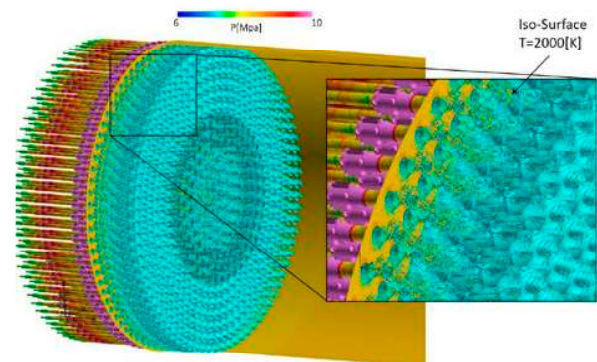
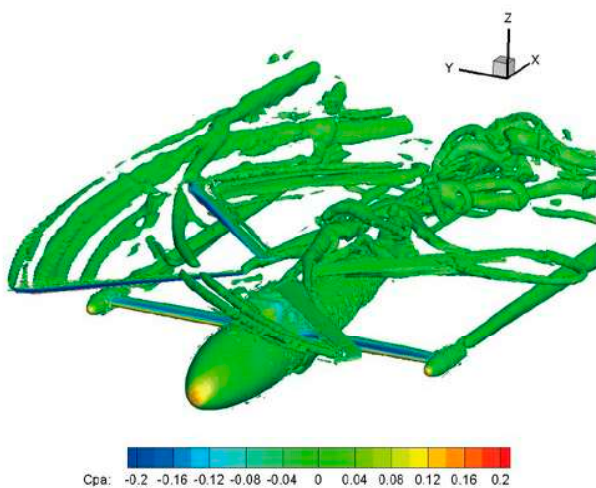


# JAXA スーパーコンピュータシステム 利用成果報告

(2020年4月～2021年3月)



セキュリティ・情報化推進部  
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

## 目次

JSS 大学共同利用 .....	1
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 .....	2
DNS 解析に基づく高マッハ数混相乱流 LES モデルの構築 .....	9
ナノ秒パルス駆動プラズマアクチュエータを用いた気流制御に関する放電・流れの連成解析 .....	12
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 .....	16
マイクロプラズマアクチュエータの表面分布法の検討 .....	19
ロケットエンジンおよび超音速飛行体用エンジンに関する燃焼流体の研究 .....	23
圧縮性熱乱流境界層の物理とモデリングに関する研究 .....	27
圧縮性乱流の高精度数値シミュレーションに関する研究 .....	32
火星ヘリコプターのローター空力特性に関する数値的研究 .....	38
機械学習による流体運動の予測と最適化 .....	44
再使用型宇宙輸送システムの複合領域設計最適化への高精度空力解析の適用 .....	48
再使用型細長物体の空力特性についての数値解析 .....	52
細長物体の遷音速空力特性に対するレイノルズ数効果の影響 .....	57
大規模 CFD 解析におけるポスト処理効率化のためのデータステージング技術に関する研究 .....	62
低レイノルズ数条件下におけるマッハ数効果の伴う空力特性解析 .....	66
低レイノルズ数領域でプロペラの影響を受ける固定翼の数値解析 .....	70
爆轟波伝播に関する基礎的な数値解析 .....	75
発達した乱流の大規模数値シミュレーション研究 .....	81
飛行体超音速空力特性 .....	86
複雑形状まわりの高レイノルズ数 LES に向けた超高次精度非構造格子法に関する研究 .....	91
宇宙科学 .....	95
AGN 周囲における輻射輸送計算 .....	96
CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD の光学要求解析 .....	100
高速流体力学に関する学術研究 .....	104
先端的宇宙機推進機のプラズマ流れの数値解析 .....	108
電気推進のプラズマ計算 .....	111
非線形フォースフリー磁場計算による「ひので」観測に基づく太陽コロナ磁場推定 .....	114
宇宙技術 .....	118
ALOS/PALSAR 全数処理 .....	119
GOSAT-2 プロジェクト .....	123
GOSAT-2 利用研究 .....	126
GPM/DPR のデータ受信処理 .....	130
GPM 全球降水マップのデータ同化手法の研究 .....	134
H3 ロケットプロジェクト .....	144
JSS2 における MADOCA を用いた高精度軌道決定 .....	147
PALSAR-2 データ全数処理 .....	150
ターボポンプに関する設計解析 .....	154



温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)運用事業及び GOSAT 利用研究 .....	157
改良型高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)運用事業(高次処理試行).....	162
海洋衛星データ同化システムの構築検討 .....	165
降水観測ミッション利用研究 .....	172
大気環境物質監視シミュレーション .....	177
宇宙探査 .....	183
システムレベル技術検討に必要な着陸候補地点の解析 .....	184
月極域探査ミッション検討.....	187
技術習得方式 .....	190
インテークに関する研究 .....	191
クロスフロー型微粒化機構のモデリングに関する技術習得.....	195
コンパウンド・ヘリコプタ模型の数値解析 .....	198
ラムジェットエンジンの燃焼数値解析手法の技術習得 .....	202
高速回転翼機技術研修 .....	207
再突入カプセルの遷音速不安定に関する研究.....	212
静粛超音速機技術の基礎研究 .....	216
抵抗低減機体設計技術の研究 .....	220
複数ロータの前進飛行性能に関する研究.....	223
競争的資金.....	227
「富岳」成果創出加速プログラム 航空機フライト試験を代替する近未来型設計技術の先導的実証研究 ..	228
ImPACT ドローン受託研究.....	234
JAXA-SUBARU 共同研究(回転翼).....	240
ロータブレードの最適化 .....	245
火星ヘリコプタの概念設計およびブレード形状最適化に関する研究 .....	250
火星ヘリコプタの形態および空力的に最適なブレード形状の研究 .....	254
回転爆轟波の詳細構造の解明 .....	259
極超音速飛行に向けた流体・燃焼の基礎研究.....	264
普遍的な LES を実現する SGS 応力方程式型モデリングの研究.....	270
研究開発 .....	276
システム安全・運用評価技術 .....	277
ターボポンプ解析技術 .....	281
デブリ推移モデルによる長期軌道上デブリ環境予測.....	285
トポロジー最適化の適用による性能向上についての探求.....	289
プロジェクト課題対応.....	292
液体推進システム解析技術.....	295
将来輸送システムの研究(空気吸い込み式輸送システム) .....	299
将来輸送技術の研究(エンジン流路形状の研究).....	305
植生ライダーの研究.....	311
燃焼解析技術 .....	315
航空技術 .....	320

aFJR 実用化促進事業 .....	321
En-Core プロジェクト用燃焼器の内部流れに関する研究.....	325
FaSTAR-Move 実用化促進事業 .....	330
FQUROH+ 解析ツール改修 .....	334
VG 利用による航空機性能向上に向けた VG 配置設計ガイドライン構築.....	337
エコウィング技術の研究開発(空力システム設計技術).....	340
エコウィング技術の研究開発(将来システム設計基盤技術) .....	343
エミッションフリー航空機技術の研究開発 .....	346
コアエンジン技術実証プロジェクト/タービン冷却解析 .....	350
デジタルタフト .....	353
フルフライトエンベロープの予測を目指した非定常流体解析に関する研究.....	357
マルチフィジックス解析技術に関する研究 .....	362
回転機械内部流れのシミュレーション高度化.....	365
革新環境航空機技術の研究開発/高効率環境航空機(リブレット技術) .....	369
機体騒音低減技術の研究開発(FQUROH+)空力解析 .....	373
機体騒音低減技術の研究開発(FQUROH+)低騒音化設計研究.....	377
機体動揺低減技術の飛行実証 .....	381
共同研究:遷音速用第2制限関数による高解像度・高効率 CFD 手法 .....	384
共同研究:動安定解析の研究.....	389
極超音速推進技術の飛行環境実証.....	393
空力モデル構築・比較の効率化 .....	398
空力モデル構築・比較の効率化(間接レイノルズ数効果の調査) .....	402
空力構造連成解析技術に関する研究 .....	406
現象解明とモデリングにもとづく燃焼器解析システムの研究 .....	409
構造・複合材技術に関する研究 .....	414
航空機開発の高速化を実現する基盤応用技術の研究開発(最適化).....	419
航空用エンジン複雑形状の内部流解析技術向上のための研究 .....	423
高機能軽量構造研究.....	427
高速回転翼機技術研究 .....	430
再突入カプセル空力試験技術 .....	434
次世代ジェットエンジンの設計解析技術開発/高性能圧縮機技術, 性能予測解析.....	438
次世代ジェットエンジンの設計解析技術開発/低騒音化技術 .....	441
磁力支持空力特性 .....	445
実機形状燃料ノズルの性能向上に関する研究.....	449
受託研究:自動車エンジン燃焼室3次元 CFD コアソフトの構築.....	453
将来航空機のエンジン埋め込み・境界層吸込み時のファン空力特性に関する研究.....	457
静粛超音速機技術の研究開発 .....	461
多次元時系列データ解析手法に関する研究 .....	465
大気突入実在気体熱空力評価 .....	468
燃料ノズルの微粒化・噴霧燃焼解析 .....	472

事業共通 .....	476
Interface-resolved DNS による複数液滴蒸発の大規模解析 .....	477
S&MA 基盤「品質工学ツール(JIANT)」の構築・維持 .....	481
フルスケール液体ロケットエンジン燃焼器の LES .....	485
大規模フルカラーTomographyデータの 3D 可視化:ヒトの網膜の解像度を突破する.....	492
流体解析ソフトウェア UPACS を活用したターボ機械分野向け流体解析システム開発.....	496
連携大学院.....	499
3次元キャビティ流れに関する研究.....	500
CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD の宇宙線影響評価 .....	503
宇宙機のダイナミクスに関する研究 .....	506
重力的に不安定な原始惑星系円盤における惑星軌道の変化.....	510
将来輸送システムの研究(複合サイクルエンジン)(JAXA-東北大学連携大学院).....	515
JSS の利用概要.....	520
2020 年度 JSS 利用概要 .....	521

表紙に用いられている図版は、本報告内の以下から採ったものです。

報告書番号	題名
R20JDA101R20	機体騒音低減技術の研究開発(FQUROH+)空力解析
R20JCMP10	JAXA-SUBARU 共同研究(回転翼)
R20JFHC0303	フルスケール液体ロケットエンジン燃焼器の LES

## JSS 大学共同利用



**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：R20JACA26

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14474/>**● 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.

**● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点**

大規模な 3 次元非定常流れシミュレーションを JAXA スーパーコンピュータで計算実績が豊富な圧縮性流体解析ソルバ LANS3D を用いて実施可能なため.

**● 今年度の成果**

DBD プラズマアクチュエータ(以下 PA)を用いた NACA0015 翼周り流れ(レイノルズ数:63,000)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, 本事業でこれまで制御効果が確認されているフィードバック制御モデルの性能検証を行った. 検討する制御モデル(図 1)は翼面上に配置された圧力センサーで計測した圧力値の低下を渦の通過と仮定し, 渦の通過に応じて翼前縁付近に配置されたアクチュエータの ON/OFF を切り替えるものである.

これまで我々は NACA0015 翼周りの流れにおいて失速迎角付近の 12 度を中心に剥離制御モデルの有効性を示してきた. 昨年度は巡航迎角(4, 6, 8 度)における流れに対しても前縁近傍の剥離泡に対して制御モデルが一定の効果をもつことを確認した. 今年度は, より低迎角(2 度)のシミュレーションを追加し, 既存の制御手法や低迎角で高い翼性能を示す石井翼のシミュレーション結果と比較し, フィードバック制御モデルの低迎角での有効性を検証した.

図 2 に迎角 2~8 度の NACA0015 翼周り流れにフィードバック制御モデル(Feedback)とバースト制

御(Burst), 非制御(Baseline), 石井翼(ISHII)における揚抗比(L/D)を示す。迎角 4, 6, 8 度において, フィードバック制御は既存の制御法であるバースト制御と比較して同等以上の高い揚抗比を得ることがわかる。一方で, 2 度においては非制御時よりも揚抗比が低下しており, フィードバック制御モデルに改良の余地があると言える。この原因を解明するために流れ場の分析を行った。図 3 に迎角 2 度におけるフィードバック制御モデルと非制御ケースの翼面上圧力分布を示す。制御モデルの適用によって翼上面では圧力は上昇し, 下面で減少している。したがって, これらの差で生じる揚力は大きく減少する。抗力もわずかに減少しているが, 揚力の減少のほうが大きいため揚抗比が非制御ケースに比べて減少している。

図 4 に迎角 2 度のフィードバック制御モデルと非制御ケースの瞬間流れ場を示す。等値面は速度勾配テンソルの第二不変量をコード長方向速度で色付けしたもので, 渦構造を示している。非制御流れでは前縁から後縁にかけて大規模な層流剥離泡が生じている。この剥離泡によって翼上面の広範囲で低い翼面圧力が維持されている。一方でフィードバック制御モデルを適用したケースでは, PA の駆動によって二次元的な渦が生成され, 下流へと流されていく。これらの渦は層流剥離を抑制し, 結果として翼上面の圧力を回復させるはたらきを持つ。このように迎角 2 度においては当該事業で検討しているフィードバック制御モデルを適用することで剥離は抑制されるものの, 剥離泡によって得られていた揚力が大幅に減少することで揚抗比が低下することがわかった。今後, 意図した条件下で剥離制御効果を弱めるなど, フィードバック制御手法を改良することでより幅広い迎角で高い翼性能を維持することができるようになると考えられる。

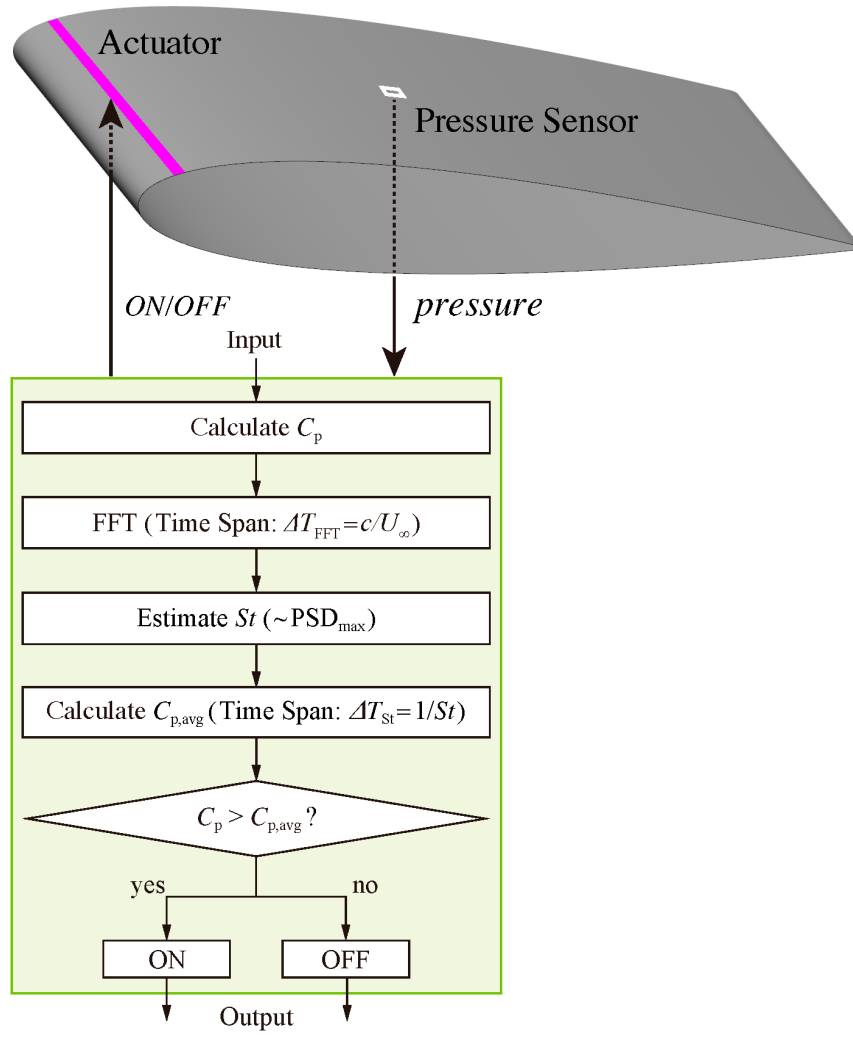


図1: 提案する翼流れフィードバック剥離制御モデル.

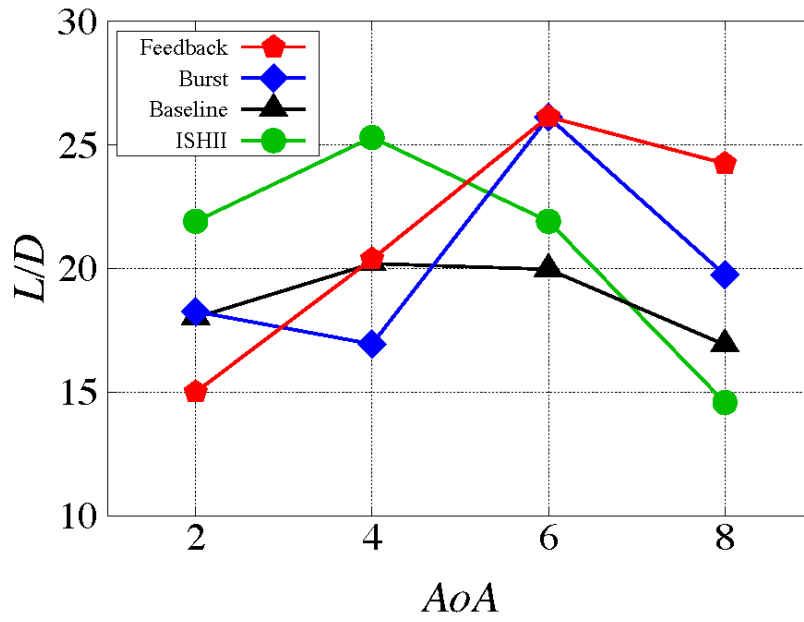


図 2: 迎角 2-8 度における揚抗比(L/D).

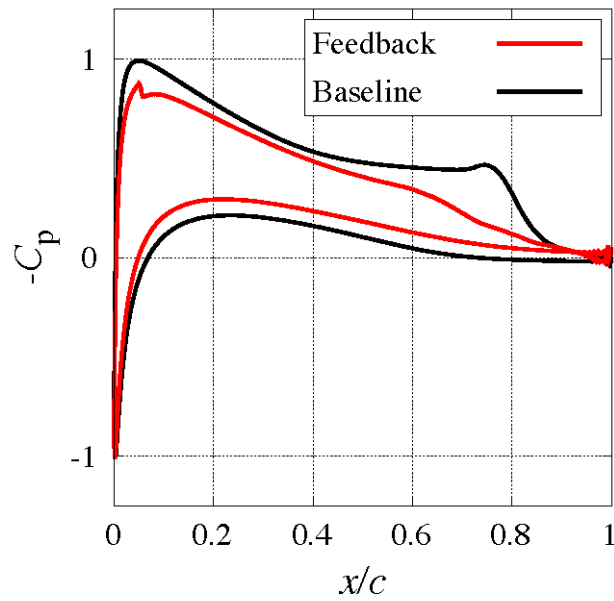


図 3: 翼周り圧力係数分布:フィードバック制御流れ(Feedback)と非制御流れ(Baseline).



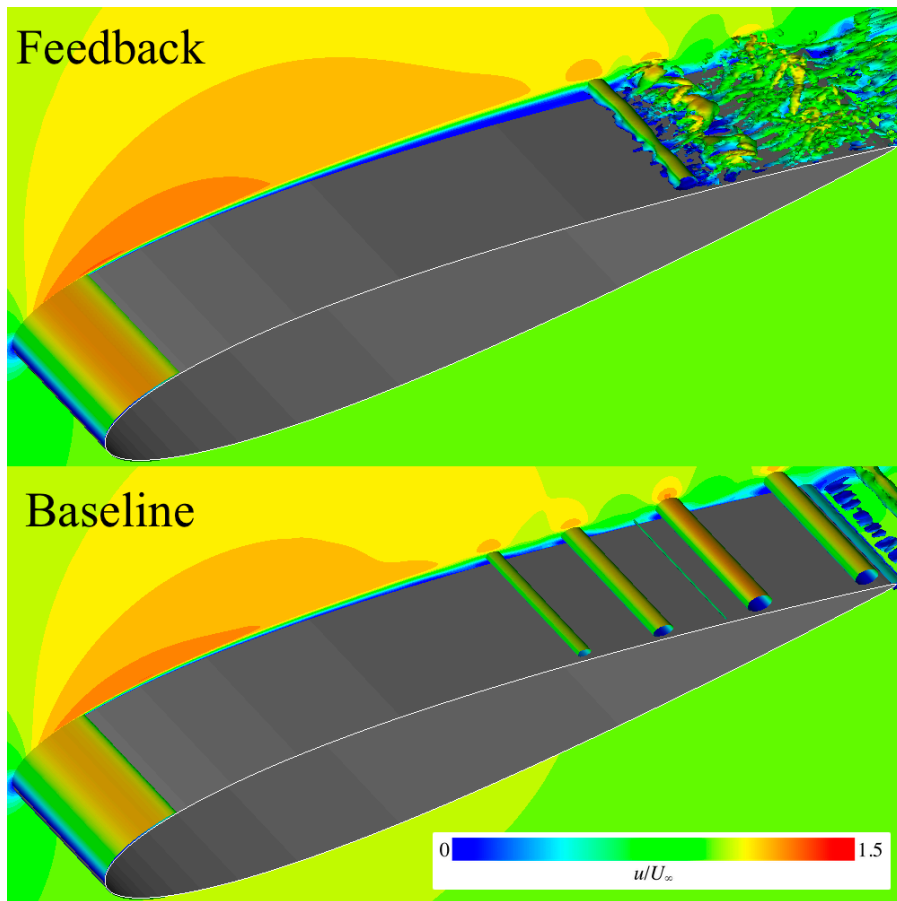


図 4: 瞬間流れ場:フィードバック制御流れ(Feedback)と非制御流れ (Baseline).

● 成果の公表

なし

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	79
1 ケースあたりの経過時間	30 時間

## ● JSS2 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	133,794.84	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	52.45	0.05
/data	15,315.10	0.30
/tmp	2,929.69	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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	57.22	0.04
/data	15,981.76	0.27
/ssd	190.73	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

## 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：R20JACA11

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14460/

### ● 責任者

福田 紘大, 東海大学

### ● 問い合わせ先

福田 紘大 東海大学(fukuda@tokai-u.jp)

### ● メンバ

福田 紘大, 野々村 拓, 永田 貴之

### ● 事業概要

高マッハ数固気混相乱流の理解に向けて圧縮性低レイノルズ数流れにおける単体粒子周り流れの直接解析(Direct Numerical Simulation: DNS)を行い, 粒子の存在が高速乱流現象に与える影響を明らかにする.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

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

本年度は解析の実施を予定していたが, これまでの結果を整理した結果, 解析の必要がなくなったため解析を行っていない. 昨年度までに行った計算データの整理や論文化, 次に行う計算のコード整備などを行った.

### ● 成果の公表

-査読付き論文

Nagata, T., Nonomura, T., Takahashi, S., and Fukuda, K., "Investigation on subsonic, transonic and supersonic flow over an isolated sphere up to a Reynolds number of 1000 by direct numerical simulation," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 904, A36 (2020)



## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	289
1 ケースあたりの経過時間	0.1 秒

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	97,250.85	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	39.21	0.04
/data	22,871.24	0.44
/tmp	2,712.67	0.23

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	31.90	1.06

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	65.70	0.05
/data	32,094.33	0.54
/ssd	137.75	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	31.90	1.06

※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

## ナノ秒パルス駆動プラズマアクチュエータを用いた気流制御に関する放電・流れの連成解析

報告書番号：R20JACA16

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14464/>

### ● 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

大気圧放電を利用した新しい能動的気流制御デバイスとして、DBD (Dielectric Barrier Discharge) プラズマアクチュエータが注目されている。本事業では、高速気流中での剥離抑制効果が期待されているナノ秒パルス駆動プラズマアクチュエータによる剥離流れ制御メカニズムの解明を目的として、放電現象と流体现象を統合的に扱う数値計算を実施する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

放電過程の数値計算は荷電粒子の運動と同時に電場を解く必要があり、計算負荷の大きい Poisson 方程式をタイムステップ毎に解かなければならない。さらに、時間スケールがナノ秒オーダーの放電過程とミリ秒以上の流体现象を同時に扱わなければならないため、本事業で実施する計算には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

今年度では、放電計算と流体計算の連成解析に先立ち、翼周りの剥離流れ制御に関する Large Eddy Simulation を実施した。ナノ秒パルス駆動プラズマアクチュエータによる加熱の影響は先行研究で得られている簡易的な加熱モデルを使用し、加熱量は実験結果を参考に設定した。翼の全縁にプラズマアクチュエータを設置し、一定の周波数でナノ秒パルス放電を発生させることで剥離流れが抑制できることを数値的に確認した (図 1)。今後は、実験結果との定量的な比較および放電計算によって得られた複雑な 3 次元的な加熱の影響を考慮した連成数値解析を実施する予定である。

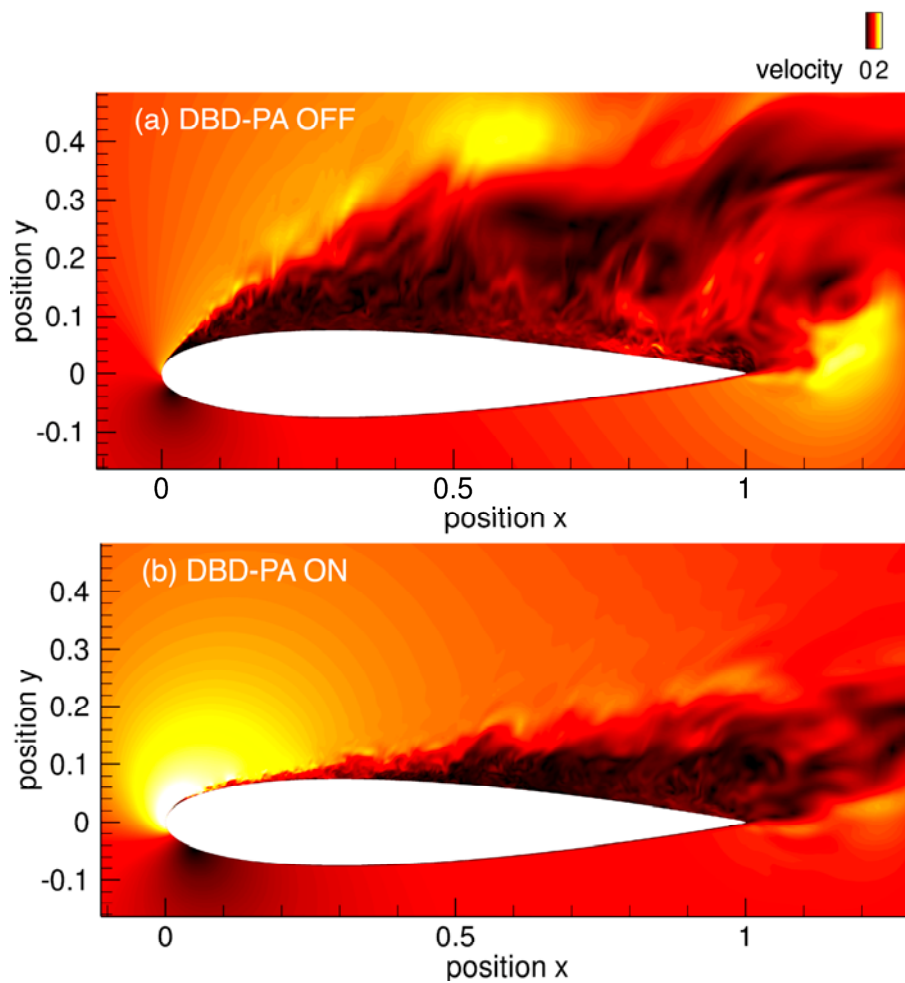


図 1: 繰り返しパルス放電による剥離流れの抑制.

● 成果の公表

なし

● 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	2 - 960
1 ケースあたりの経過時間	72 時間



## ● JSS2 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	621,425.40	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	195.50	0.18
/data	9,813.31	0.19
/ltmp	2,929.69	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	6.46	0.21

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	190.73	0.13
/data	9,765.63	0.16
/ssd	95.37	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	6.46	0.21

※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：R20JACA17

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14466/>

### ● 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

ビーム推進機の飛行性能改善に向けて優れた設計を模索すべく、ビーム支持プラズマと衝撃波伝搬過程を数値計算により再現し、それらの電離構造と伝播速度の照射ビームパワー依存性を調査する事目的とする。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

放電過程と衝撃波伝搬過程とは時空間スケールが大きく異なり、放電現象のシミュレーションに計算速度が律速されて計算コストが膨大となる。ビーム支持プラズマの伝搬過程を再現する為には大規模計算を行える JAXA スパコンが必須となる。

### ● 今年度の成果

プラズマ流体モデルを利用した電磁波-プラズマ-衝撃波-化学反応-輻射連成シミュレーションにより、低強度ビーム照射時には輻射によって電離波面より前方に種電子が供給され、プラズマ伝搬が維持される事が示された。更にビーム強度を下げると熱電離過程が種電子供給に支配的となり、電離波面伝搬速度としてはより遅くなる事が判明した。数値計算によって得られた伝搬速度は実験において確認された傾向と概ね一致した。本研究によって電離波面と衝撃波面の伝搬過程とその伝搬速度が予測出来たため、これを基に最適なビーム推進機ノズル長さを決定する事が出来る。

### ● 成果の公表

なし

## ● 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	1 - 256
1 ケースあたりの経過時間	10 時間

## ● JSS2 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	172,237.19	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	476.84	0.44
/data	9,765.63	0.19
/tmp	1,953.13	0.17

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	0.16
/ssd	95.37	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

## マイクロプラズマアクチュエータの表面分布法の検討

報告書番号：R20JACA47

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14496/>

### ● 責任者

松野隆, 鳥取大学

### ● 問い合わせ先

松野 隆(matsuno@tottori-u.ac.jp)

### ● メンバ

松野 隆, 森澤 征一郎, 金崎 雅博, 葛西 洋介, 原口 徹, 福嶋 祐貴, 岸 祐希, 岡田 慎太郎

### ● 事業概要

プラズマアクチュエータ (PA) は放電プラズマを利用した流体制御デバイスであり, プラズマの移動によって平滑な物体表面から壁面噴流が生成できるという, 流体力学的に非常に応用価値の高い特徴を持つ. 近年申請者らにより小スケールの PA を多数用いることにより, 表面に体積力分布を与える方法が提案されている. 本研究では高速流の境界層制御を念頭に置き, 3次元境界層の速度プロファイルを任意に制御するための PA 適用手法とその最適化手法について知見を得ることを目的とする.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

計算コストが高い大規模な 3次元流体解析と空力設計を行うためには, スパコンの演算能力が必要であり, これに加えて計算ツールの利用環境が整っている JAXA スパコンの利用は必須である.

### ● 今年度の成果

後退翼の翼型形状変更を伴う LES 計算のための格子生成手法を検討し, 並列分散 PA の空力設計法を構築した. 格子生成は building-cube 法ベースの自動格子生成プログラム BOXFUN を用い, 形状定義と最適設計を自動で行うフレームワークを用いて数値解析結果をもとに並列分散 PA と翼型の同時最適化を可能とした.

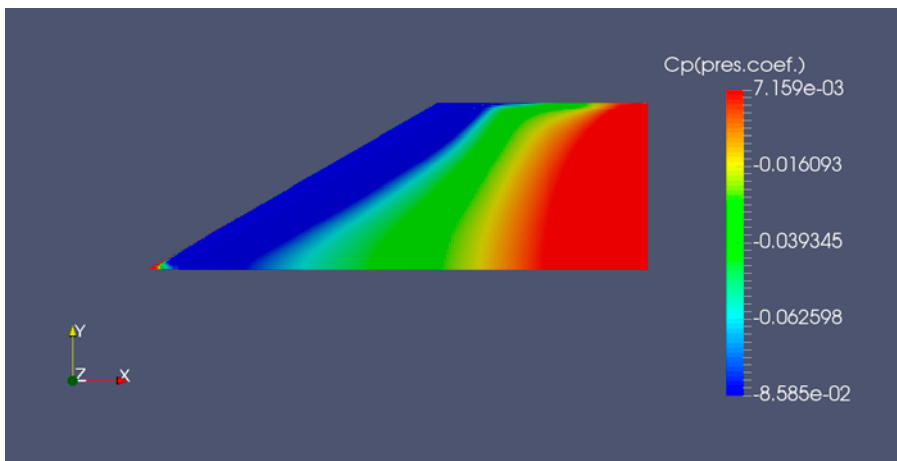


図 1: 後退平板翼の平面形状と圧力係数分布

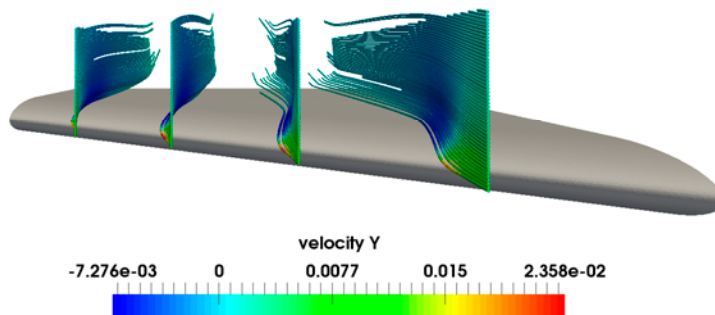


図 2: 後退翼翼面上の横流れ境界層

● 成果の公表

なし

● 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	1 - 1280
1 ケースあたりの経過時間	24 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.08

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	125,990.45	0.02
SORA-PP	83,753.28	0.66
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	361.60	0.33
/data	14,573.42	0.28
/ltmp	10,253.91	0.87

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	1.50	0.05

※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



## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	58,365.19	0.01
TOKI-RURI	2,103.13	0.01
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	352.06	0.24
/data	17,733.26	0.30
/ssd	405.31	0.21

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	1.50	0.05

※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

## 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：R20JACA01

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14456/

### ● 責任者

坪井伸幸, 九州工業大学

### ● 問い合わせ先

坪井伸幸(tsuboi@mech.kyutech.ac.jp)

### ● メンバ

坪井 伸幸, 小澤 晃平, 荒木 天秀, 岩佐 聡洋, Nicolas H. Jourdain, 下村 洸乃, 天野 泰嗣, 岩崎 幹太, 栗田 暢皓, 竹島 直己, Manjunath Darshan, 大倉 毅士, 井上 豪

### ● 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。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

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

超音速流れにおける噴流混合を調査する数値解析コードの検証を目的に円形ヘリウム噴流のILES/RANS ハイブリッド解析を行った。その結果、噴流近傍での衝撃波や渦構造を捉えることができた(図 1, 図 2)。また数値解析コードが超音速流れにおける噴流混合を正しく再現できていることを確認した。

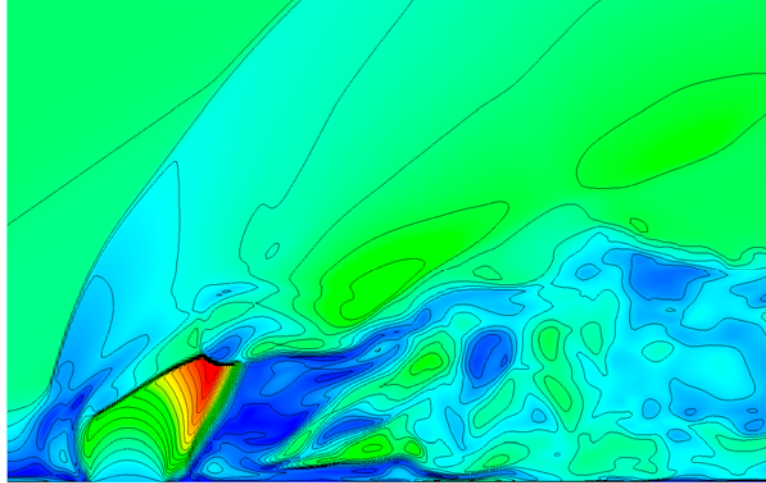


図 1: 瞬間マッハ数分布

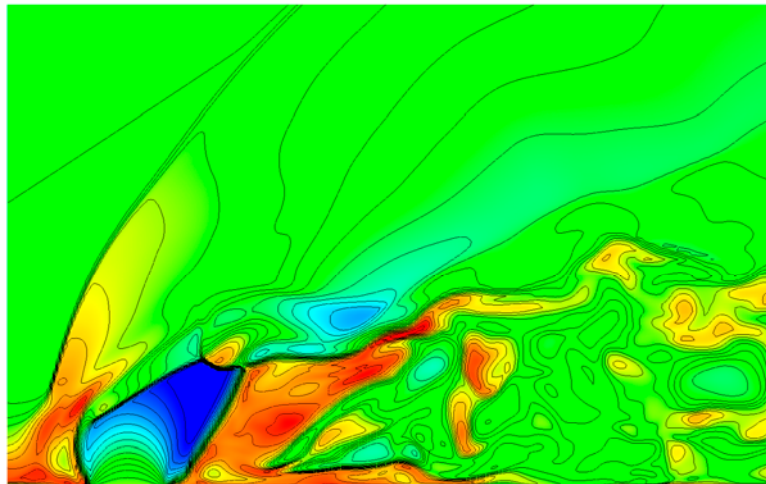


図 2: 瞬間温度分布

● 成果の公表

なし

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	8
1 ケースあたりの経過時間	840 時間

## ● JSS2 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	38,876.80	0.01
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	123.98	0.11
/data	1,239.78	0.02
/tmp	25,390.64	2.16

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	38.15	0.03
/data	381.47	0.01
/ssd	381.47	0.20

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 <sup>※2</sup> (%)
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：R20JACA31

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14476/

### ● 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

ryo.hirai.q7@dc.tohoku.ac.jp(ryo.hirai.q7@dc.tohoku.ac.jp)

### ● メンバ

河合 宗司, 玉置 義治, 平井 遼

### ● 事業概要

本研究では、加熱・冷却壁を伴う圧縮性乱流境界層において、壁面近傍の乱流統計および乱流構造を調査する。壁面温度によって生じる境界層内における局所レイノルズ数の変化が乱流物理に及ぼす影響を評価するために、レイノルズ数が境界層内で一定となる流体の数値実験を行い、境界層内でレイノルズ数が変わる一般的な理想気体のケースと比較を行う。

参考 URL: [http://www.klab.mech.tohoku.ac.jp/index\\_jpn.html](http://www.klab.mech.tohoku.ac.jp/index_jpn.html)

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

特に冷却壁条件において、高レイノルズ数によって乱流境界層の壁面近傍における渦が微小化するため、高忠実な LES 計算を行うために高い計算コストがかかる。よって、JSS2 などのスーパーコンピュータを用いた大規模並列計算が必要不可欠である。

### ● 今年度の成果

本研究では加熱・冷却壁を伴う乱流境界層に対して LES 解析を行い、壁面熱流束を伴う乱流境界層現象における詳細な乱流物理の解明を目指している。局所レイノルズ数  $Re_{\tau}^* = \sqrt{\rho} \sqrt{\tau_w} \delta_{99} / \mu_w$  が乱流統計に及ぼす影響を調査するために、粘性係数が密度の平方根に比例する ( $\mu/\mu_{\infty} = \sqrt{\rho/\rho_{\infty}}$ ) 流体を設定して境界層内の局所レイノルズ数が一定となる数値実験を実施し、従来の局所レイノルズ数が増加する理想気体のケースと比較する。LES の計算条件は以下のとおりである。主流条件はマッハ数が  $M_{\infty} = 2.28$ 、レイノルズ数が理想気体のケースで  $Re_{\theta} = 2,500$ 、レイノルズ数が一定のケースで  $Re_{\theta} = 1,300$  とした (レイノルズ数の代表長さ  $\theta$  は境界層の運動量厚さ)。空間差分に 6 次精度コンパクト差分法、時間積分法に 3 段 3 次 TVD Runge-Kutta 法を用いた。壁面温度  $T_w$  は空力加熱を受けた壁面温度 (回復温度) を  $T_r$  とした時に  $T_w/T_r = 0.5, 1.0, 2.0$  の

全3ケースを計算した.  $T_w/T_r < 1.0$  のときに冷却条件,  $T_w/T_r > 1.0$  のときに加熱条件,  $T_w/T_r = 1.0$  のときに擬似断熱条件となる.

図1に  $y^* \approx 15$  高さ断面における瞬時の主流方向速度変動を内層長さスケールで示す ( $l^* = \sqrt{\rho \sqrt{\tau_w} l / \mu}$  は準局所長さスケール). 理想気体(左列)の場合, 擬似断熱壁(図1a)と比較して加熱壁(図1c)ではより小さい乱流スケールが観察され, 逆に冷却壁(図1e)ではより大きな乱流スケールが見られる. 一方で, レイノルズ数一定の場合, 擬似断熱壁, 加熱壁, 冷却壁の間に乱流スケールの違いがほとんど見られないことがわかる(それぞれ図1b, 図1d, 図1f). 図1の結果から, 壁面温度の違いによって発生した乱流構造の変化には流体温度や密度などの熱力学変数そのものが影響しているのではなく, 局所レイノルズ数の変化が大きく寄与していることが示唆された.

図2に壁面近傍秩序乱流構造の条件付き平均流れ場における (a) 主流方向速度変動, (b) 平均速度, および (c,d) 平均速度の壁面垂直方向微分量の分布を示す. (a)の速度変動は図1で示された乱流構造に対応しており, 理想気体においては冷却壁でより大きな速度変動, 加熱壁でより小さな速度変動が生じている. また, レイノルズ数一定のケースにおいては理想気体のケースに比べて壁面温度による速度変動への影響が小さい. このような速度変動分布における特徴は(b)の平均速度分布, および(c)の1階微分の分布においても同様に観察される. さらに, (d)の2階微分の分布において速度変動のピークが生じる  $y^* \approx 15$  と同じ高さで変曲点が現れることが観察された. これらの図2の結果は, 乱流構造を表す速度変動成分と時間平均された速度の間に密接な相関関係があることを示唆している. さらに, 一定の局所レイノルズ数によるスケーリング効果も図1と同様に観察された. 以上の結果から, 局所レイノルズ数が熱乱流境界層の乱流統計および乱流構造における重要なスケーリングパラメータであることが示唆された.

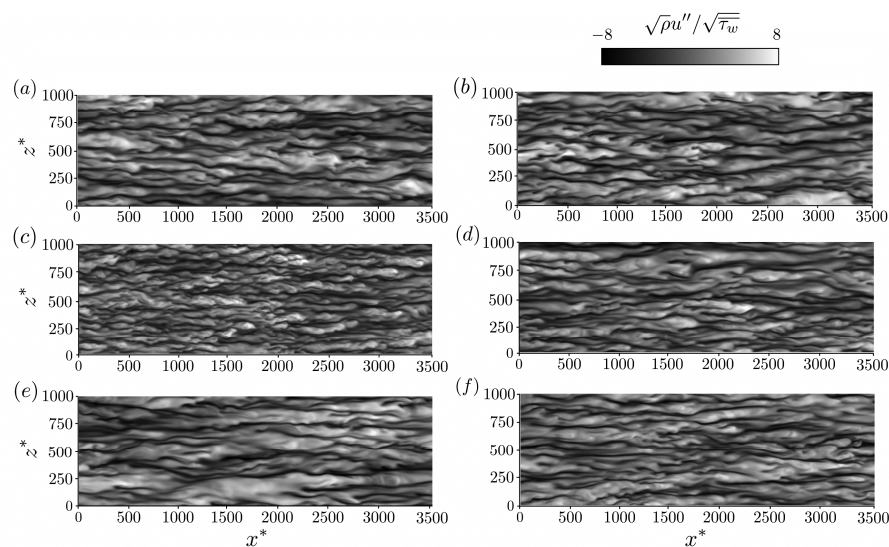


図1:  $y^* \approx 15$  の高さ断面における瞬時の主流方向速度変動. 左列, 理想気体のケース; 右列, レイノルズ数一定のケース. (a, b) 擬似断熱条件, (c, d) 加熱条件, (e, f) 冷却条件.

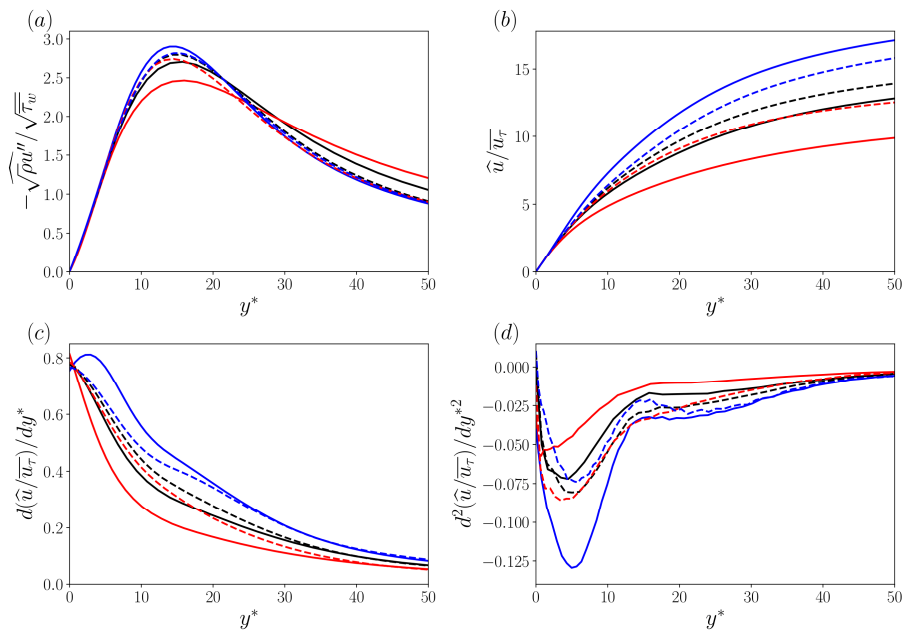


図 2: 条件付き平均操作によって抽出した壁面近傍乱流構造の壁面垂直方向分布. (a)速度変動, (b)平均速度, (c)平均速度の壁面垂直方向一階微分, (d) 平均速度の壁面垂直方向二階微分. 実線, 理想気体のケース; 破線, レイノルズ数一定のケース. 黒線, 疑似断熱壁; 赤線, 加熱壁; 青線, 冷却壁.

## ● 成果の公表

-査読付き論文

R. Hirai, R. Pecnik, S. Kawai, "Semi-local Reynolds number's effects in scaling turbulent statistics for wall heated/cooled supersonic turbulent boundary layers", Physical Review Fluids (提出準備中)

-口頭発表

平井遼, Rene Pecnik, 河合宗司:加熱/冷却壁を伴う乱流境界層現象における無次元支配パラメータ, 第34回数値流体力学シンポジウム

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1020 - 1760
1 ケースあたりの経過時間	120 時間



## ● JSS2 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	623,377.95	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	290.15	0.27
/data	13,029.51	0.25
/ltmp	2,781.72	0.24

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	287.16	0.20
/data	9,776.23	0.16
/ssd	105.96	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

## 圧縮性乱流の高精度数値シミュレーションに関する研究

報告書番号：R20JACA37

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14480/

### ● 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(h.asada@tohoku.ac.jp)

### ● メンバ

河合 宗司, 加茂川 諒, 浅田 啓幸, 粟飯原 あや

### ● 事業概要

壁面モデル Large-eddy simulation (LES)において、剥離・再付着を伴う高レイノルズ数の流れ場を高精度に予測するためには、乱流境界層の非平衡効果を考慮することが重要となる。しかし、従来の非平衡壁面モデルは複雑な偏微分方程式を解く必要があり、特に複雑形状周りの解析において、実装の複雑さが問題となる。そこで本研究では、新しい常微分方程式型の非平衡壁面モデルの構築および検証を行った。具体的には、まず (a) 昨年度までに実施した通常の LES 解析より得られた剥離・再付着を伴う平板乱流境界層の詳細なデータベースに基づいて、圧力勾配や移流項、渦粘性係数といった境界層の非平衡効果をモデリングし、新しい常微分方程式型の非平衡壁面モデルを構築した。そして、その構築した壁面モデルを用いて、同じ流れ場について壁面モデル解析を実施した。また、(b) より実用的な流れ場での検証として、翼型周りの流れ場について同モデルを用いた壁面モデル LES 解析を実施した。その結果、その新しいモデルを用いた壁面モデル LES は、参照解とした通常の LES の結果と比較して、壁面摩擦係数や平均主流方向速度について良い予測精度を示した。

参考 URL: [http://www.klab.mech.tohoku.ac.jp/index\\_jpn.html](http://www.klab.mech.tohoku.ac.jp/index_jpn.html)

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究では、新しく構築した壁面モデル LES の検証計算を実施する。壁面モデル LES は 3 次元の非定常計算であるため、並列計算は必須である。また、新しい壁面モデルの提案のためにはパラメータ等を変化させて複数ケースの計算を行う必要がある。そのため、JAXA スパコン利用による大規模な並列計算の資源が不可欠と判断し、申請を行った。

## ● 今年度の成果

(a)昨年度までに実施した通常の LES 解析より得られた剥離・再付着を伴う平板乱流境界層の詳細なデータベースに基づいて、常微分方程式型の非平衡壁面モデルを構築した。具体的には、壁面モデルのマッチング高さの物理量を用いて表現できる形で、境界層内層の圧力勾配項および移流項をモデリングした。また、せん断応力のバランスを考慮し、渦粘性係数のモデリングを圧力勾配項や移流項とコンシステントな形に修正した。提案モデルは常微分方程式型であり、従来の偏微分方程式型の非平衡壁面モデルに比べて、実装が容易という利点がある。さらに、提案壁面モデルを用いて、参照した剥離流れの壁面モデル LES 解析(ODE-NEQWM)を実施し、既に計算していた従来の偏微分方程式型の壁面モデルを用いた壁面モデル LES 解析(PDE-NEQWM)および通常の LES の結果と比較した。今回構築した ODE-NEQWM は、平均主流方向速度およびレイノルズせん断応力について、比較対象とした LES や従来の PDE-NEQWM と良い一致を示している。この結果は、偏微分方程式を解かなくても、今回構築した常微分方程式型を解くだけで、剥離・再付着を伴う非平衡な流れ場を高精度に予測できる可能性を示唆している。

(b)より実用的な問題に近い流れ場で検証するために、失速角付近の条件下における翼型周りの流れに対して、(a) で構築した壁面モデルを用いた壁面モデル LES 解析(ODE-NEQWM)を実施した。計算対象は先行研究(通常の LES, Asada & Kawai, PoF (2018); PDE-NEQWM, Tamaki, Fukushima, Kuya, & Kawai, PRF (2020))と同様に、A-airfoil の失速点付近(迎角 13.3 度)の流れ場であり、翼弦長ベースのレイノルズ数が  $2.1 \times 10^6$ 、一様流マッハ数が 0.15 である。今回構築した ODE-NEQWM は、壁面圧力係数および壁面摩擦係数について、比較対象とした通常の LES や従来の PDE-NEQWM と概ね良い一致を示している。なお、翼前縁での壁面摩擦係数が LES と ODE-NEQWM で若干異なる現象については、前縁付近の非常に薄い境界層内に十分な格子点が配置されていないことが影響しており、構築した ODE-NEQWM 自体の直接の問題ではないと考えられる。この点を除くと、提案壁面モデルを用いることで、実問題に近い翼型周りの流れ場もロバストかつ良い精度で予測できることが示された。

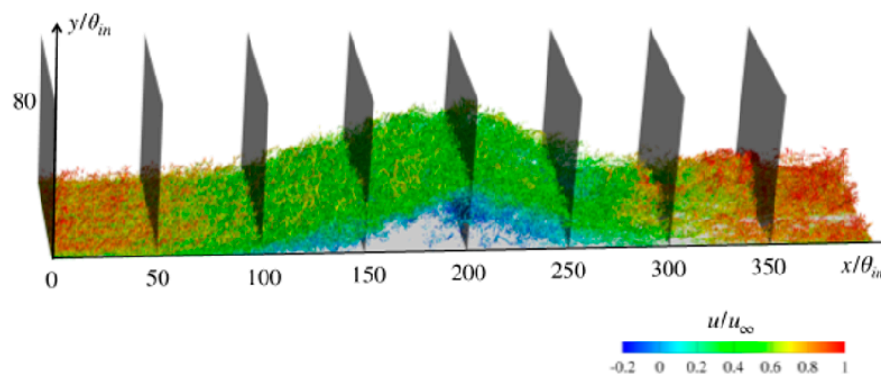


図 1: 剥離・再付着を伴う平板乱流境界層の概略図

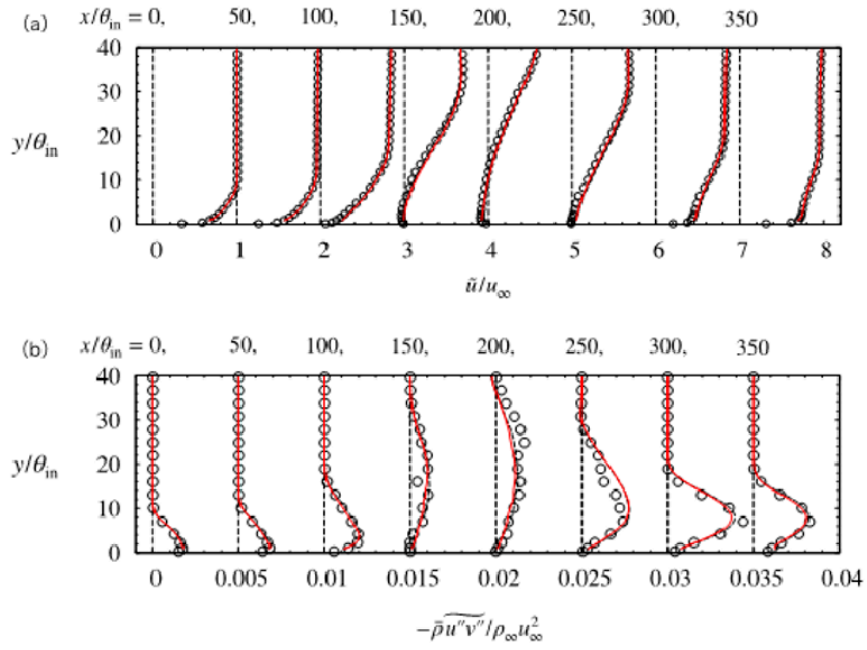


図 2: 剥離・再付着流れの各主流方向位置における主流方向速度分布およびレイノルズせん断応力分布(丸:通常の LES, 赤実線:提案壁面モデル LES(ODE-NEQWM)黒破線:従来の壁面モデル LES(PDE-NEQWM))

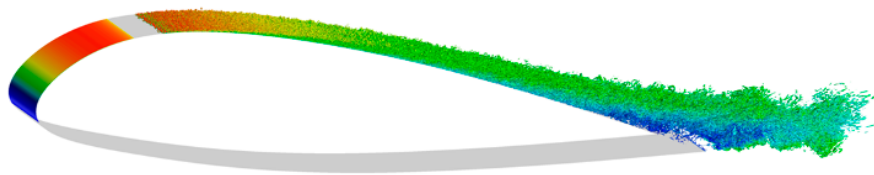


図 3: 翼型周りの流れ場の概略図

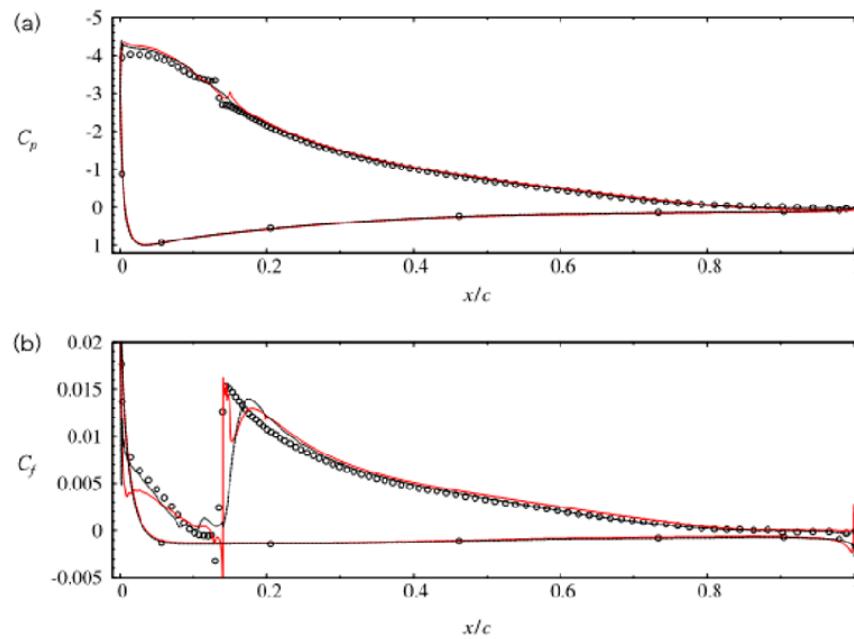


図 4: 壁面圧力係数および壁面摩擦係数の比較(丸:通常の LES, 赤実線:提案壁面モデル LES(ODE-NEQWM)黒破線:従来の壁面モデル LES(PDE-NEQWM))

## ● 成果の公表

-口頭発表

(1)加茂川諒, 玉置義治, 河合宗司, 「剥離乱流境界層 LES における常微分方程式型非平衡壁面モデルの提案」, 第 34 回数値流体力学シンポジウム, オンライン, 2020 年 12 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	OpenMP
プロセス並列数	416
1 ケースあたりの経過時間	200 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.15

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	903,245.69	0.17
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	22.32	0.02
/data	3,522.01	0.07
/tmp	4,572.09	0.39

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	22.52	0.02
/data	3,523.93	0.06
/ssd	225.17	0.12

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



## 火星ヘリコプターのローター空力特性に関する数値的研究

報告書番号：R20JACA41

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14485/

### ● 責任者

佐藤 允, 工学院大学

### ● 問い合わせ先

佐藤 允, 工学院大学(msato@cc.kogakuin.ac.jp)

### ● メンバ

佐藤 允, 小笠原 大地

### ● 事業概要

火星の洞窟, 縦穴探査を目的とした火星ヘリコプターの研究開発プロジェクトが JAXA 宇宙研・東北大等が中心となって進められている。火星の大気環境は地球と比べると密度が約 1/100, 音速は約 3/4 であるため, 低レイノルズ数かつ高マッハ数でも高性能なヘリローターの開発が必要不可欠である。現在, JAXA 宇宙研大山研究室では, 火星大気を模擬した低圧環境におけるローター推力を実験的に測定する研究を進めている。しかし, 本実験は真空チャンバー内で行われるため, ローター周り流れについて調べることは極めて困難である。そこで本研究では実験と同様の条件でローター周り流れに関する数値解析を行うことにより, 流れ場の特性を明らかにすることを目的としている。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

JAXA で開発された回転翼に関する流体解析ソルバー「rFlow3D」を用いた, 3次元回転翼周り流れに関する大規模数値シミュレーションを行うため。

### ● 今年度の成果

今年度は前年度に引き続き低レイノルズ数における三角薄翼・三角厚翼周り流れの数値解析を行った。本解析は ISAS で行われた実験[1]を基にしている。パラメータとして翼端レイノルズ数  $Re(3000-20000)$  とピッチ角( $0^\circ - 30^\circ$ )を変化させた。ここでは三角厚翼の結果について示す。数値解析ソルバーには JAXA で開発された rFlow3D を用いている。

図 1 はピッチ角に対する  $C_t$ (推力係数)と  $C_q$ (トルク係数)の変化を示している。 $Re > 15000$  では, 空力特性に対するレイノルズ数効果は弱い。一方,  $Re < 15000$  では, レイノルズ数の低下に伴い空力特性が変化しており, 青枠のピッチ角では  $C_t, C_q$  は増加する傾向にあるが, 赤枠のピッチ角では  $C_t, C_q$  は低下する傾向を示す。

図2はピッチ角  $5^\circ$  の条件における翼断面圧力分布( $r/R=0.75$ )を各レイノルズ数に対して示している。レイノルズ数の低下に伴い、上面前方における圧力の低下と下面前方で圧力の増加がみられる。

図3はピッチ角  $15^\circ$  の条件における翼断面圧力分布( $r/R=0.75$ )を各レイノルズ数に対して示している。レイノルズ数の低下に伴い、前縁の圧力係数が増加しており、これは前縁剥離泡の長さに起因している。

図4は  $r/R=0.75$  における翼表面圧力分布を示している。 $Re < 10000$  では、緩やかな圧力回復が観察されるのに対し、 $Re > 10000$  では、圧力が平坦な領域と急激な圧力回復が観察される。これら表面圧力分布の傾向は、Lee[2]が行った低レイノルズ数における平板翼のLES結果と一致している。

[1]江光希, "低レイノルズ数環境下における三角翼シングルロータ・二重反転ロータの空力特性評価", 東京大学修士論文, (2020).

[2]Donghwi Lee, "A Study on Formation Mechanisms of Surface Pressure Distribution around a Laminar Separation Bubble", 東京大学博士論文, (2017).

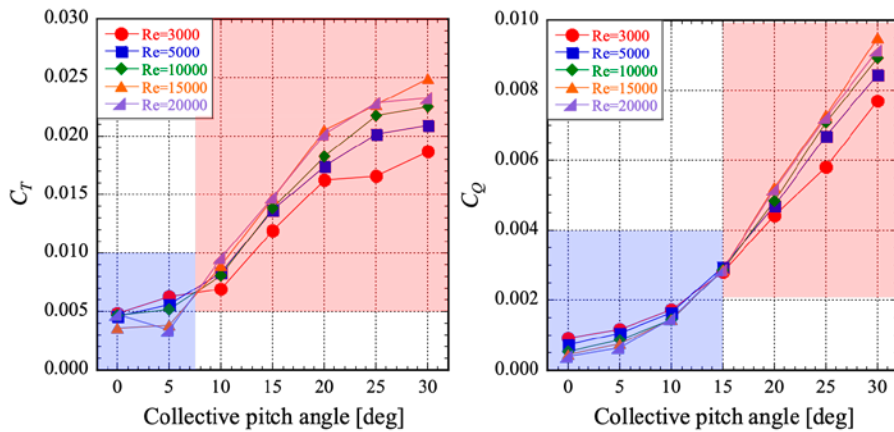


図1: 低レイノルズ数における三角厚翼の空力性能

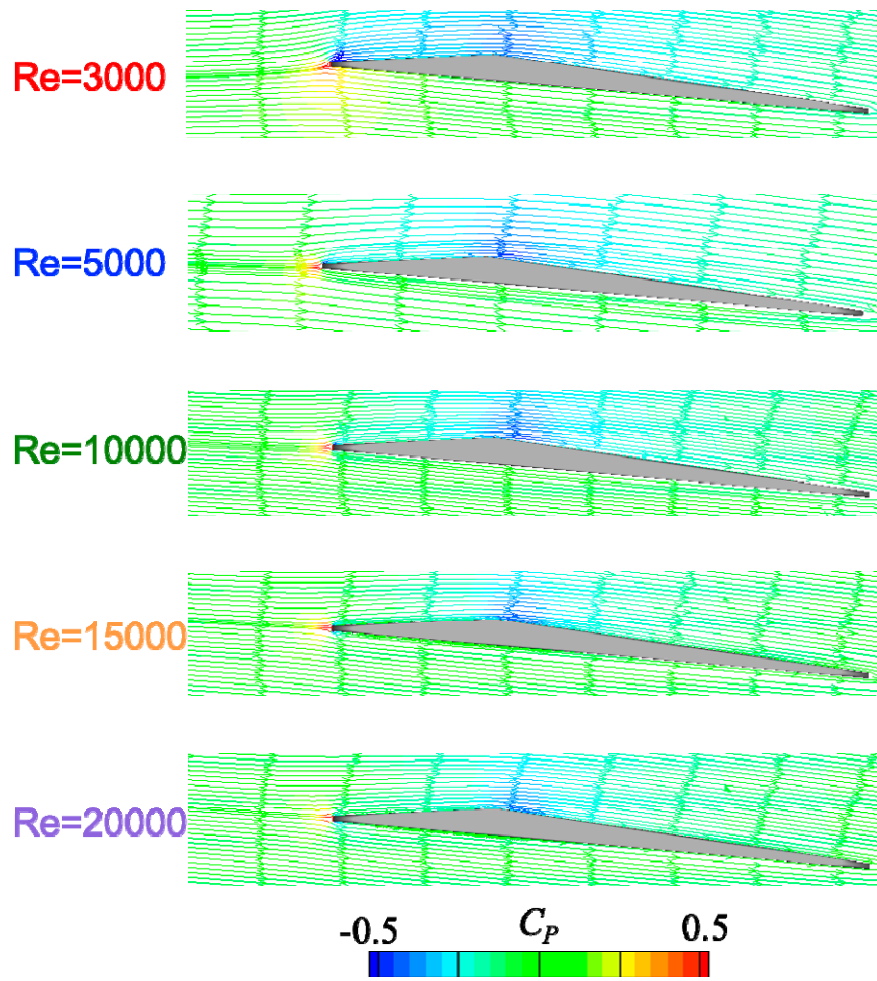


図 2:  $r/R=0.75$  の翼断面における圧力分布(ピッチ角  $5^\circ$  )

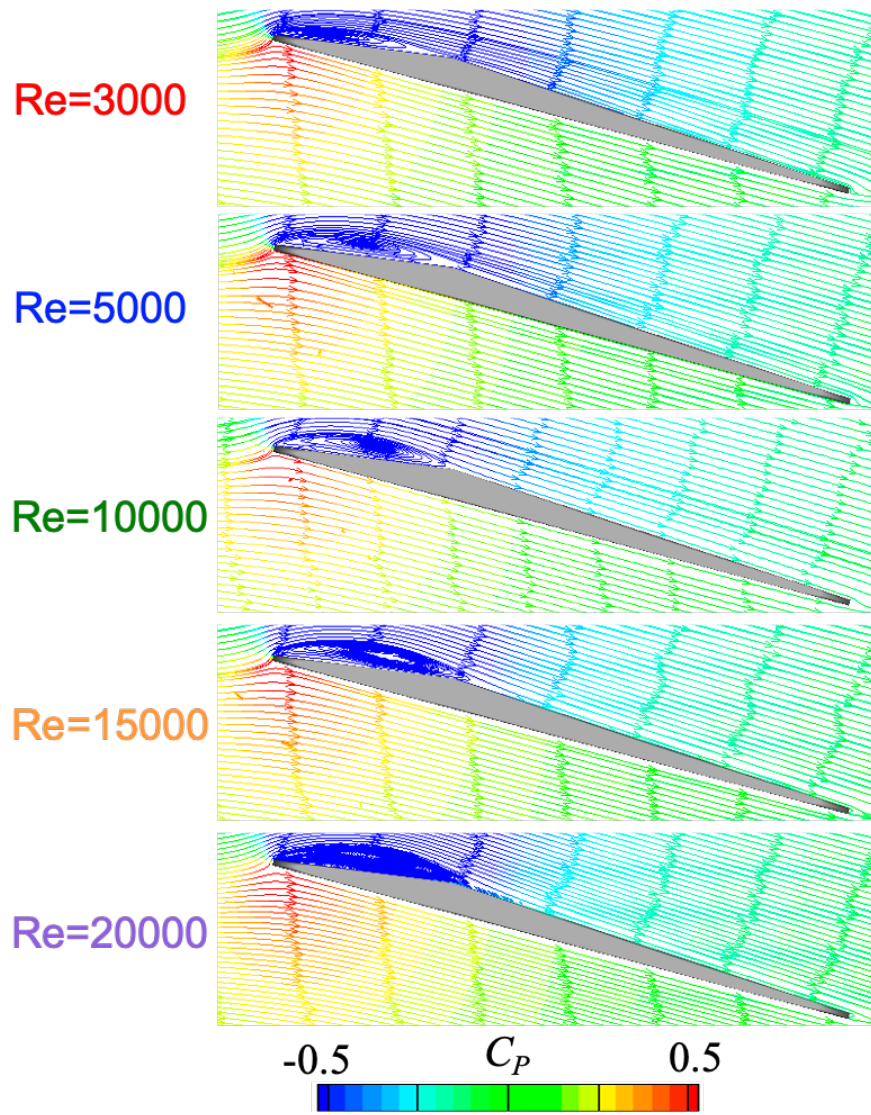


図 3:  $r/R=0.75$  の翼断面における圧力分布(ピッチ角  $15^\circ$ )

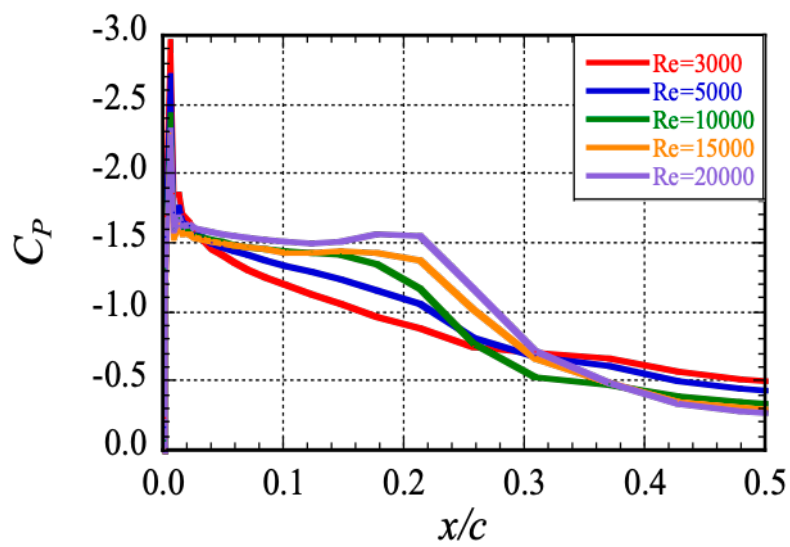


図 4: 表面圧力分布

## ● 成果の公表

-口頭発表

小笠原, 大山, 佐藤, 佐藤 "低レイノルズ数環境下における三角厚翼ローターの数値的研究", 第 64 回 宇宙科学技術連合講演会

小笠原, 大山, 佐藤, 佐藤 "三角厚翼ブレードのレイノルズ数効果に関する数値的研究", 第 58 回飛行機シンポジウム

小笠原, 大山, 佐藤, 佐藤 "レイノルズ数変化に伴う三角厚翼ローターの空力・流れ場特性の評価", 令和 2 年度 宇宙航行の力学シンポジウム

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	400 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.18

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	303,086.83	2.38
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	19.07	0.02
/data	19,531.26	0.38
/ltmp	3,906.25	0.33

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	533,196.81	0.11
TOKI-RURI	3,675.99	0.02
TOKI-TRURI	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	9.54	0.01
/data	9,765.63	0.16
/ssd	95.37	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



## 機械学習による流体運動の予測と最適化

報告書番号：R20JACA39

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14484/

### ● 責任者

犬伏正信, 大阪大学

### ● 問い合わせ先

犬伏正信(inubushi@me.es.osaka-u.ac.jp)

### ● メンバ

犬伏 正信, 後藤 晋, 小西 幹人, 渡邊 大記, 中谷 謙介

### ● 事業概要

航空機周りの流れや惑星大気の流れなど、航空宇宙分野の科学技術に現れる流れの多くは発達した乱流状態にある。そのような乱流の直接数値計算は現実的には困難であり、物理的な知見に基づく乱流モデルが使用されている。近年、機械学習を用いた乱流モデルの研究が活発に進められており (Duraisamy, Iaccarino, and Xiao, 2019), 将来的に航空宇宙分野における要素技術となることが予想される。そこで本研究では、乱流物理に基づく演繹的な手法と、データに基づく帰納的な手法を組み合わせ、新たな乱流予測技術・モデルを構築することを目的とする。

参考 URL: <http://fm.me.es.osaka-u.ac.jp/inubushi/index-j.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

乱流運動の予測やモデル化は、航空宇宙分野の科学技術において重要である。本研究の対象である機械学習を用いた手法では、流体方程式の直接数値計算による高解像度の乱流データ(教師データ)の取得が必須である。大規模な計算機環境を利用し、教師データの計算のために JAXA のスーパーコンピュータを使用する。

### ● 今年度の成果

近年、機械学習技術を用いた乱流予測への期待が高まっている。ところが、工学応用上重要である高レイノルズ数における発達した乱流では、そもそも機械学習の前提となる教師データを得ることが難しい。今年度は、非線形力学系の予測に適した機械学習法であるリザーバ・コンピューティングの「転移学習法」を提案した(Inubushi and Goto, Phys. Rev. E, 2020)。低いレイノルズ数の乱流データを用いて学習を行い、高いレイノルズ数のわずかな乱流データで学習結果を補正(転移学習)することで、高レイノルズ数においても高精度の予測が可能であることを示した。また、乱流をカオス力学系とみな

したときに、その軌道不安定性は予測可能性と密接に関係する。今年度は、乱流の軌道不安定性についても調べ、その不安定性の特徴付けを行った。

## ● 成果の公表

-査読付き論文

Masanobu Inubushi and Susumu Goto, Transfer learning for nonlinear dynamics and its application to fluid turbulence, Physical Review E 102, 043301 (2020).

-招待講演

(1) 犬伏正信, リザーバーコンピューティングの転移学習と乱流への応用, 大阪大学 MMDS ワークショップ「工学と数学の接点を求めて」(2020-11-20, オンライン開催),

(2) 犬伏正信, リザーバーコンピューティングの数理と流体现象への応用, 大阪大学 MMDS ワークショップ「工学と数学の接点を求めて(追加講演)」(2021-2-9, オンライン開催),

-口頭発表

(1) 犬伏正信, 後藤晋, 非線形力学系のための転移学習と乱流への応用, 日本物理学会 2020 年秋季大会(2020-9-8, オンライン開催).

(2) 犬伏正信, 後藤晋, 周期箱乱流の軌道不安定性, 日本流体力学学会年会 2020(2020-9-19, オンライン開催).

(3) 小西幹人, 犬伏正信, 後藤晋, 強化学習を用いた流体混合の最適化, 日本流体力学学会 年会 2020(2020-9-18, オンライン開催).

(4) 中谷謙介, 犬伏正信, 後藤晋, 機械学習を用いた 2 次元後流乱流の状態推定, 日本流体力学学会 年会 2020(2020-9-20, オンライン開催).

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	64
1 ケースあたりの経過時間	24 時間



## ● JSS2 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	155,705.06	0.03
SORA-PP	1,305.74	0.01
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	533.10	0.49
/data	14,934.55	0.29
/tmp	8,789.07	0.75

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	2,331.77	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	46.73	0.03
/data	5,073.55	0.09
/ssd	238.42	0.12

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

## 再使用型宇宙輸送システムの複合領域設計最適化への高精度空力解析の適用

報告書番号：R20JACA48

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14497/

### ● 責任者

藤川貴弘, 東京理科大学

### ● 問い合わせ先

東京理科大学 理工学部 藤川貴弘(fujikawa.takahiro@rs.tus.ac.jp)

### ● メンバ

藤川 貴弘, 米本 浩一, 関 大悟, 大槻 剛, 渡辺 智敬

### ● 事業概要

再使用型宇宙輸送機のシステム設計では、機体設計と飛行軌道設計が相互に影響しあうため、これらを統合して最適化することのできる複合領域設計最適化の適用が研究されている。しかし、我々の先行研究では空力解析としてパネル法等の低精度モデルが用いられてきたため、設計の精度に問題があった。

そこで本研究では、サブオービタルスペースプレーンのシステム最適化解析に、高精度空力解析手法として JAXA の高速流体ソルバ FaSTAR を適用することを目指し、最適化ツールへの実装について理論・実用の両面から検討する。また、得られた設計解の詳細な空力特性評価も FaSTAR によって実施する。

参考 URL: <https://space-systems.me.noda.tus.ac.jp/research-content/optimisation/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

宇宙輸送機のシステム最適化では、様々な機体形状候補に対して幅広いマッハ数および迎角での空力特性評価を行う必要があるため、スーパーコンピュータ等の HPC 環境が無くてはならない。JAXA FaSTAR およびその周辺ソフトは、高速性と自動化との親和性から本研究に適しており、さらに JAXA スーパーコンピュータでの実行において高速性をさらに発揮するように調整されていることが利点である。

## ● 今年度の成果

本年度は、インハウスのパネルコードによる低精度空力解析と JAXA FaSTAR による高精度空力解析を組み合わせることで適度な計算コストで高精度な解析を実現することを目指し、Multi-Fidelity サロゲートモデルである Co-Kriging を構築し、有人サブオービタルスペースプレーンの複合領域設計最適化に適用した。低精度データ 150 点に対して高精度データを 2 点のみ加えた Co-Kriging モデルであっても、高精度解析の結果に近い出力が得られ、精度向上が確認された。また、この Co-Kriging モデルを、多目的進化計算と勾配法を組み合わせた最適化ツールに実装し、多様性のある良好なパレート最適解を得た。

また、先行研究で得られていた無人サブオービタルスペースプレーン最適形状の詳細な空力特性評価も並行して実施した。

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	120 - 160
1 ケースあたりの経過時間	1 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.08

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	461,585.19	0.09
SORA-PP	157.82	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	52.45	0.05
/data	524.52	0.01
/ltmp	10,742.19	0.92

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.07

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 (%)
TOKI-SORA	353,228.09	0.08
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	33.38	0.02
/data	333.79	0.01
/ssd	333.79	0.17

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

## 再使用型細長物体の空力特性についての数値解析

報告書番号：R20JACA12

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14462/>

### ● 責任者

北村圭一，横浜国立大学

### ● 問い合わせ先

間々下智広(mamashita-tomohiro-nj@ynu.jp)

### ● メンバ

北村 圭一，間々下 智広

### ● 事業概要

本研究では、2 段コーンを有する再使用実験機"RV-X"の飛行試験に向けて、風洞試験と数値解析の両面からその空力特性の予測に取り組んでいる。先行研究では、風洞試験の結果との比較から数値解析の妥当性を確認し、試験模型周りの流れ場を明らかにした。本研究では、次の段階として、実際に飛行試験を行う実機サイズで数値解析を行い、その空力特性の予測に取り組んだ。また、試験模型サイズとの比較を行い、実機と模型の空力特性の差異について考察を行った。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

目的:再使用ロケットなどの細長物体に対する、風洞試験模型と実機で差異が生じるメカニズムを明らかにし、実機飛行における知見を与える。

必要性:レイノルズ数の大きい実機スケールの数値解析においては、境界層を適切に解像するために必要な格子点数も増大する。そのため、膨大な計算時間を短縮するために、大規模な並列計算が不可欠となる。

用途:大規模計算を行う上で、計算時間を大幅に削減することが必要であったため、JSS2 及び JSS3 を利用した。

### ● 今年度の成果

再使用ロケット実験機 RV-X の飛行試験を模擬して、実機スケールでの数値解析を行った。図 1 に計算格子を示す。また、図 2 には風洞試験、模型スケールの数値解析、実機スケールの数値解析の軸力係数のグラフを示す。特に迎角 150~180 度では実機スケールと模型スケールの差異が大きくなる。これは再使用実験機(実機)の帰還フェーズにおいて、空力的な減速効果が想定よりも小さくなることを示唆している。この要因として着目したのは、レイノルズ数の違いが、流れの剥離しやすさに影響を与

えることである。図3, 4に迎角180度における模型スケールと実機スケールの流れ場の可視化結果を示す。これらの図から、模型スケールでは機体ベース部分で流れが大きく剥離するのに対し、実機スケールでは剥離しないことが分かった。これによって、実機スケールの機体表面に強い低圧領域が形成され、本来の軸力を打ち消す方向に力が働くことが分かった。

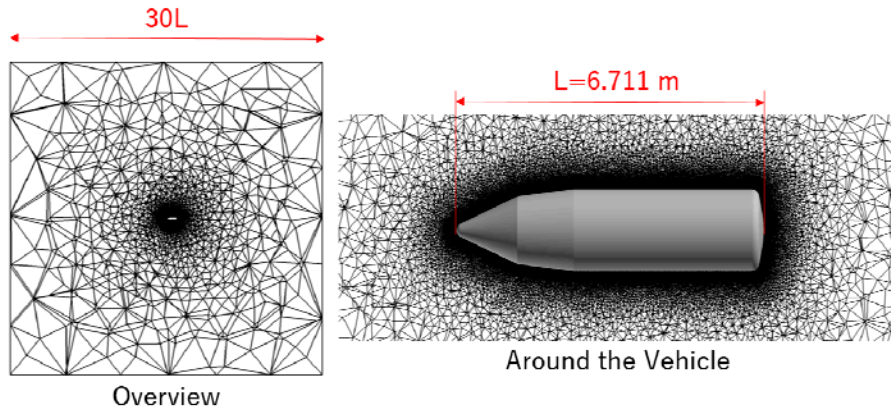


図1: 計算格子

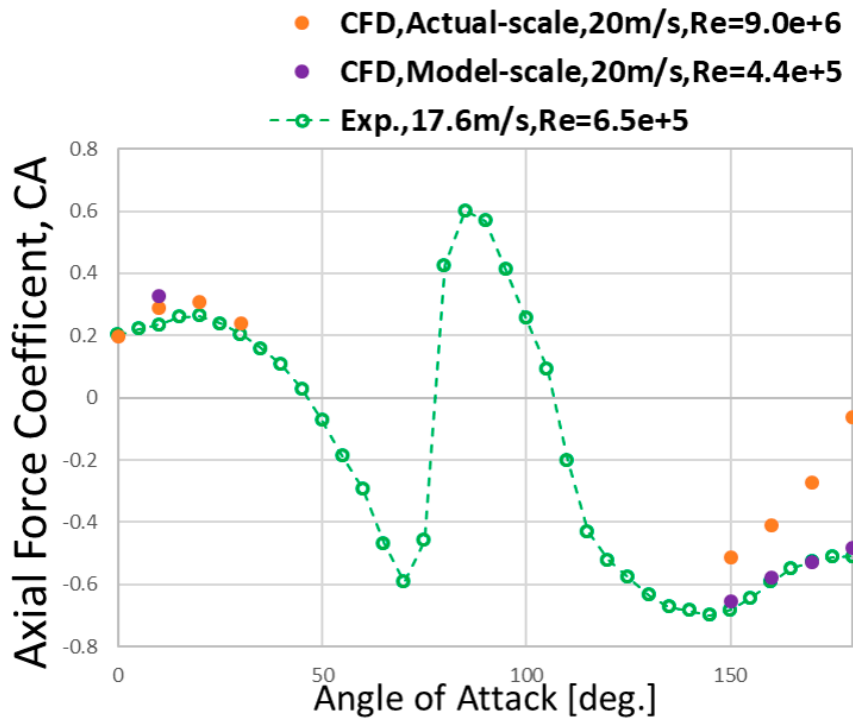


図2: 軸力係数比較



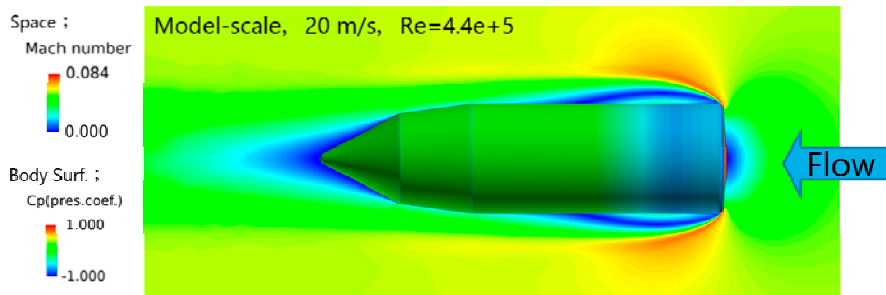


図 3: 迎角 180 度における模型スケールのマッハ数分布と表面圧力分布

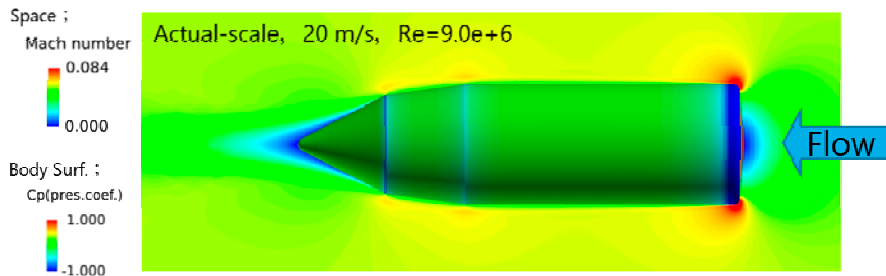


図 4: 迎角 180 度における実機スケールのマッハ数分布と表面圧力分布

● 成果の公表

なし

● 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	512 - 4096
1 ケースあたりの経過時間	100 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.28

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	1,317,030.97	0.25
SORA-PP	30,222.24	0.24
SORA-LM	5,232.99	3.07
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	240.33	0.22
/data	4,901.89	0.09
/ltmp	1,367.19	0.12

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.16

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	752,366.93	0.16
TOKI-RURI	27,226.14	0.16
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	240.33	0.16
/data	4,901.89	0.08
/ssd	66.76	0.03

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## 細長物体の遷音速空力特性に対するレイノルズ数効果の影響

報告書番号：R20JACA21

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14472/

### ● 責任者

北村圭一, 横浜国立大学

### ● 問い合わせ先

川島 勇斗(横浜国立大学大学院)(kawashima-hayato-rn@ynu.jp)

### ● メンバ

北村 圭一, 川島 勇斗

### ● 事業概要

一般的な宇宙輸送機を模擬した細長物体の抵抗値を風洞試験により取得する際、ベース部に取り付けられた機体模型支持棒(スティング)の影響を取り除く為、キャビティ圧やベース圧を考慮した抵抗値補正が行われる。本研究では初めに、風試結果を良好に再現した数値計算を行い、この抵抗値の補正方法についての検討を行った。また、実際に運用される宇宙輸送機スケール(実機スケール)は風洞試験スケールの数十倍～数百倍であり、これに応じて、レイノルズ数も  $Re \cong 10^6$  から  $10^7 \sim 10^8$  に大きくなる。これにより、機体から流れの剥離位置や乱流遷移位置の変化が起き、機体の空力特性に影響することが予想される。このことを踏まえ、抵抗値補正方法検討の次のステップとして、風試スケール( $Re \cong 10^6$ )の計算を実機スケール( $Re \cong 10^8$ )に拡張した計算を行い、風試スケールとの空力特性の違いを調査した。これにより、実際の運用に近い空力特性を取得し、宇宙輸送機の空力設計に貢献することが本研究の目的である。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究では様々な形状、迎角を扱うため計算ケースが多いことや、高い解像度の結果が必要なため格子点数が多いことから、効率的かつ正確な数値計算を行うためには高性能なスーパーコンピュータを用いる必要があった。

### ● 今年度の成果

キャビティ圧補正について、キャビティ圧を一様流静圧と同値と仮定し、風洞試験と CFD それぞれから得られた前面抵抗係数を比較した結果、誤差 1 % 以内の精度で一致した。一方で、キャビティ圧を真空と仮定した場合、この誤差は約 13 % と大きくなることがわかった。以上より、機体周囲に衝撃波が存在する条件においても、キャビティ圧を一様流静圧と同等と仮定することが妥当である事が

判明した。ベース圧補正については、最も風上側と風下側に現れる局所的な高圧領域(Figure 1)を避けて測定することで、各ベース形状においても誤差を最小に抑えることができると判明した。次にレイノルズ数効果について、主流マッハ数 0.9, 迎角 0 度における実機レイノルズ数計算の結果(抗力係数)を Figure 2 に示す。ここでは比較の為、風試レイノルズ数の結果も併せて示している。この結果より、前面抵抗の粘性摩擦成分は、風試レイノルズ数の場合よりも実機レイノルズ数の場合の方が 23 - 30 % 小さいことがわかる。しかしこの値が全機抵抗に占める割合自体が小さいため、全機抵抗に大きな影響はない。結果として実機レイノルズ数と風試レイノルズ数の全機抵抗値の誤差は、約 6 % と比較的小さいことがわかった。

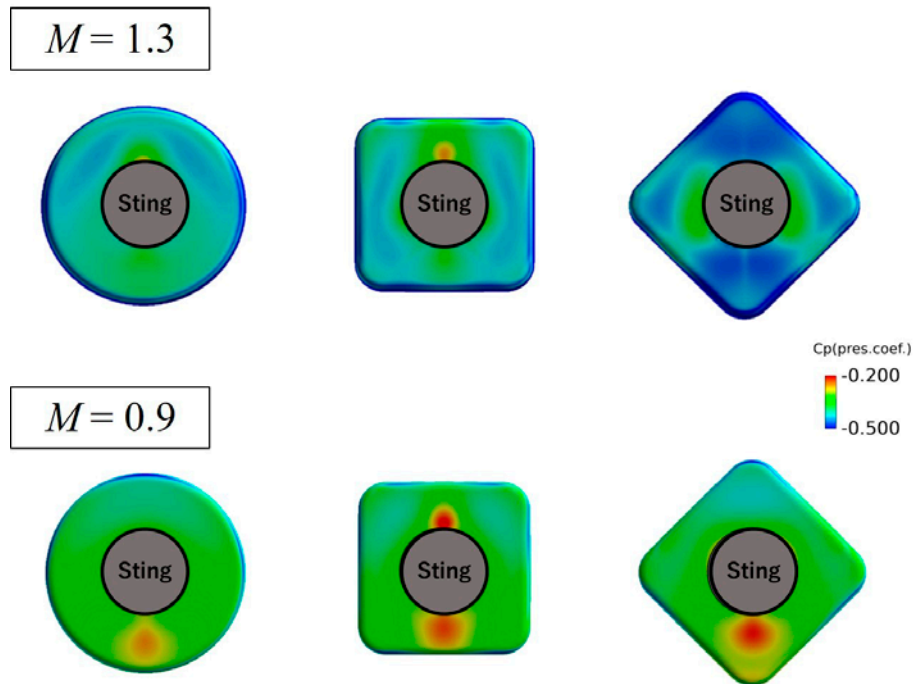


図 1: 様々な形状のベース面圧力分布

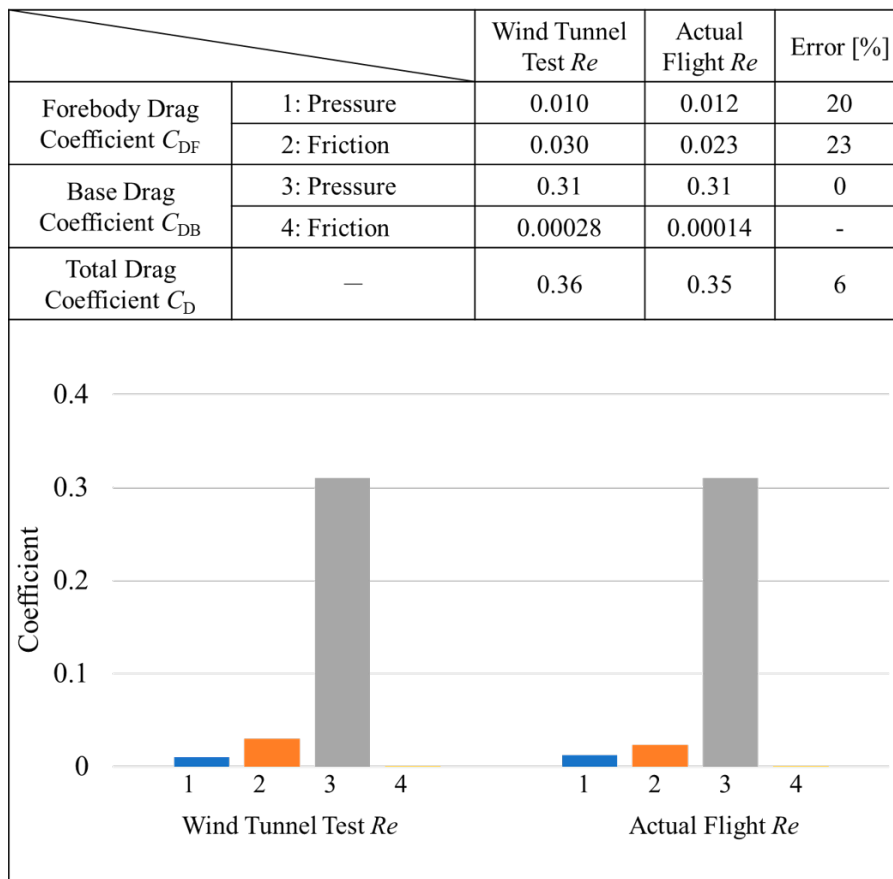


図 2: レイノルズ数効果(M = 0.9, AoA = 0 deg.)

