日本物理学会第59回年次大会

「宇宙航行用電気推進機の現状と物理的課題」

2004年3月29日

レーザーを用いた遠隔推力発生と 航空宇宙応用

東北大学流体科学研究所 佐宗_章弘

Contents

- 1.背景
 2.レーザー推進の特徴と位置付け
 3.現状(東北大学の実験を中心として) と物理的課題
- 4.まとめ



コスト推進性能

●(宇宙)環境への影響

化学エネルギーを使わないロケット

● 電気推進

- ビームエネルギー(レーザー/マイクロ波)推進
- 太陽熱推進
- 光子ロケット
- 原子力ロケット(核融合ロケット)
- 反物質ロケット

レーザー推進の形態

1. 定常ビーム(CW) ・レーザーロケット ・レーザー駆動ラム加速器 2.繰返しパルスビーム(RP) Lightcraft · LITA ・レーザー駆動パルスデトネ - ションエンジン 3. 単発(大エネルギー)ビーム ・スペースデブリ除去



In open space

Kantrowitz 1972

Myrabo et al. "Lightcraft" 1997

Bohn 2000





(http://www-aero.meche.rpi.edu/)

例えば:ロケットが唯一の打上げ手段か?







「ロケット」によらない打上げ ● Jules Verneの発想に戻って



"De la terre a la lune (From the Earth to the Moon)"

実際には、加速度が高すぎて人間も 機械も耐え切れません....



Lawrence Livermore N. L.



「ロケット」によらない打上げ ● ラム加速機



Hertzberg, Bruckner, Bodganoff (University of Washington, 1988)

ラム加速機では有効加速距離を飛躍的に長くできます







3.1 LITA (Laser - drivenIn - TubeAccelerator): 管の中でレーザー推進



閉じ込めによる推力向上 推進剤を搭載する必要なし 飛行体の姿勢制御不要 打上げハザードなし ビーム追従装置不要 No emission 低騷音 スペースデブリ出しません 推進剤も含めて完全再使用可

Laser-driven In-Tube Accelerator, LITA

Present experiment





Apparatus

LITA 25		LITA 50
25mm × 1m	Launch tube	50mm × 4m
3g	Projectile weight	12g
42%	Center body projection area	70%
~ 5J	Laser energy	~ 10J
∼ 100Hz	frequency	∼ 50Hz





物理的課題

- 1. Breakdownの定量的なプロセス
- 2.インパルス発生の流動ダイナミクス

工学的課題

- 1.作動条件の最適化
- 2. 壁との摩擦
- 3. 高速時の流体加熱

Blast wave generation & propagation (Xe, 100 kPa)



Influence of driver gas species

At the same delay time; 14ms
Fill pressure;100kPa



1

(*t*, Effective time duration) ~ $\overline{(a, Speed of sound)}$

at = constant

Fill pressure; 100kPa







Determination of C_m (Momentum coupling coefficient)

$$\boldsymbol{C}_m = \frac{mg}{f_h E}$$

m; Mass of projectile

- g; Acceleration of gravity
- E; Laser energy (variable)

 f_h ; Laser repetition frequency necessary for hovering (variable)

Temporal scaling law Impulse = $F \cdot \Delta t$ = (overpressure) × (duration) ~ $\frac{1}{a}$ 1/a independent of a 400 100kPa 300 C_m(N/MW) 200 Xe Kr 100 100 200 300 400 a(m/s)

Details on Temporal Scaling Law

(Impulse) (Overpressure) × (Duration time) 1/a

independent of *a* 1/a

Overpressure histories in single shot (Rear incidence, 100kPa)



Impulse Increase due to Confinement Effect



Momentum coupling coefficient: projectile geometry dependence

Type (A)



Type (B)

1000 1000 Type (B) Xe(E=7.0J) Type (A) 800 800 E=7.0J 600 N 600 € Ar Ar E=7.2J చ్ 400 년 400 E=5.2J E=8.3J E=8.9J Ē=7.0J 200 200 LITA25 Ar 0 0 0 150200 150 50100 Ő 50 100 Pressure [kPa] Pressure [kPa]

3.2 Single impulse generation using 380-J CO₂ TEA laser

Background

De-orbiting of space debris

<Existing study>

- Electrodynamic tether (S. Kibe, et.al)
- Laser-induced shock impulse generation <u>Direct laser irradiation</u> on space debris. (C.R. Phipps, J.W. Campbell, S. Uchida, et.al)

Target : $\nu = 100 \text{ m/s}$ mass: 1g

Experimental setup



Oscilloscope

Confinement geometries



Framing schlieren photographs (Without confinement, POM)

Framing interval : 10µs-100µs



Laser energy : 334J, Launch speed : 31m/s

Launch speed and momentum coupling coefficient Projectile: POM (polyacetal)

	Without confinement	In-tube confinement	NaCI confinement
Launch speed	26m/s	63m/s	157m/s
C _m ~	123 N/MW	292 N/MW	690 N/MW

Momentum gain of projectile vs. mass reduction by ablation



物理的課題 (1)レーザーアブレーションプロセスの 定量的解明

工学的課題 (1)アブレーション量の制御(増加) インパルスの制御(増加) (2)真空下での高インパルス発生 (3)無反力インパルス発生

4.まとめ

物理的課題

- ・Laser breakdownの定量的解明
- ・レーザー駆動ブラスト波による流動、物体との干渉

工学的課題

- ·大出力レーザー(GWクラス)の実現
- ・エネルギー変換効率の向上
- ・推進システム自体の見直し(宇宙エレベーターなど)

_{宇宙エレベーター} LITAの応用展開

Space Elevator

宇宙までエレベータを使って行き来することは、カーボンナノチューブなど丈夫な材料を使えば実現可能と言われています。LITAではロープや電線が不要なので、この駆動源として最適なものと言えます。



(NASAのHPより)





LITAを使って、地上から人工衛星を打ち上げ ることができれば、今使われているロケットに比 べて、打ち上げの費用を桁違いに安くすることが できます。これは、(1)太陽エネルギーを有効に 利用できること、(2)ロケットに燃料を積む必要が ないこと、(3)作動気体も含めて使い捨てにする ところがどこにもないことに因ります。

小衛星の打上げ Satellite Launch 太陽光発電衛星 Jules Verne: "De la terre a la lune" (From the Earth to the Moon) レーザー光線 人工衛星搭載ロケット

遠隔エネルギー / 動力伝送

Remote Power Delivery

LITAの原理を利用すれば、単に物を打ち 上げるだけでなく、ピストンを動かして発電 機などを駆動することも可能です。電線が 届かない遠隔地や宇宙空間、飛行機など の移動物体へも動力エネルギーを伝送す ることができます。

