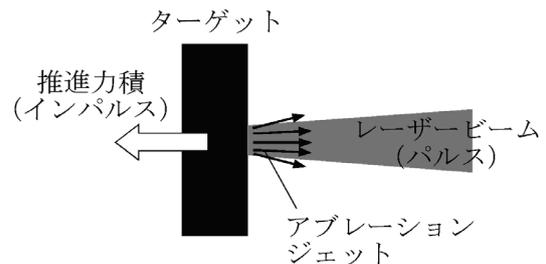


図1 通常のアブレーションレーザー推進

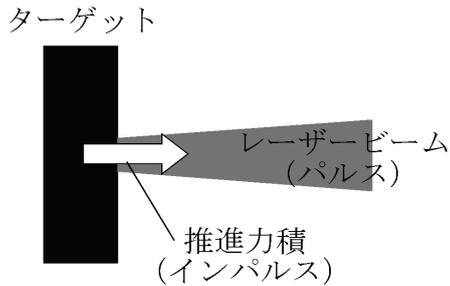


図2 トラクタービームレーザー推進

## 2. 研究の目的

本研究課題では、レーザーパルスを照射することによってTB-LPが実現することを、精密な力積測定によって実証し、トラクタービーム力積が得られるメカニズムを解明、レーザー推進における推力ベクトル制御の自由度を格段に向上させることを目的とする。

この目的を達成することによって、以下の成果が期待できる。

- ・ レーザー推進の性能向上、特に推力ベクトル制御の自由度の拡大と制御性の向上。
- ・ これまで圧電素子によるマイクロ秒オーダーの力積測定では捉えられなかった、ミリ秒オーダーで発生する逆向きの力積発生を実証しその有用性を示す。
- ・ 申請者はこれまで、飛行体表面と加速管内壁の2回でレーザービームを反射させて、飛行体後方で集光することによって高圧を発生する方式を考案し、実証した実績がある。この方式に比べて本研究課題で提案する方法は、複雑な光学系のセッティング、調整が不要であり、シンプルで汎用性を有するものである。
- ・ さらにこの方法は、小さな推進力積、特にマイクロスケールでの推進、物体の運動制御への応用が期待できる。

## 3. 研究の方法

### (1)精密インパルススタンドの設計、製作

力積（インパルス）を精密に測定することができるねじり式インパルススタンドを設計・製作した。

- ① 支点の構造：水平アーム構造とし、支点上下2箇所をピボットを用いた。
- ② 変位計測・センサー：差動変圧器を使用した。

### (2)インパルス測定、光学可視化実験

- ① レーザー光源：TEA CO<sub>2</sub> レーザー（波長 10.6μm、尖頭パルス幅 100ns、パルスエネルギー 10J/pulse(max.)、出力ビームφ40mm）
- ② 制御パラメータ

- ・ ターゲット材質（高分子化合物（アクリル、テフロン、ポリアセタール、ポリエチレンなど））
  - ・ レーザーパルスエネルギー、繰返し周波数、繰返し回数、フルエンス（あるいは照射面積）
  - ・ 真空チャンバー内雰囲気圧力
- ③ 測定項目
- ・ インパルス（既存装置に対する順方向、あるいはトラクタービームの向き）
  - ・ アブレーション質量
  - ・ 同一条件で5回ずつ再現性確認の測定をする。

### (3)有効利用法の検討

トラクタービーム推進の考案者 Sinko 博士との情報交換を行い、お互いの実験データの共有、性能の比較、および有効利用法の検討を行った。Sinko 博士は、2008年12月～2009年11月まで名古屋大学の申請者の研究室に滞在し共同研究を行なうなど、既に密接な関係を保っていたが、2011年8～9月に約2週間名古屋大学に滞在し、共同で実験を行った。

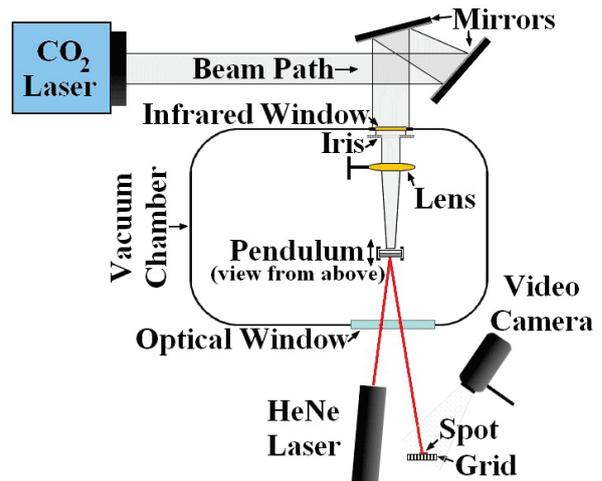


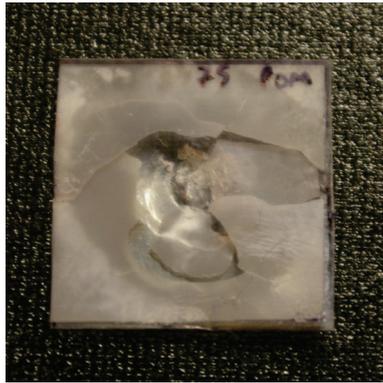
図3 実験装置

## 4. 研究成果

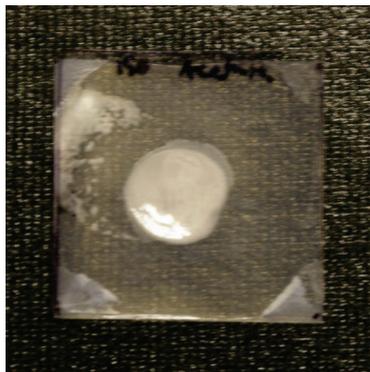
実験装置の概略を図3に示す。この図に示すように極めて高感度を要する実験条件では、力積に対する感度を上げるために、差動変圧器の代わりにHe-Neレーザーの反射光の変位を真空チャンバー外部で読み取る方法で行った。この場合、読み取りはビデオ撮影により行った。

