

平成26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 2014

セキュリティ・情報化推進部

宇宙航空研究開発機構

平成27年12月

# 平成 26 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 2014

## 目 次

### 【成果概要】

#### 航空分野

1. 亜音速ジェット騒音の LES 数値予測の研究	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 エンジン-機体統合低騒音化技術	5
3. エコウィング技術の研究開発 (空力/構造連携機体抵抗低減技術)	8
4. エロージョンにかかわるシミュレーション	10
5. 環境適合型航空機に対する翼端デバイス最適設計法の構築	12
6. 境界層制御による空力性能向上技術開発	14
7. 境界層制御による空力性能向上技術開発 (技術研修生, 連携大学院)	16
8. 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	18
9. 高精度解析法に関する先進的研究	21
10. 小型航空機エンジン用燃焼器内部流の解析	24
11. 極超音速インテークに関する数値的研究	26
12. 極超音速エンジン内部流および周囲流に関する研究	28
13. 将来型回転翼航空機に関する研究	30
14. 次世代ファン・タービンシステム(aFJR)高効率ファン空力設計技術開発	33
15. 遷音速後退翼上の Vortex Generator の効果	35
16. 遷音速バフェット予測精度向上	37
17. 遷音速レイノルズ数効果試験技術	39
18. ソニックブーム評価のための近傍場圧力波形推算手法の効率化	41
19. 超音速機の自然層流設計	43
20. 低騒音スラットとエンジン上方マウント最適化のための研究	46
21. デジタル/アナログ・ハイブリッド風洞システム運用	49
22. 斜め円柱周りの境界層遷移の LES による数値予測	51
23. 燃焼器解析に関する研究	53
24. 能動的流体制御デバイスに関する学術研究	55
25. 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	58
26. フロンティア領域の非定常 CFD 解析技術に関する研究	60
27. CFD による多孔壁干渉の数値解析	62
28. CFD の小型旅客機設計適用に関する研究	64
29. EFD/CFD 融合データ活用技術	66
30. LPT フラッタ解析	69
31. QTW 巡航時空力特性の研究	71

#### 宇宙分野

32. 圧縮性乱流の高精度解析に関する研究	73
33. 宇宙往還機の飛行特性に関する研究	76

34. 宇宙環境利用基礎科学数値解析	78
35. 液体ロケットエンジン再生冷却性能予測解析	80
36. 液体ロケットエンジンの燃焼振動関連解析	82
37. 温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) 運用事業におけるスパコン利用	84
38. 改良型高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)運用事業(高次処理試行)におけるスパコン利用	86
39. 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	88
40. 火星飛行機の開発に向けた研究	90
41. 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	92
42. 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	94
43. 空力音響に関する学術的研究	96
44. 月着陸候補地点のシミュレーションおよび解析	99
45. 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による放出機構検討	101
46. 再突入カプセルの遷音速不安定に関する研究	103
47. 将来宇宙輸送システムの空力設計	105
48. 将来輸送技術の研究 (再使用型輸送システム)	107
49. 新型基幹ロケット空力特性基礎試験	111
50. スクラムジェットエンジン内部形状の空気力学的効果	113
51. 世界初の火星飛行探査実現に向けた基盤研究と高高度飛行試験	116
52. 先端的宇宙機推進機のプラズマ流れの数値解析	119
53. 超音速噴流から発生する非線形音響波の発生機構の解明と定量的予測	121
54. 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	123
55. 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	125
56. ロケット・宇宙機に係る推進薬熱流体挙動の数値解析	127
57. ロケット・宇宙機の燃焼関連評価用コードの機能強化	129
58. ロケット再突入データ取得研究	132
59. ロケットフェアリング遷音速流れにおける音響振動解析技術の開発	134
60. ロケットラム複合サイクルエンジンにおけるエジェクタ・モードの数値計算	136
61. ロケットリフトオフ時の音響振動解析技術の開発と低騒音射点設計検討	138
62. FaSTAR を用いた宇宙往還機の Vtail 角度による空力依存性解析	141
63. GPM/DPR のデータ受信処理におけるスパコン利用	143
64. RCS 干渉場予測技術の開発	145

## 基礎研究

65. 機体騒音低減技術の飛行実証 (FQUROH) プロジェクト	147
66. 小型回収カプセルアブレータのリセッション効果の調査	149
67. 大気突入機の熱空力評価システムの高度化	151
68. 多点継手構造の構造解析	154
69. 極超音速ビジネスジェットの空力性能評価	156
70. 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	158
71. 風車周りの流れに関する研究	160
72. 惑星大気の大気対流構造に関する数値的研究	162
73. FaSTAR による風車後流の数値解析	164

## その他

74. 大型風洞における汎用 PIV システムの開発	166
75. プロジェクト対応解析支援システムの開発	167
76. JAXA スーパーコンピュータの運営 (角田)	169

## 大学共同利用(航空分野)

77. 飛翔体の空力・構造・飛行力学連成解析に関する研究	170
78. 3次元超音速飛行体周りの圧力場計算	172

## 大学共同利用(宇宙分野)

79. 荷電粒子ビーム装置を用いた衛星帯電制御の解析	174
80. 完全再使用型宇宙輸送システムの空力解析	176
81. 高精度 MHD 計算を用いた高速磁気リコネクションの研究	179
82. 水星の材料物質の起源, 熱史, および磁場生成	182
83. リコネクション率に伴って変化する X-line 近傍の電場構造に関する研究	186
84. 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	189

## 大学共同利用(基礎分野)

85. 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	191
86. 発達した乱流の大規模数値シミュレーション研究	194
87. DNS 解析に基づく高マッハ数混相乱流 LES モデルの構築	197

## 責任者別

青山剛史 (小林 航, 間中芳美, 森田直人)	26
青山剛史 (橋本 敦, 石田 崇, 石向桂一, 林 謙司, 竹川国之)	60
青山剛史 (橋本 敦, 南部太介)	62
青山剛史 (大司早織)	76
青山剛史 (森上群平)	103
青山剛史 (岩男拓実)	141
青山剛史 (池田大夢, 木村佳大)	164
井上 弘 (根岸秀世, 大門 優, 西元美希, 小椋光治, 松本万有)	80
井上 弘 (清水太郎, 森井雄飛, 本江幹朗, 溝渕泰寛, 菱田 学)	82
井上 弘 (谷 洋海, 大門 優)	92
井上 弘 (藤本圭一郎, 谷 洋海)	101
井上 弘 (根岸秀世, 藤本圭一郎, 梅村 悠)	127
井上 弘 (清水太郎, 森井雄飛, 本江幹朗, 青野淳也)	129
井上 弘 (高木亮治, 堤誠 司, 芳賀臣紀, 丸山新一, 小泉 拓, 伊藤浩之, 前川友樹)	138
伊藤 健 (跡部 隆, 池田友明, 岡林希依, 内藤弘士)	14
伊藤 健 (山田祐樹, 鈴木祐太)	16
伊藤 健 (黒滝卓司, 住 隆博)	21
伊藤 健 (池田友明, 跡部 隆)	58
伊藤 健 (松山新吾, 小澤宇志)	151
大山 聖 (藤井孝藏, 野々村拓, Li Weipeng, 関本諭志, 李 東輝, 他)	90



大山 聖 (野々村拓, Li Weipeng, 関本諭志, 李 東輝, 森澤征一郎, 他) .....	116
岡田匡史 (寺島啓太, 伊海田皓史, 今井和宏, 伊藤文博, 福澤 瞬) .....	111
沖田耕一 (青木良尚, 高間良樹) .....	105
沖田耕一 (青木良尚, 高間良樹) .....	132
河合宗司 .....	73
倉本 圭 (木村 淳, 佐々木 洋平) .....	182
後藤 晋 .....	194
斎藤義文 (小川匡教, 篠原 育, 清水健矢, 藤本正樹) .....	179
斎藤義文 (清水健矢, 篠原 育, 小川匡教, 藤本正樹) .....	186
佐藤 茂 (高橋正晴, 渡邊孝宏, 宗像利彦, 福井正明) .....	113
佐藤 茂 (高橋正晴, 渡邊孝宏, 宗像利彦, 福井正明) .....	169
佐宗章弘 (豊田 篤, 岩川 輝, 古川大貴, 青木勇磨) .....	172
嶋田 徹 (本江幹朗) .....	94
清水敏文 (川畑佑典, 伴場由美) .....	123
杉山耕一郎 (安藤紘基) .....	162
高木亮治 (堤誠 司, 丸山新一, 小泉 拓, 伊藤浩之, 安部賢治) .....	134
高橋 孝 (金森正史, 石向桂一) .....	18
高橋 俊 .....	191
高柳昌弘 (足立 聡, 東辻浩夫) .....	78
竹島敏明 (上田陽子, 齋藤紀男, 山崎朋朗, 田中 誠) .....	84
竹島敏明 (齋藤紀男, 齋藤 進) .....	86
竹島敏明 (齋藤紀男, 齋藤 進) .....	88
竹島敏明 (齋藤紀男) .....	143
田中 智 (滝田隼) .....	125
坪井伸幸 (武藤大貴, 荒木孝行, 衛藤 遥, 坂井敦紘, 渡辺裕介, 他) .....	189
徳川直子 (石川敬掲, 伊藤啓吾, 長田多恵, 牛山剣吾, 佐野昂生, 他) .....	43
中村俊哉 (高戸谷健) .....	154
西澤敏雄 (榎本俊治) .....	3
西澤敏雄 (牧田光正, 山本 武, 中村直紀) .....	24
西澤敏雄 (田口秀之, 本郷素行, 東野 嵩, 晝間正治) .....	28
西澤敏雄 (賀澤順一, 石山 毅, 加藤 進) .....	33
西澤敏雄 (榎本俊治) .....	51
西澤敏雄 (吉倉弘高) .....	69
二村尚夫 (鈴木正也, 山根 敬) .....	10
野々村拓 (Li Weipeng, 関本諭志, 李 東輝, 森澤征一郎, 阿部圭晃, 他) .....	121
橋本 敦 (泉知 宏, 澤田恵介) .....	37
長谷川進 .....	136
浜本 滋 (中北和之, 伊藤 靖, 村山光宏, 田中健太郎) .....	35
浜本 滋 (中北和之, 保江かな子, 上野 真, 古賀星吾, 互井梨絵, 小林 航) .....	39
浜本 滋 (口石 茂) .....	49
浜本 滋 (中北和之, 竹中啓三, 畑中圭大) .....	64
浜本 滋 (口石 茂, 保江かな子, 越智康浩, 加藤博司) .....	66
浜本 滋 (藤井啓介, 高間良樹) .....	145
浜本 滋 (加藤裕之, 小池俊輔) .....	166
福田紘大 (野々村拓) .....	197
船木一幸 (川崎 央, 奥野喜裕, 窪田健一, 佐野達郎) .....	119

藤井孝藏 (大山 聖, 野々村拓, Li Weipeng, 関本諭志, 李 東輝, 他) .....	55
藤井孝藏 (大山 聖, 野々村拓, Li Weipeng, 関本諭志, 李 東輝, 他) .....	96
星野 健 (石原吉明, 大嶽久志, 水流晃一, 若林幸子, 山本光生) .....	99
牧野好和 (牧本卓也, 石川敬掲) .....	41
松尾裕一 (村上桂一) .....	167
溝渕泰寛 (山本姫子) .....	53
溝渕泰寛 (松尾裕一, 松山新吾, 岡部壮志) .....	158
宮路幸二 .....	170
村上桂一 (窪田健一, 金田 誠) .....	149
村上桂一 (松井勇樹) .....	156
村上桂一 (山田 遼) .....	160
村上 哲 (田辺安忠, 杉浦正彦, 菅原瑛明, 武田 茂, 大江晴天, 他) .....	30
村上 哲 (青木良尚) .....	71
村中崇信 (山川 浩, 小嶋浩嗣, 星 賢人) .....	174
山本一臣 (高石武久, 村山光宏, 伊藤 靖, 池田友明, 坂井玲太郎, 他) .....	5
山本一臣 (金崎雅博, 遠藤暢頭, 四宮 隆) .....	46
山本一臣 (伊藤 靖, 高石武久, 村山光宏, 坂井玲太郎, 中野 彦, 他) .....	147
吉田 誠 (植田修一, 小寺正敏) .....	107
米本浩一 (牧園享弥, 浦 優介) .....	176
渡辺重哉 (岡林希依, 内藤弘士) .....	8
渡辺重哉 (栗田 充, 金崎雅博, 土屋陽祐, 杉山太一) .....	12

---

## 【利用概要】

1. システム概要 .....	201
2. 障害発生状況 .....	205
3. 運用概要 .....	206
4. ユーザ登録状況 .....	210
5. ユーザ区分別利用状況 .....	210
6. 分野別利用割合 .....	211

※ 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。  
 1 申請に対して複数の研究結果 (テーマ) の報告の提出があった場合はその数で等分。  
 他に, 研究の性質上, 非公開のものが 8 件。

# 成果概要

# 1. 亜音速ジェット騒音の LES 数値予測の研究

## Large-Eddy Simulation of Subsonic Jet Noise

### ● 事業形態

本部事業研究

### ● 事業の責任者・構成員

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

構成員：航空本部 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，実験結果の評価などを通して，目標達成を支援する。

### ● 今年度の成果

航空機の主要な騒音源の一つはエンジンのジェット騒音であり，マイクロジェット噴射によるジェット騒音低減が研究されている。本研究では，ジェットエンジン排気流を模擬したパイロン付二重円形ジェット流れに対して，UPACS-LES を用いてマイクロジェット噴射を含めた数値解析を行い，その騒音低減効果の数値予測を試みた。

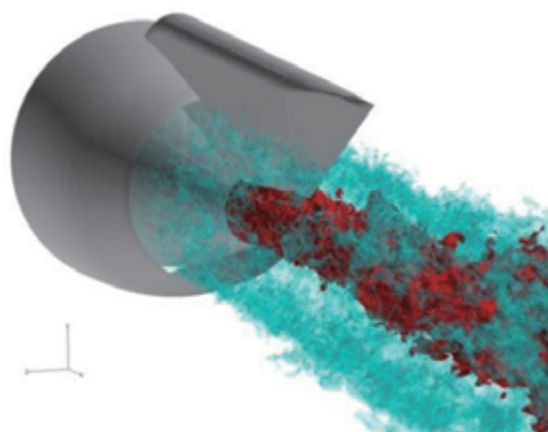


図1 パイロン付二重円形ジェットの等速度面

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	800時間
ケース数：	4ケース
ジョブの並列プロセス数：	163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：	JSS-M

