

ロケットエンジンおよび超音速飛翔体用エンジンに関する燃焼流体の研究

報告書番号：R17JACA01

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4274/>

● 責任者

坪井伸幸 九州工業大学大学院工学研究院機械知能工学研究系

● 問い合わせ先

坪井伸幸 tsuboi@mech.kyutech.ac.jp

● メンバ

小塚悟史,岩井麻衣子,岩佐聡洋,荒木天秀,吉田啓祐,坪井伸幸,西川佳希,宇崎友規,高橋竜二,
吾郷愛由,小澤晃平,ジュールデヒシャムニコラ

● 事業概要

国産ロケットエンジンおよび超音速エンジンの開発において,ノズルや燃焼器に関する評価やそれに関連する基礎研究を数値解析により実施する.

<http://www.mech.kyutech.ac.jp/rfd/index.html>

● JSS2 利用の理由

国産ロケットエンジンおよび超音速エンジンの開発において,学術的・実用的に重要な流体燃焼現象を明らかにし,効率的な数値計算手法を開発する.

● 今年度の成果

極低温超臨界圧力下の水素噴流と一様水素流の3次元数値解析を実施し,混合過程における圧力の影響を評価した. その結果,噴流の軌跡は運動量流束比に大きく依存し,また圧力やレイノルズ数が影響を及ぼすことについても確認された(図 1,2). さらに,遷臨界噴射条件では,極低温噴流は主流をより高くまで貫通した軌道を通ることが示された. そして,噴流軌道予測のため,超臨界の影響を考慮した新しい噴流軌道のスケーリング則を提案した.

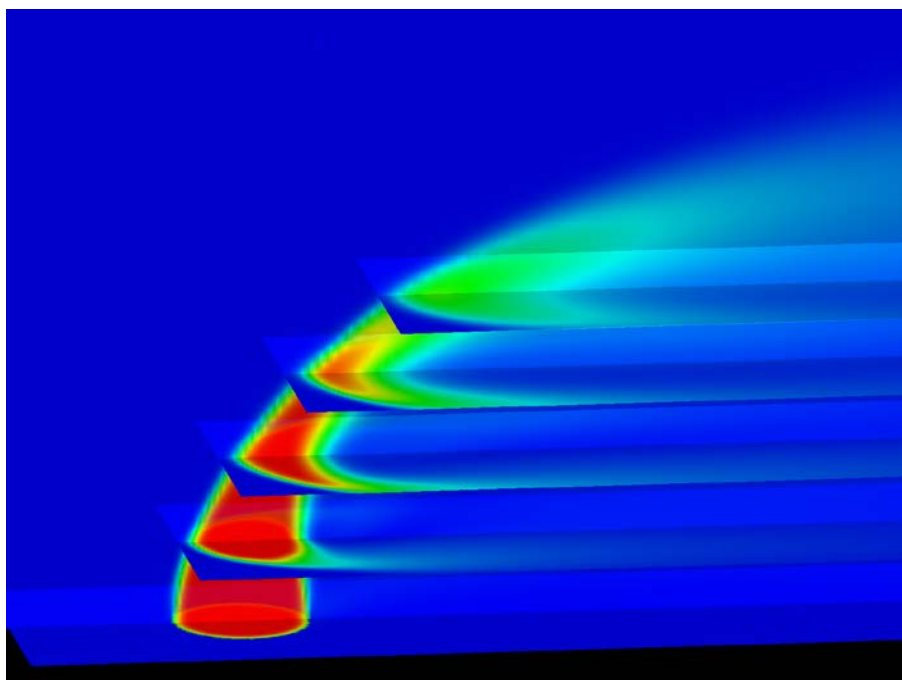


図 1 噴射口近傍の時間平均密度分布

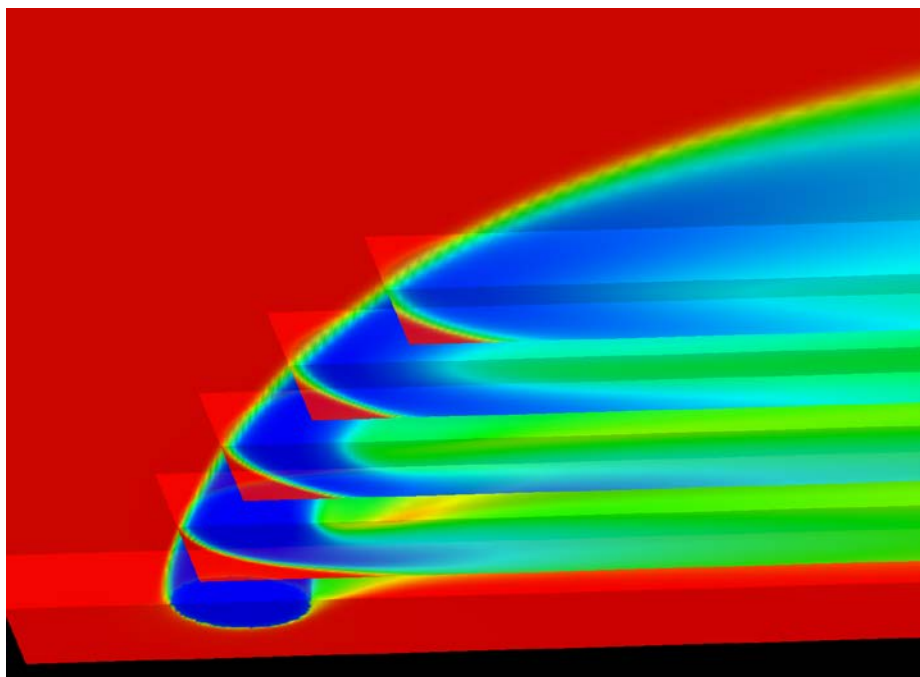


図 2 噴射口近傍の時間平均温度分布

● 成果の公表

● 口頭発表

- 1) 荒木天秀,武藤大貴,寺島洋史,坪井伸幸,“圧力発展方程式を用いた超臨界・多成分噴流に関する数値解析”,第 31 回数値流体力学シンポジウム,E04-1,2017 年 12 月

- 2) Maiko Iwai, Keisuke Yoshida, Youhi Morii, Nobuyuki Tsuboi and A.Koichi Hayashi, "Two-dimensional Numerical Analysis on Shock Flame Interaction in Premixed Gas of Hydrocarbon/Oxygen with Multi-Step Reaction Model," 26th ICDERS(International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems) , 1050, Aug. 2017
- 3) Maiko Iwai, Keisuke Yoshida, Youhi Morii, Nobuyuki Tsuboi, A.Koichi Hayashi, Tetsuro Obara and Shinichi Maeda, "Numerical Analysis on Shock/Flame Interaction in Hydrocarbon/Oxygen Premixed Gas – Difference in the Propagation Types-," ISEM 2017(The 6th International Symposium on Energetic Materials and their Applications) , O02-3, Nov. 2017
- 4) Toshihiro Iwasa, Keiichiro Fujimoto, Daiki Muto, Nobuyuki Tsuboi, "Numerical Simulations of Transverse Jet in Supersonic Crossflow toward an Understanding of Interaction Mechanism," 31st International Symposium on Shock Waves (ISSW), SBM000350, Nagoya, Japan, July 2017.
- 5) 岩佐聡洋, 藤本圭一郎, 武藤大貴, 坪井伸幸, "液体ロケットタンク破壊時の燃料噴流と超音速気流の干渉メカニズム," 平成 29 年度衝撃波シンポジウム, 1A3-4, 2018, 3.
- 6) Satoshi Kozuka, Daiki Muto, Hiroshi Terashima, Nobuyuki Tsuboi, "Numerical Study of Cryogenic Hydrogen Jet in Crossflow under Supercritical Pressures," Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, E6-2, Seoul, Korea, October 2017.
- 7) Ryuji Takahashi, Nobuyuki Tsuboi, Takashi Tokumasu, Shin-ichi Tsuda, "Validation of applicability of classical mixing rule in a van der Waals type equation of state for oxygen-hydrogen mixture system", The 13th International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, ISAIF13-S-0074, Okinawa, Japan, May, 2017.
- 8) Ryuji Takahashi, Nobuyuki Tsuboi, Takashi Tokumasu, Shin-ichi Tsuda, "Validation of classical mixing rule coupled with a cubic equation of state for the thermodynamic properties in oxygen-hydrogen mixture system", The Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference, TFEC9-1422, Okinawa, Japan, October, 2017.
- 9) Ryuji Takahashi, Nobuyuki Tsuboi, Takashi Tokumasu, Shin-ichi Tsuda, "Validation of classical mixing rule in van der Waals type equation of state applied to a non-ideal binary mixture fluid", Fourteenth International Conference on Flow Dynamics, CRF-49, Miyagi, Japan, November, 2017.
- 10) 高橋竜二, 坪井伸幸, 徳増崇, 津田伸一, "二成分 Lennard-Jones 流体における対応状態原理の成立性", 日本機械学会 九州支部 第 71 期総会・講演会, F12, 2018, 3 月.
- 11) Tomoki Uzaki, Tomoyuki Muta, Nobuyuki Tsuboi, Yusuke Maru, Kazuhisa Fujita, "A Numerical and Experimental Approaches on Aerodynamic Characteristics of Waverider with Orbiter", 31th International Symposium on Space Technology and Science, g-21, June, 2017.
- 12) 宇崎友規, 坪井伸幸, 丸祐介, 藤田和央, "Orbiter を搭載した Waverider 模擬形状の数値解析及び風洞実験による空力特性の評価", 日本航空宇宙学会西部支部講演会 2017, S007, 2017, 11.
- 13) Yoshiki Nishikawa, Nobuyuki Tsuboi, Takashi Ito, Satoshi Nonaka "Aerodynamic Characteristics Steady on Reusable Sounding Rocket using Numerical Calculation", 31th International Symposium on Space Technology and Science, 2017-g-22, Ehime, Japan, May 2017.
- 14) 西川佳希, 坪井伸幸, 野中聡, 伊藤隆, 小澤晃平, 武藤智太郎 "再使用実験機の帰還時の空力特性評価に関する数値解析", 第 61 回宇宙科学技術連合講演会, 2J13, 2017, 10.

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	72
1 ケースあたりの経過時間	83.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.26

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	2,047,352.81	0.27
SORA-PP	200.55	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	133.51	0.09
/data	1,335.14	0.02
/ltmp	27,343.76	2.06

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

圧縮性乱流の高精度数値解析に関する研究

報告書番号：R17JACA04

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4275/>

● 責任者

河合宗司 東北大学大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻

● 問い合わせ先

浅田啓幸 asada@cfm.mech.tohoku.ac.jp

● メンバ

浅田啓幸,河合宗司

● 事業概要

本研究では,discontinuous Galerkin (DG)法と large eddy simulation (LES)をベースとした複雑形状まわりの圧縮性乱流を高精度に予測できる数値計算手法を独自に開発し,航空機の空力音響解析とその発生メカニズムの解明を行うことで次世代低騒音航空機開発の設計指針高度化を目指す。

http://www.cfm.mech.tohoku.ac.jp/kawai/index_jpn.html

● JSS2 利用の理由

DG 法と LES による空力音響解析は高い計算コストを要し,スパコンによる大規模並列計算が欠かせない。また,DG 法は高い並列化効率と実行効率を実現でき,大規模並列計算でその真価を発揮する。

● 今年度の成果

本研究では,DG 法と LES により高精度空力音響解析を行うために,DG 法+陰解法の大幅高速化(Asada et al., 2018, Computers&Fluids submitted),および非構造格子上での大規模並列計算に適する陰解法の開発(Asada and Kawai, in preparation)といった独自の研究成果を挙げてきた。今年度は,この確立した数値計算手法を用いて空力音響 LES 解析を行い,音響解析に対する性能評価および物理的考察を行った。まず,円柱まわりの空力音響解析により validation を行った後,高揚力装置まわりの空力音響解析を行った。円柱まわりの空力音響解析($Re_D=10,000$)では,空間 4 次精度 DG 法とこれまで開発してきた陰解法を用い,得られた解を Khaligh ら(AIAA Journal, 2010)による 6 次精度コンパクト差分の解と比較することで validation を行なった。円柱近傍の平均速度と速度変動の乱流統計量だけでなく,遠方の速度スペクトルと圧力(音響)スペクトルについても参照解と良い一致を示し,解析結果の妥当性を示した。高揚力装置まわりの空力音響解析では,解析結果を実験結果や過去の解析(Terracol and Manoha, AIAA paper, 2014)と比較し,特徴的な音響について考察を行なった。密度勾配の瞬間値(図 1)を見ると,スラット下端で発生した剪断層が下面で衝突して cove 内で再循環領域を作る流れと wake と

融合する流れに分かれる様子や、主翼およびフラップの上面において wake と境界層が干渉して層流から乱流に遷移している様子など、特徴的な流れ場を再現していることがわかる。フラップ上面での剥離の有無は、これまで実験や数値解析でバラバラの傾向が得られると報告されているが、本解析では剥離の様子が伺えた。また、空力音響の様子を見るために $\text{div}(\rho u)$ の瞬間値(図2)を可視化すると、高揚力装置で主な騒音源といわれているスラット後縁の渦の shedding による音響を再現していることが確認できた。同様にして、主翼後縁からも音響が発生すると予測できるが、本研究では目立った発生は見られなかった。一方、本解析では主翼上面で剥離を介して乱流遷移しているため、その位置における音響の発生もわずかに見られており、これは先行研究の解析結果とは異なる傾向となった。フラップ後縁でも先行研究とは異なって明確な音響発生が伺えた。これは、フラップ上面における剥離の有無が原因の一つであると考えられ、本研究で用いた比較的狭いスパン方向の計算領域が起因しているものと考えられる。今後は、より計算領域の広い計算格子を用いた解析と詳細な定量的評価を行う予定である。

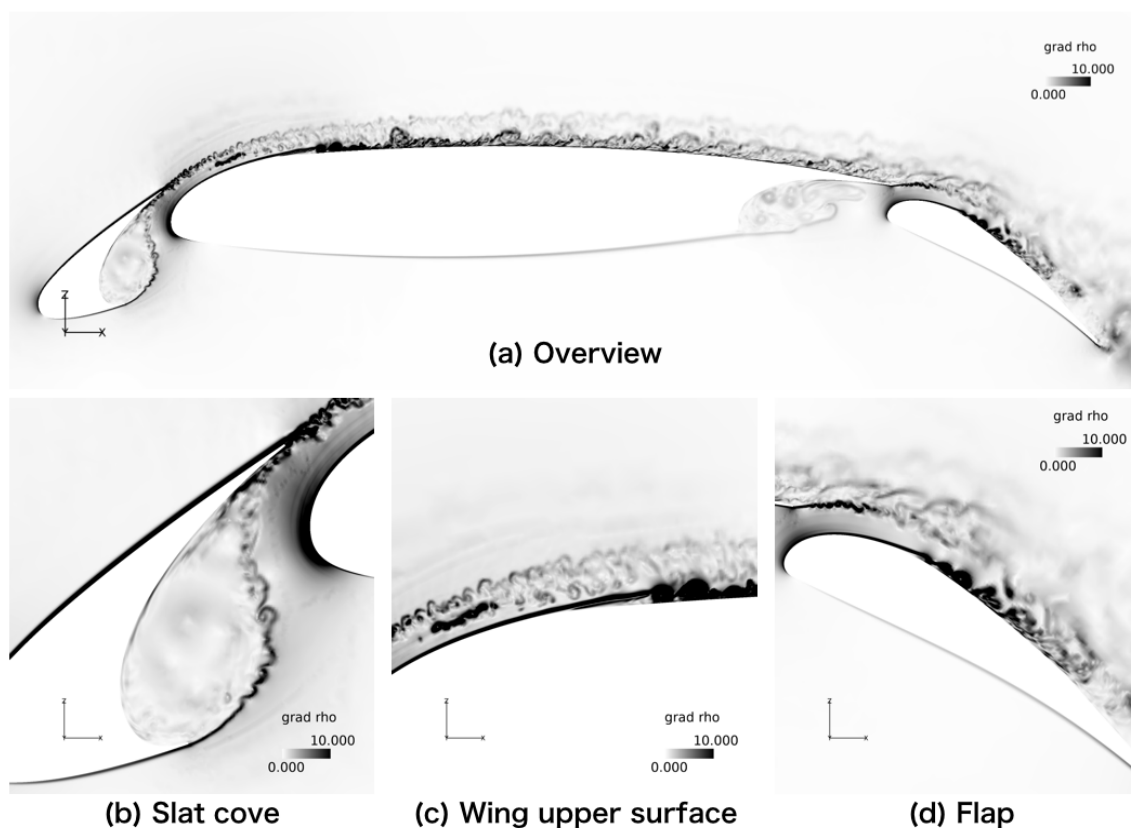


図1 空間4次精度陰的 DG 法を用いた LES による高揚力装置まわりの密度勾配の瞬間値

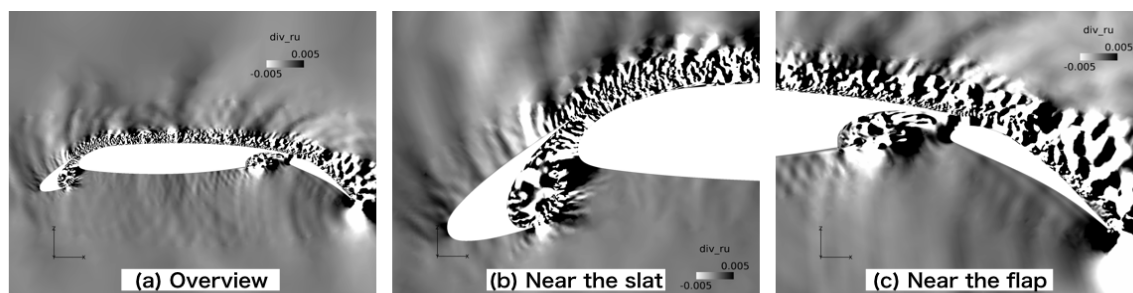


図2 空間4次精度陰的 DG 法を用いた LES による高揚力装置まわりの $\text{div}(\rho u)$ の瞬間値

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) H. Asada, S. Kawai and K. Sawada, "A quadrature simplification method for fast implicit discontinuous Galerkin schemes", Computers&Fluids, Elsevier, accepted (in press).
- 2) H. Asada, S. Kawai, "A block Jacobi based high-order implicit discontinuous Galerkin scheme for turbulent flow simulations", transactions of JSASS, JSASS, in preparation.
- 3) 浅田啓幸,河合宗司,澤田恵介,「高次精度 DG 法による NASA-CRM の空力係数予測」,航空宇宙技術,日本航空宇宙学会,2017 年,2017JSASS-D-17-00033.

● 口頭発表

- 1) H. Asada, "An attempt to extend split forms to modal discontinuous Galerkin schemes", Opening Ceremony of the UW-TU : AOS, Poster Session on Composite Materials for Aircraft and Aero Space Engineering, University of Washington, Seattle, Washington, April, 2017.
- 2) 浅田啓幸,河合宗司,「自乗量保存型モデル DG 法の提案」,第 49 回流体力学講演会/第 35 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム,JSASS-2017-2113-A,国立オリンピック記念青少年総合センター,2017 年 6 月.
- 3) 浅田啓幸,河合宗司,「高次精度陰的 DG 法による空力音響解析」,日本航空宇宙学会北部支部 2018 年講演会,JSASS-2018-H041,東北大学青葉記念会館,2018 年 3 月.

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	160 - 3000
1 ケースあたりの経過時間	280.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.33

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	2,763,076.97	0.36
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	010.60	0.01
/data	9,776.23	0.18
/ltmp	2,170.14	0.16

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

発達した乱流の大規模数値シミュレーション研究

報告書番号：R17JACA05

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4276/>

● 責任者

後藤 晋 大阪大学基礎工学研究科

● 問い合わせ先

後藤 晋 goto@me.es.osaka-u.ac.jp

● メンバ

花島啓太,後藤 晋,薦田拳,神吉遵,本告遊太郎

● 事業概要

本事業では,十分に大きなレイノルズ数の発達した乱流の統計や動力学に現れる普遍性を明らかにすることを目的とする.この目的の達成のため,複数の異なる境界条件下での乱流(本年度は,境界層乱流,容器内乱流,周期境界条件下の乱流を扱った)の数値シミュレーションを実行し,とくにその小スケールに現れる普遍性を明らかにする.

● JSS2 利用の理由

本研究の目標は発達した乱流の統計や動力学を明らかにすることである.これは航空宇宙工学の重要な課題のひとつであり,JAXA のプロジェクトとも深く関わる.また,高レイノルズ数の乱流の数値シミュレーションを実行するためには大規模なスーパーコンピュータが必須であるので,JSS2 の利用を考えた.

● 今年度の成果

今年度は,周期境界条件下の乱流,自転軸が歳差運動をする容器内の乱流,境界層乱流の直接数値シミュレーションを実行し,これらの統計や動力学を詳細に調べた.その結果,とくに,境界層乱流に関しては興味深い結果を得た.低レイノルズ数の境界層乱流でよく観察されるヘアピン状の渦が,高レイノルズ数領域では消滅することが知られる.我々は大規模数値シミュレーションを実行し,境界層乱流中の小スケールの生成機構がレイノルズ数に応じて本質的に異なることを示し,ヘアピン渦の消滅の原因を明らかにした.

