

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25年5月20日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2012

課題番号：24656517

研究課題名（和文）半導体レーザーアレイを用いた分散型レーザープラズマによる高エンタルピー気流生成

研究課題名（英文）High Enthalpy Flow Generation by Dispersed Laser Plasmas Using a Semiconductor Laser Array

研究代表者

荒川 義博（YOSHIHIRO ARAKAWA）

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：50134490

研究成果の概要（和文）：

今後の宇宙開発，宇宙環境利用の進展には，次世代の高エンタルピー流風洞が必要である。本研究では半導体レーザーアレイを用いて，リニア状ノズル内に複数のレーザープラズマを生成し，空間的に一様な高エンタルピー流の生成へ向けての研究を着手した。実験では，凸レンズによって半導体レーザーから照射したビームを集光させ，作動ガスをレーザープラズマによって加熱した後，超音速ノズルによって高エンタルピーな気流を発生させる装置を試作した。その結果，作動条件によっては点火の際の高強度のプラズマ光が確認されたが，安定に維持するまでには至らなかった。数値計算の結果と総合すると，より高出力のレーザーが必要であると推論に至った。

研究成果の概要（英文）：

Progress of future space development and space environment utilization requires a next-generation high enthalpy flow wind tunnel. In this study, a semiconductor laser array is used to generate laser-supported plasmas in a linear-like nozzle as a first step of spatially uniform high enthalpy flow generation. In the experiment, we fabricated a device in which a working gas is heated up to become high density plasmas by a semiconductor laser with a convex lens. As the result, we observed high intensity irradiation by the laser plasma at the ignition but could not obtain stable laser supported plasmas. Having put together with the result of numerical analysis, we concluded that higher-output laser is required to have stable laser supported plasmas and high enthalpy flow.

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	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：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：高エンタルピー流,レーザープラズマ,半導体レーザー

1. 研究開始当初の背景

昨今の惑星探査の対象は火星や金星、木星などへ移行している。一般に、宇宙機の惑星突入時には惑星大気による過酷な空力加熱より機体を守るため、熱防護システムを搭載する。この熱防護システムの開発には、地上試験装置として、惑星突入環境を模擬する高エンタルピー流風洞が必要とされる。

これまで、地球再突入環境を模擬する際には、アーク風洞や誘導加熱風洞が用いられてきた。しかしながら、アーク風洞では、二酸化炭素（火星、金星大気の主成分）やメタン（木星大気の主成分）など、酸素や炭素を含む作動ガスは電極損耗を助長するため、作動が極めて困難である。また、誘導加熱風洞は理論上低圧環境のみで作動が可能であり、目標とする高圧環境下での作動が不可能である。

研究代表者らはこれまで宇宙推進用レーザー推進機に関する基礎実験を行ってきた。これは、高出力レーザー（炭酸ガスレーザー）を用いてプラズマを生成し、そのプラズマによって加熱された作動ガスを超音速ノズルで加速・排出し、推力を得るものである。この過程で淀み圧の上昇とともにレーザープラズマが安定化し、より高エンタルピーの気流が得られること、また、酸素を含む様々なガスで作動可能であることが明らかになった。

そこで、この推進機を基に、(1) 様々なガスで作動可能、(2) 比較的高い淀み圧（～1MPa）、(3) 電極損耗のないクリーンで安定作動可能、を特徴とした、次世代風洞としてのレーザー風洞を開発することに着想した。これまでの実験から、酸素、窒素、メタン、水素、アルゴンなど様々なガ

ス種の高エンタルピー流生成に成功し、実現可能であることを示した。

その一方、生成された気流は1kW程度とレーザー風洞としては低出力であること、また、気流の分布が中心にピークをもつ不均一なものとなり、空間的一様性の確保が実用化に向けた大きく重要な課題であることを示した。

2. 研究の目的

今後の宇宙開発、宇宙環境利用の進展には、次世代の高エンタルピー流風洞が必要である。次世代高エンタルピー流風洞は、(1) これまでに比べて高いエンタルピー流を、(2) 様々な気流成分で、(3) より空間的に一様な気流を安定に生成することが求められている。本研究の目的は、半導体レーザーを用いて生成されたレーザープラズマによって気流を加熱する機構をもち、(1)～(3)の要求をすべて満たす高エンタルピー流風洞の開発へ道筋をつけることである。このため、従来のガスレーザー方式では(3)を満たすことができなかったものに対して、ここでは半導体レーザーアレイを用いて、リニア状ノズル内に複数のレーザープラズマを生成し（次ページの図参照）、空間的に一様な高エンタルピー流の生成へ向けての研究を着手した。