**● 成果の公表状況****査読付論文**

- 1) Tatsuya ISHII, Shunji ENOMOTO, Satoru NAKAMURA, and Hitoshi ISHIKAWA, “Jet mixing noise suppression by means of a claw mixer: Revision of the nail configuration to improve the high-frequency acoustic property”, Bulletin of the JSME, Journal of Fluid Science and Technology, Vol.9, No.3, 2014

**査読なし論文**

- 2) Shunji ENOMOTO, Kazuomi YAMAMOTO, Maxime KOENIG, and Dominique COLLIN, “Experimental and Numerical Study of Jet Noise Reduction of HBPR Engine by Microjet Injection”, AIAA 2014-2621

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	45.65	957.55

※ JSS-Mの利用

## 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 エンジン-機体統合低騒音化技術

*Study on Environmentally Friendly Aircraft System: Engine –Airframe Noise Reduction Technology*

#### ● 事業形態

航空本部研究事業

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 機体システム研究グループ，山本一臣(yamamoto.kazuomi@jaxa.jp)

構成員：高石武久(takaishi.takehisa@jaxa.jp)

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)

雨宮和久(amemy@chofu.jaxa.jp)

田中健太郎(kentaro@chofu.jaxa.jp)

平井 亨(thirai@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

将来航空機システムに要求される環境性能のうち空港騒音低減（空港騒音基準 ICAO Chapter 4 - 20dB@2022年, Chapter 4 - 30dB@2035年）の実現の基盤となる技術を獲得し、航空機製造産業の継続的発展と我が国航空機メーカーの国際競争力強化に資する

#### ● 事業の目標

エンジンと機体によって生じる航空機騒音の搭載効果および機体遮蔽による低騒音化を解析可能とする設計ツール（解析法，最適化法，実験データベース）を確立する。これにより空港騒音基準 ICAO Chapter 4 比で，空港騒音 30db 以上低減の見通しを得る。

#### ● 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

今年度JSSを利用した解析では高揚力装置及び脚から発生する機体騒音予測技術の精度検証と技術成熟度向上を行った。

- ① 実機複雑形状に対応可能な直交格子法をベースとしたBCMに関して，実機を模したJAXA騒音評価用主脚模型LEGを対象に流体・遠方場騒音解析を実施し(図1)，風試結果や他の解析結果と比較することで，物体壁面境界条件や乱流モデルに対する技術課題を明らかにしてコードの改良を行った。

- ② 構造格子ソルバーUPACS を用いて AIAA 機体騒音検証ワークショップ BANC の 30P30N 翼型スラット騒音検証問題 (JAXA から高品質な風洞試験検証データを提供) の解析により(図 2), スラット騒音解析における計算スキームや計算格子依存性を示した。

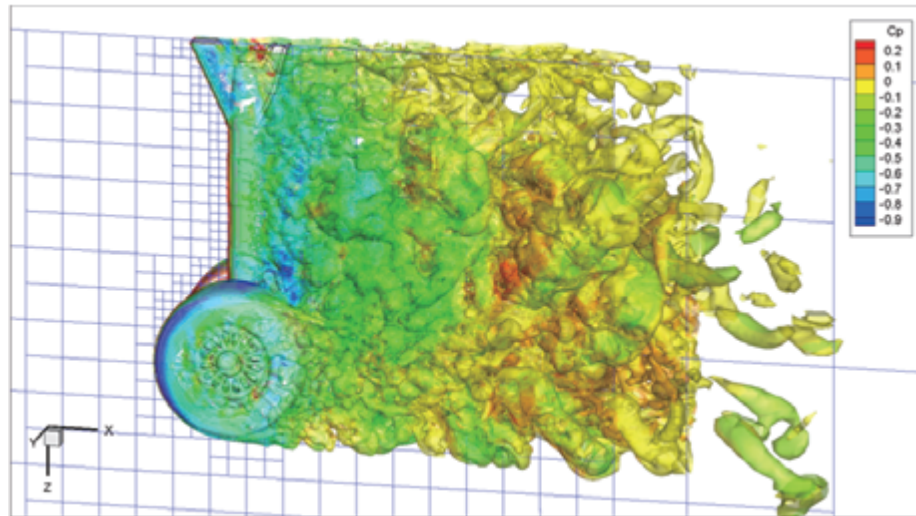


図1 JAXA 騒音評価主脚模型 LEG より発生する渦度等値面の可視化 (圧力係数で色付け)

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	約60時間
ケース数：	10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)：	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

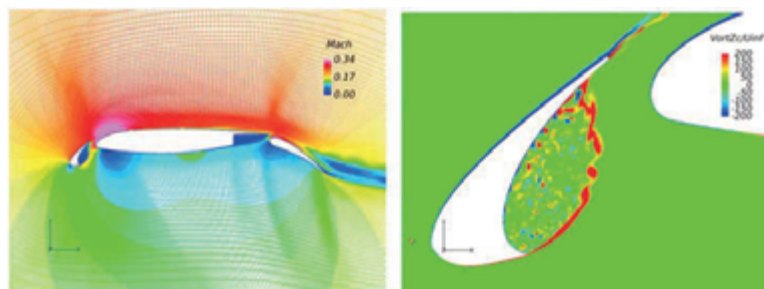


図2 瞬時のマッハ数分布とスラットコブせん断層の渦度分布

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	約550時間
ケース数：	2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-PP



## ● 成果の公表状況

無し

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	244762.54	2000.78

※ No.2とNo.20の報告書に按分

### 3. エコウィング技術の研究開発（空力/構造連携機体抵抗低減技術）

#### Study on Environmentally Friendly Aircraft System: Drag Reduction Technology

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 参与, 渡辺重哉(watanabe.shigeya@jaxa.jp)

構成員：航空本部 空力技術研究グループ, 岡林希依(okabayashi.kie@jaxa.jp)

航空本部 空力技術研究グループ, 内藤弘士(naitoh.hiroshi@jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

エコウィングで実施している, 乱流摩擦抵抗低減のための独自リブレットに適用可能な設計ツールの構築を行うため.

#### ● 事業の目標

全機レベルで2% (乱流部で6%)の抵抗低減を目標とし, 独自リブレット形状により従来の台形/直線リブレットより大きな抵抗低減を行う.

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

リブレット面を有するチャネル乱流のDNS計算.

#### ● 今年度の成果

形状の異なるいくつかのパターンのDNSを行いリブレット形状の探求を行った.

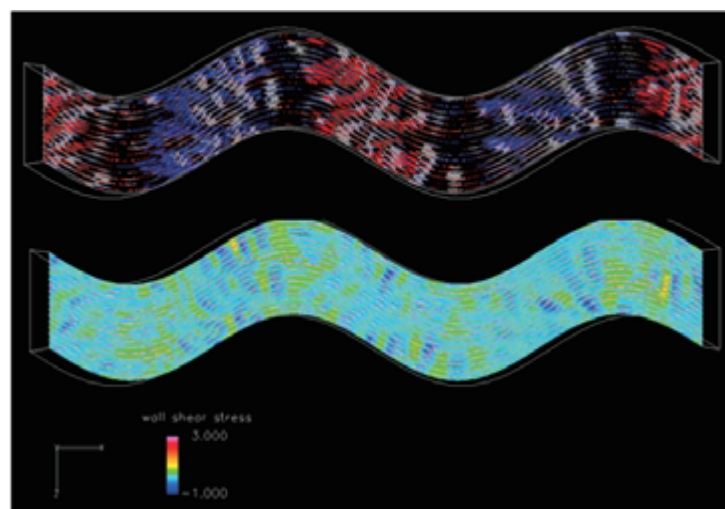


図1 リブレット流れ DNS 瞬時場

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	100時間
ケース数：	4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：	
利用計算システム：	JSS-M

**● 成果の公表状況**

無し

**● 年間利用量**

※ JSS-Mの利用

## 4. 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：推進システム研究グループ，二村尚夫(futamura.hisao@jaxa.jp)

構成員：推進システム研究グループ，鈴木正也(suzuki.masaya@jaxa.jp)

推進システム研究グループ，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

航空本部の基盤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ている。

#### ● 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。加えて高精度化に向けて 2-way/4-way に対応するため試計算を行った。

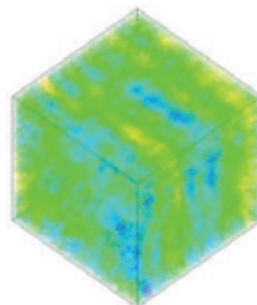


図1 マッハ 0.3 の気流中を浮遊する粒子の温度分布

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	160時間
ケース数：	4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)：	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

## ● 成果の公表状況

## 査読付論文

- 1) Matsui, K., Suzuki, M. and Yamamoto, M., Three-Dimensional Multi-Physics CFD Simulations of Sand Transfer around a Cube, American Journal of Environmental Protection, Vol. 2, No. 6 (2014-2), pp. 188-193.

## 査読なし論文

- 2) Hataya, T., Suzuki, M. and Yamamoto, M., Numerical Simulation of Sand Erosion Using Unified Platform for Aerospace Computational Simulation, Proceedings of Asian Congress on Gas Turbines 2014, ACGT 2014-0082, (2014-8), pp. 1-5.

## 口頭発表

- 3) 畠谷尊明, 鈴木正也, 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の数値計算, 計算工学講演会論文集, 第19巻, C-5-4 (2014-6), pp. 1-5.
- 4) 鈴木正也, 山本 誠, 液滴衝撃エロージョンの数値シミュレーション, 第42回日本ガスタービン学会定期講演会講演論文集, A-20 (2014-10), pp. 105-109.

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	24303.31	

## 5. 環境適合型航空機に対する翼端デバイス最適設計法の構築

### Study on Design Optimization Method of Wing-tip Devices toward Environmentally Friendly Aircraft

#### ● 事業形態

共同研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 チーフエンジニア，渡辺重哉(watanabe.shigeya@jaxa.jp)

構成員：航空本部 風洞技術開発センター，栗田 充(kurita.mitsuru@jaxa.jp)

首都大学東京システムデザイン学部航空宇宙システム工学コース，

金崎雅博(kana@sd.tmu.ac.jp)

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，土屋陽祐

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，杉山太一

#### ● 事業の目的

旅客機の空力抵抗を低減させる有効な翼端デバイスの提案のために，効果的な最適化手法の研究を行う。

#### ● 事業の目標

巡航時の抵抗低減の他，大域的設計探査法にもとづき離陸時の抵抗低減，構造的な曲げモーメント最小化など現実的な多目的問題として設定する。こうした問題設定に対応すべく，幅広い設計空間を網羅して非従来型の斬新なコンセプトも設計候補とできる高い自由度を持つ翼端形状定義法を開発する。これらの中で得られた知見の獲得により旅客機の空力抵抗低減技術の確立に資する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

航空機の機体抵抗低減を議論する上では抵抗係数  $C_d$  数カウント(1カウント=0.001)を議論できる高精度なRANS計算が必要であり，形状最適化を行う上では多数の形状に対する評価が必要なためスパコンを用いた大規模並列環境が必須である。

#### ● 今年度の成果

翼端形状の大域的な最適設計と付加的デバイスの配置最適化を行った。上反角，後退角の他，前進角，下半角も設計解として取り出せる大域的設計法を検討し適用した結果，NASA CRM モデルを対象とした設計において，抵抗係数  $C_d$  2.3 カウントの抵抗低減を達成した。最適設計法として，Kriging モデルに基づく遺伝的アルゴリズムによる逐次サンプリング法を用いたが，複数個のサンプルを取得する Multiple additional sampling (MAs)法を提案し，本研究のさらなる効率化を図った。また，付加的なデバイスにより圧力分布を変化させて抵抗低減効果が得られる事を示した。

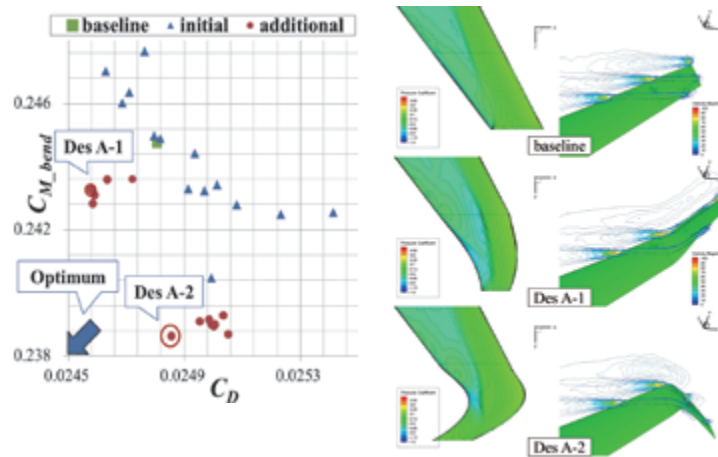


図1 抵抗係数  $C_D$  及び翼根曲げモーメント  $C_{M_{bend}}$  の最小化を狙った二目的最適化結果

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	5-20時間
ケース数：	約100ケース
ジョブの並列プロセス数：	30-100プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4-6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：	JSS-M

### ● 成果の公表状況

#### 口頭発表

- 1) Y. Tsuchiya, T. Sugiyama, M. Kanazaki, M. Murayama, M. Kurita, M. Kohzai, “Global Design Optimization of Winglet/ Wingtip Shape for Future Aircraft,” The eleventh International Conference on Flow Dynamics (ICFD2014), Sendai, October, 2014.

### ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用



## 6. 境界層制御による空力性能向上技術開発

### *Improvement of the aerodynamic performance due to the boundary-layer control*

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部空力技術研究グループ，伊藤 健(ito@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部空力技術研究グループ，跡部 隆(atobe.takashi@jaxa.jp)

航空本部空力技術研究グループ，池田友明(ikedat@chofu.jaxa.jp)

航空本部 空力技術研究グループ，岡林希依(okabayashi.kie@jaxa.jp)

航空本部 空力技術研究グループ，内藤弘士(naitoh.hiroshi@jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

境界層受容性解析技術により，攪乱の境界層遷移に与える影響を解析可能とすることで，遷移の遅延，促進を実現する手段を手に入れ，これにより翼型等の設計の自由度を拡大する。

乱流境界層内での境界層プロファイルを制御することにより，剥離の遅延，圧力回復改善を可能とすることにより，高 MDD 翼型，高アスペクト比主翼平面型，拡大管（インテークダクト）等の設計の自由度を拡張する。

#### ● 事業の目標

- ・非線形効果による遷移遅延，促進効果の検証及び表面デバイスによる境界層プロファイルの制御。
- ・リブレット近傍の乱流現象を詳細にとらえるDNSを行い，その形状改善に資する知見の取得。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

数値計算では主流中に加える微小攪乱の振幅，波数などを任意に設定することが可能であり，その影響を定量的に評価するためには非常に重要な解析手法である。

また本事業で行うリブレット近傍の乱流現象を詳細にとらえる非定常DNS，および全機規模のリブレット上流れのRANS解析はいずれも大規模計算であり，これらを高速に処理するスパコンを利用することが必須である。

#### ● 今年度の成果

従来報告されている直線リブレットに対し，流れ方向を波状にすることで抵抗低減率を改善させることに成功。さらに圧力抵抗を低減させるためのパラメータスタディを実施し，更なる抵抗低減を実現した。

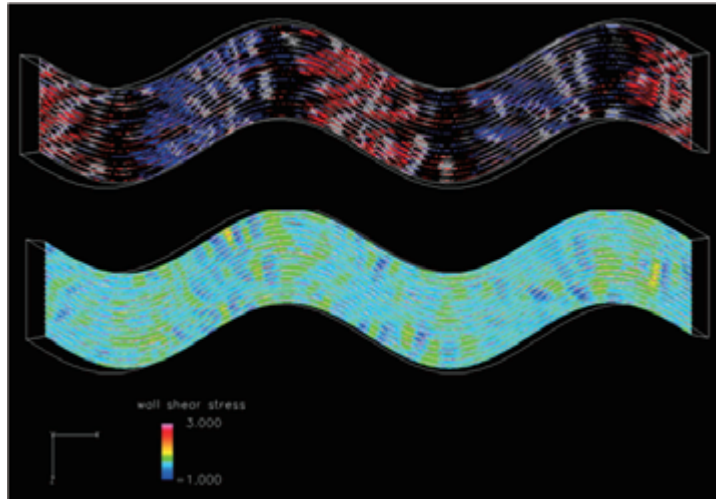


図1 JAXA オリジナルリブレットの壁面近傍流の様子（上は渦度，下は速度）。

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	300時間
ケース数：	4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)：	32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：	JSS-M

#### ● 成果の公表状況

##### 査読なし論文

- 1) K. Okabayashi, T. Matsue, M. Asai, and H. Nito, RANS modeling for flows on Riblets based on experimental data; ICAS2014 (2014)

#### ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用

## 7. 境界層制御による空力性能向上技術開発 (技術研修生, 連携大学院)

### *Improvement of Aerodynamic Performance by Boundary-layer Control*

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 空力技術研究グループ, 伊藤 健(ito@chofu.jaxa.jp)

構成員：首都大学東京 大学院, 山田祐樹(yamada-yuki@ed.tmu.ac.jp)

首都大学東京, 鈴木祐太(suzuki@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

航空機の摩擦抵抗を低減する方法の一つとして, 受動的乱流制御の一種であるリブレットが知られており, その実用化技術の獲得が急務である. 本事業ではリブレット表面近傍の微細な流れを解析することにより, 抵抗低減効果を高めるためのリブレット形状改善に資する知見を得る.

#### ● 事業の目標

JAXA 独自のリブレット形状の獲得と, その実用化.

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

本事業で行うリブレット近傍の乱流現象を詳細にとらえる非定常DNSは大規模計算であり, これらを高速に処理するスパコンを利用することが必須である.

#### ● 今年度の成果

これまで主流方向に直線状だったリブレットに波型の変化をつけることで, 直線状リブレットより大きな抵抗低減効果を得られることが確認されたとともに, 本計算から得られた知見から, さらに抵抗を小さくする新たな形状を見出した.

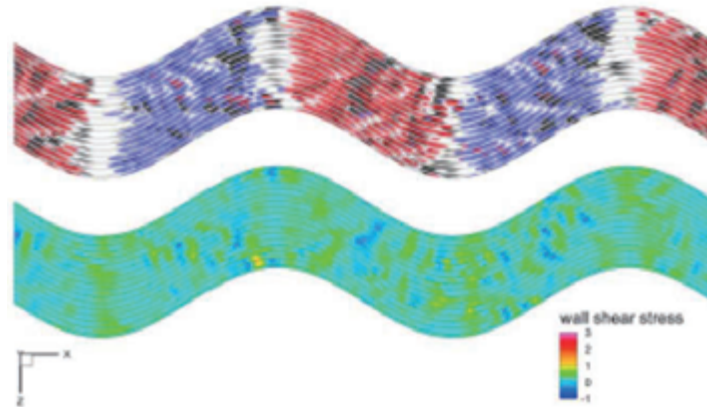


図1 渦構造（上）と摩擦抵抗分布（下）

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	500時間
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	32ノード
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：	JSS-M, JSS-A, SORA-PP

## ● 成果の公表状況

## 口頭発表

- 1) 9th International Symposium of Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP-9)

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	127.16	

※ JSS-M, JSS-Aの利用実績あり

## 8. 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：航空本部 数値解析技術研究グループ, 高橋 孝(takahashi.takashi@jaxa.jp)

構成員：航空本部 数値解析技術研究グループ, 金森正史(kanamori.masashi@jaxa.jp)

航空本部 数値解析技術研究グループ, 石向桂一(ishiko.keiichi@jaxa.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、試験条件が明確な推進システムグループの実験結果と比較・検証を行い、広い周波数帯にわたり調整用パラメータへの依存度が顕著であることを確認した。これにより、調整パラメータの傾向調査やモデリング性能向上等の課題が明確化された。

一方、音響伝播解析に繋がる超音速機超音速機周りのCFD解析は、直交格子ベースの物体適合非構造格子生成ツールHexaGridで生成された格子を用い、高速流体解析ツールFaSTARにより実施した。図1はCFDによりスティングあり/なしの解析を実施して得られた $H/L=1.46$ における近傍場圧力波形の変化

である。ここで $H/L$ は機体長に対する機軸からの半径を表し、1.46まで解析を実施するためには、衝撃波をはじめとする圧力波の伝播経路すべてを高精度に解析する必要がある。本研究では、生成される格子の直交性を生かし、衝撃波が格子に沿うように機体を回転させることによって、精度良く近傍場波形を取得することに成功している。スティングの有無によって、波形の後端部に大きな差異が発生していることが分かる。近傍場波形におけるこのような差異は、ソニックブームのような遠方場波形に対する影響、特に人や環境に与える影響に大きく作用する。従って、スティングなしの結果を適切に予測することが、ソニックブーム全体の予測において重要な技術になる。図2はバリスティックレンジによる飛行試験結果との比較である。これを見ると、バリスティックレンジの結果はCFDによるスティングなしの結果とよく一致している。このことから、従来の風洞実験等では難しかったスティングの影響を受けない実験を、バリスティックレンジによって適切に実施できているということが分かる。

以上の成果は、高速な音源・音響伝播解析技術の検証やモデリング技術の向上につながり、最終的には航空機及びロケットの内部音響環境改善という目的を達成するために必要不可欠なものとなる。図1にVtail角度を変化させた時の揚抗比の変化を示す。このようにVtailの角度を倒していくと揚抗比が改善していることが分かった。このような結果となったのはVtailの角度を倒したことによる揚力の増加が原因であると考えられる。ここで、Vtailの翼面の $C_p$ 分布を図2に示す。それぞれ迎角はなしの場合であり、図2の左側がVtailの角度が $10^\circ$ 、図2の右側がVtailの角度が $40^\circ$ である。この $C_p$ 分布を見てみるとVtailの角度を倒すことにより高い $C_p$ の箇所が翼面上を後方へ移動し、全体的に赤くなっているのがわかる。このように翼の下面側の $C_p$ が高い方がより揚力が増加するため、Vtailの角度を倒した方が揚力を増加させる結果となることがわかる。

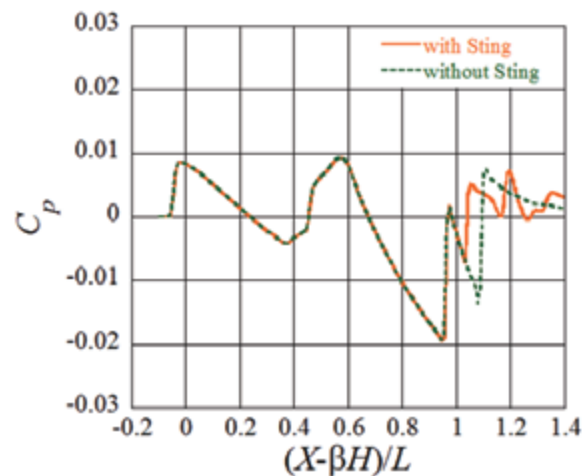


図1 CFDによるスティングの有無による近傍場波形の変化

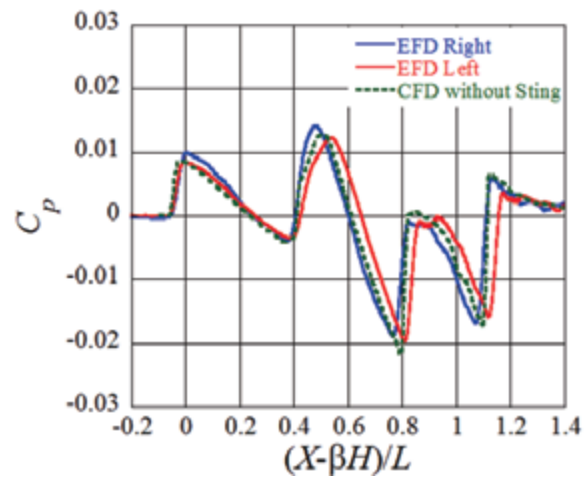


図2 パリスティックレンジ結果(EFD)との比較

#### 【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：	64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, 自動並列
利用計算システム：	JSS-M

#### ● 成果の公表状況

##### 査読なし論文

- 1) Near Field Pressure Measurement around Free Flight 69 Degree Swept Back Delta Wing Model, AIAA 2015-1253 (筆頭著者：名古屋大学豊田篤氏)

##### 口頭発表

- 2) 1<sup>st</sup> Sonic Boom Prediction Workshop @ AIAA SciTech2014

#### ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用



## 9. 高精度解析法に関する先進的研究

### *Advanced Numerical Simulation of Flow with High Accuracy and Resolution*

#### ● 事業形態

先端萌芽的研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部空力技術研究グループ，伊藤 健(ito@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部空力技術研究グループ，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，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

従来より，WCS(Weighted compact scheme)の弱点と言われてきた脆弱性を克服するために，極めて堅牢なコンパクトスキームを開発提案し，各種高速流の解析に適用する。

特にその応用として，今後発展すると予想されるマルチフィジックスの分野として，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

高精度圧縮性混相流の基本コードを開発した。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，基本的な検証問題により，アルゴリズムの妥当性を確認した。

## Shock in Air hitting Water Cylinder

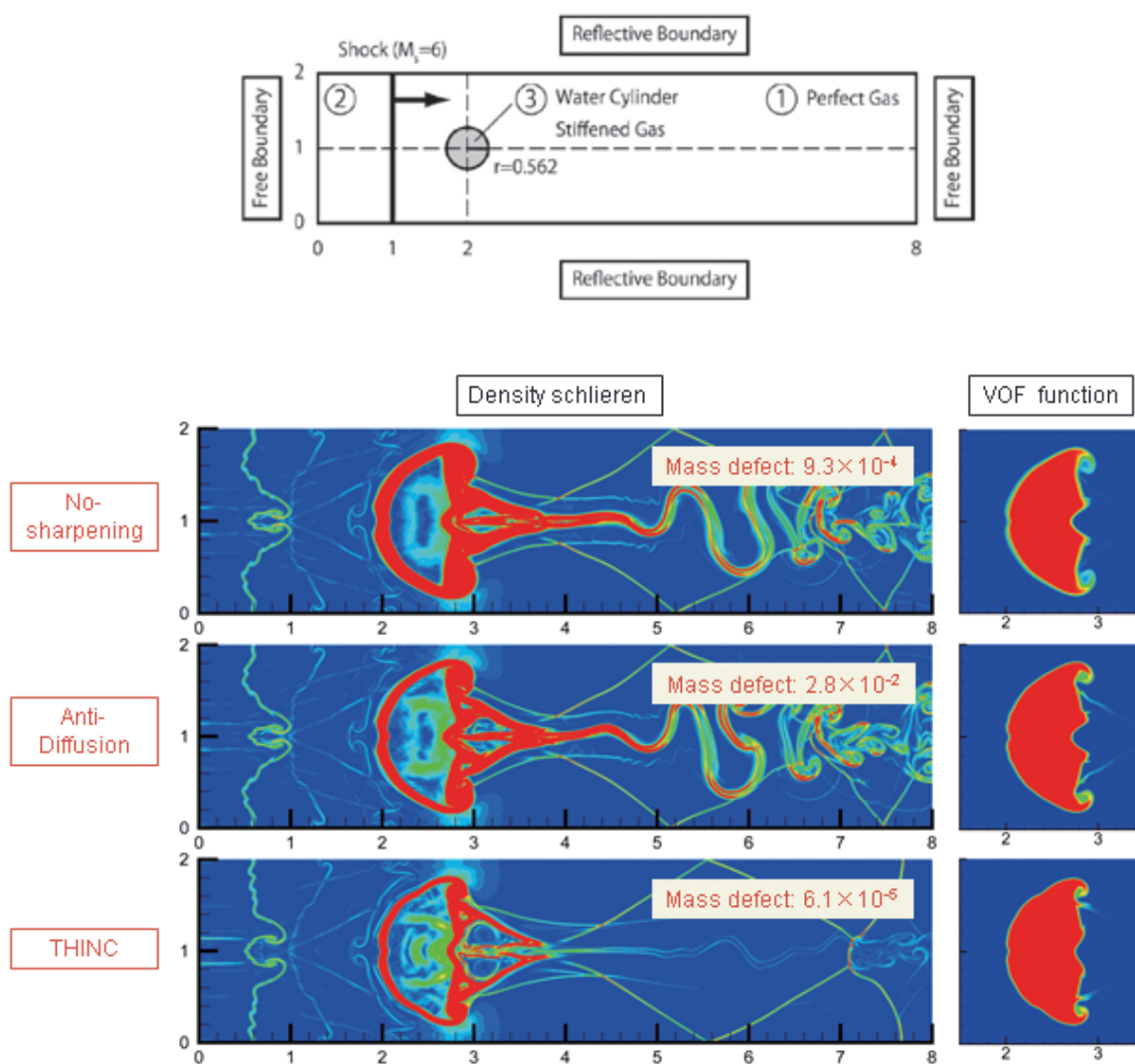


図1 マッハ6の衝撃波通過後の液滴形状及び流れ場及び各種手法による比較 (密度分布,  $t=6.8\text{msec}$ )

## 【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) :	4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(VISIMPACT含む)
利用計算システム :	JSS-M

**● 成果の公表状況****口頭発表**

- 1) 黒滝, 住, “固気相連成問題におけるインターフェースモデルの構築と高速流解析への応用,” 第46回流体力学講演会, (2014), 2C12
- 2) 住, 黒滝, “拡散界面モデルによる圧縮性混相流の高次精度解法,” 混相流シンポジウム2014, (2014).
- 3) 住, 黒滝, “重み付きコンパクトスキームの堅牢性および解像度向上への試み,” 第28回数値流体力学シンポジウム, (2014), C05-2
- 4) 黒滝, 住, “Sharp interface model を用いた高速流圧縮性混相流解析のWCNS法による高精度化について,” 第28回数値流体力学シンポジウム, (2014), C05-1.

