



ISSN 1349-113X

JAXA-SP-16-003

宇宙航空研究開発機構特別資料

平成27年度
JAXAスーパーコンピュータシステム
利用成果報告

JAXA Supercomputer System
Technical Summaries 2015

セキュリティ・情報化推進部

宇宙航空研究開発機構

平成28年9月

平成 27 年度 JAXA スーパーコンピュータシステム利用成果報告

JAXA Supercomputer System Technical Summaries 2015

目 次

【成果概要】

航空分野

1. 圧縮性二相流の高精度数値研究	3
2. エコウィング技術の研究開発環境航空機システム研究 ：機体-エンジン統合低騒音化技術	6
3. エロージョンにかかわるシミュレーション	10
4. エンジン騒音低減技術の研究	12
5. 機体騒音低減技術の飛行実証 (FQUROH) プロジェクト	14
6. 吸音ライナーの LES 解析	18
7. 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 (共通基盤空力解析ツール)	20
8. 航空機に対する Vortex Generator の効果	22
9. 航空用エンジンのファンブレード流れの境界層遷移の LES による数値予測	25
10. 小型航空機エンジン用燃焼器内部流の解析	27
11. グリーンエンジン (超高温タービン技術の研究)	29
12. 実機形状燃料ノズルの微粒化に関する研究	30
13. シミュレーション拠点の整備	32
14. 将来型回転翼航空機に関する研究	34
15. 将来型旅客機の空力・騒音最適化研究	37
16. 将来航空機に対する自然層流翼設計技術の研究	40
17. 水素利用高速推進システムの研究	42
18. 静粛超音速機技術の研究開発	44
19. 遷音速デルタ翼におけるバフエット現象の数値解析	46
20. 遷音速レイノルズ数効果試験技術	48
21. 超音速機の自然層流翼設計技術の研究	50
22. 極超音速インテークに関する数値的研究	52
23. 低ソニックブーム設計概念実証機：D-SEND#2 の数値解析	54
24. デジタル/アナログ・ハイブリッド風洞システム運用	56
25. 燃焼器解析に関する研究	59
26. 非構造 CFD コードによるキャビティ音響振動予測に関する研究	61
27. 非構造 CFD コードの高速化に関する研究	63
28. 非定常特性を考慮に入れた低レイノルズ数翼の最適設計の研究	65
29. 低ソニックブーム設計評価のための近傍場圧力波形推算手法の高精度化	67
30. フロンティア領域の非定常 CFD 解析技術に関する研究	69
31. リブレット上の流れの数値シミュレーション	72
32. 流体素子による空気流量配分制御技術の研究	74
33. 【aFJR プロジェクト】 LS-DYNA によるマルチスケール構造解析	76
34. CFD の小型旅客機設計適用に関する研究	79

35. EFD/CFD 融合データ活用技術	81
36. JAXA-QSST 形状の HLD 最適設計	83
37. LPT フラッタ解析	85
38. Multi-Fidelity アプローチによる推進系統合形態超音速機の空力最適化	87

宇宙分野

39. 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) / 降雨レーダー (PR) 運用事業	90
40. 宇宙航空技術の維持・強化に係る研究③その他の研究 (複合サイクルエンジン (RBCC) の基盤的研究)	93
41. 液体ロケットエンジン及び宇宙機スラスタの燃焼関連解析	97
42. 液体ロケットエンジン燃焼器性能・寿命予測解析	100
43. 液体ロケット上段リエントリ時の落下分散域評価法の見直し検討支援	102
44. 温室効果ガス観測技術衛星 2 号 (GOSAT-2) 運用事業におけるスパコン利用検討	104
45. 温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) 運用事業	106
46. 改良型高性能マイクロ波放射計 (AMSR-E) 運用事業におけるスパコン利用	109
47. 軌道上のロケット・衛星・宇宙ステーション周りの希薄流解析	111
48. 強度可変酸化剤旋回流型ハイブリッドロケットの燃焼シミュレーション	113
49. 高速流体力学に関する学術研究	115
50. 再突入カプセルにおける RCS 干渉場の予測	117
51. 将来輸送技術の研究 (ロケットエンジン要素数値解析)	119
52. 新型基幹ロケット空力特性基礎試験	121
53. 磁気リコネクションのダイナミクスに関する研究	123
54. スクラムジェットエンジン内部形状の空気力学的効果	127
55. 設計探査に関する学術研究	131
56. 大気突入機の熱空力評価システムの高度化	133
57. 多次元 MHD シミュレーションによる超新星残骸の研究	136
58. 月着陸候補地点のシミュレーションおよび解析	139
59. 流れ場の最適制御に関する研究	141
60. 非線形フォースフリー磁場計算による「ひので」観測からの太陽コロナ磁場推定	143
61. プロジェクト課題対応解析	145
62. ロケット音響環境予測技術の研究開発	147
63. ロケット高周波燃焼振動に関する研究	149
64. ロケット再突入データ取得研究	151
65. ロケットラム複合サイクルエンジンにおける性能向上のためのエジェクタ・モード の数値計算	153
66. ロケット・宇宙機の推進薬管理に係る数値解析	155
67. 惑星大気対流構造に関する数値的研究	157
68. GPM 全球降水マップのデータ同化手法の研究	159
69. GPM/DPR のデータ受信処理におけるスパコン利用	162
70. 3 プロジェクト支援の射点音響計算	165
71. LE-9 エンジン OTP タービンの開発	167

基礎研究

72. 高速流体ソルバ FaSTAR を用いた RLG 形状に対する非定常空力解析	168
73. 航空宇宙機内部音響環境改善のための音響解析技術の研究	170
74. 高負荷数値シミュレーション高速化の研究	173
75. 高レイノルズ数乱流噴流における微細スケールスカラー混合過程の解明	175
76. 極超音速域の化学反応流における数値的研究	177
77. 再突入カプセルの遷音速不安定に関する研究	179
78. 擾乱場重畳による URANS 解析の遷音速バフェット予測精度向上に関する研究	181
79. 遷音速用第 2 制限関数による高解像度・高効率 CFD 手法	183
80. 燃焼器設計フロントローディングのためのシミュレーション技術の研究	185
81. 飛翔体の表面圧力・温度分布シミュレーション	188
82. 複雑形状を反映した惑星表層温度シミュレーションに関する研究	190
83. 風車翼周りの CFD 解析	192
84. 3次元バフェット解析に関する研究	194
85. FaSTAR による風車翼端渦の数値解析	196
86. FX100 における UPACS の性能評価と高速化チューニング	198
87. VOF 法を用いた平面液膜の気流微粒化現象の数値解析	200

その他

88. 大型風洞における汎用 PIV システムの開発	202
89. 自動車エンジン燃焼室 3次元 CFD コアソフトの構築	203
90. プロジェクト対応解析支援システムの開発	205
91. JAXA スーパーコンピュータの運営 (角田)	207

大学共同利用 (航空分野)

92. 超音速飛行体周りの圧力場計算及び空力性能評価	209
93. 飛翔体の空力・構造・飛行力学連成解析に関する研究	212

大学共同利用 (宇宙分野)

94. 水星の材料物質の起源, 熱史, および磁場生成	215
95. 多目的空力設計問題に関する研究	218
96. 超臨界乱流の高精度数値シミュレーション	221
97. 細長物体の空力特性についての数値解析	223
98. 無衝突磁気リコネクションの運動論的研究	225
99. 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	227
100. 惑星大気の大気構造の比較数値モデリング	229
101. DNS 解析に基づく高マッハ数混相乱流 LES モデルの構築	232

大学共同利用 (基礎分野)

102. 圧縮性境界層における層流-乱流遷移後期過程の非線形渦動力学の解明	235
103. 直交格子法を用いた固気液三相圧縮性流体解析コードの開発と応用	237
104. 発達した乱流の大規模数値シミュレーション研究	240

----- 責任者別 -----

青山剛史 (橋本 敦, 石田 崇, 菅原瑛明, 山本貴弘, ハミドレザ ケイランディッシュ) ……	20
青山剛史 (村上桂一, 橋本 敦, 石田 崇, 林 謙司, 近藤 賢) ……	32
青山剛史 (山谷 徹) ……	46
青山剛史 (小林 航, 長尾 志) ……	52
青山剛史 (橋本 敦, 石田 崇, 吉本 稔, 今井和宏, 西村信佑, 石川勝利) ……	61
青山剛史 (橋本 敦, 石田 崇, 吉本 稔, 今井和宏, 西村信佑, 石川勝利) ……	63
青山剛史 (橋本 敦, 石田 崇, 林謙司, 竹川国之) ……	69
青山剛史 (森上群平) ……	179
青山剛史 (熊田健太, 澤田恵介, 橋本 敦) ……	181
青山剛史 (橋本 敦, 北村圭一, 青柿拓也) ……	183
青山剛史 (小島良実) ……	194
青山剛史 (木村佳大) ……	196
石本真二 (青木良尚, 高間良樹) ……	151
伊藤 健 (中北和之, 村山光宏, 伊藤 靖, 田中健太郎, 平井 亨) ……	22
伊藤 健 (中北和之, 保江かな子, 上野 真, 古賀星吾, 互井梨絵, 小林 航, 川口恵子) ……	48
伊藤 健 (竹中啓三, 畑中圭太) ……	79
伊藤 健 (口石 茂, 保江かな子, 越智康浩, 加藤博司) ……	81
岩堀 豊 (齊藤健一, ケイランディッシュ ハミドレザ) ……	44
大山 聖 (寺門大毅, 阿部圭晃, Taufik Slaiman, 李 東輝, 福本浩章, 他) ……	131
岡田匡史 (寺島啓太, 伊海田皓史, 伊藤文博, 福澤 瞬, 今井和宏) ……	121
小川博之 (伊藤 隆, 中村昌道) ……	141
沖 理子 (久保田拓志, 可知美佐子) ……	90
小高正嗣 ……	229
郭 東潤 (徳川直子, 黒田文武, 牛山剣吾, 宮崎正也) ……	40
河合宗司 ……	221
賀澤順一 ……	167
北村圭一 (青柿拓也, 山形龍介) ……	223
倉本 圭 (木村 淳, 佐々木洋平) ……	215
後藤 晋 (川邊哲也, 薦田 拳) ……	240
佐宗章弘 (岩川 輝, 古川大貴, 青木勇磨) ……	209
佐藤 茂 (高橋正晴, 渡邊孝宏, 宗像利彦, 福井正明) ……	127
佐藤 茂 (高橋正晴, 渡邊孝宏, 宗像利彦, 福井正明) ……	207
嶋 英志 (清水太郎, 森井雄飛, 本江幹朗, 青野淳也, 菱田 学) ……	97
嶋 英志 (根岸秀世, 大門 優, 雨川洋章, 松本万有) ……	100
嶋 英志 (藤本圭一郎, 谷 洋海) ……	102
嶋 英志 (谷 洋海, 大門 優) ……	111
嶋 英志 (根岸秀世, 藤本圭一郎, 大門 優, 谷 洋海, 雨川洋章, 他) ……	145
嶋 英志 (堤 誠司, 芳賀臣紀) ……	147
嶋 英志 (根岸秀世, 藤本圭一郎, 梅村 悠) ……	155
嶋 英志 (堤 誠司, 芳賀臣紀, 前川友樹) ……	165
嶋田 徹 (北川幸樹, 本江幹朗) ……	113
清水敏文 (川畑佑典, 三好建正) ……	143
下村裕司 (上田陽子, 石田治行, 中西 功, 齋藤紀男, 山崎朋朗, 他) ……	106
下村裕司 (齋藤紀男, 齋藤 進) ……	109

下村裕司 (仁尾友美, 齋藤紀男, 中西 功, 小西利幸, 坂口功治, 他)	162
杉山耕一朗 (安藤紘基)	157
銭谷誠司	225
高木亮治	198
高橋 孝 (金森正史, 大道勇哉, 東 貴弘, 金谷崇史, 武田寿人, 大久保寛)	170
高橋忠幸 (李 兆衡)	136
高橋 俊	237
田口秀之 (本郷素行, 東野 嵩, 晝間正治, 佛圓 純)	42
田中 智 (滝田 隼)	190
坪井伸幸 (武藤大貴, 吉田啓祐, 坂本まい, 芝尾将史, 江藤成一朗, 他)	227
中島映至 (久保田拓志, 三好建正, 小槻峻司, 寺崎康児, 八代 尚)	159
野々村拓 (青野 光, 寺門大毅, 阿部圭晃, Taufik Slaiman, 李 東輝, 他)	115
西澤敏雄 (榎本俊治)	18
西澤敏雄 (賀澤順一, 榎本俊治)	25
西澤敏雄 (北條正弘, 北村祥之, 金堂剣史郎, 貞本将太)	76
西澤敏雄 (賀澤順一, 吉倉弘高)	85
二村尚夫 (鈴木正也, 山根 敬)	10
二村尚夫 (賀澤順一, 榎本俊治, 山下健志, 沢田恭兵)	12
二村尚夫 (牧田光正, 吉田征二, 山本 武, 中村直紀)	27
二村尚夫 (山根 敬, 鈴木正也)	29
二村尚夫 (吉田征二, 牧田光正, 中村直紀, 武石育海)	74
浜本 滋 (口石 茂, 越智康浩)	56
浜本 滋 (藤井啓介, 三木 肇, 岡林希依, 高間良樹)	117
浜本 滋 (鈴木俊之, Adrien Lemal, 小澤宇志)	133
浜本 滋 (加藤裕之, 小池俊輔)	202
長谷川進	153
平林 毅 (中島正勝, 四元和彦, 出口 聡, 加藤 順, 上田陽子, 山崎朋朗)	104
福田紘大 (野々村拓)	232
藤本正樹 (小川匡教, 清水健矢)	123
星野 健 (大嶽久志, 水流晃一, 若林幸子, 山本光生)	139
牧野好和 (徳川直子, 石川敬掲, 上田良稲, 小池寿宣, 春日洋平)	50
牧野好和 (吉田憲司, 石川敬掲, 牧本卓也, 笥由里子)	54
牧野好和 (牧本卓也)	67
牧野好和 (金崎雅博, 岸 祐希, 北崎慎哉)	87
松浦一哲 (黒沢要治, 山田秀志, 牧田光正, 中村直己, 張 会来, 飯野 淳)	30
松浦一哲 (首藤智太郎, 山本 武, 黒沢要治, 山田秀志, 牧田光正, 他)	200
松浦一雄	235
松尾裕一 (黒滝卓司, 住隆 博)	3
松尾裕一 (池田友明, 跡部 隆)	65
松尾裕一 (村上桂一, 松井勇樹)	168
松尾裕一 (藤田直行, 伊藤正勝, 宮島敬明)	173
松尾裕一 (村上桂一, 高橋航平)	177
松尾裕一 (溝渕泰寛, 阿部浩幸, 南部太介, 松山新吾, 岡部壮志, 他)	185
松尾裕一 (村上桂一, 山田 遼)	192
松尾裕一 (溝渕泰寛, 南部太介, 菱田 学, 安田章悟, 八百寛樹)	203
松尾裕一 (村上桂一, 林 謙司)	205

松山新吾	175
溝渕泰寛 (山本姫子)	59
宮路幸二	212
村上 哲 (村山光宏, 伊藤 靖, 池田友明, 坂井玲太郎, 高石武久, 他)	6
村上 哲 (田辺安忠, 杉浦正彦, 菅原瑛明, 大江晴天, 植村祐太)	34
村上 哲 (杉山太一, 後藤 駿, 小林保鷹)	37
村上 哲 (郭 東潤, 岡林希依, 内藤弘士)	72
村上 哲 (牧野好和, 郭 東潤, 大平啓介)	83
守田克彰 (呉屋英樹)	188
山本一臣 (伊藤 靖, 高石武久, 村山光宏, 坂井玲太郎, 中野 彦, 他)	14
吉田 誠 (植田修一, 小寺正敏, 高橋政浩, 渡邊孝宏)	93
吉田 誠 (木村俊哉, 高橋政浩, 長田 敦, 後藤公成)	119
吉田 誠 (高橋政浩)	149
米本浩一 (山崎裕司, 市毛優智, 浦 優介)	218

【利用概要】

1. システム概要	245
2. 障害発生状況	247
3. 運用概要	247
4. ユーザ登録状況	250
5. ユーザ区分別利用状況	250
6. 分野別利用割合	251

※ 年間利用量は事業コード申請別にスーパーコンピュータ活用課が集計した結果。
他に、研究の性質上、非公開のものが 5 件。

成果概要

1. 圧縮性二相流の高精度数値研究

Advanced Numerical Simulation of Compressible Two-phase Flow with High Accuracy and Resolution

● 事業形態

科研費

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット, 松尾裕一(matsuo@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット, 黒滝卓司(kurotaki@chofu.jaxa.jp)

佐賀大学大学院 工学系研究科先端融合工学専攻, 住 隆博(sumi@me.saga-u.ac.jp)

● 事業の目的

航空宇宙分野における, 定亜音速から極超音速流に至る高精度解析を可能とするための諸技術の研究を行うとともに, 特に航空機エンジンやディーゼルエンジンを想定した圧縮性混相流の高精度解析技術への応用を目指す。

● 事業の目標

従来研究で開発した, 極めて堅牢な WCS(Weighted compact scheme)コンパクトスキームの応用として, 今後発展すると予想されるマルチフィジックスの分野の 1 つである, 高精度圧縮性混相流解析法の研究を行い, 最終的には, エンジン燃料の微粒化への応用等の実用化を目指す。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

高精度解析法の研究には, 大容量, 高速な計算機が必要であり, 今後大規模な解析に発展させることを考えると, その役割はますます重要となると考えられる。

● 今年度の成果

- 界面を混合気体として扱う diffuse interface アプローチとレベルセット法を用いた sharp interface アプローチの両者を並行して開発し, アルゴリズムの妥当性を確認した。
- diffuse interface アプローチでは, 界面の熱力学的モデルの特性を明らかにし, 5方程式モデルから6方程式モデルへの拡張を行った。
- sharp interface アプローチでは, 質量保存性を満足しないという基本的な欠点を修正する新手法を開発した。

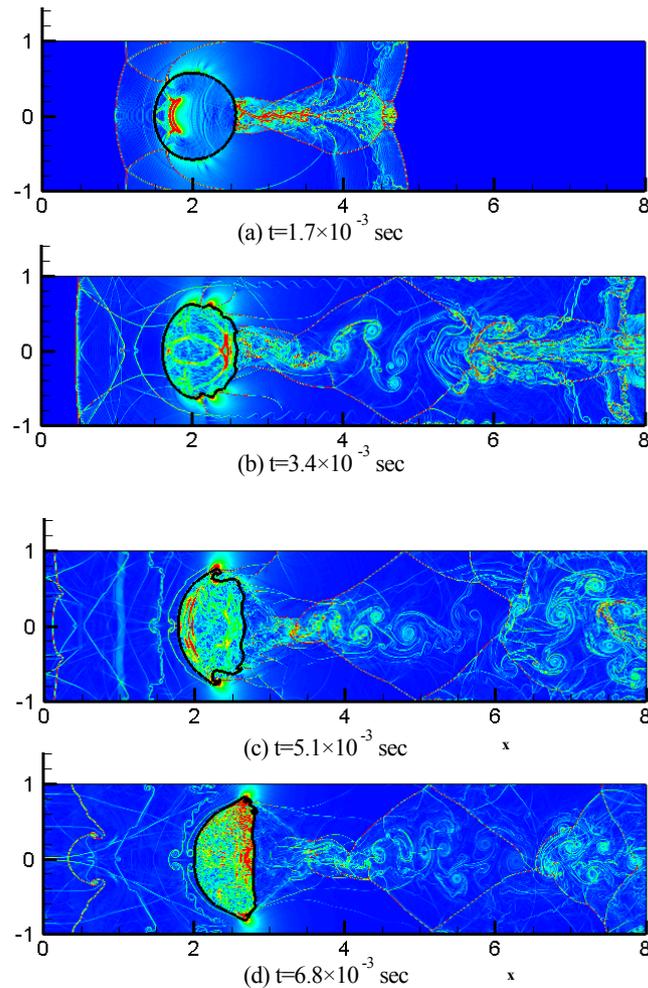


図1 マッハ6の衝撃波通過後の空気—水柱のシュリーレン結果(3001×751 格子点).
: Numerical density schlieren images of Mach 6.0 air-water shock-cylinder interaction problem(3001×751 grid points).

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	2時間
ケース数 :	3ケース
ジョブの並列プロセス数 :	1プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	12スレッド
プロセス並列手法 :	なし
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-PP

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) T. Sumi and T. Kurotaki, "A new central compact finite difference formula for improving robustness in weighted compact nonlinear schemes", Computers & Fluids, Vol.123, (2015), pp.162-182.

口頭発表

- 2) 黒滝, 住, “Sharp interface model を用いた高速流圧縮性混相流解析の質量保存性の向上について,” 第29回数値流体力学シンポジウム, (2015), B02-1.
- 3) 住, 黒滝, “圧縮性混相流に対する拡散界面モデルの比較検討,” 第29回数値流体力学シンポジウム, (2015), B02-3.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,493.30	37,960.27		

2. エコウィング技術の研究開発環境航空機システム研究 : 機体-エンジン統合低騒音化技術

Environment Conscious Aircraft Systems Research in Eco-wing Technology
: Airframe-Engine Noise Reduction Technology

● 事業形態

その他（航空技術部門ハブ事業）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
村上 哲(murakami.akira@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
村山光宏(murayama.mitsuhiro@jaxa.jp)
伊藤 靖(ito.yasushi@jaxa.jp)
池田友明(ikedat@chofu.jaxa.jp)
坂井玲太郎(sakai.ryotaro@jaxa.jp)
高石武久(takaishi.takehisa@jaxa.jp)
黒田文武(fkuroda@chofu.jaxa.jp)
大平啓介(ohirak@chofu.jaxa.jp)
牧本卓也(makitaku@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 FQUROH プロジェクトチーム，

雨宮和久(amemy@chofu.jaxa.jp)
田中健太郎(kentaro@chofu.jaxa.jp)
平井 亨(thirai@chofu.jaxa.jp)
中野 彦(gen@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

将来航空機に適用し，優位な環境性能を実現するための要素技術開発及びそのシステム検証を進めるとともに，新形態航空機的设计基盤を整備することで将来に渡る国内航空産業の競争力強化に貢献する。

● 事業の目標

Tube & wing 形態および unconventional 機体形態に対して機体の空力，構造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を作ることで，2030年代前半に開発開始想定 of 50%の燃料消費量削減，ICAO Chapter 4 -30dB 以上の騒音低減を目標とする新形態航空機的设计基盤を得る。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

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, 機体概念設計のトレードスタディには限界がある. そのため, 今後の計算機能力の向上に合わせた中・高fidelityの予測技術が必要であり, スパコンを利用してLESベースの解析技術や高度な騒音伝播解析技術を開発し, 機体全体を含めたより高いfidelityの解析技術を確立する必要がある

● 今年度の成果

CFDワークショップにおける検証問題などを用い, 高揚力装置や脚から発生する機体騒音予測技術や機体空力特性予測技術の精度検証と技術成熟度向上を行った. 主な成果例を以下にあげる.

- ① AIAA機体騒音検証ワークショップ (BANC) のスラット騒音検証問題 (JAXAからも高品質な風洞試験検証データや計算格子データを提供) の解析において, 計算手法 (乱流モデル化, 計算スキーム) や格子密度, スパン方向計算領域範囲による計算結果に与える影響を示し, スラット騒音解析精度向上に効果的な解析パラメータを絞り込んだ.
- ② CFDワークショップにおいて, 開発を進めている非構造格子生成ソフトウェアMEGG3Dを用いて作成した計算格子を提供すると共に, JAXA in-houseソルバーを用いて計算精度評価を行い, 計算格子生成技術と数値計算法の技術成熟度を向上させた. また, CFD検証用風洞試験データにおいて風洞模型支持装置を模擬した解析を行い, 支持装置の影響を示した解析結果をワークショップへ提供し, 計算/風洞間の比較精度を向上させた.

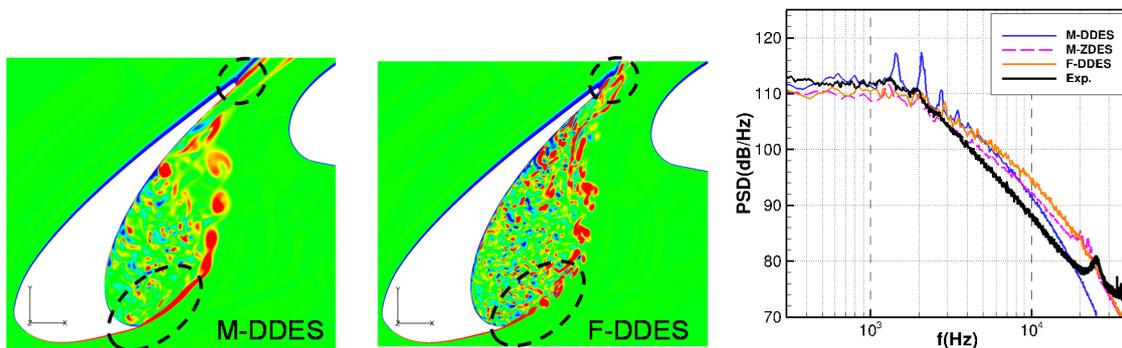


図1 スラット騒音解析時の計算格子密度の影響. 細かい計算格子F-DDESと比較し, 粗い計算格子M-DDESでは, スラット騒音予測において重要なスラットカスプ部分からの離せん断層のケルビン・ヘルムホルツ不安定性の発達が遅れて, ピークレベルが過大評価される.

(左図: 渦度比較, 右図: 主翼前縁下面側表面圧力変動比較)

: Comparison of grid dependency (M-DDES: Medium grid, F-DDES: Fine grid). Left: Instantaneous spanwise vorticity contours around slat, Right: Surface pressure spectra at a lower surface location near the leading edge of main wing.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間:	800時間
ケース数:	1ケース
ジョブの並列プロセス数:	660プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数):	4コア
プロセス並列手法:	MPI
スレッド並列手法:	OpenMP
利用計算システム:	SORA-MA

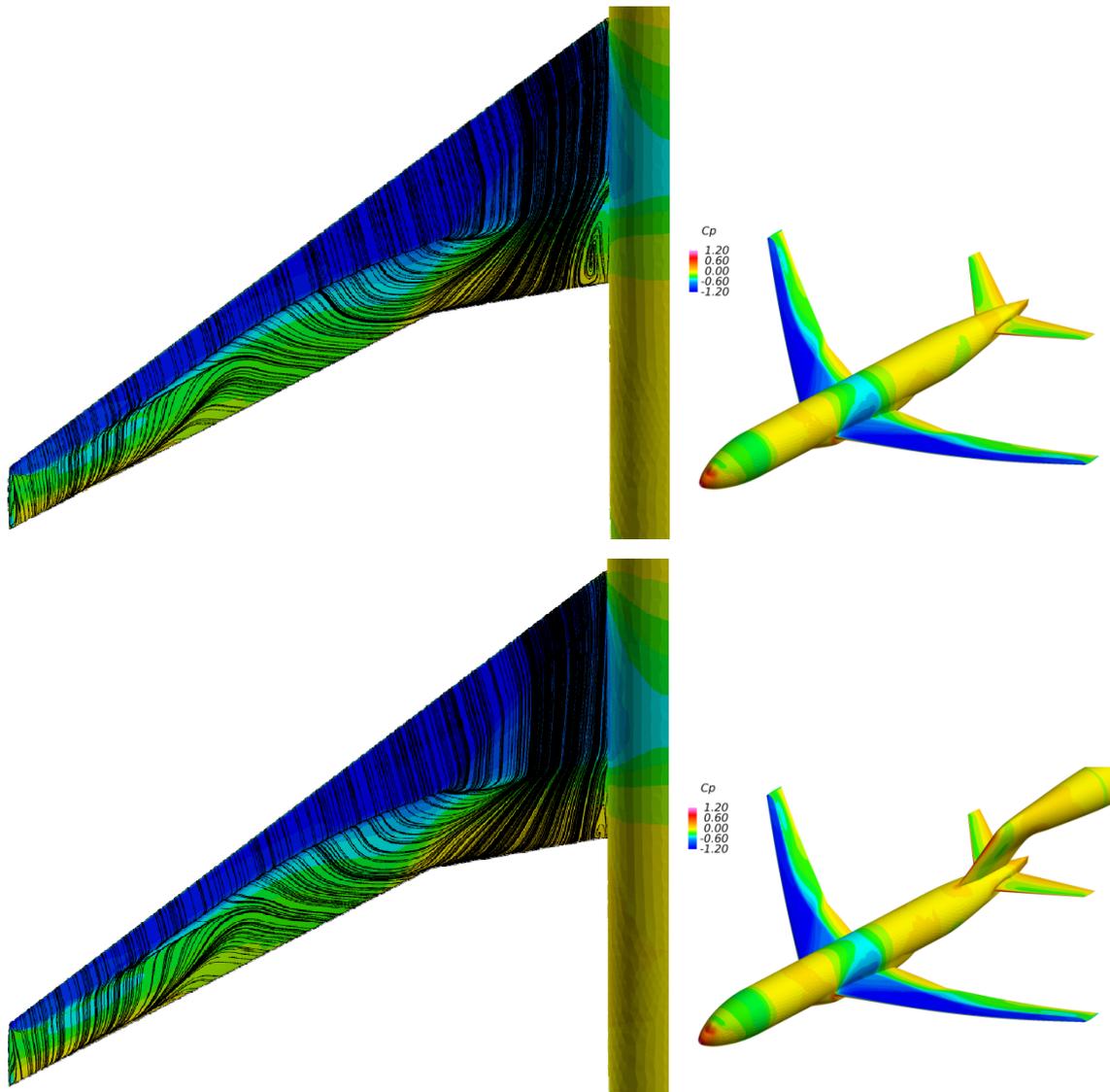


図2 NASA CRM模型形状表面での圧力係数分布と、翼胴結合部における剥離の大きさの違い（一様流Mach数0.847, Reynolds数2.26M, 迎角4.65°): (a) 支持装置なし; (b) 支持装置あり (剥離が小さくなり, 風洞試験結果とも一致)

: Difference in the size of flow separation at the wing-body junction of the NASA Common Research Model (a) without and (b) with a support system (surface color coded by coefficient of pressure, freestream Mach number of 0.847, Reynolds number of 2.26M, angle of attach of 4.65°) : the model with the support system predicted smaller flow separation, which agreed well with experiment.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	4.2時間
ケース数 :	14ケース
ジョブの並列プロセス数 :	144プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	8コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) 坂井玲太郎, 石田 崇, 伊藤 靖, 村山光宏, 山本一臣, 「埋め込み境界法を用いた非圧縮性流体解析における移流項離散化手法の検討」, ながれ, 第35巻2号 (2016年4月25日出版予定)

口頭発表

- 2) Terracol, M., Manoha, E., Murayama, M., Yamamoto, K., Amemiya, K., and Tanaka, K. “Aeroacoustic Calculations of the 30P30N High-lift Airfoil using Hybrid RANS/LES methods: Modeling and Grid Resolution Effects,” AIAA 2015-3132, 2015.
- 3) 伊藤 靖, 村山光宏, 山本一臣, 田中健太郎, 「TAS・MEGG3D格子による解析」第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2015.
- 4) 伊藤 靖, 村山光宏, 山本一臣, 田中健太郎, 「TASとMEGG3D格子によるNASA CRM解析」第53回飛行機シンポジウム, 2015.
- 5) 坂井玲太郎, 石田 崇, 伊藤 靖, 村山光宏, 山本一臣, 「埋め込み境界法を用いた非圧縮性流体解析における移流項離散化手法の検討」第29回数値流体力学シンポジウム, 2015.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,095,751.55	15,615.71	5,288.10	

3. エロージョンにかかわるシミュレーション

Numerical Simulation on Erosion

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 推進技術研究ユニット，二村尚夫(futamura.hisao@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 推進技術研究ユニット，鈴木正也(suzuki.masaya@jaxa.jp)

航空技術部門 推進技術研究ユニット，山根 敬(yamane.takashi@jaxa.jp)

● 事業の目的

微粒子吸込みに対するエンジンの安全基準が FAR 等に定められており，耐空証明の取得，安全な運航，メンテナンスコスト削減のため，エロージョンに対する数値解析技術が求められている。

● 事業の目標

これまで独自に開発してきたエロージョン解析手法を JAXA で開発している UPACS に組み込むことで今後のエンジン開発に資するツールとして確立する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

航空技術部門の一般研究として行われている「微粒子吸込みに対するエンジン安全性評価技術」の一部として，エロージョンの数値解析に関わる研究をスパコンにより実施した。

● 今年度の成果

エロージョンに伴う壁面形状変化を UPACS に適合する形で実装し，実験データおよび既存の解析との比較を行った。高精度化に向けて 2-way に対応を完了した。

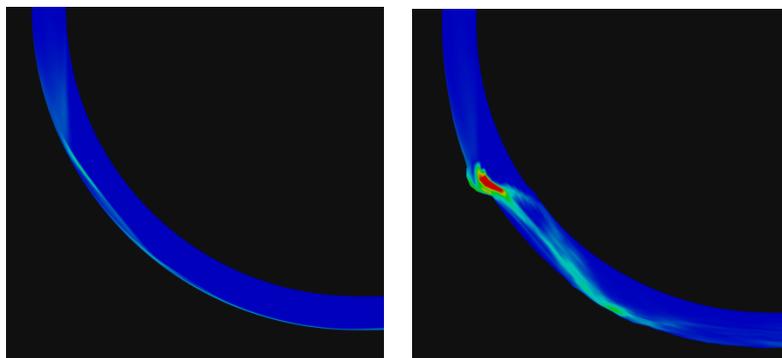


図1 正方形断面 90°ベンドにおける気流に働く粒子の抗力分布
 : (左)エロージョン前, (右)エロージョン後
 : Drag Force contours at Midspan of 90° Bend with square section
 : (left) Before Erosion, (right) After Erosion

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	160時間
ケース数：	2ケース
ジョブの並列プロセス数：	16プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	16コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) 牧田光正, 北條正弘, 北村祥之, 山根 敬, 賀澤順一, 鈴木正也, 西澤敏雄: JAXAにおける航空エンジン用シミュレーション技術の活用, 日本ガスタービン学会誌, 第43巻第6号, (2015-11), pp. 414-421.

口頭発表

- 2) 畠谷尊明, 鈴木正也, 賀澤順一, 山本 誠: CFD共通基盤プログラムUPACSを用いたサンドエロージョン計算の安定化, 日本機械学会2015年度年次大会講演論文集, J0520502 (2015-9), pp. 1-5.
- 3) 鈴木正也, 山本 誠: 圧縮機翼列における液滴衝撃エロージョンの数値解析, 第43回日本ガスタービン学会定期講演会講演論文集, C-15 (2015-9), pp. 265-266.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	477,329.81			

4. エンジン騒音低減技術の研究

Noise suppression technology for aircraft jet engines

● 事業形態

その他（航空本部事業）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 推進技術研究ユニット，二村尚夫(futamura.hisao@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 推進技術研究ユニット，賀澤順一(kazawa.junichi@jaxa.jp)

航空技術部門 推進技術研究ユニット，榎本俊治(enomoto.shunji@jaxa.jp)

航空技術部門 推進技術研究ユニット，山下健志

東京大学大学院 工学系研究科機械工学専攻，沢田恭兵

● 事業の目的

わが国独自のエンジン低騒音化技術の開発・実証。

● 事業の目標

低 CO2-低騒音に貢献する先進技術について，将来の研究開発をリードできるように，各技術の騒音性能を評価する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

騒音発生現象の理解，設計指針の提供，設計された低騒音デバイスの評価，実験結果の評価。

● 今年度の成果

研究用エンジンのノズル形状に対して空力性能の評価を行った。

音響加振時のジェット近傍場流れ場解析を行い剪断層の変化を明らかにした。

ファン騒音に関して，クリアランスを有する場合の騒音について評価を行った。

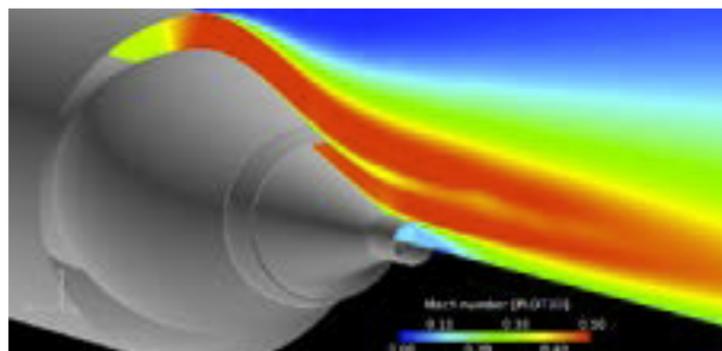


図1 コアノズル及びファンノズルの流れ場解析
: Flow-field analysis of a coaxial fan jet engine nozzle

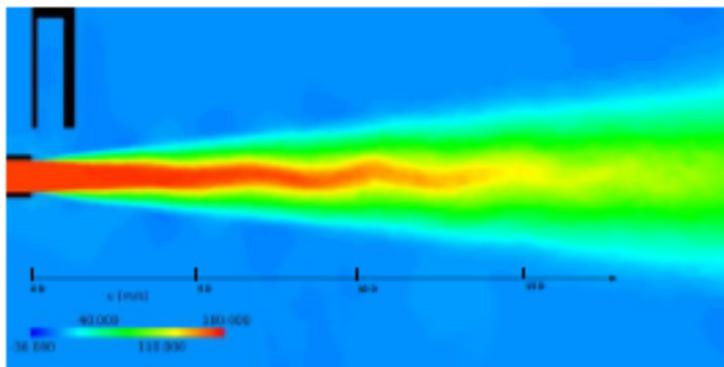


図2 音響加振によるジェットの変化
: Excitation of a jet flow with sound

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	72時間
ケース数：	12ケース
ジョブの並列プロセス数：	48プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	6コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-PP

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) Tatsuya Ishii, Kenichiro Nagai, Hideshi Oinuma, Junichi Kazawa, Shunji Enomoto, and Tsutomu Oishi, "Preliminary Test of Turbofan Engine for Noise Research", IGTC2015, 188.
- 2) Kyohei Sawada, Shunji Enomoto, Hideshi Oinuma, Kenichiro Nagai, Tatsuya Ishii and Shigehiko Kaneko, "Acoustic excitation for jet noise reduction", IGTC2015, 235.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	4,717,934.66	662,135.77		28,028.48

5. 機体騒音低減技術の飛行実証 (FQUROH) プロジェクト

Flight Demonstration of Quiet Technology to Reduce Noise from High-Lift Configurations (FQUROH) Project

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 FQUROH プロジェクトチーム, 山本一臣(yamamoto.kazuomi@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 FQUROH プロジェクトチーム, 伊藤 靖(ito.yasushi@jaxa.jp)

高石武久(takaishi.takehisa@jaxa.jp)

村山光宏(murayama.mitsuhiro@jaxa.jp)

坂井玲太郎(sakai.ryotaro@jaxa.jp)

中野 彦(gen@chofu.jaxa.jp)

雨宮和久(amemy@chofu.jaxa.jp)

田中健太郎(kentaro@chofu.jaxa.jp)

平井 亨(thirai@chofu.jaxa.jp)

石田 崇(ishida.takashi@jaxa.jp)

川崎重工業株式会社, 磯谷和秀(isotani_kazuhide@khi.co.jp)

上野陽亮(ueno_yosuke@khi.co.jp)

越智章生(ochi_a@khi.co.jp)

住友精密工業株式会社, 井上 健(inoue-ta@spp.co.jp)

● 事業の目的

現在, 国際的にも空港周辺地域の騒音低減のボトルネックになっている高揚力装置および降着装置に対する低騒音化技術を, 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まで成熟度を高める。これにより, 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。

● 事業の目標

航空機機体騒音の主音源である高揚力装置と降着装置それぞれに対する低騒音化技術を実機に適用し, 飛行試験により低騒音化の効果があることを実証することにより, 実用化に必要な設計技術を獲得する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

スパコンを利用して, Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) 解析, さらにLarge Eddy Simulationなどの先進的な数値解析を用いた低騒音化設計を行うことで, 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設計を行うことが可能となる。

● 今年度の成果

- (1) 2016年度に予定されているJAXAジェット飛行実験機「飛翔」を用いた実証飛行試験に向け、フラップや主脚に低騒音化デバイスを装着した際に飛行性能や機体構造に大きな影響を及ぼさないことを確認した。また、フラップ低騒音化デバイス有無での、騒音発生に大きくかわるフラップ端渦形成の違いについても確認した。今年度からSORA-MAが使えるようになったおかげで、実機を詳細に模擬した複数の機体形状に対し、最大揚力係数が得られる迎角付近まで迎角を変化させた際、さらに迎角は固定し横滑り角を変化させた際の空力特性の変化を見積もるためのRANS解析を十分行うことができた。
- (2) 「飛翔」主脚でのブレーキ放熱シミュレーションを行い、主脚デバイス装着がブレーキ冷却時間に大きな影響を及ぼさないことを確認した。
- (3) 「飛翔」風洞試験模型改修にあたり、風洞試験Reynolds数において、フラップ端での騒音発生量に影響を及ぼすフラップ上面での大剥離が生じないように、予め風洞模型用フラップ支持金具周りでボルトスジェネレータの配置を検討し、風洞試験においても効果を確認した。
- (4) 流体解析ソルバーFaSTARの試用を行い、大規模非定常解析を目指す上での改善点を明らかにした。

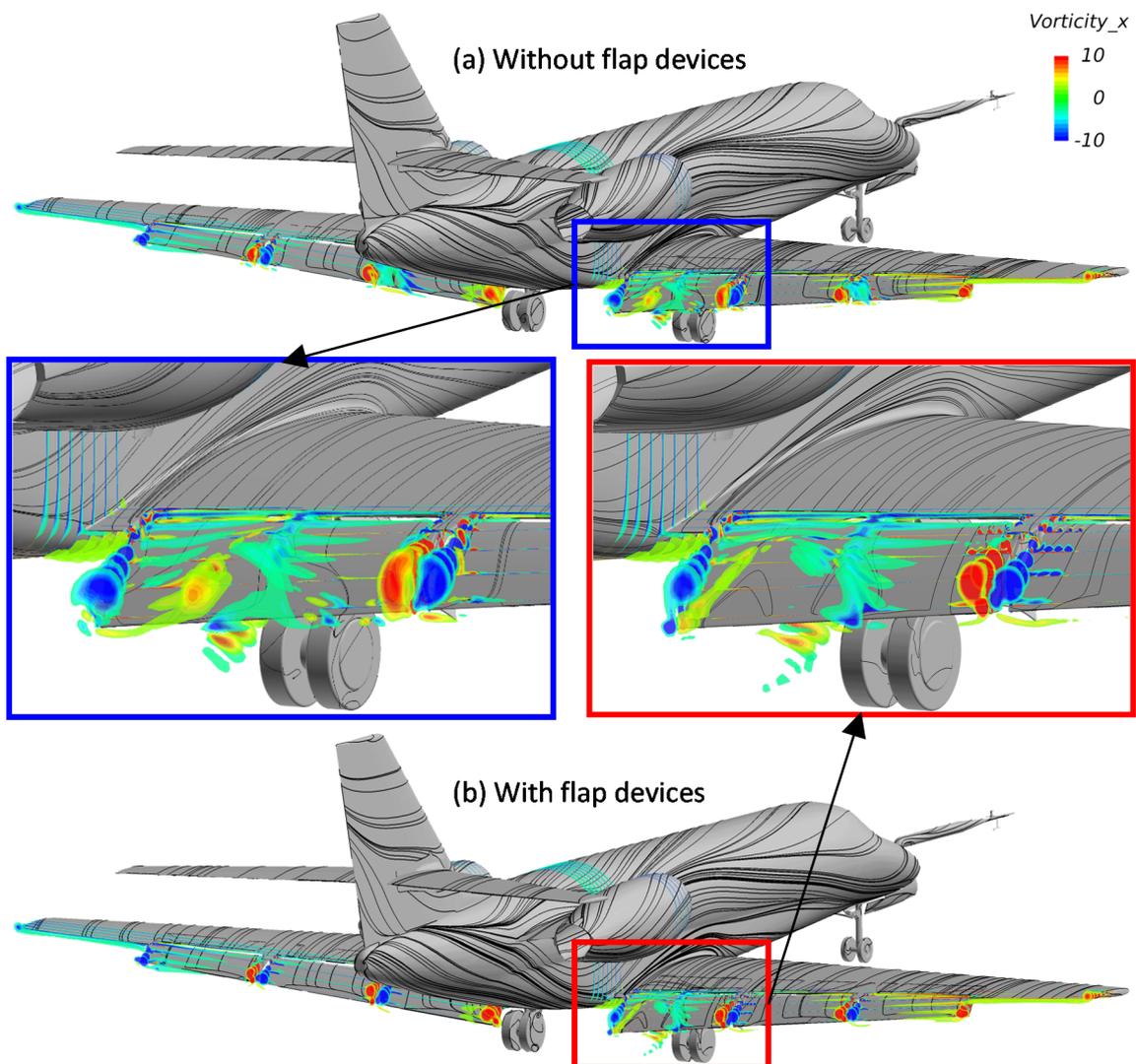


図1 「飛翔」表面流線とフラップ周りでの渦度x成分分布（脚下げ，フラップ舵角35°，迎角0°，横滑り角10°，風速175 kt）: (a) デバイスなし; (b) デバイスあり
 : Surface stream lines on “Hisho” and x component of vorticity on cross-flow cross-sections around the flaps (gear down, flap deflection angle of 35°, angle of attack of 0°, sideslip angle of 10°, wind speed of 175 kt): (a) without devices; (b) with devices

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	40時間
ケース数：	18ケース(図中の2形態に対して)
ジョブの並列プロセス数：	216プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	8コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-MA

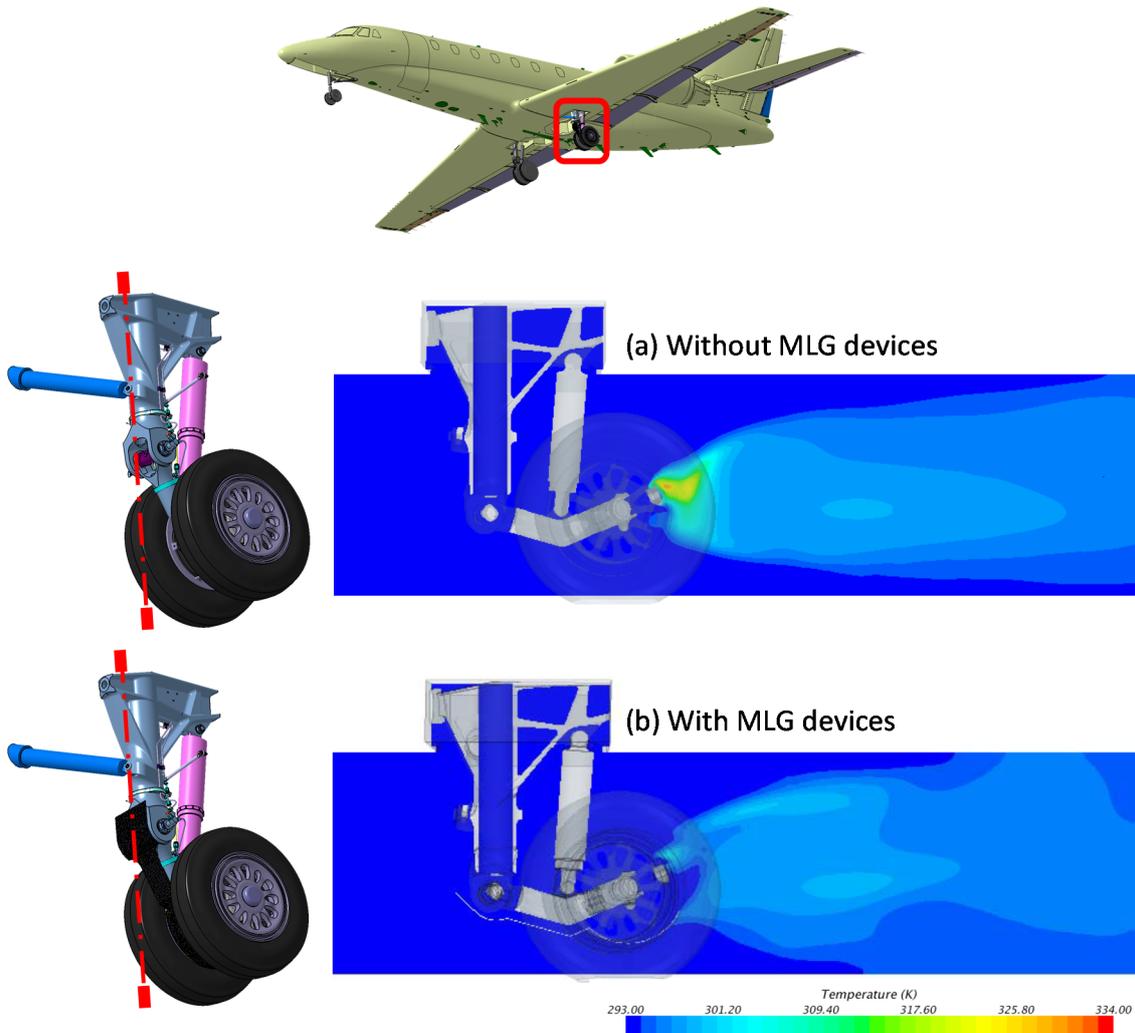


図2 そよ風がある条件下での「飛翔」主脚断面での温度分布
 : (a) 主脚デバイスなし; (b) 主脚デバイスあり
 : Temperature distributions on a cross-section through the “Hissho” main landing gear (MLG) under a breeze condition (a) without and (b) with an MLG device.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 10時間
 ケース数： 7ケース
 ジョブの並列プロセス数： 25プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 12コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-PP

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	19,066,314.10	898,588.79	190.51	

6. 吸音ライナーの LES 解析

Large Eddy Simulation of Acoustic panel flow

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム，西澤敏雄(nishizawa.toshio@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム，榎本俊治(enomoto.shunji@jaxa.jp)

● 事業の目的

将来の国際共同開発を見据えた次世代超高バイパス比エンジンにターゲットを置き，その環境適合性の向上を目標として，わが国として担当実績がまだ少なく，民間ではリスクが高い要素技術を開発・実証する。もって，次世代国際共同開発でのわが国の国際競争力を向上し，国内エンジン産業の成長・発展に貢献する。

● 事業の目標

低 CO2-低騒音に貢献する先進技術について，騒音要素試験や CFD 解析を行い，将来の実証に資する技術を創出する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

騒音発生現象の理解，設計指針の提供，設計された低騒音デバイスの評価，実験結果の評価。

● 今年度の成果

吸音ライナーに音波が入射する現象の LES 解析を行い，吸音ライナーの吸音率の評価技術を開発した。

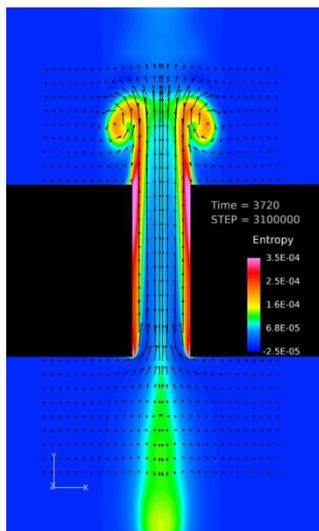


図1 音波入射により吸音ライナー孔に発生する粒子速度
: Particle velocity of sound absorption panel

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	18時間
ケース数 :	60ケース
ジョブの並列プロセス数 :	12プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	2コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-PP, SORA-TPP

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	28,222.19	49,710.11		15,583.15

7. 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 (共通基盤空力解析ツール)

Research on Applied Fundamental Technology toward Fast Aircraft Development

● 事業形態

その他 (JAXA 研究事業)

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，基盤応用技術研究チーム，
青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，基盤応用技術研究チーム，
橋本 敦(ahashi@chofu.jaxa.jp)
石田 崇(tishida@chofu.jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，菅原瑛明
株式会社菱友システムズ，山本貴弘
株式会社エイ・エス・アイ総研，ハミドレザ ケイランディシュ

● 事業の目的

National Standardとなる基盤技術の応用，活用による航空機開発高速化を実現するため，国内航空基盤技術を革新的に高いレベルへステップアップしつつ，国産機的设计・開発フェーズを効率化・高速化し，競合機に対する市場競争力を強化ための基盤を確立する。

航空機的设计開発を高速化，迅速化する実用的な技術基盤を確立し，ハブに参加する航空機メーカーと共有する。このため，今後 10 年を見据え，数値解析を実験と同等以上のレベルに向上させることで設計/評価の解析シフトを実現するとともに，先行メーカーと同等以上のレベルに実機性能の予測技術を向上させる。

● 事業の目標

新たに開発する FaSTAR-Move は，JAXA で開発した世界最速レベルの流体解析ツール FaSTAR と，新たな 2 つのモジュール「移動・変形物体解析モジュール」と「エンジン解析モジュール」で構成される。複雑形状に対応し，かつ高速に解析できる優位性を保ちつつ，最適化なども含め適用範囲を拡大することで，メーカーのニーズに応える。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

非定常解析では，計算コストが大きな問題であり，スパコンを利用することで，初めて実用的な解析が可能となる。

● 今年度の成果

移動物体解析用モジュールのHole Cutting機能の単体テストを終了した。また，簡易形状（凸形状）に対する重合格子を用いた定常解析を実施し，円柱，球，搭載物落下（2次元，準定常）などで検証を行った。

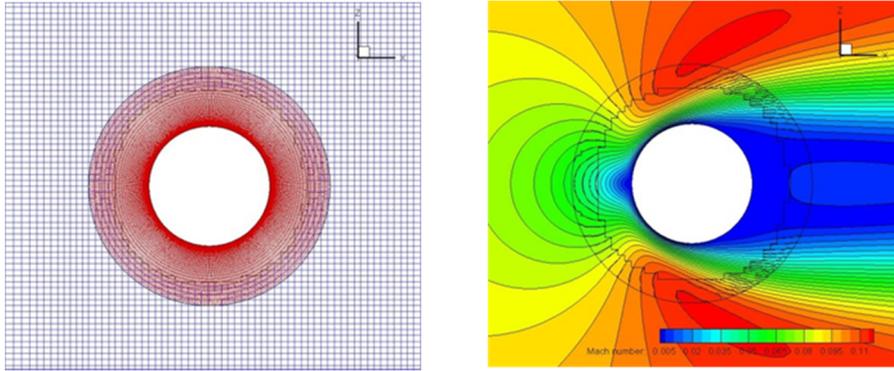


図1 Hole Cuttingと解析結果
: Hole Cutting and computational result

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	2時間
ケース数：	20ケース
ジョブの並列プロセス数：	32プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA, SORA-PP

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	171,745.78	1,899.12	84.26	

8. 航空機に対する Vortex Generator の効果

Effect of Vortex Generators on Aircraft

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，基盤応用技術研究チーム，
伊藤 健(ito.takeshi@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，基盤応用技術研究チーム，
中北和之(nakakita@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
村山光宏(murayama.mitsuhiro@jaxa.jp)

航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
伊藤 靖(ito.yasushi@jaxa.jp)

航空技術部門 FQUROH プロジェクトチーム，田中健太郎(kentaro@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 FQUROH プロジェクトチーム，平井 亨(thirai@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

ボルテックスジェネレータ (VG) などのデバイスによる空力改善効果を風洞試験で評価し，CFD によって風試で得られた空力改善デバイスの効果を再現できる手法を開発することで，航空機への空力改善デバイス付加による性能改善を推定可能とする。

● 事業の目標

主に風洞試験条件で，CFD により空力改善デバイス付き主翼または尾翼での空力特性を再現する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

VGなどの空力改善デバイスは既に長い間，実機に使われているが，デバイスによる空力改善効果の物理的な現象解明が十分とは言えず，空力改善デバイスの設計には未だに経験的な手法が用いられている。スパコンを利用したCFD解析により詳細な流れ場を理解することで，より高性能な空力改善デバイスの設計が可能となる。

● 今年度の成果

垂直尾翼風洞模型を作成するにあたり CFD 事前解析を行い，低速横滑り時の垂直尾翼回りの流れ場を確認した。

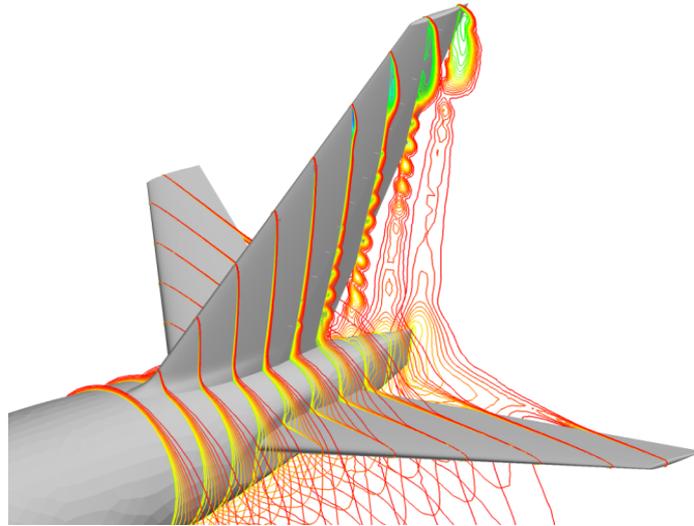


図1 低速時のVG付き尾翼回りの空間断面全圧分布 (風速50 m/s, Reynolds数 0.52M, 迎角0°, 横滑り角10°, ラダー舵角5°)
: Distributions of total pressure on cross-flow cross-sections around a vertical tail with vortex generators (wind speed of 50 m/s, Reynolds number of 0.52M, angle of attack of 0°, angle of sideslip of 10° and flap deflection angle of 5°)

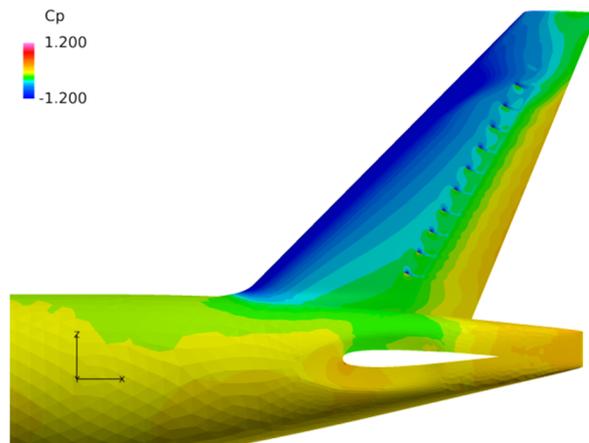


図2 低速時のVG付き尾翼での表面圧力分布 (風速50 m/s, Reynolds数 0.52M, 迎角0°, 横滑り角10°, ラダー舵角5°)
: Distributions of surface pressure coefficient (wind speed of 50 m/s, Reynolds number of 0.52M, angle of attack of 0°, angle of sideslip of 10° and flap deflection angle of 5°)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	15時間
ケース数 :	79ケース
ジョブの並列プロセス数 :	96~192プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	8コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) Yasushi Ito, Kazuomi Yamamoto, Kazuhiro Kusunose, Shunsuke Koike, Kazuyuki Nakakita, Mitsuhiro Murayama and Kentaro Tanaka, “Effect of Vortex Generators on Transonic Swept Wings,” *Journal of Aircraft*, DOI: 10.2514/1.C033737, accepted for publication.