## ● 成果の公表

-口頭発表

1) 川島 勇斗, 北村 圭一, 野中 聡「遷音速風洞試験および CFD 結果を利用した抵抗値補正～ベース圧測定位置の影響～」, 令和 2 年度宇宙航行の力学シンポジウム, 国内(オンライン), 2020 年 12 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	96 - 512
1 ケースあたりの経過時間	10 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.15

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	685,553.65	0.13
SORA-PP	21,395.62	0.17
SORA-LM	1,585.70	0.93
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	6.68	0.01
/data	4,787.45	0.09
/ltmp	1,367.19	0.12

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	4.91	0.00
TOKI-TRURI	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	478.74	0.33
/data	9,784.70	0.16
/ssd	114.44	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



## 大規模 CFD 解析におけるポスト処理効率化のためのデータステージング技術に関する研究

報告書番号：R20JACA42

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14486/>

### ● 責任者

高橋慧智, 奈良先端科学技術大学院大学

### ● 問い合わせ先

高橋慧智(keichi@is.naist.jp)

### ● メンバ

高橋 慧智

### ● 事業概要

CFD シミュレーションの大規模化にともない、従来のように全てのシミュレーション結果を並列ファイルシステムに保存し、シミュレーション終了後にポスト処理を実行することはストレージ容量や IO 帯域幅の制約により困難になると予想される。そのため、シミュレーション実行中にポスト処理プログラムへ計算結果をリアルタイムに転送する、データステージング技術が注目されている。本研究では、JSS2 に代表される HPC 環境におけるデータステージング技術の実現可能性を検討し、データステージングミドルウェア、および、HPC 環境に求められる要件を分析する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

JSS3 はアーキテクチャの異なる HPC システム (TOKI-SORA) と汎用システム (TOKI-RURI) から構成され、2 システム間で通信が可能であるため。

### ● 今年度の成果

今年度より利用可能になった JSS3 システム上で、米国 Oak Ridge 国立研究所にて開発されているデータステージング用ミドルウェア ADIOS2 の動作試験およびステージング通信の性能評価を実施した。SORA の計算ノード上で富士通コンパイラ 4.4.0 (clang モード) を用い ADIOS2 v2.7.1 のビルドを試みたところ、特に問題なく完了し全ユニットテストが成功した。なお trad モードでは CMake がコンパイラを正しく認識しないため、CMake 側で富士通コンパイラに対応する必要があると思われる。

次に ADIOS2 に含まれる iotest ユーティリティを用い、SORA 上でステージング通信の性能評価を行なった。iotest で同一プロセス数の 2 つのアプリケーションを模し、アプリケーション間で 1 プロセスあたり 100MB のデータを送受信させた。ADIOS2 は様々な通信バックエンドを提供しているが、

ここでは最も性能が高いと思われる MPI を用いたステージング通信エンジン InSituMPI と SSC (Strong Staging Coupler) を比較した。SSC エンジンについては、さらに TwoSided, OneSidedPostPush, OneSidedPostPull の3つのモードの性能を比較した。TwoSided は1対1通信関数、OneSidedPostPush/Pull は片側通信関数を用いて実装されている。

図1に2アプリケーション間の通信帯域幅を示す。まず2ノード間では、InSituMPI エンジンで5.5GB/s、SSC エンジンではいずれのモードでも5.9GB/sの帯域幅が得られた。Tofu-D 相互結合網のリンク帯域幅は6.8GB/sであるため、InSituMPI エンジンと SSC エンジンでそれぞれリンク帯域幅の81%および87%の実効帯域幅が得られた。ノード数がスケールアウトすると InSituMPI が SSC に比べ性能が高くなり、512ノードでは InSituMPI が418GB/s、SSC がモードに関わらず270GB/sであった。

以上の評価により、SORA システムの相互結合網を活用した高いステージング通信性能を実現できることが明らかになった。ただし、高並列時に SSC エンジンの性能が InSituMPI エンジンに比べ劣る原因が不明であるため、調査する必要がある。また、SORA/RURI の異種アーキテクチャのシステム間の通信についても検証を行う必要がある。

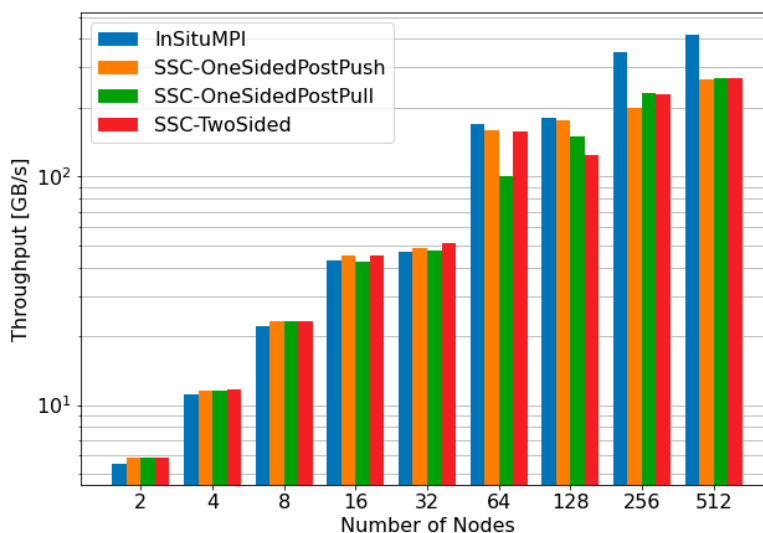


図1: adios\_iotest による2アプリケーション間のステージング通信性能  
(48 プロセス/ノード, 5回計測の最大値)

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	1 - 24576
1 ケースあたりの経過時間	10 分

## ● JSS2 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	220.60	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	9.54	0.01
/data	95.37	0.00
/tmp	1,953.13	0.17

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	26,332.37	0.01
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	9.54	0.01
/data	95.37	0.00
/ssd	95.37	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

## 低レイノルズ数条件下におけるマッハ数効果の伴う空力特性解析

報告書番号：R20JACA18

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14468/

### ● 責任者

森澤征一郎, 沖縄工業高等専門学校

### ● 問い合わせ先

森澤 征一郎(morizawa@okinawa-ct.ac.jp)

### ● メンバ

森澤 征一郎, 松野 隆

### ● 事業概要

鷹などの鳥類は飛行効率及び静粛性に優れており、これらの優れた要因の 1 つに翼端部が複数分岐した隙間のある形状が重要であると言われている。本事業では、このメカニズムを明かし、鳥類の形状を模倣し翼端を複数分岐させた隙間のある翼端デバイス wing\_grid について空力特性及び流れ場に関する知見を得ることを目的とする。そして、これらのマッハ数効果について調べる。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

CFD による 3 次元形状に対するパラメトリックスタディは計算コストが非常に高い。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

今年度は、マッハ数 0.20(低亜音速・非圧縮性流れ)及び 0.74(遷音速・圧縮性流れ)の計算を実施し、両ケースの違いを考察した。図 1 に迎角  $6^\circ$  での wing\_grid の翼上面部での流れ場を示す。この結果より、どちらのケースも分岐した前縁側 1 つ目の翼で低圧領域が確認できた。しかし、マッハ数 0.74 においては、分岐した前縁側 2 つ目の翼より後縁側での流れが乱れている。これは分岐していない翼部分を見ると、同様の翼弦付近で圧力のコンター線が密な領域が確認でき、圧力差が大きくなる。つまり、マッハ数 0.74 の流れ場では衝撃波が発生することで、衝撃失速が生じたことが原因と考えられる。

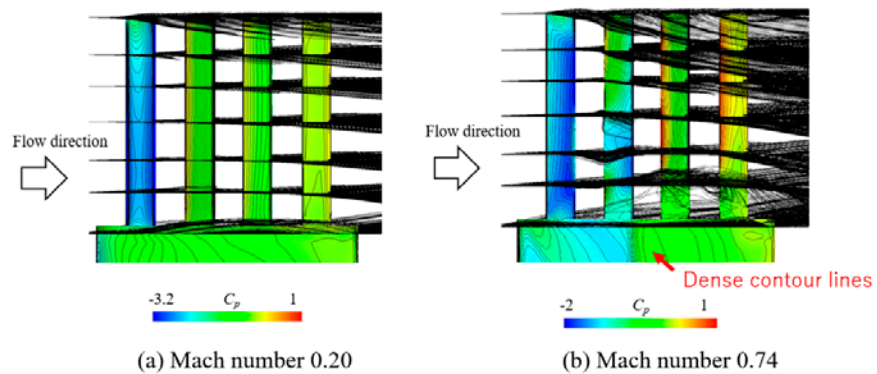


図 1: 迎角 6° での翼上面部での流れ場の違い

● 成果の公表

なし

● 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	自動並列
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	300 分

## ● JSS2 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	57,042.85	0.01
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	162.12	0.15
/data	3,287.00	0.06
/tmp	1,302.08	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	0.00	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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	162.12	0.11
/data	3,287.00	0.06
/ssd	63.58	0.03

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



## 低レイノルズ数領域でプロペラの影響を受ける固定翼の数値解析

報告書番号：R20JACA43

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14487/

### ● 責任者

北村圭一，横浜国立大学

### ● 問い合わせ先

古澤善克(furusawa-yoshikatsu-vz@ynu.jp)

### ● メンバ

北村 圭一，古澤 善克

### ● 事業概要

火星探査機の新しい形態として，日本では JAXA を中心に火星飛行機の研究開発が進んでいる．火星大気は密度が小さく，火星飛行機は低レイノルズ数領域を飛行することになるため，地球上を飛行する飛行機とは機体周囲の流れ場が大きく異なる．さらに，火星飛行機はプロペラ推進であるが，プロペラと固定翼が干渉して生じる流れ場が飛行性能を向上させることが知られている．しかし，そのメカニズムには未だ不明な点が残されている．本研究では数値計算を用いて，低レイノルズ数領域においてプロペラ後流が固定翼周囲の流れ場に非定常的に与える影響を明らかにすることを目的とする．

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

JAXA で開発された流体解析ソルバ rFlow3D および FaSTAR を用いた大規模な 3 次元数値計算を行うため，JSS2 を使用した．これにより，高速に複数の計算を行うことができる．

### ● 今年度の成果

本事業では，東北大学で行われた風洞実験に基づいた形状で非定常計算を行った ( $Re = 30,000$ )．プロペラ回転数を変化させて ( $n = 4500, 6000, 9000\text{rpm}$ ) 異なる進行率 ( $J = 0.8, 0.6, 0.4$ ) での解析を行うことで，様々な飛行条件を模擬した．迎角は  $5^\circ$  とした．

図 1 にプロペラが無い場合の固定翼周りの  $Q$  値分布を示す．この図では  $J = 0.8$  でのプロペラ方位角  $\phi$  を用いて時間経過を表している． $Q$  値が大きく表れている部分は，固定翼前縁付近の剥離せん断層からロールアップして生じた剥離渦の存在位置を表している．この図から，プロペラが無い場合には発生した剥離渦は後縁にかけて成長し，そのまま後縁から放出されていることがわかる．

図 2 に  $J = 0.8$  での渦度分布(左)および  $Q$  値分布(右)を示す．渦度分布において破線で示した渦度が大きく表れている部分はブレード後縁から生じた渦が連なったものであり，以下ではこの渦を「プロ

ペラ後流渦」と表記する。図2から、プロペラ後流渦が剥離せん断層を通過した直後に生成された渦は発生直後から強い渦構造を有しており、前後の渦と合成しながら後縁まで流れていくことがわかる。これは、プロペラ後流渦が剥離せん断層に擾乱として作用することで、剥離せん断層内の不安定性が増強されることで生じた現象と考えられる。

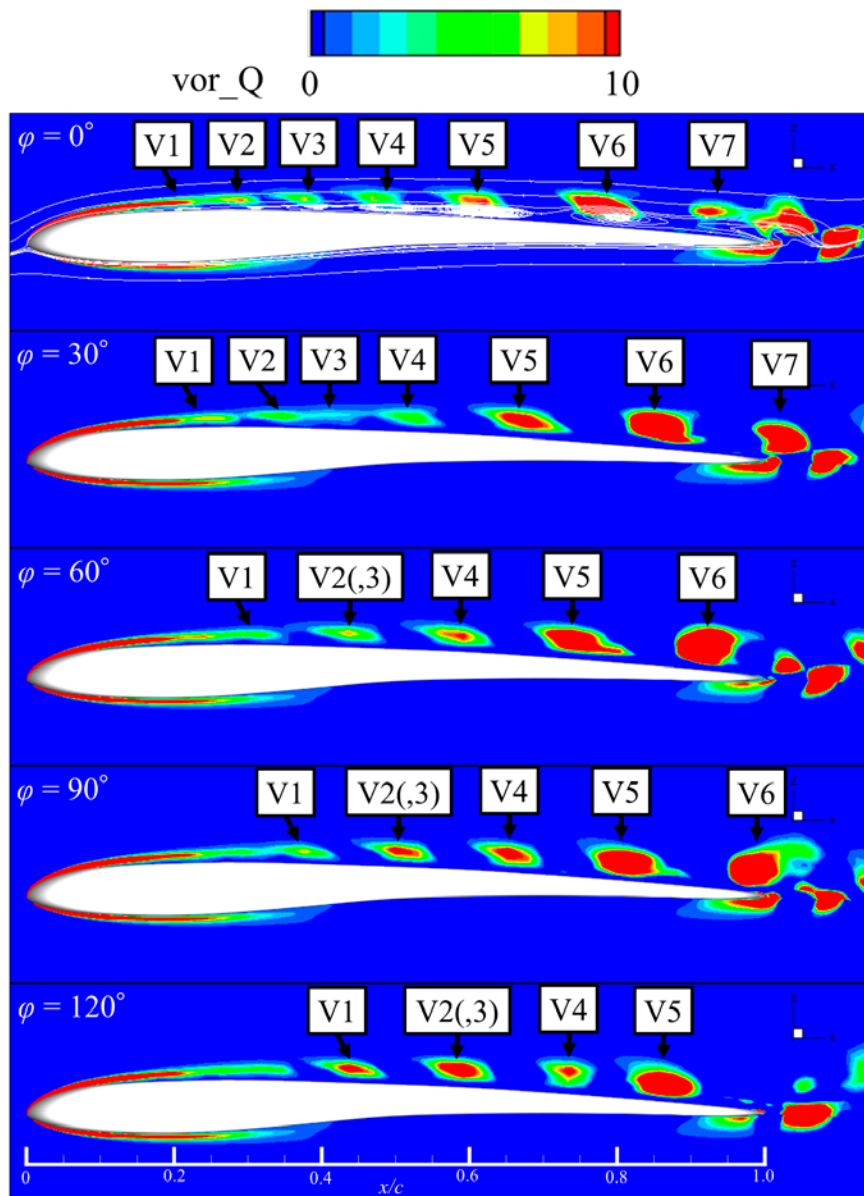


図1: 固定翼周りのQ値分布(プロペラ無しの場合)

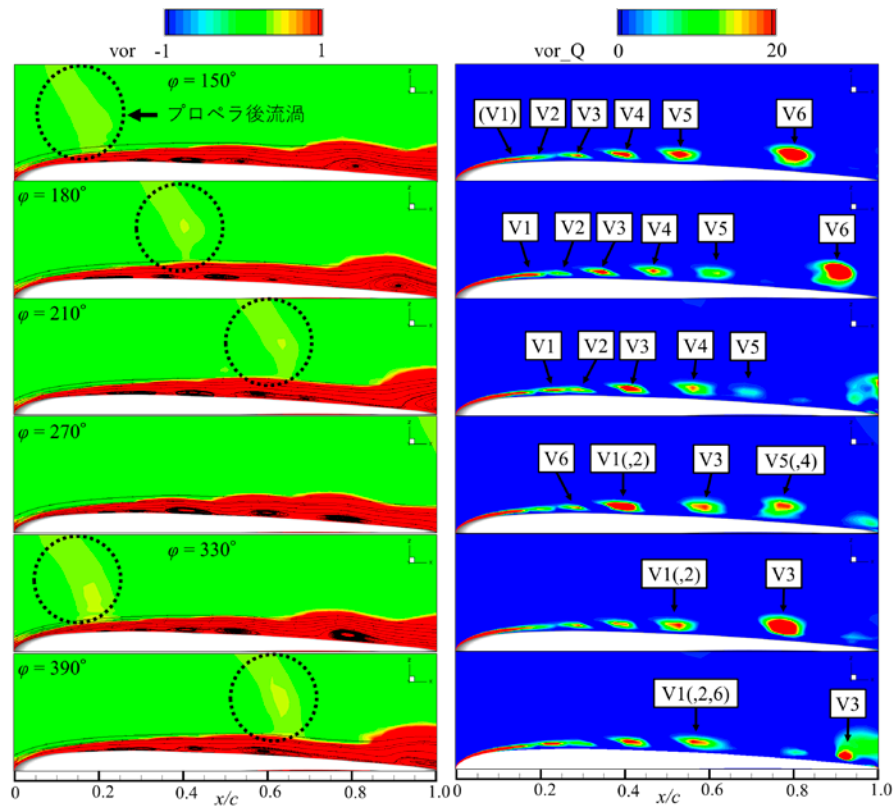


図 2: 固定翼周りの渦度分布と Q 値分布(J = 0.8)

● 成果の公表

-口頭発表

古澤善克, 北村圭一, 永井大樹, 大山聖, "進行率が異なる場合のプロペラ後流が固定翼に与える影響の変化に関する数値解析," 第 64 回宇宙科学技術連合講演会, 2020

古澤善克, 北村圭一, 永井大樹, 大山聖, "低レイノルズ数でプロペラ後流が固定翼の層流剥離泡に与える影響の数値解析," 第 58 回飛行機シンポジウム, 2020

Yoshikatsu Furusawa, Keiichi Kitamura, Hiroki Nagai, Akira Oyama, "Numerical Investigation on Three-Dimensional Flow Structure over Fixed Wing within Propeller Slipstream," 17th International Conference on Fluid Dynamics, 2020

● 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	OpenMP
プロセス並列数	1 - 512
1 ケースあたりの経過時間	480 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.08

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	0.00	0.00
SORA-PP	117,040.04	0.92
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	6.68	0.01
/data	4,901.89	0.09
/tmp	1,367.19	0.12

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	3.30	0.11

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.14

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	120.87	0.00
TOKI-RURI	211,181.85	1.21
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	6.68	0.00
/data	14,667.52	0.25
/ssd	2,460.48	1.28

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	3.30	0.11

※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

## 爆轟波伝播に関する基礎的数値解析

報告書番号：R20JACA45

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14488/>

### ● 責任者

水書稔治, 東海大学

### ● 問い合わせ先

東海大学工学部航空宇宙学科 水書稔治(mzkk@tsc.u-tokai.ac.jp)

### ● メンバ

水書 稔治, 王 発明

### ● 事業概要

爆轟波を利用した新しい航空宇宙用推進器の基礎研究のため、基礎的実験装置(デトネーション管)内部での爆轟波伝播に関する数値解析法を確立する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

爆轟波の伝播速度は秒速 2000 m 以上であるため、高精度な計算には、格子間隔が数マイクロメートルとなる。そのため、実験装置の観測部をモデル化するには、2次元モデルであっても容易に数億メッシュが必要となる。このような大規模な計算を実施するには、並列計算機が必要となるため、JAXA スパコンを利用している。

### ● 今年度の成果

本年度は、デトネーション波伝播の基礎的計算手法の確立のために、CHARIOT を利用したエチレン/酸素予混合気による爆轟波解析を実施した。その結果を以下に示す。

- ・予混合エチレン/酸素混合気による爆轟波伝播解析(図 1)
- ・予混合エチレン/酸素混合気によるセル構造解析(図 2)
- ・二次元爆轟波伝播解析の Mesh 依存性(図 3)
- ・点火位置によるセル構造への影響確認(図 4)

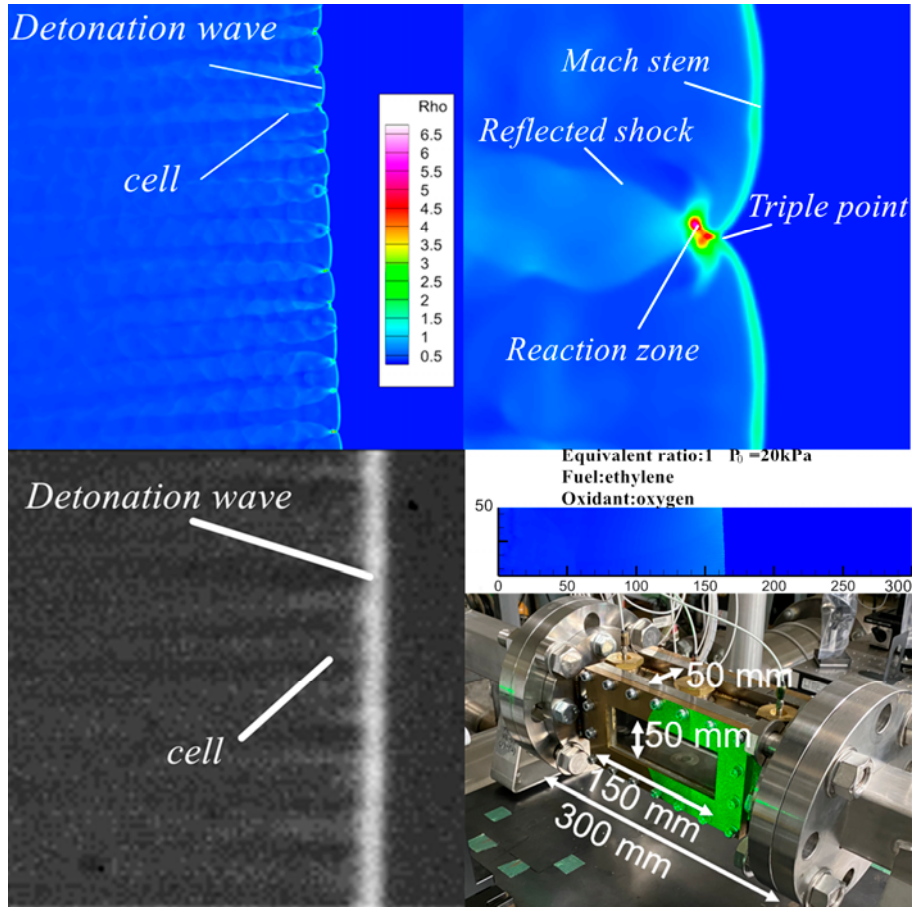


図 1: 予混合エチレン/酸素混合気による爆轟波伝播解析

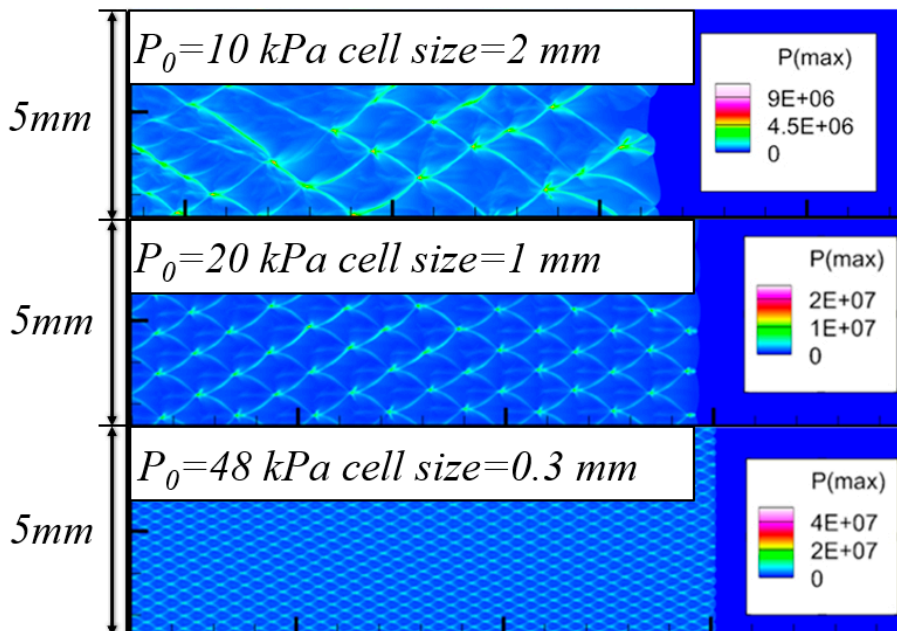


図 2: 予混合エチレン/酸素混合気によるセル構造解析



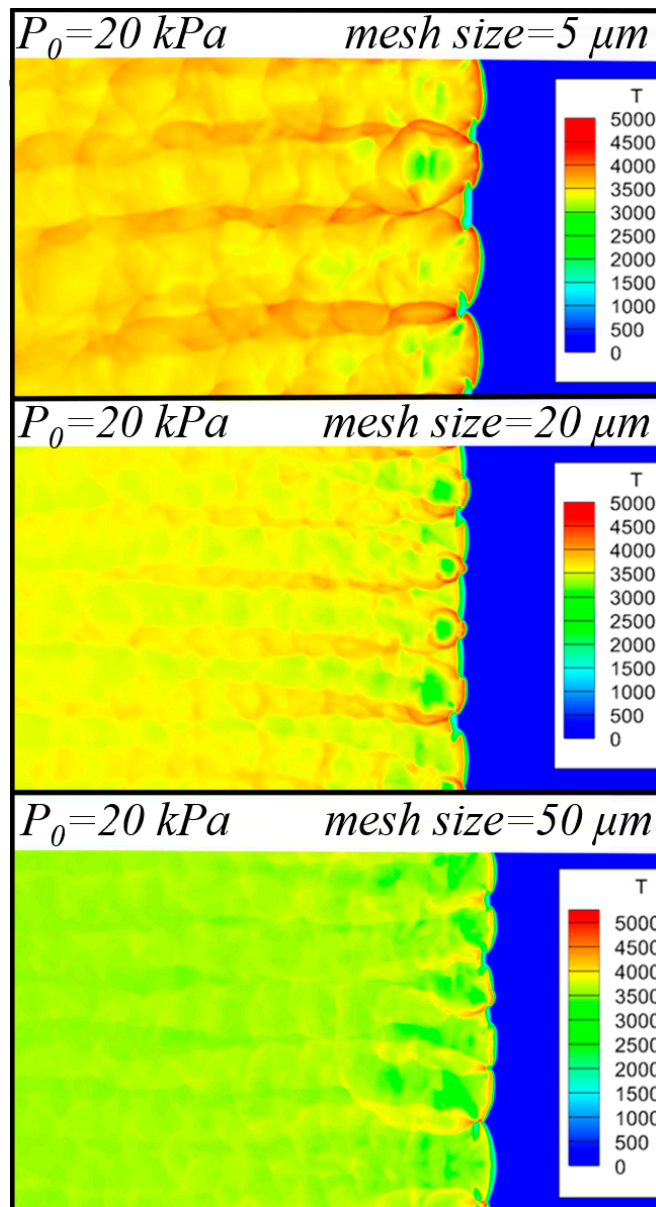


図 3: 二次元爆轟波伝播解析の Mesh 依存性



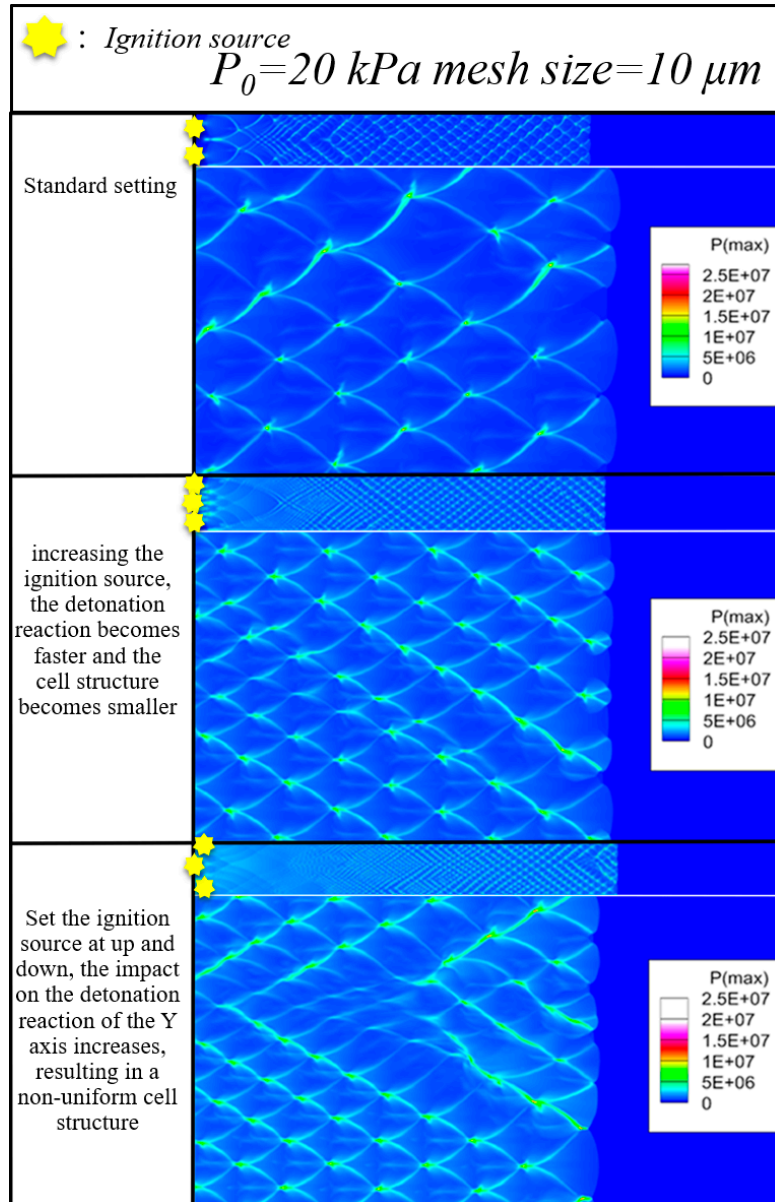


図 4: 点火位置によるセル構造への影響確認

● 成果の公表

なし

● 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	OpenMP
プロセス並列数	4 - 12
1 ケースあたりの経過時間	120 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.22

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	1,307,276.13	0.25
SORA-PP	2.71	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	247.96	0.23
/data	4,978.18	0.10
/ltmp	2,929.69	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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	13.37	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	247.96	0.17
/data	4,978.18	0.08
/ssd	143.05	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 <sup>※2</sup> (%)
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：R20JACA05

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14458/

### ● 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

後藤 晋, 岡 温, 本告 遊太郎, 荒木 亮, 阿部 篤司, 西川 碧, 小井手 祐介, 藤木 優太朗, 藤野 潤

### ● 事業概要

高レイノルズ数の発達した乱流は航空宇宙工学が関わる種々の流れで本質的な役割を演じるので、その予測や制御は様々なプロジェクトにおいて重要である。また、高レイノルズ数の乱流を数値的にシミュレートするためには、乱流中の小スケールの運動をモデル化することが必須である。このような乱流モデルは乱流の小スケールの統計の普遍性に基づく。本研究課題の主たる目的は、乱流の普遍性の起源を明らかにすることである。とくに、複数の異なる境界条件下における発達した乱流の大規模な数値シミュレーションを実行することにより、乱流の小スケールの運動の詳細(渦の階層とその生成維持機構)を明らかにすることを具体的な目標とする。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

乱流は航空宇宙工学の分野の重要な研究課題である。また、乱流の直接数値シミュレーションは大規模な計算機環境を必要とする。これらが、本研究課題で JAXA スーパーコンピュータを利用する理由である。

### ● 今年度の成果

今年度は、平行平板間流や円柱後流などに対して、高いレイノルズ数の非一様乱流に関する新たな知見が得られた。前者に関しては、スケール間のエネルギー伝達を調べ、壁から離れた領域では、確かに渦伸長過程により大スケールから小スケールへとエネルギーが伝達することを示した。これはコルモゴロフの古典的な現象論と整合的である。一方、後者に関する結果の一例を図 1 に示す。この図は、ガウスフィルタを用いてスケール分解した乱流中の渦を示す。図中の左下の円柱から、灰色の横渦が生成され、その周囲に青色のリブ渦が渦伸長により生成され、さらにその周囲に黄色の渦が生成される様子が明確に捉えられている。これらの小スケールの渦生成機構は、周期境界条件下の乱流で観察されたものと定性的に同じである。

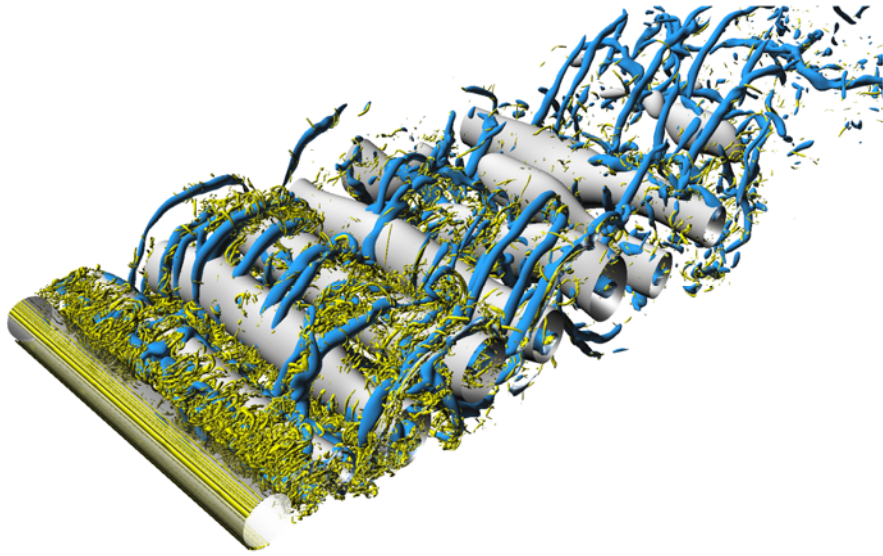


図 1: 一様流が円柱に当たったときにその背後にできる乱流. レイノルズ数は 3900 である. 異なる色は異なるスケールで粗視化した速度勾配テンソルの第二不変量の等値面. 渦の階層が可視化されている.

## ● 成果の公表

-査読付き論文

1. Y. Horimoto, A. Katayama, and S. Goto, Conical shear-driven parametric instability of steady flow in precessing spheroids, *Phys. Rev. Fluids* 5 (2020) 063901.
2. Y. Motoori and S. Goto, Hairpin vortices in the largest scale of turbulent boundary layers, *Int. J. Heat Fluid Flow* 86 (2020) 108658.
3. M. Inubushi and S. Goto, Transfer learning for nonlinear dynamics and its application to fluid turbulence, *Phys. Rev. E* 102 (2020) 043301.
4. Y. Motoori and S. Goto, Hierarchy of coherent structures and real-space energy transfer in turbulent channel flow, *J. Fluid Mech.* 911 (2021) A27.
5. S. Oka, D. Watanabe, and S. Goto, Large-scale clustering of light small particles in developed turbulence, *Phys. Fluids*, 33 (2021) 031707.
6. S. Oka and S. Goto, Generalized sweep-stick mechanism of inertial-particle clustering in turbulence, *Phys. Rev. Fluids* (in press).

-口頭発表

1. 後藤晋, 本告遊太郎, 壁面近傍の乱流輸送現象に関する大規模数値シミュレーション, プラズマシミュレータシンポジウム 2020
2. Susumu Goto, Fluid turbulence and hierarchy of vortices, Joint Seminar between Shanghai Jiao Tong University and Osaka University

3. 本告遊太郎, 後藤晋, 平行平板間乱流中の渦の階層から探る慣性粒子の輸送現象, 混相流シンポジウム 2020
4. 岡温, 渡邊大記, 後藤晋, 高レイノルズ数の乱流中における微小固体粒子群の空間分布に付加質量が及ぼす影響, 混相流シンポジウム 2020
5. 本告遊太郎, 後藤晋, 乱流境界層中の最大スケールのヘアピン渦, 日本機械学会 2020 年度年次大会
6. 岡温, 後藤晋, エネルギーカスケードに着目した固体粒子添加による乱流変調の機構, 日本機械学会 2020 年度年次大会
7. 荒木亮, 後藤晋, von Karman 乱流中の渦構造とエネルギーカスケード機構, 日本機械学会 2020 年度年次大会
8. 中谷謙介, 犬伏正信, 後藤晋, 機械学習を用いた 2 次元後流乱流の状態推定, 日本流体力学会 年会 2020
9. 阿部篤司, 後藤晋, 周期箱乱流中のスケール間エネルギー伝達の評価, 日本流体力学会 年会 2020
10. 小西幹人, 犬伏正信, 後藤晋, 強化学習を用いた流体混合の最適化, 日本流体力学会 年会 2020
11. 本告遊太郎, 後藤晋, 渦の階層の客観的な同定による壁乱流のエネルギーカスケードの解明, 日本流体力学会 年会 2020
12. 渡邊大記, 後藤晋, 気液界面を有する回転球体内乱流の直接数値計算, 34 回数値流体力学シンポジウム
13. 西川碧, 大山春華, 後藤晋, 格子ボルツマン法による二相流の数値シミュレーション, 日本機械学会 関西支部第 96 期定時総会講演会
14. 本告遊太郎, 後藤晋, 壁乱流中の秩序構造の階層が慣性粒子の輸送に果たす役割, 日本物理学会 第 76 回年次大会(2021 年)
15. 荒木亮, 後藤晋, 粘性駆動される von Karman 乱流の準周期変動, 日本物理学会 第 76 回年次大会(2021 年)

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	64 - 128
1 ケースあたりの経過時間	60 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.47

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	2,384,284.42	0.45
SORA-PP	7,043.67	0.06
SORA-LM	4,958.59	2.91
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	1,501.08	1.38
/data	117,282.92	2.26
/tmp	15,625.01	1.33

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.07

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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	1,014.71	0.70
/data	88,081.40	1.48
/ssd	572.20	0.30

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



## 飛翔体超音速空力特性

報告書番号：R20JACA20

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14470/

### ● 責任者

北村圭一，横浜国立大学

### ● 問い合わせ先

筒井 史也(横浜国立大学大学院)(tsutsui-fumiya-rt@ynu.jp)

### ● メンバ

北村 圭一，筒井 史也，安村 祐哉

### ● 事業概要

ロケットや超音速パラシュートなどの飛翔体は超音速で飛行し，物資輸送などの重要な役割を持つため，安定した飛行を行うことが重要となる．飛行安定性を阻害する要因として，機体表面に存在する突起や超音速パラシュートの非定常な衝撃波振動が挙げられる．これらによる飛翔体空力特性への影響は未だ明らかでなく，また風洞試験にて得られる知見には限りがある．そこで，ロケットや超音速パラシュートを対象とした超音速条件における数値解析を行い，それらの精密な空力データを取得する．これらを通して，安全な飛行を実現する超音速飛翔体の空力設計に貢献することが，本研究の目的である．

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究では，細長物体のノーズ部・突起部に生じる衝撃波や風下側の剥離渦，そして超音速パラシュートの衝撃波振動を正確にとらえる必要があり，高解像度の計算格子が必要となることから計算コストが膨大となる．そのため，高精度な大規模計算を短時間で可能にするスーパーコンピュータを用いる必要がある．

### ● 今年度の成果

- ・非対称に配置された複数の突起を有する細長物体の空力特性

図 1 に示すような細長比 8.9 の細長物体に対し，2 つの突起を機体前方部の風下側及び，機体中央部の様々なロール方向位置に装着し，一様流マッハ数  $M_\infty = 1.5$ ，迎角  $\alpha = 15^\circ$  として数値解析を行った．その結果，図 2 のような突起配置(F+45\_M+45)の場合に興味深い結果を得た．このケースでは前方突起が作る渦 V3 が，後方突起下流の渦 V3'の形成を阻害している．このように突起が追加で装着されることで渦構造が変化する場合では，2 つの突起それぞれが生む横力の単純な足し合わせにはならず，

前方突起のみの場合(F+45)に比べ微減することが明らかになった。

・超音速パラシュートの空力特性

図3に示すような開傘初期のパラシュート形状に対し、一様流マッハ数  $M_\infty = 2.0$  として数値解析を行い、前方物体の有無による影響を調査した。前方物体を付与することにより、衝撃波離脱距離が増加する一方、パラシュート内部圧力は減少することが明らかになった。これは、前方物体の後流により、衝撃波上流側マッハ数が減少したことに起因する。また、バンド部において、パラシュート内部から外部へ流出する流れが生じたことにより、衝撃波離脱距離の増加につながった。

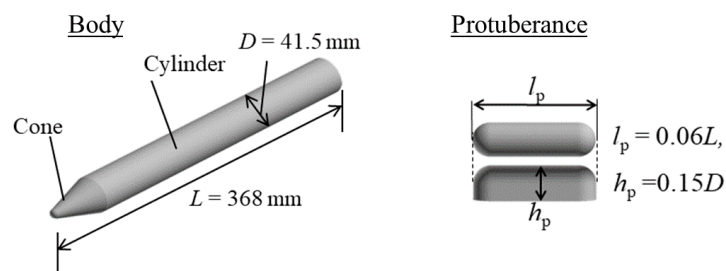


図1: 解析対象

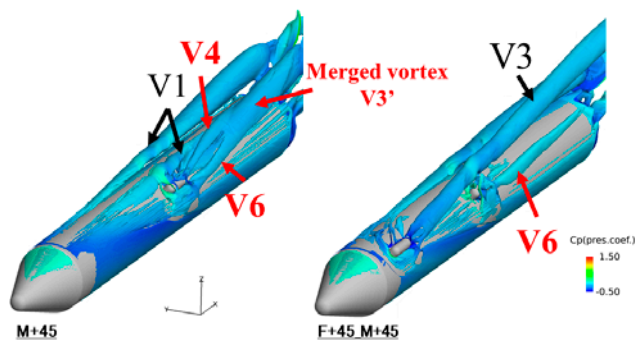


図2: Q 値等値面の可視化結果(圧力係数  $C_p$  で色付けされている)

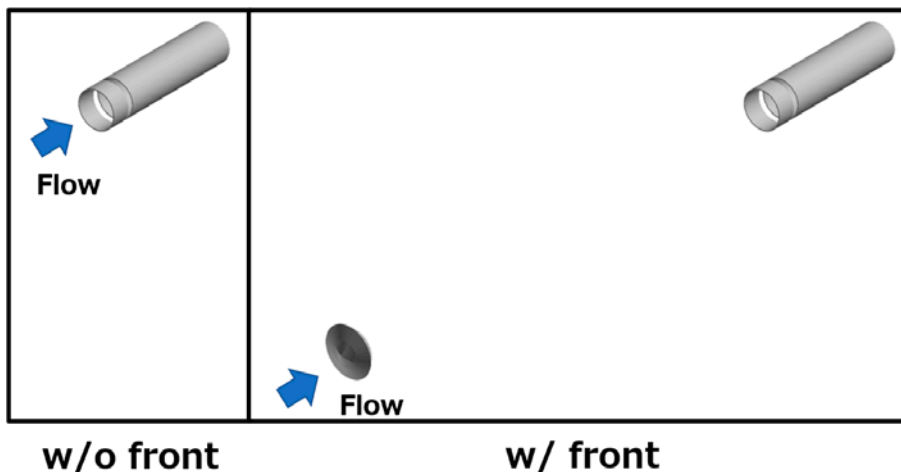


図 3: 解析対象

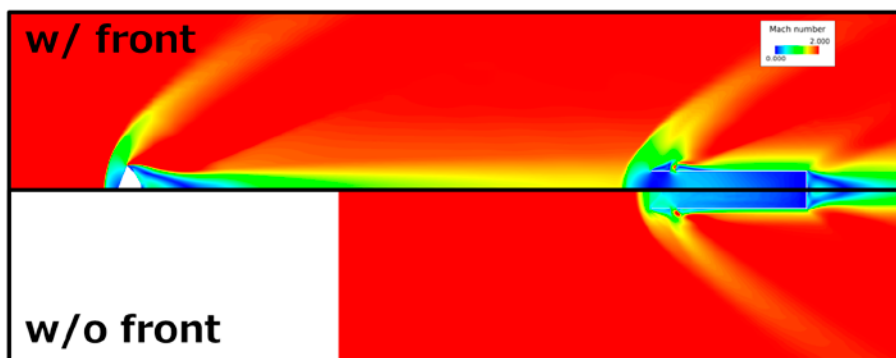


図 4: マッハ数による可視化結果

● 成果の公表

-口頭発表

1)筒井史也,高木雄哉,瀧本浩之,北村圭一,野中聡, "非対称に配置された 2 つの突起を有する細長物体の空力解析,"第 64 回宇宙科学技術連合講演会,2L06(オンライン,2020 年 10 月 28 日).

2)Tsutsui, F., Takagi, Y., Takimoto, H., Kitamura, K., and Nonaka, S.: Numerical Analysis on Aerodynamic Characteristics of Slender Body with Asymmetric Double Protuberance, AIAA-2021-0137, AIAA SciTech Forum 2021, Virtual Event, January, 2021.

● 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	512 - 1024
1 ケースあたりの経過時間	8 時間

## ● JSS2 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	1,561,810.38	0.30
SORA-PP	27,312.54	0.21
SORA-LM	6,933.62	4.07
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	288.01	0.26
/data	9,670.26	0.19
/ltmp	2,343.75	0.20

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	12.77	0.42

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	42,052.48	0.01
TOKI-RURI	2,776.04	0.02
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	478.74	0.33
/data	28,972.64	0.49
/ssd	2,508.16	1.31

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	12.77	0.42

※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

## 複雑形状まわりの高レイノルズ数 LES に向けた超高次精度非構造格子法に関する研究

報告書番号：R20JACA38

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14482/

### ● 責任者

浅田啓幸, 東北大学工学研究科

### ● 問い合わせ先

浅田 啓幸(h.asada@tohoku.ac.jp)

### ● メンバ

浅田 啓幸

### ● 事業概要

本研究の目的は、複雑形状まわりの高レイノルズ数流れの高精度 LES に向けて、高次精度非構造格子法である discontinuous Galerkin(DG)法をベースとしたソルバーを開発することである。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究が目指す DG 法による LES 解析は、膨大な数の計算格子を用いた大規模解析のため、実現するためにはスパコンが必須である。また、DG 法は大規並列計算で高い実行効率を実現でき、スパコン上でその真価を発揮する。

### ● 今年度の成果

今年度は超高次精度 DG 法として空間 8 次精度 DG を構築し、円柱まわりの流れの LES 解析を行うことで、LES への適用可能性について調査した。高次精度 DG 法を用いた LES 解析では、格子で解像できないスケールの流れを解く際に数値不安定性が発生することが知られている。本研究では、まず従来通りに空間 8 次精度 DG 法を構築し、円柱まわりの流れ(直径ベースのレイノルズ数が 3900)の LES 解析に適用することで、この数値不安定性が本当に発生することを確認した。また、その不安定性の様子から、粘性項に問題があると考え、DG 法で粘性項の離散化として広く使われている 2nd Bassi-Rebay 法(BR2 法)について再考した。その結果、BR2 法で用いている大幅な近似が数値安定性に悪影響を与えている可能性があると考え、大幅な近似を行わない BR1 法による離散化の方が安定であると考えた。実際に BR1 法を空間 8 次精度 DG 法に実装し、円柱まわりの流れの LES 解析を行ったところ、BR2 法よりも安定に解析が行えた。図 1 および図 2 は、BR1 法を用いた空間 4 次精度と空間 8 次精度の DG 法による円柱まわりの流れ場の LES 解析結果である。

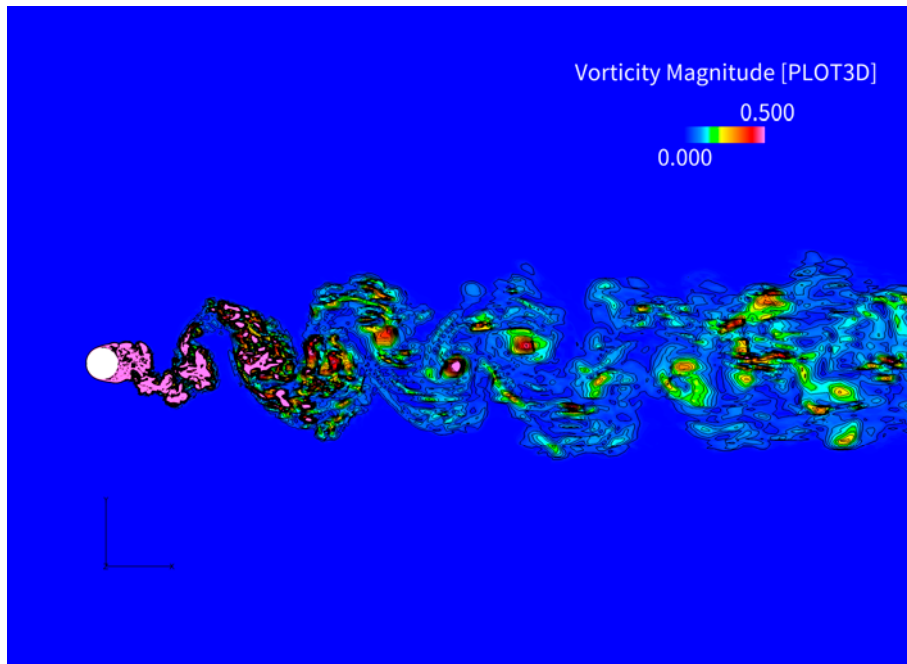


図 1: 空間 4 次精度 DG 法による円柱まわりの流れ(直径ベースのレイノルズ数=3900)

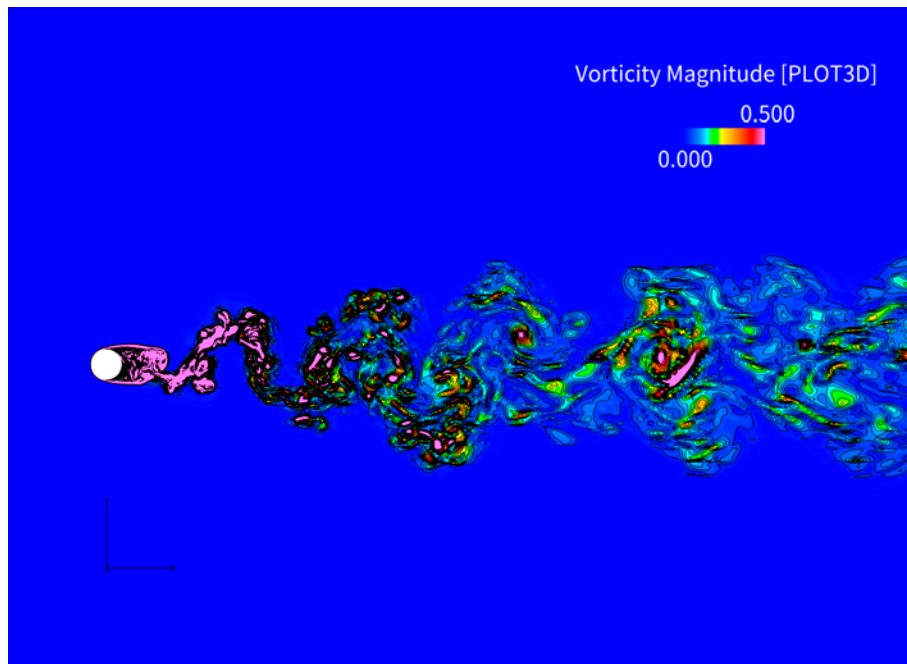


図 2: 空間 8 次精度 DG 法による円柱まわりの流れ(直径ベースのレイノルズ数=3900)

● 成果の公表

なし

## ● 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	700 - 5250
1 ケースあたりの経過時間	125 時間

## ● JSS2 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	18,640.92	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	2.38	0.00
/data	2,441.41	0.05
/ltmp	488.28	0.04

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



## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.14

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 (%)
TOKI-SORA	758,497.79	0.16
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	2.38	0.00
/data	2,441.41	0.04
/ssd	23.84	0.01

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

## 宇宙科学

## AGN 周囲における輻射輸送計算

報告書番号：R20JDU10502

利用分野：宇宙科学

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14590/

### ● 責任者

山田亨, 宇宙科学研究所宇宙物理学研究系

### ● 問い合わせ先

松本光生, 宇宙科学研究機構 宇宙物理学研究系(koseim@ir.isas.jaxa.jp)

### ● メンバ

中川 貴雄, 松本 光生

### ● 事業概要

流体計算モデルのガス構造に基づいて CO の non-LTE 輻射輸送計算を行い, CO 振動回転遷移吸収線観測との整合性の確認, また観測結果の解釈を行なった.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本輻射輸送計算では, 光の波長, ガスの速度, 3 次元の位置情報の 5 次元のデータを取り扱う必要があり, コアごとの計算メモリ分散だけでなく, 1 コアが持つ計算メモリも十分に確保する必要があった. そのため, 本計算で使用した SORA-LM は最適な計算機システムであった.

### ● 今年度の成果

活動銀河核(Active Galactic Nuclei, AGN) 周囲に存在する幾何学的に厚い分子トラスは, AGN からの放射を遮蔽する役割を持つ重要な構造であるが, トラスの厚みの形成過程や内部構造は未だに明らかでない.

そこで, 我々のグループではトラス内壁のダスト昇華層を背景光とした CO 振動回転遷移吸収線(波長 $\sim 4.67 \mu\text{m}$ ,  $v=0-1$ ,  $\Delta J=\pm 1$ ) の観測を行う事で, トラス内部のガスの運動状態, 物理状態に迫っている. IRAS 08572+3915 の CO 吸収線観測では, 複数の速度成分( $-160, 0, +100 \text{ km/s}$ ) を持つガスが観測され, さらに励起状態がボルツマン分布を示すような高温(数百 K)成分がトラス内に存在する事を示した(Shirahata et al. 2013). しかし, 観測結果だけでは, このようなガスがトラス内部のどのような構造に起源を持つのかまでは明らかにする事ができなかった.

そこで, 本研究では電波観測と整合性が確認されている理論モデルのトラス構造に基づいた CO Non-LTE 輻射輸送計算をすることで, 観測された吸収線スペクトルを理論計算で再現できるかを検証した. その結果, Shirahata et al. (2013) と同様に複数の速度成分を持つ吸収線が観測見込み角 80 度か

ら 50 度で観測できる事を示し, さらに見込み角 77 度で観測された赤方偏移, 青方偏移した吸収線の成分は, どちらも高温の励起状態を持って, AGN 中心から 2pc 以内の高密度領域に存在している事を示した. これらの事から, 本研究は観測的な結果と理論モデルの整合性を確認し, さらに観測結果だけでは理解できなかった吸収線の起源についての解釈を与えた.

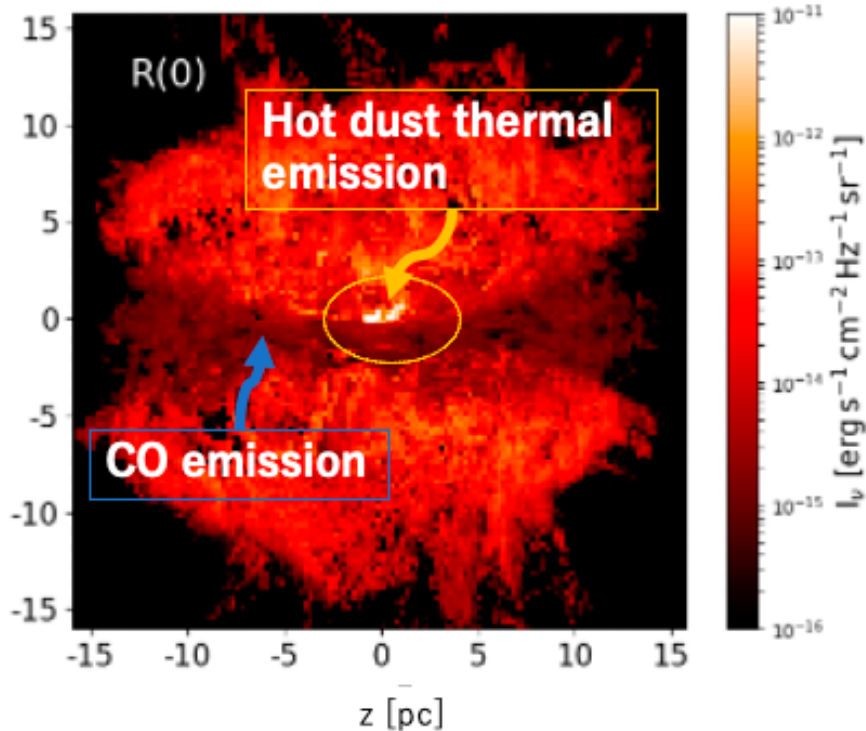


図 1: 観測見込み角 77 度でのトーラス内の CO 分子放射とダスト放射の分布

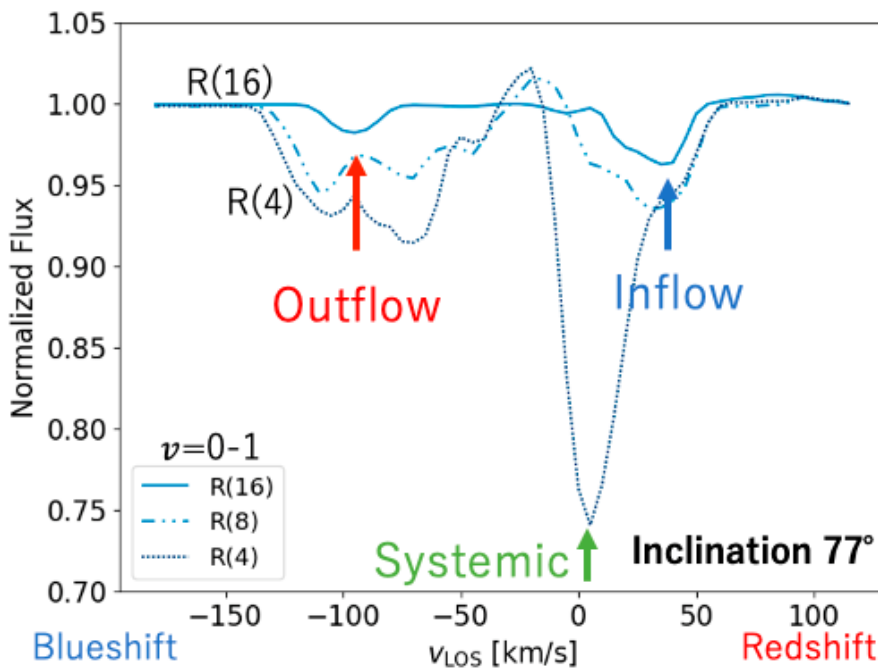


図 2: 観測見込み角 77 度での吸収線スペクトラム R(4), R(8), R(16)

## ● 成果の公表

-口頭発表

松本光生, 渦尾泰成, 馬場俊介, 和田桂一, 大西崇介, 中川貴雄, "AGN トーラス内部の CO ガスの励起機構と吸収線形成の理論", 2021 年日本天文学会春季年会

松本光生, 渦尾泰成, 馬場俊介, 和田桂一, 大西崇介, 中川貴雄, "分子トーラスでの CO 振動回転遷移吸収線観測と理論モデルの比較・検証", 2020 年日本天文学会秋季年会

-ポスター

Kosei Matsumoto, Taisei Uzuo, Keiichi Wada, Shunsuke Baba, Takao Nakagawa, Shusuke Onishi "Probing inner structures of molecular torus with CO ro-vibrational absorption lines", Dust2020 in Marseille

## ● 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	32 - 128
1 ケースあたりの経過時間	24 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	20.34	0.00
SORA-LM	0.52	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	7.95	0.01
/data	79.47	0.00
/ltmp	1,627.60	0.14

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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	14.31	0.01
/data	143.05	0.28
/ssd	143.05	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

## CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD の光学要求解析

報告書番号：R20JDU20199

利用分野：宇宙科学

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14591/

### ● 責任者

山田亨, 宇宙科学研究所宇宙物理学研究系

### ● 問い合わせ先

永田 竜(nagata.ryo@jaxa.jp)

### ● メンバ

永田 竜

### ● 事業概要

宇宙科学研究所戦略的中型衛星 2 号機 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て、マイクロ波背景輻射偏光の精密全天探査を行う。その科学的成果により、インフレーション理論の検証を通じたビッグバン以前の初期宇宙の究明が期待されるものである。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。

本年度は JAXA スーパーコンピュータの新システム稼働にともなう数値シミュレーションソフトウェアの実行環境移行の作業に取り組んだ。ライブラリを新環境のプロセッサに適応させ、一連の数値計算を従来環境での計算結果と整合的に実行できる体制を整備した。加えて、偏光特性のサイドローブ依存性に関する検討に着手した。実測データを用いた評価の準備として、低周波望遠鏡(LFT)のシミュレーションモデルを用い、偏光角の応答から近傍サイドローブの寄与を分離する計算法を確立した。

参考 URL: <http://litebird.jp/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

LiteBIRD は掃天観測によって偏光地図の作成を全天球領域で行う。データ取得過程の数値シミュレーションにおいては、ビームパターンの畳込み積分をサンプリングレートである 19 Hz の頻度で一年間分繰り返す。ビーム関数は数千平方度の領域を分角スケールの分解能で分布しており、サンプリング毎に数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。LiteBIRD は宇宙科学研究所戦略的中型衛星 2 号機に選定されており、本課題において達成された検討成果は光学設計の根幹をなす要素としてプロジェクトの推進に大いに寄与している。

## ● 今年度の成果

年度途中まで SORA-MA で運用されていた数値シミュレーションソフトウェアの TOKI-SORA 実行環境への移行を完了した。JSS サポートデスクの協力のもと、ソフトウェアライブラリを更新し新環境のプロセッサへと適合させた。新環境での数値計算は、従来環境での実行結果と高い精度で一致することが確認できた。また計算性能の面では、従来と同等の同時使用コア数のもと計算に要する時間が概ね半減しており、著しい改善が見出された。本作業成果により、次年度以降の事業推進に際して、検討内容に大幅な拡充が期待できることとなった。

LFT シミュレーションモデルにもとづいたビームパターンを用いて、偏光特性の測定実験を数値的に再現し、偏光角の応答におけるビームパターンの部位毎の寄与を評価した。(図 1) は、試験的に採用した焦点面中央部に位置する検出器の 100GHz 帯ビームパターンにもとづき、偏光角バイアスの区間依存性を示したものである。メインビーム端から近傍サイドローブ領域にかけて 1 分角程度の偏光角バイアスの増加が認められた。感染症対策事業継続計画のもと LFT 1/4 スケールモデルの測定データ取得が進められており、次年度には実測データに基づいた評価を行うための準備を完了することができた。

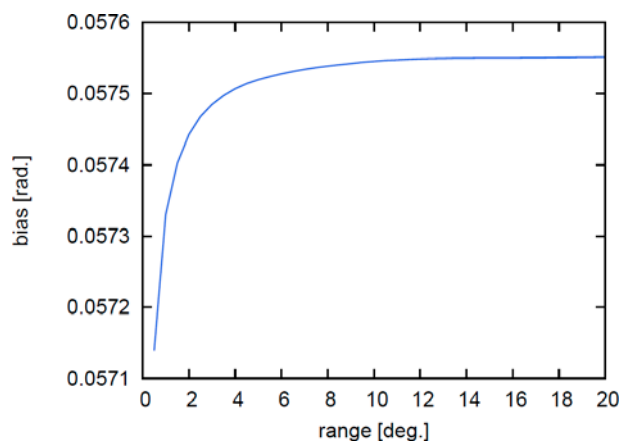


図 1: 100 GHz 帯 ビームパターンにおける偏光角バイアスの区間依存性

## ● 成果の公表

-査読なし論文

Concept design of low frequency telescope for CMB B-mode polarization satellite LiteBIRD: Proc. SPIE, 11453, 1145310 (2020)

-Web

<http://litebird.jp/>



## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	24
1 ケースあたりの経過時間	1 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	6,517.76	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	2.38	0.00
/data	476.84	0.01
/ltmp	488.28	0.04

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	0.12	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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	167,842.45	0.04
TOKI-RURI	21.40	0.00
TOKI-TRURI	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	6.36	0.00
/data	1,271.57	0.02
/ssd	63.58	0.03

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	0.12	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

## 高速流体力学に関する学術研究

報告書番号：R20JU0902

利用分野：宇宙科学

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14669/

### ● 責任者

嶋田徹, 宇宙科学研究所宇宙飛行工学研究系

### ● 問い合わせ先

大山 聖(oyama@flab.isas.jaxa.jp)

### ● メンバ

大山 聖, 河合 成孝, 関本 諭志, 寺門 大毅, 下村 怜, 野々村 拓, 谷口 翔太, Dwianto Bimo, 斎藤 巧真, 二村 成彦, 金子 賢人, 福嶋 勇揮, 佐藤 元紀

### ● 事業概要

火星飛行機の空力設計など高速流体力学に関する基盤研究を実施する

参考 URL: https://ladse.eng.isas.jaxa.jp/

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

火星飛行機の空力設計には LES 計算が必要になり、スーパーコンピュータが必要である。

### ● 今年度の成果

今年度は、電動飛行機のプロペラと主翼の干渉に関する知見の獲得を目的とした数値解析を実施した。解析ソフトには JAXA で開発された FaSTAR move を用いた。解析対象は主翼、ナセル及びプロペラであり、主翼に対してプロペラ取り付け位置を変えその影響について調べた。図 1 に得られた解析結果の例を示すが、プロペラ後流による剥離の抑制や表面流線の様子などの風洞試験結果との一致が確認された。得られた空力特性についても風洞試験結果との定性的な一致を確認した。

空力設計最適化によって得られた火星飛行機の翼形状に対して、翼上面に張り出しリブを設置して剛性補強を施した翼に対して、LES を用いた流れ場の解析と空力性能の評価を行った。巡航迎角付近においては、張り出しリブが翼上面における渦の形成を阻害しないため、空力性能は悪化しないことが明らかになった(図 2)。また、高迎角においては、張り出しリブが大規模な剥離を抑制する効果をもつことが示唆された。これらから、張り出しリブ構造を持つ最適化翼は、火星飛行機の主翼として有用であることがわかった。

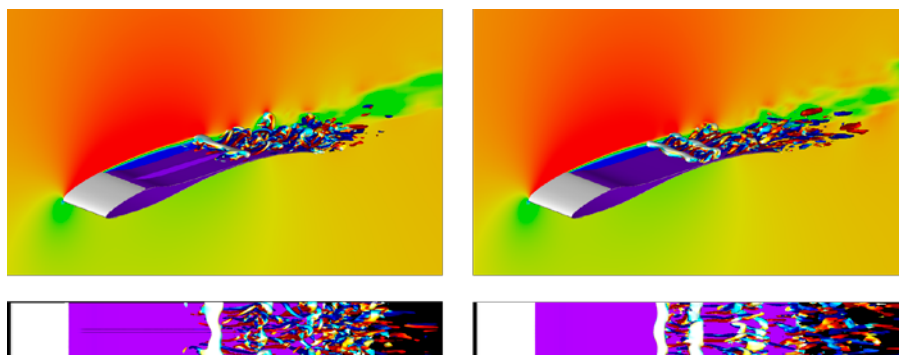


図 1: 主翼の表面流線及び Q 値の等値面

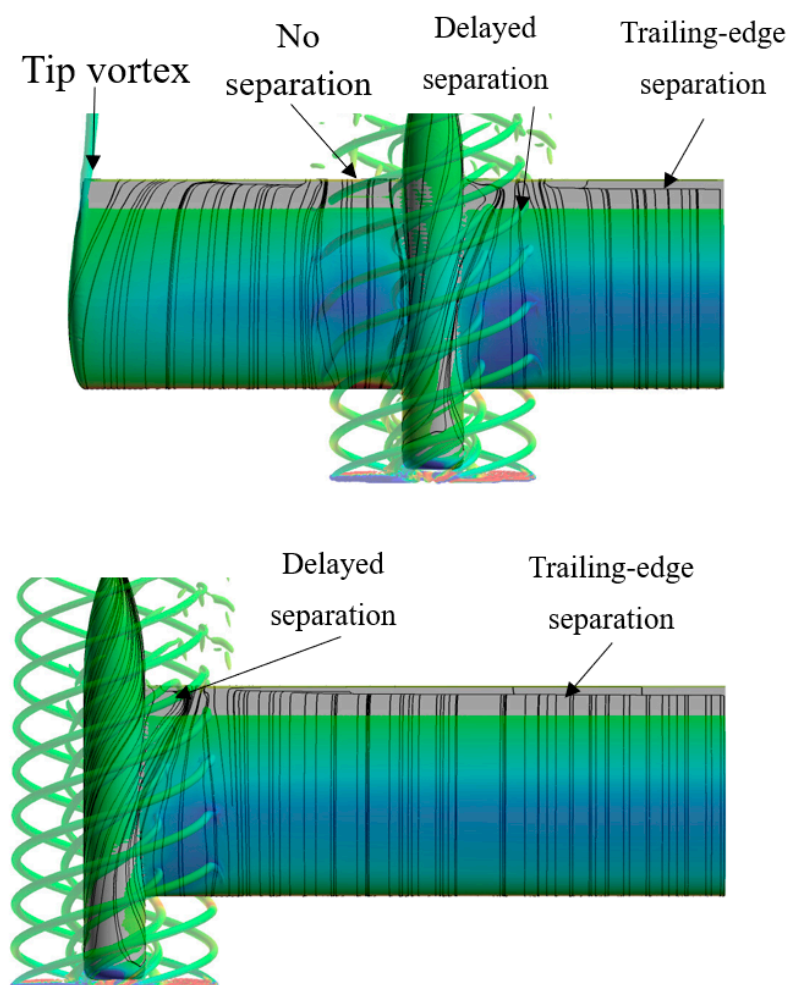


図 2: 巡航迎角における翼周りの渦と速度場(上図)と翼上面の渦の可視化(下図). 左:張り出しリブを設置したもの, 右:張り出しリブがないもの

● 成果の公表

-査読付き論文

谷口翔太, 大山聖, 火星飛行機の空力特性に対する圧縮性効果, 航空宇宙技術(採択決定済み)

## -口頭発表

小笠原大地, 大山聖, 佐藤允, 佐藤光太郎, "レイノルズ数変化に伴う三角厚翼ロータの空力・流れ場特性の評価", 令和2年度宇宙航行の力学シンポジウム, 12月14日-15日, 2020年.

二村成彦, 大山聖, "火星飛行機のための張り出しリブ構造翼の空力特性", 令和2年度宇宙航行の力学シンポジウム, 12月14日-15日, 2020年.

谷口翔太, 橘高洋人, 金崎雅博, 永井大樹, 大山聖, 藤田昂志, 安養寺正之, 岡本正人, "第二回火星飛行機高高度飛行試験へ向けた空力モデルの構築", 令和2年度宇宙航行の力学シンポジウム, 12月14日-15日, 2020年.

小笠原大地, 大山聖, 佐藤允, 佐藤光太郎, "三角厚翼ブレードのレイノルズ数効果に関する数値的研究", "1D12, 第58回飛行機シンポジウム, 2020.

二村成彦, 大山聖, "横滑り角が張り出しリブ構造翼の空力特性に与える影響", OS11-02, 第98回流体工学部門講演会, 11月11日-13日, 2020.

谷口翔太, 橘高洋人, 金崎雅博, 永井大樹, 大山聖, 藤田昂志, 安養寺正之, 岡本正人, "MABE2における空力モデルの構築", "1D03, 第64回宇宙科学技術連合講演会, オンライン, 10月27日-30日, 2020.

小笠原大地, 大山聖, 佐藤允, 佐藤光太郎, "低レイノルズ数環境下における三角厚翼ロータの数値的研究", "1D14, 第64回宇宙科学技術連合講演会, オンライン, 10月27日-30日, 2020.

二村成彦, 田村駿, 大山聖, "火星飛行機主翼の張り出しリブ構造が空力特性に与える影響について", "3A08, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2020オンライン, 9月28日-30日, 2020.

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	12 - 37
1ケースあたりの経過時間	350 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 1.25

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	7,221,557.14	1.37
SORA-PP	66,099.88	0.52
SORA-LM	1,130.02	0.66
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	1,677.15	1.54
/data	36,484.79	0.70
/ltmp	11,791.49	1.00

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	11.99	0.40

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 1.20

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 (%)
TOKI-SORA	5,719,077.00	1.23
TOKI-RURI	135,055.12	0.77
TOKI-TRURI	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	3,213.14	2.20
/data	87,286.67	1.46
/ssd	5,635.69	2.94

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	11.99	0.40

※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

## 先端的宇宙機推進機のプラズマ流れの数値解析

報告書番号：R20JU0904

利用分野：宇宙科学

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14670/

### ● 責任者

佐藤英一，宇宙科学研究所宇宙飛翔工学研究系

### ● 問い合わせ先

船木一幸(funaki.ikkoh@jaxa.jp)

### ● メンバ

田内 思担, 原 亮太, 二田 竜太, 村山 裕輝

### ● 事業概要

既存宇宙機推進技術の適用範囲は限られており，太陽系内の自由な航行にはほど遠いのが現状である．宇宙機推進のブレークスルーにより，次世代深宇宙探査技術を飛躍的に高めることを目的とする．

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

多大な計算リソースを必要とするプラズマ流解析コードにて，数値設計最適化を実施するために不可欠である．

### ● 今年度の成果

宇宙機からのプラズマ噴射により宇宙機がつくる磁気圏の拡大を図るのが磁気プラズマセイルである．磁気プラズマの推力を最大化するためには，噴射プラズマの動圧と静圧をともに考慮した系を評価する必要がある．本研究ではこの噴射プラズマの動圧と静圧をともに考慮した磁気プラズマセイルを研究対象としている．本研究では，噴射プラズマの動圧と静圧をともに考慮したプラズマ噴射を行う磁気プラズマセイルについて 2 次元理想電磁流体解析を行い，噴射プラズマの周方向噴射位置に関するパラメータである噴射角度 $\theta_{IP}$ が流れ場や推力特性に及ぼす影響について評価を行った．その結果， $\theta_{IP}$ が最小となる $\theta_{IP}=0^\circ$  において推力ゲインが最大となった．一方， $\theta_{IP}$ が大きくなるほど推力ゲインは小さくなり $\theta_{IP}\geq 60^\circ$  では推力が発生しなくなることが分かった．これは，磁気圏で受け止めた太陽風運動量を宇宙機へ伝搬する役割を果たす磁気音波の速度が $\theta_{IP}$ の増加に伴い，磁気圏内および磁気圏境界において増加し，超音速領域が拡大するようになったことで太陽風運動量の宇宙機への伝搬が阻害されるようになったためであると考えられる．

## ● 成果の公表

-査読なし論文

原亮太,山極芳樹,大塩裕哉,西田浩之,船木一幸, 数値解析を用いた噴射プラズマの磁気プラズマセイル推力への影響評価, 第64回宇宙科学技術連合講演会, 4J03, 2021年10月.

-口頭発表

原亮太,山極芳樹,大塩裕哉,西田浩之,船木一幸, 磁気プラズマセイルの推力・流れ場の数値解析 -プラズマ噴射角度の影響-, 2020年度宇宙輸送シンポジウム, STEP-2020-035, 2021年1月.

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	1
1ケースあたりの経過時間	10 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.10

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	29,542.12	0.01
SORA-PP	159,006.38	1.25
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	57.22	0.05
/data	572.20	0.01
/ltmp	11,718.76	1.00

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 <sup>※2</sup> (%)
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



## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.01	0.00
TOKI-RURI	1,409.73	0.01
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	123.98	0.08
/data	762.94	0.01
/ssd	762.94	0.40

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## 電気推進のプラズマ計算

報告書番号：R20JDU10500

利用分野：宇宙科学

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14589/>

### ● 責任者

佐藤英一，宇宙科学研究所宇宙飛翔工学研究系

### ● 問い合わせ先

西山和孝(nishiyama@ep.isas.jaxa.jp)

### ● メンバ

山下 裕介，西山 和孝，森下 貴都

### ● 事業概要

小惑星探査機はやぶさ，はやぶさ 2 に搭載されたマイクロ波放電式イオンエンジン中和器のプラズマ数値解析を行います。初代はやぶさでの中和器の劣化要因の同定，将来の高性能中和器のために解析を行います。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

一般的に計算コストが大きいプラズマの数値計算を，国内屈指の演算性能を持つJAXA スパコンで行うことで効率よく研究を行うことができます。

### ● 今年度の成果

プラズマ解析の前段階にて，マイクロ波放電式中和器の放電室内部の中性粒子流を解析しました。DSMC 法にて放電室内部の中性粒子密度の分布を確認しました(図 1)。またはやぶさ 2 フライトモデルの中和器の計算モデルを構築しました。

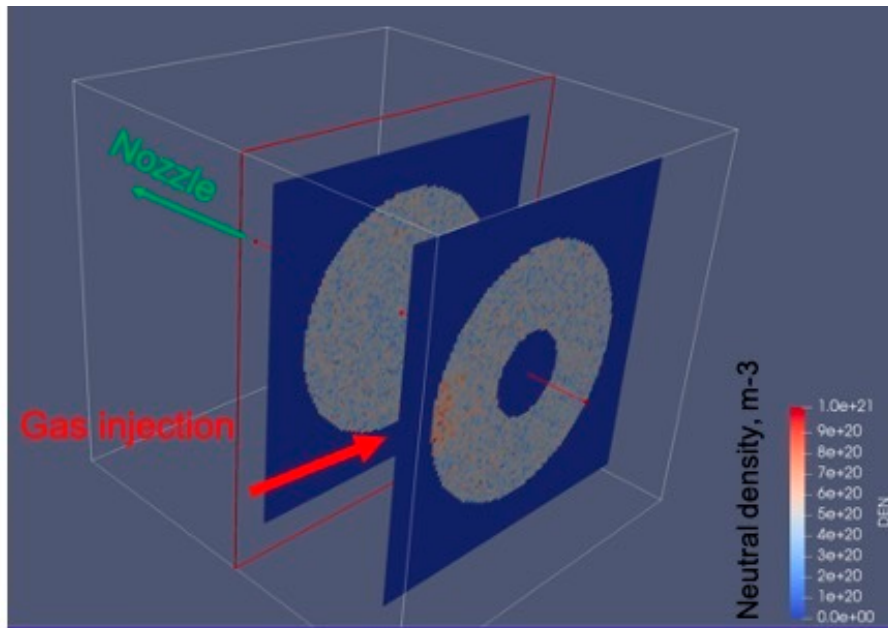


図 1: 中和器放電室内部の中性粒子密度分布

● 成果の公表

なし

● 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	OpenMP
プロセス並列数	2 - 12
1 ケースあたりの経過時間	6 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>\*1</sup> (%) : 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 <sup>*2</sup> (%)
SORA-MA	9,060.69	0.00
SORA-PP	2,877.42	0.02
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	246.37	0.23
/data	4,962.29	0.10
/ltmp	2,604.17	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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	0.17
/ssd	238.42	0.12

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

## 非線形フォースフリー磁場計算による「ひので」観測に基づく太陽コロナ磁場推定

報告書番号：R20JU0912

利用分野：宇宙科学

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14671/

### ● 責任者

齋藤義文, 宇宙科学研究所太陽系科学研究系

### ● 問い合わせ先

清水敏文(shimizu.toshifumi@jaxa.jp)

### ● メンバ

川畑 佑典, 清水 敏文, 長谷川 隆祥

### ● 事業概要

太陽系最大の爆発現象である太陽フレアの発現機構を理解することを目的とする。太陽観測衛星「ひので」等で観測された太陽表面磁場を用いて 3 次元の磁気流体力学計算を行うことで、上空のコロナにおける 3 次元磁場構造を推定する。推定された 3 次元磁場構造とフレア発生の関係を探る。

参考 URL: <http://www.isas.jaxa.jp/home/solar/solarPlasma/whatsSolarPlasma.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

スパコンの大規模計算環境を利用して太陽観測衛星「ひので」の高精度・高空間分解能の磁場を用いた 3 次元の磁気流体力学計算によるフォースフリー磁場モデリングを行う。3 次元の磁気流体力学計算を用いて、3 次元磁場の緩和を行うため、多くの計算資源が必要となる。

### ● 今年度の成果

太陽フレアの発現機構やエネルギー蓄積過程の解明には、光球における磁場発展とそれに対するコロナ磁場の応答を理解することが重要である。しかし現状の偏光分光観測ではコロナ磁場の測定は難しいため、光球磁場を境界条件として非線形フォースフリー磁場(NLFFF)モデリングによってコロナ磁場を外挿する手法が有効となる。今年度の成果として、同一の活動領域において、異なるフレア発生パターンを呈した二つの強磁場領域に着目し、「ひので」の高精度偏光観測によって時系列的に取得された磁場データを外挿計算することで違いの要因を探った。計算の結果、両領域とも強い磁気領域の浮上に伴い、すでに存在していた黒点との間に新たな結びつきが形成されていた。一方では局所的に強くねじれた磁場が形成された(図 1)が、もう一方では浮上磁場の運動によって引き延ばされた磁場配位となった(図 2)。これらのトポロジカルな構造の違いが異なるエネルギー解放の一因になったと考えられる。

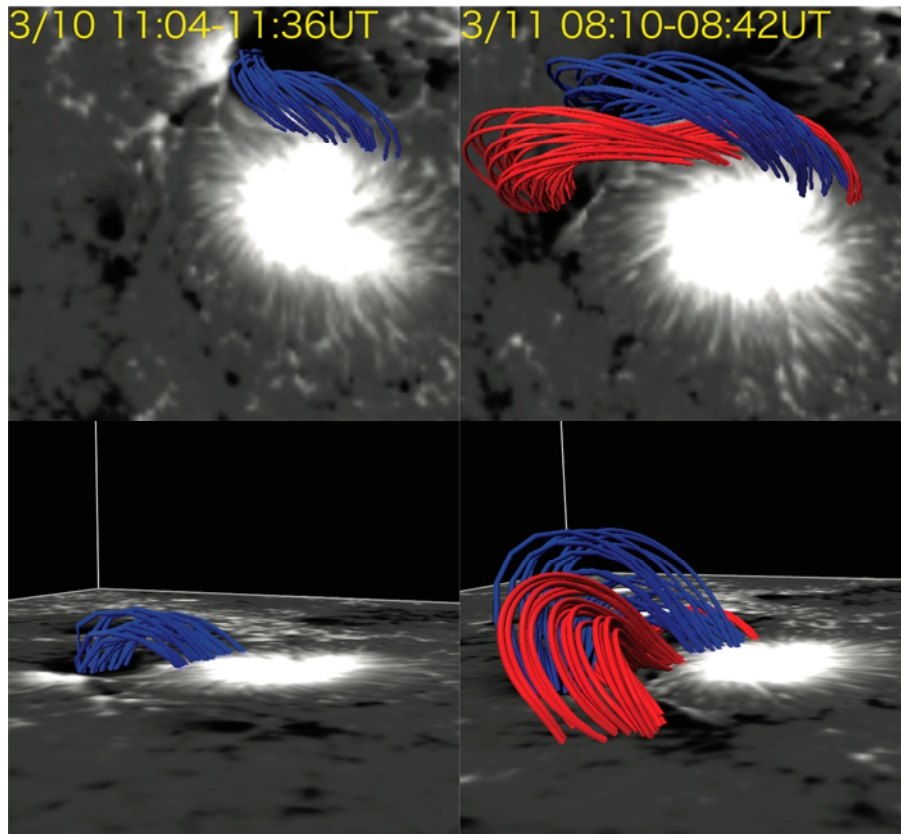


図 1: フレア頻発領域 1 の俯瞰図(上段)と斜景図(下段). 背景は「ひので」による偏光観測から得られた光球垂直磁場. 赤・青線は NLFFF モデリングによって計算された磁力線を可視化したもの.

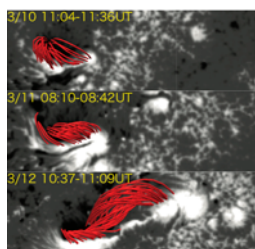


図 2: フレア頻発領域 2 の俯瞰図. 背景は「ひので」による偏光観測から得られた光球磁場. 赤線は NLFFF モデリングによって計算された磁力線を可視化したもの.

## ● 成果の公表

-査読付き論文

長谷川 隆祥, 清水敏文, Temporal Behaviors of Magnetic Helicity Injections by Self and Mutual Sunspot Rotations, The Astrophysical Journal, Submitted

## ● 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	1 - 144
1 ケースあたりの経過時間	8 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	173.40	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	16,214.21	1.53

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	25.61	0.02
/data	254.85	0.00
/tmp	5,208.34	0.44

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	2.32	0.00
TOKI-TRURI	14,825.28	1.19

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	19.35	0.01
/data	191.54	0.00
/ssd	190.73	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



## 宇宙技術

## ALOS/PALSAR 全数処理

報告書番号：R20JR0100

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14628/

### ● 責任者

祖父江真一, 第一宇宙技術部門宇宙利用統括付

### ● 問い合わせ先

工藤 文雄(kudoh.fumio@jaxa.jp)

### ● メンバ

早坂 英俊, 後藤 貴志, 大串 文美, 道津 正徳, 池田 隆志, 村本 信裕, 萩原 浩司, 山本 忠裕, 武藤 太郎, 岡 一浩, 仲田 季寧, 大塚 克之, 村上 駿介, 黒川 広隆, 横川 宏之, 山口 志野, 工藤 文雄, 三海 英和

### ● 事業概要

陸域観測技術衛星「だいち」および「だいち 2 号」により取得した合成開口レーダー (PALSAR/PALSAR-2) のデータを加工して, ユーザにとって操作性の高い画像プロダクト (Analysis Ready Data) を生成し提供を行う。

参考 URL: <http://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

JAXA は, 地球観測衛星データの利用普及を拡大するためのデータ公開整備を行っています。その一環として, 大量の ALOS/PALSAR, ALOS-2/PALSAR-2 の全観測期間分データを処理し, ユーザの利便性の高い画像データを迅速に公開する必要がある JAXA にはあります。これを実現するには, JSS2 での処理(最大 350 並列処理)が最適であるため, JSS2 を利用をしました。

### ● 今年度の成果

今年度の処理実績です。

PALSAR の日本域の L2.2 処理

FBD:37,711 シーン

FBS:49,023 シーン

PLR: 7,364 シーン

WB1: 1,662 シーン

WB2: 5 シーン

PALSAR の日本域以外の処理

- FBD(L1.1:568,670, L2.2:638,759 シーン)
- FBS(L1.1:684,362, L2.2:389,318 シーン)
- PLR(L1.1:218,529, L2.2: 3,606 シーン)
- DSN(L1.1: 4,135, L2.2: 1,085 シーン)
- WB1( L2.2:116,055 シーン)
- WB2( L2.2: 762 シーン)

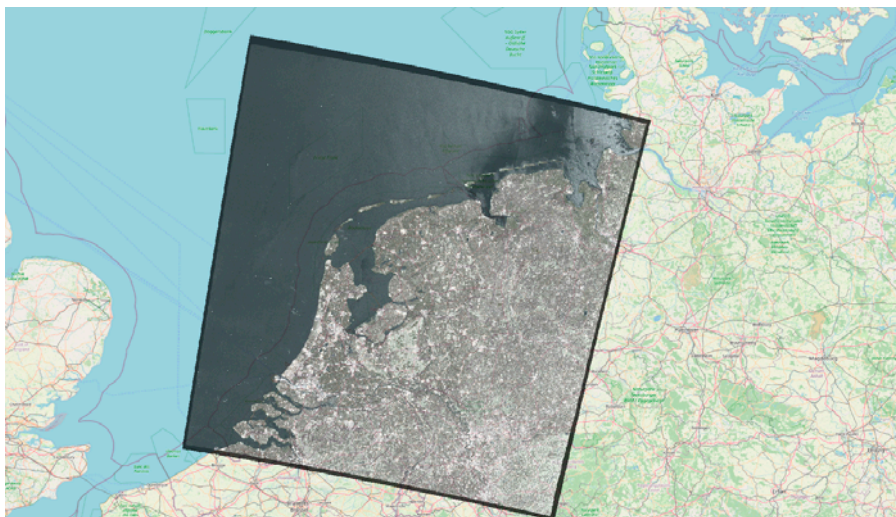


図 1: PALSAR-2/SCANSAR L2.2@オランダ(2010/8/12 観測, シーン ID:ALPSRS242342550)

● 成果の公表

なし

● 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	10 分

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 1.55

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	0.00	0.00
SORA-PP	2,604,450.21	20.41
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	235.24	0.22
/data	105,422.39	2.04
/ltmp	29,036.47	2.47

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	73.79	2.44

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.08

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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	2.00	0.00
TOKI-TRURI	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	272.59	0.19
/data	103,619.77	1.74
/ssd	1,128.52	0.59

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	73.79	2.44

※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

## GOSAT-2 プロジェクト

報告書番号：R20JR3500

利用分野：宇宙技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14648/>

### ● 責任者

久世暁彦，第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム

### ● 問い合わせ先

上田 陽子(ueda.yoko@jaxa.jp)

### ● メンバ

上田 陽子，山崎 朋朗，小林 由季，牧野 太郎，矢田 裕宜，石田 慎，高久 淳一，木幡 賢二，吉田 武仁，片岡 文恵，橋本 真喜子，野口 英行，末武 秀己，間瀬 知行，菊地 信弘，須藤 洋志

### ● 事業概要

主たる温室効果ガスの濃度分布，吸収排出量のより高い精度での算出・推定を行い，以下の寄与により環境行政に貢献する．また，これまでの地球観測技術を継承・発展させ，将来の地球観測衛星に必要な技術開発を行う．

- ・気候変動予測精度の向上への寄与
- ・地球システムの変化の早期検出への寄与
- ・人為的な温室効果ガス排出の削減状況や自然吸収源の変動状況の把握への寄与
- ・大気汚染監視に関する政策への寄与

参考 URL: [http://www.jaxa.jp/projects/sat/gosat2/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/gosat2/index_j.html)

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

GOSAT-2 の観測データを処理するミッション運用系システムを構成するシステムとして，処理アルゴリズム改訂時に，JSS2 で過去に取得した全観測データの再処理を実施する．また，再処理に必要な全データの遠隔地保存先として利用する．

GOSAT-2 プロダクトの再処理対象は過去に取得した全観測データであり，標準処理よりもより多くの計算機リソース(コア，メモリ，ストレージ等)を必要とする．再処理の期間を短縮し，再処理後のプロダクトをより早くユーザに提供するために JSS2 の利用が必要である．

### ● 今年度の成果

GOSAT-2 の TANSO-FTS-2 及び TANSO-CAI-2 による観測開始以降，JSS2 上でのプロダクトの再処理に備え，GOSAT-2 ミッション運用系システムから JSS2 への L0 データの伝送を行っている．

2020年度は、TANSO-FTS-2を2回、TANSO-CAI-2を1回のアルゴリズムのバージョンアップを行い、その都度JSS2上で過去分の観測データの再処理を行った。

TANSO-FTS-2 L1B プロダクトのバージョンアップ履歴を以下に示す。

- ・バージョン 102.102 : 2020年5月 TIR FCE 補正, 複素感度校正アルゴリズムの修正, SWIR 輝度劣化補正係数, 輝度変換係数の修正, アトリビュートの追加

- ・バージョン 200.200 : 2020年10月 TIR 校正式への偏光補正の取込み, 校正情報等追加に伴うフォーマット変更

TANSO-CAI-2 L1A プロダクトのバージョンアップ履歴を以下に示す。

- ・バージョン 102.102 : 2020年5月 アトリビュートの追加, バグフィックス

2019年7月より、GOSAT-2 Product Archive ページ(<https://prdct.gosat-2.nies.go.jp/ja/index.html>)にて TANSO-FTS-2 L1B 及び TANSO-CAI-2 L1B プロダクトの一般提供を開始している。

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	5 分

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.10

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	29,529.51	0.23
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	150.14	0.14
/data	129,955.90	2.51
/ltmp	30,747.78	2.62

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.07

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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	18.90	0.00
TOKI-TRURI	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	164.44	0.11
/data	98,347.03	1.65
/ssd	690.73	0.36

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



## GOSAT-2 利用研究

報告書番号：R20JR3501

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14649/

### ● 責任者

久世暁彦，第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム

### ● 問い合わせ先

菊地信弘(地球観測研究センター)(kikuchi.nobuhiro@jaxa.jp)

### ● メンバ

木幡 賢二，吉田 武仁，片岡 文恵，橋本 真喜子，石田 慎，山崎 朋朗，野口 英行，菊地 信弘，須藤 洋志

### ● 事業概要

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき2号」(GOSAT-2)が観測する高分解能スペクトルデータから二酸化炭素，メタンおよび一酸化炭素の大気中濃度を導出する．そのための導出アルゴリズムの開発，検証および改善を行う．

参考 URL: <https://www.eorc.jaxa.jp/earthview/2020/tp200203.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

衛星観測データから温室効果ガス濃度を導出する処理を行うために JAXA スーパーコンピュータを利用する．1日分の観測データを処理するために，おおよそ 100 時間の CPU タイムを必要とする．1 ノードあたり 12 コアを持つプレポストシステムを同時に 10 ノード利用すると，1日分の観測データがおおよそ 1 時間で処理できる．

### ● 今年度の成果

我々は JAXA/EORC において，GOSAT-2 のレベル 1 データから二酸化炭素，メタンおよび一酸化炭素の大気中濃度を導出するためのアルゴリズム(レベル 2 アルゴリズム)の開発を進めている．GOSAT-2 の利点は，短波長近赤外(SWIR)において太陽反射光スペクトルの偏光観測を行なっていることと，熱赤外(TIR)における熱放射スペクトルを SWIR と同一のフットプリントで観測していることである．我々のレベル 2 アルゴリズムは，SWIR における偏光情報に TIR の情報を加えて，二酸化炭素とメタンの対流圏における濃度分布を鉛直方向 2 層まで導出するものである．これによって GOSAT-2 の本来の性能が発揮され，温室効果ガス吸収排出量の推定精度をさらに向上させることを目的としている．本年度は，TIR の校正精度が改善された新しいバージョンのレベル 1 データを用い，2019 年 2 月から

2020年3月までの GOSAT-2 データに対してレベル2 処理を行った。図1(左)に二酸化炭素のカラム平均濃度の2020年3月における月平均値を示す。一方、図1(右)は二酸化炭素の対流圏下層における月平均値である。二酸化炭素は長寿命の分子であるため発生源とそれ以外のところで濃度のコントラストが小さいが、対流圏下層濃度はカラム平均濃度よりもコントラストが強調されることが分かる。同様に、図2にメタンのカラム平均濃度(左)と対流圏下層濃度(右)を示す。対流圏下層濃度を見ると、二酸化炭素と同じように発生源とそれ以外とのコントラストが強調されているが、南半球の海上では濃度が低すぎると思われるので、今後さらに検討・改善が必要である。図3は一酸化炭素のカラム平均濃度の月平均値である。一酸化炭素の鉛直分布は GOSAT-2 から導出できない。図3(右)は2020年1月の月平均値であるが、オーストラリア東部で頻発した森林火災から発生した一酸化炭素がはっきりと捉えられている。

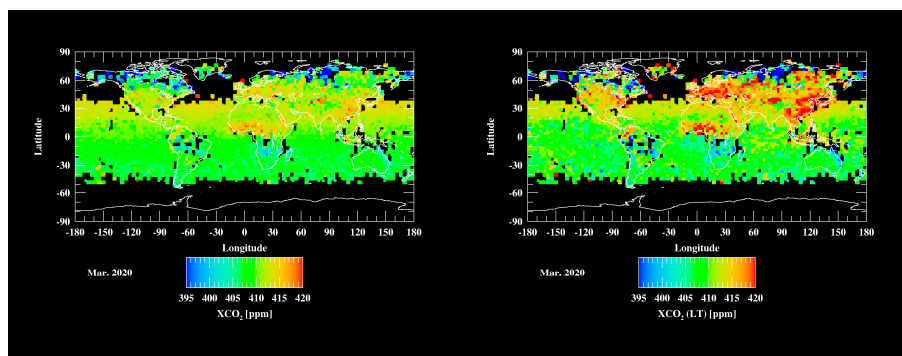


図1: (左) GOSAT-2 から導出した二酸化炭素カラム平均濃度の2020年3月における月平均値。(右) 同じく二酸化炭素の対流圏下層濃度の月平均値。

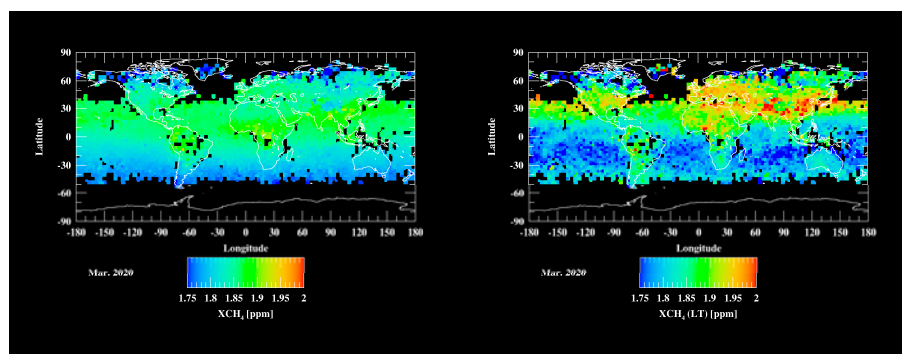


図2: (左) GOSAT-2 から導出したメタンカラム平均濃度の2020年3月における月平均値。(右) 同じくメタンの対流圏下層濃度の月平均値。

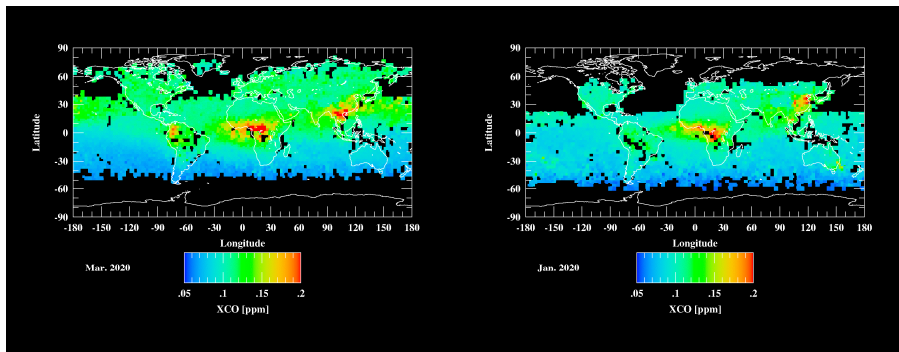


図 3: (左) GOSAT-2 から導出した一酸化炭素カラム平均濃度の 2020 年 3 月における月平均値. (右) 同じく 2020 年 1 月における月平均値. オーストラリア森林火災による濃度上昇が捉えられている.