**● 年間利用量**

※ JSS-Mの利用

## 10. 小型航空機エンジン用燃焼器内部流の解析 Flowfield Analysis inside Combustors for Small Air Craft Engine

### ● 事業形態

一般研究

### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 推進システム研究グループ，西澤敏雄(nishizawa.toshio@jaxa.jp)

構成員：航空本部 推進システム研究グループ，牧田光正(makida@chofu.jaxa.jp)

航空本部 推進システム研究グループ，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，副燃料ノズルのスワール方式を変更して短縮化し，副燃料ノズルからの流入空気の流れにどの様に影響するかを解析した．今後，これらのデータを燃焼器の開発に活用していく予定である。

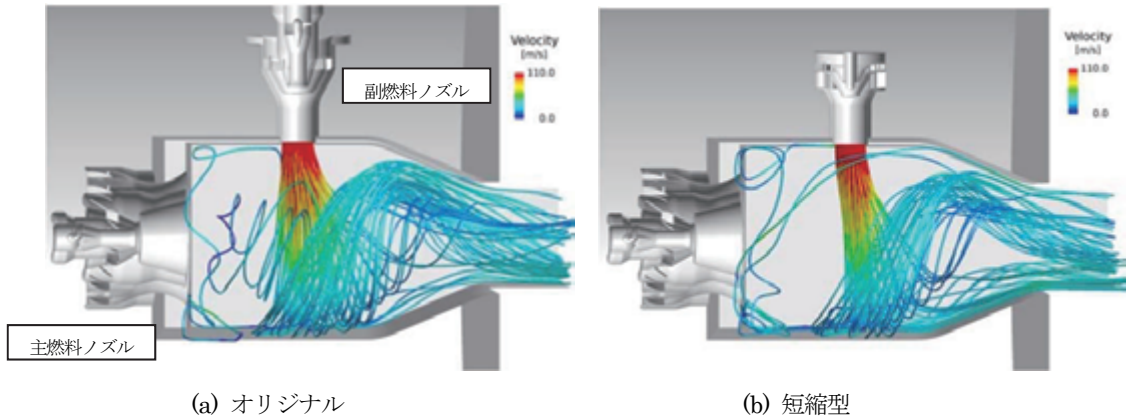


図1 副燃焼ノズル形態の違いによる流れ場の変化

**【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ケース
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：	VISIMPACT
利用計算システム：	JSS-M , SORA-PP

● **成果の公表状況**

無し

● **年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	112601.45	

※ JSS-Mの利用実績あり

## 11. 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

研修生

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，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，間中芳美(mana-c.paso@akane.waseda.jp)

早稲田大学，森田直人(n.morita.pc@gmail.com)

#### ● 事業の目的

- ・ 矩形インテークでのインテークバズの抑制方法の確立，メカニズムの解明.
- ・ 独自に設計したブーゼマンインテークの性能取得，設計改善.

#### ● 事業の目標

- ・ ダクトの体積を変えたモデルを用意し，ダクト体積がインテークバズに及ぼす影響を明らかにする
- ・ 既存のインテークより性能がより良いブーゼマンインテークの設計.

#### ● 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

- ・ インテーク下流のダクト体積を小さくすると，バズが発生しにくいという結果が得られた．また，バズの周波数などがダクトの体積により異なることがわかった．
- ・ ブーゼマンインテークの不始動時の流れ場の様子を計算することができた．



図1 ダクトが大きい場合のインテークバズの様子

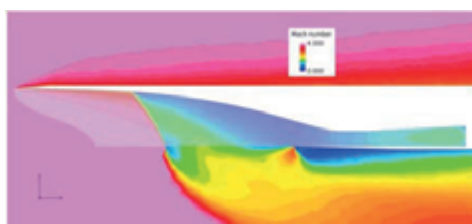


図2 ダクトが大きい場合のインテークバズの様子

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	50時間
ケース数：	22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)：	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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM

**● 成果の公表状況****口頭発表**

- 1) 「インテークバズの発生におけるダクト体積の影響」第29回数値流体力学シンポジウム
- 2) 「三次元形状超音速インテークの風洞試験および数値解析」宇宙輸送シンポジウム
- 3) 「RBCCエンジン搭載TSTO機の機体エンジンの干渉に関する調査」第58回宇宙科学技術連合講

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	927.73	53.60

※ JSS-Mの利用実績あり



## 12. 極超音速エンジン内部流および周囲流に関する研究

### Study on Hypersonic Engine Internal Flow and External Flow

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 推進システム研究グループ，西澤敏雄((nishizawa.toshio@jaxa.jp)

構成員：航空本部 推進システム研究グループ，田口秀之(taguchi.hideyuki@jaxa.jp)

航空本部 推進システム研究グループ，本郷素行(hongoh@chofu.jaxa.jp)

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

早稲田大学，晝間正治(hiruma.m@ruri.waseda.jp)

#### ● 事業の目的

マッハ 5 で飛行する極超音速統合制御実験機や，極超音速旅客機にウェーブライダー形状を適応した場合の空力性能を評価検討すること。

#### ● 事業の目標

マッハ 5 で飛行する極超音速統合制御実験機の空力性能及び機体周囲流を取得し，評価検討すること。また，ウェーブライダー形状については，揚抗比が最大となるウェッジ角を導出することを目的とする。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

実際に極超音速実験をするのは困難であり，極超音速風洞試験も頻繁に行うことはできない。そこで，スパコンを利用し，事前に，各飛行条件での空力性能や周囲流をCFD解析により作成する。

#### ● 今年度の成果

マッハ 5 で飛行する極超音速統合制御実験機の空力性能と機体周囲流を取得した。迎角 10 度までは縦方向の静安定が得られないことを確認した。ウェーブライダー形状については，ウェッジ角 7 度で揚抗比が最大となることを確認した。

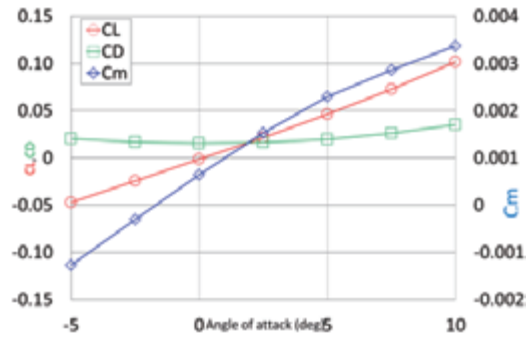


図1 極超音速統合制御実験機の空力性能

## 【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：	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：	OpenMP
利用計算システム：	JSS-M, JSS-A, SORA-PP, SORA-LM

## ● 成果の公表状況

その他

1) 学内発表

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	5093.11	544.24

※ JSS-M, JSS-Aの利用実績あり

## 13. 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: 航空本部 機体システム研究グループ, 村上 哲(murakami.akira@jaxa.jp)

構成員: 航空本部 機体システム研究グループ, 田辺安忠(tanabe.yasutada@jaxa.jp)

航空本部 機体システム研究グループ, 杉浦正彦(sugiura.masahiko@jaxa.jp)

菱友システムズ, 菅原瑛明(hideaki8@chofu.jaxa.jp)

首都大学東京, 武田 茂(takedacj@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把握。
- 2) 地面近くで飛行するヘリコプタの後流構造の解析。
- 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。

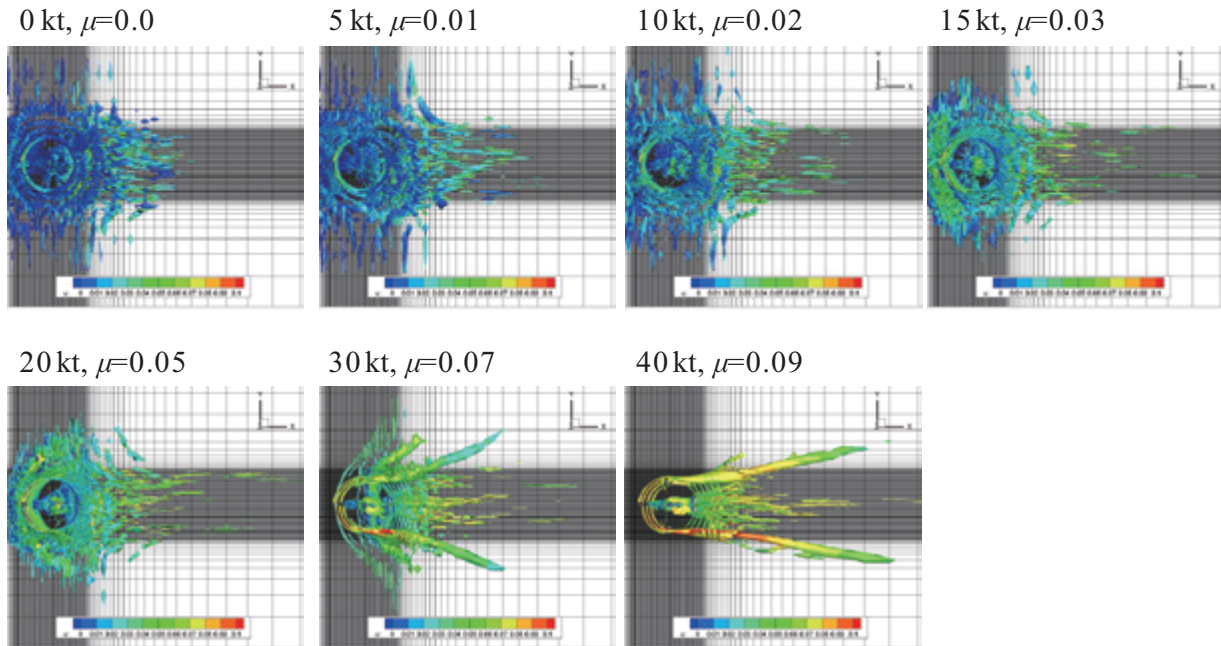


図1 地面近くを飛行するヘリコプタの後流構造と飛行速度の関係

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	100時間
ケース数：	14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：	OpenMP
利用計算システム：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM

#### ● 成果の公表状況

##### 査読付論文

- 1) Yasutada TANABE, Masahiko SUGIURA and Hideaki SUGAWARA: Multi-Disciplinary Analyses of Rotary Wings in Axial Flows, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, Vol. 12, No. APISAT-2013, pp. a1-a7, June 2014.
- 2) Shigeru TAKEDA, Masahiko SUGIURA, Yasutada TANABE, Hideaki SUGAWARA, Masahiro KANAZAKI and Masatoshi HARIGAE: Influence of Pre-twist Distribution at the Rotor Blade Tip on Performance during Hovering Flight, Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci., Vol.58, No.1, pp.1-6, January 2015.

##### 査読なし論文

- 3) Harutaka Oe, Yasutada Tanabe, Masahiko Sugiura, Takashi Aoyama, Yuichi Matsuo, Hideaki Sugawara and Makoto Yamamoto: Application of rFlow3D Code to Performance Prediction and the Wake Structure Investigation of Wind Turbines, 70th American Helicopter Society Annual Forum, Montreal, Quebec, Canada, May 2014.

- 4) Harutaka Oe, Makoto Yamamoto, Yasutada Tanabe, Masahiko Sugiura, Takashi Aoyama, Yuichi Matsuo, and Hideaki Sugawara: Numerical Investigation of the Aerodynamic Interaction Between Wind Turbine Tower and Blades with the rFlow3D code, Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition, Tokyo, Japan, July 2014.
- 5) Masahiko Sugiura, Yasutada Tanabe, Hideaki Sugawara, Shigeru Takeda and Masahiro Kanazaki: Computationally Efficient and High Fidelity Optimization of Rotor Blade Geomery, 40th European Rotorcraft Forum, Southampton, UK, September 2014.
- 6) Hideaki Sugawara, Yasutada Tanabe: Verification of the Prediction Accuracy of Rotor Performance by rFlow3D 8th Australian Pacific Vertiflite Conference on Helicopter Technologies and 3rd Asian Australian Rotorcraft Forum, Melbourne, Australia, December 2014.
- 7) Masahiko Sugiura, Yasutada Tanabe and Hideaki Sugawara: Numerical Analysis of the Downwash Caused by a Helicopter Rotor in Ground Effect, 8th Australian Pacific Vertiflite Conference on Helicopter Technologies and 3rd Asian Australian Rotorcraft Forum, Melbourne, Australia, December 2014.
- 8) Shigeru Takeda, Yasutada Tanabe, Hideaki Sugawara, Masahiro Kanazaki and Toshiaki Tsujii: Optimization of the blade tip chord length and twist distribution in hover, 8th Australian Pacific Vertiflite Conference on Helicopter Technologies and 3rd Asian Australian Rotorcraft Forum, Melbourne, Australia, December 2014.
- 9) 菅原瑛明, 田辺安忠: rFlow3Dのロータ性能予測精度の検証, 第46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2014, 2014年7月.
- 10) 杉浦正彦, 田辺安忠, 菅原瑛明 地面効果内のヘリコプタ・ロータによるダウンウォッシュの数値解析, 第46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2014, 2014年7月.
- 11) 菅原瑛明, 田辺安忠: 回転翼の数値計算における乱流モデルの評価, 第52回飛行機シンポジウム, 2014年10月.
- 12) 大江晴天, 田辺安忠, 菅原瑛明, 神尾武史, 荒川忠一, 山本 誠: 模擬大気境界層中における大型風車の空力特性に関する数値研究, CFDシンポジウム28, 2014年12月.