口頭発表

- 2) 小池俊輔, 伊藤 靖, 楠瀬一洋, 内田 洋, 中島 努, 山本一臣, 中北和之, 「フラップに設置したボルテックスジェネレータの剥離抑制効果」, 第47回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2015, 1E04, 2015.
- 3) 小池俊輔, 中島 努, 楠瀬一洋, 伊藤 靖, 村山光宏, 中北和之, 山本一臣, 「遷音速流中のNASA Common Research Modelにおけるボルテックスジェネレータ取り付け方向の影響」, 第53回飛行機シンポジウム, 1B01, 2015.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,066,986.44			

9. 航空用エンジンのファンブレード流れの境界層遷移の LES による数値予測

Large-eddy simulation of boundary layer transition along a fan blade

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム, 西澤敏雄(nishizawa.toshio@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム, 賀澤順一(kazawa.junichi@jaxa.jp)

航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム, 榎本俊治(enomoto.shunji@jaxa.jp)

● 事業の目的

民間エンジンの環境適合性向上に資する差別化技術を獲得し、我が国のエンジン産業の国際競争力を強化して次の国際共同開発でシェアを確保・拡大し、国内エンジン産業の生産高が成長することに貢献する。

● 事業の目標

JAXA クリーンエンジン技術研究開発事業の達成目標としたファンのポリトロープ効率に対して、1pt のファン空力効率の向上を達成する高効率化技術を開発・実証する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

遷移現象の理解、ファン空力設計への設計指針の提供、設計されたファン形状の評価、実験結果の評価。

● 今年度の成果

ブレード周りの流れ場に対する 6 次精度コンパクトスキームによる LES により、乱流遷移の発生の有無の数値予測を試みた。

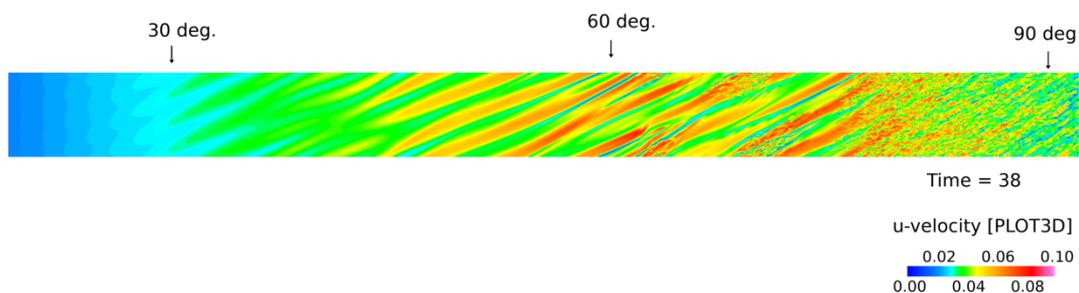


図1 後退角の有る円柱周りの流れ場の乱流遷移の LES 解析
: Large Eddy Simulation of swept cylinder boundary layer

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 1500時間
 ケース数： 1ケース
 ジョブの並列プロセス数： 540プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-MA

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,065,464.77	839,409.39		621,494.24

10. 小型航空機エンジン用燃焼器内部流の解析

Flow field Analysis inside Combustors for Small Air Craft Engine

● 事業形態

航空本部事業

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 推進技術研究ユニット，二村尚夫(futamura.hisao@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 推進技術研究ユニット，牧田光正(makida@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 推進技術研究ユニット，吉田征二(yoshida.seiji@jaxa.jp)

航空技術部門 推進技術研究ユニット，山本 武(yamamoto.takeshi@jaxa.jp)

株式会社エイ・エス・アイ総研，中村直紀(nakam@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

航空機エンジン用燃焼器内の流れ場を高精度で予測できる非燃焼解析コードの開発。

● 事業の目標

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空気孔からの流量配分が性能を左右するため、燃焼器内の流れ場を把握し、燃料ノズルやライナ上の空気孔、冷却孔からの流量配分を予測することが重要となっている。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非燃焼流れ解析を行って燃焼器内の流れ場を再現し、空気量配分などの空力性能を高精度で予測できる燃焼器解析手法を構築する事を目的とする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

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、予混合 2 段燃焼シングルセクタ燃焼器について、燃焼器ライナ上流のプレディフューザやカウル、ライナ周りのケーシングの有無・形状が燃焼器内部の流れにどの様に影響するかを解析した。今後、これらの形状をパラメータとした計算を行って良好な形状を選択し、燃焼器の開発に活用していく予定である。

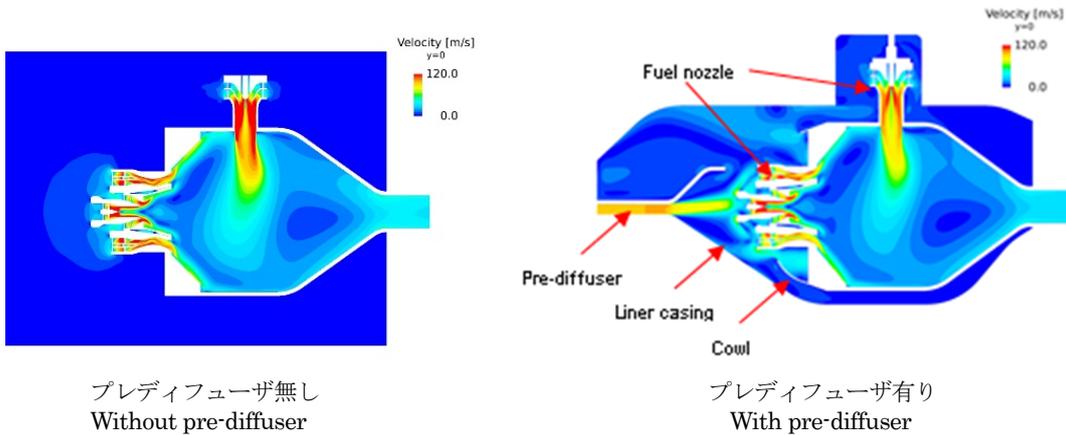


図1 プレディフューザの有無が燃焼器内部の速度場を与える影響
: Effect of pre-diffuser to velocity field inside combustor

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 200時間
 ケース数： 10ケース
 ジョブの並列プロセス数： 64プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 4コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： 自動並列
 利用計算システム： SORA-MA

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,368,770.36	495.29		

11. グリーンエンジン(超高温タービン技術の研究)

High Temperature Turbine Research

● 事業形態

本部事業

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 推進技術研究ユニット，二村尚夫(futamura.hisao@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 推進技術研究ユニット，山根 敬(yamane.takashi@jaxa.jp)

航空技術部門 推進技術研究ユニット，鈴木正也(suzuki.masaya@jaxa.jp)

● 事業の目的

環境性能向上のために、これまで日本の担当実績が少ないコアエンジン、エンジン騒音低減技術の開発・実証を目指す。

● 事業の目標

シンプルな冷却構造の適用により超高温（1,600℃）にも耐えられ、複雑な冷却機構を必要としなくなるようなタービン翼を開発する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

流体・熱伝導連成数値解析などにより、詳細なタービン翼温度分布を予測する。

● 今年度の成果

MA システム用にスピードチューニングを試みたのみで、利用による成果はありません。

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	32,576.16	432.24		

12. 実機形状燃料ノズルの微粒化に関する研究

Atomization of fuel spray nozzle in a practical geometry

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 推進技術研究ユニット，松浦一哲(matsuura.kazuaki@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 推進技術研究ユニット，黒沢要治(kuro@chofu.jaxa.jp)

山田秀志(yamasyu@chofu.jaxa.jp)

牧田光正(makida@chofu.jaxa.jp)

株式会社エイ・エス・アイ総研，中村直己(nakam@chofu.jaxa.jp)

株式会社数値フローデザイン，張 会来(zhang@nufd.jp)

株式会社数値フローデザイン，飯野 淳(jiino@nufd.jp)

● 事業の目的

グリーンエンジンで開発中の燃焼器に用いられる燃料ノズルの微粒化現象を数値解析し，開発効率化のための現象把握を行う。

● 事業の目標

現象把握により開発効率化に資すること。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

10~20 μm レベルと想定される燃料液滴を解像するためにはスパコンの利用が必要不可欠となる。

● 今年度の成果

10~20 μm レベルの液滴が生成される，航空燃焼器内の1次分裂現象をCFD解析するための最適な格子密度を液膜式微粒化モデルを対象として調査した。将来的には，今回のような1次微粒化解析によって得られた液滴情報を使用し，実機スケールの噴霧燃焼解析を実施する。

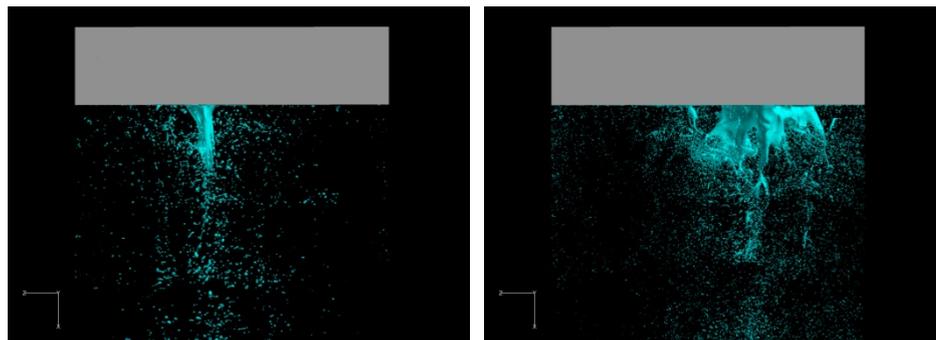


図1 格子密度の違いによる微粒化現象の比較
: Comparison of the atomization process by the difference in mesh size

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	500時間
ケース数 :	4ケース
ジョブの並列プロセス数 :	144プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	4コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,742,921.79	6,883.69		

13. シミュレーション拠点の整備

Development of Simulation Hub

● 事業形態

その他（設備維持）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)
構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，村上桂一(murakei@chofu.jaxa.jp)
航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，橋本 敦(ahashi@chofu.jaxa.jp)
航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，石田 崇(tishida@chofu.jaxa.jp)
株式会社菱友システムズ，林 謙司(khayashi@chofu.jaxa.jp)
株式会社菱友システムズ，近藤 賢(skondo@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

研究テーマを大きくくり化し，分野横断の研究を促進するため，各研究ユニットのシミュレーションコードを共有することが検討されている．本事業では，そのためのミドルウェアを検討することが目的である．

● 事業の目標

ミドルウェアとして，キャトルアイサイエンス社の ASNARO を採用し，実際にスパコンと連携して解析可能かどうか評価する．

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

構想中のプラットフォームは，統合シミュレーション，統合データベース，技術相談ポータルで構成される．スパコンはシミュレーションを実施する中核の計算サーバとして位置づけられる．

● 今年度の成果

HexaGridとFaSTARをASNAROに実装して，スパコンと連携して計算可能であることを確認した．現在，拡張性や，使い勝手の観点で評価を進めている．

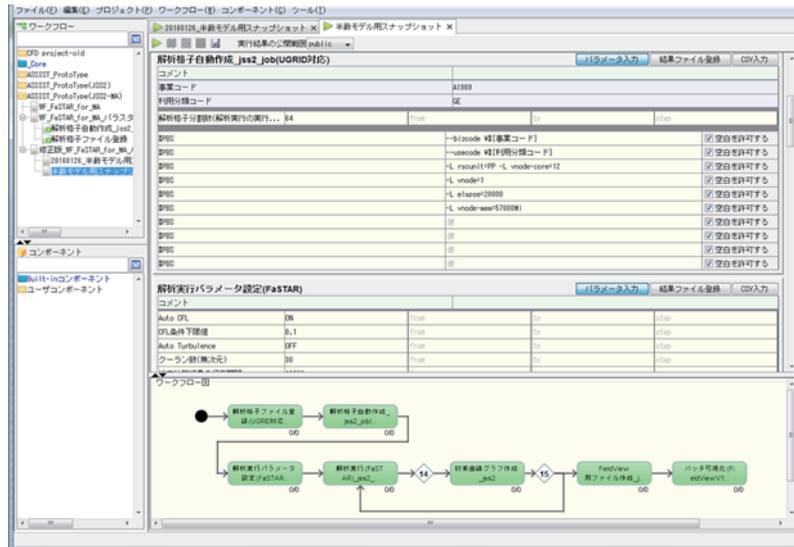


図1 ワークフローの管理
: Management of Workflow

【計算情報】

- 1ケースあたりの経過時間： 1時間
- ケース数： 20ケース
- ジョブの並列プロセス数： 128プロセス
- プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
- プロセス並列手法： MPI
- スレッド並列手法： なし
- 利用計算システム： SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,273,118.85	2,003.59	1,719.31	

14. 将来型回転翼航空機に関する研究

Research of Advanced Rotorcraft

● 事業形態

一般研究 ・ 受託研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
村上 哲(murakami.akira@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
田辺安忠(tananabe.yasutada@jaxa.jp)
杉浦正彦(sugiura.masahiko@jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，菅原瑛明(hideaki8@chofu.jaxa.jp)

東京理科大学，大江晴天(HaruOhe@chofu.jaxa.jp)

東京理科大学，植村祐太(yuemura@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

次世代航空機 の概念検討と先端航空機技術に関する研究。

● 事業の目標

将来型回転翼航空機 の概念設計案のシステム検討と必要な先端技術の洗い出し。各種設計ツールの構築と検証。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

特に大規模計算が必要な空力性能や空力干渉の把握に関しては、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

- 1) 高速前進飛行中のロータに働く空気力の予測及び実験結果との検証。
- 2) 橋梁断面周りの流れ場の把握とドローンの飛行への影響の検討。
- 3) ヘリコプタのロータ・ブレードの空力形状の最適設計。
- 4) 地面境界層中の風車に働く変動荷重の把握と軽減手段のシミュレーション。

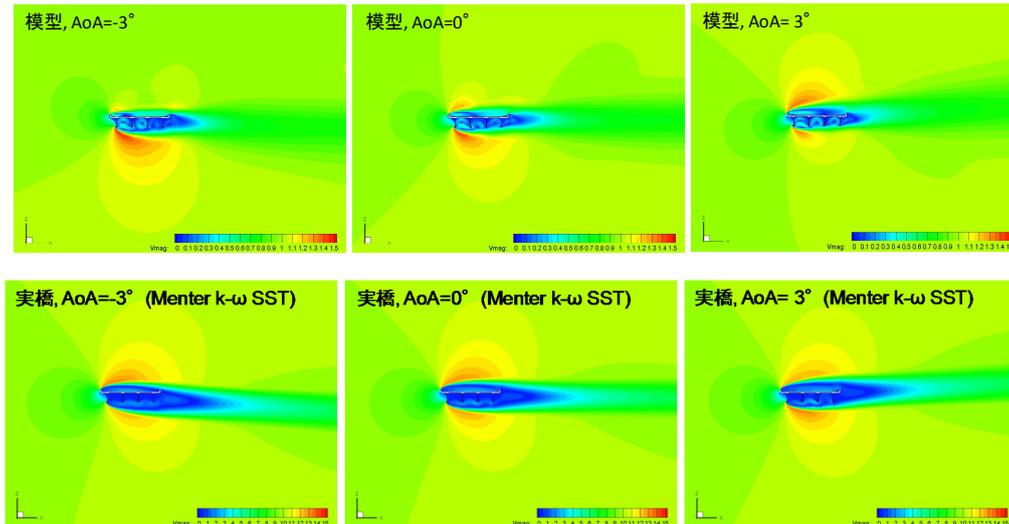


図1 4桁橋梁断面周りの流れ場の平均速度分布
: Mean velocity contour around a 4-girder bridge

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	480時間
ケース数 :	18ケース
ジョブの並列プロセス数 :	96プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) Yasutada Tanabe, Takashi Aoyama, Harutaka Oe, Yuta Uemura, and Hideaki Sugawara, Simulations of Horizontal Axis Wind Turbines in Complex Operational Conditions, The American Helicopter Society 71st Annual Forum, Virginia Beach, USA, May 2015.
- 2) Masahiko Sugiura, Yasutada Tanabe, Hideaki Sugawara, Naoki Matayoshi, and Hirokazu Ishii, Numerical Simulations and Measurements of the Wake from a Helicopter Operating in Ground Effect, The American Helicopter Society 71st Annual Forum, Virginia Beach, USA, May 2015.
- 3) Yasutada Tanabe, and Hideaki Sugawara, Aerodynamic Validation of rFlow3D Code with UH-60A Data Including High Advance Ratios, 41st European Rotorcraft Forum, Munich, Germany, September 2015.
- 4) Masahiko Sugiura, Yasutada Tanabe, Hideaki Sugawara, and Inderjit Chopra, Application of a CFD and Prescribed Wake Model to High Advance Ratio Wind Tunnel Test Validation, 41st European Rotorcraft Forum, Munich, Germany, September 2015.
- 5) Harutaka Oe, Makoto Yamamoto, Yasutada Tanabe, and Hideaki Sugawara, CFD Analysis on Load Mitigation of Wind Turbine Utilizing Individual Pitch Control in Stable ABL, AIAA SciTech 2016, January 2016.
- 6) Masahiko Sugiura, Yasutada Tanabe, Hideaki Sugawara, and Inderjit Chopra, Validation of rFlow3D Code for a Helicopter at High Advance Ratios, AHS International Technical Meeting on Aeromechanics and Design for Vertical Lift, January 2016.

- 7) 田辺安忠, 菅原瑛明: ヘリコプタの高速飛行時の空力性能予測, 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, 2015年7月.
- 8) 大江晴天, 田辺安忠, 菅原瑛明, 守 裕也, 山本 誠: 独立ピッチ制御を適用した大型風車周りの流れの数値計算, 日本機械学会流体工学部門講演会, 2015年11月.
- 9) 植村祐太, 山本 誠, 守 裕也, 大江晴天, 菅原瑛明, 田辺安忠: 風車間の空力干渉に関する数値的研究, 日本機械学会流体工学部門講演会, 2015年11月.
- 10) 菅原瑛明, 田辺安忠, 杉浦正彦: 高速ヘリコプタに適用するCFD解析技術の開発, 第53回飛行機シンポジウム, 2015年11月.
- 11) Masahiko Sugiura, Yasutada Tanabe, Takashi Aoyama, Biel Ortun, and Joelle Bailly, An ONERA/JAXA Co-operative Research on the Assessment of Aerodynamic Methods for the Optimization of Helicopter Rotor Blades, Phase I, 4th Asian/Australian Rotorcraft Forum, Bangalore, India, November 2015.
- 12) 木村桂大, 田辺安忠, 青山剛史, 飯田 誠, 松尾裕一, 荒川忠一: 風車遠方後流における翼端渦の寄与, 第29回数値流体力学シンポジウム, 2015年12月.
- 13) 山田 遼, 田辺安忠, 青山剛史, 飯田 誠, 松尾裕一, 荒川忠一: ブレードピッチ角が超大型風車性能に与える影響に関するCFD解析, 第29回数値流体力学シンポジウム, 2015年12月.
- 14) Yuta Uemura, Makoto Yamamoto, Yasutada Tanabe, Takashi Aoyama, and Hideaki Sugawara, Numerical Investigation of Effect of Upstream Turbine Wake to Flow Field and Performance of Downstream Wind Turbine International Gas Turbine Congress 2015 Tokyo, November 2015.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	521,916.92	558,399.99	1,538.72	2.20

15. 将来型旅客機の空力・騒音最適化研究

Aerodynamic and aeroacoustics optimization of next-generation airplane

● 事業形態

その他（技術研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
村上哲(murakami.akira@jaxa.jp)

構成員：首都大学東京大学院 システムデザイン研究科，杉山太一・後藤 駿
首都大学東京 システムデザイン学部 システムデザイン学科，小林保鷹

● 事業の目的

大幅な騒音低減・燃費低減を実現できる革新的な中・小型旅客機形状の提案に向け，高揚力装置の空力騒音を低減するための形状および展開位置，幅広胴体へのエンジン上方搭載などにより騒音遮蔽効果を利用する機体形態，誘導抵抗を低減できる翼端形状を対象として，低騒音・低燃費を達成できる形状・形態の可能性を数値流体力学と最適設計法を援用し，検討する。

● 事業の目標

従来機の経験によらない新規性の高い機体コンセプトの概念検討に向けて，低騒音化高揚力装置とエンジン上方搭載，新型翼端形状に関する新たな知見の獲得や，最適化関連技術の改良及びその適用性の検証が主たる目標である。次世代航空イノベーションハブの概念検討と連携して進めることにより，互いの将来型旅客機形状の創造に関わる研究を効果的に進展させることが期待できる。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

三要素翼の高揚力形態低騒音化では，スラットから発生する騒音と，スラット形状とスラットの母翼に対する相対位置のパラメトリックスタディを行うことで感度解析を行ったが，スラット周りの流れは複雑であり，高次精度ソルバーにより行うことが不可欠である。またエンジン騒音遮蔽では，従来機による知見が無い場合，エンジン配置位置や胴体形状の最適性検討を，やはりパラメトリックに行う必要がある。翼端形状については，split wingletタイプに着目し，小翼の形状及び配置最適化の際に多量の解析が必要であった。このように，設計知識を獲得するためのパラメトリックスタディや最適化においては多くの計算量が必要となるため，スパコンの果たす役割は大きい。

● 今年度の成果

スラット騒音については，これまでの JAXA での研究による，スラット下面の剥離規模と騒音に相関があるとの仮説に基づき，剥離規模と空力性能のトレードオフ関係を明らかにした。また，エンジンの胴上配置においては，後胴外形形状の設計法を構築し，後胴形状を変化させた際の胴体空力性能やエンジン吸気性能の変化に関する知見を得た。さらに split winglet 形状については，大域的最適化法を利用して，小翼の最適配置や小翼の後退角を変更した際の主翼空力性能と流れ場の変化についての知見を得た。

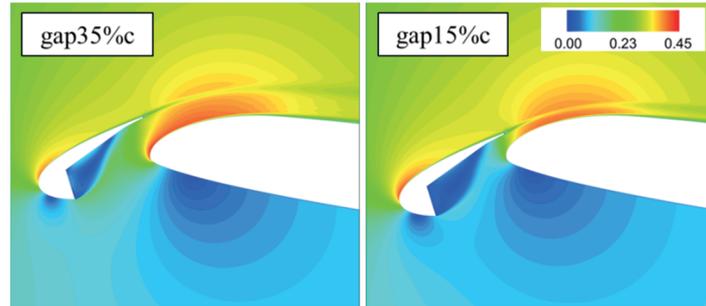


図1 スロット間隔変更によるスラット下面での剥離の変化を比較するためのスラット周りMach数分布
: Mach number distributions around a slat with two different slot openings for comparing flow separation in the slat cove

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	16時間
ケース数 :	72ケース
ジョブの並列プロセス数 :	10プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-PP

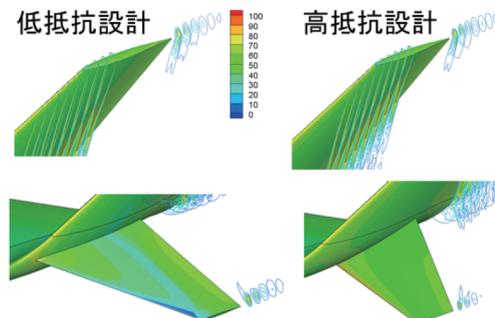


図2 小翼最適での翼端渦の変化
メインウィングレット周り (上図) とsplit wingletの小翼周り(下図)
: Comparison of wing tip vortices around
main winglets (upper subfigures) sub-winglet (lower subfigures)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	3時間
ケース数 :	93ケース
ジョブの並列プロセス数 :	50プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	3コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-PP

● 成果の公表状況**□ 頭発表**

- 1) 土屋陽介, 金崎雅博, 栗田充, 村山光宏, 香西政孝, 「効率的設計探査法による主翼翼端空力形状設計」, 第53回飛行機シンポジウム, 松山市, 2015年11月.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,132,346.83	334,519.85	0.90	

16. 将来航空機に対する自然層流翼設計技術の研究

Natural Laminar Flow Wing Design of Future Passenger Aircraft

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，郭 東潤(kwak.dongyoun@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，徳川直子(tokugawa.naoko@jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，黒田文武(fkuroda@chofu.jaxa.jp)

学習院大学大学院，牛山剣吾(u41@chofu.jaxa.jp)

学習院大学，宮崎正也(masaya@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

将来航空機の優位な環境性能を実現するために，要素技術開発及びそのシステム検証を進めるとともに，新形態航空機的设计基盤を整備することで将来に渡る国内航空産業の競争力強化に貢献する。

● 事業の目標

将来航空機に対して自然層流翼設計技術を適用し摩擦抵抗を低減することにより，揚抗比 3%向上を達成することを目標とする。またこの数値目標を達成するため，設計および解析技術の高精度・高効率化を行うことを目標とする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

将来旅客機の自然層流翼の設計には逆問題設計法を適用する。この逆問題設計は予め層流効果が高いことが期待される表面圧力分布（目標圧力分布）を定め，その目標圧力分布を達成する翼型を設計する手法である。設計された翼型の圧力分布はCFD解析によって求められるが，計算負荷の高いCFD解析およびCFD解析用自動格子生成にスパコンを利用する。

● 今年度の成果

将来旅客機を設計する準備として，現行機に対して自然層流翼設計を適用した。その結果，目標圧力分布を達成する翼の設計に成功した。

また設計効率を大幅に改善するGUIシステムを構築した。

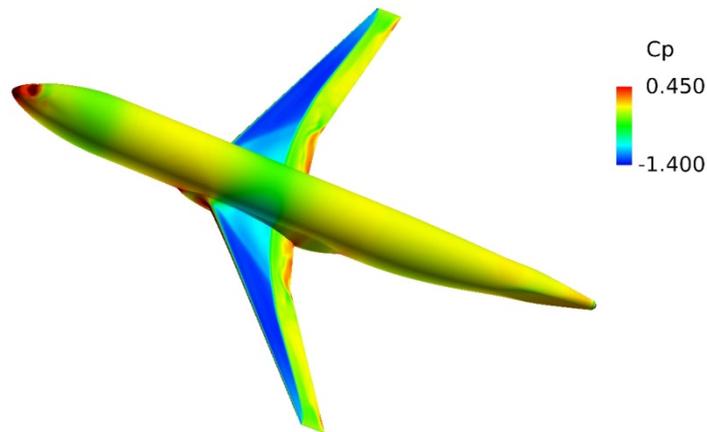


図1 自然層流設計を適用した参照機体形状
: Wing-body configuration applied natural laminar flow wing technology.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	1時間
ケース数 :	4500ケース
ジョブの並列プロセス数 :	16プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	16コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	自動並列
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

その他

- 1) 宮崎正也 : 「遷音速旅客機の主翼の自然層流設計」, 学習院大学卒業論文, 2016.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,576,102.24	8,441.51	0.50	

17. 水素利用高速推進システムの研究

Research on High Speed Propulsion Systems using Hydrogen Fuel

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 推進技術研究ユニット，田口秀之(taguchi.hideyuki@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 推進技術研究ユニット，本郷素行(hongoh.motoyuki@jaxa.jp)

早稲田大学大学院，東野 嵩(exalance@akane.waseda.jp)

早稲田大学大学院，晝間正治(hiruma.m@ruri.waseda.jp)

早稲田大学，佛圓 純(rocket.launch@ruri.waseda.jp)

● 事業の目的

- 極超音速ターボジェットのアフターバーナ燃焼実験を実施し，可変機構の動作によって推力を最大化するとともに，実飛行を想定した推力制御実証を行う。
- 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。
- 極超音速実用機の要求仕様を定義するとともに，極超音速ターボジェットの飛行実証を行うためのエアブリーザ実験機的设计仕様を提示する。

● 事業の目標

液体水素燃料を用いた予冷方式の極超音速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とともに，将来の実験機／実用機システムを提示する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

極超音速統合制御実験機の空力性能について，CFDで推算し，風洞実験結果と比較することで妥当性を確認する。

● 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について，極超音速風洞実験とCFD解析による高迎角空力性能を評価した。

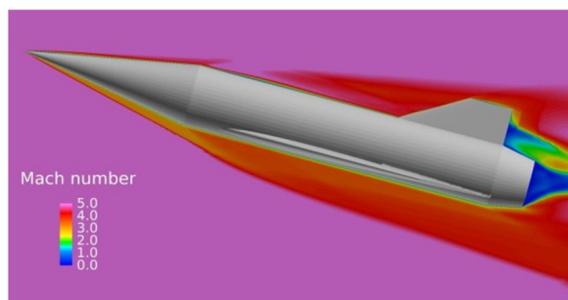


図1 極超音速実験機 マッハ数分布 (マッハ5, 迎角15度)
: Hypersonic Experimental Aircraft, Mach number (Mach 5, AOA=15deg)

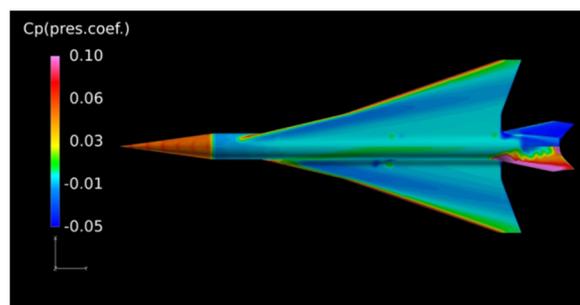


図2 極超音速実験機 圧力係数分布 (マッハ5, 迎角15度)
: Hypersonic Experimental Aircraft, Mach number (Mach 5, AOA=15deg)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	0.5時間
ケース数 :	10ケース
ジョブの並列プロセス数 :	12プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	12コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) 東野, 手塚, 田口, 廣谷, 本郷, 古賀, 「極超音速統合制御実験機の空力特性評価」, 飛行機シンポジウム講演集, 2015.
- 2) 晝間, 手塚, 田口, 本郷, 廣谷, 「エアブリーザ実験機におけるウェーブライダー翼適用の空力検討」, 宇宙輸送シンポジウム講演集, 2016.
- 3) 東野, 手塚, 田口, 廣谷, 「極超音速統合制御実験機の横方向空力特性評価」, 宇宙輸送シンポジウム講演集, 2016.
- 4) 極超音速実験機におけるウェーブライダー翼適用の検討 (晝間他, 第59回宇宙科学技術連合講演会)
- 5) Evaluation of Waverider Derived Wing for Hypersonic Airbreathing Experimental Aircraft (晝間他, 7th Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology)

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		319,147.11	1,888.70	

18. 静粛超音速機技術の研究開発

Research on Silent Supersonic Transport Technology

● 事業形態

その他（事業研究の社内受託）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 構造・複合材技術研究ユニット長，岩堀 豊(iwahori@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 構造・複合材技術研究ユニット，齊藤健一(ksaitoh@chofu.jaxa.jp)

株式会社計算力学研究センター，ケイランディシュ ハミドレザ

● 事業の目的

超音速機主翼に複合材を適用した際に空力弾性問題が生じないことを確認する。または安定性を確保するために必要な条件を提示する。

● 事業の目標

複合材適用により構造重量を15%軽減する。（静粛超音速機技術における構造重量軽減目標）

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

非線形空力弾性解析実施。

● 今年度の成果

複合材適用により空力弾性性能の劣化がないことを確認した。

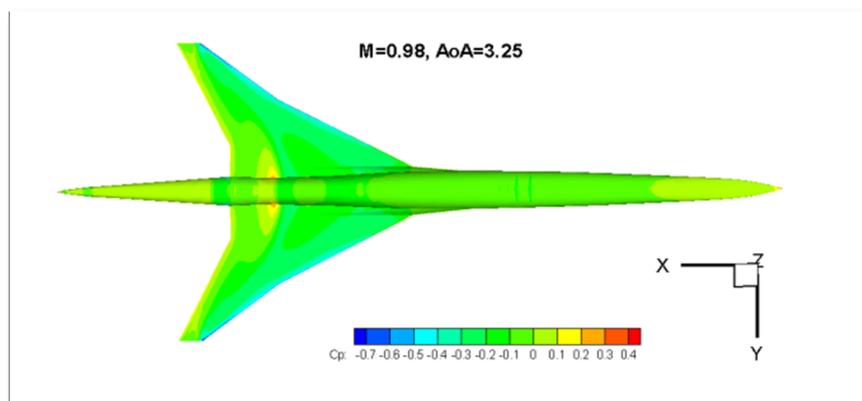


図1 圧力分布例 (Mach 0.98)
: Example of pressure distribution (Mach 0.98)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 20時間
 ケース数： 10～20ケース
 ジョブの並列プロセス数： 12, 24, 32プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-MA, SORA-PP

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	5,307.09	5,672.56		

19. 遷音速デルタ翼におけるバフェット現象の数値解析

Numerical analysis of buffet in transonic flow over a delta wing

● 事業形態

その他（技術研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：東京農工大学，山谷 徹(tyamaya@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

遷音速高迎角デルタ翼上に生じる非定常な衝撃波振動（バフェット）を数値計算で再現し，定量的に評価する。

● 事業の目標

遷音速高迎角デルタ翼上に生じるバフェットの発生条件の明確化

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

- 非定常計算における大容量データの保存，および計算時間の短縮
- 遷音速高迎角デルタ翼周りにおける3次元流れ場の可視化

● 今年度の成果

RANS, DES を用いた計算を行った結果，非定常現象であるバフェットの再現には DES 計算が有効であると言えた。さらに，デルタ翼上面の圧力係数分布は実験値と良い一致を示した。

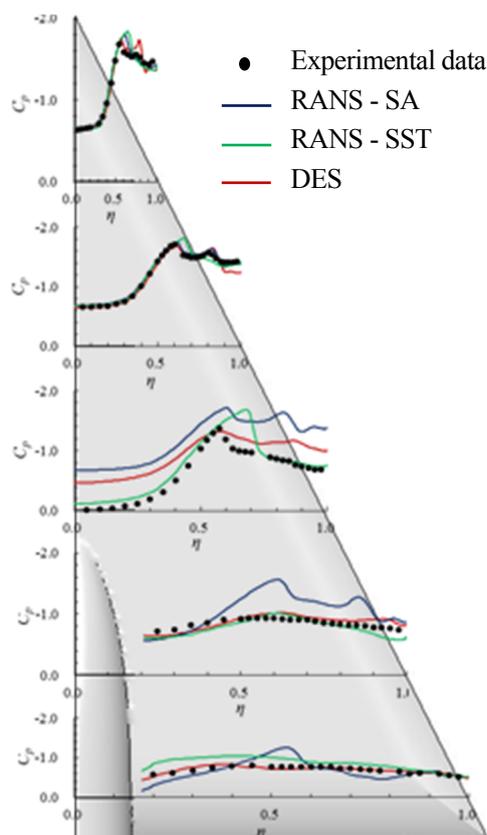


図1 デルタ翼上面の圧力係数分布
: Pressure coefficient distribution of a delta wing top surface

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	168~336時間 (1~2週間)
ケース数 :	3ケース
ジョブの並列プロセス数 :	384プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	12コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

その他

- 1) 山谷 徹, “遷音速デルタ翼におけるバフエット現象の数値解析”, 東京農工大学卒業論文(2016), pp.58.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	908,491.18	30,174.29	4,045.11	

20. 遷音速レイノルズ数効果試験技術

Wind Tunnel Test Techniques for Reynolds Number Scaling Effect for Transonic Transport

● 事業形態

航空本部事業

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，伊藤 健(ito@chofu.jaxa.jp)
構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，中北和之(nakakita@chofu.jaxa.jp)
航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，保江かな子(yasue@chofu.jaxa.jp)
航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，上野 真(ueno@chofu.jaxa.jp)
航空技術部門 空力技術研究ユニット，古賀星吾(skoga@chofu.jaxa.jp)
航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，互井梨絵(tagai@chofu.jaxa.jp)
航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，小林 航(wkoba@chofu.jaxa.jp)
航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，川口恵子(kawaguchi.keiko@jaxa.jp)

● 事業の目的

CFDを活用した風洞試験データの各種補正技術を構築し，JAXA2m×2m遷音速風洞で取得したデータに対して，高レイノルズ数風洞データとの高い互換性を実現する。

● 事業の目標

模型変形効果補正およびレイノルズ数効果補正技術を適用して，JAXA2m×2m 遷音速風洞で取得した NASA-CRM 模型のデータと，欧米の高レイノルズ数風洞で取得したデータを同一条件下で比較できるようにする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

模型変形効果補正で必要となるNASA-CRM模型周りのCFD解析を実行する際に利用する。また，新たに開発した抵抗分解を利用したレイノルズ数効果補正で必要となる，NASA-CRM模型周りのCFD解析結果の抵抗分解を実行する際に利用する。

● 今年度の成果

既存の手法を改良して模型変形，誘導抵抗，造波抵抗を考慮することで，広い Re 数範囲 (5, 20, 30e6) ，広い迎角範囲 (-1~5) で，概ね 15 カウントの精度で補正が可能になった。これにより，高価な高レイノルズ数風洞試験結果とのシームレスなデータ融合が可能になり，空力特性取得ツールのベストミックスが実現できる。

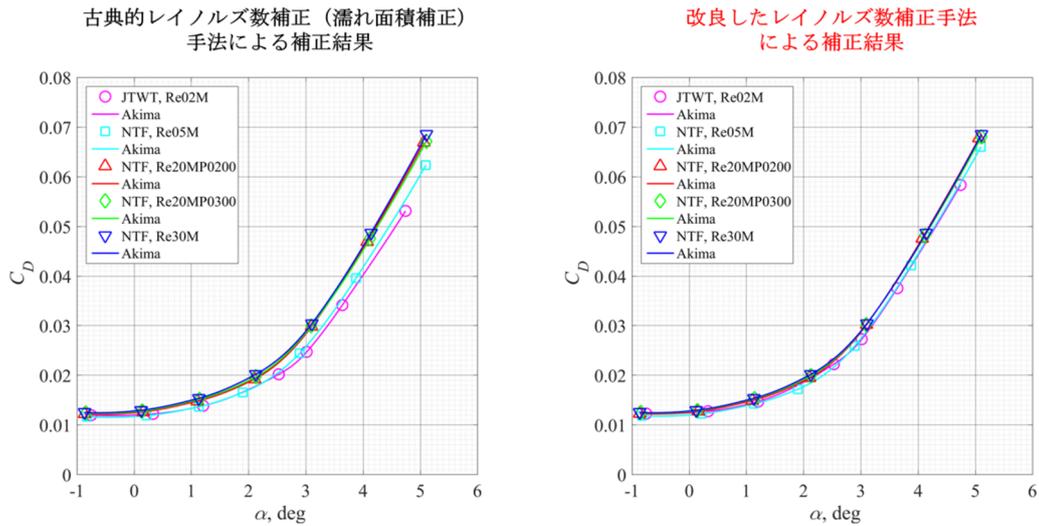


図1 JAXA 2m×2m 遷音速風洞 (Re=2e6) および National Transonic Facility (Re=5e6~30e6) で取得した NASA-CRM 風洞試験模型の抵抗係数データへの Re 数補正適用結果
: Results of Reynolds number correction for NASA-CRM model drag coefficient at JAXA 2m×2m Transonic Wind Tunnel (Re=2e6) and National Transonic Facility (Re=5e6~30e6)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	約10時間
ケース数 :	約100ケース
ジョブの並列プロセス数 :	96プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	
利用計算システム :	SORA-PP

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) 古賀星吾, 上野 真, 保江かな子, “CFDを用いたNASA-CRM3次元形状の遷音速レイノルズ数効果検証,” 日本航空宇宙学会第46期定時社員総会および年会講演会, Apr. 2015.
- 2) 山崎 涉, 小林 航, 上野 真, “二次元翼周りの数値流体解析における間接レイノルズ数効果の検討,” 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーションシンポジウム, July 2015.
- 3) 松野 隆, 石黒右恭, 池田幸一, 菅原正隆, 上野 真, “プラズマアクチュエータを用いた乱流境界層速度分布制御,” 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーションシンポジウム, July 2015.
- 4) 上野 真, 保江かな子, 古賀星吾, “遷音速レイノルズ数効果試験技術の現状と展望,” 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーションシンポジウム, July 2015.
- 5) 上野 真, 古賀星吾, 保江かな子, “JAXAにおける旅客機形状レイノルズ数スケーリング技術研究,” 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーションシンポジウム, July 2015.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		604,314.12		

21. 超音速機の自然層流翼設計技術の研究

Natural Laminar Flow Wing Design of Supersonic Transport

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，牧野好和(makino@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，徳川直子(tokugawa.naoko@jaxa.jp)

株式会社エイ・エス・アイ総研，石川敬掲(hiroaki@chofu.jaxa.jp)

株式会社トライアングル，上田良稲(yueda@chofu.jaxa.jp)

学習院大学，小池寿宣(koicars@chofu.jaxa.jp)

東京大学大学院，春日洋平(ykasuga@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

次世代の超音速旅客機の実現における必須の課題である燃費の向上には空気抵抗の低減することが効果的である。ここでは、空気抵抗のうち摩擦抵抗低減効果が期待できる自然層流を実機寸法の高 Re 数条件下において実現することを目的とする。

● 事業の目標

小型超音速旅客機の燃料消費削減に供するため、巡航揚抗比を 8.0 以上にすることを目標とする。またこの数値目標を達成するため、設計および解析技術の高精度・高効率化を行うことを目標とする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

超音速自然層流翼の設計には超音速逆問題設計法を適用した。この逆問題設計は予め層流効果が高いことが期待される表面圧力分布（目標圧力分布）を定め、その目標圧力分布を達成する翼型を設計する手法である。設計された翼型の圧力分布はCFD解析によって求められるが、計算負荷の高いCFD解析およびCFD解析用自動格子生成にスパコンを利用した。

● 今年度の成果

小型超音速旅客機に自然層流翼設計を適用し、巡航状態において $0.30 \leq y/s \leq 0.90$ の範囲で平均53%Cの層流化を達成した。その結果、摩擦抵抗が全面乱流に比べ4.7カウント、全抵抗が3.9カウント低減し、揚抗比が2.4%向上した。

また翼厚およびスパンロードを拘束する手法も獲得した。

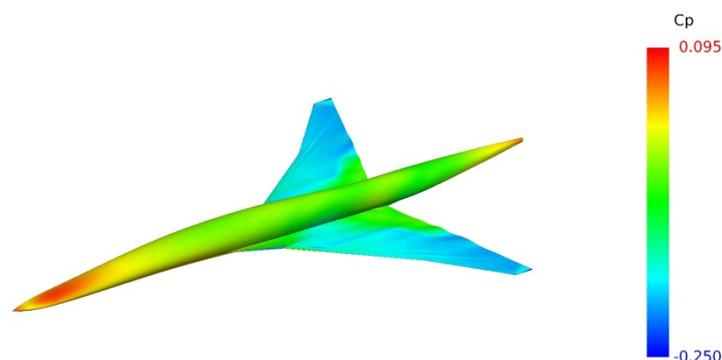


図1 自然層流翼設計を適用したQSST
: QSST applied natural laminar flow wing design

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	10分～1時間
ケース数：	1150ケース
ジョブの並列プロセス数：	8～16プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	8～32コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	自動並列
利用計算システム：	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) 石川敬掲ら：「超音速自然層流翼に対する逆問題設計システムの構築」, 日本航空宇宙学会論文集 受理, 2016.
- 2) Tokugawa, N. et al.: "Pressure Gradient Effects on Supersonic Transition over Axisymmetric Bodies at Incidence", AIAA Journal, 53, PP. 3737-375, 2015.

査読なし論文

- 3) 牛山剣吾ら：「小型超音速旅客機の自然層流翼設計」, JAXA-RR accepted.

口頭発表

- 4) 石川敬掲ら：「小型超音速実験機 (NEXST-1) の自然層流翼に対する改善設計」, 第47回流力講演会, 2015.
- 5) 牛山剣吾ら：「超音速自然層流翼実現に向けた目標圧力分布の改善」, 第53回飛行機シンポジウム, 2015.
- 6) 牛山剣吾：「翼厚拘束を課した超音速自然層流翼の逆問題設計」, 日本航空宇宙学会北部支部2016年講演会, 2016.

その他

- 7) 小池寿宜：「後縁端位置拘束もしくは翼厚拘束を課した自然層流翼設計」, 学習院大学卒業論文, 2016.
- 8) 牛山剣吾：「小型超音速旅客機の自然層流翼設計」, 学習院大学大学院修士論文, 2016.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	354,267.88	853.59		

22. 極超音速インテークに関する数値的研究

Numerical Study of Hypersonic Intake

● 事業形態

その他（技術研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：早稲田大学大学院，小林 航(kbysw2357@akane.waseda.jp)

早稲田大学大学院，長尾 志(n-tsukasa372@ruri.waseda.jp)

● 事業の目的

- 機体干渉を考慮したインテークの性能調査.
- インテークバズの抑制方法の確立.

● 事業の目標

- 最適な機体形状の設計.
- 体積要素のインテークバズ発生への影響の解明.

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

風洞実験では通風できない条件でのシミュレーションや，内部の流れ場の可視化などによる現象の解析.

● 今年度の成果

- エンジンを機体側部に搭載した場合，翼の流れと干渉することでインテーク流入が変化し，性能は流量，圧力ともに10%程度低下する.
- インテーク後部のダクト体積を小さく，中間部の抽気プレナム室体積を大きくすることでバズの発生を抑制することができる.

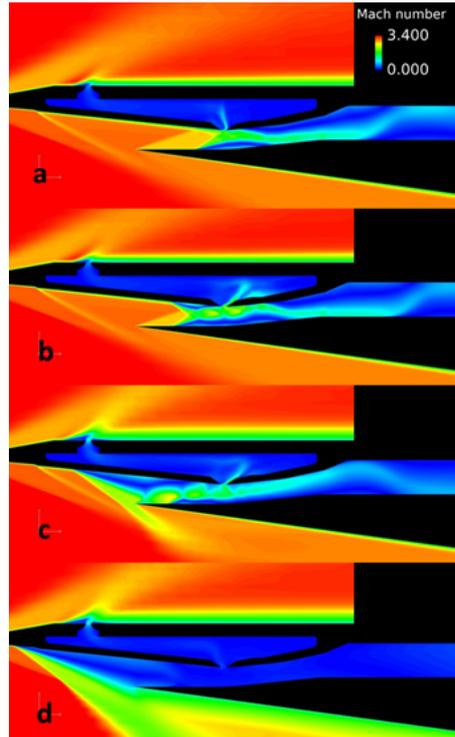


図1 インテークバズの様子
: Buzz cycle

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	10時間
ケース数：	40ケース
ジョブの並列プロセス数：	48プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	12コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 「インテークバズの発生におけるダクト・抽気プレナム室体積の影響」第29回数値流体力学シンポジウム

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	240,986.87	45,256.91	966.56	

23. 低ソニックブーム設計概念実証機:D-SEND#2 の数値解析

Numerical Analysis of the D-SEND#2

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 D-SEND プロジェクトチーム，牧野好和(makino@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 D-SEND プロジェクトチーム，吉田憲司(yoshida.kenji@jaxa.jp)

株式会社エイ・エス・アイ総研，石川敬掲(hiroaki@chofu.jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，牧本卓也(makitaku@chofu.jaxa.jp)

株式会社 TOUA，笥由里子(kakei221@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

将来航空輸送のブレークスルーとしての超音速旅客機の実現を目指して「静かな超音速旅客機」の実現に必要な鍵技術を獲得し，航空機開発の先導役として，航空機製造産業の発展と将来航空輸送のブレークスルーに貢献することを目的とする。

● 事業の目標

ソニックブーム強度を半減し得る低ソニックブーム設計技術を実証して技術優位性を示すとともに，小型超音速旅客機の実現を可能とする技術目標（①低ブーム設計技術の実証，②小型 SST 技術目標達成（ブーム半減，騒音低減，抵抗低減，軽量化），③無人機技術の実証）を達成する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

低ソニックブーム設計概念実証機：D-SEND#2の飛行試験は2015年7月にスウェーデンのエスレンジ実験場で実施された。飛行試験にあたり試験時の条件における実験機まわりの空力特性やソニックブームの推算，また試験後の試験結果の検証はCFD解析や音響伝播解析などの数値計算を高精度かつ高速で行う必要がある。上記の解析を高精度かつ高速に行うためにスパコンを利用した。

● 今年度の成果

2015年7月にスウェーデンのエスレンジ実験場で実施された飛行試験では，設計点だけでなく非設計点など様々な状態で発生したソニックブームの計測に成功し，それぞれの機体形状および実験条件における数値解析からほぼ予想どおりのソニックブーム強度であることが検証され，低ソニックブーム設計技術を実証することができた。また計測されたソニックブーム波形は予想と若干異なる波形であることも確認され，それらの原因を究明するためにさらに追加のCFD解析を行い，そのCFD解析結果を用いた音響伝播解析を通して，その主要因が大気乱流によるものであることを明らかにすることができた。

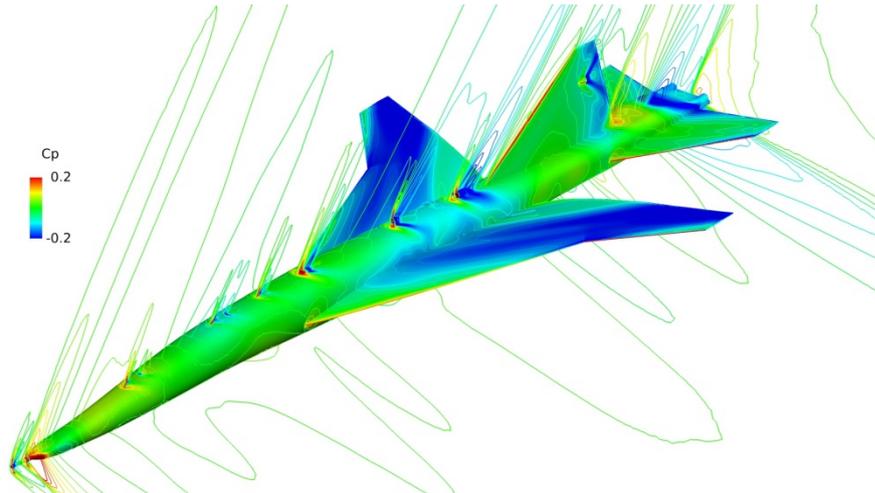


図1 飛行試験条件の付加物つきD-SEND#2実験機まわりのCp分布
: Cp distribution of the D-SEND#2 on the flight condition with additional parts

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	3時間
ケース数 :	50ケース
ジョブの並列プロセス数 :	15~200プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	4~32コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	自動並列
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) 吉田憲司, 本田雅久, 「D-SENDプロジェクトの全体概要」, 日本航空宇宙学会誌, Vol.64, No.1, 2016

口頭発表

- 2) 牧野好和, 二宮哲次郎, 「D-SEND#2空力特性モデルの評価」, 日本航空宇宙学会47期年会講演会, 2016.
- 3) 牧野好和, 金森正史, 石川敬掲, 「D-SEND#2低ブーム設計コンセプト検証」, 日本航空宇宙学会47期年会講演会, 2016.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	133,503.40		1.09	

24. デジタル/アナログ・ハイブリッド風洞システム運用

System Operation of the Digital/Analog-Hybrid Wind Tunnel (DAHWIN)

● 事業形態

その他（システム運用）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 空力技術研究ユニット，浜本 滋(hama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 空力技術研究ユニット，口石 茂(shigeruk@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 空力技術研究ユニット，越智康浩(ochiy@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

JAXA が開発したシステム「デジタル/アナログ・ハイブリッド風洞（DAHWIN）」の運用を通じて、風洞試験（EFD）と CFD とのコンカレントな連携を実現する。

● 事業の目標

DAHWIN の諸機能（パラメトリック CFD 解析，風試計画設定支援，風試モニタリング，風試/CFD 統合可視化・分析，他）をユーザに提供する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

DAHWINの諸機能中，CFD関連機能（パラメトリックCFD解析，風試対応詳細CFD，流体構造連成解析，風洞丸ごと解析等）を実施する。

● 今年度の成果

システムを JAXA 2m×2m 遷音速風洞における風洞試験（計 10 件）に適用すると共に，パラメトリック CFD 解析，風洞丸ごと解析等の諸機能を活用した。また，SORA-PP に加えて SORA-LM および SORA-MA を選択・実行できるようにシステムの改修を行った。さらに，CFD 解析機能のプリポスト関連処理を，計算ノード（バッチジョブ形式）により実行できるようにシステムの改修を行った。

変更箇所

- プリポスト
選択肢 [PP LM]
(デフォルト値: PP)
- CFD解析
選択肢 [PP MA]
(デフォルト値: PP)

図1 DAHWIN事前CFD条件設定画面
: Pre-CFD GUI of DAHWIN

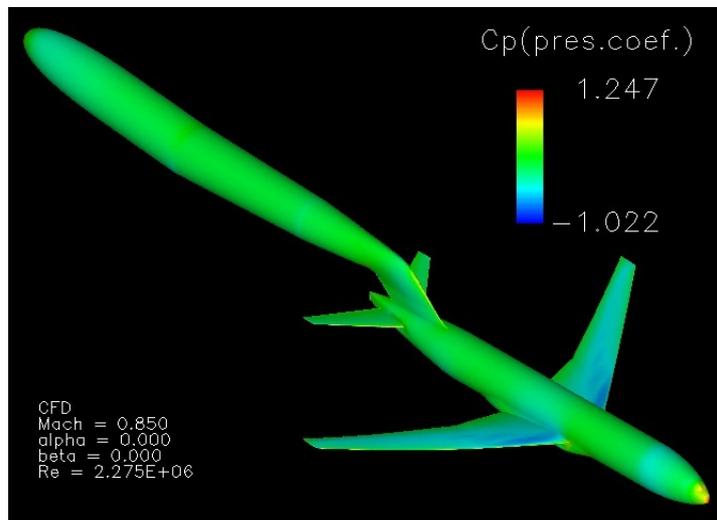


図2 NASA CRM模型事前CFD解析 (空間セル数5000万)
: Pre-CFD Result of NASA Common Research Model

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	27時間
ケース数 :	10ケース
ジョブの並列プロセス数 :	192プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	366,953.31	23,490.74	1,385.44	

25. 燃焼器解析に関する研究

Research on combustor simulation

● 事業形態

その他（技術研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，溝渕泰寛(mizo@chofu.jaxa.jp)

構成員：早稲田大学，山本姫子(himeko@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

航空用ステージング型燃焼器のガス状有害排出物（CO，NO など）を低減させること。

● 事業の目標

初期粒径の違いが燃焼器出口における排出物特性に与える影響について LES 解析を用いて調査する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

熱流体解析ソフトウェア FFR（NuFD/FrontFlowRed）を用い，様々な初期粒径の条件を与え，LES 解析を行う。

● 今年度の成果

初期粒径を20, 30, 40[μm]とし，燃焼場の解析を行ったところ，NOの排出係数が0.624, 0.701, 1.032となる結果を得た。また，各素反応による化学種の生成速度の比較を行い，40[μm]粒径条件における再循環領域の形成とNO生成メカニズムを明らかにした。

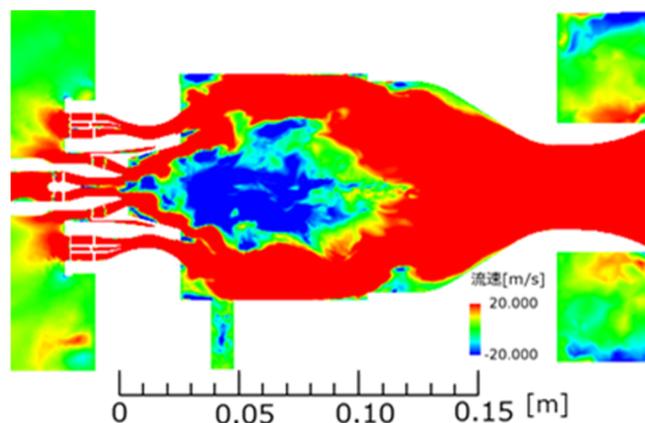


図1 燃焼室内流速分布 (40[μm])
: Velocity distribution in a chamber (40[μm])

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 1,200,000[s]
 ケース数： 4ケース
 ジョブの並列プロセス数： 160プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： OpenMP
 利用計算システム： SORA-MA

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	624,994.84	359.97		

26. 非構造 CFD コードによるキャビティ音響振動予測に関する研究

Research on prediction of cavity acoustic resonance

● 事業形態

共同研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，橋本 敦(ahashi@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，石田 崇(tishida@chofu.jaxa.jp)

三菱重工業株式会社 技術統括本部 総合研究所 流体力学研究部 空力研究室，吉本 稔

三菱重工業株式会社 技術統括本部 総合研究所 流体力学研究部 空力研究室，今井和宏

三菱重工業株式会社 技術統括本部 総合研究所 流体力学研究部 空力研究室，西村信佑

三菱重工業株式会社 技術統括本部 総合研究所 流体力学研究部 空力研究室，石川勝利

● 事業の目的

産業界における FaSTAR の実用化を促進するため，企業と連携し，代表的な課題に対する検証を共同で実施する。

● 事業の目標

FaSTAR の非定常解析の検証として，キャビティ音響振動問題に取り組み，実験との比較を行う。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

非定常解析では，計算コストが大きな問題であり，スパコンを利用することで，初めて実用的な解析が可能となる。1ケースを1日以下で実施することを念頭に，検証を進めている。

● 今年度の成果

非定常計算で得られた音響レベルは，実験と良い一致を示していることが分かった。今後，複雑形状の解析や，メカニズムの解明を目標に，さらに解析を進める予定である。

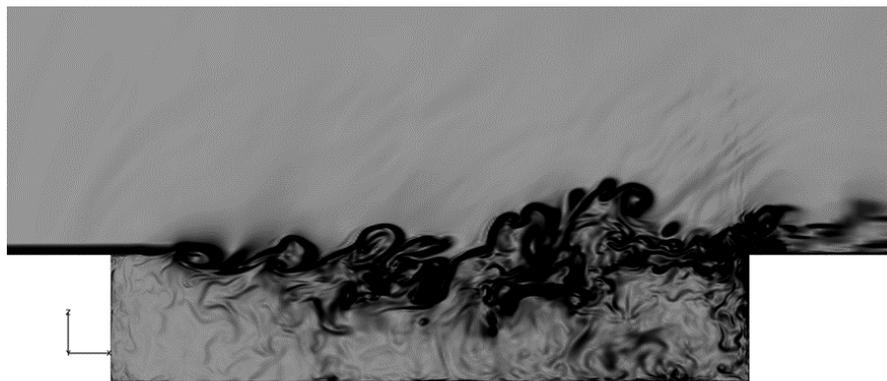


図1 キャビティ解析の例
: Example of Cavity Analysis

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	24時間
ケース数 :	100ケース
ジョブの並列プロセス数 :	256プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	5,556,802.50	22,693.32	2,708.72	

27. 非構造 CFD コードの高速化に関する研究

Research on acceleration of unstructured CFD code

● 事業形態

共同研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，橋本 敦(ahashi@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，石田 崇(tishida@chofu.jaxa.jp)

三菱重工業株式会社 技術統括本部 総合研究所 流体力学研究部 空力研究室，吉本 稔

三菱重工業株式会社 技術統括本部 総合研究所 流体力学研究部 空力研究室，今井和宏

三菱重工業株式会社 技術統括本部 総合研究所 流体力学研究部 空力研究室，西村信佑

三菱重工業株式会社 技術統括本部 総合研究所 流体力学研究部 空力研究室，石川勝利

● 事業の目的

産業界における FaSTAR の実用化を促進するため，企業と連携し，代表的な課題に対する検証を共同で実施する。

● 事業の目標

FaSTAR を用いて，NASA-CRM のバフェットに対する解析を行い，精度と計算時間を評価する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

非定常解析では，計算コストが大きな問題であり，スパコンを利用することで，初めて実用的な解析が可能となる。1ケースを1日以下で実施することを念頭に，検証を進めている。

● 今年度の成果

ETWの試験結果に合わせて， $M=0.25$ ， $Re=1.16 \times 10^7$ ， $\alpha=18\text{deg}$ で解析を実施した。非定常計算で得られた後流の速度分布は，DLRのTAUコードと比較して，良い一致を示していることが分かった。また，計算時間は，2000万の格子を用いた場合，512コアを用いて，6時間程度で解析することができることを確認した。

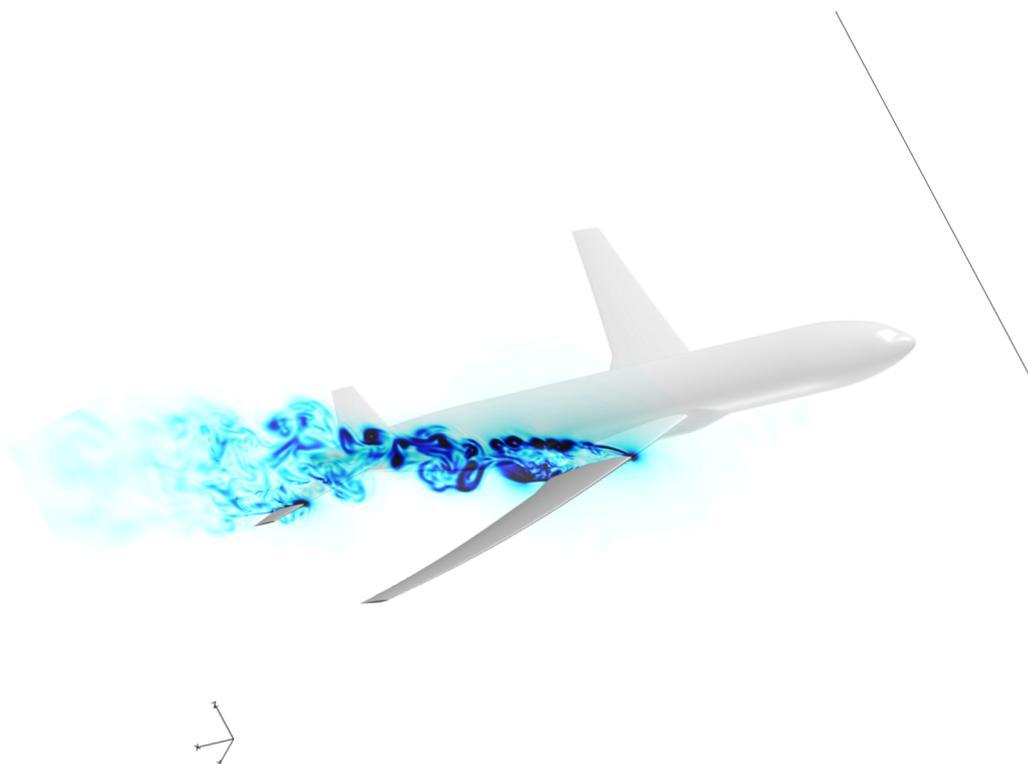


図1 バフエット解析の例
: Example of Tail Buffet Analysis

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 6時間
 ケース数： 20ケース
 ジョブの並列プロセス数： 512プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 8コア
 プロセス並列手法： なし
 スレッド並列手法： 自動並列
 利用計算システム： SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	558,390.93	931.17	95.26	

28. 非定常特性を考慮に入れた低レイノルズ数翼の最適設計の研究

Airfoil design optimization for unsteady low Reynolds number flow

● 事業形態

科研費

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松尾裕一(matsuo.yuichi@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，池田友明(ikedat@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，基盤応用技術研究チーム，
跡部 隆(atobe.takashi@jaxa.jp)

● 事業の目的

火星大気や超高々度のように低大気密度中の飛行で実現される，低レイノルズ数且つ高亜音速流れに適した翼型設計を数値計算手法により実現する。

● 事業の目標

低レイノルズ数且つ高亜音速飛行時に卓越する非定常音響変動に着目して，それが翼の境界層遷移に与える影響を翼形状との関わりにおいて定量的に明らかにする．特に剥離剪断層の不安定性と非定常変動の出現による剥離抑制のメカニズムに着目して，より高い揚力係数と揚抗比を実現する翼型の開発に向けた知見を得る。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

翼周り流れで生ずる境界層剥離・遷移・音響変動の発生・伝播などの非定常現象を高精度に再現するためにスパコンを利用する。

● 今年度の成果

低レイノルズ数流れにおいて，ピークを伴う音響変動の消失と乱流楔を伴う境界層遷移の発生の相関が大規模シミュレーションを通して明らかになった．また，粘性項の高精度シミュレーション技法の開発に成功した。

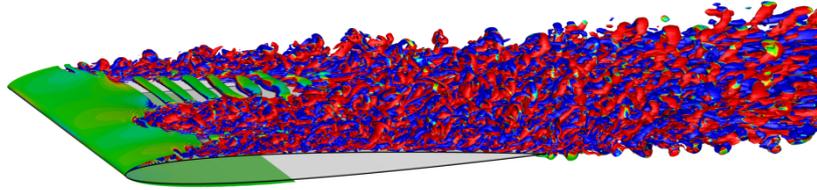


図1 Re=50,000 M=0.2におけるNACA0006翼上面に発生する乱流楔
: Turbulent wedges occurring on the suction side of an NACA0006 airfoil

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	500時間
ケース数 :	2ケース
ジョブの並列プロセス数 :	384プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) T. Ikeda, D. Fujimoto, A. Inasawa, and M. Asai, On the lift increments with the occurrence of airfoil tones at low Reynolds numbers, American Physical Society 68th Annual DFD Meeting, Boston, November, 2015
- 2) 池田友明, 鈴木祐太, 浅井雅人, マルチブロック境界における粘性項評価の改良について, 数値流体力学シンポジウム 2015

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	193,257.53			

29. 低ソニックブーム設計評価のための近傍場圧力波形推算手法の高精度化

Accurate prediction of near-field pressure signatures for low-sonic-boom design validation

● 事業形態

その他(ハブ事業)

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，牧野好和(makino@chofu.jaxa.jp)

構成員：株式会社菱友システムズ，牧本卓也(makitaku@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

将来航空輸送のブレークスルーとしての超音速旅客機の実現を目指して「静かな超音速旅客機」の実現に必要な鍵技術を獲得し、航空機製造産業の発展と将来航空輸送のブレークスルーに貢献することを目的とする。

● 事業の目標

50人乗りクラスの小型超音速旅客機において、ソニックブーム強度半減、巡航揚抗比 8.0 以上、離着陸時騒音 ICAO Cp.4 適合、全金属機体（コンコルド技術）に比べて構造重量 15%減の 4 つの技術目標を満足する機体概念を提示すること。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

本事業で獲得すべき低ソニックブーム設計技術は、ソニックブーム波形を制御する機体設計コンセプトとコンセプトを実機に実現する設計手法からなり、設計手法には機体が発生する衝撃波を機体近傍場で精度良く推算するとともに、地上への非線形的な音響伝播解析が必要である。特に機体近傍場の圧力波形推算には高精度なCFD解析が必要でありスパコン利用が必須となる。

● 今年度の成果

静粛超音速機の形状は複雑なため、機体近傍における計算格子を四面体の非構造格子で作成し、その外は衝撃波捕獲性能向上のため六面体の構造格子で作成する複合格子を用いてCFD解析を行う。今年度は、その非構造領域をより機体付近のみに縮小し、構造格子領域を増やした。その結果、非構造領域による物理量の伝播散逸が小さくなり、近傍場圧力波形を精度良く推算することが可能となった。推算結果は風洞試験結果により検証され、低ソニックブーム設計効果が確認できた。

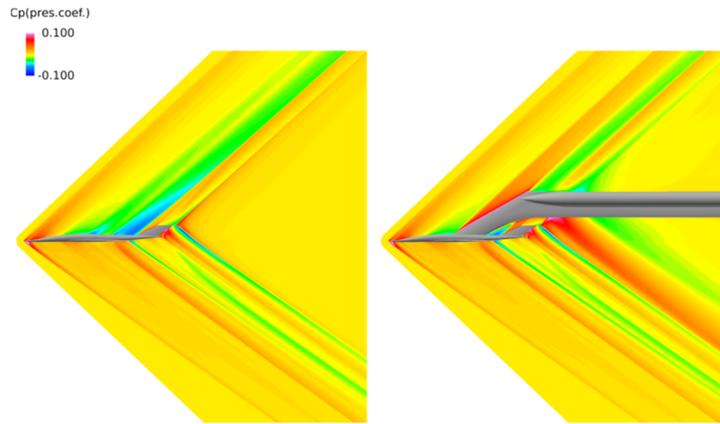


図1 小型超音速旅客機第3.3次概念設計形状 風試検証用解析結果
(左：模型支持なし / 右：模型支持あり)

: Numerical simulation around the wind-tunnel model for low-boom design validation of a small-size supersonic transport conceptual design configuration.

