

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究 (A)
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18206087
 研究課題名 (和文) 電磁力による再突入飛行体周りの弱電離プラズマ流の制御とその実機適用性の実証
 研究課題名 (英文) Control of weakly-ionized flow around reentry spacecraft and a feasibility study for its application
 研究代表者
 安部 隆士 (Abe Takashi)
 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・教授
 研究者番号：60114849

研究成果の概要 (和文)：宇宙空間から地上にもどる宇宙機は大気圏飛行中において、高温のプラズマに覆われ、これにより加熱されるため、それに起因する機体損傷の危険性を回避することが特に必要である。このため、加熱に耐える従来の手法に加えて、さらに加熱を低減する工夫が必要となる。高温のプラズマが電磁力の影響を受けることを利用して、これを宇宙機から遠ざけるような制御をすることにより、加熱を避ける工夫について、その可能性を追求した。その結果、適度の静磁界を宇宙機まわりに印加することで加熱を避けることが可能であることを示した。さらに、その効果を実飛行環境下で実証する手段についても検討し、具体的方策を提示した。

研究成果の概要 (英文)：The spacecraft reentering into the atmosphere experiences a severe aerodynamic heating caused by the hot plasma flow around it. For flight safety, it is required to mitigate such a severe heating environment in addition to developing a heat protection system for the spacecraft. Because the hot plasma is influenced by the existence of the electromagnetic field, we conducted a feasibility study to make use of the electromagnetic force to mitigate such a severe heating environment. The present result shows that such a mitigation is feasible by making use of an appropriate static magnetic field configuration around the spacecraft. Furthermore, it is shown that an appropriate flight experiment to validate such a measure is feasible.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 度	12,500,000	3,750,000	16,250,000
2007 度	11,500,000	3,450,000	14,950,000
2008 度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2009 度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
総計	37,400,000	11,220,000	48,620,000

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：宇宙往還機、高温弱電離気体、流れの制御

1. 研究開始当初の背景

(1) 再突入宇宙機周りに生じる弱電離プラズマ流を電磁力により制御し、再突入環境

を緩和させることは、理論的には、単純モデルにより確認されていたし、簡単な解析により、低軌道からの回収においても、有用であ

ることが理論的に示されていた。

(2) 一方、実験的には、再突入飛行環境で生じる弱電離流れを模擬したアルゴンプラズマ流において、衝撃層の拡大効果が確認されていた。

2. 研究の目的

電磁力による再突入飛行体周りの弱電離流れの制御が実飛行環境下で有効であることを把握すると同時に、実飛行環境における実証試験を行う手法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 実飛行環境に近い流れ場を利用して電磁力効果を実験的に確認するとともに、理論的な把握を行なう。

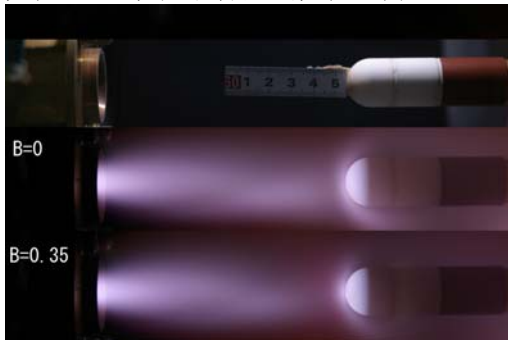
(2) これと並行して、アーク風洞で生成される弱電離流れでの電磁力効果を実験的、理論的に把握して、実飛行環境における同効果の挙動の理解に役立てる。

(3) さらに、実飛行環境での技術実証試験の手法について検討を行い、実現可能な手法を見出す。

4. 研究成果

(1) 実飛行環境に近い流れ場を作り出す装置として、衝撃風洞、膨張波管風洞を用い、宇宙機模型周りの流れを生成し、それに対する電磁力の効果を計測し、効果を確認した。この効果のひとつとして、衝撃層の拡大を再確認し、数値解析によりその妥当性を確認した。

(2) アーク風洞で生成される弱電離プラズマ流に宇宙機模型をおくことにより、電磁力効果として、衝撃層拡大効果を確認し



アーク風洞内の模型 (上)、アーク気流中の模型、磁場無し (中)、磁場有り (下)