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	958.96	3409.13

※ JSS-Mの利用実績あり

## 14. 次世代ファン・タービンシステム(aFJR)高効率ファン空力設計技術開発 Numerical Analysis of aerodynamic characteristics on next generation flagship launch vehicle

### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト

### ● 事業の責任者・構成員

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

構成員：航空本部 aFJR プロジェクトチーム，賀澤順一(kazawa.juniti@jaxa.jp)

ASI 総研，石山 毅

ヴァイナス，加藤 進

### ● 事業の目的

空力性能の高いファン翼を設計するための技術を獲得する。

### ● 事業の目標

CFD で事前検討したファン翼について実証試験を実施し，ポリトロピック効率がプロジェクト目標値を達成できるようにする。その際，ファンフラッタが発生しないことを確認する。

### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

実証試験に向けて，空力性能をCFDで予測する。この際，遷移現象等が大きく影響するため，LES等の大規模計算をJSS2で実施する必要がある。また，フラッタは翼列複数ピッチで計算するため，格子点数が必然的に多くなり，JSS2での大規模計算が必要となる。

### ● 今年度の成果

中空翼でのファンフラッタについて，中実翼の場合と比較し，中空翼のフラッタ特性を調べた。

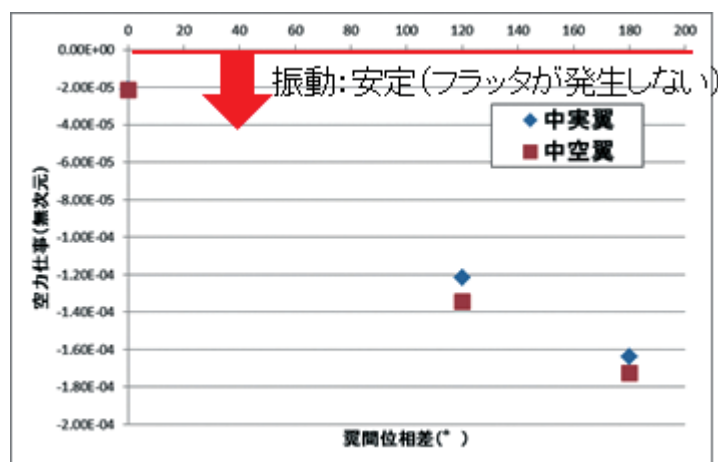


図1 中空翼と中実翼のフラッタ特性比較

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	100時間
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	32-96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：	JSS-M

**● 成果の公表状況**

無し

**● 年間利用量**

※ JSS-Mの利用

## 15. 遷音速後退翼上の Vortex Generator の効果

### Effect of Vortex Generators on Transonic Swept Wings

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 風洞技術開発センター，浜本 滋(hamamoto.shigeru@jaxa.jp)

構成員：航空本部 風洞技術開発センター，中北和之(nakakita@chofu.jaxa.jp)

航空本部 機体システム研究グループ，伊藤 靖(ito.yasushi@jaxa.jp)

航空本部 機体システム研究グループ，村山光宏(murayama.mitsuhiro@jaxa.jp)

航空本部 FQUROHプロジェクトチーム，田中健太郎(kentaro@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

ボルテックスジェネレータ (VG) 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 VG 効果を再現できる手法を開発することで，航空機への VG 付加による性能改善を推定可能とする。

#### ● 事業の目標

風洞試験条件で，CFD による VG 付き翼形状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は既に長い間，実機に使われているが，VGによる空力改善効果の物理的な現象解明が不十分であるため，VG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VGの設計が可能となる。

#### ● 今年度の成果

- (1) 風洞試験結果とCFD解析結果が定性的に一致することを確認した。
- (2) 風洞試験結果より後退翼上のVGの方が直線翼上のVGよりもバフエット抑制効果が大きくなることを確認したが，無限後退翼のCFD解析を実施することで，後退翼上の横流れがVG効果に与える影響を解明した。



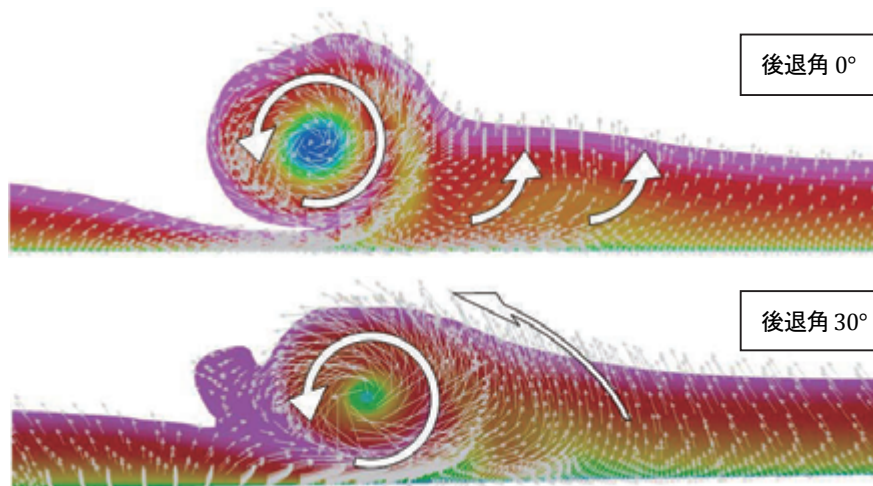


図1 後退角 0°と 30°の主翼上に配置したVGからの縦渦の断面図: 全圧分布として表示し、速度ベクトルと重ねることで横流れの影響を可視化

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	28.75時間
ケース数：	4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-PP

#### ● 成果の公表状況

##### 査読付論文

- 1) 小池俊輔, 伊藤 靖, 楠瀬一洋, 中島 努, 佐藤 衛, 神田 宏, 村山光宏, 中北和之, 山本一臣, “遷音速二次元翼に対するVortex Generator 効果,” JAXA RR-14-002, 2014.

##### 口頭発表

- 1) 伊藤 靖, 村山光宏, 山本一臣, 小池俊輔, 中北和之, 楠瀬一洋, 田中健太郎, “遷音速翼の後退角とボルテックスジェネレータ効果の関係,” 1F07, 第52回飛行機シンポジウム, 長崎, 2014年10月
- 2) Koike, S., Nakakita, K., Nakajima, T., Koga, S., Sato, M., Kanda, H., Kusunose, K., Murayama, M., Ito, Y. and Yamamoto, K., “Experimental Investigation of Vortex Generator Effect on Two- and Three-Dimensional NASA Common Research Models,” AIAA Paper 2015-1237, 53<sup>rd</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting, Kissimmee, FL, January 2015, DOI: 10.2514/6.2015-1237.
- 3) Ito, Y., Yamamoto, K., Kusunose, K., Koike, S., Nakakita, K., Murayama, M. and Tanaka, K., “Effect of Vortex Generators on Transonic Swept Wings,” AIAA Paper 2015-1238, 53<sup>rd</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting, Kissimmee, FL, January 2015, DOI: 10.2514/6.2015-1238.

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	123699.52	96.24

※No.15, No.17とNo.28の報告書に按分

## 16. 遷音速バフエット予測精度向上

### Prediction of Transonic Buffet

#### ● 事業形態

共同研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，橋本 敦(ahashi@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，泉知 宏(izumi@cf.d.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@cf.d.mech.tohoku.ac.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非定常 RANS 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

数値擾乱の種類，擾乱の強さ，擾乱を加える範囲，擾乱の加え方などの多くの数値的実験が不可欠である。また，バフエット閾値予測能力の検証に多くの主流条件で解析が必要である。そこで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

NACA0012 翼型周り非定常 RANS に数値擾乱を重畳すると広いマッハ数域で衝撃波振動を得た。また，揚力変動標準偏差(method A)および剥離域長さ変動標準偏差(method B)に基づくバフエット閾値予測法を検討した。この結果，擾乱なしでは予測が不可能な広いマッハ数域で実験値に近いバフエット閾値を非定常 RANS 解析によって効率的に求めることができた。今後，異なる翼型で検証を進めるとともに 3 次元翼への拡張を検討する。

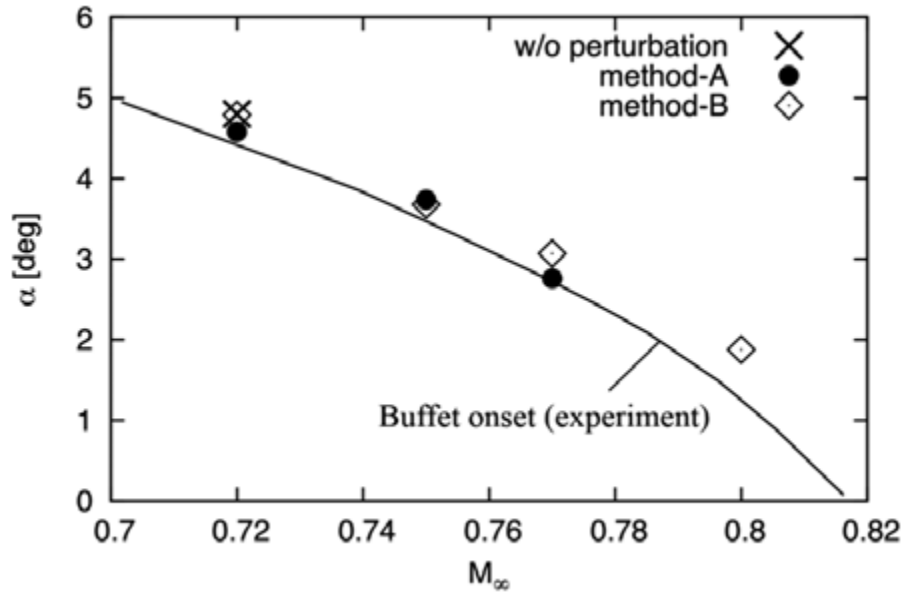


図1 擾乱付加時のバフェット閾値予測結果 (NACA0012 翼型)

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	20時間
ケース数：	36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-PP

#### ● 成果の公表状況

##### 査読付論文

- 1) Izumi, T., Ogino, Y., Sawada, K., Ishiko, K., and Hashimoto, A., “An Attempt to Improve Prediction Capability of Transonic Buffet Using RANS Simulation,” submitted to *Journal of Aircraft*, 2015.

##### 査読なし論文

- 2) Izumi, T., Ogino, Y., and Sawada, K., “An Attempt to Improve Prediction Capability of Transonic Buffet Using URANS”, AIAA Paper 2015-0259, 2015.

##### 口頭発表

- 3) 泉 知宏, 荻野要介, 澤田恵介, 石向圭一, 橋本 敦, 「RANSによる遷音速バフェット現象の数値解析」 2A06, 第46回流体力学講演会/第32回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	44196.10	

## 17. 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

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 風洞技術開発センター，浜本 滋(hamamoto.shigeru@jaxa.jp)

構成員：航空本部 風洞技術開発センター，中北和之(nakakita@chofu.jaxa.jp)

航空本部 風洞技術開発センター，保江かな子(yasue@chofu.jaxa.jp)

航空本部 風洞技術開発センター，上野 真(ueno@chofu.jaxa.jp)

航空本部 風洞技術開発センター，古賀星吾(skoga@chofu.jaxa.jp)

航空本部 風洞技術開発センター，互井梨絵(tagai@chofu.jaxa.jp)

航空本部 風洞技術開発センター，小林 航(wkoba@chofu.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。

#### ● 今年度の成果

相対的に低い Re 数領域 (Re=5e6 程度) に限ってはあがるが，CFD を援用した模型変形効果補正など，現状で考えうるすべての補正要素を考慮した補正を実現し，海外有力風洞との間で空力抵抗に関して 15 カウント以内の食い違いで一致させた。

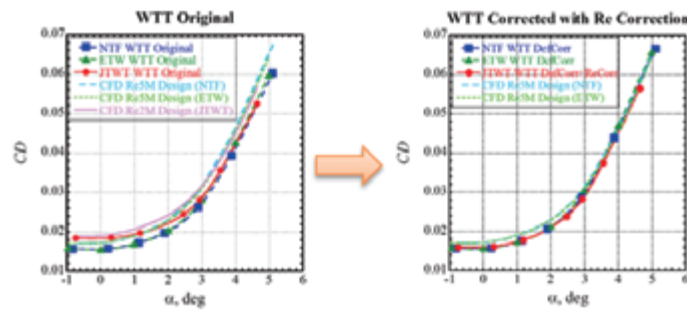


図1 模型変形効果およびレイノルズ数効果補正を適用した NASA Common Research Model 風洞試験模型の抵抗係数データの比較

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	約24時間
ケース数：	約200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：	OpenMP
利用計算システム：	JSS-M, SORA-PP

## ● 成果の公表状況

### 査読付論文

- 1) Kanako Yasue and Makoto Ueno, “CFD-Aided Model Deformation Corrections of NASA Common Research Model Wind Tunnel Data,” Journal of Aircraft.投稿中

### 査読なし論文

- 2) Kanako Yasue, Makoto Ueno, Seigo Koga and Masataka Kohzai, “CFD-Aided Model Deformation Corrections of NASA Common Research Model Wind Tunnel Data,” AIAA SciTech 2015, 2015.
- 3) Kanako Yasue, Makoto Ueno, Masataka Kohzai and Kazuyuki Nakakita, “CFD-Aided Model Deformation Corrections for NASA-CRM Wind Tunnel Data”, ESWIRP Project Workshop, Cologne, 2014.