● 成果の公表

-Web

[https://www.eorc.jaxa.jp/GOSAT/GPCG/index\\_GOSAT2.html](https://www.eorc.jaxa.jp/GOSAT/GPCG/index_GOSAT2.html)

● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	10 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	142,887.54	1.12
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	36.97	0.03
/data	49,567.47	0.96
/ltmp	7,570.69	0.64

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.03	0.00
TOKI-RURI	34,634.52	0.20
TOKI-TRURI	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	27.43	0.02
/data	97,930.59	1.64
/ssd	274.30	0.14

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

## GPM/DPR のデータ受信処理

報告書番号：R20JR0200

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14629/

### ● 責任者

平林毅, 第一宇宙技術部門宇宙利用統括

### ● 問い合わせ先

GPM ミッション運用担当(GPM-MOS@ml.jaxa.jp)

### ● メンバ

小西 利幸, 南 貴博, 鳥居 雅也, 山本 忠裕, 河瀬 祥子, 石原 博成, 田中 久, 東上床 智彦, 坂本和宏, 正木 岳志, 坂本 恭一, 本橋 修, 山崎 朋朗, 今中 誠, 廣瀬 憂哉, 荒川 拓也, 梶山 謙一, 青木 隆修, 上田 陽子, 出原 真理子, 宮坂 隆史

### ● 事業概要

近年, 地球規模の環境変化を把握する必要性について, 世界的な関心が高まりつつある. このような問題に対し, 人工衛星による宇宙からの観測技術を利用した様々な取り組みが行われている. 全球降水観測計画(GPM)は, 熱帯降雨観測衛星(TRMM)の後継ミッションであり, アメリカ航空宇宙局(NASA)や国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)と協力して, 全球規模での降水量分布を, 高精度, 高頻度で観測することを目的とする. 全球降水観測計画(GPM)では, 二周波降水レーダー(DPR: Dual-frequency Precipitation Radar)とマイクロ波放射計(GMI: GPM Microwave Imager)を搭載した主衛星と, マイクロ波放射計を搭載した副衛星群を連携させることにより, 全球の降水量の高精度かつ高頻度な観測を実現している.

また, これら GPM および副衛星群で取得したデータをもとに, 全球の降水分布を推定するシステムを実現している. これを GSMaP(全球降水マップ; Global Satellite Mapping of Precipitation)と名付けている.

更に, 地球規模の環境変化を理解するためには, 長期的なデータの蓄積が必要であり, 1997年~2015年まで運用されていた熱帯降雨観測衛星(TRMM)のデータと GPM のデータの連続性の確保が重要となる.

参考 URL: <http://www.jaxa.jp/projects/sat/gpm/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

人工衛星による地球観測のデータ処理は, 日々の観測データを処理する"定常処理"と, 解析アルゴリズムの改良が行われたときに実施する"再処理"に大きく分けられる. 再処理の場合, 最新のアルゴリズムを用いて, これまでに蓄積された膨大な過去分の観測データ全ての処理をするため, 処理に要す

る時間は観測期間に比例し長期化する。このような大規模計算"再処理"にスパコンを活用することで計算時間の大幅な短縮、ひいては処理結果(プロダクト)のユーザへの提供までの期間の早期化を実現している。

また、再処理の実施頻度は、1～2年に1度程度であることから、再処理のための計算機資源を必要とする期間は限定している。この計算機資源を自前で準備すると計算機利用の観点では非効率的である。JSS2を利用することは、必要時に比較的柔軟に共通計算機資源を確保できる点でメリットがある。

本事業においては、ワークフロー制御と呼ぶ MPI 並列処理を利用して、同時実行プロセス数を増やすことで全体の計算時間の短縮を実現している。

## ● 今年度の成果

2020年度は、リリースしたバージョン6を利用してGPM処理の一部である潜熱の再処理を実施した。以下に再処理時のCPU利用時間等の概要を示す。

<GPM 潜熱>

【観測期間】 2014/03/08 ～ 2020/06/30

【CPU 総利用時間】 約 475.5 時間

【総出力ファイル数】 74,125 ファイル

【総出力ファイル容量】 1.4 TB

また、2021年度にGPM(DPR)/TRMM(PR)/GSMaP処理のバージョンアップを予定しており、2020年度は、それらの入力データの準備(JSS3へのデータ転送)を実施した。

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	2 - 10
1 ケースあたりの経過時間	120.8 秒

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 3.84

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	23,007,787.40	4.35
SORA-PP	4,994.01	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	204.12	0.19
/data	101,315.68	1.96
/ltmp	33,612.37	2.86

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	26.10	0.86

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	13,694.57	0.08
TOKI-TRURI	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	341.00	0.23
/data	128,163.87	2.15
/ssd	1,837.41	0.96

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	26.10	0.86

※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



## GPM 全球降水マップのデータ同化手法の研究

報告書番号：R20JR0201

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14630/

### ● 責任者

沖理子, 第一宇宙技術部門地球観測研究センター

### ● 問い合わせ先

第一宇宙技術部門 地球観測研究センター 久保田 拓志(kubota.takuji@jaxa.jp)

### ● メンバ

寺崎 康児, 小槻 峻司, Chen Ying-Wen, 久保田拓志

### ● 事業概要

GSMaP, GPM/DPR やその他の衛星観測データを, 先端的のアンサンブルデータ同化手法により数値天気予報モデルに取り込み, 大気客観解析及びこれを初期値とした予報に改善をもたらすと共に, 衛星観測データと数値モデルの双方を活かした新たな降水プロダクト NEXRA(NICAM-LETKF JAXA Research Analysis)を作成する.

参考 URL: https://www.eorc.jaxa.jp/theme/NEXRA/index\_j.htm

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究では, 全球大気データ同化システム(NICAM-LETKF)による衛星観測データ同化及び予測計算を行うが, 大規模な全球大気モデル計算, 及び, アンサンブルデータ同化を行うために, JSS2 は必須である.

### ● 今年度の成果

#### (1) GPM/DPR 直接同化実験

NICAM-LETKF を用いて, DPR 反射強度を数値天気予報モデルに直接同化する手法の開発を進めている. 今年度は, 昨年度に引き続き雲微物理過程のパラメータ推定の検討を行い, 雪の終端速度に関連するモデルパラメータの最適化を行った. 観測値と NICAM からシミュレートした DPR の反射強度を CFAD(Contoured Frequency by Temperature Diagram)に基づいて比較したところ, シミュレートした DPR の反射強度にバイアスがあることが分かった(図 1). 雨, 雪及び霰の終端速度パラメータの DPR 反射強度に対する感度実験を行い, 雪の終端速度パラメータに感度があることが分かった. このため, 雨と霰の終端速度係数のデフォルト値を維持したまま, 雪の終端速度係数をデータ同化によって推定した. その結果, CTRL 実験と比較して, TEST 実験では Ku バンドと Ka バンドの反射強度

が改善した(図 2).

#### (2) NICAM-LETKF=GSMaP\_RNC シームレス予報システムの開発

昨年度開発した NICAM-LETKF と GSMaP\_RNC の降水予報を組み合わせた世界初の全球降水シームレス予報システムは、2020年8月から運用を開始した([https://www.riken.jp/press/2020/20200820\\_2/index.html](https://www.riken.jp/press/2020/20200820_2/index.html)). 今年度は、降水予報の精度を改善するために、機械学習に基づくナウキャスト手法を実装することの有用性を検討した。最初の試みとして、深層学習の一つである畳み込み LSTM(ConvLSTM)ネットワークを GSMaP\_RNC に実装した。ネットワーク設計の検討を繰り返し、最初の試行版よりも改善することが示唆されたが、依然として降水域が散逸する傾向が見られる。今後は、この問題を解決するために、ConvLSTM ネットワークの設計の検討を続け性能向上を目指す。

#### (3) 観測誤差相関を考慮するデータ同化手法の開発

本研究では、密な衛星データ同化で重要となる水平方向の観測誤差の相関を考慮するデータ同化システムを開発し、解析及び予報精度の改善を図った。アンサンブルカルマンフィルタでは、観測分布やアンサンブルサイズなどの実験設定によって、インフレーションパラメータを最適化することが重要である。水平方向の観測誤差相関を含めると観測誤差共分散行列の扱いが変わるため、インフレーションパラメータに対する感度を調べた。その結果、水平方向の観測誤差相関を含めると、観測誤差相関を無視した場合に比べて大きなインフレーションが必要となることが明らかになった。実験設定毎にインフレーションパラメータを最適化した結果、水平方向の観測誤差相関を考慮することにより、データ同化が大きく改善される可能性が明らかとなった。これにより、密な衛星データを間引かず、観測誤差相関を直接考慮する方法の可能性を示した。

#### (4) 新 NEXRA を JSS3 への移植

JSS2 で構築した次期 NEXRA システムを JSS3 への移植並びに自動化作業を行った。現在同化プロセスに取り組みされている観測データ PREPBUFR, AMSU-A, GSMaP\_NRT, マイクロ波サウンダ(mhs), クロストラック走査マイクロ波放射計(atms)を含んだ NEXRA のデータ取得から、NEXRA のコアとなる NICAM-LETKF の運用、そして解析値の平均を初期値とした 5 日天気予測まで、一連のプロセスの自動化を完成した。解像度はこれまでの NEXRA と同様に 112 km を設定し、NICAM-LETKF におけるアンサンブルメンバー数は 128 メンバーとなった。これまで、JSS2 で 1 サイクル運用の所要時間は 2 時間半に対し、JSS3 での所要時間 30-40 分であり、大幅短縮できることが確認した。また、新 NEXRA における雨量の同化効果を確認した。2018 年 12 月における雨量の同化解析値と GSMaP と比較した結果、同化の効果が確認できた(図 3)。同時に、新 NEXRA システムは現在、準リアルタイムでの運用を行われている。

#### (5) 高解像度予測実験

昨年度に整備された水平解像度 14 km の NEXRA 予測システムを使用し、2020 年 7 月 4 日 06 時(世界標準時)を初期値とした 2020 年 7 月上旬に九州で発生した豪雨事例の予測実験を行った。結果として、豪雨の発生した期間中に、衛星観測で得られない陸上から大量の水蒸気が中国長江から日本まで運ばれている様子がこの予測実験でよく捉えている。この水蒸気の供給が大雨に寄与していることがわかった(図 4)。

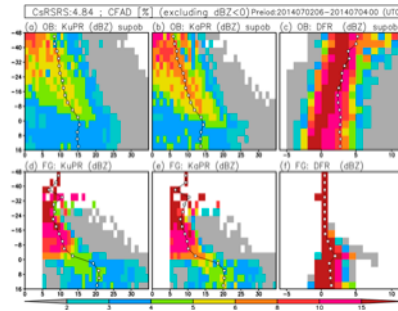


図 1: (a)Ku バンド, (b)Ka バンド, (c)レーダー反射率の差(Ku-Ka)の観測値から得られるレーダー反射率(dBZ)の高度別コンタート周波数図(CFAD;%)と(d-f)NICAM と Joint Simulator を用いて対応するレーダー反射率をシミュレートした結果.

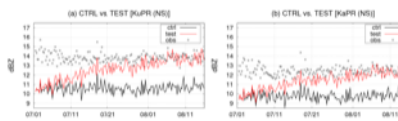


図 2: パラメータ推定に用いた 3 つの鉛直高度で平均した(a)Ku バンドおよび(b)Ka バンドの観測および 6 時間予測レーダー反射率(dBZ)の時系列. 黒線は CTRL, 赤線は TEST, 黒丸は GPM の DPR 観測をそれぞれ示す. 横軸は 2014 年の月/日を示す.

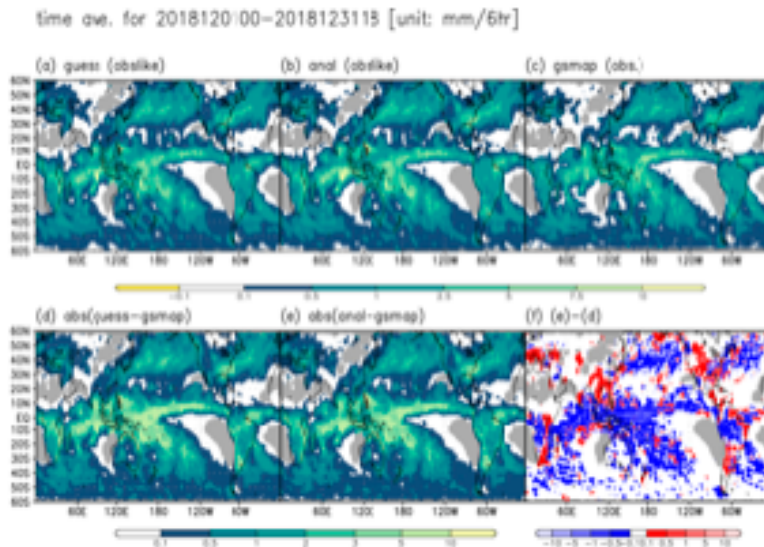


図 3: 新 NEXRA による 2018 年 12 月の月平均の雨量同化結果, (a)同化前の雨量, (b)同化後の雨量, (c)GSMaP 観測雨量, (d)同化前の雨量と GSMaP 雨量の差の絶対値, (e)同化後の雨量と GSMaP 雨量の差の絶対値, (f)(f)と(e)の差, 寒色領域は同化によって雨量分布が改善した場所を示す. 単位は mm/6hr.

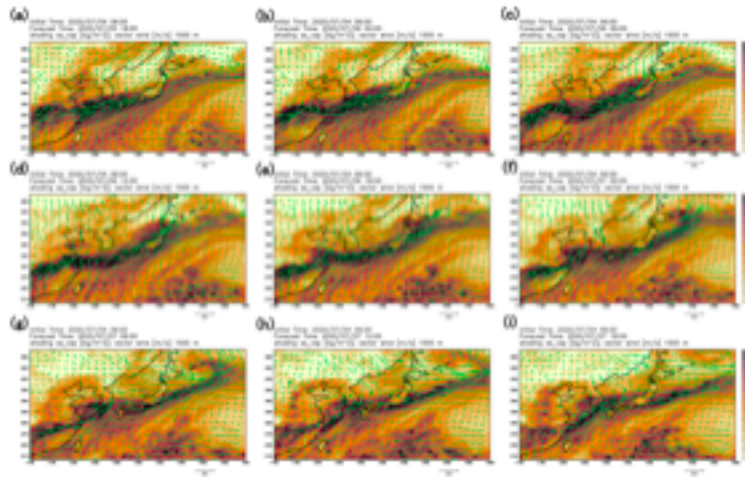


図 4: 2020 年 07 月 04 日 06 時 (世界標準時)を初期値とした 7 月豪雨の予測実験結果. 大気鉛直積算水蒸気量(色;単位:kg/m<sup>2</sup>)と高度 1500 m における水平風(矢印;単位:m/s). 時間は 6 時間間隔.

## ● 成果の公表

### -査読付き論文

1. 2020/4/15 Miyoshi, T., S. Kotsuki, K. Terasaki, S. Otsuka, G.-Y. Lien, H. Yashiro, H. Tomita, M. Satoh, and E. Kalnay, 2020: Precipitation Ensemble Data Assimilation in NWP Models. In: Levizzani V., Kidd C., Kirschbaum D., Kummerow C., Nakamura K., Turk F. (eds) Satellite Precipitation Measurement. Advances in Global Change Research, 69, Springer, 983-991. doi:10.1007/978-3-030-35798-6\_25
2. 2020/9/16 Tandeo, P., P. Ailliot, M. Bocquet, A. Carrassi, T. Miyoshi, M. Pulido, and Y. Zhen, 2020: A Review of Innovation-Based Methods to Jointly Estimate Model and Observation Error Covariance Matrices in Ensemble Data Assimilation. Mon. Wea. Rev., 148, 3973–3994 (レビュー論文)
3. 2020/11/9 Kotsuki, S., Pensoneault, A., Okazaki, A. and Miyoshi, T. (2020): Weight Structure of the Local Ensemble Transform Kalman Filter: A Case with an Intermediate AGCM. Q. J. R. Meteorol. Soc., 146, Issue732, 3399-3415. doi: 10.1002/qj.3852
4. 2020/11 Yashiro, H., Terasaki, K., Kawai, Y., Kudo, S., Miyoshi, T., Imamura, T., et al. (2020). A 1024-Member Ensemble Data Assimilation with 3.5-Km Mesh Global Weather Simulations. In Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis. Atlanta, Georgia: IEEE Press. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3433701.3433703>

### -招待講演

1. 2020/4/24 Takemasa Miyoshi, Weather Predictability and Data Assimilation: Perspectives Toward Prediction and Control in Agriculture, LSSE2020, online
2. 2020/6/3 三好建正, ビッグデータ同化:ゲリラ豪雨予測から予測科学へ, JST 未来社会創造事業ワークショップ 数理科学がドライブする未来, オンライン



3. 2020/7/12 Chen, Y.-W., Terasaki, K., Kotsuki, S., Kanemaru, K., Satoh, M., Miyoshi, T., and Kubota, T., 2020: The recent progress of the weather forecast system based on the NICAM-LETKF assimilation system, Poster (Invited Paper), JpGU-AGU Joint Meeting, online
4. 2020/7/13 Kotsuki S., Pensoneault A., Okazaki A. and Miyoshi T.: Weight Structure of the Local Ensemble Transform Kalman Filter: A Case with an Intermediate AGCM. JpGU-AGU Joint Meeting 2020
5. 2020/9/11 Kotsuki, S., Miyoshi, T., Kondo, K. and Potthast, R.: A Local Particle Filter and Its Gaussian Mixture Extension: Experiments with an Intermediate AGCM. RIKEN Data Assimilation Seminar, online
6. 2020/9/11 Keiichi Kondo, Shunji Kotsuki, Takemasa Miyoshi, A local particle filter based on non-Gaussian statistics using an intermediate AGCM, DA seminar, online
7. 2020/9/24 Takemasa Miyoshi (RIKEN), Big Data, Big Computation, and Machine Learning in Numerical Weather Prediction, Workshop on Data Assimilation and Uncertainty Quantification at the exascale, online
8. 2020/10/6 Takemasa Miyoshi, Big Data, Big Computation, and Machine Learning in Numerical Weather Prediction, Virtual Event: ECMWF-ESA Workshop on Machine Learning for Earth System Observation and Prediction, online
9. 2020/10/28 八代尚: 気象・気候の研究分野から語る富岳のシステムアプリケーションコデザイン, 第3回 HPCI コンソーシアムシンポジウム, オンライン, 基調講演
10. 2020/11/20 三好 建正, ビッグデータとスーパーコンピュータによる豪雨予測 -世界最先端「ビッグデータ同化」の気象予測研究-, 第25回日本難病看護学会 第8回日本難病医療ネットワーク学会合同学術集会, オンライン
11. 2020/11/27 Takemasa Miyoshi, Predicting Sudden Local Storms by 30-second-update NWP Using Phased Array Weather Radar, KU-ITB Biweekly Webinar Series, online
12. 2021/1/12 Takemasa Miyoshi, T. Honda, A. Amemiya, S. Otsuka, Y. Maejima, J. Taylor, H. Tomita, S. Nishizawa, K. Sueki, T. Yamaura, Y. Ishikawa, S. Satoh, T. Ushio, K. Koike, E. Hoshi, and K. Nakajima, Big Data Assimilation: Real-Time Demonstration Experiment of 30-s-Update Forecasting in Tokyo in August 2020, American Meteorological Society 101st Annual meeting, online
13. 2021/1/27 三好建正(理化学研究所), ビッグデータ同化 グリダ豪雨予測から, 予測科学へ, JST/CRDS セミナー『数学と科学, 工学の協働に関する連続セミナー』第13回「シミュレーションとデータ科学」, 2021/1/27, オンライン
14. 2021/2/15 Yashiro, H., 2021: World's Largest Ensemble Weather Data Assimilation on Fugaku, The 3rd R-CCS International Symposium, online
15. 2021/2/17 Takemasa Miyoshi, Big Data, Big Computation, and Machine Learning in Numerical Weather Prediction, AI Chair OceaniX Webinars, IMT-Atlantique & RIKEN Online Joint Seminar Series (Jointly with Data Assimilation Seminar Series)2021,2021/2/17
16. 2021/3/4 Takemasa Miyoshi, Fusing Big Data and Big Computation in Numerical Weather Prediction, Climate Research with HPC Forum, Supercomputing Asia 2021, Online(pre-recording)
17. 2021/3/8 寺崎康児, 三好建正, 全球水平解像度 56km・1024 メンバーの NICAM-LETKF を用いた令和2年7月豪雨実験, 第54回メソ気象研究会, オンライン

-口頭発表

1. 2020/4/22 三好 建正, Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations, 「NICAM-LETKF と衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第 20 回会合, オンライン
2. 2020/5 八代尚, 寺崎康児, 中野満寿男, 小玉知央, 河合佑太, 富田浩文(2020): スーパーコンピュータ「富岳」開発における気象・気候分野のアプリケーションコデザイン, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 紙上開催
3. 2020/5 寺崎康児, 三好建正, 観測ビッグデータ同化に向けたマイクロ波サウンダデータの水平観測誤差相関を考慮したデータ同化, 日本気象学会 2020 年度春季大会, 紙上開催
4. 2020/5/7 Takemasa Miyoshi, Shunji Kotsuki, Koji Terasaki, Shigenori Otsuka, Ying-Wen Chen, Kaya Kanemaru, Masaki Satoh, Hisashi Yashiro, Hirofumi Tomita, Keiichi Kondo, Kozo Okamoto, Eugenia Kalnay, and Takuji Kubota, Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations, EGU2020, online
5. 2020/7/13 Takemasa Miyoshi, Shunji Kotsuki, Keiichi Kondo, Roland Potthast, Local Particle Filter Implemented with Minor Modifications to the LETKF Code, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online
6. 2020/7/30 Takemasa Miyoshi, Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations, 「NICAM-LETKF と衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第 21 回会合, オンライン
7. 2020/11/4 Koji Terasaki, Takemasa Miyoshi, Including the horizontal observation error correlation in the assimilation of AMSU-A data, ECMWF/EUMETSAT NWP SAF Workshop on the treatment of random and systematic errors in satellite data assimilation for NWP, online
8. 2020/11/11 寺崎康児, 三好建正, 全球水平解像度 56km・1024 メンバーの NICAM-LETKF を用いた令和 2 年 7 月豪雨の事例実験. 第 22 回非静力学モデルに関するワークショップ. オンライン
9. 2020/11/12 30 秒ごとに更新するゲリラ豪雨予報—首都圏でのリアルタイム実証実験—, 三好 建正, 本田 匠, 雨宮 新, 大塚 成徳, 前島 康光, James Taylor, 富田 浩文, 西澤誠也, 末木 賢太, 山浦 剛, 石川 裕, 佐藤 晋介, 牛尾 知雄, 小池 佳奈, 星 絵里香, 中島研吾, 第 22 回非静力学モデルに関するワークショップ, オンライン
10. 2020/11/20 Koji Terasaki, Takemasa Miyoshi, Including the horizontal observation error correlation in the assimilation of AMSU-A data, Data assimilation seminar, online
11. 2020/12/1 Yashiro, H., Kawai, Y., Terasaki, K., Kudo, S., Miyoshi, T., Imamura, T., Minami, K., Nakano, M., Kodama, C., Satoh, M., and Tomita, H., 2020: Challenges of high-resolution large-ensemble data assimilation on supercomputer Fugaku, AGU Fall meeting, online
12. 2020/12/21 Takemasa Miyoshi RIKEN Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations, The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2020, online
13. 2021/1/23 Takemasa Miyoshi(Team Leader, RIKEN) , Innovating "Big Data Assimilation"technology for revolutionizing very-short-range severe weather prediction, CREST International Symposium on Big Data Application, online

14. 2021/2/5 James Taylor, Oversampling Reflectivity Observations from a Geostationary Precipitation Radar Satellite: Impact to Typhoon Forecasts within a Perfect Model OSSE Framework, ISDA, online

15. 2021/2/16 Takemasa Miyoshi, Fugaku's Illuminating a Path to the Future of Numerical Weather Prediction, Session11Distinguished Achievements in AI, Big Data and Simulations supporting Society5.0, The 3rd R-CCS International Symposium, Online

16. 2021/2/18 Takemasa Miyoshi, Big data assimilation and AI: Creating new development in real-time weather prediction, ERCIM-JST Joint Symposium on Big Data and Artificial Intelligence, Online

17. 2021/2/18 寺崎康児, 三好建正, 全球水平解像度 56km・1024 メンバーの NICAM-LETKF を用いた令和 2 年 7 月豪雨実験, 第 2 回富岳成果創出加速プログラムテーマ 1 サブテーマ A 研究会, オンライン

18. 2021/3/10 Jianyu (Richard) Liang: A Machine Learning Approach To The Observation Operator For Satellite Radiance Data Assimilation, 金星大気の観測・シミュレーション・データ同化に関する研究会, オンライン

19. 2021/3/15 小槻峻司, 寺崎康児, 佐藤正樹, 三好建正: GPM DPR データ同化による NICAM 雲微物理パラメータ推定, GPM および衛星シミュレータ合同研究集会, オンライン

20. 2021/3/15 Chen, Y.-W., Terasaki, K., Kotsuki, S., Kanemaru, K., Nakano, M., Kanemaru, K. Satoh, M., Miyoshi, T., and Kubota, T., 2021: NICAM-LETKF を用いた全球天気予測システムの開発について, GPM および衛星シミュレータ合同研究集会, オンライン

21. 2021/3/16 寺崎康児, 三好建正, 全球水平解像度 56km・1024 メンバーの NICAM-LETKF を用いた令和 2 年 7 月豪雨実験, 「富岳」成果創出加速プログラム防災・減災に資する大アンサンブル気象・大気環境予測 第 1 回成果発表会, オンライン

22. 2021/3/16 八代尚: 大規模データ同化技術と大気環境予測の進展, 「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」第 1 回成果発表会, オンライン

23. 2021/3/16 八代尚: 富岳を用いた 3.5km メッシュ・1024 アンサンブルデータ同化実験, 「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」第 1 回成果発表会, オンライン

-ポスター

1. 2020/7/12 Shigenori Otsuka, Yasumitsu Maejima, Pierre Tandeo, Takemasa Miyoshi, Toward an integrated NWP-DA-AI system for precipitation prediction, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online

2. 2020/7/12 Koji Terasaki and Takemasa Miyoshi, "Accounting for the horizontal observation error correlation of satellite radiances in data assimilation", JpGU, online

3. 2020/7/15 James Taylor, Atsushi Okazaki, Takumi Honda, Shunji Kotsuki, Moeka Yamaji, Takuji Kubota, Riki Oki, Toshio Iguchi, Takemasa Miyoshi, Evaluating the impact of precipitation radar observations from a geostationary satellite on typhoon forecasts, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online

4. 2020/7/16 Kotsuki S., Terasaki K., Satoh M. and Miyoshi T.: Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM. JpGU-AGU Joint Meeting 2020

5. 2020/10/5 Shigenori Otsuka, Yasumitsu Maejima, Pierre Tandeo, and Takemasa Miyoshi, Toward an integrated NWP-DA-AI system for 30-second-update precipitation prediction. ECMWF-ESA Workshop on Machine Learning for Earth System Observation and Prediction, online
6. 2020/10/30 大塚成徳, 前島康光, Pierre Tandeo, 三好建正, 深層学習と数値天気予報の融合による降水予測に向けて. 日本気象学会 2020 年度秋季大会, オンライン
7. 2020/11/1 八代尚: スーパーコンピュータ「富岳」を用いた大アンサンブル・高解像度大気環境シミュレーション研究, 大気化学討論会, オンライン
8. 2021/2/15 Jianyu Liang, Koji Terasaki and Takemasa Miyoshi, A purely data-driven approach to satellite simulator in numerical weather prediction, R-CCS International Symposium, online
9. 2021/2/15 Koji Terasaki, and T. Miyoshi, A 1024-Member Data Assimilation and Forecast Experiment with NICAM-LETKF Using Fugaku: A Heavy Rainfall Event in Kyushu in July 2020, The 3rd R-CCS international symposium, online
10. 2021/3/16 寺崎康児, 三好建正, 全球水平解像度 56km・1024 メンバーの NICAM-LETKF を用いた令和 2 年 7 月豪雨実験, 「富岳」成果創出加速プログラム防災・減災に資する大アンサンブル気象・大気環境予測 第 1 回成果発表会, オンライン

-Web

1. 衛星データと計算による世界の降水予報-理研と JAXA の web で 5 日後までのリアルタイム降水予報を公開-(理化学研究所, 千葉大学, 東京大学, 宇宙航空研究開発機構) ([https://www.riken.jp/press/2020/20200820\\_2/index.html](https://www.riken.jp/press/2020/20200820_2/index.html))
2. スーパーコンピュータ「富岳」を利用した史上最大規模の気象計算を実現(国立環境研究所ほか)([https://www.riken.jp/pr/news/2020/20201120\\_2/](https://www.riken.jp/pr/news/2020/20201120_2/))
3. 八代尚: 計算で挑む環境研究-シミュレーションが広げる可能性(7) より速く, より多く, より長く, より複雑に-シミュレーションを支える技術-, 国立環境研究所地球環境研究センターニュース, 2020 年 10 月号, Vol.31, No.7
4. 八代尚: より正確な気象予測を可能にする史上最大規模の計算を「富岳」で実現, HPCI マガジン「富岳百景」, Vol.2, <https://fugaku100kei.jp/>
5. 佐藤正樹, 川畑拓矢, 宮川知己, 八代尚, 三好建正: 「富岳」による新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測, 繊維学会誌, 2021, 77 巻, 2 号, p.54-58, <https://doi.org/10.2115/fiber.77.P-54>
6. 地球が見える 2020 年:令和 2 年 7 月豪雨に関連する衛星観測 (<https://www.eorc.jaxa.jp/earthview/2020/tp200811.html>)

-その他

1. 三好建正, 令和二年度防災功労者内閣総理大臣表彰 ([https://www.riken.jp/pr/news/2020/20200909\\_2/index.html](https://www.riken.jp/pr/news/2020/20200909_2/index.html))



## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	5 - 400
1 ケースあたりの経過時間	12 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	2,412.80	2.21
/data	576,515.46	11.13
/tmp	15,625.01	1.33

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	40.25	1.33

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 3.24

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 (%)
TOKI-SORA	16,787,293.32	3.61
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	2,012.25	1.38
/data	292,739.84	4.91
/ssd	953.67	0.50

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	40.25	1.33

※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

## H3 ロケットプロジェクト

報告書番号：R20JK2302

利用分野：宇宙技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14620/>

### ● 責任者

岡田匡史, 宇宙輸送技術部門 H3 プロジェクトチーム

### ● 問い合わせ先

根岸 秀世(negishi.hideyo@jaxa.jp)

### ● メンバ

竹川 国之, 堤 誠司, 金森 正史, 藤原 大典, 安部 賢治, 伊藤 浩之, 大野 真司, 中島 健賀, 根岸 秀世, 大門 優, 芳賀 臣紀, 清水 太郎, 青野 淳也, 王丸 哲文, 福田 太郎, 外山 雅士, 深澤 修, 田尾 公希, 鶴飼 諭史, 山田 梨加

### ● 事業概要

H3 ロケットは、柔軟性、高信頼性、低価格の 3 つの要素を実現することを目指し、2021 年度に試験機の打ち上げを予定している日本の新しい基幹ロケットです。国の重要な人工衛星や探査機などを宇宙へ輸送する手段を今後も日本が持ち続けるために、現在運用している H-IIA ロケット、H-IIB ロケットの後継機として開発されています。H3 ロケットは、国の衛星だけでなく民間の商業衛星を毎年打ち上げていくことも視野に入れていきます。JAXA とプライムコントラクターである三菱重工業(株)を始めとする国内の関連企業が開発段階から総力を結集して、これまで培った運用経験等を活かして全体のシステムを刷新し、低価格・柔軟性・高信頼性を兼ね備えたロケットの実現を目指します。

参考 URL: <http://www.jaxa.jp/projects/rockets/h3/indexj.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

H3 ロケットのような大規模な技術開発プロジェクトでは、リスクマネジメントが極めて重要です。新たな技術をシステムレベルで検証する際にリスクが顕在化すると、大きな手戻りが生じスケジュールと開発費に大きなインパクトがあるためです。定められたスケジュールと開発費でプロジェクトを完遂するためには、開発計画立案や技術開発プロセス自体にも効率化や確実化のための工夫が必須であり、その観点で数値シミュレーション技術と JSS2(計算機環境)は H3 ロケットの開発において極めて重要な役割を果たしています。

### ● 今年度の成果

詳細設計が進む 1 段エンジン LE-9 に関連して、JSS2 を活用することで設計妥当性評価やリスク評価、

改良検討を実施した。FY2020も燃焼器およびターボポンプに関連した改良設計に資する各種解析を実施し、実エンジン開発に貢献した。

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	FLAT
プロセス並列数	128 - 16000
1 ケースあたりの経過時間	300 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 19.94

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	121,029,899.97	22.90
SORA-PP	26,087.25	0.20
SORA-LM	1,671.35	0.98
SORA-TPP	39,869.40	3.76

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	10,114.56	9.27
/data	94,775.12	1.83
/tmp	5,030.67	0.43

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	137.54	4.55

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 5.59

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 (%)
TOKI-SORA	29,499,285.00	6.35
TOKI-RURI	62,324.00	0.36
TOKI-TRURI	278,038.81	22.41

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	16,536.22	11.33
/data	173,852.76	2.91
/ssd	2,897.57	1.51

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	137.54	4.55

※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

## JSS2 における MADOCA を用いた高精度軌道決定

報告書番号：R20JR0800

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14631/

### ● 責任者

井上浩一，第一宇宙技術部門衛星測位システム技術ユニット

### ● 問い合わせ先

瀧口博士(takiguchi.hiroshi@jaxa.jp)

### ● メンバ

瀧口 博士，三好 翔

### ● 事業概要

衛星測位システム技術ユニットでは，複数 GNSS 対応高精度軌道時刻推定ツール(MADOCA)を用いて，高精度測位に必要な不可欠な衛星の軌道・時刻情報を定常的に生成し，ネットワーク経由でユーザーに配信を行っている．JSS2 では，MADOCA の更なる高精度化を目的とした，長期間のデータ解析，シミュレーションを高速に行う．

参考 URL: [https://ssl.tksk.jaxa.jp/madoca/public/public\\_index\\_en.html](https://ssl.tksk.jaxa.jp/madoca/public/public_index_en.html)

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

MADOCA の高精度化に必要な太陽輻射圧などの擾乱源のモデル化や各種パラメータの最適化には長期間のデータ解析が必要である．JSS2 を利用することで，計算時間を短縮する．

### ● 今年度の成果

今年度は新型コロナウイルス緊急事態宣言および JSS2 システムの JSS3 への移行もあり，計画していた JSS 利用を来年度以降に延期した．そのため，今年度の成果は無い．

来年度は，最新の MADOCA ソフトウェアと JSS3 を用いて，MADOCA オフラインプロダクトの再解析を行う予定である．

### ● 成果の公表

なし

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	30 分

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	12,323.36	1.16

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	100.14	0.09
/data	2,584.46	0.05
/tmp	1,953.13	0.17

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	2,230.21	0.18

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	2,489.09	0.04
/ssd	95.37	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



## PALSAR-2 データ全数処理

報告書番号：R20JAR10600

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14498/

### ● 責任者

祖父江真一，第一宇宙技術部門宇宙利用統括付

### ● 問い合わせ先

工藤 文雄(kudoh.fumio@jaxa.jp)

### ● メンバ

早坂 英俊，後藤 貴志，池田 隆志，村本 信裕，萩原 浩司，小川 真弘，山口 志野，横川 宏之，黒川 広隆，村上 駿介，工藤 文雄，武藤 太郎，仲田 季寧，大塚 克之

### ● 事業概要

陸域観測技術衛星「だいち」および「だいち 2 号」により取得した合成開口レーダー (PALSAR/PALSAR-2) のデータを加工して，ユーザにとって操作性の高い画像プロダクト (Analysis Ready Data) を生成し提供を行う。

参考 URL: <https://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos2/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

JAXA は，地球観測衛星データの利用普及を拡大するためのデータ公開整備を行っています。その一環として，大量の ALOS-2/PALSAR-2 の全観測期間分データを処理し，ユーザの利便性の高い画像データを迅速に公開する必要がある JAXA にはあります。これを実現するには，JSS2 での処理(最大 350 並列処理)が最適であるため，JSS2 を利用をしました。

### ● 今年度の成果

下記の期間について処理を実施いたしました。

期間,	領域,	観測モード,	再生 ID 数
2014/8-9,	南極以外の全球,	SM2/SM3/WB1/WB2,	1915
2014/10-12,	南極以外の全球,	WB1/WB2,	1115
2015/1-2020/6,	カンボジア,	WB1/WB2,	409
2015/1-4,	全球,	SM2,	1001

JSS2 から JSS3 への移植を実施し，結果，以下のように速度上昇が見込まれる。

- ・ 処理指示部 9:31:28(JSS2)→2:11:00(JSS3)

- ・ 処理制御部 10:07:58(JSS2)→7:18:44(JSS3)
- ・ プロダクト登録部 38:32:36(JSS2)→17:36:59(JSS3)



図 1: PALSAR-2/WD1 L2.1@カンボジア(2015/1/16 観測, シーン ID:ALOS2035053400-150116)

● 成果の公表

なし

● 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	OpenMP, pthread, boost::thread
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	30 分

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.15

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	0.00	0.00
SORA-PP	191,257.70	1.50
SORA-LM	6,945.83	4.08
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	157.36	0.14
/data	50,296.81	0.97
/ltmp	13,085.94	1.11

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	73.77	2.44

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	24,369.48	0.14
TOKI-TRURI	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	246.37	0.17
/data	98,713.28	1.65
/ssd	866.25	0.45

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	73.77	2.44

※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

## ターボポンプに関する設計解析

報告書番号：R20JK2305

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14621/

### ● 責任者

岡田匡史, 宇宙輸送技術部門 H3 プロジェクトチーム

### ● 問い合わせ先

角田 篤洋(tsunoda.atsumihiro@jaxa.jp)

### ● メンバ

根岸 秀世, 鶴飼 諭史, 青塚 瑞穂, 角田 篤洋, 後藤 尚志

### ● 事業概要

H3 ロケットは、柔軟性、高信頼性、低価格の 3 つの要素を実現することを目指し、2021 年度に試験機の打ち上げを予定している日本の新しい基幹ロケットである。国の重要な人工衛星や探査機などを宇宙へ輸送する手段を今後も日本が持ち続けるために、現在運用している H-IIA ロケット、H-IIB ロケットの後継機として開発中。H3 ロケットは、国の衛星だけでなく民間の商業衛星を毎年打ち上げていくことも視野に入れており、JAXA とプライムコントラクターである三菱重工業(株)を始めとする国内の関連企業が開発段階から総力を結集して、これまで培った運用経験等を活かして全体のシステムを刷新し、低価格・柔軟性・高信頼性を兼ね備えたロケットの実現を目指している。本事業では H3 ロケットの中でも、1 段エンジン LE-9 の特にターボポンプに特化し、各種技術課題に対して数値シミュレーションを用いた設計評価を行う。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

ターボポンプ単体試験及びエンジン燃焼試験結果のフィードバックとして、詳細設計を再検討することとなり、短期間で複数ケースの大規模数値模解析を実施すると共に、その結果をクイックに反映する必要があったため。

### ● 今年度の成果

タービン翼の複数設計案に対して大規模かつ高忠実な CFD 計算を実施し、フラッターに対する余裕を示す指標である空力減衰比を評価した。LE-9 ターボポンプ設計へのクイックな結果反映により、H3 プロジェクト全体のスケジュール確保に貢献した。

## ● 成果の公表

なし

## ● JSS 利用状況

## ● 計算情報

プロセス並列手法	XPFortran
スレッド並列手法	OpenMP
プロセス並列数	20 - 960
1 ケースあたりの経過時間	500 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 8.60

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	52,316,548.39	9.90
SORA-PP	32,429.68	0.25
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	60.15	0.01

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	3,598.80	3.30
/data	14,974.81	0.29
/ltmp	5,886.50	0.50

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	8.64	0.29

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 5.48

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 (%)
TOKI-SORA	29,614,573.04	6.37
TOKI-RURI	2,434.76	0.01
TOKI-TRURI	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	6,085.29	4.17
/data	116,807.32	1.96
/ssd	31,058.21	16.22

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	8.64	0.29

※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

## 温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)運用事業及び GOSAT 利用研究

報告書番号：R20JR2100

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14638/

### ● 責任者

久世暁彦, 第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム

### ● 問い合わせ先

上田陽子(ueda.yoko@jaxa.jp)

### ● メンバ

橋本 真喜子, 木幡 賢二, 末武 秀己, 須藤 洋志, 今中 誠, 上田 陽子, 早坂 英俊, 菅原 衛, 間瀬 知行, 吉田 武仁, 片岡 文恵, 新井 雅仁, 吉田 純, 今谷 律子, 菊地 信弘, 中村 陽一, 薮野 綾, 荒巻 紀子

### ● 事業概要

GOSAT はミッション期間の 5 年を超えて約 12 年の観測を継続し, 適正に校正された高スペクトル分解能データを供給しています. 全体的な機能や性能は良好で, SNR とスペクトル分解能に大きな劣化は観察されていません. 衛星上でいくつかの異常が見つかりましたが, その後は安定しています. 打ち上げ以降, これらの異常に対応するためにレベル 1 アルゴリズムが更新されています.

参考 URL: [http://www.eorc.jaxa.jp/GOSAT/index\\_j.html](http://www.eorc.jaxa.jp/GOSAT/index_j.html)

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

GOSAT プロダクトの再処理対象は過去に取得した全観測データであり, 標準処理よりもより多くの計算機リソース(コア, メモリ, ストレージ等)を必要とします. 再処理の期間を短縮し, 再処理後のプロダクトをより早くユーザに提供するために JSS2 の利用が必要です.

### ● 今年度の成果

#### (1) GOSAT TANSO-FTS レベル 1 プロダクトの再処理

GOSAT の TANSO-FTS プロダクトの L1 プログラムの改修を行い, 過去データ 12 年分の再処理プロダクト (V230230) 作成のためにスパコンを利用した (2020 年 12 月). 従来筑波のシステムで 1.7 年間かかっていたが, スパコンを利用することにより約 30 日間で完了することができた.

また, 再処理したデータのユーザ提供にスパコンを利用した. 調布から筑波に伝送し, 筑波のユーザ提供用サーバにアップロードするのに 1 カ月かかっていたが, スパコンのストレージから直接ユーザにダウンロードしてもらうことにより, 再処理後 1 週間程度で速やかにデータ提供を開始できた.



(2) GOSAT TANSO-CAI データの校正検証

TANSO-CAI 観測データからセンサ感度変化を評価し、輝度校正係数を決定するための解析処理を行い、該当期間のバンド 1 の校正係数を決定した。バンド 1 はエアロゾルの粒径分布等の重要な情報を含むため、バンド 2 およびバンド 3 の校正後の輝度に併せて、バンド 1 の輝度を最適化する。バンド 2 およびバンド 3 の輝度校正係数が 3 候補あるため、3 条件でバンド 1 の輝度校正係数を計算し、決定することができた。Fig. 1 に計算の仕組み、Fig. 2 に計算結果を示す。

期間:2020 年 6 月～2021 年 2 月 (4 か月おき)

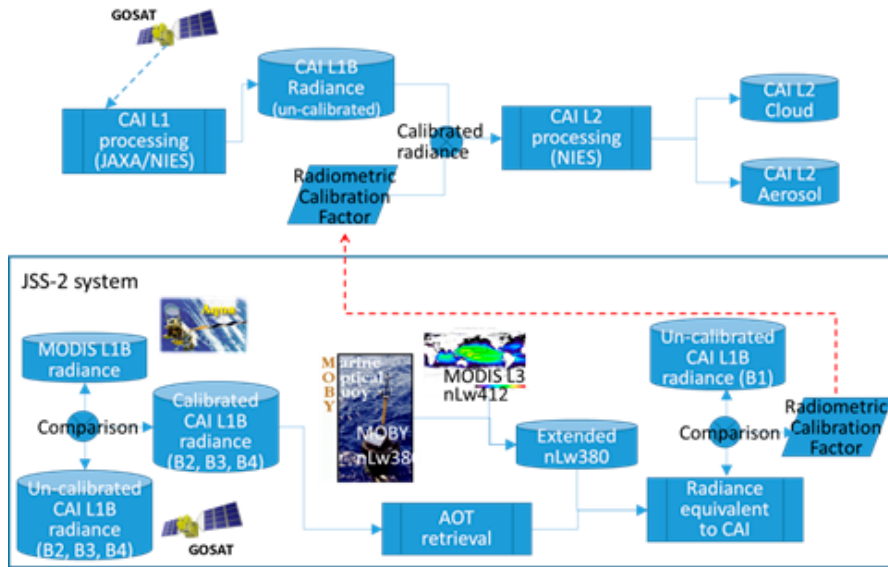


図 1: GOSAT CAI データ処理フロー(上図), および輝度校正フロー(下図)

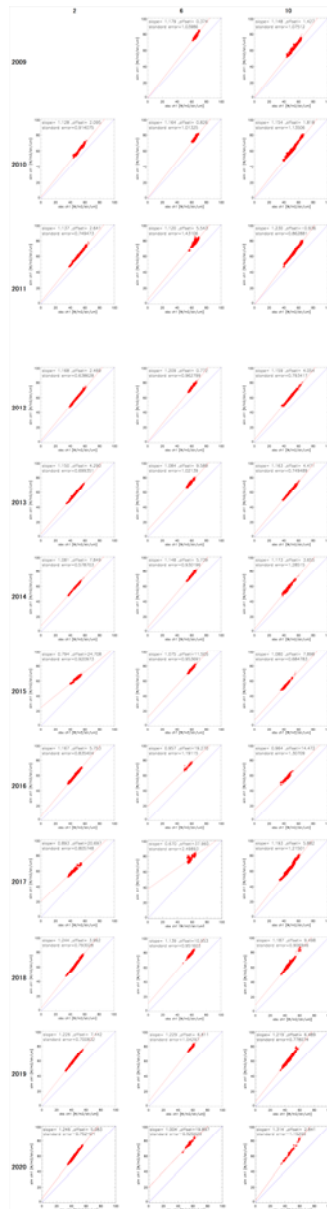


図 2: 衛星間比較手法により導出した CAI 輝度校正係数

● 成果の公表

なし

## ● 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	30 分

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.24

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	146,322.91	1.15
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	230.17	0.21
/data	276,111.55	5.33
/tmp	27,380.96	2.33

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	3.86	0.13

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	104,999.85	0.60
TOKI-TRURI	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	236.18	0.16
/data	274,594.98	4.60
/ssd	1,157.35	0.60

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	3.86	0.13

※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

## 改良型高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)運用事業(高次処理試行)

報告書番号：R20JR1501

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14637/

### ● 責任者

平林毅, 第一宇宙技術部門宇宙利用統括

### ● 問い合わせ先

平野 和嘉(hirano.kazuyoshi3@jaxa.jp)

### ● メンバ

谷口 悠司, 鳥居 雅也, 山本 忠裕, 河瀬 祥子, 大日向 大地, 小山 謙太郎, 今中 誠, 野中 和明, 塚本 淳一, 飯島 克則, 横山 慎悟, 本橋 修, 小西 利幸, 河本 佐知

### ● 事業概要

AMSR-E\*1, AMSR2\*2 は地球表面および大気から放射される微弱なマイクロ波帯の電波を多周波・多偏波で測定し, 様々な地球物理量を推定します。これらの地球物理量は水蒸気量, 雲水量, 降水, 海面水温, 海上風速, 海氷密接度, 積雪, 土壌水分などがあります。

これら地球物理量の長期的なデータは, 水・エネルギー循環を含む気候システムの解明に役立つと共に, 気候変動モニタリングの一角を担うと期待されます。

AMSR-E 高次プロダクトと, AMSR2 高次プロダクトを同一のアルゴリズム(改善されたアルゴリズムを含む)で再処理を実施し, ユーザにとって利便性の高いデータセットを提供する。

\*1:地球観測衛星 Aqua 搭載の改良型高性能マイクロ波放射計

\*2: 水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W)に搭載される高性能マイクロ波放射計 2

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

スケーラビリティの大きな処理環境をもつ JSS2 を利用し, 膨大なシーンの処理を並列で実行することにより, プロダクトをユーザへより早く提供することが可能となる。

### ● 今年度の成果

本年度は海面水温(SST)及び海上風速(SSW)のアルゴリズムの改善結果を再処理環境に反映し, L2\*3, L3\*4 プロダクトの再処理を実施した。(AMSR2 :2012/07/ ~ 2020/10)

AMSR2 再処理プロダクトはデータ提供システムから公開している。

\*3: 物理量推定アルゴリズムを介して算出された地球物理量が格納されたプロダクト。プロダクトにはデータの位置情報や品質に関する情報が格納される。なお, 地球物理量の地図投影は行なわれな

い、

\*4: 地球物理量の時間・空間的な平均値を地図投影したプロダクト、輝度温度およびそれぞれの物理量について、日および月平均の全球分布を格納する。

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	3 秒

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.07

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	4,181.76	0.03
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	137.80	0.13
/data	109,451.29	2.11
/ltmp	15,741.26	1.34

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	26.01	0.86

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	889.20	0.01
TOKI-TRURI	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	199.85	0.14
/data	60,241.09	1.01
/ssd	880.56	0.46

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	26.01	0.86

※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

## 海洋衛星データ同化システムの構築検討

報告書番号：R20JR2402

利用分野：宇宙技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14641/>

### ● 責任者

沖理子, 第一宇宙技術部門地球観測研究センター

### ● 問い合わせ先

可知 美佐子(kachi.misako@jaxa.jp)

### ● メンバ

可知 美佐子, 大石 俊

### ● 事業概要

近年の衛星観測の発達に伴い、赤外線センサーによる高頻度・高解像度の海面水温の観測値が得られるようになったが、赤外線を透過しない雲域では欠損値が生じる。データ同化はこのような高頻度の観測値を十分に活かしながら欠損値のないより精度の高い3次元の海洋場を再現することができる。そこで、本研究ではJAXA Supercomputer System Generation 2/3(JSS2/3)にてJAXAの衛星観測データをアンサンブルカルマンフィルタで同化する海洋データ同化システムを構築する。

参考 URL: <https://www.eorc.jaxa.jp/research/topic/ocean/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

高解像度の海洋モデルのアンサンブル計算およびアンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化計算は非常に大規模な計算である。そこで、JSS2/3のような大規模計算設備によって、初めて可能となる。

### ● 今年度の成果

近年の衛星やアルゴフロートなどの観測技術の発達によって、高い時空間解像度の観測値が得られるようになった。これらの観測値を活用した短い時間間隔のデータ同化を行うことで、解析値の精度が改善されることが期待される。しかし、データ同化によって力学的バランスを壊すと、重力波ノイズを引き起こす初期ショックが発生する。特に短い時間間隔でのデータ同化は、モデル積分による初期ショックの緩和時間が短いため、力学的バランスが大きな問題となりうる。本研究は、通常は1週間程度のデータ同化サイクルであるところを1日と大幅に短くし、高頻度観測データを活用する海洋データ同化システムを研究する。この際、力学的バランスによる問題に対応するため、流れ依存した背景誤差共分散を扱うアンサンブルカルマンフィルタを適用する。力学的なバランスによる致命的な問



題を回避し、アンサンブルスプレッドの縮退や重力波ノイズによる汚染を防ぐ有効な手法について調査した。

アンサンブルスプレッドの縮退を防ぐ 4 種類の共分散膨張法[1: Multiplicative inflation(MULT), 2: 不適用(NONE), 3: Relaxation-to-prior perturbation(RTPP;Zhang et al. 2004), 4: Relaxation-to-prior spread(RTPS;Whitaker and Hamill 2012)]と解析インクリメントを分散して与える Incremental analysis update 法(IAU 法;Bloom et al. 1996)の適用・不適用の 2 種類を組み合わせた 8 種類の感度実験, 6 種類の RTPP と RTPS の緩和パラメータ( $\alpha$  RTPP/RTPS = 0.5, 0.6, ..., 1.1)を与えた 12 種類の感度実験を行った。得られた解析値の地衡流非平衡成分を診断するために Nonlinear balance equation(NBE;Zhang et al. 2001)の残差  $\Delta$ NBE, 解析値の精度の比較をするために観測値との Root mean square deviation(RMSD)を計算した。

感度実験の結果を比較したところ, 解析値の地衡流平衡や精度は RTPP/RTPS と IAU によって有意に改善し, MULT によって有意に改悪していた(図 1, 2)。また, 本研究によって, RTPP/RTPS と IAU を組み合わせることで海洋データ同化システムが安定的に動作し, 最も良い地衡流平衡とデータの精度が得られた。なお, RTPP と RTPS の緩和パラメータは 0.8-0.9 程度が最も適切だった(図 3, 4)。

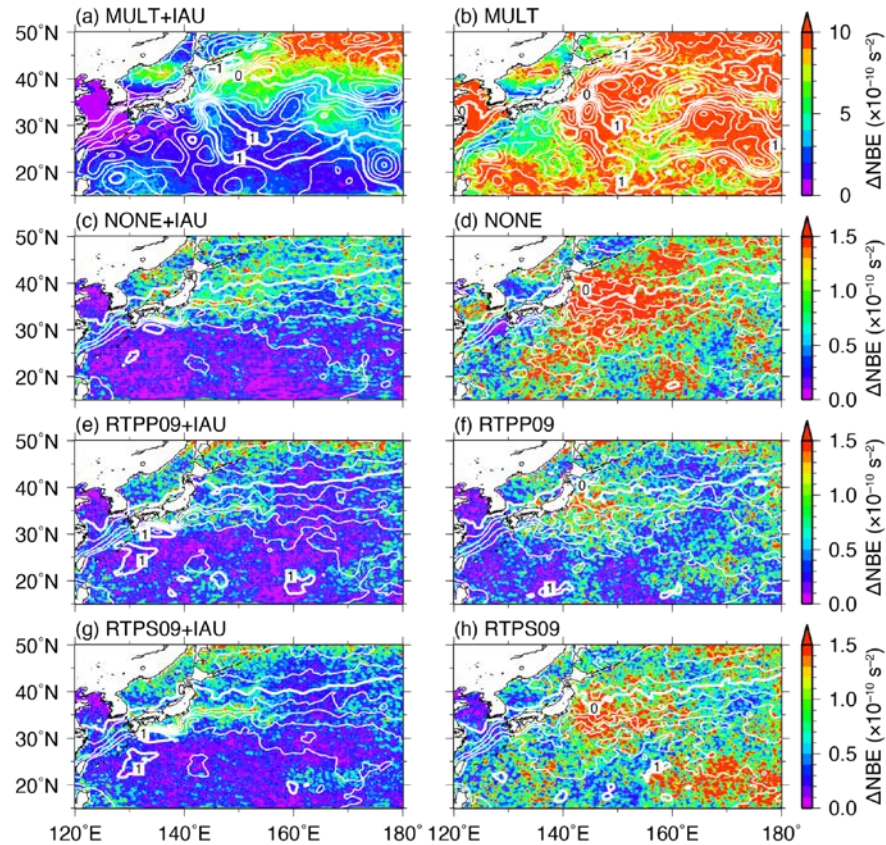


図 1: 2016-17 年平均の (a)MULT+IAU, (b)MULT, (c)NONE+IAU, (d)NONE, (e)RTPP09+IAU, (f)RTPP09, (g)RTPS09+IAU, (h)RTPS09 実験における地衡流平衡の指標  $\Delta NBE$ (色), 海面高度(等値線). ここで, MULT と IAU を組み合わせた実験を MULT+IAU 実験, 緩和パラメータ  $\alpha_{RTPP}=0.9$  の RTPP 実験を RTPP09 実験のように表記している.  $\Delta NBE$  が小さいほど地衡流平衡がより成り立っていることを示している. また, MULT+IAU, MULT 実験において他の実験と異なるカラーバーを使用した.

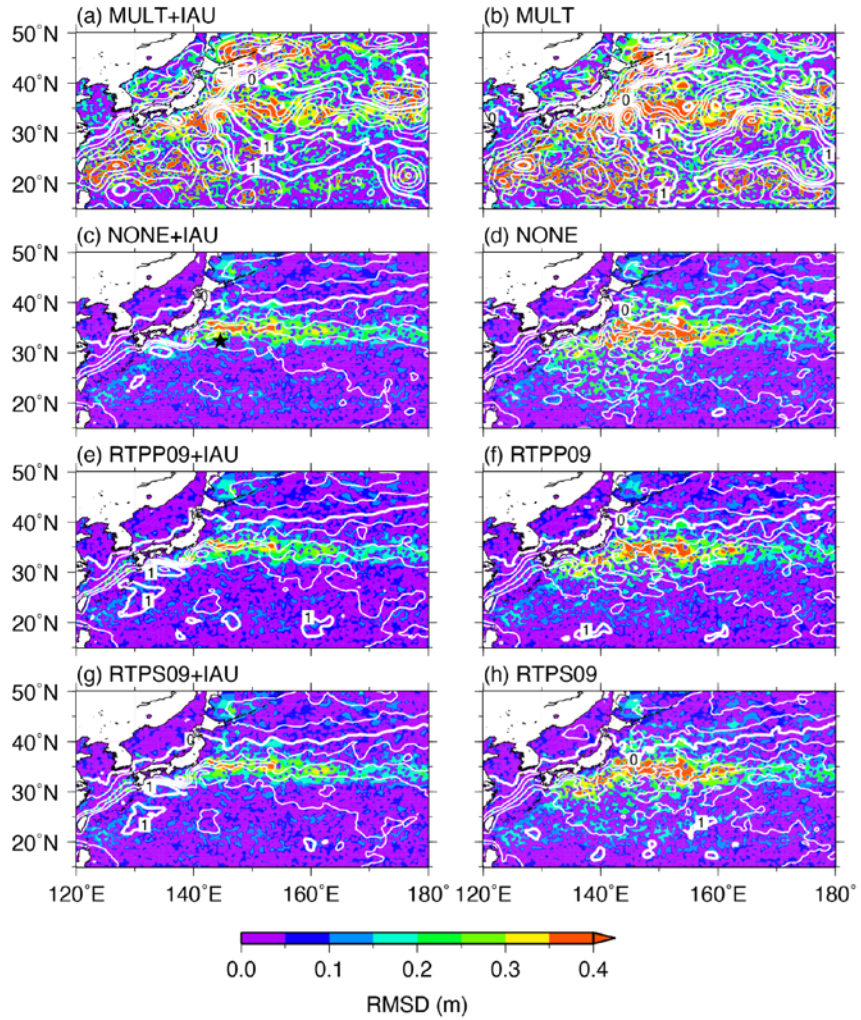


図 2: 図 1 と同様. ただし, 海面高度偏差の観測データセット (Ducet et al. 2000) に対する RMSD(色). RMSD が小さいほど解析値の精度が良いことを示している.

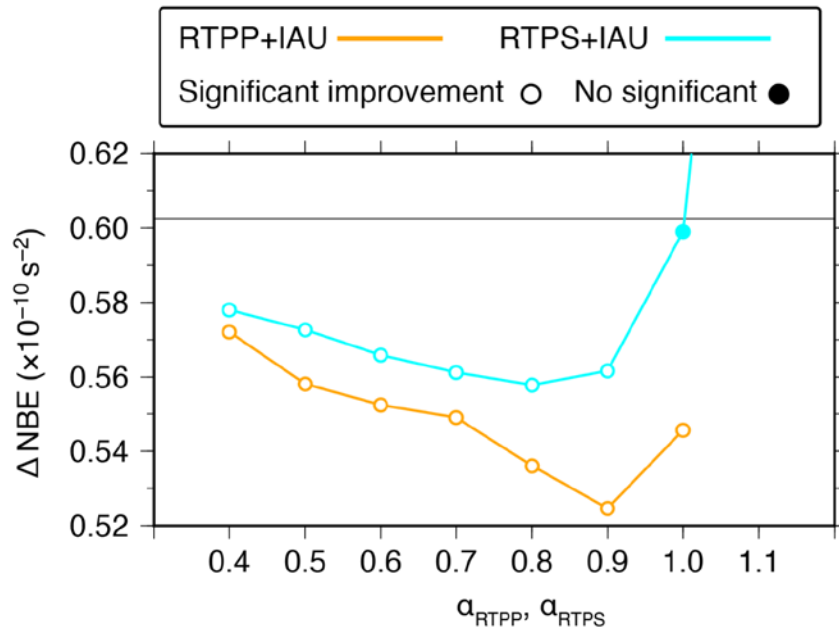


図 3: 2016–17 年およびシステム領域で平均した RTPP04-09+IAU 実験(橙色)および RTPS04-09+IAU 実験(水色)の  $\Delta NBE$ . NONE+IAU 実験に対して有意に改善している場合は白丸で, 有意な改善・改悪が見られない場合は水色・橙色の丸で表している. 黒線は NONE+IAU 実験の値である.

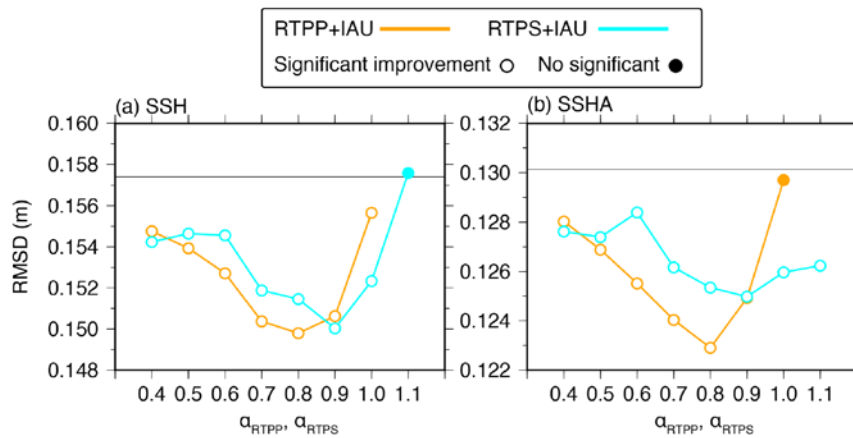


図 4: 図 3 と同様. ただし, (a)海面高度, (b)海面高度偏差の観測データセットに対する RMSD.

## ● 成果の公表

-口頭発表

1. 大石俊, 日原勉, 相木秀則, 石坂丞二, 宮澤泰正, 可知美佐子, 三好建正「アンサンブルカルマンフィルタを用いた海洋データ同化システムの開発」, 第 24 回海洋データ同化夏の学校, オンライン, 2020 年 8 月

2. 大石俊, 日原勉, 相木秀則, 石坂丞二, 宮澤泰正, 可知美佐子, 三好建正「アンサンブルカルマンフィルタを用いた海洋データ同化システムの力学的非平衡の改善」, 日本海洋学会 2020 年度秋季大会, オンライン, 2020 年 11 月
3. 大石俊, 日原勉, 相木秀則, 石坂丞二, 宮澤泰正, 可知美佐子, 三好建正「アンサンブルカルマンフィルタを用いた海洋データ同化システムの力学的非平衡の改善」, 研究集会「宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ」, オンライン, 2020 年 12 月
4. 大石俊, 日原勉, 相木秀則, 石坂丞二, 宮澤泰正, 可知美佐子, 三好建正「アンサンブルカルマンフィルタを用いた海洋データ同化システムの力学的非平衡の改善」, 第 11 回データ同化ワークショップ, オンライン, 2021 年 2 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	自動並列
プロセス並列数	4 - 400
1 ケースあたりの経過時間	200 分

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.98

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	5,697,212.59	1.08
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	42.92	0.04
/data	83,866.16	1.62
/ltmp	8,789.07	0.75

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 1.39

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 (%)
TOKI-SORA	7,154,288.48	1.54
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	14.31	0.01
/data	146,627.49	2.46
/ssd	143.05	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



## 降水観測ミッション利用研究

報告書番号：R20JR1400

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14636/

### ● 責任者

沖理子, 第一宇宙技術部門地球観測研究センター

### ● 問い合わせ先

久保田拓志(kubota.takuji@jaxa.jp)

### ● メンバ

東上床 智彦, 正木 岳志, 山本 宗尚, 久保田 拓志, 田島 知子, 山地 萌果

### ● 事業概要

TRMM/PR および GPM/DPR アルゴリズム次期メジャーバージョンアップに係るアルゴリズム開発のため 2014 年～2020 年の長期処理を実施する。

参考 URL: [https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/index\\_j.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/index_j.htm)

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

TRMM/GPM レーダアルゴリズムは、日米協力のもと NASA と共同で開発を行っている。そのため、日本側のアルゴリズム開発進捗は全体のスケジュールにも影響しかねない。とくにレベル 1 アルゴリズムの開発および長期データの作成は最も上流にある工程であり、その作業は最優先される。その点、JSS2 では厳格な事業進捗管理、緊急対応、運用側によるきめ細かなユーザ対応等が徹底されており、JSS2 を使った長期処理は非常に有意である。ひいては、JSS2 なしでは達成し得ない事業と言える。

### ● 今年度の成果

GPM DPR は 2020 年 7 月に活発化した梅雨前線に伴って発生した九州地方の線状降水帯の観測を行うなど、現在も観測を継続している。2021 年度に予定されている TRMM PR と GPM DPR のメジャーバージョンアップに向けたアルゴリズム開発のため、2014～2020 年までの長期試験処理を実施した。

長期試験は、DPR レベル 1 アルゴリズムにおける移相器挿入損失の補正に係る改訂、観測開始距離の補正に係る改訂、DPR レベル 1 プロダクトを入力とする DPR レベル 2 アルゴリズムでの後方散乱断面積( $\sigma_0$ )の再計算、それらを用いた降水強度推定アルゴリズムの改良などに利用された。

プロダクト評価において、既存のアルゴリズム(V06X)で推定した KuPR 単センサプロダクトの降水強度(図 2:橙線)と、DPR 二周波プロダクトの降水強度(図 2:青線)に一部乖離があることがわかった。

これらは次期メジャーバージョンアップで改善されることが期待される。JSS2 では並列処理を実行することにより処理時間が短縮され、開発サイクルの加速につながった。

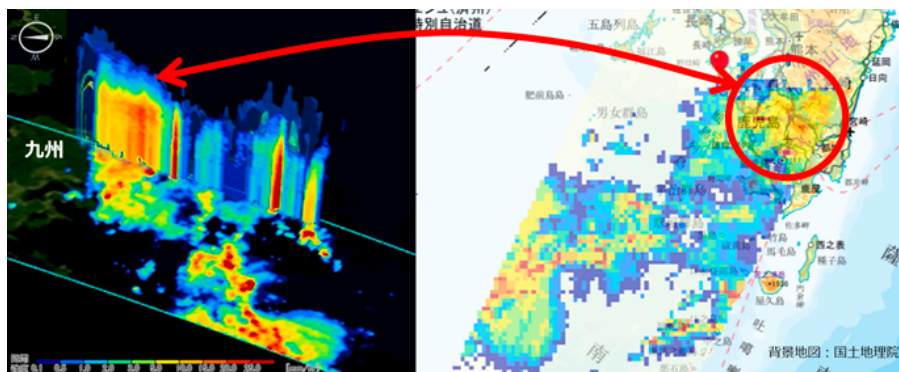


図 1: 全球降水観測計画(GPM)二周波降水レーダ(DPR)が観測した 2020 年 7 月 5 日 12 時 40 分(日本時間)の梅雨前線に伴う降水帯の鉛直構造

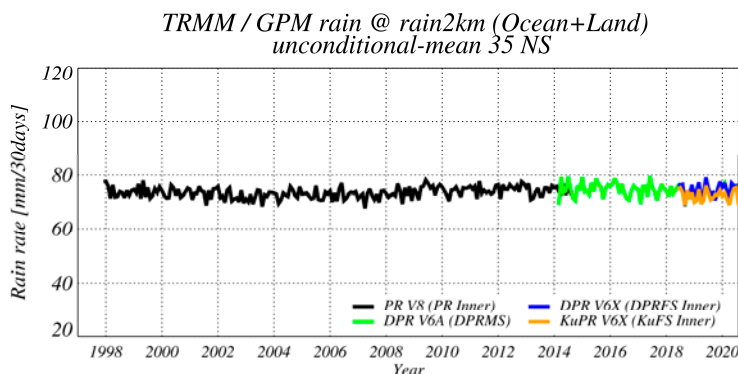


図 2: TRMM PR と GPM DPR の高度 2km における降水強度の経年変化。熱帯(35N-35S)領域, 降水強度の閾値に係る条件なし平均で求めた月積算量。黒線:TRMM PR, 緑線:GPM DPR 二周波プロダクト(V06A), 青線:GPM DPR 二周波プロダクト(V06X), 橙線:GPM KuPR プロダクト(V06X)。

## ● 成果の公表

-査読付き論文

1. T. Masaki, T. Iguchi, K. Kanemaru, K. Furukawa, N. Yoshida, T. Kubota, and R. Oki, 2020: Calibration of the Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) Onboard the Global Precipitation Measurement (GPM) Core Observatory, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3039978>
2. Ikuta, Y., K. Okamoto, and T. Kubota, 2020: One-Dimensional Maximum Likelihood Estimation for Spaceborne Precipitation Radar Data Assimilation, Q. J. R. Meteorol. Soc., <https://doi.org/10.1002/qj.3950>.



3. S. Seto, T. Iguchi, R. Meneghini, J. Awaka, T. Kubota, T. Masaki and N. Takahashi, 2020: The Precipitation Rate Retrieval Algorithms for the GPM Dual-frequency Precipitation Radar, J. Meteor. Soc. Japan, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-011>.

4. T. Kubota, S. Seto, M. Satoh, T. Nasuno, T. Iguchi, T. Masaki, J. M. Kwiatkowski, and R. Oki, 2020: Cloud assumption of Precipitation Retrieval Algorithms for the Dual-frequency Precipitation Radar, J. Atmos. Oceanic Technol. 37, 2015-2031, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-20-0041.1>

-招待講演

T. Kubota et al., Evaluation of CLOUD LIQUID WATER DATABASE USING GLOBAL CLOUD-SYSTEM RESOLVING MODEL FOR GPM/DPR ALGORITHMS, IGARSS2020, Sep 2020.

-口頭発表

1. T. Kubota et al., Cloud liquid water database derived from a global cloud-system resolving model for precipitation retrievals of GPM/DPR observations, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, July 2020.

2. 久保田ら,二周波降水レーダの降水推定における雲水量仮定について, 日本気象学会 2020 年秋季大会, 2020 年 10 月.

-ポスター

1. T. Kubota et al., Cloud liquid water assumption of Precipitation Retrieval Algorithms for the Dual-frequency Precipitation Radar onboard the GPM Core Observatory, AGU2020, Dec 2020.

-Web

世界の雨分布速報

[https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index\\_j.htm](https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm)

EORC TRMM

[https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/index\\_j.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/index_j.htm)

● 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	24 時間

## ● JSS2 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	0.00	0.00
SORA-PP	13,324.66	0.10
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	60.40	0.06
/data	71,147.32	1.37
/ltmp	10,904.95	0.93

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	26.10	0.86

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	199.37	0.00
TOKI-TRURI	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	19.87	0.01
/data	70,880.29	0.19
/ssd	103.31	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	26.10	0.86

※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

## 大気環境物質監視シミュレーション

報告書番号：R20JR2401

利用分野：宇宙技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14640/>

### ● 責任者

平林毅, 第一宇宙技術部門宇宙利用統括

### ● 問い合わせ先

村上 浩(murakami.hiroshi.eo@jaxa.jp)

### ● メンバ

五藤 大輔, 村上 浩, 橋本 真喜子, Tie Dai, Yueming Cheng

### ● 事業概要

大気汚染物質の飛来と輸送を精度良く監視・予測するために、数値モデリングと人工衛星観測を組み合わせた大気汚染の監視・予測システムを構築する。具体的には、GCOM-C/SGLI から導出された大気エアロゾルプロダクトを利用し、大気汚染物質輸送モデル(NICAM-Chem)によるエアロゾルデータ同化を活用することによって、国立環境研究所で運用している大気汚染予測システム(VENUS)の次世代版プロトタイプの開発を行い、従来以上に高精度で社会利用に役立つ大気汚染予測を行う。

参考 URL: <https://www.eorc.jaxa.jp/research/topic/atmosphere/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

NICAM-Chem の計算には、高い空間解像度で広域を対象とした数値シミュレーションおよび同化計算が必要となるため、計算量が膨大になるため、JAXA のスーパーコンピュータ JAXA Supercomputer System (JSS)を利用する必要がある。

### ● 今年度の成果

JSS にも実装された大気汚染物質輸送モデル(NICAM-Chem)を用いて、全球規模でのエアロゾルシミュレーションを実施した。今年度着目した事例は、昨年度に引き続き、2018年3月末にアジアで発生した大規模なダストイベントである。本研究では、全球 56km 水平解像度で NICAM-Chem のエアロゾル同化計算を行った。この解像度は全球モデルの中でも高いものであり、同化研究においては世界最高レベルの解像度に相当する。用いた同化手法は、これまで開発・改良してきた局所アンサンブル変換カルマンフィルター(LETKF)をエアロゾルに適用したものである。実施した数値実験は、エアロゾル同化ありと同化なしの2つである。GCOM-C/SGLI から得られたエアロゾル光学的厚さ(AOT)に関しては、昨年度は JAXA/EORC より配信されているエアロゾル成果物 Version 1 を利用したが、本

年度はエアロゾル成果物 Version 2 を利用した。

図 1 は、同化有無の計算によって得られた AOT の 9 日間平均値(2018 年 3 月 23 日から 3 月 31 日まで期間)を示している。これにより、GCOM-C/SGLI の AOT を同化することによって、モンゴルや中国北東部でダスト成分が増加したことがわかった。また、中国南部や中央部では同化によって AOT が減少したが、この原因は硫酸塩や炭素性エアロゾルのような人為起源エアロゾルの減少である。図 2 は、得られた NICAM-Chem 同化結果をさらに検証するために、同化には適用していない独立した観測データである AD-Net(the Asian dust and aerosol lidar observation network)を用いて、3 地点(ダスト発生源に近いモンゴルのウランバートル、および越境汚染流出地域でもある日本の福岡および大阪)におけるエアロゾル消散係数の 3 次元時系列比較を行った。これにより、ダスト発生源付近のウランバートルでは、同化することによって、3 月 29 日から 3 月 30 日にかけての高濃度エアロゾルの過小評価を軽減したことがわかった。そして、ウランバートルで観測された高濃度エアロゾルは、3 月 30 日から 3 月 31 日にかけて福岡や大阪にも到来したことが示唆され、同化することによって、観測に近い高濃度エアロゾルを再現することができた。また、3 月 29 日の福岡および大阪で、地表面から高度 5km まで見られる高濃度エアロゾルは、同化の有無に関わらず、観測で見られる複雑な鉛直構造(福岡では、高度 1-2km では低濃度だが、それ以外の高度では高濃度であった)をうまく再現することはできなかった。これは、同化している GCOM-C/SGLI の AOT が 2 次元量であり、同化によって複雑な鉛直分布を再現することが難しいためである。これを軽減するためには、NICAM-Chem モデル自身の精緻化も進める必要がある。

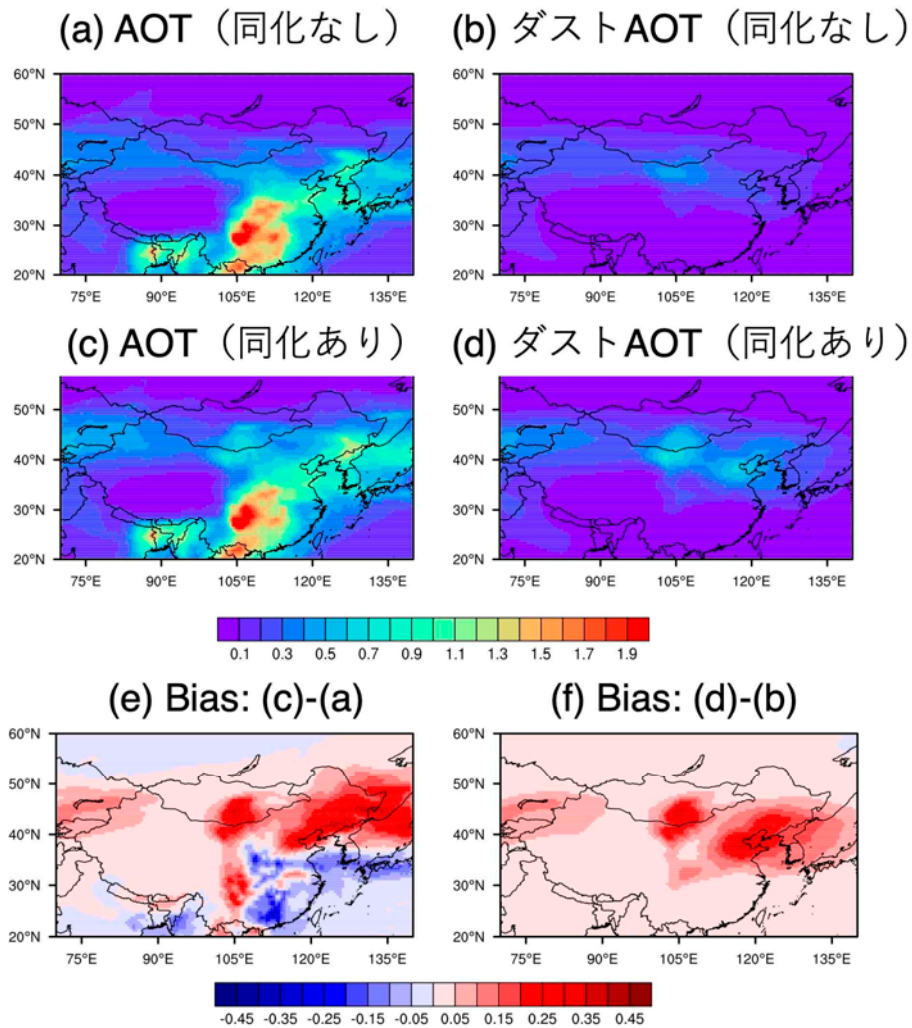


図 1: 2018 年 3 月 23 日から 3 月 31 日までの 9 日間で平均した (a) NICAM-Chem で計算した AOT と (b) ダストのみの AOT, (c) NICAM-Chem で GCOM-C/SGLI AOT Version 2 を同化した AOT と (d) ダストのみの AOT, (e) 同化の有無での AOT の差分, (f) 同化の有無でのダスト AOT の差分

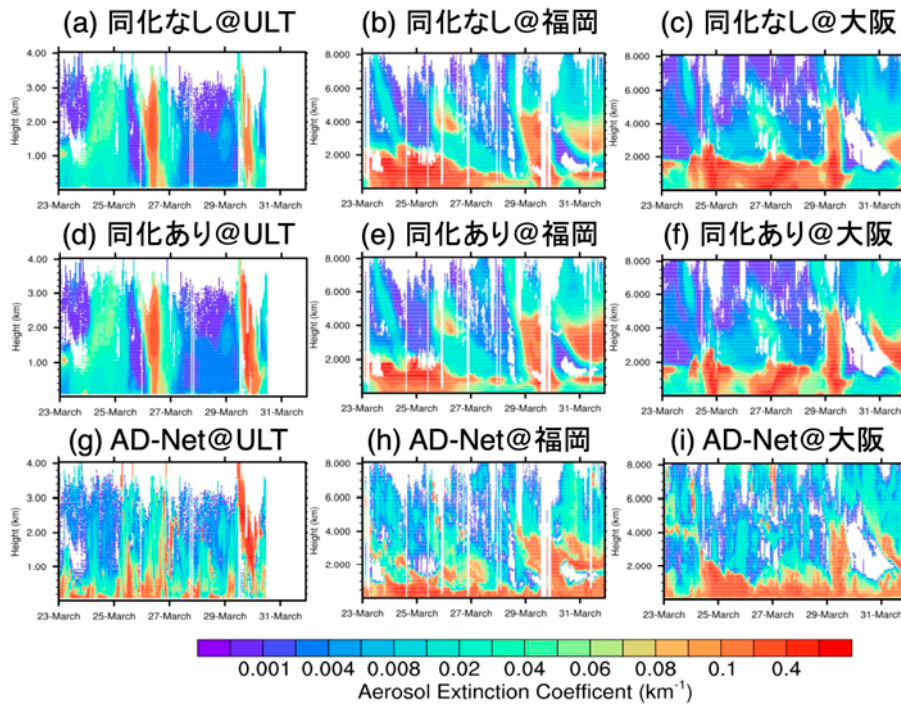


図 2: 2018 年 3 月 23 日から 3 月 31 日の期間において, (a,d,g) ULT(モンゴル・ウランバートル), (b,e,h) 福岡, (c,f,i) 大阪のサイトでのエアロゾル消散係数であり, (a,b,c) 同化なしのモデル結果, (d,e,f) 同化ありのモデル結果, および (g,h,i) 観測(AD-Net)で得られた結果

## ● 成果の公表

-査読付き論文

Goto D., Sato Y., Yashiro H., Suzuki K., Oikawa E., Kudo R., Nagao T.M., Nakajima T. (2020) Global aerosol simulations using NICAM.16 on a 14 km grid spacing for a climate study: improved and remaining issues relative to a lower-resolution model. *Geoscientific Model Development*, 13, 3731-3768, doi:10.5194/gmd-13-3731-2020.

Goto D., Morino Y., Ohara T., Sekiyama T.T., Uchida J., Nakajima T. (2020) Application of linear minimum variance estimation to the multi-model ensemble of atmospheric radioactive Cs-137 with observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 3589-3607, doi:10.5194/acp-20-3589-2020.



## ● 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	自動並列
プロセス並列数	1 - 160
1 ケースあたりの経過時間	20 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	1,059,004.62	0.20
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	1,449.36	1.33
/data	29,959.92	0.58
/tmp	9,719.13	0.83

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 <sup>※2</sup> (%)
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



## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	481.38	0.33
/data	9,811.04	0.16
/ssd	140.78	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 <sup>※2</sup> (%)
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

## 宇宙探査

## システムレベル技術検討に必要な着陸候補地点の解析

報告書番号：R20JB0101

利用分野：宇宙探査

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14499/

### ● 責任者

佐藤広幸, 宇宙科学研究所月惑星探査データ解析グループ

### ● 問い合わせ先

月惑星探査データ解析グループ(z-JLPEDA@ml.jaxa.jp)

### ● メンバ

星野 健, 山本 光生, 井上 博夏, 佐藤 広幸

### ● 事業概要

既存の月惑星探査データを用いて, 月極域着陸ミッションのシステムレベル技術検討に必要な着陸候補地点の地形・温度・スペクトルなどの解析を行う。

参考 URL: <http://jlpeda.jaxa.jp/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

テラバイト～ペタバイトに及ぶ大量の月惑星探査データを処理し, より高解像度の結果を得るためには, 非常に大きな計算資源を必要とするため。

### ● 今年度の成果

JAXA の月探査衛星 SELENE 搭載の Multi-band Imager による極域 9 バンドカラーマップを作成した。従来の手法である, 単一画像の張り合わせではなく, 全画像の重複観測から中央値を取り出し各ピクセル値として使用するモザイク作成方法を採用することにより, 高い S/N 比を実現できた。

### ● 成果の公表

-口頭発表

佐藤, 大竹, 嵩, 山本, 月南極域カラーモザイクの作成, 日本惑星科学会秋季講演会, O-D1-B16, 2020.

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

## ● JSS2 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	0.00	0.00
SORA-PP	5,858.61	0.05
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	78.51	0.07
/data	53,121.24	1.03
/ltmp	5,977.07	0.51

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	291.91	0.20
/data	58,776.75	0.98
/ssd	151.00	0.08

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## 月極域探査ミッション検討

報告書番号：R20JEE20300

利用分野：宇宙探査

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14596/

### ● 責任者

麻生大, 国際宇宙探査センター月極域探査機プリプロジェクトチーム

### ● 問い合わせ先

井上 博夏(inoue.hiroka@jaxa.jp)

### ● メンバ

井上 博夏, 星野 健, 狩谷 和季, 山本 光生

### ● 事業概要

月極域探査ミッションのための着陸地点解析

参考 URL: <http://www.exploration.jaxa.jp/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

メーカーが利用可能であり, 豊富な計算資源を擁する

### ● 今年度の成果

公開可能な情報なし

### ● 成果の公表

なし

### ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	0.1 秒

## ● JSS2 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	0.00	0.00
SORA-PP	5,810.10	0.05
SORA-LM	1,842.55	1.08
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	95.71	0.09
/data	1,260.41	0.02
/ltmp	9,883.32	0.84

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	339.59	0.23
/data	5,590.31	0.09
/ssd	437.10	0.23

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



## 技術習得方式

## インテークに関する研究

報告書番号：R20JTET10

利用分野：技術習得方式

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14658/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

藤井愛実(m-fujii@moegi.waseda.jp)

### ● メンバ

藤井 愛実

### ● 事業概要

現在, JAXA/大学共同で極超音速旅客機の実現を目指した研究が進められている. この研究の一環として, 鍵技術である極超音速飛行環境下における機体/推進統合制御技術の実証が必要であり, 飛行実証実験 HIMICO(High Mach Integrated Control Experiment)が計画されている. HIMICO では, 搭載されるラムジェットエンジンの性能が安定した飛行のために重要となっており, 特に, エンジンの空気取組み口であるインテークが重要な役割を果たしている. そこで, 本研究ではラムジェットエンジンの安定作動を目的とし, そのインテークを対象とした研究を行う.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

インテーク内部の流れは複雑であり計算コストが大きい, JAXA スーパーコンピュータの使用により多条件下での定常性能や, バズなどの非定常現象の把握が可能になった.

### ● 今年度の成果

極超音速統合制御実験(HIMICO)におけるラムジェットエンジンの安定作動を目的とし, 迎角の変化がインテーク性能に与える影響に関して研究を行った. 図 1 にラムジェットエンジンの概要図を示す. 迎角 $-2.5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+2.5^\circ$  の条件で解析を行った結果, 図 2 のように, 正迎角を付与することで流量捕獲率(MCR), 全圧回復率(TPR)が共に上昇する傾向が見られ, 非粘性を仮定した理論計算(TFD)の結果と定性的に一致した. 一方で, CFD の結果では正迎角の場合にバズの発生が遅くなるという結果が得られ, 理論計算とは異なる結果となった. これは, 図 3 に示すように, インテーク内部で擬似衝撃波が発生することが原因と考えられる. CFD の結果から, 擬似衝撃波の発生に伴う低速領域がインテークにおける全圧損失を増大させていることが判明した. そのため, 理論計算においても擬似衝撃波のモデルを導入することで, バズ発生点の予測精度向上が見込まれる.

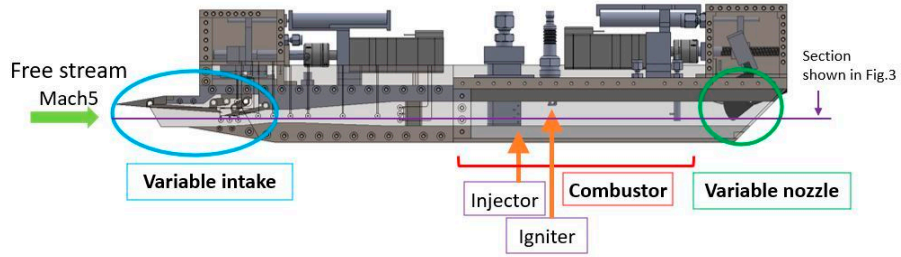
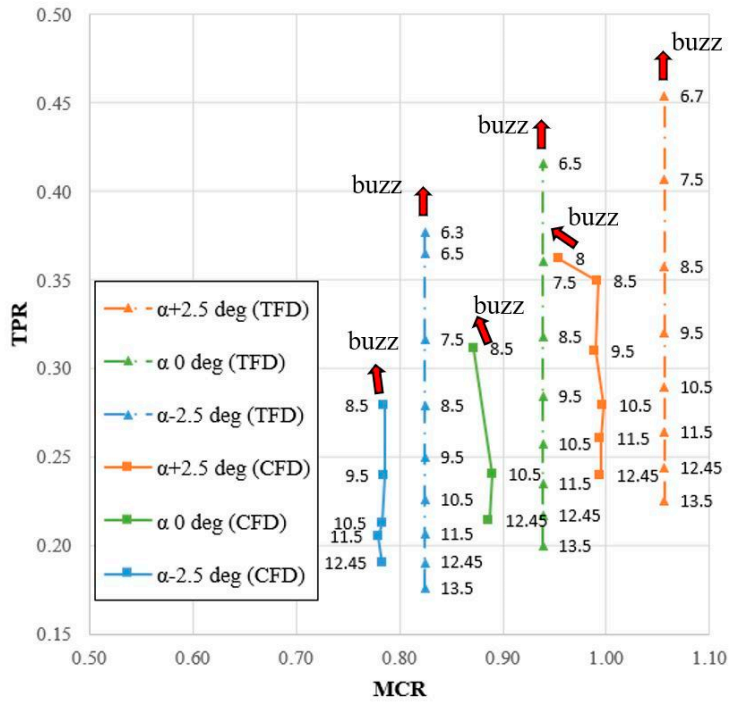


図 1: HIMICO 用ラムジェットエンジン概要図



※Subscripts are values of nozzle throat height

図 2: MCR-TPR マップ

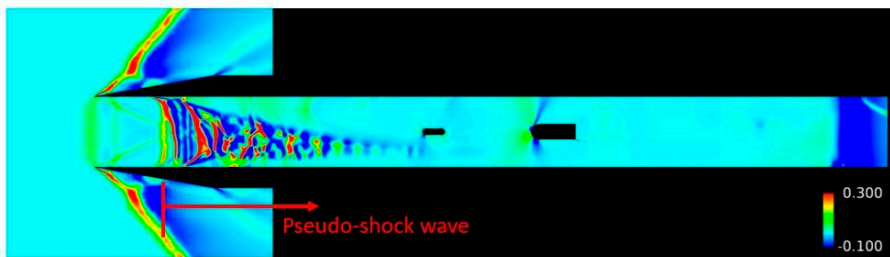


図 3: エンジン内密度勾配分布

## ● 成果の公表

-査読付き論文

Hidekazu YOSHIDA, Masakazu SANO, Sho WAKABAYASHI, Takahiro CHIGA, Toshiya YOKOI, Atsushi HASHIMOTO, Keiichi MURAKAMI, Takayuki KOJIMA, Hideyuki TAGUCHI, Tetsuya SATO, Numerical Study on the Intake Performance with Side Clearance for the High Mach Integrated Control Experiment (HIMICO), TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, 2021, 19 巻, 2 号, p. 135-143

-口頭発表

Manami Fujii, Shogo Ogura, Masakazu Sano, Tetsuya Sato, Junichi Oki, Hideyuki Taguchi, Takayuki Kojima, Atsushi Hashimoto, Takashi Takahashi, Supersonic Wind Tunnel Test and Numerical Simulation of the Air Intake with an Angle of Attack for High-Mach Integrated Control Experiment (HIMICO), AJCPP2021.