(Left: Model support off, Right : Model support on)

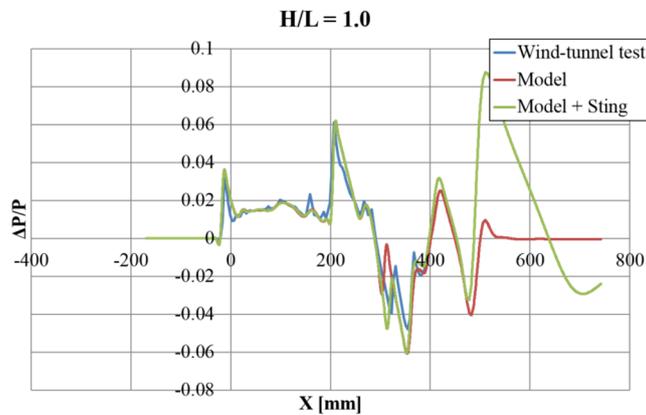


図2 CFD と風洞試験との近傍場圧力波形比較

: Comparison of near-field pressure signatures between CFD(model support on/off) and wind-tunnel test data(model support on).

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 8時間
 ケース数： 20ケース
 ジョブの並列プロセス数： 48プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-PP, SORA-LM, SORA-TPP

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,376,351.45	275,534.06	1,405.00	1,313.80

30. フロンティア領域の非定常 CFD 解析技術に関する研究

Research on Unsteady CFD Analysis Technology for Frontier Region

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，橋本 敦(ahashi@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，石田 崇(tishida@chofu.jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，林謙司(khayashi@chofu.jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，竹川国之(ktake@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

流体の定常計算については技術が成熟しつつあり，設計・開発においてかなり実用的に使用されている。一方，非定常計算は解像度，乱流モデル，計算コスト，大規模化など多くの課題が残されている。本事業では，それらの技術課題を解決することを目的とし，非定常解析の実用化を目指す。

● 事業の目標

本事業では，定常解析用の FaSTAR を非定常に拡張する。非定常解析に必要な各解析技術（大規模格子生成法，高解像度の流束計算法，効率的な時間積分法，RANS/LES ハイブリッド法など）を実装する。検証では，遷音速バフェットを解き，実験と比較することでその有効性を評価する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

非定常解析では，計算コストが大きな問題であり，スパコンを利用することで，初めて実用的な解析が可能となる。

● 今年度の成果

OAT15A翼型に対してZonal DESを用いたバフェット解析を実施し（図1），実験と一致する C_p の平均値，RMS値の分布が得られることを確認した。また，内部反復回数の影響，RANS/LES切り替え位置の高さの影響，スパン方向長さの影響も調査した。

NASA-CRMの主翼に対して，同様にZonal DESを用いてバフェット解析を実施した（図2）。まだ，衝撃波位置を実験に合わせることはできていないが， C_p のRMS値は実験とほぼ同じであることを確認している。今後，モデルの改良を進めるとともに，実験との詳細な比較を実施する予定である。

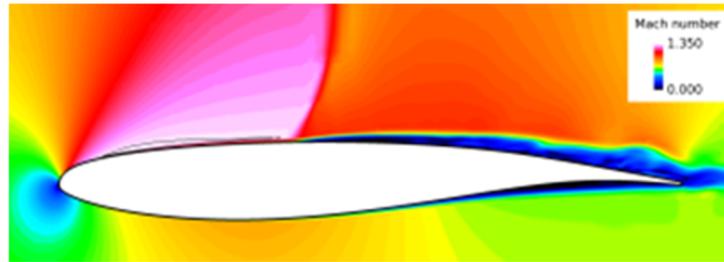


図1 OAT15A翼型のバフエット解析
: Buffet analysis of OAT15A airfoil

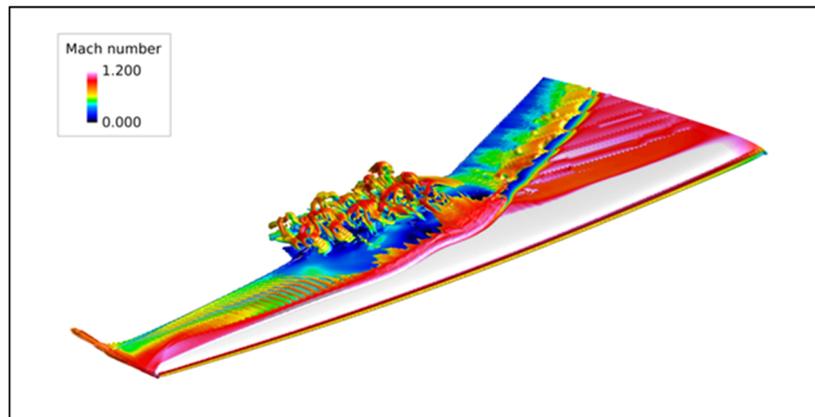


図2 NASA-CRM翼のバフエット解析
: Buffet analysis of NASA-CRM wing

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	500時間
ケース数 :	5ケース
ジョブの並列プロセス数 :	512プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) Takashi Ishida, Keiichi Ishiko, Atsushi Hashimoto, Takashi Aoyama, and Kuniyuki Takekawa. "Transonic Buffet Simulation over Supercritical Airfoil by Unsteady-FaSTAR Code", 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA SciTech, AIAA 2016-1310.
- 2) Atsushi Hashimoto, Takashi Ishida, Takashi Aoyama, Kuniyuki Takekawa, and Kenji Hayashi. "Results of Three-dimensional Turbulent Flow with FaSTAR", 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA SciTech, AIAA 2016-1358.
- 3) Atsushi Hashimoto, Takashi Aoyama, Yuichi Matsuo, Makoto Ueno, Kazuyuki Nakakita, Shigeru Hamamoto, Keisuke Sawada, Kisa Matsushima, Taro Imamura, Akio Ochi, and Minoru Yoshimoto. "Summary of First Aerodynamics Prediction Challenge (APC-I)", 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA SciTech, AIAA 2016-1780.

口頭発表

- 4) 橋本 敦, 青山剛史, 松尾裕一, 上野 真, 中北和之, 浜本 滋, 澤田恵介, 松島紀佐, 今村太郎, 越智章生, 竹中啓三, APC-Iの集計結果, 第53回飛行機シンポジウム講演集, 3B05, JSASS-2015-5174.
- 5) 橋本 敦, 石田 崇, 青山剛史, 林 謙司, 菱田 学, FaSTARによるNASA-CRM空力予測, 第53回飛行機シンポジウム講演集, 2B13, JSASS-2015-5089.
- 6) 橋本 敦, 石田 崇, 青山剛史, 林 謙司, FaSTAR・HexaGrid格子による解析, First Aerodynamics Prediction Challenge, JAXA-SP-15-005.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	4,409,014.06	390,353.32	2,797.16	

31. リブレット上の流れの数値シミュレーション

Numerical Simulation of Flow over Riblets

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
村上 哲(murakami.akira@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
郭 東潤(kwak.dongyoun@jaxa.jp)

航空技術部門 次世代イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
岡林希依(okabayashi.kie@jaxa.jp)

航空技術部門 次世代イノベーションハブ，航空機システム研究チーム，
内藤弘士(naitoh.hiroshi@jaxa.jp)

● 事業の目的

航空機の表面摩擦抵抗を低減させるリブレット技術の技術成熟度を向上させるとともに、獲得した技術力を高いインパクトで示すことで、省エネルギー技術の社会実装の実現に資する。

● 事業の目標

- 抵抗低減効果を高めた新型リブレットの開発。
- JAXA独自リブレット施工技術の開発。
- 上記2技術の飛行実証。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

- 独自リブレットの抵抗低減率計算・流れ場の解析。
- 逆圧力勾配下でのリブレットの抵抗低減効果を調査。
- 飛行実証に必要な知見の獲得。

● 今年度の成果

- 抵抗低減効果の気流条件に対するロバスト性を高めた独自リブレットを開発した（特許出願中）。
- 逆圧力勾配が大きくなると抵抗低減効果は小さくなることがわかった。
- 境界層厚さ，圧力分布，最適リブレット間隔などを計算し，飛行実証に用いる機器の選定に資するデータを獲得した。

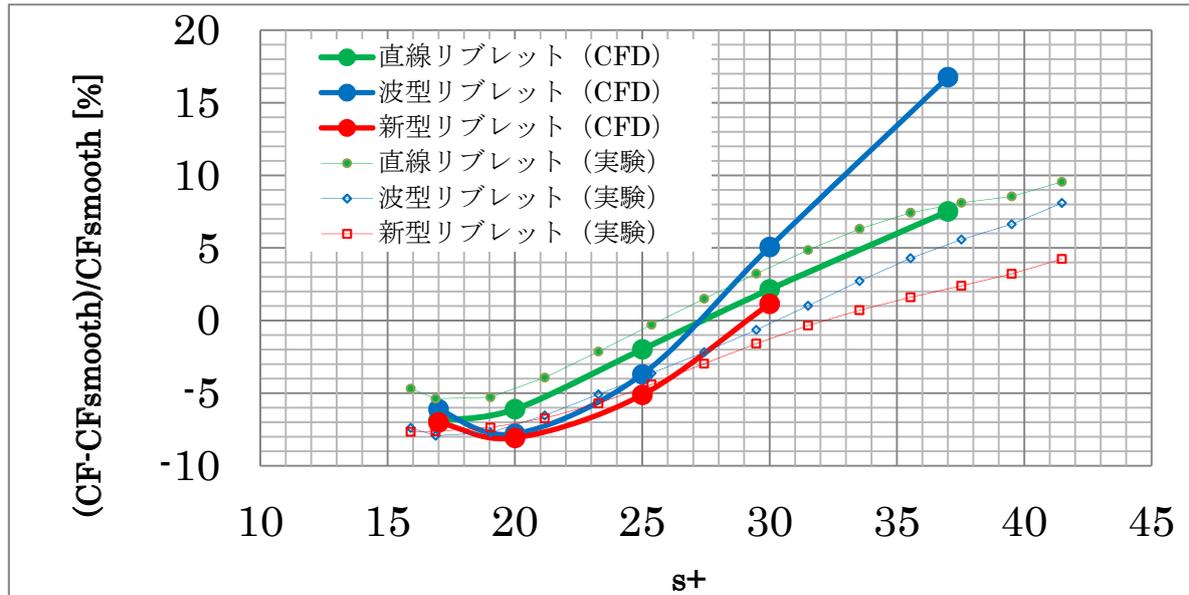


図1 JAXA 独自形状である新型リブレット (特許出願中) と従来の直線リブレット・波型リブレットとの比較
 : Comparison of drag reduction rates. Red: modified sinusoidal riblet (patent pending), blue: traditional sinusoidal riblet, green: straight riblet

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	530時間
ケース数 :	10ケース
ジョブの並列プロセス数 :	16プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	16コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	自動並列
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

査読付論文

- 岡林希依, 末永宇織, 浅井雅人, “リブレットの抵抗低減効果を模擬する乱流モデルの構築”, 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 64, No.1 pp.41-49 (2016).

口頭発表

- Kie Okabayashi, Yuki Yamada and Masahito Asai, “Parametric Analysis of Flow over Sinusoidal Riblets”, 9th Int. Conf. on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP-9),

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,576,102.24	8,441.51	0.50	

32. 流体素子による空気流量配分制御技術の研究

Air flow distribution control by a fluidic element

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 推進技術研究ユニット，二村尚夫(futamura.hisao@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 推進技術研究ユニット，吉田征二(yoshida.seiji@jaxa.jp)

航空技術部門 推進技術研究ユニット，牧田光正(makida@chofu.jaxa.jp)

株式会社エイ・エス・アイ総研，中村直紀(nakam@chofu.jaxa.jp)

早稲田大学，武石育海(iku_t1972@asagi.waseda.jp)

● 事業の目的

ジェットエンジン燃焼器を流れる空気流を流体素子により制御し，燃焼効率の向上，燃焼不安定の抑制など，燃焼器の性能を向上させる。

● 事業の目標

流体素子出口の流路抵抗および流体素子の流路形状を変えた時の流量配分特性を取得する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

流体素子の流路パラメータを変えながらパラメトリックスタディーを多数行う必要がある。また，内部流れの可視化により流路形状改良のための知見を得ることができる。

● 今年度の成果

実験で用いた流体素子と同形状の流体素子について，出口の流路抵抗を変えて流量配分特性を調べた。実験と条件を合わせるための流路抵抗の決め方に課題が残っているが，流路抵抗のない条件では，実験とCFDの結果は一致した。

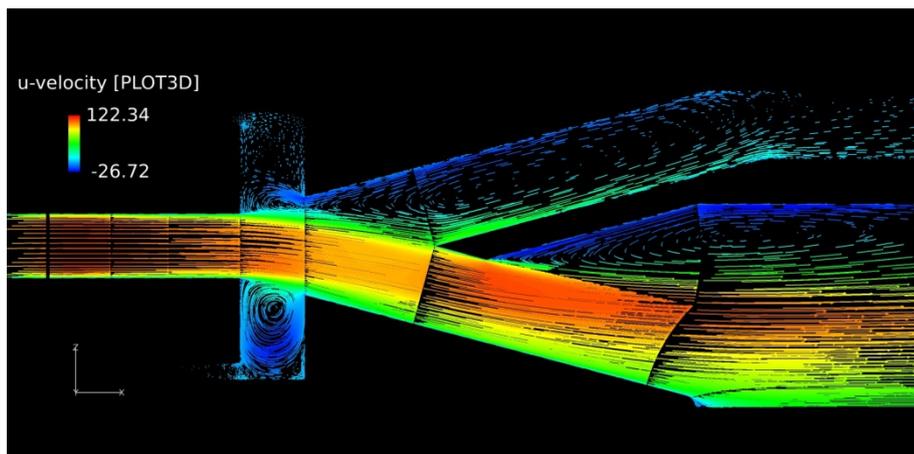


図1 流体素子内流速分布
: Flow field in a fluidic element

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	50時間
ケース数 :	約30ケース
ジョブの並列プロセス数 :	36プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	4コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	自動並列
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 学内発表

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	506,880.96	2,587.22		

33. 【aFJR プロジェクト】LS-DYNA によるマルチスケール構造解析

【aFJR Project】Multi-Scale Structural Analysis in LS-DYNA

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム, 西澤敏雄(nishizawa.toshio@jaxa.jp)
構成員：航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム, 北條正弘(hojo.masahiro@jaxa.jp)
航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム, 北村祥之(kitamura.yoshiyuki@jaxa.jp)
富士通株式会社, 金堂剣史郎(kondo.kenshiro@jp.fujitsu.com)
富士通株式会社, 貞本将太(sadamoto.shota@jp.fujitsu.com)

● 事業の目的

aFJR プロジェクトにおいて、航空エンジンの「ファン」及び「低圧タービン」を軽量化するための技術を開発・実証し、次世代エンジンの国際共同開発において設計分担を狙える技術を獲得すること。

● 事業の目標

航空エンジンの「ファン」及び「低圧タービン」の10%軽量化を可能とし、耐久性や信頼性で従来と同等となる軽量ファン設計製造技術、軽量低圧タービン設計技術を開発し、実証試験によりその有効性を確認すること。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

物理現象を緻密にモデル化しつつも、マクロな現象を予測できるマルチスケール解析を効率的に実施し、従来よりも解析精度を向上させることで、信頼性を向上させ、軽量化に貢献する必要がある。スパコンはこの作業の効率化、モデルの大規模化に対応する上で必要不可欠である。

● 今年度の成果

- JSS2上に汎用構造解析ソフトLS-DYNAをインストールし、解析可能な環境を作り上げた。
- 全周動静翼干渉解析のトライアルを完了。
- 円孔試験片へのショットピーニング解析ができることで、試験結果との比較が可能になった。

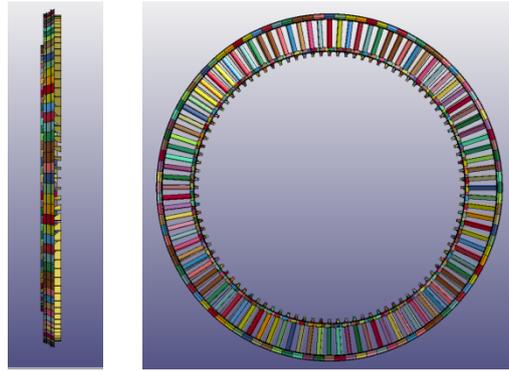


図1 全周動静翼干渉解析モデル
: Analysis model (all turbine blades and stator vanes in one stage)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	24時間
ケース数 :	12ケース
ジョブの並列プロセス数 :	120プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	4コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-LM

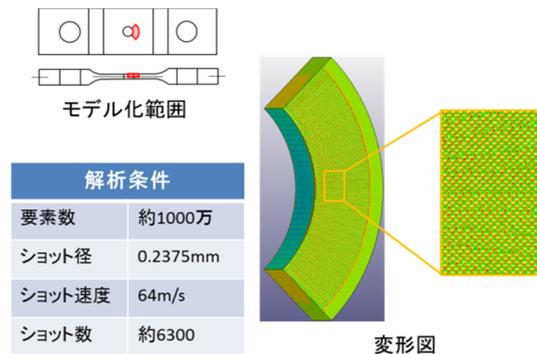


図2 ショットピーニング解析モデル
: Shot peening analysis model

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	72時間
ケース数 :	6ケース
ジョブの並列プロセス数 :	64プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	8コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,402,563.45		1,984.88	

34. CFD の小型旅客機設計適用に関する研究

Application of CFD to Small Civil Aircraft Design

● 事業形態

共同研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ 基盤応用技術研究チーム，
伊藤 健 (ito.takeshi@jaxa.jp)
構成員：三菱重工業株式会社，竹中啓三(keizoo_takenaka@mhi.co.jp)
三菱航空機株式会社，畑中圭太(keita_hatanaka@mitsubishiaircraft.com)

● 事業の目的

国産民間機 MRJ を開発し，環境負荷低減，乗客快適性の向上，運航経済性の向上を行う。

● 事業の目標

空力抵抗低減を実現する先進空力技術開発を行う。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

Vortex Generatorを搭載した全機空力解析を可能とし，Vortex Generator形状変更感度評価を短期間に実施する事で，設計へのフィードバック・試験時のリスク事前評価作業に供する。

● 今年度の成果

昨年度までは，一般的な航空機形態である後退角を持つ主翼上のVortex Generator形状を定義し，性能評価を実施した。今年度は，それらの成果の更なる適用対象として垂直尾翼を選定し，アンテナ等の突起物も考慮した基本データの取得を実施した。

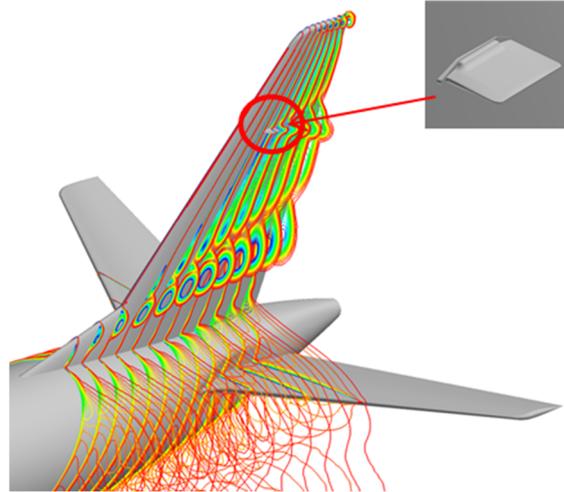


図1 $\beta > 0\text{deg}$ における垂直尾翼上面の気流の様子（アンテナ付）
 : Flow on the vertical tail with sideslip angle(with antenna).

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 4時間
 ケース数： 100ケース
 ジョブの並列プロセス数： 128プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 8コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： OpenMP
 利用計算システム： SORA-MA

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,066,986.44			

35. EFD/CFD 融合データ活用技術

EFD/CFD Data Integration Technology

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，伊藤 健(ito@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，口石 茂(shigeruk@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，保江かな子(yasue@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 空力技術研究ユニット，越智康浩(yochi@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，加藤博司(hiroshik@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

- 統計数理分野で研究開発が進められてきたデータ同化技術の活用により，特に乱流モデルの観点からEFD/CFD一致度の改善を図り，同化結果から一致度向上に関する指針を提供するとともに，風試条件におけるCFD空力特性予測値の定量的精度保証（風試データを必要としない，CFD単独による精度保証）を実現する。
- 任意の目的関数/設計変数に対して感度を算出することが可能な汎用Adjoint感度解析ツールを開発し，EFD/CFD融合技術の基盤ツールとして整備する。
- 風洞/CFDにフライトデータを加えた3データの統合比較を可能とし，データ精度や取得効率の向上に資する3データの融合/相互補償を実現する。

● 事業の目標

- データ同化結果から，風試/CFDの一致度向上に関する指針を提供するワークフローを構築する。
- Adjoint感度解析ツールについて，1000万点規模のRANSデータについて，JSS2により数時間程度での感度算出を可能とする（流れ場析時間を含める）。
- 実用に資するデータ解析技術を活用したEFD/CFD融合解析手法を開発する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

- 上記目的，目標を実現するためのツール開発およびその検証を行う。

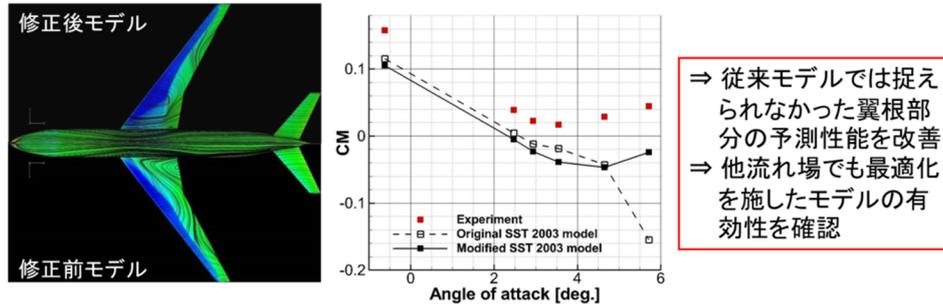
● 今年度の成果

- データ同化技術による乱流モデル高度化について，乱流モデル係数の普遍的最適化を施し，従来モデルから複雑流動場の予測性能を改善。
- CFDデータ感度解析ツールについて，最適化等への適用のための感度算出自動化を実現。
- データ解析技術を活用したEFD/CFD融合技術の構築について，ガウス過程回帰（GPR）の適用範囲を3D空間流れ場に拡張，またPODによるバフエット発生予兆の検出手法を開発。

データ同化技術による乱流モデル高度化

✓ モデル係数の**普遍的最適化**を施したSST-2003乱流モデルをAPC1*の課題に適用

*APC1: First Aerodynamics Prediction Challenge



⇒ 従来モデルでは捉えられなかった翼根部分の予測性能を改善
⇒ 他流れ場でも最適化を施したモデルの有効性を確認

図1 データ同化技術による乱流モデル高度化
: Data Assimilation for Turbulence Modeling

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	3時間
ケース数 :	12ケース
ジョブの並列プロセス数 :	128プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	2コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-PP

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) H., Kato, K., Ishiko, and A., Yoshizawa, “Optimization of Parameter Values aided by Data Assimilation: Application to the SST Turbulence Model,” AIAA Journal (投稿中).

査読なし論文

- 2) 加藤博司, 長尾大道, 石向桂一, “物理モデル高度化への指針を与える基底抽出に基づく簡便な手法の提案,” 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーションシンポジウム, July 2015.
- 3) 保江かな子, 野間久史, “ガウス過程回帰とMultiple Imputation法を用いた模型変形効果推定技術の検討,” 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーションシンポジウム, July 2015.

口頭発表

- 4) 加藤博司, 石向桂一, 吉澤 徹, “データ同化によって再考されたモデル定数を用いたSST2003乱流モデルによる解析,” First Aerodynamics Prediction Challenge (APC1) , July 2015.
- 5) 加藤博司, “風洞壁干渉補正に対するデータ同化の適用と課題,” 第28回計算力学講演会, Oct. 2015.
- 6) H., Kato, “Data Assimilation for Aeronautical Fluid Analysis,” 第5回日台逆問題研究会, Nov. 2015.
- 7) H., Kato, “Data Assimilation Aided Turbulence Modeling,” Workshop on Next Generation Transport Aircraft, Feb. 2016.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	220,177.77	238,746.83		

36. JAXA-QSST 形状の HLD 最適設計

Optimal design of the high lift device on JAXA-QSST configuration

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ 航空機システム研究チーム，
村上 哲(murakami.akira@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ 航空機システム研究チーム，
牧野好和(makino.yoshikazu@jaxa.jp)
郭 東潤 (kwak.dongyoun@jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ， 大平啓介(ohirak@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

将来航空輸送のブレークスルーとしての超音速旅客機の実現を目指して「静かな超音速旅客機」の実現に必要な鍵技術を獲得し、航空機開発の先導役として、航空機製造産業の発展と将来航空輸送のブレークスルーに貢献すること。

● 事業の目標

小型超音速旅客機の中核技術として設定した技術目標の一つである離着陸騒音低減について解析レベルでの達成を確認する。小型超音速旅客機の CFD 解析および高揚力装置最適設計手法を構築し、空港騒音基準 ICAO Chap.4 から設定される低速空力性能を達成する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

本解析は、多セグメントの高揚力装置を有する複雑形状であり、さらに高レイノルズ数の渦支配流れであるため高い格子分解能が必要な計算負荷の大きい計算であった。また、高揚力装置の最適設計を行うため、200ケースを超える大規模計算を限られた期限までに実施することが求められる。事業の目標を期限内に達成するには大規模解析を迅速に実施することが必要であり、スパコンは事業目標達成において重要な役割を果たしている。

● 今年度の成果

PointwiseとCATIAを組み合わせた自動格子生成ツール(FlexFlap)を開発し、QSST3.2次全機形状のHLD最適設計を行った。前縁フラップおよび後縁フラップの舵角や形状の最適化を実施し、離着陸時の空港騒音低減目標から設定された低速空力性能要求の揚抗比に対し、さらに13%を向上させる揚抗比特性が得られ、離着陸空力騒音低減目標を達成した。

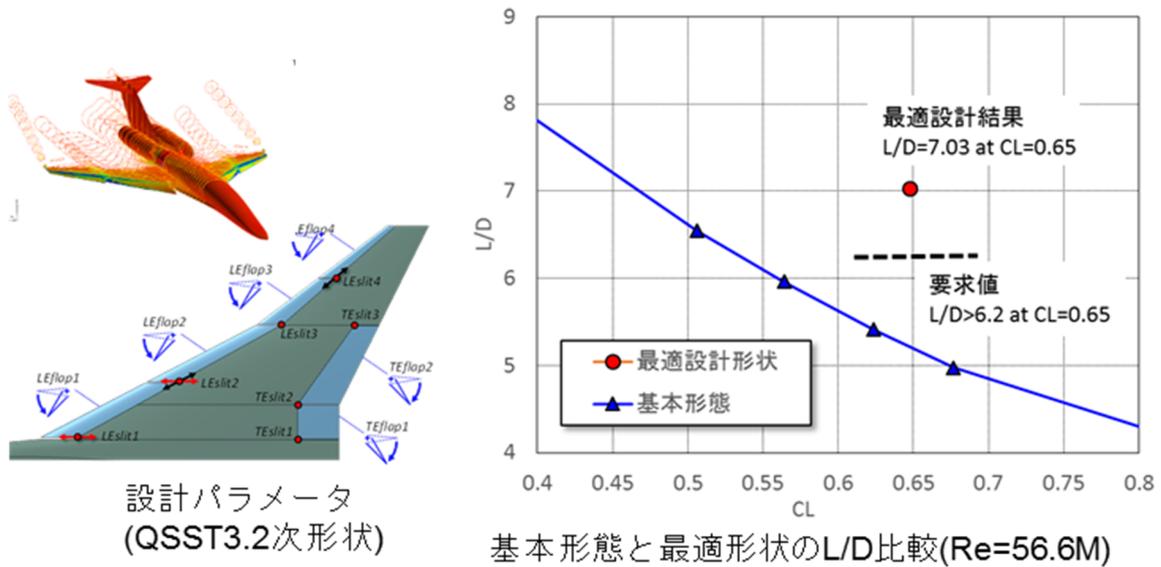


図1 QSST3.2次形状高揚力装置最適設計による揚抗比改善
: Improvement of the lift-to-drag ratio by the HLD optimization on QSST

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	5~20時間
ケース数 :	200ケース
ジョブの並列プロセス数 :	512プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

- 1) 大平啓介, 郭 東潤 : 超音速航空機の前縁・後縁フラップ最適設計に関する研究(Optimum design of the leading edge / trailing edge flaps on the supersonic transport), 第53回飛行機シンポジウム, 松山, 2015.11.
- 2) (発表予定, accept済み) Keisuke Ohira, Dongyoun Kwak : Study on Vortical Flow Field over Supersonic Transport, First International Symposium on Flutter and its Application, Tokyo, Japan, 2016. 5.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,376,351.45	275,534.06	1,405.00	1,313.80

37. LPT フラッタ解析

Numerical Analyses of LPT flutter

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム，西澤敏雄(nishizawa.toshio@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 aFJR プロジェクトチーム，賀澤順一(kazawa.junichi@jaxa.jp)
株式会社エイ・エス・アイ総研，吉倉弘高

● 事業の目的

民間エンジンの環境適合性向上に資する差別化技術を獲得し，我が国のエンジン産業の国際競争力を強化して次の国際共同開発でシェアを確保・拡大し，国内エンジン産業の生産高が成長することに貢献する。

● 事業の目標

低圧タービンにおける翼列フラッタについて，数値解析による予測精度を向上させることによりエンジンとしての信頼性向上に寄与する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

流体・構造連成解析を実施する場合，半周や全周といった大規模な計算が必要となるため，スパコン利用は必須である。

● 今年度の成果

流体・構造連成解析を JSS2 上で実施。翼振動振幅が発散する状況を模擬できた。

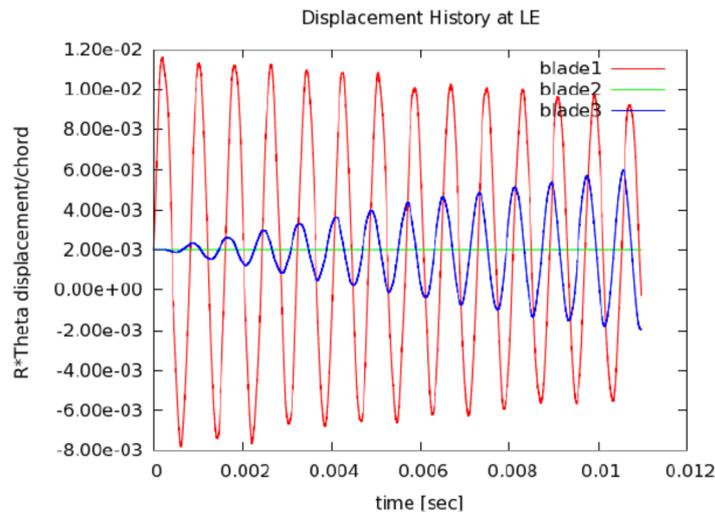


図1 翼振動振幅の時間履歴
: Time history of blade oscillation amplitude

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 1500時間
 ケース数： 3ケース
 ジョブの並列プロセス数： 192プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-MA

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,463,620.09	23,567.37		

38. Multi-Fidelity アプローチによる推進系統合形態超音速機の空力最適化

Aerodynamic optimization of propulsion/airframe integration using multi-fidelity approach

● 事業形態

その他（ハブ事業）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，牧野好和(makino@chofu.jaxa.jp)

構成員：首都大学東京，金崎雅博(kana@sd.tmu.ac.jp)

首都大学東京，岸 祐希(kishi-yuki@ed.tmu.ac.jp)

首都大学東京，北崎慎哉(kitazaki-shinya@ed.tmu.ac.jp)

● 事業の目的

将来航空輸送のブレークスルーとしての超音速旅客機の実現を目指して「静かな超音速旅客機」の実現に必要な鍵技術を獲得し，航空機製造産業の発展と将来航空輸送のブレークスルーに貢献することを目的とする。

● 事業の目標

50人乗りクラスの小型超音速旅客機において，ソニックブーム強度半減，巡航揚抗比 8.0 以上，離着陸時騒音 ICAO Cp.4 適合，全金属機体（コンコルド技術）に比べて構造重量 15%減の 4 つの技術目標を満足する機体概念を提示すること。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

本事業で獲得すべき低ブーム／低抵抗最適設計技術は，ソニックブームの高精度推算のため機体が発生する衝撃波を機体近傍場で精度良く推算する必要があり，スパコン利用が必須となる。

● 今年度の成果

機体推進系統合最適設計では，エンジンナセルも含む複雑形状に対して多数のCFD解析が必要となり，設計期間の長期化が避けられない。本研究では最適設計における計算コストの低減のため，パネル法ベースの低忠実度（Low-fidelity）解析を援用してCFDによる高忠実度（High-fidelity）解析の回数を最小限とするMulti-fidelity最適設計手法を考案し，JAXA小型超音速旅客機概念形状（第3.3次形状）の低抵抗設計に適用した。本設計手法においては，上記解析手法の忠実度のみならず，エンジンナセル有無といった形状忠実度にもMulti-fidelity最適設計手法を適用し，ナセル無し形態のパネル法解析とナセル付き形態のCFD解析を組み合わせた最適設計を実施し，その有効性を確認した。

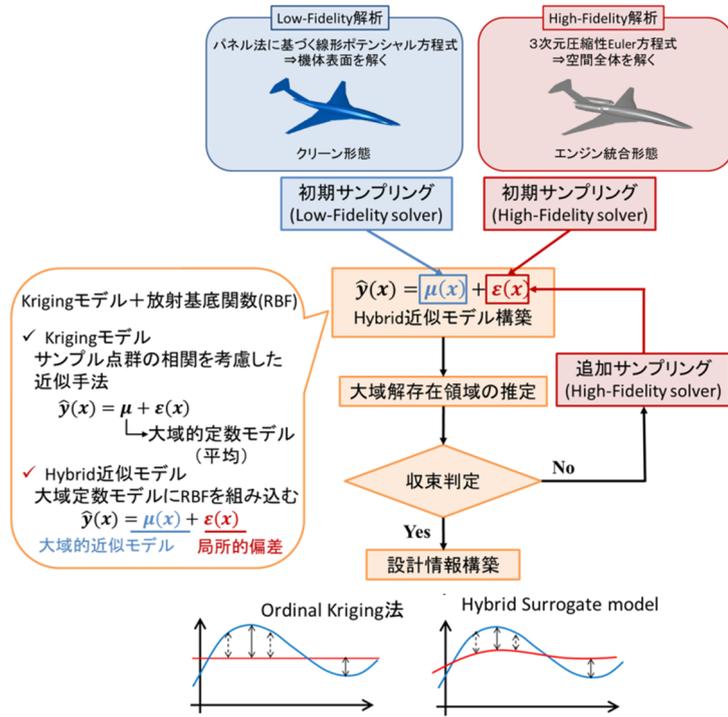


図1 Multi-fidelity 最適設計手法
: Design optimization using multi-fidelity approach.

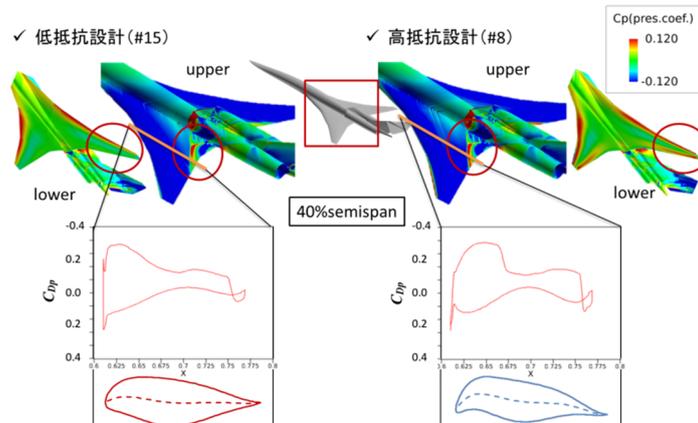


図2 低抵抗最適設計結果例
: Drag minimization design result.
(Left: Low-drag geometry, Right: High-drag geometry)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	8時間
ケース数 :	20ケース
ジョブの並列プロセス数 :	48プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

査読付き論文

- 1) 岸 祐希, 金崎雅博, 牧野好和, 松島紀佐, 「超音速翼の遷音速／超音速空力性能に与える平面形の影響」, *Journal of Flow Control, Measurement & Visualization*, 2016.

口頭発表

- 2) 岸 祐希, 金崎雅博, 牧野好和, 松島紀佐, 「超音速翼における空力性能の翼平面形依存性に関する検証」, *12th International Conference on Flow Dynamics*, 2016.
- 3) 新井 翔, 金崎雅博, 牧野好和, 「エンジン統合形態における超音速機主翼最適設計」, 第53回飛行機シンポジウム, 2016.
- 4) 新井 翔, 金崎雅博, 牧野好和, 「Multi-fidelity評価を応用した超音速機エンジン統合設計」, 第47回流体力学講演会／第33回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2016.
- 5) 岸 祐希, 金崎雅博, 牧野好和, 楠瀬一洋, 松島紀佐, 「超音速翼における空力性能の翼平面形依存性に関する検証」, 第47回流体力学講演会／第33回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2016.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,724,579.76	52,236.26	942.42	

39. 熱帯降雨観測衛星(TRMM)／降雨レーダー(PR)運用事業

Research of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)/ Precipitation Radar (PR)

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：第一宇宙技術部門 地球観測研究センター，沖 理子(oki.riko@jaxa.jp)

構成員：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)

第一宇宙技術部門 地球観測研究センター，可知美佐子(kachi.misako@jaxa.jp)

● 事業の目的

TRMM衛星稼働期間の全球雨分布データを作成すること。

TRMM 衛星降雨レーダー(PR)の次期バージョン(V8)の試験処理を行うこと。

● 事業の目標

2000年～2010年の全球雨分布データを，GSMPアルゴリズム (V3) を用いた処理すること。

2014年6月，TRMM衛星とGPM衛星が同時観測している期間についてPR アルゴリズム(V8)とDPRアルゴリズム(V5)の連続性を確認すること。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

複数センサデータを用いた長期処理を短期間で処理すること。

PR & DPRアルゴリズムを短期間で処理するとともに，スパコン処理での妥当性を確認すること。

(PR V8 正式処理は，jindaiでの処理が予定されているため)。

● 今年度の成果

2000年～2010年の全球雨分布データについて，GSMPアルゴリズム (V3) を用いた処理が完了した。

2014年6月の PR V8 および DPR V5 試験処理が完了し，その連続性・妥当性を確認できた。

【全球雨分布データ】

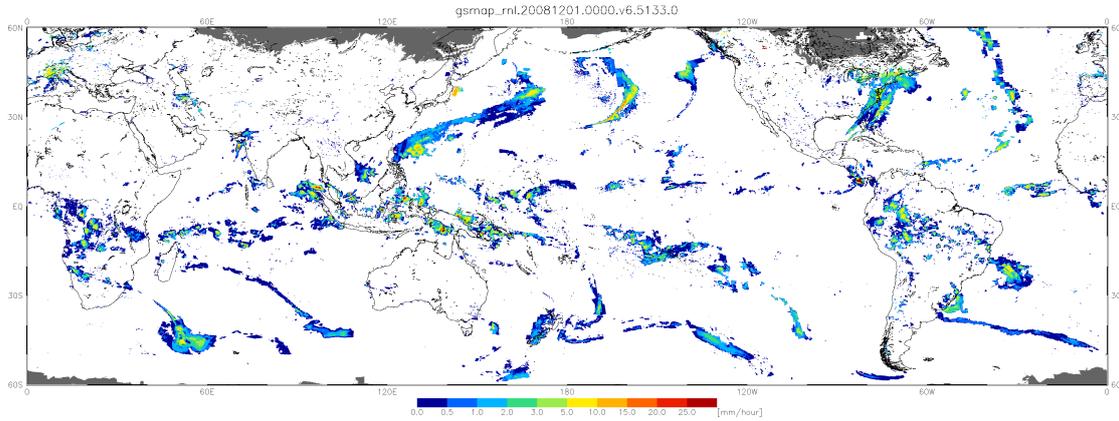


図1 <GSMaPの雨量分布図 (1時間雨量)>
: <Rain rate image of GSMaP (hourly)>

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	24時間
ケース数 :	10ケース
	*1ケース=1年 (年間日数×24) 単位で実行
	図1は1時間雨量図
ジョブの並列プロセス数 :	60プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	なし
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-TPP

【PR V8 試験処理】

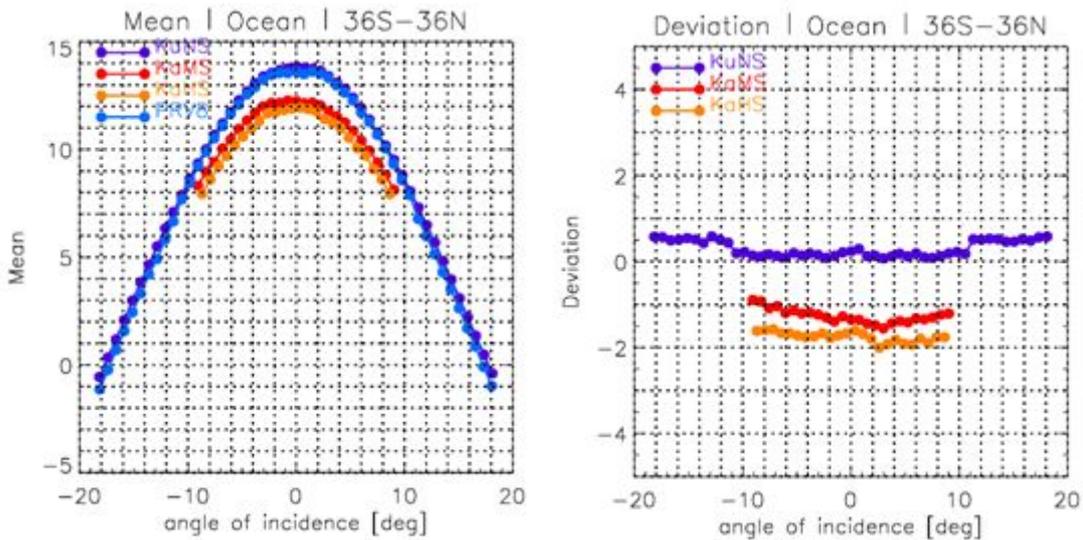


図2 TRMM/PR(V8)とGPM/DPR(V5)の海面散乱断面積 (左図) と
TRMM/PR(V8)に対するGPM/DPR(V5)の差分 (右図)

: Normalized backscattering radar cross section of the sea surface calculated by TRMM/PR(V8) and GPM/DPR(V5) (left) and differences between TRMM/PR(V8) and GPM/DPR(V5) (right).

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	36時間
ケース数：	3ケース
	*1ケース=1カ月単位で実行（PR & DPR）
	図1は1時間雨量図
ジョブの並列プロセス数：	60プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	なし
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-PP

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) 沖 理子, 久保田拓志, 可知美佐子, 正木岳志, 金子有紀, 2015: 全球降水観測計画 (GPM) の地上システムと初期成果 : (2) データ処理アルゴリズムと初期観測成果, 日本航空宇宙学会誌, 63(9), 281-287.
- 2) 可知美佐子, 久保田拓志, 沖 理子, 2015: 全球降水観測(GPM)計画の利用実証, 日本航空宇宙学会誌, 63(10), 321-325.

口頭発表

- 3) 可知美佐子・久保田拓志・沖 理子, 2015: GSMaPリアルタイム版 (GSMaP_NOW) と再解析版 (GSMaP_RNL) の開発, 2014年10月, 日本気象学会秋季大会, 京都
- 4) M. Kachi, T. Kubota and R. Oki, 2016: Utilization of Himawari-8 in the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Realtime version, 2016 AMS Annual Meeting, January 2016, New Orleans, USA.
- 5) 久保田拓志, 可知美佐子, 沖 理子, 正木岳志, 2016 : 全球降水観測計画による高精度・高頻度な衛星降水観測, 日本海洋学会 2016年度春季大会, 東京, 招待講演.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		6,128.84		28,057.47

40. 宇宙航空技術の維持・強化に係る研究③ その他の研究(複合サイクルエンジン(RBCC)の基盤的研究)

Fundamental Research on Rocket Based Combined Cycle (RBCC) Engines

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第四研究ユニット, 吉田 誠(yoshida.makoto@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第四研究ユニット, 植田修一(ueda.shuichi@jaxa.jp)

研究開発部門 第四研究ユニット, 小寺正敏(kodera.masatoshi@jaxa.jp)

研究開発部門 第四研究ユニット, 高橋政浩(takahashi.masahiro@jaxa.jp)

研究開発部門 第四研究ユニット, 渡邊孝宏(watanabe.takahiro@jaxa.jp)

● 事業の目的

将来の宇宙輸送システムに求められる項目として低コスト化および高効率化が挙げられており、これらを満たす可能性のある推進エンジンとしてロケットと空気吸込み式エンジンであるラム・スクラムジェット(複合サイクル(RBCC)エンジン)について研究することを目的とする。

● 事業の目標

最終目標はRBCCエンジンを用いた二段式宇宙輸送(TSTO)システムの実用化であるが、その前段階として地上実験および飛行実験による同エンジンの技術実証を当面の目標とする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

スパコンを利用したCFD技術を同研究に適用することにより、RBCCエンジンの基盤技術確立に寄与する。特に同エンジンの設計に重要な内部の流れ構造の詳細解明、及び実験のみでは情報が不十分なエンジンの作動特性を解明する役割が期待される。

● 今年度の成果

1. 実験用に製作したRBCCエンジンE3の燃焼器を模擬した形状に対して、ラム・スクラムモード間の遷移過程を非定常RANS法を用いて解析した。(昨年度からの継続)本年度は、噴射燃料当量比や噴射位置、ロケット出力を変化させた場合等について検討を行った。(図1)
2. 数種の総括反応モデルを用いて、ガスエタノールを壁面垂直噴射した時のキャビティ付超音速燃焼器内部の燃焼流れ場について解析を行った(昨年度からの継続)。本年度はRANS法の他にHybrid RANS/LES法を適用し、両者の結果の比較を行った。(図2)
3. 飛行実験機を模した簡易翼胴モデルを例に、Hexagridによる自動格子生成とFaSTARによる空力特性解析の使用法習得およびノウハウ蓄積を進め、適用の目途を得た。(図3)

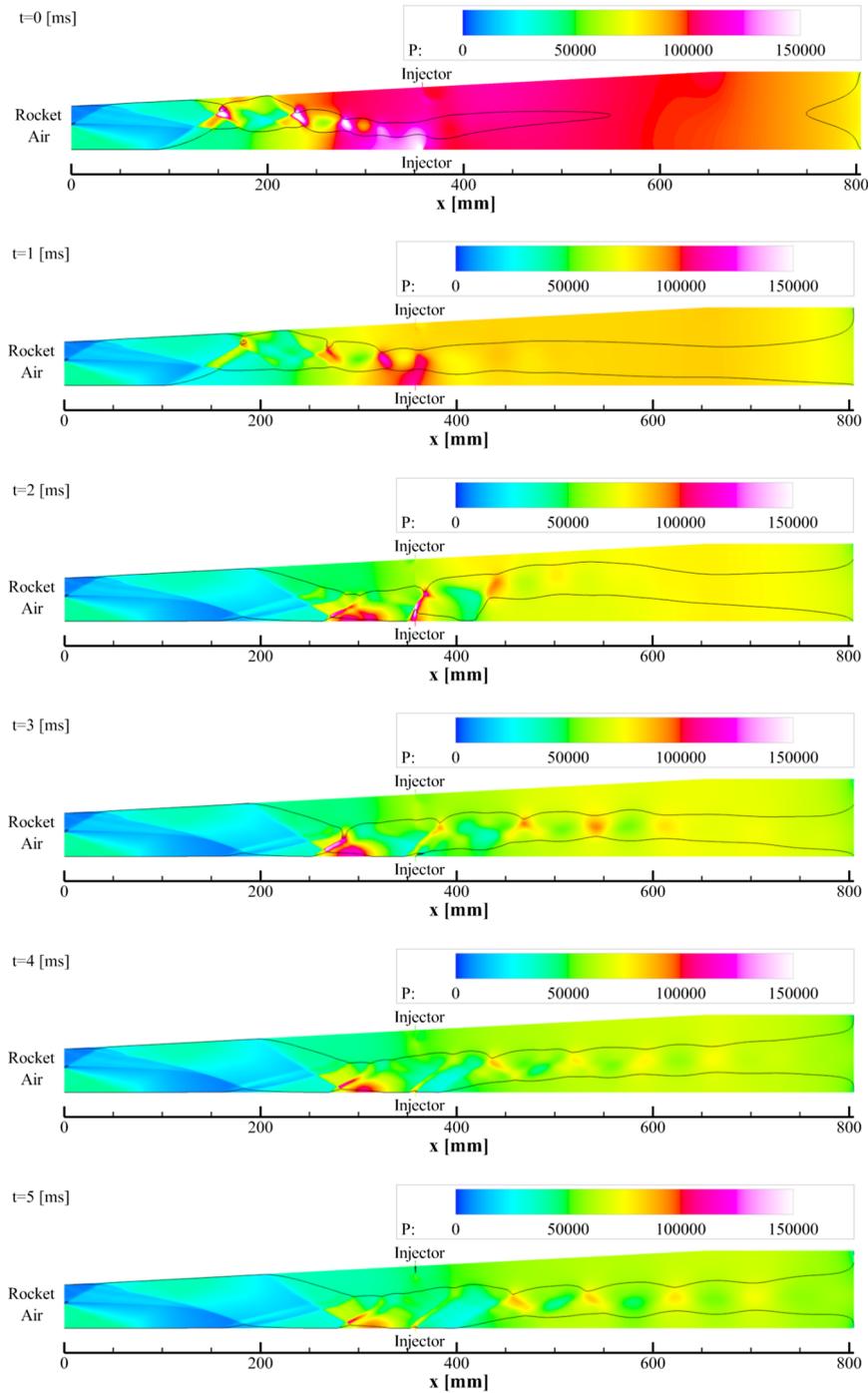


図1 ラムジェットモードからの遷移過程（圧力分布の時間履歴）
 : Time variation of pressure contours for transition from ramjet mode

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	200時間
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	24プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-PP

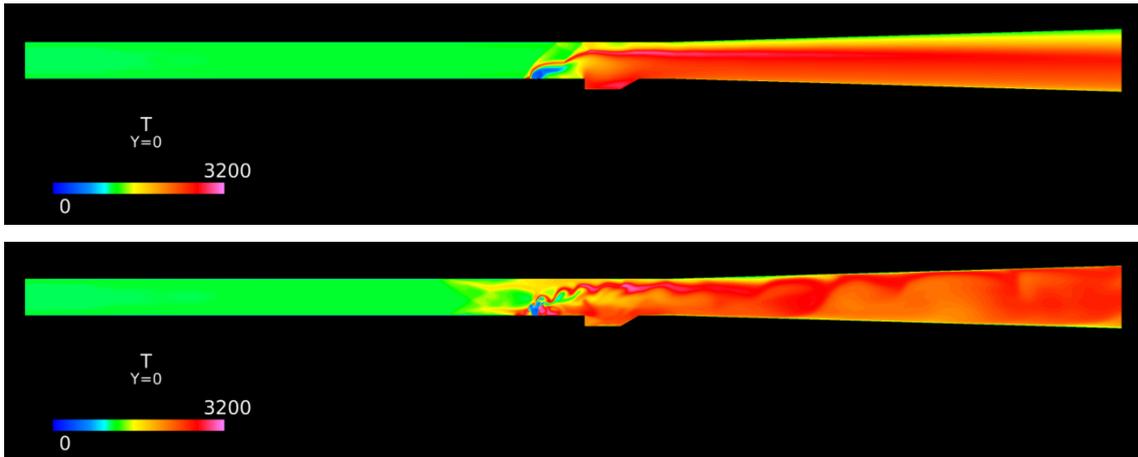


図2 RANS法（上）とHybrid RANS/LES法（下）による結果の比較（対称面上の温度分布）
 : Comparison of computational results between RANS and Hybrid RANS/LES methods (Temperature contours on symmetry plane)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	720時間
ケース数：	1ケース
ジョブの並列プロセス数：	24プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-PP

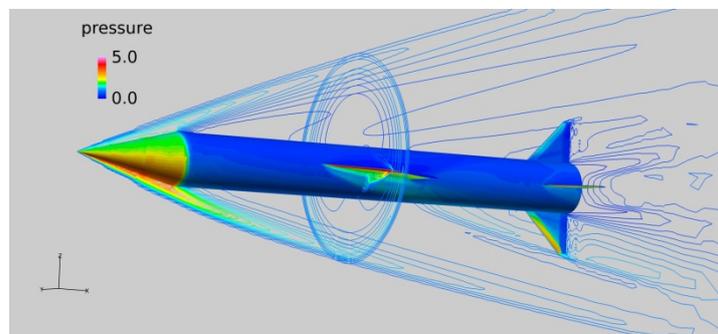


図3 簡易翼洞モデルの等圧線図（Mach 5, 迎角5度）
 : Pressure contours: Mach 5, AOA = 5 deg.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	4時間
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	60プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-PP

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) Kodera, M. and Ueda, S., “Numerical Analysis of Transient Phenomena to Ramjet Mode in a RBCC Combustor”, AIAA Paper 2015-3591.