### 口頭発表

- 4) 上野 真, 香西政孝, 古賀星吾, 加藤裕之, 栗田 充, 中北和之, 須谷記和, 「NASA-CRMの風洞試験データを用いた遷音速レイノルズ数効果へのアプローチ」, 第46回流体力学講演会／第32回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2014.
- 5) 古賀星吾, 上野 真, 「連続式遷音速風洞におけるNASA-CRM縮尺模型表面の流れの可視化」, 第46回流体力学講演会／第32回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム」, 2014.
- 6) 保江かな子, 香西政孝, 上野 真, 中北和之, 「NASA-CRM模型に対するCFD援用による風洞試験データの模型変形効果補正」, 第46回流体力学講演会／第32回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2014.

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	123699.52	96.24

※ No.15, No.17とNo.28の報告書に按分, JSS-Mの利用実績あり

## 18. ソニックブーム評価のための近傍場圧力波形推算手法の効率化

### *Efficient prediction of near-field pressure signatures for sonic-boom estimation*

#### ● 事業形態

JAXA プロジェクト

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 D-SEND プロジェクトチーム，牧野好和(makino.yoshikazu@jaxa.jp)

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

株式会社TOUA，石川敬掲(hiroaki@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

「静かな超音速旅客機」の実現に必要な鍵技術である低ソニックブーム設計概念で設計された機体の飛行実証を行うことを目的とする。

#### ● 事業の目標

- ① 非軸対称供試体による先端／後端の低ソニックブーム設計効果の実証
- ② 低ブーム波形取得技術の確立
- ③ 低ブーム推算技術の検証

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

本プロジェクトで実証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解析が必要である，スパコン利用が必須となる。

#### ● 今年度の成果

今年度予定していた D-SEND#2 飛行試験は，気象条件が整わなかったため実施できなかったが，飛行試験実施を想定し，飛行試験後のソニックブーム解析を効率的に行うための CFD 解析手法の改善を進めた。今年度は Pointwise v17.1 の非構造格子作成機能（表面からの押出格子生成機能で翼胴結合部等における押し出し干渉を考慮可能）を活用し，近傍場波形推算を高精度／高効率化した。本手法を D-SEND#2 形状に適用し，これまで主として利用してきた構造／非構造重合格子法と比較した結果，ほぼ同等の精度が確保できていることが確認できた。



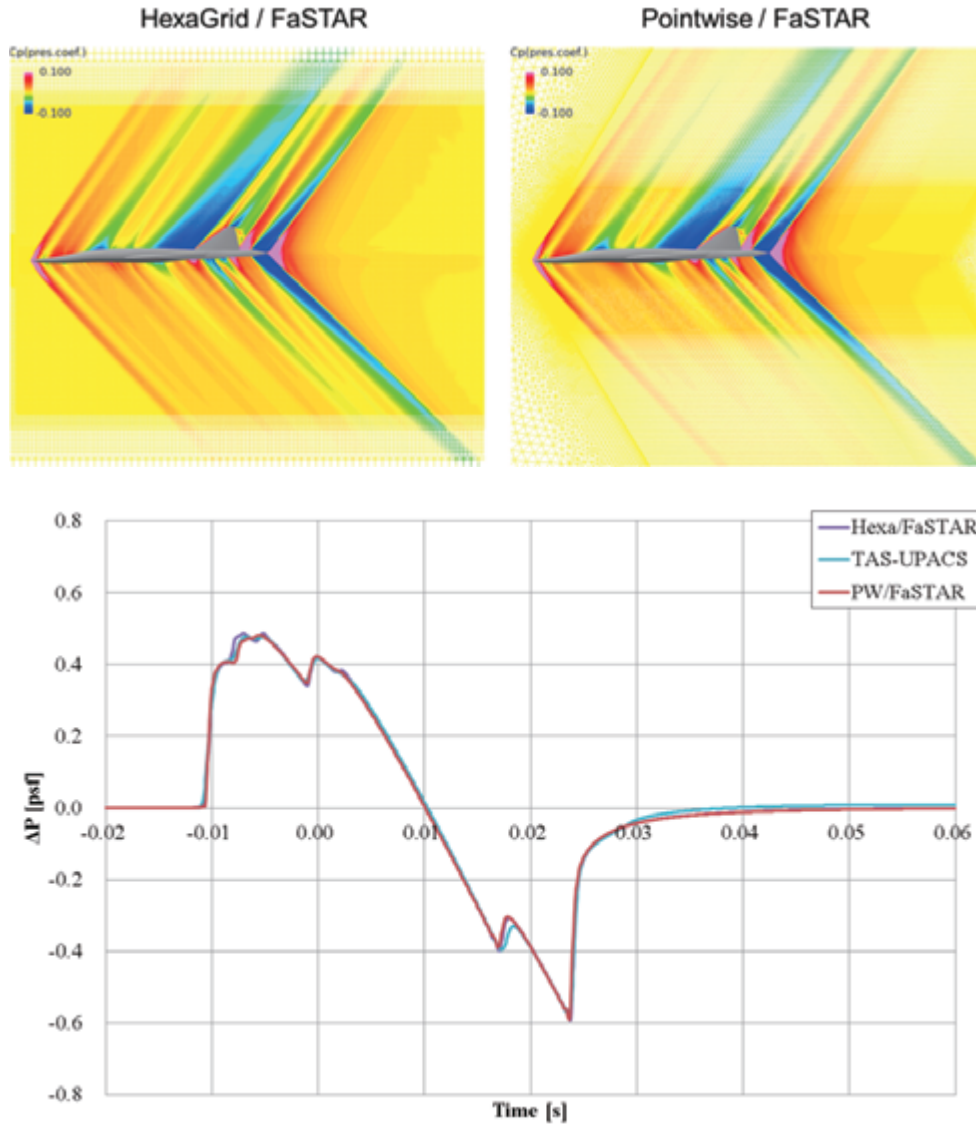


図1 D-SEND#2 近傍場圧力波形推算結果

**【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：	
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：	JSS-M, JSS-A, SORA-PP, SORA-LM

● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	388744.72	654.72

※ JSS-M, JSS-Aの利用実績あり

## 19. 超音速機の自然層流設計

### Natural Laminar Flow Design of Supersonic Transport

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 機体システム研究グループ，徳川直子(tokugawa.naoko@jaxa.jp)

構成員：株式会社TOUA，石川敬掲(hiroaki@chofu.jaxa.jp)

学習院大学大学院，伊藤啓吾(k5110@chofu.jaxa.jp)

学習院大学大学院，長田多恵(tae@chofu.jaxa.jp)

学習院大学大学院，牛山剣吾(u41@chofu.jaxa.jp)

学習院大学，佐野昂生(taka3@chofu.jaxa.jp)

学習院大学，長岡俊介(syunsukei@chofu.jaxa.jp)

東京農工大学大学院，笹森萌奈美(monami@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を決め（目標圧力分布）、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、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

超音速逆問題設計法を用いて目標  $C_p$  分布をもつ主翼が得られることを目標とし、様々な設計パラメータを変更し遷移位置が後退するのに適した設計パラメータを調査した。図 1 に得られた設計パラメータを用い 23 世代の設計サイクルを行った結果を示す。得られた設計形状の  $C_p$  分布は初期形状のそれと比べて目標圧力分布に近い分布が得られている。また、得られた形状の CFD 解析結果をもちいて境界層計算および安定性解析を行い境界層遷移位置を推算したところ、図 2 に示すように初期形状よりも遷移位置が後退することが確認できた。



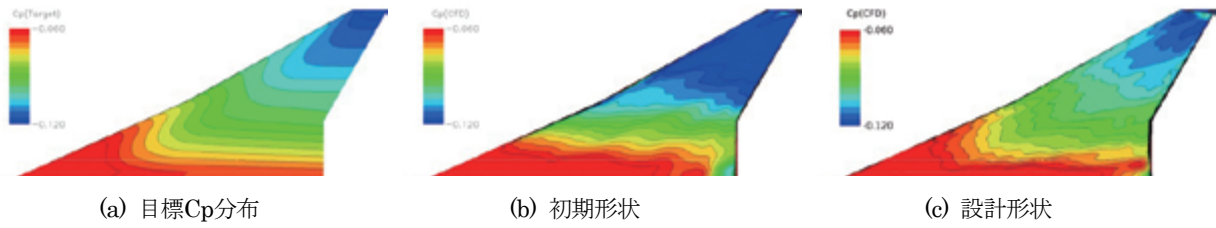


図1 主翼上面圧力分布

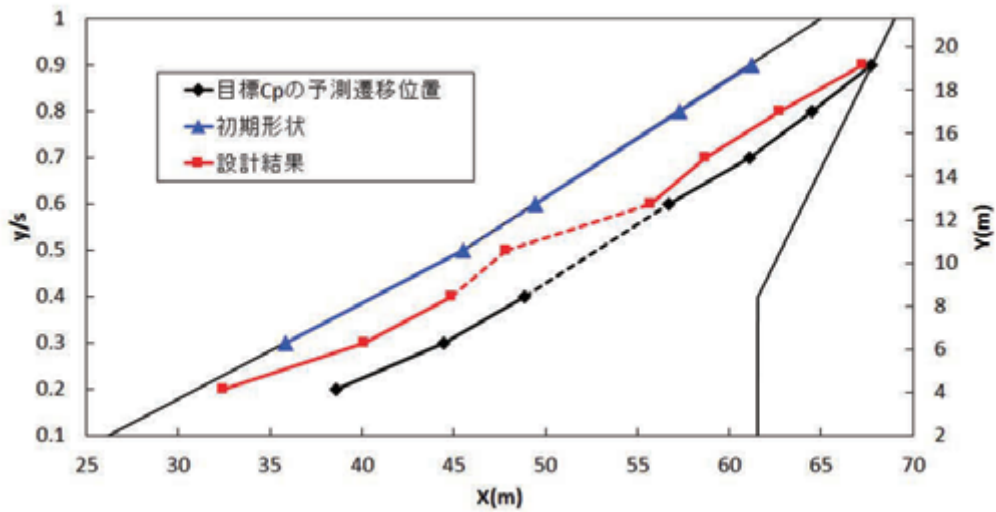


図2 予測遷移位置

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	4時間
ケース数：	200ケース
ジョブの並列プロセス数：	8～11プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4～6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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM, SORA-TPP

● 成果の公表状況

査読付論文

- 1) 徳川ら, 航空宇宙技術 Vol.13, p.55, 2014.
- 2) Tokugawa, et al., Aerospace Technology Japan, Vol. 12, p.71, 2014.

査読なし論文

- 3) Tokugawa, et al., ICAS2014-P2.4.3.
- 4) Ishikawa, et al., ICAS2014-P1.1.3.

口頭発表

- 5) 徳川, 新生流体科学セミナー
- 6) 徳川, 航空宇宙学会中部支部定例懇談会
- 7) 伊藤ら, 第52回飛行機シンポジウム
- 8) 長田ら, 第52回飛行機シンポジウム
- 9) 牛山ら, 第52回飛行機シンポジウム

● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	617226.68	7273.03	62646.26

※ JSS-Mの利用実績あり

## 20. 低騒音スラットとエンジン上方マウント最適化のための研究

### *Design optimization of low-noise slats and upper-mounted engines*

#### ● 事業形態

委託研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 機体システム研究グループ，山本一臣(yamamoto.kazuomi@jaxa.jp)

構成員：首都大学東京システムデザイン学部航空宇宙システム工学コース，

金崎雅博(kana@sd.tmu.ac.jp)

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，遠藤暢頭

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，四宮 隆

#### ● 事業の目的

- ① 着陸時機体騒音の主騒音源の一つである前縁高揚力装置スラットに関して，主に着陸時の空力性能と低騒音化を両立する低騒音スラットのコンセプト探索・最適化の研究開発を行う。
- ② 離陸時のエンジン騒音遮蔽効果を期待したエンジン上方マウント機体に関して機体による騒音発生部の遮蔽を考慮した統合設計，および空力に関する知見の獲得を行う。

#### ● 事業の目標

- ① スラット騒音の主音源であるスラットコーブ部分の流れの剥離に対して，コーブフィラーと薄型スラットと呼ばれるスラットコーブ部分の剥離そのものをなくす低騒音化コンセプトに関して，2次元スラット形状・配置最適化法を行い，設計知見を得る
- ② エンジン騒音の低減においては，機体や翼の上方にエンジンをマウントすることによる遮蔽効果が有望であるが，機体空力性能やエンジンインテーク性能について，マウント位置の依存性を調べる必要がある。幅広胴体形状を定義し，胴体後部上方へのマウントを当初コンセプトとしたマウント位置（機軸方向や高さ）についてパラメトリックスタディを行い，エンジン配置を変えた際の長所・短所を考察する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

スラット騒音評価については，LESによる詳細非定常計算を行う必要があり，大規模並列環境を用いた計算が必須である。また，エンジン上方マウント機においては，RANSを用いたパラメトリックスタディを行ううえで，大規模並列環境が必須である。

## ● 今年度の成果

- ① 昨年度までに2次元形状・配置最適化のための大域的形状定義法を提案し、RANSによる空力性能と剥離最小化の最適化設計を行ってきた。本年度はRANSにより剥離の大きさの最小化を図ったコーブファイラーと薄型スラット形状に対してLES詳細非定常計算により騒音レベルを評価した(図1)。設計点と非設計点流れ場条件下での評価を行い、騒音スペクトルの各周波数と流れ場の関係を分析し今後の騒音低減のための最適設計に向けた知見を得た。スラット下面の剥離位置から再付着点までの距離(≒剥離の規模)と騒音との相関が見られ、最適化設計に向けた目的関数設定指針を得た。
- ② ダブルバブル後部胴体上に高バイパス比ファンエンジンをマウントした際の、離陸推力条件での胴体、エンジン間の空力干渉解析の検討を行った。エンジンと胴体の相対位置とエンジン埋め込み方式に関してインテークディストーションと空力特性変化を比較してそれぞれの特性を把握した(図2)。

