

大気圏突入カプセルの熱流体解析

報告書番号：R22JDU10300

利用分野：宇宙科学

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2022/20685/>

● 責任者

澤井秀次郎, 宇宙科学研究所宇宙飛翔工学研究系

● 問い合わせ先

永田 靖典(nagata.yasunori@jaxa.jp)

● メンバ

永田 靖典, 阿部 幸司, 小山 颯大, 佐藤 立樹, 竜田 響

● 事業概要

はやぶさサンプルリターンカプセルのような大気圏突入カプセルでは、高速度で大気圏に突入する際に、空力加熱をはじめとしたさまざまな流体现象が発生し、これを適切に予測することがカプセルの設計上重要である。本研究では、大気圏突入カプセルの熱流体解析を実施し、さまざまな現象把握を進めている。具体的には、(1)展開型柔軟エアロシエルのフライト実験機の熱空力環境予測、(2)膨張波管実験におけるカプセル型模型の熱空力環境の推定、(3)MHD 相互作用効果に関する流体现象の把握、を進めている。

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

極超音速で飛行する大気圏突入カプセル周りの流体解析を適切に実施するためには、物体適合構造格子を用いて、高品質の計算格子を用いる必要がある。ISV ソフトウェアとして提供されている Pointwise は、物体に沿った計算格子を生成できるだけでなく、計算格子の調整も柔軟に行うことが可能であり、格子生成に要する時間を大幅に短縮することができる。特に、比較的複雑な形状の展開型柔軟エアロシエルのカプセルに対しても、Pointwise の強力なスムージング機能により高品質の計算格子を生成することができる。

● 今年度の成果

(1)について、2021年に実施した展開型柔軟エアロシエルのフライト実験での熱環境を模擬するために、2次元軸対称熱流体解析を実施し、空力加熱量を見積もった(図1)。見積もられたよどみ点熱流束は、経験式で予測される値に対して30～45%程度と低いが、温度センサのフライトデータを考慮すると、妥当と考えられる。温度データの再現を目指して、熱環境のモデル化を進めていく。

(2)について、膨張波管は高速・高エンタルピー気流を生成可能な実験装置であり、大気圏突入飛行環

境を模擬することができる。ただし、気流の持続時間は極短時間であり、実験計測から十分な気流の情報を得ることが困難であるため、実験計測と流体解析の両方から気流推定を試みた(図2)。具体的には、予想される気流のパラメータ範囲の中から、実験の可視化結果に合致する気流条件の推定を試みている。

(3)について、電磁力を利用した気流制御技術に関し、流体に与える影響について電磁流体解析を実施した。2次元くさび形状の肩付近に電磁力を作用させることで、衝撃波形状が大きく変化する可能性があることが明らかとなった(図3)。今後、この周辺の状況について検討を進めていき、気流制御技術に応用できるかの検討も進めていく。

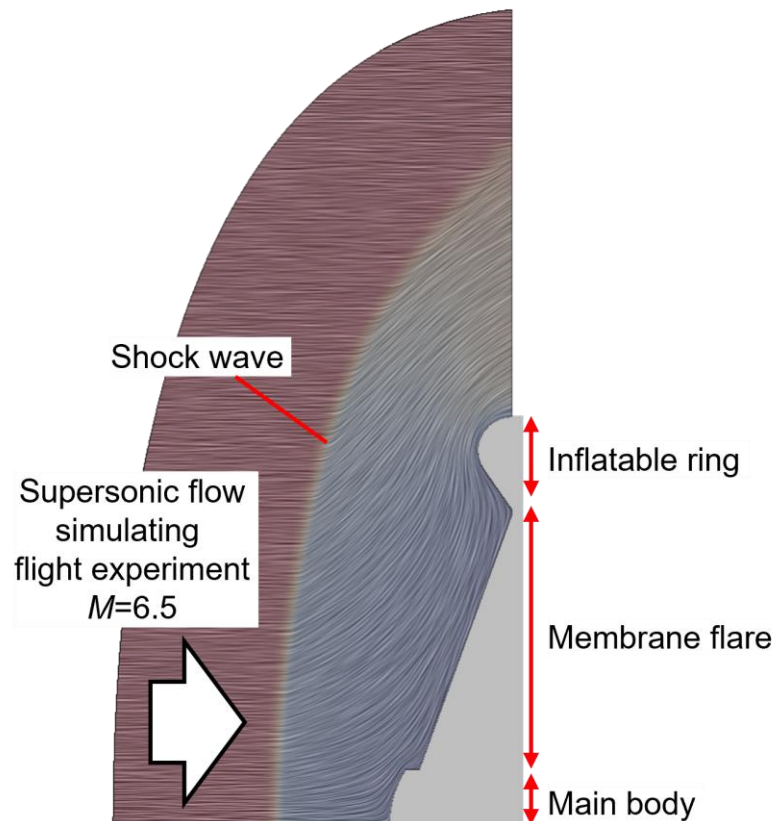


図1: 展開型柔軟エアロシェル実験機の大気圏突入時の CFD 解析結果(速度分布と流線)

