

補助事業番号 2018M-161

補助事業名 平成30年度 太陽系起源解明のための深宇宙探査機の再突入飛行特性基礎研究 補助事業

補助事業者名 筑波大学システム情報工学研究科構造エネルギー工学専攻嶋村研究室

1 研究の概要

深宇宙探査機「はやぶさ」による小惑星イトカワからのサンプルリターンミッションの成功によって、太陽系起源解明に向けて国内外では新たな探査計画が検討されている。ミッションの鍵技術の一つである探査機カプセルの飛行特性に関する基礎研究が本事業のテーマである。探査機カプセルが宇宙深遠の天体から地球帰還を可能にするためには、大気圏再突入時の加熱環境やそれに耐えうる材料の開発が必要であり、本事業では地上施設を用いて再突入時の加熱環境を再現し、カプセルの空力加熱評価から次期深宇宙探査機の設計指針を提唱する。

2 研究の目的と背景

深宇宙探査機「はやぶさ」による小惑星イトカワからのサンプルリターンミッションの成功によって、太陽系起源解明に向けて国内外では新たな探査計画が検討されている。これら計画ではイトカワ以遠の天体からの帰還を目指しており、地球と天体の距離に比例して地球帰還速度は増加する。深宇宙からの惑星間軌道から地球に直接帰還するためには、探査機カプセルはより高速での大気圏突入に耐える必要がある。

たとえば、木星トロヤ群軌道からの帰還の場合は、突入速度は、15km/s程度と想定されている（「はやぶさ」等の火星軌道からの帰還の場合は、12km/s）。この速度増加の影響により、再突入時の空力加熱環境はより過酷になる。「はやぶさ」カプセルは、淀み点熱流束15MW/m²という加熱環境であったが、同条件で突入速度のみ15km/sに増速した場合、淀み点熱流束は30MW/m²を超え、現在の耐熱材料の限界を超えると予測されている。

しかし、超高速気流中でサンプルリターンカプセル周りの気体がどのような状態になっているのかを理解しないと正確な加熱率の見積もりができない。そのため、高速気流を地上で再現できる膨張波管風洞装置をより高速化することで、このような超高速気流の状況を理解しようとする研究が国内外で現在進められている。

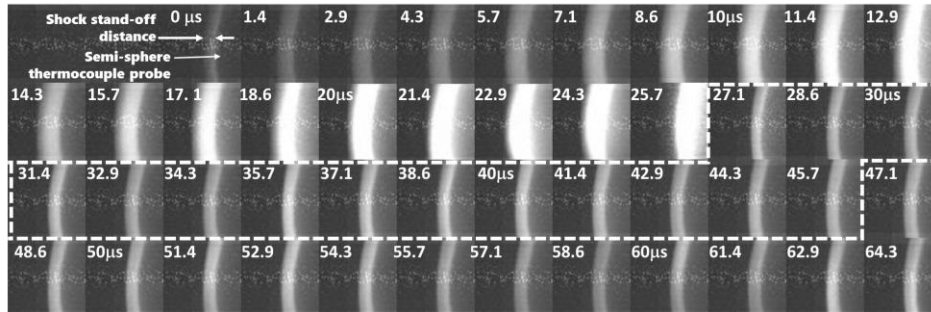
太陽系起源解明に向けたサンプルリターンミッションが検討されており、探査機カプセルが宇宙深遠の天体から地球帰還するためには、大気圏再突入時の加熱環境やそれに耐えうる材料の開発が必要である。本事業では再突入時の加熱環境を地上施設で再現し、カプセルの空力加熱評価から次期深宇宙探査機の設計指針を提唱する。

3 研究内容

太陽系起源解明のための深宇宙探査機の再突入飛行特性基礎研究

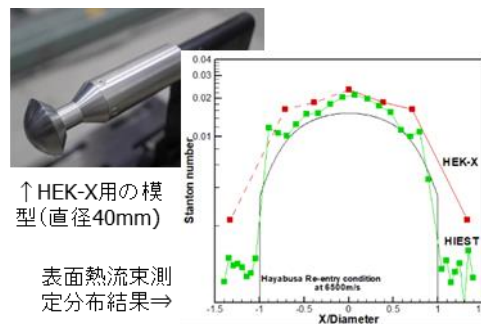
<http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~shimamura/JKA2019.html>

① 地上試験による気流再現環境開発に関する研究



本事業1年目では極超音速気流生成用の新型風洞（膨張波管）の気流診断を秒速8kmの速さで行った。具体的には10万分の1秒の試験時間を同定するためのプローブの開発や圧力、温度プローブの開発を行い、風洞に使用した。この結果、半球20mmの模型で100MW/m²の加熱率を計測し、概ね理論値と一致した。また図の通り可視化から試験時間を求めることに成功し、これらの結果はアメリカ航空宇宙学会をはじめ国内外の学会で公表した。

② カプセル周りの気流熱流束診断に関する研究



事業2年目では、カプセル型模型表面の加熱率計測を目標に現在研究を進めている。また同時に1年目の加熱率計測手法の確立、精度向上と合わせて目標である火星軌道再突入時の最大加熱率10km/sの気流生成とその同定を目指して研究を進めている。前年度開発した埋め込み型小型アンブを搭載した高速熱流束計測システムを、図の1/10はやぶさ型サンプルリターンカプセルの前面に3か所にE型同軸熱電対と共に作成した。また前年の気流診断によって得られたパラメータをベースにシミュレーションを開発し、膨張波管や衝撃風洞実験との比較を行った。本事業では空力実験からCFDによる予測システムを確立した。これらの結果はアメリカ航空宇宙学会をはじめ国内外の学会で公表した。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