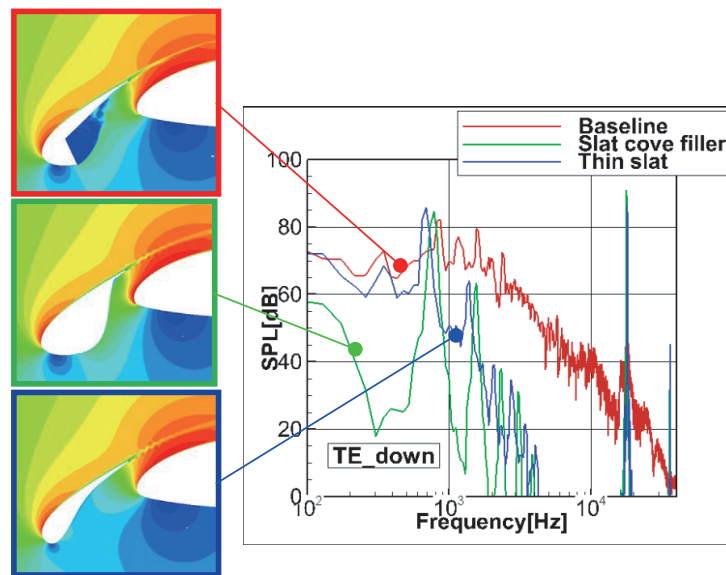


図1 低騒音スラットのコンセプト(上から、従来形状、コーブファイラー形状、薄型スラット形状)の迎角8度でのMach数分布と母翼前縁付近の圧力変動(音波)

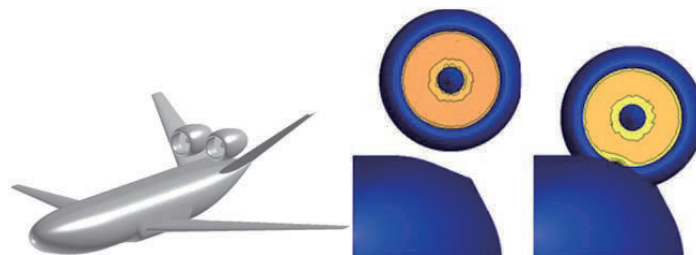


図2 上方マウント機の定義形状とエンジン-胴体距離によるファン前面圧力分布の変化

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間:	10-100時間
ケース数:	約10ケース
ジョブの並列プロセス数:	30-100プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数):	4-6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:	JSS-M, SORA-PP

## ● 成果の公表状況

## □ 口頭発表

- 1) 四宮 隆, 金崎雅博, 村山光宏, 伊藤 靖, 山本一臣, 「スラットcove形状設計による流れと空力騒音への影響」, 第28回数値流体力学シンポジウム, 東京, 2014年12月.
- 2) 遠藤暢頭, 金崎雅博, 山本一臣, 「エンジンバイパス比による主翼形状最適性」, 第28回数値流体力学シンポジウム, 東京, 2014年12月

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	244762.54	2000.78

※ No.2とNo.20の報告書に按分  
JSS-Mの利用実績あり

## 21. 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

システム運用

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 風洞技術開発センター，浜本 滋(hama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部 風洞技術開発センター，口石 茂(shigeruk@chofu.jaxa.jp)  
他(DAHWIN 利用者)

#### ● 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 16 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。

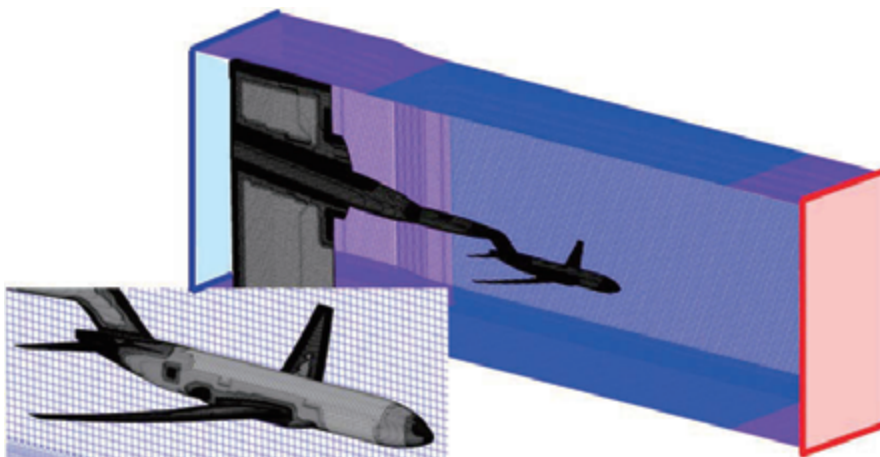


図1 JAXA 2m×2m 遷音速風洞丸ごと解析

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	40時間
ケース数：	1ケース
ジョブの並列プロセス数：	64
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1
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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM

## ● 成果の公表状況

## 査読なし論文

- 1) 渡辺重哉, 口石 茂, “EFD/CFD融合技術の現状と可能性,” 日本航空宇宙学会誌, Vol. 62, No.4, pp. 113-120, April 2014.
- 2) 口石 茂, 渡辺重哉, “デジタルアナログ・ハイブリッド風洞 (DAHWIN) の航空・宇宙機研究開発への適用とその展望,” 日本航空宇宙学会誌, Vol. 62, No. 5, pp. 160-165, May 2014.

## 口頭発表

- 3) 越智康浩, 口石 茂, 香西政孝, 永井伸治, “デジタルアナログ・ハイブリッド風洞 (DAHWIN) におけるマッハ数・浮力補正および風試不確かさ解析機能について,” 第90回風洞研究会議, May 2014.
- 4) 越智康浩, 口石 茂, 村上桂一, “デジタルアナログ・ハイブリッド風洞 (DAHWIN) における風洞丸ごと解析”, 第52回飛行機シンポジウム, Oct. 2014.
- 5) 口石 茂, 渡辺重哉, “航空宇宙分野における風洞試験/数値シミュレーション融合の試み — デジタルアナログ・ハイブリッド風洞 (DAHWIN) の開発とその応用 —,” 風洞シンポジウム2014, Oct. 2014.

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	1765.25	162.05

※ JSS-Mの利用実績あり

## 22. 斜め円柱周りの境界層遷移の LES による数値予測

*Large-eddy simulation of boundary layer transition along a yawed cylinder*

### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト

### ● 事業の責任者・構成員

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

構成員：航空本部 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，実験結果の評価などを通して，プロジェクトの目標達成を支援する。

### ● 今年度の成果

JAXA 航空本部で行っている高効率軽量ファン・タービン技術実証(aFJR)プロジェクトでは，ファン翼面境界層の層流領域を広げ高効率化を図る方法を検討している。ファン前縁近傍の境界層は横流れ不安定の影響により遷移する可能性が有るため遷移位置や遷移の有無を数値予測できるようになることが期待されている。本研究では横流れ不安定による乱流遷移を6次精度コンパクトスキームによるLESによって予測することを試みたところ，横流れ不安定波の発生，崩壊と乱流遷移現象を捉えることができ，速度分布や変動速度分布を実験と比べたところ比較的良い一致を示した。



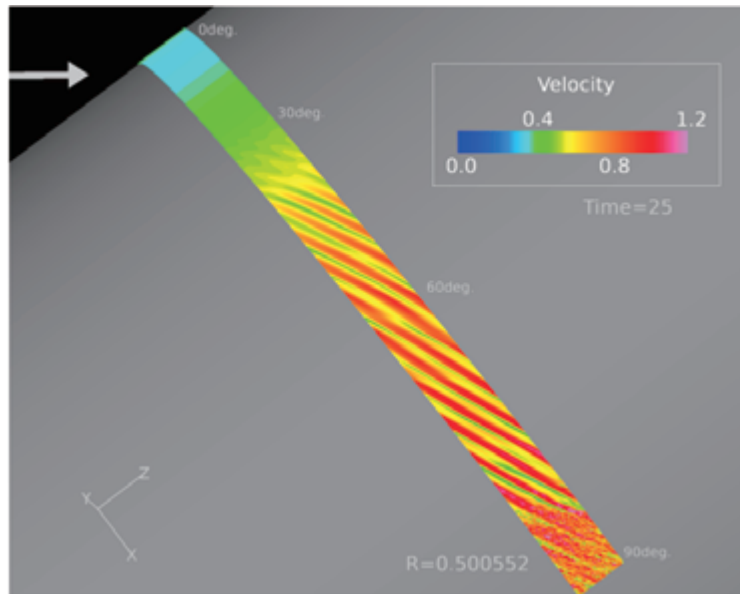


図1 速度分布(壁面から 0.0005D 離れた面)

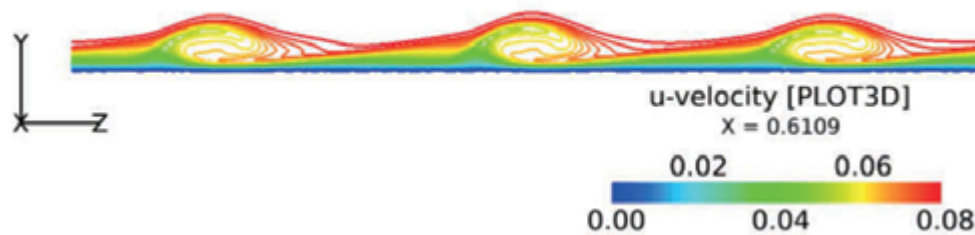


図2 流れを横切る断面の速度分布

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	4,000時間
ケース数：	3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)：	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, SORA-LM, SORA-TPP

### ● 成果の公表状況

#### 査読なし論文

- 1) 榎本俊治, 「斜め円柱周りの境界層遷移のLESによる数値予測」, JSASS-2015-0045, 日本航空宇宙学会 第55回航空原動機・宇宙推進講演会, 2015.

### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	358064.08	4710.76	1059.01

## 23. 燃焼器解析に関する研究

### Research on combustor simulation

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，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

航空用ステーシング型燃焼器のガス状有害排出物（CO，NOなど）の低減。

#### ● 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）を用いたLESのための計算エンジン。

#### ● 今年度の成果

初期粒径を 5, 20, 30[ $\mu\text{m}$ ]とし，燃焼場の解析を行ったところ，CO の排出係数が 0.395, 0.469, 0.458 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，5[ $\mu\text{m}$ ]粒径条件における蒸発距離と CO 低減のメカニズムを明らかにした。

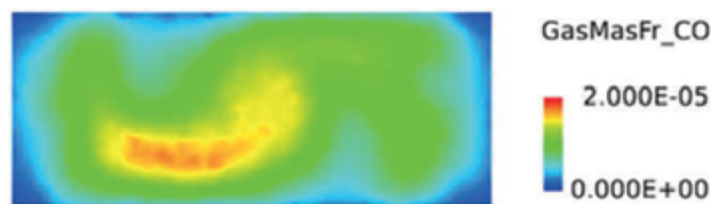


図1 燃焼器出口における CO 質量分率分布 (5[ $\mu\text{m}$ ]粒径条件)

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	300時間
ケース数：	4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)：	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：	JSS-M, SORA-PP

**● 成果の公表状況**

## 査読なし論文

- 1) 第55回航空原動機・宇宙推進講演会講演集

## 口頭発表

- 2) 第55回航空原動機・宇宙推進講演会

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	562.04	0.17

※ JSS-Mの利用実績あり

## 24. 能動的流体制御デバイスに関する学術研究

### *Study on a device for active flow control*

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所飛翔工学系，藤井孝藏(fujii@flab.isas.jaxa.jp)

構成員：宇宙科学研究所飛翔工学系，大山 聖(oyama@flab.isas.jaxa.jp)

宇宙科学研究所飛翔工学系，野々村拓(nonomura@flab.isas.jaxa.jp)

客員准教授，Li Weipeng(li@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，関本諭志(sekimoto@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，李 東輝(lee@flab.isas.jaxa.jp)

東北大学，森澤征一郎(morizawa@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)

東京理科大学，近藤勝俊(kondo@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，長田裕樹(nagata@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，寺門大毅(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

東北大学，安藤善紀(ando@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，加藤宏基(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

九州工業大学，佐々木岳(sasaki@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，Gabriel Pichon(pichon@flab.isas.jaxa.jp)

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

東京大学，福本浩章(fukumoto@flab.isas.jaxa.jp)

The Ohio State University，浅田健吾(asada.2@osu.edu)

#### ● 事業の目的

##### 【能動流体制御デバイスを用いた流体制御に関する研究】

能動的流体制御デバイスを用いた流体の制御メカニズムを明らかにし，高効率なデバイスの設計指針構築の為の知見を得る。

#### ● 事業の目標

##### 【能動流体制御デバイスを用いた流体制御に関する研究】

DBD プラズマアクチュエータ及びシンセティックジェットを用いた翼回り剥離流れの制御メカニズムを流体力学の観点で解明し，高効率な制御を実現する制御方法の提案に繋がる知見を得る。

## ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

### 【能動流体制御デバイスを用いた流体制御に関する研究】

次世代航空機/宇宙機や風力発電等への応用が期待される能動的流体制御デバイスの実用化を考える際には高レイノルズ数、高動圧流れへの適用が問題となる。この為、乱流の持つ非定常性の強い微細な渦構造を解像出来る大規模な流体計算を必要とし、高性能なスパコンを用いた解析が必須である。

## ● 今年度の成果

### 【能動流体制御デバイスを用いた流体制御に関する研究】

本年度は能動的制御デバイスを用いて剥離制御を行った際に、剥離流れから付着流れへと移り変わる過渡状態の現象理解を行った。コード長に基づくレイノルズ数63,000のNACA0015周りの前縁剥離流れを対象とし、時刻の異なる（初期解が異なる）流れ場からスパン方向に一様に配置したプラズマアクチュエータを駆動した計算を行い、それらのアンサンブル平均をとる事で各制御周波数における流れ場の初期解依存性及び、過渡時間の依存性、各時刻における特徴的な現象に関して議論を行った。本研究では制御周波数として過去の研究で効果が知られている周波数 $F^+=1, 6$ （一様流、コード長基準）の2種類の周波数各々において初期解の異なる20ケースのLESを行った。本研究では以下の事を明らかにした。

- 1) 各周波数において、準定常流れの初期解依存性は見られない。
- 2) 周波数に関わらず準定常状態に至る経過時間は一様流、コード長基準で4~6である。
- 3) 過渡流れは、揚力・抗力が急激に低下する段階①、揚力が回復する段階②、揚力・抗力が準定常に収束する段階③の計3つの段階（図1）に分ける事ができる。
- 4) 過渡流れの初期段階ではスパン方向に軸を持つ大規模な渦、収束段階では3次元的な細かな渦が剥離抑制に重要な役割を果たす。
- 5) 本計算条件では $F^+=6$ を用いた制御の方が揚力の収束がわずかに早く、制御パラメータとして好ましい。

### 【能動流体制御デバイスを用いた流体制御に関する研究】

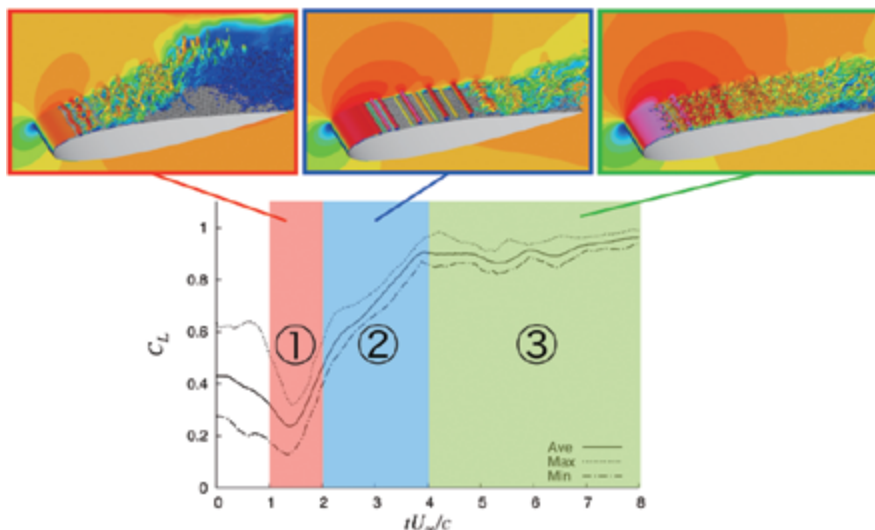


図1 揚力変化と瞬間流れ場（Q値をコード長方向速度で色付け）。

**【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：	200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(VISIMPACT含む)
利用計算システム：	JSS-M

**● 成果の公表状況**

## 査読付論文

- 1) “LES of Transient Flows Controlled by DBD Plasma Actuator over a Stalled Airfoil,” K. Asada, T. Nonomura, H. Aono, M. Sato, K. Okada and K. Fujii, International Journal of Computational Fluid Dynamics, Accepted.