口頭発表

- 2) Kodera, M. and Ueda, S., “Numerical Analysis of Transient Phenomena to Ramjet Mode in a RBCC Combustor”, 20th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 6-9 July 2015, Glasgow, Scotland.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,179.16	24,817.52		

41. 液体ロケットエンジン及び宇宙機スラスタの燃焼関連解析

Numerical simulations on liquid rocket engine and spacecraft thruster

● 事業形態

JAXA プロジェクト・一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第三研究ユニット，嶋 英志(shima.eiji@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第三研究ユニット，清水太郎(shimizu.taro@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，森井雄飛(morii.yuuhi@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，本江幹朗(motoe.mikiroh@jaxa.jp)

株式会社計算力学研究センター，青野淳也(aono.jyunya@jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，菱田 学(MANABU_HISHIDA@mail.ryoyu.co.jp)

● 事業の目的

液体ロケットエンジン及び宇宙機スラスタの設計開発を支えるため，数値解析による設計評価ツールを構築する。

● 事業の目標

液体ロケットの非定常現象である燃焼振動等を予測できるツールを構築するため，コードの改良及びサブスケール試験等との比較により検証を実施する。スラスタ解析も同様に主として定常性能を予測できる評価ツールの構築を目指し，コード開発と検証を実施する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

液体推進薬の燃焼は乱流状態でかつ，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

液体ロケットのサブスケール燃焼器で発生した燃焼状態の再現解析を継続した。図1には圧力振動なし(case1)と，あり(case2)の温度場の様子を示す。本年度は格子数を増やし特に燃焼器後端付近の混合をよく解像できる解析を実施した。実験で得られている燃焼圧との一致が大きく改善した。

エタノールを燃料とした噴霧バーナの詳細化学反応機構を用いた燃焼解析を実施し，実験結果と解析結果を比較することでコードの精度評価を開始した。図2には温度の瞬時場を示す。噴霧状態から蒸発したエタノールが安定して燃焼する所まで解析できるようになった。しかし火炎の広がり角が実験よりも小さく格子解像度等を見直した解析が必要と考えられる。

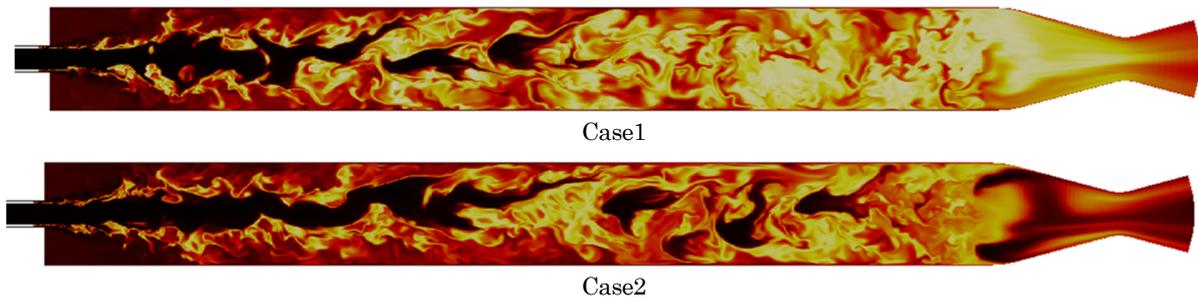


図1 液体ロケットサブスケール燃焼器内の温度場
: Temperature of a liquid rocket subscale chamber on two flow conditions

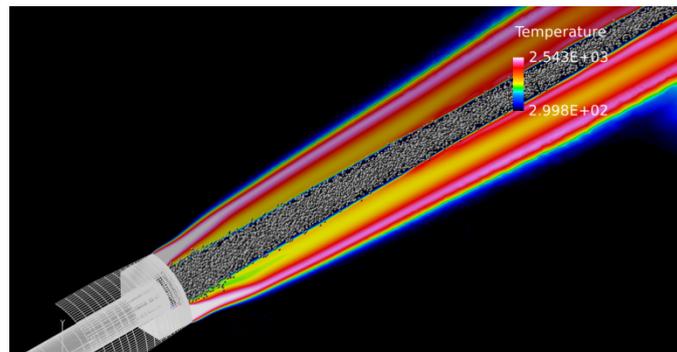


図2 噴霧燃焼の温度分布
: Temperature distribution of Spray combustion

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	800時間
ケース数 :	3ケース
ジョブの並列プロセス数 :	2496プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	2496コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	MPI
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

特集記事

- 1) 森井雄飛, 寺島洋史, “詳細化学反応機構を用いた反応性流体解析における高効率解析手法”, 日本ガスタービン学会3月号.

口頭発表

- 2) T. Shimizu, Y. Morii, Y. Mizobuchi, Y. Numone, T. Tomita, H. Kawashima, M. Hishida, “Oscillatory combustion in a subscale liquid rocket chamber,” 15th International Conference on Numerical Combustion. 2015.
- 3) Mikiro Motoe, “Numerical Analysis of Combustion for Droplet of Hydrazine,” 6TH EUROPEAN CONFERENCE FOR AERONAUTICS AND SPACE SCIENCES, 2015.
- 4) 本江幹朗, 同軸バーナによる噴霧燃焼の詳細反応機構を用いた数値解析, 第53回燃焼シンポジウム, 2015.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	33,345,581.83	330,779.26	288.78	103,583.63

42. 液体ロケットエンジン燃焼器性能・寿命予測解析

Numerical Simulations of Thrust/Cooling Performance and Life Time Prediction of Liquid Rocket Engine Combustors

● 事業形態

JAXA プロジェクト ・ 一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第三研究ユニット，嶋 英志(shima.eiji@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第三研究ユニット，根岸秀世(negishi.hideyo@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，大門 優(daimon.yu@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，雨川洋章(amakawa.hiroaki@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，松本万有(matsumoto.mayu@jaxa.jp)

● 事業の目的

ロケットエンジン燃焼器内部で発生する熱流体および構造挙動を適切に再現し，再生冷却および燃焼室寿命の特性を定量的に評価可能な数値シミュレーション技術を構築する。

● 事業の目標

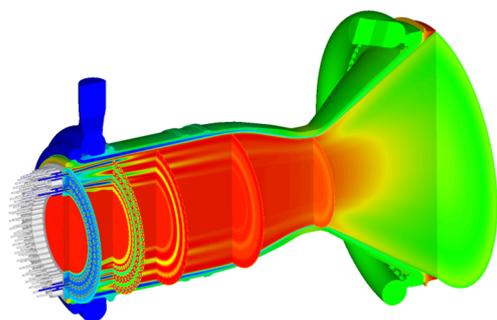
再生冷却解析技術としては，設計開発プロセスで利用可能な解析精度(圧力損失 7%，昇温量 5%，壁面温度 50K 以内)を満たす数値シミュレーションによる評価技術を構築する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

再生冷却解析では，燃焼・冷却・熱構造連成による実機（LE-XおよびLE-5Bエンジン）での性能評価が必須であり，JSSを利用することでマルチフィジックスかつ計算格子数約2億点の大規模計算により解析を実現することができた。

● 今年度の成果

- 実スケール燃焼器(LE-5B, LE-Xエンジン)を対象に再生冷却解析技術の検証を実施。燃焼-冷却剤側連成計算により目標精度を達成した。
- 基礎試験（メタン酸素シングルエレメント燃焼器）を対象とした，燃焼圧力および壁面熱流束予測の国際ベンチマークを実施。参加機関の中で最高精度の予測結果を示した



目標精度	解析
燃焼圧(N/A)	-3.4%
圧力損失 (7%)	-0.7%
昇温量 (5%)	+4.5%
壁温 (±50K)	全領域で±50K以内

図1 LE-5Bエンジンでの再生冷却性能予測検証
: Validation results of regenerative cooling performance of LE-5B engine

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	30日間
ケース数 :	1ケース
ジョブの並列プロセス数 :	2070プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP, SORA-TPP

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) Yu Daimon, Hiroshi Terashima, Hideyo Negishi, and Oskar Haidn, "Combustion Modeling Study for a GCH4/GOX single element combustion chamber: Steady State Simulation and Validations," The SFB TRR40 3rd Summer Program report, 2015.

口頭発表

- 2) Hideyo Negishi, Yu Daimon, Nobuki Negoro, and Akihide Kurosu, "Regenerative Cooling Performance Analysis of the LE-X Engine Combustion Chamber," 51st AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2015.
- 3) 根岸ほか, "液体ロケットエンジン燃焼器の再生冷却性能予測のための熱-流体連成解析," 第28回計算力学講演会, 横浜国立大学, 2015年10月
- 4) 雨川ほか, "熱-流体-構造連成解析による液体ロケットエンジン燃焼室の高温非弾性挙動評価," 第28回計算力学講演会, 横浜国立大学, 2015年10月

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	33,345,581.83	330,779.26	288.78	103,583.63

43. 液体ロケット上段リエントリ時の落下分散域評価法の見直し検討支援

Upgrade of Reentry Risk Analysis Method for Liquid Rocket Upper Stages

● 事業形態

JAXA プロジェクト ・ 一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第三研究ユニット，嶋 英志(shima.eiji@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第三研究ユニット，藤本圭一郎(fujimoto.keiichiro@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，谷 洋海(tani.hiroumi@jaxa.jp)

● 事業の目的

ロケットや宇宙機の国際的な飛行安全要求の厳格化への対応，及び再突入カプセル技術の獲得を実現する為に，複雑な物理現象を広範囲な条件下で評価できるシミュレーションによる安全性評価技術の獲得を進めている。従って，本事業の目的は，様々な故障シナリオや環境条件に対するハザードシミュレーション技術構築や効率化，及びその評価技術を活用した関連するプロジェクト課題への対応である。

本中期計画では，とくに H-IIA/B や HTV 等の飛行安全評価の制約見直しと，小型回収カプセル技術実証機的设计検討支援に貢献することを目的としている。

● 事業の目標

本評価技術の実用化に欠かせない計算コストの削減に対し以下を目標値とし行う。

- ① 確率論的評価：応答曲面生成時の解析数の半減
- ② ハザードシミュレーション：流体解析ターンアラウンド時間の半減

また，高忠実シミュレーションに基づく安全評価技術を開発し実用化することで，ロケット上段や宇宙機の落下分散域や飛行安全解析の高精度化による飛行安全制約の見直しや，小型回収カプセル技術実証プロジェクトへの貢献を目標とする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

H-IIA/BやHTV等の飛行安全評価の制約見直しや小型回収カプセル技術実証機的设计検討のためには，様々な不確定因子を考慮した確率論的評価が必要である。本年度はとくに，液体ロケット上段リエントリ時の落下分散域評価のための各コンポーネントの空力・熱流束評価，及び小型回収カプセル技術実証機のパラシュートカバー挙動解析を対象としたが，様々な気流条件における空力・熱流束評価を高速かつ高精度で実施することが必要である。落下分散域評価の適正化，及び小型回収カプセル技術実証を成功させるためには，様々な条件下での衝撃波や剥離流れを含むCFDの大規模パラメトリックスタディが必須である。したがって，最先端の大規模なスパコンの利用が必須であり，汎用のPCクラスタやクラウドといった他の計算機環境では実施不可能である。

● 今年度の成果

- 解析精度を変えず格子数を最小化できる解適合格子法の導入と格子生成の自動化により、解析条件により大きく流体構造が変化する問題について、ターンアラウンド時間をFY26の15時間から7時間まで50%以上削減することができた。
- 液体ロケット上段の気蓄器、ロケットエンジンを模した基礎形状に対し、広範囲な気流条件での空力・熱流束評価をおこない、圧力及び熱流束分布の気流角度やマッハ数依存性を調べ、今後のリエントリ安全性評価の研究計画に反映した。
- 小型回収カプセルのカバー分離時のCFD解析を行い、カバー分離方法の重要な設計指針を得た。

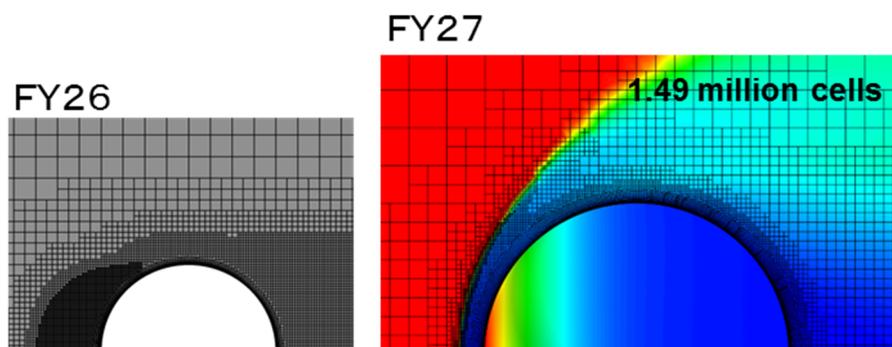


図1 解適合格子による球の熱流束評価
: Heat flux estimation for sphere by using adaptive mesh refinement.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	32時間
ケース数：	120ケース
ジョブの並列プロセス数：	
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	64～384コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA, SORA-PP, SORA-TPP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 藤本圭一郎, 根岸秀世, 渡邊泰秀, 筒井雄樹, 南部太介, “不確定性を考慮したカプセルカバー分離挙動のCFD解析”, 第28回計算力学講演会, 2015.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,708,310.23	3,288.09	0.48	7,842.42

44. 温室効果ガス観測技術衛星 2号(GOSAT-2) 運用事業におけるスパコン利用検討

Feasibility study toward utilization of JSS2 for GOSAT-2 data processing

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム, 平林 毅(hirabayashi.takeshi@jaxa.jp)

構成員：第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム, 中島正勝(nakajima.masakatsu@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム, 四元和彦(yotsumoto.kazuhiko@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム, 出口 聡(deguchi.akira@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム, 加藤 順(katoh.jun2@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星運用利用センター, 上田陽子(ueda.yoko@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星運用利用センター, 山崎朋朗(yamasaki.tomoo@jaxa.jp)

● 事業の目的

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

● 事業の目標

主要な目標である温室効果ガスの濃度分布測定精度向上についての目標は下記の通り。

- 雲・エアロゾルの影響のほとんど無い条件で, 陸域500km, 海域2,000kmメッシュ, 1カ月平均で二酸化炭素及びメタン気柱平均濃度をそれぞれ相対精度0.5ppm及び5ppb以下で算出する。

ppm : parts per million (100 万分の 1), *ppb* : parts per billion (10 億分の 1)

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

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(筑波に整備)において, 過去分の観測データの再処理の計算機リソースとしてスパコンを利用し, 再処理を短期間に実施する。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。

● 今年度の成果

GOSAT-2で要求する再処理性能についてスパコン上でベンチマーク試験を実施し, 要求を満足できる見込みを得た。また, スパコンを遠隔地保存先とする調整が完了した。

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： —
 ケース数： —
 ジョブの並列プロセス数： —
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： —
 プロセス並列手法： —
 スレッド並列手法： —
 利用計算システム： SORA-PP

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1.47	82.41	0.02	

45. 温室効果ガス観測技術衛星(GOSAT)運用事業

Utilization of JSS2 for GOSAT data processing

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：第一宇宙技術部門，下村裕司(shimomura.yuji@jaxa.jp)

構成員：第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，上田陽子(ueda.yoko@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，石田治行(ishida.haruyuki@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，中西 功(nakanishi.isao@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，齋藤紀男(saitoh.norio00@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，山崎朋朗(yamasaki.tomoo@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，田中 誠(tanaka.makoto@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，豊田正則(toyoda.masanori@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 地球観測研究センター，塩見 慶(shiomi.kei@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 地球観測研究センター，久世暁彦(kuze.akhiko@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム，須藤洋志(suto.hiroshi@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 GOSAT-2 プロジェクトチーム，橋本真喜子(hashimoto.makiko@jaxa.jp)

● 事業の目的

地球温暖化の原因とされている二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスを宇宙から測定します。これにより、地球温暖化や気候変動の科学的な理解を深めて、温暖化対策に貢献することを目的としています。

● 事業の目標

- ① 温室効果ガスの全球濃度分布の測定（1000kmメッシュ，3ヶ月平均相対精度1%）
- ② CO₂吸収排出量の亜大陸規模（約7,000kmメッシュ）での推定誤差の半減
- ③ 温室効果ガス測定技術基盤の確立

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

GOSATの観測データを処理するミッション運用系システム（筑波に整備）において、過去分の観測データの再処理の計算機リソースとしてスパコンを利用し、再処理を短期間に実施する。また、再処理したデータのユーザ提供用ストレージとしてスパコン用ストレージを利用する。

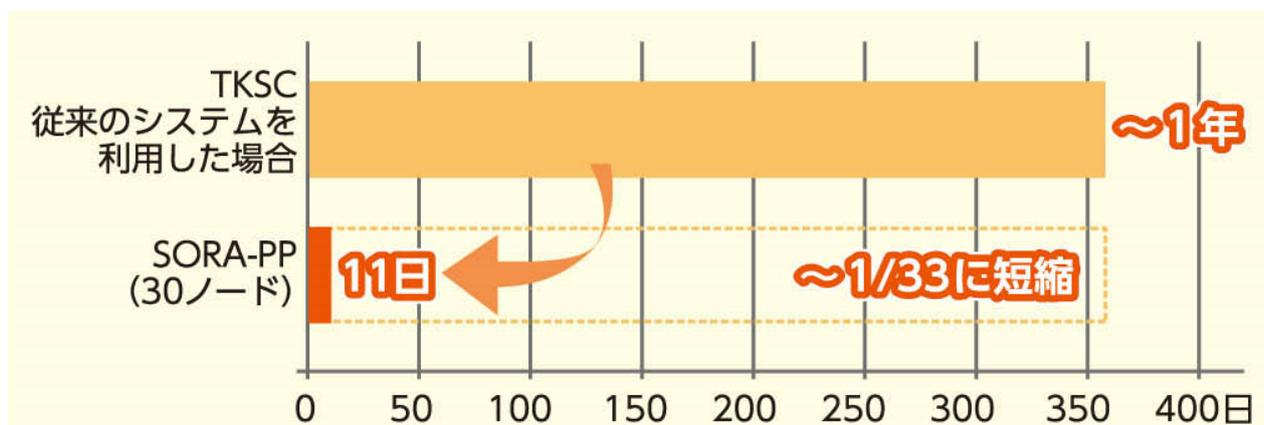
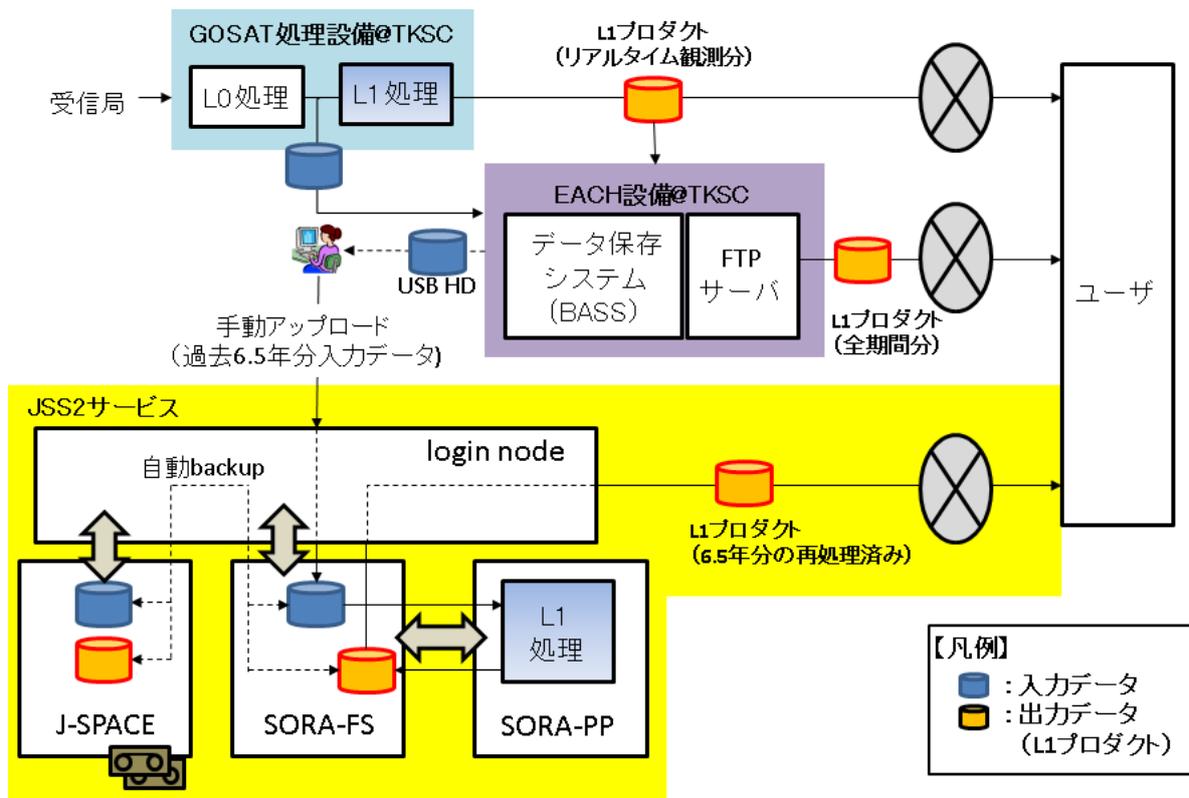
さらに、GOSAT の校正検証を行う利用研究システム（筑波に整備）において、過去分の TANSO-CAI センサ観測データの再解析処理の計算機リソースにも利用する。

● 今年度の成果

GOSATのTANSO-FTS プロダクトのL1プログラムのバージョンアップを行い、過去6.5年分の観測データの再処理にスパコンを利用した。従来筑波のシステムで約1年間かかっていたが、スパコンを利用することにより11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か月かかっていたが、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。

さらに、GOSATの校正検証において、全6.5年間、全4バンドの観測データのうち5年間、3バンド分の再解析処理を従来より間引き率を下げた条件で、15日間で実施することができた（従来は間引き処理だけで15週間かかっていた）。



再処理時のシステム間データフローと処理時間改善結果

図1 GOSAT 過去6.5年分観測データの再処理
: GOSAT Data Re-Processing of observation data in past 6.5 years

【計算情報】GOSAT 過去の観測データの再処理・提供

1ケースあたりの経過時間：	11日間
ケース数：	1ケース
ジョブの並列プロセス数：	360プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	なし
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-PP

【計算情報】GOSAT 校正検証の過去の観測データの再解析処理

1ケースあたりの経過時間：	15日間
ケース数：	1ケース
ジョブの並列プロセス数：	180プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	なし
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-TPP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 齋藤紀男, 中西 功, 上田陽子, 田中 誠, 仁尾友美, 小西利幸 (JAXA第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター), 井口 茂 (日本電気株式会社), 早坂英俊 (日本電気航空宇宙システム株式会社), 井上 淳一, 鳥居雅也 (富士通株式会社) 「地球観測衛星データ処理におけるJAXAスパコン活用の効果検証」平成27年度 宇宙科学情報解析シンポジウム Feb. 2016.
- 2) 「For Improving Research into Global Changes by Quick Delivery of Observation Data From Outer Space」 SC15 Nov. 2015

その他

- 3) JSS2 パンフレット 2016年版への成果掲載
- 4) Isao NAKANISHI, Norio SAITO, Makoto TANAKA, Yoko UEDA, Toshiyuki KONISHI, Tomomi NIO 「Verification of Extreme Time Reduction for EO Satellite Data Re-processing with Supercomputer」PMM (降水ミッション関係サイエンス会合) Jan.2016

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		196,589.63		72,523.41

46. 改良型高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)運用事業におけるスパコン利用

Utilization of JSS2 for AMSR-E L1 data processing

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：第一宇宙技術部門，下村裕司(shimomura.yuji@jaxa.jp)

構成員：第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，齋藤紀男(saitoh.norio00@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，齋藤 進(saitoh.susumu@jaxa.jp)

● 事業の目的

AMSR-Eプロダクトを，後継センサであるAMSR2と同じフォーマットで生成する処理環境を用意し，全期間の再処理を行い，ユーザにとって利便性の高い長期データセットを提供する。

● 事業の目標

FY27 は，長期データセット向けフォーマットでの AMSR-E プロダクト生成環境を JSS2 上に構築する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

AMSR-Eが過去に観測した約10年分の処理（再処理）を同時並列処理により短期間で行うことで，ユーザへの提供を早期に行い，ユーザビリティの向上に貢献する。

● 今年度の成果

JSS2 SORA-PP環境上に，長期データセットに必須となるレベル1R処理を追加した．これにより AMSR-Eレベル1プロダクトの長期データセット向けプロダクトの生成環境が整った。

【計算情報】

AMSR-E のレベル 1 処理では図 1 に示したレベル 1R に加えて，レベル 1A 及び 1B プロダクトも作成する．プロダクトは地球の半周回単位で区切っており，これを「1 シーン」としている．AMSR-E レベル 1 処理の 1 シーンあたりの処理時間の計測結果

1ケースあたりの経過時間：	350秒
ジョブの並列プロセス数：	1プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
利用計算システム：	SORA-PP

上記より，16コアを利用した場合の過去約10年分の観測データの再処理期間は，次の通り約1ヵ月程度となる見込みである。

$$30 \text{シーン/日} \times 365 \text{日} \times 10 \text{年} = 109500 \text{シーン}$$

$$350 \text{秒} \times 109500 \text{シーン} / 16 \text{コア} = 27.7 \text{日}$$

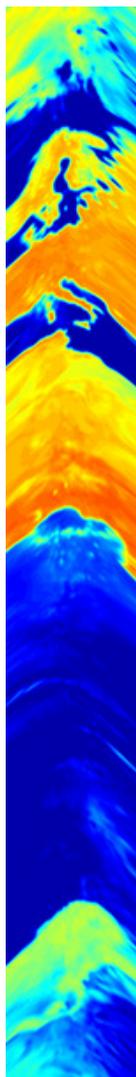


図1 AMSR-Eレベル1Rブラウザ画像 (36 GHz 水平偏波)
: AMSR-E Level 1R Browse Image (36 GHz H-Polarized)

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		1,293.56		0.17

47. 軌道上のロケット・衛星・宇宙ステーション周りの希薄流解析

DSMC analysis of the rarefied gas flows of rocket, satellite and ISS

● 事業形態

JAXA プロジェクト ・ 一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第三研究ユニット，嶋 英志(shima.eiji@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第三研究ユニット，谷 洋海(tani.hiroumi@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，大門 優(daimon.yu@jaxa.jp)

● 事業の目的

有人宇宙/科学衛星/惑星探査機/宇宙輸送といった幅広い分野の定量評価による開発リスク低減を目的に，再突入時の空力・熱環境や宇宙空間に排出される排気ガスの熱負荷などあらゆる希薄流体解析が可能な統一的ツール開発を実施し，宇宙機・ロケットにおけるガスダイナミクス設計解析技術を獲得する。

● 事業の目標

- JAXAプロジェクトの要望に正確かつタイムリーに対応する“実用”解析ツールの開発
- 実機の複雑な形状・環境を再現可能で，現状の1割の作業時間・人数で解析可能な効率的技術の獲得

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

プロジェクトが実施する海外との国際協力調整のために迅速な評価が必要であり，大規模計算リソースを活用することで実現することができた。また，プルームの負荷を下げるための対策を検討するために多数の条件の解析を短期間に行う必要があり，スパコンによって対応することができた。

● 今年度の成果

- 6自由度飛行計算に必要な壁面圧力の予測精度向上のため，ガス粒子と壁面との干渉計算を高精度化。理論解との比較によって精度を確認した。
- 計算セルごとに時間ステップと粒子数を最適化する機能をプロジェクト支援に対応できる精度で計算できるようにツールへ導入及び検証を行い，実スケール計算の精度を維持したまま計算時間を1/10倍にまで短縮を行った。

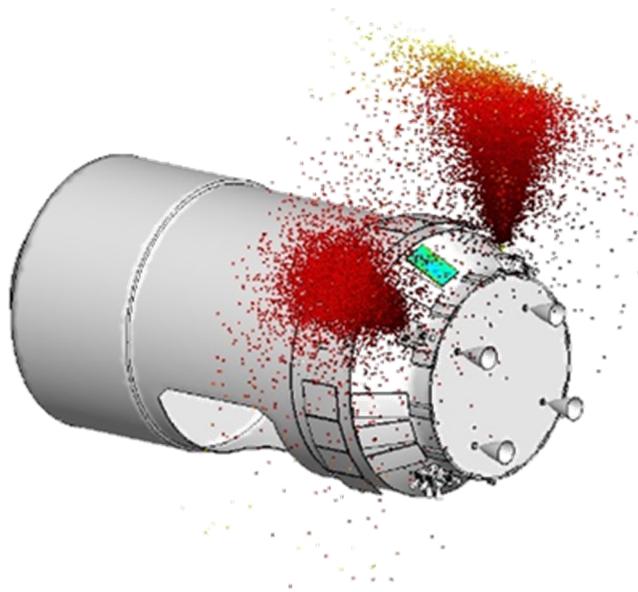


図1 HTV RCS スラスタ解析
: Plume simulation of RCS thrusters of HTV

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	24時間
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	200プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA, SORA-PP, SORA-TPP

● 成果の公表状況

その他

- 1) 谷 他6名, “ISSへ干渉するHTVメインエンジンプルームのNS/DSMC連成解析,” 日本シミュレーション学会誌「シミュレーション」Vol.34(3), 特集記事pp.186-192.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,619,313.00	695.16	190.52	152.14

48. 強度可変酸化剤旋回流型ハイブリッドロケットの燃焼シミュレーション

Combustion Simulation of Altering-intensity Swirling-Oxidizer-Flow-Type Hybrid rocket

● 事業形態

共同研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 宇宙飛行工学研究系，嶋田 徹(shimada.toru@jaxa.jp)

構成員：宇宙科学研究所 宇宙飛行工学研究系，北川幸樹(kitagawa.koki@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，本江幹朗(motoe.mikiroh@jaxa.jp)

● 事業の目的

安全かつ経済的な宇宙輸送の実現のため，安全性，高性能，環境適合性，制御性における長所を有するハイブリッドロケットの推力制御技術を開発/実証し，実用化を実現する目途を得る。

● 事業の目標

平成 28 年末までに，ハイブリッドロケットの飛行技術確立を目的とした工学実験を小規模プロジェクトの提案として纏めることを目標とする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

スパコンを用いた燃室内部の物理現象や燃焼特性の詳細解析，パラメリックスタディなどの大規模計算は実験を補い本事業目標の達成を促進する役割を果たす。

● 今年度の成果

燃焼室前端から軸方向と旋回方向に酸化剤を注入し，その流量の割合を変化させることで推力を制御する強度可変酸化剤旋回流型ハイブリッドロケット (A-SOFT) は，旋回流のみのハイブリッドロケット(SOFT)よりも，効率的な推力制御を行える。今年度はこのA-SOFT (領域サイズ $\phi 40 \times 175\text{mm}$) の燃焼シミュレーションを行い，周方向と軸方向で等しい流量を流入させたケース (A) と周方向のみのケース (B) で燃料後退速度や燃焼圧力，流れ場の比較を行った。図1は燃焼室特性 (燃料後退速度と燃焼圧力)，図2は流れ場の乱流構造 (Q値の等値面) である。

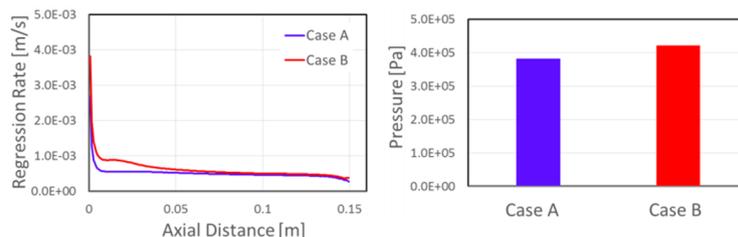


図1 燃焼室特性の比較
: Comparison of characteristics of chamber

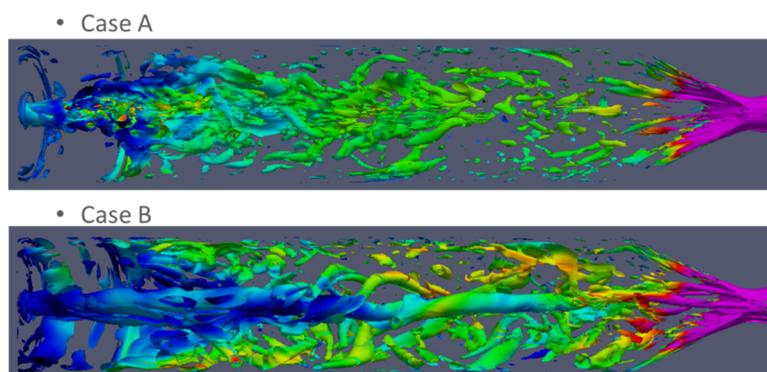


図2 乱流構造 (Q値の等値面)
: Structure of turbulence (Iso-surface of Q criteria)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	60時間
ケース数 :	4ケース
ジョブの並列プロセス数 :	90プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

査読無し論文

- 1) Impact Prediction of Fuel Regression Rate of Hybrid Rocket in Altering Swirl Intensity by Numerical Analysis, Twelfth International Conference on Flow Dynamics, 2015

口頭発表

- 2) Twelfth International Conference on Flow Dynamics

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	2,005,210.26	190,679.92	30.83	

49. 高速流体力学に関する学術研究

Study of high speed fluid dynamics

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系，野々村拓(nonomura@flab.isas.jaxa.jp)

構成員：東京理科大学，青野 光(aono@rs.tus.ac.jp)

東京大学，寺門大毅(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，阿部圭晃(abe@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，Taufik Slaiman(taufik@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，李 東輝(lee@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，福本浩章(fukumoto@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，Fortunate Nucera(nucera@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学大学院，浅野兼人(asano@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学大学院，森平光一(morihira@flab.isas.jaxa.jp)

東京農工大学大学院，松原暁良(matsubara@flab.isas.jaxa.jp)

横浜国立大学大学院，森中一誠(morihira@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，加藤大祐(dkato@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，小澤雄太(ozawa@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，原田拓弥(harada@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，中野宏章(nakano@flab.isas.jaxa.jp)

Nanyang Technological University, Sirigatti Daniele (sirigatti@flab.isas.jaxa.jp)

● 事業の目的

超音速ジェットから発生する騒音の予測と低減は，ロケットや次世代の超音速旅客機の設計を考える上で必要不可欠であり，高速流体力学問題の中で解決すべき課題の1つである．本事業では騒音の発生機構を明らかにすると共にモデル化に重要となる知見を得ることを目的とする．

● 事業の目標

超音速ジェット騒音の生成機構がマッハ数や温度比といったパラメータに依存してどう変化するかをマッハ数，温度比を変化させた基礎的な圧縮性混合層の解析により明らかにする．また，超音速ジェット騒音の予測精度向上に向けて入口擾乱が音響波の性質に与える影響を明らかにする．

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

圧縮性混合層のマッハ数，温度比などのパラメータ依存性の調査，ジェット騒音解析における入口擾乱の与える影響の調査共に乱流を高精度に解く必要があり，高解像度な解析が必要となる．さらに，パラメトリックスタディを行うため多くの計算を行う必要がありスパコンの使用が必要不可欠である．

● 今年度の成果

圧縮性混合層の解析により、マッハ数、温度比などのパラメータが、発生する音響波に与える影響を明らかにした。移流マッハ数が高いロケット噴流に近い条件の場合、弱い衝撃は（shocklet）を音源とする高周波の騒音が発生する可能性を示した。さらに、ジェット騒音解析では、入口擾乱を入れた場合、衝撃波関連騒音の発生が抑制されることが分かった。

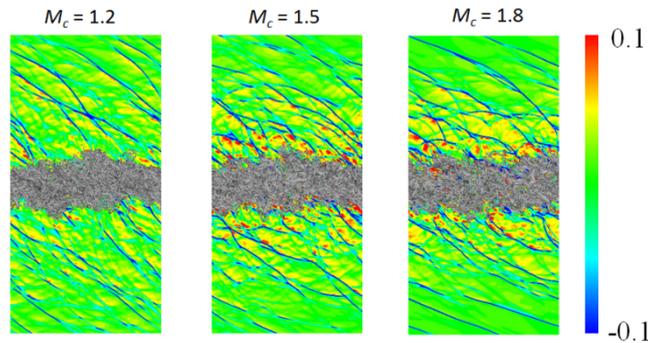


図1 圧縮性混合層から発生する音響波に対するマッハ数依存性
: Mach number dependence on acoustic waves from compressible mixing layer.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	72時間
ケース数：	20ケース
ジョブの並列プロセス数：	64プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP, 自動並列
利用計算システム：	SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) Terakado, D, Nagata, Y, Nonomura, T, Fujii, K and Yamamoto, M, “Computational Analysis of Compressible Gas-Multi phase Turbulent Mixing Layer in Euler-Euler Formulation,” 30th International Symposium on Space Technology and Science, Kobe, Japan, 2015.
- 2) 寺門大毅, 野々村拓, 大山 聖, 藤井孝藏, “高マッハ数域での乱流混合層におけるマッハ数及び密度比依存性,” 日本機械学会第93期流体力学部門講演会, 東京, 2015年.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,860,931.53	9,148.68	43.30	

50. 再突入カプセルにおける RCS 干渉場の予測

Prediction of RCS Jet Interaction on Re-entry Capsule

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 空力技術研究ユニット，浜本 滋(hamamoto.shigeru@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 推進技術研究ユニット，藤井啓介(keisuke@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 推進技術研究ユニット，三木 肇(miki.hajime@jaxa.jp)

航空技術部門 推進技術研究ユニット，岡林希依(okabayashi.kie@jaxa.jp)

航空技術部門 空力技術研究ユニット，高間良樹(takama.yoshiki@jaxa.jp)

● 事業の目的

大型の軌道回収カプセルに必要な姿勢制御用 RCS ジェットが極超音速領域において引起す熱空力的な干渉を予測する技術を獲得する。

● 事業の目標

極超音速風洞試験による RCS 干渉場計測と，風試・実機条件での CFD 解析によって，カプセルに対する加熱量や空力的影響を評価する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

RCS干渉予測技術獲得のためには，風洞試験だけでなく実機の条件でのCFD解析も必要であり，そのような数多くケースを迅速に計算するにはスパコン利用が不可欠である。

● 今年度の成果

HTV-R 形状のカプセルを対象に極超音速風洞試験条件で FaSTAR による CFD 解析を実施し，RCS 周りの熱流束分布が風洞試験結果とよく合うことを確認した。また，カプセル円周方向に RCS の配置を変えた場合に，最大熱流束の変化率が CFD 解析と風洞試験とで定性的に一致することを確認した。

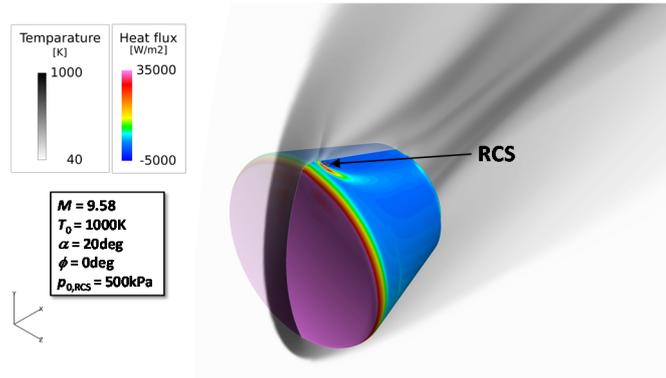


図1 カプセルRCSの数値計算結果
: CFD results of re-entry capsule with RCS

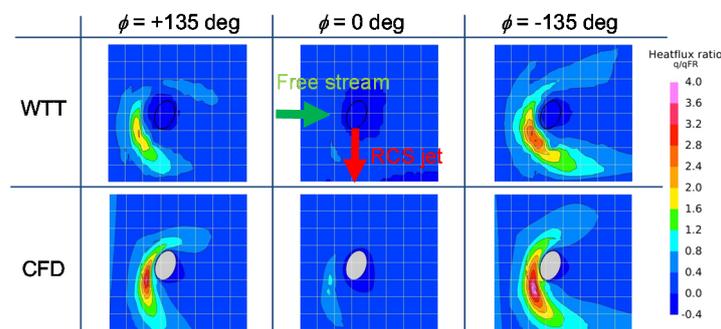


図2 カプセルRCS周りの熱流束分布
: Heat flux distibution around RCS nozzle exit

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	10時間
ケース数 :	38ケース
ジョブの並列プロセス数 :	128プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	96,302.35	341,165.04		

51. 将来輸送技術の研究(ロケットエンジン要素数値解析)

Research on future space transportation technologies (CFD on flows in rocket engine components)

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第四研究ユニット，吉田 誠(yoshida.makoto@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第四研究ユニット，木村俊哉(kimura.toshiya@jaxa.jp)

研究開発部門 第四研究ユニット，高橋政浩(takahashi.masahiro@jaxa.jp)

研究開発部門 第四研究ユニット，長田 敦(osada.atsushi@jaxa.jp)

研究開発部門 第四研究ユニット，後藤公成(goto.kosei@jaxa.jp)

● 事業の目的

将来輸送システムの競争力強化.

● 事業の目標

ロケットエンジンの要素技術向上によるエンジン性能向上.

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

Dual bellノズルはロケット第1段エンジンの比推力性能向上に寄与する技術として期待されているが，作動点遷移の条件予測が実用化に向けた大きな課題となっており，CFDによる予測技術の確立が望まれている。

● 今年度の成果

既存 CFD コードにメタン-酸素系燃焼ガスモデルを導入し，Dual Bell ノズル・サブスケール燃焼試験に適用できるよう改修した。また，試験結果との比較による検証に着手した。

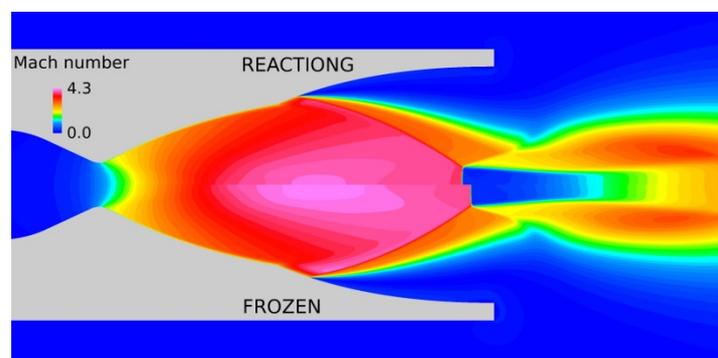


図1 ノズル圧力比45における等マッハ数線図，上段：反応流，下段：凍結流
：Mach number contours at NPR=45, Top: Reacting flow, Bottom: Frozen flow

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 20時間
 ケース数： 30ケース
 ジョブの並列プロセス数： 1プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 16～32コア
 プロセス並列手法： なし
 スレッド並列手法： OpenMP, 自動並列
 利用計算システム： SORA-MA

● 成果の公表状況**口頭発表**

- 1) 平成28年度航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム発表予定.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	79,440.26	622.37		

52. 新型基幹ロケット空力特性基礎試験

Numerical Analysis of aerodynamic characteristics on H3 launch vehicle

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：第一宇宙技術部門 H3 プロジェクトチーム, 岡田匡史(okada.masashi@jaxa.jp)
構成員：第一宇宙技術部門 H3 プロジェクトチーム, 寺島啓太(terashima.keita@jaxa.jp)
第一宇宙技術部門 H3 プロジェクトチーム, 伊海田皓史(ikaida.hiroshi@jaxa.jp)
三菱重工業株式会社 防衛宇宙ドメイン 宇宙事業部 宇宙システム技術部,
伊藤文博(fumihiro_ito@mhi.co.jp)
福澤 瞬(syun_fukuzawa@mhi.co.jp)
三菱重工業株式会社 総合研究所 流体研究部 空力研究室,
今井和宏(kazuhiro_imai@mhi.co.jp)

● 事業の目的

H3 ロケット開発で必要となる空力特性解析データを取得する。

● 事業の目標

H3ロケット詳細設計フェーズにおける機体成立性の観点で、飛行経路解析用空力データおよび構造設計用荷重解析が必要であるため、その空力特性データをCFDで取得する。

過去開発においてはHandbook等の文献値をベースとしていたが、CFD技術および計算機進捗により技術的にはCFDを用いた信頼性の高い評価が技術的に可能となっており、設計高精度化/機体競争力確保の観点でCFD解析によるデータ取得を目指すものである。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

スパコン利用による解析時間の短縮は、システム検討へのフィードバックを適時実施する事が可能となり、設計精度の向上に大きく寄与する。また、機体/設備結合状態等の大規模計算も可能となり、より実現に近い検討が可能となる。

● 今年度の成果

次項に示す解析結果より、H3 ロケット基本設計検討に供する空力特性データベースを作成することができ、システム成立性の目途を得た。



図1 大気飛行中解析(機体表面 Cp, 24L 形態, $M=0.95$, $\alpha=5^\circ$, $\phi=0^\circ$)
: Pressure distribution on 24L($M=0.95$, $\alpha=5^\circ$, $\phi=0^\circ$)

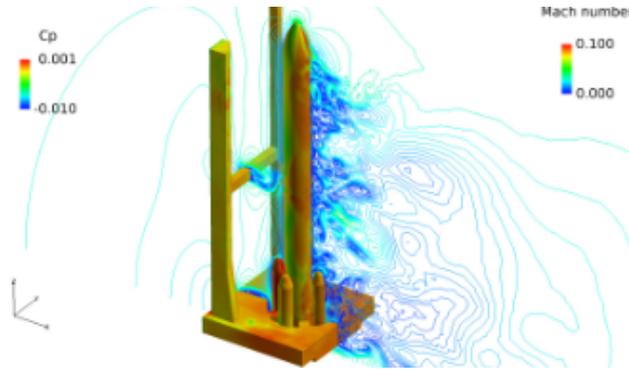


図2 地上風解析(空間M数分布, 24L形態, 射座起立時)
: Velocity distribution on 24L(at launch pad)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	5時間 (定常) ~170時間 (非定常)
ケース数 :	約300ケース
ジョブの並列プロセス数 :	最大960プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	最大32コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	自動並列
利用計算システム :	SORA-MA

● **成果の公表状況**

その他

- 1) H3 ロケット機体システム開発

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	6,195,098.13	403.64		

53. 磁気リコネクションのダイナミクスに関する研究

Studies on dynamics of magnetic reconnection

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 太陽系科学研究系，藤本正樹(fujimoto@stp.isas.jaxa.jp)

構成員：大学院生，小川匡教(ogawa@stp.isas.jaxa.jp)

大学院生，清水健矢(k.shimizu@stp.isas.jaxa.jp)

● 事業の目的

宇宙科学研究所で実施する太陽-地球惑星系科学分野の科学衛星ミッションの科学成果を拡大するために数値シミュレーションによって理論的に支援する。

● 事業の目標

現在進行中のGeotail, MMO, ERGなどで共通な宇宙プラズマ現象をターゲットした研究を進める。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

宇宙科学利用では世界有数の計算能力を有するJSSを利用すれば，世界先端レベルのシミュレーション研究を行うことができる。

● 今年度の成果

成果①

S.Kawai[2013]によって提案された高精度 MHD コードは，数値流体シミュレーションの分野で提案されたコードを MHD に応用したものである。しかし，磁気リコネクションは MHD 特有の現象であり，流体力学の分野で適用可能であったコードが磁気リコネクションへ適用可能かどうかは明らかではない。本研究ではこの高精度 MHD コードで数値シミュレーションを行い，本コードで発生する磁気リコネクションの性質を調査した。電流層の両側に高圧力のプラズマを設置することで磁気リコネクションをトリガーした。トリガープラズマにより広範囲で電流層を押し出すことで複数の X-line が発生した。複数 X-line に伴うプラズモイドは反対方向に相対速度を持ち，時間経過後プラズモイドの融合(re-reconnection)が発生した(図 1)。プラズマ圧により初期段階で発生した X-line とプラズモイド融合により二次的に発生した X-line をそれぞれ forward X-line, reverse X-line とする。forward X-line は特に複数の中から最も卓越したものを選択した。それぞれの X-line でリコネクションレートを求めると，forward X-line でおよそ $0.1B_0V_A$ ，reverse X-line でおよそ $0.3B_0V_A$ となった(図 2)。よって本コードで発生する磁気リコネクションは，過去の MHD コードで発生する磁気リコネクションよりも高いリコネクションレートを達成し，さらに爆発的な磁気島融合が発生するという性質を持つことが分かった。

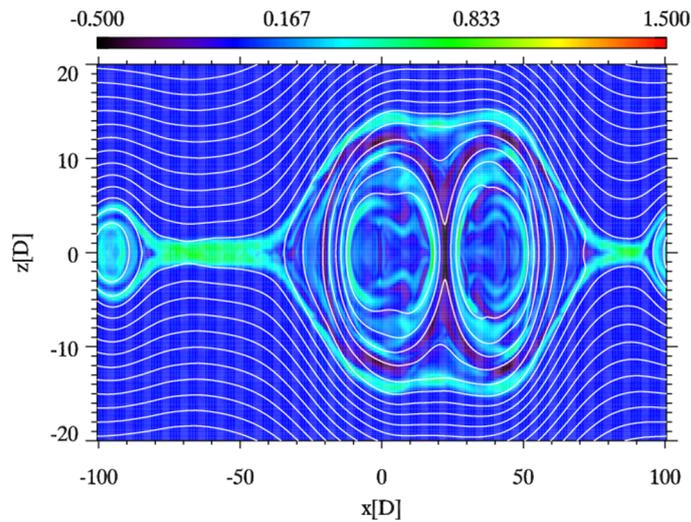


図1 re-reconnection発生時の電流密度のカラーコンター. 白の実線は磁力線を表す. およそ $x=60D$ にforward X-line, $x=30D$ にreverse X-lineが存在する. forward X-lineは複数のX-lineの中から最も卓越したX-lineを選択している.
: Spatial pattern of field lines and current density upon coalescence of the two islands. The reverse reconnection takes place at $x\sim 30$.