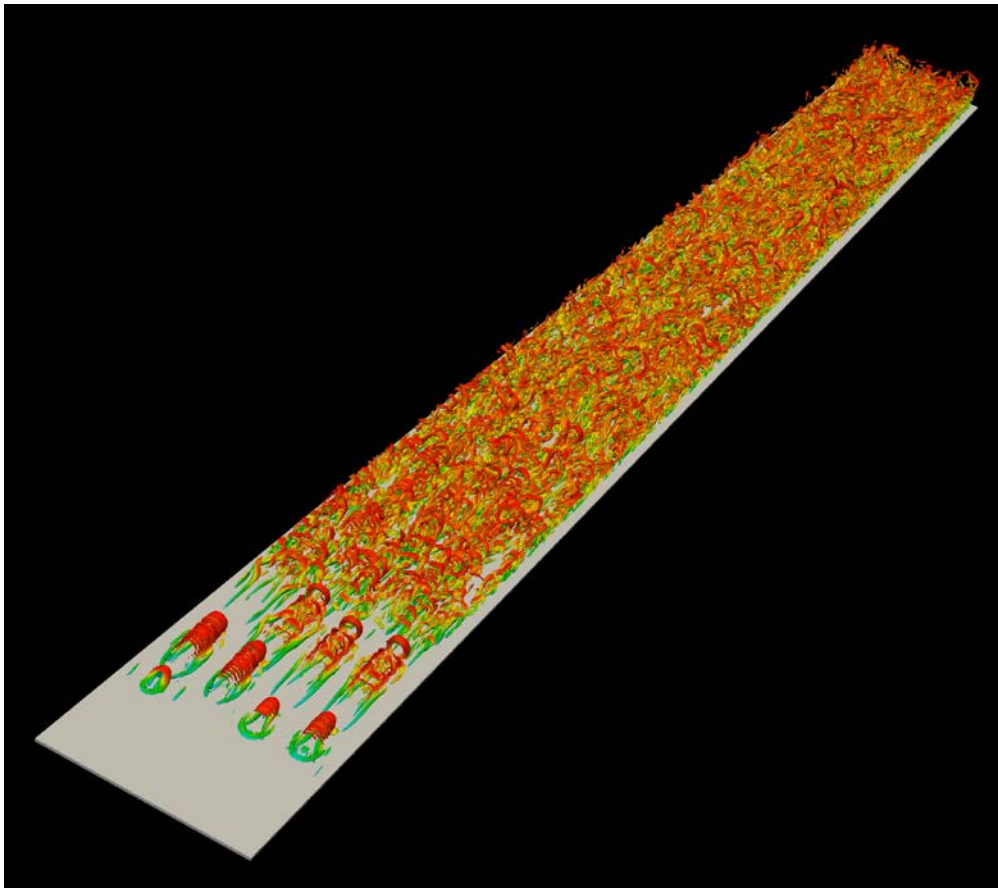


図1 低レイノルズ数の境界層乱流中のヘアピン渦

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) Susumu Goto, Yuta Saito, Genta Kawahara, Hierarchy of antiparallel vortex tubes in spatially periodic turbulence at high Reynolds numbers, Phys. Rev. Fluids 2 (2017) 064603.
- 2) Yasufumi Horimoto, Susumu Goto, Sustaining mechanism of small-scale turbulent eddies in a precessing sphere, Phys. Rev. Fluids 2 (2017) 114603.
- 3) Yasufumi Horimoto, Gabriel Simonet-Davin, Atsushi Katayama, Susumu Goto, Impact of a small ellipticity on the sustainment condition of developed turbulence in a precessing spheroid, Phys. Rev. Fluids 3 (2018) in press.

● 口頭発表

- 1) Susumu Goto, Lennaert van Veen, Statistics of Spatially-Periodic Turbulence Driven by Steady Forces. (2017年5月22日, SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems)
- 2) 後藤晋, Lennaert van Veen, 定常外力に駆動される乱流の統計性質 (2017年7月28日, RIMS 共同研究集会「非一様乱流の数値」)
- 3) 後藤晋, 堀本康文, 片山惇, 歳差運動をする回転楕円体容器内に乱流が維持される条件 (2017年9月4日, 日本機械学会年次大会)

- 4) 後藤晋, 攪拌翼を使わない攪拌技術とその応用 (2017 年 10 月 21 日 日本機械学会 関西支部第 18 回 秋季技術交流フォーラム)
- 5) Susumu Goto, Hierarchy of vortices in turbulence at high Reynolds numbers (2017 年 10 月 31 日, OIST seminar)
- 6) 後藤晋, 壁なし乱流の動力学と統計, (2017 年 12 月 2 日, 第 1 回先進的ながれ研究会)
- 7) 後藤晋, 犬伏正信, 乱流の中の秩序と人工知能 (2018 年 3 月 7 日, 物理インフォマティクス シンポジウム 2018)
- 8) 薦田拳, 後藤晋, 歳差運動をする回転楕円体容器内に維持される乱流の直接数値シミュレーション (2018 年 3 月 12 日, 日本機械学会 関西支部第 93 期定時総会講演会)
- 9) 花島啓太, 後藤晋, 平行平板間乱流中の渦の階層 (2018 年 3 月 12 日, 日本機械学会 関西支部第 93 期定時総会講演会)
- 10) 本告遊太郎, 後藤晋, 乱流境界層中の小スケール渦の生成機構 (2018 年 3 月 13 日, 日本機械学会 関西支部第 93 期定時総会講演会)
- 11) 岡温, 後藤晋, 乱流中の固体粒子群の非一様分布 (2018 年 3 月 13 日, 日本機械学会 関西支部第 93 期定時総会講演会)
- 12) 黄智權, 本告遊太郎, 後藤晋, 平行平板間乱流中の粒子のクラスタリング (2018 年 3 月 13 日, 日本機械学会 関西支部第 93 期定時総会講演会)
- 13) 後藤晋, 堀本康文, 片山惇, 薦田拳, 歳差運動をする回転楕円体容器内における層流乱流遷移 (2018 年 3 月 25 日, 日本物理学会第 73 回年次大会)
- 14) 本告遊太郎, 後藤晋, 乱流境界層中の小スケール渦の生成機構 (2018 年 3 月 30 日, 第 62 回「乱流遷移の解明と制御」研究会)

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	16
1 ケースあたりの経過時間	100.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.29

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	2,336,396.14	0.31
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	580.61	0.40
/data	10,337.83	0.19
/ltmp	13,671.88	1.03

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

多目的空力設計問題に関する研究

報告書番号：R17JACA09

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4538/>

● 責任者

米本浩一 九州工業大学工学院工学研究院機械知能工学研究系 宇宙工学部門

● 問い合わせ先

米本浩一 yonemoto.koichi873@mail.kyutech.jp

● メンバ

米本浩一, 浦優介, 塚本紘理, 市毛優智

● 事業概要

九州工業大学では、2005年より有翼ロケット実験機 WIRES(WInged REusable Sounding rocket)による無人サブオービタル飛行システムの研究開発を行っている。その一環として、本事業では進化アルゴリズムと数値流体力学を組み合わせ、主翼翼型を設計探索し、完全再使用型宇宙往還機の実現に寄与する事を目的とする。

● JSS2 利用の理由

多目的設計探索の過程で評価しなければならない翼型は膨大な数となり、本学学内の計算機のみで解析するには多大な時間を要する。ゆえに JSS2 を利用した計算時間の短縮が望まれる。

● 今年度の成果

今年度は最適化アルゴリズムを記述し、超音速において高迎角姿勢の維持が可能かつ、良好な揚抗比を持つ翼型の多目的最適設計探索を実施することを目標としたが、開発の遅れのため学内のワークステーションを利用した計算を行うに留まった。

● 成果の公表

なし

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	1.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.01

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	0.36	0.00
SORA-PP	0.03	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	095.37	0.07
/data	572.20	0.01
/ltmp	11,718.76	0.88

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

直交格子法を用いた移動物体を含む気液二相相流の解析コードの開発と応用

報告書番号：R17JACA10

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4277/>

● 責任者

高橋俊 東海大学

● 問い合わせ先

高橋俊 takahasi@tokai-u.jp

● メンバ

高橋俊

● 事業概要

工学製品周りにおいて移動物体と気液二相流が干渉する流体现象は数多く存在する。本研究ではロケット発射時の排気中の微粒子が圧力波に及ぼす影響の調査や、ヒートパイプ内部のメニスカス近傍で生じる水膜による熱伝導性への影響などを研究対象とする。これらの解析は高速な大規模計算が必要である複雑な混相流解析であり、産業的にも学術的にも大きな意義を有する。

● JSS2 利用の理由

マクロスケールの流れ場の予測と設計開発に応用できるモデル開発のため、本研究ではマイクロスケールの流れ場を直接数値計算し、統計的な諸量の評価を行う。直交格子法と埋め込み境界法に基づく固気混相流解析は、直接数値計算で粒子と流体の相互干渉を正確に評価するために解析規模が大きい。さらに統計量を十分に発達した固気混相流解析で得るためには時間発展に多くの時間積分が必要である。また気液二相流解析では、表面張力の効果を考慮して複雑な気液界面を正確に捉えるために空間格子幅に加えて時間刻みを十分に小さくする必要がある、スパコンによる大規模解析が必要である。

● 今年度の成果

直交格子法と埋め込み境界法を応用して、高 Mach 数かつ低 Reynolds 数流れにおける多数の球を含む大規模解析を試験的に行った。また、粒子と流体の熱の授受に関して境界適合格子の結果と比較して精度検証を行った。

さらに、ヒートパイプ内部の熱流動現象を捉えるため、保存形レベルセット法による気液二相流解析手法を開発し、二次元上昇気泡問題等の解析を行い、本手法の妥当性を検証した。

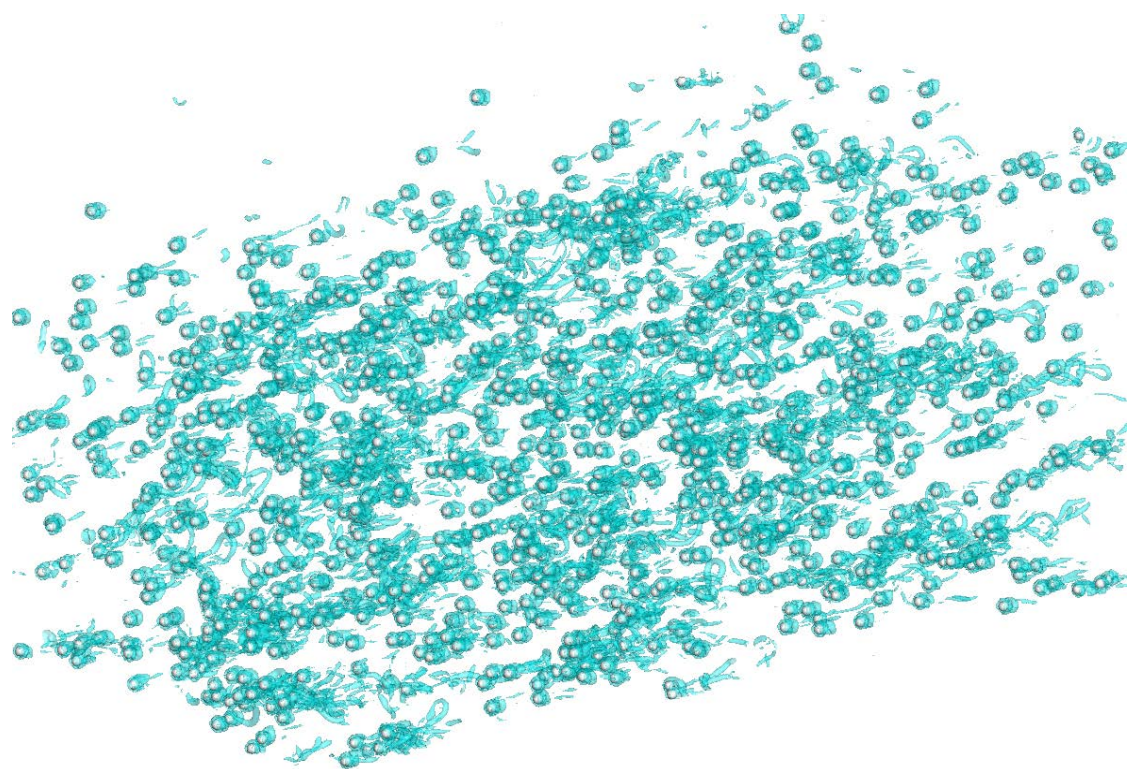


図 1 速度勾配テンソル第二不変量の等値面で可視化した多数微粒子周りの渦構造

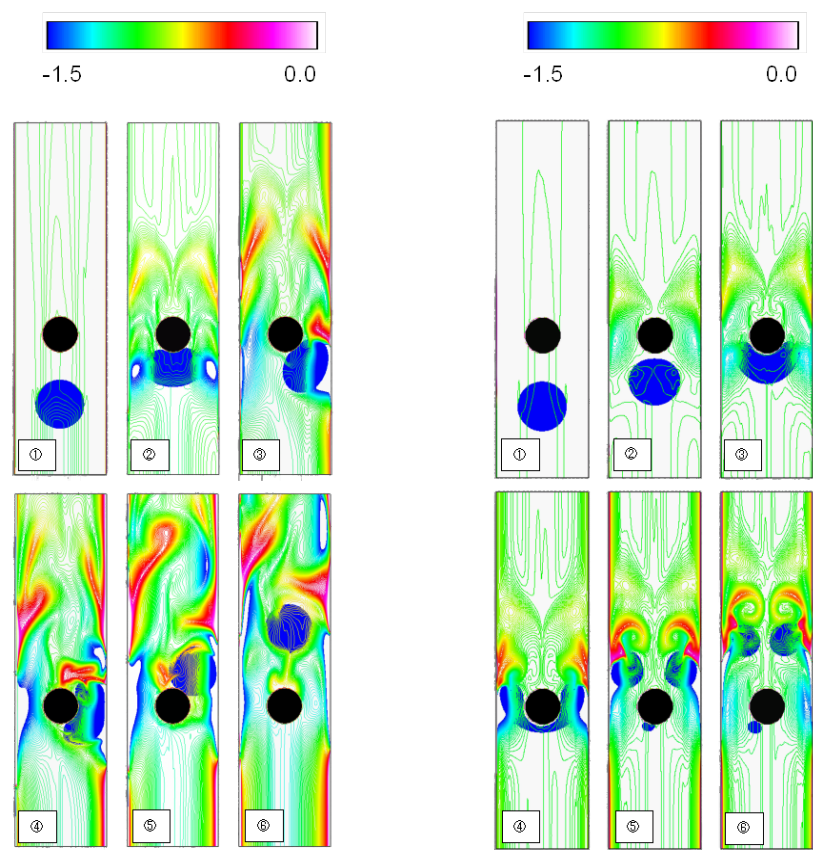


図 2 障害物周りの二次元上昇気泡の熱流体解析結果（右：水,左：R410a）

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) Nagata, T., Nonomura, T., Takahashi, S., Mizuno, Y., and Fukuda, K, "Direct Numerical Simulation of Flow around a Heated/Cooled isolated Sphere up to a Reynolds Number of 300 under Subsonic to Supersonic Conditions," International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 120, pp. 284-299, 2018.

● 口頭発表

- 1) T. Nagata, T. Nonomura, S. Takahashi, Y. Mizuno, K. Fukuda. "Direct numerical simulation of flow past a sphere at a Reynolds number between 500 and 1000 in compressible flows," 56th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Gayload Parns, Florida. January 2018.
- 2) Kuribayashi, T., Hamagata, Y., Mizuno, Y., Takahashi, S., Nonomura, T., Nagata, T., and Fukuda, K. "Investigation of Heat Transfer for a Flow around a Sphere in Cartesian Mesh by using Immersed Boundary Method," MNTC International Symposium 2017, P123, Tokai University, Kanagawa, Japan, August, 2017.

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	289
1 ケースあたりの経過時間	250.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.48

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	4,099,214.20	0.52
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	039.34	0.03
/data	10,375.98	0.19
/ltmp	2,075.20	0.16

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	13.67	0.59

※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

DNS 解析に基づく高マッハ数混相乱流 LES モデルの構築

報告書番号：R17JACA11

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4278/>

● 責任者

福田紘大 東海大学

● 問い合わせ先

福田紘大 fukuda@tokai-u.jp

● メンバ

福田紘大

● 事業概要

超音速混相乱流の LES モデル構築に向けて、高 Mach 数・低 Reynolds 数の球周り流れの直接解析 (DNS)を行い、データベースを構築するとともに現象把握を行う。

● JSS2 利用の理由

本事業では境界適合格子を用いた高 Mach 数・低 Reynolds 数流れにおける球周り流れの DNS により球周り流れのデータベース構築を行う。計算コストの高い DNS によりデータベースを構築するには大規模解析を多数の条件で実施する必要があるため、本事業においてスパコンの演算能力は必須である。

● 今年度の成果

Reynolds 数 500-1000, Mach 数 0.8-2.0 おける球周り流れの特性(抗力係数,流れ場の構造,渦放出のストローハル数,流れ場の様相)を明らかにした。

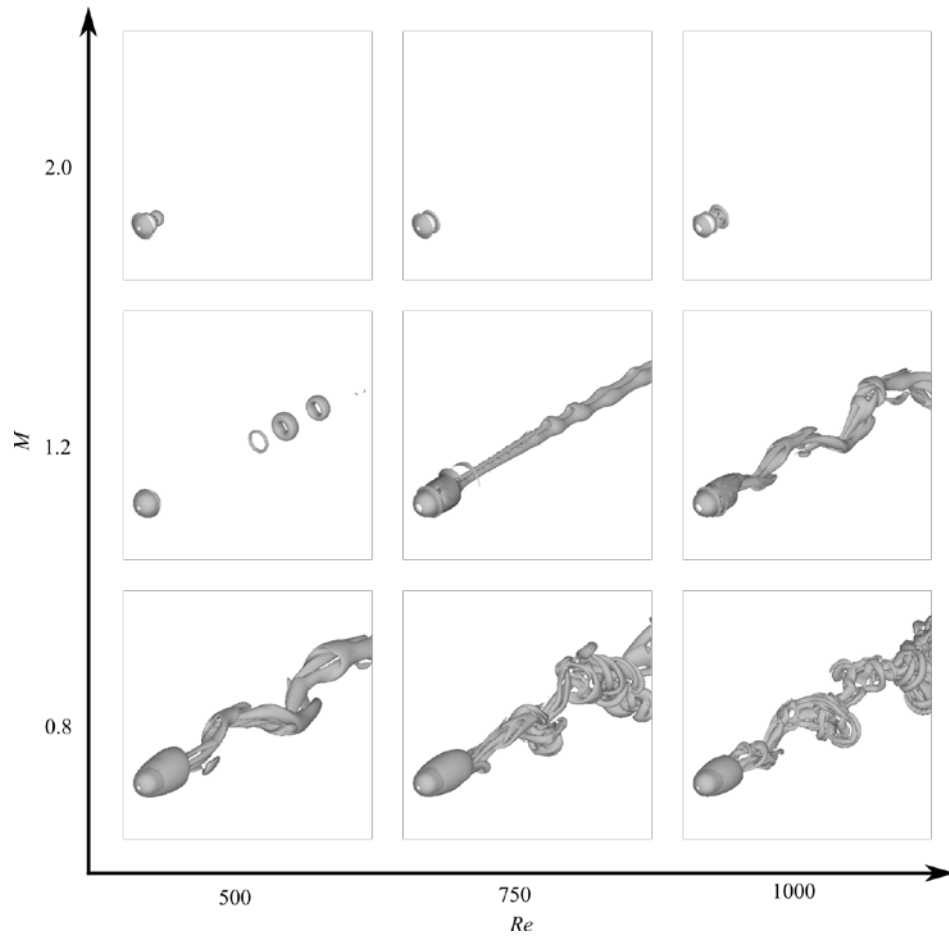


図1 速度勾配テンソル第二不変量の等値面で可視化した渦構造

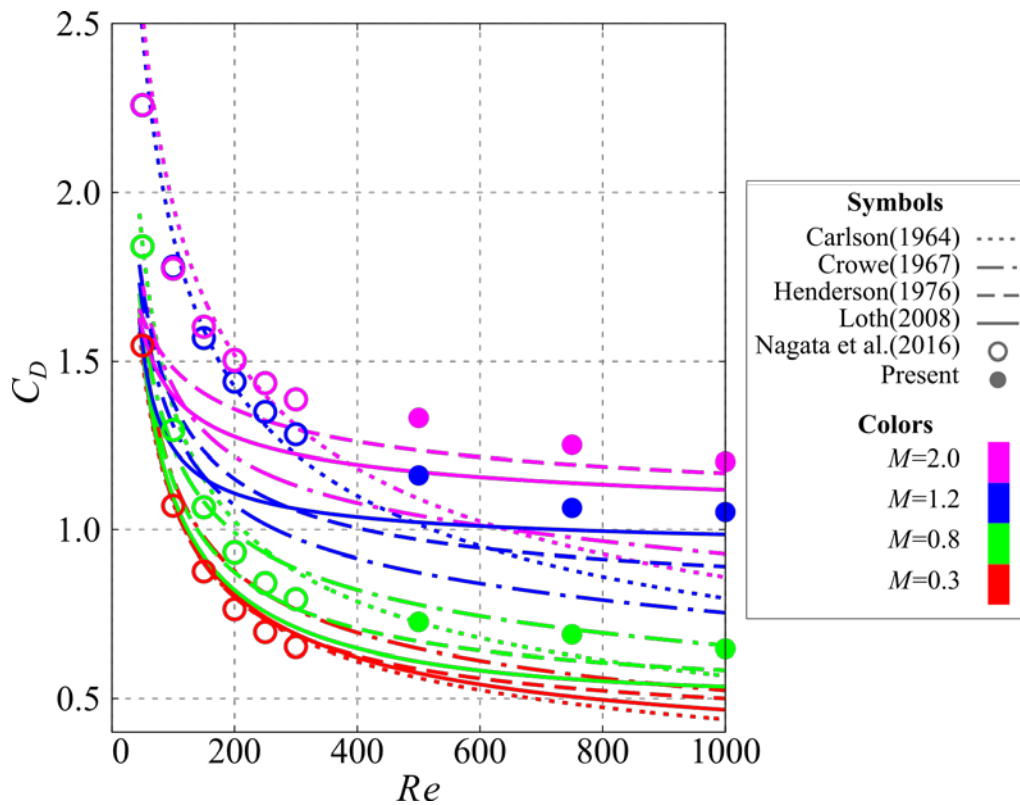


図2 Reynolds 数と抵抗係数の関係 ($50 \leq Re \leq 1000$, $0.3 \leq M \leq 2.0$)

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) Nagata, T., Nonomura, T., Takahashi, S., Mizuno, Y., and Fukuda, K, “Direct Numerical Simulation of Flow around a Heated/Cooled isolated Sphere up to a Reynolds Number of 300 under Subsonic to Supersonic Conditions,” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 120, pp. 284-299, 2018.

