

大気再突入技術の確立に向けた極超音速・遷音速域における物理とモデリング

報告書番号：R24JACA53

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2024/27472/

● 責任者

大西直文, 東北大学

● 問い合わせ先

坂本 広樹 (鳥取大学)(hiroki.sakamoto@tottori-u.ac.jp)

● メンバ

黒田 悠馬, 大西 直文, 坂本 広樹

● 事業概要

極超音速流を生成する衝撃風洞である膨張波管は、超軌道再突入時の流れを地上で模擬できる風洞として期待されている。膨張波管では乱流遷移による試験気流への悪影響が問題視されているが、その乱流遷移メカニズムは明らかでない。本研究では、膨張波管における乱流遷移のメカニズムを調査するために数値シミュレーションを実施した。

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

乱流遷移の可能性を調査するためには微小な擾乱の伝播を捉えることが重要であり、数値的な擾乱および散逸を抑制した高解像度の数値シミュレーションが必要となる。このためには多くの計算コストを要するため、宇宙航空研究開発機構の所有するスーパーコンピュータの利用が不可欠である。

● 今年度の成果

膨張波管内を伝播する衝撃波の背後の境界層に人工的な擾乱を付加し、その擾乱の発展の様子を調査した。具体的には、膨張波管内を伝播する衝撃波を衝撃波が静止して見えるような慣性系である衝撃波静止系に衝撃波速度を用いてガリレイ変換し、準定常な流れ場とした。さらにランダムな Blowing / Suction 擾乱を衝撃波背後の境界層の壁面に付加した。擾乱を付加した位置の後流における壁面圧力の変動によると、特定の波長が擾乱源の背後に現れると共に、伝播した擾乱が衝撃波面を乱し、より大きな擾乱が衝撃波下流に放出されることがわかった (Fig. 1)。この結果は、境界層と衝撃波面の不安定性の相互作用により衝撃波面が振動し、衝撃波下流の境界層において乱流遷移が引き起こされることを示唆している。したがって、膨張波管ではこの不安定性により乱流遷移が発生する可能性があることがわかった。

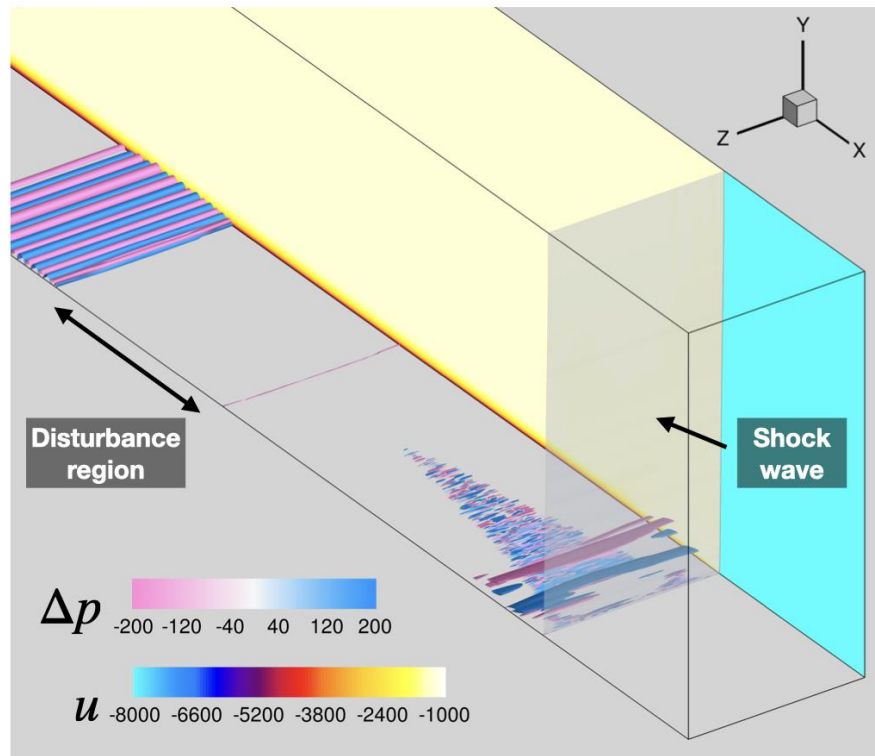


図 1: 数値シミュレーション上で伝播する衝撃波の背後に人工擾乱を加え、擾乱の発展の様子を調査することで流れ場の安定性を調査した。

● 成果の公表

-査読付き論文

- 1) Hiroki Sakamoto, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Numerical Simulation of Shock Attenuation with Real Gas Effects and a Turbulent Boundary Layer in the Expansion Tube, Shock waves, Vol. 34, 539, 2024.
- 2) Hiroki Sakamoto, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Hypersonic Boundary Layer Instability in Long-Distance Propagation of Shock Wave, Proceedings of the 34th International Symposium on Shock Waves, accepted for publication, 2024.

-口頭発表

- 1) Hiroki Sakamoto, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Numerical Study on Hypersonic Boundary Layer Behind a Propagating Shock Wave in an Expansion Tube, 10th International Workshop on Radiation of High Temperature Gases for Space Missions, Oxford, September, 2024.
- 2) 坂本広樹, 佐藤慎太郎, 大西直文, "極超音速衝撃風洞の管壁に発達する境界層流れの安定性に関する数値的研究", 日本流体力学会 年会 2024, 仙台, 2024 年 9 月
- 3) 坂本広樹, 佐藤慎太郎, 大西直文, "膨張波管内の伝播衝撃波背後における境界層発達に関する数値解析", 第 68 回宇宙科学連合講演会, 姫路, 2024 年 11 月
- 4) 坂本広樹, 佐藤慎太郎, 大西直文, "膨張波管内を伝播する衝撃波背後の境界層の安定性に関する数値解析", 2024 年度衝撃波シンポジウム, 仙台, 2025 年 3 月

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	非該当
プロセス並列数	24 - 4800
1 ケースあたりの経過時間	24 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.46

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	2,780,181.95	0.13
TOKI-ST	3,093,463.62	3.18
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	3,618.50	0.26
TOKI-TST	421.46	0.01
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	490.00	0.33
/data 及び/data2	162,920.00	0.78
/ssd	5,020.00	0.27

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)	3.98	0.00

※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