## ● 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	512
1 ケースあたりの経過時間	40000 秒

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	1,505,163.09	0.28
SORA-PP	24,114.02	0.19
SORA-LM	9,111.00	5.35
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	238.42	0.22
/data	4,882.81	0.09
/ltmp	976.56	0.08

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	0.07	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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.27

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 (%)
TOKI-SORA	1,298,801.49	0.28
TOKI-RURI	37,690.14	0.22
TOKI-TRURI	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	238.42	0.16
/data	9,765.63	0.16
/ssd	47.68	0.02

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	0.07	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

## クロスフロー型微粒化機構のモデリングに関する技術習得

報告書番号：R20JTET51

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14668/>

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

坂野友香理(y.sakano@akane.waseda.jp)

### ● メンバ

坂野 友香理

### ● 事業概要

クロスフロー型微粒化機構の粒径分布を高速かつ高精度に再現する数値モデルの構築を行っている。微粒化後の液滴を全て球として扱っていた従来の研究に対し、本研究においては形状の効果の導入による精度向上を目指しており、最終的には深層学習と組み合わせることで高速な予測を行うことを見据えた研究を行っている。

本研究において扱う微粒化現象は、航空宇宙用エンジンのメインバーナ等において導入されていることから、本解析技術の発達によりエンジンの設計の効率化が期待される。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

モデルの構築に向けた液滴のデータセットを取得することを目的としてスーパーコンピュータを利用した。研究対象であるクロスフロー微粒化の特性として、従来の実験的手法を用いて微粒化の生じる領域を正確に観測することは困難である点が挙げられる。このため、モデリングにあたり精細な格子を用いた解析を要し、スーパーコンピュータを用いた大規模な計算が必要となる。

本研究においては、詳細な数値計算の結果として得られたデータに対し、空間サンプリング・時系列サンプリングを実施することによって一次微粒化後の液滴の形状分布や挙動を把握し、それらの情報を元に幾何学的・統計的観点から解析を行うことでモデルの構築を行っている。

### ● 今年度の成果

詳細解析の結果に対して空間サンプリングを行うことにより、クロスフローにおいて発生する液滴形状のデータを得た。図1は、そのサンプリングの概要を示している。これらの形状に対する解析を通して、幾何学変数を用いて液滴の形状を評価できる可能性があること、そして、実解析における形状評価にあたり深層学習の適用が可能であることが示された。

これらの成果をもとに、さらに高精度な幾何学解析や時系列変化の情報を組み合わせたモデリングを行うことで、目的である形状を考慮した二次微粒化のモデルの構築が可能であると考えられる。

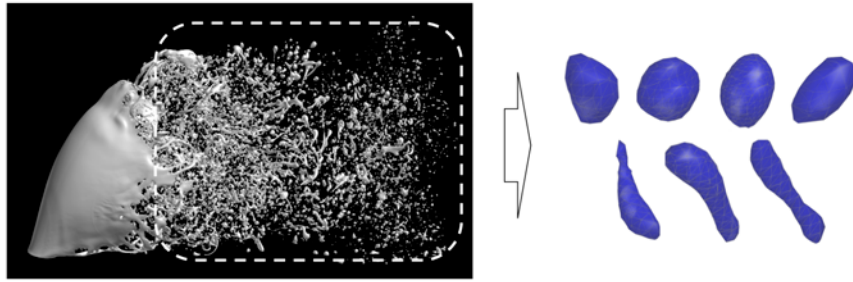


図 1: クロスフロー微粒化の詳細解析から抽出した液滴形状の例

● 成果の公表

-口頭発表

坂野友香理, 佐藤哲也, クロスフロー型微粒化における液滴の三次元形状表現方法の評価, 第 58 回 燃焼シンポジウム, オンライン, 2020 年 12 月.

坂野友香理, 佐藤哲也, 微粒化モデリングにおける深層学習を用いた液滴の三次元形状認識, 第 29 回微粒化シンポジウム, オンライン, 2020 年 12 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	1452
1 ケースあたりの経過時間	24 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	1,766.73	0.00
SORA-PP	3,241.66	0.03
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	9.54	0.01
/data	953.67	0.02
/ltmp	1,953.13	0.17

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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	1,636.18	0.01
TOKI-TRURI	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	9.54	0.01
/data	953.67	0.02
/ssd	95.37	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



## コンパウンド・ヘリコプタ模型の数値解析

報告書番号：R20JTET08

利用分野：技術習得方式

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14657/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

赤坂剛史, 金沢工業大学(akasaka@neptune.kanazawa-it.ac.jp)

### ● メンバ

田辺 安忠, 浜本 佑典, 菅原 瑛明

### ● 事業概要

本研究の目的は、コンパウンド・ヘリコプタのロータと主翼との空力干渉を CFD を用いて調査するため

参考 URL: <https://kitnet.jp/laboratories/lab0022/index.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

ヘリコプタの空力解析コードである rFlow3D を用いたロータと主翼の空力干渉の解析は計算負荷が大きいため

### ● 今年度の成果

ホバリング時におけるコンパウンドヘリコプタのロータと翼の空力干渉をシミュレーションできた(図 1). また高速飛行時におけるコンパウンドヘリコプタのロータと翼の空力干渉をシミュレーションできた(図 2).

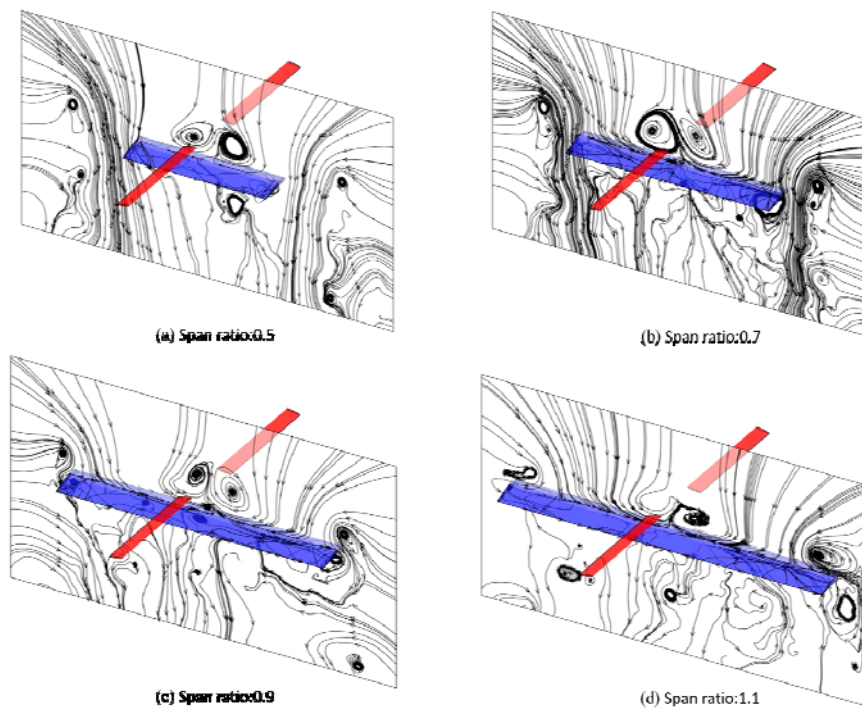


図 1: ホバリング時のロータと固定翼の空力干渉

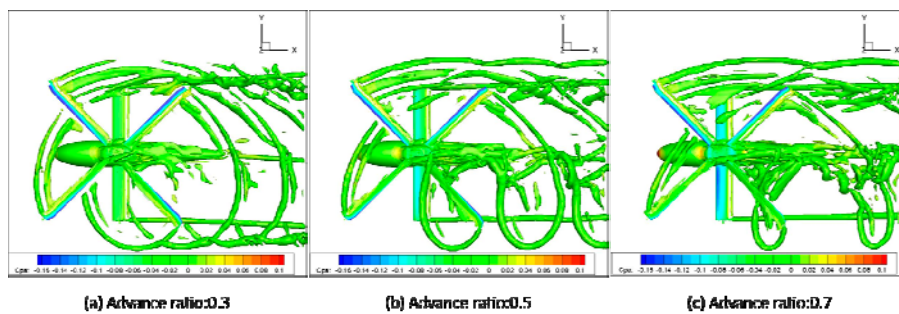


図 2: 高速飛行時のロータと固定翼の空力干渉

● 成果の公表

-査読なし論文

1) 大嶋弘輝, ホバリングにおける有翼ヘリコプタのロータと主翼の空力干渉, 金沢工業大学大学院修士学位論文, 金沢工業大学, 2021.

● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	140 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.21

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	96,924.78	0.02
SORA-PP	298,613.48	2.34
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	10,490.02	0.99

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	48.85	0.04
/data	7,409.59	0.14
/tmp	1,304.36	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	0.00	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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.75

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 (%)
TOKI-SORA	2,747.53	0.00
TOKI-RURI	1,177,170.03	6.74
TOKI-TRURI	13.12	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	48.85	0.03
/data	8,297.37	0.14
/ssd	498.91	0.26

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

## ラムジェットエンジンの燃焼数値解析手法の技術習得

報告書番号：R20JTET50

利用分野：技術習得方式

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14661/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

内山 和哉(kazuchiyama@toki.waseda.jp)

### ● メンバ

内山 和哉

### ● 事業概要

極超音速旅客機の実現を目指した研究開発の第1段階, 極超音速統合制御実験(HIMICO)がJAXAと大学により進められている。本計画では気体水素を燃料とするラムジェットエンジンを用いる。2017年以降の燃焼試験では自己着火に成功しておらず, 実験回数の制約および燃焼実験設備の制約による実験データの不足や飛行条件と実験条件の相違といった課題がある。そこで, 実験データの補間や着火・保炎等の燃焼現象の把握のために数値解析を行う。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

格子点数1000万点以上の実機スケールで詳細化学反応を考慮したLESを行うと, 計算コストが高くなる。並列処理が可能なJAXAスーパーコンピュータを用いることで, 現実的な時間での解析が可能になった。

### ● 今年度の成果

昨年度までの解析結果から, 燃焼器内に気体水素燃料を供給するインジェクタの壁面温度が着火に影響を与えることがわかった。これを踏まえて, 今年度は燃焼試験時に自己着火が起きなかったケース(主流空気温度738 K)の解析を行い, インジェクタ壁面の温度境界条件を低温(300 K)等温壁に設定した際の着火の有無を検証した。ソルバには, JAXAの高速流体解析ソルバFaSTARを基にして, 化学種の輸送方程式およびArrhenius型反応モデルを実装して当研究室で開発された反応性流体解析ソルバを用いた。解析の結果, 着火が確認されたものの, 昨年度解析を行ったケース(主流空気温度800 K)に比べて, 着火までの時間が約2.2倍になった。

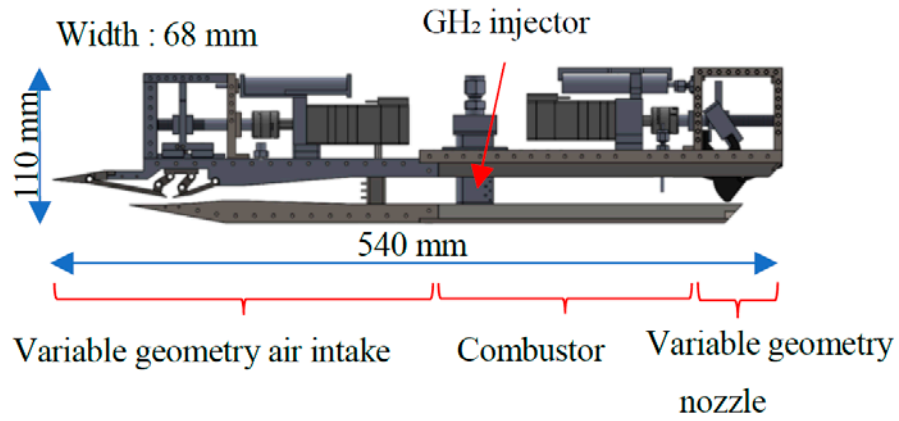


図 1: HIMICO 用ラムジェットエンジン全体図

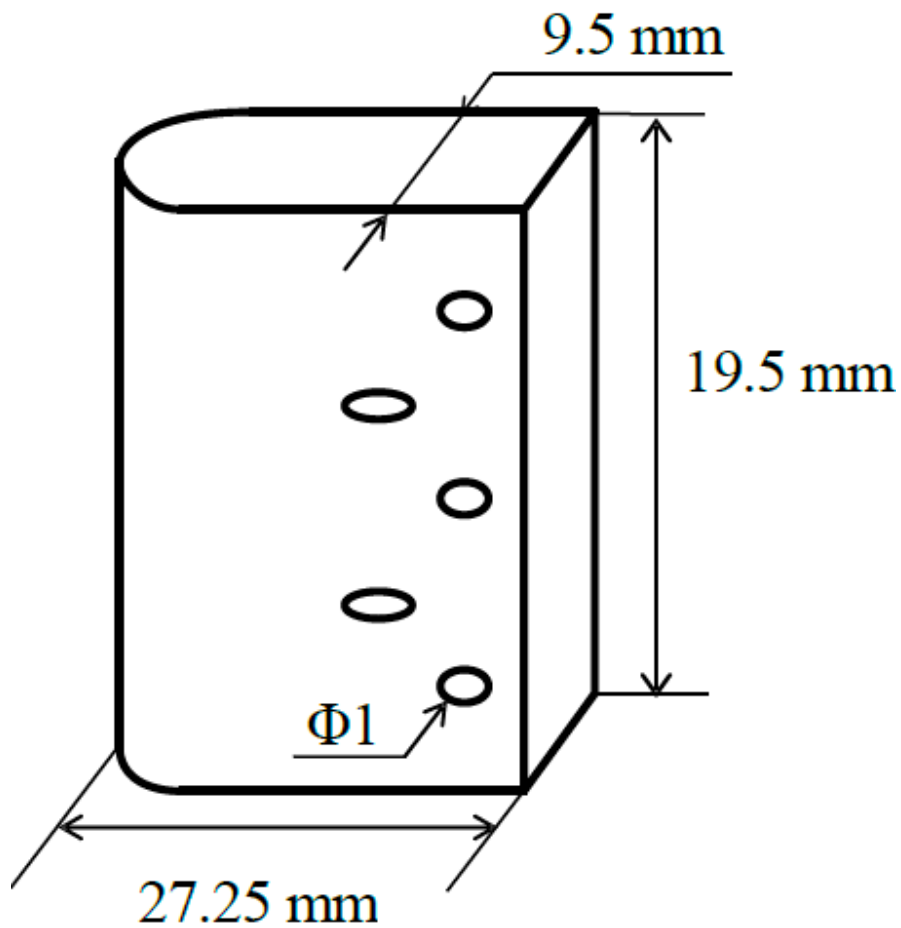


図 2: インジェクタ概要図

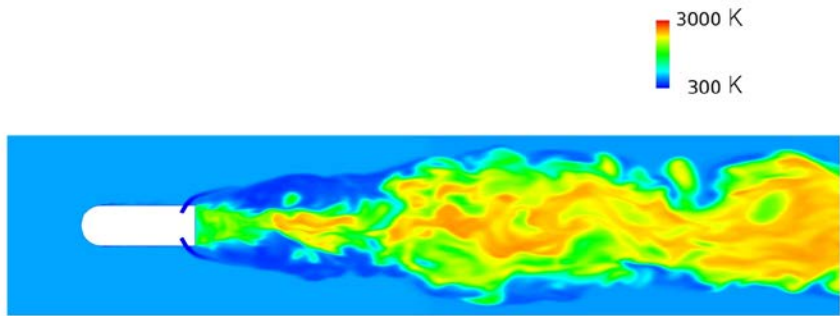


図 3: 瞬時場の静温分布

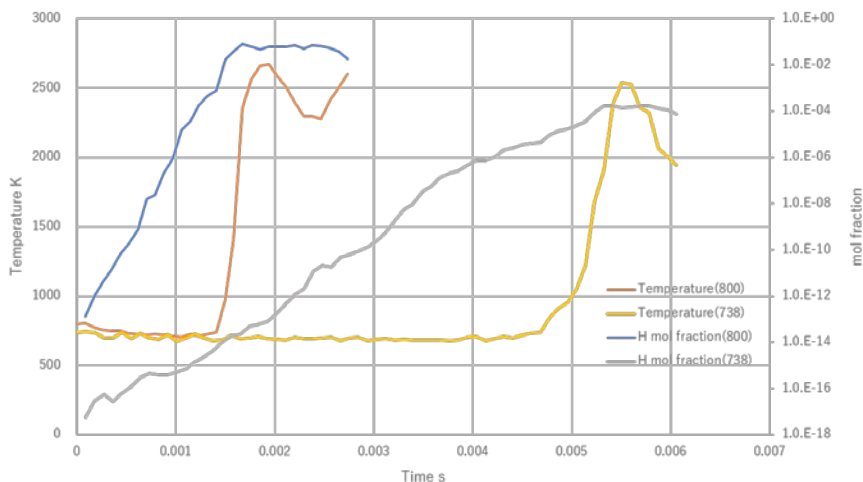


図 4: インジェクタ背後の静温及び水素ラジカルモル分率平均値の時間変化

● 成果の公表

なし

● 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	1024
1 ケースあたりの経過時間	250 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.38

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	1,760,665.74	0.33
SORA-PP	53,187.77	0.42
SORA-LM	3,548.38	2.08
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	238.42	0.22
/data	4,882.81	0.09
/ltmp	976.56	0.08

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	0.01	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



## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	2,338.13	0.00
TOKI-RURI	16,039.79	0.09
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	238.42	0.16
/data	4,882.81	0.08
/ssd	47.68	0.02

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	0.01	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

## 高速回転翼機技術研修

報告書番号：R20JTET04

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14651/>

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

早見 魁斗(k-hayami@st.go.tuat.ac.jp)

### ● メンバ

田辺 安忠, 菅原 瑛明, 早見 魁斗, 浜本 佑典

### ● 事業概要

二重反転ロータの空力特性に及ぼすリフト・オフセットの影響解析

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

回転翼解析ツールの実行に必要であるため。

### ● 今年度の成果

次世代回転翼機に用いられる二重反転ロータについて回転翼用 CFD ツールによる数値解析を行った。数値解析を通して、二重反転ロータの飛行パラメータがロータ空力性能に与える影響について調査を実施した。その結果、二重反転ロータの飛行パラメータであるリフト・オフセットがロータ性能を向上することが明らかになった。飛行条件に応じた適切なリフト・オフセットを選択することで、ロータ性能を最適化することができる。これはリフト・オフセットがロータに発生する抗力をわずかに増加させる代わりに、ロータの駆動パワーを大幅に低下させることに起因する。

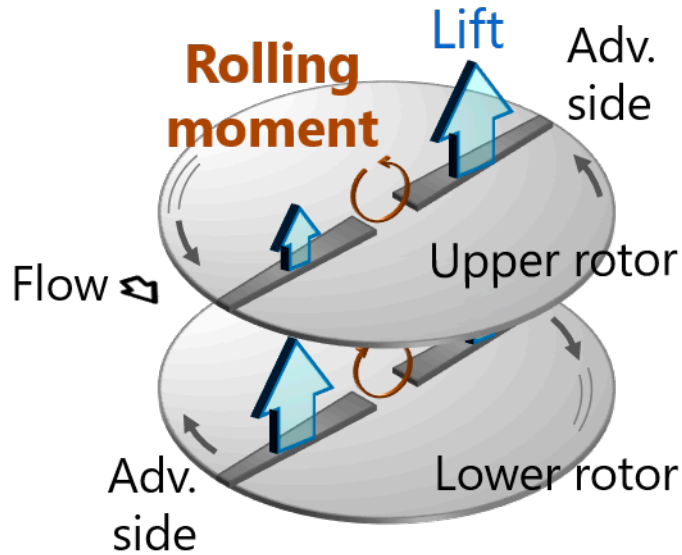


図1: リフト・オフセットの概略図. リフト・オフセットに伴ってロータ前進側の揚力が増加する. ロータ前進側とロータ後退側の揚力差によって発生するロータ面上のローリング・モーメントは上下ロータの反転により打ち消される. リフト・オフセットはローリング・モーメントと推力の比で表される.

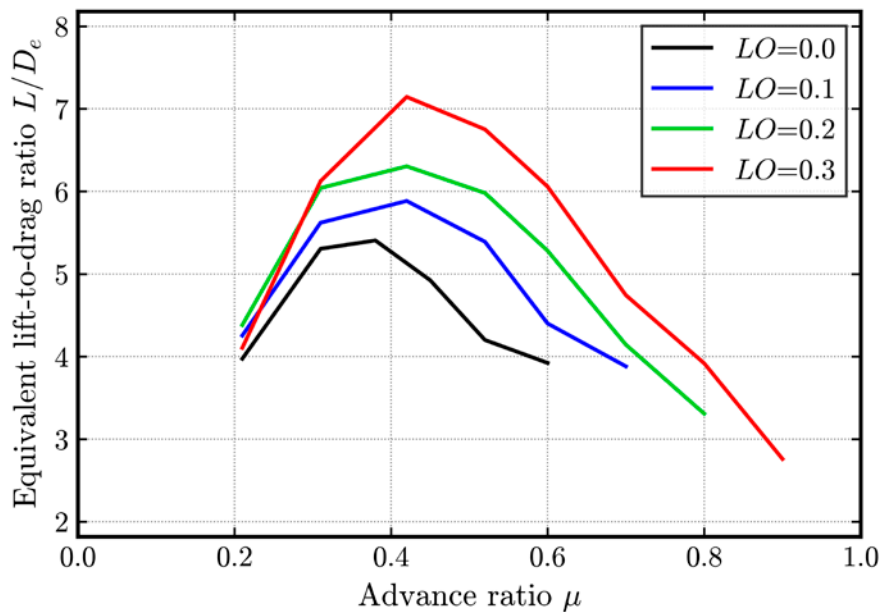


図2: 各前進率  $\mu$  (前進速度の無次元数)におけるロータ等価揚抗比の推移. 等価揚抗比はロータ性能の高さを表す. リフト・オフセット LO が大きくなるにつれて, 等価揚抗比が向上することが示された.

● **成果の公表**

-査読なし論文

早見魁斗,菅原瑛明,田辺安忠,亀田正治,"二重反転ロータの空力特性に及ぼすリフト・オフセットの影響解析",第58回飛行機シンポジウム,(2020).

-口頭発表

早見魁斗,菅原瑛明,田辺安忠,亀田正治,"二重反転ロータの空力特性に及ぼすリフト・オフセットの影響解析",第58回飛行機シンポジウム,(2020).

● **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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	140 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.06

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	0.00	0.00
SORA-PP	34,240.92	0.27
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	22,762.70	2.15

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	287.27	0.26
/data	12,292.40	0.24
/ltmp	2,280.92	0.19

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	131,684.72	0.75
TOKI-TRURI	699.53	0.06

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	287.27	0.20
/data	13,180.19	0.22
/ssd	546.60	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

## 再突入カプセルの遷音速不安定に関する研究

報告書番号：R20JTET12

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14659/>

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット (ohmichi.yuya@jaxa.jp)

### ● メンバ

服藤 将人

### ● 事業概要

大気突入カプセルは後流の非定常流により遷音速から亜音速の飛行時に動的不安定性を示すことが知られている。また動的不安定性に特定の周波数の流体现象が影響を及ぼしている可能性が示唆されている。本研究では垂直平板に対して数値流体計算を実施し、動的モード分解を用いて後流構造の調査を行った。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

非定常流流れ場の解析には大きな計算コストがかかるため

### ● 今年度の成果

数値計算によって  $M=0.2$  における垂直平板の数値計算結果に対して DMD 解析を行った。図 1 は DMD の結果得られた、低周波における  $y$  方向渦の崩壊現象である。崩壊する際の波長は図 2 になっており、低周波の流体现象における特徴的な構造を抽出できた。

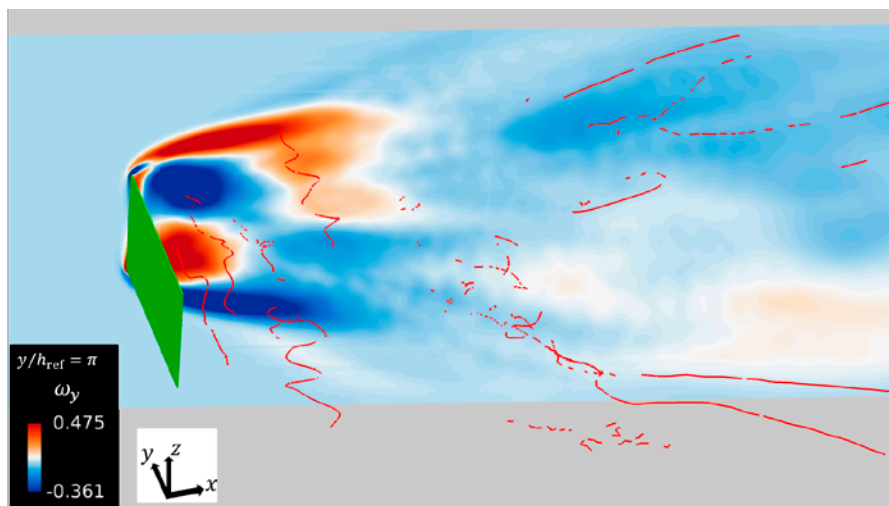


図 1: 垂直平板後方における渦芯構造

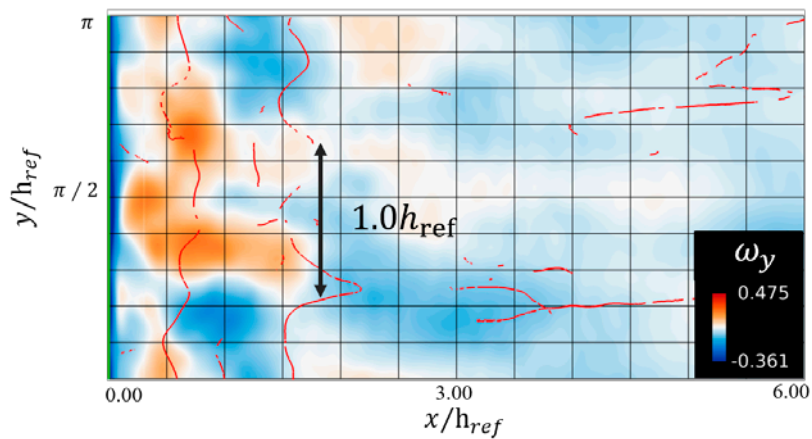


図 2: 渦芯の崩壊波長

## ● 成果の公表

-口頭発表

服藤将人, 大道勇哉, 金崎雅博, 「垂直平板後流における低周波振動現象の動的モード分解解析」, 第34回数値流力学シンポジウム, 沖縄, 2020年12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	OpenMP
プロセス並列数	128
1 ケースあたりの経過時間	50 時間



## ● JSS2 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	306,613.12	0.06
SORA-PP	17,465.44	0.14
SORA-LM	1,309.47	0.77
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	238.42	0.22
/data	42,480.49	0.82
/ltmp	976.56	0.08

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	26.79	0.89

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	32.04	0.00
TOKI-TRURI	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	238.42	0.16
/data	42,480.49	0.71
/ssd	47.68	0.02

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	26.79	0.89

※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

## 静粛超音速機技術の基礎研究

報告書番号：R20JTET01

利用分野：技術習得方式

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14650/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

石川敬掲(ishikawa.hiroaki2@jaxa.jp)

### ● メンバ

嶋田 凌, 横井 寿哉, 石川 敬掲, 土居 雅大

### ● 事業概要

抵抗低減技術及び低ブーム設計コンセプトを核に,超音速機が旅客機として成立するためにキーとなる低ブーム/低抵抗/低騒音/軽量機体の全てを同時に満たすシステム統合設計技術及び要素技術を世界に先んじて獲得するため,鍵技術の開発及び技術実証構想の立案を行う。

参考 URL: <http://www.aero.jaxa.jp/research/frontier/sst/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

システム設計研究においては,低ブーム/低抵抗/低騒音/軽量化の技術目標を同時に達成するため多目的最適設計法を適用しており,複数の評価指標を効率的に評価するためスパコンによる解析が必須である。

### ● 今年度の成果

超音速機用インテークの運用における最大の課題であるバズは,インテークの外部圧縮領域で生じるせん断層の流入により発生する。バズによる非定常圧力変動を防止するためには,バズの発生メカニズムを明確にする必要がある。本研究では FaSTAR によりせん断層が流入してからバズが発生するまでの過程を詳細に調べた(図 1)。その結果,せん断層が流入する際に生じる渦がインテークに流入する流量を大きく制限する場合にバズが生じることが分かった(図 2)。

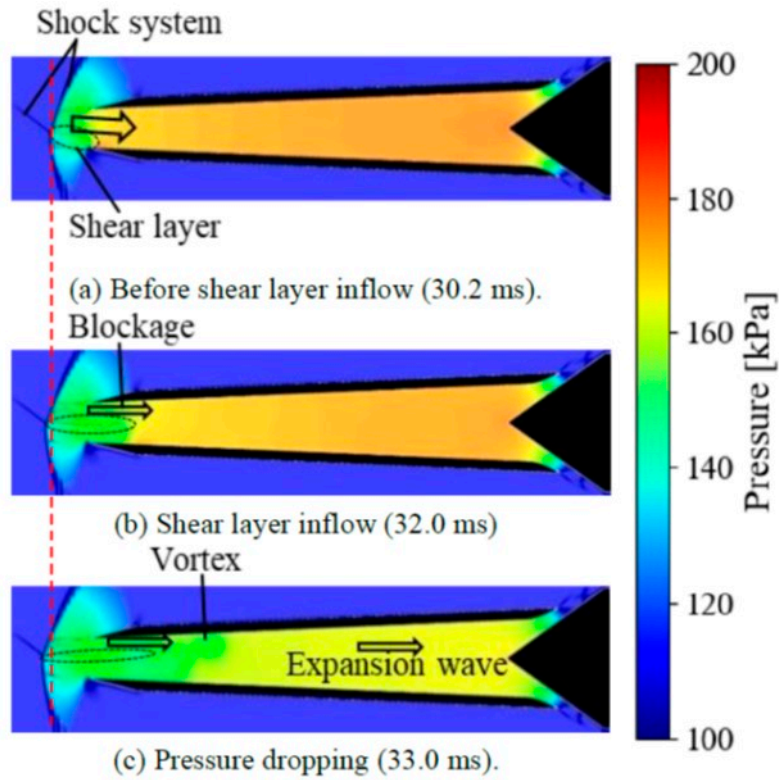


図 1: 流れ場の様子

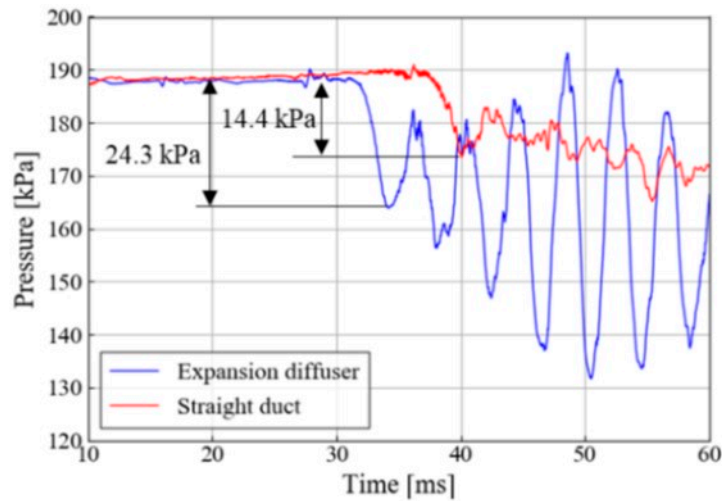


図 2: 圧力の時間変化

## ● 成果の公表

-口頭発表

土居雅大, 渡辺安, 赤塚純一, "超音速インテークにおけるバズ発生への解析," 第 58 回飛行機シンポジウム, 3A08, 2020

横井寿哉, 佐藤哲也, 牧野好和, 上野篤史, "静粛超音速機用インテーク性能への迎角の影響に関する数値的研究," 第 58 回飛行機シンポジウム, 3A15, 2020

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	128
1 ケースあたりの経過時間	5.3 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.66

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	3,012,904.94	0.57
SORA-PP	88,001.71	0.69
SORA-LM	4,661.88	2.74
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	1,148.81	1.05
/data	47,673.49	0.92
/tmp	10,695.69	0.91

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	3.41	0.11

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	8.00	0.00
TOKI-RURI	7,282.04	0.04
TOKI-TRURI	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	940.96	0.64
/data	56,271.58	0.94
/ssd	413.26	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	3.41	0.11

※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

## 抵抗低減機体設計技術の研究

報告書番号：R20JTET15

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14660/>

### ● 責任者

牧野好和，航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

郭 東潤，航空システム研究ユニット(kwak.dongyoun@jaxa.jp)

### ● メンバ

近藤 修平，小金澤 慎弥，郭 東潤，平田 大，新井 陽生，村山 光宏，伊藤 靖，坂井 玲太郎，長谷川 祐輝，早部 希，五十嵐 亮介，高橋 拳矢

### ● 事業概要

国際競争力強化によるシェア拡大を実現するため、優位な環境性能を実現するための空力・騒音および構造技術を開発し、実用化に向けて技術検証を進めるとともに、要素・システム技術開発を進める。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/igreen/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

航空機の空力性能及び騒音特性を向上させるため、主翼及び航空機形状における設計作業に CFD を利用している。空力設計では、複雑な形状における詳細な流れ場を理解しつつその改善形状を追求するため、迅速で正確な空力特性を把握することと同時に膨大な計算リソースが必要である。事業遂行においてスパコンは必要不可欠である。

### ● 今年度の成果

本研究では亜音速航空機の環境性能(低燃費や低騒音)を向上させる要素技術について大学と連携して研究を行っている。今年度は、層流翼における付着線汚染による遷移を防止する空力デバイス、幅広胴体機の胴体・翼胴フェアリング形状、BWB 機の空力設計および環境性能評価を行った。幅広胴体機の胴体形状設計では、胴体のみ形状を用いて形状パラメータによる空力特性と性能への感度を把握する準備を整えた。BWB 機の空力設計では、楕円型揚力分布となるよう低抵抗翼型を配置することで、巡航揚抗比 25 を達成した。

### ● 成果の公表

なし

## ● 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	64 - 1024
1 ケースあたりの経過時間	10 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.69

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	3,868,702.13	0.73
SORA-PP	27,696.91	0.22
SORA-LM	10,057.53	5.91
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	664.44	0.61
/data	37,440.14	0.72
/tmp	11,736.88	1.00

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	51.55	1.71

※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



## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.34

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	1,560,369.63	0.34
TOKI-RURI	10,146.26	0.06
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	1,278.52	0.88
/data	63,283.18	1.06
/ssd	737.03	0.38

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	51.55	1.71

※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

## 複数ロータの前進飛行性能に関する研究

報告書番号：R20JTET07

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14656/>

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

佐山 悠斗(y-sayama@st.go.tuat.ac.jp)

### ● メンバ

田辺 安忠, 佐山 悠斗, 早見 魁斗, 菅原 瑛明

### ● 事業概要

マルチロータ機の前進飛行性能に関する研究

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

回転翼解析ツールの実行に必要であるため。

### ● 今年度の成果

マルチロータ機のロータ単体について回転翼用 CFD ツールにより数値解析を行った。推進用プロペラを装備し、機体を水平にして前進飛行する構成(図 1)を想定して、ロータを水平に設定した。数値解析を用いて、ロータの回転数に加え、ブレードピッチ角を同時に制御パラメータとするロータによる前進飛行性能向上について調査を行った。その結果、回転数のみの制御(ブレードピッチ角 9.0° 固定)と比較すると、回転数とブレードピッチ角を同時に制御することにより、揚力一定条件において前進飛行性能が向上することがわかった(図 2)。

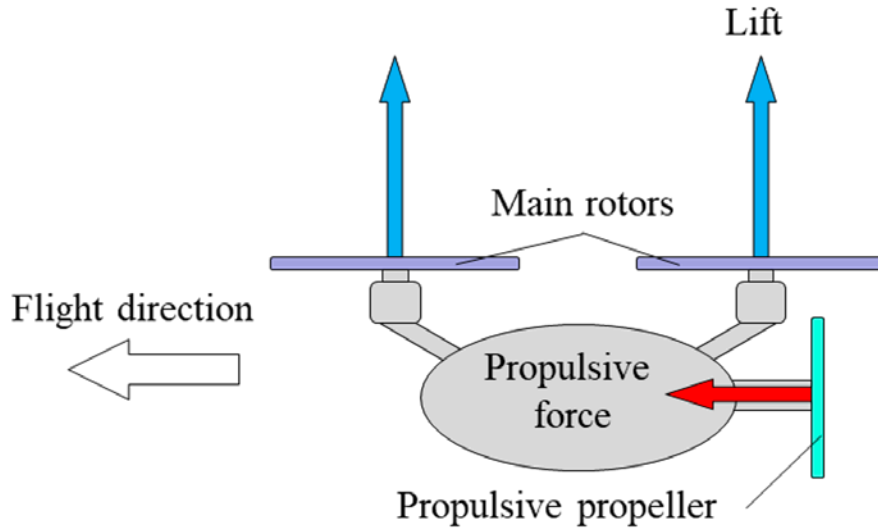


図 1: 推進用プロペラを装備し、水平姿勢で前進飛行するマルチロータ機

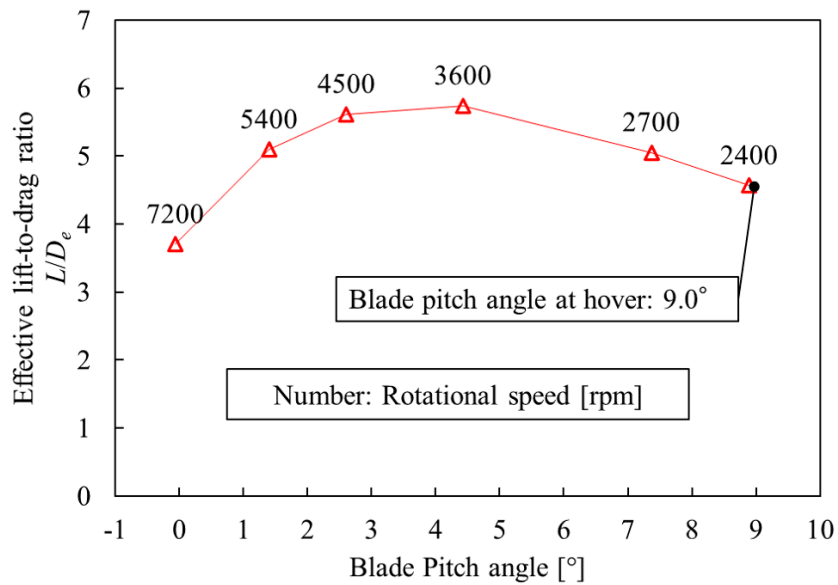


図 2: 回転数とブレードピッチ角を同時に制御するロータの実効揚抗比。実効揚抗比は回転翼の前進飛行性能の指標である。

## ● 成果の公表

-査読なし論文

佐山悠斗,菅原瑛明,早見魁斗,田辺安忠,米澤宏一,亀田正治,"水平飛行型マルチコプタ用可変ピッチプロペラの空力特性",第 58 回飛行機シンポジウム, (2020).

-口頭発表

佐山悠斗,菅原瑛明,早見魁斗,田辺安忠,米澤宏一,亀田正治,"水平飛行型マルチコプタ用可変ピッチプロペラの空力特性",第58回飛行機シンポジウム,(2020).

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	50 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.06

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	0.00	0.00
SORA-PP	19,612.98	0.15
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	24,857.99	2.35

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	759.34	0.70
/data	17,175.22	0.33
/tmp	3,257.49	0.28

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	7,159.83	0.04
TOKI-TRURI	441.42	0.04

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	759.34	0.52
/data	37,594.26	0.63
/ssd	594.28	0.31

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## 競争的資金

## 「富岳」成果創出加速プログラム 航空機フライト試験を代替する近未来型設計技術の先導的実証研究

報告書番号：R20JCMP30

利用分野：競争的資金

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14526/>

### ● 責任者

稲富裕光, 宇宙科学研究所学際科学研究系

### ● 問い合わせ先

高木亮治(ryo@isas.jaxa.jp)

### ● メンバ

高木 亮治, 河合 宗司, 久谷 雄一, 浅田 啓幸, 玉置 義治, 小泉 拓, 笥 雅行

### ● 事業概要

航空機全機周りの実フライト条件での高忠実 LES 解析による高精度空力予測の実現

参考 URL: <https://www.r-ccs.riken.jp/jp/fugaku/promoting-researches>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

最終ターゲットである「富岳」と同じアーキテクチャを有する JSS を用いることで、効率良くプログラム開発が可能であるため。

### ● 今年度の成果

階層型等間隔直交構造格子法と埋め込み境界法(IB 法)を組み合わせた解析手法では、物体形状をアルゴリズムとして表現するため、特に物体表面での物理量分布や物体に働く力の計算に必要な表面積分に関して工夫が必要となる。2次元形状に対する検証を実施し、ここで提案する手法を用いることで十分な精度を有することが分かった。

2次元薄翼での検証例を示す。対象はIB法が苦手とする薄翼のNACA4402とした。前縁付近での圧力係数および摩擦係数の表面分布を図1,2に示す。Level10以上で物体適合格子(UPACS)の解析結果と良く一致していることがわかる。

他にも、第1回直交格子CFDワークショップの一環として単純な形状に対する検証を行い、各課題で良い結果が得られた。

ここで用いている手法は非常に薄い物体を取り扱う事も可能である。図3はパラシュートを模擬した厚さ0の半円まわりの流れの解析例で渦度と密度を可視化したものである。

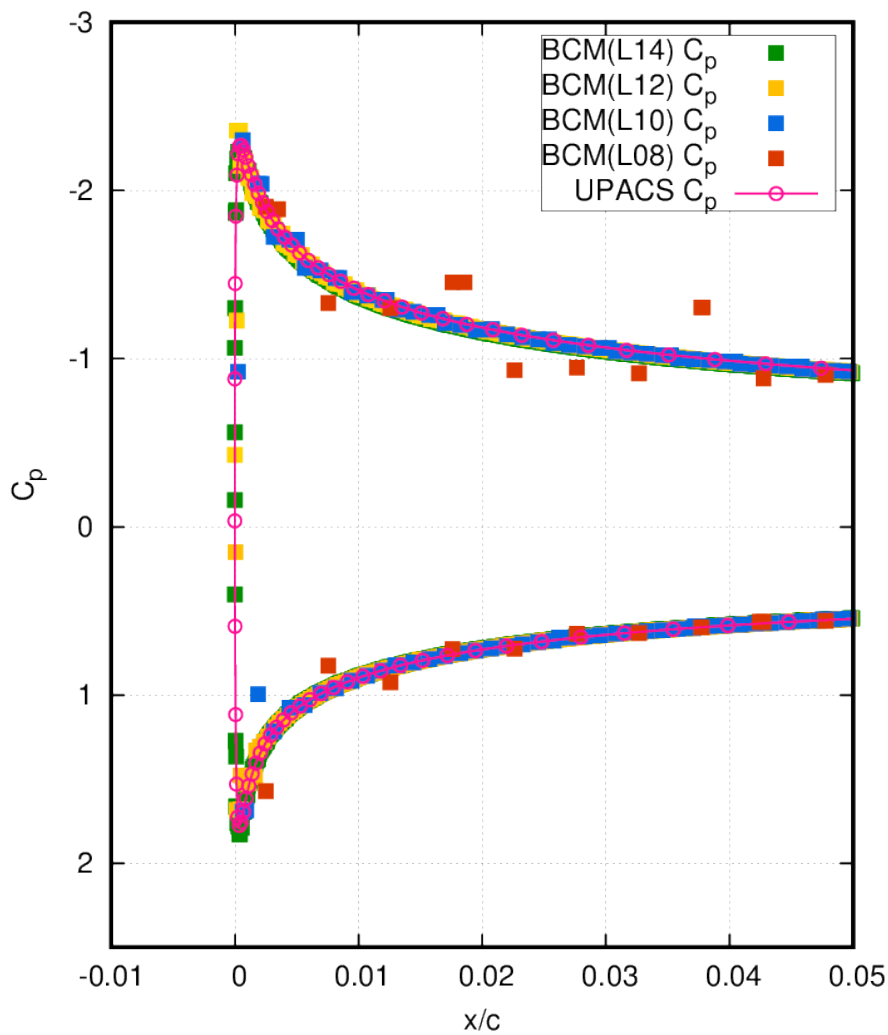


図 1: 前縁付近での圧力係数の表面分布



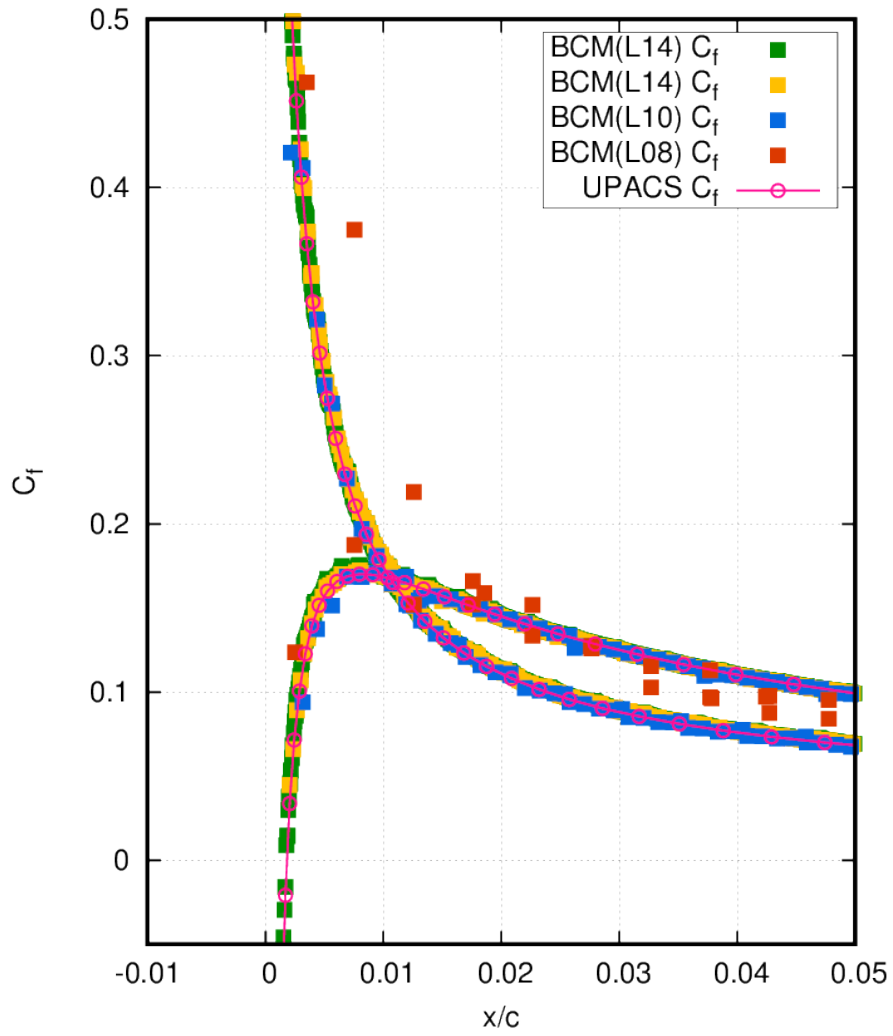


図 2: 前縁付近での摩擦係数の表面分布

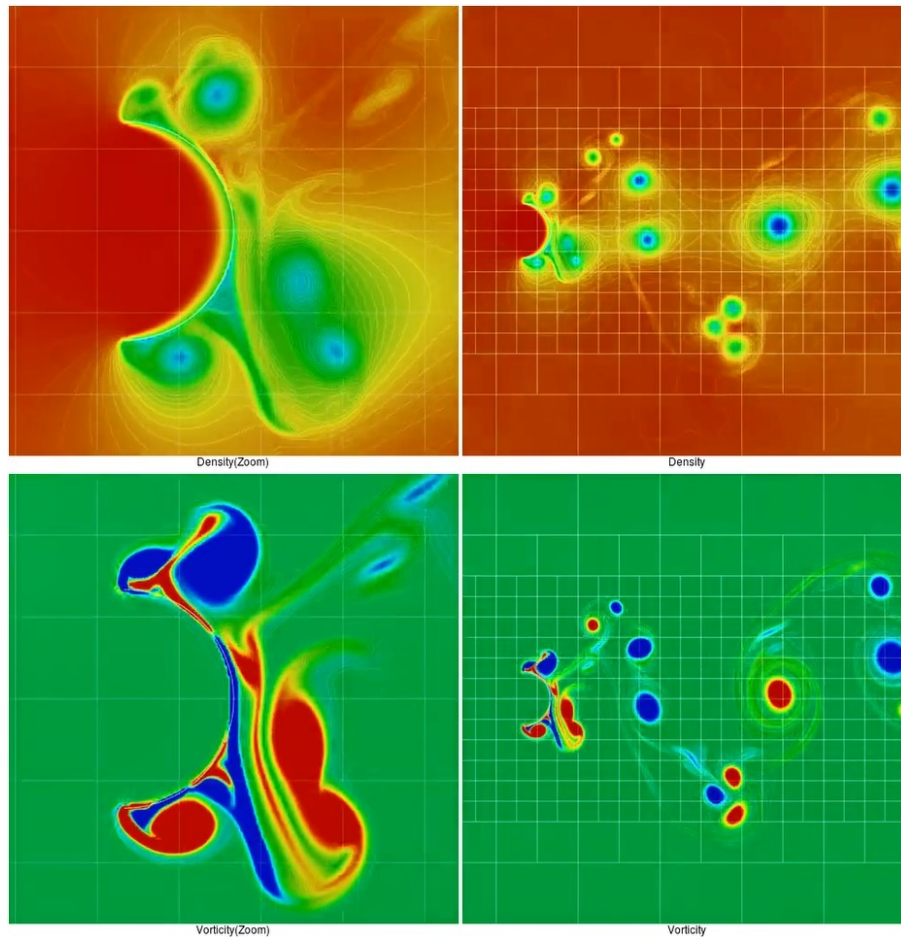


図3: 厚さ0の半円まわりの密度および渦度分布（ビデオ。ビデオはWebでご覧頂けます。）

## ● 成果の公表

### -査読なし論文

- 1) 高木亮治, 河合宗司, 久谷雄一, 玉置義治, 埋め込み境界法における二次元薄翼表面での解析精度の検証, pp173-180, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン論文集, JAXA-SP-20-008, 2021.
- 2) 高木亮治, 河合宗司, 久谷雄一, 玉置義治, 階層型等間隔直交構造格子方の精度検証 一直交格子CFDワークショップ, pp77-88, 第1回直交格子CFDワークショップ講演集, JAXA-SP-20-006, 2021.

### -口頭発表

- 1) 高木亮治, 河合宗司, 久谷雄一, 玉置義治, 埋め込み境界法における二次元薄翼表面での解析精度の検証, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 3C03.
- 2) 高木亮治, 河合宗司, 久谷雄一, 玉置義治, 階層型等間隔直交構造格子方の精度検証 一直交格子CFDワークショップ, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 3C03.

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1 - 24
1 ケースあたりの経過時間	20 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.39

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	2,310,466.20	0.44
SORA-PP	1,698.16	0.01
SORA-LM	59.35	0.03
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	326.08	0.30
/data	10,477.82	0.20
/tmp	2,964.52	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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	2.48	0.08

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.99

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 (%)
TOKI-SORA	5,352,476.57	1.15
TOKI-RURI	10,279.18	0.06
TOKI-TRURI	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	376.03	0.26
/data	14,645.53	0.25
/ssd	202.13	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	2.48	0.08

※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

## ImPACT ドローン受託研究

報告書番号：R20JCMP17

利用分野：競争的資金

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14519/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

田辺 安忠(tanabe.yasutada@jaxa.jp)

### ● メンバ

田辺 安忠, 菅原 瑛明, 田中 陸久, 竹川 国之, 木村 桂大

### ● 事業概要

マルチロータ型ドローンや空飛ぶクルマ(eVTOL)の複雑な流れ場について、高忠実度のCFDによるシミュレーションを行い、その構造の解明を行う。特にマルチロータの発する騒音やマルチロータが地面に接近する際の地面効果やダウンウォッシュの分布について解析を実施している。

参考 URL: https://www.aero.jaxa.jp/research/star/rotary/

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

回転翼周りの流れ場は本質的に非定常性を有し、ブレードの弾性変形や舵角変化も常に伴うことから、空間精度と時間精度は共に高くする必要がある。高忠実度のCFD解析は非常に計算コストが高く、高性能のスパコンの利用が必須である。

### ● 今年度の成果

今年度は図1に示すクアッドロータのドローンについて、地面からの飛行高さの変化による飛行性能変化と流れ場の様子について解析を行った。図2は地面からロータ直径の半分に相当する高さでホバリング飛行をしている単独ロータの流れ場の様子を示しているが、ロータからのダウンウォッシュが地面に沿って広がっていく様子がわかる。図3にクアッドロータ・ドローンが同じ地面からの高さでホバリングしている流れ場の様子を示しているが、内側のロータ部分は地面からの流れの跳ね返りで循環が生じており、飛行性能が劣化していると考えられる。また、地面に沿う流れの様子を図4に示すが、ロータの中心からの流れは単独ロータとほぼ同じであるが、ロータ間の隙間からは高い高度に達する強い流れの吹き出しがあり、在来のヘリと異なるダウンウォッシュの構造を有することが分かった。

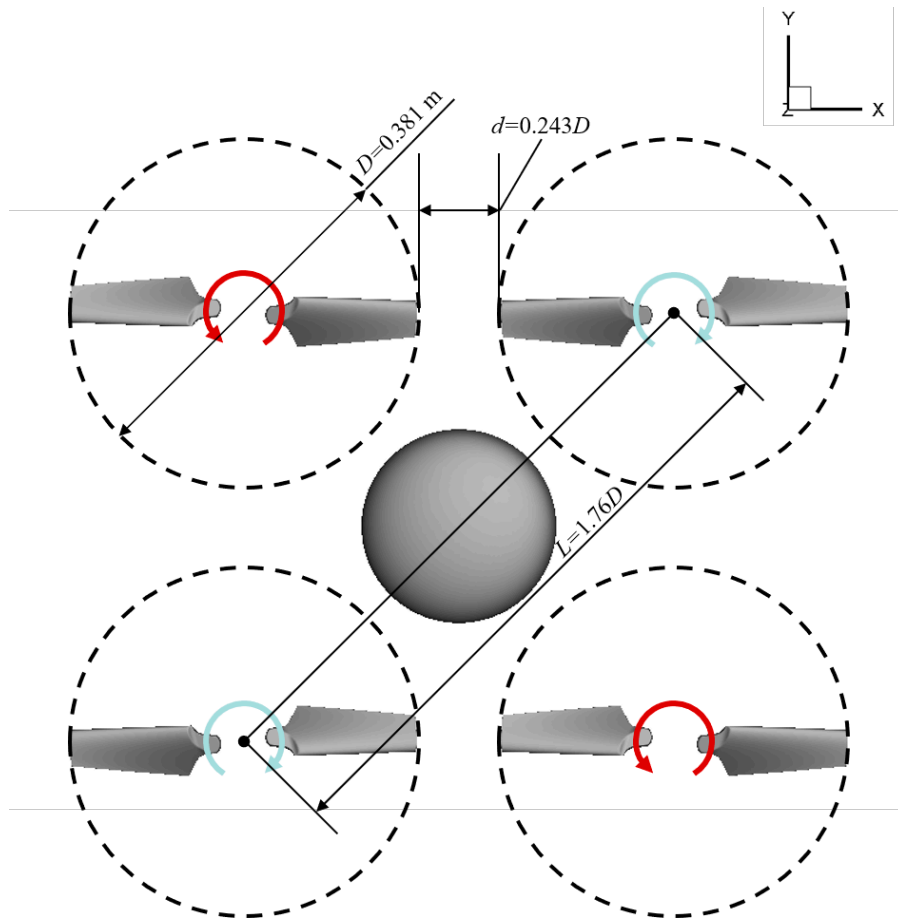


図1: 解析対象の変ピッチ制御のクアドロータ・ドローン

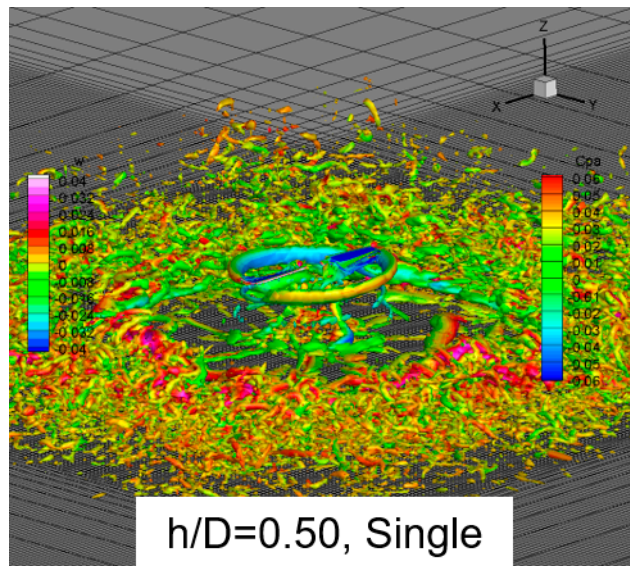


図2: シングルロータの地面効果内ホバリング時の流れ場の様子



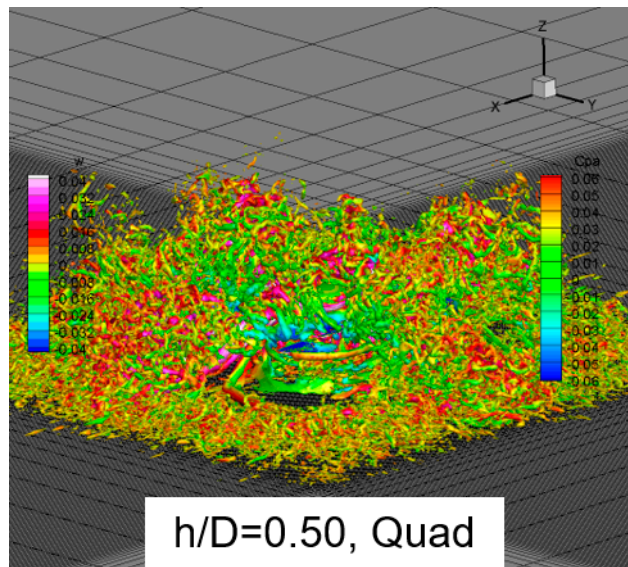


図3: クアッドロータ・ドローンが地面効果内でホバリングする時の流れ場の様子.

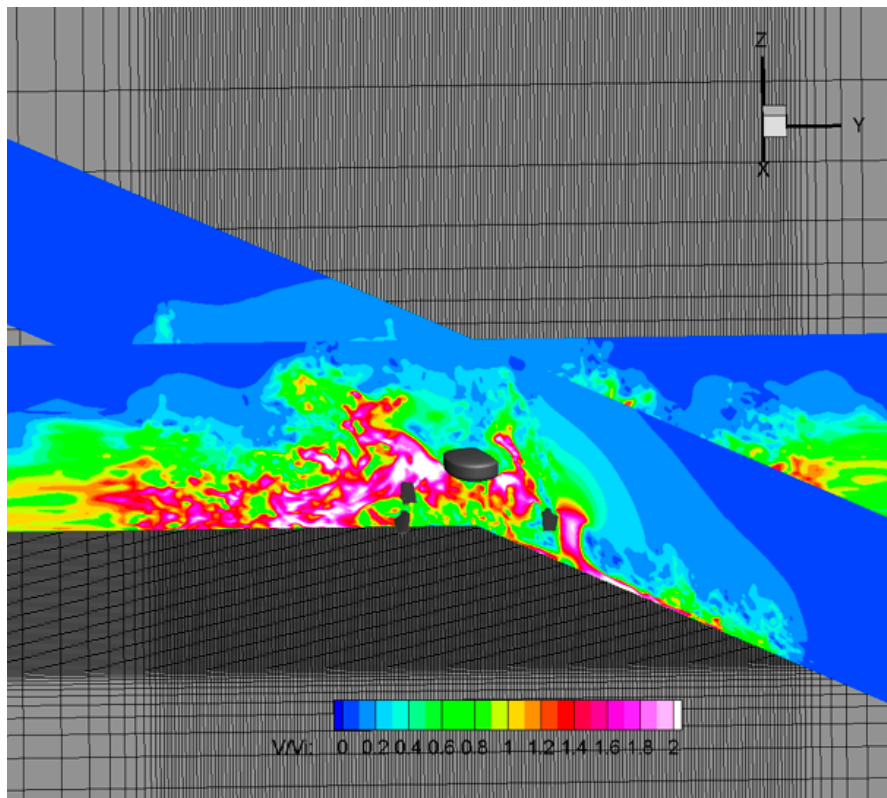


図4: クアッドロータ・ドローンのダウンウォッシュとアウトウォッシュの様子

● **成果の公表**

-査読付き論文

1) Yasutada Tanabe, Hideaki Sugawara, Shigeru Sunada, Koichi Yonezawa, Hiroshi Tokutake:Quadrotor Drone Hovering in Ground Effect, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 33, No. 2, 2021.

-査読なし論文

1)田辺安忠, 菅原瑛明, 砂田茂, 得竹浩, 米澤宏一:マルチコプタの地面効果に関する数値シミュレーション, 第58回飛行機シンポジウム Online, 2020年11月25～27日

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



## ● JSS2 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	114,010.97	0.02
SORA-PP	248,096.23	1.94
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	106,568.94	10.06

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	3,553.26	3.26
/data	14,210.65	0.27
/ltmp	2,664.57	0.23

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	6.24	0.21

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.39

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 (%)
TOKI-SORA	296,580.56	0.06
TOKI-RURI	499,531.47	2.86
TOKI-TRURI	19,187.89	1.55

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	4,552.15	3.12
/data	19,505.65	0.33
/ssd	1,165.62	0.61

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	6.24	0.21

※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

## JAXA-SUBARU 共同研究(回転翼)

報告書番号：R20JCMP10

利用分野：競争的資金

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14504/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

田辺 安忠(tan@chofu.jaxa.jp)

### ● メンバ

田辺 安忠, 菅原 瑛明, 杉浦 正彦, 竹川 国之, 佐々木 雅文, 木村 桂大

### ● 事業概要

高速回転翼機の機体コンセプトの一つとしてコンパウンド・ヘリコプタがある。シングルロータと固定翼の組み合わせを採用した機体では、ロータと固定翼の空力干渉によって機体抵抗が大幅に増大し、空力性能が大幅に低下する。空力性能を大幅に向上させるためにはロータと固定翼の空力性能を向上させる必要がある。SUBARU と JAXA はコンパウンド・ヘリコプタの空力干渉に関する知見をこれまでの共同研究で蓄積してきた。また、本事業では、ロータを高性能化するリフトオフセット技術と JAXA で最適化したロータの組み合わせによる空力性能高性能化を数値シミュレーションで確認することを目的としている。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

【理由】多くのシミュレーションケースがあり、効率的に結果を得るために必要。

【利点・便益】メモリを多く必要とする大規模シミュレーションが行え、結果が効率的に得られる。

### ● 今年度の成果

ロータと翼胴形態の単純なモデルについて数値シミュレーションを行った。数値シミュレーションは JAXA で開発している回転翼 CFD ツール rFlow3D を用いた。計算格子は移動重合格子法を用いてメインロータブレードの運動を模擬している。図 1 にシミュレーションに用いた格子の様子を示す。重合格子はブレード格子、翼胴格子、内側/外側背景格子で構成されている。翼胴格子は非構造格子を用いており、JAXA で開発している非構造 CFD ソルバー-FaSTAR で計算されている。

ロータ単体、翼胴の基本特性を把握するために、単体の性能計算を行った。その後、ロータと胴体の組み合わせで数値シミュレーションを行い、全機空力性能を評価した。飛行条件は高速飛行条件で、その時のロータの前進率は 0.7 および 0.8 である。図 2 にロータと胴体の組み合わせにおける計算例

を示す。

本数値シミュレーションにより、ブレード最適化によるロータ性能向上によって全機空力性能が大幅に改善することがわかった。また、リフトオフセットによって全機空力性能がさらに向上することが明らかになった。

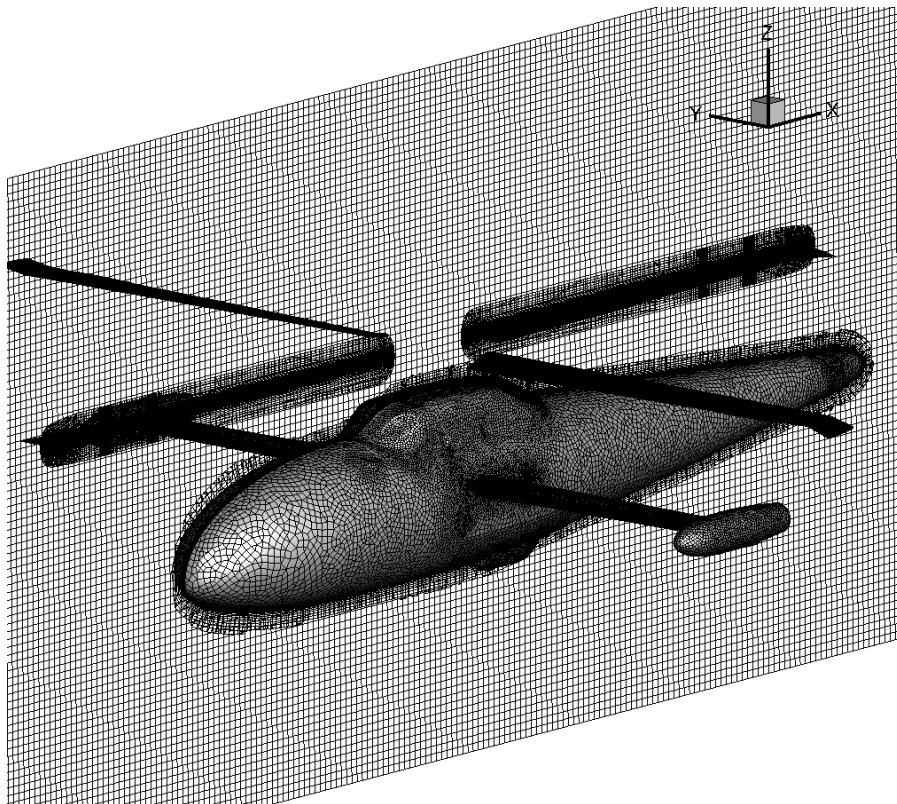


図 1: 計算格子の様子

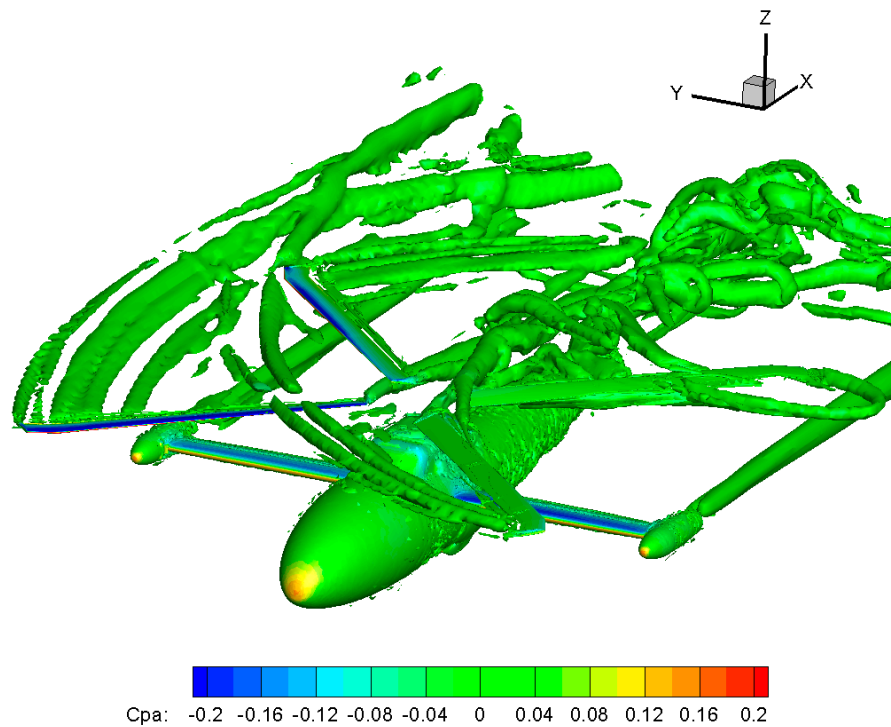


図 2: 計算結果の例

● 成果の公表

なし

● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	140 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.27

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	15.28	0.00
SORA-PP	195,782.28	1.53
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	103,893.45	9.80

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	4,557.01	4.18
/data	26,417.69	0.51
/ltmp	4,861.84	0.41

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	6.24	0.21

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.97

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	5.80	0.00
TOKI-RURI	1,429,558.38	8.18
TOKI-TRURI	163,242.65	13.16

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	5,079.05	3.48
/data	41,478.32	0.70
/ssd	5,964.99	3.11

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	6.24	0.21

※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

## ロータブレードの最適化

報告書番号：R20JCMP11

利用分野：競争的資金

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14505/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

木村 桂大(kimura.keita@jaxa.jp)

### ● メンバ

田辺 安忠, 杉浦 正彦, 菅原 瑛明, 竹川 国之, 木村 桂大

### ● 事業概要

JAXA, DLR, ONERA の3機関が所持するヘリコプターブレードの解析ツールおよび最適化手法の検証及び知見の蓄積を目的として、各種飛行条件のブレード形状最適化を各機関にて進めている。今年度は第一段階としてホバリング条件におけるブレードの最適化と数値シミュレーション結果の比較を実施した。最適化プロセスでは、得られた設計解の性能を正確に評価する必要があり、局所的な流体現象を考慮した設計では、CFD による評価が重要となる。ここでは各機関で実施した CFD 解析の検証結果の一部を報告する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

CFD を用いた最適化において、設計変数を変化させた多数のケースを CFD 解析で実施する必要があり、スパコンの利用が必須となる。DLR/ONERA も同様の HPC 利用の解析を実施しており、スパコンを利用した結果を用いた比較・検討が適切である。

### ● 今年度の成果

最適化ツールにて設計解の性能評価を担う CFD ソルバーについて、JAXA-DLR-ONERA の3機関でベースライン形状・ホバリング条件の CFD 解析を実施・比較することで各機関が所有する CFD ソルバーの精度検証を実施した。

図1に JAXA(JSS)で実施した数値解析の計算格子の外観を示す。直方体ベースの背景格子の中でブレード格子が回転する移動重合格子系のソルバー(rFlow3D)を使用して数値解析を実施した。

図2にはホバリング性能の指標であるフィギュアオブメリットの比較を示した。横軸はブレードが発生している推力の大きさを表している。実験値および DLR・ONERA の数値解析の結果と比較をし、幅広い推力範囲で同程度のホバリング性能を示しており、性能予測ツールとしての精度が十分なもの



であることが確認できた。

図3には代表ケース・代表断面における翼面の摩擦応力分布を示す。各機関使用した乱流モデリングが異なっており、翼前縁( $x/c \sim 0.1$ )周辺での摩擦応力の差分が確認できる。主としてこの摩擦応力の差分が図2の性能予測結果の差として現れており、差分として妥当な範囲内であることが確認できた。

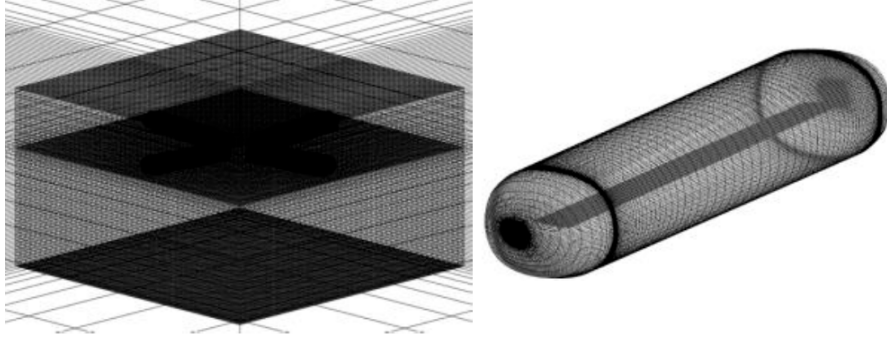


図1: 計算格子概略(背景格子+ブレード格子)

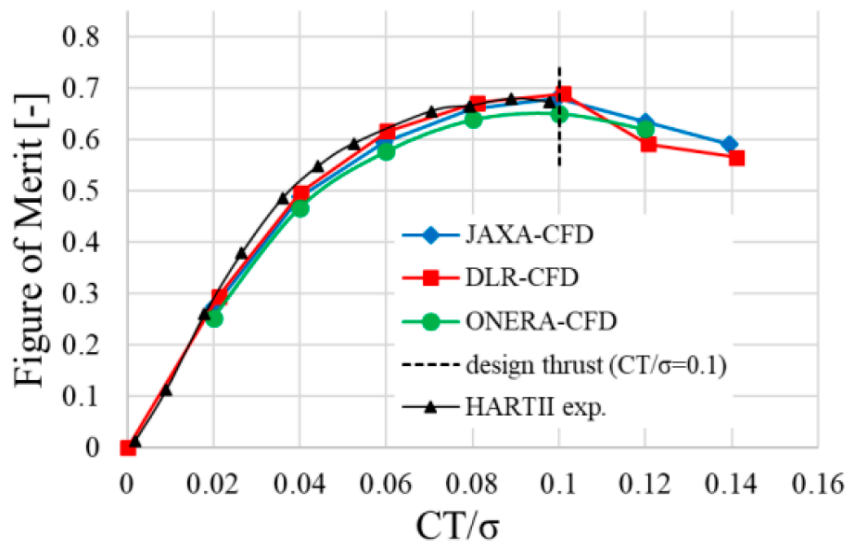


図2: ブレード発生推力とホバリング効率(FoM)の関係

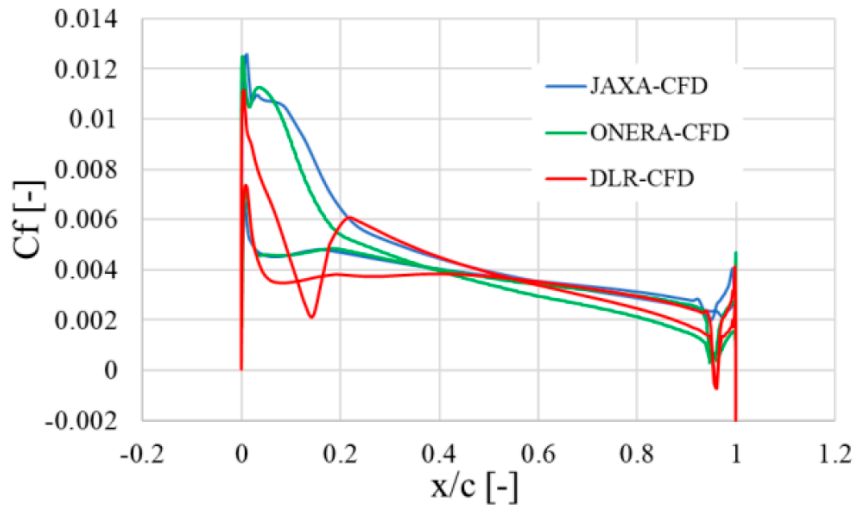


図 3: ブレード代表断面における表面摩擦応力分布

## ● 成果の公表

-査読なし論文

KIMURA Keita , SUGIURA Masahiko , SUGAWARA Hideaki , TANABE Yasutada , WILKE Gunther , BAILLY Joelle , TAKEKAWA Kuniyuki, "Cooperative Research on Rotor Blade Optimization between JAXA-ONERA-DLR: Results of Phase I",JAXA Special Publication: Proceedings of Fluid Dynamics Conference / Aerospace Numerical Simulation Symposium 2020 Online,JAXA-SP-20-008,59-67 (2021-02-08)

-口頭発表

KIMURA Keita , SUGIURA Masahiko , SUGAWARA Hideaki , TANABE Yasutada , WILKE Gunther , BAILLY Joelle , TAKEKAWA Kuniyuki, "Cooperative Research on Rotor Blade Optimization between JAXA-ONERA-DLR: Results of Phase I",Fluid Dynamics Conference / Aerospace Numerical Simulation Symposium 2020 Online, September 28-30, 2020.

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	200 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.60

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	689,493.57	0.13
SORA-PP	563,193.90	4.41
SORA-LM	1,583.29	0.93
SORA-TPP	104,624.97	9.87

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	3,603.33	3.30
/data	6,886.43	0.13
/tmp	955.59	0.08

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	6.24	0.21

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.77

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 (%)
TOKI-SORA	422,205.40	0.09
TOKI-RURI	1,031,095.38	5.90
TOKI-TRURI	140,829.28	11.35

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	4,602.21	3.15
/data	12,181.43	0.20
/ssd	1,082.17	0.57

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	6.24	0.21

※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

## 火星ヘリコプタの概念設計およびブレード形状最適化に関する研究

報告書番号：R20JCMP14

利用分野：競争的資金

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14518/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

東京都立大学 金崎雅博(kana@tmu.ac.jp)

### ● メンバ

田辺 安忠, 杉浦 正彦, 菅原 瑛明, 木村 桂大, 竹川 国之, 金崎 雅博, 岸 祐希, 菊地 大輔

### ● 事業概要

新分野開拓研究(火星ヘリコプタの形態および空力的に最適なブレード形状の研究)において、火星大気環境において最適なヘリコプタの機体形態とブレード形状を提案するために、火星ヘリコプタの概念設計とそれに基づいたサイズのブレードについて、空力的に最適なブレード形状を得ることを目的とする。さらに、得られたコンセプトに対して、数値流体力学(CFD)に基づき、3次元評価を行う。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

ブレード形状の最適設計を行うためには多くの CFD による計算数が必要となる。また、概念設計の結果に対して3次元的な空力評価を行うには粒度の高い CFD が求められる。こうしたことから、JAXA のスーパーコンピュータを利用した。

### ● 今年度の成果

本研究では、CFD ロータブレードの最適設計と6ロータ機概念に対する3次元CFDを実施した。最適設計においては、進化計算法とCFDツールのFaSTARを組み合わせ、低レイノルズ数環境下で最適な翼型形状を取得した。得られた翼型形状は上面の前縁側に凹面を持つ。これは再循環領域を利用して、揚力を得る流れの構造となっていることを示している。概念機の3次元CFDでは、rFlow3Dを利用し、図1のような流れ構造を取得した。この結果に基づき性能評価を行い、シングルロータの時よりも、概念機の6ロータとする方が、ロータ一つあたりの効率が低下することが分かった。さらに、ロータの配置を修正したところ、各ロータの効率改善が見られ、概念機に対する詳細設計の指針を得た。

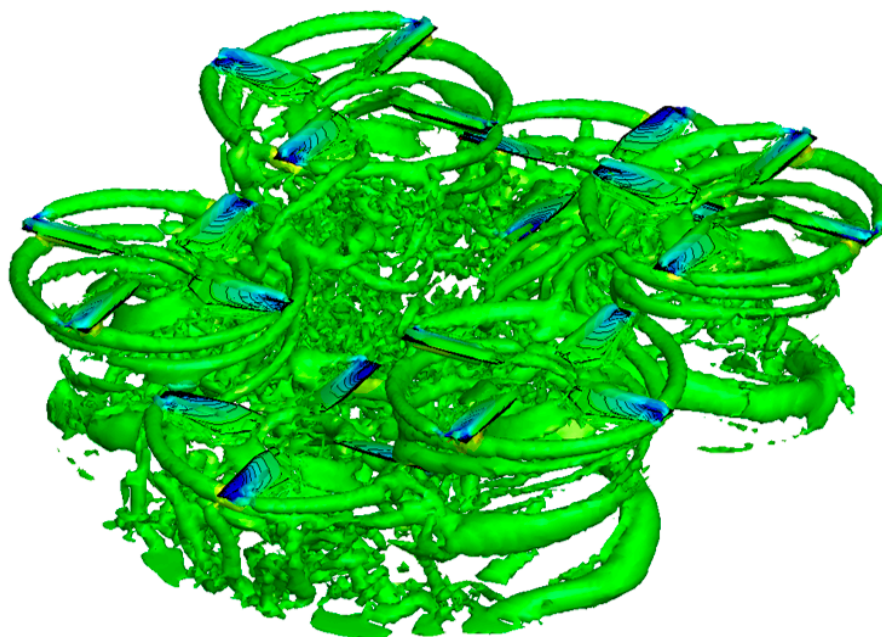


図1: 概念機に対する6枚ロータの流れの可視化

● 成果の公表

なし

● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	480 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.14

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	348,521.34	0.07
SORA-PP	59,052.97	0.46
SORA-LM	38.37	0.02
SORA-TPP	26,516.46	2.50

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	4,241.50	3.89
/data	25,603.88	0.49
/ltmp	4,048.04	0.34

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	7.74	0.26

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.49

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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	688,095.49	3.94
TOKI-TRURI	161,728.55	13.03

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	5,240.38	3.59
/data	34,154.09	0.57
/ssd	1,233.17	0.64

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	7.74	0.26

※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



## 火星ヘリコプタの形態および空力的に最適なブレード形状の研究

報告書番号：R20JCMP13

利用分野：競争的資金

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14517/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

木村 桂大(kimura.keita@jaxa.jp)

### ● メンバ

田辺 安忠, 木村 桂大, 菅原 瑛明, 竹川 国之, 杉浦 正彦

### ● 事業概要

2030 年頃を目標に火星表面に存在するピットクレーター内の調査が我が国独自のミッションとして検討されており, 100m 程度の垂直移動が要求されることからホバリングが可能なヘリコプタの活躍が期待されている。火星での飛行は地球上と大気条件が大きく異なる(低レイノルズ数・高マッハ数)ことから, 従来のヘリコプタの翼型・ブレード形状では効率の良い運用が困難とされている。本研究では火星大気での飛行に適したヘリコプタの形態・翼型形状を検討・提案する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

回転翼の最適平面形状の探索においては, 使用する翼型の幅広いマッハ数・迎え角範囲での空力性能を把握しておく必要がある。必要な空力特性の取得のため合計数 100 ケースの計算を実施する必要がある, スパコンの利用が適当であった。

### ● 今年度の成果

火星ヘリ用のブレード平面形状(ねじり角・コード長)の最適化に際して使用する翼型の空力性能を把握する必要があり, JSS を使用した数値解析でこれを行った。対象となる翼型は火星大気での性能劣化が小さいと考えられる薄翼の clf5605 翼型であり, 地球環境とは大きく異なる火星大気条件下での CFD 解析を実施した。使用した CFD ソルバーは JAXA 開発の FaSTAR である。

図 1 に数値解析で得られた空力性能の例(迎角-揚力係数)を示す。マッハ数 0~1.0, 迎角-15~20° の範囲でスイープしており, 条件ごとの空力性能をテーブルとして整理した。迎角 5° 近辺で揚力傾斜が変化しており, Mach 数コンター(図 2, Mach#=0.8, 迎角 5° のケース)からも失速による低マッハ数領域が確認できる。得られた空力性能の妥当性を検証するため, 作成した空力テーブルを用いた翼素運動量理論によるヘリコプターの性能予測結果を NASA の解析事例と比較した(図 3)。横軸で示す推

力が大きい領域についてはテーブル参照による簡易解析と3次元解析との差分が現れているものの、設計推力近辺においては妥当な性能予測が可能であることを示した。

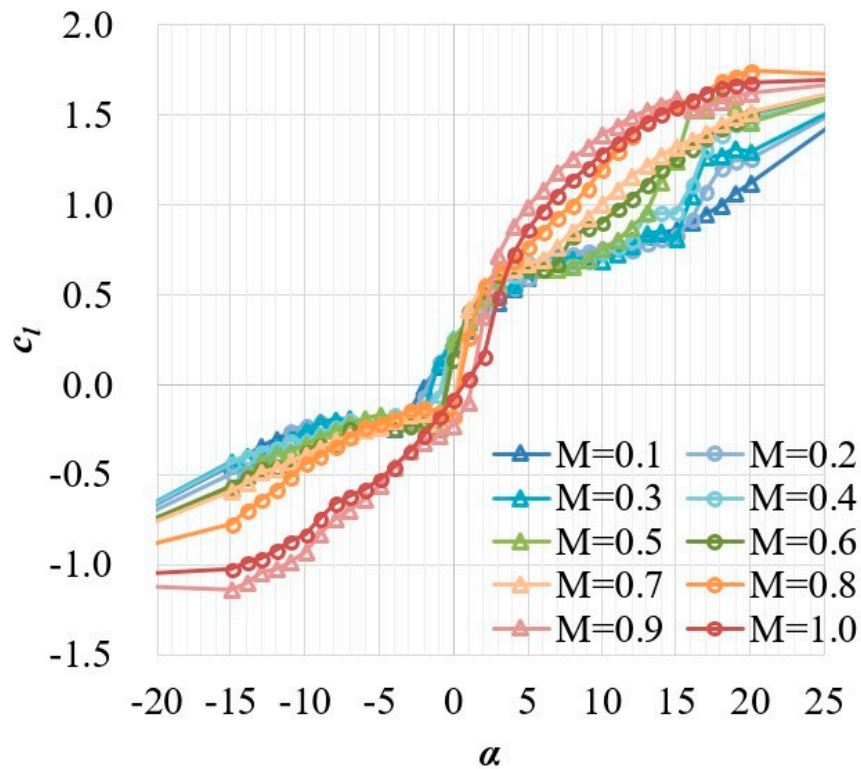


図1: 迎角-揚力係数

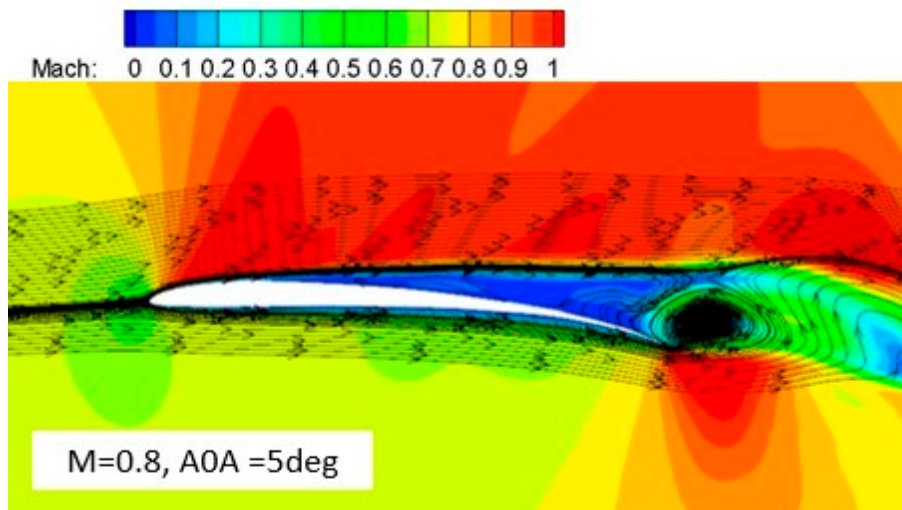


図2: マッハ数分布と流線の可視化(M=0.8, AoA = 5deg)

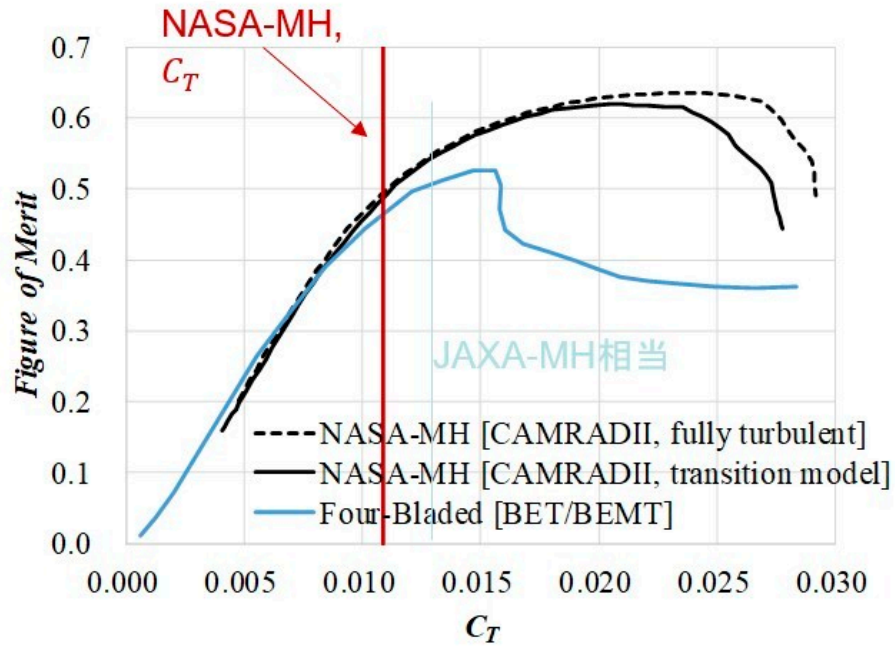


図3: 推力係数-フィギュアオブメリット(ホバリング効率)

● 成果の公表

-査読なし論文

杉浦正彦, et al. 火星ヘリコプタ用ロータブレード平面形状の空力的最適設計. 宇宙航空研究開発機構特別資料: 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン論文集, 2021, 157-164.

-口頭発表

杉浦正彦, et al. 火星ヘリコプタ用ロータブレード平面形状の空力的最適設計. 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 講演番号 2B02

● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	30 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.13

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	73,562.20	0.01
SORA-PP	169,418.50	1.33
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	13,689.19	1.29

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	3,603.33	3.30
/data	6,886.43	0.13
/tmp	955.59	0.08

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	6.24	0.21

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	182,901.91	0.04
TOKI-RURI	438,585.35	2.51
TOKI-TRURI	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	4,602.21	3.15
/data	12,181.43	0.20
/ssd	1,082.17	0.57

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	6.24	0.21

※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

## 回転爆轟波の詳細構造の解明

報告書番号：R20JCMP12

利用分野：競争的資金

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14516/>

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

松山 新吾(smatsu@chofu.jaxa.jp)

### ● メンバ

松山 新吾

### ● 事業概要

本研究では回転 detonation 波の伝搬特性と詳細な構造を明らかにするためにラージエディシミュレーション(Large-Eddy Simulation, LES)による燃焼解析を実施した。角田宇宙センターで実施されている回転 detonation 燃焼器の燃焼試験における安定作動条件について、当量比 0.6 から 1.6 までの二次元および三次元シミュレーションを実施し、燃焼器内を伝搬する回転 detonation 波の再現を試みた。

本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度 JPJ004596 の支援を受けたものである。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

メタン燃料の燃焼により生じる 20 以上の化学種を考慮した燃焼 LES は非常に計算コストが高いため、通常のワークステーションなどでは実行が不可能である。また、複数の噴射条件についてパラメトリックな多数の解析を現実的な時間で実行するためにはスーパーコンピュータの利用が必要不可欠である。

### ● 今年度の成果

直径 101mm の円環状燃焼器を想定した  $\text{CH}_4 \cdot \text{O}_2$  の非予混合回転 detonation に関する二次元 LES を実施した(図 1)。LES によって得られた当量比 0.6 から 1.6 までの回転 detonation 波の伝搬速度は Chapman-Jouguet 速度に対して 60~70%程度となることが示された。格子が粗い場合、シミュレーションによる伝播速度は燃焼試験で得られた値よりも若干高めの値を示したが、解像度を上げることで計測データを再現することに成功した(図 2)。

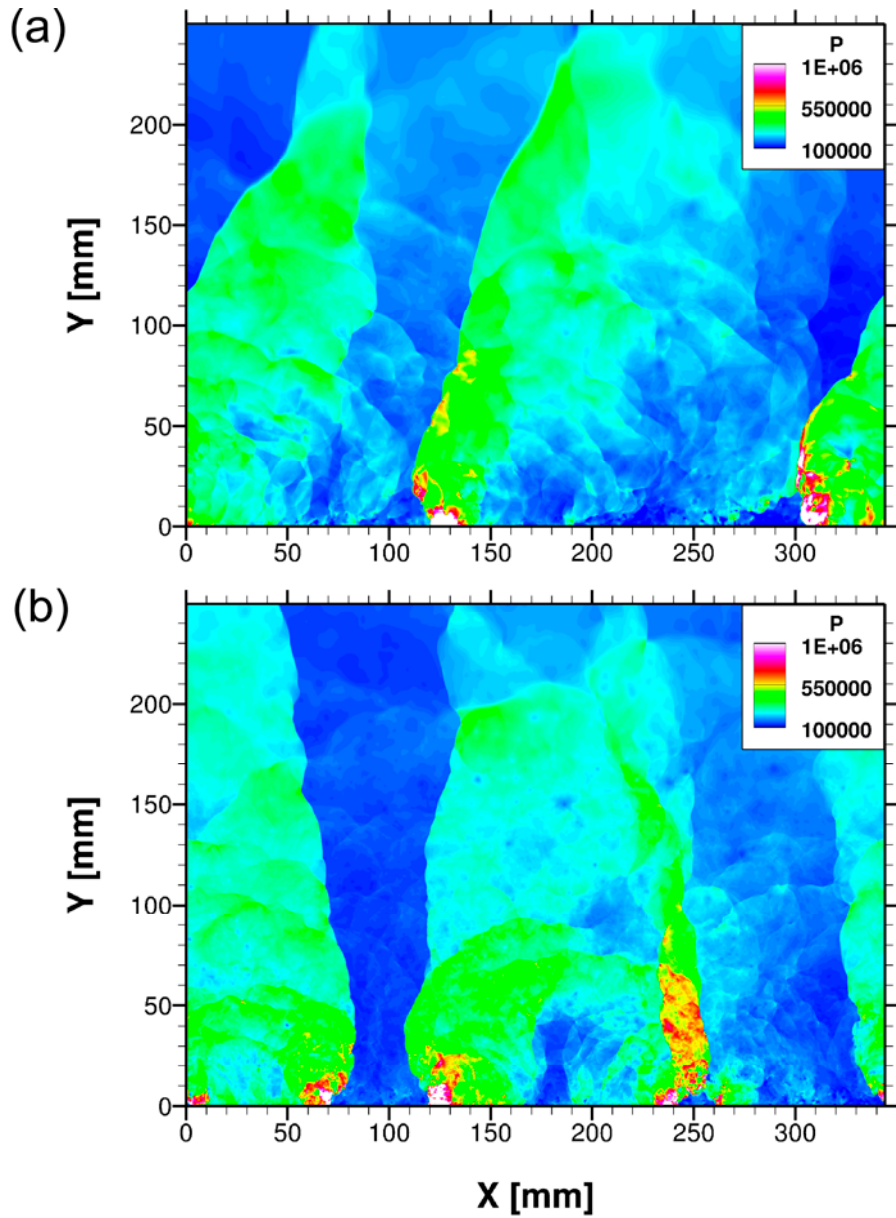


図 1: 当量比 1.0 の条件に対する二次元 LES によって得られた瞬時の圧力場. (a) 粗い格子(解像度 = 200  $\mu\text{m}$ ), (b)微細な格子(解像度 = 50  $\mu\text{m}$ )による結果. 査読なし論文 2)より引用.



