

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2007～2010

課題番号：19206087

研究課題名 (和文) レーザー支持爆轟波の物理の解明

研究課題名 (英文) Research on Laser Supported Detonation Physics

研究代表者

小紫 公也 (KOMURASAKI KIMIYA)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90242825

研究代表者の専門分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：航空宇宙流体, 推進, プラズマ, 爆轟波

### 1. 研究計画の概要

レーザー支持爆轟は、衝撃波とそれに隣接する電離波面の 2 層構造と考えられており、あるレーザー強度閾値以上では電離波面が衝撃波を駆動し続ける。この際に、レーザーエネルギーは効率よく流体の運動エネルギーに変換されるため、レーザー推進機やレーザーエネルギー変換装置への応用が研究されている。本研究は、実験的なアプローチを中心にしつつ、より一般的な爆轟波理論を構築することを目的とする。

(1) 従来の炭酸ガスレーザー (波長  $10.6 \mu\text{m}$ ) と発振波長の異なるガラスレーザー (波長  $1.053 \mu\text{m}$ ) を用いて、レーザー爆轟終了条件、爆轟波エネルギー変換効率を調べるとともに、爆轟波背後の電子密度空間分布計測および電子温度履歴計測によって詳細な爆轟波構造を解明する。

(2) レーザー支持爆轟の物理的構造とその維持条件について、実験結果をもとにレーザー爆轟波理論を構築する。また、大気圧力依存性や雰囲気ガス種依存性を調べ、レーザー推進機やレーザーエネルギー変換器の設計に役立てる。

### 2. 研究の進捗状況

主として以下の 3 つの研究を行った。

(1) シャドウグラフ法によるレーザー支持爆轟波・衝撃波伝播の測定

シャドウグラフによる爆轟波伝播履歴を撮影し、爆轟波終了条件および爆風波エネルギー

変換効率を調べた。ガラスレーザーの場合、炭酸ガスレーザーと比較して爆轟終了時の電力密度や吸収係数がレーザー波長依存性により 3 桁近く異なるにも拘らず、爆風波エネルギー変換率はほとんど差異がなく、40%程度であった。これはレーザー光をほぼ遮るように、プラズマ密度・温度が補完的に上昇したためと推測できる。

(2) レーザー支持爆轟波の加熱構造と衝撃波伝播の物理モデルの解明

炭酸ガスレーザー支持爆轟波背後の電子密度分布を 2 波長マッハツェンダー法により計測した。高解像度 ICCD カメラの導入により、非定常現象の高精度な可視化が可能となった。すなわち、以前は 50% 近い測定誤差があったものが大幅に改善され、5% 程度の誤差で電子密度分布を測定可能となった。この結果、レーザー支持爆轟が維持されている時間帯は、衝撃波の前にプリカーサー電子が存在することが示された。

(3) 発光分光法によるガラスレーザー誘起プラズマの電子温度計測

広範囲の波長領域のスペクトルを同時測定可能なエッセル分光器を用いて電子温度履歴測定 (最高温度の履歴) の精度を上げた。原子発光線のきれいなボルツマン分布が得られ、気体が局所熱平衡 (LTE) にあり、温度は 20,000 K を上回ることが示された。上記の 2 項目を含めたこれらの結果は、今後の数値解析との比較検証にも供しうる貴重なデータである。

3. 現在までの達成度  
おおむね順調に進展している。  
(理由)

理論構築に必要な実験データはほぼ取り終え、現在学術雑誌投稿に向けて論文執筆中である。

ガラスレーザーにより誘起される爆轟波は短時間でかつ非常に小さいため、電子密度分布測定は難しく、爆轟波伝播速度、エネルギー変換効率、電子温度履歴から爆轟波構造を推定する必要がある。

#### 4. 今後の研究の推進方策

- (1) レーザー波長の違いによるレーザー吸収係数の大きさの違いにもかかわらず、同等なエネルギー変換効率が達成されるのは偶然か必然かを説明する。爆轟波背後のごく薄い吸収層が形成される場合と楕円球の形状をした爆轟波いっばいに吸収域が広がる場合の2つのケースについて、レーザー透過特性を議論し、レーザー爆轟波およびエネルギー変換機構に関する、波長依存性も含めた一般的な理論を構築する。
- (2) 圧力チャンバーを用いて、空気減圧環境下、およびアルゴンなどの希ガス環境下での同様な実験・計測を行い、一連の研究を補完するデータを取得するとともに、新たな知見を得ることを試みる。

#### 5. 代表的な研究成果

[雑誌論文](計5件)

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

Katsurayama H, Komurasaki K, Arakawa, Y., A Preliminary Study of Laser powered Launcher Performance, *Acta Astronautica*, Vol.65, pp.1032-41, 2009, 査読あり

山口敏和, 畑井啓吾, 小紫公也, 荒川義博, レーザー支持爆轟の終了条件とレーザー波長, *プラズマ応用科学*, 16(2), pp. 125-130, 2008, 査読あり

Ushio, M. Komurasaki, K., Kawamura, K., Arakawa, Y., Effect of Laser Supported Detonation Wave Confinement on Termination Conditions, *Shock Waves*, Vol. 18, pp. 35-39, 2008, 査読あり

Katsurayama, H., Komurasaki, K., Hirooka, Mori K., Arakawa, Y., Numerical Analysis of Exhaust and Refill Process of a Laser Pulsejet, *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 24(5), pp.999-1006, 2008, 査読あり

小田靖久, 小紫公也, 坂本慶司, プラズマの着火過程における電離ダイナミクスと構造, *Journal of Plasma and Fusion Research*, 84(6), pp. 343-347, 2008, 査読あり

[学会発表](計7件)

Wang B, 嶋村耕平, 山口敏和, 小紫公也, 荒川義博, Experimental Investigation on the Shock Wave Generated by Solid Laser Induced Plasma in air, 衝撃波シンポジウム, さいたま, 2010年3月19日

Shimamura K., Sawahara H., Oda A., Komurasaki K., Arakawa Y., A cost Evaluation for Transport of Solar Power Satellite by Beamed Energy Propulsion., AJCPP 2010, Miyazaki, Mar. 5, 2010.

Yamaguchi T, Wang B, Shimada Y, Shimamura K, Hatai K, Komurasaki K, Arakawa Y., Terminating Conditions of laser supported detonation in two different laser., 6th ISBEP, Scottsdale, AZ, Nov. 4, 2009.

Wang B, Yamaguchi T, Hatai K, Komurasaki K, Arakawa Y., Energy Absorption Structure of Laser Supported Detonation Wave., 6th ISBEP, Scottsdale, AZ, Nov. 4, 2009.

Wang B, Yamaguchi T, Hatai K, Komurasaki K, Arakawa Y., Heating Structure and its sustaining condition of laser supported detonation wave, 60th IAC, Daejeon, Korea, Oct. 13, 2009.

K. Mori, A. Sasoh, K. Komurasaki, Y. Arakawa, Preliminary Experiments of a Double-Beam Technique for Laser-Ablative-Impulse Enhancement, AIAA-2009-252, Reno, NV, Jan. 6, 2009.

K. Hatai, A. Fukui, K. Komurasaki, Y. Arakawa, Modeling of Laser Supported Detonation Wave Structure Based on Measured Plasma Properties, AIAA-2008-4092, Seattle, WA, June 24, 2008.

[その他]

ホームページ

<http://www.kml.k.u-tokyo.ac.jp/rpl/research.html>