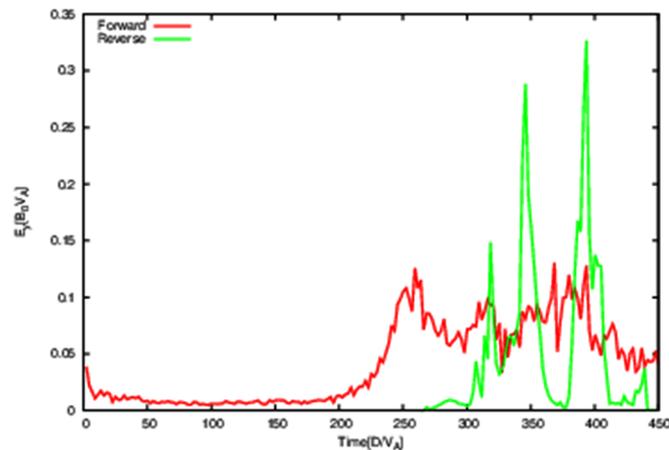


図2 リコネクションレートは forward X-line でおおよそ $0.1B_0V_A$, reverse X-line でおおよそ $0.3 B_0V_A$ となる. 図 1 の時刻は reverse X-line でのリコネクションレートが一度目のピーク値 $0.3 B_0V$ となる時刻である.
: (a) Time history of the reconnected rate. The red lines is for the forward reconnection while the green line shows that of reverse reconnection. It is clear that reverse reconnection shows higher peak reconnection rates.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	5.5時間
ケース数：	2ケース
ジョブの並列プロセス数：	1プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	32コア
プロセス並列手法：	なし
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA

成果②

異なる初期電流層幅 L とイオン電子マス比 M を与えた反平行磁気リコネクションの2次元粒子シミュレーションを複数行い、磁気リコネクションの成長期におけるスケーリング則を発見した。これらの計算において、磁気リコネクションは電流層内における初期擾乱によって励起した。リコネクション率（ここで、イオン慣性長に対する電流層幅である）をリコネクションフラックスに対してプロットすることによって、それぞれの計算で一つの曲線が描かれるが、これらの曲線が磁気リコネクションの成長期（リコネクションフラックス < 2 、ここではX-line上流における磁束密度である）において一致することが分かった。また、異なる計算において同じリコネクションフラックス（単位）の時、X-line近傍の様々な物理量の空間構造を比較し、リコネクション率の M 非依存性と D 依存性を確認した。

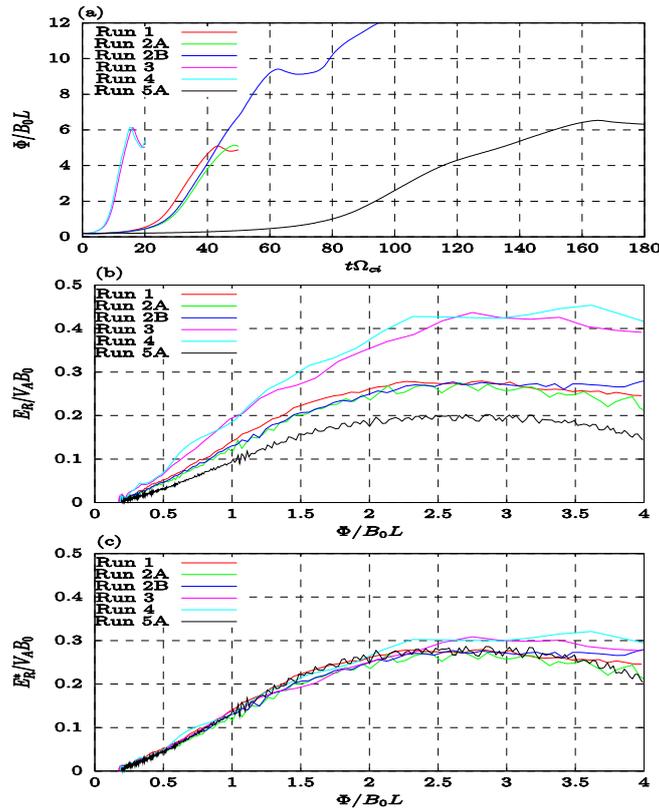


図3 6つの計算における(a)リコネクションフラックスの時間変化と、リコネクションフラックスに対する (b) リコネクション率と、 (c) スケールを変えたリコネクション率

$E_R^* \equiv E_R D^{1/2}$. (a) リコネクションは電流層幅が厚くなるほどゆっくり発展する。(b) 磁気リコネクションの発達期にはRun 1と2A, 2Bにおけるリコネクション率の時間変化はRun 3, 4のリコネクション率の時間変化同様に重なるが、(c) スケールを変えた場合はすべての計算において重なる。Run 1と2A, 2BそしてRun 3と4は同じ M （イオンと電子の質量比）を持つ。従って、リコネクション率は M には依存しないが、初期電流層幅 D には $D^{-1/2}$ として依存する。

- : (a) Time history of the reconnected flux Φ and (b) Reconnection rates E_R , (c) the rescaled reconnection rates $E_R^* \equiv E_R D^{1/2}$ as function of reconnected flux Φ in six runs. (a) The reconnection process is substantially slower when the sheet width is thicker. (b) While the reconnection rate in run 1, 2A, and 2B, overlaps with each other as well as that in run 3 and 4 in the early stage of magnetic reconnection ($\Phi/B_0 L < 2$), (c) all of the rate overlap in the stage. Note that run 1, 2A and 2B have the same M as well as run 3 and 4 do. Therefore the reconnection rate does not depend on M but clearly depends on D by $D^{-1/2}$ in the phase.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	12時間
ケース数：	6ケース
ジョブの並列プロセス数：	20プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	32コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) M.Ogawa, M.Fujimoto and S.Kawai, Study of fast magnetic reconnection by using newly high resolution MHD scheme, SGEPS(Tokyo,2015,11)
- 2) 日本地球惑星科学連合2015年大会 (千葉 (日本) 2015.05.22-05.26 ポスター)
- 3) 地球電磁気・地球惑星圏学会 (東京 (日本) 2015.10.31-11.03 ポスター)
- 4) 磁気圏シンポジウム (東京 (日本) 2015.12.01-12.03 ポスター)

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,910,483.65	195,873.17	34,303.93	1,124.30

54. スクラムジェットエンジン内部形状の空気力学的効果

Aerodynamic Research on Flow Path Configuration of a Scramjet Engine

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第四研究ユニット，佐藤 茂(sato.shigeru@jaxa.jp)

構成員：株式会社日立ソリューションズ東日本（角田在勤），高橋正晴(takahashi.masaharu@jaxa.jp)

株式会社日立ソリューションズ東日本（角田在勤），渡邊孝宏(watanabe.takahiro@jaxa.jp)

株式会社日立ソリューションズ東日本（角田在勤），宗像利彦(munakata.toshihiko@jaxa.jp)

株式会社スペースサービス（角田在勤），福井正明(fukui.masaaki@jaxa.jp)

● 事業の目的

再使用型宇宙推進機関である複合推進エンジンの主要モード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，複合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が不可欠であり，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試すにもCFDが不可欠である。

● 事業の目標

角田宇宙センターでは複合推進エンジンの主要モードとして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，複合エンジンの設計の判断材料を構築する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

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すること。改良を加えたエンジン形態をスパコン上にてシミュレーションを行い，性能を評価すること。

● 今年度の成果

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）の後縁がボートテイル形であるエンジン形態について、エンジン試験実施済み形態と対比し、エンジン内部諸量の違いを比較した。（図1）比較は3次元、気流条件にて行い、エンジン内の衝撃波等の影響を調べることで行った。エンジン内の各断面における質量流率（ ρu ）分布を調べ、 ρu 分布の高い位置を通る流線を探すため、高 ρu 分布位置に点を5点定めその位置から流線を上流に遡り辿る方法を採用した。この5点から遡った内2点からの流線は辿り切ることができ、ストラットのカウル寄りの位置を通過して行くことが分かった。この手法により、燃料噴射位置の候補を見出すことができ、この流線のことを有効流線と呼ぶ。図2にはその有効流線の通過点を赤丸で示し、同時に燃焼器段差と平行な方向（エンジン後退角方向）において天板側に3点、カウル側に3点、仮想的に振ってみた。振り幅は7.1mmずつである。5/5高さストラット形態では高質量流率領域の端を通る。一方、比較相手のボートテイル形ストラット形態では、エンジン断面中心部に形成されている高質量流率領域の中心部を貫いている。仮に噴射位置がエンジン後退角方向に多少ずれたとしても、ストラット側面から噴射された燃料は高質量流率領域に入り込むことが分かった。このことはエンジン内の燃料分布の改善に示すもので、この手法によりエンジンの推力性能を向上させる可能性が有る。

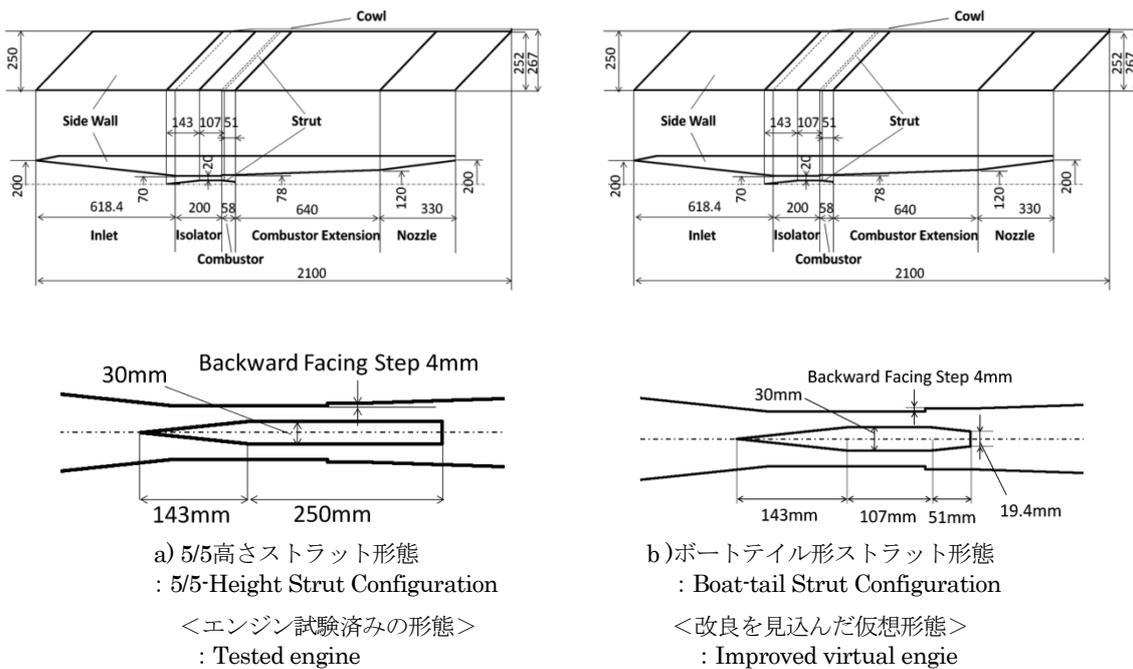


図1 ストラット二形態一両形態についてCFDで比較
: Two strat configurtions – compared by means of CFD

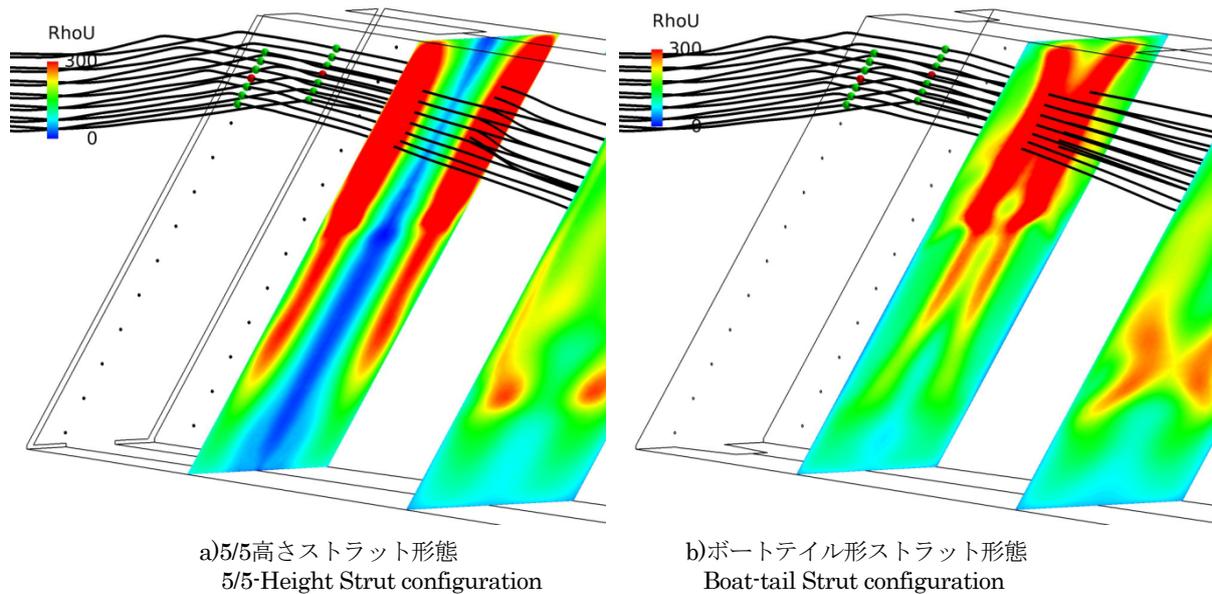


図2 有効流線と段差と平行な方向に設けた仮想流線
: The effective streamline and virtual streamlines passing
the points set parallel to the back-ward facing step.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	360時間
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	1プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	8コア
プロセス並列手法：	その他 (Fluentによる)
スレッド並列手法：	その他 (Fluentによる)
利用計算システム：	SORA-PP

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) 佐藤, 福井, 渡邊, 宗像, 「スクラムジェットエンジン燃料最適化分布に向けた検討—流線遡上法による探索」, 第47回流体力学講演会及び平成27年度航空宇宙シミュレーション技術シンポジウム論文集, 宇宙航空研究開発機構特別資料, 平成28年3月

口頭発表

- 2) Sato, Fukui, Watanabe and Munakata, "Virtual Experiment for Optimization of Fuel Distribution in a Scramjet Engine", AIAA 2015-3598, 20th AIAA International Space Planes et al Conference, July 2015, Glasgow.
- 3) 佐藤, 福井, 渡邊, 宗像, 「スクラムジェットエンジン燃料最適化分布に向けた検討—流線遡上法による探索」, 第47回流体力学講演会及び平成27年度航空宇宙シミュレーション技術シンポジウム, 平成27年7月駒場
- 4) 佐藤, 福井, 渡邊, 宗像, 「スクラムジェットエンジン内流れにおける衝撃波構造と燃料当量比分布—流線遡上法により得られた有効流線からの展開」, 平成27年度衝撃波シンポジウム, 平成28年3月熊本

その他

- 5) 佐藤 茂, 「ロケットのエネルギー収支とスクラムジェットの空気力学」, 早稲田大学大学院理工学研究科講演会, 平成 27 年 9 月 17 日, 早稲田大学理工学部 (スクラムジェットの空気力学の箇所では CFD 結果を使用)

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,623.60	33,890.06	9.46	

55. 設計探査に関する学術研究

Research on Design Exploration

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所，大山 聖(oyama@flab.isas.jaxa.jp)

構成員：東京大学，寺門大毅(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，阿部圭晃(abe@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，Taufik Slaiman(taufik@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，李 東輝(lee@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，福本浩章(fukumoto@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，Fortunate Nucera(nucera@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学大学院，浅野兼人(asano@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学大学院，森平光一(morihira@flab.isas.jaxa.jp)

東京農工大学大学院，松原暁良(matsubara@flab.isas.jaxa.jp)

横浜国立大学大学院，森中一誠(morihira@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，加藤大祐(dkato@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，小澤雄太(ozawa@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，原田拓弥(harada@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，中野宏章(nakano@flab.isas.jaxa.jp)

Nanyang Technological University, Sirigatti Daniele(sirigatti@flab.isas.jaxa.jp)

● 事業の目的

宇宙科学分野における空気力学的諸問題に関する研究。

● 事業の目標

宇宙科学分野における空気力学的諸問題に関する知見を得る。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

実験では実施することが難しい多目的設計探査を行うこと。

● 今年度の成果

CFDと多目的進化計算を用いて，全翼型火星飛行機の翼型形状の多目的設計最適化を行った。目的関数は1)揚抗比，2)翼断面積，3)風圧中心位置と半翼弦長との差の最小化である。多目的設計最適化の結果，上面にS字のキャンバーを，下面は中心付近に正のキャンバーを持つ形状が全翼型火星飛行機の翼型として良い性能を持つことがわかった。

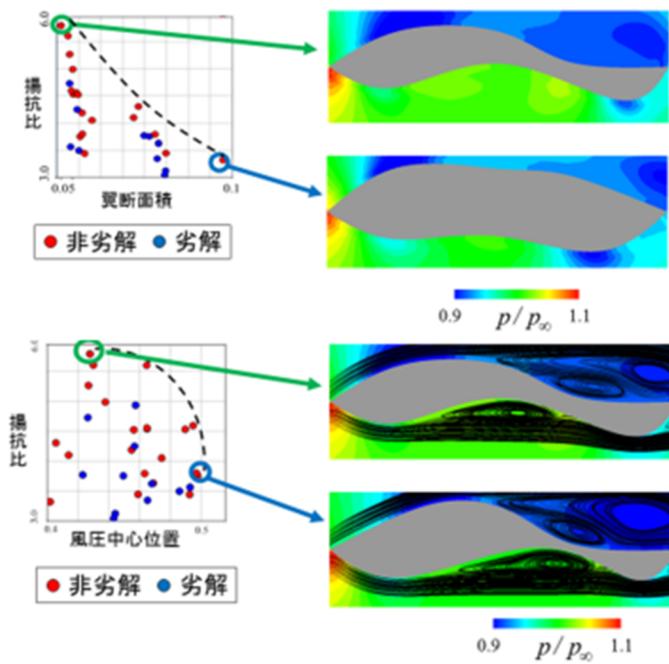


図1 全翼型火星飛行機の翼型形状の多目的設計最適化の結果
 : Result of multiobjective design optimization of airfoil shape for a flying-wing-type Mars airplane

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 5時間半
 ケース数： 160ケース
 ジョブの並列プロセス数： 54プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-MA, SORA-PP

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,634,350.72	10,227.49		

56. 大気突入機の熱空力評価システムの高度化

Sophistication of prediction of aerothermal environment on atmospheric entry vehicles

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 空力技術研究ユニット，浜本 滋(hamamoto.shigeru@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 空力技術研究ユニット，鈴木俊之(suzuki.toshiyuki@jaxa.jp)

航空技術部門 空力技術研究ユニット，Adrien Lemal (adrien.lemal@jaxa.jp)

航空技術部門 空力技術研究ユニット，小澤宇志(ozawa.takashi@jaxa.jp)

● 事業の目的

惑星探査カプセルが大気圏突入時に受ける空力加熱および空気力学的な力（以下，熱空力特性と呼称する）を数値シミュレーションにより高精度に予測することを目的とする。また，熱空力特性の予測精度を向上するための熱化学モデル・数値解析手法を開発することを目的とする。

● 事業の目標

惑星大気圏突入において，

- 極超音速飛行時に受けるカプセル壁面熱流束および空力特性の高精度な評価。
- パラシュート展開点付近の亜音速～遷音速～超音速飛行時における空力特性の高精度な評価を可能にする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

揚力飛行（有迎角飛行）による大気圏突入において極超音速飛行時の空力加熱量を正確に評価するためには，突入軌道に沿って何ケースもの三次元解析を行う必要がある。そのような多数ケースの三次元解析を短期間で実施し，軌道やカプセル形状の変更にもなう再評価などの要請にも対応するためにはスパコンが不可欠である。また本事業では，パラシュート展開点付近での超音速以下のマッハ数領域ではカプセル周りの乱流場を高精度に解くために Large Eddy Simulation (LES) を活用している。LESによる三次元の非定常解析は非常に計算コストが高く，カプセル設計に必要な多ケースの解析を実施するためにはスパコン利用が不可欠である。

● 今年度の成果

超音速パラシュート周りの流れ場，カプセル・パラシュートの不安定性，開傘衝撃力などの開傘ダイナミクスを再現することを目的として，多数の数値シミュレーションを実施した。主な成果として，FaSTARを用いたパラシュートの金属剛体モデルの定常解析を行い，流れ場・空力係数において実験結果と概ね一致する結果を得た（図1）。また，LESによる火星大気圏突入カプセルの非定常解析を行い，パラシュート開傘点（ $M = 1.6$ ）でのカプセル動安定特性を評価した（図2）。

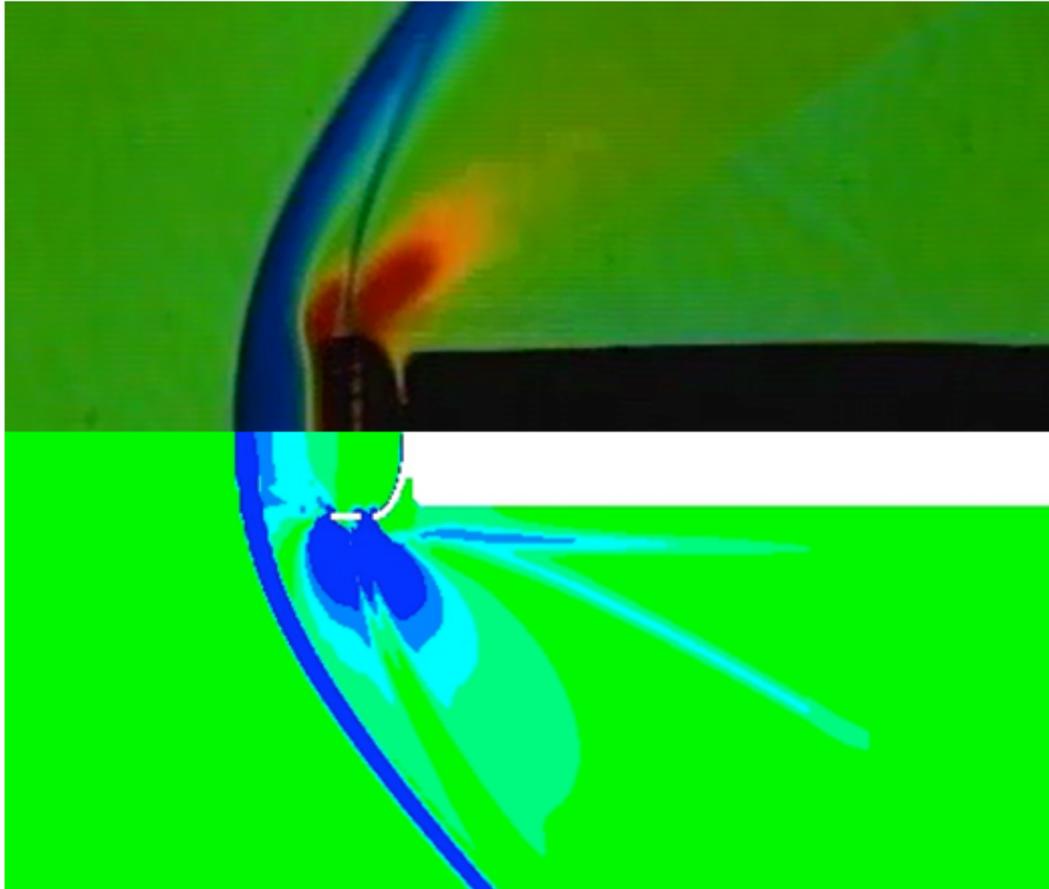


図1 FaSTARによるパラシュートの金属剛体モデルの定常解析, $\infty M=1.6$ における密度勾配とシュリーレン画像との比較 (上: シュリーレン画像, 下: 解析結果)
 : Comparison with Schlieren image of density gradient, $\infty M = 1.6$ (upper : Schlieren image, lower : simulation)

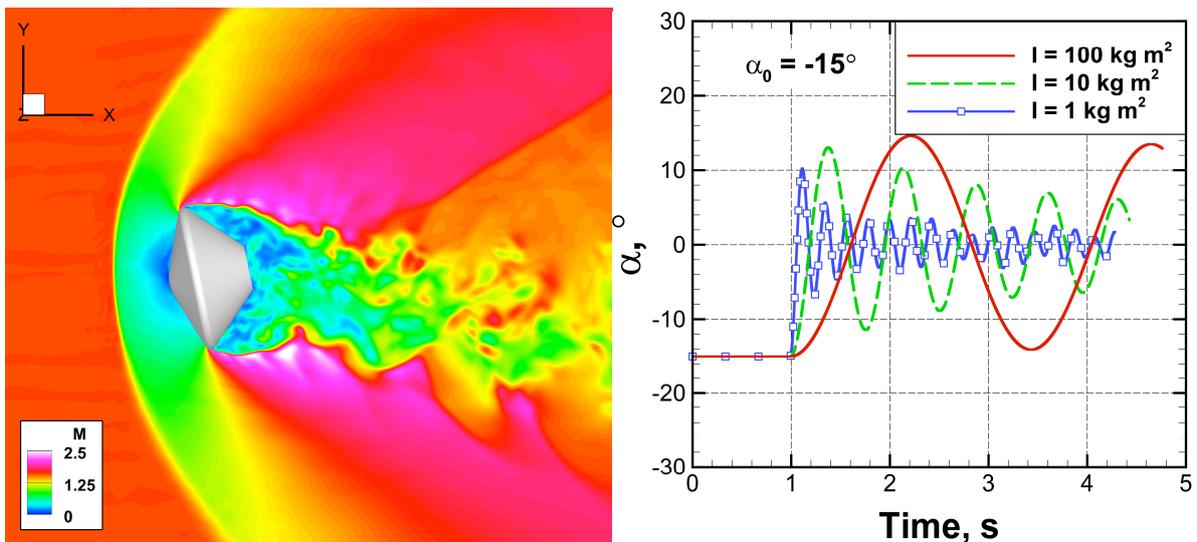


図2 火星大気圏突入カプセルに対する $M = 1.6$ での動安定解析の結果
 (左: 瞬時のマッハ数分布, 右: カプセル迎角の時間変化)
 : Dynamic stability analysis of a Mars entry capsule at $M = 1.6$ using LES
 (left : instantaneous contours of Mach number, right : time histories of angle of attack)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	50時間
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	296 (37ノード)
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) Matsuyama, S. and Fujita, K., “Dynamic Stability Analysis of a Mars Entry Capsule using large-Eddy Simulation,” ISTS 2015-e-06, Kobe, July 2015.
- 2) 徳永賢太郎, 高柳大樹, 鈴木俊之, 藤田和央, “剛体モデルで模擬した超音速パラシュートの流れ場解析”, 航空宇宙学会第47期年会, 2016年4月14日.

口頭発表

- 3) 徳永賢太郎, 高柳大樹, 鈴木俊之, 藤田和央, “剛体モデルで模擬した超音速パラシュートの流れ場解析”, 航空宇宙学会第47期年会, 2016年4月14日.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,382,034.84	65,679.85		

57. 多次元 MHD シミュレーションによる超新星残骸の研究

Multi-dimensional MHD Simulations of Supernova Remnants

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 宇宙物理学研究系，高橋忠幸(takahasi@astro.isas.jaxa.jp)

構成員：宇宙科学研究所 宇宙物理学研究系，李 兆衡(slee@astro.isas.jaxa.jp)

● 事業の目的

Development of a multi-dimensional platform for magnetohydrodynamic (MHD) simulation of supernova remnants (SNRs) with the capability of handling a complex network of microphysics such as nonlinear particle acceleration and non-equilibrium ionization (NEI) of hot plasma, and the calculation of the associated observables like thermal and non-thermal photon emission in multi-wavelength.

● 事業の目標

1. Using the simulation code to model and interpret observational data from space telescopes, especially the upcoming spectroscopic data from the new Hitomi satellite.
2. Investigate multi-dimensional effects at SNRs in inhomogeneous systems (e.g., interaction of shocks with adjacent dense molecular clouds).

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

The computation capability of the Sora system is essential for testing and running the developing simulation code in sufficient spatial resolutions and for a long enough physical time period to be useful for direct comparison with observational data.

● 今年度の成果

A working prototype of the targeted simulation code has been developed this year, thanks to the availability of the recently updated Sora supercomputer. Currently, our code has the ability to model MHD evolution of a SNR interacting with an inhomogeneous medium such as molecular clouds. We have confirmed important effects including significant amplification of magnetic fields at shock-cloud interaction sites that are believed to be crucial in facilitating efficient cosmic ray acceleration and hence bright gamma-ray and/or non-thermal X-ray emissions observed from young and middle-aged SNRs. Secondly, we have successfully incorporated a fully functional unit for handling NEI plasma that is able to track the ionization states of important X-ray emitting chemical elements in a space- and time-resolved manner. An accompanying X-ray emission code has also been written and tested.

Further careful testing and development of the code is ongoing. The code will be put into operation for simulating realistic SNR systems and their X-ray emission in the near future.

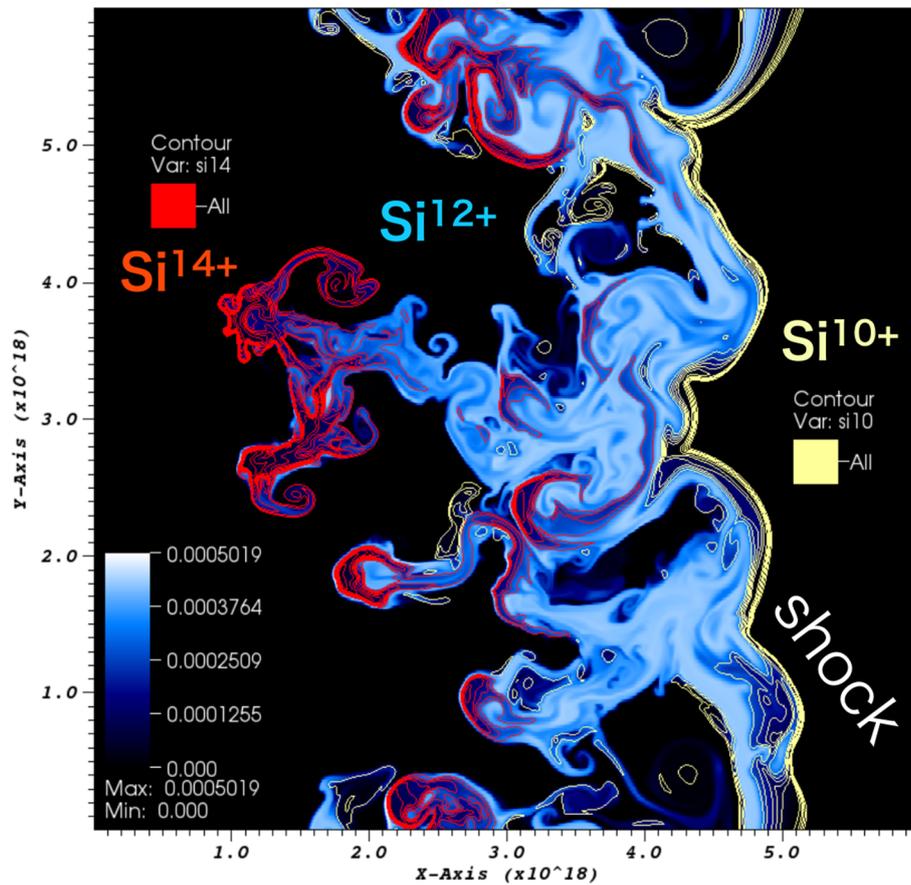


Fig.1 Detailed distribution (colorbar: mass fraction) of ions behind a strong SNR shock interacting with a clumpy molecular cloud in 2-D. As an example, Si ions are shown here. This information is used to compute high-resolution X-ray spectra from the NEI plasma (see Fig. 2).

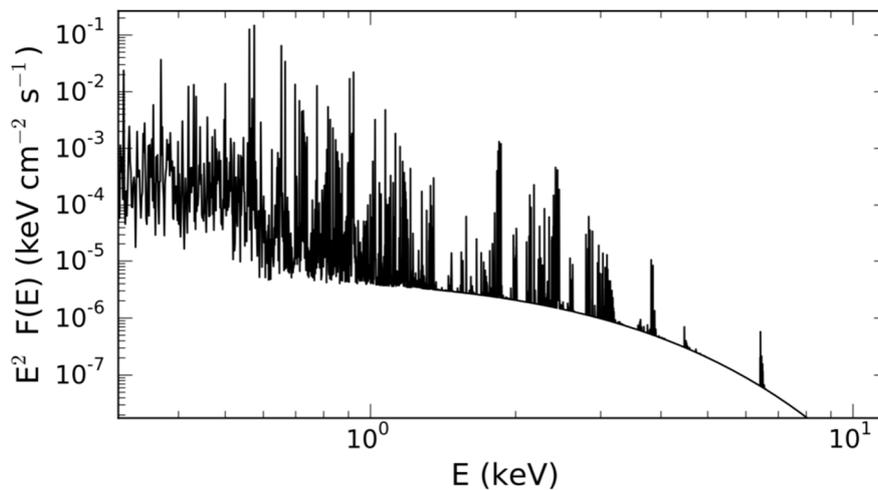


Fig. 2 High-resolution X-ray spectrum from a 2-D MHD-NEI simulation of a SNR shock interacting with a dense and clumpy molecular cloud. This kind of space and time-resolved spectra can be used to model future Hitomi data to extract key information such as on the nature of the supernova progenitor stars and the poorly known physics of space collisionless plasma.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 15時間
 ケース数： 1ケース
 ジョブの並列プロセス数： 128プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-MA

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) ISAS 宇宙科学談話会

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	90.12	30.24		

58. 月着陸候補地点のシミュレーションおよび解析

Simulation and analysis of candidates for the lunar landing site

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙探査イノベーションハブ，星野 健(hoshino.takeshi@jaxa.jp)

構成員：宇宙探査イノベーションハブ，大嶽久志(ootake.hisashi@jaxa.jp)

株式会社 NTT データ CCS，水流晃一(ktsuru@nttdata-ccs.co.jp)

宇宙探査イノベーションハブ，若林幸子(wakabayashi.sachiko@jaxa.jp)

株式会社スペースサービス，山本光生(yamamoto.mitsuo@jaxa.jp)

● 事業の目的

かぐやおよび LRO のデータを用いた月着陸候補地点のシミュレーションおよび解析。

● 事業の目標

工学的・科学的に最大限の成果を期待できる月着陸候補地点の絞り込み。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

着陸地点選定となる基礎データをシミュレーションおよび解析によって求める。

● 今年度の成果

将来予定されている計算負荷の増大に備えたシミュレーションおよび解析ソフトウェアの超並列化への対応検討。

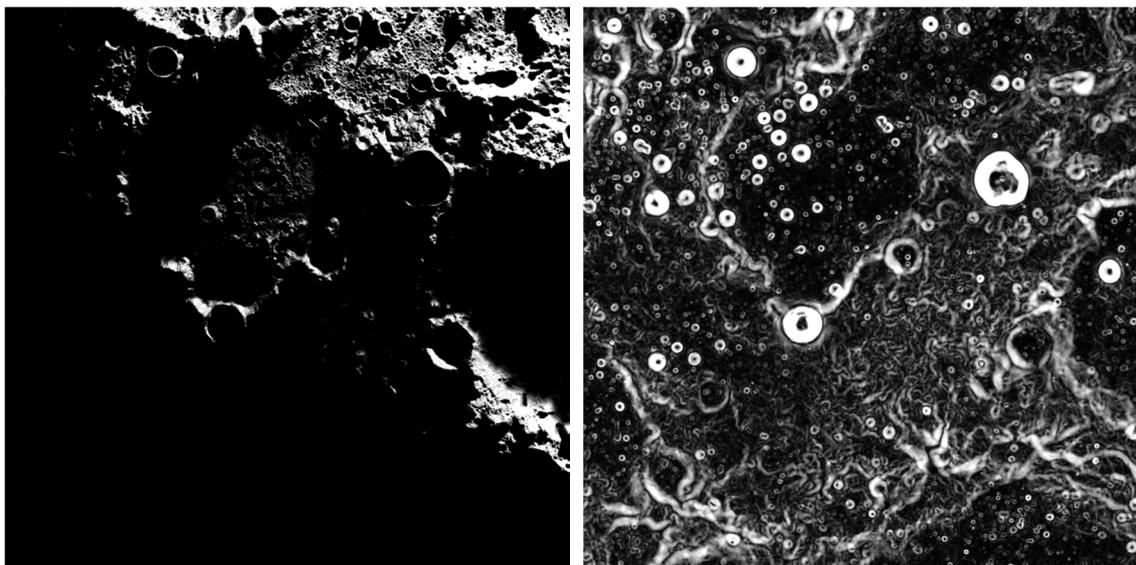


図1 月北極域日照シミュレーション/傾斜マップ
: lunar northern polar region illumination simulation/slope map

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	1.34時間(MA), 0.61時間(PP)
ケース数：	(要求される時間粒度, シミュレーション期間により増加)
ジョブの並列プロセス数：	8プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	16 コア(MA), 6コア(PP)
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 「月極域探査ミッション：月利用可能性の調査」, 星野 健, 若林幸子, 大嶽久志, 橋本樹明, 第59回宇宙科学技術連合講演会, 1D07, 2015

その他

- 2) Japanese Polar Lander Study, Exploring and Using Lunar Polar Volatiles, The International Space Exploration Coordination Group (ISECG)
<http://lunarvolatiles.nasa.gov/wp-content/uploads/sites/6/2015/04/Japanese-Polar-Lander-Study.pdf>

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	221.46	303.41		

59. 流れ場の最適制御に関する研究

The study on an optimal control of flow field

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系，小川博之(ogawa.hiroyuki@jaxa.jp)

構成員：宇宙科学研究所 観測ロケット実験グループ，伊藤 隆(ito.takashi@jaxa.jp)

東京大学大学院 航空宇宙工学専攻，中村昌道(masamichi.nakamura@ac.jaxa.jp)

● 事業の目的

再使用観測ロケットの帰還飛行を成立させるための流体力学に関する研究

● 事業の目標

帰還飛行を行う再使用観測ロケット周りの流れ場を詳細に研究することで，安定した帰還飛行を可能とする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

再使用観測ロケット周りの流れ場は非常に非線形性が強く，実験での詳細な流れ場の把握は難しい。

そこで数値計算を用いて流れ場を解析することで，再使用観測ロケットの空力特性を効果的に研究することができる。

● 今年度の成果

再使用観測ロケットの転回運動の際に発生する横向き力による不安定性を抑制するため，最適制御によって流れ場を制御することを目的として，単純化した円柱周りに発生する横向き力を最適制御により抑制した。

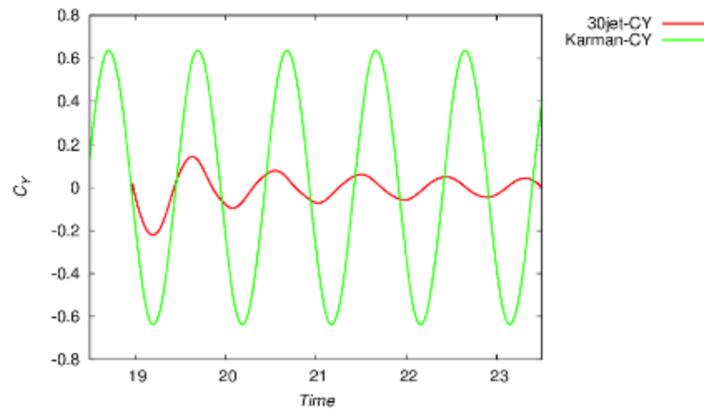


図1 円柱に発生するカルマン渦による横力の時間変化
: The time variation of the lateral force by Karman vortices

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	24時間
ケース数：	1ケース
ジョブの並列プロセス数：	24プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	なし
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	125,196.78	19,913.20	13,983.04	

60. 非線形フォースフリー磁場計算による「ひので」観測からの太陽コロナ磁場推定

NLFFF calculation of the solar coronal magnetic field based on Hinode observations

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 太陽系科学研究系，清水敏文(shimizu.toshifumi@jaxa.jp)

構成員：東京大学大学院 理学系研究科，川畑佑典(kawabata.yusuke@ac.jaxa.jp)

名古屋大学大学院 理学系研究科 宇宙科学研究所 特別共同利用研究院，
三好建正(takemasa.miyoshi@riken.jp)**● 事業の目的**

太陽大気における爆発現象である太陽フレアがどのような磁場構造でどのような機構で発現するかを探る。

太陽観測衛星「ひので」が取得している世界で最も高解像度で高精度なベクトル磁場マップを株境界条件として，フォースフリーを仮定してコロナの磁場構造を推定する。

● 事業の目標

太陽観測衛星「ひので」で観測された太陽フレアが発生した前後の太陽表面磁場を用いてフォースフリー磁場計算を行い，フレア発生におけるコロナ磁場および発現機構に関する新たな知見を得る。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

太陽観測衛星「ひので」の高空間分解能の磁場を用いた3次元のMHD計算によるフォースフリー磁場モデリングにはスパコンの大規模計算環境が不可欠となる。

● 今年度の成果

フォースフリー磁場モデリングにより推定された磁力線の足元が紫外線観測で明るく光るリボン構造と高い精度で一致している一方で，一致しない領域も存在し，モデリングの改善の必要性を示唆した。

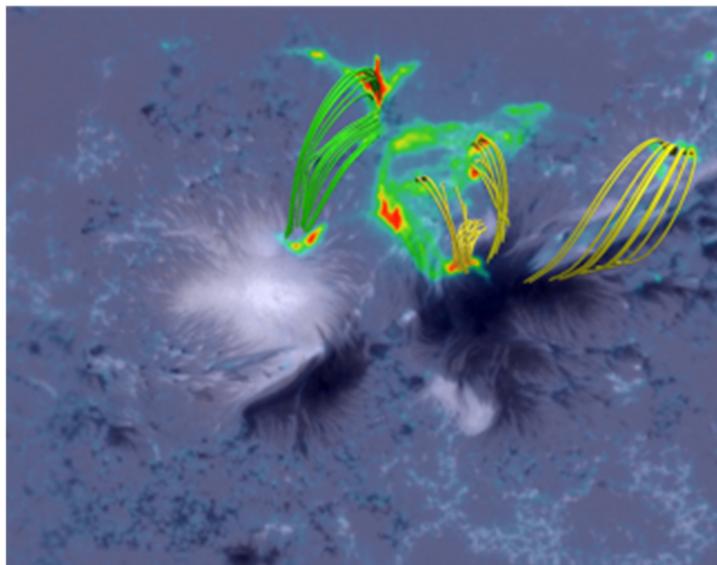


図1 白黒の背景は「ひので」が観測した太陽表面の磁場. 黄, 緑の実線はフォースフリー磁場計算によって推定された磁力線. 緑, 赤のコンターは紫外線観測による明るいリボン構造.

: The magnetic field lines inferred with non-linear force-free field calculation (yellow and green lines), which is overlaid on the magnetic field map at the solar surface measured by Hinode. Red and green contours show the position of flare ribbons measured in UV.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	4~5時間
ケース数 :	5ケース
ジョブの並列プロセス数 :	12プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	8コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	自動並列
利用計算システム :	SORA-PP, SORA-TPP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 川畑佑典, 井上 諭, 清水敏文, 「ホモロガスフレアの3次元磁場構造の時系列解析」, 日本天文学会2015年秋季年会, 兵庫, 2015年9月
- 2) Y. Kawabata, T. Shimizu, "Homologous flare occurred at the quadrupole field", Japan Geoscience Union Meeting, Chiba, May-2015

その他

- 3) 川畑佑典, 修士論文 “Studies on homologous flares quadrupole magnetic field using force-free field modeling”, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, 2016年2月

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		228.43		13,644.13

61. プロジェクト課題対応解析

Numerical Simulations for JAXA's Development and Research Projects

● 事業形態

JAXA プロジェクト ・ 一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第三研究ユニット，嶋 英志(shima.eiji@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第三研究ユニット，根岸秀世(negishi.hideyo@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，藤本圭一郎(fujimoto.keiichiro@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，大門 優(daimon.yu@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，谷 洋海(tani.hiroumi@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，雨川洋章(amakawa.hiroaki@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，梅村 悠(umemura.yutaka@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，松本万有(matsumoto.mayu@jaxa.jp)

● 事業の目的

JAXA 内の現行プロジェクトや他部門の研究開発業務において発生した技術課題に対し，数値シミュレーション技術を活用して解決もしくはその支援をする。

● 事業の目標

第三研究ユニットの保有および開発技術を活用して，現行プロジェクト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とともに，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，費用対効果，波及効果等)”を実現する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

プロジェクト課題対応は定められた期間で確実に成果を出すことが必須であり，JSSを利用することで大規模計算であっても効率的に解析を実現することができる。

● 今年度の成果

- ISASからの依頼に基づき，ジオスペース探査衛星(ERG)の受動ニューターションダンパ(ND)設計の妥当性を確認することを目的に，ロケット分離直後の太陽電池パドル展開+衛星スピンレート低下時のND内におけるシリコンオイルの液体挙動を評価した。FY27は，FY26で評価しなかった条件の追加評価と，CFD解析で得られた知見を設計解析に反映し改良に貢献した。
- 研究開発部門第四研究ユニットが進める再生冷却LNGエンジンの基盤研究に関連して，メタンを燃料とした実スケール燃焼器を対象に再生冷却解析を実施した。メタン実スケールエンジンの燃焼-冷却連成解析を始めて実現し，現象理解を進めると共に，解析技術の課題を明らかにした。

- 研究開発部門第四研究ユニットが進める飛行安全関連の研究に関連して、ロケット指令破壊時の爆破添加速度の評価の高精度化を目的に、指令破壊後の推進薬タンクの破壊素過程の把握の為にき裂伸展破壊解析を実施した。内圧負荷時の指令破壊亀裂進展の様相が、リブ付構造と等価板厚構造とでマクロ的な挙動に有意差がないことを見出し、試験計画の策定支援に貢献した。

他多数

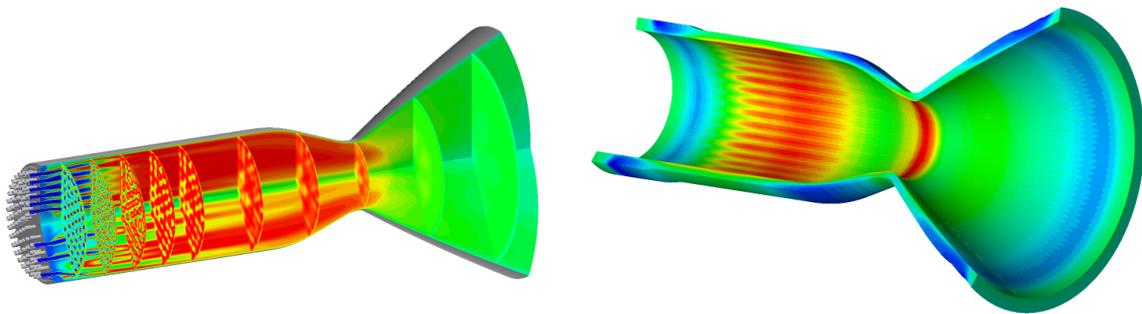


図1 LNGエンジン燃焼-冷却連成解析
: Coupled combustion gas side and coolant side simulation

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	40日間
ケース数：	1ケース
ジョブの並列プロセス数：	2110プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA, SORA-PP, SORA-TPP

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,293,790.29	90,082.89		110.91

62. ロケット音響環境予測技術の研究開発

Research and Development of Predicting Launch Vehicle Acoustics

● 事業形態

JAXA プロジェクト ・ 一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第三研究ユニット，嶋 英志(shima.eiji@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第三研究ユニット，堤 誠司(tsutsumi.seiji@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，芳賀臣紀(haga.takanori@jaxa.jp)

● 事業の目的

ロケット飛行時に排気ジェットから発生する空力騒音，及び遷音速フライト時の衝撃波/乱流境界層干渉に起因した流体騒音の発生機構を解析し，音響レベルの予測技術を獲得する。

● 事業の目標

31.5-500Hz の外部音響環境を約 1 週間で予測する技術を構築する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

数億点規模のLES解析を実施する必要がある，目標とする周波数解像度を達成するためにはスパコン規模の計算リソースが必須である。

● 今年度の成果

- リフトオフ時音響に関しては，ML・ディフレクタ・煙道を含む複雑形状に対して評価が可能な高次精度解析手法を適用・検証を実施した。また，イプシロン試験機1号機のフライトデータを利用し，31.5～1100Hzの周波数解像度で3.0dB(1/1オクターブバンド)の予測精度を得ることができた。
- コーン/シリンダ型フェアリングにおいて，格子解像度に対するImproved Delayed Detached Eddy Simulation(IDDES)を利用したWall-modeled LESの影響を評価した。肩部膨張扇を通過した加速層流化領域における層流化→遷移→衝撃波/乱流境界層干渉が発生していることが分かり，IDDESモデルの適用限界を明確にすることができた。

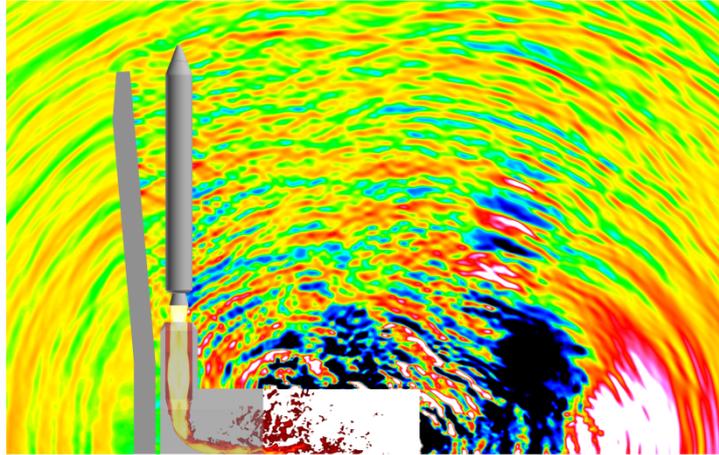


図1 イブシロン試験機1号機打上げ時の音響解析.
 (流体場：マッハ数, 音響場：圧力変動)
 : CFD/CAA results for Epsilon launch vehicle at lift-off.
 (Hydrodynamic field: Mach number, Acoustic field: pressure fluctuation)

【計算情報】

項目	リフトオフ音響(CFD/CAA)
1ケースあたりの経過時間：	7日(CAA)
ケース数：	
ジョブの並列プロセス数：	400プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	8コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) Seiji Tsutsumi, Ryoji Takaki, Shunsuke Koike, Susumu Teramoto, “Application of Hybrid Turbulence Method to Transonic Flowfield of a Payload Fairing,” AIAA Paper 2016-0544, 2016.

その他

- 2) 堤 誠司, 高木亮治, 寺本 進, “LES/RANSハイブリッド法によるロケットフェアリング遷音速流れ解析の現状,” シミュレーション, Vol.34 No.3, 2015年9月.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,930,283.17	21,169.03	23,414.68	2,646.85

63. ロケット高周波燃焼振動に関する研究

Research on high-frequency combustion instability in rocket engines

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第四研究ユニット，吉田 誠(yoshida.makoto@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第四研究ユニット，高橋政浩(takahashi.masahiro@jaxa.jp)

● 事業の目的

同軸噴射器を用いる液酸液水ロケット燃焼器の本質的振動燃焼のモデル化の達成。

● 事業の目標

同軸噴射器を用いる液酸液水ロケット燃焼器の本質的振動燃焼についてCFDを用いた振動判定手法を構築する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

CFDにより，噴射器エレメント単体試験などで直接観察できない噴射孔付近およびリセス内の流れ場の詳細理解を図る。

● 今年度の成果

実在流体の状態方程式や熱力学特性値モデルを組み込んだ軸対称 CFD コードの整備を進め，燃焼流解析結果を取得した。結果の検証とコードの改良を継続している。

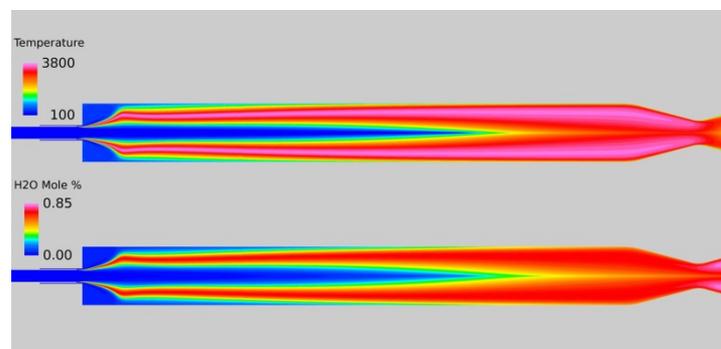


図1 LOX/H₂エレメント単体試験の燃焼解析例，上段：温度，下段：H₂Oモル分率
: Combusting CFD for LOX/H₂ single element test case,
Top: Temperature, Bottom: H₂O mole fraction

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 100時間
 ケース数： 2ケース
 ジョブの並列プロセス数： 1プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 32コア
 プロセス並列手法： なし
 スレッド並列手法： OpenMP, 自動並列
 利用計算システム： SORA-MA

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	6,554.14	393.80		

64. ロケット再突入データ取得研究

Acquisition of rocket reentry data

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第四研究ユニット，石本真二(ishimoto.shinji@jaxa.jp)
構成員：研究開発部門 第四研究ユニット，青木良尚(aoki.yoshihisa@jaxa.jp)
研究開発部門 第四研究ユニット，高間良樹(takama.yoshiki@jaxa.jp)

● 事業の目的

ロケットの溶融解析に係るデータの取得。
再突入機及び将来輸送系に係る技術の蓄積。

● 事業の目標

カプセルを設計し，ロケットから再突入させて飛行データを得る。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

空力係数を計算する。

● 今年度の成果

CFD でカプセルの空力特性を推算した。

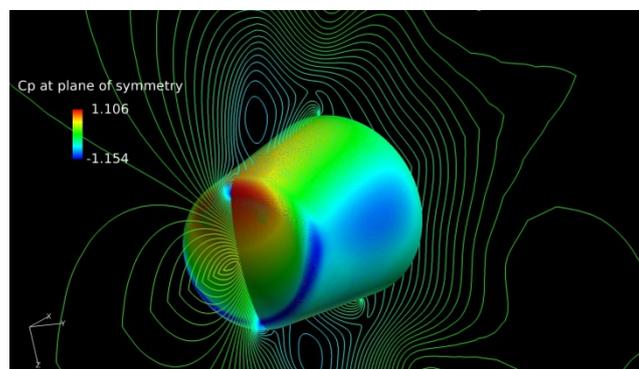


図1 再突入カプセルの CFD 結果 (M=0.6, AOA=40deg, 対称面の Cp 分布)
: Cp distribution of reentry capsule (M=0.6, AOA=40deg)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 22時間
 ケース数： 6ケース
 ジョブの並列プロセス数： 10プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 12コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-PP

● 成果の公表状況**口頭発表**

- 1) 青木良尚, 南 吉紀, 高間良樹, 石本真二, ロケット再突入データ取得システムの空力設計検証試験について, 第91回風洞研究会議.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	158,893.23	19,845.25		

65. ロケットーラム複合サイクルエンジンにおける性能向上のための エジェクタ・モードの数値計算

Numerical Simulation of Ejector-jet Mode for obtaining higher performance
in Rocket-Ram Combined Cycle Engine

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第四研究ユニット，長谷川進(hasegawa.susumu@jaxa.jp)

● 事業の目的

地球から軌道までの再使用型宇宙往還機のペイロードを増加して信頼性を向上させるために，現在，世界中の各国では様々な研究開発が行われている．再使用型宇宙往還機実現の鍵となる技術の一つである，低コストで信頼性のある複合サイクルエンジンの開発を行う．

● 事業の目標

再使用型宇宙往還機実現のために，複合サイクルエンジンの研究開発を行う．複合サイクルエンジンは，一つのエンジンでエジェクタ・モード，ラムジェット・モード，スクラムジェット・モード，ロケット・モードと作動モードを変えることによって，離陸から宇宙空間到達までの広い作動領域をカバーするものである．

離陸からラムジェット・モードへの移行を担うのはエジェクタ・モードであり，その設計手法の確立をすることが目的である．

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

エンジンの設計手法をシミュレーションにより確立することである．実験では難しいエンジン内部の流れの把握を行う．また，パラメトリックな形状変更により，様々な形態での性能解析を行うことができる．

● 今年度の成果

ロケット形状がエジェクタ性能に与える性能を数値的に調べ，流れ場の特徴を明らかにした．また，エンジン性能についても計算を行った．

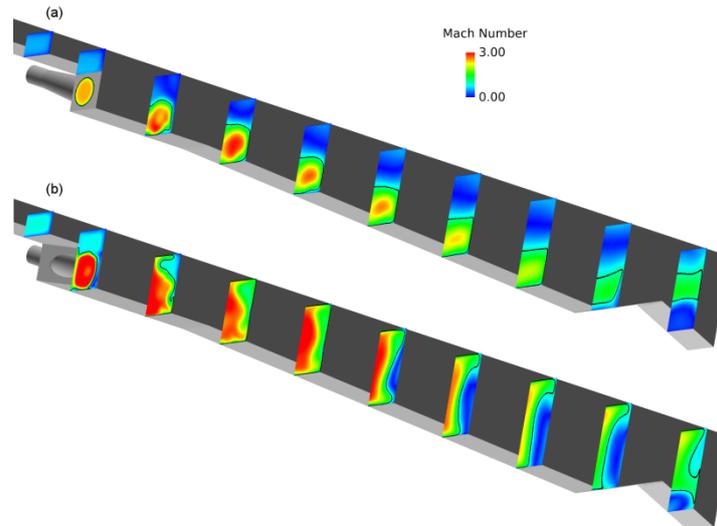


図1 エジェクタ内のマッハ数分布 (a)初期形状 (b)改良形状
: Mach Number Distribution (a)Initial (b)Improved

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	5時間
ケース数：	40ケース
ジョブの並列プロセス数：	2プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	60コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-PP

● 成果の公表状況

- 1) 複合エンジンのエジェクタ性能の向上をめざした形状改善の検討, 第59回 宇宙科学技術連合講演会
- 2) Numerical analysis for higher ejector-jet performance in the RBCC engine combustor model, AIAA Scitech 2016
- 3) 複合エンジン性能向上を目指した超音速エジェクタの研究, 平成27年度衝撃波シンポジウム

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		462,210.28		

66. ロケット・宇宙機の推進薬管理に係る数値解析

Numerical Simulations of Propellant Management for Rockets and Spacecrafts

● 事業形態

JAXA プロジェクト ・ 一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第三研究ユニット，嶋 英志(shima.eiji@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第三研究ユニット，根岸秀世(negishi.hideyo@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，藤本圭一郎(fujimoto.keiichiro@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，梅村 悠(umemura.yutaka@jaxa.jp)

● 事業の目的

ロケット・宇宙機的设计開発において，打ち上げ，長秒時コーストおよびエンジン多数回着火等に係る推進系の性能未到達や不具合等のリスク低減を実現するために，推進系システムに係る推進薬の熱流体挙動を定量的に予測可能な数値シミュレーション技術を構築する。

● 事業の目標

ロケットおよび宇宙機の推進系に係る推進薬熱流体挙動を適切に再現可能な数値シミュレーション技術を構築し，打ち上げ，長秒時コーストおよびエンジン多数回着火時等における推進系特性を FY24 年度比で 1 オーダー高い温度予測を実現する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

ロケットや宇宙機の推進系を解析対象とする場合，推進薬タンクや配管系，エンジンのターボポンプ等のコンポーネントに加え，ロケット・宇宙機の機体構造そのものの熱解析も必要となる。この場合，ロケット・宇宙機の実機全体をほぼモデル化した流体-熱連成解析を実施する必要がある，スパコンを用いた大規模計算が必須である。

● 今年度の成果

- ターボポンプ予冷の定量予測を目的として，極低温流体による配管冷却過程の検証解析を実施。定量的予測が可能であることを示した。
- 基幹ロケットHII-Aの液体水素タンク内温度予測精度向上を目的としタンクの熱構造モデルを改良することで，タンク壁と液体水素の双方向連成解析を実現した。フライトデータのタンク壁温度を再現することに成功した。

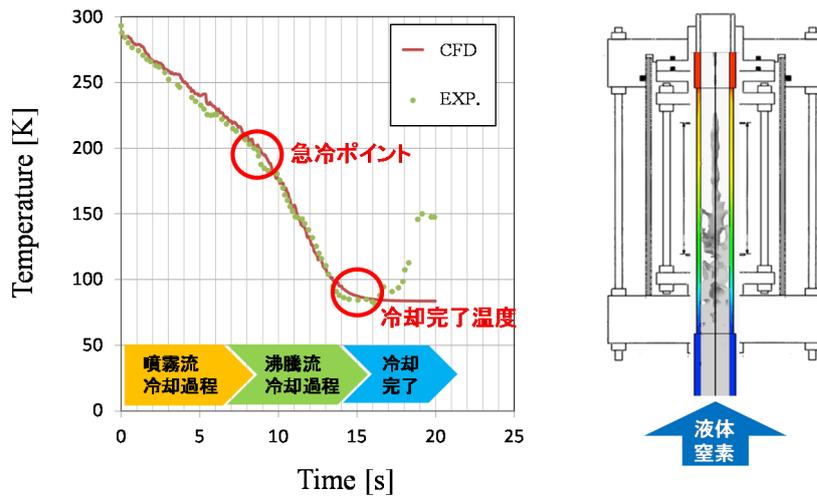


図1 極低温流体による配管冷却過程検証
: Validation result of chill-down process in cryogenic pipeline

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 334時間
 ケース数： 1ケース
 ジョブの並列プロセス数： 12プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： なし
 スレッド並列手法： 自動並列
 利用計算システム： SORA-PP

● **成果の公表状況**

□ 頭発表

- 1) Umemura et al., "Numerical Modeling of Boiling Flow in a Cryogenic Propulsion System" 51st AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Orlando, FL, July 27-29, 2015.

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	522,583.57	149,475.49	2,386.73	5,394.22

67. 惑星大気の対流構造に関する数値的研究

Numerical study of the convection structure in planetary atmospheres

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 PLANET-C, 杉山耕一朗(sugiyama@gfd-dennou.org)

構成員：宇宙科学研究所 PLANET-C, 安藤紘基(hando@ac.jaxa.jp)

● 事業の目的

惑星の対流構造を調べる為の汎用的な数値流体モデル（雲解像モデル）の開発と、その金星大気への適用を進めることで、金星探査機あかつきの観測を支援するための数値モデル基盤を整備することを目的とする。雲解像モデルを用いた数値実験の結果と金星探査機あかつきの観測結果を比較検討することで、金星の対流現象に対する理解の深化に資する。

● 事業の目標

雲解像モデルを整備しつつそれを用いた数値実験を行うことで、金星大気の大規模な対流構造の 3 次元的特徴を議論し、さらに対流起源の重力波が金星大気の運動に及ぼす影響について考察する。本事業の大きな特徴は、金星雲層中の対流運動とそれによって生成される重力波を 1 つの数値モデルの枠組の中で同時に扱うことである。従来の対流構造を調べる数値的研究においては、計算資源の節約のために、計算領域が鉛直水平 2 次元に限定されていた（例えば Baker et al., 1998, 2000; Imamura et al., 2014）。また、従来の重力波研究においては、地球の重力波観測に基づいた経験的なスペクトルがモデルに組み込まれており、重力波の励起から伝播に至るまでの全てを陽に解いているわけではない（例えば, Bougher et al., 2006; Hoshino et al., 2013）。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

対流を表現するに十分な解像度と境界の影響を受けないための広い領域を確保して行うためには、スーパーコンピュータが不可欠である。

● 今年度の成果

昨年ならの継続として、鉛直方向に広い計算領域（高度 35～130 km）を確保した水平鉛直 2 次元の対流計算を行い、対流起源の重力波の性質を調べた。その結果、分散関係を満たすような重力波が正しく再現でき、さらに重力波が碎波する様子をも捉えることができた。次に、3 次元構造を調べるための第一歩として、従来の対流層（高度 40～60 km）に着目した数値的研究（Baker et al., 1998; Imamura et al., 2014）と同様の設定を用いた対流運動の 3 次元計算を行った。図 1 は Imamura et al. (2014) の設定で得られた鉛直速度の水平断面である。得られた上昇流と下降流の大きさは同程度の 2 m/s 程度であり、ベガバルーンによって観測された鉛直流速と同程度であった。我々の結果は従来の 2 次元計算で得られた対流構造の定性的特徴を再現するものであることも確かめられたため、今後は鉛直方向により広い計算領域を確保した 3 次元の対流計算を実行することで、対流起源の重力波の性質を調べる予定である。

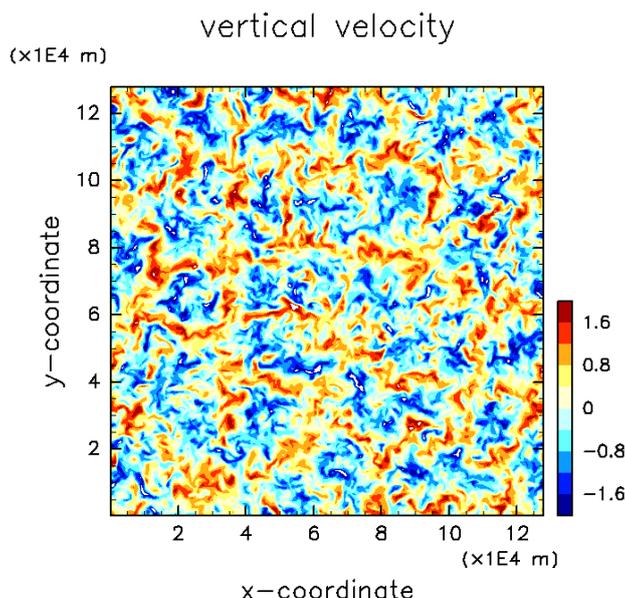


図1 高度 52 km における鉛直速度の水平断面図
: Horizontal cross-section of the vertical velocity at 52 km altitude.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	350時間
ケース数：	1ケース
ジョブの並列プロセス数：	512プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 杉山耕一朗, 川畑拓也, 小高正嗣, 石渡正樹, 中島健介, 今村 剛, 林 祥介, 金星雲層を想定した鉛直対流の3次元数値計算, 日本気象学会 2015 年秋季大会, 2015/11.

その他

- 2) 杉山耕一朗, 川畑拓也, 小高正嗣, 石渡正樹, 中島健介, 今村 剛, 林 祥介, 金星雲層を想定した鉛直対流の3次元数値計算, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2015 年秋季大会, 2015/11 (ポスター発表).
- 3) 安藤紘基, 杉山耕一朗, 小高正嗣, 中島健介, 今村 剛, 林 祥介, 金星重力波の2次元数値実験, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2015 年秋季大会, 2015/11 (ポスター発表).
- 4) 杉山耕一朗, 小高正嗣, 中島健介, 今村 剛, 林 祥介, 金星雲層を想定した鉛直対流の3次元数値計算, 日本惑星科学会 2015 年秋季講演会, 2015/10 (ポスター発表).