ているが、その定量的な把握に当たっては、この流れに特有の効果を考慮した解析を行なう必要があることが明らかになった。具体的

には、ホール効果を適切に考慮することが必要であった。また、実験で用いたアーク風洞が比較的小型であり、気流のサイズと模型のサイズが同程度であったため、そのことも考

慮した解析をおこなうことにより、ほぼ、実験結果を再現することが可能となった。

一方、電磁力効果として、衝撃波拡大効果以外にも、抗力増大効果を確認した。さらに、抗力増大の元となる電磁力干渉効果についても、直接測定も行い、電磁力効果の理解を深めた。これらの成果により、実飛行環境における電磁力効果についての推算が精度よく行なうことが可能となった。

(3) 従って、宇宙空間から地上に戻る飛行において、磁力効果は加熱量の低減を2重の効果で達成することとなる。まず、衝撃層拡大効果による直接低減であり、さらに、効力増大効果による可能となる高高度での減速にともなう加熱量の低減である。

(4) 磁力効果を実飛行環境において実証する手法として、小型観測ロケットを用いた手法を検討し、十分に実現可能であるとの見込みを得た。また、そこで用いられる宇宙機に搭載可能な強磁場発生装置を検討、試作し、十分可能であるとの結論を得た。



超軽量な宇宙機搭載型の強磁場発生装置 (5テスラ級)

(5) 今後の発展として、まず、実飛行環境において技術の実証を行なう必要があり、それを踏まえて、実用レベルに至ることになる。一方、磁気力により流れを制御する観点では、さらに応用の範囲を広げる必要がある。そのためには、本研究で行なわれた鈍頭体の前部に磁気力を配置する形態のみならず、さまざまな形態における磁気力の効果を把握する必要がある。また、ミッションとしても、地球低軌道からの回収のみならず、惑星探査に必要なエアロキャプチャへの応用についても検討していく必要がある。

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)

[雑誌論文] (計 7 件)

① M. Kawamura, A. Matsuda, H. Katsurayama, H. Otsu, D. Konigorski, S. Sato, Takashi Abe, Experiment on Drag Enhancement for a Blunt Body with Electrodynamical Heat Shield, Journal of Spacecraft and Rockets, 査読有, 46 巻、2009、1171-1177

② Abe, Takashi, Feasibility study of flight experiment for electrodynamic heatshield technology, Acta Astronautica, 査読有, v. 66, iss. 5-6, p. 929-936.

③ A. Matsuda, T. Abe, et. al, Model Surface conductivity effect for the electromagnetic heat shield in reentry flight, Physics of Fluids, 査読有, 2008, 27103-1-127103-10

④ T. Abe, その他 3 名, Experimental Study for Momentum Transfer in a Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator, AIAA J. 査読有, 46 巻、2008、2248-2256

⑤ H. Katsurayama, M. Kawamura, A. Matsuda, and T. Abe, Kinetic and Continuum Simulations of Electromagnetic of a simulated Reentry Flow, Journal of Spacecraft and Rockets 査読有, 45 巻、2008、248-254

⑥ A. Matsuda, H. Otsu, M. Kawamura, D. Konigorski, Y. Takizawa, S. Sato, and T. Abe, Model and magnetic configuration effect on Shock layer enhancement by an applied magnetic field, Physics of Fluids 査読有, 20 巻、2008、027102-027113

⑦ Y. Takizawa, A. Matsuda, S. Sato, T. Abe, D. Konigorski, Experimental investigation of electromagnetic effect on a shock layer around a blunt body in a weakly ionized plasma, Physics of Fluids, Vol.18(11), 2006, pp.117105-1-117105-10

[学会発表] (計 23 件)

① T. Abe, Advanced Reentry Vehicle Research Activities-Deployable Aeroshell and Magnetic braking, Next-Generation Suborbital Researchers conference 2010-2-18, Boulder, USA