● 口頭発表

- 1) T. Nagata, T. Nonomura, S. Takahashi, Y. Mizuno, K. Fukuda. “Direct numerical simulation of flow past a sphere at a Reynolds number between 500 and 1000 in compressible flows,” 56th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Gayload Parns, Florida. January 2018.
- 2) Kuribayashi, T., Hamagata, Y., Mizuno, Y., Takahashi, S., Nonomura, T., Nagata, T., and Fukuda, K. “Investigation of Heat Transfer for a Flow around a Sphere in Cartesian Mesh by using Immersed Boundary Method,” MNTC International Symposium 2017, P123, Tokai University, Kanagawa, Japan, August, 2017.

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	169 - 289
1 ケースあたりの経過時間	200.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.33

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	2,671,845.29	0.35
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	039.34	0.03
/data	19,683.85	0.36
/ltmp	2,075.20	0.16

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	9.97	0.43

※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

細長物体の空力特性についての数値解析

報告書番号：R17JACA12

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4279/>

● 責任者

北村圭一 横浜国立大学

● 問い合わせ先

青柿拓也 aogaki-takuya-rf@ynu.jp

● メンバ

北村圭一, 青柿拓也, 高木雄哉

● 事業概要

再使用ロケットを模擬した細長形状に対して数値解析を行った。本研究により、従来の実験からは得られなかった機体周りの詳細な流れ場の取得を行い、さらに空力特性との関係を明らかにすることができた。また、フィンやカナードといった空力デバイスを取り付けた形状に対する計算を行い、これらのデバイスによる空力特性への影響を明らかにした。

<http://www.aero.ynu.ac.jp/>

● JSS2 利用の理由

過去の研究により、本計算には少なくとも 1000 万要素を要することがわかっている。このような大規模な計算を行う上で計算時間を大幅に削減するため JSS2 を利用した。

● 今年度の成果

再使用ロケットを模擬した細長物体形状に対して数値計算を行った。得られた結果より、カナードやフィンを取り付けることによってピッチングモーメント係数が変化することが分かった (図 1)。また、可視化結果から、機体後流おける流れ場が空力デバイスの影響を受けて変化することを明らかにした (図 2,3)。結果として、空力特性と流れ場の関係を解明することができた。

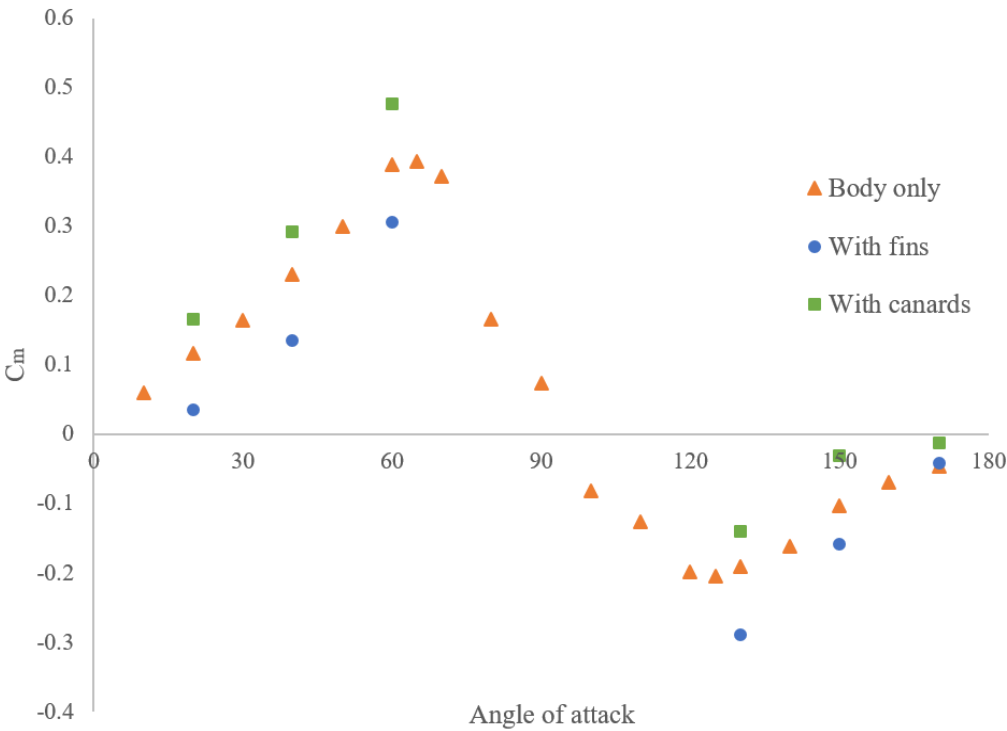


図 1 ピッチングモーメント係数

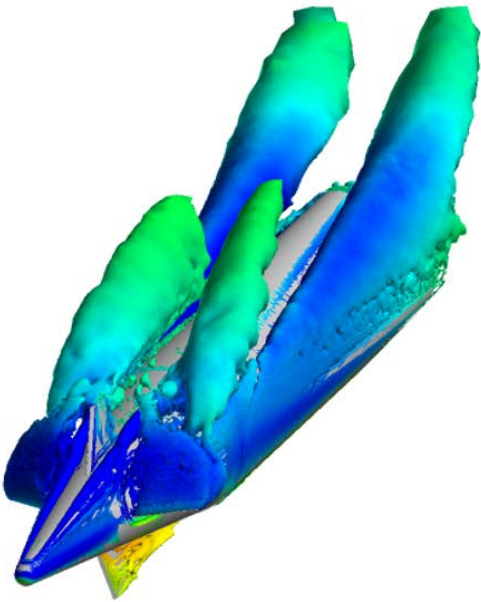


図 2 Q 値等値面 (カナード,迎角 40 度)

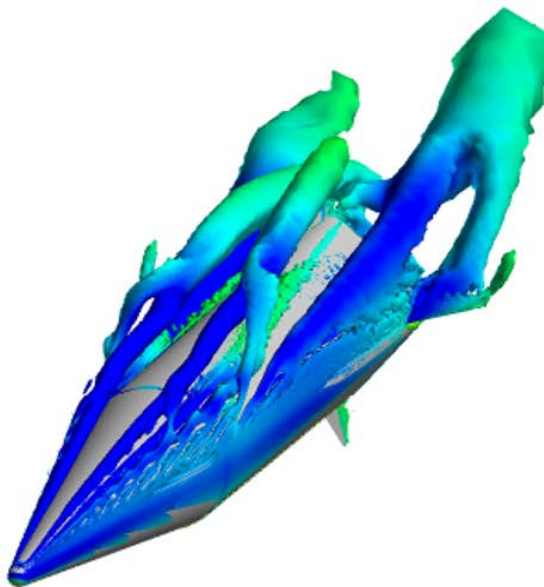


図3 Q 値等値面 (フィン,迎角 40 度)

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) Aogaki T., Kitamura K., and Nonaka S., "Computational Study on Finned Reusable Rocket Aerodynamics during Turnover", Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences. (Accept)

● 口頭発表

- 1) Aogaki T., Kitamura K., and Nonaka S., "Computational Study on Finned Reusable Rocket Aerodynamics during Turnover", 31st International Symposium on Space Technology and Science, 2017-o-3-04, Matsuyama, June 2017.
- 2) 青柿拓也,北村圭一,野中聡,"空力デバイスを取り付けた再使用ロケットの大迎角飛行における空力特性解析",第 61 回宇宙科学技術連合講演会,3K07,2017.

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	128 - 1024
1 ケースあたりの経過時間	30.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.20

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	1,413,528.60	0.19
SORA-PP	9,364.05	0.12
SORA-LM	15,468.60	7.97
SORA-TPP	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	007.15	0.00
/data	071.53	0.00
/ltmp	1,464.84	0.11

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	0.62	0.03

※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

圧縮性境界層における層流—乱流遷移後期過程の非線形渦動力学の解明

報告書番号：R17JACA13

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4280/>

● 責任者

松浦一雄 愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻

● 問い合わせ先

松浦一雄 matsuura.kazuo.mm@ehime-u.ac.jp

● メンバ

松浦一雄

● 事業概要

音速の 5 倍以上の速さを有する極超音速流れが物体回りに形成する粘性境界層流れにおける層流から乱流への遷移過程は、我々が普段経験する低速流れの遷移と比較して、境界層の内部で音速より遅い領域と音速以上の領域が混在するなど密度変動や温度変動といった複雑因子が多く、それらの相互作用も多彩となるため、その渦動力学に関する詳細解明の発展が期待されている。本研究では、極超音速流れで見られる圧縮性境界層における層流—乱流遷移の直接シミュレーションを実施し、後期過程における非線形渦動力学を解明することが目的である。同時に、後期過程を担う渦を直接的に誘起する方法論の開発およびその数値計算法の開発を行っている。

● JSS2 利用の理由

極超音速流れにおける境界層遷移は、風洞自体による擾乱環境が存在し実験計測が困難であるため遷移現象の解明のためには数値シミュレーションが中心的な研究手段となる。一方で、境界層遷移は擾乱に敏感であり、また極超音速流れの強い圧縮性によって遷移が起こりにくくなるため、高精度な大規模計算を短期間で可能にする最新鋭のスパコンが研究のフロンティアを牽引する役割を担っている。

● 今年度の成果

境界層中に置かれた突起の下流に形成される渦構造および遷移境界層中に生じる 2 次的ヘアピン渦構造に関して新たな知見を得た。

ヘアピン渦の変形と分化を促す不安定性に関して、特に足の部分に着目し、旋回強度と形成される速度せん断層の線形不安定性を調べた。

また、完全非線形擾乱方程式を導出し、直接シミュレーションと合わせて解析することにより、線形・非線形要因を包括して不安定性を調べることが出来た。

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) K. Matsuura, "DNS Study on the Effect of Free-Stream Turbulence on Hairpin-Vortex Evolution," Proc. of the 44th National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power, Dec. 14-16, 2017, Amrita University, Amritapuri Campus, Kollam, Kerala, India, pp. 1-4 (2017).
- 2) K. Matsuura, K. Matsui, N. Tani, "Effects of Free-Stream Turbulence on the Global Pressure Fluctuation of Compressible Transitional Flows in a Low-Pressure Turbine Cascade," International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, pp. 1-13 (2017) (accepted).
- 3) K. Matsuura, K. Matsui, N. Tani, T. Goto, "Compressible Transitional Boundary Layers Subjected to Rotor-Stator Interaction in a Low-Pressure Turbine," 53rd 3AF International Conference on Applied Aerodynamics, 26-28 March 2018, Salon de Provence, France, pp. 1-7 (2018).

● JSS2 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	自動並列
プロセス並列数	16 - 64
1 ケースあたりの経過時間	168.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.05

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	448,337.82	0.06
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	009.54	0.01
/data	095.37	0.00
/ltmp	1,953.13	0.15

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

金星大気の対流構造に関する数値的研究

報告書番号：R17JACA14

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4281/>

● 責任者

杉山耕一郎 松江工業高等専門学校

● 問い合わせ先

杉山耕一郎 sugiyama@gfd-dennou.org

● メンバ

杉山耕一郎, 安藤紘基

● 事業概要

惑星の対流構造を調べる為の汎用的な数値流体モデル（雲解像モデル）の開発と、その金星大気への適用を進めることで、金星探査機あかつきの観測支援のために必要とされる数値モデル基盤の整備と数値シミュレーションデータの提供を目的とする。雲解像モデルを用いた数値実験によって得られる対流運動の特徴や対流起源の重力波の性質は、金星探査機あかつきによって観測される様々な高度での雲の形態や重力波の性質を解釈する上での基礎となるものである。数値実験の結果と金星探査機あかつきの観測結果を比較検討することで、金星の対流現象のメカニズムに対する理解が進むことが期待される。

● JSS2 利用の理由

雲解像モデルの開発および数値計算の実行にスーパーコンピュータを用いることにした。対流や重力波を表現するには数十から数百メートルの解像度が必要である。一方で、境界の影響を排除し、金星探査機あかつきのデータと比較検討するためには、数百から数千キロメートルの水平領域が必要である。このような高分解能で広い計算領域を持つ数値シミュレーションは、スーパーコンピュータでのみ実行可能である。

● 今年度の成果

我々は昨年度に行った二次元シミュレーションをさらに分析し、重力波の破壊が起こる高度と重力波の振幅が電波掩蔽測定の結果から得られたものと整合的であることを確認した。さらに、金星の対流対流と対流起源の重力波の伝播の 3 次元構造を調べるための数値シミュレーションを開始した。予備的結果は、対流運動と重力波の伝搬を 1 つのモデルの枠組みの中で計算できることを示している（図 1, 2）。

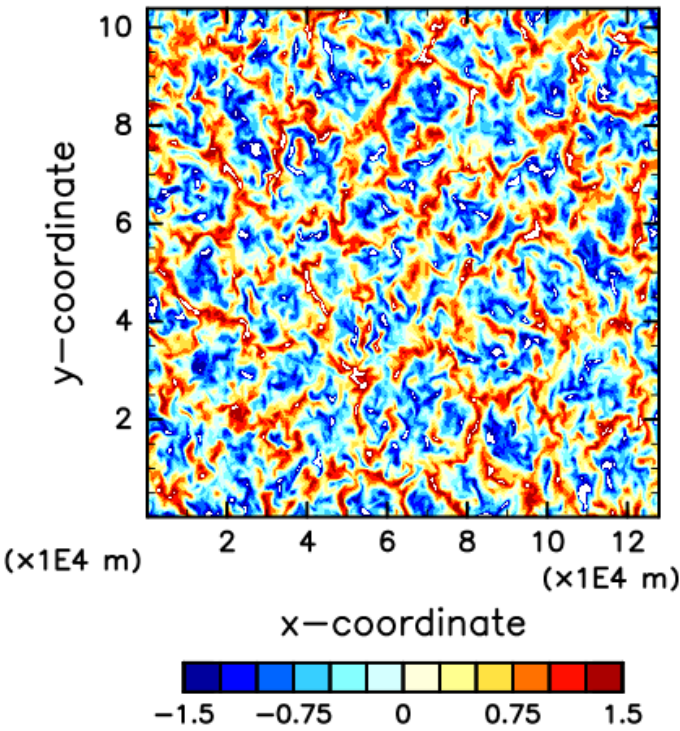


図 1 高度 51 km での対流に伴う鉛直流の水平分布.

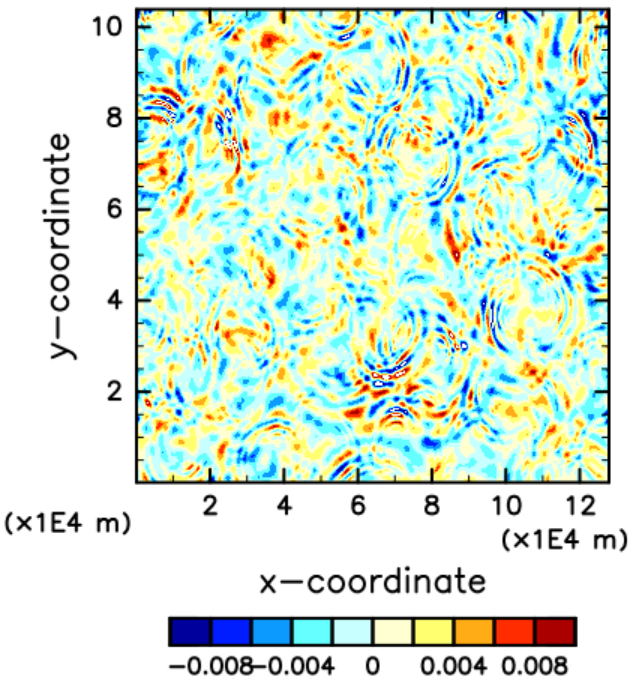


図 2 高度 59 km での重力波に伴う鉛直流の水平分布.

● 成果の公表

なし

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	128 - 1024
1 ケースあたりの経過時間	100.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.03

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	226,607.97	0.03
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	356.71	0.25
/data	3,287.00	0.06
/ltmp	1,302.08	0.10

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

DBD プラズマアクチュエータにおける体積力特性解明に向けた放電過程の数値解析

報告書番号：R17JACA16

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4282/>

● 責任者

大西直文 東北大学

● 問い合わせ先

大西直文 ohnishi@rhd.mech.tohoku.ac.jp

● メンバ

大西直文,佐藤慎太郎

● 事業概要

新たな能動的気流制御デバイスとして大気圧放電を利用した Dielectric-Barrier-Discharge Plasma Actuator (DBD-PA) に関する研究が数多く行われているが、誘起速度が小さいために高速気流中での制御効果が得られないことが課題である。DBD-PA は放電に起因する電気流体力によって流れを誘起しており、放電現象の解明は性能向上に向けて取り組むべき課題の 1 つである。本研究では、放電から誘起流れまでを統一的に解析する数値シミュレーションを行うことで、DBD-PA における詳細な放電過程の解明および電気流体力の生成に適した電圧波形の提案を目指している。

<http://www.rhd.mech.tohoku.ac.jp/>

● JSS2 利用の理由

本研究はナノ秒オーダーの放電現象とミリ秒オーダーの流れ現象を同時に扱うために、計算負荷は莫大なものになる。加えて、放電過程の数値計算には荷電粒子の運動と電位に関する Poisson 方程式をタイムステップ毎に解く必要があるため、計算の実施にはスーパーコンピュータの利用が必要不可欠である。さらに、印加電圧波形が放電形態や誘起流れ場に与える影響についての調査には、電圧波形を変えた計算を複数行う必要があるために JSS2 を利用している。

● 今年度の成果

本年度では、プラズマアクチュエータの性能向上に向けて誘電体の帯電サイクルに着目し、正弦波電圧ではなく、DC 電圧とナノ秒パルス電圧を重ねさせた波形を提案した。まず、本研究で提案した電圧波形を印加した時の放電過程の数値計算を行い、従来よりも大きな EHD 力を生成できることを示した (図 1)。

従来は帯電サイクルは 4 行程で形成されていたが、本研究で提案した手法は 2 行程のみでサイクルを形成する方式であり、ナノ秒パルス電圧によって荷電粒子の生成・誘電体表面電荷の除去を行い、

DC 電圧によって荷電粒子を加速することができることを示した。

次に、静止気体中で誘起される流れ場の数値計算を行った。ただし、流れ場が定常になるまでに必要な 100 ms 程度の時間に対し放電と誘起流れの密結合計算を行うことは現実的ではない。そこで、誘起流れ場の計算には、EHD 力と放電に伴う加熱によるエネルギー生成項のデータマップを作成することで流れの計算を行った。

その結果、誘電体表面に対して平行に噴流が形成されることを確認し、またパルス電圧印加時における局所加熱の影響により、繰り返しパルスと同じ周波数でブラスト波が形成されることも確認できた (図 2)。

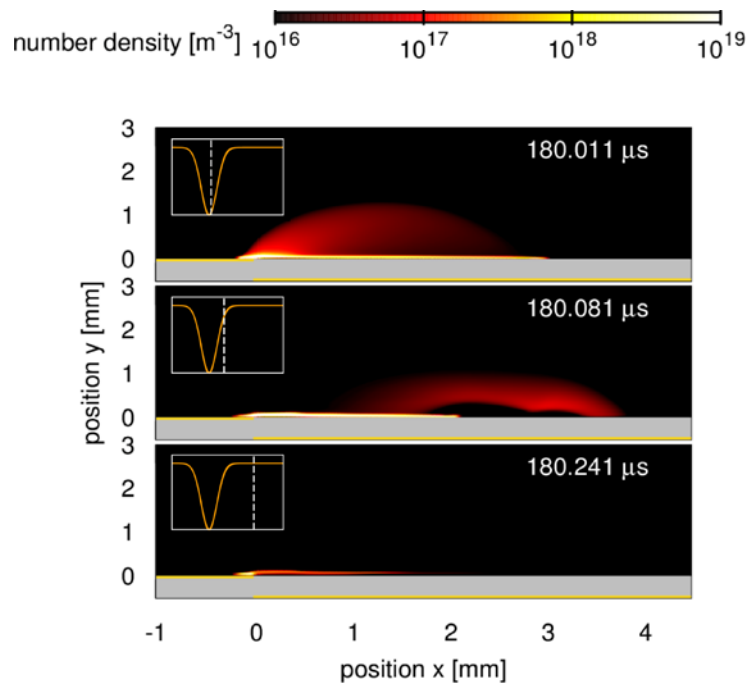


図 1 パルス電圧印加時の電子の数密度分布

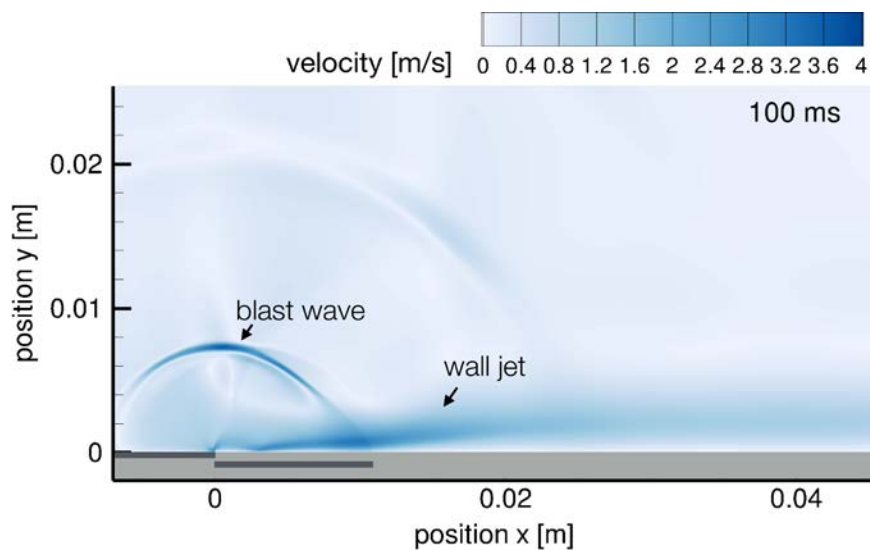


図 2 静止気体中で誘起される流れ場
(8 kV DC 電圧に 25 kHz の周波数でパルス電圧を重ね)

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) S. Sato, M. Takahashi, and N. Ohnishi, 'Enhanced electrohydrodynamic force generation in a two-stroke cycle dielectric-barrier-discharge plasma actuator', Applied Physics Letters 110, 194101 (2017).
- 2) S. Sato, M. Takahashi, and N. Ohnishi, 'Computational study of body force production process and performance improvement in dielectric-barrier-discharge plasma actuator', Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, accepted.