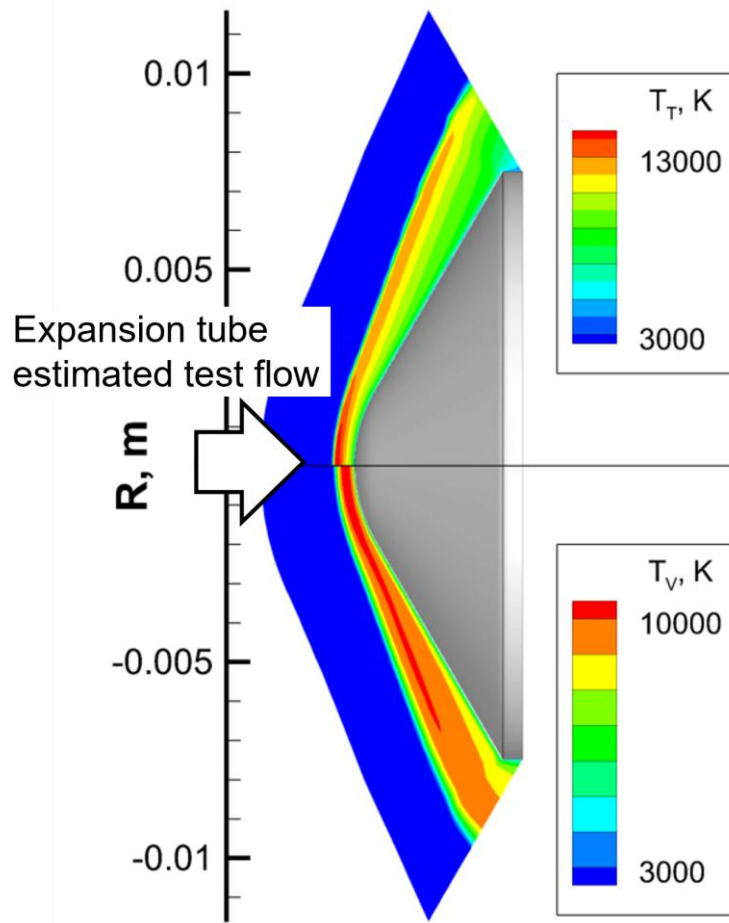


図 2: Stardust 型実験模型に対する膨張波管模擬気流の CFD 解析結果(並進温度分布と振動温度分布)

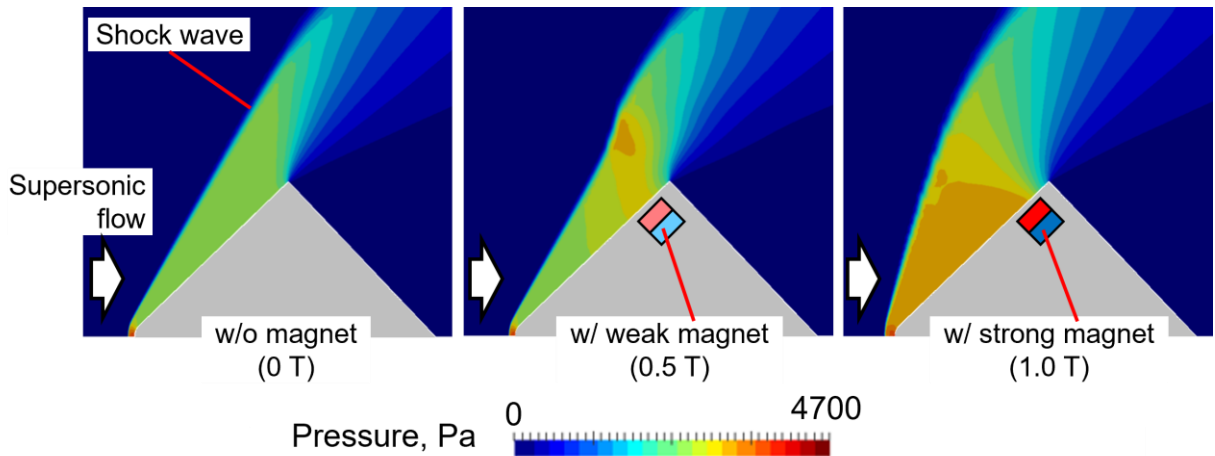


図 3: 2次元くさび形状に対する MHD 解析結果(圧力分布, 左:磁石なし, 中:弱磁石, 右:強磁石)

● 成果の公表

-口頭発表

佐藤立樹, 今村宰, 永田靖典, 山田和彦, くさび形状周りの極超音速プラズマ流に関する MHD 流体解析, 2022 年度衝撃波シンポジウム, 1B2-4, 2023.

-ポスター

小山颯大, 近藤碧海, 嶋村耕平, 永田靖典, 山田和彦, 膨張波管を用いた深宇宙探査用再突入カプセルの空力加熱評価, 第 66 回宇宙科学技術連合講演会, P095, 2022.

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	非該当
スレッド並列手法	非該当
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	1 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.00

内訳

計算資源		
計算システム名	CPU 利用量(コア・時)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-ST	0.00	0.00
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	0.00	0.00
TOKI-TST	0.00	0.00
TOKI-TGP	0.00	0.00
TOKI-TLM	0.00	0.00

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合※2 (%)
/home	45.00	0.04
/data 及び/data2	450.00	0.00
/ssd	450.00	0.06

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合※2 (%)
J-SPACE	0.00	0.00

※1 総資源に占める利用割合：3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

● ISV 利用量

ISV ソフトウェア資源		
	利用量(時)	資源の利用割合※2 (%)
ISV ソフトウェア(合計)	267.56	0.19

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合