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	772,652.60	1,330.60		

68. GPM 全球降水マップのデータ同化手法の研究

Research for data assimilation of satellite global rainfall map

● 事業形態

共同研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：第一宇宙技術部門 地球観測研究センター，中島映至(nakajima.teruyuki@jaxa.jp)

構成員：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)

理化学研究所 計算科学研究機構，三好建正(takemasa.miyoshi@riken.jp)

理化学研究所 計算科学研究機構，小槻峻司(shunji.kotsuki@riken.jp)

理化学研究所 計算科学研究機構，寺崎康児(koji.terasaki@riken.jp)

理化学研究所 計算科学研究機構，八代 尚(h.yashiro@riken.jp)

● 事業の目的

GPM 衛星による降水観測データやその他の衛星観測データを最先端のアンサンブルデータ同化手法により有効活用し，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ことを目指す。

● 事業の目標

全球非静力学大気モデル NICAM に局所アンサンブル変換カルマンフィルタ LETKF を適用した NICAM-LETKF システムを開発し，GPM 衛星を含む複数の地球観測衛星から観測された統合降水プロダクト GSMaP データや，衛星マイクロ波放射計 AMSU-A の輝度温度データを同化することで，数値天気予報を改善する手法を開発する。また，実用化に向けて重要となる長期間安定動作のためのシステム開発を行う。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

NICAM-LETKFシステムによる衛星観測データ同化及び予測計算を行う。

● 今年度の成果

本研究のベースシステムとなるNICAM-LETKFシステムは，これまで「京」を使って開発してきた。今年度下期の事業開始と同時にNICAM-LETKFシステムのFX100への移植作業に取り組み，移植を完了した。

このNICAM-LETKFシステムを使い，複数のデータ同化実験を実施した。衛星降水観測データ GSMaP，及び，衛星マイクロ波放射計AMSU-Aの輝度温度データの同化の効果を調べるため，従来型観測データPREPBUFRのみを同化したコントロール実験（CTRL）に加えて，GSMaPを追加した実験（+GSMaP），AMSU-Aを追加した実験（+AMSU-A），両方を追加した実験（ALL）を実行し，このすべてが3ヶ月間安定して動作することを確認した。これらの実験結果を相互比較し，GSMaPやAMSU-Aデータが解析場の精度を改善することを確認した。解析場とは，データ同化の出力結果であり，予測の追加することによる改善を示しており，降水観測データの同化によって，風や気温など，大気場がトータルに改善する良好な結果が得られた。

実験3ヶ月目の結果を見ると、AMSU-Aの同化によって主に南極周辺の誤差が増えることを確認した。この原因として、LETKFに組み込まれている分散膨張や、輝度温度データの適応型バイアス補正手法などが考えられ、長期間の安定動作のためには更なるシステム開発が必要となることが分かった。

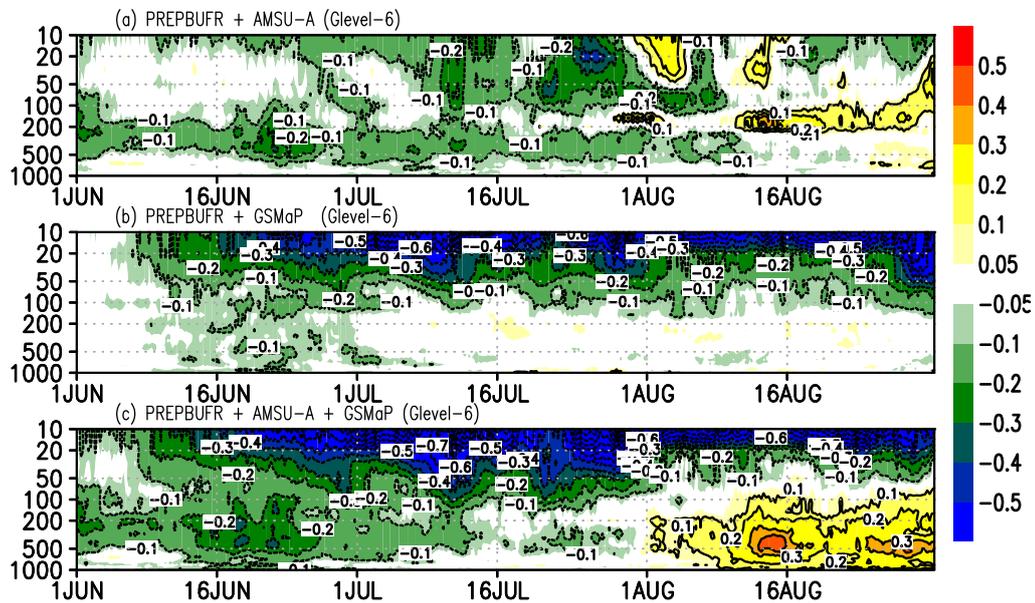


図1 全球平均気温(K)の解析誤差の変化の時系列。縦軸は高度(hPa)を示す。(a) +AMSU-A実験、(b) +GSMaP実験、(c) ALL実験のCTRL実験に対する変化を示す。青は改善、赤は改悪を示す。
: Change in the global-mean temperature analysis errors (K) due to the assimilation of additional GSMaP and AMSU-A data. The ordinate indicates vertical levels (hPa). (a) +AMSU-A, (b) +GSMaP, (c) All experiments relative to CTRL. Blue (Red) corresponds to improvement (degradation).

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	255889コア時間 (3ヶ月サイクル)
ケース数：	23ケース
ジョブの並列プロセス数：	400プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	自動並列
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 寺崎康児, NICAM-LETKFにおける衛星輝度温度及び降水量同化, 第17回非静力学モデルに関するワークショップ, 沖縄, 2015/12/1
- 2) 寺崎康児, NICAM-LETKFの開発状況, NICAM開発者会議, 箱根, 2015/12/7
- 3) Takemasa Miyoshi, Ensemble-based Data Assimilation of TRMM/GPM Precipitation Measurements, JAXA Joint PI Meeting, Tokyo, 2016/1/22
- 4) 三好建正, “全球モデルNICAM及び領域モデルSCALEを使った衛星観測データ同化”, GSMaP及び衛星シミュレータ研究集会, 名古屋, 2016/3/18

その他

- 5) Koji Terasaki, Data assimilation experiments with GSMaP and AMSU-A data using NICAM-LETKF system, JAXA Joint PI meeting, Tokyo, 2016/1/20
- 6) Shunji Kotsuki, K. Terasaki, G-Y. Lien, T. Miyoshi, K. Eugenia, Ensemble Data Assimilation of GSMaP precipitation into the Nonhydrostatic Global Atmospheric Model NICAM, The 6th AICS International Symposium, Kobe, 2016/2/20

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,001,787.08	0.35		

69. GPM/DPR のデータ受信処理におけるスパコン利用

Utilization of JSS2 for GPM/DPR data processing

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：第一宇宙技術部門，下村裕司(shimomura.yuji@jaxa.jp)

構成員：第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，仁尾友美(nio.tomomi@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，齋藤紀男(saitoh.norio00@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，中西 功(nakanishi.isao@jaxa.jp)

第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター，小西利幸(konishi.toshiyuki@jaxa.jp)

富士通株式会社，坂口功治(sakaguchi.koji@jp.fujitsu.com)

富士通株式会社，幸 昭(yuki.akira@jp.fujitsu.com)

富士通株式会社，池内和泉(f3513de@aa.jp.fujitsu.com)

富士通株式会社，北山雄一郎(y-kitayama@jp.fujitsu.com)

富士通株式会社，菊地貴典(kikuchi.taka-01@jp.fujitsu.com)

富士通株式会社，吉田竜也(ps-yosida9308@fap.fujitsu.com)

富士通株式会社，富士越玲子(r.fujikoshi@jp.fujitsu.com)

富士通株式会社，林 寛生(hayashi.hiroo@jp.fujitsu.com)

富士通株式会社，松本哲也(matsumoto.tetsu@jp.fujitsu.com)

● 事業の目的

NASA と共同の熱帯降雨観測衛星「TRMM」による熱帯の降雨量の観測成果を受け継ぎ，全球降水観測計画（GPM）では観測範囲を高緯度まで広げ，より高精度，高頻度の観測を目指す。

GPM は二周波降水レーダー（DPR: Dual-frequency Precipitation Radar）とマイクロ波放射計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とからなる大規模な観測計画である。

● 事業の目標

淡水資源の源である降雨について，約 3 時間毎の全球観測を可能とし，温暖化や気候の変化により影響される地球上の水の循環を地球上で継続的に把握することで，大雨や旱魃等の異常気象の予測や対策の技術を向上させる。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

大量のデータ(TRMM 17年分，GPM 2014年2月の打上げからの経過期間)を，最新アルゴリズムにより高速再処理を行いユーザに提供する事で，研究の短期間での高度化に貢献できる。

● 今年度の成果

- a. JSS2 上で再処理を実施する事により, TKSC 上の処理と比較し約 13 倍の処理速度向上が期待できる結果となった.
- b. 調布設置の JSS2 と筑波設置のミッション運用系システムとの連携機能を構築し, また, ワークフロー制御機能の GPM/TRMM 対応を完了し, 来年度以降の大規模な再処理を効率よく実施できる環境が整った.

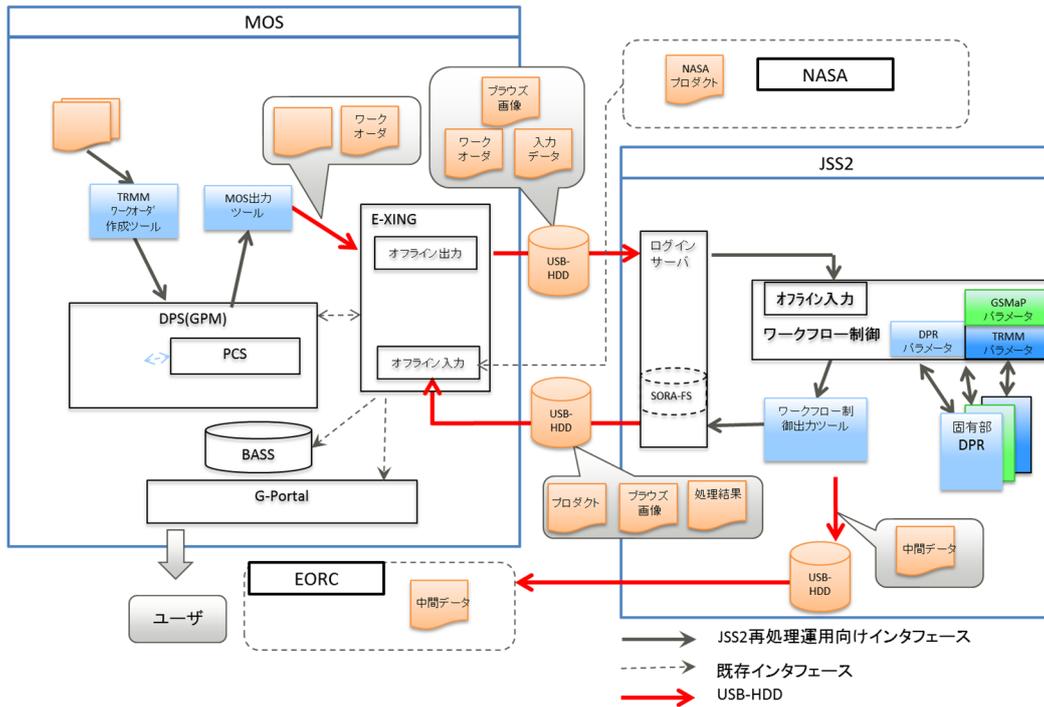


図 1 JSS2 と TKSC/GPM 設備との連携
: Interface between JSS2 and the GPM Ground System at TKSC

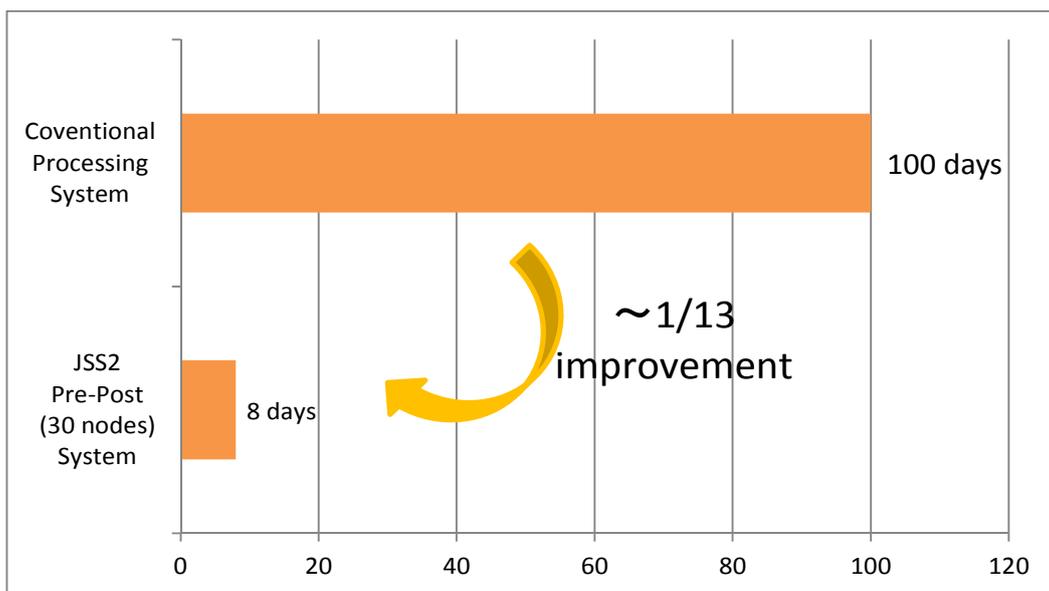


図 2 GPM/DPR の再処理時間見積り
: GPM/DPR Re-processing Time (Estimated)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	1日間～3日間，断続的に実施
ケース数：	6ケース
ジョブの並列プロセス数：	20プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	なし
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況**査読付論文**

- 1) 宇宙航空研究開発機構研究開発報告「宇宙科学情報解析論文誌 第六号」に掲載予定

口頭発表

- 2) 齋藤紀男, 中西 功, 上田陽子, 田中 誠, 仁尾友美, 小西利幸 (JAXA第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター), 井口 茂 (日本電気株式会社), 早坂英俊 (日本電気航空宇宙システム株式会社), 井上 淳一, 鳥居雅也 (富士通株式会社)「地球観測衛星データ処理におけるJAXAスパコン活用の効果検証」平成27年度 宇宙科学情報解析シンポジウム Feb. 2016.
- 3) “For Improving Research into Global Changes by Quick Delivery of Observation Data From Outer Space”, SC15, Nov. 2015

その他

- 4) JSS2 パンフレット 2016年版への成果掲載
- 5) ポスター発表：Isao NAKANISHI, Norio SAITO, Makoto TANAKA, Yoko UEDA, Toshiyuki KONISHI, Tomomi NIO “Verification of Extreme Time Reduction for EO Satellite Data Re-processing with Supercomputer”, Joint PI Meeting of Global Environment Observation Mission 2015, Jan.2016

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	10,913.34	60,664.94		0.03

70. H3 プロジェクト支援の射点音響計算

Aeroacoustic simulation of launch configurations for supporting H3 project

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第三研究ユニット，嶋 英志(shima.eiji@jaxa.jp)

構成員：研究開発部門 第三研究ユニット，堤 誠司(tsutsumi.seiji@jaxa.jp)

研究開発部門 第三研究ユニット，芳賀臣紀(haga.takanori@jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，前川友樹(maekawa.yuuki@jaxa.jp)

● 事業の目的

ロケットエンジンのクラスタ化をモデル化したコールドジェット試験を対象に，音響環境の定量的な予測を行い，ジェットの干渉効果を明らかにする．またクラスタ化の配置パターンについて音響レベル低減の指針を得る．

● 事業の目標

液体ロケットエンジン 3 基をクラスタにする H3 の打上げ形態では，従来の半経験モデル(NASA SP-8072)をもとにすると液ロ 1 基の場合と比較してリフトオフ時音響レベルが 4.7dB 増加すると評価されている．一方，コールドジェット試験では主要な音源に対してほとんど音響レベルが増加しないことが観察されている．試験に対応する CFD 解析を行うことにより，1)解析コードの定量的な検証，および 2)クラスタジェットの干渉効果の解明を目標とする．

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

ロケットエンジンノズルから噴出される超音速ジェットの音響レベルを定量的に評価するためには，音源解析のLESおよび遠方場に伝搬する圧力の大規模非定常データを処理する必要がある．本解析では，クラスタ化したエンジンノズル3基のフル3次元計算を行うため，計算規模もほぼ比例するため（約3倍，総格子点数：約2億4千万点），目標達成のためには高性能スパコンの利用が不可欠である．

● 今年度の成果

第三研究ユニットで新規開発した，高次精度非構造FR（Flux Reconstruction）法に基づくLS-FLOW-HOコードを適用した．実験を再現する3基クラスタのジェット音響解析に成功し，音響レベルが増大しない現象の理解が進んでおり，設計要求を満たすために必要な散水設備を削減できる可能性が見えた．

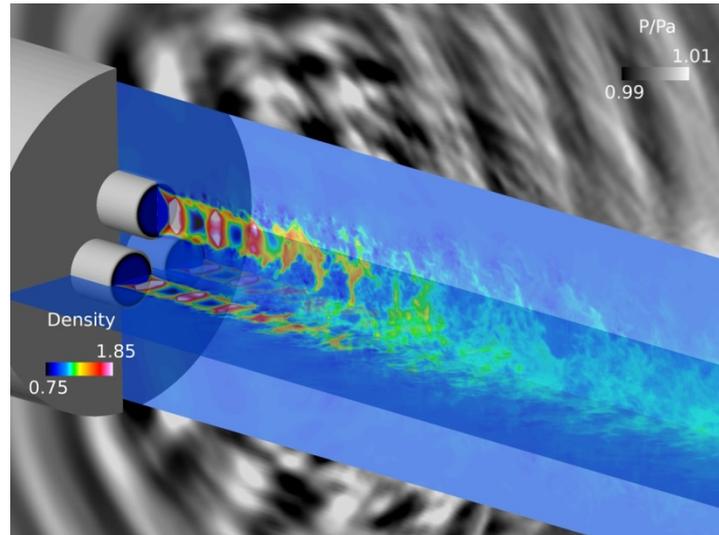


図1 3基クラスタジェットの密度場と圧力場
: Density and pressure distribution of the clustered 3 supersonic jets

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	240時間
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	256プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	8コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

その他

- 1) H3プロジェクトへ解析結果資料を報告

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	5,538,470.17	9,018.71		

71. LE-9 エンジン OTP タービンの開発

Development of OTP in LE-9 Engine

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 推進技術研究ユニット，賀澤順一(kazawa.junichi@jaxa.jp)

● 事業の目的

信頼性が高く，高性能なロケット用ターボポンプ内タービンの設計

● 事業の目標

静動翼列干渉による強制外力での振動が想定範囲内であることを全周全段の数値解析を用いて確認する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

全周全段の解析は5億点以上の格子点数を必要とし，計算自体がスパコンを利用しないと実施不可能。

● 今年度の成果

設計上の条件において計算を実施し，翼面にかかる静圧の時間履歴を提供した。

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	2200時間
ケース数：	1ケース
ジョブの並列プロセス数：	200プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	8コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	自動並列
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	4,622,989.23	8,181.19	9.75	

72. 高速流体ソルバ FaSTAR を用いた RLG 形状に対する非定常空力解析

Analysis of Unsteady Aerodynamics of Rudimentary Landing Gear Using Fast Unstructured-Grid Flow Solver FaSTAR

● 事業形態

その他（技術研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松尾裕一(matsuo.yuichi@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，村上桂一(murakami.keiichi@jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット 技術研修生，松井勇樹(yamatsui@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

非構造格子ソルバを対象に，数値粘性のない中心差分を用いて風上差分による数値粘性を抑制し，解の減衰を抑えることで解像度を向上させ，空力騒音を高解像度に予測できる手法の構築を目的とする。

● 事業の目標

数値流束計算を中心差分ベースで行い，wiggle detector による不連続面検知手法と衝撃波センサーによる衝撃波面検知手法を用いて，中心差分では解けない不連続面のみ風上差分を行うことで，数値粘性による解の減衰を低減させ，解の解像度を向上させる Hybrid Scheme を FaSTR に導入し，検証計算を行って知見を得る。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

複雑な形状で大規模な計算格子を用い，限られた研修期間の中で，非定常解析を実施するためには，スパコン利用が必要不可欠であった。

● 今年度の成果

非構造格子CFDソルバFaSTARは，RLG形状RANS計算において同様の乱流モデルやスキームを用いた場合，構造格子CFDソルバUPACSと同程度の結果を得ることができていることが分かった。

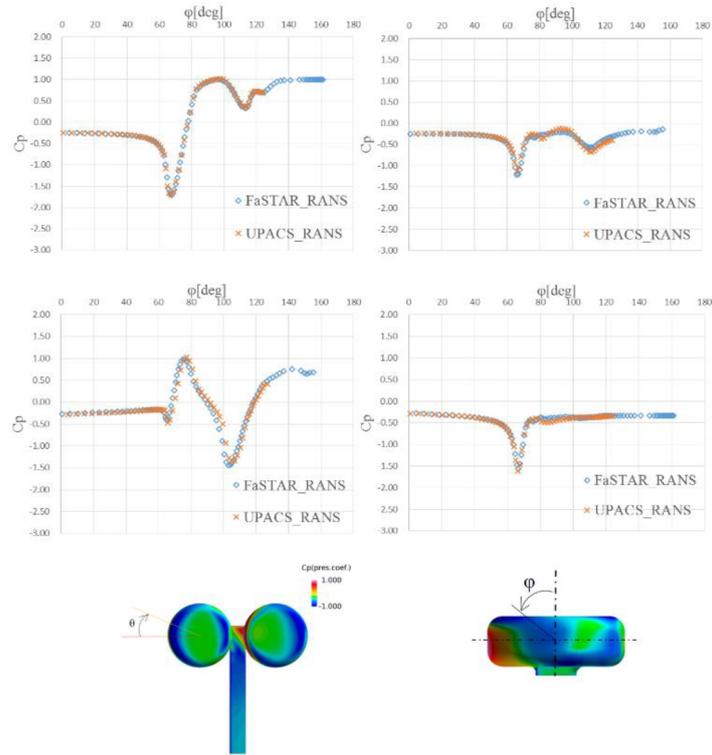


図1 RLGの表面圧力分布
: Surface Presser Distribution of RLG

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 50時間
 ケース数：
 ジョブの並列プロセス数： 32プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： OpenMP
 利用計算システム： SORA-MA, SORA-PP

● **成果の公表状況**

口頭発表

- 1) 松井勇樹, 石田 崇, 青山剛史, 山本 誠, 守 裕也, 高速流体ソルバFaSTAR を用いたRLG 形状に対する非定常空力解析, 第29回数値流体力学シンポジウム, 講演番号B05-4

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	986,696.53	10,803.42	305.90	

73. 航空宇宙機内部音響環境改善のための音響解析技術の研究

Study on Acoustic Analysis Techniques to Improve Aerospace Interior Acoustic Environment

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，高橋 孝(takahashi.takashi@jaxa.jp)
 構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，金森正史(kanamori.masashi@jaxa.jp)
 航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，大道勇哉(ohmichi.yuya@jaxa.jp)
 東海大学，東 貴弘(thigashi@chofu.jaxa.jp)
 株式会社菱友システムズ，金谷崇史(tkanatan@chofu.jaxa.jp)
 株式会社菱友システムズ，武田寿人(htakeda@chofu.jaxa.jp)
 首都大学東京，大久保寛(kanne@tmu.ac.jp)

● 事業の目的

国産旅客機開発メーカーも，国際競争力強化のために機内騒音低減が必要であると考えている。また，輸送本部は，新型基幹ロケットのフェアリング内音響環境に関して，国際競争力を高めるためにも既存ロケットに比べ低減するという目標を掲げている。上記ニーズに答え，航空機機内騒音環境，及びフェアリング内音響環境を改善することを目的とする。

● 事業の目標

上記目的を実現するために必要不可欠な技術として，非定常 CFD 計算と比して格段の高速性を有し，音響低減の初期検討や設計時に活用可能な実用的音源/遠方場伝播予測技術，及び既存手法（有限要素法や統計的エネルギー法）では解析ができない中間周波数帯へ解析範囲拡大可能な透過振動・減音予測技術を高度化（高速化，高精度化等）する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

高速な音源・伝播解析手法を構築する上では，検証用の詳細なCFD解析が必要となる。また，開発された音響伝播解は，D-SENDプロジェクト等の支援として超音速機にも利用できるが，機体近傍の圧力波形の推算は，比較的簡単な形状と言えど計算負荷は高い。実際，機体から離れた場所における微弱な圧力波形を推算するためには，十分に細かい格子が必要になり，その結果解析は大規模にならざるを得ず，スーパーコンピュータを使った解析を実施しない限り，実験と対応する結果を得ることは不可能である。

● 今年度の成果

LES等の高精度解析手法を凌ぐ高速な音源解析技術については，統計的音源再構築法と音響アナロジーの組み合わせによる噴流騒音解析の研究を行った。今年度は統計的音源再構築法に含まれる幾つかの調整用パラメータを変更した解析を行い，パラメータによる様々な物理量の変化とその騒音予測値への

影響を調べた。その結果、統計的音源再構築法が生成する乱流場が満たすべき性質について、重要な示唆が得られた。図1は、再構築した音源から生じる噴流周りの圧力分布の1例である。

遠方場伝播予測技術については、CFD等と比較して非常に高速に予測可能な非線形音響伝播予測技術に関する研究を行った。具体的には、音源から観測点への1方向的な伝播のみを扱う近似手法であるHAWARD法を実装したツール(SPnoise)を開発し、本年度は、本ツールのVerificationと適用範囲の確認を行った。図2は、適用範囲の確認として、典型的なN波の大気乱流効果を本ツールにて推算し、定性的な傾向が再現されることを確認したものである。N波に見られる典型的な波形の歪を再現し、理論解による変動領域とも整合していることが確認できた。

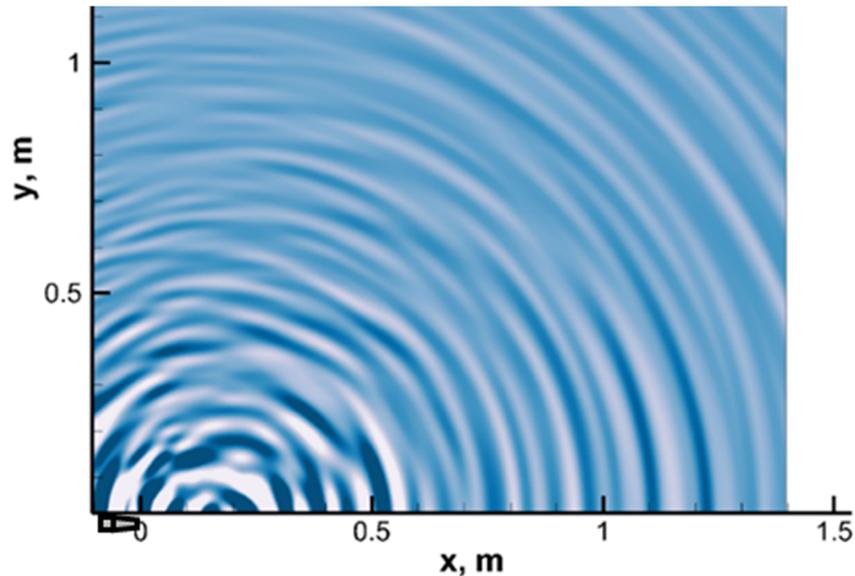


図1 噴流周りの圧力分布
: Pressure distribution around a jet

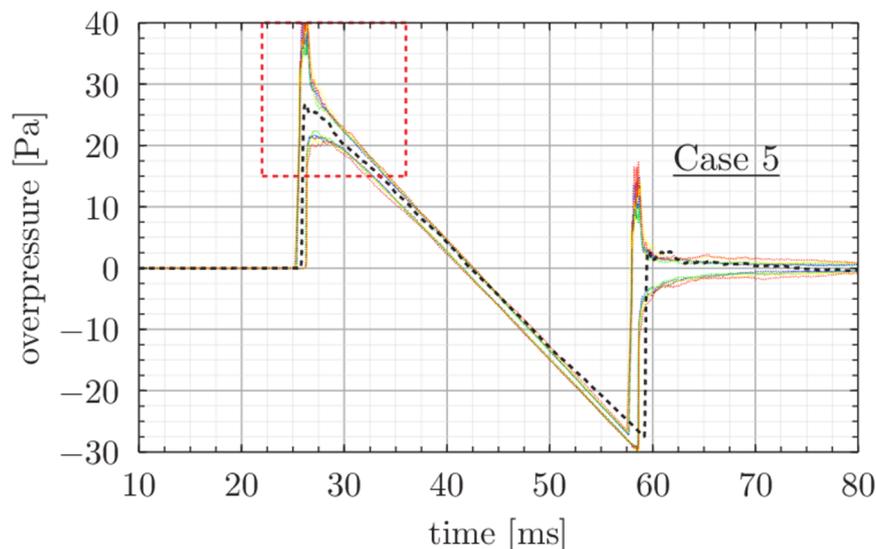


図2 大気乱流効果によるN波の変形
: Distortion N-wave by atmospheric turbulence

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	5.5時間
ケース数：	約50ケース
ジョブの並列プロセス数：	1プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	12コア
プロセス並列手法：	なし
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) M. Kanamori, T. Takahashi, and Y. Makino, Effect of Low-Boom Waveform on Transition Focus Boom Using Lossy Nonlinear Tricomi Equation Analysis, AIAA Journal. (投稿中)
- 2) M. Kanamori, T. Takahashi, and T. Aoyama, Development of Nonlinear Acoustic Propagation Analysis Tool toward Realization of Loud Noise Environment in Aeronautics, Proc. of the 20th International Symposium on Nonlinear Acoustics, Lyon, France, 2015.

口頭発表

- 3) 金森, 高橋, 牧野, 中, ソニックブームに及ぼす大気乱流効果の数値的評価, 第53回飛行機シンポジウム, 松山, 2015.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	424,646.46	72,293.42	79,670.48	

74. 高負荷数値シミュレーション高速化の研究

Study of high load numerical simulation tuning

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松尾裕一(matsuo@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，藤田直行(fujita@chofu.jaxa.jp)

伊藤正勝(itoh.masakatsu@jaxa.jp)

宮島敬明(miyajima.takaaki@jaxa.jp)

● 事業の目的

並列処理機構が階層構造化している現代の複雑な計算機において，効率的なプログラミングやチューニングを行えるための手法の提示や体系化を行うとともに，CFDに加えて，波動ベース法，PIC法等の新たな計算手法の高速化手段を提示することにより，コーディングだけでは達成できない数値解析の高速化やスパコン等の設備利用の能率向上に資する。

● 事業の目標

- 高負荷サブルーチンが，マルチコア／メニーコア技術の演算器上で，現状の演算器稼働率(10%程度)以上で実行される。
- 並列計算機のプログラミング指針（チューニング指針やプログラミングスタイル）を提示し，プログラマーのチューニング作業に対する負担感を軽減させる。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

- 研究の対象をワークステーション単体や小規模クラスタに留めず，スーパーコンピュータのような大規模なシステムまで含められるようにするための，実体環境としての役割を果たす。
- プラズマコードMPSのスケラビリティを測定した。粒子系シミュレーションはバンド幅ボトルネックなため，色々なプロセス，ノードで計測することが出来，とても良かった。MPI並列での通信時間の測定が，机上の計算ではなく実際に行えた。

● 今年度の成果

- ソルバの高負荷処理のコード分析を行い，原因をランダムアクセスと特定。また，当該処理をGPU化し，一部の処理で3倍以上の高速化を達成した。
- 粒子系シミュレーションのスケラビリティの測定を行い，ボトルネックを特定，今後の研究ターゲットを明確にすることができた。また，JSS2の提供する最新の計算環境で，以前予想していたものとは異なるボトルネックを発見することができた。
- 上記2つの成果を公表することができた。

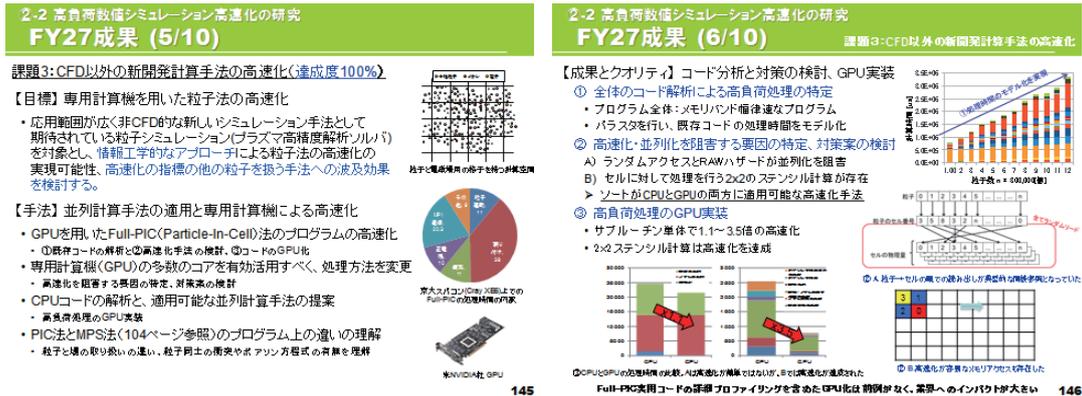


図1 専用計算機による高速化
: Tuning by Accelerator

【計算情報】

- 1ケースあたりの経過時間： 0.5～5時間
- ケース数： 各1ケース
- ジョブの並列プロセス数： 2～32プロセス
- プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 12コア (2ノード1プロセス～16ノード×2プロセス)
- プロセス並列手法： MPI
- スレッド並列手法： なし
- 利用計算システム： SORA-PP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 2015年12月1日, CPSY研究会, “GPUをもちいたホールスラスト・シミュレーションの割り付け処理の高速化の検討”, 宮島敬明, 張科寅, 藤田直行
- 2) 2016年3月10日, 情報処理学会第78回全国大会, “Particle-In-Cell法のGPUへの移植”, 宮島敬明, 張科寅, 藤田直行
- 3) 2016年6月6日(予定), HPCS2016ポスター, “ParMETISと双方向リストによる動的領域分割とメモリ削減手法のMPS法への適用”, 宮島敬明, 窪田健一, 村上桂一, 藤田直行

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		13,074.78		

75. 高レイノルズ数乱流噴流における微細スケールスカラー混合過程の解明

Investigation on Small-scale Scalar Mixing in High Reynolds Number Turbulent Jets

● 事業形態

科研費

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松山新吾(smatsu@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

本研究では、DNS および高解像度の陰的 LES によりスカラー混合を伴う乱流噴流の解析を行い、とりわけ、高レイノルズ数条件において、微細スケールの乱流スカラー混合がマクロな混合過程に果たす役割を明らかにする。本研究の成果により、直接的には、微細スケールで起こる乱流スカラー混合過程の理解をもたらす。さらに物理過程への理解が進むことで、高レイノルズ数乱流におけるスカラー混合の SGS モデリングの改善に寄与することを目的とする。

● 事業の目標

本研究では、スカラー混合を伴う平面乱流噴流に対してレイノルズ数 $Re = 3000 \sim 3 \times 10^4$ の条件について乱流解析を実施する。少なくとも $Re = 3000, 10^4, 3 \times 10^4$ の条件について解析を実施することで乱流スカラー混合における Re への依存性を評価する。さらに、マクロな混合過程への影響が無くなる閾値となる乱流微細スケール（このスケールよりも微細な乱流は噴流のマクロな混合過程に影響しない）を評価する。具体的には、解析データに対してフィルタリングを施すことでサブグリッドスケール (SGS) でのスカラーフラックスを評価し、グリッドスケール (GS) フラックスとの定量的な比較を行う。フィルタ幅を変化させながら SGS フラックスが GS フラックスに対して何%になるのかを評価していく、SGS フラックスの寄与が無視できるほど小さくなるスケールを明らかにする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

マクロな混合過程への影響が無くなる閾値の乱流微細スケールを明らかにするためには、高レイノルズ数条件について DNS などの乱流解析による統計データが必要となるが、過去に実施された平面乱流噴流の DNS は最大でも $Re = 6000$ までであり、既存研究の結果から得られる知見は限定的である。それ以上のレイノルズ数、本研究で目指すような $Re > 10^4$ 以上の高レイノルズ数条件で DNS を実施するには数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

$Re = 3000$ および 10000 での DNS 解析を実施した。 $Re = 3000$ の条件について、空間精度を 5, 7, 9 次精度で変化させ解析結果への影響を評価した。 $Re = 10000$ の条件では空間 7 次精度で 3 億点の計算格子により DNS を実施した。過去の実験データとの比較により、レイノルズ数への依存性が正しく再現されていることを確認した。

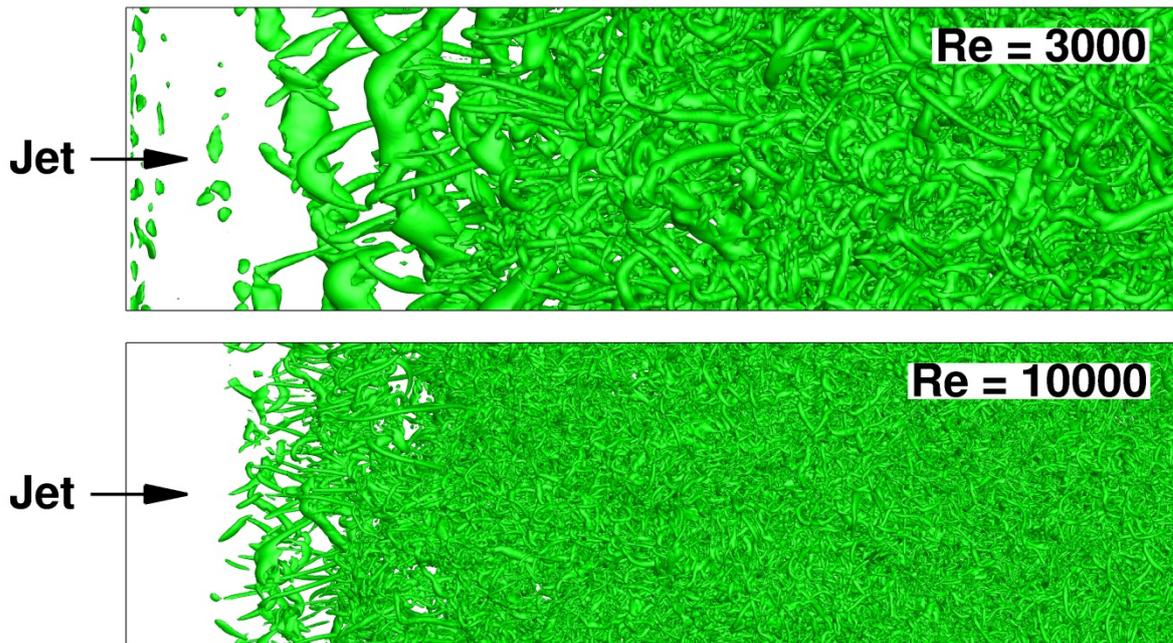


図1 Re = 3000 および 10000 での DNS による第二不変量の等値面
: Top view of positive Q criteria for the DNSs at Re = 3000 and 10000.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	200~600時間
ケース数 :	10ケース
ジョブの並列プロセス数 :	286プロセス (36 もしくは 72ノード)
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	4 もしくは 8コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) S. Matsuyama, "Implicit Large-Eddy Simulation of a Turbulent Plane Jet with Scalar Mixing," preparing for submission to AIAA Journal.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,723,211.73			

76. 極超音速域の化学反応流における数値的研究

Numerical Study of Chemical Reaction in Hypersonic

● 事業形態

その他（技術研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松尾裕一(matsuo.yuichi@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，村上桂一(murakei@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット 技術研修生，高橋航平(tkohei@chofo.jaxa.jp)

● 事業の目的

- 化学反応発生時の空力加熱率高精度推算
- 空力及び空力加熱を考慮した再使用型宇宙往還機の形状提案

● 事業の目標

- 既存の反応流モデルにデータ同化手法を用い、高精度な反応流モデルの構築
- 大域的最適化手法EGOを用いた、大気圏再突入時における設計情報の構築

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

風洞実験では通風出来ない条件下での数値計算及び、流れ場における空気組成の可視化等による現象の把握

● 今年度の成果

- 高高度(80km)・高マッハ数(M=21.8)における基本形状での反応流計算を行い、多種の化学反応モデルによる調査を行った。(温度モデル4つ×化学種化学反応パターン2つ×移流項スキーム5つの計40ケース)

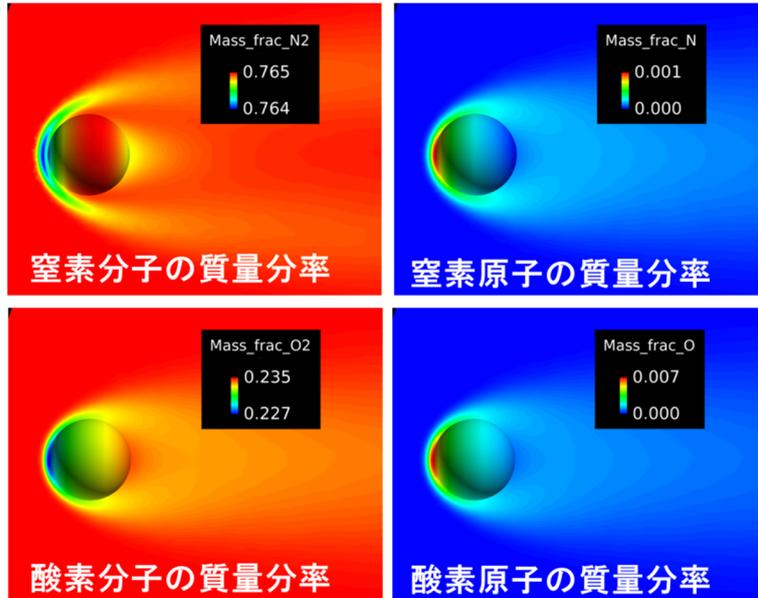


図1 4温度モデルにおける球体周りの化学組成の流れ場の様子
: Flow Field around sphere in Four Temperature model

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	8時間
ケース数 :	40ケース
ジョブの並列プロセス数 :	120プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	12コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-PP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 「極超音速流計算における化学反応モデル依存性調査」学内研究発表

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		23,740.95		

77. 再突入カプセルの遷音速不安定に関する研究

Study on the Unstable Transonic of the re-entry capsule

● 事業形態

その他（技術研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：首都大学東京大学院，森上群平(gmori@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

再突入カプセル遷音速不安定の現象解明に向けた，カプセルまわりの組織構造解明。

● 事業の目標

再突入カプセルまわりの渦構造の解明。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

非定常の大容量計算の計算コスト・時間の削減。

● 今年度の成果

再突入カプセルまわりの非定常計算結果に固有直交分解を適用し，カプセル背後の組織構造を解明した。

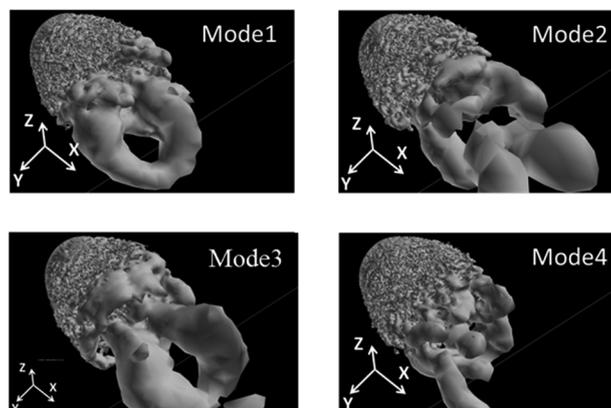


図1 カプセル周りの速度勾配テンソルの第二不変量の等値面
固有直交分解適用後エネルギー寄与度上位4Mode
: Isosurface of the Q -value of around capsule

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 2～3週間
 ケース数： 4ケース
 ジョブの並列プロセス数： 256プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 12コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： OpenMP
 利用計算システム： SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況**査読なし論文**

- 1) 森上群平, 金崎雅博, 大道勇哉, 石向桂一, HTV-R再突入カプセル周りにおける非定常空力の組織構造解明に向けた固有直交分解法の適用, 日本航空宇宙学会北部支部, 2016.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	27,180.29	8,866.16	2,130.48	

78. 擾乱場重畳による URANS 解析の 遷音速バフエット予測精度向上に関する研究

Study for Improving Prediction Capability of
Transonic Buffet Using Unsteady Perturbed RANS Simulation

● 事業形態

共同研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：東北大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻，熊田健太(kumada@cfm.mech.tohoku.ac.jp)

東北大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻，澤田恵介(sawada@cfm.mech.tohoku.ac.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，橋本 敦(ahashi@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

計算時間が短く実用性の高い遷音速バフエット数値予測技術を構築する。

● 事業の目標

数値的擾乱を付加した URANS 解析による遷音速バフエット閾値予測手法構築と検証を行う。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

数値擾乱を加えたURANSシミュレーションでNASA CRM主翼の遷音速バフエット閾値予測能力を検証するには非定常NS計算を複数のケースに対して実施することが求められる。これより本事業を効率的に実施して成果を得るためにスパコンを利用する。

● 今年度の成果

翼周りの3次元URANS解析では、数値擾乱を重畳させると衝撃波振動を生じ、遷音速バフエット開始点予測が可能であることが示された。特に、NASA-CRMのバフエット開始点予測では風洞試験結果と良い一致を得た。

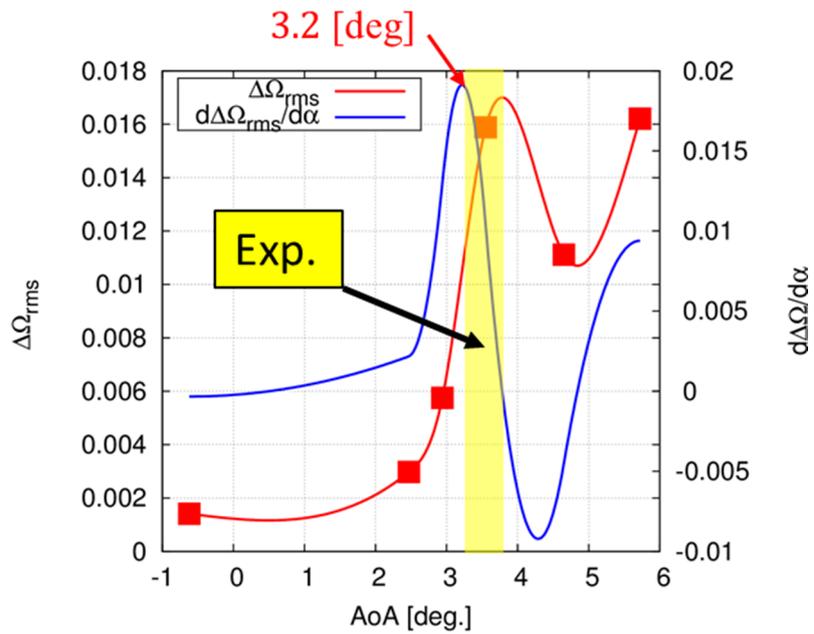


図1 剥離面積変動による閾値予測
: Onset prediction based on the temporal variation of surface area in separation region.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 60時間
 ケース数： 6ケース
 ジョブの並列プロセス数： 128プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： OpenMP
 利用計算システム： SORA-MA

● **成果の公表状況**

査読なし論文

- 1) Kenta Kumada and Keisuke Sawada, "Improvement in prediction capability of Transonic Buffet on NASA-CRM Using URANS," AIAA Paper 2016-1346, 2016.

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	233,893.94	0.01		

79. 遷音速用第2制限関数による高解像度・高効率 CFD 手法

Transonic a posteriori Limiters towards High Resolution and Efficient Flow Computations

● 事業形態

共同研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，橋本 敦(ahashi@chofu.jaxa.jp)

横浜国立大学大学院 工学研究院，北村圭一(kitamura@ynu.jp)

横浜国立大学 理工学部，青柿拓也(aogaki-takuya-rf@ynu.jp)

● 事業の目的

遷音速バフエットに代表される非定常空力現象を精度良く解析するための手法を提案する。

● 事業の目標

上記手法を提案し，社会で幅広く使っていただく。これにより，航空宇宙分野に関連する数値解析技術を向上させるだけでなく，これを社会へ普及させる。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

新しい流体計算手法（ポストリミタ）を考案し，JAXA開発の圧縮性流体解析コードFaSTARに組み込んだ。この実用計算における課題を明らかにするために，航空機周りの大規模非定常計算をJSS2を用いて行った。

● 今年度の成果

上記の計算の結果，大規模実用計算において部分的に含まれる滑らかでないセル（計算格子）において計算が不安定化してしまう事が判明した。

これにより今後の課題として，セル形状を考慮した改良を手法に加えるべきである事が分かった。

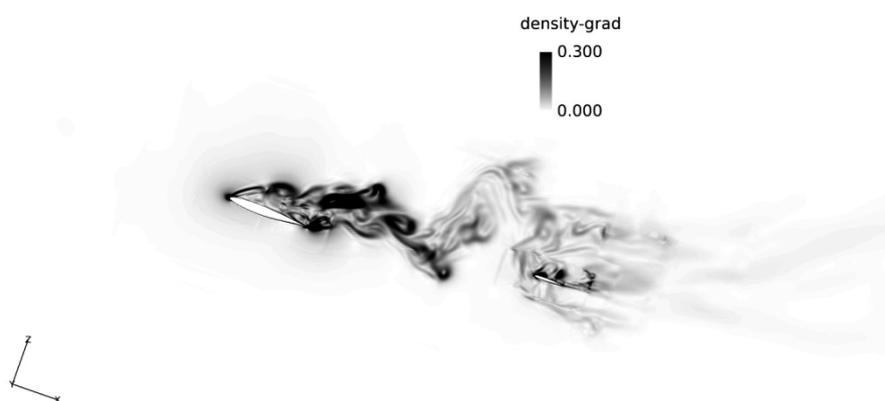


図1 密度勾配
: Density gradient

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 5時間
 ケース数： 3ケース
 ジョブの並列プロセス数： 512プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-MA

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	41,125.40			

80. 燃焼器設計フロントローディングのためのシミュレーション技術の研究

Research of simulation technology for frontloading of combustor design

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松尾裕一(matsuo@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，溝渕泰寛(mizo@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，阿部浩幸(habe@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，南部太介(nambu@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松山新吾(smatsu@chofu.jaxa.jp)

株式会社数値フローデザイン，岡部壮志(okabet@nufd.jp)

株式会社菱友システムズ，菱田 学(nakam@chofu.jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，安田章悟(MANABU_HISHIDA@mail.ryoyu.co.jp)

株式会社菱友システムズ，八百寛樹(hiroki@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

液体微粒化，乱流，燃焼などの現象解明およびモデリングにより，実行可能な計算時間，計算精度での燃焼器解析を実現する。

● 事業の目標

液体燃料微粒化，剥離乱流境界層などについての現象を理解しモデル化する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

大規模詳細数値解析の計算エンジン。

● 今年度の成果

噴流壁面衝突解析を実施し，壁面衝突により噴流が液膜へと変化する過程を捉えることに成功した。

DNS データを用いた剥離流対応 RANS モデル ($k-\epsilon$ モデル) の開発を実施し，乱流エネルギーをベースとした新たな壁面モデル関数を導入することにより，剥離乱流境界層の剥離点の予測が可能となった。

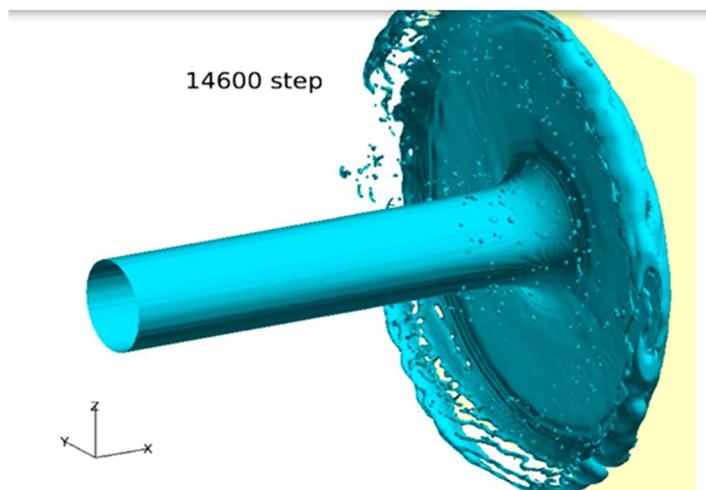


図1 壁面衝突による液膜の形成
: Formation of liquid film by wall impingement

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	2000時間
ケース数 :	20ケース
ジョブの並列プロセス数 :	192プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	Flat-MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA

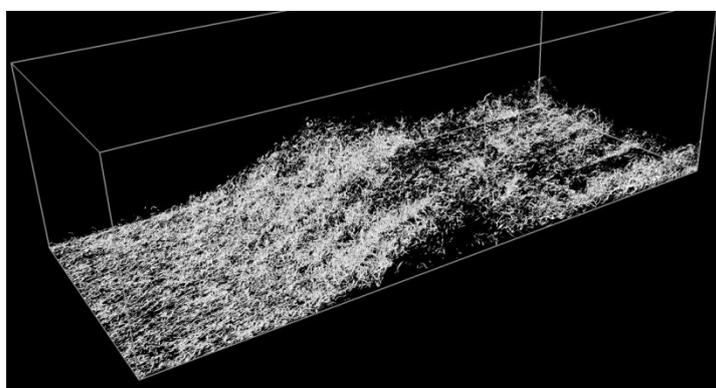


図2 剥離乱流 DNS の渦構造
: Vortical structures observed in DNS of a separated turbulent boundary layer.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	2000時間
ケース数 :	3ケース
ジョブの並列プロセス数 :	120プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	8コア
プロセス並列手法 :	XPFortan
スレッド並列手法 :	自動並列+OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) 阿部浩幸, 溝渕泰寛, 松尾裕一, “剥離乱流境界層への適用を念頭においたk-εモデルの開発：壁面モデル関数の検討,” 日本流体力学会年会2015講演論文集 (2015年9月26日～28日, 東京工業大学), (CD-ROM).
- 2) 阿部浩幸, 溝渕泰寛, 松尾裕一, Philippe R. Spalart, “剥離・再付着を伴う乱流境界層のDNS：レイノルズ応力の収支の解析,” 第93期日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (2015年11月7日～8日, 東京理科大学), (CD-ROM).
- 3) Hiroyuki Abe, Yasuhiro Mizobuchi, Yuichi Matsuo and Philippe R. Spalart, " Direct numerical simulations of a turbulent separation bubble over a wide Reynolds-number range," Bulletin of the American Physical Society 68th Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics (Boston, MA, November 22-24, 2015), Vol. 60, No. 21, p. 360.
- 4) 阿部浩幸, 溝渕泰寛, 松尾裕一, “剥離乱流境界層のDNSとモデリング,” 第31回生研TSFDシンポジウム講演論文集 (2016年3月9日, 東京大学生産技術研究所), pp 6-12.5.

口頭発表

- 5) 溝渕泰寛, 竹野忠夫, “水素空気ブンゼン火炎の詳細構造解析” 第53回燃焼シンポジウム.

その他

- 6) 航空宇宙学会論文賞受賞 ” One-dimensional H₂/O₂ counter-flow diffusion flame simulation for flamelet table construction at supercritical pressure”

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	17,507,347.79	170,912.68	105.55	

81. 飛翔体の表面圧力・温度分布シミュレーション

The simulation of pressure and temperature surface distribution of free flight object.

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ，守田克彰(morita.katsuaki@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ 研修生，呉屋英樹

● 事業の目的

PSP・TSPによる圧力・温度分布計測法の開発.

● 事業の目標

自由に飛翔している物体の表面圧力・温度分布計測を行う.

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

実験による計測値とスパコンによるシミュレーション結果との比較により，計測結果の信頼性を確かめた.

● 今年度の成果

定常状態における飛翔体の表面圧力・温度分布の数値シミュレーションを行った.

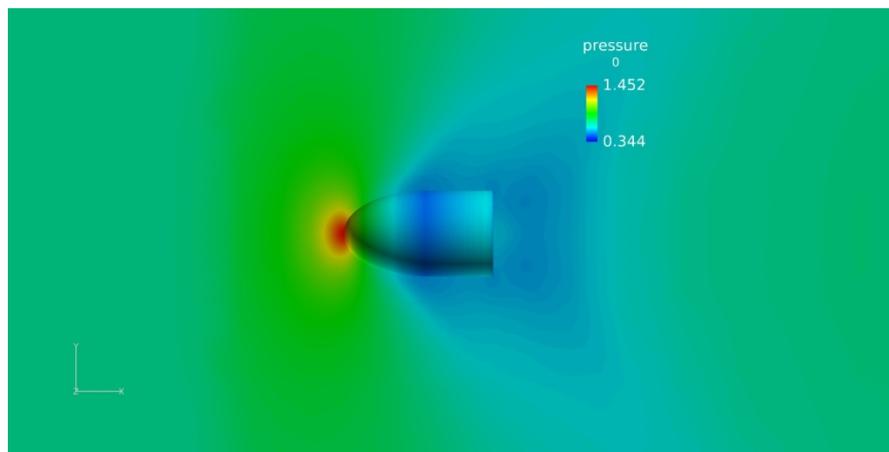


図1 FaSTAR を用いた飛翔体の表面圧力分布の計算結果 (360m/s)
: Calculation results of the surface pressure distribution of the free flight object using FaSTAR (360m/s)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 10時間
 ケース数： 5ケース
 ジョブの並列プロセス数： 12プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 12コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： なし
 利用計算システム： SORA-PP

● 成果の公表状況**査読なし論文**

- 1) 電気通信大学大学院情報理工学研究科知能機械工学専攻平成27年度修士論文「非定常面計測システムを用いた飛翔体の圧力・温度分布計測の改良」

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	0.19	3,360.76	809.85	

82. 複雑形状を反映した惑星表層温度シミュレーションに関する研究

Thermo physical simulation of asteroid with complicated surface geometries

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所，田中 智(tanaka@planeta.sci.isas.jaxa.jp)

構成員：東京大学大学院 宇宙科学研究所，滝田 隼(takita@planeta.sci.isas.jaxa.jp)

● 事業の目的

はやぶさ2 探査機に搭載された中間赤外カメラで取得される見込みの小惑星Ryuguの表面温度から，表面物質の物性に関する情報を引き出す際に必要となる熱モデルを構築し，早期にモデリングに係る問題点を明らかにして本番の解析に備える。

● 事業の目標

小惑星全球形状のデータを用いた一連の熱計算の実施(昨年度は特定領域に限定した計算)。
ソフトウェアに適する並列モデルの選定のための，パフォーマンスに関する情報の取得。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

空間解像度が高い地形モデルを使う場合は，差分グリッド数が数千万から数十億程度に達するため，特に熱拡散現象を明示的に扱うにはHPC環境が有用である。また，天体表面に生じる特有の影領域の生成処理において，速度面の問題を解決する点で資すると思われる。

● 今年度の成果

小惑星表面を構成するすべてのメッシュを同時に考慮した形で，1 自転における温度分布の時間変化を追跡することができた。このとき，フラット並列モデルに比べ，ハイブリッドモデルにおいて有意な速度向上が見られた。ただし，特に MA システムではプロセス数やスレッド数を単純に増やしても期待されるほど性能が出ない現象がしばしば見受けられた。

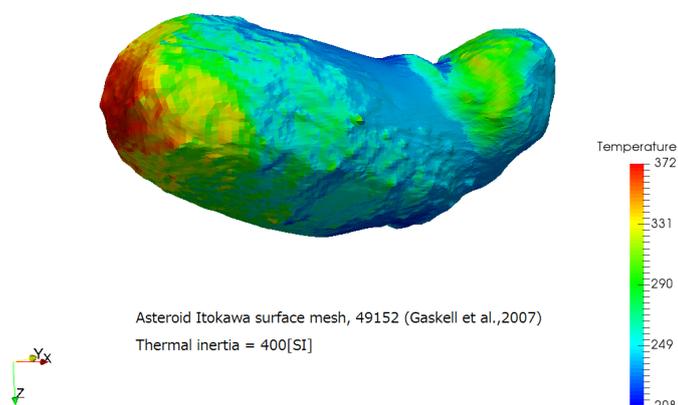


図1 小惑星イトカワの形状モデルを使った表面温度分布の例
: Synthetic surface temperature using a numerical shape model of asteroid Itokawa

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	500時間
ケース数 :	1ケース
ジョブの並列プロセス数 :	256プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	12コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP, SORA-TPP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) J.Takita, Asteroid thermal models-II., Hayabusa2 TIR-MARA, Radiometry & thermo-physical model workshop, 2015.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1,793,204.12	195,616.66		166,916.79

83. 風車翼周りの CFD 解析

CFD Analysys of Wind Turbine

● 事業形態

その他（技術研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松尾裕一(matsuo.yuichi@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，村上桂一(murakei@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット 技術研修生，山田 遼(ryamada@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

JAXA でのスパコンを利用した数値解析技術の研修を通して，研究者又は技術者の養成あるいは資質の向上を目的とする。

● 事業の目標

FaSTARを用いて10 MW級風車の2枚翼形状と3枚翼形状のCFD解析を行い，2枚翼化が回転効果および風車近傍後流乱れに与える影響評価とその原因について考察を行う。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

風車を対象とした非定常大規模解析を限られた研修期間に実施するには，スパコンの利用が必須である。

● 今年度の成果

2枚翼化により翼根から翼中腹部にかけての回転効果はコリオリ力の影響増大により顕著になることがわかった。また，2枚翼形状では3枚翼形状に比べ翼端渦の混合が遅れ，速度回復につながる翼端位置の乱れの発生が遅れることがわかった。つまり，風車後流の速度回復は2枚翼化により遅れる可能性があるため，遠方後流を対象としたCFD解析による検証が重要となるといえる。

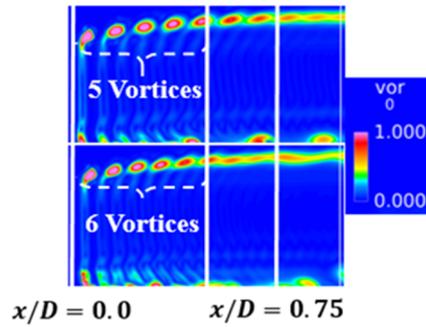


図1 渦度の分布 (上図: 2枚翼, 下図: 3枚翼)
: Vorticity distribution(Upper: Two-bladed rotor Lower: Three-bladed rotor)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間:	50時間
ケース数:	10ケース
ジョブの並列プロセス数:	64プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数):	1コア
プロセス並列手法:	MPI
スレッド並列手法:	OpenMP
利用計算システム:	SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) Ryo Yamada, Keiichi Murakami, Atsushi Hashimoto, Takashi Aoyama, Makoto Iida, Yuichi Matsuo and Chuichi Arakawa, Aerodynamic analysis of 10 MW-class wind turbine using CFD, EWEA2015
- 2) 山田 遼, 飯田 誠, 荒川忠一, 村上桂一, 橋本 敦, 青山剛史, 松尾裕一, 10 MW超級風車を対象としたCFDとBEMの比較, 日本機械学会2015年度年次大会一般公演

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		517,076.82	1,719.19	0.13

84. 3次元バフェット解析に関する研究

Study of numerical simulation for 3-dimensional buffet

● 事業形態

その他（技術研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：東京農工大学大学院，小島良実(s153675t@st.go.tuat.ac.jp)

● 事業の目的

- RANS/LESハイブリッド手法を用いての高速バフェット解析手法の確立.
- 高速バフェットにおける衝撃波の3次元的な挙動の解明.