● 査読なし論文

- 1) S. Sato, M. Takahashi, and N. Ohnishi, 'Induced flow simulation with detailed discharge modeling in dielectric-barrier-discharge plasma actuator', AIAA paper 2018-1293 (2018).

● 口頭発表

- 1) S. Sato, M. Takahashi, and N. Ohnishi, 'Computational study of body force production process and performance improvement in dielectric-barrier-discharge plasma actuator', 31st International Symposium on Space Technology and Science, 26th International Symposium on Space Flight Dynamics & 8th Nano-Satellite Symposium, Matsuyama, June 3-9, 2017.
- 2) 佐藤慎太郎, 高橋 聖幸, 大西 直文, 'DBD プラズマアクチュエータの放電過程および誘起流れの数値解析', 第 49 回流体力学講演会/第 35 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2017 年 6 月.
- 3) 佐藤慎太郎, 高橋聖幸, 大西直文, 'DBD プラズマアクチュエータの性能向上に向けた誘電体表面電荷制御', 日本機械学会 2017 年度年次大会, 埼玉大学, 2017 年 9 月.
- 4) 佐藤慎太郎, 高橋聖幸, 大西直文, '放電過程を考慮した DBD プラズマアクチュエータによる誘起流れに関する数値解析', 第 31 回数値流体力学シンポジウム, 京都工芸繊維大学, 2017 年, 12 月.
- 5) S. Sato, M. Takahashi, N. Ohnishi, 'Induced flow simulation with detailed discharge modeling in dielectric-barrier-discharge plasma actuator', AIAA SciTech Forum, Kissimmee, Florida, January 8-12, 2018.

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	160 - 320
1 ケースあたりの経過時間	120.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.31

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	2,544,476.92	0.33
SORA-PP	3,464.08	0.04
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	195.50	0.14
/data	9,813.31	0.18
/ltmp	2,929.69	0.22

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	0.99	0.04

※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

ビーム推進機の飛行性能改善に向けた電離構造及び衝撃波伝搬の数値的研究

報告書番号：R17JACA17

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4283/>

● 責任者

高橋聖幸 東北大学

● 問い合わせ先

高橋聖幸 mtakahashi@rhd.mech.tohoku.ac.jp

● メンバ

高橋聖幸

● 事業概要

ビーム推進機ノズル内部で生ずる放電現象及び衝撃波伝搬を数値的に再現し、ビーム推進機の推進性能を改善する。

● JSS2 利用の理由

ビーム推進機ノズル内部での多次元的な放電現象及び衝撃波伝搬を数値的に解く場合、計算コストが増大し、研究室内での計算機を用いた研究が困難となる為。

● 今年度の成果

外部磁場をノズル内部へと印加した場合の多次元電離構造を数値的に再現する事が出来、分極ドリフトによって非対称な電離構造が形成される事を世界で初めて見出した。また、ノズル前縁にバタフライ弁を装着するオープンフロントアプローチと呼ばれる手法を世界で初めて提案し、ノズル内部を伝搬する膨張波を排除する事でビーム推進機の推進性能及び吸気性能を改善した。

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Joule-Heating-Supported Plasma Filamentation and Branching During Subcritical Microwave Irradiation," AIP Advances, Vol. 7, 055206, 2017.
- 2) 高橋聖幸, "ミリ波放電の物理とマイクロ波ロケットへの応用," Journal of Plasma Fusion Research, Vol. 93, No. 10, pp. 478-483, 2017.
- 3) M. Takahashi and K. Komurasaki, "Discharge from a High-Intensity Millimeter Wave Beam and Its Application to Propulsion," Advances in Physics: X, Vol. 3, Issue 1, 1417744, 2018.

- 4) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Open-Front Approach a Microwave Rocket Sustained by a Resonant Magnetic Field," Journal of Propulsion and Power (accepted).
- 5) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Postural Control for Beam-Riding Flight of a Microwave Rocket Using an External Magnetic Field," Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan (accepted).
- 6) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Thrust-Performance Maximization of Microwave Rocket Sustained by Resonant Magnetic Field," Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan (accepted).
- 7) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Gas-Species-Dependence of Microwave Plasma Propagating under External Magnetic Field," Journal of Applied Physics (under review).

● 査読なし論文

- 1) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Numerical Modeling for Microwave Breakdown on a Beaming Rocket Supported by an External Magnetic Field," Proceedings of 10th International Workshop of Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications, A3.3, 2017.
- 2) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Numerical Study for Interactions between Separation on Supersonic Flow and Laser-Induced Blast Wave," Proceedings of the 31st International Symposium on Shock Waves, SBM000130, 2017.
- 3) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Two-Fluid Model Development for Magnetized Plasma Driven by an Intense Microwave Irradiation," Proceedings of Plasma Conference 2017, 21P-98, 2017.
- 4) 高橋聖幸, 小串貴年, 大西直文, "レーザー推進機の安定飛行維持に向けた流体軌道連成計算," 第3回宇宙太陽光発電シンポジウム講演論文集, 2017.
- 5) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Separation Control on an Airfoil Using Repetitive Laser Pulses," AIAA Paper 2018-1430, 2018.
- 6) 高橋聖幸, 明官学, Francesca Gnani, Henny Bottini, 岩川輝, 大西直文, 佐宗章弘, "繰り返しレーザーパルス照射による剥離制御," 平成29年度航空宇宙空力シンポジウム講演論文集, 2L4, 2018.
- 7) 高橋聖幸, 明官学, Francesca Gnani, Henny Bottini, 岩川輝, 大西直文, 佐宗章弘, "繰り返しパルス照射によるブラスト波伝搬を利用した剥離流制御," 平成29年度衝撃波シンポジウム講演論文集, 080, 2018.

● 口頭発表

- 1) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Numerical Modeling for Microwave Breakdown on a Beaming Rocket Supported by an External Magnetic Field," 10th International Workshop of Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications, Nizhnij Novgorod, Russia, 2017.
- 2) 高橋聖幸, "Microwave-Driven In-Tube Accelerator (MITA) の検討," 第3回「高エネルギー電磁ビームに誘起される放電とその工学的応用」研究会/第5回マイクロ波ロケット研究会, 六ヶ所村, 2017.
- 3) 高橋聖幸, 小串貴年, 大西直文, "レーザー推進機の安定飛行維持に向けた流体軌道連成計算," 第3回宇宙太陽光発電シンポジウム, 東北大学, 2017.

- 4) M. Takahashi and N. Ohnishi, "Separation Control on an Airfoil Using Repetitive Laser Pulses," 2018 AIAA Aerospace Sciences Meeting, Kissimmee, Florida, 2018.
- 5) 高橋聖幸, 明官学, Francesca Gnani, Henny Bottini, 岩川輝, 大西直文, 佐宗章弘, "繰り返しレーザーパルス照射による剥離制御," 平成 29 年度航空宇宙空力シンポジウム, 天童, 2018.
- 6) 高橋聖幸, 明官学, Francesca Gnani, Henny Bottini, 岩川輝, 大西直文, 佐宗章弘, "繰り返しパルス照射によるブラスト波伝搬を利用した剥離流制御," 平成 29 年度衝撃波シンポジウム, 東北大学, 2018.

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	2 - 100
1 ケースあたりの経過時間	50.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.11

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	869,058.46	0.12
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	476.84	0.33
/data	9,765.63	0.18
/ltmp	1,953.13	0.15

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

火星航空機の空力設計に関する研究

報告書番号：R17JACA18

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4284/>

● 責任者

森澤征一郎 鳥取大学

● 問い合わせ先

森澤征一郎 morizawa@mech.tottori-u.ac.jp

● メンバ

森澤征一郎

● 事業概要

火星探査航空機を検討する際、その流れ場は大気密度が小さく、大気温度も小さいことから低レイノルズ数・高マッハ数となる。このような環境は地球ではあり得ず、活用できるデータがほとんど存在しない。そこで本事業では、低レイノルズ数・高マッハ数の条件下での翼周りの流体計算（CFD）を行う。

● JSS2 利用の理由

3次元CFDは非常に計算コストが高い。そのため、スパコンのような大規模なメモリ及びCPUでの計算が不可欠であり、JSS2を利用した。

● 今年度の成果

図1で示すようなNACA0002の翼型を用いて低レイノルズ数での計算を実施した。その結果、図2で示すように揚力・抗力とも単調増加することを確認した。そして、抵抗は迎角増加に伴い圧力抵抗は増加するが、粘性抵抗が減少することを確認した。今後はマッハ数を増加させた場合、この空力特性がどう変化するかを調べていく予定である。

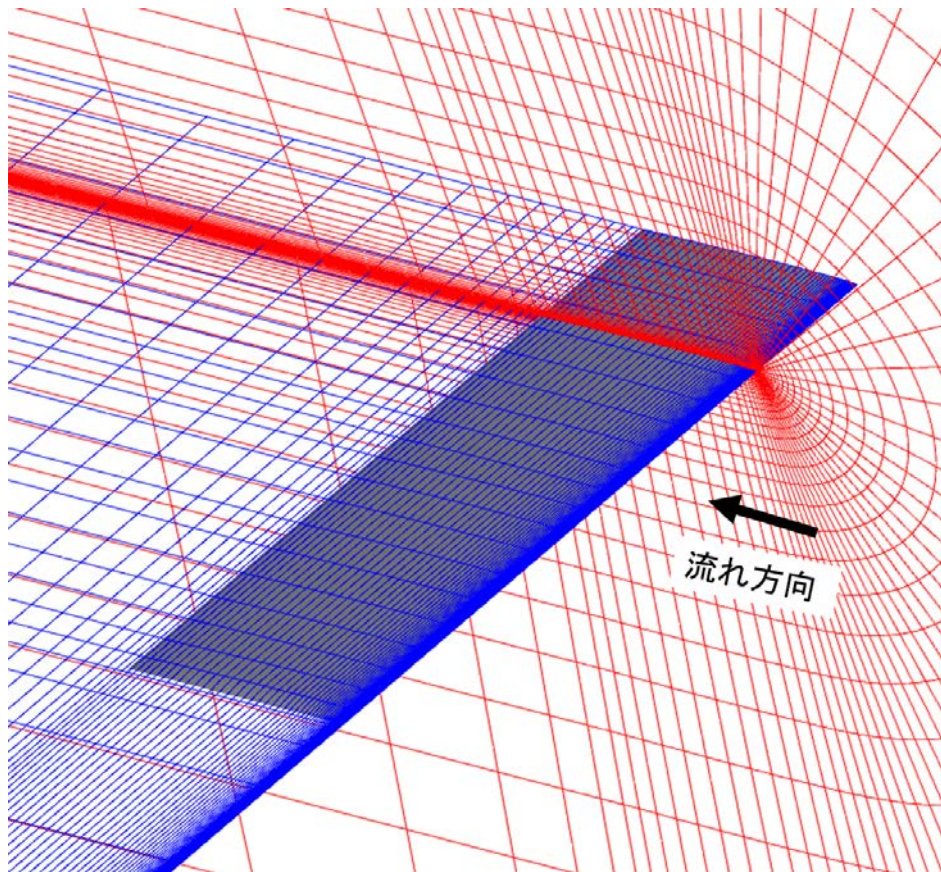


図1 計算格子について

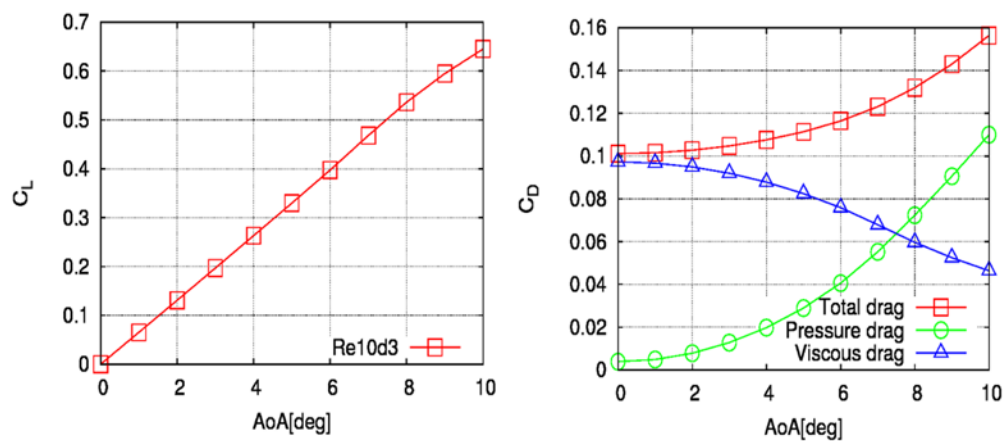


図2 計算結果の例

● 成果の公表

● 口頭発表

- 1) S. Morizawa, K. Sakamoto, A. Yasuda, A. Miyazaki, H. Kawazoe, "Aileron Effect by the Elevon on the Aerodynamic Characteristics of a Mars Exploration Airplane with a Deployable-Wing, The 2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, D1-2, Toyama, Japan, October 25-27, 2016."

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	32
1 ケースあたりの経過時間	300.00 分

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.01

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	34,896.09	0.00
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	158.95	0.11
/data	3,255.21	0.06
/ltmp	651.04	0.05

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

細長物体空力特性への突起物の影響

報告書番号：R17JACA20

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4285/>

● 責任者

北村圭一 横浜国立大学

● 問い合わせ先

原田敏明 harada-toshiaki-vt@ynu.jp

● メンバ

原田敏明,北村圭一

● 事業概要

ロケットを代表とした飛翔体にある突起部は流れや空気力の非対称性を生むため,その影響の定量的な把握がロケット開発に対して重要である.流体数値計算を用いて,任意飛翔体に許容される突起部の①位置や②大きさについての体系的かつ基礎的な空力研究を行う事で,今後のロケット開発における突起部選定のための指針を得ることが期待される.

<http://www.aero.ynu.ac.jp/>

● JSS2 利用の理由

本研究では突起を含む飛翔体周りの大規模な数値流体解析を行う必要がある.故に,本計算には 2,500 万点程の格子を要し,この規模の数値計算を大学のワークステーションのみで 100 ケース程度行う事は現実的ではないため,メモリをより確保でき,計算時間を大幅に削減できる JSS2 を利用した.

● 今年度の成果

一般的なロケット(コーン+シリンダー)に突起部(図 1)を一か所設け,その位置(1.機体前方,2.機体重心位置,3.機体後方)を変化させて数値解析を行った.計算条件は最大動圧付近の $M=1.5$ で迎角 $0^\circ \sim 20^\circ$ まで 5° ずつ増加させて行った.解析結果より,突起部の位置を変化させることで,機体の超音速空力特性,特にロールモーメントや横力及びヨーモーメントが特に影響を受けることがわかった.突起部後流の渦形成が機体ロールモーメントに寄与する為,突起部が機体後方に位置した時にロールモーメントが最小になることがわかった.

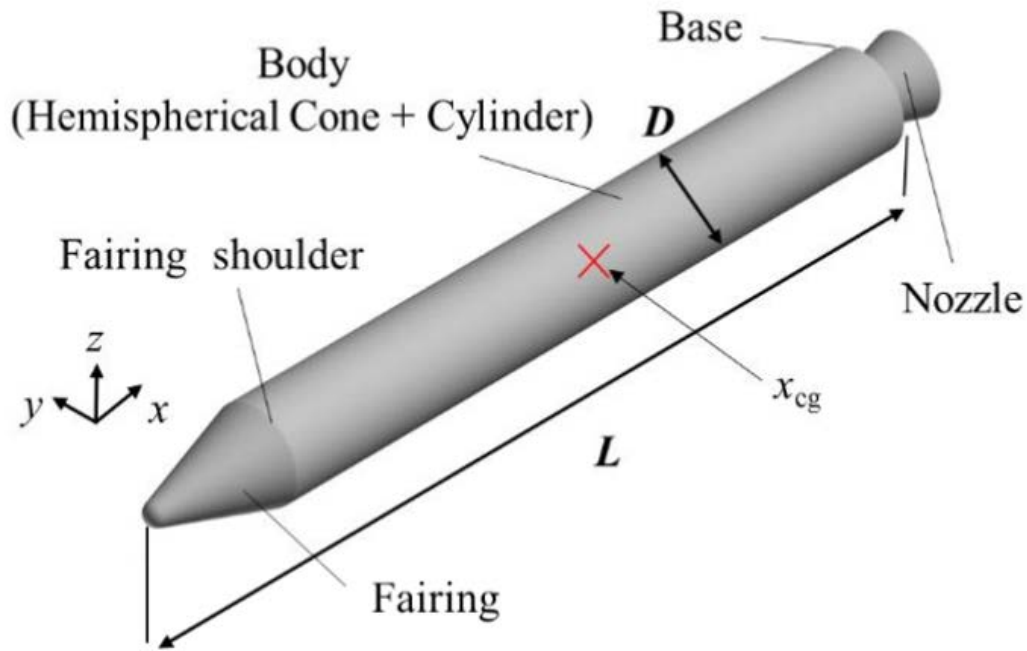


図1 機体形状概要 (Body + Nozzle)

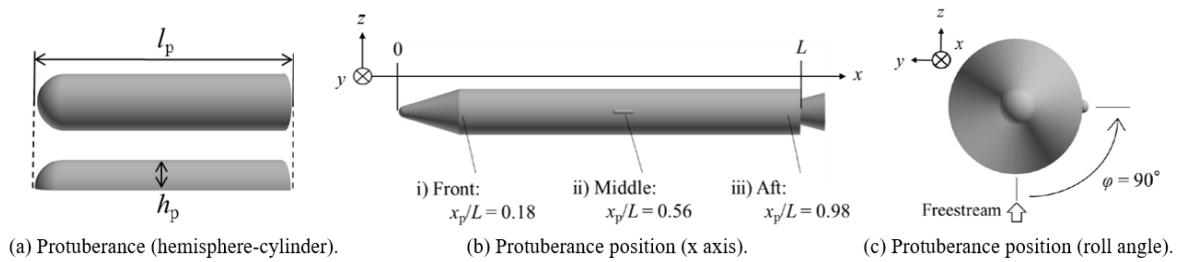


図2 突起部概要・位置

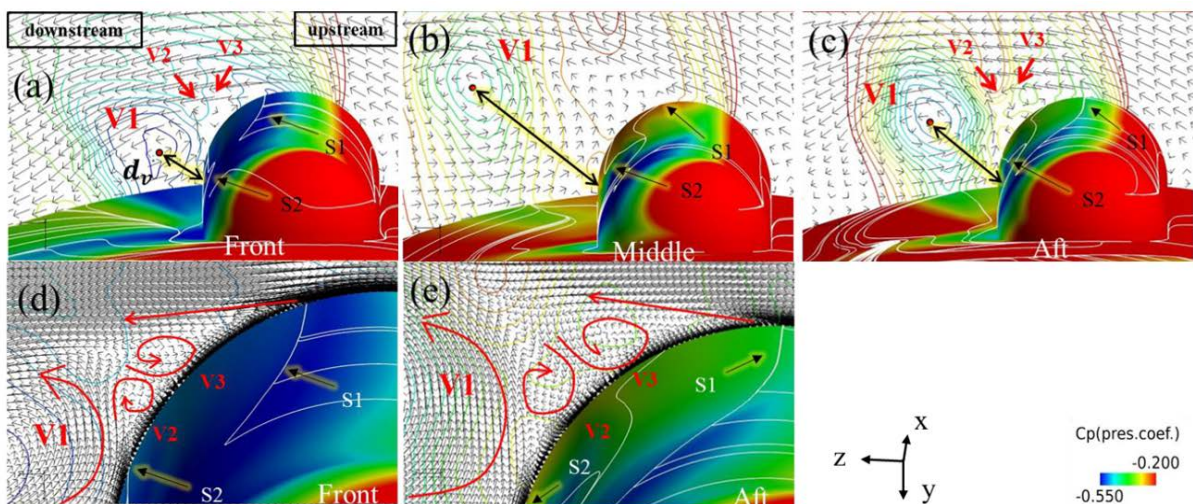


図3 突起位置による後流渦構造変化

((a)機体前方,(b)機体中央部,(c)機体後方,(d)前方部詳細,(e)後方部詳細)

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) Toshiaki Harada, Keiichi Kitamura, Satoshi Nonaka: Roll Moment Characteristics of Supersonic Flight Vehicle Equipped with Asymmetric Protuberance, The 31st ISTS Special Issue of Transaction of JSASS (Accepted).