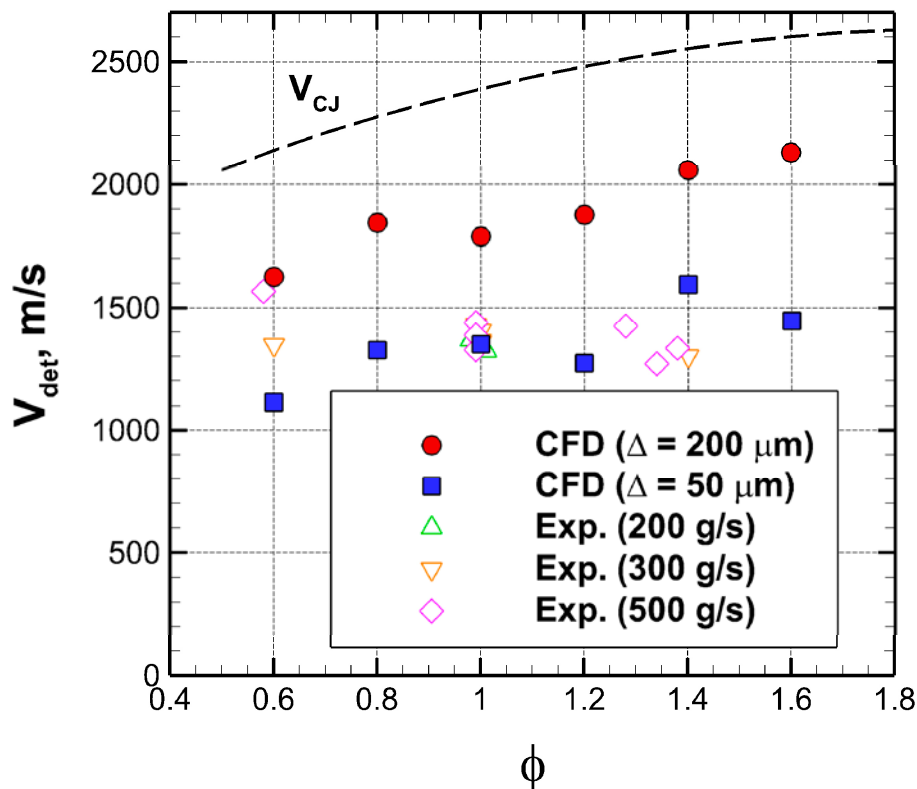


図 2: 二次元 LES によって得られたデトネーション波の伝播速度と実験データとの比較. 査読なし論文 2) より引用.

## ● 成果の公表

-査読なし論文

- 1) 松山 新吾, 岩田 和也, 小島 淳, 布目 佳央, 丹野 英幸, 川島 秀人, 水書 稔治, "非予混合噴射によるメタン・酸素の回転デトネーション燃焼器に関する LES", 第 58 回燃焼シンポジウム講演論文集, B225, 2020.
- 2) 松山 新吾, 小島 淳, 布目 佳央, 丹野 英幸, 川島 秀人, 水書 稔治, "回転デトネーション燃焼器内部で生じる燃焼流の CFD 解析", 2020 年度衝撃波シンポジウム講演論文集, 2A3-1, 2021.

-口頭発表

- 1) 松山 新吾, 岩田 和也, 小島 淳, 布目 佳央, 丹野 英幸, 川島 秀人, 水書 稔治, "非予混合噴射によるメタン・酸素の回転デトネーション燃焼器に関する LES", 第 58 回燃焼シンポジウム, 2020.
- 2) 松山 新吾, 小島 淳, 布目 佳央, 丹野 英幸, 川島 秀人, 水書 稔治, "回転デトネーション燃焼器内部で生じる燃焼流の CFD 解析", 2020 年度衝撃波シンポジウム, 2021.



## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	80 - 5250
1 ケースあたりの経過時間	100 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	27,532.98	0.01
SORA-PP	224.09	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	342.25	0.31
/data	1,628.02	0.03
/tmp	279.02	0.02

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 22.91

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 (%)
TOKI-SORA	126,286,540.15	27.17
TOKI-RURI	415.98	0.00
TOKI-TRURI	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	342.25	0.23
/data	1,628.02	0.03
/ssd	13.62	0.01

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

## 極超音速飛行に向けた流体・燃焼の基礎研究

報告書番号：R20JCMP18

利用分野：競争的資金

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14520/

### ● 責任者

沖田耕一，研究開発部門第四研究ユニット

### ● 問い合わせ先

高橋 政浩(takahashi.masahiro@jaxa.jp)

### ● メンバ

高橋 政浩，小寺 正敏，宗像 利彦，福井 正明，高橋 正晴，長谷川 進，富岡 定毅，高橋 俊，井上 拓，小林 完，山田 剛治，水野 裕介，山下 璃良威

### ● 事業概要

本研究は，地上風洞設備で超音速燃焼試験を行う際に問題となる，風洞気流加熱用燃焼ガスの混入や気流の乱れが燃焼過程に及ぼす影響について，風洞試験と CFD の両面から現象解明し，こうした風洞依存性の影響を再現できる数理モデルを提案し，それらを組み込んだ CFD ベースのツールを構築することで，風洞試験データから実飛行データを推定可能にすることを目標としている．最終的には，飛行試験を実施して実飛行データを取得し，実飛行データと対応する風洞試験データを用いてツール検証を行う計画である．

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

近年，燃料として超音速燃焼器でも炭化水素系燃料が注目されていることから，本飛行試験でも燃料にエチレンを用いる計画である．エチレンの燃焼反応過程は多くの化学種が関与する複雑なものであり，風洞気流組成の違いを評価可能な反応機構を用いた燃焼 CFD は計算負荷が高い．さらに，試験機供試体形状やそれに搭載する燃焼器供試体の内部流路形状の設計では，数多くのパラメトリック計算を限られた期間内に実施しなければならない．よって，高い計算能力を持つ JAXA スーパーコンピュータの利用が必要不可欠である．

### ● 今年度の成果

(1) 超音速燃焼に対する設備依存性を予測するツールの構築

水素燃料スクラムジェットエンジン E1 のマッハ 6 燃焼試験に対応した 3 次元 CFD 解析を実施し，燃料当量比 0.3 の条件で，燃焼器壁面温度，着火器及び気流中の水蒸気の有無，初期解の違いにより，様々な燃焼形態を観察した．それらを保炎点の観点から，部分保炎(Partially-anchored: PA)，完全保炎

(Fully-anchored: FA), 部分吹き飛び(Partially-blow-off: PB), 吹き飛び(Blow-off: BO)の4つのモードに分類し, 考察を行った. さらに, 燃焼試験で観察された現象と各燃焼形態との対応付けを行った.

## (2) 飛行試験用超音速燃焼器の燃焼流解析

ラムジェットエンジン試験設備(RJTF)を用いて, 燃焼加熱式マッハ6条件(M6V)における飛行試験用超音速燃焼器の燃焼試験を実施し, 燃焼特性データを取得した. 昨年度までに実施した直結式燃焼器試験, および, 蓄熱体加熱式マッハ6条件(M6S)におけるRJTF燃焼試験を加えた各気流条件において, 同燃焼器のRANS燃焼解析を実施し, 試験データとの比較による予測精度評価に着手した. また, RANS解析の予測精度向上のための検討を進めた. この他, 飛行試験で想定される, 飛行試験機の迎角や横滑り角, 飛行動圧が燃焼器流れに及ぼす影響についても検討を進めている.

## (3) 飛行試験機の空力特性評価

JAXA が計画している超音速燃焼に関する飛行試験のため, 飛行試験機の空力特性データベースをCFDにより構築している. 今年度は, 飛行試験機の1/8スケール模型を用いた風洞試験データとの比較により, CFDの妥当性を検証した. 気流条件は, 境界層が乱流となるマッハ7条件とした. 風洞試験で撮影されたシュリーレン写真とCFDのマッハ数分布の比較より, CFDは衝撃波や膨張波など流れ場の構造をよく再現している. また, 各空力特性についても風洞データとCFDはよく一致しており, CFDを飛行試験機の空力特性予測に適用可能であることを確認した. また, CFDを用いて, 飛行試験機の熱空力に関する技術課題についても検討を進めた.

## (4) 空力加熱量に対する設備依存性を予測するツールの構築

今年度は, 地上試験設備が生み出す設備依存性をパラメータとしてCFD解析を実施し, 空力加熱へ及ぼす影響について調査した. 本解析では, 設備依存性として, 熱化学非平衡, 燃焼ガス混入(水蒸気混入), 気流の乱れ(一様流の乱れ強さをパラメータとし, 乱流モデルを適用), 流れと熱伝導の連成を考慮した. マッハ6.7の極超音速流中の球頭円柱周りの熱流束分布を計算で求めて, 設備依存性により熱流束が大きく異なることが明らかになった. また風洞実験で計測した熱流束値との比較して計算結果を検証した.

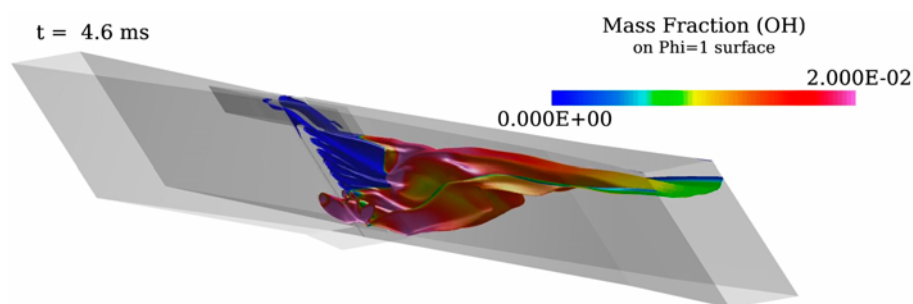


図1: 水素燃料E1スクラムジェットエンジン: 燃焼前を仮定した当量比1面上におけるOH質量分率分布の時間変化(部分吹き飛びモード)(ビデオ。ビデオはWebでご覧頂けます。)

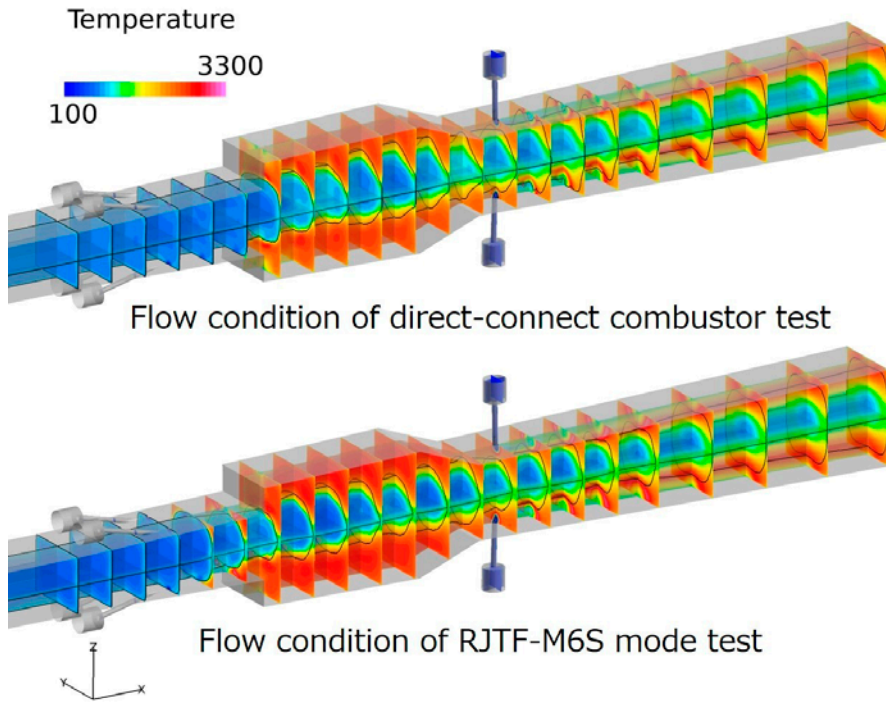


図 2: エチレン燃料-飛行試験用超音速燃焼器: 各燃焼試験に対応した気流条件における温度分布の比較, 上図:直結式燃焼器試験, 下図:RJTF-M6S 燃焼試験, エチレン燃料の総当量比 0.44

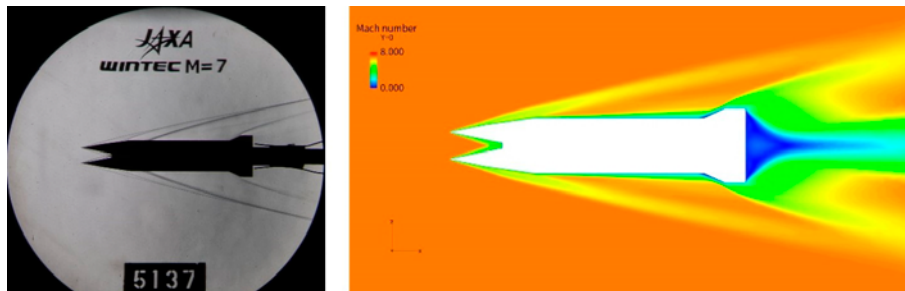


図 3: JAXA 飛行試験機の 1/8 スケール模型周りの流れ場の比較(マッハ 7 乱流条件); 左図: 風洞試験時に撮影したシュリーレン写真, 右図: CFD で予測したマッハ数分布

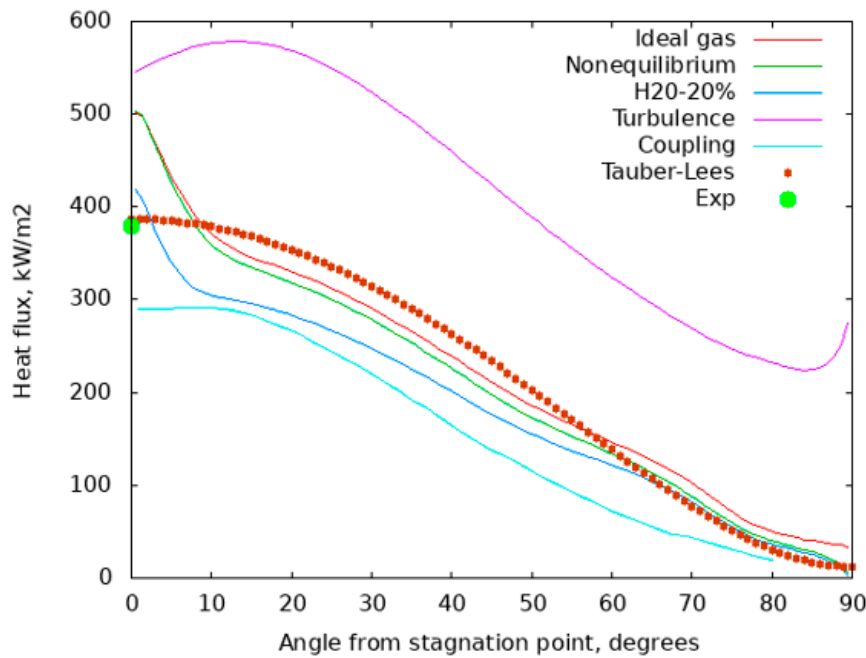


図 4: 球頭円柱模型表面の表面熱流束への設備依存性の影響

## ● 成果の公表

### -査読付き論文

1) Takahashi, M., Tomioka, S., Kodera, M., Kobayashi, K., Hasegawa, S., Shimizu, T., Aono, J., and Munakata, T., "Numerical Study on Combustor Flow-Path Design for a Scramjet Flight Experiment," Transactions of JSASS, Aerospace Technology Japan, ISTS Selected Papers, 2021年(7月号掲載予定).

### -査読なし論文

1) 小寺, 富岡, 宗像, 三谷, "CFD 模擬によるスクラムジェットエンジン内の諸燃焼形態について" 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン論文集, JSASS-2020-2068-A, 2020年.

2) 小寺, 富岡, 宗像, 三谷, "CFD 模擬によるスクラムジェットエンジン内の諸燃焼形態について" 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン論文集, JAXA-SP-20-008, 2021年, pp. 69-78.

3) 高橋, 小林, 富岡, "飛行試験用超音速燃焼器の地上燃焼試験結果について", 令和元年度宇宙輸送シンポジウム講演集録, レポート番号 STCP-2019-047, 2020年.

4) Mizuno Y., Takahashi, S. and Yamada, G., "Investigation of Hypersonic Flow around a Half Circular Cylinder using Coupled Flow-thermal Analysis, AIAA2021-0246, 2021年.

### -口頭発表

1) 小寺, 富岡, 宗像, 三谷, "CFD 模擬によるスクラムジェットエンジン内の諸燃焼形態について" 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 2020年.

2) Takahashi, M., Kobayashi, K., and Tomioka, S., "Ground Test Evaluation of a Supersonic Combustor for a Flight Experiment," 10th Asian Joint Conference on Propulsion and Power AJCPP2021, Virtual Conference, 2021 年.

3) Hasegawa, S. and Tani, K., "Numerical Study of JAXA's Experimental Vehicle for Hypersonic Flight," IAC 2020, Cyberspace Edition, 2020 年.

4) Mizuno Y., Takahashi, S. and Yamada, G., "Investigation of Hypersonic Flow around a Half Circular Cylinder using Coupled Flow-thermal Analysis, AIAA Scitech Forum and Exposition, 2021 年.

-その他

1) 山田剛治, 高橋俊, "極超音速飛翔体の空力加熱率の高精度評価に向けた研究," 東海大学総合科学技術研究所研究報告会, 2021 年.

## ● 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	48 - 2880
1 ケースあたりの経過時間	400 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 3.86

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	22,888,486.35	4.33
SORA-PP	65,608.61	0.51
SORA-LM	1.20	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	216.70	0.20
/data	12,655.60	0.24
/tmp	9,954.74	0.85



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	9.47	0.31

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 1.92

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 (%)
TOKI-SORA	10,316,104.52	2.22
TOKI-RURI	36,133.72	0.21
TOKI-TRURI	32.43	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	307.95	0.21
/data	21,833.66	0.37
/ssd	670.39	0.35

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	9.47	0.31

※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



## 普遍的な LES を実現する SGS 応力方程式型モデリングの研究

報告書番号：R20JCMP08

利用分野：競争的資金

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14503/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

松山 新吾(smatsu@chofu.jaxa.jp)

### ● メンバ

松山 新吾

### ● 事業概要

本研究では SGS 応力の輸送方程式を解くことにより, 対象とする流れ場に合わせたチューニングを全く必要としない普遍的な LES の実現を目指す. SGS 応力方程式は空間フィルタリング操作から厳密に導出されるものであるが, 式に含まれる相関項についてモデリングを必要とし, その良し悪しが LES の解析精度を決める. そこで, 乱流噴流の DNS データベースを利用したアプリオリテストにより相関項のモデリングを行い, 新たな SGS 応力方程式型 LES モデルを確立する.

参考 URL: https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-18K03963/

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

SGS 応力方程式の相関項をモデリングするためのアプリオリテストには DNS による統計データが必要となる. .本研究で目指すような  $Re > 10000$  以上の高レイノルズ数条件で DNS を実施するには 10 億点オーダーの格子点数が必要であるため, スパコン上でのみ実行が可能な大規模解析になる. したがって, 本研究の遂行にはスパコンが必須である.

### ● 今年度の成果

昨年度までに構築した SGS 応力方程式型の LES モデルでは, SGS 応力を高精度に評価できるものの SGS 速度成分そのものを評価することはできない. 粗い格子で LES を実施した場合, GS 速度成分のみでは良い結果が得られないことが予想されるため, 本年度は SGS 速度成分を評価する手法について取り組んだ. DNS データベースを利用したアプリオリテスト(図 1 および 2)により GS 速度成分と SGS 応力に対する SGS 速度成分の相関を分析した. 瞬時場について相関を評価した結果(図 3)からは, 単純な相関を見出すことはできなかったが, 今後, 機械学習などより高度な手法による分析を実施したい.

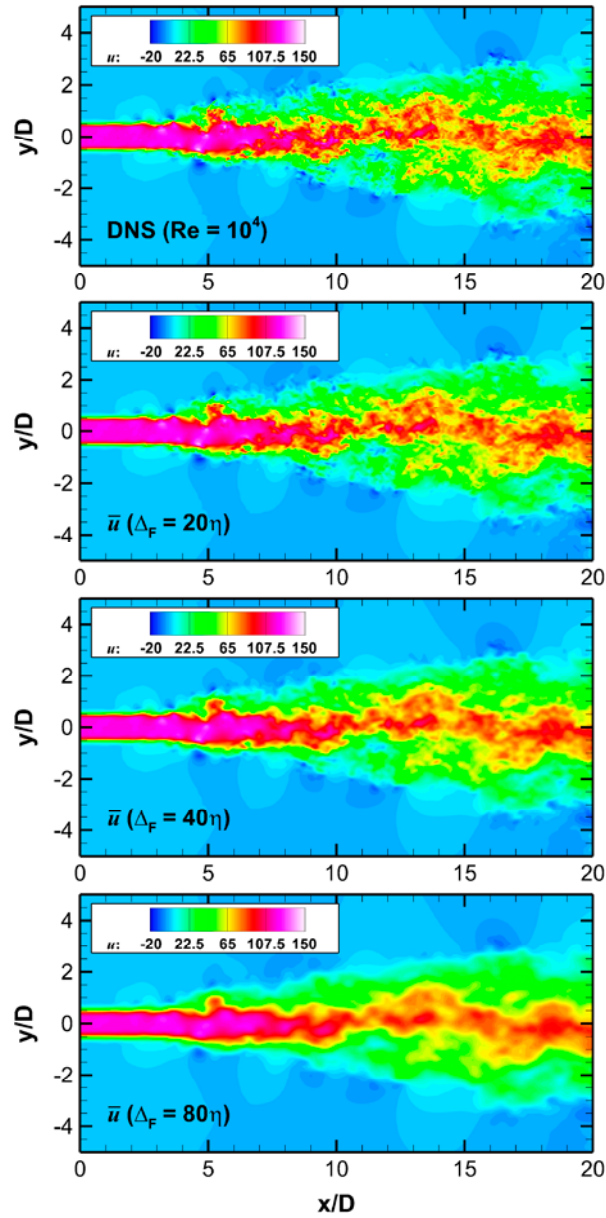


図 1:  $Re = 10^4$  での DNS による  $x$ - $y$  断面における瞬時の  $x$  方向速度場  $u$  とフィルタリングされた速度場データ.

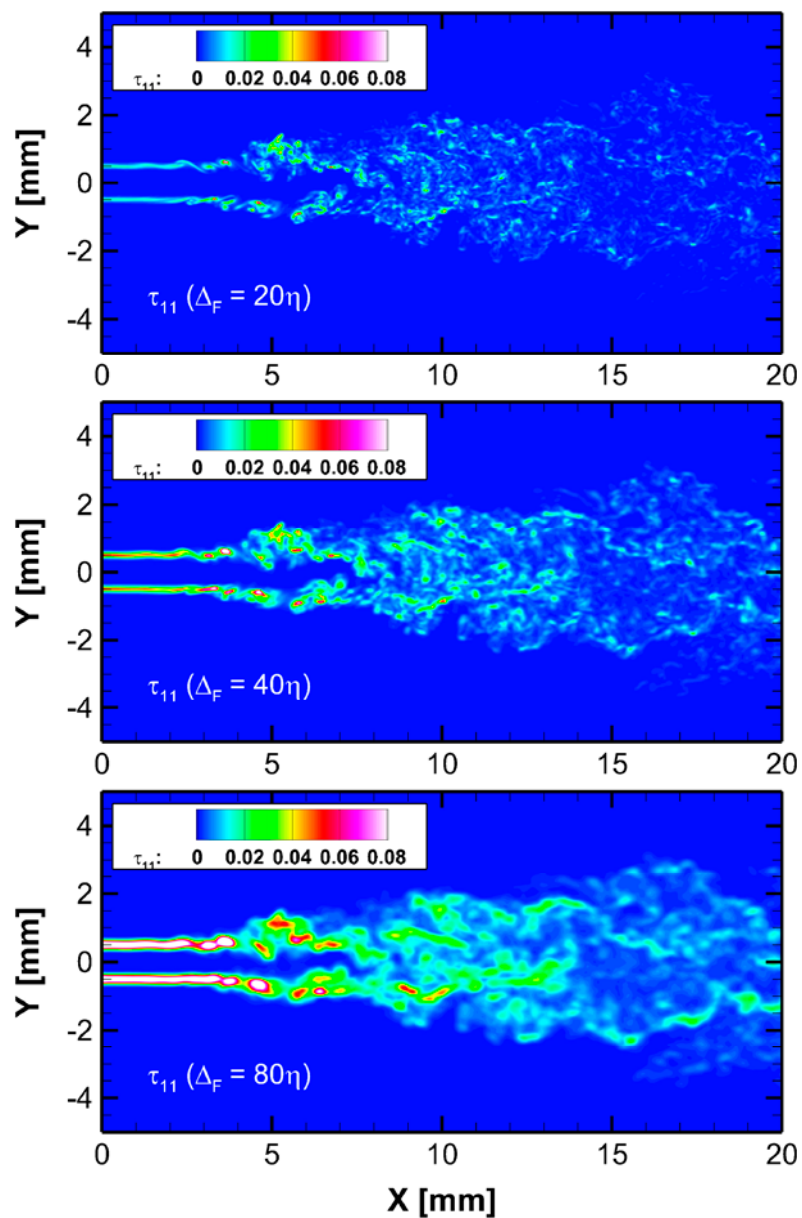


図 2: 異なるサイズのフィルターにより空間フィルタリングされた DNS データから得られた瞬時の SGS 応力場( $\tau_{11}$ ).

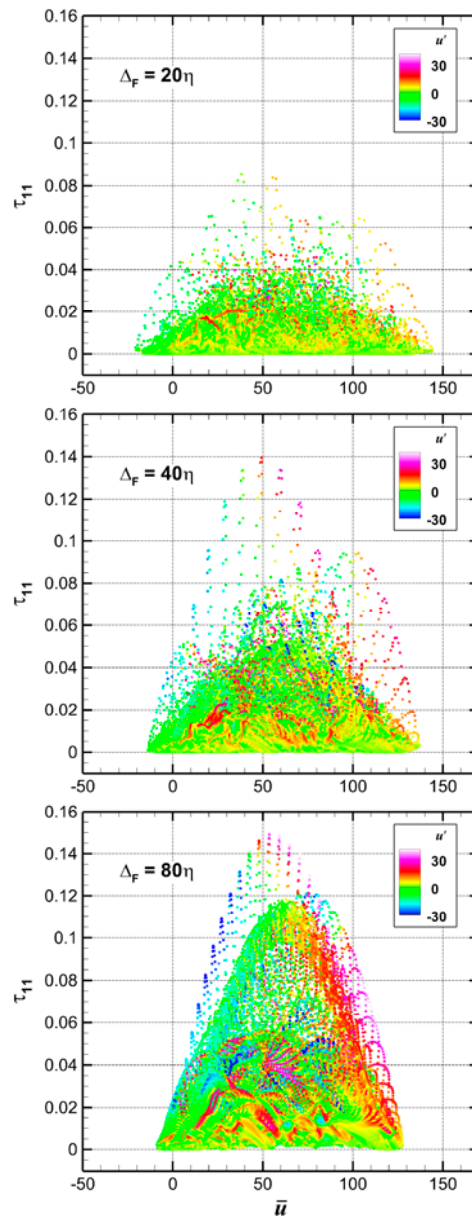


図 3: GS 速度成分と SGS 応力に対する SGS 速度成分  $u'$  の相関.  $u$  と  $\tau_{11}$  のスキャッタープロットを  $u'$  により色付けした結果を表示.

## ● 成果の公表

-査読なし論文

- 1) 松山 新吾, "OK, LES. 乱流噴流の答えを教えて", 宇宙航空研究開発機構特別資料: 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン論文集, JAXA-SP-20-008, pp.83-91, 2020.
- 2) 松山 新吾, "SGS 応力輸送方程式による LES モデリング", 第 34 回数値流体力学シンポジウム講演論文集, A02-3, 2020.
- 3) 松山 新吾, "SGS 応力輸送方程式による LES モデリングの提案", 第 36 回生研 TSFD シンポジウム講演論文集, 2021.

-口頭発表

- 1) 松山 新吾, "OK, LES. 乱流噴流の答えを教えて", 宇宙航空研究開発機構特別資料: 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 2020.
- 2) 松山 新吾, "SGS 応力輸送方程式による LES モデリング", 第 34 回数値流体力学シンポジウム, 2020.
- 3) 松山 新吾, "SGS 応力輸送方程式による LES モデリングの提案", 第 36 回生研 TSFD シンポジウム, 2021.

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	750 - 1500
1 ケースあたりの経過時間	100 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.10

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	596,064.44	0.11
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	44.56	0.03
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	342.25	0.31
/data	1,628.02	0.03
/tmp	279.02	0.02

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 2.28

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 (%)
TOKI-SORA	12,565,200.36	2.70
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	342.25	0.23
/data	1,628.02	0.03
/ssd	13.62	0.01

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

## 研究開発

## システム安全・運用評価技術

報告書番号：R20JG3216

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14617/>

### ● 責任者

清水太郎，研究開発部門第三研究ユニット

### ● 問い合わせ先

根岸 秀世(negishi.hideyo@jaxa.jp)

### ● メンバ

伊藤 孝行，根岸 秀世，大西 陽一，西元 美希，大門 優，深澤 修，大野 真司，中島 健賀，雨宮 孝，藤原 大典，谷 洋海，藤本 圭一郎，王丸 哲文，福田 太郎，外山 雅士，須藤 翔太，照沼 暁光，赤井 恒太，鶴飼 諭史，草野 優

### ● 事業概要

スペースデブリ対策のひとつである非デブリ化の一環としてロケット上段や宇宙機の高忠実な物理モデルによる新しいリエントリ溶融性評価法 LS-DARC を開発し，安全要求厳格化に備えた EC 値の高精度評価や設計上流段階からの安全性設計を実現させる。

この活動で得られる 6 自由度軌道，空力，熱流束，熱伝導及び溶融による形状変化を考慮した多分野連成シミュレーション技術は解析時間が短いうえに広く応用が可能なものであり，ロケット，衛星，再使用輸送機等の空力・熱流束評価などに適用していく計画。

参考 URL: <http://stage.tksc.jaxa.jp/jedi/simul/index.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

リエントリ安全評価では様々な物理シミュレーションを組合わせた連成解析を，様々な不確定因子ばらつきを考慮した確率論的評価が不可欠である。それに加えて安全性設計を実現させるには設計パラメータも変えた評価が欠かせない。従って，高負荷な数多くの数値解析の実行ができる高性能な計算機環境が欠かせない。また取扱う解析対象もロケット上段や宇宙機全体であることから，機微情報を取扱う必要がある。従って，高性能な JAXA 内のスーパーコンピュータである JSS2 は不可欠であり，重要な役割を果たしている。



## ● 今年度の成果

本年度は、LS-DARC の空力および熱流束モデルについて、公開文献ベースでの基礎形状による検証、高エンタルピー風洞 Hiest による風洞試験を対象とした検証、H-IIB のリエントリデータ取得システムを対象とした実フライトデータを対象とした検証を実施し、LS-DARC の妥当性を確認した。図1は、基礎形状に関連してアポロ形状を対象とした壁面圧力(圧力係数)および壁面熱流束分布の計算結果である。LS-DARC では、どちらも良好にフライトデータを再現できており、忠実性が高いことが確認された。

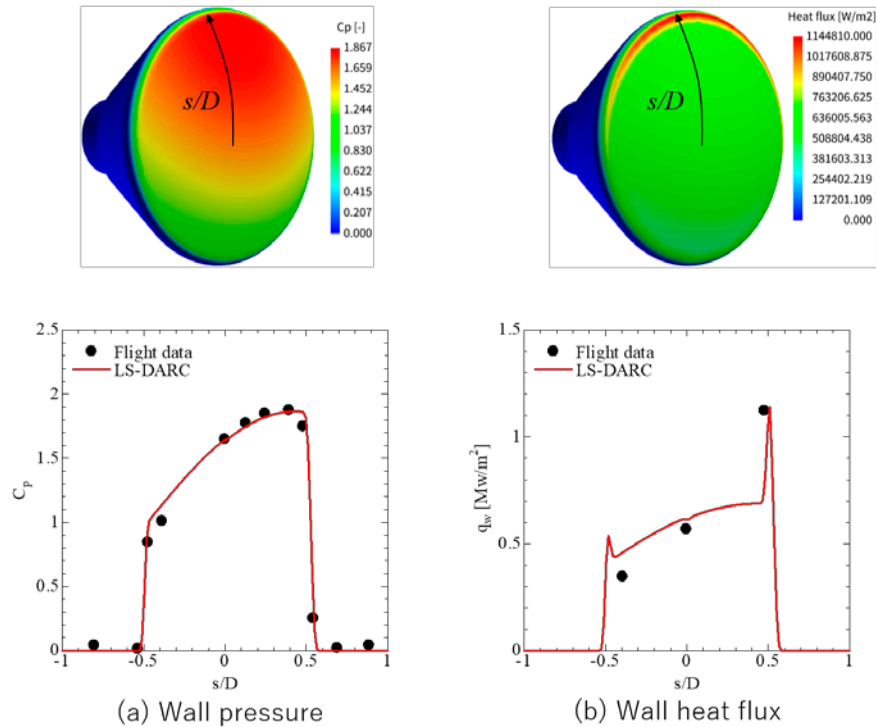


図1: アポロ形状の壁面圧力および熱流束分布比較

## ● 成果の公表

-査読なし論文

藤本他, リエントリ溶融解析のための複合物理連成シミュレータ LS-DARC, 第 64 回宇宙科学技術連合講演会, 2020 年 10 月.

藤本他, 高忠実な物理モデルによるリエントリ安全評価法 LS-DARC の開発: 第 2 報 熱流束モデル検証プロセス, 第 9 回スペースデブリワークショップ, 2021 年 2 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	FLAT 並列
プロセス並列数	32 - 192
1 ケースあたりの経過時間	168 時間

## ● JSS2 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	21,367.69	0.00
SORA-PP	1,732.79	0.01
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	11,463.61	1.08

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	591.04	0.54
/data	18,763.54	0.36
/tmp	6,434.75	0.55

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	4.46	0.15

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.10

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	2,822.43	0.00
TOKI-RURI	14,033.04	0.08
TOKI-TRURI	106,549.08	8.59

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	844.77	0.58
/data	82,974.73	1.39
/ssd	7,279.58	3.80

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	4.46	0.15

※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

## ターボポンプ解析技術

報告書番号：R20JG3214

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14611/>

### ● 責任者

清水太郎，研究開発部門第三研究ユニット

### ● 問い合わせ先

鶴飼 諭史(ukai.satoshi@jaxa.jp)

### ● メンバ

根岸 秀世，大西 陽一，西元 美希，大門 優，Hosangadi Ashvin，深澤 修，大野 真司，Zambon Andrea，中島 健賀，雨宮 孝，藤原 大典，谷 洋海，藤本 圭一郎，王丸 哲文，福田 太郎，外山 雅士，武藤 大貴，鶴飼 諭史，國嶋 雄一

### ● 事業概要

ターボポンプは液体ロケットエンジン開発においてコストや期間，リスクの観点で依然としてボトルネックなコンポーネントです。また，ターボポンプはそれ自体がポンプ，タービン，軸受，軸推力バランス機構，シール機構等のサブコンポーネントで構成される複雑なシステムであり，ターボポンプシステム全体を評価できる解析技術は世界的にも存在していません。またサブコンポーネントレベルの数値シミュレーション技術自体も，予測精度が低いため試験による設計妥当性評価が必須となっています。

本研究では，ターボポンプに係る数値シミュレーション技術の予測精度を高めつつ，ターボポンプシステム全体の評価を可能とする解析技術を目指しています。その解析技術の活用により，試験削減・代替を可能として今後のロケットエンジン開発をより低コスト，短期間で実現します。また，ロケットエンジンのポンプやタービンは，一般産業界のものより小型で高速回転など極限環境で使われるために効率が低いことが知られています。近年では Additive manufacturing 技術の進展により，従来では不可能であった形状の製品開発も可能となってきており，本研究で構築するターボポンプ解析技術を活用することで，革新的な高効率ターボポンプの設計実現を目指します。

参考 URL: <https://stage.tksc.jaxa.jp/jedi/simul/index.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

- ・ JAXA の技術でしか実現できない計算精度，現象忠実度が高い大規模解析を可能とすること
- ・ JAXA におけるロケット開発の中でタイムリーに解析を実施し，限られた期間内に結果を多数提示すること
- ・ 機微情報となるロケット関連情報を JAXA 内のみで閉じて扱えること

## ● 今年度の成果

FY2020 は、昨年度までに構築した 3 次元圧縮性 URANS 解析について、液体ロケット水素および酸素タービンを対象に検証を実施した。解析結果は過去のターボポンプ試験結果と比較し、タービン効率を 4% 以内の精度で予測できることを確認した。また、タービン翼が共振した際に発生する振動応力の解析手法についても提案し、試験と同オーダーの結果が得られることを確認した。

ここで構築された解析技術は、H3 ロケット 1 段エンジン LE-9 のターボポンプ開発に活用されている。

ターボポンプ全形の流れ場を図 1 に、翼に掛かる非定常圧力場を図 2 に示す

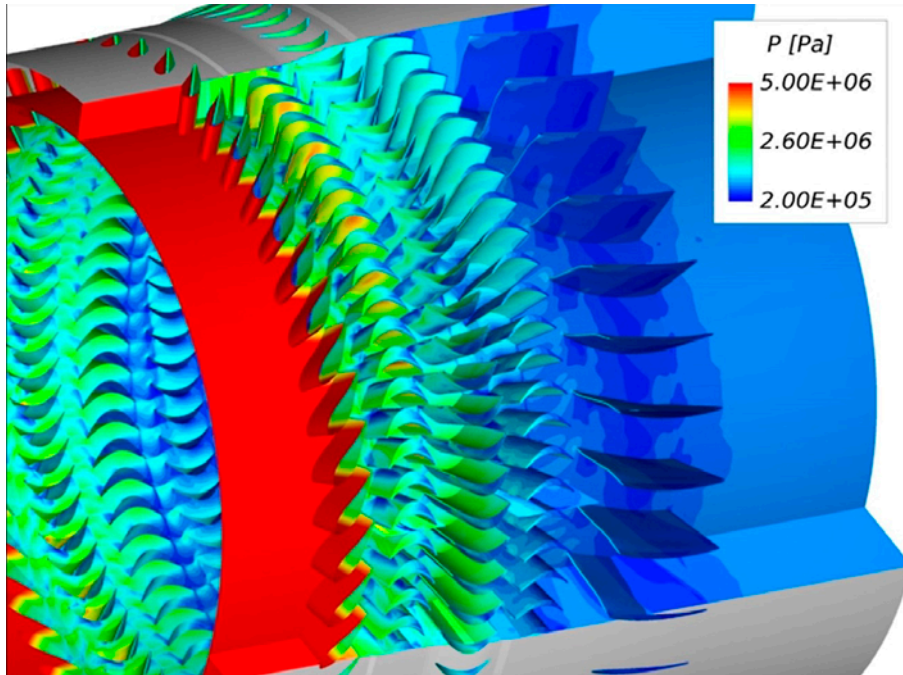


図 1: タービン内圧力分布 (ビデオ。ビデオは Web でご覧頂けます。)

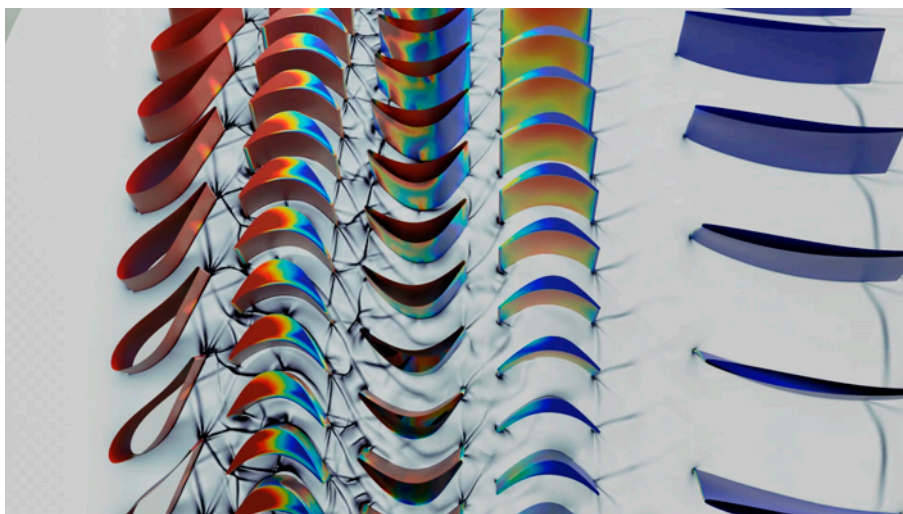


図 2: 翼上の非定常圧力場 (ビデオ。ビデオは Web でご覧頂けます。)

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	FLAT
プロセス並列数	128 - 16000
1 ケースあたりの経過時間	300 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 1.06

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	6,231,162.69	1.18
SORA-PP	21,500.03	0.17
SORA-LM	4,986.56	2.93
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	438.29	0.40
/data	22,452.89	0.43
/ltmp	5,409.36	0.46

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	12.35	0.41

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.79

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	3,868,330.21	0.83
TOKI-RURI	33,711.87	0.19
TOKI-TRURI	0.91	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	741.28	0.51
/data	54,550.41	0.91
/ssd	3,869.55	2.02

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	12.35	0.41

※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



## デブリ推移モデルによる長期軌道上デブリ環境予測

報告書番号：R20JG3105

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14601/>

### ● 責任者

杉田寛之, 研究開発部門第二研究ユニット

### ● 問い合わせ先

長岡信明(nagaoka.nobuaki@jaxa.jp)

### ● メンバ

河本 聡美, 北川 康弘, 長岡 信明

### ● 事業概要

スペースデブリの増加は、宇宙活動の安全確保のため問題となってきている。JAXA ではスペースデブリの軽減と軌道環境維持のためにスペースデブリに関わる技術の研究開発を継続している。本事業では JAXA と九州大学が共同開発した軌道上デブリ環境推移モデル(NEODEEM)による将来の軌道環境の予測に基づいてスペースデブリ対策の有効性等を評価している。

参考 URL: <http://www.kenkai.jaxa.jp/research/debris/debris.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

NEODEEM では、20000 個を超える要素の 200 年以上に及ぶ軌道伝搬と軌道上事象をモンテカルロ法(100 回の実行の平均処理)を使って予測する。そのため解析にかかる時間の短縮と大量のデータ処理のため、JSS2 を利用した。PC 版(WINDOWS)との互換性から SORA\_PP のみを用いている。

### ● 今年度の成果

将来の軌道上環境の評価の一環として、現在の軌道にどの程度まで宇宙機を投入可能か(投入許容量)の検討、さらに現在軌道配備が進みつつある LC(Large Constellation)の様な軌道上に膨大な数の衛星を配置するシステムの軌道環境への影響を、デブリ環境推移モデル(NEODEEM)を用いて実施し、関連する各種パラメータの効果を評価した(投入高度の差異の評価(図 1)や投入機数の評価(図 2))。

これらの結果は、デブリ軽減対策の有効性を評価し、国際ルールを議論するための根拠として活用している。



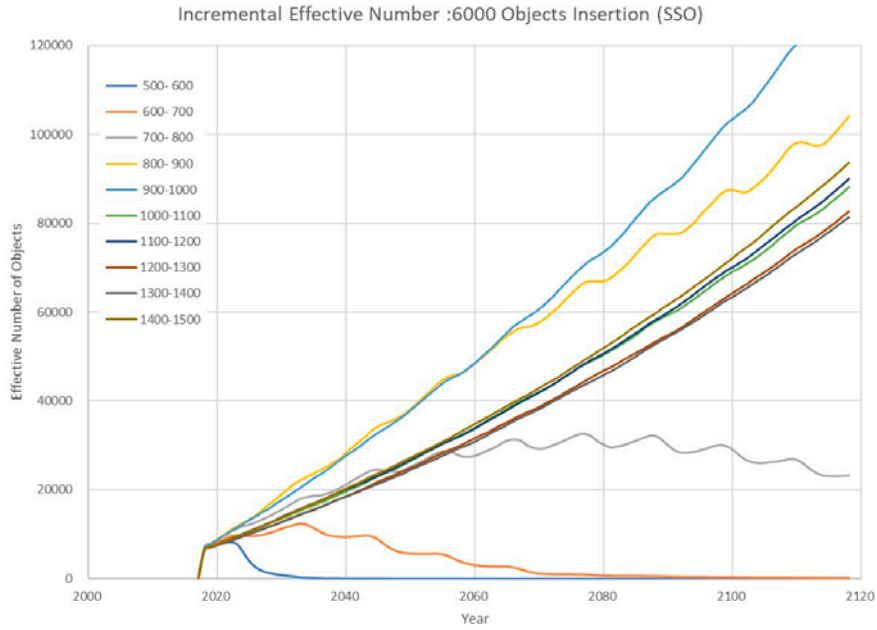


図 1: 投入高度の差異による物体数の評価

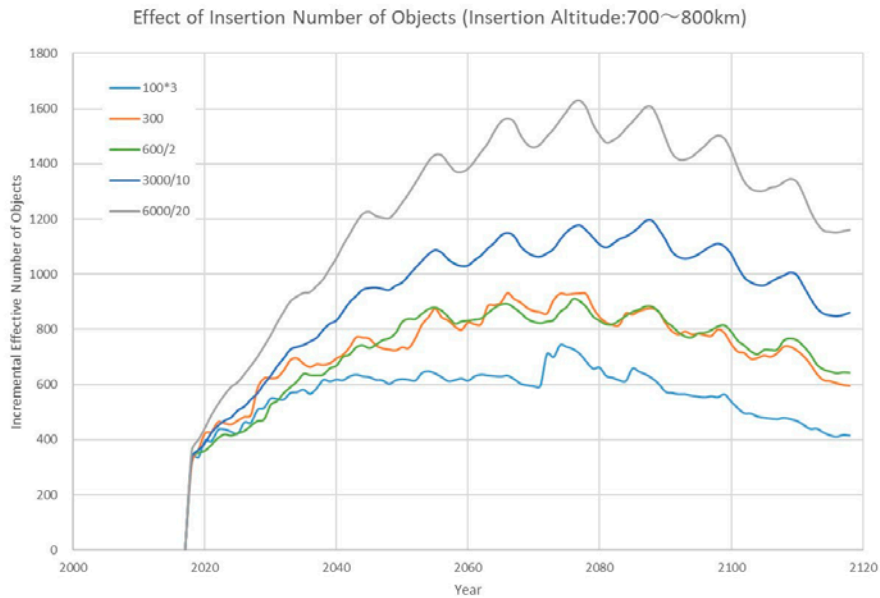


図 2: 投入機数の差異による物体数の評価

● 成果の公表

-査読付き論文

1.Kawamoto, Nagaoka, Sato, Hanada "Impact on Collision Probability by Post Mission Disposal and Active Debris Removal" The Journal of Space Safety Engineering

2.McKnight, Witner, Letizia, Lemmens, Anselmo, Pardini, Rossi, Kunstadter, Kawamoto, Aslanov, Dolado, Ruch, Lewis, Nicolls, Jing, Dan, Baranov,Grishko "Identifying the 50 Statistically Most Concerning Derelict Objects in LEO" Acta Astronautica

## -口頭発表

1.長岡信明, 河本聡美, 北川康弘 (JAXA), 花田俊也 (九州大学)"推移モデルを用いた宇宙機の軌道投入許容量の検討" 第9回スペースデブリワークショップ

2.河本聡美, 長岡信明, 北川康弘, 柳沢俊史, 上野浩史 (JAXA), 中渡瀬竜二, 上田裕子, 八田真児 (MUSCAT スペース・エンジニアリング), 花田俊也 (九州大学)"JAXA 独自のデブリ推移予測用ベースラインファイルの開発状況" 第9回スペースデブリワークショップ

## ● JSS 利用状況

## ● 計算情報

プロセス並列手法	同一初期条件のモンテカルロ試行を複数コアに割り当て, 並列処理
スレッド並列手法	非該当
プロセス並列数	10
1 ケースあたりの経過時間	60 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	563,533.76	4.42
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	19.07	0.02
/data	190.73	0.00
/ltmp	3,906.25	0.33

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	10.61	0.35

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.07

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	113,287.54	0.65
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	14.31	0.01
/data	143.05	0.00
/ssd	143.05	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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	10.61	0.35

※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

## トポロジー最適化の適用による性能向上についての探求

報告書番号：R20JDG20201

利用分野：研究開発

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14588/

### ● 責任者

沖田耕一，研究開発部門第四研究ユニット

### ● 問い合わせ先

長福紳太郎(chofuku.shintaro@jaxa.jp)

### ● メンバ

長福 紳太郎

### ● 事業概要

トポロジー最適化について調査研究し，宇宙機への適用性を検証する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

ネットワークライセンス利用のため。

### ● 今年度の成果

ネットワークライセンスの利用のみで，スパコンは利用していないため N/A.

### ● 成果の公表

なし

### ● 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 秒

## ● JSS2 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	0.00	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	3.18	0.00
/data	31.79	0.00
/tmp	651.04	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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	864.02	0.00
TOKI-TRURI	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	3.18	0.00
/data	31.79	0.00
/ssd	31.79	0.02

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

## プロジェクト課題対応

報告書番号：R20JG3211

利用分野：研究開発

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14609/

### ● 責任者

清水太郎, 研究開発部門第三研究ユニット

### ● 問い合わせ先

鶴飼 諭史(ukai.satoshi@jaxa.jp)

### ● メンバ

伊藤 孝行, 高木 亮治, 堤 誠司, 伊藤 浩之, 清水 太郎, 青野 淳也, 芳賀 臣紀, 安部 賢治, 笥 雅行, 菱田 学, 根岸 秀世, 大西 陽一, 西元 美希, 大門 優, Hosangadi Ashvin, 深澤 修, 大野 真司, Zambon Andrea, 中島 健賀, 雨宮 孝, 藤原 大典, 藤本 圭一郎, 福田 太郎, 外山 雅士, 西村 慧, 武藤 大貴, 鶴飼 諭史, 高橋 秀尚, 赤井 恒太, 山田 梨加, 田尾 公希, 小川 哲司, 内藤 大貴, 山本 姫子, 國嶋 雄一, 照沼 暁光, 草野 優, 草木 智哉, 須藤 翔太

### ● 事業概要

第三 U(JEDI)保有および開発技術を活用して現行 JAXA プロジェクト等における技術課題解決に対応し、各課題対応案件についてプロジェクトからの依頼に確実に対応する。また、数値シミュレーション技術ならではの"付加価値(効率化, 高信頼化, コスト・期間低減, 波及効果等)"を実現する。

参考 URL: <http://www.kenkai.jaxa.jp/research/software/software.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

プロジェクトの要望にタイムリーに対応するために、実機の複雑形状を模擬しかつ多数の条件の解析を短期間に実施する必要がある。

### ● 今年度の成果

H3 プロジェクト, SLIM プロジェクト, HTV-X プロジェクトにて検討されている課題に対して、第三ユニットにて開発した解析技術と JSS2/JSS3 を活用することで設計妥当性評価やリスク評価, 改良検討を実施した。

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	FLAT
プロセス並列数	100 - 400
1 ケースあたりの経過時間	100 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.53

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	1,243,280.40	0.24
SORA-PP	83,576.72	0.66
SORA-LM	13,136.93	7.71
SORA-TPP	81,693.43	7.71

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	9,660.14	8.85
/data	149,050.69	2.88
/ltmp	21,610.56	1.84

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	146.59	4.85

※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



## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 1.04

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	4,050,464.24	0.87
TOKI-RURI	132,231.58	0.76
TOKI-TRURI	47,716.11	3.85

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	14,285.28	9.79
/data	264,047.14	4.42
/ssd	9,488.52	4.95

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	146.59	4.85

※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

## 液体推進システム解析技術

報告書番号：R20JG3215

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14616/>

### ● 責任者

清水太郎，研究開発部門第三研究ユニット

### ● 問い合わせ先

根岸 秀世(negishi.hideyo@jaxa.jp)

### ● メンバ

古谷 龍太郎，小川 哲司，伊藤 孝行，根岸 秀世，大西 陽一，西元 美希，大門 優，Hosangadi Ashvin，深澤 修，大野 真司，Zambon Andrea，中島 健賀，雨宮 孝，藤原 大典，谷 洋海，藤本 圭一郎，王丸 哲文，福田 太郎，外山 雅士，照沼 暁光，山田 梨加，鶴飼 諭史，山本 姫子

### ● 事業概要

将来の液体推進システムは，高性能を維持したコストダウンだけでなく，様々なミッション要求に応える必要がある．我々は，高精度 3D-CFD を活用して液体推進システム内部流れを把握することでシステム応答評価ツール用のモデリング開発を行い，シミュレーションを活用したフロントヘビー型液体ロケットや衛星推進系の設計など新規ミッション実現に向けた活動の基盤創出を目指しています．

参考 URL: <http://stage.tksc.jaxa.jp/jedi/simul/index.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

システム検討ツールのコンポーネントモデルは従来非常に簡素なものである．計算機科学が発展してきたため，コンポーネントモデルが従来よりも複雑であっても十分設計に利用できること，また高精度の CFD によりコンポーネント内物理現象が明らかになることでより精度の高いコンポーネントモデルの開発が可能となった．対象としている液体推進システム内の現象を明らかにするためには高忠実の CFD 解析が必須であり，システム解析に利用できる幅広いパラメータスタディを行う．JSS はこれら高忠実 CFD 解析に利用している．

### ● 今年度の成果

システム検討ツールのコンポーネントモデル開発のため，本年度は主に以下の解析を行った．図 1 は液体ロケットエンジン燃焼室モデル開発のための，亜臨界燃焼解析結果である．この試験はミュンヘン工科大学で実施されたものであり，壁面熱流束の比較検証が行われた．図 2 はスラストプルームの加熱モデルを開発するための，スラストプルーム干渉解析結果を示している．この試験は CNRS で実

施されたものであり、密度分布の比較検証が行われた。これら試験と解析は良い一致を示し、解析モデルの検証が完了した。本解析モデルを利用したパラメータスタディの結果をもとに、システムツールに搭載可能な簡易なコンポーネントモデルを作成した。

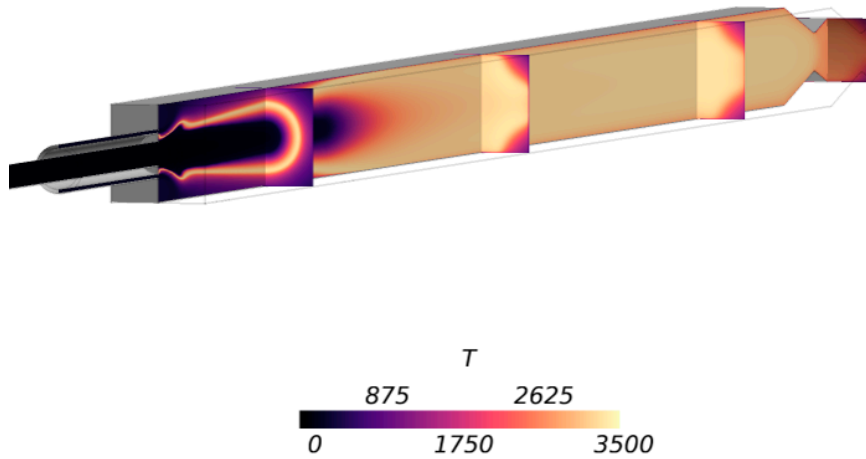


図 1: シングルエレメント燃焼器内温度分布

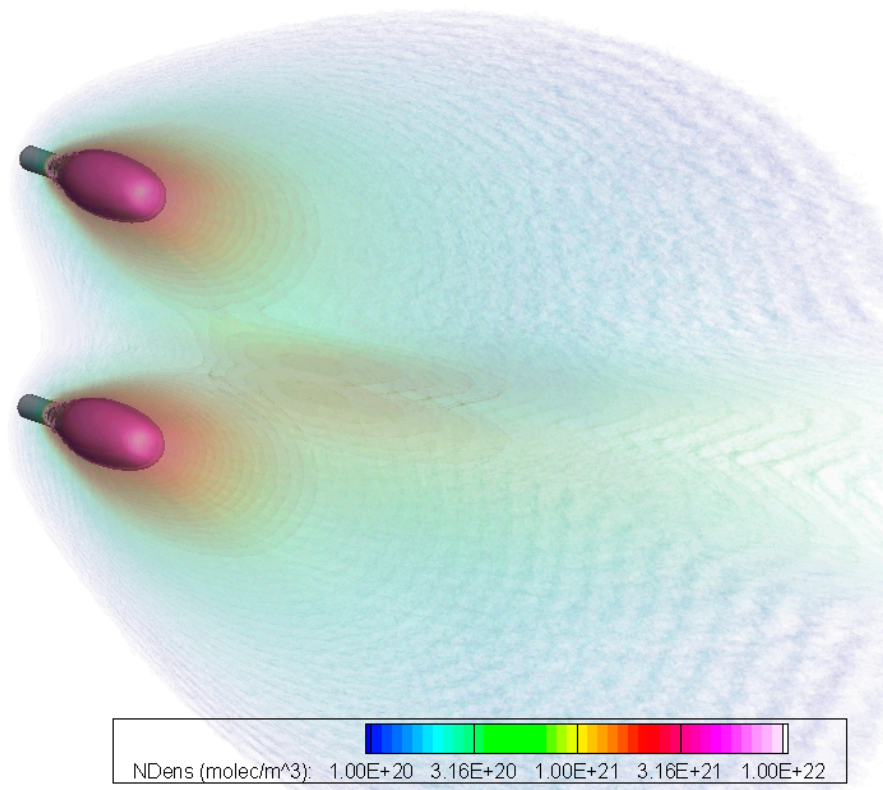


図 2: スラストプルーム干渉における数密度分布

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	FLAT
プロセス並列数	1 - 100
1 ケースあたりの経過時間	200 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.65

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	29,515.42	0.01
SORA-PP	1,102,216.08	8.64
SORA-LM	23.14	0.01
SORA-TPP	902.85	0.09

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	624.53	0.57
/data	20,238.81	0.39
/ltmp	9,138.90	0.78

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	4.51	0.15

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	1,103,077.57	0.24
TOKI-RURI	102,859.46	0.59
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	1,082.53	0.74
/data	60,289.95	1.01
/ssd	6,122.45	3.20

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	4.51	0.15

※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

## 将来輸送システムの研究(空気吸い込み式輸送システム)

報告書番号：R20JG3205

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14608/>

### ● 責任者

沖田 耕一，研究開発部門第四研究ユニット

### ● 問い合わせ先

小寺 正敏(kodera.masatoshi@jaxa.jp)

### ● メンバ

高橋 政浩，小寺 正敏，福井 正明，宗像 利彦，富岡 定毅，高橋 英美，井上 拓，藤原 瑞月，磯野 達志

### ● 事業概要

近年，宇宙輸送システムの大幅な低コスト化のために，ロケットの再使用化が考えられている．しかしながら構造寿命を長くするために比較的低いエンジン出力で作動させる必要があり，打ち上げ能力の低下につながる．したがって，それを補う手段として空気吸込み式エンジンであるスクラムジェット及びロケット/スクラム複合サイクルエンジンが有望視されている．大気中の空気を酸化剤として利用することにより高効率となり，再使用化でも打ち上げ能力の維持向上が期待できる．本事業では，同エンジンの実用化に向け鍵となる技術の研究開発を行う．

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

地上実験によるエンジン設計の問題点として，以下の点が挙げられる．1)離陸から超高速域までの様々な気流条件を再現するには限界がある．2)測定値が限られエンジン内部の複雑な3次元流れ構造を把握できない．3)時間・費用が限られるためエンジン流路形状を容易に変更できない．したがって設計ツールとして3次元CFDの活用が必要不可欠であり，数多くのCFDを効率良く実行するためにスパコンが必要となる．

### ● 今年度の成果

(1)尖頭形状極超音速機の飛行時における気流条件や姿勢角といったair dataを推定するためのFlush Air-Data Sensing (FADS)システムの設計を行った．FADSは機体表面の圧力情報とair dataとを結びつけ，計測された機体表面圧力からair dataを推定する．本研究での設計対象とした飛行条件はマッハ5.0～7.0，姿勢角±6.0°以下で，データセットはCFDにより作成した．鈍頭形状物体を対象として確立されたアルゴリズムと，尖頭形状等を対象としたlookup table方式を組み合わせた推定手法を構築

した。CFD による元データと、設計した FADS による推定値との比較を行った結果、air data として、気流条件で 6%以内、姿勢角で  $0.7^\circ$  以内の誤差範囲で air data が推定可能であることを示した。

(2)後ろ向きステップから気流に平行に水素を噴射するスクラムジェット燃焼器内の 2次元 RANS 解析を行った。コードのバリデーションを行うとともに、乱流シュミット数・乱流プラントル数及び化学反応モデルの影響を評価した。酸素を含まない不活性ガスを主流に用いた非反応試験では、実験と比較して燃料の拡散混合を精度よく捉えることができた。一方、vitiated air を用いた反応試験では、実験よりも着火遅れ時間を短く見積もったが、図 1 のように火炎は燃料噴射位置よりも下流で安定した。

(3)炭化水素燃料スクラムジェット燃焼器の性能向上のため、改良案の検討を CFD で行った。また、性能向上が期待される形状について実際に供試体を製作して燃焼試験を行い、その有効性を確認した。図 2 は、2 段式斜め噴射器と保炎用キャビティのみの基本形態と、噴射孔脇の壁面に膨張ランプを加工した改良型形態との流跡線の比較である。線の色は、ダクト入口の値で無次元化した静温を表している。膨張ランプを追加して主流空気を保炎キャビティ内に多く取り込むことで、キャビティ内の燃料濃度を適正化し、燃焼促進を狙ったものである。燃焼試験においても、改良型形態では、基本形態より高い燃焼圧力を得ることができ、改良の有効性が確認された。

(4)昨年度に引き続き、メタン/エチレン混合燃料を用いたキャビティ付き超音速燃焼器の 3DRANS 解析を実施し、特にメタン/エチレン混合比を変えた場合の燃焼流れ場構造の変化について検討を行った。(図 3)

(5)九州大と、高速作動域拡大に向けたスクラムジェットエンジンの最適化に関する共同研究を実施し、今年度は燃焼器の混合性能に着目して、燃料噴射器形状の最適化を行った。

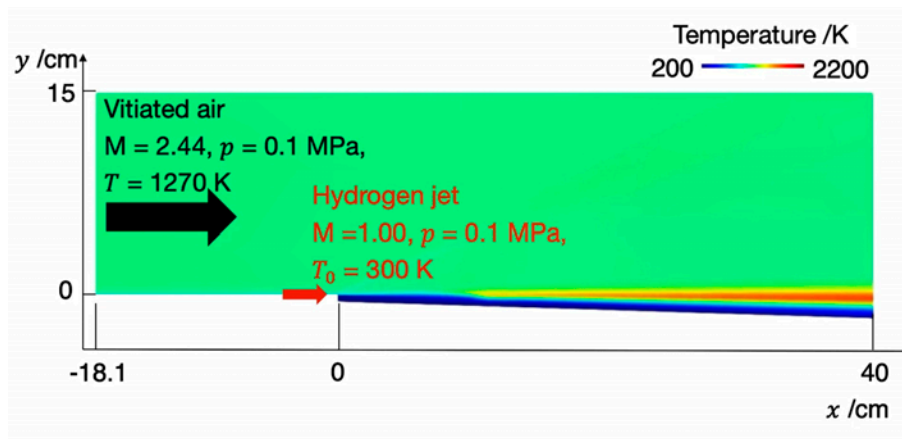


図 1: スクラムジェット燃焼器の 2次元 RANS 燃焼解析による燃焼器温度分布 (ビデオ。ビデオは Web でご覧頂けます。)



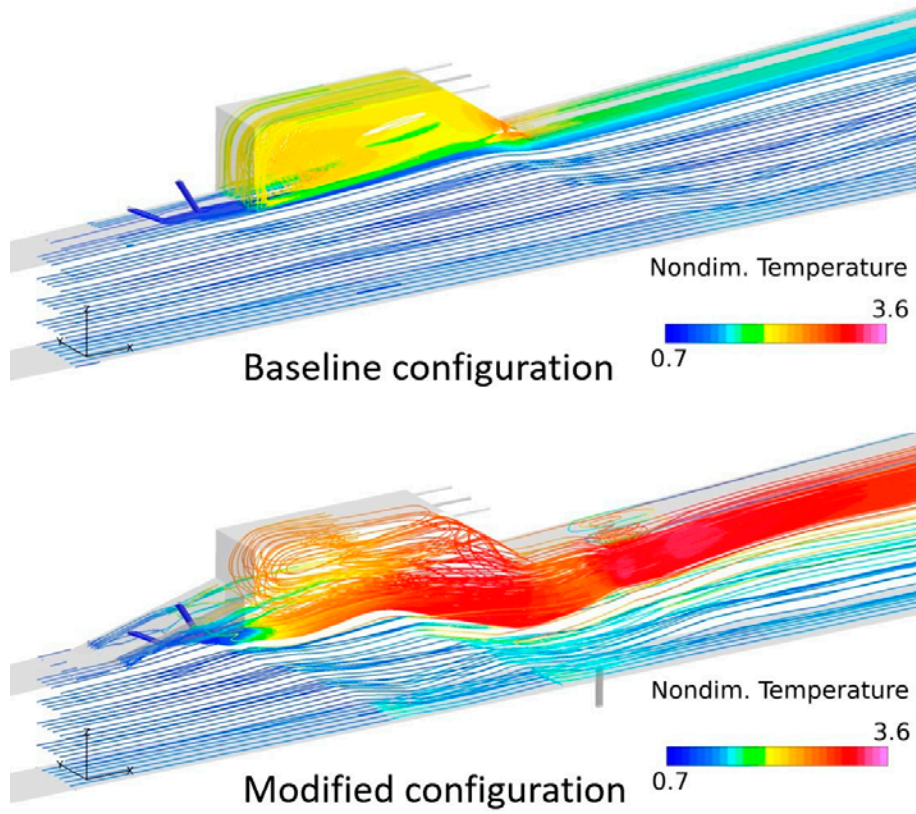


図2: 炭化水素燃料スクラムジェット燃焼器内の流跡線の比較(流跡線の色は、ダクト入口の値で無次元化した静温を表す), 上図:基本形態, 下図:改良型形態



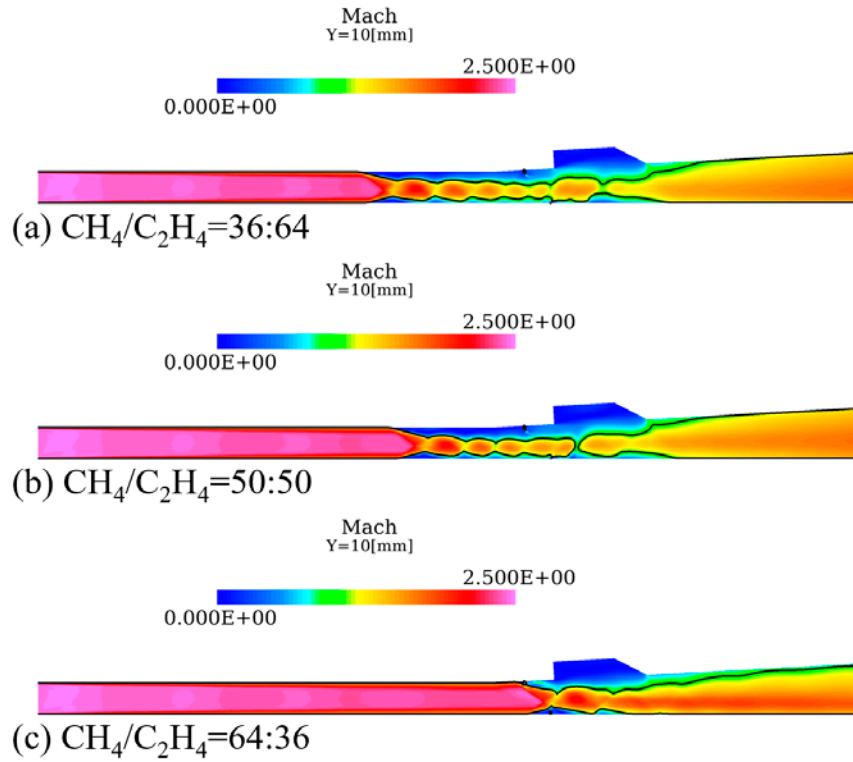


図 3: 燃焼器対称面から 10mm 離れた断面上のマッハ数分布のメタン/エチレン混合比による変化

● 成果の公表

-査読なし論文

藤原瑞月, "スクラムジェット燃焼器の数値解析における乱流特性および化学反応モデルの影響について", 慶應義塾大学卒業論文, 2021 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	32 - 180
1 ケースあたりの経過時間	90 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 1.16

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	6,550,451.49	1.24
SORA-PP	95,912.07	0.75
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	200.81	0.18
/data	5,852.08	0.11
/ltmp	5,071.93	0.43

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	3.37	0.11

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.13

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	478,788.00	0.10
TOKI-RURI	46,236.16	0.26
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	296.03	0.20
/data	10,508.77	0.18
/ssd	622.70	0.33

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	3.37	0.11

※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

## 将来輸送技術の研究(エンジン流路形状の研究)

報告書番号：R20JG3104

利用分野：研究開発

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14600/

### ● 責任者

沖田耕一，研究開発部門第四研究ユニット

### ● 問い合わせ先

宇宙航空研究開発機構研究開発部門第四研究ユニット佐藤 茂 sato.shigeru@jaxa.jp(sato.shigeru@jaxa.jp)

### ● メンバ

佐藤 茂，宗像 利彦，福井 正明，高橋 正晴，井上 拓

### ● 事業概要

再使用型宇宙推進機関であるスクラムジェットエンジンに就いて，その内部形状がエンジン性能に及ぼす影響を CFD 援用にて空気力学的に解明し，同エンジンの設計に資すること。

角田宇宙センターに蓄積されている豊富なエンジン試験結果からエンジン性能向上に繋がる因子を抽出するためエンジン試験結果と対比する CFD を行い，またエンジン性能向上に繋がるものとして考案されたエンジン形態を CFD で試すこと。

参考 URL:

[https://jaxa.repo.nii.ac.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=9276&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=21](https://jaxa.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=9276&item_no=1&page_id=13&block_id=21)

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

角田宇宙センターではスクラムジェットエンジンの研究を進めており，ラムジェットエンジン試験設備(RJTF)を用いてエンジン性能試験を多数重ねて来ている。その過程では，特に飛行マッハ 6 条件下ではエンジンの内部形状の一部の違いがエンジン性能に大きな影響を与えることが分かっている。

エンジンの主要素であるインレット，分離部，ストラット等の内部形状の違いがエンジン性能にどのような影響するのか，当角田センターに蓄積されている豊富な実験データに基づき各形態のシミュレーションを CFD にて遂行すると共に，また試験未実施の形態についてもシミュレーションを行っている。

エンジン内部形状の空気力学的効果を CFD 援用により追求し，実験データとの対比を重ね，空力的効果を体系化し，スクラムジェットエンジンの設計の判断材料を構築する。

## ● 今年度の成果

角田宇宙センターに設置されているラムジェット試験設備(RJTF)にてエンジン試験実施済み形態と対比すべく、改良型のエンジン形態の仮想実験を進めている。この形態は、スクラムエンジン流路の中央に設置される支柱(ストラット)の後縁を絞り込み且つ切り落としたポートテイル形のもので、エンジン試験実施済みのエンジンと基本寸法は同一ながらエンジン推力性能の改善を図ったものである。図 1 にエンジンの概要を、図 2 には各形態を示す。この両者に就いてエンジン内部諸量の違いを比較した。比較は 3 次元燃焼条件にて行い、エンジン内の衝撃波等の影響を調べることで行った。

計算には汎用熱流体解析ソルバ Fluent を用いた。最少格子幅はストラット前縁周辺等の 0.1mm である。計算ではエンジン左右中央断面を対称面とする右舷半裁を対象とし、格子数は 503 万、対流項評価の数値流束は AUSM+、制限関数は二次精度、時間積分は陽的解法、乱流モデルは  $k-\omega$  である。壁面は断熱壁と仮定した。気流条件は、流入マッハ数 5.3 等 RJTF エンジン試験条件に揃えている。機体下面境界層に相当する設備境界層も込みである。燃焼計算に関しては、反応モデルは Petersen and Hanson の論文(1999 年)を元に水素-酸素の反応式を Fluent に読み込ませたものを用いている。燃焼モデルは Finite Chemistry(有限速度反応)、反応は 9 種 20 素反応である。

図 3 に天板面上の剥離範囲を示す。これは天板面から 1mm 離れた水平断面における剥離域を白線で示したものである。剥離の条件は  $x$  成分速度が  $-0.01\text{m/s}$  未満である。また、色は温度を示している。図 3a が 5/5 高さストラット形態、図 3b がポートテイル形ストラット形態であり、視野は何れもストラット途中から、側板段差、燃焼器平行部、燃焼器拡大部、ノズル途中までである。

図 3a の 5/5 高さストラット形態の白線を観ると、剥離の起点がインレット前縁から 1044mm、再付着点と同じく 1253mm と読み取れる。そして高温領域が剥離開始点から始まり、そのままエンジン出口に向かって連続的に伸びている。このことは剥離の起点で混合が促進され、燃焼が活発化し、発熱が進んでいる様子を示している。「剥離が燃料を引き込み攪拌し拡散する」効果が示されているものと考えられる。図 3b はもう一方のポートテイル形ストラット形態のものである。こちらは、剥離の起点がインレット前縁から 933mm、再付着点と同じく 1210mm である。剥離起点以降の状況は上の図 3a の 5/5 高さストラット形態の場合と同様であるが、剥離起点が上流寄りに移り、且つ高温領域がエンジン断面全幅に及んでいる。燃焼反応が剥離に依存するという問題は有るが、エンジンの燃料の燃え方としてはこちらの方が優位と言える。実際、計算結果を基にした積分推力ではこちらの方が大きな値を示している。以上より、天板面上の剥離が燃焼を促進している様子が確認できた。

次の図 4 では両形態の天板圧力分布を示す。天板面から 1mm 離れた断面に於ける圧力分布である。図 4a が 5/5 高さストラット形態、図 4b がポートテイル形ストラット形態であり、視野は何れもストラット途中から、側板段差、燃焼器平行部、燃焼器拡大部までである。両形態とも、ストラットの後縁から膨張波が生じ、それが側板の一定箇所、即ち今回の飛行マッハ数条件では、共にエンジン燃焼器拡大部に入射している。入射点から下流では再び圧力の上昇が見られる。これは膨張波が側壁で反射し、その背後が高圧に戻る為と考えられる。

そこで、この圧力分布と先の剥離の関係を重ねて見る。図 4 の圧力分布には図 3 と同様に剥離域を書き加えている。両形態とも膨張波反射点下流の圧力上昇部の冒頭で剥離を起していることが分かる。詰まり、ストラットが剥離の発生に関わっている。ストラット長さが短いポートテイルストラット形態の方が、ストラット後縁膨張波が上流に寄る為、こちらの形態の方がより上流で剥離を起しているのである。剥離点の生ずる位置の違いはこれが主要因と見て良い。勿論、カウル衝撃波との関連性も

調べる必要がある。

もし、剥離の起点位置を一定箇所に留めようとするなら、このストラットの後縁位置と形状を吟味することが設計上重要となる。先の剥離と燃焼の関係から見ると、剥離は燃焼促進の効果が有り、然しこれが大きくなり過ぎると、エンジン不始動に至るので、一定の管理が必要である。燃焼促進に都合のいい剥離を作り、且つこれが大きくなりすぎないように仕組みを構築できれば、エンジン性能を拡大することに資するものと考えられる。今後、促進と抑制の視点に立ち、流れ場の詳細と剥離の関係の調べを進める。

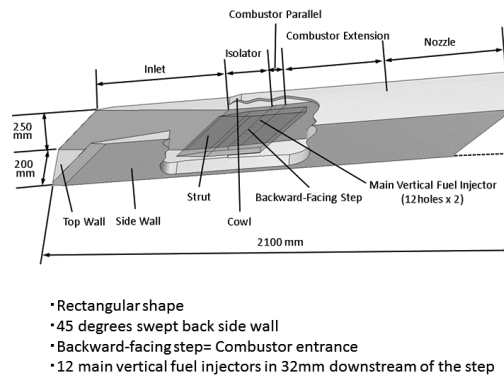


図1: 供試体エンジンの概要 試験台には天地逆に設置, 5/5 高さストラット装備した姿

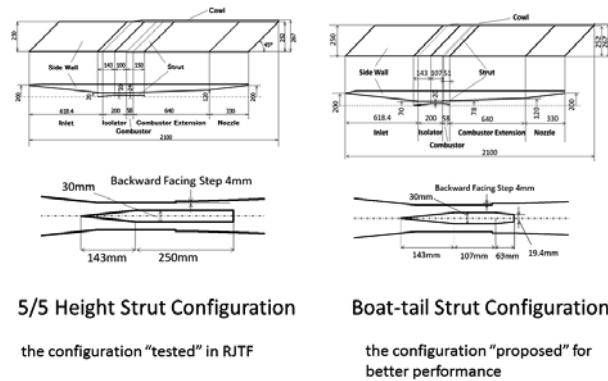


図2: CFD 比較向けストラット二形態 a)5/5 高さストラット形態は試験済み形態, b)ボートテイル形ストラット形態は改良型仮想形態(単位:mm)

### separation and heat release

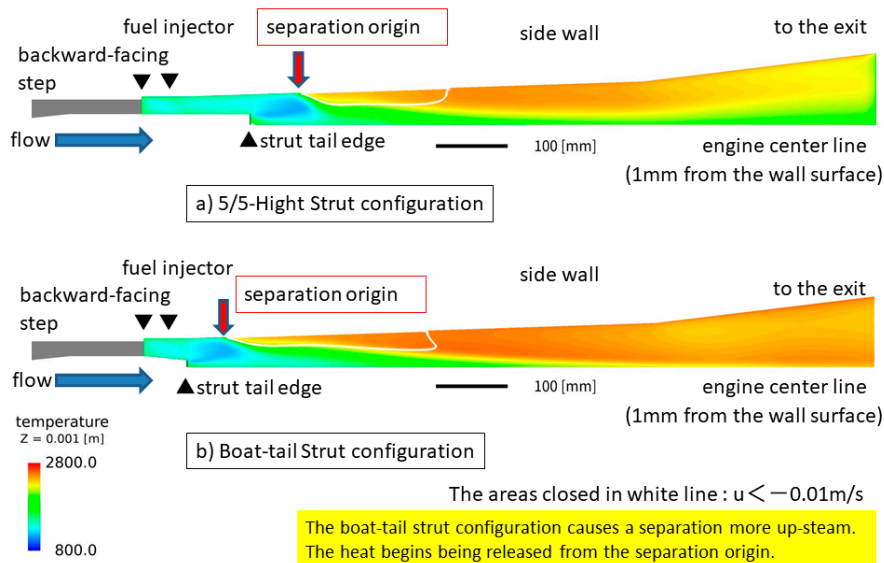


図 3: 剥離と温度上昇 白線で囲った所は剥離域, 色分布は温度を示す.

### separation and pressure distribution

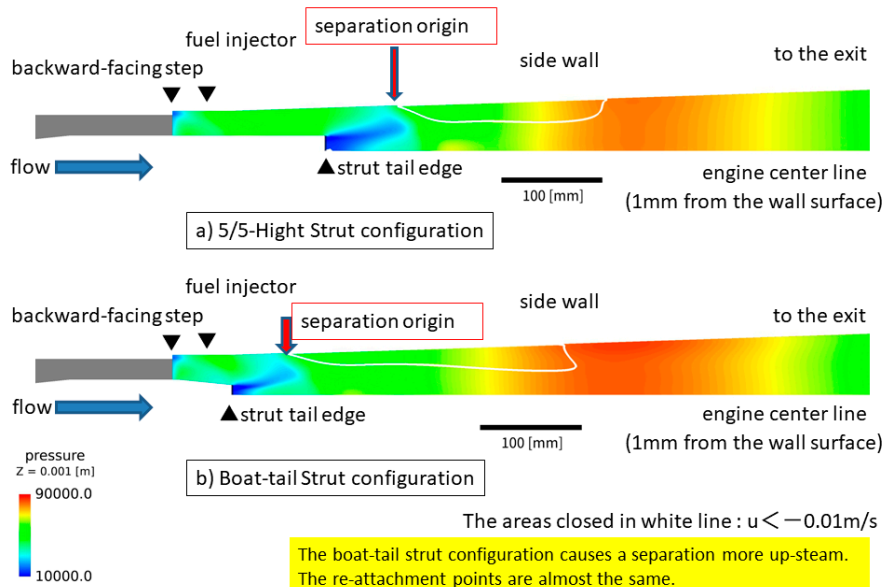


図 4: 剥離と圧力分布 白線で囲った所は剥離域, 色分布は圧力を示す.

## ● 成果の公表

-査読なし論文

佐藤 茂 福井正明 宗像利彦 渡邊孝宏 高橋正晴

スクラムジェットエンジン性能向上に関する試み—剥離と燃料当量比分布

第 52 回流体力学講演会/第 38 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム(令和 2 年 9 月  
オンライン方式)論文集, 令和 3 年 2 月, 宇宙航空研究開発機構特別資料

宇宙航空研究開発機構 JAXA-SP-20-008

-口頭発表

1)佐藤 茂 福井正明 宗像利彦 渡邊孝宏 高橋正晴

スクラムジェットエンジン内流れの剥離が燃焼性能に及ぼす影響

—衝撃波と当量比分布

2020年度(令和2年度)衝撃波シンポジウム, 令和3年3月, オンライン方式による開催

2)佐藤 茂 福井正明 宗像利彦 渡邊孝宏 高橋正晴

スクラムジェットエンジン性能向上に関する試み

—剥離と燃料当量比分布

第52回流体力学講演会/第38回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 令和2年9月, オンライン方式

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	熱流体解析汎用ソフト FLUENT 内部の並列処理に依拠
スレッド並列手法	熱流体解析汎用ソフト FLUENT 内部の並列処理に依拠
プロセス並列数	4 - 8
1 ケースあたりの経過時間	1680 時間

● JSS2 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	0.00	0.00
SORA-PP	979.93	0.01
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	19.83	0.02
/data	200.82	0.00
/tmp	1,534.60	0.13



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	0.87	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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	25.38	0.02
/data	256.54	0.00
/ssd	109.67	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	0.87	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

## 植生ライダーの研究

報告書番号：R20JDG20200

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14581/>

### ● 責任者

木村俊義, 研究開発部門センサ研究グループ

### ● 問い合わせ先

三橋 怜, 澤田 義人(mitsuhashi.rei@jaxa.jp)

### ● メンバ

三橋 怜, 澤田 義人

### ● 事業概要

ISS 搭載ライダーミッション(MOLI:Multi-footprint Observation Lidar and Imager)において, プロジェクトの特性から地上処理系は JSS3 の短期集中利用を検討している. 本事業ではプロジェクト化の前に JSS3 において想定される L0 プロダクトデータから L1 プロダクトへの生成処理検討, および L3,L4 プロダクト生成において深層学習を用いることから JSS3 のマルチ GPU による処理の検討を行う. (<https://www.kenkai.jaxa.jp/research/sensor/sensor.html>)

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

MOLI ミッションは, ISS 曝露部に搭載されたライダーとイメージャのデータを ISS 船内部の HDD に保存する. そのデータを宇宙飛行士の帰還と共に地上へ輸送するため, 通常の衛星とは異なり定常的なデータ処理装置より決められた期間に大量のデータを処理できる設備の方が適切である. また, G-Portal で配布を予定するプロダクトに深層学習を用いて生成する研究プロダクトが存在し, 大量のデータを大規模深層学習させる必要がある. これらの理由より, JSS3 を用いて MOLI ミッションのプロダクトを生成することは非常に有益であり, マルチ GPU による衛星データの深層学習において世界トップレベルの成果が出せると期待している.

### ● 今年度の成果

我々は 2016 年度に MOLI ミッションの観測を模擬した航空機実験を実施し, その観測データから MOLI ミッションで想定する L1,L2 プロダクトの生成処理を JSS3 上で実装した(図 1). データ分割による処理能力向上が見込まれ, 今後はプロジェクトで L1,L2 プロダクトを作成する際の占有ノード数・処理時間の見積もりを精査する.

加えて, JSS3 の GPU ノードにて研究プロダクトの試作を行い, 航空機実験のデータや現在運用中の

ICESat-2のデータを用いてマルチチャンネルの画像データからライダーデータと同様に林冠高を推定する深層学習の処理を実施した(図2, 図3)。実際のデータは50億を越す全球のデータとなるため、V100のGPUを複数使用したマルチGPUによる学習により、デスクトップPCでは成しえないモデル構築が可能となる。

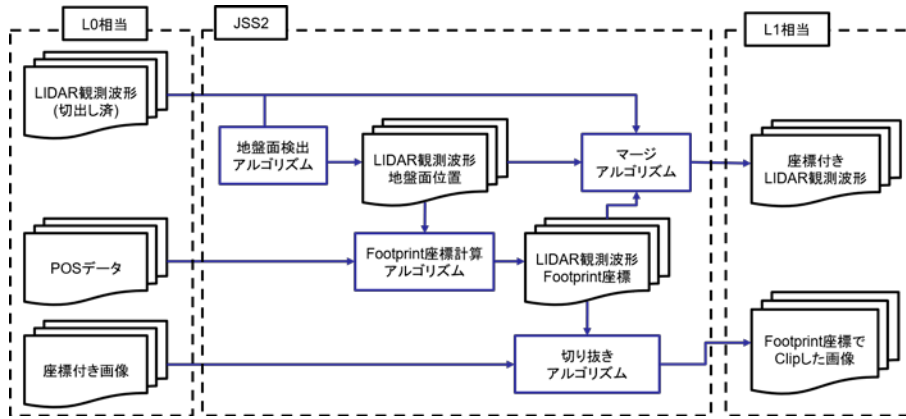


図1: L1 試作生成のフロー図

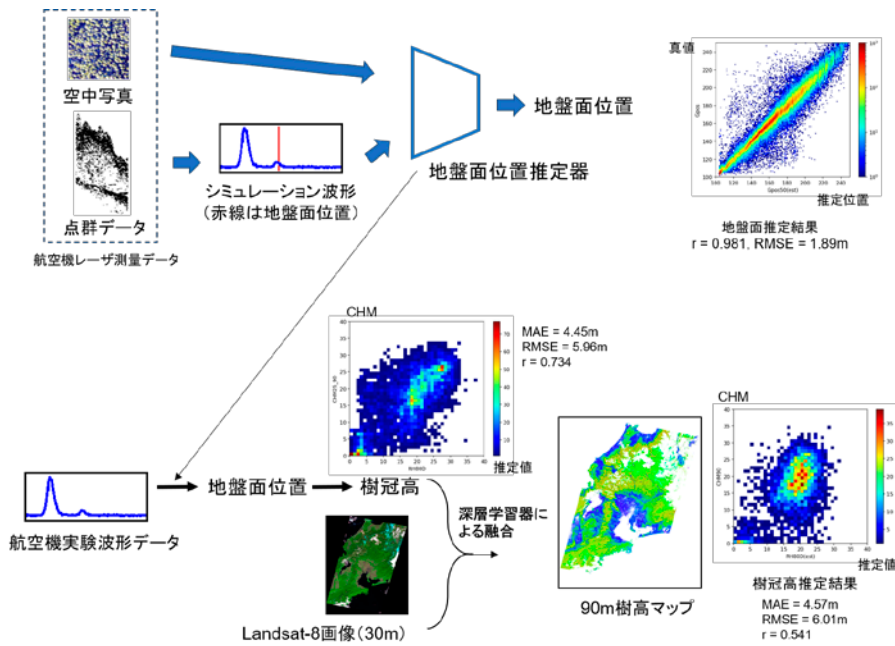


図2: 航空機実験データによるL3, L4 試作フロー

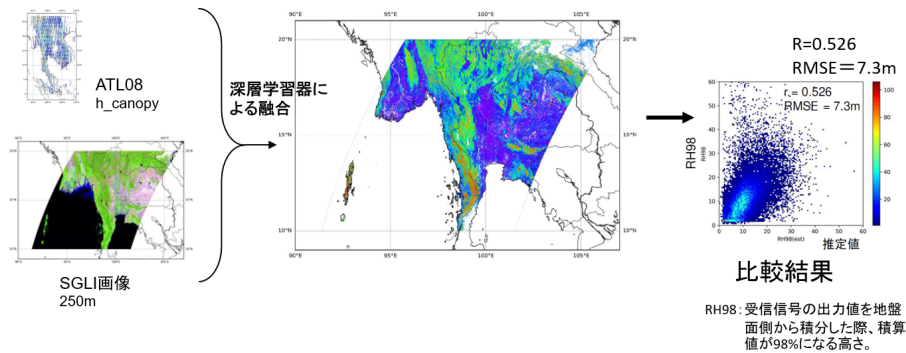


図 3: ICESat-2 と GCOM-C/SGLI を深層学習で融合させた樹高マップ

● 成果の公表

-ポスター

AGU2020 Fall Meeting 'New ground estimation method applied to GEDI waveforms in Japanese forests'

● 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	OpenMP
プロセス並列数	2 - 4
1 ケースあたりの経過時間	12 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	50,401.93	0.40
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	9.54	0.01
/data	9,813.31	0.19
/ltmp	1,953.13	0.17

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.06

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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	81,466.66	0.47
TOKI-TRURI	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	9.54	0.01
/data	9,813.31	0.16
/ssd	95.37	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

## 燃焼解析技術

報告書番号：R20JG3212

利用分野：研究開発

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14610/>

### ● 責任者

清水太郎，研究開発部門第三研究ユニット

### ● 問い合わせ先

芳賀 臣紀，研究開発部門 第三研究ユニット(haga.takanori@jaxa.jp)

### ● メンバ

伊藤 孝行，高木 亮治，堤 誠司，伊藤 浩之，清水 太郎，青野 淳也，芳賀 臣紀，安部 賢治，笥 雅行，本江 幹朗，菱田 学，根岸 秀世，大西 陽一，西元 美希，大門 優，Hosangadi Ashvin，深澤 修，大野 真司，Zambon Andrea，中島 健賀，雨宮 孝，梅村 悠，藤原 大典，谷 洋海，藤本 圭一郎，王丸 哲文，福田 太郎，外山 雅士，西村 慧，武藤 大貴，菅野 望，渡辺 毅，福島 裕馬，多湖 和馬，熊畑 清

### ● 事業概要

実スケールの液体ロケットエンジン内の非定常現象を捉えるため，燃焼 LES 解析に必要な物理モデル及び計算手法を構築する．サブスケール試験との比較検証により解析ツールを開発し，実機エンジンの開発に適用する．

参考 URL: <https://stage.tksc.jaxa.jp/jedi/simul/index.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

燃焼室内の流れ場は乱流状態がかつ，非定常な特性を有するため，LES 解析が必須となっている．本検証対象でも数千万セルの格子に対して，数百万ステップ程度の解析計算が必要であるため，スパコンの利用なしには到底目標を達成できない．

### ● 今年度の成果

フルスケールロケット燃焼室の非定常数値シミュレーション実現に向けた要素技術の開発の一環として，Large eddy simulation(LES)によるメタン/酸素サブスケール燃焼室の数値解析を実施した．計算には JAXA 内製 CFD ソルバである LS-FLOW を使用した．壁面近傍のモデル化として，新たに開発した炭化水素反応流の熱伝達予測のための壁面モデルを適用した．燃焼モデルとして非断熱 flamelet progress variable 法を採用した．格子点数は約 4200 万点である．図 1 に瞬間の温度分布を示す．本解析により，燃料と酸化剤の非定常な混合や，複雑な乱流燃焼場の形成，壁面近傍での境界層の発達がよく捉えられている．

乱流燃焼 LES の抜本的な解像度向上と計算コスト低減によるフルスケール燃焼器解析を目指して、高次精度非構造格子法である流束再構築法をベースとする内製 CFD ソルバ LS-FLOW-HO を開発した。本年度は、フルスケール燃焼器の壁面熱流束の予測に必要な乱流境界層の壁面モデルを開発し、高圧燃焼器の解析に不可欠な実在気体モデルの導入に成功した。

初めに、非燃焼の壁面応力モデルと流束再構築法を組み合わせた壁面モデル LES 計算手法を開発した。特に、壁面近傍の流れ場を十分に解像していない場合の壁面境界条件の影響を調査し、安定かつ高精度な手法を開発した。検証として、チャンネル内に剥離、再付着がある periodic hill の流れを解析した。Periodic hill 内では hill 後部に大きな再循環領域があり、境界条件の与え方によっては不安定や誤差の原因になるが、本研究で開発した境界条件手法により安定かつ高精度に計算することが確認できた(図 2)。現在は反応流に拡張された壁面モデルの検証を進めており、壁面モデル LES によってフルスケール燃焼室内での壁面熱伝達の予測が向上することが期待できる。

次に、液体ロケットエンジン燃焼器内に噴射される極低温の液体酸素とガス水素の混合を計算するため、SRK 状態方程式と Chung の輸送系数モデルを採用した。密度比が非常に大きな界面を安定に計算するため、近似多項式の正值性を保持するリミッターを導入した。燃焼モデルには flamelet progress variable 法を採用した。計算対象は同軸の LOX/H<sub>2</sub> シングルインジェクターであり、DLR Lampoldshausen の P8 試験施設で実施された 6 MPa の条件とした。計算セル数(ヘキサ 2 次要素)は約 86 万であり、自由度は約 2300 万点(p2, 3 次精度)である。温度分布の計算結果を図 3 に示す。JSS3 TOKI-SORA(FX 1000)システムの 320 ノード(1280 プロセス×12 スレッド, MPI/OpenMP ハイブリッド並列)を利用し、物理時間 10 ms の解析に必要な wall clock 時間は約 27 時間であった。

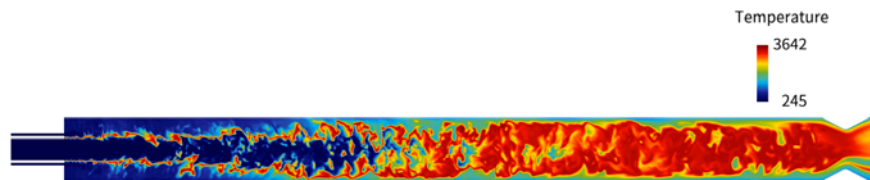


図 1: メタン/酸素サブスケール燃焼器の瞬時の温度分布。



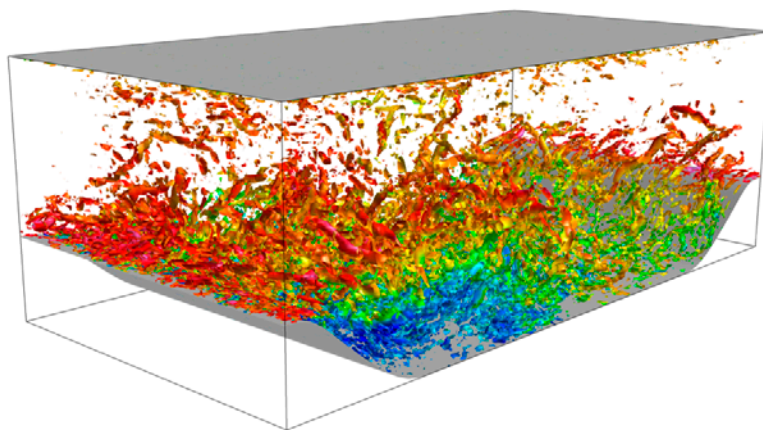


図 2: Periodic hill チャンネル流れの速度勾配テンソルの第二不変量の等値面(主流方向速度で色付け).