● 事業の目標

- RANS/LESハイブリッド手法の一つであるDESを用いて高速バフェットを正確に解析する.
- 実機における遷音速バフェットの挙動を解析し，そのメカニズムを明らかにする.

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

高レイノルズ数・マッハ数における非定常流れの解析には多くの計算資源が必要なため，スパコンの利用が不可欠である.

● 今年度の成果

NASA-CRMの主翼部分モデルを対象に，Zonal-DESによる解析を行った．その結果，風洞実験で報告されている衝撃波の3次元的な挙動を定性的に再現することができた．今後はDESの改良を進め解析精度の向上を目指すとともに，現象の解明を進める．

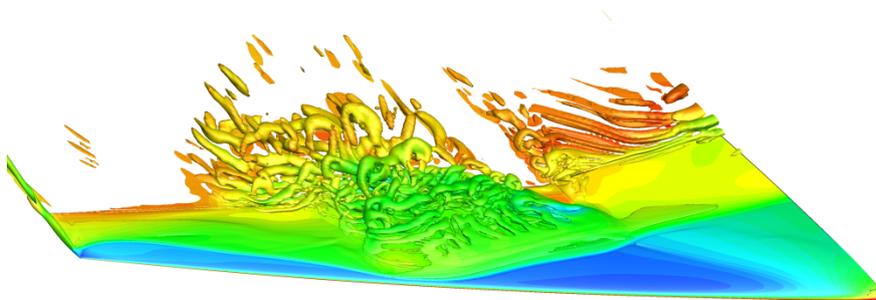


図1 遷音速バフェットの乱流渦構造
: Structure of turbulent eddy of transonic buffet

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	48時間
ケース数：	5ケース
ジョブの並列プロセス数：	768プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	768コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 小島良実, 橋本 敦, 石田 崇, 青山剛史, 亀田正治, NASA-CRM翼における遷音速バフェットの非定常数値解析, 第29回数値流体力学シンポジウム, 2015年12月.

その他

- 2) 2015年度東京農工大学工学府機械システム工学専攻 修士中間発表発表会.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	184,856.32	1,401.44		

85. FaSTAR による風車翼端渦の数値解析

CFD analysis of wake vortex of a wind turbine

● 事業形態

その他（研修生）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：東京大学大学院，木村佳大(k.kimura@gg.cfdl.t.u-tokyo.ac.jp)

● 事業の目的

風車を多数配置する大規模風力発電施設であるウィンドファームにおいては，風車から発生する翼端渦によって下流風車の出力低下や疲労が問題となる．数値流体力学によって翼端渦の構造を明らかにすることで，ウィンドファームにおける適切な運転条件や制御法の検討に役立てる．

● 事業の目標

風車後流について，翼端渦の発生・崩壊過程に着目し，これらのプロセスと後流速度分布の関係を明らかにすることを目標とする．複数の運転条件について後流解析を実施することで，実際に後続の風車に与える影響を評価する．

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

風車後流は風車直径の数倍のスケールに渡ってその構造が変化する為，その解析においては風車後方の広範囲に詳細メッシュを配置する必要がある．そのため計算コストは非常に大きいものとなり，計算時間も長くなってしまう．スパコンの活用によってこの計算負荷の問題を解決することができる．

● 今年度の成果

まず模型風車の設計点における風車解析を実施し，先行研究や実験値の比較から計算が適切に実施されていることを確認した．その上で風車回転数を変更し，風車翼端から発生する翼端渦と回転数の関係を調査した．図1に示す風車後流における渦度分布のように，回転数の変更により渦列の間隔が変化し，各渦同士の混合・崩壊位置が変化する様子が示された．図2に各ケースに渦の最大渦度を取得したものを示す．渦列の間隔が近いものほど渦混合が生じやすく，渦度の減衰が速い傾向が得られている．

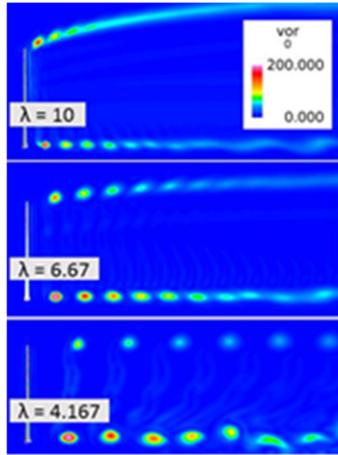


図1 風車後流渦度分布
 (上:周速比 $\lambda=10$,中: $\lambda=6.67$,下: $\lambda=4.167$)
 : distribution of wake vorticity
 (upper: $\lambda=10$, middle: $\lambda=6.67$, lower: $\lambda=4.167$)

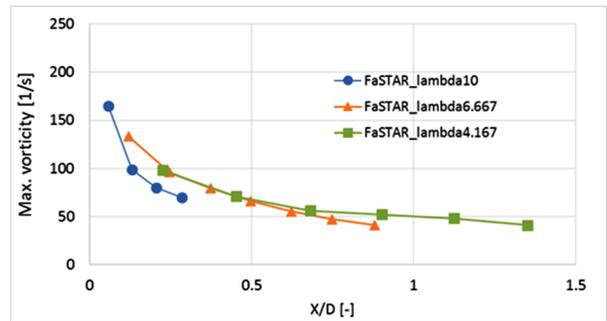


図2 最大渦度の推移
 : Maximum vorticity of tip vortices

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	50時間
ケース数 :	3ケース
ジョブの並列プロセス数 :	96プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-PP

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]		153,372.35	1,110.06	

86. FX100 における UPACS の性能評価と高速化チューニング

Performance evaluation and speed-up tuning of UPACS on FX100

● 事業形態

受託研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所，高木亮治(ryo@isas.jaxa.jp)

● 事業の目的

HPCI 戦略プログラム分野 4 次世代ものづくりで開発される HPC/PF 向けに圧縮性流体解析プログラム UPACS を開発する。

● 事業の目標

ターボ要素の詳細解析が可能な圧縮性流体解析プログラム UPACS を開発し，産業界への普及を図る。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

高速・高精度な解析を実施するためにスパコン利用が必要となる。

● 今年度の成果

新しく JSS2 として導入された富士通製スーパーコンピュータ FX100 を対象として UPACS の古カーネルである UPACS-Lite を用いた性能評価と高速化チューニングを実施した。その結果，FX100 の性能特性が判明すると同時に FX100 向けの高速化チューニング手法のノウハウが得られた。その結果 UPACS-Lite に関して FX1 と比較して 3 倍の高速化が達成できた。

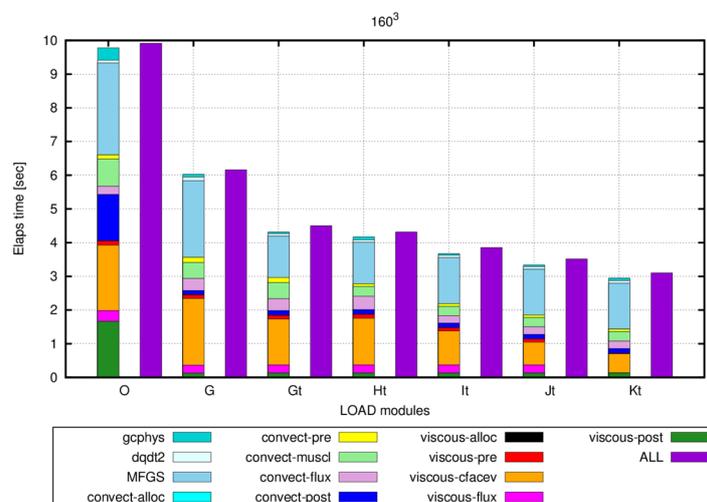


図1 FX100でのUPACS-Liteの高速化チューニング
: Speed-up tuning of UPACS-Lite on FX100

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	N/A
ケース数：	N/A
ジョブの並列プロセス数：	2プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	16スレッド
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) 高木, JAXA新スーパーコンピュータ (SORA-MA) の性能評価, 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム講演論文集, JAXA-SP, 2016.

口頭発表

- 2) 高木, JAXA新スーパーコンピュータ (SORA-MA) の性能評価, 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 1C09, 2016.
- 3) 高木, FX100の性能評価, SS研ポストペタアプリ性能WG, 2016.
- 4) 高木, ステンシル系プログラムによるFX100の性能評価と高速化チューニング, SS研 HPCフォーラム, 2016.

その他

- 5) R. Takaki and S. Tsutsumi, HPC Applications for Manufacturing Innovation in Aerospace Fields, The 23rd Workshop on Sustained Simulation Performance, March 16-17, Sendai, Invited, 2016

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	24,873.95	352,761.41		

87. VOF 法を用いた平面液膜の気流微粒化現象の数値解析

Computational Fluid Dynamics for plane liquid sheets atomization phenomenon
caused by the current of air using the VOF method

● 事業形態

一般研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 推進技術研究ユニット, 松浦一哲(matsuura.kazuaki@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 推進技術研究ユニット, 首藤智太郎(tomotaro.syudou.4v@stu.hosei.ac.jp)

山本 武(yamamoto.takeshi@jaxa.jp)

黒沢要治(kuro@chofu.jaxa.jp)

山田秀志(deguchi.akira@jaxa.jp)

牧田光正(makida@chofu.jaxa.jp)

株式会社エイ・エス・アイ総研, 中村直己(nakam@chofu.jaxa.jp)

株式会社数値フローデザイン, 張 会来(zhang@nufd.jp)

株式会社数値フローデザイン, 飯野 淳(jiino@nufd.jp)

● 事業の目的

平面液膜式微粒化ノズルの実験により雰囲気圧力, 偏向翼角によって微粒化特性が変化することが明らかにされた. 本事業では, 実験では測定が困難な噴射口出口近傍の分裂場に対して数値解析を実施し, 微粒化のメカニズムを明らかにすることである.

● 事業の目標

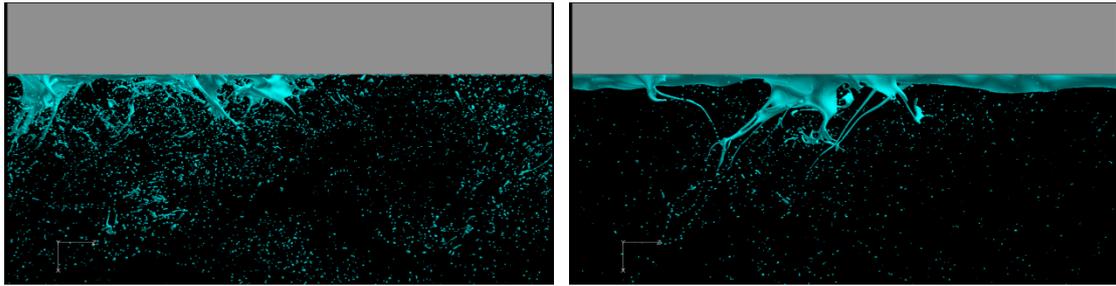
平面液膜式微粒化ノズルの実験において観察された液膜構造に対する雰囲気圧力の影響を VOF 法を用いた数値解析により再現し, その生成メカニズムを明らかにすること.

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

実験において噴射口から30mm下流において測定されている液滴のザウター平均粒径は数10 μm のオーダーであり, そのような液滴の分裂場の数値計算を実施するためには大きくても数 μm オーダーのメッシュが必要となってくる. そのような大規模な計算をパラメトリックに実施するためにはスパコンの利用が必要不可欠となってくる.

● 今年度の成果

噴射口出口近傍の液膜構造を精度よく再現できる, 対流項の離散化手法を確認した.



霧団気圧力 0.1MPa

霧団気圧力 0.8MPa

図1 圧力条件の違いによる液膜構造の比較
 : Comparison of the liquid sheets structure
 by the difference in pressure condition

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 500時間
 ケース数： 16ケース
 ジョブの並列プロセス数： 144プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 4コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： OpenMP
 利用計算システム： SORA-MA

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,328,960.07	183.05		

88. 大型風洞における汎用 PIV システムの開発

Development of Particle Image Velocimetry to Large-Scale Wind Tunnels

● 事業形態

JAXA プロジェクト

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 空力技術研究ユニット，浜本 滋(hamamoto.shigeru@jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 空力技術研究ユニット，加藤裕之(kato.hiroyuki@jaxa.jp)

航空技術部門 空力技術研究ユニット，小池俊輔(koike.shunsuke@jaxa.jp)

● 事業の目的

風洞試験において，先進光学計測技術の一つである，PIV 計測技術を適用することを目的とする。

● 事業の目標

風洞ユーザに対して，PIV 計測を実施して，空間速度場データを提供する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

光学計測で取得したデータ（主に画像データ）を長期保存するためのストレージとして，J-SPACE を利用している。

● 今年度の成果

本年度の風洞試験で取得された PIV 計測データを長期保存用として J-SPACE に保管した。

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

※ストレージ利用

89. 自動車エンジン燃焼室 3次元 CFD コアソフトの構築

Development of 3D CFD Core Software for Automotive Engine Chamber

● 事業形態

受託研究

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松尾裕一(matsuo@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，溝渕泰寛(mizo@chofu.jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，南部太介(nambu@chofu.jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，菱田 学(MANABU_HISHIDA@mail.ryoyu.co.jp)

株式会社菱友システムズ，安田章悟(shogo@chofu.jaxa.jp)

株式会社菱友システムズ，八百寛樹(hiroki@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

複雑で移動境界を含む形状に対しても格子生成負荷が小さく安定性の高い CFD ソルバを開発し，我が国の自動車産業共有のコアソフトをする。

● 事業の目標

直交格子+IB 法にもとづき，ピストン・バルブの移動境界を取り扱う事の出来る 3DCFD ソルバを開発する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

プログラム開発。大規模計算による格子解像度依存性の検証。

● 今年度の成果

STL 形状データからメッシュ作成なしに流動計算を実現。

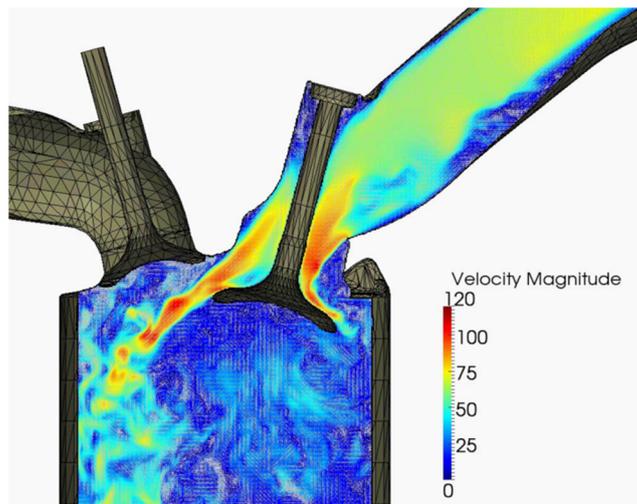


図1 自動車エンジン筒内定常流動解析
: Steady State Flow Simulation of Automotive Engine Chamber

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	200時間
ケース数 :	10ケース
ジョブの並列プロセス数 :	52プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	32コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 菱田 他, 第29回数値流体力学シンポジウム
- 2) 南部 他, 第31回生研TSFDシンポジウム
- 3) 溝渕, 自動車技術会第12回CFD技術部門委員会

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	677,230.33	27,835.16		

90. プロジェクト対応解析支援システムの開発

Development of Analysis Support System Insuring Successful project: ASSIST

● 事業形態

その他（情報化）

● 事業の責任者・構成員

責任者：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，松尾裕一(matsuo@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，村上桂一(murakami.keiichi@jaxa.jp)

航空技術部門 数値解析技術研究ユニット，林 謙司(khayashi@chofu.jaxa.jp)

● 事業の目的

解析技術・ツール等の研究開発成果のプロジェクト適用の効率化・確実化により，研究開発プロセスを革新し，プロジェクト業務の効率化と信頼性向上に資する．同時にソフトの高度化・統合化を推進し，世界的競争力のある解析ソフト・ツールの研究開発を後押しする．

● 事業の目標

研究開発活動で生み出されたソフトウェア・技術・ノウハウ・データの効率的利用・蓄積/継承の仕組みを IT 技術を用いて構築し，解析等によるプロジェクト支援の効率化や適用範囲の拡大を図るとともに，ソフトウェア・技術・ノウハウ・データの有効活用を促進する．

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

JAXAプロジェクトに対応した解析は，航空機全機周りの気流解析による空力特性推算など大規模で多数の解析ケース数を要するものが多く，スパコンを利用しなければ迅速な対応が不可能である．

● 今年度の成果

JSS2メインシステムMA対応CFD解析実行ワークフローを開発し，JAXAスパコンSORAへの完全対応が完了した．

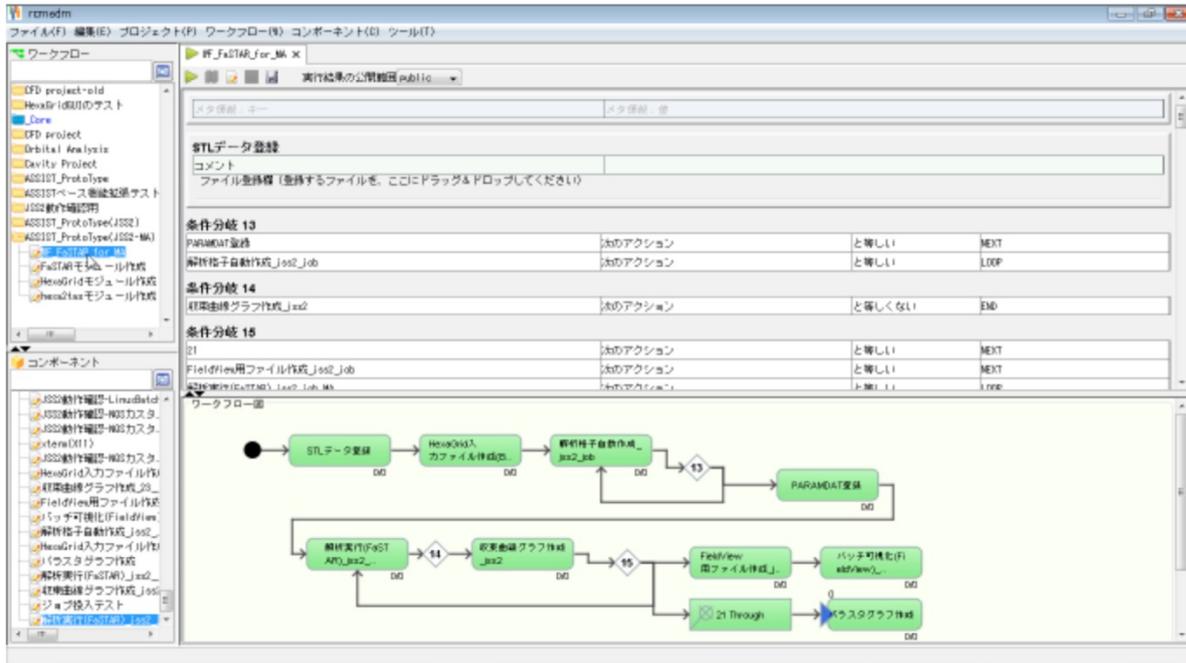


図1 JSS2対応CFD解析実行ワークフロー
: Work Flow of CFD Calculation for JSS2

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 2時間
 ケース数： 1ケース
 ジョブの並列プロセス数： 32プロセス
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 1コア
 プロセス並列手法： MPI
 スレッド並列手法： OpenMP
 利用計算システム： SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

その他

- 1) JAXA 情報化エンジニアリング系分科会平成27年度報告書

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	817.78	10.09	51.47	

91. JAXA スーパーコンピュータの運営(角田)

Investigation on Small-scale Scalar Mixing in High Reynolds Number Turbulent Jets

● 事業形態

その他（スパコン利用支援）

● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門 第四研究ユニット，佐藤 茂(sato.shigeru@jaxa.jp)

構成員：株式会社日立ソリューションズ東日本（角田在勤），高橋正晴(takahashi.masaharu@jaxa.jp)

株式会社日立ソリューションズ東日本（角田在勤），渡邊孝宏(takahashi.masaharu@jaxa.jp)

株式会社日立ソリューションズ東日本（角田在勤），宗像利彦(munakata.toshihiko@jaxa.jp)

株式会社スペースサービス（角田在勤），福井正明(fukui.masaaki@jaxa.jp)

● 事業の目的

角田宇宙センターにおける JAXA スーパーコンピュータ利用者への支援業務。

● 事業の目標

角田宇宙センターにて研究者らにより行われている各種シミュレーション等，JAXA スーパーコンピュータ利用への技術支援を行い，研究の増進に貢献すること。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

JAXAスーパーコンピュータを利用する研究者の成果増進。

● 今年度の成果

角田宇宙センターにおけるスパコン利用者（遠隔利用）の支援を行った。尚，当事業は基本的に研究者らへの支援である為，各研究等の成果はスパコン利用研究者らより為される。

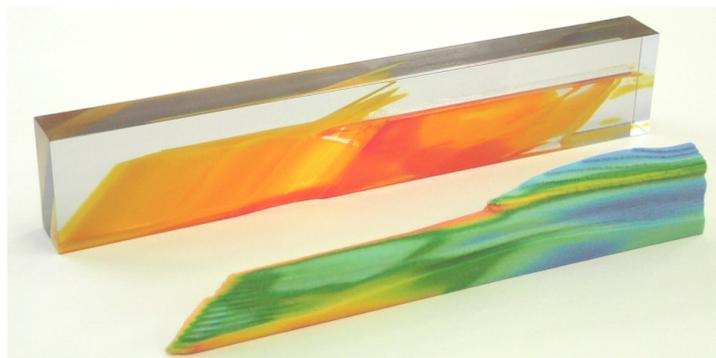


図1 スクラムジェットエンジンCFD三次元可視化結果を三次元プリンタにて出力支援
: Support for scramjet engine CFD 3D visualization by means of 3D printer

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： —
 ケース数： —
 ジョブの並列プロセス数： —
 プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： —
 プロセス並列手法： —
 スレッド並列手法： —
 利用計算システム： SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3,623.60	33,890.06	9.46	

92. 超音速飛行体周りの圧力場計算及び空力性能評価

Aerodynamics performance evaluation and pressure signature calculation
around supersonic flight model

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：名古屋大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻，

佐宗章弘(sasoh@nuae.nagoya-u.ac.jp)

構成員：名古屋大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻，

岩川 輝(iwakawa@nuae.nagoya-u.ac.jp)

古川大貴(furukawa@fuji.nuae.nagoya-u.ac.jp)

青木勇磨(aoki@fuji.nuae.nagoya-u.ac.jp)

● 事業の目的

ソニックブーム研究において、機体近傍の圧力波を正しく評価するため、エアロバリスティックレンジを用いた3次元形状模型の自由飛行実験を行い、近傍圧力波の計測を行う。この際、数値シミュレーションによって実験に用いる模型の加工精度が圧力波に与える影響を評価する。

● 事業の目標

低ブーム形状や低ブーム化の手法について、数値シミュレーション及び自由飛行実験を組み合わせた方法により、精度よく実証し、低騒音超音速旅客機の開発に向けたソニックブーム低減の手法を確立する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

エアロバリスティックレンジでは試験機体を自由飛行させるため、機体の姿勢及び飛行経路の制御が困難である。そのため、理想的な飛行からの姿勢や経路のずれが圧力場に与える影響を、実験と数値シミュレーションの比較により評価する役割がある。

● 今年度の成果

Busemann によって提唱された低ブーム手法の1つである複葉翼形状について、数値シミュレーションを実施し、近傍場圧力波形を取得した。この結果から、自由飛行実験で使用する模型について、加工限界を考慮した模型の圧力場の評価が可能となった。

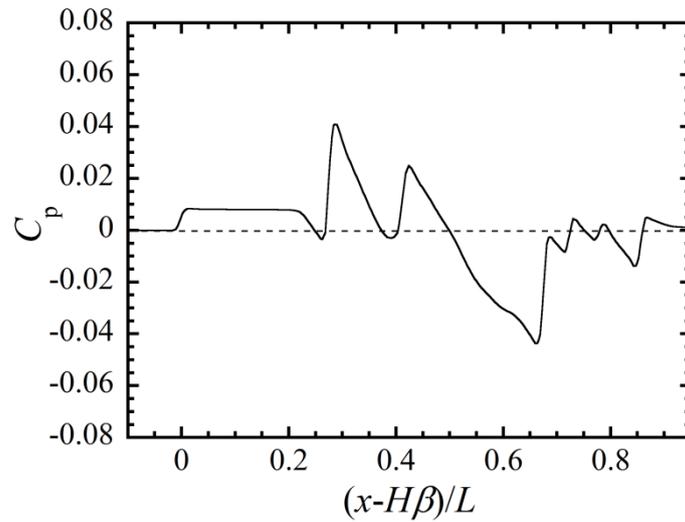


図1 CFDシミュレーションにより得られた近傍場圧力波形
: Near-field pressure signature obtained from CFD simulation

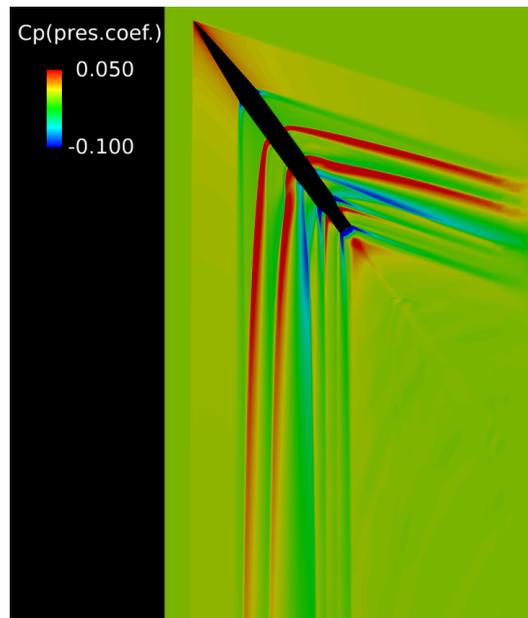


図2 圧力係数コンター
: Pressure coefficient contour image

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	20時間
ケース数 :	20ケース
ジョブの並列プロセス数 :	24プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	2コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-PP, SORA-LM

● 成果の公表状況

□ 頭発表

- 1) 古川大貴, 青木勇磨, 岩川 輝, 佐宗章弘, 豊田 篤, “超音速複葉翼機の自由飛行実験,” 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 東京, 2015年7月.
- 2) D. Furukawa, Y. Aoki, A. Iwakawa, A. Sasoh, “Free Flight Measurement of Supersonic Biplane using Aeroballistic Range,” 30th International Symposium on Space Technology and Science, Jul. 2015, Kobe, Japan.
- 3) 古川大貴, 青木勇磨, 岩川 輝, 佐宗章弘, “矩形断面バリステックレンジを利用した超音速複葉翼機の近傍密度・圧力場計測実験,” 第53回飛行機シンポジウム, 松山, 2015年11月.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	8,429.53	28,921.77	2,124.77	

93. 飛翔体の空力・構造・飛行力学連成解析に関する研究

Study on Aerodynamics, Aeroelasticity and Flight Dynamics Coupled Simulations of a Projectile

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：横浜国立大学大学院 工学研究院，宮路幸二(miyaji@ynu.ac.jp)

● 事業の目的

JAXAで開発が進められている予冷ターボジェットエンジンの飛行試験機体設計のため，CFDによる空力解析，飛行軌道解析，および空力弾性解析を行う．高高度気球を用いて高度40kmからの落下を利用するため，幅広い気流条件に対して，全機を忠実に再現した流れの数値解析が必要である．飛行軌道に及ぼす空力係数，初期姿勢角，重心位置等の不確かさの影響を調べるために，モンテカルロシミュレーションを行い，高度5kmでの機体位置，姿勢，飛行マッハ数の分散を得た．

● 事業の目標

次世代の航空宇宙輸送機の主要課題の1つであるエンジン開発に貢献するために，安定した実飛行試験が可能な機体形状を決定することが目標である．また，CFD空力性能解析に基づく飛行試験を計画するために，様々な不確かさを考慮した連成解析を行い，シミュレーションの信頼性を高めることを目標とする．

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

CFD，および空力弾性解析の実行に，スパコンは不可欠である．研究室レベルで現状利用可能な計算機では，メモリ容量よりも計算時間が問題となることが多く，大規模並列による高速化が可能なスパコンが必須である．

● 今年度の成果

今年度は，解析実績の豊富な有限体積法 CFD を用いて，実機体の空力横特性の取得に注力した．前年度までに得られていた縦特性に加えて，幅広い気流マッハ数と横滑り角における空力特性を得ることで，CFD の空力データベースを用いた飛行軌道予測が可能となった．風洞試験結果と比較することで空力係数のばらつき（不確かさ）を推定し，また，初期機体姿勢，重心位置の不確かさも考慮して，六自由度運動方程式により飛行軌道を求めた．モンテカルロシミュレーションの結果より，飛行マッハ数と飛行高度の時間履歴の分散は小さいものの，パラシュート開傘を想定する高度 5km 面の通過位置は，切り離し位置を中心とする同心円上に分布した．初期横滑り角の分散が 2° と比較的大きな場合は，ノミナル軌道から 180° ずれた逆位置にも度数分布のピークを持つ結果となった．

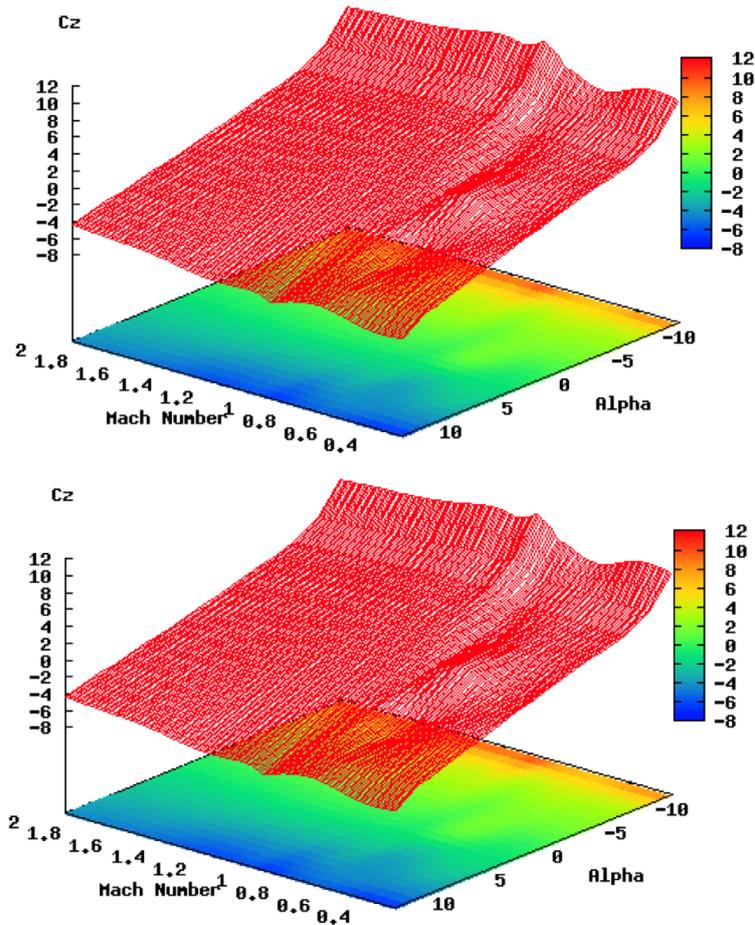


図1 機体の法線方向空気力のマッハ数, 迎角依存性
 (上: CFD, 下: 風洞試験)
 : Mach-number & A.O.A-dependencies of aerodynamic normal-axis forces
 (Upper: CFD, Lower: Wind-tunnel test)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間:	5時間
ケース数:	80ケース
ジョブの並列プロセス数:	64プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数):	1コア
プロセス並列手法:	MPI
スレッド並列手法:	なし
利用計算システム:	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) Vilem Skarole, Koji Miyaji, "Numerical Simulation of Transitional Flow Past a Wing Using Flux Reconstruction Method," AIAA Journal, in press, <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/1.J054324>

査読なし論文

- 2) Kao Ito, Koji Miyaji, Yasumi Kawamura, Yusuke Maru, Kazuhisa Fujita, and Shujiro Sawai, "Study on Numerical Analysis of the Aerodynamic Characteristics and the Flight Trajectory of Balloon-based Operation Vehicle," Asia Pacific International Symposium on Aerospace Technology, 25-27 November 2015.

口頭発表

- 3) 片山 陽, 宮路幸二, 「高次精度流束再構築法を用いた NACA0012 翼端まわり非定常流解析」, 第 47 回 流体力学講演会/第 33 回 ANSS

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	122,317.76	30,596.96		

94. 水星の材料物質の起源, 熱史, および磁場生成

Origin of material substance, thermal history and magnetic field generation of Mercury

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者: 北海道大学大学院 理学院 宇宙理学, 倉本 圭(keikei@ep.sci.hokudai.ac.jp)

構成員: 東京工業大学 ELSI, 木村 淳(junkim@elsi.jp)

京都大学 大学院理学研究科 数学教室, 佐々木洋平(uwabami@math.kyoto-u.ac.jp)

● 事業の目的

マントルと核の組成が地球と異なる可能性を考慮した水星の熱史と金属核の進化および固有磁場生成の数値的解析を行い, 水星の固有磁場の起源について水星の物質科学的特徴とそれがもたらす45 億年間の熱史へのインパクトに密接に関連づけて検討する. Messenger から得られた知見と今年打ち上げが予定されているBepi Colomboの得る水星の磁場, 表面組成, 重力等の新しい探査データの統合的な解釈に寄与する.

● 事業の目標

推定組成から予想されるマントル粘性率と核の融解特性を与えた水星の熱史および核の冷却史の数値計算を行い, 現在のマントルと核の物理状態をその組成依存性を把握しつつ明らかにする. また, 熱史計算から得られる核の構造と熱・浮力フラックスを与えた水星核ダイナモの評価を行う. 熱・浮力フラックスと液体核の厚さが磁場の強度と形にどのように影響するかを明らかにすることによって, 新しい磁場, 表面組成, 重力等の種々探査データを有機的に結合させ, 水星内部の物理状態と45 億年の熱史を制約することに寄与する.

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

回転球殻中のマントル対流およびダイナモ作用は強非線形系であり, その様相を理解するためには大規模な数値計算が必要不可欠である. また, 大規模なスカラー並列計算機システムは昨今の流行でもあり, 数値モデルの開発および並列性能の確認のためにも, JSSスーパーコンピュータシステムの利用は欠かすことのできない役割を担っている.

● 今年度の成果

本年度は, 昨年度に引き続き球殻磁気流体の数値モデルの並列化および性能向上を行なった.

過年度まで開発し改良を重ねてきた数値計算用のライブラリはOpenMPでの並列化効率は十分であるものの, MPIと組み合わせた, いわゆるハイブリッド並列に於ける並列化効率はそれほど良好ではなかった(研究成果2). これを改良するために, 並列計算用のアルゴリズムを見直しつつプログラム群に対して全面的な改変を行なった. 結果として並列化効率は大幅に改善されたものの, 基盤部分の修正によって全体のプログラムの改変が必要となったため, 科学的に意義のある計算を期限内に遂行することは困難であった.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	—
ケース数 :	—
ジョブの並列プロセス数 :	—
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	—
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) Kimura, J., Kitadai, N., Polymerization of building blocks of life on Europa and other icy moons, *Astrobiology* 15, 430-441, doi:10.1089/ast.2015.1306, 2015
- 2) Matsui, H., Heien, E., Aubert, J., ... Y. SASAKI., ... and 34 coauthors, 2016: Performance benchmarks for a next generation numerical dynamo model, *Geochemistry, Geophysics, Geosystem*, doi:10.1002/2015GC006159
- 3) Kamata, S., S. Sugita, Y. Abe, Y. Ishihara, Y. Harada, T. Morota, N. Namiki, T. Iwata, H. Hanada, H. Araki, K. Matsumoto, E.Tajika, K. Kuramoto, and F. Nimmo, The relative timing of Lunar Magma Ocean solidification and the Late Heavy Bombardment inferred from highly degraded impact basin structures, *Icarus*, 250, 492-503, doi:10.1016/j.icarus.2014.12.025, 2015

査読なし論文

- 4) Daiki Muto, Nobuyuki Tsuboi, Hiroshi Terashima, Characteristics of Jet-Mixing at Supercritical Pressure for Coaxial Rocket Injector Design, 30th International Symposium on Space Technology and Science, 2015-a-40, Kobe, Japan, July 2015
- 5) Daiki Muto, Nobuyuki Tsuboi, Hiroshi Terashima, Effects of the Recess Length on Supercritical Jet Mixing of Co-planar/axial Injectors, 6th European Conference for Aeronautics and Space Sciences(EUCASS 2015), No. 487, 2015.6.

口頭発表

- 6) Sasaki and Takehiro, S.-I. 2015: Penetration of magneto-hydrodynamic disturbances into a strongly stable outer layer caused by MHD dynamo in a rotating spherical shell, Japan SEDI symposium 2015.
- 7) 佐々木洋平, 竹広真一, 2015:回転球殻ダイナモにより引き起こされる磁気流体擾乱の強い安定成層への貫入. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会.
- 8) JpGU Meeting 2015, Chiba, May 2015, "Interior evolution of Ganymede and its surface manifestation: toward JUICE measurements".
- 9) Astrobiology Science Conference 2015, Chicago, June 2015, "Stability of an internal ocean in Ganymede"
- 10) AOGS 2015 Annual Meeting, Singapore, Aug 2015, "Tidal deformation of Ganymede and effects of a subsurface ocean: a model calculation in preparation for JUICE-GALA measurements"
- 11) Planet and satellite system workshop, Chiba, September 2015, "Divergent history between Ganymede and Callisto"
- 12) JSPS 2015 Fall Meeting, Tokyo, October 2015, "Science objectives of the Ganymede Laser Altimeter (GALA) onboard JUICE spacecraft"

- 13) JUICE/GALA meeting 2015, Berlin, November 2015, "Primordial hydrous model for Ganymede might explain a formation of extensional groove and metallic core"
- 14) 8th Japan Astrobiology Network Workshop, Tokyo, November 2015, "Toward characterization of extra-terrestrial deep water world and its habitability using computational approach and spacecraft exploration".
- 15) AGU Fall Meeting 2015, SanFrancisco, December 2015, "Long-term stability of a subsurface ocean in Ganymede and its effect to tidal response, toward future altimetry measurement"

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	15.50			

95. 多目的空力設計問題に関する研究

Multiobjective design exploration for Aerodynamic Optimization

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：九州工業大学大学院 工学研究院 機械知能工学研究系 宇宙工学部門，

米本浩一(yonemoto@mech.kyutech.ac.jp)

構成員：九州工業大学大学院 工学府 機械知能工学専攻，山崎裕司(n344156h@mail.kyutech.jp)

九州工業大学大学院 工学府 機械知能工学専攻，市毛優智(o344105m@mail.kyutech.jp)

九州工業大学大学院 工学府 機械知能工学専攻，浦 優介(o344107y@mail.kyutech.jp)

● 事業の目的

JAXA/ISASでは、火星複合探査ミッションにおいて航空機による火星の飛行探査を検討しており、九州工業大学は火星探査航空機の空力設計を担当している。火星環境下において既存翼型が所望の空力特性を満たすことは困難であるため、火星飛行環境において高い空力性能を有する翼型を設計する必要がある。そのため、本事業では進化アルゴリズムと数値流体力学を組み合わせて設計要求の空力特性が得られる翼型を設計探索し、火星探査航空機の実現に資する事を目的とする。

● 事業の目標

火星探査航空機の主翼翼型に石井翼型を用いた設計検討が行われた。しかし、火星探査航空機の実現には、石井翼型の最大揚抗比を20%以上向上した翼型が必要であることが判明している。これまで本研究グループでは、遺伝的アルゴリズムと数値流体力学を用いた火星探査航空機主翼翼型の多目的設計探索を実施してきた。低レイノルズ数領域において高揚抗比を持つ翼型を取得し、分析することにより火星探査航空機の実現に資する事を目標とする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

低レイノルズ数領域において高揚抗比を持つ翼型の多目的設計探索に当り、数値流体力学に基づく翼型の評価は必要不可欠である。解析対象となる設計探索で取得される翼型は膨大な数となり、それらに対して数値流体力学解析を行う。これを学内の計算資源のみで行うことは難しく、スパコンを利用することで解析効率の向上が期待できる。

● 今年度の成果

今年度は、進化アルゴリズムを新たに動的分散遺伝的アルゴリズムへ変更し、スパコンを用いて、低レイノルズ数領域における高揚抗比翼型の多目的設計探索を実施することを目標とした。

動的分散遺伝的アルゴリズムは、遺伝的アルゴリズムで取得した解集合に対し、進化の状況に応じて階層的クラスタリングにより適宜分割または統合を行い、分割後の解集合ごとに解の進化を行う。解が持つ特徴量に基づいて解集合の分割を行うことにより、解の多様性と収束性の両立を図るものである。

特徴量による解のクラスタリングと解集合の分割数決定が非常に重要となるため、過去にスパコンを用いて実施した設計探索の結果をサンプルデータとしてクラスタリング手法の検討をはじめに行った。

設計探索結果に対してクラスタリングを実施し、分割数 2~12 において平均シルエット幅の比較を行った。平均シルエット幅が最も 1 に近いクラスター数は自然な分割数であり、本クラスタリングではクラスター分割数 2 が、適切なクラスター数となった。しかし、クラスター分割数 2~4 の場合におけるクラスタリング結果と各クラスターに属する翼型の形状を平均化した平均翼型を比較すると、クラスター分割数 2 では、分類できなかった特徴量を持つ翼型が存在することがわかる。このことから現状のクラスタリング手法において、平均シルエット幅は適切なクラスター分割数を決定できない可能性が判明した。そのため、今年度はスパコンを用いた動的分散遺伝的アルゴリズムによる多目的設計探索を実施するには至らなかった。来年度は適切なクラスター分割数決定の指標を再検討し、当初の目標通り低レイノルズ数領域における高揚抗比翼型の多目的設計探索を実施する計画である。

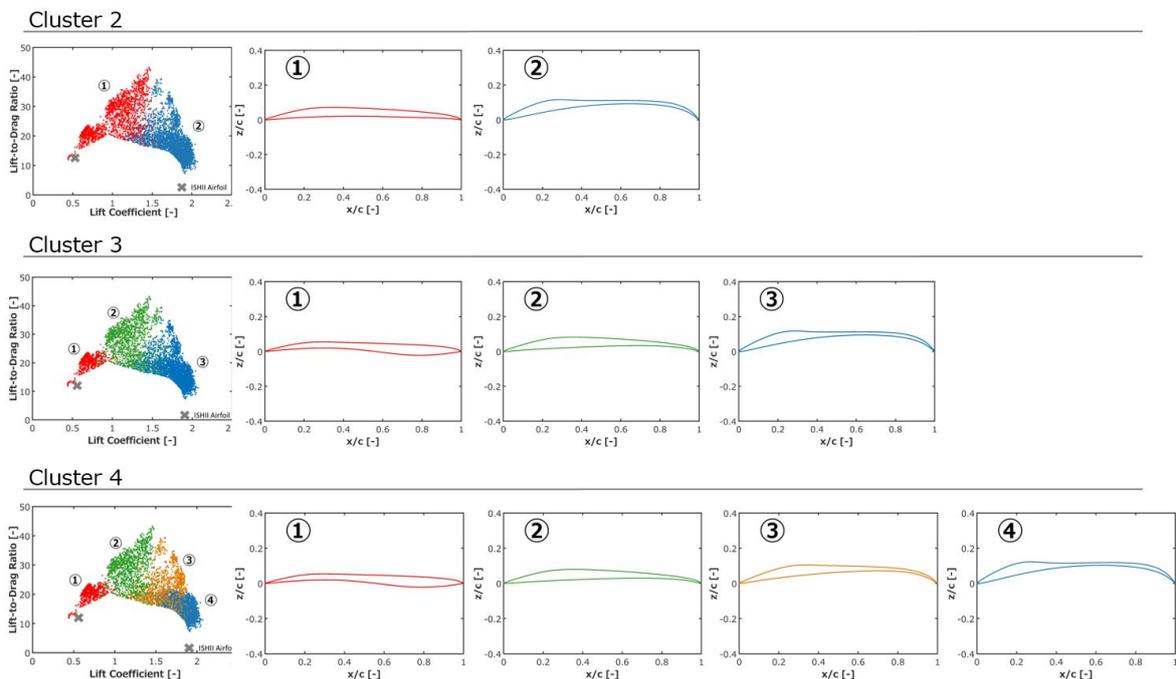


図1 クラスタリング結果の比較
: Comparison of Clustering Results

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：

ケース数：

ジョブの並列プロセス数：

プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：

プロセス並列手法：

スレッド並列手法：

利用計算システム：

● 成果の公表状況

□ 頭発表

- 1) 低Re数最適翼型探索におけるクラスタリング手法の検討および空力特性の評価, 日本機械学会九州支部第69期総会・講演会, D-12, 2016

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]				

96. 超臨界乱流の高精度数値シミュレーション

High-fidelity numerical simulation of supercritical turbulent flows

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：東北大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻，河合宗司(kawai@cfm.mech.tohoku.ac.jp)

● 事業の目的

本研究では，超臨界圧・遷臨界乱流境界層内で急激に変化する熱力学物性と壁乱流との相互干渉の詳細を大規模DNS解析から明らかにする．またDNSと同条件で既存のRANS乱流モデルを用いた解析を実施し，DNSデータと直接比較・検証することで，既存の乱流モデルの適用可能性を探る．

● 事業の目標

液体ロケットエンジン・再生冷却技術の確立に重要な役割を果たす，超臨界圧・遷臨界乱流に対する高精度な数値解析手法を開発し，液体ロケットエンジンの開発・設計に貢献する．

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

スパコン利用により初めて可能となる遷臨界乱流境界層のDNS解析から，RANS乱流モデルを検証し，更に改良の糸口を探ることは，スパコンの学術貢献のみならず，設計上流工程からの信頼できるエンジン設計・開発にもつながると期待でき，その果たす役割は大きいと考えられる．

● 今年度の成果

独自に開発した高精度な超臨界乱流解析を可能とする高精度数値計算手法を用いて，超臨界圧・遷臨界乱流境界層のDNSを実施し，乱流統計量や瞬間の流れ場解析から詳細な流体现象の解明を行った．結果，遷臨界条件下の超臨界乱流境界層では，低速流れであっても圧縮性の効果（特に密度変動に起因する効果）が無視できないことが明らかになった．一方，遷臨界条件とはならない超臨界乱流境界層では，超臨界流体でありながら理想流体の乱流境界層で良く知られている通常の乱流統計量と何ら変わらないことが明らかになった．

次に上記DNSで得られた乱流統計量を基に，既存のRANS乱流モデルを用いて同条件で解析し，DNSデータと直接比較・検証することで，既存の乱流モデルの適用可能性を検討した．結果，遷臨界条件とはならない超臨界乱流境界層では，既存の乱流モデルで平均場を精度良く予測可能であることが分かった．しかし一方，遷臨界条件下の超臨界乱流境界層では，既存のRANS乱流モデルの予測精度は悪く，その原因が既存の乱流モデルでは通常無視される密度変動に起因する項にあるのでは，ということが示唆される結果が得られた(図1参照)．今後は，密度変動に起因する項をRANS乱流モデルで考慮する研究を進める予定である．

以上のように本研究では、独自に開発した高精度数値計算手法とスパコン利用により超臨界圧・遷臨界乱流境界層の DNS を実施することで現象解明を行い、更に本 DNS データを基に RANS 乱流モデルの高度化に取り組んでいる。

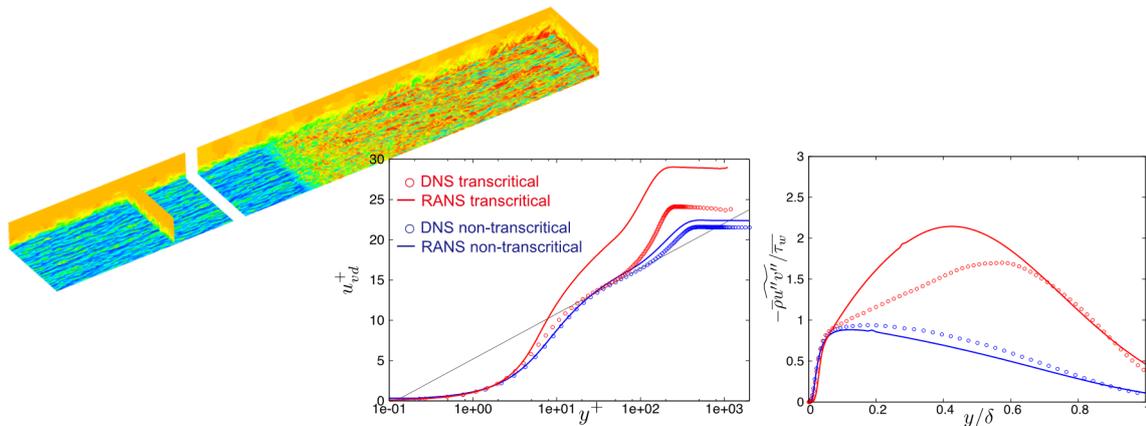


図1 超臨界圧・遷臨界乱流境界層における既存RANSモデルの適用可能性
: Capability of existing RANS model on transcritical turbulent boundary layers at supercritical pressure

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	275時間
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	10プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4~8コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	OpenMP, 自動並列
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) S. Kawai, H. Terashima, and H. Negishi, "A robust and accurate numerical method for transcritical turbulent flows at supercritical pressure with an arbitrary equation of state," Journal of Computational Physics, 300, 116-135, (2015).

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	359,839.29			

97. 細長物体の空力特性についての数値解析

Numerical Analysis of Aerodynamic Characteristics of Slender Body

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：横浜国立大学大学院 工学研究院，北村圭一(kitamura@ynu.jp)

構成員：横浜国立大学 理工学部，青柿拓也(aogaki-takuya-rf@ynu.jp)

横浜国立大学大学院 工学府，山形龍介(yamagata-ryousuke-fk@ynu.jp)

● 事業の目的

再使用ロケットに代表される細長物体の周囲の流れ場が物体の空力特性に与える影響の解明と，より優れた形状の提案.

● 事業の目標

まず，現在提案されている形状について亜音速条件における数値計算を行い，機体周りの流れ場が空力特性に与える影響を定量的に解明する．その後，デバイスの付加や形状変更などによる影響を調査し，より良い空力特性が得られる機体形状を考案する．

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

過去の関連研究より，本計算には少なくとも1,000万要素を要する事が分かっている．この規模の非定常計算を常時，大学のワークステーションのみで行う事は現実的ではないため，メモリを大きく取れ，計算時間を大幅に削減できるJSS2を利用した．

● 今年度の成果

再使用ロケットを模擬した細長物体周りの亜音速流れについて空力解析を実行した．計算結果は，対応する風洞試験において代表的な複数の迎角にて現れる非定常性や非対称性，空気力を正しく捉えていた．また，これらの流体现象や空力特性が生じる原因を解明した．

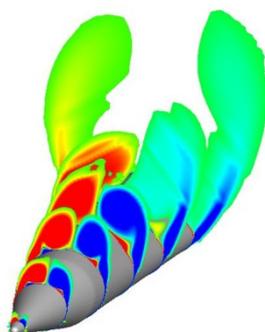


図1 迎角60度における細長物体周り渦度分布
: Vorticity Profiles around Slender Body at AOA=60°

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	6時間
ケース数 :	15ケース
ジョブの並列プロセス数 :	32プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	なし
利用計算システム :	SORA-MA, SORA-PP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 青柿拓也, 北村圭一, 野中 聡: 再使用ロケットの大迎角飛行時の空力特性に関する数値解析, 第48回流体力学講演会/第34回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム (2016発表予定)

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	401,339.09	586.36		

98. 無衝突磁気リコネクションの運動論的研究

Kinetic modeling of collisionless magnetic reconnection

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：国立天文台理論研究部， 銭谷誠司(seiji.zenitani@nao.ac.jp)

● 事業の目的

宇宙空間プラズマ中で磁気エネルギーを解放する「磁気リコネクション」過程の物理を解明する。

● 事業の目標

無衝突磁気リコネクションに内在するさまざまな物理過程のうち、今年度は、リコネクションX点領域から吹き出す高速電子流構造の理解に取り組む。高速電子流は2000年代後半以降、シミュレーションおよび磁気圏観測衛星で見つかったもので、さまざまな性質が未解明なままである。これを理解することは、2015年3月に打ち上げられたNASA（JAXAも協力）のMagnetospheric MultiScale (MMS) 衛星の地球磁気圏リコネクション領域の観測データを解釈するために重要である。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

無衝突磁気リコネクションは多数のプラズマ粒子の運動の結果として生じる、複雑かつ非線形な現象である。その理論研究には、スーパーコンピュータによるプラズマ粒子シミュレーションが必須である。

● 今年度の成果

磁気リコネクションの2次元粒子シミュレーションを行い、データを直接ハードディスクに出力して得た2300万個の電子軌道データを解析した。そして、高速電子流領域の電子の運動を理解すると同時に、これまで知られていなかった新しいタイプの電子軌道を発見した（図1 参照）。この結果は、粒子軌道の理解の上に構築されている磁気リコネクションの理論モデルのほぼ全てに、再考を迫る結果である。

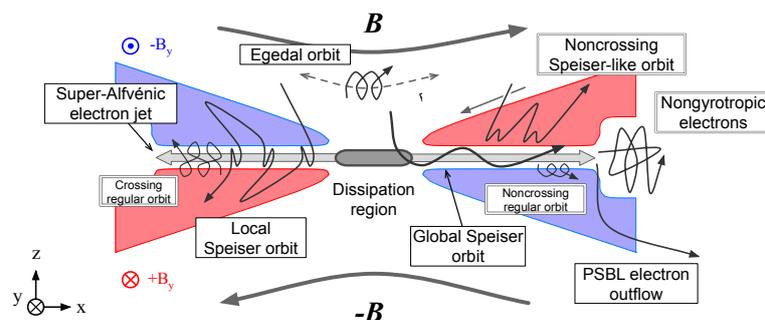


図1 磁気リコネクション領域の典型電子軌道 (Zenitani et al. 2016 in prep.)
: A schematic diagram of electron orbits (Zenitani et al. 2016 in prep.)