● 口頭発表

- 1) 原田敏明,北村圭一,野中聡：突起部による飛翔体空力特性への影響,2C04,日本航空宇宙学会 48 期年会講演会,東京,日本,2017.
- 2) Toshiaki Harada, Keiichi Kitamura, Satoshi Nonaka: Aerodynamic Analysis on Flight Vehicle with Protuberant Devices, 2017-e-29, 31st International Symposium on Space Technology and Science, Ehime, Japan, Jun. 2017.

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	320
1 ケースあたりの経過時間	6.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.02

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	190,500.20	0.03
SORA-PP	1,848.02	0.02
SORA-LM	74.93	0.04
SORA-TPP	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	007.15	0.00
/data	071.53	0.00
/ltmp	1,464.84	0.11

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	0.24	0.01

※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

再使用ロケットに向けた形状の異なる細長物体の空力解析

報告書番号：R17JACA21

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4286/>

● 責任者

北村圭一 横浜国立大学

● 問い合わせ先

稲富彩乃 inatomi-ayano-ng@ynu.jp

● メンバ

稲富彩乃,青柿拓也,北村圭一

● 事業概要

数値解析によって細長物体の大迎角時に発生する横力,非対称性を調べた. またレイノルズ数は 6×10^5 , 6×10^6 として,異なる 4 つの形状を用いた.これにより, 迎角 140 度においてレイノルズ数 6×10^5 と 6×10^6 で異なる結果が得られた. そして,レイノルズ数 6×10^5 において横力を抑えることが出来た形状が, 6×10^6 においては一番大きな横力を発生させることが分かった. このことから,横力を大きくする機体形状は,レイノルズ数によって変化することが確認できた.

● JSS2 利用の理由

様々な形状を用いるため計算ケースが多く,また格子点数も多いため,能力の高いスパコンを用いることで効率良くより正確な数値解析の結果を得る必要があった.

● 今年度の成果

細長物体周りの空気について数値解析を行った. 形状はノーズコーンと,正方断面の後方部の 2 つのパーツで成り立っており,異なる細長比の形状と比較した. 迎角 50 度においては,レイノルズ数に関わらず,形状によって横力の大小関係が決まる. 一方で迎角 140 度においては,レイノルズ数 6×10^5 において横力を抑えることが出来た形状が, 6×10^6 においては一番大きな横力を発生させる. これらのことから,迎角 140 度においてレイノルズ数が横力に影響を及ぼすことが分かった. またこのように,迎角 50 度と 140 度において異なる傾向が見られたのは興味深い. これまで短く鈍頭な形状が横力や非対称性を抑えられると考えられていたが,90 度を超える迎角においてはレイノルズ数によって複雑な流れ場が変化することが新しく確認できた.

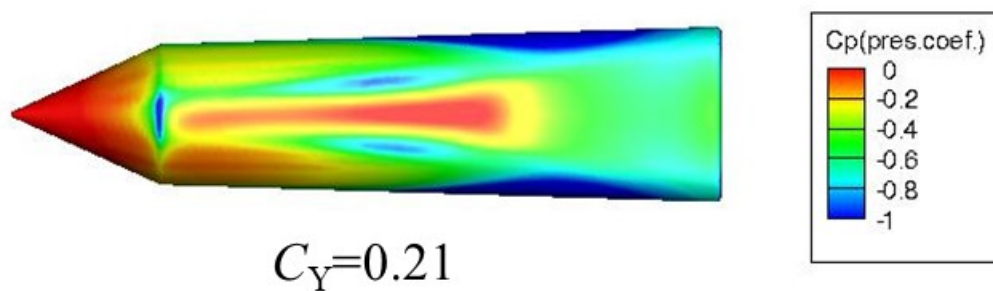


図 1 Model A (baseline)(AOA = 140 [degrees], Re=6x10⁵)

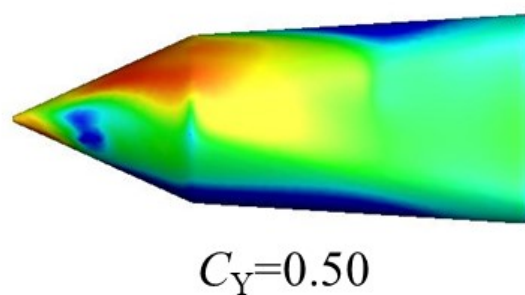


図 2 Model B (half size model)(AOA = 140 [degrees], Re=6x10⁵)

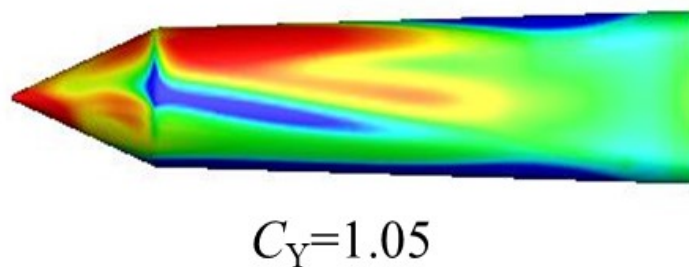


図 3 Model A (baseline)(AOA = 140 [degrees], Re=6x10⁶)

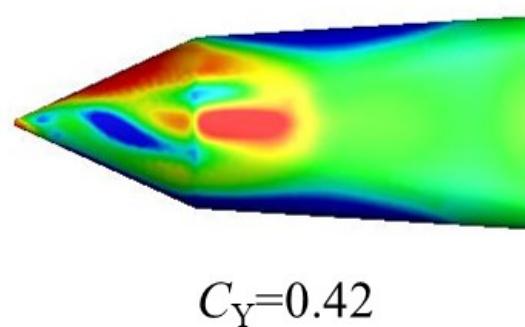


図 4 Model B (half size model)(AOA = 140 [degrees], Re=6x10⁶)

● 成果の公表

● 口頭発表

- 1) 稲富彩乃,北村圭一,野中聡,'再使用ロケットに向けた形状の異なる細長物体の空力解析'日本航空宇宙学会 第 48 期年会講演会,東京大学 山上会館, 文京区, 2017 年 4 月 14 日
- 2) Inatomi, A., Kitamura, K., Nonaka, S., 'Numerical Analysis on Reusable Rocket Aerodynamics with Reduced-yaw-force Configurations', 31st ISTS, Matsuyama Japan, Jun 3-9, 2017.

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	1024
1 ケースあたりの経過時間	8.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.01

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	53,340.31	0.01
SORA-PP	284.39	0.00
SORA-LM	435.27	0.22
SORA-TPP	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	007.15	0.00
/data	071.53	0.00
/ltmp	1,464.84	0.11

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	0.02	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

前向き空洞前面での衝撃波振動遷移の数値解析的研究

報告書番号：R17JACA23

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4287/>

● 責任者

水書稔治 東海大学工学部

● 問い合わせ先

水書稔治 mizukaki@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

● メンバ

水書稔治,小田切太郎,比護悠介,加藤明里

● 事業概要

火星など大気を有する惑星への探査機の着陸時に利用する超音速パラシュート周囲では衝撃波の非定常振動が発生する場合があります。時として、大振動によりパラシュートの機能不全を引き起こす。本研究では、このような衝撃波の大振動の発生メカニズムを解明する実験結果を考察するための数値解析手法の確立と、大振動に至らせないためのパラシュート設計に貢献することを目標としています。現象の理解のために、単純化したパラシュート形状での解析手法を確立し、実際の形状への適用に発展させる。

<http://www.ea.u-tokai.ac.jp/mizukaki/>

● JSS2 利用の理由

本研究課題は、マイクロ秒単位で非定常に振動する衝撃波現象を 3 次元的に数値解析することで解明できる。そのため、利用する数値解析プログラムとして、圧縮性流体解析コードとして定評のある JAXA 開発の FaSTAR が適していると判断した。FaSTAR による本研究課題の模型形状周囲の流れ場の 3 次元解析において、1000 万点以上の計算グリッドによる解析が必要と判断した。そのため、並列計算と大規模な実行メモリが必要になるため、JSS2 の利用が最適と判断した。

● 今年度の成果

本年度は、超音速流中 ($M=2.0$ および 3.0) の前向きキャビティ前方に発生する離脱衝撃波の振動が、キャビティ直径 (D) と深さ (L) との比 (L/D) が変化することで受ける影響の検証を実施した。これは、前年度で行われた超音速風洞実験の結果と対比させ、実験では観測不可能なキャビティ内部の現象理解を進めることが目的である。

L/D は、 $0, 0.2, 0.5, 1.0$, および 2.0 の 5 条件を実施した。上流の気流条件が安定である場合に対し、乱流である場合の挙動とを比較するため、キャビティ底部からスパイク (針状の突起) をキャビティ外部

に突出させた.スパイクの直径 (d) と D との比 (d/D) は,0.12,キャビティ外部への突出長さ (l) と D との比 (l/D) は,2.5 とした.計算空間の一例を図1に示す. $l/D=2.5$ とした理由は, $l/D > 2.0$ の条件下では,キャビティ内の音響振動が存在しない場合には,離脱衝撃波の振動は発生しないとの先行研究の結果を参考とした.

解析の結果,気流 Mach 数 2.0 においては, $L/D > 0.5$ において離脱衝撃波の振動様態が,「振動 Oscillation」から「脈動 Pulsation」に変化すること,気流 Mach 数 3.0 においては,振動から脈動への遷移が, $L/D > 1.0$ と変化が再現された.代表的な解析結果を図2に示す.

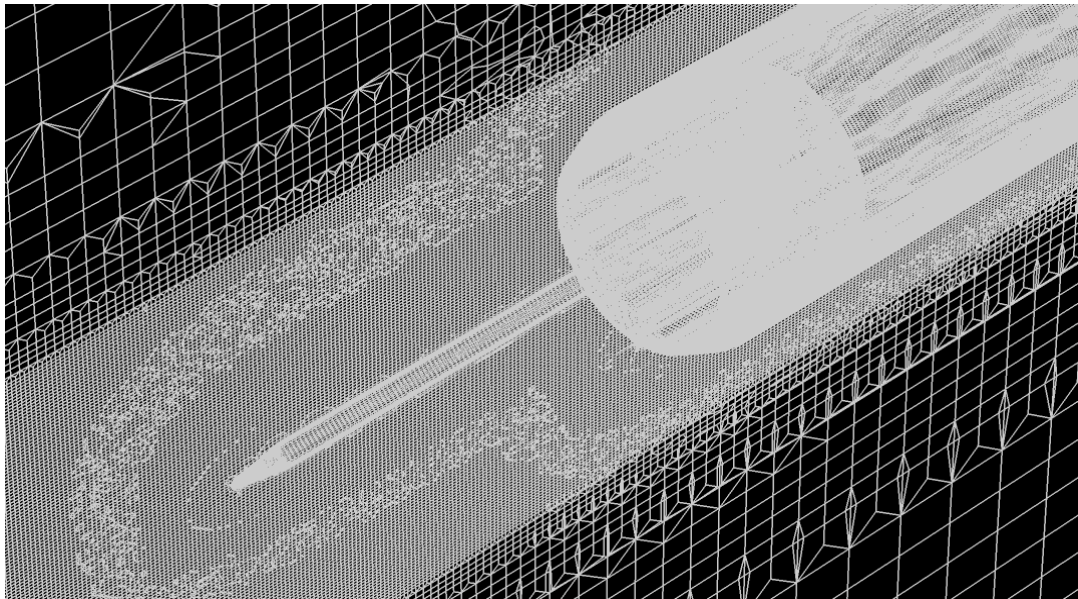


図1 計算領域

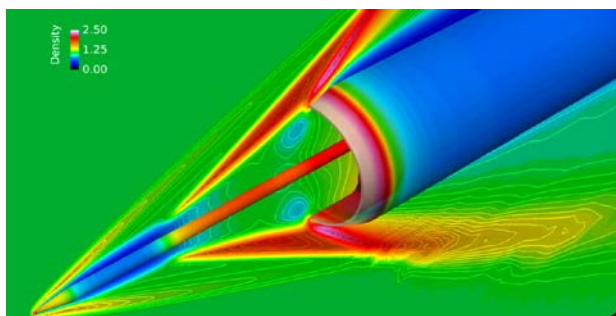


図2 解析結果 ($L/D = 0.5$, Mach3.0)

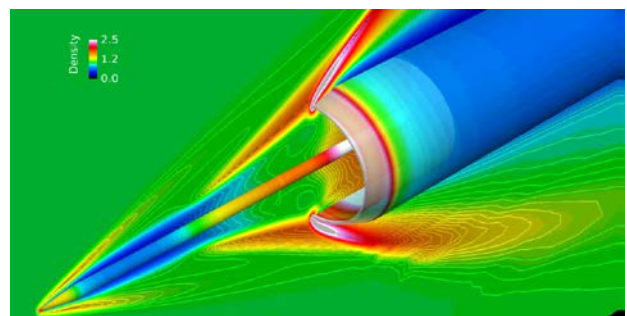


図3 解析結果 ($L/D = 1.0$, Mach3.0)

● 成果の公表

● 査読付論文

1) Mizukaki, T. and Yamada, K.*Transition Behavior of Shock Waves from Oscillation to Pulsation around a Forward-Facing Concave with Spike, AIAA (2018)

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	32
1 ケースあたりの経過時間	15.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.01

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	25,933.40	0.00
SORA-PP	179.05	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	491.14	0.34
/data	9,908.68	0.18
/ltmp	4,882.81	0.37

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

太陽大気の輻射磁気流体計算

報告書番号：R17JACA25

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4288/>

● 責任者

飯島陽久 名古屋大学宇宙地球環境研究所

● 問い合わせ先

飯島陽久 h.iijima@isee.nagoya-u.ac.jp

● メンバ

飯島陽久

● 事業概要

太陽表面对流計算用コード CO-RAMENS (Convection-Oriented RAdiative Magnetohydrodynamics Extensive Numerical Solver) の並列時のウィークスケーリングを評価した。

● JSS2 利用の理由

より大規模な計算への準備のため,開発している太陽表面对流計算コードの並列化効率を評価したかった。

● 今年度の成果

現在,太陽表面对流計算用コード CO-RAMENS を用いて,大規模計算を計画している.今年度は,その準備のため,並列化効率を評価した.その結果,昨年度の結果と合わせて,2592 コアから 5184 コアの間のウィークスケーリングで 81.7%の並列化効率を得られた。

● 成果の公表

なし

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	2592
1 ケースあたりの経過時間	4.00 秒

● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	205.33	0.00
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	009.54	0.01
/data	095.37	0.00
/ltmp	1,953.13	0.15

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

DBD プラズマアクチュエータを用いたフィードバック流れ制御技術に関する研究

報告書番号：R17JACA26

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4289/>

● 責任者

浅田健吾 東京理科大学

● 問い合わせ先

浅田健吾 asada@rs.tus.ac.jp

● メンバ

浅田健吾,小川拓人

● 事業概要

ロケットや航空機,自動車といった様々な輸送機周りの流れを,プラズマ放電を利用した DBD プラズマアクチュエータと呼ばれるデバイスを用いることで制御し,高効率で堅牢な輸送機システム開発を実現する. 時々刻々と変化する流れに対応するため,本事業では3次元非定常流れのシミュレーションを行い,フィードバック制御手法の開発・実証を行う.

● JSS2 利用の理由

今回実施した3次元非定常流れ解析ラージエディシミュレーション (LES) は莫大な格子点数が必要であり,通常のワークステーションでは実行不可能であったため.

● 今年度の成果

本年度はDBD プラズマアクチュエータを用いた NACA0015 翼周り流れの剥離制御において,高忠実度ラージエディシミュレーションを実施し,既に2次元数値シミュレーションで制御効果が確認されている我々が提案するフィードバック流れ制御モデルの有効性の検証を行った. 提案する制御モデル(図1)は翼上面に設置する圧力センサーに対応する位置(本研究では翼弦長の40%位置)の渦の通過に応じて翼前縁付近に配置したアクチュエータの ON/OFF を切り替える制御モデルである. センサー位置において圧力値を移動平均とともに観測し,平均と比較して値の急激な低下をセンサー上の渦の通過と判断している. 前年度に実施した制御モデルでは,圧力値の移動平均の計算幅を固定長としていたが,今年度は制御のロバスト性を向上させるために,移動平均の計算幅に圧力値の支配的な周期をFFTにより推算し用いた. 図2に,本制御モデルにより制御を行った場合の圧力係数の時間履歴(黒線)とその移動平均(赤線),及びアクチュエータ駆動の時間履歴(青線)を示す. 圧力係数と移動平均の大小関係が非周期的に変化し,それに対応してアクチュエータが間欠的に駆動している. 本制御則を他のいくつか異なる流れ条件に適用した解析も行っており,本制御則を用いる事で流れに応じた効果的な駆動が実現できる事を示した. 図3,4に制御時・非制御時の瞬時流れ場を示す. 渦構造を可視化するた

め、速度勾配テンソルの第二不変量の等値面をコード長方向速度で色付けしたものを示している。制御を行った場合、非制御時と比較して翼上面の大規模な剥離が抑制されており、本制御則がスパン方向を持つ3次元流れにおいても有効であることが確認できた。