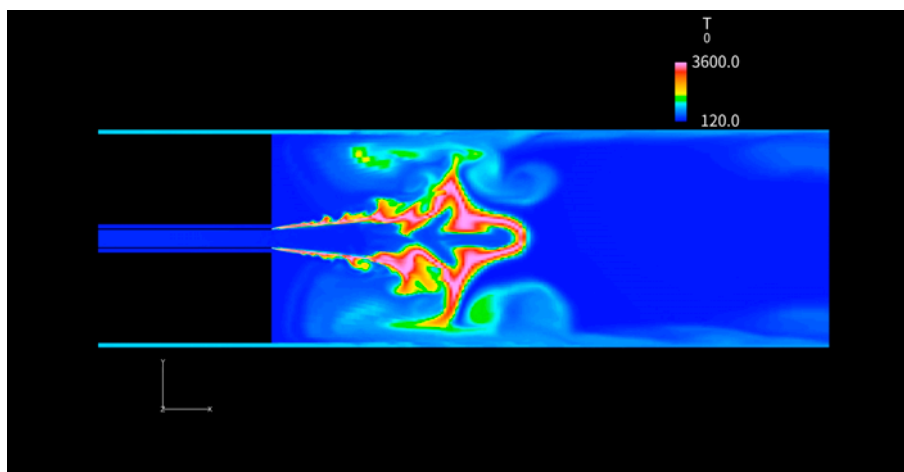


図 3: LOX/H2 同軸シングルインジェクターの乱流燃焼 LES(温度分布, 動画). (ビデオ。ビデオは Web でご覧頂けます。)

## ● 成果の公表

-査読付き論文

1) Daiki Muto, Yu Daimon, Hideyo Negishi, Taro Shimizu, Wall modeling of turbulent methane/oxygen reacting flows for predicting heat transfer, International Journal of Heat and Fluid Flow, 87, 108755, 2021, 10.1016/j.ijheatfluidflow.2020.108755.

-査読なし論文

1) 福島裕馬, 芳賀臣紀, 流束再構築法による高レイノルズ数チャンネル流れの壁面モデル LES, 第 34 回数値流体力学シンポジウム, A03-3, 2020 年.

2) 芳賀臣紀, 清水太郎, 流束再構築法による超臨界窒素噴流の LES, 第 34 回数値流体力学シンポジウム, B06-2, 2020 年.



3) 芳賀 臣紀, 福島 裕馬, 多湖 和馬, 高次精度非構造格子法による Wall-modeled LES に向けて, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 2C01(JSASS-2020-2081-A), 2020 年.

4) 多湖 和馬, 芳賀 臣紀, 福島 裕馬, 堤 誠司, 高木 亮治, GPU による非構造高次精度解析法を用いた圧縮性流体ソルバの高速化, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 2C05(JSASS-2020-2085-A), 2020 年.

-口頭発表

1) 芳賀臣紀, 坂井玲太郎, 福島裕馬, 村山光宏, 雨宮 孝, 伊藤浩之, Flux-Reconstruction 法による NASA-CRM の低速・高迎角流の非定常解析, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 1A14, 2020 年.

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	32 - 11520
1 ケースあたりの経過時間	27 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>\*1</sup> (%) : 4.06

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 <sup>*2</sup> (%)
SORA-MA	23,239,733.70	4.40
SORA-PP	130,917.89	1.03
SORA-LM	22,693.60	13.32
SORA-TPP	0.69	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 <sup>*2</sup> (%)
/home	9,015.89	8.26
/data	119,666.32	2.31
/tmp	26,104.25	2.22

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	153.08	5.07

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 3.87

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 (%)
TOKI-SORA	18,932,823.94	4.07
TOKI-RURI	319,875.87	1.83
TOKI-TRURI	0.02	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	13,680.86	9.38
/data	199,452.12	3.34
/ssd	5,708.60	2.98

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	153.08	5.07

※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

## 航空技術

## aFJR 実用化促進事業

報告書番号：R20JA2180

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14444/

### ● 責任者

石井達哉，航空技術部門推進技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

榎本俊治(enomoto.shunji@jaxa.jp)

### ● メンバ

榎本 俊治

### ● 事業概要

航空エンジンの低燃費化を目標の一つとして、高効率軽量ファン・タービン技術実証(aFJR)プロジェクトではファン翼面境界層の遷移の有無を、LES解析により推定することを試みた。今年度は、計算負荷の低減のために、スポンジ境界を用いて計算領域を縮減する方法の試計算を行った。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

乱流遷移を予測する数値シミュレーションは、計算量の大きさからスパコンで無ければ実行が困難である。

### ● 今年度の成果

計算対象は単翼を風洞に設置した形状である。昨年度までは Fig.1 に示すように風洞全体を模擬した計算格子を用いた。今年度は遷移が発生する場所の周辺のみを計算対象とすることを試みた。Fig.2 にスポンジ境界の場所と設定した流れ場の分布を示す。グレーの格子で示した部分が実際の計算領域である。この条件で計算を行った結果が Fig.3 である。スポンジ境界と計算領域はほぼきれいに繋がっており、このような方法で計算が可能であることを示すことが出来た。

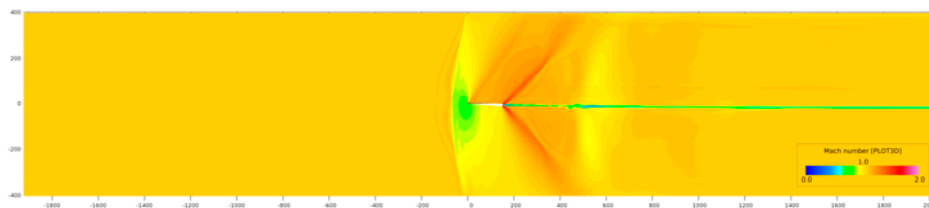


図 1: 従来の計算領域



図 2: スポンジ境界と設定した流れ分布



図 3: スポンジ境界法による計算結果

● 成果の公表

なし

● 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	OpenMP
プロセス並列数	36
1 ケースあたりの経過時間	120 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.08

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	0.00	0.00
SORA-PP	66,428.16	0.52
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	26,269.70	2.48

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	9.72	0.01
/data	3,192.61	0.06
/ltmp	638.52	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	11.02	0.36

※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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	12.98	0.01
/data	5,696.62	0.10
/ssd	566.38	0.30

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	11.02	0.36

※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

## En-Core プロジェクト用燃焼器の内部流れに関する研究

報告書番号：R20JA0714

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14425/

### ● 責任者

山根敬, 航空技術部門コアエンジン技術実証(En-Core)プロジェクトチーム

### ● 問い合わせ先

牧田 光正(航空技術部門)(makida.mitsumasa@jaxa.jp)

### ● メンバ

牧田 光正, 中村 直紀, 石山 毅

### ● 事業概要

航空エンジン用燃焼器では、燃料ノズル及び燃焼器ライナ上の冷却孔空気孔からの流量配分が性能を左右するため、本研究では実機燃焼器の形状を出来るだけ忠実に再現した燃焼解析を行って燃焼器内の流れ場を再現し、その結果を用いて、燃焼振動予測のための音響解析を行っている。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

形状パラメータを少しずつ変えながらパラメトリックスタディーを行う必要が有るが、それぞれが大規模な計算のため、効率的に計算するためには並列化性能の高い計算環境が必要。

### ● 今年度の成果

今年度は、実機燃焼器の形状を出来るだけ忠実に再現した矩形シングルセクタ燃焼器の計算格子を作成し、商用ソフトを用いて内部流れ解析を行い、その結果を場の初期値として商用ソフトを用いた音響解析を行った。その結果から、振動モードの検討などを行った。



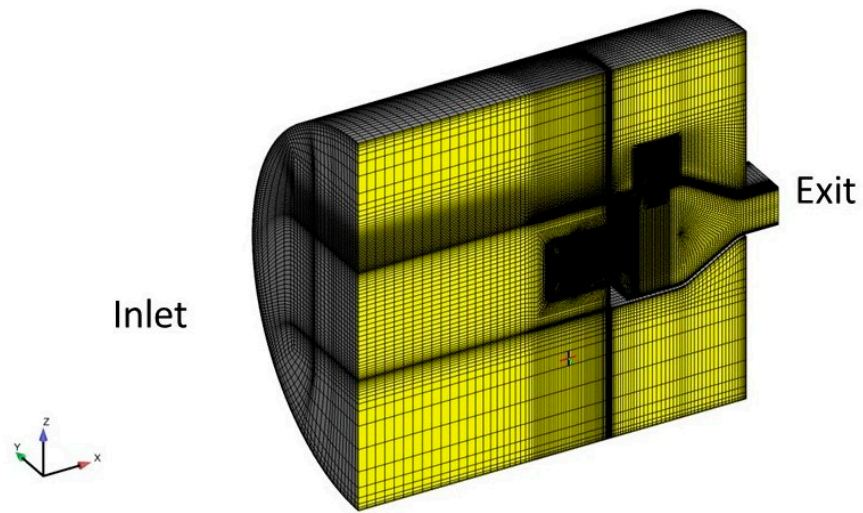


図 1: 燃焼解析用計算格子

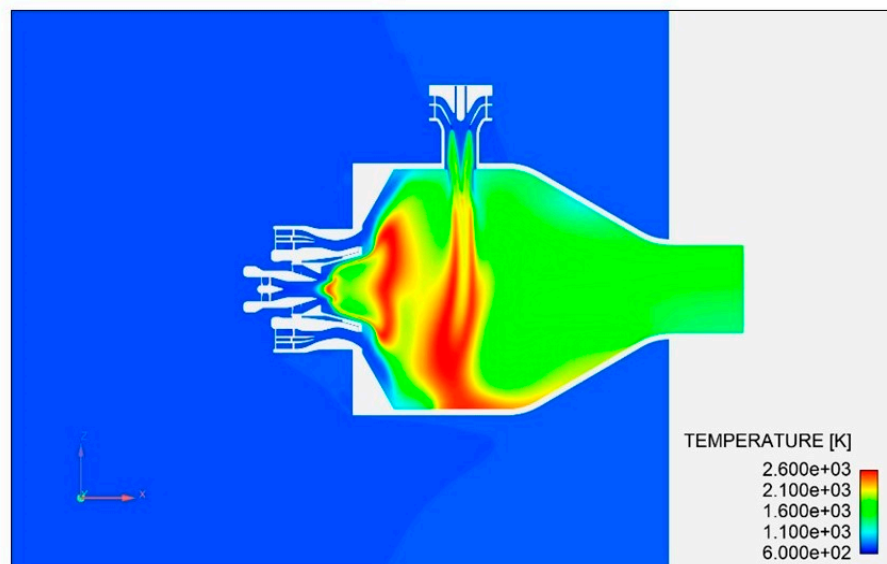


図 2: 温度コンター

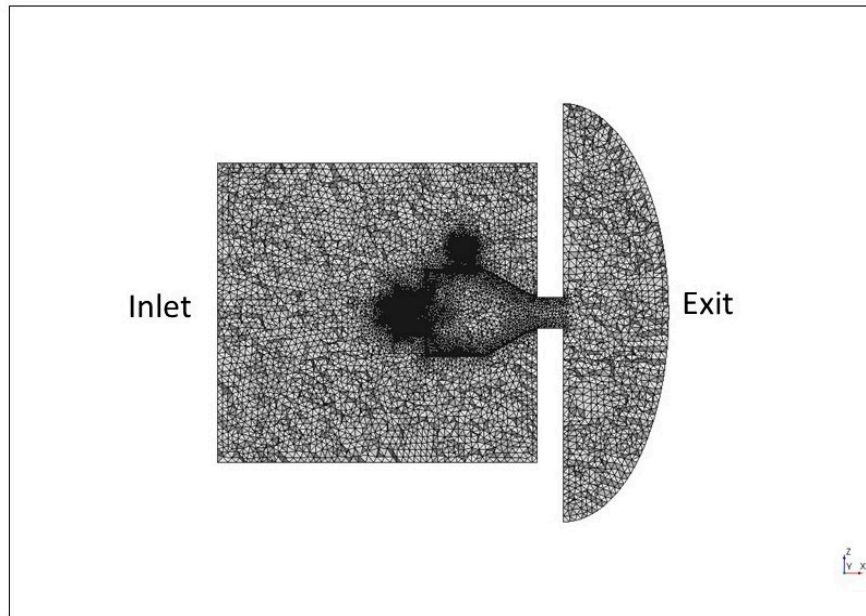


図 3: 音響解析用計算格子

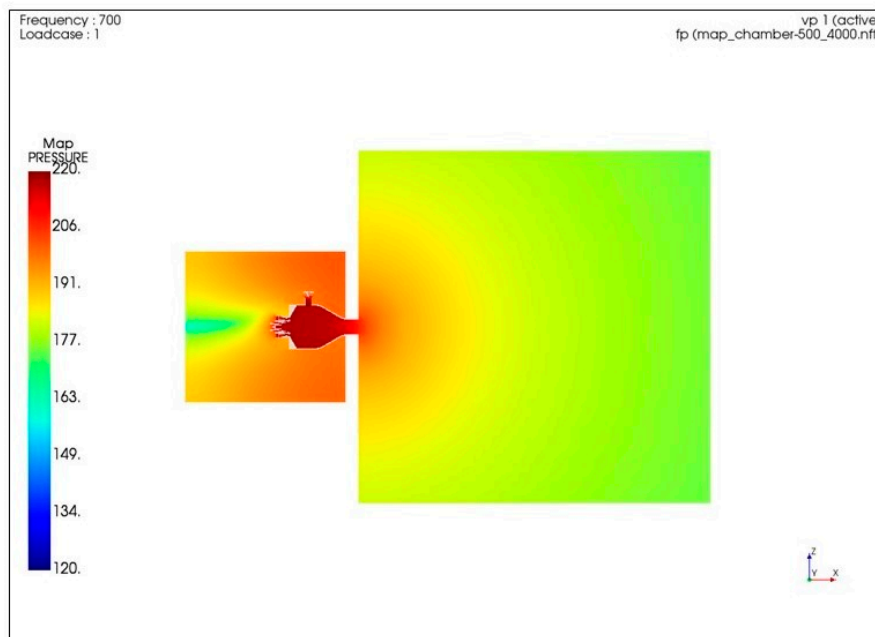


図 4: 音圧コンター

● 成果の公表

なし

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	16
1 ケースあたりの経過時間	50 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.08

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	280,661.72	0.05
SORA-PP	42,553.17	0.33
SORA-LM	3.73	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	73.15	0.07
/data	7,106.24	0.14
/tmp	1,351.76	0.12

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	1.59	0.05

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.07

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 (%)
TOKI-SORA	151,231.36	0.03
TOKI-RURI	53,015.07	0.30
TOKI-TRURI	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	80.02	0.05
/data	7,416.65	0.12
/ssd	42.23	0.02

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	1.59	0.05

※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

## FaSTAR-Move 実用化促進事業

報告書番号：R20JA3201

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14446/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

保江かな子(yasue.kanako@jaxa.jp)

### ● メンバ

上島 啓司, 橋本 敦, 石田 崇, 保江 かな子, 有菌 仁, 布施 亮祐, 矢田 透, 林 謙司

### ● 事業概要

これまで JAXA で開発してきた世界最速の流体解析ソフト「FaSTAR」を拡張し、搭載物分離解析、構造連載解析を可能にする「移動・変形物体解析モジュール」と、航空エンジンのファン・圧縮機・タービンなど翼列の解析を可能にする「エンジン解析モジュール」を組み合わせた新しい空力解析ツール「FaSTAR-Move」を開発する。これにより複雑形状でも高速に CFD を可能にする。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

非定常現象を短時間で解析し、現象を理解するためには必要不可欠である。

### ● 今年度の成果

FaSTAR-Move エンジン解析モジュールに関して、ミキシングプレーン境界条件機能の実装を行い、動静翼を含む回転翼列の定常解析が可能となった。また、回転翼解析モジュールに関して、トリム解析機能を実装し、トリム状態でのロータ解析やロータ/胴体干渉解析の実施が可能となった。いずれの検証解析においても、妥当な結果が得られることを確認した。

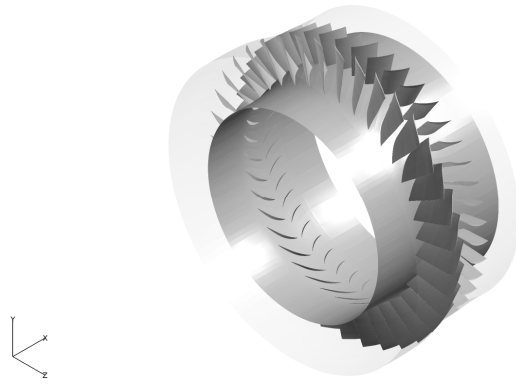


図 1: Stage37 翼列形状

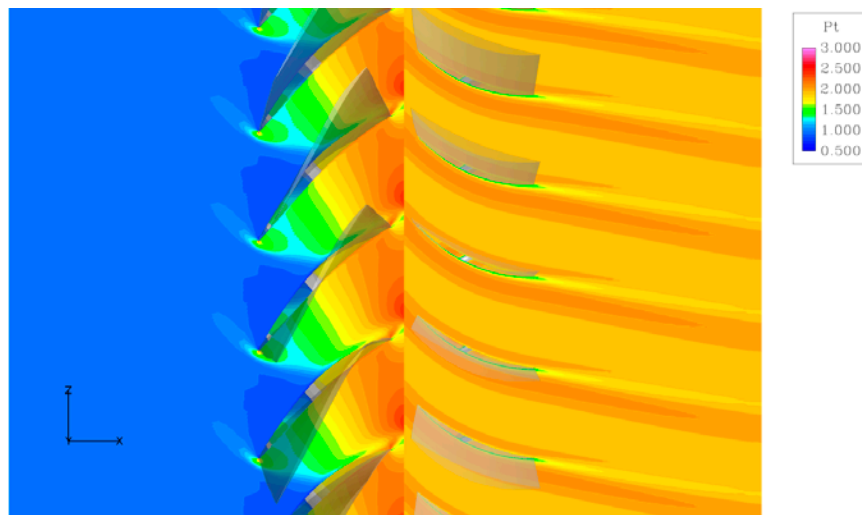


図 2: ミキシングプレーンを使用した Stage37 翼列流れ解析圧力分布

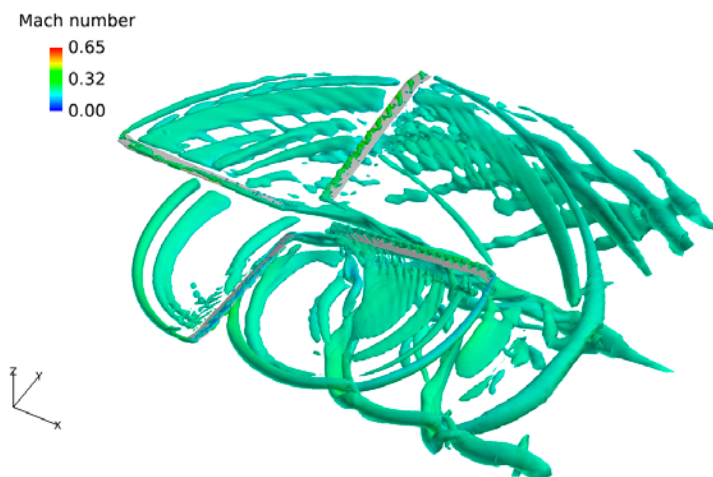


図 3: UH-60A ロータのトリム解析 Q 値等値面

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	128 - 2048
1 ケースあたりの経過時間	150 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 3.25

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	19,178,343.73	3.63
SORA-PP	71,061.28	0.56
SORA-LM	2,111.82	1.24
SORA-TPP	66.68	0.01

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	767.21	0.70
/data	93,530.98	1.81
/ltmp	4,045.09	0.34

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	6.16	0.20

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	449,385.19	0.10
TOKI-RURI	45,936.82	0.26
TOKI-TRURI	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	2,777.94	1.90
/data	41,948.05	0.70
/ssd	744.36	0.39

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	6.16	0.20

※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



## FQUROH+ 解析ツール改修

報告書番号：R20JDA101R29

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14540/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

村山光宏(murayama.mitsuhiro@jaxa.jp)

### ● メンバ

村山 光宏, 田中 健太郎, 池田 友明, 松村 洋祐, 寛 雅行

### ● 事業概要

航空機の高揚力装置及び降着装置から発生する機体騒音を低減する技術は、空港周辺地域の騒音低減を実現するために国際的にも注目されている。JAXA FQUROH+では、機体騒音低騒音化の技術成熟度を将来の旅客機開発ならびに装備品開発に適用可能な段階にまで高めることを目指し、研究開発を進めている。本研究開発では実用的な低騒音化コンセプトと先進的な数値解析技術を基礎にした低騒音化設計法の実現可能性を検証することを目的の一つとしている。本事業コードでは改修された計算コードに関して JSS における動作確認とデバッグ作業を行う。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/fquroh/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

FQUROH+では、機体騒音低騒音化という課題に対し、スパコン利用を前提として、最新の数値解析技術を用いた低騒音化設計を積極的に活用することにより技術成熟を加速し、フィデリティの高い設計技術開発を飛行試験によりデモンストレーションすることを目指している。スパコンを利用した大規模かつ高忠実度な数値解析により、風洞試験のみでは困難な、詳細な物理現象の把握を基礎にした低騒音化設計を行うことが可能となる。

### ● 今年度の成果

計算コードのプリプロセス部分に関して、JSS にて大規模実用問題に適用する際のデバック作業ができた。

### ● 成果の公表

なし

## ● 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	1 - 300
1 ケースあたりの経過時間	10 時間

## ● JSS2 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	139,372.38	0.03
SORA-PP	11,406.41	0.09
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	35.11	0.03
/data	51,087.91	0.99
/tmp	1,134.59	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	1.88	0.06

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	46.32	0.03
/data	51,486.32	0.86
/ssd	61.65	0.03

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	1.88	0.06

※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

## VG 利用による航空機性能向上に向けた VG 配置設計ガイドライン構築

報告書番号：R20JDA201A01

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14550/>

### ● 責任者

浜本滋，航空技術部門空力技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

伊藤 靖，航空技術部門 航空システム研究ユニット(ito.yasushi@jaxa.jp)

### ● メンバ

伊藤 靖，鳥井田 浩也，平井 亨

### ● 事業概要

航空機への vortex generator (VG) 設置は主に飛行試験段階で性能改善が必要になった際の問題解決策として用いられ，飛行試験の中で試行錯誤的に配置が決定されることも多い．本事業の目標は，飛行試験段階で発生する問題の迅速な解決策に留まっている現状の VG 配置設計技術を，概念設計段階から VG を積極利用した空力設計に取り込める VG 配置設計技術に向上させることである．

参考 URL: <http://www.aero.jaxa.jp/eng/research/basic/application/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

JSS を利用した数値解析により，風洞試験のみでは困難な，VG による詳細な物理現象の把握と，その知識を基にした空力改善デバイスのよりよい設計が可能となる．

### ● 今年度の成果

30P30N 翼型のフラップ上で境界層剥離をより促進させるため，フラップ舵角を 35 度とした 30P35N 翼型を持つ無限翼に対し，VG 有無での TAS コードによる RANS CFD 解析を実施した．非構造格子生成ソフトウェア MEGG3D で 2 次元ハイブリッド格子を作成し，スパン方向にその 2 次元格子を積層することで規則的な格子を作った．VG のフラップ上への追加は MEGG3D の局所格子自動再生成を利用することで，VG による剥離抑制効果を比較的粗い格子でも捉えられることを確認した（図 1）．3 次元実機複雑形状に拡張可能な方法を今後検討する．

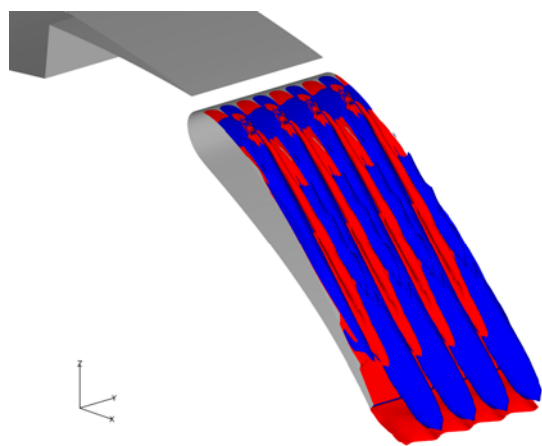


図 1: 30P35N のフラップ上に VG を配置した場合の渦度等値面

● **成果の公表**

-査読付き論文

1) Ichikawa, Y., Koike, S., Ito, Y., Murayama, M., Nakakita, K., Yamamoto, K., and Kusunose, K., "Size Effects of Vane-Type Rectangular Vortex Generators Installed on High-Lift Swept-Back Wing Flap on Lift Force and Flow Fields," Experiments in Fluids, accepted.

● **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	自動並列
プロセス並列数	324
1 ケースあたりの経過時間	72 時間

● **JSS2 利用量**

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 1.19

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	7,211,148.06	1.36
SORA-PP	7,246.43	0.06
SORA-LM	488.33	0.29
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	3.49	0.00
/data	1,603.09	0.03
/ltmp	713.64	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	2.20	0.07

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 3.09

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 (%)
TOKI-SORA	16,999,776.28	3.66
TOKI-RURI	8,413.18	0.05
TOKI-TRURI	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	4.12	0.00
/data	1,703.50	0.03
/ssd	41.04	0.02

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	2.20	0.07

※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

## エコイング技術の研究開発(空力システム設計技術)

報告書番号：R20JA0601

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14419/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

郭 東潤, 航空システム研究ユニット(kwak.dongyoun@jaxa.jp)

### ● メンバ

村山 光宏, 郭 東潤, 徳川 直子, 黒田 文武, 上田 良稲, 大平 啓介, 平井 亨, 田中 健太郎, 笹森 萌奈美, 石田 貴大, 豊田 広祐

### ● 事業概要

国際競争力強化によるシェア拡大を実現するため、優位な環境性能を実現するための空力・騒音および構造技術を開発し、実用化に向けて技術検証を進めるとともに、要素・システム技術開発を進める。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/igreen/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

航空機の空力性能及び騒音特性を向上させるため、主翼及び航空機形状における設計作業に CFD を利用している。空力設計では、複雑な形状における詳細な流れ場を理解しつつその改善形状を追求するため、迅速で正確な空力特性を把握することと同時に膨大な計算リソースが必要である。事業遂行においてスパコンは必要不可欠である。

### ● 今年度の成果

摩擦抵抗を低減する空力技術に層流化技術がある。亜音速旅客機に採用される後退角を有する翼において層流から乱流に遷移する原因の一つに付着線汚染が挙げられる。

本研究では付着線汚染を防止する主翼デバイスの設計を行っている。既存の複数の付着線汚染防止デバイス概念を TRA2022 形状に適用し、流れ場を調査するとともに遷移抑制の有効性を把握した。さらに、有望な概念を選定し形状パラメータの影響を把握した。これにより、付着線遷移汚染を防止機能が期待でき、かつ付加抵抗の発生を抑制する付着線汚染防止デバイスの初期形状を設計した。

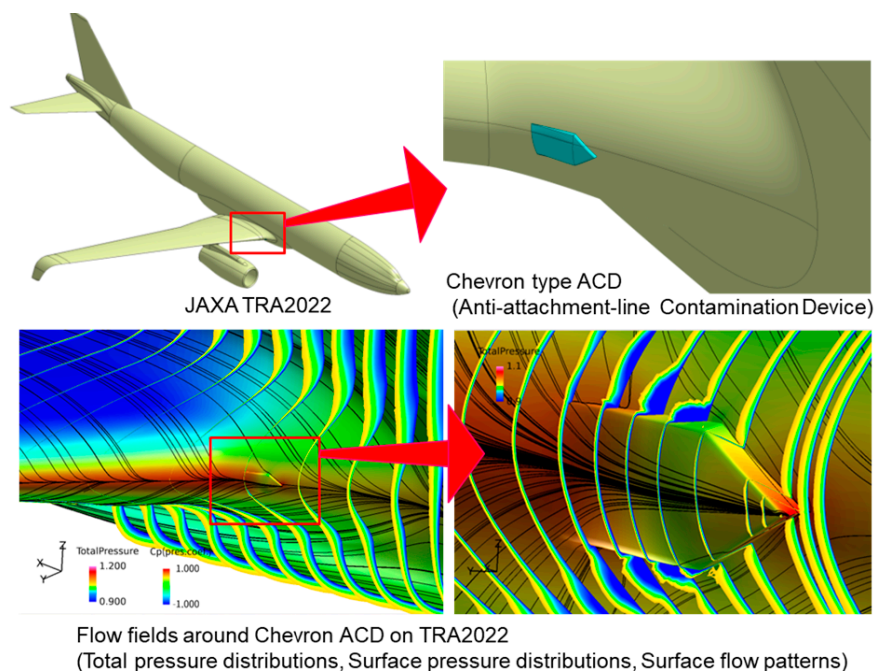


図 1: 付着線遷移を防止する空力デバイス周りの流れ

● 成果の公表

なし

● 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	自動並列
プロセス並列数	1024
1 ケースあたりの経過時間	5000 秒

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 3.52

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	20,340,013.97	3.85
SORA-PP	118,918.47	0.93
SORA-LM	1,328.29	0.78
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	241.02	0.22
/data	68,100.22	1.32
/ltmp	10,328.12	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	11.50	0.38

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 1.81

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 (%)
TOKI-SORA	9,428,306.37	2.03
TOKI-RURI	43,820.41	0.25
TOKI-TRURI	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	374.29	0.26
/data	76,273.81	1.28
/ssd	479.11	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	11.50	0.38

※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

## エコウィング技術の研究開発(将来システム設計基盤技術)

報告書番号：R20JA0602

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14421/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

郭 東潤, 航空システム研究ユニット(kwak.dongyoun@jaxa.jp)

### ● メンバ

高石 武久, 村山 光宏, 伊藤 靖, 坂井 玲太郎, 平井 亨, 田中 健太郎, 雨宮 和久, 中野 彦, 池田 友明, 黒田 文武, 太平 啓介, 郭 東潤, 古谷 龍太郎, 賀澤 順一

### ● 事業概要

国際競争力強化によるシェア拡大を実現するため、優位な環境性能を実現するための空力・騒音および構造技術を開発し、実用化に向けて技術検証を進めるとともに、要素・システム技術開発を進めます。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/igreen/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

機体の空力、構造解析とのトレードスタディが可能なレベルで、機体騒音、エンジン-機体干渉/騒音遮蔽効果を評価する解析技術の構築およびその評価のためにスパコンを利用している。エンジン-機体騒音、干渉/遮蔽効果予測に関して簡易的な解析では誤差が大きく、将来型低騒音機体概念設計において、近年 fidelity が上がってきている空力解析や構造解析とのトレードスタディには限界があり、高度な騒音源解析や騒音伝播解析技術の開発や機体全体規模での解析にはスパコンが必須である。

### ● 今年度の成果

摩擦抵抗低減技術のひとつである自然層流翼においては燃費性能の大幅な改善が期待される一方、翼前縁の高揚力装置であるスラットとの両立に課題がある。スラットに代わる翼前縁高揚力装置として、翼上面の平滑化や翼前縁への虫付着の抑制といったメリットを持つクルーガーフラップを採用し、空力形状設計を実施した。

120 席級 JAXA 技術参照機体(TRA2022-3 次形状, 自然層流翼)の外翼側の代表断面位置の翼型に対して、2次元クルーガーフラップ形状・配置を設計し、 $\alpha$  スweepを通して従来型スラットよりも高い空力性能を達成した。このクルーガーフラップにおいて、後縁付近での乱流運動エネルギーの減少より、従来スラットに比べ大幅な低騒音化効果も見込んでいる (Fig.1)。これらの結果に基づき、低速で

空力性能と低騒音を両立する前縁高揚力装置の目処を得ることができた。

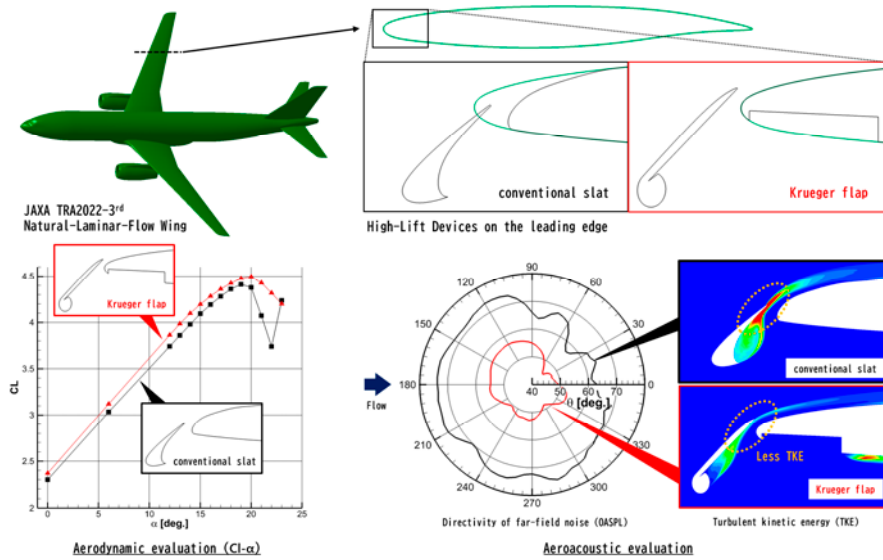


図 1: JAXA 自然層流翼型に対するクルーガーフラップ形状・配置設計(従来型スラットとの空力・騒音性能比較)

● 成果の公表

なし

● 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	1728
1 ケースあたりの経過時間	110 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.28

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	1,593,847.68	0.30
SORA-PP	18,333.47	0.14
SORA-LM	1,011.78	0.59
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	131.65	0.12
/data	9,296.54	0.18
/ltmp	2,946.92	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	189.48	6.27

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.62

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 (%)
TOKI-SORA	3,310,184.13	0.71
TOKI-RURI	1,688.25	0.01
TOKI-TRURI	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	340.13	0.23
/data	15,557.53	0.26
/ssd	219.64	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	189.48	6.27

※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

## エミッションフリー航空機技術の研究開発

報告書番号：R20JDA102H01

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14551/

### ● 責任者

西沢啓, 航空技術部門次世代航空イノベーションハブ

### ● 問い合わせ先

横川 譲(yokokawa.yuzuru@jaxa.jp)

### ● メンバ

横川 譲, Kheirandish Hamidreza, 上島 啓司, 南部 太介, 保江 かな子, 橋本 敦, 筒井 裕貴, 小林 宙

### ● 事業概要

航空機におけるエミッションフリー(排出物ゼロ)の実現を電動化の最終的な目標として、電動ハイブリッド推進システムやそれを適用した新しい形態の電動航空機の研究開発を行う。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

電動ハイブリッド推進システムを搭載した旅客機設計のため CFD を利用している。本 CFD は熱と空力に加え、移動体であるファンを扱うため膨大な計算リソースが必要であり、当事業遂行においてスパコンは必要不可欠である。

### ● 今年度の成果

今後, BLI ファン搭載時の全機空力設計および非均一な流れが BLI ファンに流入する際のインレットディストーション評価を行うため, 今年度は, アクチュエータディスクを搭載した単体ファンナセル(図 1)およびダクト内の回転動翼に関する基本的な解析(図 2)を実施した。

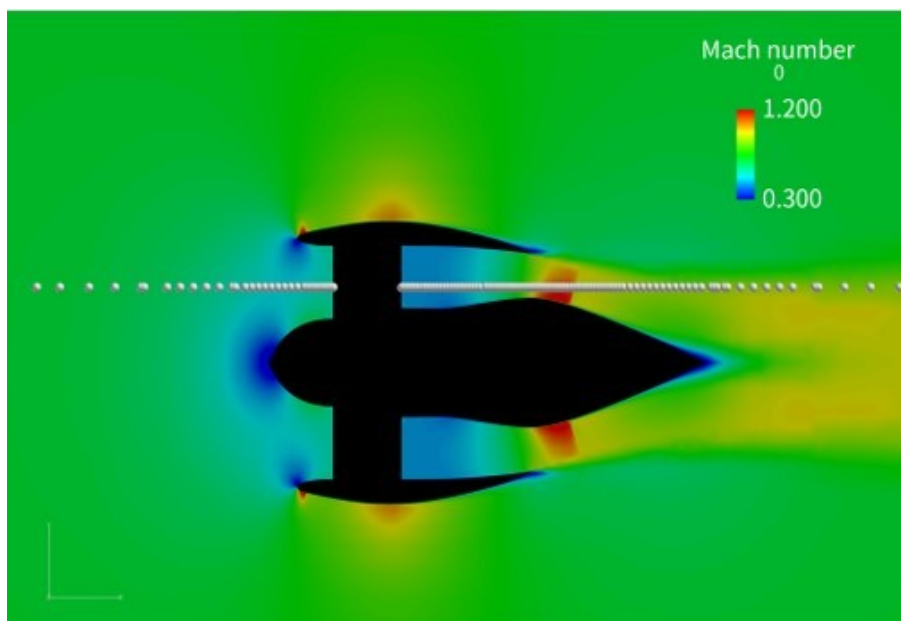


図 1: アクチュエータディスクを搭載した単体ファンセルのマッハ数分布

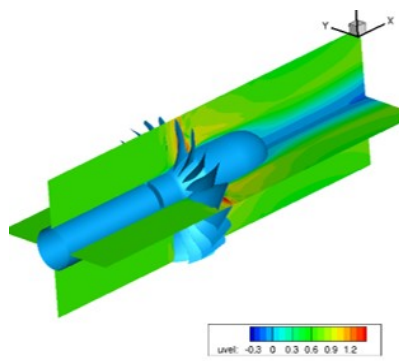


図 2: ダクト内回転動翼解析の速度分布

● 成果の公表

なし

● 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	自動並列
プロセス並列数	36 - 768
1 ケースあたりの経過時間	20 時間

## ● JSS2 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	45,185.24	0.01
SORA-PP	442.82	0.00
SORA-LM	147.96	0.09
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	46.68	0.04
/data	10,591.94	0.20
/tmp	4,072.11	0.35

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.37

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 (%)
TOKI-SORA	1,905,273.57	0.41
TOKI-RURI	7,912.99	0.05
TOKI-TRURI	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	175.05	0.12
/data	20,956.22	0.35
/ssd	1,113.72	0.58

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



## コアエンジン技術実証プロジェクト/タービン冷却解析

報告書番号：R20JBA30312

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14502/

### ● 責任者

山根敬, 航空技術部門コアエンジン技術実証(En-Core)プロジェクトチーム

### ● 問い合わせ先

航空技術部門コアエンジン技術実証(En-Core)プロジェクト 賀澤順一(kazawa.junichi@jaxa.jp)

### ● メンバ

賀澤 順一, 加藤 進, 大北 洋治

### ● 事業概要

窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)や CO<sub>2</sub> 排出量を減らす超低 NO<sub>x</sub> リーンバーン燃焼器と高温高効率タービンの技術の実証で国際競争力の強化に貢献する。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/eng/research/ecat/encore/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

タービン冷却のための大規模な解析やケーススタディが多く、スパコンを使わないとプロジェクト進捗に影響するため。

### ● 今年度の成果

試験用供試体のタービン内部冷却の流れ場解析を実施した。

### ● 成果の公表

なし

## ● 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	120 - 168
1 ケースあたりの経過時間	720 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.15

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	0.00	0.00
SORA-PP	258,441.29	2.03
SORA-LM	141.94	0.08
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	8.40	0.01
/data	84.01	0.00
/ltmp	1,720.61	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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	177.00	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	10.10	0.01
/data	100.98	0.00
/ssd	100.98	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 <sup>※2</sup> (%)
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

## デジタルタフト

報告書番号：R20JDA102F00

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14548/>

### ● 責任者

藤井謙司, 航空技術部門飛行技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

成岡 優(naruoka.masaru@jaxa.jp)

### ● メンバ

成岡 優, 鳥井田 浩也

### ● 事業概要

航空機の表面物理量を計測するセンサシステムの開発

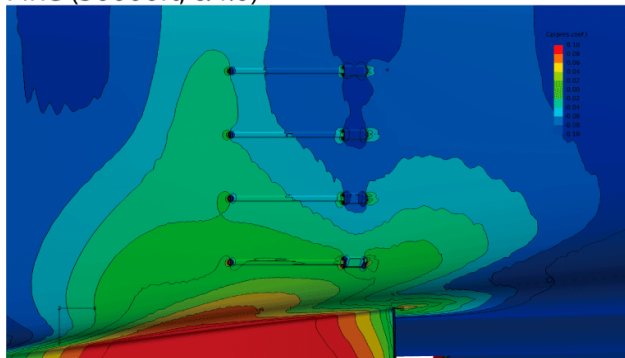
### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

開発する計測システムの空力的影響を把握する CFD 計算を行うため利用. 複雑形状でも正確・高速に計算できることが利点.

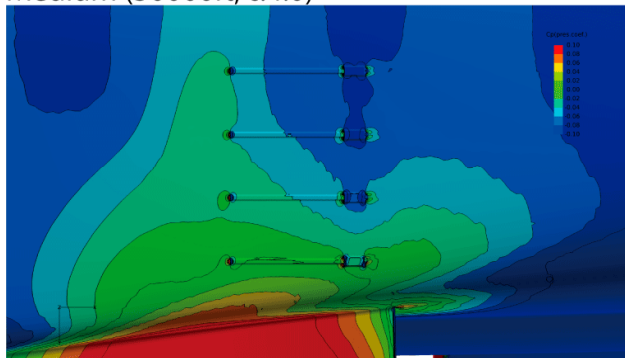
### ● 今年度の成果

航空機表面に付加物であるセンサシステムを貼付した際の影響を評価するにあって格子密度の違いについて検証を行った. 結果, fine/medium/coarse の 3 通りで計算結果に大きな違いがないことを確認した.

Fine (30000ft,  $\alpha 4.0$ )



Medium (30000ft,  $\alpha 4.0$ )



Coarse (30000ft,  $\alpha 4.0$ )

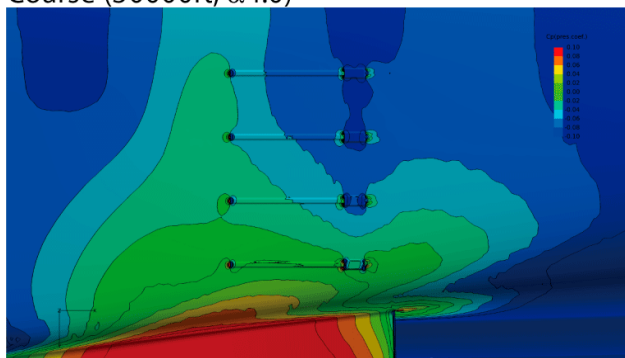


図 1: センサシステム周辺の  $C_p$  の格子密度による違い

● 成果の公表

なし

● 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	512
1 ケースあたりの経過時間	5 時間

## ● JSS2 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	654,815.43	0.12
SORA-PP	1,324.87	0.01
SORA-LM	42.14	0.02
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	3.58	0.00
/data	1,244.55	0.02
/ltmp	732.42	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	1.36	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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	3.58	0.00
/data	1,244.55	0.02
/ssd	35.76	0.02

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	1.36	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

## フルフライトエンベロープの予測を目指した非定常流体解析に関する研究

報告書番号：R20JDA201N01

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14558/>

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

小島良実, アンドレアサンシカ(kojima.yoimi@jaxa.jp,sansica.andrea@jaxa.jp)

### ● メンバ

石田 崇, 橋本 敦, 林 謙司, 青山 剛史, 山本 貴弘, 金森 正史, 井手 優紀, 中元 啓太, Sansica Andrea, 松崎 智明, Zehner Paul, 小島 良実, 保江 かな子, 布施 亮祐, 志村 啓, 桐原 亮平, 菱田 学, 有蘭 仁, 上島 啓司, 南部 太介, 小澤 賢翁, 高倉 葉子, 加藤 宏基

### ● 事業概要

遷音速バフエットは航空機の翼に発生する衝撃波が激しく振動する現象であり、航空機開発にあたってはこれを正確に予測する技術が求められている。本研究では遷音速バフエットの高精度計算手法の確立を目的とし、Embedded Large Eddy Simulation (ELES)法の開発を行う。2次元翼型を用いてELES法の技術を実証し、最終的には3次元の旅客機形状における適用を目指す。

また、バフエットの低コスト・高精度予測手法として注目されている、全体安定性解析法の開発を行う。バフエット予測のための全体安定性解析コードを開発する。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/basic/numerical/issac/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

ELES は壁面付近の乱流渦を高い解像度で計算する必要があるため、その実行には多くの計算資源を必要とする。また、生産されるデータサイズも非常に大きく、保存に大容量ストレージが必要であり、可視化にも相応の計算負荷がかかる。

また、全体安定性解析の実行にあたっては、JSS の利用は重要となる。従来の局所的・1次元的な線形安定性解析は単純な形状にのみ適用されるが、全体安定性解析は複雑形状周りの任意流れ場に適用可能である。複雑形状に対する高精度な全体安定性解析には多くの計算資源が必要であり、JSS の利用が不可欠である。



## ● 今年度の成果

開発した ELES 法の動作を確認するため、OAT15A 翼型を対象に遷音速バフエットのシミュレーションを行った。翼の負圧面における渦構造を可視化した結果、ELES により乱流境界層と衝撃波の干渉が高精度に計算されていることが分かった（図 1）。また、翼表面における圧力係数の時間平均分布を実験結果と比較し、実験結果とよく一致することを確認した。ELES による遷音速バフエットの解析事例はこれまで報告されておらず、世界初の成果である。

全体安定性解析の研究では、FaSTAR をベースに全体安定性解析コード (FaSTAR-GSA) を開発し、その動作を検証した。後退翼に対する全体安定性解析を行い、JTWT2 風洞における実験結果と比較した。この検証を通して、FaSTAR-GSA が乱流、衝撃波、複雑・3次元形状、大規模格子の解析に対応しており、世界最高性能の全体安定性解析コードであることが分かった。

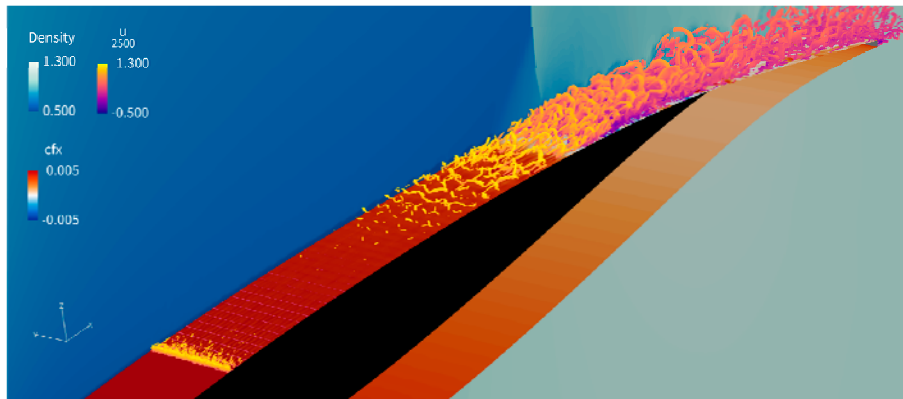


図 1: OAT15A 翼における渦構造と衝撃波の可視化

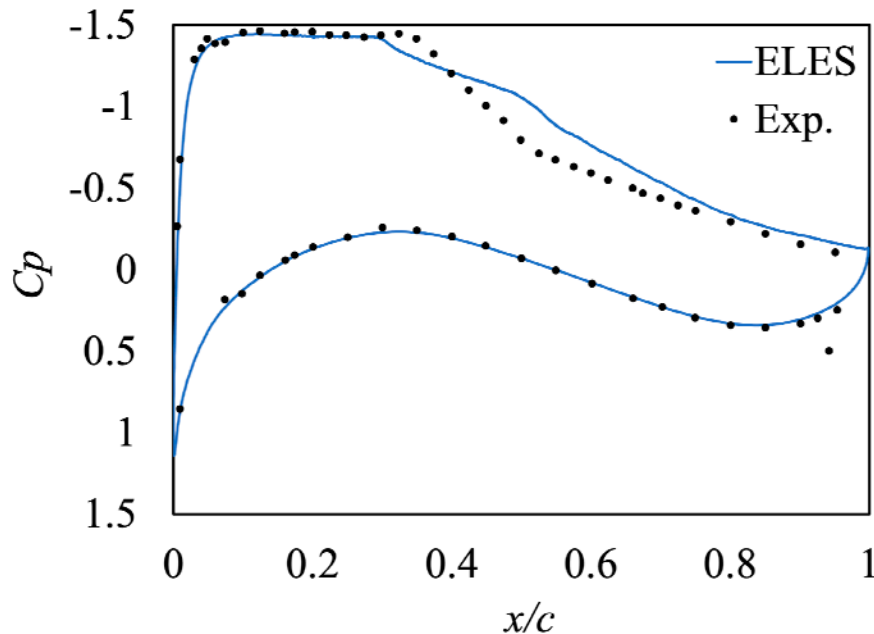


図 2: 翼表面における圧力係数

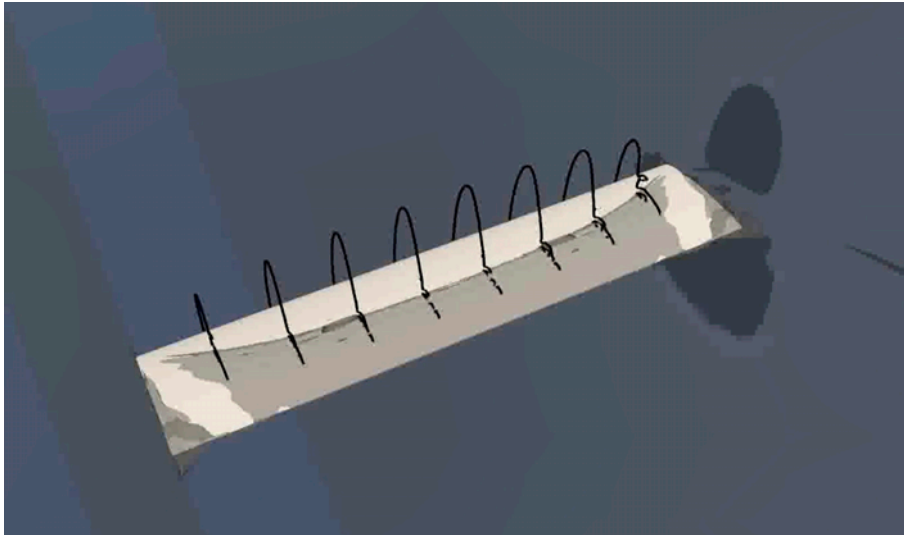


図 3: JTWT2 バフエット風洞試験の対応解析 (ビデオ。ビデオは Web でご覧頂けます。)

## ● 成果の公表

### -査読付き論文

- 1) Sansica A, Ohmichi Y, Robinet JC and Hashimoto A. Laminar Supersonic Sphere Wake Unstable Bifurcations. *Physics of Fluids*, 2020, vol 32, no. 126107. DOI:10.1063/5.0031599
- 2) Sansica A, Hashimoto A and Ohmichi Y. Global Stability Analysis of the JAXA H-II Transfer Vehicle Re-Entry Capsule. Springer IUTAM Bookseries, 2020

### -査読なし論文

- 1) Sansica A, Hashimoto A, Koike S and Kouchi T. Side-Wall Effects on the Global Stability of Swept and Unswept Supercritical Wings at Buffet Conditions. JAXA-SP, 2020

### -口頭発表

- 1) Sansica A, Hashimoto A, Koike S and Kouchi T. Side-Wall Effects on the Global Stability of Swept and Unswept Supercritical Wings at Buffet Conditions. 第 52 回流体力学講演会/第 38 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2020.
- 2) 小島良実, 橋本敦. Embedded-LES 法による遷音速バフエットの数値シミュレーションに関する研究. 第 52 回流体力学講演会/第 38 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2020.
- 3) 橋本敦, 金森正史, 桐原亮平, 松崎智明, 中元啓太, 林謙司, FaSTAR を用いた低速・高迎角条件における NASA-CRM の定常・非定常流体解析, 第 52 回流体力学講演会/第 38 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2020.
- 4) 松崎智明, 石田崇, 金森正史, 橋本敦, マルチブロック型の直交格子を用いた格子ボルツマン法による NASA-CRM の非定常流体解析, 第 52 回流体力学講演会/第 38 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2020.

## ● 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	256 - 5760
1 ケースあたりの経過時間	1000 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 2.79

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	13,721,446.33	2.60
SORA-PP	639,449.89	5.01
SORA-LM	21,897.52	12.86
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	670.45	0.61
/data	55,552.58	1.07
/tmp	16,379.30	1.40

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	46.25	1.53

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 2.73

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 (%)
TOKI-SORA	14,156,009.87	3.05
TOKI-RURI	64,481.69	0.37
TOKI-TRURI	864.02	0.07

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	1,332.70	0.91
/data	121,280.85	2.03
/ssd	7,083.80	370.

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	46.25	1.53

※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

## マルチフィジックス解析技術に関する研究

報告書番号：R20JDA201N03

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14560/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

高橋孝(takahashi.takashi@jaxa.jp)

### ● メンバ

大久保 寛, 大道 勇哉, 高橋 孝, 金森 正史, 山田 健翔, 池田 友明, 中元 啓太, 窪田 健一, 辻村 光樹, 鈴木 惇哉

### ● 事業概要

航空機開発をフロントローディング化するために、音響、混相流といった多分野における現象を解析する技術の獲得を目指す。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

粒子法を用いた液滴解析を実施するために利用した。数千万個の粒子で広い領域を解析するには JSS2 のリソースが必要。

### ● 今年度の成果

航空機タイヤからの水跳ね現象を粒子法(MPS 陽解法)で解析した。昨年度までに開発した空気力モデルを用いて気流の影響を考慮した結果、水跳ね分布が実験結果に近づくことがわかった。また、空気力モデルの検証問題の一つとしてジェットブレイクアップの解析を行い、FaSTAR との連成方法の検討を行った。

### ● 成果の公表

-口頭発表

1)古賀星吾, 窪田健一, 飯島由美, 小池俊輔, 中北和之:航空機タイヤからの水跳ね予測技術開発のための準実機スケール試験, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 2A05, 2020.

2) 辻村光樹, 窪田健一, 佐藤哲也: 空気力モデルを用いた格子法・粒子法の連成計算による消防飛行艇からの放水解析, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 2A06, 2020.

3) M. Orsztynowicz, H. Amano, K. Kubota, T. Miyajima: Exploiting temporal parallelism in particle-based incompressible fluid simulation on FPGA, CANDAR2020, 102, 2020.

4) 高橋孝, 浦弘樹, 大久保寛, 土屋隆夫: 飛翔を用いた航空機内騒音の計測と数値解析について, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 2A07, 2020.

5) 池田友明, 直交格子上の有限差分法による非一様波動方程式解法の精度検証, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 1A06, 2020.

## ● 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	80 - 144
1 ケースあたりの経過時間	10 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>\*1</sup> (%) : 0.93

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 <sup>*2</sup> (%)
SORA-MA	1,171,365.26	0.22
SORA-PP	1,266,711.90	9.93
SORA-LM	677.21	0.40
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 <sup>*2</sup> (%)
/home	1,187.41	1.09
/data	11,610.04	0.22
/tmp	10,400.40	0.89

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	5.66	0.19

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.36

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 (%)
TOKI-SORA	389,781.57	0.08
TOKI-RURI	325,429.67	1.86
TOKI-TRURI	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	1,194.25	0.82
/data	18,249.07	0.31
/ssd	386.35	0.20

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	5.66	0.19

※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

## 回転機械内部流れのシミュレーション高度化

報告書番号：R20JA2111

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14434/>

### ● 責任者

石井達哉，航空技術部門推進技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

航空技術部門推進技術研究ユニット 賀澤順一(kazawa.junichi@jaxa.jp)

### ● メンバ

賀澤 順一

### ● 事業概要

数値シミュレーションによる回転機械流れの空力性能予測精度向上のため，回転座標系での LES や DES を実施する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

回転機械での LES や DES は格子点数が膨大となり，計算負荷が高いため，JSS2 でなければ実施できない。

### ● 今年度の成果

遠心圧縮機に対して DES 解析を実施した。数値粘性の弱いスキームを用いることで細かな渦を捉えられることが確認できた。



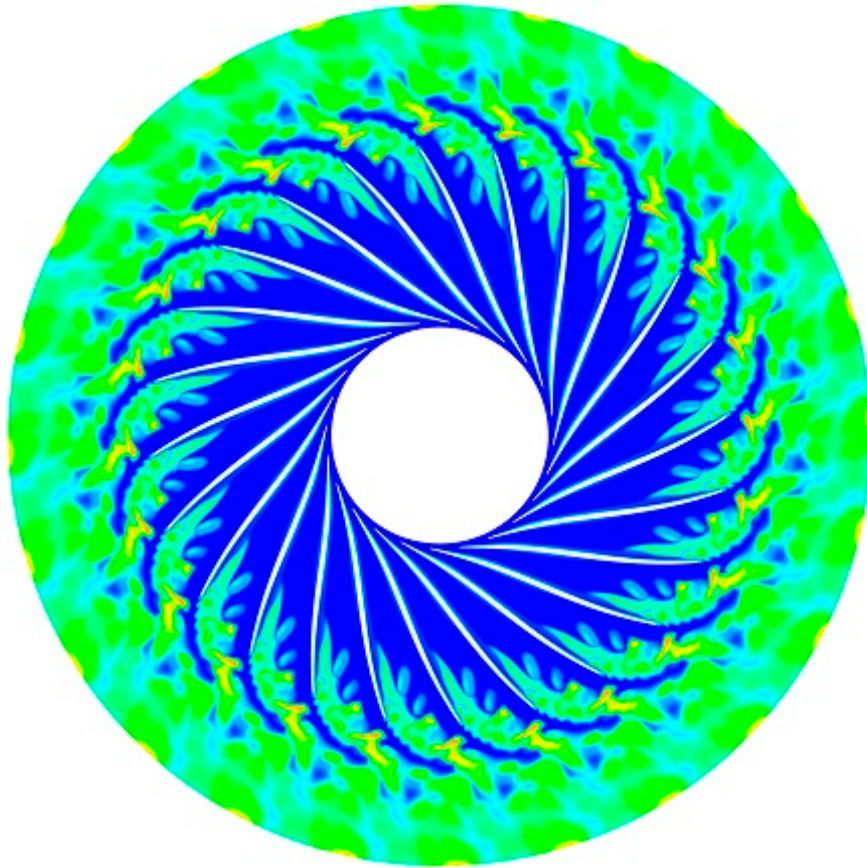


図 1: 遠心圧縮機内部流れ(エントロピー分布)

● 成果の公表

なし

● 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	自動並列
プロセス並列数	64 - 106
1 ケースあたりの経過時間	100 時間

## ● JSS2 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	0.00	0.00
SORA-PP	36,979.34	0.29
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	9.99	0.01
/data	958.22	0.02
/ltmp	2,046.13	0.17

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	0.56	0.00
/data	5.61	0.00
/ssd	5.61	0.00

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## 革新環境航空機技術の研究開発/高効率環境航空機(リブレット技術)

報告書番号：R20JDA101R01

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14537/>

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

Mitsuru Kurita, Aeronautical Technology Directorate, Aviation Systems Research Unit  
(kurita.mitsuru@jaxa.jp)

### ● メンバ

栗田 充, 黒田 文武

### ● 事業概要

乱流摩擦抵抗低減に有効な独自リブレットパターンを開発し、施工の容易な塗装式リブレット成形手法により最適なりブレット配向を機体表面に成形可能とすることで乱流境界層領域の摩擦抵抗を低減する。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/igreen/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

独自リブレットパターンを開発に CFD を利用している。この開発には、複雑な流れ場を理解しつつ、最適なりブレット形状を追求するため、迅速で正確なりブレット特性を把握することと同時に膨大な計算リソースが必要である。事業遂行においてスパコンは必要不可欠である。

### ● 今年度の成果

ブレード型リブレットをベースとした独自のリブレット形状を開発するために、様々なリブレット形状を有した平行平板間乱流の直接数値シミュレーションを実施した。その結果、抵抗低減率におけるリブレット形状の影響や新形状リブレットのリブレット間隔  $S^+$  の依存性を明らかにした。

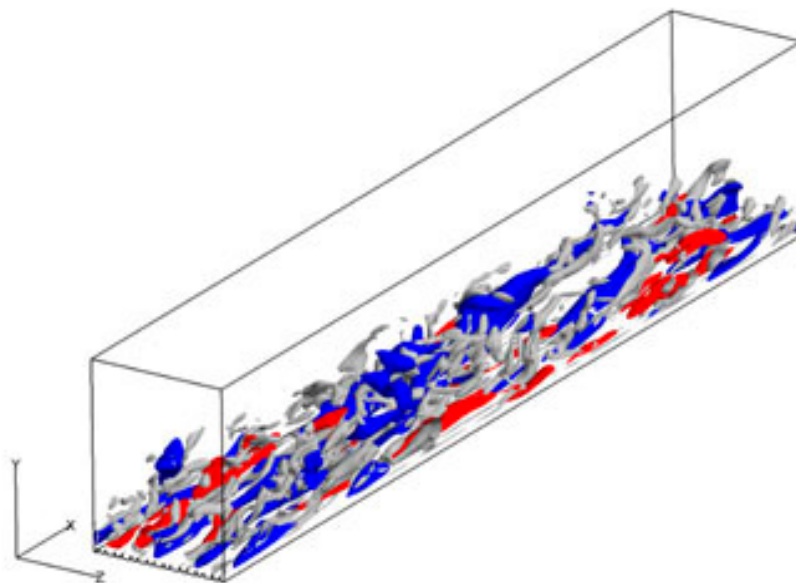


図 1: リブレット DNS における壁面近傍のストリーク構造と渦構造(白の等値面:速度勾配テンソルの第 2 不変量の正值, 赤の等値面:流れ方向速度変動の正值, 青の等値面:流れ方向速度変動の負値).

● 成果の公表

なし

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	64 - 512
1 ケースあたりの経過時間	500 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.93

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	5,647,044.30	1.07
SORA-PP	782.56	0.01
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	4.38	0.00
/data	9,828.13	0.19
/ltmp	634.77	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	0.62	0.02

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.30

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	1,630,607.27	0.35
TOKI-RURI	0.01	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	5.68	0.00
/data	9,847.38	0.17
/ssd	39.74	0.02

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	0.62	0.02

※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

## 機体騒音低減技術の研究開発(FQUROH+)空力解析

報告書番号：R20JDA101R20

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14538/>

### ● 責任者

牧野好和，航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

高石 武久，航空技術部門 航空システム研究ユニット 機体騒音低減技術の研究開発（FQUROH+）チーム(takaishi.takehisa@jaxa.jp)

### ● メンバ

高石 武久，村山 光宏，伊藤 靖，坂井 玲太郎，山本 一臣，平井 亨，田中 健太郎，雨宮 和久，中野 彦，石田 崇

### ● 事業概要

航空機の高揚力装置及び降着装置から発生する機体騒音を低減する技術は，空港周辺地域の騒音低減を実現するために国際的にも注目されている．本研究は，機体騒音低騒音化の技術成熟度を将来の旅客機開発ならびに装備品開発に適用可能な段階にまで高めることを目的とした FQUROH+事業の一環として実施している．最終的には本研究により，国内航空産業界における国際競争力強化に貢献するとともに，空港周辺地域社会における騒音被害，エアラインの運航コスト（着陸料）の軽減に貢献する．FQUROH+事業の目的の一つは，スパコン利用を前提に，数値解析技術を用いて実用的な低騒音化コンセプトを探り，低騒音化設計を行い，実機で実証することである．本事業コードでは，風洞試験における Reynolds 数効果や半裁模型による影響などを確認し，また主な空力騒音源となっているスラットなどの周りの時間平均流の特徴を理解するために解析を実施した．

参考 URL: <http://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/fquroh/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

空力的に重要な部分は細部まで模擬した実機形状での Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) 解析を，想定されている飛行エンベロープ内で，想定されている複数の飛行形態にて実施可能であるため．また，風洞試験のみでは困難な，低騒音化デバイスなどの空力的な影響を事前に十分に評価し，確認するため．

### ● 今年度の成果

図1に示すような旅客機全機形状の高揚力形態に対して RANS CFD による空力解析を行った．空力



特性予測に対する機体形状模擬度の感度や、半裁風洞試験における風洞壁干渉の感度を風洞試験結果との比較を通じて把握し、空力特性予測精度向上を図った。また、低騒音化デバイスの設計にあたり、機体騒音発生源となるスラットやフラップ周りの流れ場を空力解析により理解した。デバイスによる流れ場の変化、デバイスが空力特性へ与える影響を評価することで、空力特性変化を最小限に止めつつ低騒音化効果を高めるデバイス設計を行うことができた。

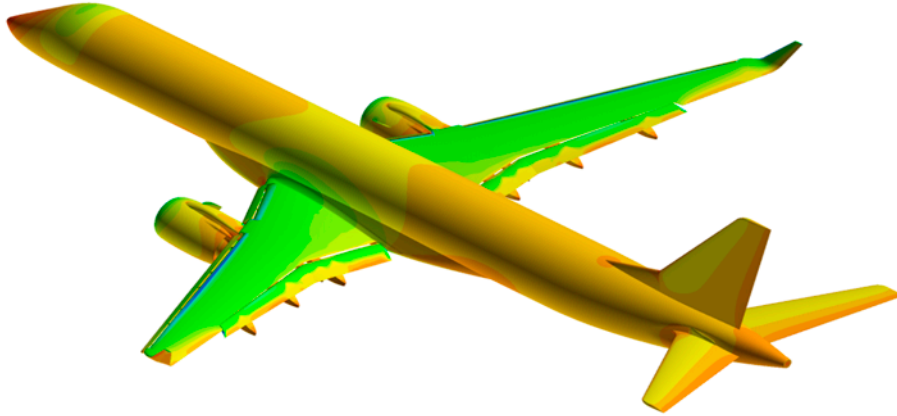


図 1: 全機高揚力装置展開形状の空力解析例 (物体表面 Cp 分布)

## ● 成果の公表

-査読付き論文

- 1) 伊藤靖, "飛翔に対する空力 CFD 解析," 日本航空宇宙学会誌, Vol. 68, 2020 年 6 月, pp. 188-193, DOI: 10.14822/kjsass.68.6\_188.
- 2) 坂井玲太郎, 横川譲, 伊藤靖, 村山光宏, 高石武久, 有蘭仁, "飛翔低騒音化改造プロセスと飛行性能影響解析," 日本航空宇宙学会誌, Vol. 68, 2020 年 12 月, pp. 352-357, DOI: 10.14822/kjsass.68.12\_352.
- 3) 山本一臣, 少路宏和, 高石武久, 横川譲, 村山光宏, 伊藤靖, 坂井玲太郎, 有蘭仁, 浦弘樹, 香西政孝, 葉山賢司, 越智章生, 磯谷和秀, 上野陽亮, 土本雄大, 熊田俊行, 島田彰久, 林賢亮, "機体騒音低減技術の飛行実証 (FQUROH 飛翔フェーズ)," 日本航空宇宙学会誌, Vol. 69, 2021 年 2 月, pp. 49-51, DOI: 10.14822/kjsass.69.2\_49.

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	216
1 ケースあたりの経過時間	40 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.59

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	3,583,387.74	0.68
SORA-PP	2,907.97	0.02
SORA-LM	11.10	0.01
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	48.66	0.04
/data	6,519.05	0.13
/ltmp	1,552.32	0.13

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	280.06	9.27

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.60

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 (%)
TOKI-SORA	3,274,312.53	0.70
TOKI-RURI	63.48	0.00
TOKI-TRURI	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	73.05	0.05
/data	8,449.02	0.14
/ssd	101.63	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	280.06	9.27

※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

## 機体騒音低減技術の研究開発(FQUROH+)低騒音化設計研究

報告書番号：R20JDA101R21

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14539/>

### ● 責任者

牧野好和，航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

高石 武久，航空技術部門 航空システム研究ユニット 機体騒音低減技術の研究開発（FQUROH+）チーム(takaishi.takehisa@jaxa.jp)

### ● メンバ

高石 武久，村山 光宏，伊藤 靖，坂井 玲太郎，山本 一臣，平井 亨，田中 健太郎，雨宮 和久，中野 彦，石田 崇

### ● 事業概要

航空機の高揚力装置及び降着装置から発生する機体騒音を低減する技術は，空港周辺地域の騒音低減を実現するために国際的にも注目されている．本研究は，機体騒音低騒音化の技術成熟度を将来の旅客機開発ならびに装備品開発に適用可能な段階にまで高めることを目的とした FQUROH+事業の一環として実施している．最終的には本研究により，国内航空産業界における国際競争力強化に貢献するとともに，空港周辺地域社会における騒音被害，エアラインの運航コスト（着陸料）の軽減に貢献する．FQUROH+事業では実用的な低騒音化コンセプトと先進的な数値解析技術を基礎にした低騒音化設計法の実現可能性を検証することを目的の一つとしている．本事業コードでは，スパコンを用いて主に Large/Detached Eddy Simulation (LES/DES) による先進的な大規模数値解析を実施し，騒音発生源の詳細把握や騒音予測，低騒音化デバイスの形状設計を行った．

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/fquroh/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

FQUROH+事業は，機体騒音低騒音化という課題に対し，スパコン利用を前提として，最新の数値解析技術を用いた低騒音化設計を積極的に活用することにより技術成熟を加速し，フィデリティの高い設計技術開発を飛行試験によりデモンストレーションすることを目的としている．スパコンを利用した大規模かつ高忠実度な数値解析により，風洞試験のみでは困難な，詳細な物理現象の把握を基礎にした低騒音化設計を行うことが可能となる．

## ● 今年度の成果

旅客機着陸時の機体騒音の主音源のひとつであり、旅客機翼の前縁側高揚力装置であるスラットに対して、解析を通じてスラット周りの流れの特徴と騒音発生メカニズムを把握した。高解像度格子で詳細な流れ場を捉えるため、旅客機主翼から代表的な断面での翼部分形状を取り出し、過去の研究より騒音源であることが判っているスラット支持装置の影響も含めて、非定常流れ解析と騒音評価を実施した(図1)。得られた知見に基づいてスラット低騒音化コンセプトを提案し、低騒音化デバイスの形状設計を行った。

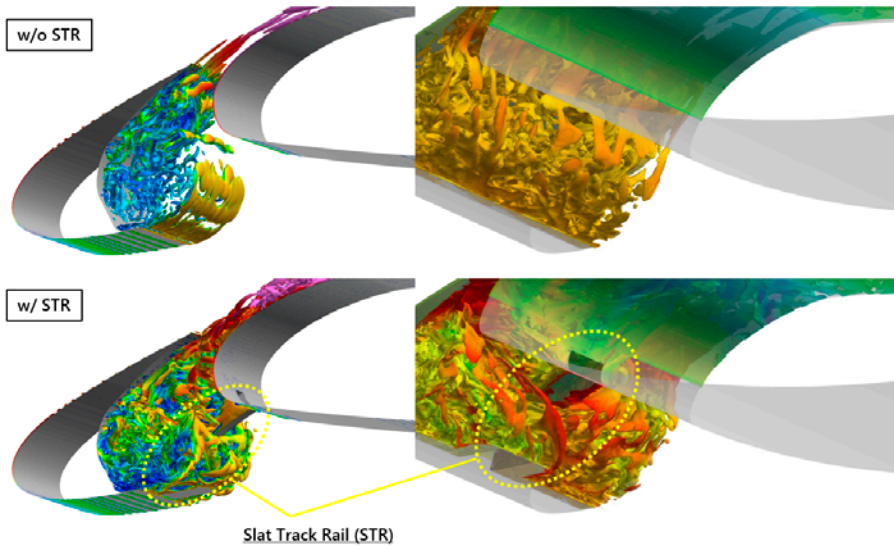


図1: 翼部分形状における支持装置を含むスラット周りの非定常流れ解析  
(Q等値面をマッハ数(左)および密度(右)でそれぞれ色付け)

## ● 成果の公表

-査読付き論文

1) 山本一臣, 少路宏和, 高石武久, 横川譲, 村山光宏, 伊藤靖, 坂井玲太郎, 有菌仁, 浦弘樹, 香西政孝, 葉山賢司, 越智章生, 磯谷和秀, 上野陽亮, 土本雄大, 熊田俊行, 島田彰久, 林賢亮, "機体騒音低減技術の飛行実証 (FQUROH 飛翔フェーズ)," 日本航空宇宙学会誌, Vol. 69, 2021年2月, pp. 49-51, DOI: 10.14822/kjsass.69.2\_49.

## ● 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	1728 - 3456
1 ケースあたりの経過時間	130 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.81

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	4,527,735.40	0.86
SORA-PP	85,621.17	0.67
SORA-LM	6,249.90	3.67
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	48.66	0.04
/data	15,308.11	0.30
/tmp	1,552.32	0.13

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	280.06	9.27

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	16.07	0.00
TOKI-RURI	184.68	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	73.05	0.05
/data	17,238.08	0.29
/ssd	101.63	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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	280.06	9.27

※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

## 機体動揺低減技術の飛行実証

報告書番号：R20JDA102H00

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14549/

## ● 責任者

神田敦, 航空技術部門次世代航空イノベーションハブ

## ● 問い合わせ先

牧 緑(maki.midori@jaxa.jp)

## ● メンバ

菱田 学, 牧 緑

## ● 事業概要

ドップラーライダーを用いた機体動揺低減制御技術の飛行実証を行う。実証機の空力特性データベースを作成するために CFD 解析を実施した。

## ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

用途:飛行運動シミュレーション用空気力モデルの構築

便益:高い信頼性

## ● 今年度の成果

CFD 解析との比較により、圧縮性効果を加味した 3D パネル法の妥当性を評価した。

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	128
1 ケースあたりの経過時間	7.5 時間



## ● JSS2 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	29,316.02	0.01
SORA-PP	25.84	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	3.13	0.00
/data	721.39	0.01
/tmp	627.79	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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	2,900.69	0.00
TOKI-RURI	22.24	0.00
TOKI-TRURI	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	3.34	0.00
/data	911.63	0.02
/ssd	32.51	0.02

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

## 共同研究:遷音速用第 2 制限関数による高解像度・高効率 CFD 手法

報告書番号：R20JDA201N10

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14571/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

北村圭一(kitamura@ynu.ac.jp)

### ● メンバ

橋本 敦, 北村 圭一, 金森 正史, 川島 勇斗, 古澤 善克, 山口 拓真, 筒井 史也, 安村 祐哉, 間々下 智広, 柿崎 一樹, 本木 翔吾, 岡山 清風, 栗原 啓和, 牧野 楓, 石戸 大智

### ● 事業概要

低速バフエット条件における航空機全機周りの高解像 Delayed DES を実施した。この計算例は、世界的に実験データと一致する結果を得難い事が知られている。本研究では、非粘性流束の散逸を小さくし、格子依存かつ非定常な数値振動を制御する非定常前処理関数を新たに導入した。そしてその効果を数値実験により確認した。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

1) 本研究では航空機全機周りの大規模非定常 CFD を行っており、スパコンが必須である。2) 同時に本研究では新しい流体計算法の提案を行うため、提案手法が様々な空力問題に対し妥当な解を与える事を確認する必要がある。この際にも多くの計算ケースを効率良く実行するためにスパコンが必要である。

### ● 今年度の成果

昨年まで行っていた計算ケースでは、高解像度化された HR-SLAU2 で数値振動が生じるという課題があった。それに対して、時間刻みや時間平均区間の検証を行うことで数値振動を抑制させることができた。また最適な時間刻みや時間平均区間を用いることで、計算で得られる空力係数が実験値と近づくことも確認することができた。さらに乱流モデルと数値流束関数による影響を調査し、高解像度化された HR-DDES と HR-SLAU2 を組み合わせることで、従来と比べて空力係数が実験値に近づくことが明らかになった。

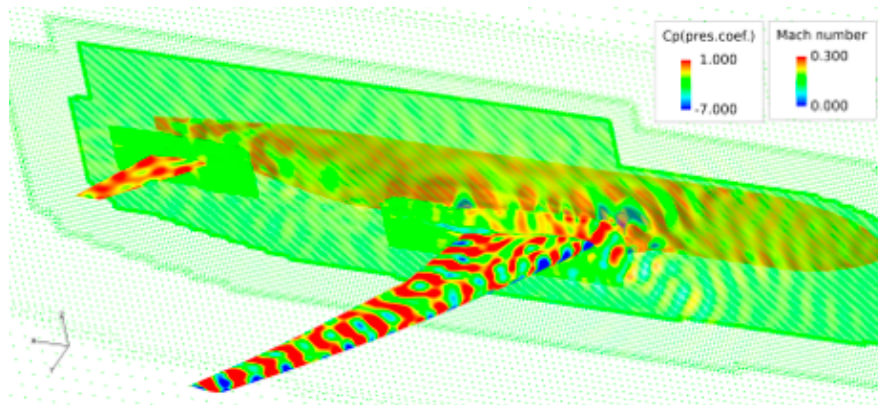


図 1: 時間刻みと時間平均検証前(数値振動発生)

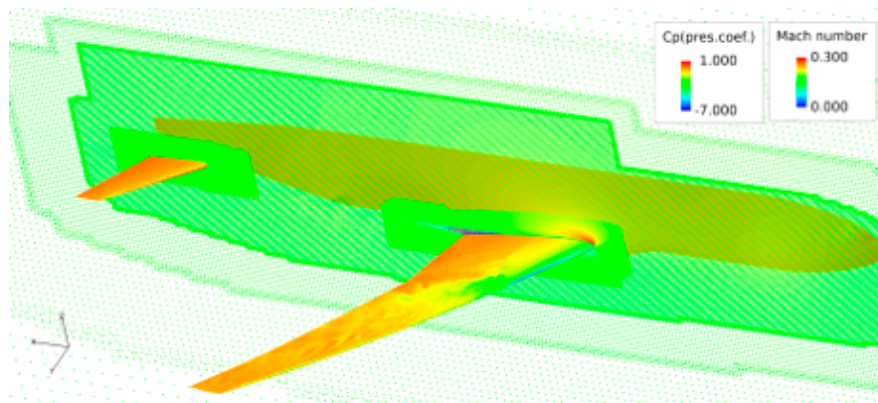


図 2: 時間刻みと時間平均検証後(数値振動抑制)

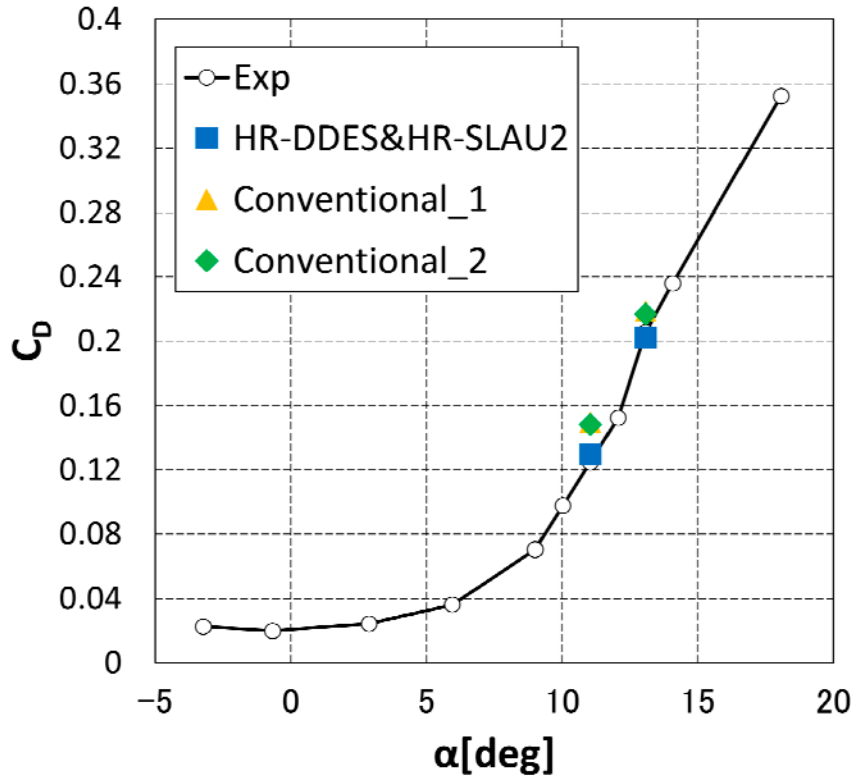


図 3: CD における従来法と提案手法の比較

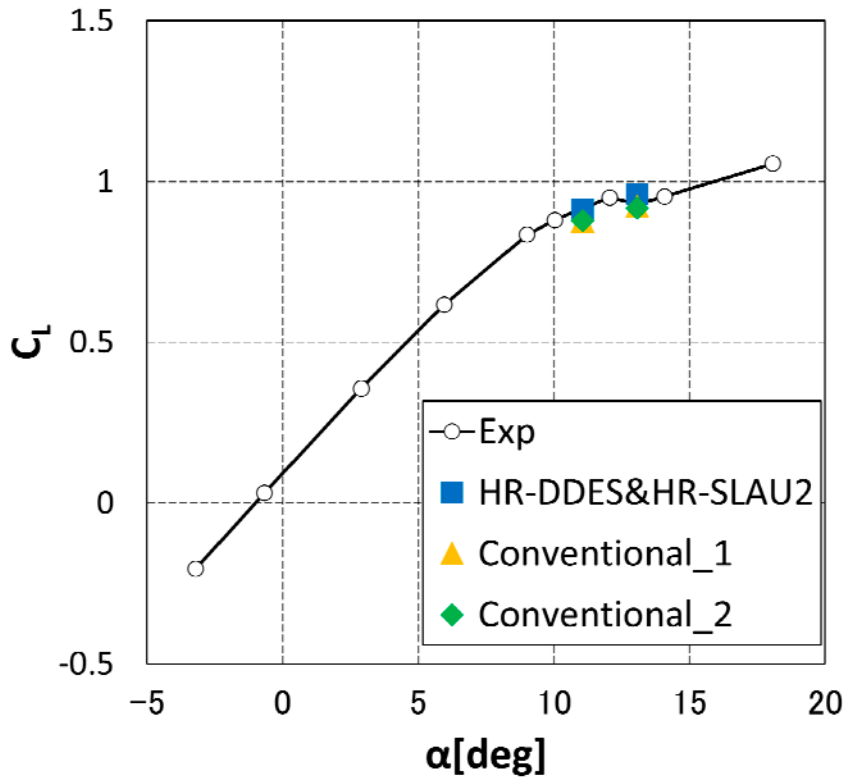


図 4: CL における従来法と提案手法の比較

## ● 成果の公表

-口頭発表

北村圭一, 安村祐哉(横国大), 金森正史, 橋本敦(JAXA) : NASA CRM 低速バフェットの非定常流体解析における計算手法の影響と今後の展望, 流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン, 1A11, 2020年9月28日

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	512
1 ケースあたりの経過時間	50 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.74

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	2,650,599.28	0.50
SORA-PP	137,994.14	1.08
SORA-LM	926.36	0.54
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	3,503.59	3.21
/data	149,276.44	2.88
/ltmp	38,813.73	3.31

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	55.54	1.84

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.27

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 (%)
TOKI-SORA	690,950.83	0.15
TOKI-RURI	56,967.09	0.33
TOKI-TRURI	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	2,393.76	1.64
/data	129,386.72	2.17
/ssd	5,969.85	3.12

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	55.54	1.84

※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

## 共同研究:動安定解析の研究

報告書番号：R20JA3210

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14450/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

小島良実(kojima.yoimi@jaxa.jp)

### ● メンバ

橋本 敦, 石田 崇, 上島 啓司, 吉本 稔, 前田 一郎, 橋 佳宏, 青山 剛史, 保江 かな子, 有蘭 仁, 小島 良実

### ● 事業概要

航空機の動安定特性は、飛行安定性の評価や操縦系・制御系の設計に必要な不可欠な情報である。しかし、テキストブックベースの推算には限界があり、風洞試験にも制約があるため、CFD を用いた動安定解析の実用化が期待されている。本研究では、JAXA で開発されている高速流体ソルバーである FaSTAR を動安定解析に適用し、その精度について検証することを目的とする。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

航空機の動安定解析には多数の定常・非定常数値シミュレーションが必要であり、スーパーコンピュータを活用した解析は、計算時間の大幅な短縮を可能とする。

### ● 今年度の成果

Standard Dynamics Model (SDM) を対象に FaSTAR を用いた定常・非定常解析を行い、動安定微係数の推定を実施した。乱流の計算には RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equation) を用い、乱流モデルには Spalart-Allmaras モデルを用いた。SDM 周辺の流れ場を可視化し(図 1)、解析が正常に実行されていることを確認した。また、推定した動微係数と実験結果を比較した結果(図 2)、FaSTAR による推定は実験結果をよく再現していることが確認できた。



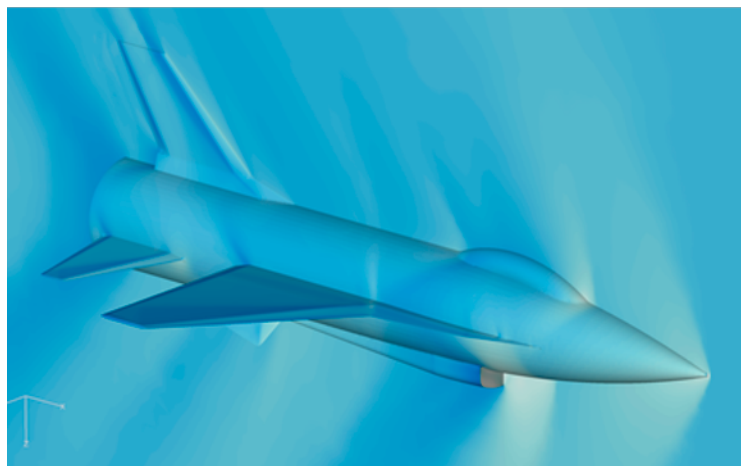


図 1: SDM 周辺の圧力場の可視化結果 (AoA=5 deg., M=1.2)

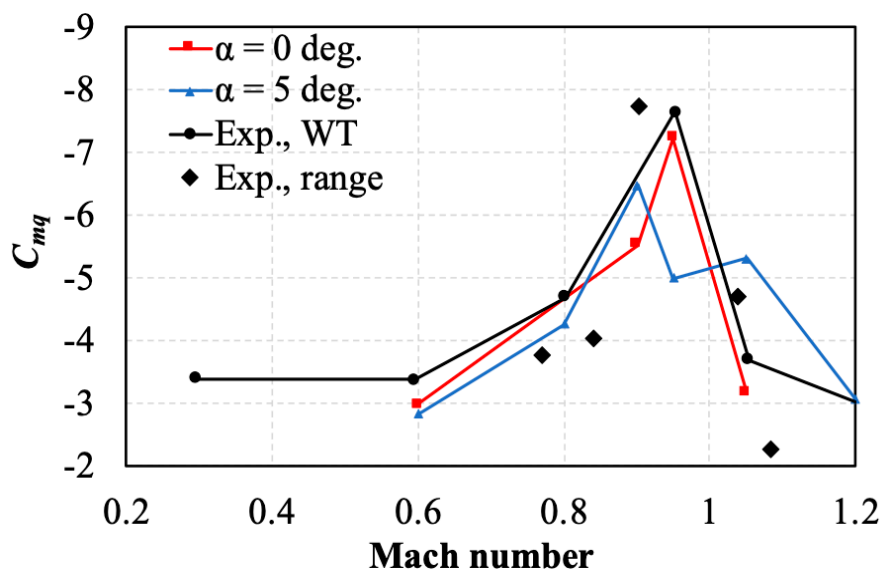


図 2: SDM における動微係数のマッハ数変化

● 成果の公表

なし

● 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	64 - 128
1 ケースあたりの経過時間	144 時間

## ● JSS2 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	67,914.67	0.01
SORA-PP	233.09	0.00
SORA-LM	1,260.59	0.74
SORA-TPP	7,770.90	0.73

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	229.11	0.21
/data	26,650.34	0.51
/ltmp	3,898.22	0.33

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	39.54	1.31

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.13

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	556,500.77	0.12
TOKI-RURI	692.35	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	497.19	0.34
/data	37,902.66	0.64
/ssd	1,161.36	0.61

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	39.54	1.31

※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

## 極超音速推進技術の飛行環境実証

報告書番号：R20JA2121

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14440/

### ● 責任者

石井達哉，航空技術部門推進技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

田口 秀之(taguchi.hideyuki@jaxa.jp)

### ● メンバ

本郷 素行，田口 秀之，田中 寛之，深澤 瑞輝，大木 純一，藤井 愛実，寺尾 崇宏，尾身 興一，吉原 光太郎，伊熊 康二

### ● 事業概要

液体水素燃料を用いた極超音速予冷ターボジェットの推力制御方法と機体/推進統合制御方法を実証する。このため、極超音速機と極超音速エンジンの相互干渉を加味した機体/推進統合制御技術の確立に向けて、極超音速統合制御実験機の制御特性を取得する。また、極超音速実用機の要求仕様を定義するとともに、極超音速予冷ターボジェットの飛行実証を行うための極超音速実験機的设计仕様を提示する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

極超音速実験機の全機空力性能を CFD で取得する場合、計算負荷が大きく、計算時間が長く必要となるため。

### ● 今年度の成果

マッハ 5 クラスの極超音速統合制御実験機(HIMICO)のノーズ形状が及ぶ空力特性の影響を CFD を用いて評価した。(図 1, 図 2, 図 3, 図 4)

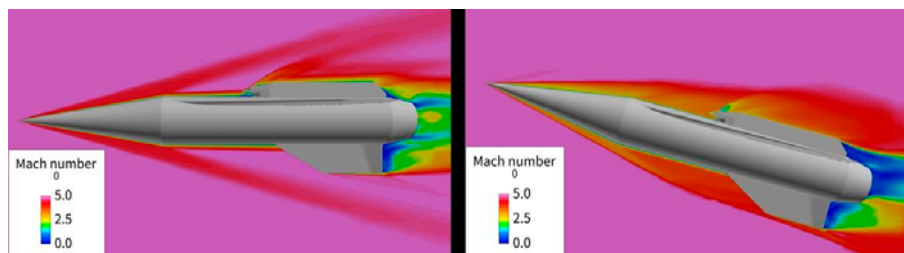


図 1: 極超音速統合制御実験機(円錐ノーズ)のマッハ数分布(マッハ 5, 迎角: 0deg, -15deg)

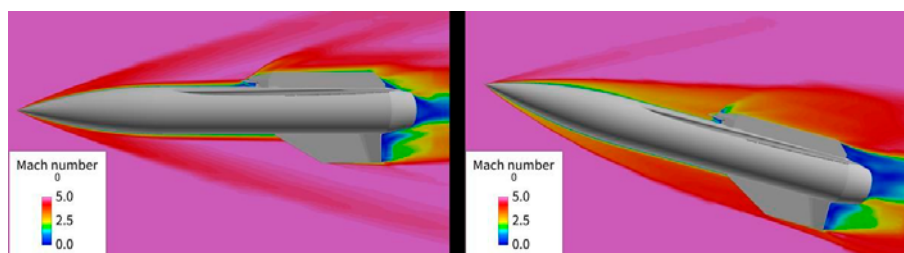


図 2: 極超音速統合制御実験機(オジャイブノーズ)のマッハ数分布(マッハ 5, 迎角: 0deg, -15deg)

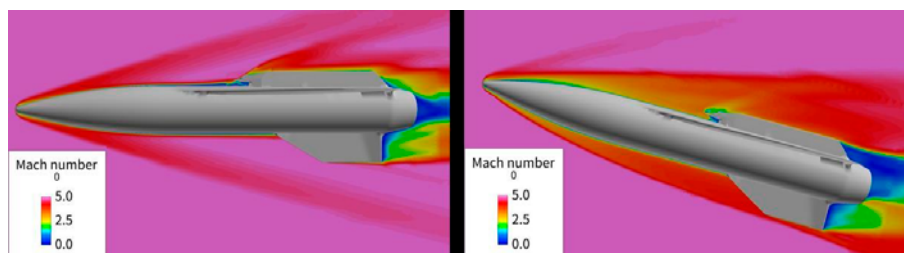


図 3: 極超音速統合制御実験機(パラボリックノーズ)のマッハ数分布(マッハ 5, 迎角: 0deg, -15deg)

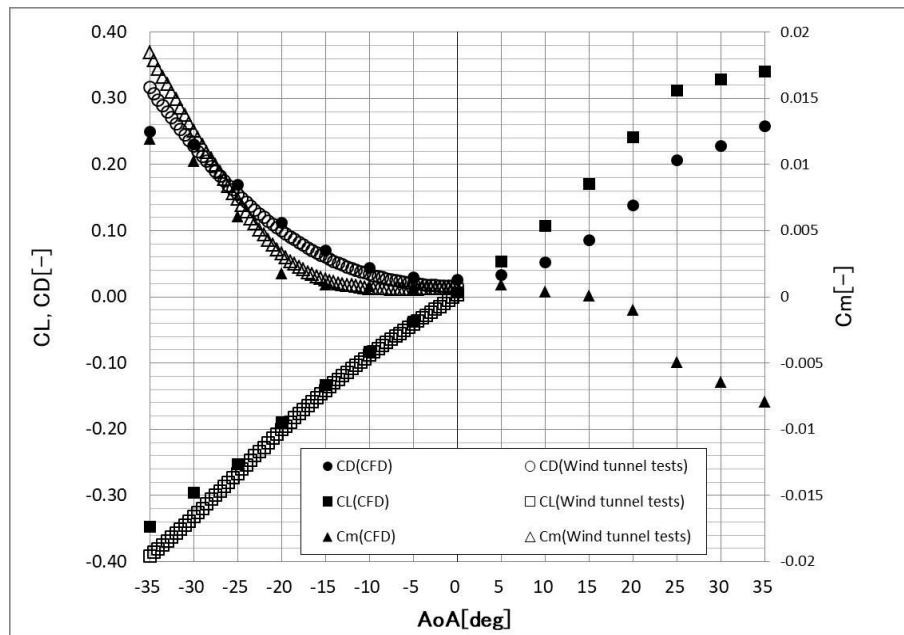


図 4: 極超音速統合制御実験機(オジャイブノーズ)の縦三分力係数の比較 (マッハ 5)

## ● 成果の公表

-査読なし論文

田中寛之, 廣谷智成, 田口秀之, 手塚亜聖, 「極超音速統合制御実験機(HIMICO)のノーズ形状が空力特性に及ぼす影響」, 第 58 回飛行機シンポジウム, 2020.