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	1ヶ月
ケース数：	1ケース
ジョブの並列プロセス数：	32プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) S. Zenitani, Loading Relativistic Maxwell Distributions in Particle Simulations, *Physics of Plasmas*, 22, 042116 (2015)
- 2) T. Nagai, I. Shinohara, & S. Zenitani, Ion acceleration processes in magnetic reconnection: Geotail observations in the magnetotail, *Journal of Geophysical Research*, 120, 1766 (2015)
- 3) T. Nagai, I. Shinohara, & S. Zenitani, The dawn-dusk length of the X line in the near-Earth magnetotail: Geotail survey in 1994-2014, *Journal of Geophysical Research*, 120, 8762 (2015)

査読なし論文

- 4) M. Yamada, J. Yoo, & S. Zenitani, Energy conversion and inventory of a prototypical magnetic reconnection layer, *Astrophysics and Space Science Library*, 427, 143 (2016)

口頭発表

- 5) Numerical Modeling of Relativistic Reconnection: Kinetic, Two-fluid, and MHD Simulations, *Relativistic Jets: Creation, Dynamics, and Internal Physics*, Krakow, Poland, April 2015
- 6) Particle acceleration in relativistic magnetic reconnection, AOGS 12th Annual Meeting, Singapore, August 2015
- 7) High-speed fluid dynamics in magnetic reconnection in a low-beta plasma, Chapman Conference on Magnetospheric Dynamics, Fairbanks, Alaska, USA, September 2015
- 8) Particle acceleration in magnetic reconnection, CTA研究会「高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙2015」, 宇宙線研究所, 柏, 2016/01
- 9) Particle dynamics and nongyrotropic distribution functions in collisionless magnetic reconnection, International GEMISIS and ASINACTR-G2602 Workshop, Nagoya, March 2016

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	465.44			

99. 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

Numerical Study on Combustible Flow in Supersonic Flight Engines and Rocket Engines

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：九州工業大学大学院 工学研究院 機械知能工学研究系，坪井伸幸(tsuboi@mech.kyutech.ac.jp)

構成員：九州工業大学大学院 工学府 機械知能工学専攻

博士課程 3 年，武藤大貴(daiki.muto@gmail.com)

博士課程 1 年，吉田啓祐(yoshida.keisuke32@gmail.com)

修士課程 2 年，坂本まい(mai.sakamoto.0307@gmail.com)

修士課程 2 年，芝尾将史(masafumi627@gmail.com)

博士課程 1 年，江藤成一郎(seiichiro5228@gmail.com)

修士課程 1 年，牟田智幸(fnm.ros.8@gmail.com)

修士課程 1 年，新甫友昂(trofmdo@gmail.com)

修士課程 1 年，藤本啓佑(meteor9150@gmail.com)

● 事業の目的

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実施する。

● 事業の目標

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，効率的な数値計算手法の開発と学術的・実用的に重要な流体燃焼現象を明らかにする。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

燃焼を含む流れは計算コストが非常に高いものが多く，ロケットエンジンの燃焼や爆轟現象の解析はその代表的なものである。スパコンが果たす役割は，ワークステーションクラスでは計算時間が非常にかかるようなこのような問題を，短時間で効率的に解くことを可能とするものである。

● 今年度の成果

液体ロケットエンジン噴射器における噴流構造の理解を目的に，超臨界圧力下での極低温平行平板噴流の 2 次元数値解析を実施した。特に噴射器出口形状に着目し，内側噴射口のリセス長さとポスト高さをパラメトリックに変化させ，出口形状が噴流のダイナミクスと混合に及ぼす効果を定量的に示した。

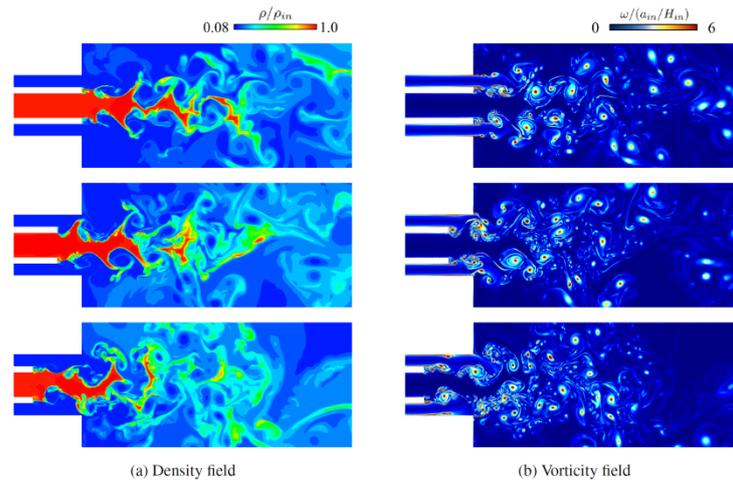


図1 超臨界平行噴流に対するリセス形状の効果. 上からリセスなし, 短リセス形状, 長リセス形状. 左列は密度, 右列は絶対渦度.
: Effects of recess on supercritical planar jets. Top: flushed, shallow recess, deep recess. Left : density, right: absolute vorticity.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	約80時間
ケース数 :	5ケース
ジョブの並列プロセス数 :	32プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	8コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読なし論文

- 1) Daiki Muto, Nobuyuki Tsuboi, Hiroshi Terashima, Characteristics of Jet-Mixing at Supercritical Pressure for Coaxial Rocket Injector Design, 30th International Symposium on Space Technology and Science, 2015-a-40, Kobe, Japan, July 2015
- 2) Daiki Muto, Nobuyuki Tsuboi, Hiroshi Terashima, Effects of the Recess Length on Supercritical Jet Mixing of Co-planar/axial Injectors, 6th European Conference for Aeronautics and Space Sciences(EUCASS 2015), No. 487, 2015.6.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	279,681.95			

100. 惑星大気の対流構造の比較数値モデリング

Comparative numerical study on the structure of convection in planetary atmospheres

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：北海道大学大学院 理学研究院, 小高正嗣(odakker@gfd-dennou.org)

● 事業の目的

本研究の目的は、現在の太陽系惑星から系外惑星そして仮想的な惑星に至るまでの対流の構造を調べる為の流体計算のモデルの開発・改良とそれらを用いた基礎的な数値実験を行うことである。仮想的な状況も含めた様々な惑星大気における対流運動の構造を取り扱うことのできる対流モデルを開発し、それを用いた数値実験の結果を相互比較することにより、惑星大気対流の一般性と独自性を整理し理解することを試みる。

● 事業の目標

火星を想定した大気対流の3次元モデル開発と計算に焦点を当てる。火星大気においては地表付近において日射の日変化に伴い鉛直対流が生じていることが、ダストデビルの観測および大気大循環モデルのシミュレーションから示唆されている。火星大気対流の3次元計算を可能な限り広い領域を確保して行い、対流運動が自己組織化し大規模な循環場にどのような影響を及ぼしうるかを調べる。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

2次元および3次元の大気対流の計算を、対流を表現するに十分な解像度と境界の影響を受けないための広い領域を確保して行うためには、スーパーコンピュータの計算資源が不可欠である。計算を進めるにつれて、様々な物理過程の感度を調べるパラメータ実験を多数行うことが必要となることも、スーパーコンピュータのような計算資源が必要となる一因である。

● 今年度の成果

今年度は2次元モデルによる火星大気鉛直対流の数値実験と、数値モデルのSORAシステムへの移植作業を行った。2次元モデルの数値実験においては、乱流パラメタリゼーションにおける混合距離の表現が、対流場にどのような影響を及ぼすかに着目する。計算領域は水平50km、鉛直に20km、格子間隔は水平鉛直ともに100mとした。放射過程と地面温度は陽に計算せず、Odaka et al. (2001) のダストのない鉛直1次元モデルによって得られた日変化する放射加熱率と地表面温度を与える。混合距離は平均格子間隔(deardorff, 1980; 本実験の場合一定値)とした場合(以下、混合長固定実験)と、地表に近付くにつれ高度とともにカルマン定数と高度の積に漸近する(Blackadar, 1964)場合(以下、混合長高度変化実験)の2通りの表現を与えた。初期の温度分布はOdaka et al. (2001) の鉛直1次元モデル計算結果を与え、計算時間は6日間である。

混合長固定実験の結果とほぼ同様の設定を与えているOdaka et al. (2001) と比較したところ、日中から local time 15:00 頃にかけての対流セルのスケール、対流層内の温位分布は同程度であった。

しかし平均鉛直風速は本研究の方がやや強く、日没後の対流の減衰に時間がかかることがわかった。混合長固定実験と混合長高度変化実験の結果を比べると、対流セルのスケール、対流層内の温位分布に有意な違いは見られなかったものの、平均鉛直風速の大きさは混合長高度変化実験の方が大きくなった。この平均風速の違いは、熱境界層内における移流および乱流拡散による熱輸送の寄与の割合が変わることによるものと思われる。

現在モデルの SORA システムへの移植とデバッグ作業を行っており、年度内に 3 次元計算を開始する予定である。計算情報は 2 次元計算を行った PC クラスタの計算時間から見積もった値であることに注意されたい。

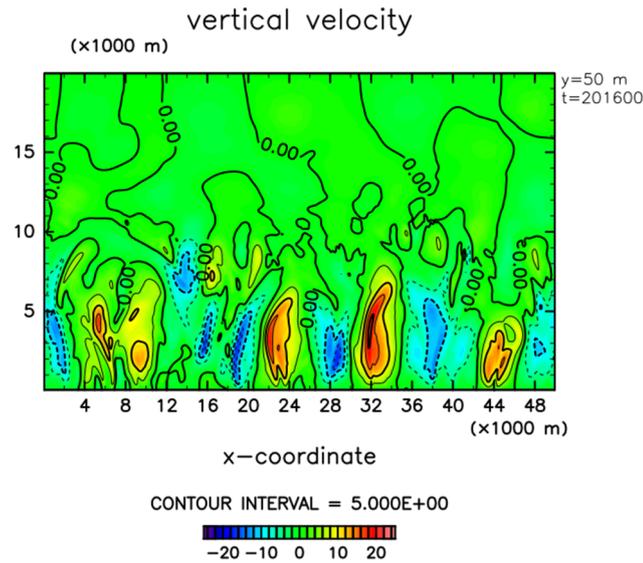


図1 混合長固定実験で得られた local time 14:00 における鉛直風の分布.
: The distribution of vertical velocity at local time 14:00 in the case of fixed mixing length experiment.

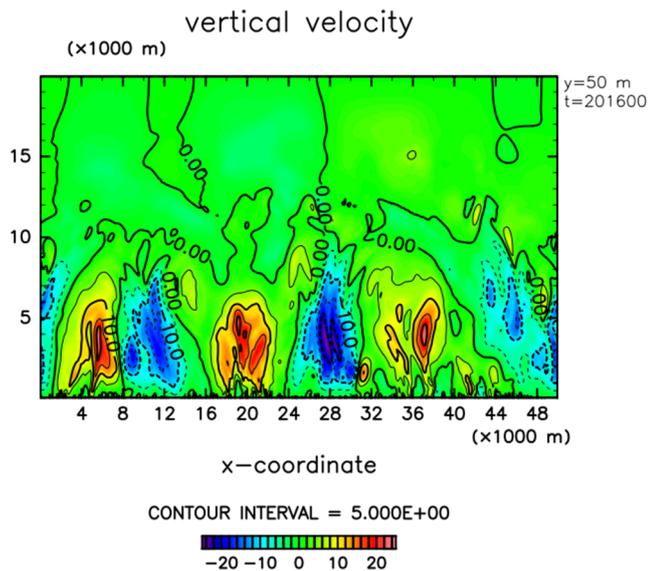


図2 混合長高度変化実験で得られた local time 14:00 における鉛直風の分布.
: The distribution of vertical velocity at local time 14:00 in the case of variable mixing length experiment.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	24時間
ケース数：	2ケース
ジョブの並列プロセス数：	1プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	12コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	自動並列
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) 杉山耕一郎, 小高正嗣, 中島健介, 高橋芳幸, 西澤誠也, 乙部直人, 林 祥介, はしもとじょーじ, 長谷川晃一, 榊原篤志, 坪木和久 火星探査のための表層環境評価：雲解像モデル CReSS の火星大気への適用 2015 年 日本気象学会春季大会.
- 2) 杉山耕一郎, 小高正嗣, 中島健介, 高橋芳幸, 西澤誠也, 乙部直人, 林 祥介, はしもとじょーじ, 長谷川晃一, 榊原篤志, 坪木和久 火星探査のための表層環境評価：雲解像モデル CReSS の火星大気への適用 日本地球惑星科学連合 2015 年大会.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]				

101. DNS 解析に基づく高マッハ数混相乱流 LES モデルの構築

Construction of LES Model for High Mach-number-turbulent-multi-phase-flow model based on DNS

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：東海大学，福田紘大(fukuda@tokai-u.jp)

構成員：宇宙科学研究所，野々村拓(nonomura@flab.isas.jaxa.jp)

● 事業の目的

微粒子を含むロケットエンジン排気ジェットを対象とした，高マッハ数固気/気液混相乱流(衝撃波等を含む気体中に粒子が混在する混相乱流)の特性把握とモデル化に向けて，高マッハ数・低レイノルズ数流れにおける単体粒子周り直接数値解析(Direct Numerical Simulation: DNS)を行い，その結果に基づき，高マッハ数混相乱流のLES(Large Eddy Simulation)モデルを検討する

● 事業の目標

LESモデル構築に向けて，データベースの作成と抗力係数や流れ場の様相に対する流れ場の条件の影響などを調査する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

スパコンを利用することで，境界適合格子を用いた高マッハ数・低レイノルズ数流れにおける球周り流れのDNS を大規模数値解析により実施する。

● 今年度の成果

高マッハ数・低レイノルズ数流れにおける剛体球が受ける抵抗力の特性を明らかとした。また，乱流場への影響が大きい粒子の後流渦の生成および挙動に対する流れ場の条件の影響を明らかにした。具体的には，レイノルズ数を固定しマッハ数，回転速度を変えた場合の後流の渦流れのパターンの変化を明らかにした。非圧縮条件に比べ，高マッハ数では非定常性が抑えられることを明らかにした。

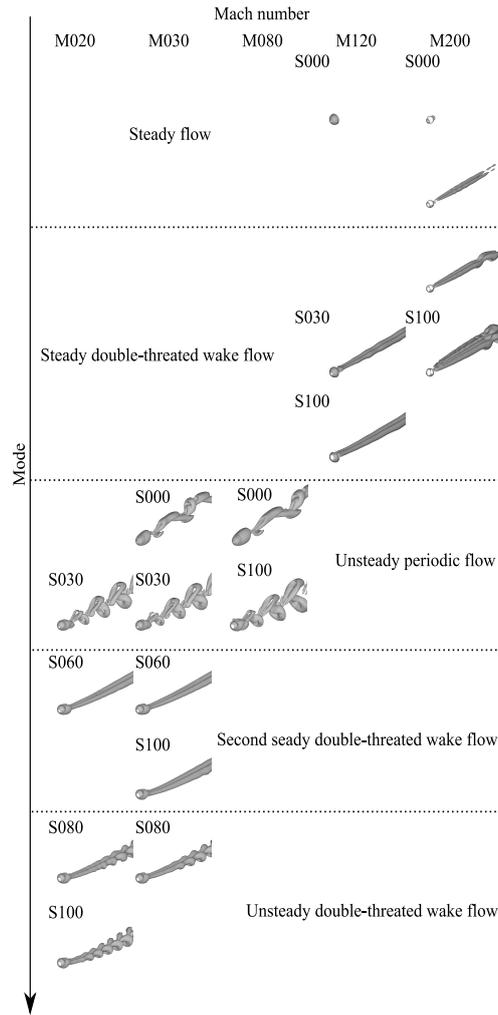


図1 回転する球まわり流れの速度勾配テンソル第二不変量の等値面で可視化した渦構造
 : Vortex structure identified by the isosurface of second invariant value of the velocity gradient tensor.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	300時間
ケース数 :	65ケース
ジョブの並列プロセス数 :	45プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	1コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	OpenMP
利用計算システム :	SORA-PP

● 成果の公表状況

口頭発表

- 1) Takayuki Nagata, Taku Nonomura, Shun Takahashi, Yusuke Mizuno, and Kota Fukuda, “Analysis on Flow around a Sphere at High Mach Number, Low Reynolds Number and Adiabatic Condition for High Accuracy Analysis of Gas Particle Flows”, VI Coupled Problems in Science and Engineering (Coupled Problems 2015).
- 2) Takayuki Nagata, Taku Nonomura, Shun Takahashi, Yusuke Mizuno and Kota Fukuda, “Analysis on Flow around a Sphere under an Isothermal Condition at High Mach and Low Reynolds Number Flows”, Malaysia-Japan Joint International Conference 2015 (MJJIC2015).
- 3) Takayuki Nagata, Taku Nonomura, Shun Takahashi , Yusuke Mizuno , and Kota Fukuda, “Analysis of the Temperature Ratio Effects on the Flow Properties of the Low Reynolds and High Mach number Flow around a Sphere”, the 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA 2016-1251,
- 4) 永田貴之, 野々村拓, 高橋 俊, 水野裕介, 福田紘大, “DNSによる高Mach数・低Reynolds数の球周りの流れ場に対するMach数や温度比の影響把握”, 第47回流体力学講演会/第33回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 東京.
- 5) 永田貴之, 野々村拓, 高橋 俊, 水野裕介, 福田紘大, “高マッハ数・低レイノルズ数・等温条件下における回転する球周り流れの直接数値解析”, 第29回数値流体力学シンポジウム.

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	498,857.74	374,507.15		

102. 圧縮性境界層における層流—乱流遷移後期過程の 非線形渦動力学の解明

Studies on nonlinear vortex dynamics in the later-stage of laminar-turbulent
transition in compressible boundary layers

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：愛媛大学大学院 理工学研究科 生産環境工学専攻，
松浦一雄(matsuura.kazuo.mm@ehime-u.ac.jp)

● 事業の目的

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

● 事業の目標

極超音速域の気流により形成される境界層の層流から乱流に至る乱流遷移の直接シミュレーションを実施する。得られる大規模非定常データを基に、遷移後期過程において現れる組織渦や境界層内部の変動を同定し、その生成や変形などを議論する。また、境界層擾乱を変えることにより、遷移過程に対する影響を解明する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

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

● 今年度の成果

マッハ数 0.5 の低マッハ数域における圧縮性境界層のシミュレーションを実施し、遷移後期過程で一般的に見られるヘアピン渦の形成にかかわる動力学を明らかにした。また、今後大規模並列計算を実施するための見通しを得た。

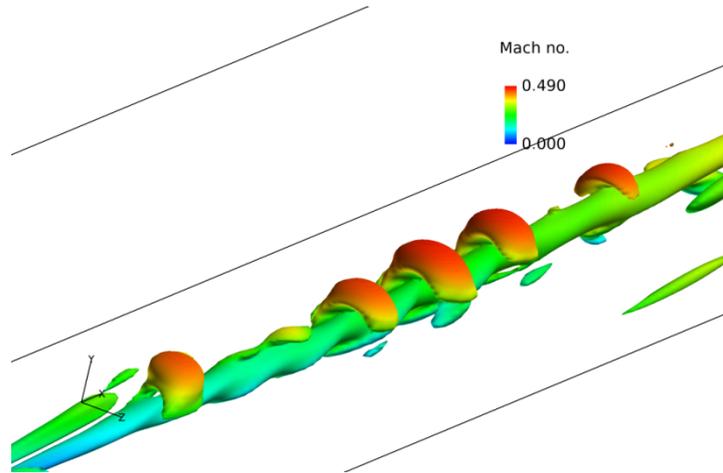


図1 圧縮性遷移境界層におけるヘアピン渦構造の形成
: Generation of hairpin vortices in compressible boundary layers

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	2時間
ケース数 :	1ケース
ジョブの並列プロセス数 :	8プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	4コア
プロセス並列手法 :	MPI
スレッド並列手法 :	自動並列
利用計算システム :	SORA-MA

● 成果の公表状況

無し

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	10,737.49			

103. 直交格子法を用いた固気液三相圧縮性流体解析コードの開発と応用

Development and application of Multiphase flow simulation code based on Cartesian mesh

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：東海大学，高橋 俊(takahasi@tokai-u.jp)

● 事業の目的

本研究は、①ロケット発射時後流中の散水が音響場に及ぼす影響の調査、②機械式冷却塔上部ファンから排気される気液二相流解析、③ヒートパイプ内の熱輸送現象解析を研究対象に考えている。近年考案されている低散逸型スキームによる直接数値解析、直交格子による複雑形状・界面の高速な再現から、これらに対して取り組む。

● 事業の目標

①と②では複雑な移動物体周りの大規模・高速解析が必要とされることから、新規性の高い数値流体解析手法の構築という観点から、学术论文への投稿を行う。また開発したコードはロケット音響解析ツールとして新しい発射台を設計する際の解析としての応用や、また直交格子の特性を生かした複雑形状を含む流れ場と音響場の初期検討等への適用を目指す。機械式冷却塔のファン解析の場合は、実際のファンと冷却塔の高効率化をはじめ、その他の二相流を含むファンに類似した問題の解析に適用が可能となると思われる。ヒートパイプ解析は、宇宙線検出器の冷却装置の一つとして考えられているが、応用としては他の熱機関の二相流熱輸送現象解析ツールを考えている。以上のように、適用範囲は非常に広く、積極的に産官学連携研究の中で活用していくことを本研究の目標としている。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

三次元圧縮性Navier-Stokes方程式を用いた固気二相流解析ソルバは既に開発済みであるが、本手法は等間隔直交格子をベースとしているため、実際の応用解析を行う際には計算規模が容易に大規模化する特徴がある。また、気液二相流解析ソルバは現在二次元解析までは開発済みで、さらなる検証を行った上で三次元化を行うが、こちらも等間隔直交格子であるため計算の大規模化は避けられない。そのため、これらのコードのMPIとOpenMPによるハイブリッド並列化を行った後に、大規模実用解析に移行する。また最終的にはこれらのコードを統合し、固気液三相解析コードを開発し、移動物体を含む固気液三相流の解析ツールを開発する予定である。等間隔直交格子ゆえ迅速な開発が可能であるが、しかしながら計算規模が増加しやすいという大きな欠点を補うべく、大型計算機を活用する。

● 今年度の成果

三次元固気二相流解析ソルバによる微粒子と流れの干渉解析と、その結果の論文投稿並びに掲載を果たした。気液二相流解析においては、基礎的な検討を追加で行い、さらに高精度化について取り組んで国際会議発表を行った。論文への投稿は現在検討中である。回転機械の解析については、薄い物体を扱う埋め込み境界法を用いて開発を終え、現在検証を行っている最中である。その後論文投稿につなげる。

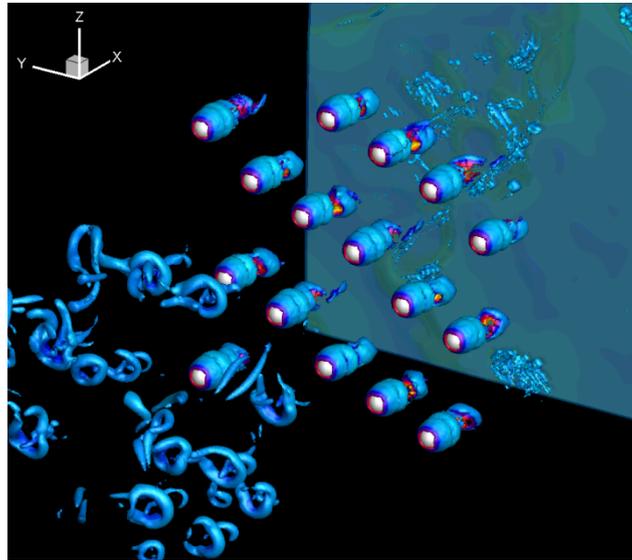


図1 多数粒子が衝撃波を通過後に生じる後流渦の可視化
: Visualization of wake vortices from multiple particles interacted with shock.

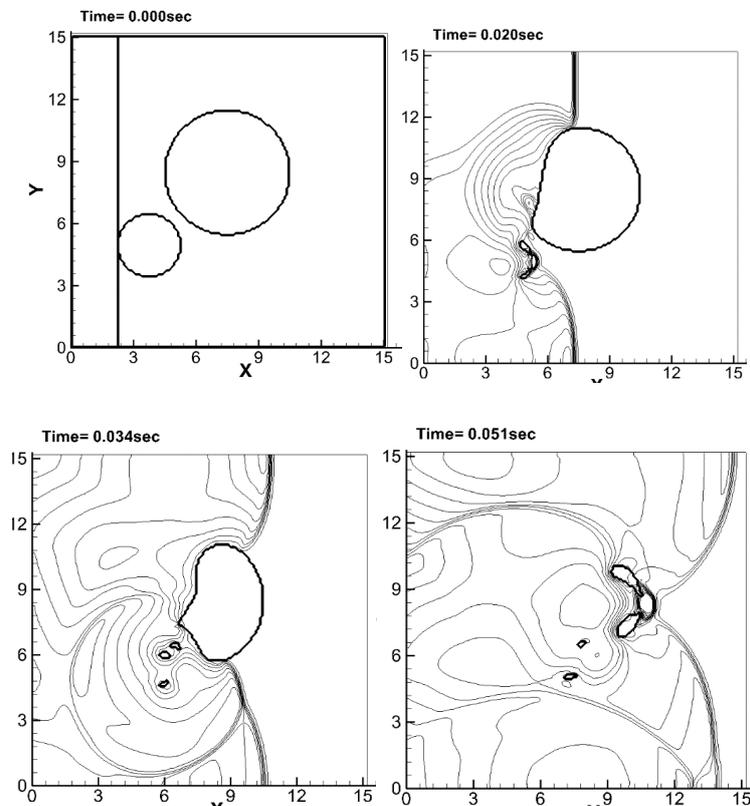


図2 二相流解析による水中の気泡の変形挙動の可視化
: Visualization of deformation of air bubbles in water by two-phase flow simulation.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	336時間
ケース数：	120ケース
ジョブの並列プロセス数：	15プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1コア
プロセス並列手法：	なし
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	SORA-PP

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) A Simple Immersed Boundary Method for Compressible Flow Simulation around a Stationary and Moving Sphere, Mizuno, Y., Takahashi, S., Nonomura, T., Nagata, T., Fukuda, K., Mathematical Problems in Engineering, Volume 2015 (2015), Article ID 438086, 17 pages

口頭発表

- 2) Coupled Simulation of Shock Waves in Gas-Particle Mixtures Introducing Motion Equations, Mizuno, Y., Takahashi, S., Nonomura, T., Nagata, T., Fukuda, K., Mathematical Problems in Engineering, VI Coupled Problems in Science and Engineering (Coupled Problems 2015), (2015).
- 3) Numerical Investigation of Minisci of Bubbles in Oscillating Heat Pipe, Inoue, T., Takahashi, S., Nonomura, T., Fuke, H., Proceedings of the First Pacific Rim Thermal Engineering Conference, PRTEC, March 13-17, 2016, Hawaii's Big Island, USA
- 4) Direct Numerical Simulation of Shock Waves Passed by Multiple Particles using Immersed Boundary Method, Mizuno, Y., Takahashi, S., Nonomura, T., Nagata, T., Fukuda, K., 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA SciTech, (AIAA 2016-0618).
- 5) 埋め込み境界法を用いた複数粒子が衝撃波を通過する流れ場の直接数値解析, 水野裕介, 高橋俊, 野々村拓, 永田貴之, 福田紘大, 第47回流体力学講演会, 2015
- 6) 直接数値解析による複数粒子と衝撃波の相互作用の把握, 水野裕介, 高橋 俊, 野々村拓, 永田貴之, 福田紘大, 2015年度機械学会流体力学部門講演会, 2015
- 7) 熱伝達を考慮した埋め込み境界法を用いた 球まわり流れの直接数値解析, 水野裕介, 高橋 俊, 野々村拓, 永田貴之, 福田紘大, 第29回数値流体力学シンポジウム, 2015

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	1.92	533,685.63		

104. 発達した乱流の大規模数値シミュレーション研究

Direct Numerical Simulations of Developed Turbulence

● 事業形態

JSS2 大学共同利用

● 事業の責任者・構成員

責任者：大阪大学 基礎工学研究科，後藤 晋(goto@me.es.osaka-u.ac.jp)

構成員：大阪大学 基礎工学研究科，川邊哲也(t_kawabe@fm.me.es.osaka-u.ac.jp)

薦田 拳(k_komoda@fm.me.es.osaka-u.ac.jp)

● 事業の目的

我々の身のまわりの流れのほとんどは乱流である。乱流の小スケールの統計性質は外力や流れの境界条件には依らずに普遍的になることが古くから知られる。この乱流統計の普遍性の成因を明らかにするとともに、その知見に基づいた全く新しい乱流モデルを構築することが本事業の目的である。

● 事業の目標

種々の境界条件下における乱流の大規模数値シミュレーションを実行し、その統計性質や動力学を詳細に調べることで、乱流の小スケールの統計の普遍性の背後にある（エネルギーカスケード現象などの）物理を明らかにするとともに、従来から用いられてきた乱流モデルの基盤をなす乱流の統計法則の成否を数値的に検証することが本事業の目標である。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

最新のスパコンを用いることではじめて室内実験と同等のレイノルズ数の乱流の数値シミュレーションが可能である。一方で、最新のスパコンを用いれば、そのようなレイノルズ数の乱流の数値実験の詳細なデータの取得とその解析が可能である。したがって、本事業においてスパコンの利用は必要不可欠であると同時に、その利用により十分な成果が期待される。

● 今年度の成果

まず、周期境界条件下における乱流中における統計法則に関する新しい知見が得られた。とくに、乱流の統計理論やモデルにおいて広く用いられてきた「エネルギー散逸率に関するテラー・コルモゴロフの法則」が必ずしも成立しないことを明らかにし、この法則が破れる原因を「エネルギーカスケード描像」を用いて説明した (Goto & Vassilicos 2016)。

また、エネルギーカスケード現象を室内実験により研究するために構築された系における乱流を数値的にシミュレートし、室内実験では明らかすることが困難な乱流の動力学に関する研究を行った。具体的には、自転軸が歳差運動をする回転容器内乱流に関する研究を遂行した。とくに、この乱流の維持機構を理解するために、作動流体に少量の界面活性剤を添加した場合の挙動を数値的に再現した。つまり、ごく少量の添加剤で容器内の乱流は劇的に低減されるので、この乱流変調の物理機構を明らかにすることで、この乱流の維持機構が明らかになると考えた。添付した図に示すように、ごく弱い非ニュー

トン粘性の影響で、容器内の乱流が（室内実験と同様に）容器中心部で劇的に低減する様子が捉えられた。次年度は、この乱流に対してさらに詳細な解析を行う計画である。

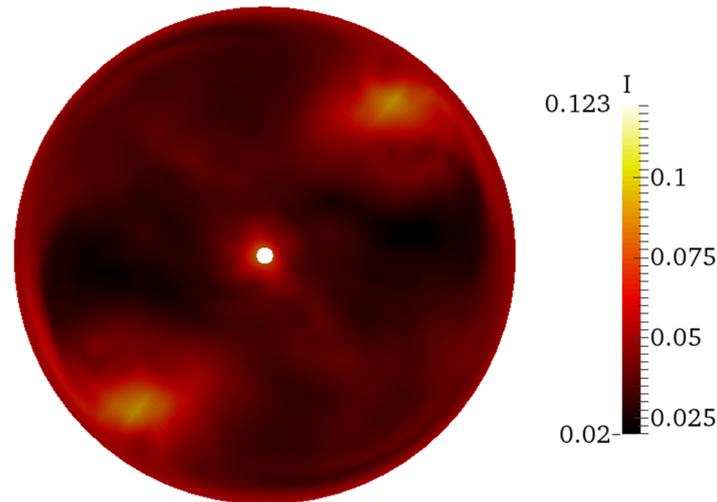


図1 歳差球体内に維持される非ニュートン流体の乱流強度（赤道面）。
: Turbulence intensity of turbulence of a non-Newtonian fluid confined
in a precessing sphere.

【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	10時間
ケース数：	20ケース
ジョブの並列プロセス数：	48プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4コア
プロセス並列手法：	MPI
スレッド並列手法：	自動並列
利用計算システム：	SORA-MA

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) S. Goto and J. C. Vassilicos, “Local equilibrium hypothesis and Taylor’s dissipation law”, Fluid Dynamics Research 48 (2016) 021402.

査読なし論文

- 2) S. Goto, Y. Horimoto and G. Kawahara, “Experiments on turbulence modulation by surfactant additives in a precessing sphere”, Proceedings of the Ninth International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena.

口頭発表

- 3) S. Goto, “Unsteadiness of turbulence driven by steady forces in a periodic cube” (The International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF2015, 2015年6月15日, KHT, Stockholm, Sweden)

- 4) S. Goto, Y. Horimoto and G. Kawahara, “Experiments on turbulence modulation by surfactant additives in a precessing sphere” (Ninth International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, 2015年7月2日, The University of Melbourne)
- 5) 後藤 晋, 齋藤雄太, 河原源太, 「高レイノルズ数乱流中の渦の階層の周期的再生」(RIMS研究集会「乱流を介在した流体现象の数理解」, 2015年7月23日, 京都大学)
- 6) S. Goto, “Pattern formation in turbulence at high Reynolds numbers” (Workshop on “New Trends in Patterns and Waves”, 2015年8月17日, 北海道大学)
- 7) 後藤 晋, 齋藤雄太, 河原源太, 「高レイノルズ数乱流中の渦の階層」(日本物理学会 2015年秋季大会, 2015年9月18日, 関西大学)
- 8) S. Goto, J. C. Vassilicos, Y. Saito and Genta Kawahara, “Kolmogorov's local equilibrium hypothesis and Taylor's dissipation law” (2nd France-Japan Workshop on Subcritical Transition to Turbulence, 2015年10月15日, 東京理科大学)
- 9) 後藤 晋, 堀本康文, 片山 惇, 「歳差運動をする容器内に維持される乱流の統計」(日本機械学会 第93期 流体工学部門 講演会, 2015年11月8日, 東京理科大学)
- 10) S. Goto, Y. Saito, J. C. Vassilicos and G. Kawahara, “Physical mechanism of energy cascade and non-equilibrium statistics in developed turbulence” (EUROMECH-ERCOFTAC Workshop “Turbulence Cascades”, 2015年12月4日, Ecole Centrale de Lille, France)
- 11) 後藤 晋, 「乱流中の渦の階層とエネルギーカスケード」(平成27年度短期研究会 「量子乱流と古典乱流の邂逅」, 2016年1月6日, 東京大学)
- 12) S. Goto and L. van Veen, “Transient turbulence in a periodic cube” (France-Japan Workshop 2016, 2016年3月3日, ESPCI, Paris, France)
- 13) 後藤 晋, 「乱流中のエネルギーカスケードの物理」(日本物理学会 第71回年次大会, 2016年3月20日, 東北学院大学)

● 年間利用量

	SORA-MA	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	202,609.73	0.04		

利用概要

JAXA では平成 21 年 4 月より、JAXA Supercomputer System (JSS) の本運用を開始し、平成 26 年 9 月で運用を終了した。平成 26 年 10 月から新スパコン JSS2 (JSS Generation 2) の Main システム (SORA-MA)を除くシステムが運用を開始した。平成 27 年 4 月からは全システムが稼働を開始した。また、平成 28 年 4 月からは、Main システムが 1.31PFLOPS から 3.49PFLOPS に増強され JSS2 のフル稼働が開始された。ここでは、平成 27 年度の JSS2 の利用概要をまとめる。

1. システム概要

JSS2 のシステム構成図を図 1-1 に示す。JSS2 はスパコン部分の SORA(Supercomputer for earth Observation, Rockets, and Aeronautics)と、アーカイバ部分の J-SPACE(Jaxa's Storage Platform for Archiving, Computing, and Exploring)及び遠隔部の 3 つの主要な部分からなっている。これらはスーパーコンピュータネットワークにより相互接続されると共に、JAXA 既設ネットワークとも相互接続される。なお、遠隔地との相互接続は、国立情報学研究所が運用している SINET の L2-VPN 機能を用いてプライベートネットワークを構築して実現している。

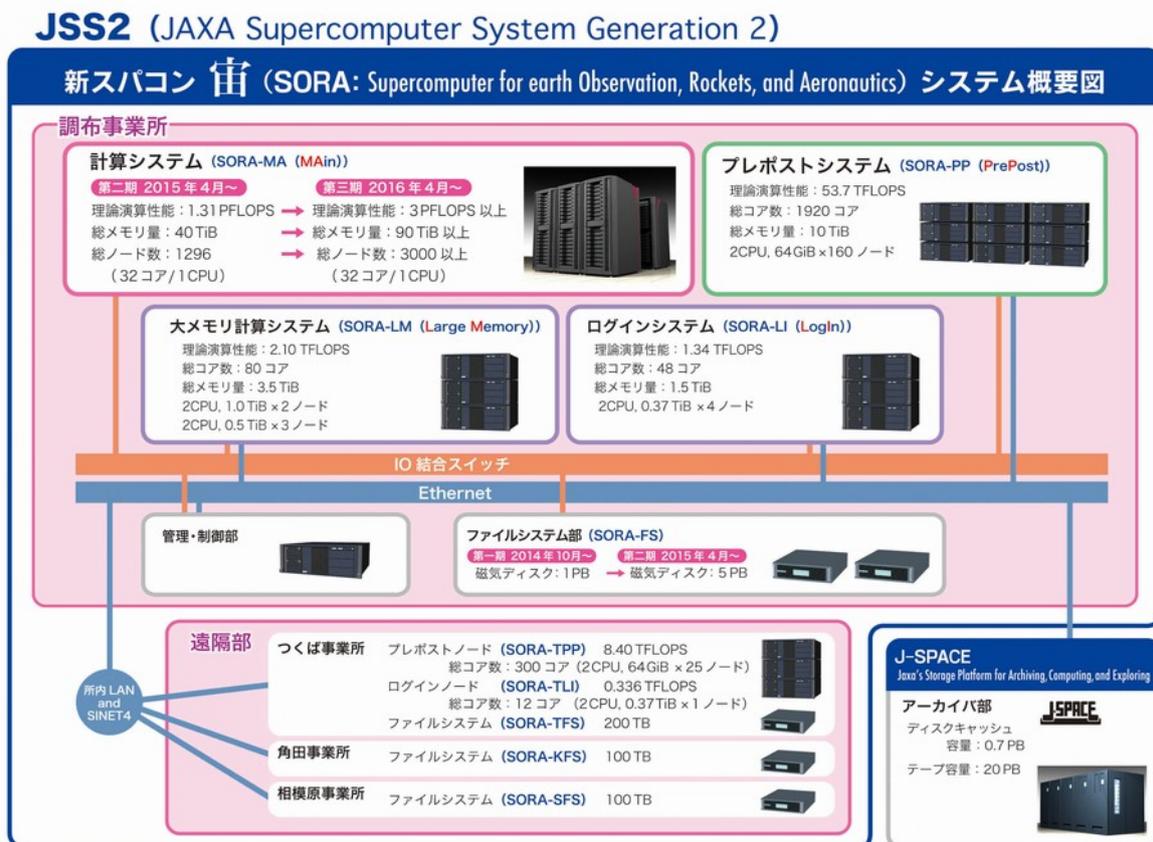


図 1-1 JSS2 の構成図

JSS2/SORA は計算システム(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) , ログインシステム(SORA-LI) , ファイルシステム(SORA-FS) , 管理・制御部の 6 つのサブシステムから構成されている。

計算システムは、富士通 FX100 でスパコンシステムの中で最大の演算性能を持つ部分である。プレポストシステムは、格子生成、可視化アプリケーション及びソルバー等の市販アプリケーションをバッチ型及び会話型で実行するものである。SORA-MA で行った数値シミュレーションやデータ処理の結果ファイルを他の場所にコピーすることなく直接操作する遠隔可視化機能を備えている。大メモリ計算システムは、分散メモリ並列化が困難で大きなメモリを必要とするアプリケーションをバッチ型ないし会話型で実行するためのものである。また、SORA-PP と同様の目的で、遠隔可視化機能を備えている。ログインシステムは、SORA-MA, SORA-PP, SORA-LM で実行するプログラムの編集やコンパイルを行い、バッチジョブとして投入するものである。ファイルシステム部は、大規模な数値シミュレーションやデータ処理のファイル操作及び、ソースコードの保存等を行うための高速・高可用なクラスター型のファイルシステムである。管理・制御部は、ジョブ管理、課金・統計管理、空調設備や冷却設備等の外部設備を制御する自動運転機能を提供するものである。

アーカイバ部(J-SPACE)は、階層管理型ストレージシステムとして構成されて、スパコン部分(SORA)とは独立して稼動するクラスター型のアーカイブ装置で、大規模ファイルや長期保存が必要なファイルの保存庫であり、高速なファイル入出力機能と複数のユーザインターフェースを持っている。

遠隔部は、JAXA のつくば事業所、角田事業所、相模原事業所から、SORA や J-SPACE を効率的に利用するものである。

JSS2 の主要システムの諸元を表 1-1 に示す。

表 1-1 JSS2 の主要諸元(2016 年 3 月 31 日時点)

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)	つくば 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	1296	160	5	25
総理論演算性能	1.31PFLOPS	53.7TFLOPS	2.10TFLOPS	8.40TFLOPS
1 ノードのコア数	32	6	8	6
1 ノードの CPU 数	1	2	2	2
1 ノードのメモリ量	32GB	64GB	1024/512GB	64GB

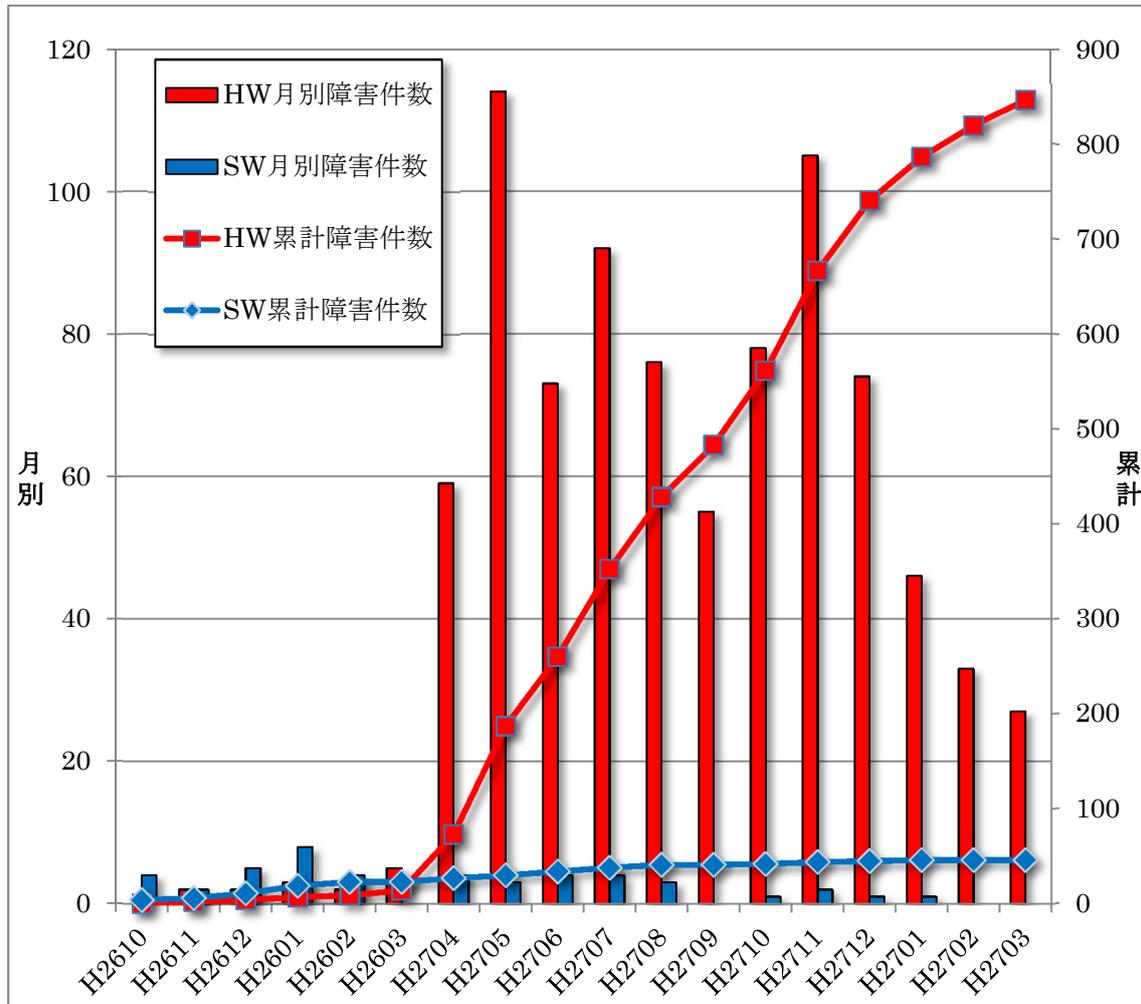


写真：JSS2/SORA-MA システム

2. 障害発生状況

JSS2/SORA(MA, PP, LM, J-SPACE)システムの障害発生状況を図 2-1 に示す。平成 27 年度は SORA-MA の運用が開始されたためか初期障害がかなり多く発生している。

図 2-1 JSS2/SORA システム障害件数



3. 運用概要

平成 27 年度 4 月からの JSS2/SORA-MA システムの稼働状況を表 3-1 に示す。4 月の稼働当初はユーザ数が少ないこともあり稼働率は 34.9% とかなり低い。その後は、ユーザが SORA-PP から移行したこともあり徐々に稼働率は上がっている。しかし、7 月に発生した SORA-FS の障害に伴い長期間運用を停止したため 7 月の稼働率はかなり低くなっている。

図 3-1 に JSS2/SORA-MA システムの平成 27 年度のコア数別のジョブの実行状況を示す。使用したコア数別に色分けしてあり、縦軸は当該月の全てのジョブ実行コア時間を 100% とした場合の、それぞれのコア数規模のジョブの割合を見ることができる。

4 月の運用当初は 384~3456 コアのジョブが主流になっているが 10 月以降は高いコア数のジョブも増えている。

表 3-1 JSS2/SORA-MA システム稼働状況

(時間単位：時間)

運用 月次	CPU稼働状況		ジョブ処理計画運用時間				停止時間(実時間)				総 CPU 電源投入 時間 (E)	電源 投入 時間に 対する CPU 稼働率 (A)/(E)	運用 日数
	バッチ ジョブ 総割当 時間 (A)	CPU 稼働 率 (A) /(B)	処理可能 時間	障害 時間	運用時間 合計 (B)	計画外 停止	保守作業	予告停電	小計				
201504	9,898,331	34.9%	27,378,548	966,735	28,345,283	0	2,315,404	165,888	2,481,292	28,715,115	34.47%	30	
201505	15,109,374	56.3%	26,579,386	243,459	26,822,845	0	3,819,590	456,192	4,275,782	29,745,689	50.80%	30	
201506	19,688,858	68.6%	28,376,829	301,059	28,677,888	62,208	1,089,027	393,984	1,545,219	29,080,773	67.70%	30	
201507	18,131,968	58.8%	30,585,662	269,506	30,855,168	6,567,921	269,506	0	6,837,427	24,023,639	75.48%	31	
201508	23,581,566	79.0%	29,503,860	355,980	29,859,840	108,656	1,351,308	0	1,459,965	26,835,142	87.88%	29	
201509	22,562,608	76.3%	29,441,607	127,929	29,569,536	0	418,233	0	418,233	29,745,488	75.85%	30	
201510	25,083,711	83.0%	30,066,031	167,057	30,233,088	0	789,137	0	789,137	30,603,749	81.96%	31	
201511	23,479,283	80.5%	28,664,606	515,093	29,179,699	0	1,195,234	0	1,195,234	29,762,496	78.89%	30	
201512	22,510,310	87.4%	25,500,840	260,322	25,761,162	0	4,815,192	539,136	5,354,328	25,724,999	87.50%	29	
201601	24,018,959	87.3%	27,297,723	218,949	27,516,672	82,944	3,557,445	0	3,640,389	28,138,047	85.36%	28	
201602	20,895,162	89.2%	23,308,943	128,128	23,437,071	0	5,555,569	0	5,555,569	25,376,010	82.34%	28	
201603	21,963,141	86.7%	25,229,558	104,857	25,334,415	0	5,625,610	0	5,625,610	25,109,639	87.47%	30	
2015Total	246,923,273	73.6%	331,933,593	3,659,075	335,592,688	6,821,729	30,801,255	1,555,200	39,178,184	332,860,788	74.18%	356	

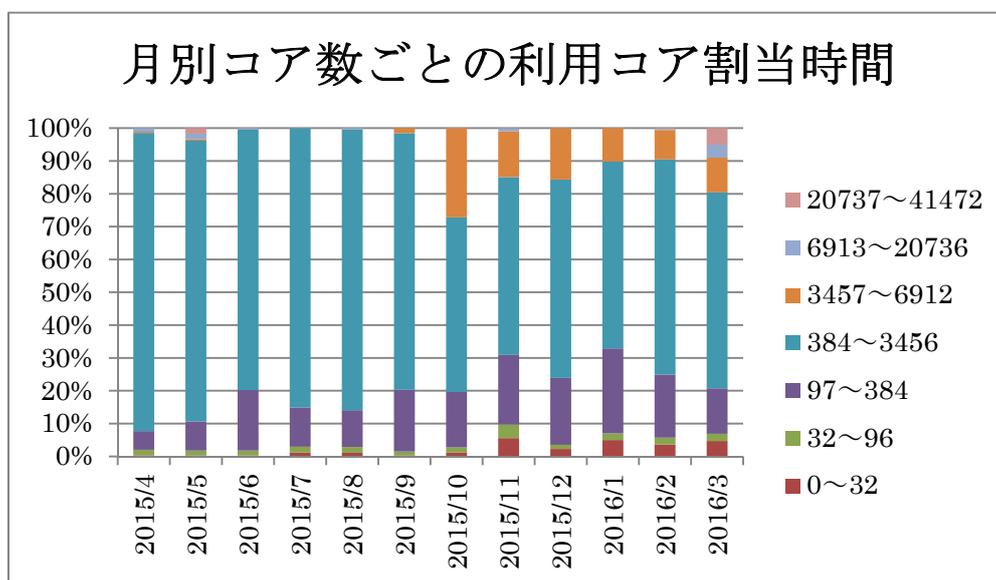


図 3-1 JSS2/SORA-MA システムのコア数別ジョブの実行状況

平成 27 年度の JSS2/SORA-PP システムの稼働状況を表 3-2 に示す。4 月の稼働率は 90% とかなり高い数値を示しているが、JSS2/SORA-MA システムの運用が開始されたこともあり、ユーザが SORA-MA システムへ移行したことや 7 月に発生した SORA-FS の障害に伴い長期間運用を停止したため平均 77% とやや低めの稼働率になっている。

図 3-2 に平成 27 年度のコア数別のジョブの実行状況を示す。使用したコア数別に色分けしてある。全般的に 384 コアまでのジョブが主流になっており、1 月以降には高いコア数のジョブが多少実行されている。

表 3-2 JSS2/SORA-PP システム稼働状況

(時間単位：時間)

運用 月次	CPU稼働状況		ジョブ処理計画運用時間				停止時間			小計	総 CPU 電源投入 時間 (E)	電源 投入 時間に 対する CPU 稼働率 (A)/(E)	運用 日数
	バッチ ジョブ 総割当 時間 (A)	CPU 稼働 率 (A) (B)	処理可能 時間	障害 時間	運用時間 合計 (B)	計画外 停止	保守 作業	予告 停電					
201504	1,111,736	90.4%	1,230,264	0	1,230,264	0	58,536	7,200	65,736	1,268,668	87.63%	30	
201505	879,636	75.6%	1,164,186	0	1,164,186	0	155,214	19,800	175,014	1,307,401	67.28%	30	
201506	1,104,766	88.8%	1,242,534	2,166	1,244,700	2,700	36,366	17,100	56,166	1,267,198	87.18%	30	
201507	857,894	64.1%	1,337,786	1,414	1,339,200	284,940	1,414	0	286,354	1,071,556	80.06%	31	
201508	781,411	60.3%	1,294,586	1,414	1,296,000	4,716	44,614	0	49,330	1,172,100	66.67%	29	
201509	981,850	76.5%	1,283,400	0	1,283,400	0	12,600	0	12,600	1,296,000	75.76%	30	
201510	869,775	66.3%	1,312,200	0	1,312,200	0	27,000	0	27,000	1,339,200	64.95%	31	
201511	992,026	78.3%	1,266,480	0	1,266,480	0	29,520	0	29,520	1,296,000	75.55%	30	
201512	998,519	89.3%	1,118,106	0	1,118,106	0	197,694	23,400	221,094	1,122,000	88.99%	29	
201601	1,113,076	93.2%	1,194,300	0	1,194,300	0	144,900	0	144,900	1,225,799	90.80%	28	
201602	738,982	72.7%	1,017,234	0	1,017,234	0	235,566	0	235,566	1,176,301	62.82%	28	
201603	803,608	73.1%	1,099,584	0	1,099,584	0	239,616	0	239,616	1,090,798	73.67%	30	
2015Total	11,233,279	77.1%	14,560,660	4,994	14,566,654	292,356	1,245,546	67,500	1,605,462	14,633,018	76.77%	356	

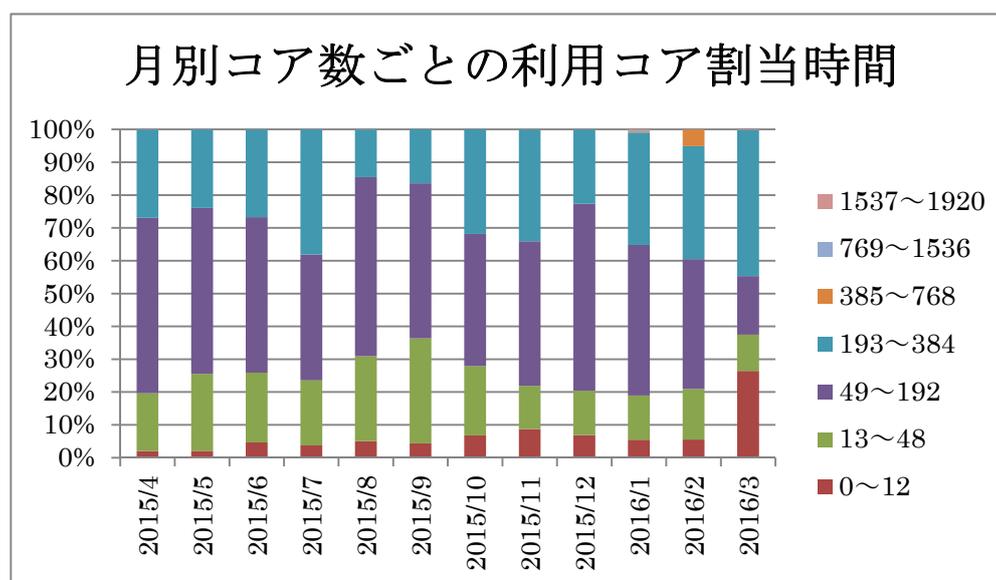


図 3-2 JSS2/SORA-PP システムのコア数別ジョブの実行状況

4. ユーザ登録状況

JSS2 のユーザ登録状況を表 4-1 に示す。JSS2 では JAXA 内部の一般利用のほか、共同研究や JSS2 大学共同利用や有償による設備貸付等、外部のユーザにも利用いただいている。

表 4-1 ユーザ登録状況

分類	登録人数 (人)
内部利用	281
共同研究	35
JSS2 大学共同利用	38
設備貸付	7
研修生・学生	71
派遣・請負・委託研究	153
合計	585

5. ユーザ区分別利用状況

JSS2/SORA-MA システムのユーザ区分別利用割合を図 5-1 に示す。9 割強が内部利用で占めている。外部利用としては、共同研究、設備貸付、JSS2 大学共同利用があるが、共同研究の利用割合が最も多い。

JSS2/SORA-PP システムのユーザ区分別利用割合を図 5-2 に示す。SORA-MA と同様に約 9 割が内部利用で占めている。外部利用としては、JSS2 大学共同利用の利用割合としては最も多い。

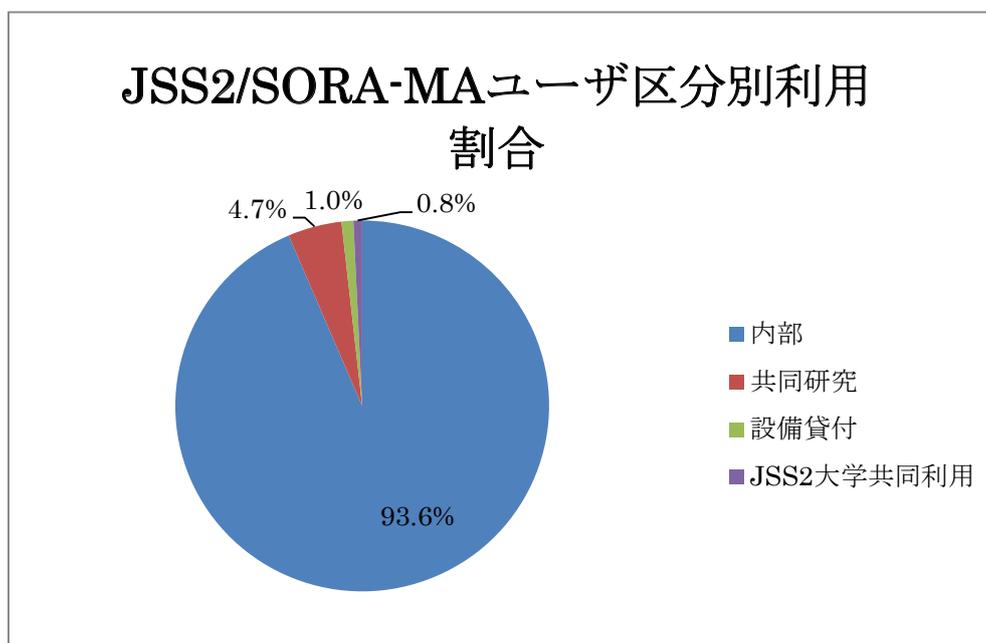


図 5-1 JSS-M ユーザ区分別利用割合

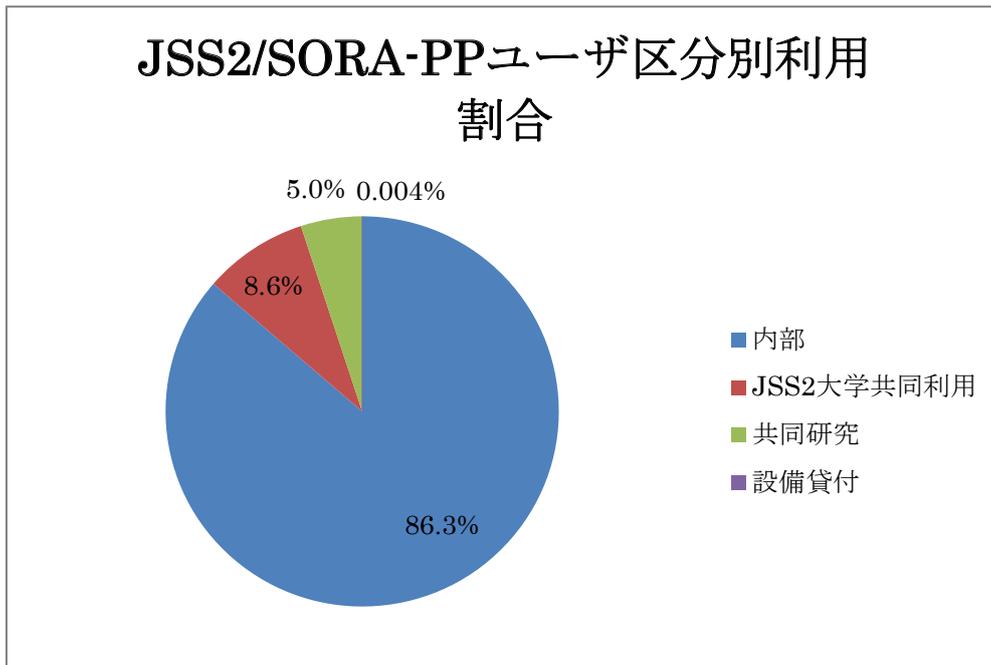


図 5-2 JSS2/SORA-PP ユーザ区分別利用割合

6. 分野別利用割合

JSS2/SORA-MA システムの事業コード別計算機利用量を図 6-1 に示す。重点利用の枠組みでは、10 件の事業コードが設定されており「機体騒音低減技術の飛行実証」と「H3 ロケットプロジェクト」の事業で重点利用の枠組みの 50%程度の利用がある。一般利用の枠組みでは、71 件の事業コードが設定されており「内部流・燃焼・回転機器解析技術」の事業での利用が最も多い。

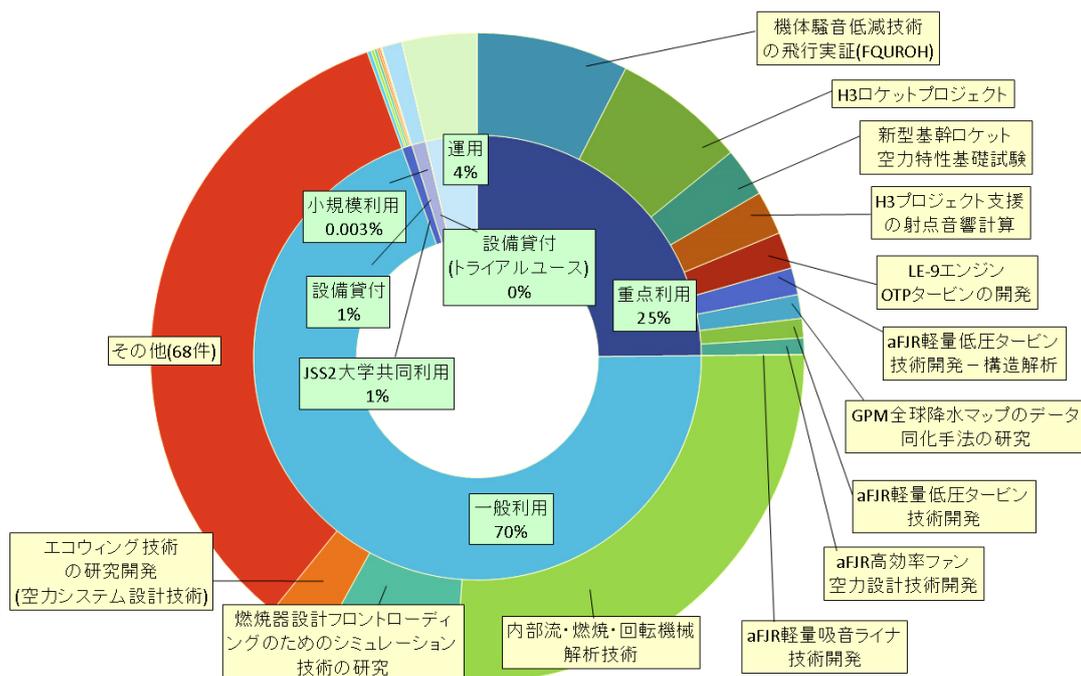


図 6-1 JSS2/SORA-MA における利用の枠組み毎の事業コード別計算機利用量

宇宙航空研究開発機構特別資料 JAXA-SP-16-003
JAXA Special Publication

平成27年度JAXAスーパーコンピュータシステム利用成果報告
JAXA Supercomputer System Technical Summaries 2015

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 JSSシステム利用成果報告書編集チーム 編集リーダー 藤田直行 編集スタッフ 吉田正廣・竹本勇介・末松和代				
発	行	日	平成28年9月30日			
電	子	出	版	制	作	松枝印刷株式会社

©2016 JAXA

※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 degital media of the contents of this publication, text and images are strictly prohibited. All Rights Reserved.