PE/POMの組合せ（図4(a)）では、POMが破損し大きな力積が得られたが、向きはいわゆる順方向であった。PE/CA（図4(b)）、PE/PVC（図4(c)）の組合せでは、力積値自体が小さかった。これらに対して、PEの裏面

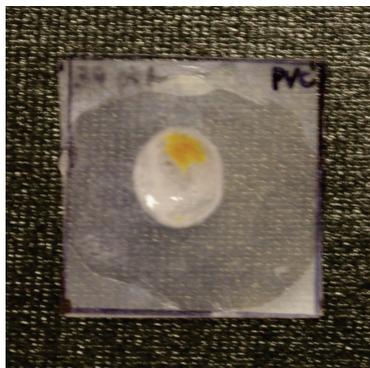
にカーボンコーティング（黒マジックペンにて塗付）したものは、その向きを変えることによって、どちらの向きにも力積を発生させることができた。運動量結合係数の最大値は、順方向に対して  $70 \mu\text{Ns}/\text{J}$ 、トラクタービーム方向に対して  $50 \mu\text{Ns}/\text{J}$  であった。一連の実験において、大きなトラクタービーム推進力積を得るための重要な点は、材質の透過性と機械的強度であることがわかった。すなわち、材質の選択のみならず、厚さの設計が重要であることがわかった。力積および比推力の測定結果を図5にまとめて示す。



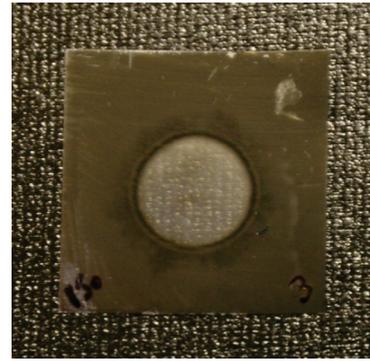
(a) PE(0.005")/POM(0.003")



(b) PE(0.005")/CA(0.005")

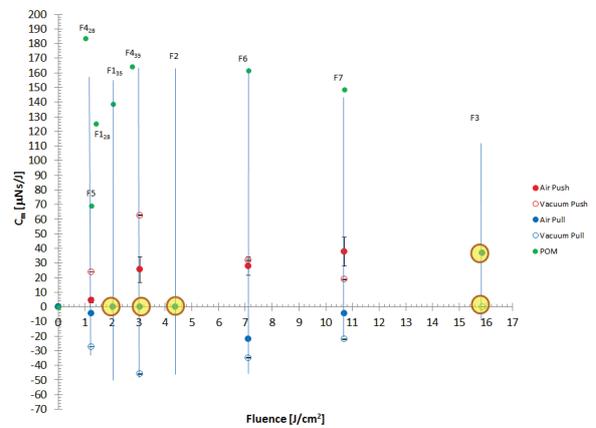


(c) PE(0.005")/PVC(0.005")

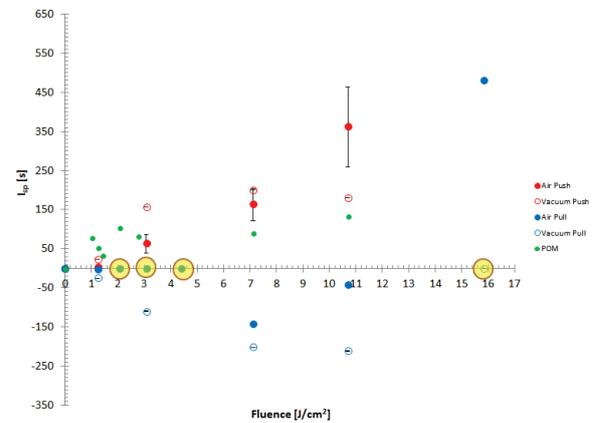


(d) PE(0.005")/C coating

図4 各2層試料とレーザーパルス照射後の様子 ( ) 内は、材料の厚さ。



(a) 運動量結合係数とフルーエンスの関係



(b) 比推力とフルーエンスの関係

図5 推進性能

### 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2件)

- ① J. E. Sinko, C. A. Schlecht, T. Lis, R. Davidson, D. Gregory, S. Yokota, S. Harada, A. Sasoh, B. I. Oh and M. Larus, “Laser Ablation Tractor Beaming with Bilayer Targets,” 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Jan. 9-12, 2012, Nashville, Tennessee (USA).
- ② A. Sasoh, S. Yokota, S. Harada, H. Tsuruta, “Impulse Performance of Ablation Laser Propulsion with Repetitive 1- $\mu$ m Laser Pulses,” Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2012, March 1-4, 2012, Xi’an (China).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐宗 章弘 (SASOH AKIHIRO)  
名古屋大学・工学研究科・教授  
研究者番号：40215752

### (2) 研究分担者なし

### (3) 連携研究者なし