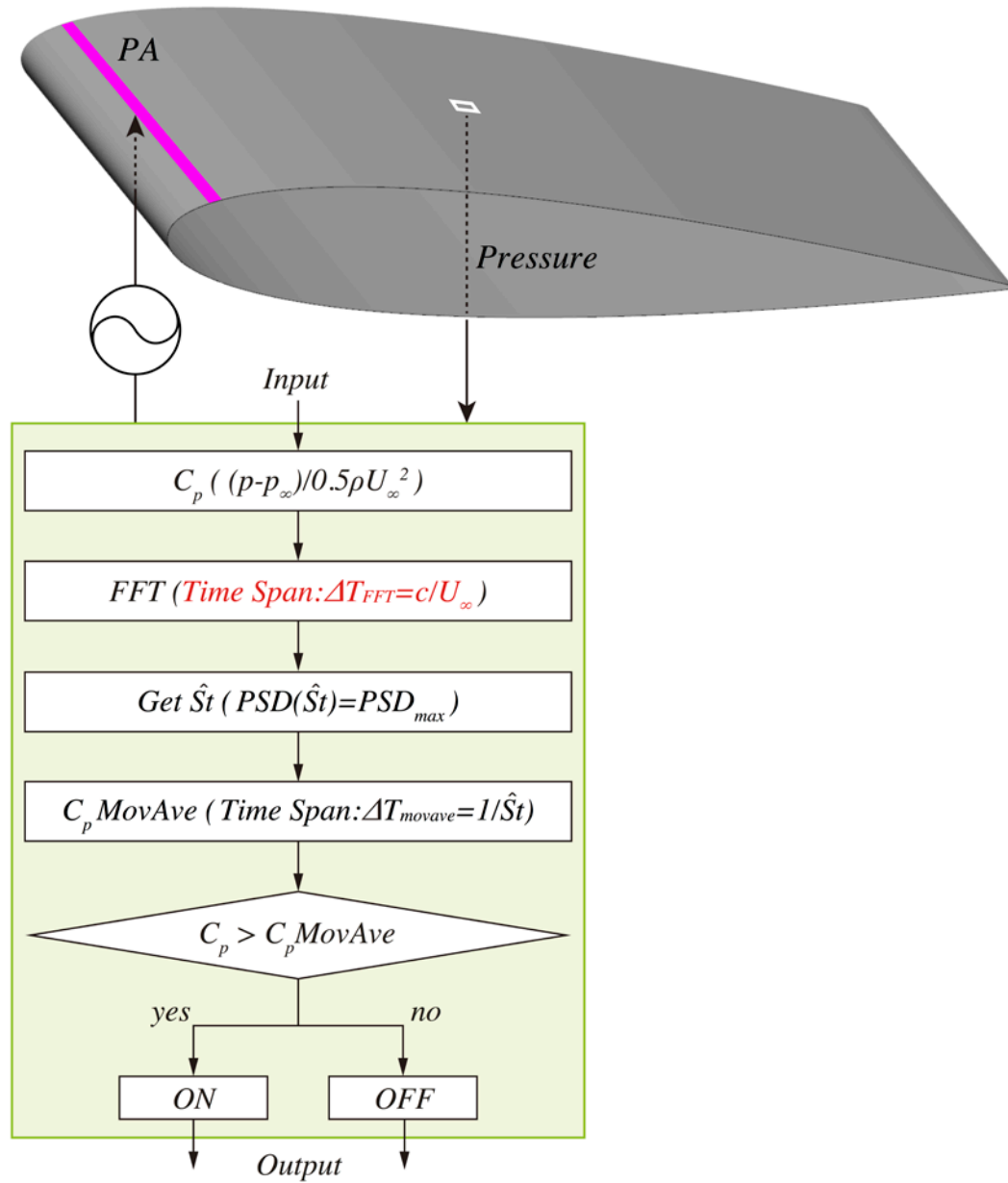


図1 提案する制御モデル

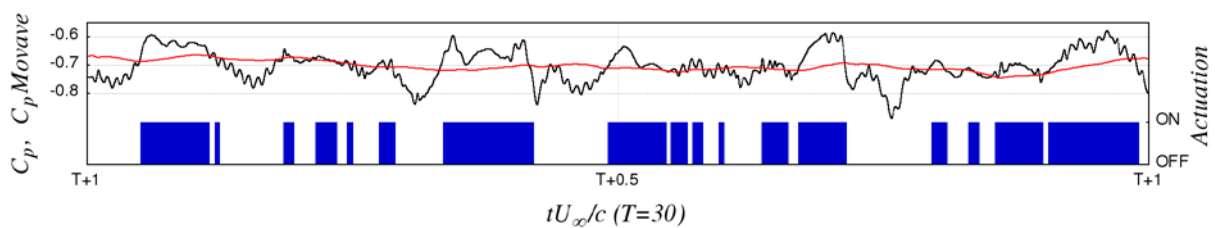


図2 圧力係数の時間履歴（黒線）とその移動平均（赤線），
及びアクチュエータ駆動の時間履歴（青線）

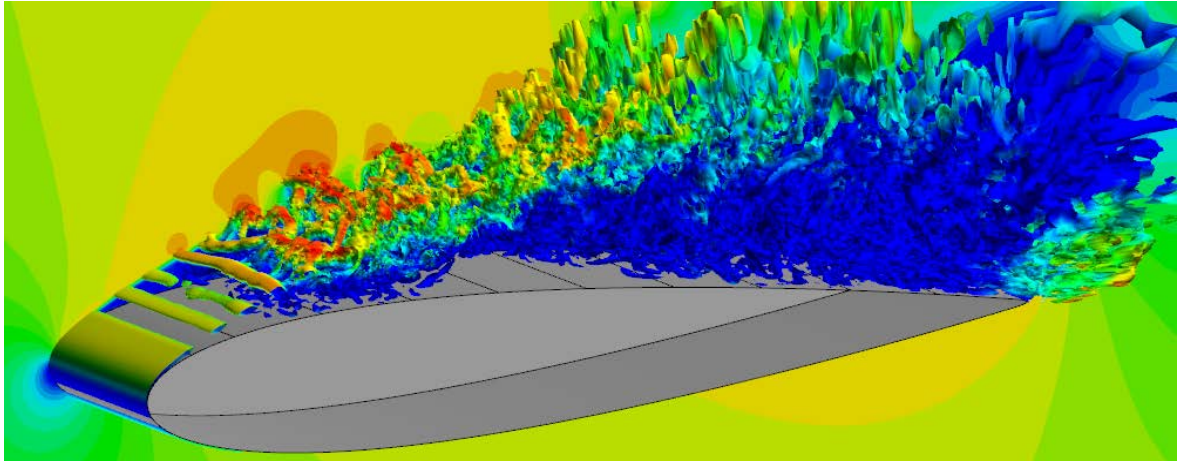


図 3 瞬間流れ場（非制御時）

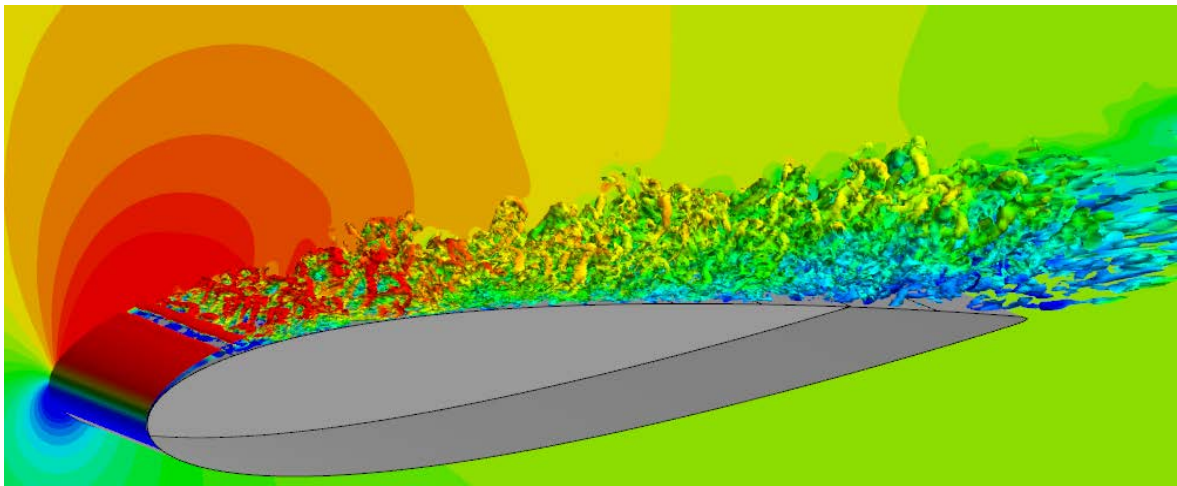


図 4 瞬間流れ場（制御時）

● 成果の公表

● 査読なし論文

- 1) Takuto Ogawa, Kengo Asada, Satoshi Sekimoto, Tomoaki Tatsukawa, Kozo Fujii, "Feed-back Control of Stall Separation with DBD Plasma Actuator by Detecting Vortex Passing over an Airfoil", AIAA SciTech 2018, 7-11 January 2018, Kissimmee, Florida, USA.
- 2) Takuto Ogawa, Satoshi Shimomura, Kengo Asada, Satoshi Sekimoto, Tomoaki Tatsukawa, Horoyuki Nishida, and Kozo Fujii, "Study on the Sensing Parameters toward Better Feed-back Control of Stall Separation with DBD Plasma Actuator", AIAA Aviation Forum 2017, Denver, 5-9 June 2017.
- 3) 小川拓人, 浅田健吾, 関本諭志, 立川智章, 藤井孝藏, "DBD プラズマアクチュエータを用いたフイートバック翼流れ剥離制御の LES ～翼表面圧力を用いた制御則の検討～", 日本流体力学会年会 2017, 2017 年 8 月 30 日, 東京理科大学葛飾キャンパス.

● JSS2 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	自動並列
プロセス並列数	76
1 ケースあたりの経過時間	50.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.32

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	2,653,685.13	0.34
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	057.22	0.04
/data	11,098.95	0.21
/ltmp	3,906.25	0.29

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

大規模惑星集積並列 N 体計算:原始惑星円盤内での微惑星の衝突破壊による効果

報告書番号: R17JACA27

利用分野: JSS2大学共同利用

URL: <https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4290/>

● 責任者

小南淳子 東京工業大学地球生命研究所

● 問い合わせ先

小南淳子 kominami@mail.jmlab.jp

● メンバ

小南淳子

● 事業概要

地球や他の惑星は太陽が生まれたときに、その周りに円盤状に取り残されたダストが集まってできたと考えられます。

現在の理論では木星型惑星や氷型惑星といった太陽系の外側の惑星は形成することはできず、また、地球のもととなるような小さい原始惑星もさらに成長する前に太陽に落ちてしまうと考えられています。私たちのグループは N 体計算という方法で惑星ができる過程をシミュレーションしています。

本研究では JSS2 に対応させた Kninja というコードを使い、ガス抵抗、タイプ 1 惑星移動、衝突破壊を入れた N 体計算を行います。

本年度の目的は、既存の惑星形成理論の暴走成長フェーズ、そして寡占成長フェーズが上記のより現実的な系を考えた場合、どのように変わるのかを検証します。

● JSS2 利用の理由

当初、Kinja は「京」で使えるようにチューニングしました。しかし、十分な計算結果を出すためには割り当てられた計算時間が不足していました。また、JSS2 の SORA-MA は「京」より速く、科学的計算結果を出しやすいという点も挙げられます。

● 今年度の成果

従来の N 体計算による惑星集積過程の研究では、衝突した微惑星は破片などを出さずに合体して一つの新しい微惑星になると仮定されてきた（完全合体の仮定）。これは、破壊や破片の生成を取り入れると、粒子数が増大し、計算時間が膨大になるためである。完全合体だと微惑星の成長と共に粒子数が減少するので初期の粒子数を大きくとれる。しかし、破壊によって生成された破片は力学的摩擦によって原始惑星及び、微惑星の速度分散を引き下げるため、惑星形成過程に大きな影響を持つ。このため、N 体計算には破壊過程を正しく取り入れることが必須である。

衝突破壊を入れると、質量の小さな微惑星が大量に生成され、ガス抵抗の効果でその速度分散が小さ

くなる.その速度分散の小さい大量の微惑星が原始惑星の周りに存在することで原始惑星の planetesimal driven migration(PDM) が促進される可能性がある.この PDM は円盤外側に原始惑星を運ぶ可能性がある.その場合,タイプ 1 惑星移動による惑星落下をある程度防ぐ可能性がある.本研究ではガス抵抗,タイプ 1 惑星移動と破壊モデルを入れた大規模な N 体計算を行い,惑星移動がどうなるかを調べた.その結果,衝突破壊を入れると原始惑星の周りに質量が小さく速度分散の小さい微惑星が生成された.これらの小さい微惑星があることで質量の大きい微惑星のみだった場合より,原始惑星の外側への PDM がより連続的に起こりやすくなった.

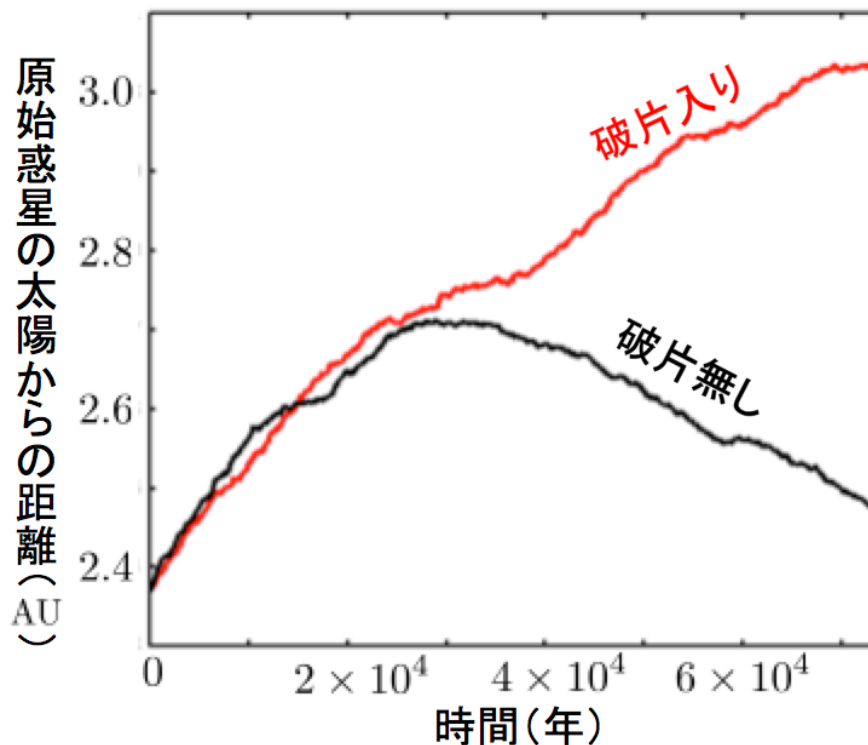


図 1 原始惑星の軌道長半径の時間進化の図.衝突破壊入りの場合,外側移動が続く.

● 成果の公表

● 口頭発表

- 1) 小南淳子, "衝突破壊プロセスを入れた N 体計算における原始惑星の動径方向移動", JpGU, 幕張
- 2) 小南淳子, "大規模 N 体計算で惑星を作る"サブ課題 A 惑星形成のこれまでとこれから, ポスト「京」萌芽的課題・計算惑星アプリケーション開発状況共有ワークショップ, 神戸
- 3) 小南淳子, "シミュレーションで明らかにされつつある惑星形成過程", 最新の天文学の普及を目指す WS, 神戸
- 4) 小南淳子, "衝突破壊プロセスを入れた N 体計算における原始惑星の動径方向移動", 天文学会, 千葉

● Web 上の研究成果の URL

- 1) http://www.hpci-office.jp/pages/k-san_cu18

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	2 - 32
1 ケースあたりの経過時間	96.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.19

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	1,587,491.68	0.21
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	004.77	0.00
/data	047.68	0.00
/ltmp	976.56	0.07

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

スペースプラズマ物理過程の磁気流体シミュレーション研究

報告書番号：R17JACA28

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4291/>

● 責任者

銭谷誠司 京都大学生存圏研究所

● 問い合わせ先

銭谷誠司 zenitani@rish.kyoto-u.ac.jp

● メンバ

銭谷誠司,三好隆博,篠原育

● 事業概要

当プロジェクトでは,宇宙空間プラズマ環境で起きるさまざまな物理素過程を,主に数値シミュレーションを用いて解明・理解することを目指している.特に,磁力線のつなぎ変えとともに磁気エネルギーを解放する「磁気リコネクション」とその周辺現象を対象とする.また,シミュレーション研究のための公開コードの開発を行っている.

<http://th.nao.ac.jp/MEMBER/zenitani/openmhd-j.html>

● JSS2 利用の理由

宇宙空間プラズマの大局的振る舞いを近似する磁気流体方程式系は,非常に複雑で非線形に振る舞うことが知られている.宇宙プラズマ現象のさまざまな性質を理解するためには,スーパーコンピュータによる大規模数値シミュレーションが必須である.

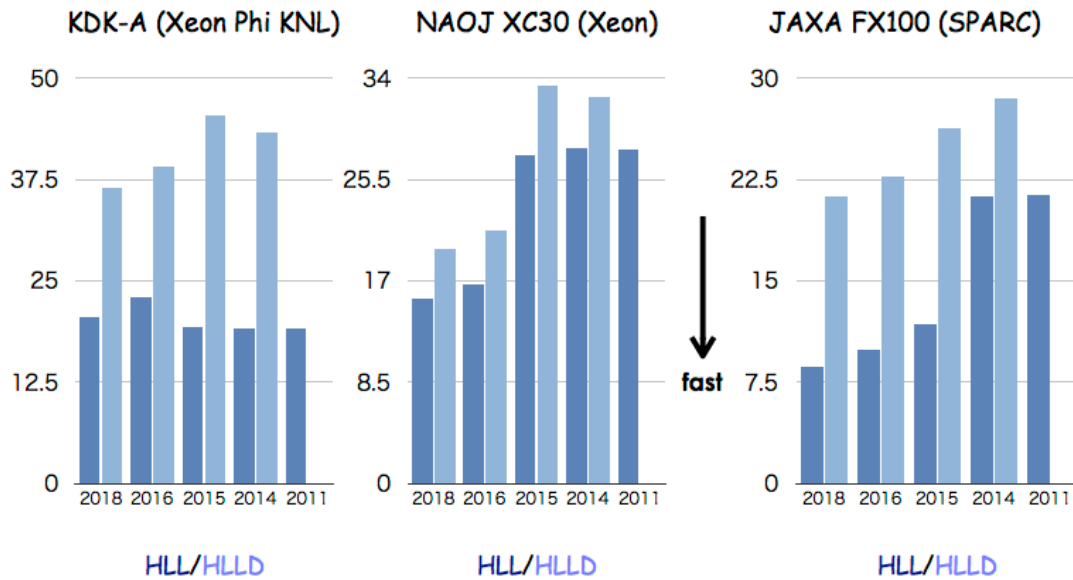
● 今年度の成果

プラズモイド型乱流リコネクションの基礎的な性質を磁気流体計算を多数実行して調査した.具体的には,2次元のパラメーター空間でパラメーターサーベイを行ない,系全体の平均的エネルギー消費効率が我々の理論予想に従って変化することを確認した.そして,これらが数値解法の細部(物理量の補間方法)に依存しないことを確認し,物理量の解析を通じて我々の予想をさらに裏付けた.現在は,共同研究者とともに論文投稿準備を進めているところである.さらに別グループとの共同研究で,磁気リコネクションの静穏状態から乱流状態に移行するタイミングが数値的要因に左右されることを示した(論文 [1]).

一方,将来の研究に向けてコードの改良に取り組み,MPI ノンブロッキング通信で複数の通信をオーバーラップさせて計算時間を短縮した.ベンチマーク結果(図1)が示す通り,長年の改良で着実にコードの高速化が進んでいることがわかる.さらに数千コア帯でのOpenMP 並列性能を改善したうえで,ノ

ード内通信を代替する MPI-3 共有メモリ通信のプロトタイプを実装した。

Performance: years of improvement



Optimized for various CPU architectures

図 1 MHD コードのベンチマーク結果

● 成果の公表

- 査読付論文

- 1) T. Shimizu, K. Kondoh, & S. Zenitani, "Numerical MHD study for plasmoid instability in uniform resistivity", Physics of Plasmas, 24, 112117 (2017)

- 口頭発表

- 1) 銭谷誠司, "有限体積型磁気流体コード：OpenMHD", 平成 29 年度 RISH 電波科学計算機実験 (KDK)シンポジウム, 京都大学宇治キャンパス, 2018/2/19

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	40 - 2000
1 ケースあたりの経過時間	36.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.04

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	309,513.20	0.04
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	109.67	0.08
/data	2,096.18	0.04
/ltmp	3,320.31	0.25

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

Three-dimensional turbulent magnetic reconnection

報告書番号：R17JACA29

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4292/>

● 責任者

王燦洋 東京大学大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

● 問い合わせ先

王燦洋 yokoyama.t@eps.s.u-tokyo.ac.jp

● メンバ

王燦洋,横山央明

● 事業概要

磁気リコネクションは最も重要なプラズマ物理プロセスの一つで,様々な天体プラズマ現象の理解に役立ちます.太陽フレアなどの天体現象が非常に巨大ですが,むしろ磁気散逸が弱いで,磁気散逸領域(磁気リコネクションが起きているところ)がよく小さいです.そして,磁気散逸が効く小スケールと現象全体の大きいスケールとを調和的に結合できる大きい数値計算が必要です.

● JSS2 利用の理由

磁気リコネクションの数値計算が天体現象全体の大スケールと磁気散逸が効く小スケールを同時に解きます.そして,大量なコア数と充足なメモリが必要です.

● 今年度の成果

計算はまた終わらないため,成果なし.