-口頭発表

田中寛之, 廣谷智成, 田口秀之, 手塚亜聖, 「極超音速統合制御実験機(HIMICO)のノーズ形状が空力特性に及ぼす影響」, 第 58 回飛行機シンポジウム, 2020.

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1 - 2
1 ケースあたりの経過時間	30 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 8.29

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	50,141,303.16	9.49
SORA-PP	13,622.01	0.11
SORA-LM	10,561.36	6.20
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	1,478.20	1.35
/data	44,565.22	0.86
/tmp	15,625.01	1.33

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	2.10	0.07

※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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	25,471.84	0.01
TOKI-RURI	2,592.62	0.01
TOKI-TRURI	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	1,735.69	1.19
/data	50,401.71	0.84
/ssd	1,144.41	0.60

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	2.10	0.07

※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



## 空力モデル構築・比較の効率化

報告書番号：R20JDA201N05

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14568/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット, 上野 真(ueno.makoto@jaxa.jp)

### ● メンバ

上野 真, 鳥井田 浩也, 上野 優子, 山田 健翔, 内山 貴啓, 成岡 優, 二宮 哲次郎

### ● 事業概要

数値シミュレーションの検証に必要な風洞試験及び飛行試験との比較を数理モデルを介して実施することによって効率化することをめざす研究

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

飛行機全機周りの計算を含むため多重並列計算が必須であり, 高速流体計算プログラム FaSTAR も最適化されているため, JSS2 を選択した。

### ● 今年度の成果

ビジネスジェット機形状の飛行試験で推定した空力特性を地上試験結果と比較するために, 数値流体力学(CFD)解析を実施した。具体的には, 飛行試験条件を含む範囲でレイノルズ数, マッハ数, 対気姿勢角, スタビライザ舵角を変化させた大規模な CFD を実施して地上試験と飛行試験の準静的な比較を可能にした。また, この CFD 結果を利用して, 迎角, 速度, 高度を所望の条件に設定して飛行するためのツールを開発中である。

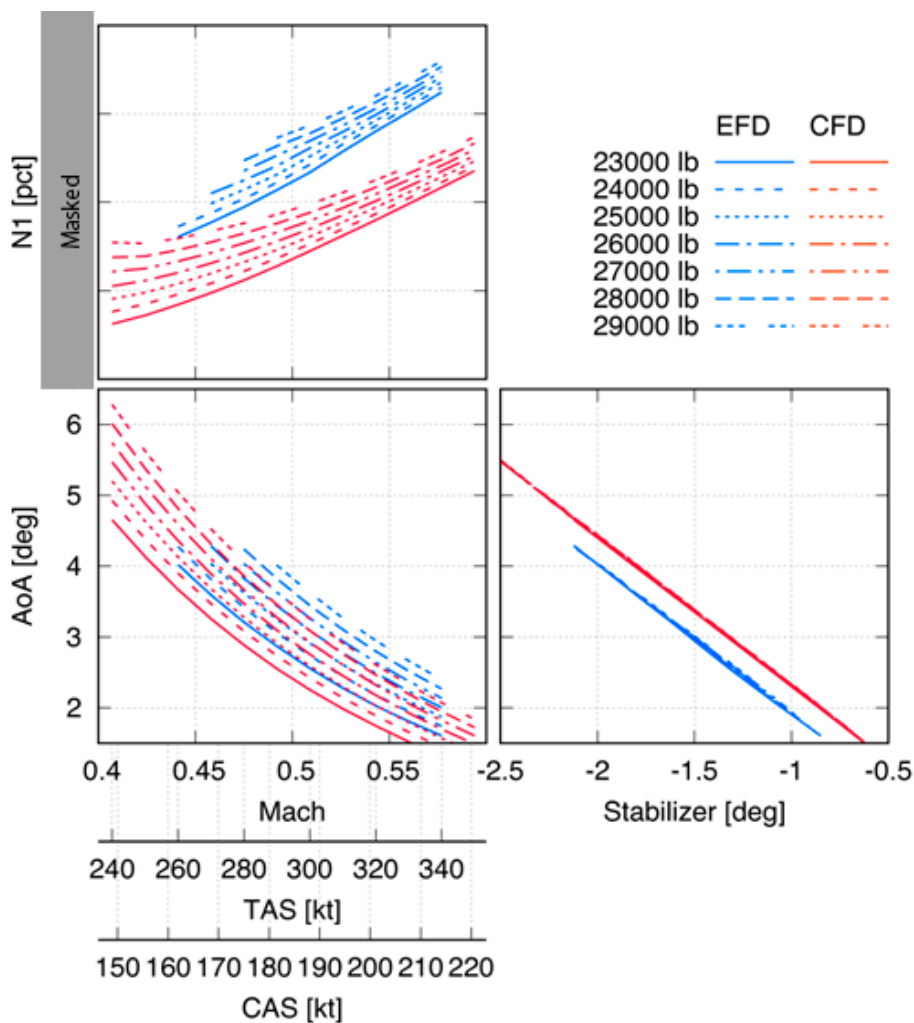


図 1: トリム条件推定ツールの出力例

● 成果の公表

なし

● 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	25
1 ケースあたりの経過時間	12.5 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 1.57

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	9,223,562.00	1.75
SORA-PP	13,787.86	0.11
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	643.89	0.59
/data	103,458.50	2.00
/ltmp	5,335.55	0.45

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	2.40	0.08

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 1.01

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 (%)
TOKI-SORA	5,144,727.60	1.11
TOKI-RURI	167.25	0.00
TOKI-TRURI	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	650.44	0.45
/data	104,622.58	1.75
/ssd	273.58	0.14

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	2.40	0.08

※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

## 空力モデル構築・比較の効率化(間接レイノルズ数効果の調査)

報告書番号：R20JDA201N08

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14570/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

航空技術部門数値解析技術研究ユニット, 上野 真(ueno.makoto@jaxa.jp)

### ● メンバ

山崎 渉, 市橋 大樹, 上野 真

### ● 事業概要

遷音速域で風洞試験模型の境界層を強制遷移させるラフネスと等価と考えられる損失を数値流体力学(CFD)シミュレーションの流れ場で再現する手法を改善するための方策について調査・検討し, 当該手法を適用した CFD シミュレーションで衝撃波が受ける影響から間接レイノルズ数効果への損失の影響を明らかにする。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

飛行機全機周りの計算を含むため多重並列計算が必須であり, 高速流体計算プログラム FaSTAR も最適化されているため, JSS2 を選択した。

### ● 今年度の成果

本研究では C-141 航空機設計において, 大きな問題となった間接レイノルズ数効果(衝撃波位置の顕著な前進)の原因及び物理的要因の解明を目指し, 数値流体解析により検討を行った。風洞試験で用いられるラフネスの効果に着目し Navier-Stokes 方程式のソース項に影響を加える手法を用いることで, 計算コストを抑えながらラフネスの影響を模擬しそれが翼上面の衝撃波位置にどのような影響を与えるのかを C-141 の二次元翼解析及び三次元翼胴モデル解析において検討した。

ソース項の影響領域について, モデル化として理解し易いラフネスの存在位置に影響を与える方法に加えて, 翼表面 Cp 分布の結果が実験データと定性的により良く一致した, 翼前縁境界層部分の広い範囲に影響を与える方法について検討した。

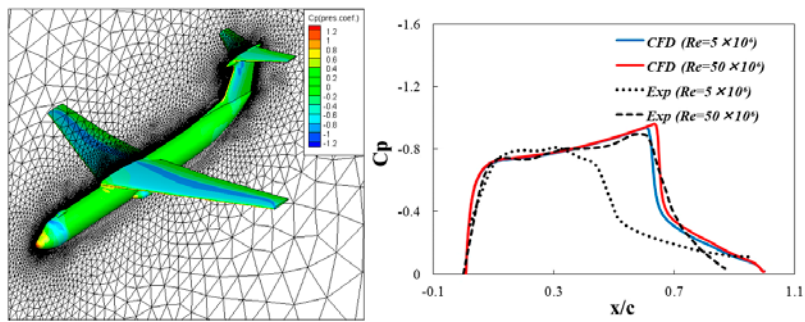


図 1: C-141 全機モデル(左:外観, 右:38.9%翼断面上面側圧力係数分布(ソース項無し))

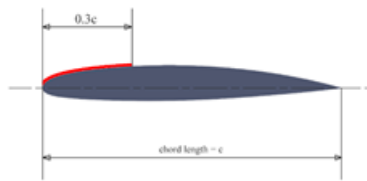


図 2: ソース項影響付加領域

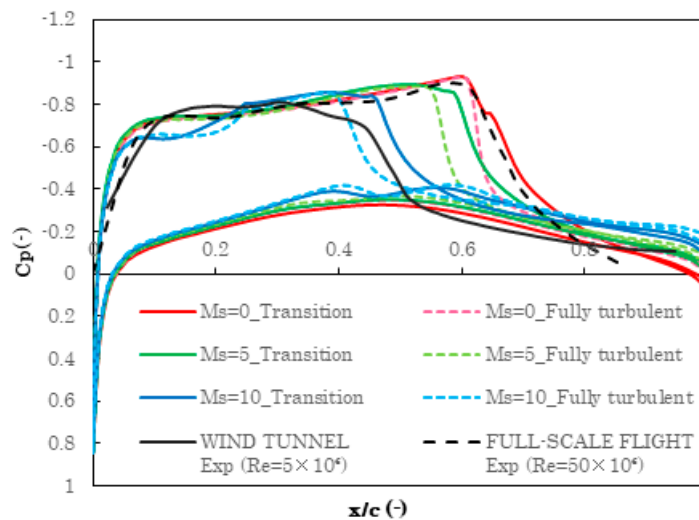


図 3: 38.9%断面における圧力係数分布比較

## ● 成果の公表

-査読なし論文

○市橋 大樹, 山崎 渉, 上野 真, ラフネスの影響を考慮した航空機周りの CFD 解析による間接レイノルズ数効果の検討, 第 38 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2020.

## ● 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	216
1 ケースあたりの経過時間	10 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	31.85	0.00
SORA-PP	73,979.51	0.58
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	19.07	0.02
/data	1,907.35	0.04
/tmp	1,953.13	0.17

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	9.54	0.01
/data	95.37	0.00
/ssd	95.37	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



## 空力構造連成解析技術に関する研究

報告書番号：R20JDA201N02

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14559/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

有蘭 仁(arizono.hitoshi@jaxa.jp)

### ● メンバ

有蘭 仁, 石田 崇, Kheirandish Hamidreza

### ● 事業概要

FaSTAR-Move をベースとした空力弾性解析ツールの開発

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

空力弾性解析は非定常解析が必要で、そのため計算コストが高いため、JSS の利用が必須である。

### ● 今年度の成果

FaSTAR-Move に追加した空力弾性解析機能の検証解析を実施した。

### ● 成果の公表

なし

### ● 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	8 - 64
1 ケースあたりの経過時間	3 時間

## ● JSS2 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	712.17	0.00
SORA-PP	11.00	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	3.11	0.00
/data	6,709.16	0.13
/tmp	625.95	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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	17,726.72	0.00
TOKI-RURI	19.94	0.00
TOKI-TRURI	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	3.31	0.00
/data	6,796.52	0.11
/ssd	32.55	0.02

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

## 現象解明とモデリングにもとづく燃焼器解析システムの研究

報告書番号：R20JDA201N06

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14569/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

溝渕泰寛(mizo@chofu.jaxa.jp)

### ● メンバ

菱田 学, 南部 太介, 八百 寛樹, 安田 章悟, 溝渕 泰寛, 阿部 浩幸, 岡部 荘志, 松山 新吾, 本江 幹朗, 内山 和哉, 志村 啓, 大西 陽一, 小川 哲司, 桑原 匠史

### ● 事業概要

詳細シミュレーションによる現象理解とモデリングにより設計に適用可能な燃焼器解析技術を取得する。

参考 URL: <http://www.aero.jaxa.jp/research/basic/numerical/comb/index.html>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

当該分野で世界と肩を並べる研究を実施するために必要な計算機資源はスパコンでしか得られない。

### ● 今年度の成果

AMM モデルの 2 次非線形渦粘性表現(QCR)は, コーナーで弱い 2 次流れを予測する課題があった。この課題に対し, コーナーフローにおける流れ方向平均渦度及びレイノルズ垂直応力の非等方性の重要性を念頭に置き, 平均渦度に関する非線形項を追加することで QCR を改良した。図 1 は流れ方向平均渦度の分布であるが, 改良後の QCR は, コーナーで強い 2 次渦を再現し, コーナーの壁面せん断応力の予測を, 改良前に比べて約 30%改善(図省略)するとともに, 航空分野で用いられる SA モデルの QCR の予測を上回る(優位性がある)結果を得た。

気液二相流解析ソルバに蒸発モデルを実装し, 蒸発を含む気液二相流詳細解析を実現した。また, 微小重力下で実施された単一液滴の蒸発試験との比較により, ソルバの妥当性を明らかにした。

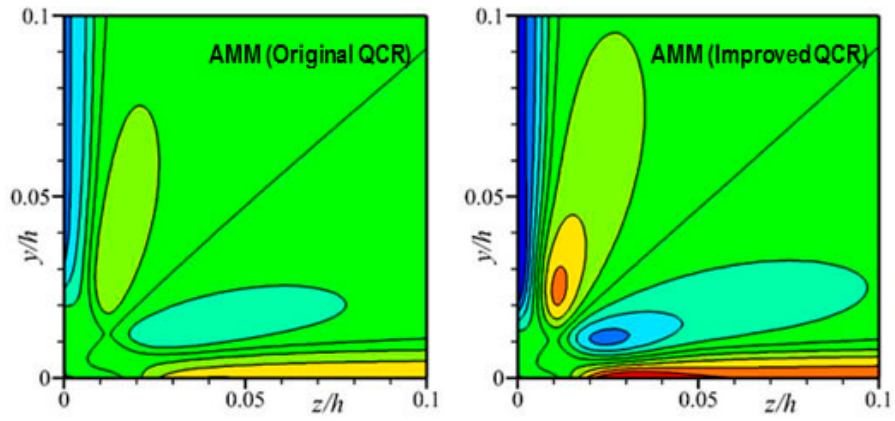


図 1: コーナーフローの予測結果 (流れ方向平均温度の分布)

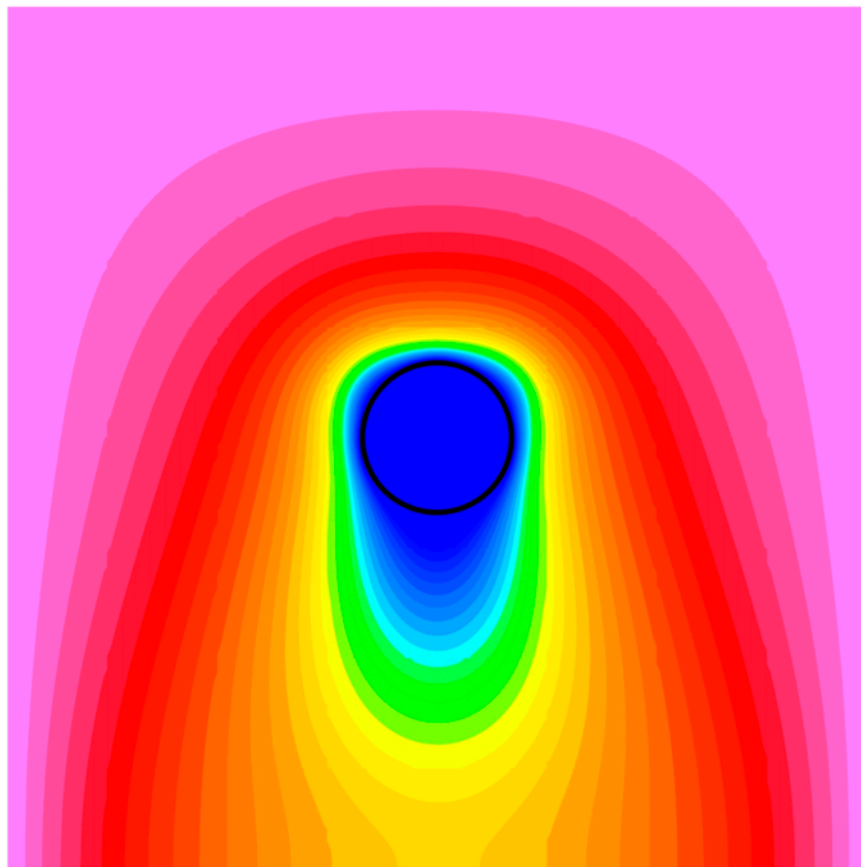


図 2: 微小重力下における, 蒸発液滴内外の温度分布

## ● 成果の公表

### -査読付き論文

- 1) H. Abe, "Direct numerical simulation of a non-equilibrium three-dimensional turbulent boundary layer over a flat plate," J. Fluid Mech., Vol. 902, A20 (2020).
- 2) Nambu, T., Mizobuchi, Y., "Detailed numerical simulation of primary atomization by crossflow under gas turbine engine combustor conditions," Proceedings of the Combustion Institute Vol. 38 (2021).
- 3) Spalart, P.R. and Abe, H., "Some properties of wall-bounded turbulence, deduced from direct numerical simulations," Physical Review Fluids (2021).

### -招待講演

溝渕泰寛, 数値実験による燃焼流れの理解, 第58回燃焼シンポジウム, 2020.

### -口頭発表

- 1) 阿部 浩幸, 溝渕 泰寛, 松尾 裕一, "非線形渦粘性モデルを用いたコーナーフローの予測," 日本流体力学会 年会 2020.
- 2) Abe, H., Mizobuchi, Y., Matsuo, Y., "Effect of a Quadratic Constitutive Relation on Juncture Flow Computations," AIAA AVIATION 2020 FORUM, Jun. 15-19, 2020.
- 3) 南部太介, 溝渕泰寛, "Interface-resolved DNS による単一液滴蒸発の数値解析," 第58回燃焼シンポジウム.
- 4) Nambu, T., Mizobuchi, Y., "Detailed numerical simulation of primary atomization by crossflow under gas turbine engine combustor conditions," the 38th International Symposium on Combustion, Jan. 24-29, 2020.

## ● JSS 利用状況

## ● 計算情報

プロセス並列手法	MPI または XPFortran
スレッド並列手法	OpenMP
プロセス並列数	1 - 512
1 ケースあたりの経過時間	2000 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 6.15

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	37,262,414.02	7.05
SORA-PP	19,282.63	0.15
SORA-LM	3,281.65	1.93
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	1,734.78	1.59
/data	37,629.75	0.73
/tmp	7,369.06	0.63

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	51.21	1.70

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 2.99

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 (%)
TOKI-SORA	16,092,487.29	3.46
TOKI-RURI	28,379.91	0.16
TOKI-TRURI	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	2,357.10	1.62
/data	60,042.20	1.01
/ssd	2,833.73	1.48

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	51.21	1.70

※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



## 構造・複合材技術に関する研究

報告書番号：R20JA1601

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14431/

### ● 責任者

中村俊哉, 航空技術部門構造・複合材技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

青木雄一郎(aoki.yuichiro@jaxa.jp)

### ● メンバ

青木 雄一郎, 笠原 利行, 河邊 拓樹

### ● 事業概要

本研究の目的は、AFP(Automated Fiber Placement)により製造された CFRP 積層板中に生じる Gap/Overlap 等の製造欠陥が強度に与える影響を明らかにすることである。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

CFRP 積層板中の製造欠陥を適切に評価するためには、各層を高精度にモデル化する必要があるが、局所的な応力集中による局所的な大変形等の幾何学的な非線形性も考慮する必要があることから解析結果を得られるまでの時間が長期化する傾向がある。したがって、JAXA スパコンによる並列計算を活用することで、解析時間を短縮し、研究を効率的に推進する。

### ● 今年度の成果

AFP 積層による製造欠陥の一つであるギャップを有した CFRP 積層板(図 1)を忠実に有限要素モデル化し(図 2)、有限要素解析を実施した。解析結果を理論解と比較することで、自由縁のギャップ端に高い応力集中の発生と強度低下の可能性を示し、以下の知見を得た。

1. ギャップと荷重方向が傾いている場合、ギャップ端で繊維方向応力が大きくなる(図 3)
2. ギャップ部両側面に層の厚さが次第に減じていくテーパの存在により応力集中は緩和される(図 4)

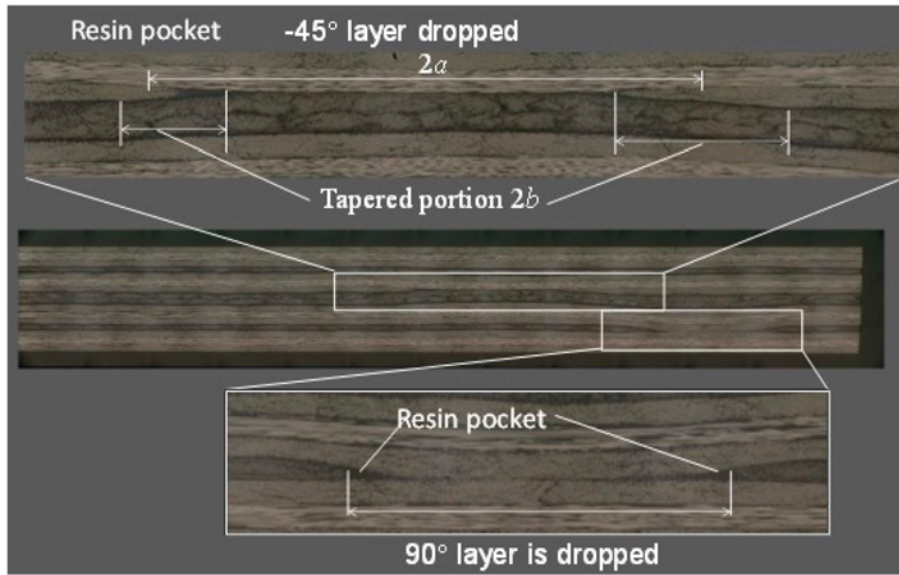


図 1: ギャップを有する積層板の断面観察結果

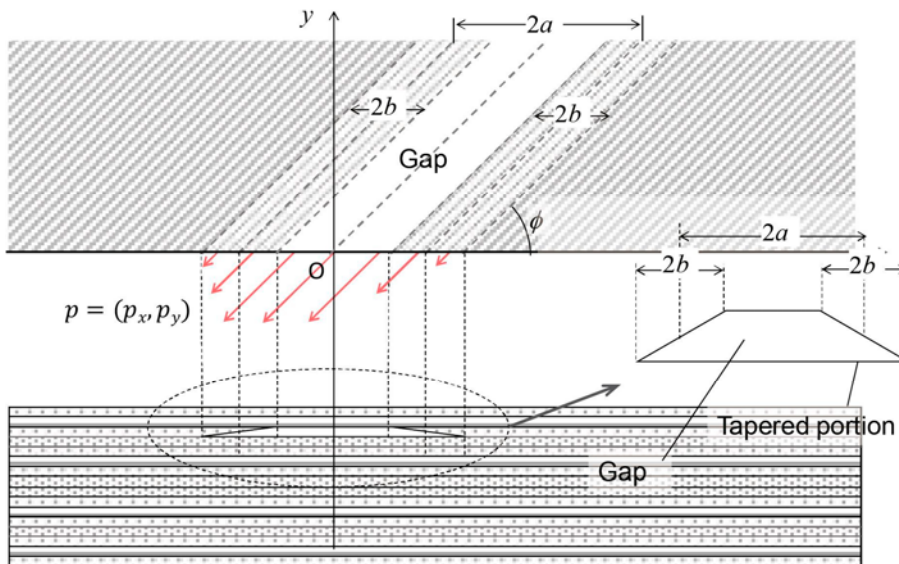


図 2: ギャップ部の解析モデル概要

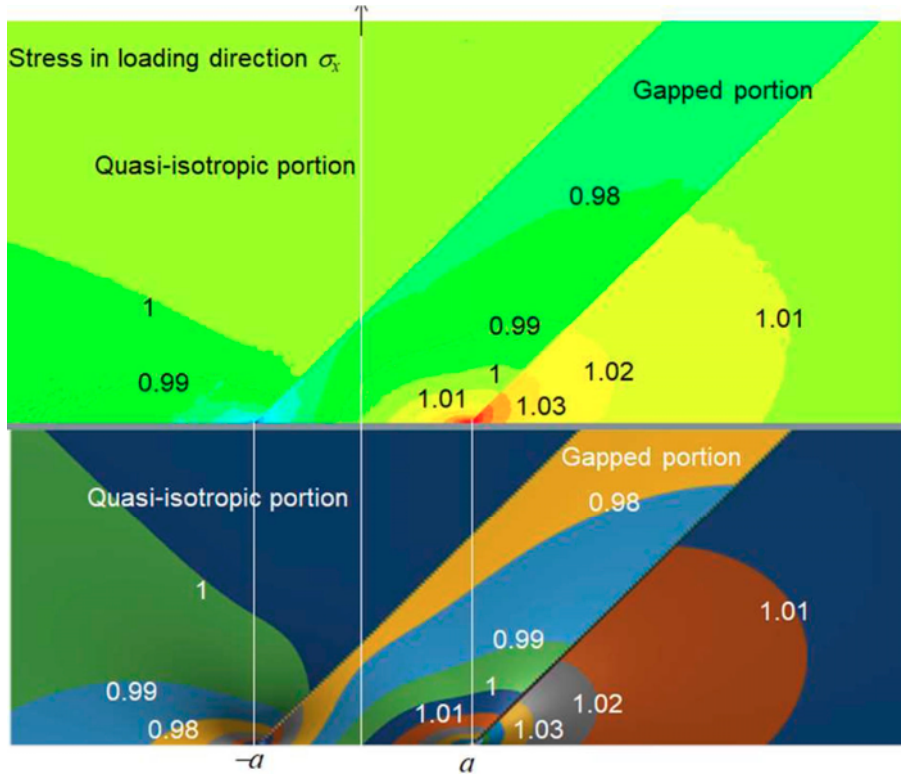


図 3: 端部付近の応力  $\sigma_x$  の比較:有限要素解(A)と理論解(B)

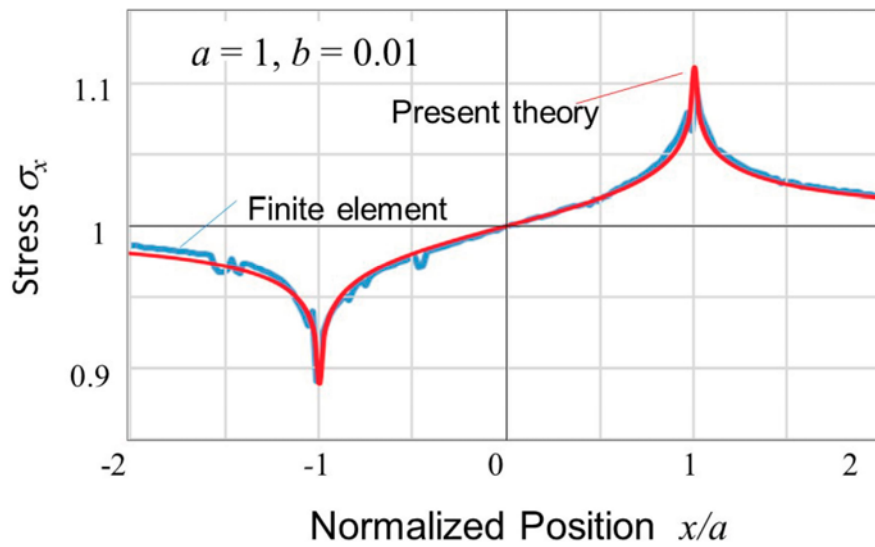


図 4: 端部応力  $\sigma_x$  の変化

● 成果の公表

-口頭発表

末益, 青木, 杉本, 中村, AFP 製複合材料積層板中の Gap に起因する応力集中に関する一考察, 第 12 回日本複合材料会議, 2021 年 3 月, オンライン開催

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	2 - 228
1 ケースあたりの経過時間	10 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	33.10	0.00
SORA-PP	12,986.00	0.10
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	23.84	0.02
/data	49,066.57	0.95
/ltmp	4,882.81	0.42

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	14.31	0.01
/data	48,971.20	0.82
/ssd	143.05	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 <sup>※2</sup> (%)
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

## 航空機開発の高速化を実現する基盤応用技術の研究開発(最適化)

報告書番号：R20JA3202

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14448/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

早川真未(hayakawa.mami@jaxa.jp)

### ● メンバ

石田 崇, 橋本 敦, 金崎 雅博, 吉本 稔, 西村 信祐, 中西 啓, 森田 至宗, 小倉 拓哉, 沢田 恭兵, 小川 哲司, 早川 真未, 小澤 賢翁

### ● 事業概要

JAXA が開発した非構造 CFD コード FaSTAR の高速性を活かした空力最適化ライブラリ Harmonee を開発し, 妥当性および高速性を検証する. 空力最適化の手法としては, 複数の目的関数に対応可能な多目的進化計算アルゴリズムを採用し, 各サンプルの評価関数を直接 CFD で求めて評価値とする直接進化計算について, FaSTAR の高速性を最大限に活用して JSS により実用的な計算時間で実施可能とすることを目指す. そのための基礎プログラムを開発すると共に, JSS を用いた検証計算を実施する.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

進化計算による空力最適化は高忠実な CFD 解析(3次元 RANS 解析)の大量実施が必要となり, 大規模解析が可能なスパコンの活用が必須

### ● 今年度の成果

図 1 に示す 2 目的 2 制約条件の空力最適化問題を設定し, 図 2 に示すようなフローチャートに従って近似関数を用いた最適化モジュールの検証を行った.

- 目的関数 ① CD最小
- 目的関数 ② BMベンディングモーメント最小
- 設計変数 ① キャンバ比
- 設計変数 ② ねじり分布比
- 拘束条件 ①  $Cm_{base} - Cm_{calc} \leq 0$
- 拘束条件 ②  $Tm_{base} - Tm_{calc} \leq 0$

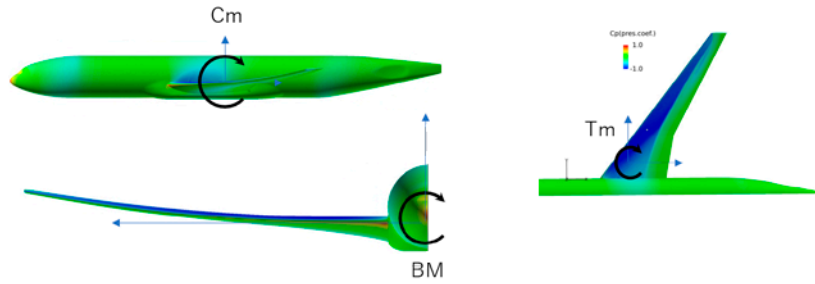


図 1: NASA CRM を対象とする最適化問題

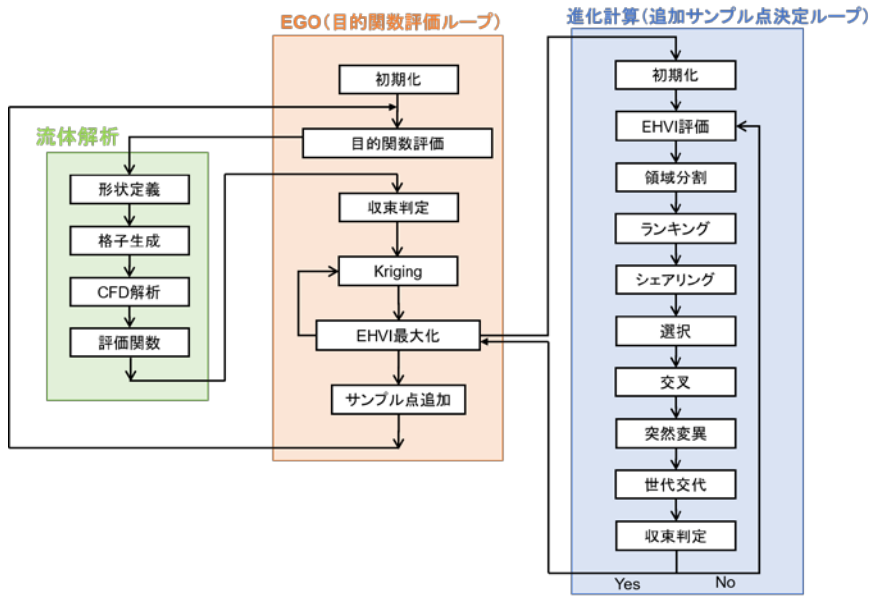


図 2: 近似関数を用いた最適化の流れ

● 成果の公表

なし

● 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	自動並列
プロセス並列数	128
1 ケースあたりの経過時間	2 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.13

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	448,499.84	0.08
SORA-PP	38,128.79	0.30
SORA-LM	492.92	0.29
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	887.85	0.81
/data	60,388.65	1.17
/ltmp	9,546.00	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	0.22	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



## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.13

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	10,831.04	0.00
TOKI-RURI	11,467.42	0.07
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	446.30	0.31
/data	93,768.10	1.57
/ssd	256.28	0.13

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	0.22	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

## 航空用エンジン複雑形状の内部流解析技術向上のための研究

報告書番号：R20JA2120

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14438/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

南部太介, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット (nambu.taisuke@jaxa.jp)

### ● メンバ

榎本 俊治, 賀澤 順一, 橋本 敦, 石田 崇, 牧田 光正, 宇賀神 裕樹, 南部 太介, 上島 啓司, 保江 かな子, 青山 剛史, 林 謙司

### ● 事業概要

非構造格子解析ソルバーFaSTAR-Move を複雑形状を含む航空エンジン内の内部流解析に適用してその検証・評価を行い, 当該プログラムの機能の過不足の確認や, 精度向上のための課題の洗い出しを行う。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

将来的な大規模計算に向けて, 同じ計算環境下での動作確認を行うため。

### ● 今年度の成果

FaSTAR-Move エンジン解析モジュールにおける複雑形状解析機能及び sliding mesh 機能の検証のため, Bar 付きの直線翼列(T106)の解析及び回転翼列(stage37)の解析を実施。実験値や既往研究の解析結果との比較から, 妥当な解析精度であることを確認した。

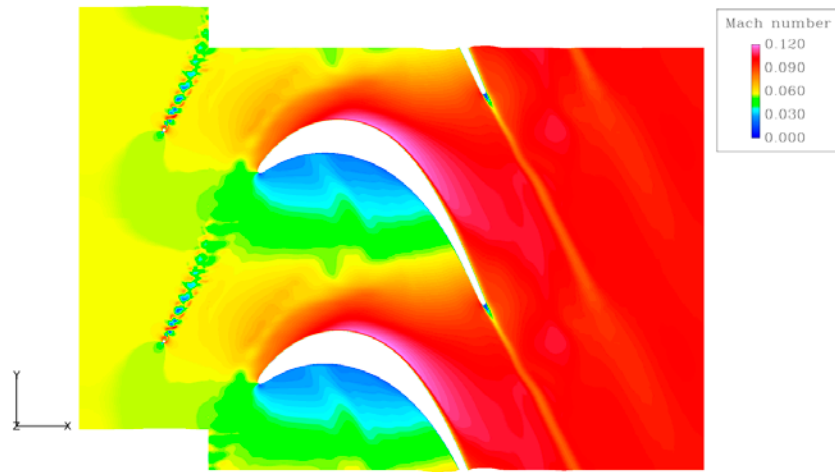


図 1: Bar 付直線翼列(T106)のマッハ数分布

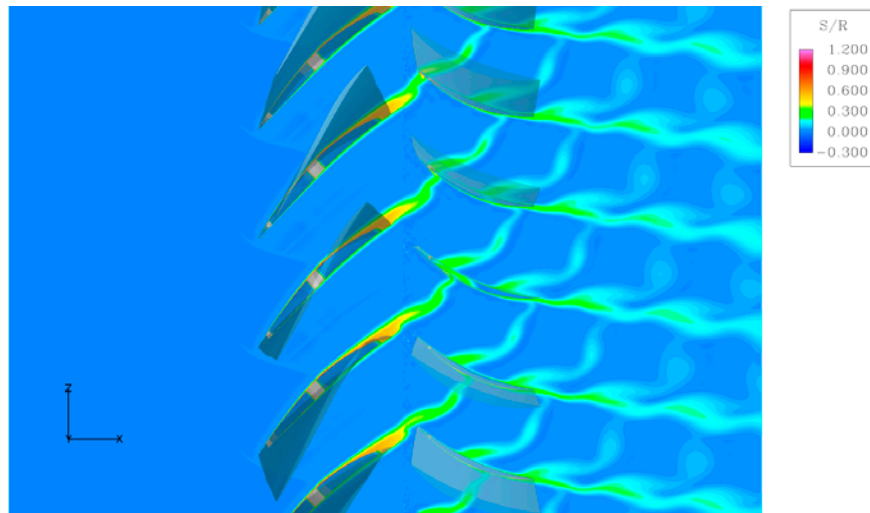


図 2: 回転翼列(Stage37)におけるエントロピー分布図

## ● 成果の公表

-査読なし論文

上島 啓司, 林 謙司, 南部 太介, 保江 かな子

FaSTAR-Move における翼列解析機能の研究開発,

流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン

## ● 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	32 - 768
1 ケースあたりの経過時間	74 時間

## ● JSS2 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	661,746.02	0.13
SORA-PP	76,987.11	0.60
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	146.30	0.13
/data	19,915.53	0.38
/tmp	3,657.51	0.31

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	11.14	0.37

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.17

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 (%)
TOKI-SORA	685,082.84	0.15
TOKI-RURI	31,676.61	0.18
TOKI-TRURI	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	197.36	0.14
/data	28,433.46	0.48
/ssd	1,250.27	0.65

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	11.14	0.37

※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

## 高機能軽量構造研究

報告書番号：R20JDA101S01

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14541/

### ● 責任者

中村俊哉, 航空技術部門構造・複合材技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

有蘭 仁(arizono.hitoshi@jaxa.jp)

### ● メンバ

有蘭 仁, 佐野 洋一, 津島 夏輝

### ● 事業概要

非線形空力弾性解析におけるマルチフィジティ解析

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

高フィジティ解析は計算コストが高いため

### ● 今年度の成果

昨年度開発した忠実度が異なる空力解析手法と構造モデルを連成させるフレームワークを用いて、3D プリント造形による風洞試験模型の設計を行った。

### ● 成果の公表

なし

### ● 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	32 - 64
1 ケースあたりの経過時間	3 時間

## ● JSS2 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	77.40	0.00
SORA-PP	6.54	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	15.50	0.01
/data	154.97	0.00
/tmp	3,173.83	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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	15.67	0.01
/data	156.68	0.00
/ssd	156.68	0.08

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



## 高速回転翼機技術研究

報告書番号：R20JA3304

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14452/

### ● 責任者

牧野好和, 航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

田辺 安忠(tan@chofu.jaxa.jp)

### ● メンバ

田辺 安忠, 菅原 瑛明, 杉浦 正彦, 木村 桂大, 竹川 国之

### ● 事業概要

高速回転翼機の機体コンセプトの一つとしてコンパウンド・ヘリコプタがある。高速飛行を行うコンパウンド・ヘリコプタでは、ブレード前進側の圧縮性を考慮して、通常よりも遅くロータを回転させる。その際、ブレード後退側では、逆流域と呼ばれるブレード後縁側からの主流となる領域が広がる。このような通常とは異なる流れ場でも、ホバリング性能と高速性能を両立できるブレード形状が求められている。本事業では、JAXA で最適化したロータの空力性能を数値シミュレーションで確認することを目的としている。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/star/rotary/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

【理由】多くのシミュレーションケースがあり、効率的に結果を得るために必要。

【利点・便益】メモリを多く必要とする大規模シミュレーションが行え、結果が効率的に得られる。

### ● 今年度の成果

最適化したロータ(ハイミューロータ)の翼端形状について数値シミュレーションを行った。数値シミュレーションは JAXA で開発している回転翼 CFD ツール rFlow3D を用いた。計算格子は移動重合格子法を用いている。図 1 にシミュレーションに用いた格子の様子を示す。重合格子はブレード格子、内側/外側背景格子で構成されている。

空力特性を把握するために、ハイミューロータ 3 種類(ベースライン, 後退角あり, 前進角あり)と既存のヘリコプタロータの翼端部の性能計算を行った。ロータのトリム条件を考慮し、翼端部でのマッハ数と迎角を変化させた。図 2 に実験値と比較した計算例を示す。圧力分布を非常に精度よく計算できていることがわかる。また、図 3 には、表面の流れを可視化した例を示す。表面には剥離に伴う渦が

形成されているが、実験でも同様の現象を確認できた。

本数値シミュレーションにより、総合的に空力性能を比較した結果、後退角を有するハイミューローターが最も性能が高いことがわかった。

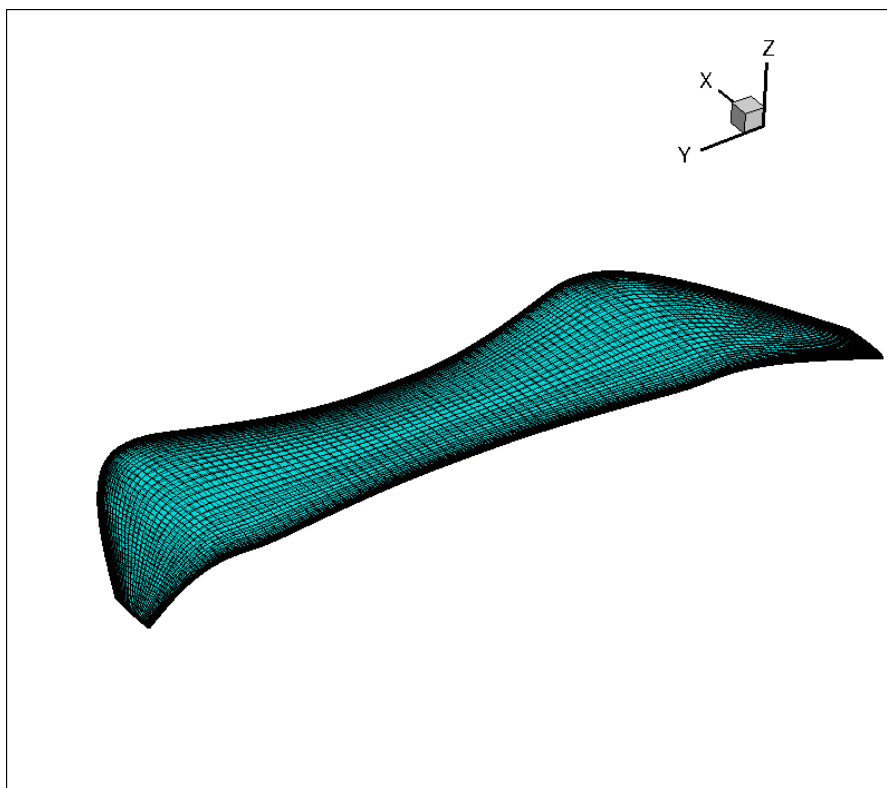


図 1: 計算格子の様子

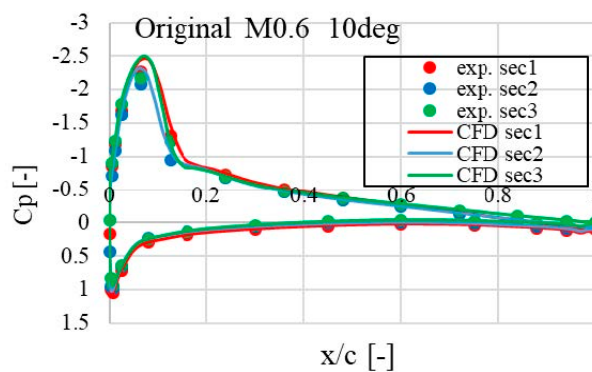


図 2: 圧力分布計算例



図 3: 流れの可視化例

## ● 成果の公表

-口頭発表

「高速複合ヘリコプタ用最適ロータブレードの翼端空力特性」, 杉浦正彦, 小曳昇, 田辺安忠, 菅原瑛明, 木村桂大(JAXA), 竹川国之(菱友システムズ), 第 58 回飛行機シンポジウム(オンライン), 2020 年 11 月 27 日

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	140 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	101,553.56	0.02
SORA-PP	324,001.02	2.54
SORA-LM	65.83	0.04
SORA-TPP	59,698.71	5.63

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	3,603.33	3.30
/data	6,886.43	0.13
/ltmp	955.59	0.08

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	6.24	0.21

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.42

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 (%)
TOKI-SORA	132,577.81	0.03
TOKI-RURI	545,759.93	3.12
TOKI-TRURI	154,024.03	12.41

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	4,602.21	3.15
/data	12,181.43	0.20
/ssd	1,082.17	0.57

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	6.24	0.21

※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

## 再突入カプセル空力試験技術

報告書番号：R20JA1403

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14429/

### ● 責任者

浜本滋，航空技術部門空力技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

藤井啓介(keisuke@chofu.jaxa.jp)

### ● メンバ

高間 良樹，鳥井田 浩也，藤井 啓介

### ● 事業概要

極超音速風洞性能向上を目的とし，極超音速風洞ノズル流の調査・試験方法の整理を行うとともに，防衛装備庁受託役務であるスラスト干渉の予測・評価を行う。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

RCS 回りの干渉場計算や，極超ノズル流解析など大きな計算負荷がかかるため。また FaSTAR などのコードがそろっており，利便性が良いため。

### ● 今年度の成果

JAXA1.27m 極超音速風洞内部の気流の CFD を行った。今年度は格子の影響，乱流モデルの影響を調査した。その結果，ノズル上流の形状が出口の気流の状態に影響を与えること，乱流モデルは SA をしたときに壁温の影響があることが分かった(図 1, 2)。

また風試対応スラスト干渉計算において風洞支持干渉効果，実飛行環境との差異を示す粘性干渉効果を特定し，受託役務報告書としてまとめることができた。

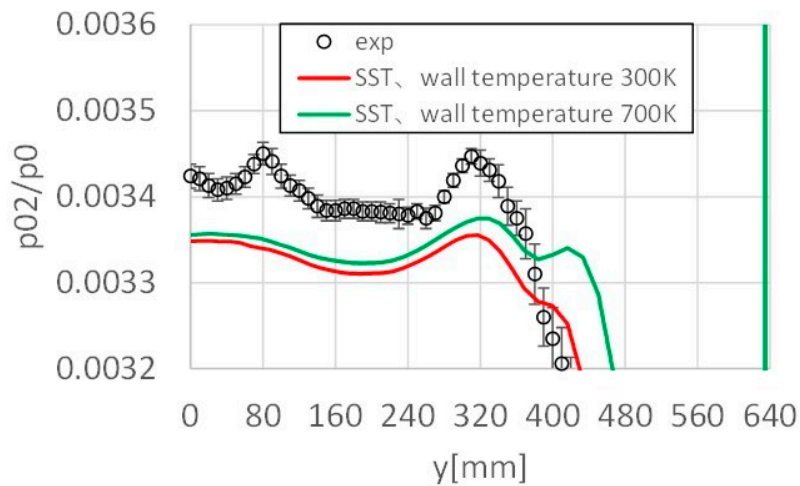


図 1: ノズル出口での  $p_{02}/p_0$ (SST モデル)

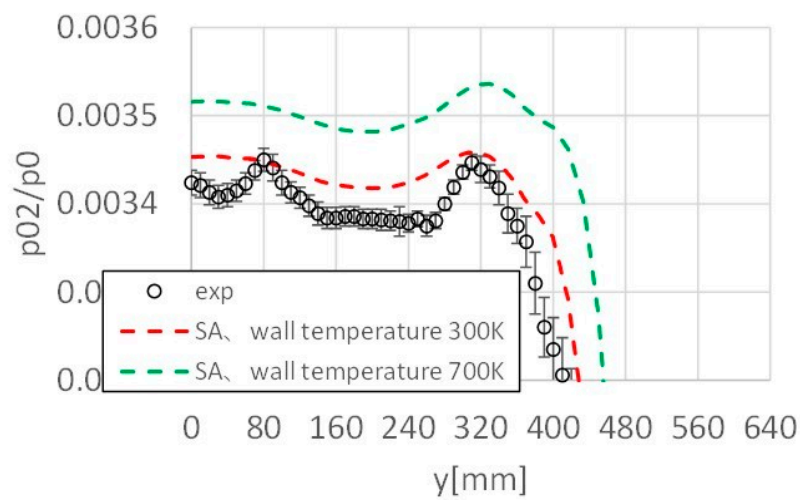


図 2: ノズル出口での  $p_{02}/p_0$ (SA モデル)

● 成果の公表

なし

● 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	32 - 480
1 ケースあたりの経過時間	50 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.10

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	603,677.96	0.11
SORA-PP	2,732.05	0.02
SORA-LM	5.00	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	8.34	0.01
/data	1,884.45	0.04
/ltmp	1,611.33	0.14

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	1.36	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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	1,084,101.36	0.23
TOKI-RURI	1,121.76	0.01
TOKI-TRURI	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	8.34	0.01
/data	1,884.45	0.03
/ssd	78.68	0.04

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	1.36	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



## 次世代ジェットエンジンの設計解析技術開発/高性能圧縮機技術, 性能予測解析

報告書番号：R20JA0711

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14423/

### ● 責任者

石井達哉, 航空技術部門推進技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

航空技術部門推進技術研究ユニット 賀澤順一(kazawa.junichi@jaxa.jp)

### ● メンバ

賀澤 順一, 金山 尚史, 山下 建志

### ● 事業概要

超高バイパス比エンジンに適用する小型コアエンジンに対応して, 相対チップクリアランスの拡大を想定した圧縮機翼の空力性能向上技術と高精度性能推算技術を開発する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

多段圧縮機翼列流れの空力性能予測は計算ケース数が多く, 大規模となるため, JSS でないと現実的な時間で解析できないため。

### ● 今年度の成果

リグ試験形状において, ミキシングプレーンでの流量保存性を向上する機能を用いた検証解析を行った。この機能を用いることで, 試験結果とよく一致する結果を得た。

### ● 成果の公表

なし

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	64 - 128
1 ケースあたりの経過時間	100 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.56

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	2,368,071.22	0.45
SORA-PP	284,164.21	2.23
SORA-LM	98.10	0.06
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	17.14	0.02
/data	11,248.37	0.22
/tmp	3,510.98	0.30

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	2.73	0.09

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 1.07

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	1,677,959.84	9.61
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	22.81	0.02
/data	11,773.96	0.20
/ssd	228.13	0.12

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	2.73	0.09

※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

## 次世代ジェットエンジンの設計解析技術開発/低騒音化技術

報告書番号：R20JA0716

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14427/>

### ● 責任者

石井達哉, 航空技術部門推進技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

榎本俊治(enomoto.shunji@jaxa.jp)

### ● メンバ

榎本 俊治, 石井 達哉

### ● 事業概要

超高バイパス比航空用ジェットエンジンでは、吸音ライナの面積は従来のエンジンに比べて小さい。本事業では、面積が狭い吸音ライナでも高い騒音低減性能をもたらす吸音デバイス技術を開発する。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/dante/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

吸音ライナ形状と入射音周波数を変化させて多数の LES 計算を行うため、JAXA スパコン の計算性能とストレージ容量が必要だった。

### ● 今年度の成果

グレージング流れが有る環境下で吸音ライナの吸音性能を計測するフローダクト試験装置を模擬した、2次元形状で  $M=0.3$  の層流に対して音波を入射する数値計算を行い、JAXA-SP-20-008 に記載した計算手法で吸音ライナの吸音性能を評価した。その例を Fig.1 に示す。ベースライン形状でグレージング流れが無い場合(BL  $M=0$ )と比べ、グレージング流れが有る場合(BL  $M=0.3$ )の吸音率は大幅に低下する。今年度は新たな吸音デバイスの検討を行い、グレージング流れ下に於いても(新デバイス  $M=0.3$ )に示すような吸音性能を示す形状を提案した。この形状に基づいて模型試験を行ったところ、従来の吸音ライナよりも高い吸音性能を示した。

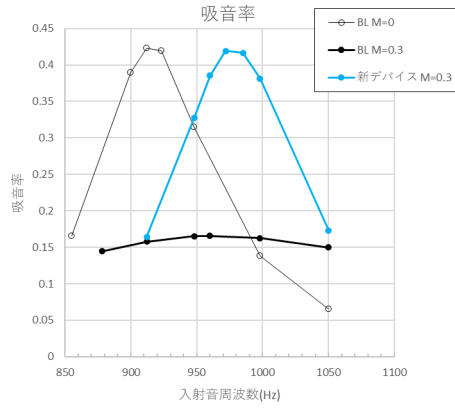


図 1: 吸音率

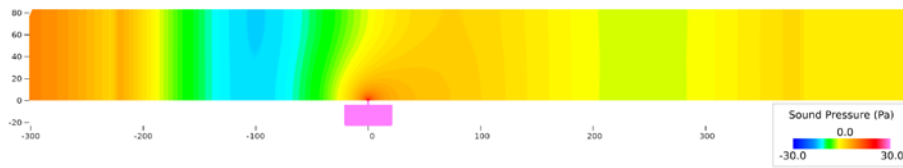


図 2: 音圧の瞬時値の例 (ベースライン形状, グレージング流れ無し)

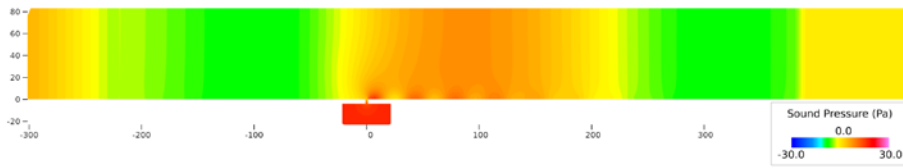


図 3: 音圧の瞬時値の例 (ベースライン形状, グレージング流れ M=0.3)

● 成果の公表

-査読なし論文

- 1) 榎本 俊治, 石井 達哉, グレージング流れを伴う吸音ライナの数值解析による吸音率の評価, 宇宙航空研究開発機構特別資料: 流体力学講演会/航空宇宙数值シミュレーション技術シンポジウム 2020 オンライン論文集, JAXA-SP-20-008

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1 - 144
1 ケースあたりの経過時間	20 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.89

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	972,298.20	0.18
SORA-PP	331,573.43	2.60
SORA-LM	3.73	0.00
SORA-TPP	389,197.57	36.73

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	28.56	0.03
/data	2,002.37	0.04
/ltmp	4,428.52	0.38

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	12.52	0.41

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.40

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	793,350.37	0.17
TOKI-RURI	384,090.71	2.20
TOKI-TRURI	36,852.00	2.97

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 <sup>※2</sup> (%)
/home	13.53	0.01
/data	3,537.44	0.06
/ssd	567.22	0.30

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	12.52	0.41

※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

## 磁力支持空力特性

報告書番号：R20JDA201A03

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14556/>

### ● 責任者

浜本滋，航空技術部門空力技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

杉浦裕樹 JAXA 航空技術部門 空力技術研究ユニット 超音速風洞リーダ(sugiura.hiroki@jaxa.jp)

### ● メンバ

甲斐 大貴，深谷 英彦

### ● 事業概要

将来の航空宇宙機の研究開発に必要な動安定特性を予測する技術基盤を形成する。そのために磁力支持法により，複合運動模擬を行い，横方向の動安定特性を測定する技術を確立する。高迎角非定常運動データの現象解釈とモデル化が研究の目的である。高迎角非線形領域を含め高精度な空力モデル化に成功。応用し計測時間を大幅短縮する動安定試験手法を開発。CFD・PIV 結果を比較し，渦位置など一致は良好。

参考 URL: <https://www.aero.jaxa.jp/research/basic/aerodynamic/magnetic-suspension/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

デルタ翼模型の磁力支持風試データ(静的6分力およびPIV)と比較するため。また強制振動中のデルタ翼模型の6分力時間変化の磁力支持風試データと比較するため。

### ● 今年度の成果

ガウス基底関数の重合せを用いて高迎角非線形域を滑らかに表現，独自項追加した新空力モデルにより，同定結果が改善。高迎角非線形領域を含め高精度な空力モデル化に成功。応用し計測時間を大幅短縮する動安定試験手法を開発。独自画像処理による高速姿勢制御により，振幅・周波数・中心迎角が滑らかに変化する連続振動データが取得可能。連続データ同定により，各点で40周期平均をとらず(従来2時間以上)，4分で動安定微係数テーブル(高精度)を取得(世界初)。支持干渉無しの高精度な動安定試験データ(模型運動に伴う支持干渉大きい従来研究より遥かに実機に近い)。CFD・PIV 結果を比較し，渦位置など一致は良好。



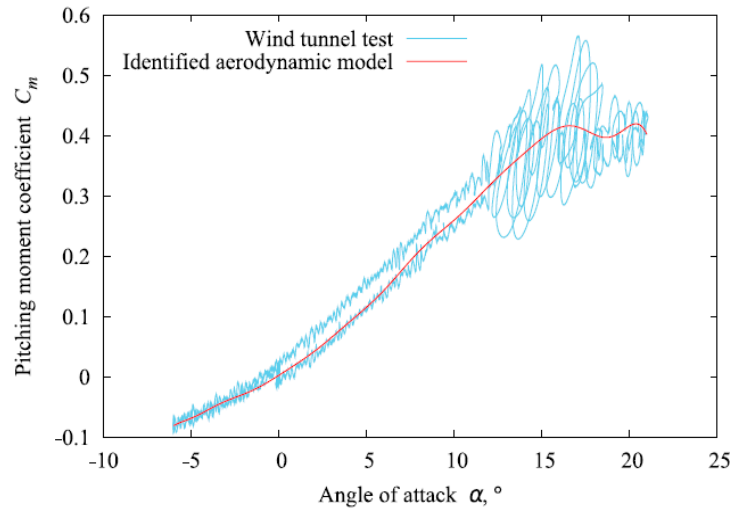


図 1: ピッチングモーメント係数の静的特性

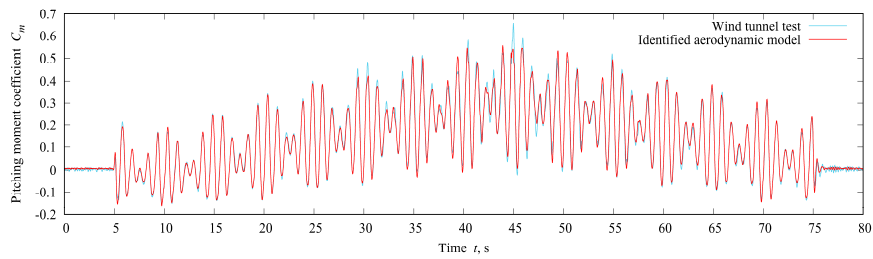


図 2: ピッチングモーメントの時間履歴とモデル同定結果

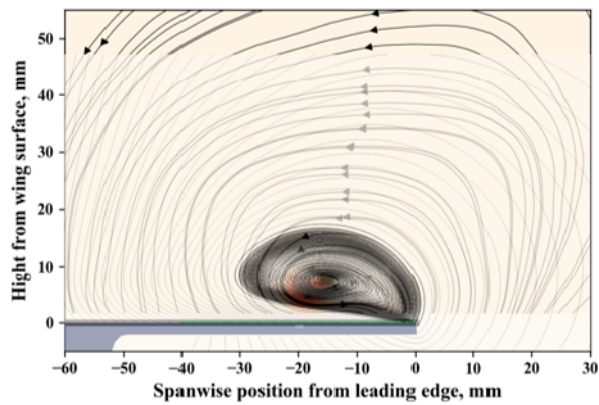


図 3: 強制振動させたデルタ翼模型の翼面に垂直な断面の定常流線の比較:CFD&PIV(迎角 10 度)

● 成果の公表

-査読付き論文

KAI Daiki, SUGIURA Hiroki, TEZUKA Asei, Dynamic Wind Tunnel Testing of a 60° Delta-Wing Model without Support Interference, AIAA Journal

## -査読なし論文

KAI Daiki, SUGIURA Hiroki, TEZUKA Asei, Modeling and Identifying Dynamic Derivatives of a Delta-Wing Aircraft Using Gaussian Basis Functions, AIAA 2021-1425

## -招待講演

SUGIURA Hiroki, KAI Daiki, TEZUKA Asei, Developing a Magnetic Suspension System Capable of Large-Amplitude Dynamic Stability Test of Aircraft over Wide Range of Angle of Attack, AIAA 2021-1760

## -口頭発表

深谷英彦, 甲斐大貴, 杉浦裕樹, 手塚亜聖, 磁力支持によって運動するデルタ翼模型に働くローリングモーメントの回帰分析による同定, 第52回流体力学講演会/数値シミュレーション技術シンポジウム

## ● 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	30 分

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.06

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	329,415.68	0.06
SORA-PP	4.11	0.00
SORA-LM	1,168.17	0.69
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	19.07	0.02
/data	190.73	0.00
/tmp	3,906.25	0.33

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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	23.53	0.00
TOKI-RURI	264.80	0.00
TOKI-TRURI	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	19.07	0.01
/data	190.73	0.00
/ssd	190.73	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

## 実機形状燃料ノズルの性能向上に関する研究

報告書番号：R20JBA30200

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14500/>

### ● 責任者

山根敬, 航空技術部門コアエンジン技術実証(En-Core)プロジェクトチーム

### ● 問い合わせ先

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 コアエンジン技術実証プロジェクトチーム 松浦一哲  
([matsuura.kazuaki@jaxa.jp](mailto:matsuura.kazuaki@jaxa.jp))

### ● メンバ

松浦 一哲, 牧田 光正, 中村 直紀, 飯野 淳, 張 会来, 齋藤 欣也, 坂田 訓彦, 鳥山 温美, 稲川 敬裕, 吉田 彩

### ● 事業概要

実用形状に即した燃料ノズルの気流流れ・燃料微粒化・混合・燃焼計算・熱解析を実施し, その性能向上に資する.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

実用形状に即した燃料ノズルの気流流れ・燃料微粒化・混合・燃焼計算・熱解析を精度よく解析するためには, 大規模なデータベースを使用するフレームレット燃焼解析が必要であり, スパコンの利用は不可避である.

### ● 今年度の成果

下流をチョークさせる形状の燃焼器形態において燃焼振動のテスト計算を行った.

その結果, 特定の周波数での圧力変動が見られた. また, 本ケースでは燃焼器内の広い範囲にわたって 中心軸上の圧力変動 rms 値がほとんど変化しないような結果となった.

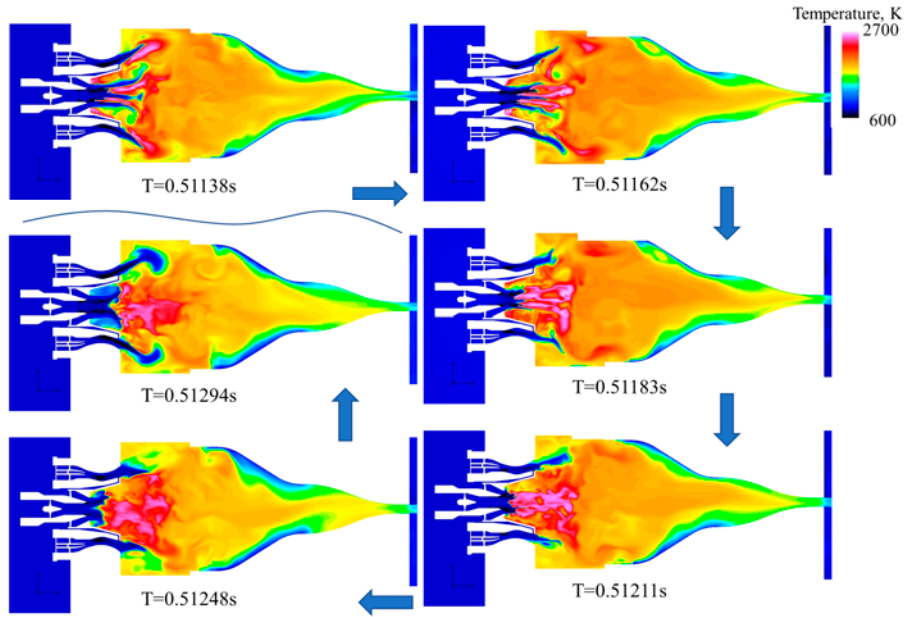


図 1: 温度分布の時間変化(燃焼振動 1 周期分)

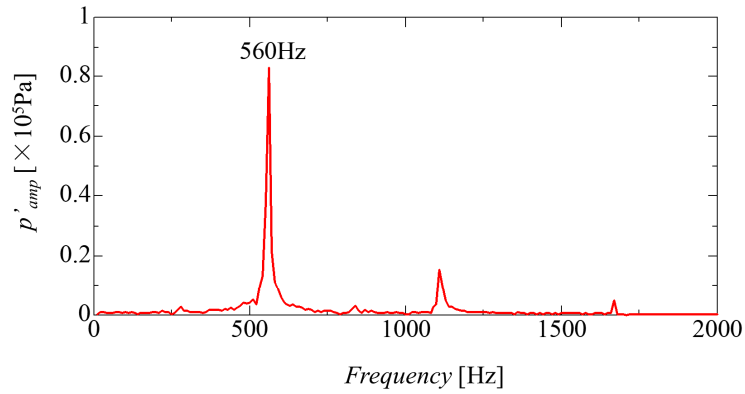


図 2: 圧力変動周波数スペクトル

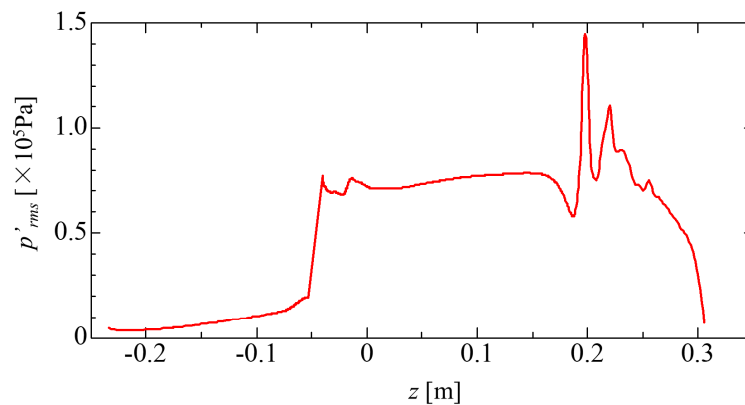


図 3: 中心軸上の圧力変動 rms 値

● 成果の公表

なし

● 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	512
1 ケースあたりの経過時間	119 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 1.70

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	10,025,652.16	1.90
SORA-PP	11,250.51	0.09
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	364.23	0.33
/data	72,003.95	1.39
/ltmp	11,814.93	1.01

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	0.10	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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 1.56

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 (%)
TOKI-SORA	8,060,150.54	1.73
TOKI-RURI	64,742.23	0.37
TOKI-TRURI	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	370.43	0.25
/data	72,235.32	1.21
/ssd	547.68	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	0.10	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

## 受託研究:自動車エンジン燃焼室 3次元 CFD コアソフトの構築

報告書番号：R20JDA201N11

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14576/

### ● 責任者

溝渕泰寛, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

溝渕泰寛 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 航空技術部門(mizo@chofu.jaxa.jp)

### ● メンバ

南部 太介, 八百 寛樹, 安田 章悟, 溝渕 泰寛, 阿部 浩幸, 菱田 学, 藤野 敦志, 大日向 大地, 桑原 匠史, 小池 晋太郎, 本江 幹朗, 志村 啓, 小金井 敏邦

### ● 事業概要

我が国の自動車技術研究者で共有可能なエンジン燃焼解析ソフトを開発し同分野の研究におけるCAE活用促進に寄与する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

大規模並列解析, 大量検証計算

### ● 今年度の成果

動的 AMR(Adaptive Mesh refinement)の導入, 陰解法内部反復収束性の向上などにより, モータリング計算 1 周期あたりの計算時間を約 1/2 に短縮した. 図は吸気・排気バルブの状態に応じた AMR の変化.



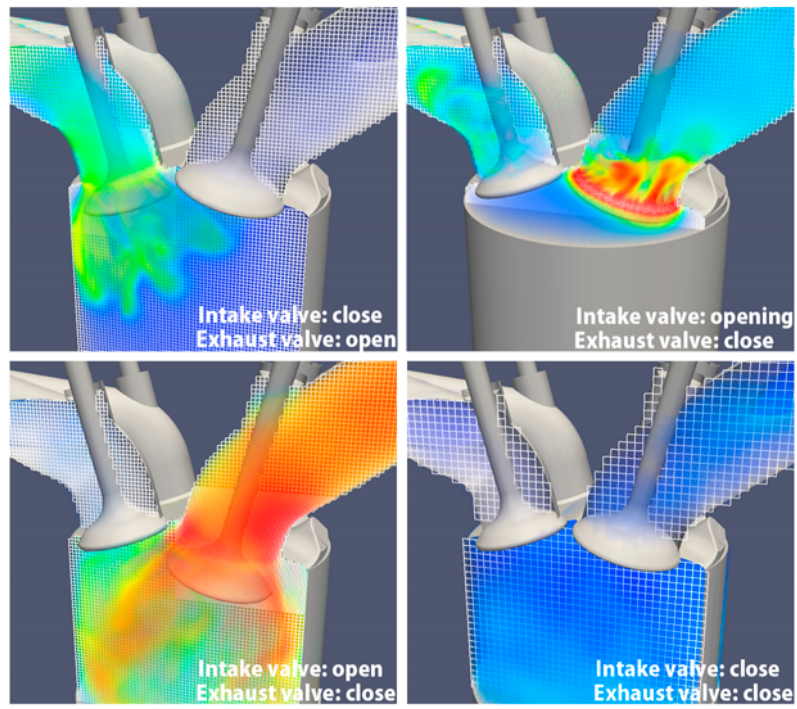


図 1: 吸気・排気バルブの状態に応じた AMR の変化

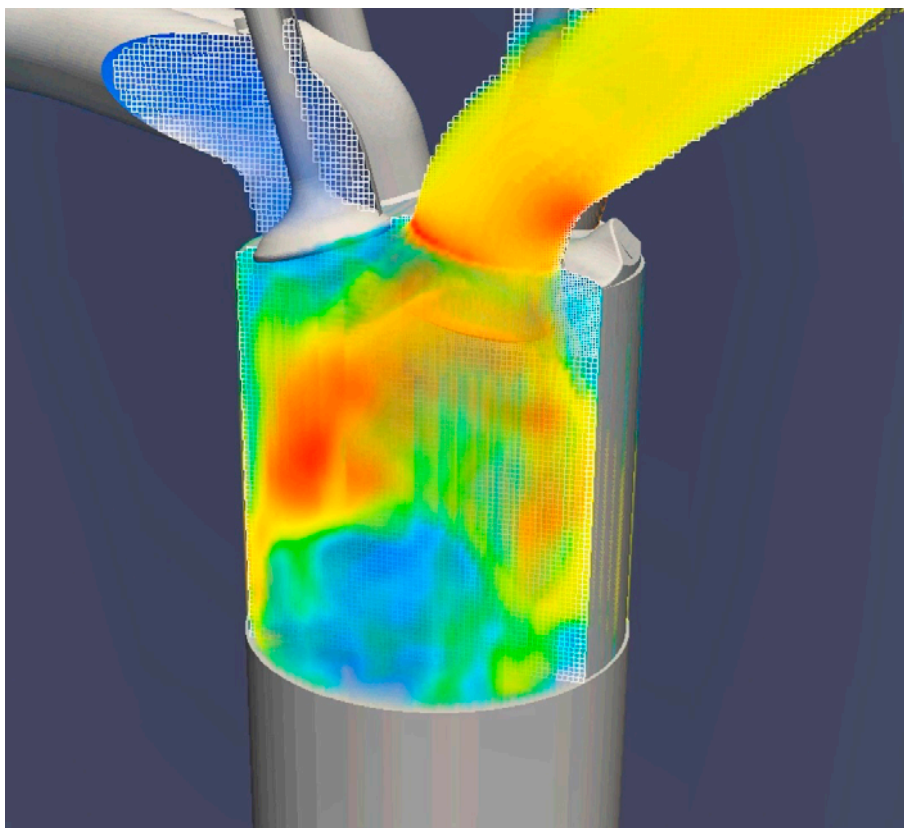


図 2: 動的 AMR を用いたモータリング計算 (ビデオ。ビデオは Web で  
ご覧頂けます。)

## ● 成果の公表

-査読付き論文

Yao, H., Nambu, T., Mizobuchi, Y., "An immersed boundary method for practical simulations of high-Reynolds number flows by k- $\epsilon$  RANS models," Journal of Fluid Science and Technology Vol. 16 No.1 (2020).

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1 - 1200
1 ケースあたりの経過時間	500 時間

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 1.03

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	4,124,837.23	0.78
SORA-PP	63,324.07	0.50
SORA-LM	5,434.70	3.19
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	1,263.60	1.16
/data	464,320.66	8.97
/ltmp	7,835.64	0.67

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	48.93	1.62

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 1.52

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	6,342,111.24	1.36
TOKI-RURI	71,175.48	0.41
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	2,054.11	1.41
/data	489,448.15	8.20
/ssd	2,867.79	1.50

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	48.93	1.62

※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

## 将来航空機のエンジン埋め込み・境界層吸込み時のファン空力特性に関する研究

報告書番号：R20JDA201P73

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14577/>

### ● 責任者

石井達哉，航空技術部門推進技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

岡井敬一(okai.keiichi@jaxa.jp)

### ● メンバ

岡井 敬一，賀澤 順一，正木 亮好

### ● 事業概要

本研究では，将来の電動航空機の燃費低減手法として着目される BLI 条件におけるファンの挙動評価を行うものである。BLI 条件では非対称な入口ディストーション流れをこうむることが期待され，BLI 条件の強いディストーション下でのファン流れ場の詳細を明らかにすることを目的とする。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

非対称なディストーション下でのファン性能解析計算のためには高精度全周段解析が必要であり，所期の目標のために JAXA スパコンを利用する。

### ● 今年度の成果

電動航空機で想定される機体埋め込みファンの入口ディストーションを模擬した入口条件におけるファン空力特性解析を実施した。図1は一樣流条件(上)と BLI 模擬条件(下)での96%スパンでのエントロピー分布を示したものであり，BLI 模擬条件ではエントロピーが一樣流条件に比べ著しく増加していることが確認できた。図2にはブレードチップ側での速度を示しており，BLI 模擬条件で逆流が起きていると推測できた。

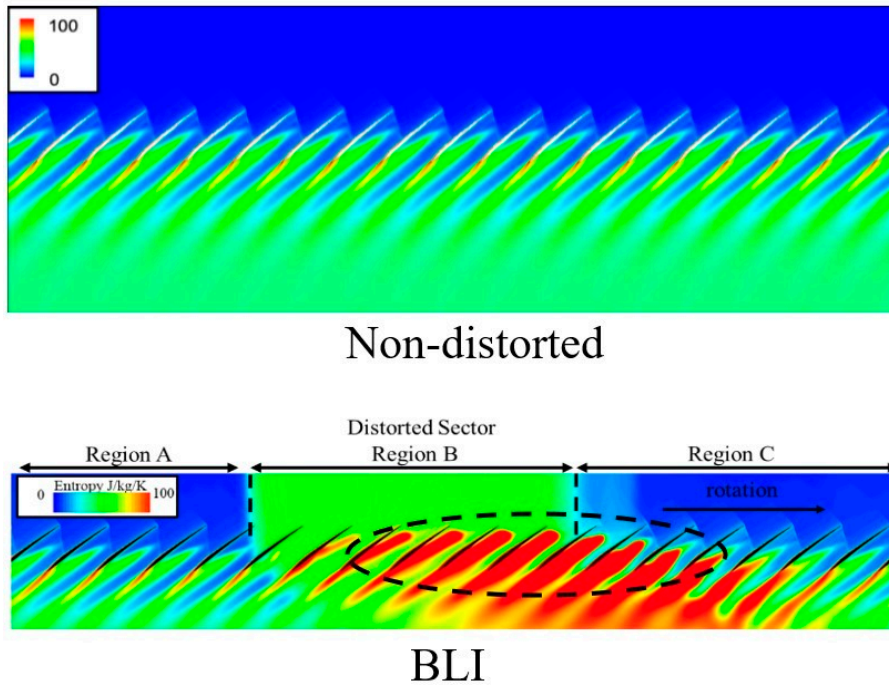


図 1: 96%スパンでのエントロピー分布

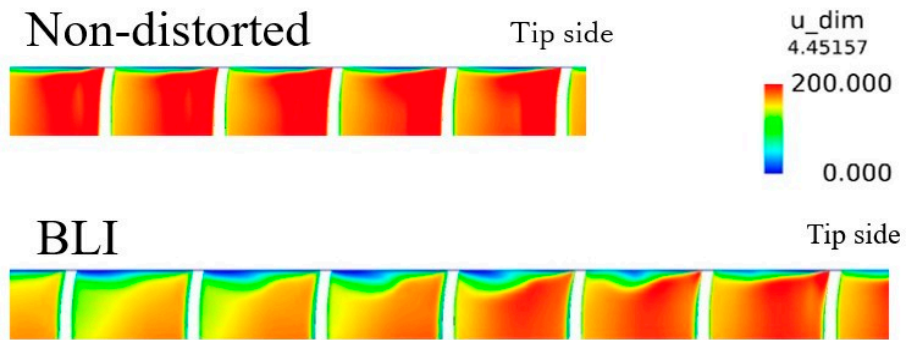


図 2: チップ側での速度分布

● 成果の公表

-口頭発表

Masaki, A., Ogushi, S., Tsuruta, R., Nishiwaki, D., Sato, T., Okai, K., Kazawa, J., Masaki, D., Harada, M., Assessment of the Influence of Boundary Layer Ingestion (BLI) on the Axial Fan, ISROMAC2019-00113, 18th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery (ISROMAC18), 2020年11月25日(オンライン)

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	35 - 630
1 ケースあたりの経過時間	10 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 1.91

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	11,173,884.39	2.11
SORA-PP	42,333.91	0.33
SORA-LM	2.81	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	958.90	0.88
/data	19,583.48	0.38
/tmp	4,975.82	0.42

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	3.79	0.00
TOKI-RURI	1,039.74	0.01
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	482.17	0.33
/data	9,818.92	0.16
/ssd	148.66	0.08

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 <sup>※2</sup> (%)
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



## 静粛超音速機技術の研究開発

報告書番号：R20JA3800

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14454/>

### ● 責任者

牧野好和，航空技術部門航空システム研究ユニット

### ● 問い合わせ先

石川敬掲(ishikawa.hiroaki2@jaxa.jp)

### ● メンバ

赤塚 純一，徳川 直子，石川 敬掲，上田 良穂，郭 東潤，大平 啓介，上野 篤史，近藤 賢，湯原 達規，嶋田 凌，小金澤 慎弥，武田 寿人，山下 礼，渡辺 安

### ● 事業概要

民間超音速機開発の機運が高まる中，我が国の航空機製造産業の国際競争力強化のためには，欧米をしのぐ技術力を獲得していくことが重要である。また超音速飛行による移動時間の短縮でビジネスや観光の面からの経済活動活性化や，エコノミークラス症候群の抑制などの搭乗者の健康面など，そのメリットは大きい。これを踏まえ，「静かな超音速機」の実現に必要な鍵技術を獲得し，航空機製造産業と将来航空輸送の発展に貢献することを本事業の目的とする。本事業では，ソニックブーム推算/計測/評価技術の研究開発により陸地上空超音速飛行に必要な ICAO における国際基準策定に関与するとともに，民間超音速機成立の鍵となる低ブーム/低抵抗/低騒音/軽量化を同時に満たす統合設計技術の研究開発を行い，これらの技術目標を同時に満たす超音速機概念を提示する活動を行っている。

参考 URL: <http://www.aero.jaxa.jp/research/frontier/sst/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

低ブーム/低抵抗を満たす次世代超音速旅客機の開発には精度の良い数値シミュレーションによって，空力やソニックブーム特性を推算する必要がある。様々な形状の空力特性を高精度かつ高効率に推算し低ブーム超音速旅客機的设计を行うために JSS を活用している。

### ● 今年度の成果

将来の低ソニックブーム超音速旅客機の実現するためには，上昇飛行，巡航飛行，下降飛行における機体直下および周方向の包含したブームカーペット全体でのソニックブームの低減が重要課題である。超音速飛行に発生したソニックブームの地上での騒音レベルは飛行高度，飛行速度，加速/減速，迎角，経路角などの様々な要因に依存する。本研究では，JAXA の超音速低ブーム概念検討機(S4)の各飛行パ



ラメータの感度解析および、空力データマップを CFD 解析より取得した。得られた空力データからは大陸横断超音速低ブーム飛行を実現するべく飛行経路を提案し、詳細な CFD 解析および音響伝播解析より、ソニックブームカーペットを示した。

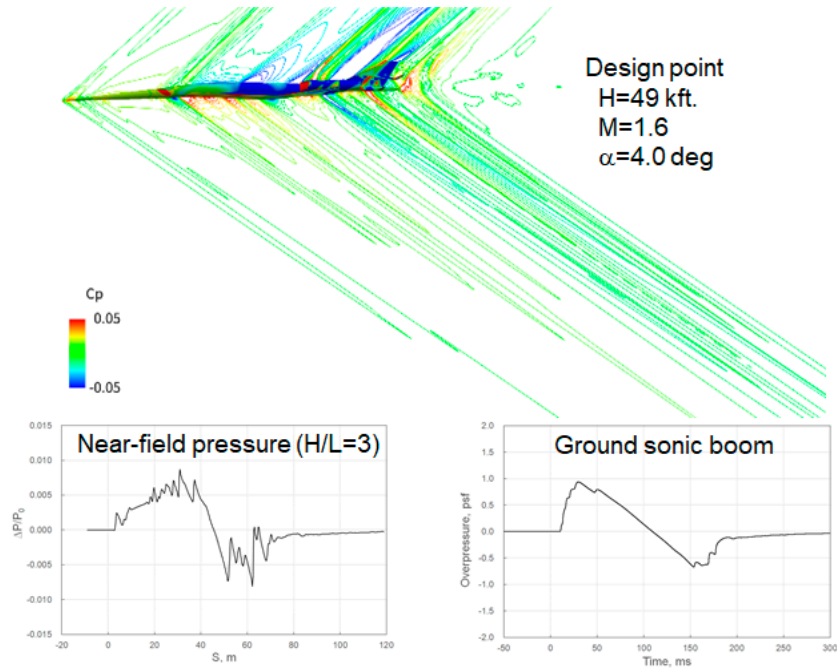


図 1: 超音速低ブーム概念検討機(S4)から発生するソニックブーム

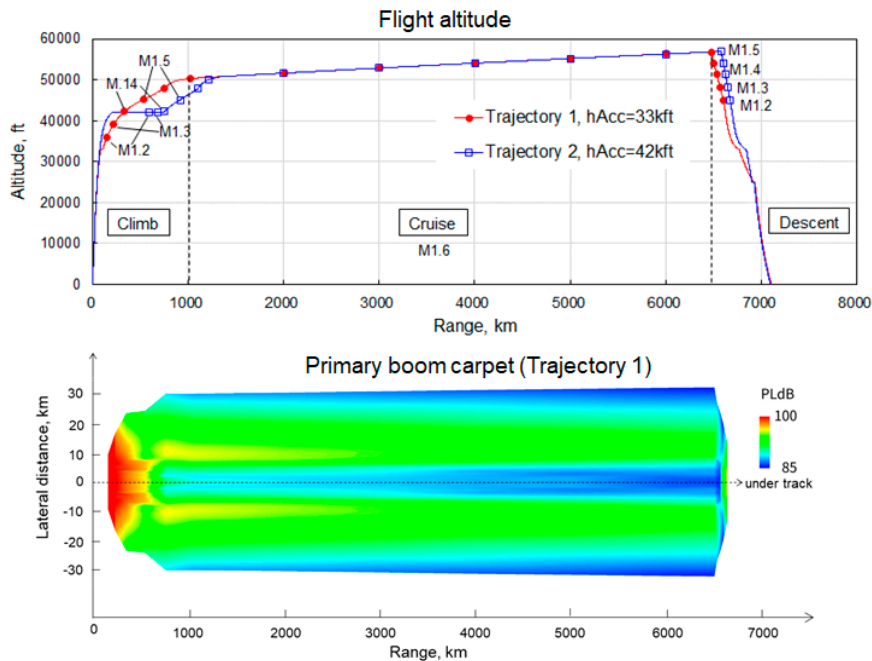


図 2: 全超音速飛行フェーズでのソニックブームカーペット

## ● 成果の公表

-査読付き論文

赤塚純一, 小幡秀幸, 三木肇, 上野篤史, 渡辺安, "超音速旅客機の後端ブーム低減効果を得るためのノズル形状及び噴流に関する実験と数値解析," 日本航空宇宙学会論文集, Vol.68, No.4, pp.156-162, 2020

-口頭発表

赤塚純一, 上野篤史, 牧野好和, "静粛超音速機統合設計技術の研究開発における風洞試験と課題," 第58回飛行機シンポジウム, 2B8, 2020

石川敬掲, 嶋田凌, 黒田文武, 徳川直子, "低ブーム超音速技術参照機体(S4)の自然層流翼設計による揚抗比の改善," 第58回飛行機シンポジウム, 3A10, 2020

上野篤史, 牧野好和, "小型超音速旅客機の低ブーム設計," 第58回飛行機シンポジウム, 3A11, 2020  
湯原達規, 金森正史, 牧野好和, "周方向の近傍場波形に対する超音速機の形状感度," 第58回飛行機シンポジウム, 3A14, 2020

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	128 - 512
1ケースあたりの経過時間	20000 秒

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.67

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	2,730,055.89	0.52
SORA-PP	195,388.27	1.53
SORA-LM	7,955.93	4.67
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	438.01	0.40
/data	16,450.50	0.32
/ltmp	9,835.38	0.84

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	12.69	0.42

※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

## ● 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	1,424,811.33	0.31
TOKI-RURI	168,845.22	0.97
TOKI-TRURI	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	865.85	0.59
/data	34,367.49	0.58
/ssd	551.54	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	12.69	0.42

※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

## 多次元時系列データ解析手法に関する研究

報告書番号：R20JDA201N04

利用分野：航空技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14561/

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

Aeronautical Technology Directorate, Numerical Simulation Research Unit (ohmichi.yuya@jaxa.jp)

### ● メンバ

大道 勇哉, 中元 啓太, 早川 真未, 山田 健翔, 小澤 賢翁, 高橋 香美, 伊東 和幸

### ● 事業概要

近年の計算機や数値解析技術の発展により,非定常流体现象に対するデータ解析手法の重要性が高まっている. 本研究では,非定常流体シミュレーションによって得られる多量のデータの中に潜在する特徴構造を自動的に抽出するツールの開発等を実施している.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

LM ノードの大規模メモリと MA ノードの大規模並列計算能力を活かし,より精度の高いデータ解析を実行するため.

### ● 今年度の成果

旅客機周りの低速流れにおける流体構造の解析を実施した. また, 高速バフエット現象予測のための定常・非定常流体シミュレーションを実施し, 得られたデータを元にバフエット予測モデルの検討を進めた.

### ● 成果の公表

なし

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	1 - 480
1 ケースあたりの経過時間	12 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.06

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	196,825.23	0.04
SORA-PP	14,720.54	0.12
SORA-LM	43.23	0.03
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	475.25	0.44
/data	19,265.50	0.37
/tmp	6,412.76	0.55

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	5.66	0.19

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.18

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 (%)
TOKI-SORA	720,230.49	0.15
TOKI-RURI	14,494.94	0.08
TOKI-TRURI	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	576.97	0.40
/data	26,482.91	0.44
/ssd	697.77	0.36

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	5.66	0.19

※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

## 大気突入実在気体熱空力評価

報告書番号：R20JDA201A32

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14557/>

### ● 責任者

浜本滋，航空技術部門空力技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

小澤宇志(ozawa.takashi@jaxa.jp)

### ● メンバ

小澤 宇志，高柳 大樹，佐茂 亮太，築山 智宏

### ● 事業概要

本研究では，極超音速での大気圏突入時における加熱および空力特性を数値シミュレーションによって高い精度で予測するため，高温気体の物理モデルやシミュレーション手法について高度化を行う．新たに提案するモデル・手法を用いたシミュレーションと実験によって得られたデータを比較することで予測精度を実証し，高精度なシミュレーションツールの実現を目指す．また飛翔体の加熱時における熱応力分布を解析することで損傷予測の実現を目指す．

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

物理モデルや試験気流条件などの不確定性を評価するため，モデル・条件を変化させて多くのケースの解析を実施するためにスパコンを使用した．

### ● 今年度の成果

サンプルリターンカプセルのパラシュートを対象とし，従来使われてきた超音速パラシュート用解析コードの低速用への書き換えを目的とした研究を行った．本年度は(図 1)のようにパラシュートのサイズや格子の作成方法を変更し，解析環境の構築を行った．

また，サンプルリターンカプセルの熱防御材であるアブレータに対し，アーク加熱風洞試験中における熱応力解析(図 2)を行った．層間強度と比較することで層間剥離への影響量評価を行った．

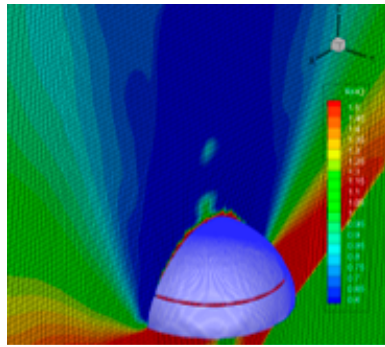


図 1: 形状変更によるパラシュート流体構造連成解析の実施

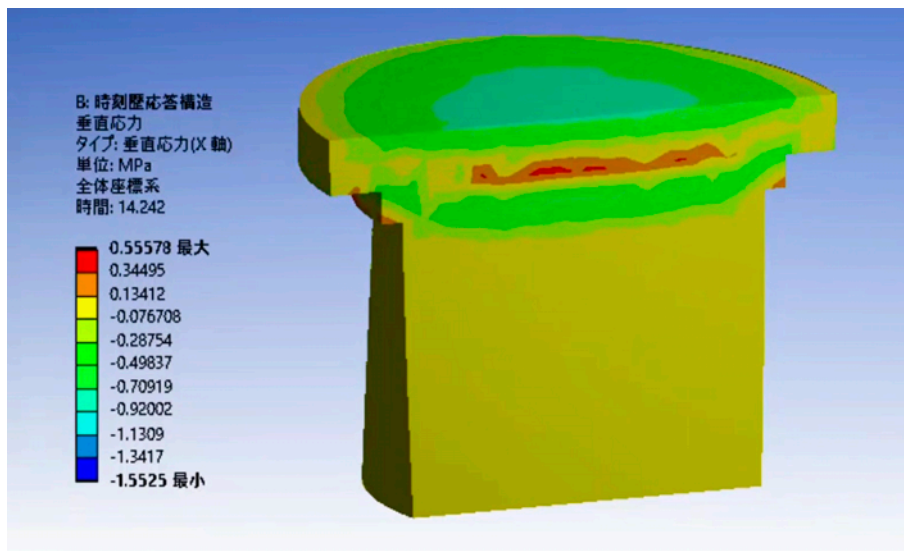


図 2: アーク加熱風洞試験におけるアブレータの熱応力解析結果（ビデオ。ビデオは Web でご覧頂けます。）



## ● 成果の公表

なし

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	3
1 ケースあたりの経過時間	50000 秒

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	15,002.56	0.12
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	297.23	0.27
/data	5,887.35	0.11
/ltmp	5,045.58	0.43

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	45.31	0.00
TOKI-RURI	1,624.30	0.01
TOKI-TRURI	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	182.79	0.13
/data	3,493.63	0.06
/ssd	270.21	0.14

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

## 燃料ノズルの微粒化・噴霧燃焼解析

報告書番号：R20JA2150

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14442/>

### ● 責任者

石井達哉, 航空技術部門推進技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 推進技術研究ユニット 松浦一哲  
(matsuura.kazuaki@jaxa.jp)

### ● メンバ

松浦一哲, 中村直紀, 牧田光正, 張会来, 飯野淳, 齋藤欣也

### ● 事業概要

燃料ノズルの微粒化・噴霧燃焼現象について数値解析を実施し, 現象を解明する.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

微粒化・噴霧燃焼現象は計算負荷が高く, スパコンの利用は不可避である.

### ● 今年度の成果

実験装置の後流ダクトに影響を受ける燃焼振動場において, 気流変動に対する燃料供給系の応答モデルを変化させた場合の影響の予備調査を行った.

その結果, 応答モデルの違いによって, 振動モード・振動周波数の異なる振動が観測された.