3. 研究の方法

(1) 半導体レーザーによるプラズマ生成部の設計・製作ならびに作動実験

凸レンズによってレーザービームを集光させ、炭酸ガス、窒素、酸素などの作動ガスをレーザープラズマによって加熱した後、超音速ノズルによって高エンタルピーな気流を発生させるもので、その基本的な原理や構造はこれまでに開発して

きた炭酸ガスレーザーによる推進機と変らない。しかしながらレーザー光の波長が大幅に短くなり可視光の波長に近くなるため、逆制動放射による電子加熱が低下する可能性もあり、プラズマ着火やレーザープラズマの維持が困難になる可能性もある。このような事態に備えて、着火には電離が容易なキセノンやクリプトンを用意し、レーザープラズマが安定した後に当初の作動ガスに切替えるという方法を試す。さらに別の方法として、着火時のみプラズマ生成部の圧力を高め中性ガス密度を高くすることによってレーザープラズマを生成しやすい状況を準備した。半導体レーザーは新規に購入したものをを用いた。プラズマ生成部及びノズルは新たに設計・製作する。ノズル下流の気流を維持する風洞部分は当研究室に既存の真空チェンバーと真空排気装置を用いる。プラズマ着火やレーザープラズマ維持の確認はビデオカメラ、圧力計測で行う。各種作動パラメータ、すなわちレーザー出力及び作動ガス流量、スロート径などを変えて、プラズマ着火特性や安定なレーザープラズマを維持できる作動範囲を調べる。さらに透過レーザー出力と冷却水温度上昇からの熱損失を測定し、各条件における気流のエンタルピーを求める。

(2) 高エンタルピー気流の光学診断

研究代表者らの研究室でアーク風洞気流診断用に開発してきた半導体レーザー吸収分光法システムを用いて気流診断を行う。吸収プロファイルのドップラー幅及びドップラーシフトよりノズル出口直後での並進温度分布及び流速分布が得られ、これより、気流の比エンタルピー分布、化学組成分布を求める。

(3) 数値計算コードの開発

実験に並行して、数値計算コードを開発する。本コードでは、二次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式を用い、気流は化学非平衡、温度は一温度モデルを用いる。またレーザー吸収は電子・イオン及び電子・中性粒子の逆制動放射吸収のみを考える。

(4) 半導体レーザーアレイを用いた作動実験

アレイ化した半導体レーザーを用いて作動実験を行う。実験に先立ちレーザーのアレイ化に対応して集光レンズ系、プラズマ生成部ならびにノズルの改良を行う。各種観測や光学計測などを行うが、アレイ化した方向、すなわちノズルのスリット方向に対しての気流のエンタルピー分布や粒子密度分布を計測し、高エンタルピー気流の広域化を検証する。

(5) 数値計算コードの実行

これまでに開発した計算コードにより数値計算を実行する。実験結果と比較して計算コードの改良を行い、解析モデルの妥当性を検証する。また、レーザーのアレイ化に対応して、計算コードの変更を行う。

4. 研究成果

実験では、凸レンズによって半導体レーザーから照射したビームを集光させ、炭酸ガス、窒素、酸素などの作動ガスをレーザープラズマによって加熱した後、超音速ノズルによって高エンタルピーな気流を発生させる装置を試作した。

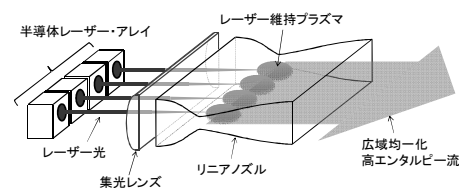


図1 高エンタルピー気流生成装置

基本的な原理はこれまでに開発してきた炭

酸ガスレーザーによるものと変わらないが、レーザー光の波長が大幅に短くなり可視光の波長に近くなるため、逆制動放射による電子加熱が低下する可能性もあり、プラズマ点火やレーザープラズマの維持が困難になった。このような事態に備えて、点火には電離が容易なキセノンで行い、レーザープラズマが安定した後に当初の作動ガスに切替えるという方法を試みた。その結果、作動条件によっては点火の際の高強度のプラズマ光が確認されたが、安定に維持するまでには至らなかった。安定な気流が得られなかったため、気流の計測実験は困難になった。数値解析の結果と総合的に判断すると、プラズマの輻射損失や熱伝導損失などが予想以上に大きく、これらの損失を補うだけの、より高出力のレーザーが必要であると推論に至った。

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)

単年度(2012年度)だけの研究のため、現段階では発表論文ならびに特許などの成果には至っていない。

[その他]

ホームページ

<http://www.al.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒川 義博 (YOSHIHIRO ARAKAWA)
東京大学大学院工学系研究科・教授
研究者番号：50134490

(2) 研究分担者

小泉 宏之 (HIROYUKI KOIZUMI)
東京大学先端科学技術研究センター・准教授
研究者番号：40361505