● 成果の公表

なし

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	64 - 2048
1 ケースあたりの経過時間	40.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.02

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	115,457.40	0.02
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	481.61	0.33
/data	9,813.31	0.18
/ltmp	2,929.69	0.22

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

太陽対流層内部における乱流角運動量輸送のプラントル依存性に関する研究

報告書番号：R17JACA30

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4293/>

● 責任者

戸次有人 東京大学大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

● 問い合わせ先

戸次有人 bekki@mps.mpg.de

● メンバ

戸次有人,横山央明,堀田英之

● 事業概要

太陽対流層内部における乱流的な対流運動による熱エネルギー・角運動量輸送過程を理解することは、太陽固有磁場の生成・維持（ダイナモ）機構を解明する上で重要である。本研究では、数値シミュレーションでは捉えきれない乱流ダイナモの効果を実効的なプラントル数の上昇とモデル化することで、近年問題となっていた熱対流速度の理論と観測との乖離を緩和する機構を新たに提案し、これを数値的に実証した。一方で、高プラントル数熱対流による角運動量輸送まで考慮すると、観測的な差動回転維持の観点から問題を生じてしまうことが判明した。今後は境界層の影響を吟味することで、対流による熱エネルギー輸送と角運動量輸送の問題の統一的な解決を目指す方針である。

● JSS2 利用の理由

太陽熱対流の大スケール(低波数)成分を調べるためには、対流層の底で駆動される対流スケールを含むような大規模数値計算を行う必要がある。

● 今年度の成果

今年度は、圧縮性プラズマの回転系熱対流を局所3次元デカルト座標で解く数値シミュレーションコードを新たに開発することから始めた。開発された計算コードの妥当性を小規模なテスト計算によって確認した後、JAXA/JSS2 を用いて大規模な高プラントル数熱対流数値計算を行った（Figure.1, Movie.1）。高プラントル数レジームでは、下降流ブルームによる非局所的な熱輸送が支配的になり、結果として対流層の下部に形成される対流安定な亜断熱層が強化される様子が確認できる。

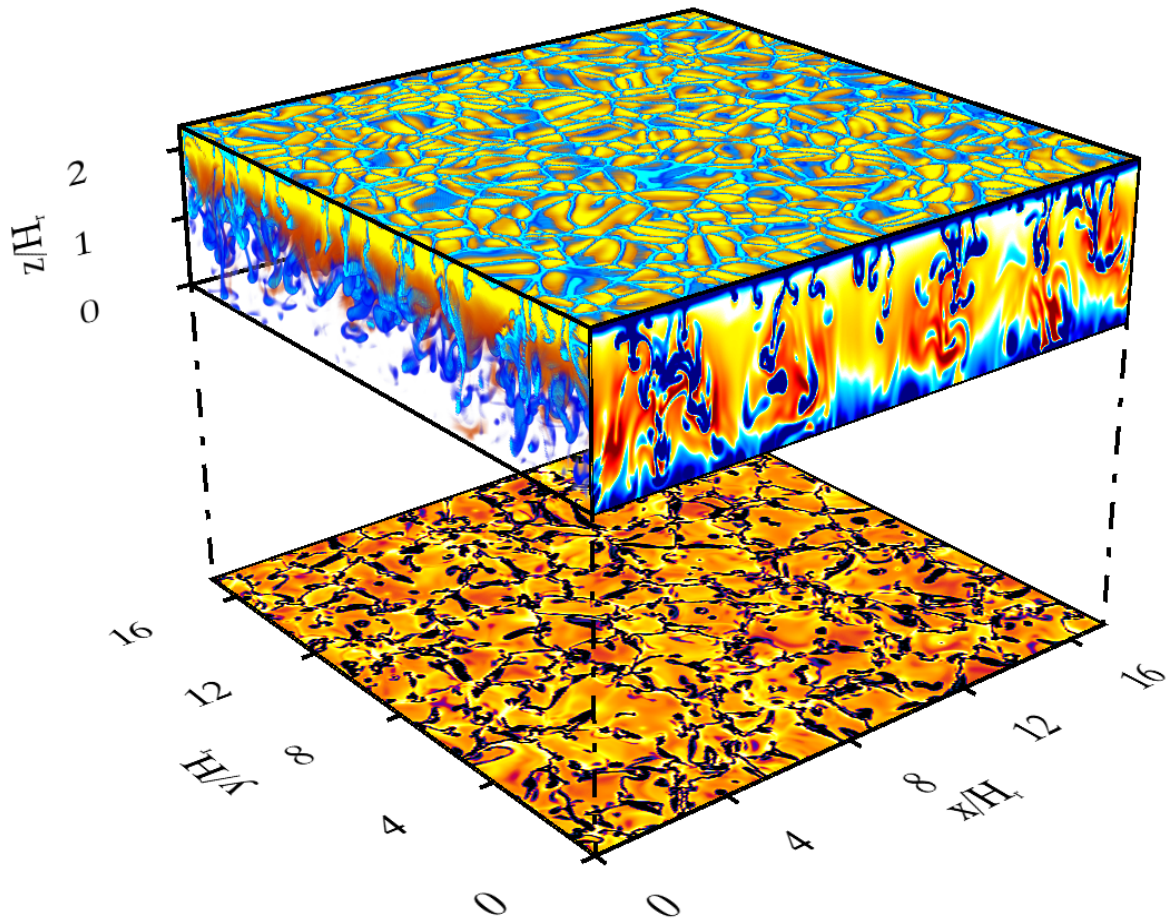


図1 高プラントル数熱対流におけるエントロピー構造。
光球下における水平断面を下段に示している。

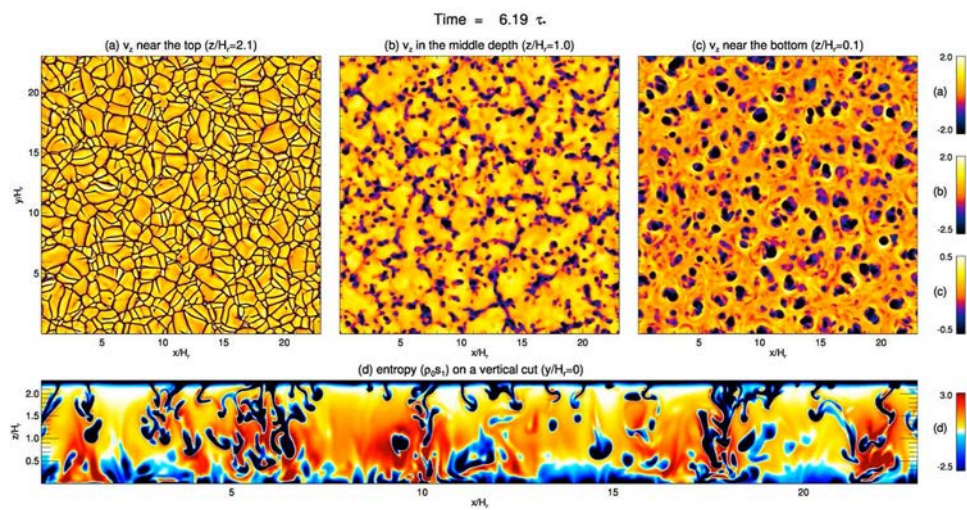


図2 (上:左) 表面付近 (上:中央) 対流層中層 (上:右) 底付近における鉛直速度分布。
(下) エントロピーの鉛直断面。

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) Y. Bekki, H. Hotta, and T. Yokoyama., "Convective velocity suppression via the enhancement of the subadiabatic layer: Role of the effective Prandtl number", The Astrophysical Journal, 851;74 (2017)

● 口頭発表

- 1) Y. Bekki, H. Hotta, and T. Yokoyama., "Effects of the enhanced subadiabatic layer in effectively high-Prandtl number thermal convection", AAS 48th SPD Meeting, Portland, OR, USA. (2017. 8. 25).
- 2) Y. Bekki, H. Hotta, and T. Yokoyama., "Effects of Prandtl number on stratified thermal convection with and without rotation", Helicity Thinkshop 3, Tokyo, Japan. (2017. 11. 21).
- 3) 戸次宥人, 堀田英之, 横山央明. 「太陽対流速度問題における実効的プラントル数の効果」日本天文学会 2018 春季会合, 千葉. (2018. 3. 16).

● ポスター発表

- 1) 戸次宥人, 堀田英之, 横山央明. 「高プラントル数レジームにおける恒星熱対流シミュレーション」第 30 回 理論懇シンポジウム, 東京. (2017. 12. 25).
- 2) Y. Bekki, H. Hotta, and T. Yokoyama., "Deep convective amplitude and stratification in an effectively high-Prandtl number thermal convection", IAU Symposium 340, Jaipur, India. (2018. 2. 19-24).

● JSS2 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	N/A
プロセス並列数	256 - 1024
1 ケースあたりの経過時間	120.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.05

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	335,961.12	0.04
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	100.14	0.07
/data	5,769.73	0.11
/ltmp	2,929.69	0.22

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

圧縮性熱乱流境界層の物理とモデリングに関する研究

報告書番号：R17JACA31

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4294/>

● 責任者

河合宗司 東北大学大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻

● 問い合わせ先

戸谷晃輔 totani@cfm.mech.tohoku.ac.jp

● メンバ

河合宗司,戸谷晃輔

● 事業概要

本研究では強い壁面熱流束を伴う圧縮性壁乱流の低レイノルズ数 DNS 解析を行い,流体物理の解明と高レイノルズ数実スケール LES 解析のための壁面モデルの構築を目指す。

● JSS2 利用の理由

圧縮性乱流の高忠実な解析には高い計算コストがかかり,スーパーコンピュータによる大規模並列計算が必須である。

● 今年度の成果

燃焼器やロケットノズル等の設計において,壁面熱流束は性能に関わる重要な要素である。しかし,圧縮性熱乱流境界層流れの物理については未だ未解明な部分が多い。また,壁面モデルを用いた LES は高レイノルズ数実スケール解析を可能とする有力な解析手法であるが,強い壁面熱流束を伴う流れ場への適用については詳しく検討されていない。よって,まず強い熱流束を伴う壁乱流の物理を解明するため低レイノルズ数 DNS 解析を行う。

今年度は(a)既存の解析コードを用いた断熱壁壁乱流の DNS 解析と(b)圧縮性の強い流れ場の高忠実解析に適した運動エネルギー保存スキームの開発を行なった。(a)では図 1,2 に示すように先行研究と良い一致を示す結果が得られた。(b)では久谷と河合(2018)によって提案された物理的な整合性を持つ運動エネルギー保存スキームを高次精度に拡張し,一般座標系に展開した。来年度は,このスキームを解析コードに組み込み,等温壁乱流の DNS 解析を実施する予定である。

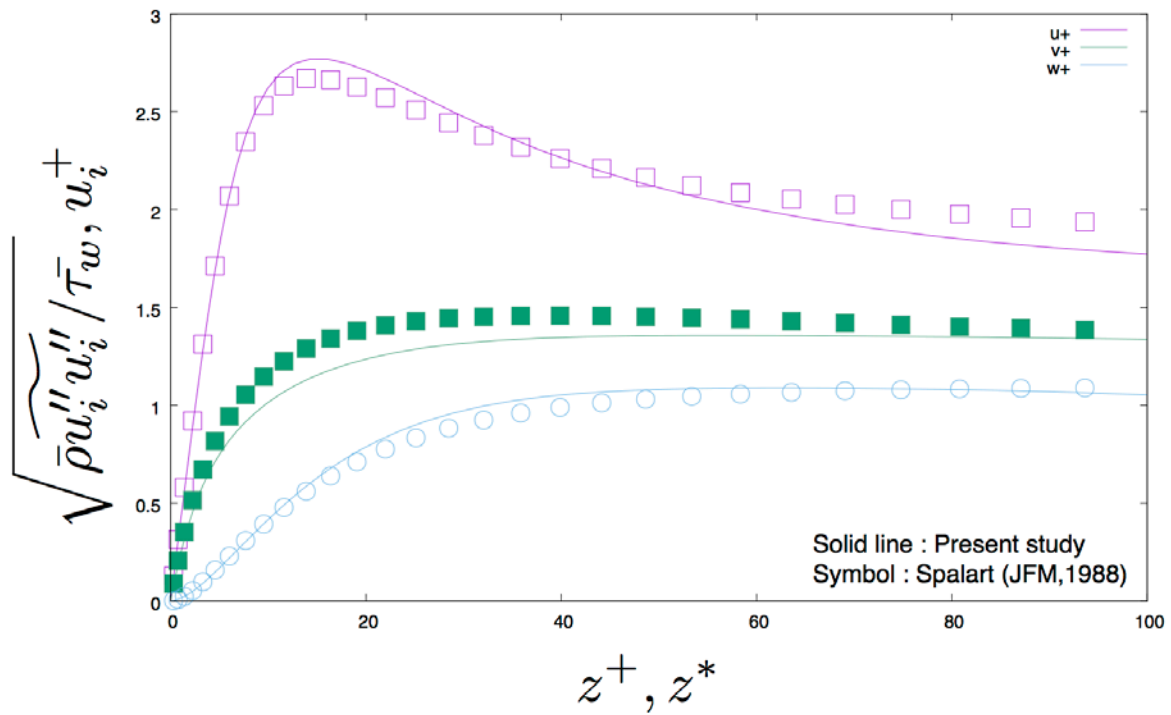


図1 レイノルズ応力分布（内層スケール）

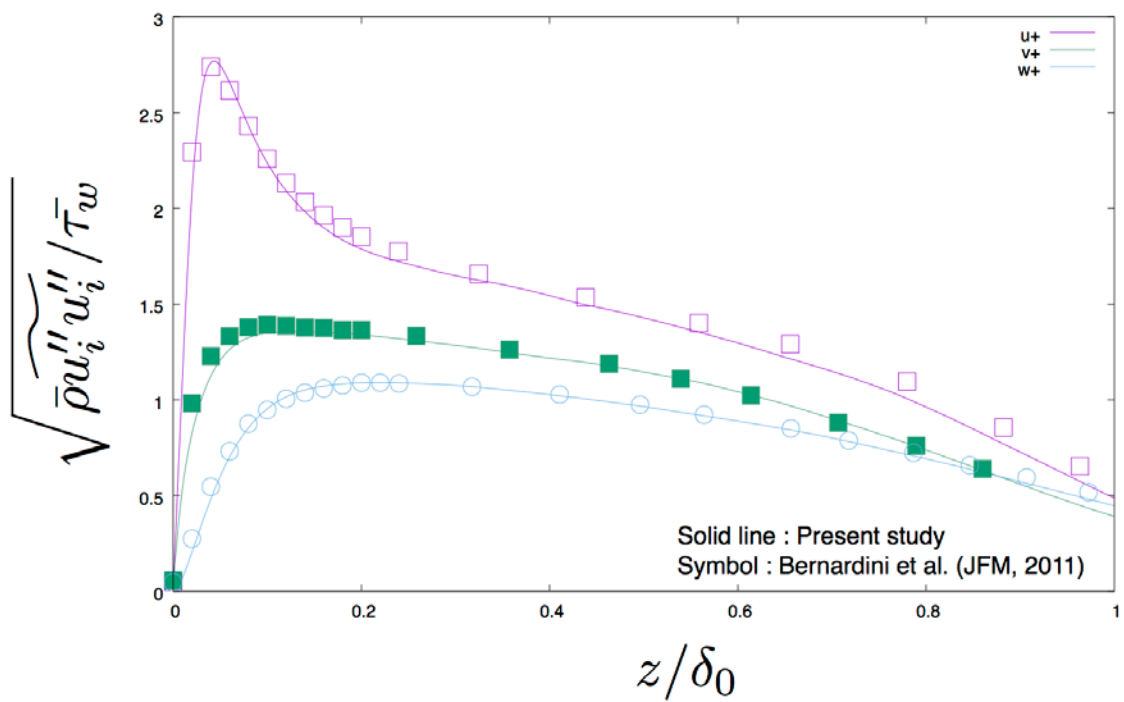


図2 レイノルズ応力分布（外層スケール）

● 成果の公表

なし

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	384 - 512
1 ケースあたりの経過時間	210.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.09

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	733,046.84	0.10
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	005.83	0.00
/data	4,893.41	0.09
/ltmp	1,193.58	0.09

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

CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD の光学要求解析

報告書番号：R17JACA34

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4295/>

● 責任者

永田 竜 高エネルギー加速器研究機構

● 問い合わせ先

永田 竜 rnagata@post.kek.jp

● メンバ

永田 竜

● 事業概要

原始重力波の存在はインフレーション理論に通有の予言であり、その波の強度は「インフレーションのエネルギースケール」の指標である。LiteBIRD は偏光地図の奇パリティ成分に刻印された原始重力波の信号検出を目的としたマイクロ波背景輻射偏光の衛星観測計画である。原始重力波に由来する偏光信号は、既に観測で確認されている密度揺らぎ由来の偏光成分に比較して極めて微弱な信号であると考えられており、その検出に向けた取り組みにおいては、徹底した系統誤差の理解と克服が必要不可欠な要素である。

ファースイドローブを経由した銀河面からの輻射流入は前景放射分離に大きな影響を与え、最大の汚染源の一つと考えられている。本研究では、ビーム畳込みのフルシミュレーションを行うことで、実際の光学系では避けられない不規則なサイドローブに由来する系統誤差を定量的に評価する。

<http://litebird.jp/>

● JSS2 利用の理由

偏光の全天地図を作成するため LiteBIRD は走査観測を行う。そのため、ビーム畳込み計算はサンプリングレートである約 20 Hz の頻度で一年間分繰り返される。GRASP を利用した物理光学計算に基づくビーム関数は数分角の分解能でほぼ全天わたって広がっており、サンプリング毎におよそ百万グリッド点で評価される。積分とそれに伴う座標変換の繰り返しは莫大な計算量を要求するため、高性能の数値計算資源を必要とする。

● 今年度の成果

一連のシミュレーションは、走査観測、ビーム畳込み、偏光地図作成からなる。マイクロ波背景輻射が比較的強い 100GHz 帯と、シンクロトロン放射が支配的な 40GHz 帯の各々の帯域についてシミュレーションを実行し、ビームサイドローブの場所毎にそこを経由した銀河面からの輻射流入による汚染の

程度を評価した。

(図 1) は 100GHz 帯でのシミュレーションに用いられたビーム関数を,ピークからの距離に対してプロットしたものである.ピークから 0.2 ラジアン程度離れた所でおおよそ -50dB まで振幅が抑制され,それ以遠はなだらかにサイドローブが延びる.このビームパターンと 100GHz 帯の前景放射モデルを用いたシミュレーションの結果(角度パワースペクトル)が(図 2)である.0.2 ラジアン以遠のサイドローブを経由する汚染が,重力レンズによるノイズフロア(破線)に対して最大で約一桁下まで迫っており,原始重力波の信号をバイアスする危険性が示唆されている。

(図 3) は 40GHz 帯でのシミュレーションに用いられたビーム関数,(図 4)はこのビームパターンと 40GHz 帯の前景放射モデルを用いたシミュレーションの結果である.100 GHz に比べてサイドローブ経由の汚染が大きいのは,シンクロトロン放射が卓越する帯域であることと,低周波であるため大きなサイドローブ振幅を持つことが理由である.焦点面の端に位置する素子であるためビームパターンに非等方性があり,0.2 ラジアンから 0.4 ラジアンにかけた盛り上がった構造が射影されているものの,汚染の程度はおおむね基線のトレンドに対応していることが確認された。

シミュレーションによる検討から,LiteBIRD の光学系におけるサイドローブの較正要求は -60dB との評価結果を得ることができた.また上述のシミュレーションに加えて,角度分解能を高めた数値的収束性の試験や,予めマスクをかけた地図でシミュレーションすることによる汚染源の同定計算なども行い,結論の信頼性について検証を行った。