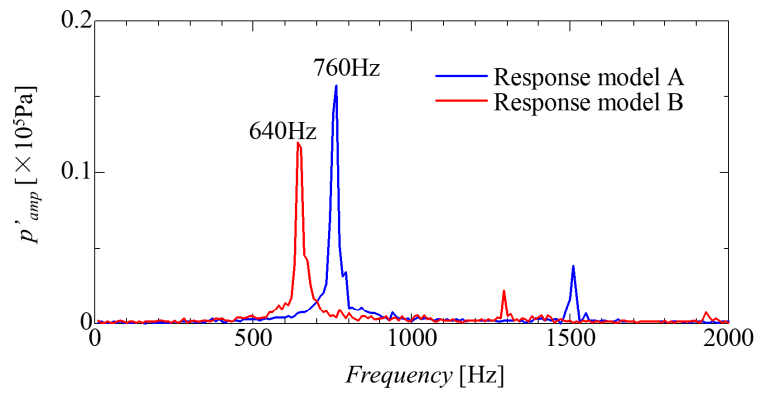


図 1: 圧力変動周波数スペクトル

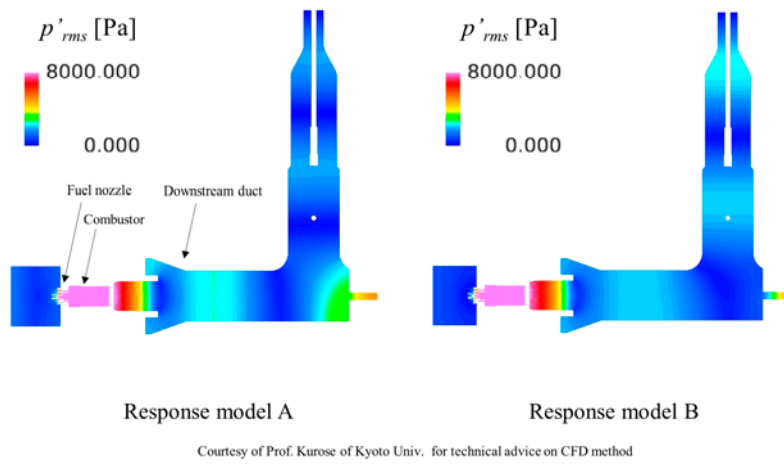


図 2: 圧力変動 rms 値の空間分布

● 成果の公表

なし

## ● 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	512
1 ケースあたりの経過時間	96 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.46

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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	2,719,282.99	0.51
SORA-PP	597.48	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	315.91	0.29
/data	26,369.97	0.51
/tmp	2,700.34	0.23

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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	0.10	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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.18

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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	897,540.05	0.19
TOKI-RURI	100.65	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	325.29	0.22
/data	26,633.14	0.45
/ssd	134.42	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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	0.10	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

## 事業共通

## Interface-resolved DNS による複数液滴蒸発の大規模解析

報告書番号：R20JFHC0302

利用分野：事業共通

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14598/>

### ● 責任者

藤田直行, セキュリティ・情報化推進部スーパーコンピュータ活用課

### ● 問い合わせ先

南部太介, JAXA 航空技術部門数値解析技術研究ユニット (nambu.taisuke@jaxa.jp)

### ● メンバ

南部 太介, 溝渕 泰寛

### ● 事業概要

航空エンジン燃焼器解析に用いる噴霧モデルの高精度化を目的として, 蒸発を考慮した気液二相流詳細解析ソルバによる, 燃料液滴群蒸発の詳細解析を実施した.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本解析は JSS3 大規模チャレンジとして実施した. 計算資源を占有して利用できることで, 本解析で必要な多数の液滴を含む大規模な解析が実施可能となった.

### ● 今年度の成果

直径 0.5 mm の液滴が 640 個存在する場合と, 直径 0.3 mm の液滴が 2963 個存在する場合の液滴群蒸発解析を実施した.

- ・液滴直径の違いによる液滴群全体としての蒸発量の変化
- ・液滴配置による温度上昇履歴の変化
- ・液滴間距離の違いによる各液滴の蒸発率の変化

などを明らかにするデータの取得に成功した.



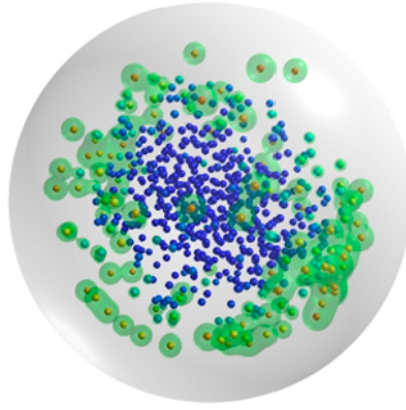


図 1: 気液界面の温度分布及び, 燃料成分の等値面の時間変化(静止画)

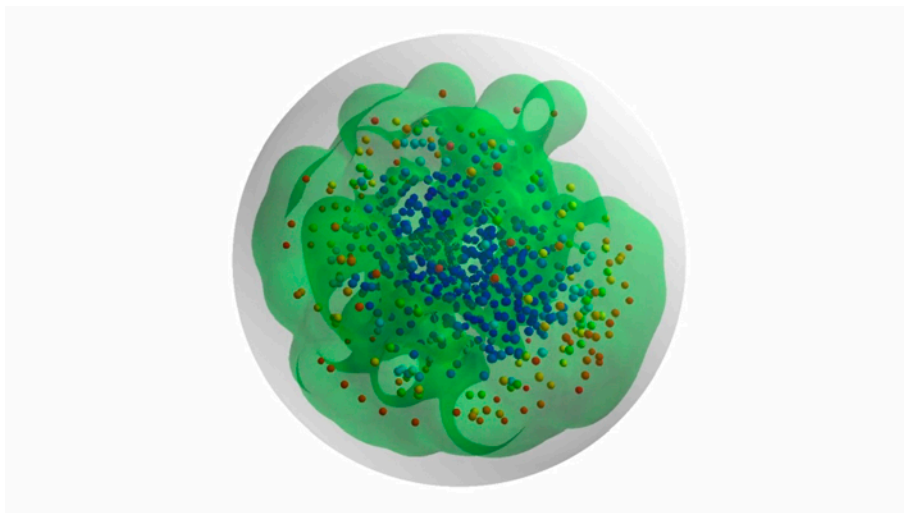


図 2: 気液界面の温度分布及び, 燃料成分の等値面の時間変化(動画) (ビデオ。ビデオは Web でご覧頂けます。)

● **成果の公表**

なし

## ● 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	66944
1 ケースあたりの経過時間	240 時間

## ● JSS2 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	0.00	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	11.96	0.01
/data	2,480.16	0.05
/ltmp	496.03	0.04

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 8.54

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 (%)
TOKI-SORA	47,053,305.01	10.12
TOKI-RURI	1,089.17	0.01
TOKI-TRURI	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	54.89	0.04
/data	8,463.55	0.14
/ssd	561.61	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

## S&MA 基盤「品質工学ツール(JIANT)」の構築・維持

報告書番号：R20JH2900

利用分野：事業共通

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14618/

### ● 責任者

上森規光, 安全・信頼性推進部

### ● 問い合わせ先

角 有司 JAXA 安全・信頼性推進部(kado.yuji@jaxa.jp)

### ● メンバ

角 有司, 中川 貴文, 上松 千陽, 小瀬村 大亮

### ● 事業概要

JAXA が開発した品質工学ツール(JIANT)と、京大生存圏研究所が所有する木造建築耐震シミュレータ wallstat を活用し、試験とシミュレーションの合わせこみ(データ同化)の研究を行っている。本研究は、JAXA-京都大学-奈良女子大の共同研究によって進められている。

参考 URL: <https://aerospacebiz.jaxa.jp/mission-assurance-support/knowledge01/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

スパコンを利用する目的は、計算の高速化である。wallstat の計算は一般的な PC では 1 ケース 40 分かかる。品質工学ツールでは、例えば 1 回のケーススタディで 6000 回の計算を行う場合は、トータルで 160 日かかる計算となるが、スパコンを利用することで数時間で完了できる事となる。

### ● 今年度の成果

京大生存圏研究所との共同研究として、2 階建て木造建築の試験結果とシミュレーションの合わせこみを行った(Fig1)。品質工学を利用し、た 14641 ケースの網羅的な計算を行った。

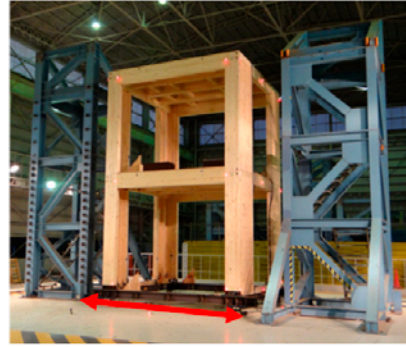
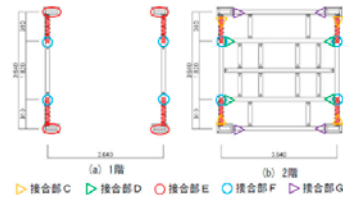
これは、11 の 12 乗かける 11 の 12 乗回(9 桁 8497 垓 3000 京回)の計算と同等の網羅性を確保しつつ簡略化して行っているものである(Fig.2)。

通常の PC では 1 ケース 15 分程度かかるため、逐次処理では 152 日かかるが、JSS3 で 1000 ケースを並列処理することで、約 3 時間で完了した。結果としては、周期や最大値などが一致していない状況であったが、1 ケースの試行でほぼ一致する結果が得られた(Fig.3)。

良好な結果が得られたため、建築学会、木材学会等への学会発表を行った。

■ 実大震動台実験

入力地震動：BSL 85%  
平面：3640mm x 3640mm



- ・ 難波宗功, 中川貴文, 五十田博, 角有司: 品質工学を用いた木造住宅地震時応答解析のデータ同化 第71回日本木材学会大会 (東京大会) 2021.3.18
- ・ 小谷竜城, 中川貴文, 河合直人, 御子柴正: 木造住宅の倒壊解析手法の精度検証実験 その2 木質ラーメン架構を耐震要素とする木造躯体の振動台実験と解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 構造Ⅲ, pp.189-190, 2013.8

図 1: 対象とする実験概要

■ 京大生存圏研究所が開発した、木造軸組構法住宅の耐震シミュレーションツール (Wallstat) を使用

- ・ 壁・トラス
- ・ 回転ばね, 張力ばね, 等をモデル化

■ JAXAの品質工学ツール (JIANT) の利用

- ・ L121xL121=14641回の計算 (3兆回 x 3兆回=9桁8497垓3000京の計算と同等の網羅性)
- ・ JSS3での計算時間は約3時間



図 2: JSS3 によるデータ同化

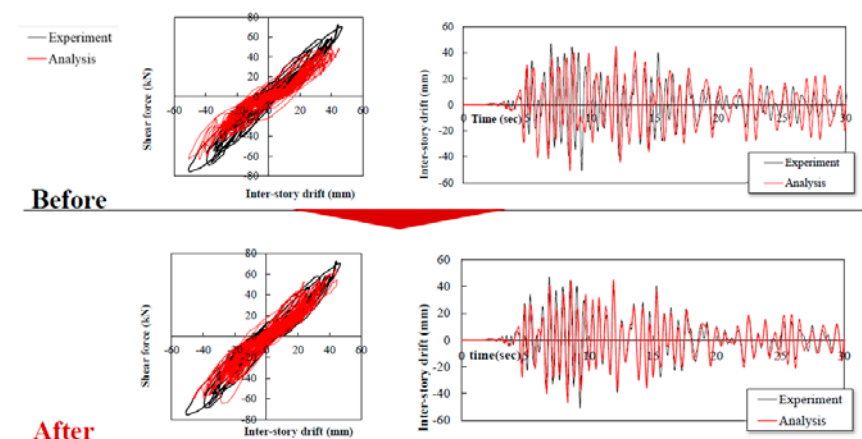


図 3: 結果:高精度な合わせ込みの実施

## ● 成果の公表

-査読なし論文

第 71 回日本木材学会大会(東京大会)

木造住宅地震時応答解析の品質工学の考えに基づくデータ同化

難波宗功, 中川貴文, 五十田博, 角有司

-招待講演

ターボ機械協会第 147 回セミナー,2020.6.19

「設計技術・設計手法のあれこれ(事例紹介と解説)」

品質工学ツールを用いたロバスト設計の実践事例

角有司

品質工学会企業交流会 2020, 2020.9.4

JAXA のロバスト設計ハンドブックの概要と今後の適用について

角有司

-口頭発表

ISID フォーラム 2020, 2020,10.30

品質工学を利用した MMX 着陸シミュレーションのロバスト性評価

角有司

## ● 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	7200 秒

### ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	98,505.68	0.77
SORA-LM	101.30	0.06
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	42.92	0.04
/data	49,257.30	0.95
/ltmp	8,789.07	0.75

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 1.44

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 (%)
TOKI-SORA	241.13	0.00
TOKI-RURI	2,228,628.20	12.76
TOKI-TRURI	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	119.21	0.08
/data	49,543.40	0.83
/ssd	715.26	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

## フルスケール液体ロケットエンジン燃焼器の LES

報告書番号：R20JFHC0303

利用分野：事業共通

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14599/

### ● 責任者

藤田直行，セキュリティ・情報化推進部スーパーコンピュータ活用課

### ● 問い合わせ先

芳賀 臣紀，研究開発部門 第三研究ユニット(haga.takanori@jaxa.jp)

### ● メンバ

芳賀 臣紀，熊畑 清，堤 誠司，伊藤 浩之

### ● 事業概要

本研究では，実機で想定される壁面熱流束の空間分布や時間変動に着目し，実形状の完全3次元解析を行うことで，従来の簡略化解析(噴射器1～数本，周方向の対称性を仮定したケーキカット形状)では得られない知見の獲得を目的とする．解析対象はLE-Xエンジンのフルスケール燃焼器(噴射器528本)とし，効率的なテーブル参照型の燃焼モデルによる大規模燃焼 LES 解析を実施する．噴射器100本以上のこのような解析例はこれまでになく，JSS3 の演算性能とこれまでに開発した次世代の大規模高速ソルバ LS-FLOW-HO を組み合わせることで初めて可能となる．

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

フルスケール燃焼器(噴射器500本以上)の LES を実施するには，少なくとも数十億から百億規模の計算点を使用し，百万ステップオーダーの計算をする必要があり，JSS3 の過半の計算資源の使用が不可欠である．

### ● 今年度の成果

#### 1. 目的

フルスケール燃焼器およびエンジン試験において，振動燃焼および溶損というハザード事象が開発コスト増大のリスクである．LE-9 エンジンでは，燃焼室内壁の局所的な高温化が原因とされる開口が発生し，実機スケール効果や非定常，連成問題の事前予測の難しさが露呈した．

本研究では，実機で想定される壁面熱流束の空間分布や時間変動に着目し，実形状の完全3次元解析を行うことで，従来の簡略化解析(噴射器1～数本，周方向の対称性を仮定したケーキカット形状)では得られない知見の獲得を目的とする．解析対象はLE-Xエンジンのフルスケール燃焼器(噴射器528本)とし，効率的なテーブル参照型の燃焼モデルによる大規模燃焼 LES 解析を実施する．噴射器100本以



上のこのような解析例はこれまでになく、JSS3 の演算性能とこれまでに開発した次世代の大規模高速ソルバ LS-FLOW-HO を組み合わせることで初めて可能となる。

## 2. 計算手法および事前準備

### 2.1 LS-FLOW-HO

支配方程式の離散化には高次精度の非構造格子法である、流束再構築(FR)法を用いる。セル内に高次精度化に必要な自由度を持つためデータの局所性を活かしたキャッシュ利用が可能で、セル間通信には面データのみを必要とするためプロセス間通信量を低減できるため、高い大規模並列性能が期待できる。セル内自由度は計算実行時にメモリ上に確保されるため、従来法に比べて計算格子のデータサイズを数十～百分の一にできるという利点もある。FR 法をベースに開発した JAXA 内製の燃焼 LES ソルバ LS-FLOW-HO を使用する。

燃焼モデルにはテーブル参照型の Flamelet Progress Variable(FPV)モデルを用いる。極低温の液体酸素(LOX)の物性を考慮するため、実在気体の状態方程式として SRK 方程式、輸送係数の評価には Chung モデルを採用した。Chung モデルは高温での精度が低く、また FPV で考慮する混合物の輸送係数が非物理的な値になることがあるため、LOX のみに適用した。LOX 以外の化学種の輸送係数は CHEMKIN データベースで評価し、混合物の輸送係数は Wilke モデルにより評価した。密度比が 100 を超える LOX 界面での数値振動を抑えるため、セル内多項式の正值性を維持するリミッターを付加した。本チャレンジの準備期間において、これらの高圧燃焼用モデルを導入したソルバを検証するため、超臨界圧力(6 MPa)下の LOX/GH2 同軸噴流火炎(DLR P8)の燃焼 LES を行った。文献の LES 結果と比較し、妥当な火炎形状およびせん断層速度分布が得られることを確認した。

### 2.2 フルスケール燃焼器の格子作成

本フルスケール解析の対象は LE-X エンジンの試験ケースの一つとする。全 528 本の同軸型噴射器を考慮するため、オーバーセット(重合)格子法を採用する。噴射器エレメントは長さが異なる 3 形状があるため、それぞれについて燃焼器内のせん断層の発達および混合領域を考慮した計算格子(ヘキサセル)を作成した。これらを 528 本分コピーして各エレメント位置に平行移動することにより、別途作成した燃焼器格子(噴射面からノズルまでを含む)と重合させた。各エレメントの格子は燃焼器内で重ならないように予め計算領域(円筒形状の直径)を調整し、境界面をそのままオーバーセット面とした。燃焼器格子では、全エレメント格子に含まれる格子セルを削除し、エレメント側と通信を行うオーバーセット面を作成するホールカットを前処理として行った。

ホールカット後の燃焼器格子を図 1 に示す。エレメント格子及び燃焼器格子(ホールカット後)の計算セル数は、それぞれ約 34 万及び 4073 万であり、総格子セル数は約 2 億 1826 万である。セル内自由度(今回は p2 スキームを使用し、27 点/セル)を用いるため格子セル数は従来手法より少ないことに留意されたい。総計算点数(p2 スキーム)は 58 億 9568 万点である。格子作成に関し、エレメントや燃焼器の円筒形状や曲率を少数のセルで再現するため、壁近傍の格子セルは 2 次要素ヘキサとした。セル数を少なくすることで大規模なホールカットの前処理時間も大幅に短縮されるが、今回使用したツールはプロセス並列に未対応のため、528 本分の処理に約 5 時間を要した(TOKI-RURI 1 ノード(36 コア、192GiB)使用)。

### 2.3. 各コンポーネントの検証計算

フルスケール解析の事前準備として、計算格子を各コンポーネントに分けて計算を実行し、数値安定性などに問題がないか確認を行った。具体的には、a) シングルエレメント単体格子、b) シングルエレメント+燃焼器(部分)のオーバーセット格子、c) 燃焼器(ノズルあり)単体格子の 3 ケースについて計

算を行った。単体格子ケースのオーバーセット面の境界条件には既燃ガスの圧力と温度を与えた。図2にケース a), 図3にケース b) および c) の結果を示す。上記3ケースのいずれも燃焼器の一部を切り出した計算であり、ケース a) および c) については長い物理時間を計算すると切り出した境界面付近から流れ場の不安定化が見られた。これは境界条件の不整合によるものと考えられ、流れ場がある程度発達する 1 [ms] 程度までは安定に計算できることから、フルスケール解析では顕在化しないと判断し次の段階に進むこととした。

#### 2.4. リスタート解の準備

フルスケール解析の計算時間を短縮するため、シングルエレメント単体格子で乱流火炎が発達するまで小規模の計算を行い、そのデータをフルスケール解析のリスタート解として利用した。エレメントの長さが異なる3ケースについて、フルスケール解析よりも領域分割数を増やして使用する計算ノードを増やすことで前処理時間を短縮した。1ケースあたり TOKI-SORA 128 ノードを使用し、1 [ms] の解析に約一日を要した。リスタートデータには位置座標は含まれないため、モデル3ケースの結果をエレメント長さに合わせて528本分コピーするだけでよいが(今回は各エレメントの回転は未考量)、フルスケール解析用のエレメント格子とは分割数が異なるためマッピングが必要になる。既存の前処理ツールを拡張してデータを準備した。

#### 2.5. 高速化チューニング

上記の事前準備と並行して、TOKI-SORA(FX 1000)上での LS-FLOW-HO の高速化チューニングを行った。プロファイラにより高コストルーチンを特定し、上位2つのルーチンについて高速化を行った。これらはセル界面の Riemann 流束を計算するルーチンと温度逆算のための Newton 反復を含むルーチンであるが、対策の詳細については本稿では割愛する。チューニングの結果、単一ノードでのテストケースにおいて約2倍の高速化が得られた。実行効率はピーク比で約4%である。ソルバ検証に用いたシングルエレメント(DLR P8)の計算時間は TOKI-SORA 320 ノードを使用して約1日/ケースであり、従来ソルバ LS-FLOW と比較して約15倍の高速化を実現した。LS-FLOW は高圧燃焼解析における陰解法の安定性に課題があり、時間刻みを大きく取れないことが計算時間増加の要因となっていることを付記する。

### 3. フルスケール解析結果

解析条件は、LE-X エンジンの燃焼圧力 8.2 [MPa]、混合比 6.4 の試験ケースとした。噴射器の流入条件には推進剤の温度と質量流量を与えた。燃焼器壁面の境界条件には、燃焼ガス流れ、固体熱伝導、冷却剤流れの熱-流体連成解析(定常 RANS)によって得られた温度分布を与えた。ノズル出口は超音速の流出条件である。初期条件には事前準備したリスタート解を与えた。フルスケール解析には JSS3 TOKI-SORA 全ノード数の半分である 2880 ノードを使用し、各ノードに4プロセスを立て(12スレッド/プロセス)、全 11520 プロセスの計算を行った。1ステップあたりの計算時間は約 1.03 秒であり、2週間の占有期間で実行できるのは約 117 万ステップとなる。時間積分には陽解法を用いているため時間刻みは  $3.0 \times 10^{-9}$  [s/step] であり、解析できる物理時間は約 3.5 [ms] である。これは時間平均場を取得するには必ずしも十分とは言えないが、過渡状態を再現するには明らかに不足であり、前述のリスタート解の使用は必須である。また、この計算時間は小規模のシングルエレメントケースを基にした予測値よりも 1.5 倍ほど増加しており、オーバーセット格子間の通信が大規模並列の性能に影響している可能性がある。

計算開始直後の流れ場を図4に示す。この後(約3万ステップ後)、噴射器エレメントのリセス付近で圧力および温度が非物理的な値となり、計算が破綻した。安定化策として高波数成分を除去するロー

パスフィルタ適用やリスタート解の再計算等を試みましたが、不安定化を抑えることができず、やむなく大規模実行を中断した。不安定化の要因の一つとして、噴射器エレメント格子の解像度および品質の不足が考えられる。シングルエレメントのケースにおいて、初期条件の与え方によっては火炎面が解像度不足の領域に移動し、計算が破綻することがあった。フルスケール解析において各エレメントの流れ場の相互干渉により火炎面が不安定化した可能性がある。

#### 4. 成果および今後の予定

今回のチャレンジでは計算の不安定化により残念ながら当初予定していた解析結果を得ることはできなかった。しかし、LS-FLOW-HO に新規に導入した高圧燃焼用の各物理モデルの検証を加速し、シングルエレメントのベンチマーク問題の解析に成功した。FR 法及び類似手法による LOX/GH<sub>2</sub> の高圧燃焼 LES は著者らが知る限り他に例がなく、提案手法の詳細は国際学術誌に投稿予定である。また、オーバーセット格子法を用いた複雑形状の大規模解析の前後処理手法を確立することができ、最大 2880 ノードを使用した大規模並列計算が実行できることを確認した。本チャレンジによって獲得した LS-FLOW-HO の新機能および高速化はシングルエレメントの感度解析やサブスケール燃焼器の解析支援などに活用可能な大きな成果である。

現在は、不安定化の原因究明を進めており、特にシングルエレメント解析に的を絞って、不安定化の兆候を詳しく調べている。その次のステップとしては、複数噴射器のサブスケール解析または噴射器配置の対称性を仮定したケーキカット形状などでソルバの堅牢性を検証し、着実にフルスケール解析の準備を整えたい。

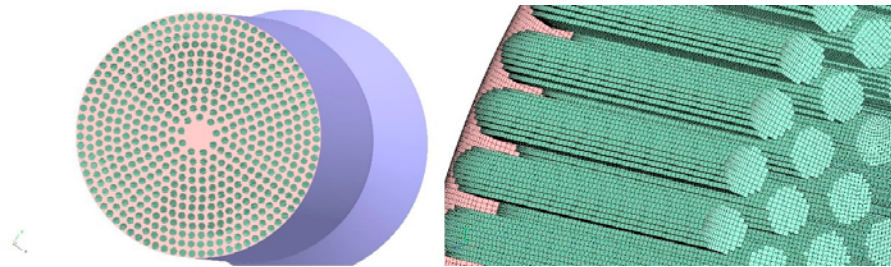


図 1: ホールカット後の燃焼器の境界面(左). ホールカットにより生成したオーバーセット面(右).



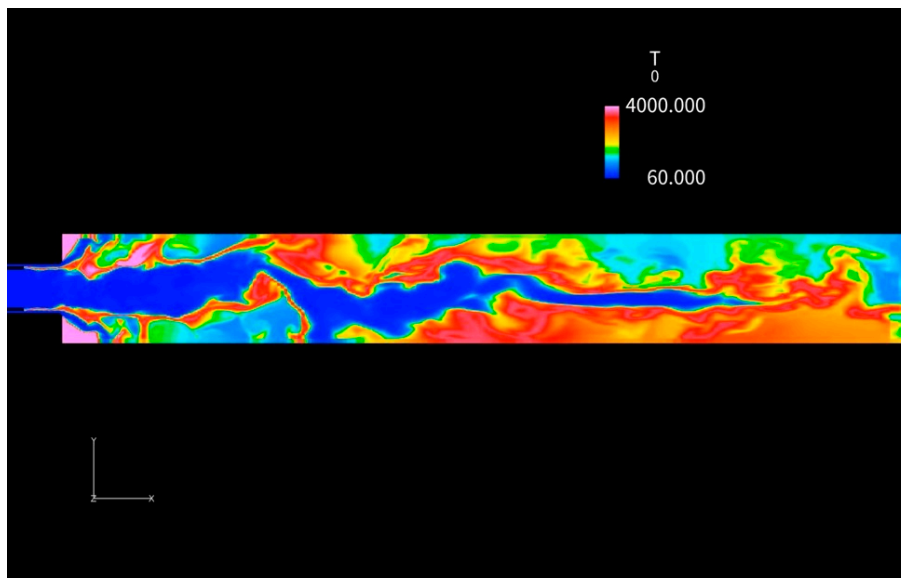


図 2: ケース a) シングルエレメント単体格子の計算結果(瞬時場).

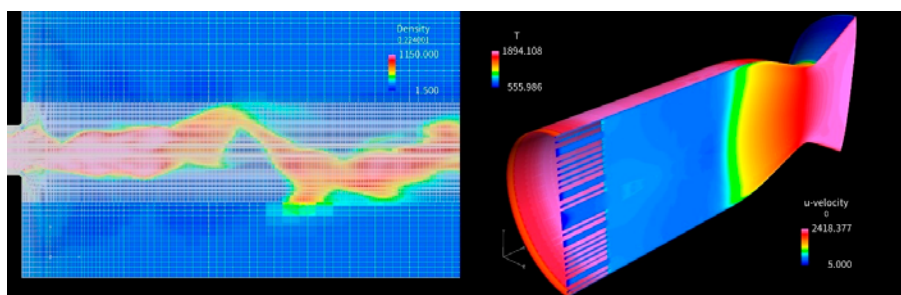


図 3: ケース b) シングルエレメント+燃焼器(部分)のオーバーセット格子の計算結果(左, 瞬時場). ケース c) 燃焼器(ノズルあり)単体格子の計算結果(右, 初期条件からの過渡状態にあり未収束).

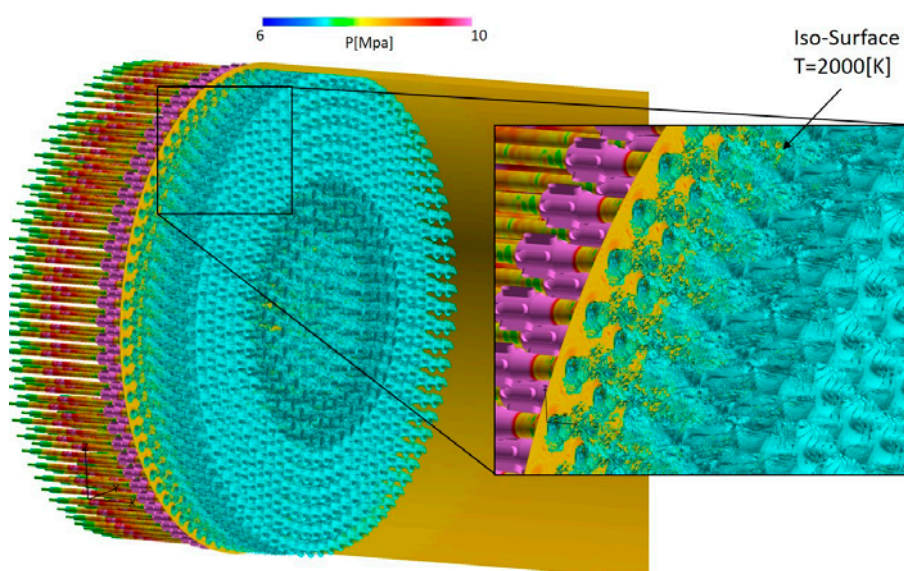


図 4: フルスケール解析の結果(リスタート解を与えた直後の瞬時場).

## ● 成果の公表

なし

## ● 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	OpenMP
プロセス並列数	11520
1 ケースあたりの経過時間	336 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	236.64	0.22
/data	11,897.41	0.23
/ltmp	626.63	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 <sup>※2</sup> (%)
J-SPACE	50.28	1.66

※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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 7.52

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 (%)
TOKI-SORA	40,972,445.31	8.81
TOKI-RURI	103,790.33	0.59
TOKI-TRURI	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	403.12	0.28
/data	135,258.31	2.27
/ssd	444.30	0.23

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	50.28	1.66

※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

## 大規模フルカラートモグラフィデータの 3D 可視化:ヒトの網膜の解像度を突破する

報告書番号：R20JFHC0301

利用分野：事業共通

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14597/

### ● 責任者

藤田直行, セキュリティ・情報化推進部スーパーコンピュータ活用課

### ● 問い合わせ先

竹田裕介(ytakeda@sci.hokudai.ac.jp)

### ● メンバ

竹田裕介, 伊庭靖弘, 星野健, 白井寛裕, 深井稜汰

### ● 事業概要

報告者らは、隕石や地球の各種岩石などを大規模データに変換する可視化技術の開発を進めてきた。しかしながら、この高解像のデータが持つ情報量は莫大であり、ラボ用ワークステーションでの処理が不可能であるだけでなく、スパコンでの通常利用可能な計算力でも対応できないサイズとなっていた。そこで、大規模計算によってこのボトルネックを超え、超高解像3D可視化の達成を目指すことが、本大規模チャレンジ研究の目的である。本研究では、レンダリングに適切なノードの種類や組み合わせを決定し、可視化パイプラインを構築した。そのうえで、十億画素超のデータ解析および数千億～兆スケールのボクセル数のデータの3D可視化に挑戦した。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

JSS3 に導入されている Paraview はスパコンの処理能力を最大限引き出すことができる可視化アプリで、並列リモートレンダリングを容易に設定可能である。すなわち本研究を遂行する上で最適なソリューションである。これまでの予察研究の結果、Paraview で大規模データをレンダリングするにはノードあたりのメモリサイズがボトルネックであることが判明していた。また、CPU レンダリングでは負荷が大きいため、GPU レンダリングが望ましいことも判明していた。以上のことから、大きなサイズのメモリと GPU を利用可能で、ノード数も多い JSS3 TOKI-RURI が本研究に最適な計算資源であると考え、JAXA スパコンを利用した。

### ● 今年度の成果

まず、本研究が目指す兆スケールの可視化を実行するためのパイプラインに必要な計算資源量を見積もるために、5000 億ボクセル程度のデータに対して、TOKI-RURI の各種ノードを使用して Paraview で並列リモートレンダリングを行った。その結果、ノード当たりのメモリサイズの大きい

XM および LM ノードを用いたレンダリングでは、並列計算により分割されたデータの一部が可視化されず、可視化結果で欠損して表示されてしまう現象が発生した。一方で、ST ノードを用いた場合は、可視化結果における欠損は認識されなかった。したがって、本研究の大規模データに対して、十分なメモリサイズを確保しながらエラーなく可視化するためには、ノード当たりのメモリサイズが比較的小さい ST ノードを多数使用するパイプラインが適切であると明らかになった。

この結果をもとに、ST ノード 100 ノードを利用した並列リモートレンダリングを行い、1.2 兆ボクセルからなるデータの可視化に成功した。更に、データセットのサイズではなく、データセットを構成する 1 ファイルの規模においても大規模なデータの可視化を行い、45 億画素のデータセットの処理と可視化に成功した。これらの可視化が実現したことで、分析試料のこれまでにない高解像度の観察や解析が初めて可能になった。

本研究が遂行した「大規模可視化」は、数値シミュレーションを目的とした従来の大規模計算とは異なる性質のものだが、スパコンのような大規模計算資源がなくては達成が不可能だった。従って本チャレンジは、スパコン/JSS3 の新しい活用法を提示し、潜在的な利用ニーズを見出すことにも成功したともいえる。

## ● 成果の公表

-口頭発表

竹田 裕介, 田井中一貴, 星野健, 深井稜汰, 白井寛裕, 笹木慎太郎, 池上森, 伊庭靖弘. JSS3 大規模チャレンジによる大規模画像データの 3 次元可視化. 第 53 回流体力学講演会/第 39 回航空数値シミュレーション技術シンポジウム, 2021/6/30-7/2.

## ● 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	50 - 100
1 ケースあたりの経過時間	6 時間



## ● JSS2 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	0.00	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	21.68	0.02
/data	135.68	0.00
/tmp	2,083.33	0.18

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	530,357.59	3.04
TOKI-TRURI	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	140.91	0.10
/data	97,807.48	1.64
/ssd	500.68	0.26

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

## 流体解析ソフトウェア UPACS を活用したターボ機械分野向け流体解析システム開発

報告書番号：R20JH6901

利用分野：事業共通

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14619/

### ● 責任者

岩本裕之，人事部

### ● 問い合わせ先

航空技術部門推進技術研究ユニット 牧田光正(makida.mitsumasa@jaxa.jp)

### ● メンバ

牧田 光正，榎本 俊治，高木 亮治，賀澤 順一，山本 一臣，松村 洋祐，山出 吉伸，小泉 拓，笥 雅行

### ● 事業概要

遠心圧縮機を含むターボ機械について，JAXA の持つ流体解析技術を活用することにより，流動現象をより正確に把握するためのソフトウェアパッケージを開発する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

詳細な流れ場を把握するために DES による解析の予測精度確認が必要である。このためには複数の条件について大規模な解析を実施することになるため，JSS2 でなければ実施できない。

### ● 今年度の成果

遠心圧縮機の DES 解析を行い，UPACS の並列化性能に問題ないことを確認した。

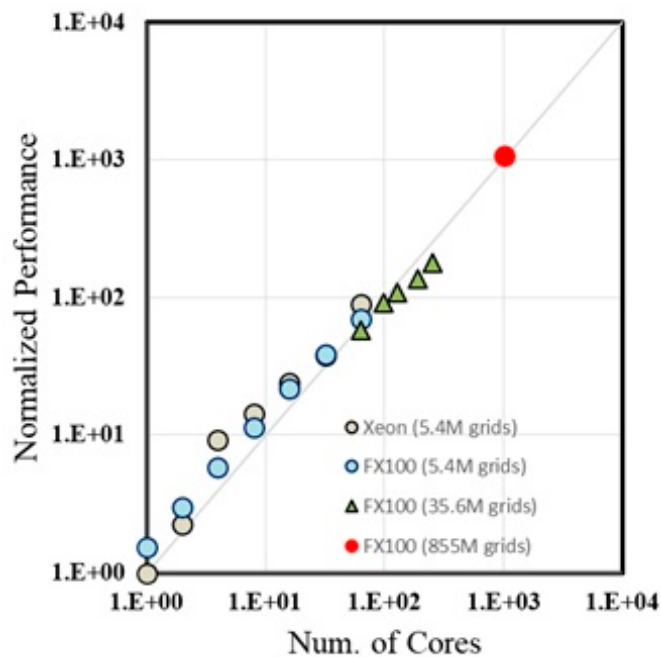


図 1: UPACS の並列化性能

● 成果の公表

なし

● 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	自動並列
プロセス並列数	64 - 1024
1 ケースあたりの経過時間	12 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	93,355.78	0.02
SORA-PP	6,466.66	0.05
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	108.02	0.10
/data	14,032.42	0.27
/ltmp	2,686.93	0.23

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	106.13	3.51

※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

### ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	129.79	0.09
/data	19,251.04	0.32
/ssd	678.41	0.35

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	106.13	3.51

※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

## 連携大学院

## 3次元キャビティ流れに関する研究

報告書番号：R20JCWU12

利用分野：連携大学院

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14530/>

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

大道 勇哉(ohmichi.yuya@jaxa.jp)

### ● メンバ

前澤 美海, 大道 勇哉

### ● 事業概要

航空機着陸装置格納部にみられるようなキャビティと呼ばれる矩形の凹みは乱れた流れから自励振動を引き起こし騒音の原因となる事が知られている。本研究ではキャビティ内部の自励振動現象を数値解析を用い調査を行った。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

非定常流流れ場の計算には時間がかかるため

### ● 今年度の成果

超音速でのキャビティ流れにおける流体構造の解析を実施した。キャビティトーン現象再現の為、定常・非定常流体シミュレーションを実施し得られたデータをもとにキャビティ流れ再現の検討を行った。

### ● 成果の公表

なし

## ● 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	256
1 ケースあたりの経過時間	50 時間

## ● JSS2 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	24,139.09	0.00
SORA-PP	2,349.44	0.02
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	104.90	0.10
/data	11,718.76	0.23
/tmp	2,343.75	0.20

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	5.66	0.19

※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



## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.06

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 (%)
TOKI-SORA	146,912.05	0.03
TOKI-RURI	18,635.39	0.11
TOKI-TRURI	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	572.20	0.39
/data	31,250.01	0.52
/ssd	4,901.89	2.56

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	5.66	0.19

※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 の宇宙線影響評価

報告書番号：R20JCWU10

利用分野：連携大学院

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14529/

### ● 責任者

山田亨, 宇宙科学研究所宇宙物理学研究系

### ● 問い合わせ先

辻本 匡弘(tsujiomot@astro.isas.jaxa.jp)

### ● メンバ

辻本 匡弘, 御堂岡 拓哉, 長塚 知樹, 富永 愛侑, スティーバー サマンサ, 高倉 隼人, 長谷部 孝

### ● 事業概要

宇宙マイクロ波背景放射観測衛星 LiteBIRD に対する宇宙線が及ぼす影響の評価

参考 URL: <http://litebird.jp/>

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究では、パラメータを変えながら長時間の時系列データをシミュレーションする必要がある。並列処理が可能なので、スパコンの利用が適している。

### ● 今年度の成果

今年度は、以下の研究を行った。宇宙線と検出器の相互作用を物理モデル化し、これに基づいた時系列データを生成した。それを衛星のスキャンや偏光変調装置の時間応答で逆重畳した。これにて、宇宙線の入力から LiteBIRD の目的信号であるインフレーション起源の原始重力波による大角度偏光異方性まで end-to-end で計算し、その影響を定量評価する方法を開発した。この研究において、JSS2 を利用して時系列データ生成を加速できるか検討を行った。

### ● 成果の公表

なし

## ● 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

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
SORA-MA	0.00	0.00
SORA-PP	346.64	0.00
SORA-LM	89.26	0.05
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 <sup>※2</sup> (%)
/home	32.90	0.03
/data	329.02	0.01
/tmp	6,738.28	0.57

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 <sup>※2</sup> (%)
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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	15.02	0.00
TOKI-TRURI	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	46.09	0.03
/data	460.94	0.01
/ssd	460.94	0.24

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

## 宇宙機のダイナミクスに関する研究

報告書番号：R20JCWU24

利用分野：連携大学院

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14536/

### ● 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

丸祐介(maru.yusuke@jaxa.jp)

### ● メンバ

瀬田 清明, 山川 真以子, 渡辺 健太郎

### ● 事業概要

ロケットや宇宙探査機で現れる流体现象に関する解析を行った。対象は大きく 2 つあり, 1 つは, エアブリージングエンジンを搭載した再使用弾道飛行ロケットにおける, エンジンと機体の統合的空力形状設計を行った。もうひとつは, 月惑星離着陸機を想定し, スラスタの排気ブルームと天体表面のレゴリスの干渉の評価を行った。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

比較的大規模な CFD 解析(空力設計研究)およびケース数の多いパラメトリックスタディ(排気ブルームとレゴリスの干渉評価研究)といった, スタンドアロンの PC では非効率な数値計算を行うために利用している。

### ● 今年度の成果

ISV サービスで提供されている Ansys Fluent を用いて, 模擬土壌にガスを吹き付ける実験における噴射ブルームの CFD 解析を実施した。解析は軸回転モデルの定常解析で, 乱流モデルは SST K- $\omega$  を用いた。自由流, 平板に対して噴射した場合, 球形のクレータが存在する場合について解析した結果を図 1 に示す。

エアブリージングエンジンを搭載した再使用弾道飛行ロケットの機体およびインテークの統合的な特性評価を, FaSTAR コードを利用して解析した。解析結果と風洞実験における流れ場の可視化結果の比較を図 2 に示す。CFD 結果は, 実験結果を良く再現しており, 妥当性が確認された。特性評価の観点では, 全体性能における境界層の影響が大きいことが, 実験および CFD で示された。

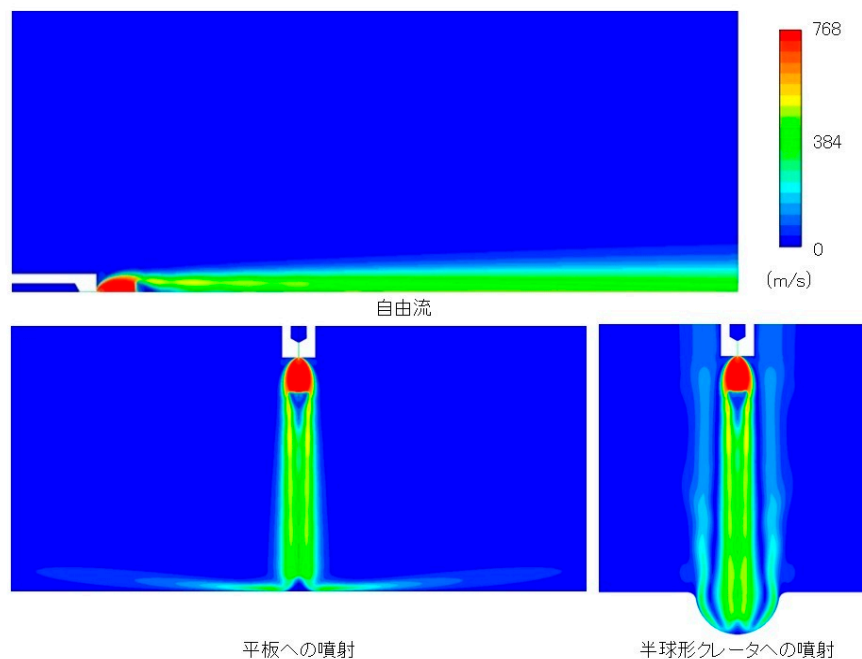


図 1: 流速分布



図 2: CFD 解析結果と風洞実験における流れ場の可視化結果の比較

● 成果の公表

-口頭発表

丸 祐介, 小林 弘明, 坂本 勇樹, 徳留 真一郎, 澤井 秀次郎, 野中 聡 : エアターボロケットエンジンによる再使用ロケットの段階的発展(2), 第 64 回宇宙科学技術連合講演会, 2H12, オンライン, 2020/10

瀬田 晴明, 丸 祐介, 佐藤 哲也, 坂本 勇樹: エアターボロケットエンジンを搭載する再使用型弾道飛行観測ロケットのインテークの設計, 令和 2 年度 宇宙航行の力学シンポジウム, オンライン, 2020/10

渡辺健太郎, 山川真以子, 馬場満久, 森治, 丸祐介, 澤井秀次郎, 能見公博: 天体地表着陸時のスラストブルーム噴射によるレゴリスの舞い上がり現象に関する研究, B1, 第 29 回スペース・エンジニアリング・コンファレンス [SEC'20], 2020/12

## ● 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	自動並列
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	5 時間

## ● JSS2 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	635,103.86	0.12
SORA-PP	6,398.31	0.05
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	494.32	0.45
/data	9,940.47	0.19
/tmp	5,533.86	0.47

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

## ● JSS3 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 (%)
TOKI-SORA	10.88	0.00
TOKI-RURI	14,284.45	0.08
TOKI-TRURI	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	667.57	0.46
/data	10,719.30	0.18
/ssd	1,049.04	0.55

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



## 重力的に不安定な原始惑星系円盤における惑星軌道の変化

報告書番号：R20JCWU00

利用分野：連携大学院

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14527/

### ● 責任者

タスカーエリザベス, 宇宙科学研究所太陽系科学研究系

### ● 問い合わせ先

Elizabeth Tasker: elizabeth.tasker@jaxa.jp(elizabeth.tasker@jaxa.jp)

### ● メンバ

Tasker Elizabeth, Nguyen Ngan Kim

### ● 事業概要

惑星形成の理論の中で長い間未解決である問題は、若い恒星の周りのガス円盤の中で出来たての惑星の軌道がどう変化するかということである。このプロジェクトは、円盤内にできるスパイラルウェーブなどの構造がこの惑星移動にどのような影響を及ぼすかを調べるものである。恒星の周りの円盤ガス中の惑星の動きをモデリングすることにより、惑星の軌道が円盤ガスの中の構造に依存すること、そして異なる円盤が異なる惑星の周期を生じることを示したい。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

このプロジェクトには、数百個のコアを用いた3次元流体力学計算が必要であり、通常のデスクトップコンピュータでは到底できないことである。使用しているコード(ChaNGa)はMPIで並列化されたスーパーコンピュータ用に設計されている。円盤の構造(冷却効率や質量などに依存する)が惑星の移動に与える影響を調べるためには、様々な異なるシミュレーションをすることが必要となる。

### ● 今年度の成果

昨年度の成果は、原始惑星系円盤のガス効果による形成したばかりの惑星の移動プロセスは、惑星を取り巻く円盤環境の安定性に依存することがわかったということである。不安定な円盤ではガスが円盤に構造を形成し惑星にさらなるトルクを加えることが見いだされた。ただし、その結果として生じる惑星移動速度は計算解像度に依存することに注意すべきである(図1)。合理的な時間内に結論を得ることを狙い、100万粒子を使うケースで十分な解像度を得られるかどうかを、惑星のかかるトルクを計測することで検証した(図2)。各時間ステップごとのトルクは大きく時間変動するが、惑星近傍のヒル半径外側での時間平均値は安定しており、時間とともに解析的に見積もられる値に収束した(図中の黒線)。つまり、トルクの絶対値は解像度依存を示すが、円盤ガスが惑星移動のもたらす効果について、

円盤の状況の違いによって結果が異なる様相を相対的に評価することは可能であることがわかった。  
この成果により, Nguyen Ngan は学位を取得した。

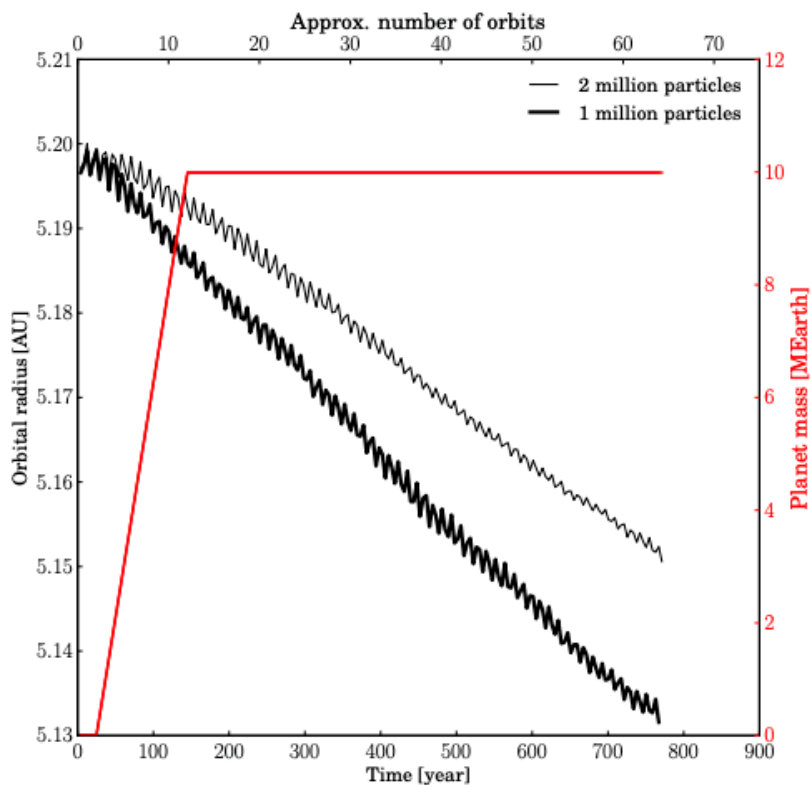


FIGURE 4.13: The orbital evolution of a  $10M_{\oplus}$  planet in  $0.005M_{\odot}$  disk resolved by two resolutions: 1 million (thick lower line) and 2 million (thin upper line) particles. The red line indicates the growth in mass of the planet.

図 1: 惑星移動速度の解像度依存性.

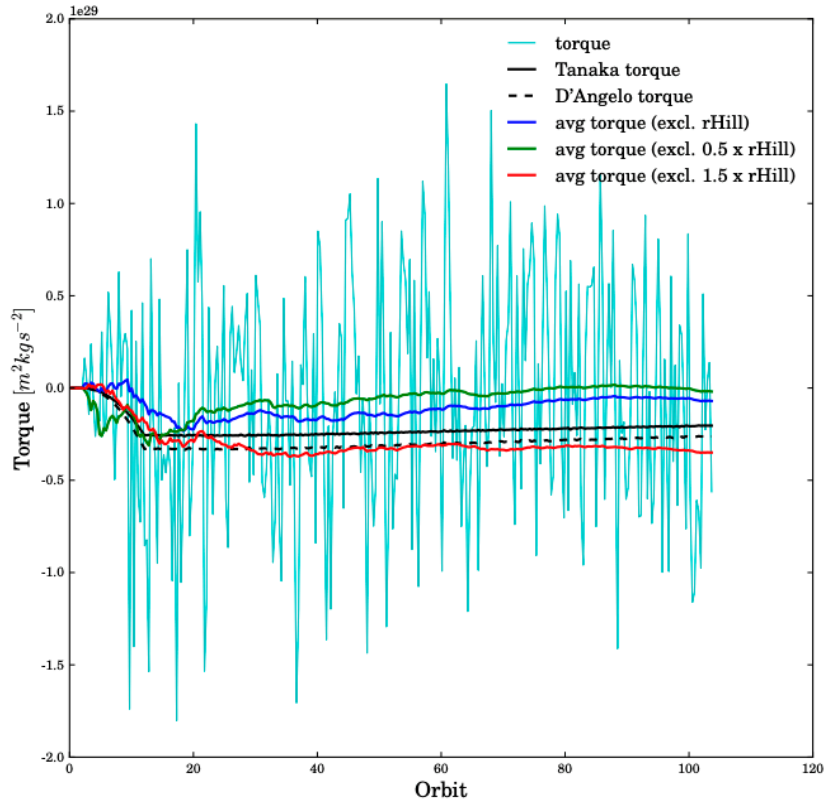


図 2: 軽い原始惑星系円盤中にある, 10 地球質量の惑星が受けるトルクの時間変化. トルク値の時間平均値はある値に収束するので, それらを異なる状況にある計算例間で相対比較することで研究を進めることができた.

● 成果の公表

なし

● 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	OPENMP
プロセス並列数	144 - 264
1 ケースあたりの経過時間	50 時間

## ● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.06

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	0.00	0.00
SORA-PP	104,770.97	0.82
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	7.95	0.01
/data	79.47	0.00
/ltmp	1,627.60	0.14

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 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 <sup>※2</sup> (%)
TOKI-SORA	0.00	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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 <sup>※2</sup> (%)
/home	14.31	0.01
/data	143.05	0.00
/ssd	143.05	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 <sup>※2</sup> (%)
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

## 将来輸送システムの研究(複合サイクルエンジン)(JAXA-東北大学連携大学院)

報告書番号：R20JCWU07

利用分野：連携大学院

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14528/

### ● 責任者

沖田耕一，研究開発部門第四研究ユニット

### ● 問い合わせ先

富岡定毅(研開部門)(tomioka.sadatake@jaxa.jp)

### ● メンバ

富岡 定毅，西口 拓伸，久保崎 滉太，河野 洋介，服部 元気，伊藤 竜大，池田 直崇，八田 翔太

### ● 事業概要

完全再使用の宇宙輸送システムの実現によって輸送コストを劇的に引き下げ、宇宙利用の拡大を図る。完全再使用化で要求されるシステム重量余裕を、飛行中の空気を吸い込むエアブリージングエンジンの搭載で実現する。エアブリージングエンジンのコアとなるスクラムジェットエンジン及びロケットエンジンと組み合わせた複合エンジンの性能予測を CFD で可能とするために、特に複雑な燃焼器内反応流れや反応を伴う再生冷却通路流れの CFD による予測手法を確立する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

燃焼器においては超音速・亜音速の混在する複雑流れに燃焼反応が組み合わさっており、冷却通路においては超臨界・亜臨界の混在する複雑流れに熱分解反応が組み合わさっている。いずれの流れも CFD 計算には大きな計算資源が必要で、JAXA スパコンを利用することである程度の期間で計算解を得て、更に計算手法の改良などを行える。

### ● 今年度の成果

大規模剥離を伴う超音速燃焼器内流れ場を、手返し良い RANS 手法で再現することを目指し、種々の乱流モデル等を適用して燃焼 CFD を実施し、実験結果と比較を行った。

その結果、Explicit Algebraic Stress Model (EASM)を適用することにより、これまで用いてきた Re-Normalisation Group (RNG)モデルのみでの計算に比較して、境界層剥離領域が広がり、より実験結果に近い流れが再現できることを確認した(図 1)。モデルの影響は気流全温や乱流シュミット数の変化によるもの以上に大きいことが分かった。

また、Helicity 分布(図 2)から、EASM の適用は燃料噴射孔下流部の乱流強度を低下させ、RNG モデルのみと比較して燃料の拡散過程を変化させることも分かった。

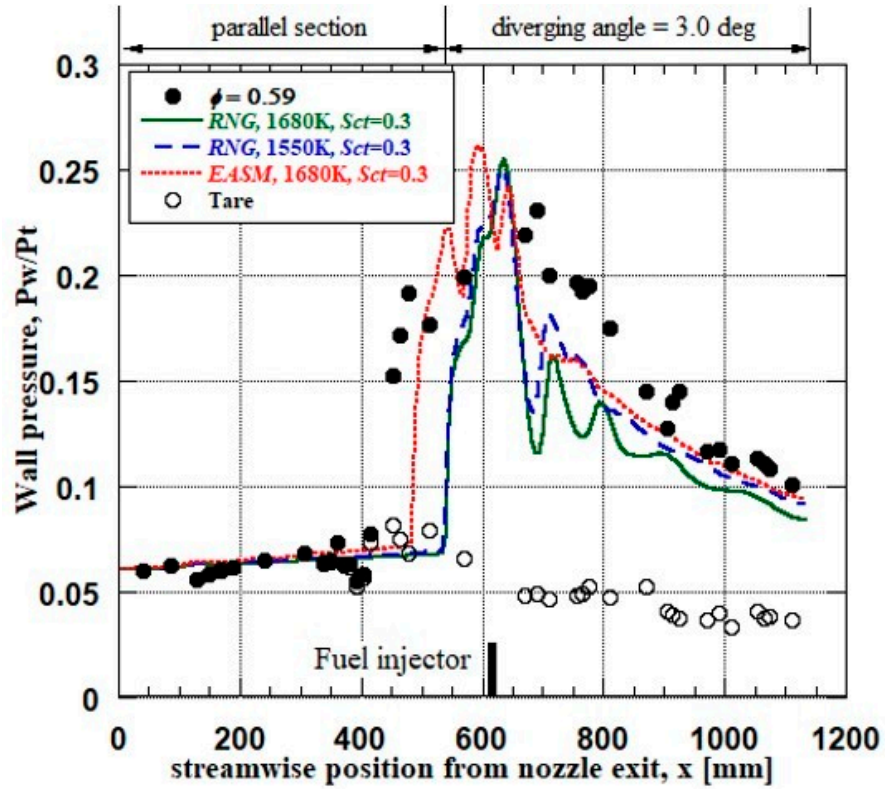


図 1: 大規模剥離を伴う超音速燃焼器内壁圧分布(点:実験結果, 線:各 CFD 解析結果)

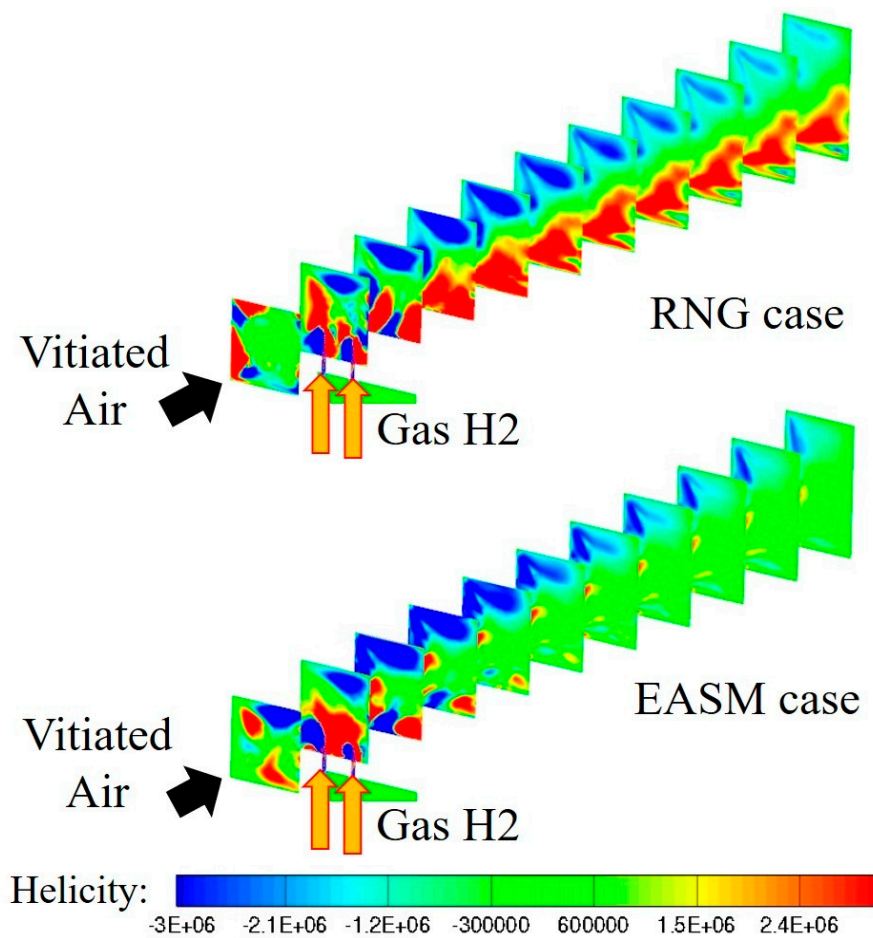


図 2: 燃焼器拡大部の Helicity 分布(上:RNG モデル, 下:RNG モデル +EASM)

## ● 成果の公表

-口頭発表

Nishiguchi, H., Kodera, M., Tomioka, S., "Turbulence Model Effects on RANS Simulations of the Direct-Connected Scramjet Combustor Test", AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum, August,2020.

## ● 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	32 - 1024
1 ケースあたりの経過時間	50 時間



## ● JSS2 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	360,350.01	0.07
SORA-PP	83,188.34	0.65
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	168.80	0.15
/data	6,387.71	0.12
/ltmp	8,203.13	0.70

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

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.60

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 (%)
TOKI-SORA	0.85	0.00
TOKI-RURI	917,453.57	5.25
TOKI-TRURI	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	336.17	0.23
/data	12,355.81	0.21
/ssd	2,453.81	1.28

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

## JSS の利用概要

## 2020年度 JSS 利用概要

2020年度はJSS2とJSS3の併設運用となり、JSS3が段階的に導入され2021年3月からフル稼働している。調布航空宇宙センター設置システムの2020年度運用は次の通り。

■JSS2 運用期間：2020年 4月1日～2021年2月28日

■JSS3 運用期間：2020年12月1日～2021年3月31日

※ JSS2/JSS3の主な諸元は、補足1を参照ください。

### 1. JSS2/JSS3のジョブ充填率推移

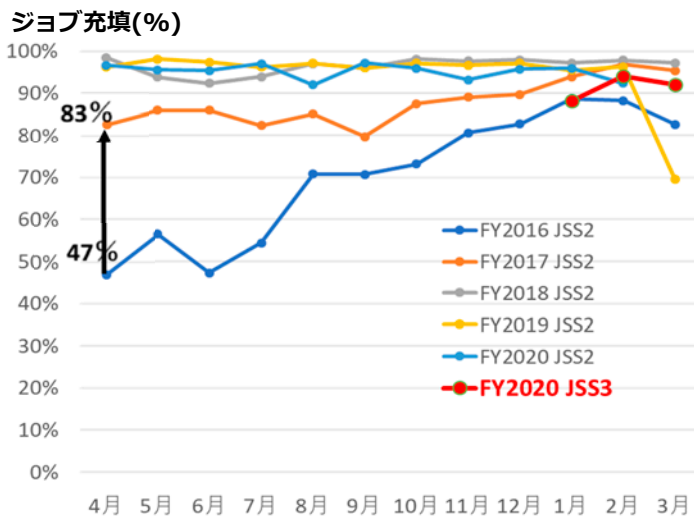


図1 JSS2/JSS3 ジョブ充填率

JSS2は2016年4月から稼働開始し、当初ジョブ充填率は50%以下だったが、1年後には80%以上となり、以降90%以上の高いジョブ充填率で運用された。

JSS3は導入初期の比較的計算機リソースにゆとりがある時期に合わせて大規模チャレンジを実施したことで、充填率85%以上に運用効率を高めた。また、フル稼働の2021年3月には90%以上の高いジョブ充填率を示し、JSS2からのシームレス移行を成功させている。

### 2. JSS3初期の利用傾向

JSS2では実行できなかった大規模ジョブがJSS3では多数実行されており、ユーザプログラムの移行が順調に行われている。また、プログラムの大規模化と大規模パラメトリックスタディの二極化が進んでいる。

表1 並列度別利用割合

プロセス並列度	JSS2 利用割合	JSS3 利用割合
10,000～999,999	4%	7%
10～9,999	94%	79%
1～9	2%	14%

**プログラムの大規模化と大規模パラメトリックスタディの二極化が進んでいる。**

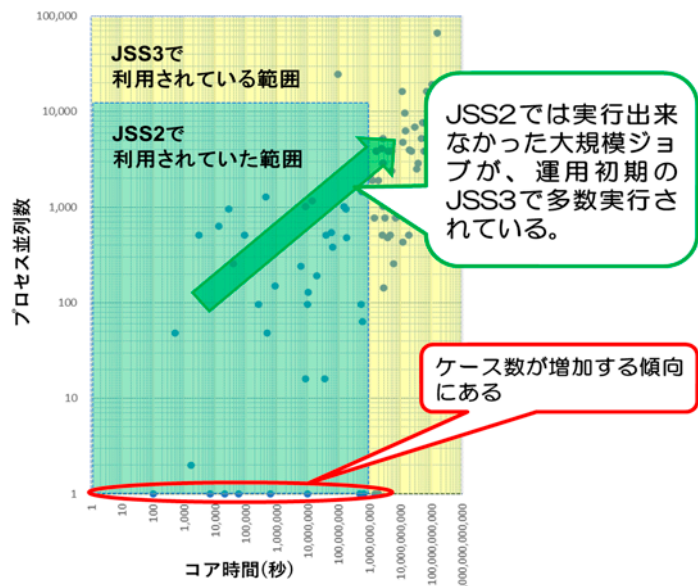


図2 プロセス並列度と利用料の相関

### 3. リソース配分

利用枠組みは5つに分類され、それぞれの枠組みに適した利用率保障、ジョブの実行優先度制御が設定されており、研究開発成果の最大化を効果的に実現している。

表 2 JSS 利用枠組みの概要

枠組み	概要	保証
重点利用	プロジェクト要請など JAXA の戦略的な取り組み利用	50%
一般利用	一般的な研究開発課題の利用	—
小規模利用	試験的・萌芽的な小規模計算(事業コードの設定不要)	4%
JSS 大学共同利用	大学共同利用設備としての利用	5%
設備供用	民間等外部機関による有償利用 補足2 (無償トライアルユース制度あり)	10%

### 4. 年度別推移

#### 1) JSS 利用枠組みの実績

重点利用の占める割合が毎年増加し、2020年度 JSS2 は全体の 50%に達した。また、2020年度 JSS3 の重点利用は、25%以上を占め順調に移行されている。

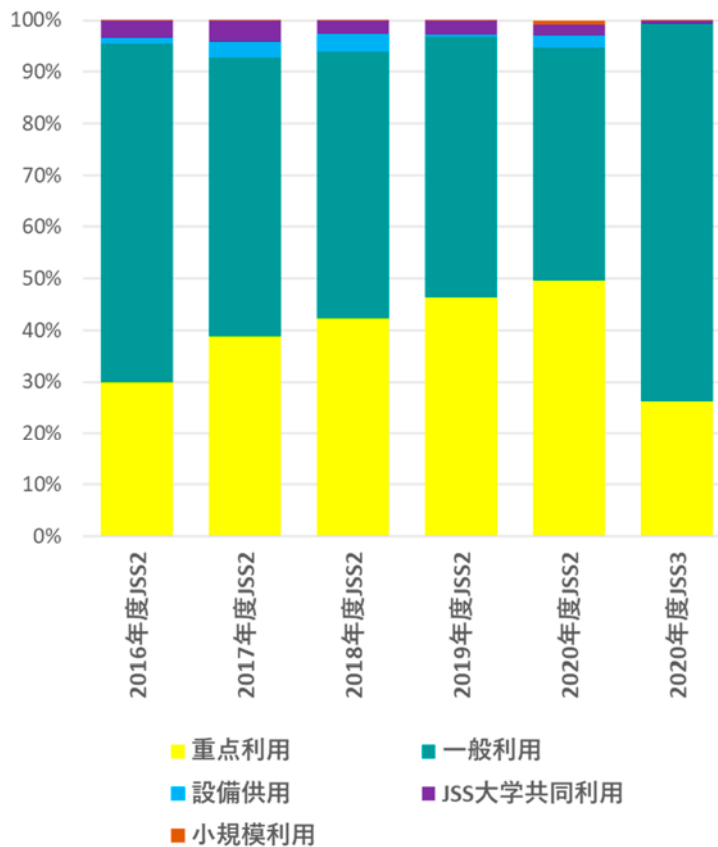


図 3 JSS 利用枠組み毎のリソース配分の推移

## 2) 部門別の実績

宇宙輸送技術部門の利用が JSS2 当初約 10% から 2020 年度は 3 倍以上に増加している。研究開発部門は、基礎研究も含まれるが宇宙輸送技術部門のプロジェクト支援もあり、2 部門の合計は全体の約 40% に達している。航空技術部門は毎年 40% 以上を占め、JSS2 の利用は航空部門、および宇宙部門に広がっている。

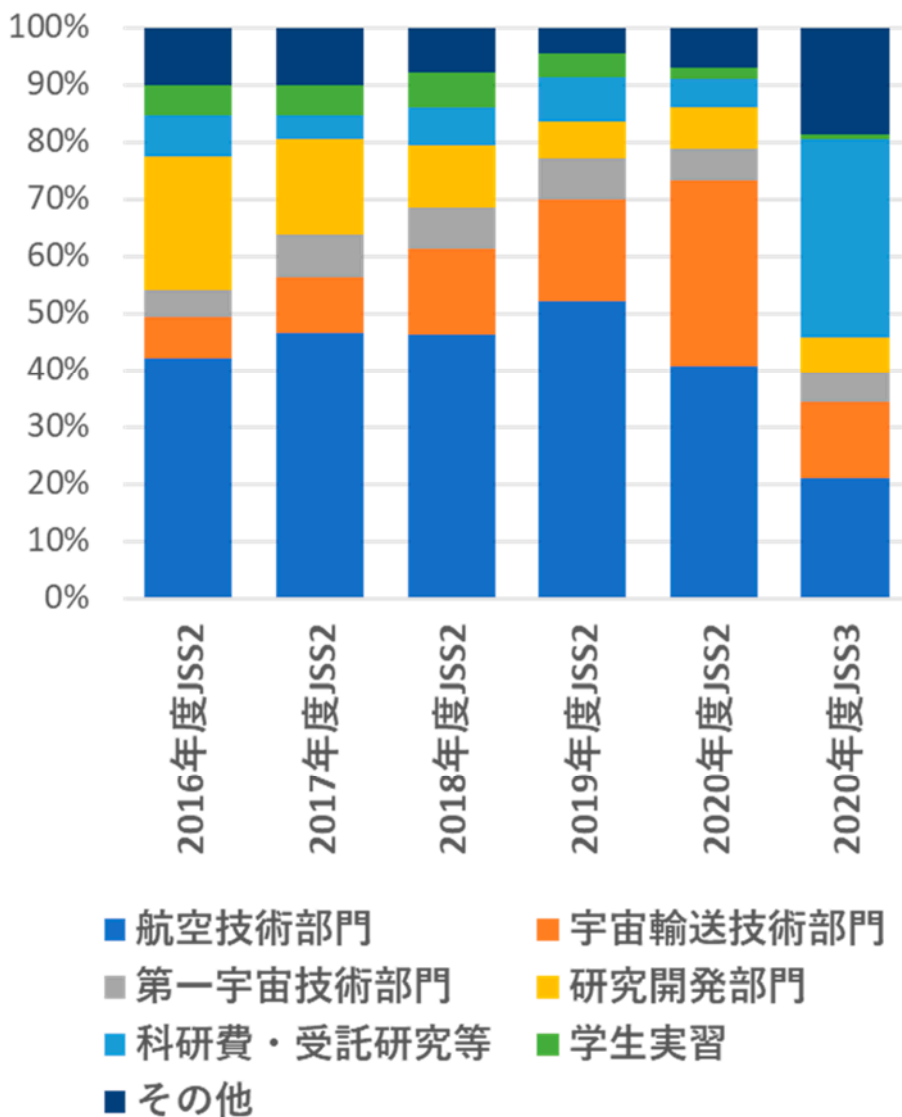


図 4 部門別の推移

## 5. 2020 年度部門別利用枠組み実績

JSS2/JSS3 の部門ごとの利用枠組み別利用状況を図 5、図 6 に示す。各部門とも JSS2 から JSS3 にジョブ移行しており、また、JSS 大学共同利用、学生実習などアウトリーチのジョブも含めて順調に JSS3 でジョブ実行できている。

JSS3 では HQ 部門の一般利用枠増加が大きい。これは通常運用では実行できない大規模チャレンジ (JSS3 全体システムの 1/2 規模ジョブ) を実施したことによる。第 53 回流体力学講演会/第 39 回航空数値シミュレーション技術シンポジウム (ANSS 一般)「新 JAXA スパコンシステム JSS3」セッションにて成果報告されている。

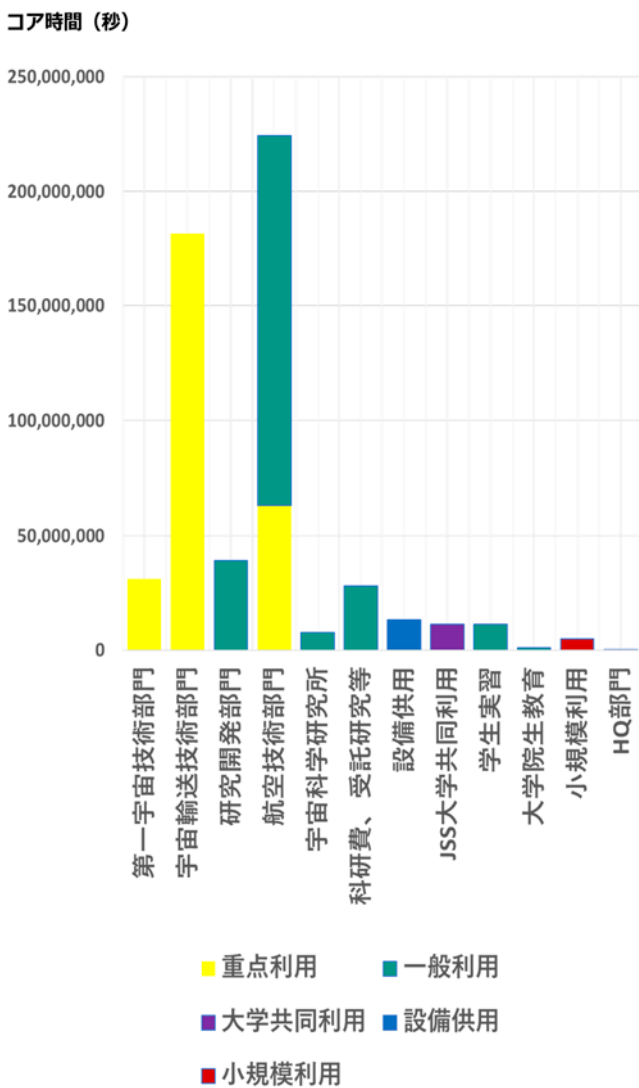


図 5 JSS2 部門別利用枠組み別利用状況

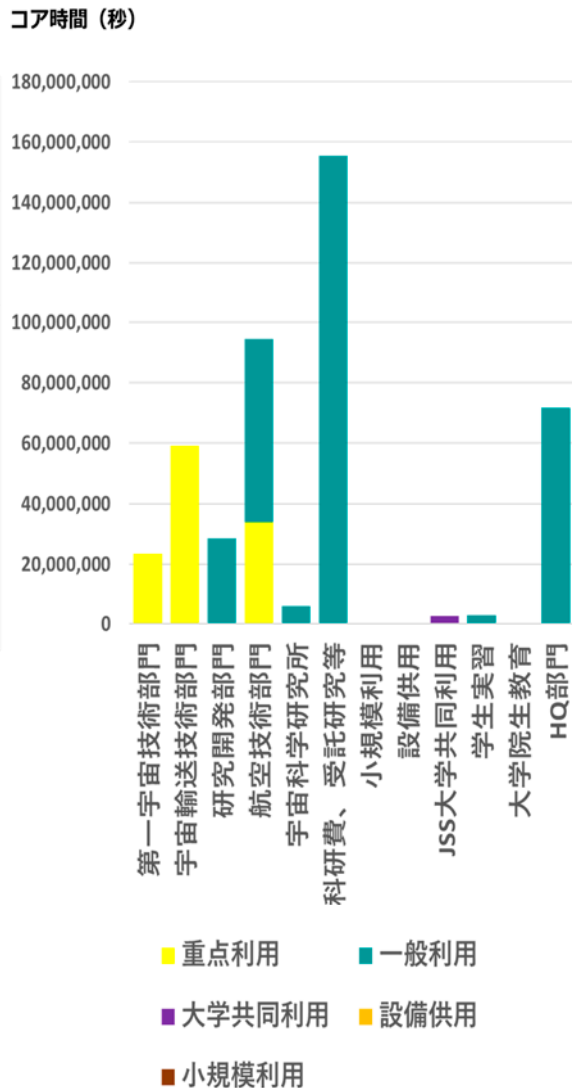


図 6 JSS3 部門別利用枠組み別利用状況

## 6. 2020年度重点利用課題

重点利用課題は、次の3つのカテゴリからなる。

- ・ プロジェクト等の確実な実施に不可欠なもの
- ・ JAXA 外部との連携により社会に広く貢献するもの
- ・ JAXA の中長期目標実現に向けて計算科学の観点から特に推進すべき研究開発

審査の結果、表3にある6課題が採択された。

表3. 2020年度重点利用事業一覧

事業名	事業の範囲／構成	担当部門
<b>プロジェクト等の確実な実施に不可欠なもの</b>		
H3 プロジェクト	H3 ロケット総合システムの開発(試験機の打ち上げ及び飛行後評価を含む)	宇宙輸送技術部門
航空研究開発事業	機体騒音低減技術の研究開発(FQUROH+)	航空技術部門
<b>JAXA 外部との連携により社会に広く貢献するもの</b>		
衛星利用促進事業	中央省庁、地方自治体、大学、民間などとの連携による、衛星利用の推進	第一宇宙技術部門
衛星リモートセンシングに係る研究	課題分野研究	第一宇宙技術部門
衛星利用運用事業	全球降水観測 / 二周波降水レーダ(GPM/DPR) 及び熱帯降雨観測衛星(TRMM)/降雨レーダ(PR)運用事業	第一宇宙技術部門
<b>JAXA の中長期目標実現に向けて計算科学の観点から特に推進すべき研究開発</b>		
航空科学技術研究	統合シミュレーション技術の研究開発	航空技術部門

重点利用から見ても、JSS3 への移行が入出力データを含めて円滑に進み、第4四半期の処理に対応できた。JSS2/JSS3 に占める重点利用と事業毎の利用状況を図7、図8に示す。

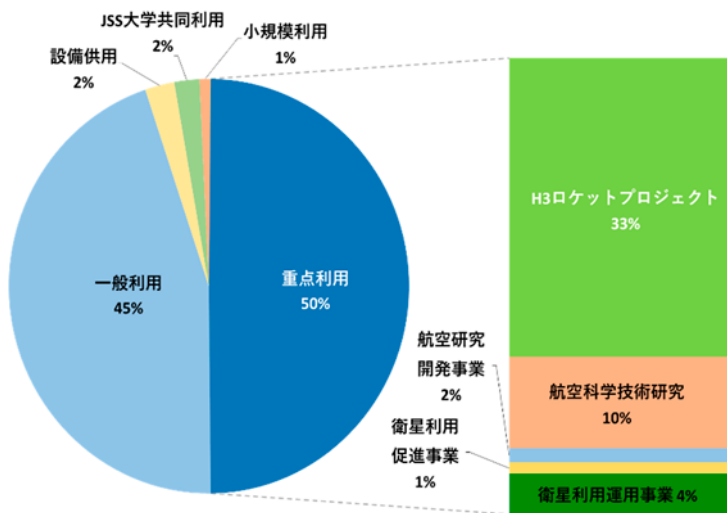


図7 JSS2 事業別重点利用状況

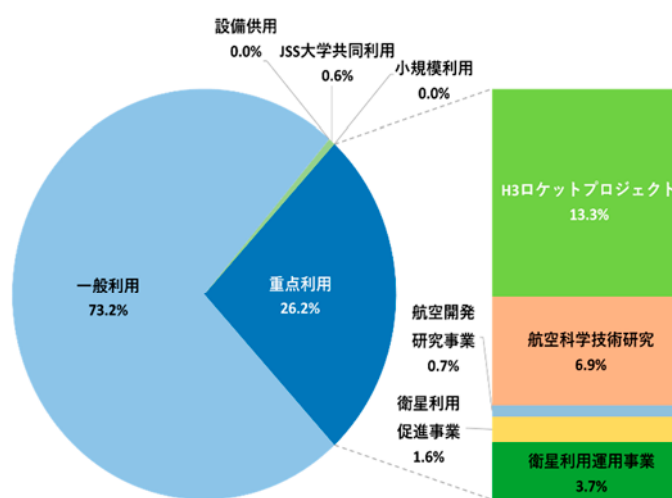


図8 JSS3 事業別重点利用状況



## 7. 2020年度 大規模チャレンジの実施

換装直後に大規模計算の専用ノードを確保することで、通常運用では実行できない大規模チャレンジ（JSS3 全体システムの1/2 規模ジョブ）にて、理学的、工学的に大きな飛躍を先導する解析を目的に実施。詳細は下表4 参照。

表4 大規模チャレンジ一覧

所属機関	宇宙航空研究開発機構	宇宙航空研究開発機構	北海道大学
所属	研究開発部門第3 研究ユニット	航空技術部門	大学院理学研究院地球惑星科学部門
申請者	芳賀臣紀	南部太介	竹田裕介
課題名	①フルスケール液体ロケットエンジン燃焼器のLES  Large-eddy simulation of a full-scale liquid rocket engine combustor	②Interface-resolved DNS による複数液滴蒸発の大規模解析  Large-scale analysis of multi-droplet evaporation by interface-resolved DNS	③大規模フルカラーTomographyデータの3D 可視化：ヒトの網膜の解像度を突破する  Beyond the human eye resolution: 3D visualization of full-color tomographic images
申請時の最大使用システム	TOKI-SORA ×2670 node	TOKI-SORA×607 node (1400node×2 ケース:23 億セル規模をトライ)	TOKI-XL×2 node
具体的な成果  ※詳細は、 利用成果報告 FHC01 FHC02 FHC03 参照	計算不安定のため計算が完了しなかったが、その後の調査・検討の結果、原因についてほぼ特定できた。ノズルなしであれば実機の噴射条件で解析ができるようになり、現在、LE-9エンジンのプロジェクト支援解析に適用している。	液滴群の蒸発を世界で初めて明らかにした。2023 年中の高精度化モデル完成を見込んでいる。  	世界初となるヒトの網膜の解像度や視覚認知限界を超えた 3D 可視化を達成した。これにより、隕石や玄武岩など宇宙科学に関連する重要な試料の高解像度の観察や解析が可能となる。
実績コア時間 (秒)	TOKI-SORA 40,972,445.31 TOKI-RURI(ST) 103,790.33	TOKI-SORA 47,053,305.01 TOKI-RURI(ST) 871.86 TOKI-RURI(LM) 217.31	TOKI-RURI(ST) 514,040.16 TOKI-RURI(LM) 2,098.32 TOKI-RURI(XM) 14,219.10

## 8. 可視化技術

可視化技術は、計算結果をより正確にできるだけ早く解析するために必須の技術である。スーパーコンピュータ活用課では、JSS3/TOKI-RURI に各種可視化ツールを用意しており、利用者は研究内容に合わせた可視化を行うことができる。

### ● 大規模計算結果の可視化

計算結果がある程度以上のサイズになり通常の可視化環境で可視化できなくなる場合には、可視化チームが適切な方法をアドバイスしている。複雑な大規模可視化の例を下図に示す。

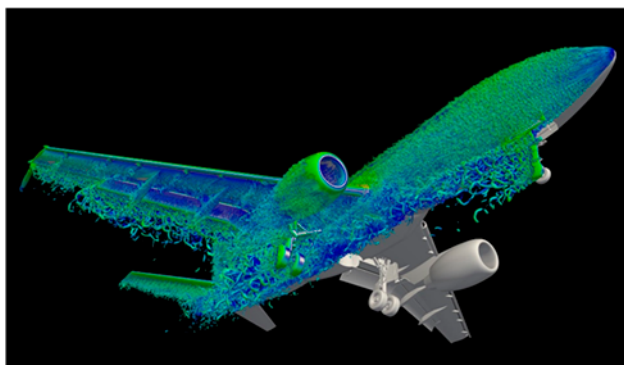


図9 航空機解析コア技術開発

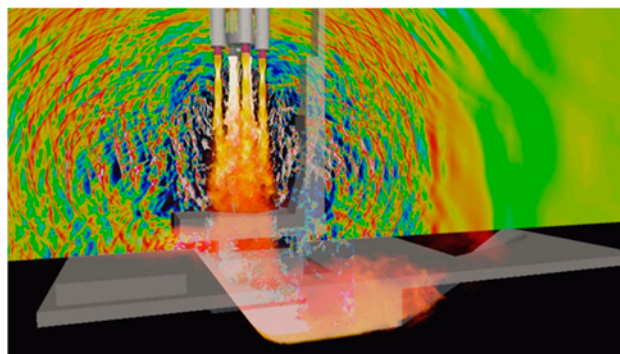


図10 H3 ロケットの打ち上げ時の射場周りのシミュレーション

### ● 可視化の新技术

新可視化技術の利用を進めており、代表的なものとして、3D プリンタを利用した立体的可視化、MR（Mixed Reality：複合現実）技術を用いた可視化がある。会議等で見えないところを共有して見ることを実現している。



図11 透明樹脂を使った3D プリンタモデル  
（航空機ランディングギア周り）

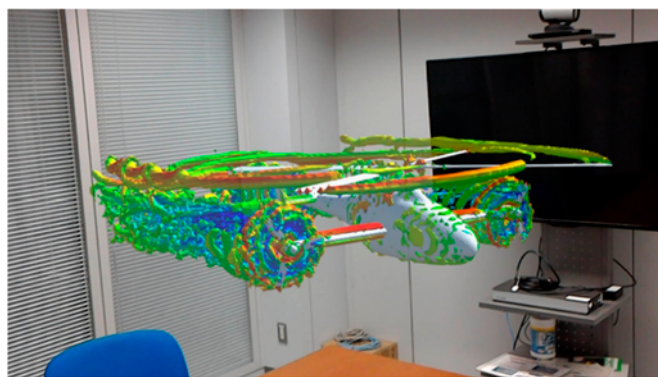


図12 MR 技術を使った3D 立表示  
（コンパウンドヘリコプタ）

補足1 システム構成図

1) JSS3 システム構成図

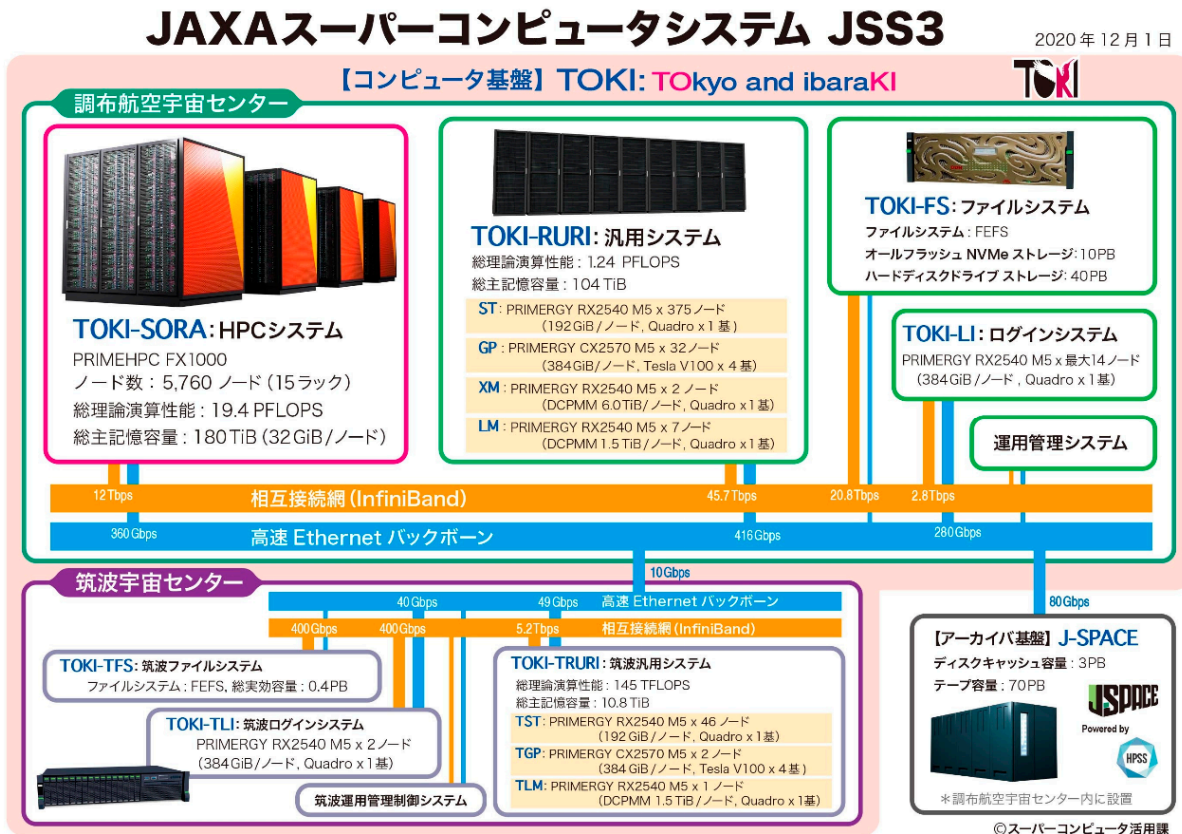


図 13-1 JSS3 システム構成図

表 5-1 JSS3 主要諸元

機種	TOKI-SORA	TOKI-RURI			
		ST	GP	XM	LM
PRIMEHPC	FX1000	PRIMERGY RX2540 M5	PRIMERGY CX2570 M5	PRIMERGY RX2540 M5	PRIMERGY RX2540 M5
ノード数	5,760	375	32	2	7
CPU	A64FX (Arm®v8.2-A SVE)	Intel Xeon Gold 6240		Intel Xeon Gold 6240L	Intel Xeon Gold 6240
CPU数/ノード	1	2			
メモリ/ノード	32 GiB	192 GiB	384 GiB	6 TiB	1.5 TiB
理論ピーク性能/CPU	3.3792 TFLOPS	2.99 TFLOPS			
コア数/CPU	48+Assistant core x 4	36			
グラフィックボード	—	NVIDIA Quadro P4000	NVIDIA Tesla V100(SXM2)	NVIDIA Quadro P4000	
GPU数/ノード	—	1	4	1	
コア数/GPU	—	1,792	5,120	1,792	
メモリ/GPU	—	8 GiB	32 GiB	8 GiB	
インターコネクト	Tofu Inerconnect D	InfiniBand HDR100 x 2 25GB/s x 2(Bidirectional)			InfiniBand HDR100 x 1 12.5GB/s x 2(Bidirectional)

2) JSS2 システム構成図

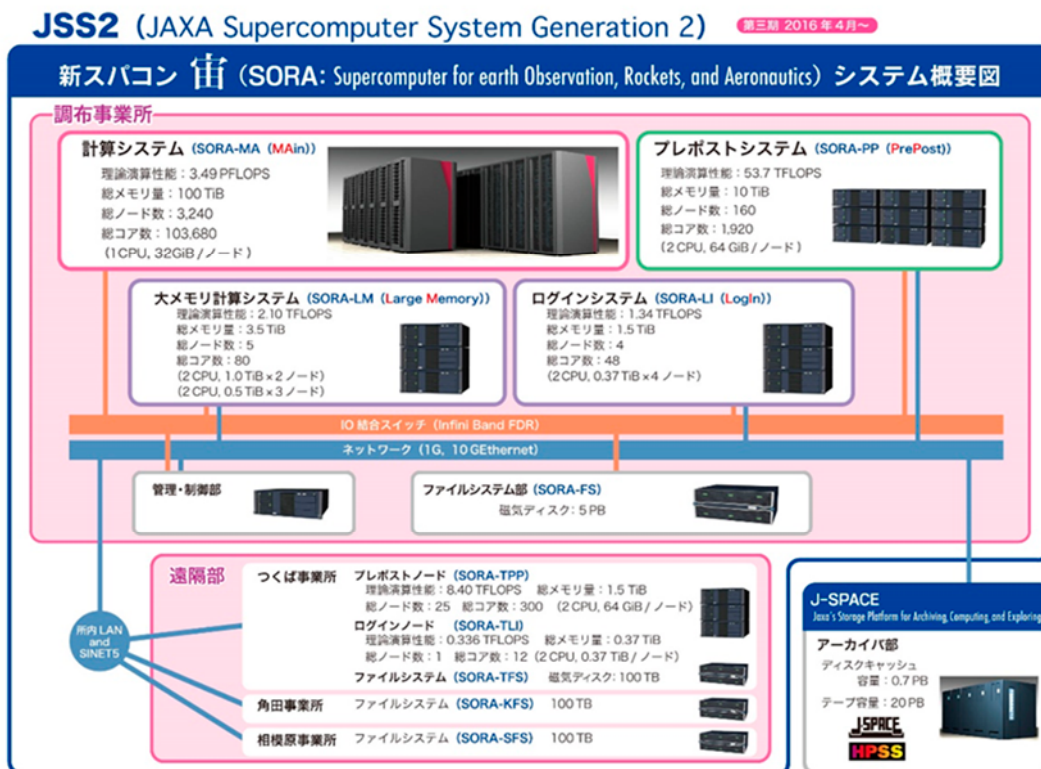


図 13-2 JSS2 システム構成図

表 5-2 JSS2 主要諸元

システム名	計算システム (SORA-MA)	プレポストシステム (SORA-PP)	大メモリ計算システム (SORA-LM)	プレポストノード (SORA-TPP)
機種名	富士通 FX100	富士通 RX350 S8	富士通 RX350 S8	富士通 RX350 S8
ノード数	3,240	160	5	25
総理論演算性能	3.49PFLOPS	53.7TFLOPS	2.10TFLOPS	8.40TFLOPS
コア数/ノード	32	6	8	6
CPU数/ノード	1	2	2	2
メモリ量/ノード	32GB	64GB	1024/512GB	64GB



## 補足2 JSS3 設備供用有償利用単価

表6 JSS3 単価表

項目		料金
直接 経費	基本利用料	10,283 円/月
	ノード利用料	SORA システム単価 0.00568 円/ (ノード・秒) RURI (ST) システム単価 0.01478 円/ (ノード・秒) RURI (GP) システム単価 0.06241 円/ (ノード・秒) RURI (XM) システム単価 0.22911 円/ (ノード・秒) RURI (LM) システム単価 0.03430 円/ (ノード・秒) (SORA システムは、500(ノード・時)を超える利用時間が課金対象)
	ファイル利用料	ファイル単価 0.11781 円/ (GB・月) (500(GB・月)を超える割当て容量が課金対象。 また、JAXA が認めた容量に限る)
	アーカイバ部利用料	JAXA が認めた必要最低限の容量まで無料。 但し、最大 400TB まで。
一般管理費		直接経費の 9.3%

上記、利用料、条件など変更される場合があります。最新情報は下記 URL をご確認ください。

<https://aerospacebiz.jaxa.jp/solution/facility/facility69/>

宇宙航空研究開発機構特別資料 JAXA-SP-21-003  
JAXA Special Publication

**JAXAスーパーコンピュータシステム利用成果報告(2020年4月～2021年3月)**  
JAXA Supercomputer System Annual Report (April 2020 - March 2021)

---

発行 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)  
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1  
URL: <http://www.jaxa.jp/>

編集 セキュリティ・情報化推進部 スーパーコンピュータ活用課  
「JAXAスーパーコンピュータシステム利用成果報告(2020年4月～2021年3月)」編集チーム  
編集リーダー: 藤田直行  
編集スタッフ: 落合優, 勝野晴美, 高津進, 竹本勇介, 藤野敦志, 本川学 (五十音順)  
報告収集・オーサリングシステム 設計・開発・管理: 木元一広, 本川学

発行日 2021年12月20日  
電子出版制作 松枝印刷株式会社

※本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。  
Unauthorized copying, replication and storage digital media of the contents of this publication, text and images are strictly prohibited. All Rights Reserved.

---