JAXA角田で開発が進められている大型の膨張波管設備が、設計性能を完全に発揮することができれば、気流速度、サイズともに、世界最速、最大級の設備となり、超高速の気体力学に関して多くの新しい知見が得られると期待されている。膨張波管設備で生成される気流は、試験気体が淀み点状態を経ないで高速に加速されるため、大気圏突入時の一様流状態に近い環境が得られる。そのため、その内部に大気圏突入機を模擬したモデルを配することにより、実際の大気圏突入機周りの高速、高エンタルピー流が再現できる。ただし小型な設備では、気流継続時間は極めて短く、供試体の大きさに制限があり、各種物理量の計測や気流診断は非常に難しい。より高速な気流になれば、それがさらに困難になることは言うまでもない。その点、JAXA角田で開発されている設備は大型であるため、それらの課題がクリアでき、超高速気流に関する有用なデータが得られることで、超高速で再突入する大気圏突入機の熱防御システムの設計に反映する知見が取得できると期待している。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで極超音速気流やプラズマに対する光学計測など実験研究を中心に進めてきた。本大学においてより流体力学の基礎や物理化学に根差した研究を進めてきた。特に宇宙工学分野に留まらず、様々な分野に貢献するためには気体力学のより一層の深い理解を目指している。本研究はその一環であり工学を支える根幹分野の研究についても研究者としての視野を広めるために積極的に参加している。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

発表論文

- K. Shimamura, A. Okamoto, Y. Fujiwara, R. Watanabe, Y. Higo, K. Yamada, Evaluation of test time and flow conditions for 35 mm square bore free-piston driven expansion tube, Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci. (In press, 2020).
- K. Shimamura, A. Okamoto, Y. Fujiwara, Y. Higo, K. Yamada, T. Komuro, H. Tanno, High-speed visualization for test-time evaluation of a JAXA HEK-X free-piston driven expansion tube, AIAA-paper 2019-1556.
- 藤原侑亮, 岡本誉史, 嶋村耕平, 山田和彦, 丹野英幸, 手塚亜聖, HEK-X膨張波管における高速応答熱電対を用いた淀み点熱流束計測, 流体力学講演会講演論文集, JSASS-2018-2087 (2018).

- 岡本誉史, 藤原侑亮, 嶋村耕平, 山田和彦, 丹野英幸, 松井信, 可視化技術を用いた膨張波管 HEK-X の試験時間推定, 流体力学講演会講演論文集, JSASS-2018-2087 (2018).
- 比護悠介, 岡本誉史, 藤原侑亮, 嶋村耕平, 水書稔治, 山田和彦, 膨張波管生成気流の利用に向けた非平衡解析, 第62回宇宙科学技術連合講演会講演論文集, JSASS-2018-4851 (2018).
- H. Tanno, K. Itoh, K. Yamada, K. Yamada, M. Kobayashi, K. Shimamura, G. Uchibe, Flow Visualization with Common Path Interferometry in High-Enthalpy Shock Tunnel, AIAA-paper 2020-1281.
- H. Tanno, T. Komuro, K. Yamada, K. Shimamura, G. Uchibe, Aeroheating Test of Hayabusa Sample Return Capsule in Hypersonic High-Reynolds Number Flow, Proceedings of the 32nd International Symposium on Shock Waves, 1565 (2019)
- Y. Fujiwara, A. Tezuka, K. Shimamura, T. Okamoto, K. Yamada, T. Komuro, H. Tanno, Measurement of Stagnation Heat Flux in HEK-X Expansion Tube, Proceedings of the 32nd International Symposium on Shock Waves 2363 (2019).
- 丹野英幸, 小室智幸, 山田和彦, 嶋村耕平, 自由ピストン型膨張波管 HEK-X の作動特性, 第51回流体力学講演会講演論文集, JSASS-2019-2122-A (2019)
- 福丸翔, 藤原侑亮, 嶋村耕平, 山田和彦, 丹野英幸, 小室智幸, HEK-X 膨張波管における管出口の熱流束・圧力空間分布計測, 第51回流体力学講演会講演論文集, JSASS-2019-2121-A (2019)
- 藤原侑亮, 岡本誉史, 比護悠介, 嶋村耕平, 山田和彦, 丹野英幸, 小室智幸, 手塚亜聖, 膨張波管 HEK-X におけるはやぶさ型再突入カプセルの加熱率分布計測に向けた検討, 第62回宇宙科学技術連合講演会講演論文集, JSASS-2018-4849 (2018).

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

- *Proceedings of 32st International Symposium on Shock Wave*
(<https://link.springer.com/conference/issw> 当該巻号については近日公開)
- 第50, 51回流体力学講演会講演論文集
<https://www.jsass.jp/conference/fdc50.php>
<https://www.jsass.jp/conference/fdc51.php>
- 第61, 62回宇宙科学技術連合講演会講演論文集

<https://www.jsass.jp/conference/sstc62.php>

<https://www.jsass.jp/conference/sstc61.php>

- TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, SPACE TECHNOLOGY JAPAN

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/tastj/18/0/contents/-char/en>（当該論文については近日公開）

- Proceedings of American Institute of Aeronautics and Astronautics Conference

<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2020-1281>

<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2019-1556>

(2)(1)以外で当事業において作成したもの
特に無し

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 筑波大学システム情報系
（つくばダイガクシステムジョウホウケイ）

住 所： 〒305-8573
茨城県つくば市天王台1-1-1

申 請 者： 助教 嶋村耕平（シマムラコウヘイ）

担 当 部 署： 同上

E - m a i l： shimamura@kz.tsukuba.ac.jp

U R L： <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~shimamura/>