② H. Otsu, H. Katsurayama, T. Abe, D. Konigorski, Rarefied Gas Effects on the Magnetic Flow Control System for Aerobraking Flight of the Reentry Vehicle, AIAA-2009-3729, 40th AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference, San Antonio, Texas, June 22-25, 2009

③ H. Otsu, H. Katsurayama, and T. Abe, Trajectory Analysis of Electromagnetic Aerobraking Flight Based on Rarefied Flow Analysis, AIP Conf. Proc. -- December 31, 2008 -- Volume 1084, pp. 766-771, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 26th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, 2008

④ T. Tanifuji, T. Abe, その他 4 , Experimental Investigation of Electrodynamic Heatshield Effect in a Reentry Plasma, 39th Plasmadynamics and Lasers Conference, June 23-26, 2008 Seattle, Washington

⑤ H. Katsurayama, T. Abe, D. Konigorski, Numerical Simulation of Electromagnetic Flow Control in a One-Kilowatt Class Argon Arcjet Windtunnel, AIAA-2008-4016, 39th Plasmadynamics and Lasers Conference, Seattle, Washington, June 23-26, 2008

⑥ M. Kawamura, A. Matsuda, H. Katsurayama, H. Otsu, D. Konigorski, Experimental Study on Electromagnetic Drag Increment of Blunt Body in a Weakly Ionized Plasma Flow, 38th AIAA Plasma dynamics and Laser Conference 2007年6月25日 アメリカ合衆国

⑦ A. Matsuda, Y. Takizawa, M. Kawamura, H. Otsu, S. Sato, T. Abe, and D. Konigorski Experimental Investigation of the Hall Effect for the Interaction between the weakly Ionized Plasma and Applied Magnetic Field, 45th AIAA Aerospace Science Meeting and Exhibit, AIAA Paper, 2007, pp.1437

⑧ H. Katsurayama, A. Matsuda, M. Kawamura, and T. Abe, Particle Simulation of the Partially Ionized Flow around Blunt Body, 45th AIAA Aerospace Science Meeting and Exhibit, AIAA Paper, 2007, pp.1439

⑨ A. Matsuda, K. Wakatsuki, Y. Takizawa, M. Kawamura, H. Otsu, S. Sato, T. Abe, D. Konigorski, Shock layer enhancement by electro-magnetic effect for spherical blunt body, 37th AIAA Plasmadynamics and Laser Conference, AIAA Paper, 2006, pp. 3573

⑩ H. Otsu, T. Abe, A. Matsuda and D. Konigorski, Numerical Validation of the Magnetic Flow Control for Reentry Vehicles, 37th AIAA Plasmadynamics and Laser Conference, AIAA Paper, 2006, pp.3236

⑪ H. Otsu, A. Matsuda, T. Abe, and D. Konigorski, Feasibility Study on the Flight Demonstration for the Magnetic Flow Control System of Reentry Vehicles, 37th AIAA Plasmadynamics and Laser Conference, AIAA Paper, 2006, pp. 3566

[その他]

ホームページ

<http://gd.isas.jaxa.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安部隆士 (Abe Takashi)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・教授

研究者番号：60114849

(2) 研究分担者

大津広隆 (Otsu Hirotaka)

龍谷大学・理工学部・准教授

研究者番号：20313934

(H20→H21 連携研究者)

松田淳 (Matsuda Atsushi)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・プロジェクト研究員

研究者番号：80415900

(H18→H19)

葛山 浩 (Katsurayama Hiroshi)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・プロジェクト研究員

研究者番号：80435809

(H20→H21 連携研究者)

船木一幸 (Funaki Ikko)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・准

教授

研究者番号：50311171

(H20→H21 連携研究者)

石川本雄 (Ishikawa Motoo)

筑波大学システム情報工学研究科・教授

研究者番号：90109067

(H20→H21 連携研究者)

藤野貴康 (Fujino Takayasu)

筑波大学システム情報工学研究科・講師

研究者番号：80375427

(H20→H21 連携研究者)

(4) 連携研究者

山田和彦 (Yamada Kazuhiko)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙

科学研究本部・助教

研究者番号：20415904

古舘美智子 (Furudate Michiko)

東北大学大学院工学系研究科・助教

研究者番号：70443992