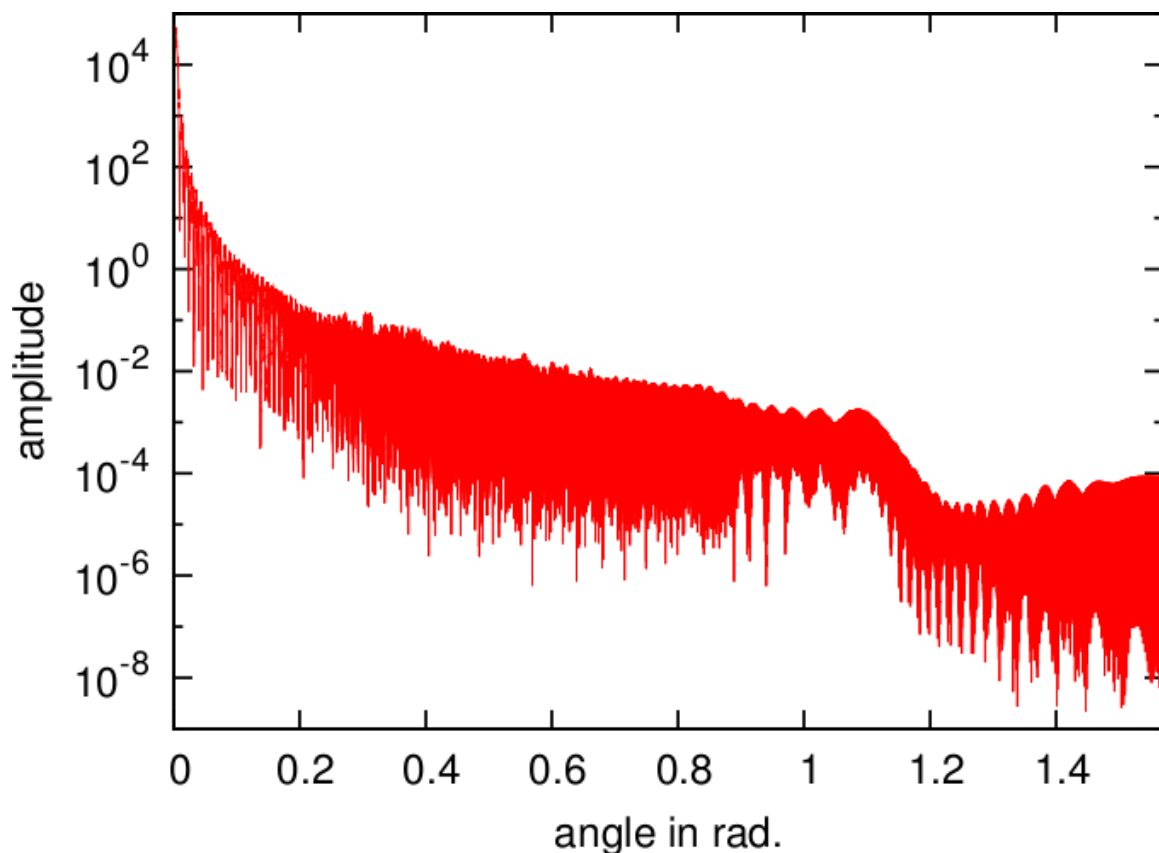


図 1 GRASP シミュレーションによる 100GHz ビームパターン

: 今田大皓氏 (ISAS/JAXA) 提供

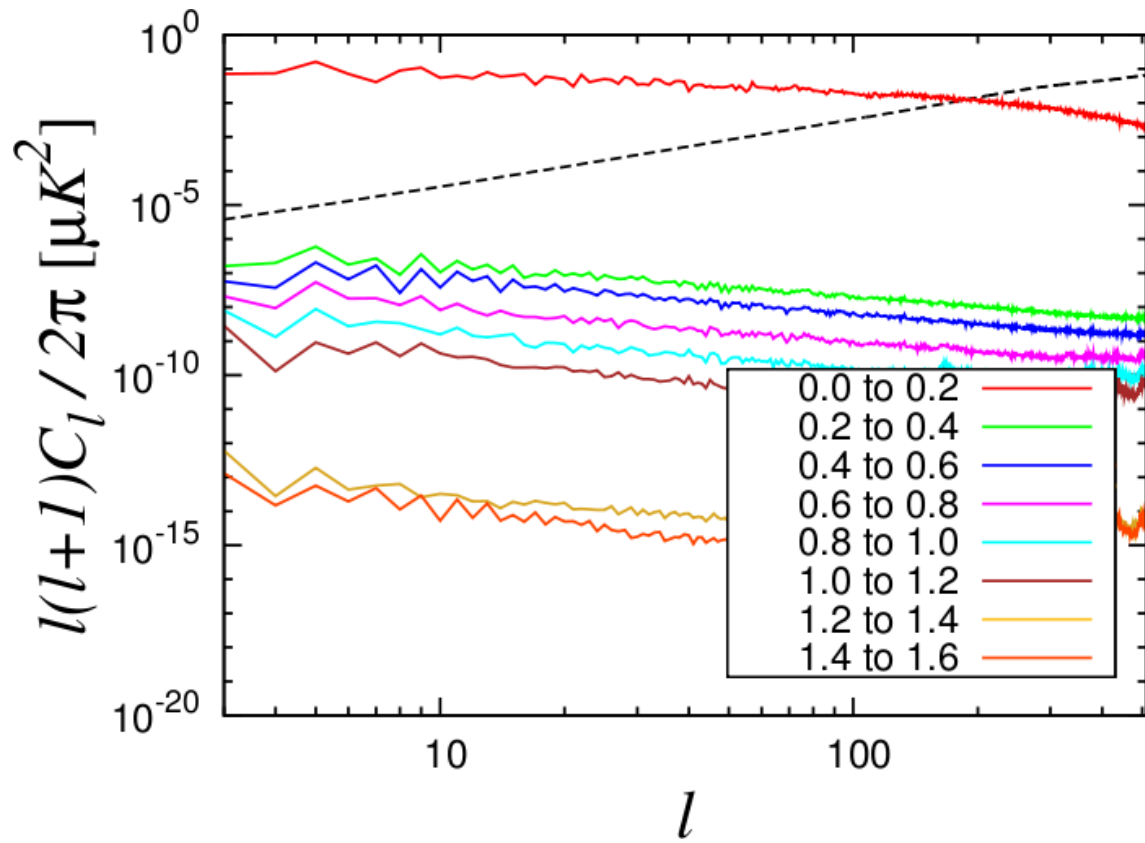


図2 サイドローブを経由した 100GHz 前景放射による汚染の角度パワースペクトル

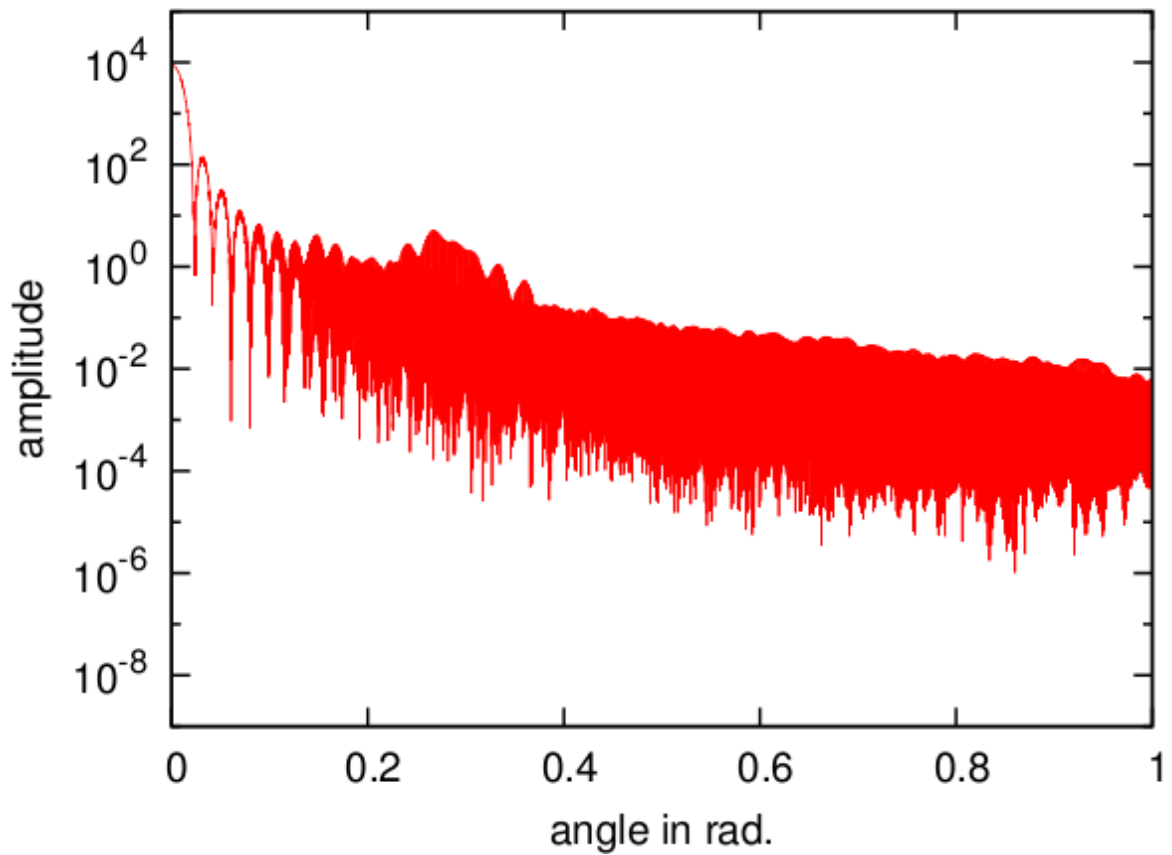


図3 GRASP シミュレーションによる 40GHz ビームパターン
： 今田大皓氏 (ISAS/JAXA) 提供

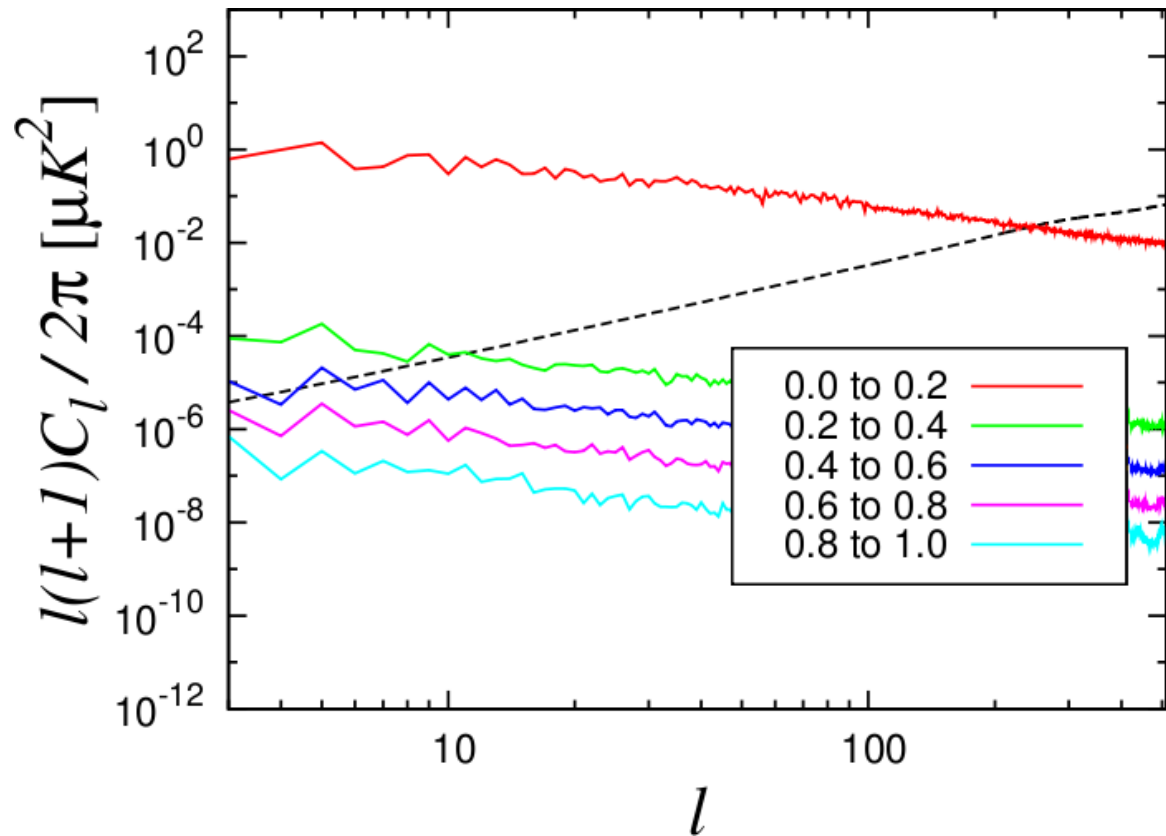


図4 サイドローブを経由した 40GHz 前景放射による汚染の角度パワースペクトル

● 成果の公表

● 口頭発表

- 1) 永田竜, "CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 X", 日本天文学会 2017 年秋季年会
- 2) 永田竜, "CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 XI", 日本天文学会 2018 年春季年会

● Web 上の研究成果の URL

- 1) <http://litebird.jp/>

● JSS2 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	OpenMP
プロセス並列数	32
1 ケースあたりの経過時間	2.50 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.25

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	2,045,870.27	0.27
SORA-PP	18.72	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	009.54	0.01
/data	1,907.35	0.04
/ltmp	1,953.13	0.15

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

解適合格子法を用いた燃焼流の研究

報告書番号：R17JACA35

利用分野：JSS2大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4296/>

● 責任者

ジェミンスカエディータ 上智大学

● 問い合わせ先

ジェミンスカエディータ Edyta.d@sophia.ac.jp

● メンバ

ジェミンスカエディータ,相島雄太,佐藤航太,原悠人,森下允晴,坂井創,仁賀雄一,山本祥太,唐新猛

● 事業概要

可燃性流れ,特に標準圧または高圧力の H_2/Air と H_2/O_2 混合気体の挙動を主に調べる. 興味のある物理現象としては,噴流火炎,水素安全の問題,デフラグレーションからデトネーションへの遷移,そしてデトネーション現象である. また,デトネーションを使った回転デトネーションエンジンの解析も試みたい.

また,可燃性流れのシミュレーションのための良く設計された解適合格子法のコードも完成させ,水素噴流火炎や DDT 過程の問題を計算するために用いたい. DDT 過程におけるデトネーションの開始の誘導時間の傾きの問題のような基礎的な機構が AMR による高解像度の活用により明らかにされ,議論される. どのように速く,どのように幅広く水素が流れるのかというような工学的なパラメータもまた,燃焼特性と共に解析される.

● JSS2 利用の理由

局所的に高解像度を与える解適合格子法により可燃性流れをシミュレートするために数値計算が用いられる. 詳細な火炎とデトネーション構造を議論するために,火炎場やデトネーション場が,時間と二次元,三次元の大規模空間でのシミュレーションで再現されるために用いられる. それ故,スーパーコンピュータがこのような研究をするために必要になる. それなしでは,有効なデータを得ることは難しくなる.

● 今年度の成果

- 反応モデルを挿入した AMR プログラムを更に完成させた.
- 計算された噴流は,噴流の特徴を解析し,噴流火炎をスタートするに十分な浸透距離に発達した.
- デフラグレーションからデトネーションへの遷移 (DDT)が,高解像度の H_2/O_2 混合気体で満たされた管内に再現され,DDT とデトネーションの基礎的なメカニズムが議論された.

- 4本の査読付き論文がこれらの計算結果により書かれ,世界的に著名でインパクトファクターの高い雑誌に印刷された.

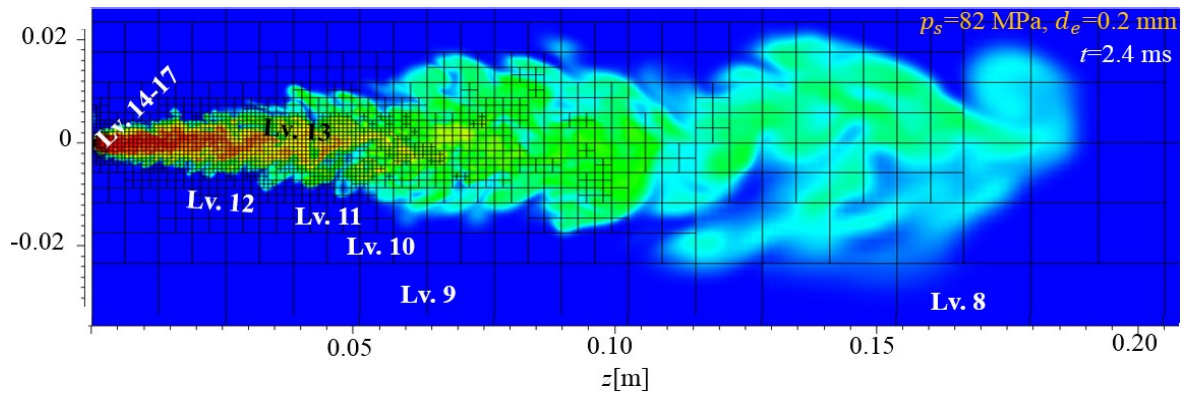


図1 次図は,yz 面での 82MPa の噴流圧力の瞬間的な水素の濃度分布である. 黒の実線は,ポンチ絵的に描いたブロックの境界を表す. より簡単な後処理のために,AMR ブロックの数は,実際の計算での完全 AMR ブロック数の 4 分の 1 に減らされている. 例えば,時間 t が 2.4ms の時,全部で 12 万ブロック (1 億 2 千万格子点) が用いられた. 可視化のために,3 万ブロックに減らされている.

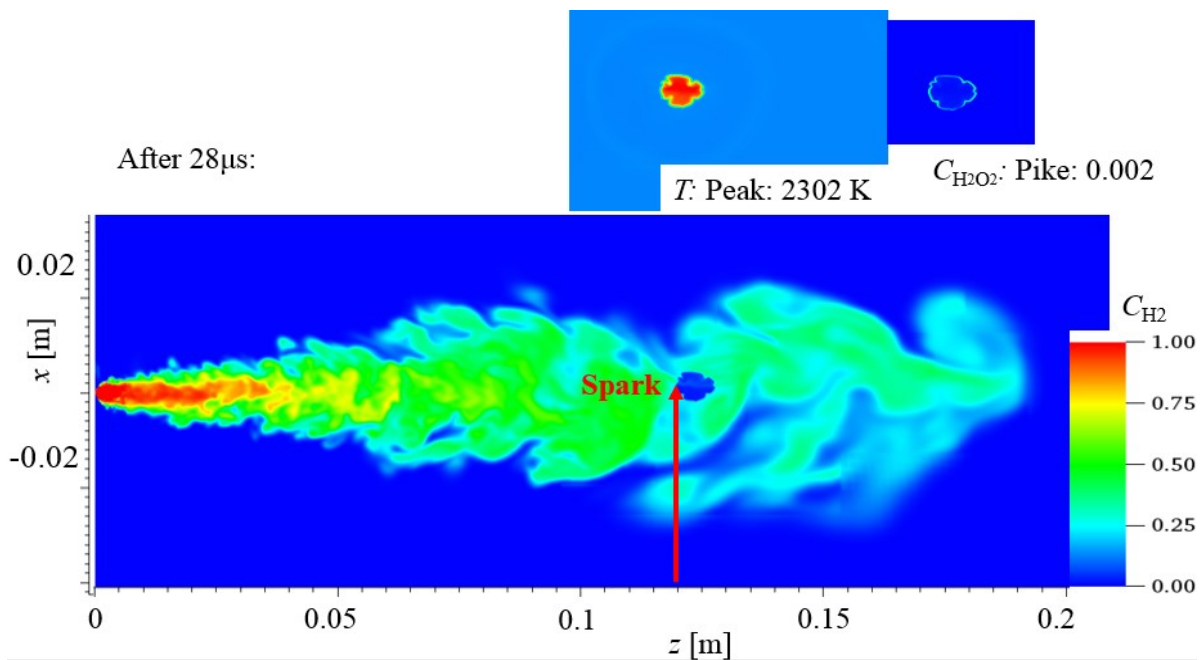


図2 ある位置でのあるエネルギーを投入して行われた水素噴流における着火である.

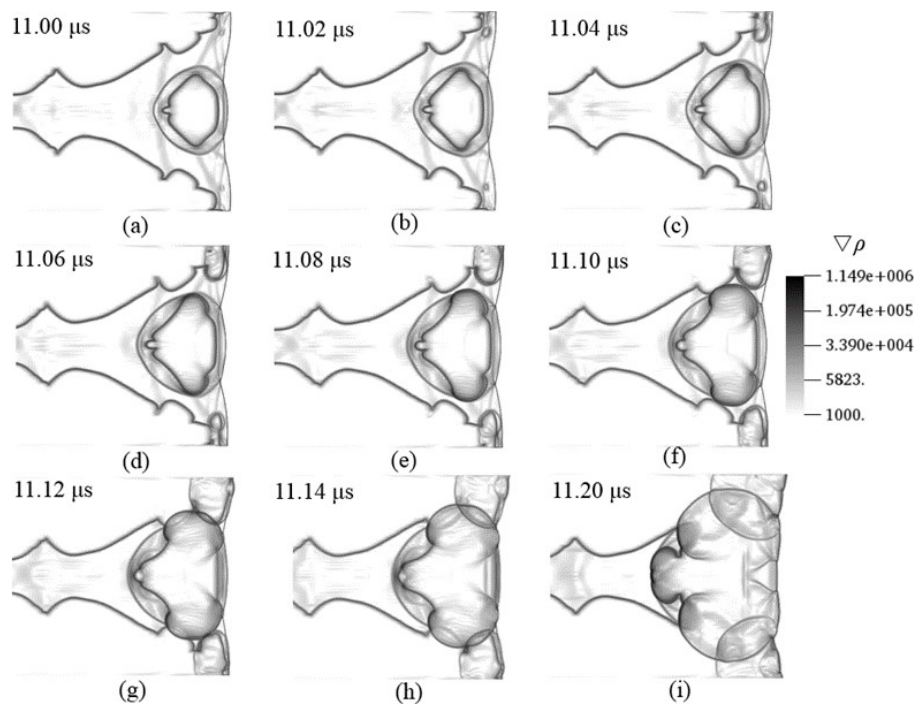


図 3 H₂-O₂ で満たされた管内での密度勾配 $\nabla\rho$ の時間履歴によって描かれたデトネーションの開始 瞬間的な反応が広がり,周りの衝撃波になる膨張する反応生成物を作り出している. DDT における Zeldovich の誘導時間の傾きがはっきりと見える.

● 成果の公表

● 査読付論文

- 1) Xinmeng Tang, Edyta Dzieminska, Makoto Asahara, A. Koichi Hayashi and Nobuyuki Tsuboi. Numerical investigation of a high pressure hydrogen jet of 82 MPa with adaptive mesh refinement: concentration and velocity distributions. International Journal of Hydrogen Energy 2018 (Accepted).
- 2) Xinmeng Tang, Edyta Dzieminska, Makoto Asahara, A. Koichi Hayashi and Nobuyuki Tsuboi. Gradient mechanism on the onset of detonation in the deflagration to detonation transition. Submitted to Proceedings of combustion institute as PROCI-S-17-02072.
- 3) Xinmeng Tang, Edyta Dzieminska, A. Koichi Hayashi, Nobuyuki Tsuboi and Makoto Asahara. Numerical simulation of the auto-ignition and DDT by AMR. Archivum Combustionis 2018 (Resived).
- 4) Xinmeng Tang, Edyta Dzieminska, Makoto Asahara, A. Koichi Hayashi and Nobuyuki Tsuboi. Investigations of 105 MPa hydrogen jets. To be submitted to Science and Technology of Energetic Materials.

● 口頭発表

- 1) 林光一, 坪井伸幸, 朝原 誠, Xinmeng Tang, Edyta Dzieminska. 小孔から噴出した高圧水素ジェット中の着火の数値解析. 第 55 回燃焼シンポジウム, 富山, 2017.

● JSS2 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	自動並列
プロセス並列数	256 - 2560
1 ケースあたりの経過時間	100.00 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.12

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	1,003,703.34	0.13
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	052.45	0.04
/data	524.52	0.01
/ltmp	10,742.19	0.81

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