**● 年間利用量**

※ JSS-Mの利用

## 25. 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：航空本部空力技術研究グループ，伊藤 健(ito@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部空力技術研究グループ，池田友明(ikedat@chofu.jaxa.jp)

航空本部空力技術研究グループ，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

ターゲットとするレイノルズ数 $10^4$ 程度は層流～乱流遷移を伴う領域であり，RANSのような統計モデルの導入は不可能である．大きな計算リソースを必要とする直接シミュレーションが適しており，スパコン利用によりパラメトリックに条件を変更して解析が行える。

#### ● 今年度の成果

低レイノルズ数流れにおいて音響共鳴の有無により，負圧面側の剥離泡の大きさや再付着点の位置が異なり空力特性に有意な影響を与えることが数値計算によって示され，東北大学の火星大気風洞や首都大学東京の低乱低騒音風洞を用いて行った実験とも整合性の取れた結果が得られた。

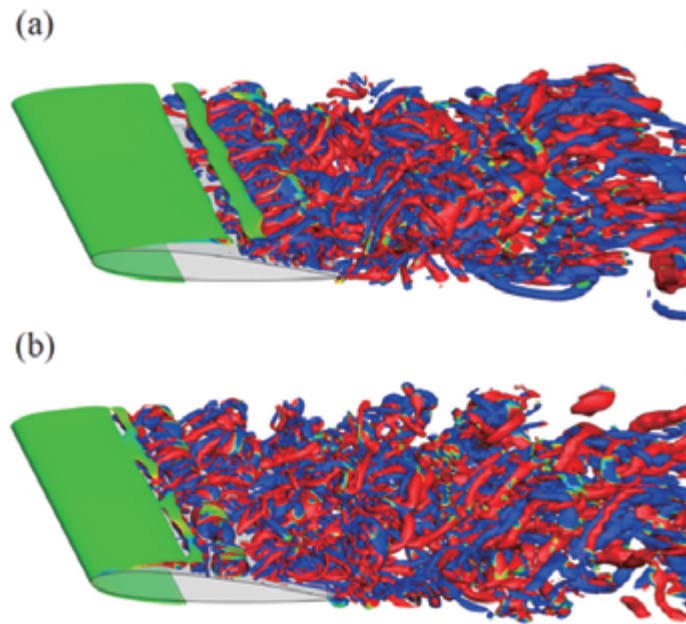


図1 風洞壁との音響共鳴の有無による負圧面側の渦構造の違い  
NACA0012,  $Re=10^4$ ,  $M=0.2$  (a) 共鳴なし (b) 共鳴あり

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	500時間
ケース数：	10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)：	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：	JSS-M

#### ● 成果の公表状況

##### 査読付論文

- 1) T. Ikeda, T. Atobe, D. Fujimoto, A. Inasawa, and M. Asai, Self-noise Effects on Aerodynamics of Cambered Airfoils at Low Reynolds Number, AIAA Journal (Accepted)

##### 査読なし論文

- 2) T. Ikeda, T. Atobe, Y. Konishi, H. Nagai, and K. Asai, Numerical study of wind-tunnel acoustic resonance induced by two-dimensional airfoil flow at low Reynolds number, ICAS2014

##### 口頭発表

- 3) 池田他3名, 後縁ノイズが低レイノルズ数翼の空力特性に与える影響について, 飛行機シンポジウム 2014

#### ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用



## 26. 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：航空本部 数値解析技術研究グループ，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部 数値解析技術研究グループ，橋本 敦(ahashi@chofu.jaxa.jp)

航空本部 数値解析技術研究グループ，石田 崇(tishida@chofu.jaxa.jp)

航空本部 数値解析技術研究グループ，石向桂一(ishiko@chofu.jaxa.jp)

(株) 菱友システムズ，林 謙司(khayashi@chofu.jaxa.jp)

(株) 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

NASA-CRM主翼周りの高迎角流をDESを用いて非定常解析した。衝撃波が振動し，バフェット現象を再現することができた。しかし，衝撃波の位置が実験とずれており，その改善が今後の課題である。

また，並列格子生成した格子の検証解析，各種 DES モデルの検証解析，擾乱の付加による解析なども実施した。

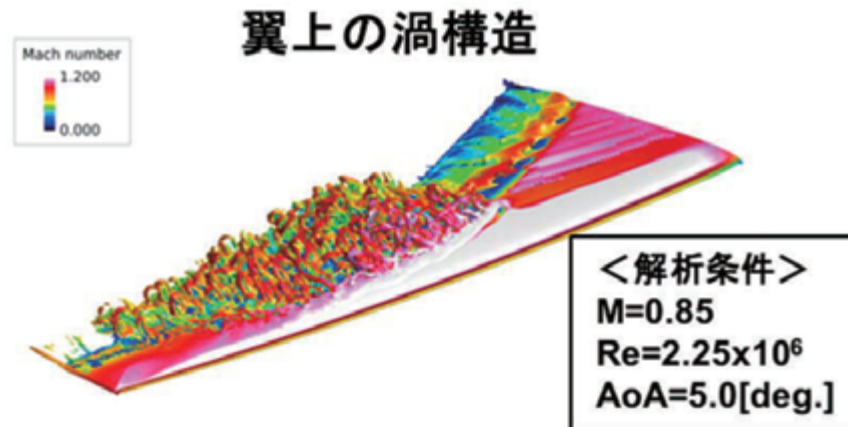


図1 高速バフェットのDES解析

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	720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)：	1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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM

**● 成果の公表状況****査読付論文**

- 1) Atsushi Hashimoto, Keiichi Murakami, Takashi Aoyama, Kazuomi Yamamoto, Mitsuhiro Murayama, and Paulus R. Lahur, Drag Prediction on NASA CRM Using Automatic Hexahedra Grid Generation Method, Journal of Aircraft, Vol. 51, No. 4 (2014), pp. 1172-1182
- 2) 橋本 敦, 村上桂一, 青山剛史, 菱田 学, 坂下雅秀, ラフルール・パウルス, 高速な非構造格子流体ソルバFaSTARの開発, 日本航空宇宙学会論文集, accepted

**口頭発表**

- 3) Keiichi Ishiko, Atsushi Hashimoto, Takashi Aoyama, Kuniyuki Takekawa, Detached-eddy simulation of NASA-CRM transonic buffet, 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), 2014.
- 4) Takashi Ishida, Atsushi Hashimoto, Takashi Aoyama, Parallel Unstructured Grid Generation Method Based on the Block-Structured Cartesian Grid Approach Aimed for Large-Scale Computations, 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), 2014.
- 5) 橋本 敦, 石向桂一, 石田 崇, 青山剛史, 竹川国之, 菅原瑛明, 林 謙司, 遷音速高迎角領域における定常/非定常空力解析, 第46回流体力学講演会/ 第32回航空宇宙数値シミュレーション技術

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	516834.67	2579.08	0.02

※ JSS-Mの利用実績あり

## 27. CFD による多孔壁干渉の数値解析

### Numerical Analysis of porous wall interference

#### ● 事業形態

研修生

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部 数値解析技術研究グループ，橋本 敦(ahashi@chofu.jaxa.jp)

早稲田大学，南部太介(tnanbu@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

実験的手法での解析が難しい風洞壁干渉問題に関して，壁を含む風洞内の流れ場を再現した CFD 解析を用いて取り組む。

#### ● 事業の目標

まず，これまで明確なモデルが存在しなかった風洞多孔壁のモデル化に取り組む。その後，新たに開発したモデルと CFD を用いて「風洞壁干渉の現象把握」，「既存の壁干渉補正法の精度評価」，「新たな壁干渉補正法の提案」取り組む。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

CFDを用いて風洞内の流れ場のパラメトリックスタディを行うために，大規模な計算機能力を必要とした。

#### ● 今年度の成果

NASA-CRM の風洞試験の流れ場を再現した CFD 解析を行い，これまでの壁干渉補正法を簡便化することのできる，壁干渉値の分布図を作製した。

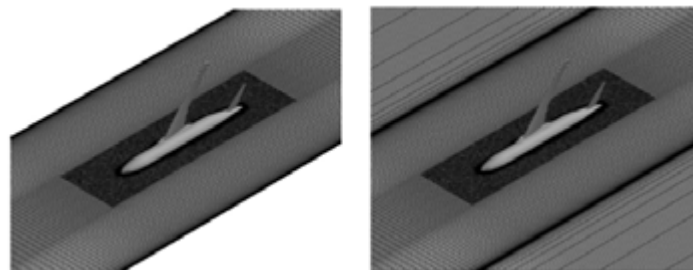


図1 風洞壁有り・無しの場合の計算格子

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	6時間
ケース数：	120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)：	
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：	JSS-M

**● 成果の公表状況****査読付論文**

- 1) T. Nambu, A. Hashimoto, M. Ueno, K. Murakami, and T. Sato. “Evaluation of Wall-Interference Correction Method Using Numerical Analysis and Porous Wall Model”, Journal of Aircraft, Vol. 52, No. 1 (2015), pp. 226-234.
- 2) T. Nambu, A. Hashimoto, T. Aoyama and T. Sato “Numerical Analysis of the ONERA-M6 Wing with Wind Tunnel Wall Interference”, Transactions of JSASS, Vol. 58, No. 1, pp. 7–14, 2015

**口頭発表**

- 3) 南部太介, 橋本 敦, 青山剛史, 佐藤哲也 “ONERA-M6風洞試験における風洞壁干渉の影響の検証” 第46回流体力学講演会/第32回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2C04

**● 年間利用量**

※ JSS-Mの利用

## 28. 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：航空本部 風洞技術開発センター，浜本 滋(hamamoto.shigeru@jaxa.jp)

構成員：航空本部 風洞技術開発センター，中北和之(nakakita@chofu.jaxa.jp)

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，それらの成果をベースラインとし，高速条件における性能評価のみならず，低速飛行時の影響評価及び主翼以外のコンポーネント（フラップ）へ適用した形態を定義し，性能評価を実施した。

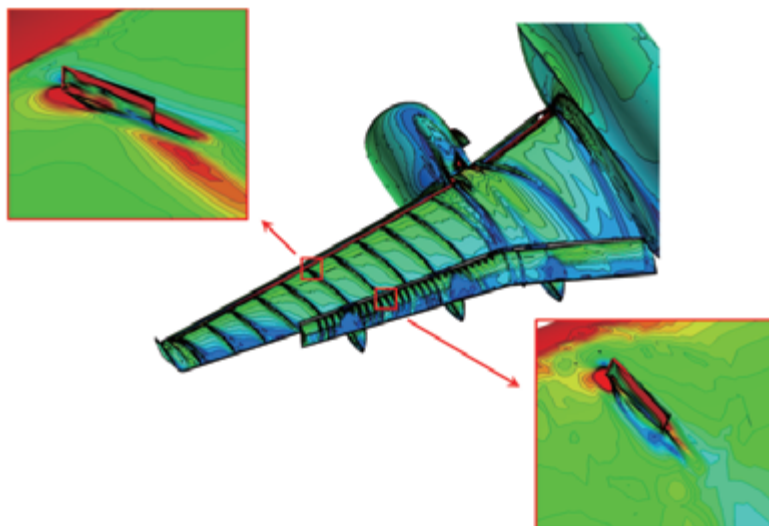


図1 後退角を持つ主翼・フラップ上に設置された Vortex Generator

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	12時間
ケース数：	350ケース
ジョブの並列プロセス数：	100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：	JSS-M, SORA-PP

#### ● 成果の公表状況

無し

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	123699.52	96.24

※ No.15, No.17とNo.28の報告書に按分  
JSS-Mの利用実績あり

## 29. 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：航空本部 風洞技術開発センター，浜本 滋(hama@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部 風洞技術開発センター，口石 茂(shigeruk@chofu.jaxa.jp)

航空本部 風洞技術開発センター，保江かな子(yasue@chofu.jaxa.jp)

航空本部 風洞技術開発センター，越智康浩(yochi@chofu.jaxa.jp)

航空本部 風洞技術開発センター，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）．
- ・風洞/CFD/フライトデータ統合解析に資する新規手法を提案する．

#### ● 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

- ・データ同化事例を蓄積するとともに，将来的なモデル高度化の可能性を示唆する結果を得た．
- ・Adjoint感度解析ツールについて，微分係数計算モジュールと線形ソルバモジュール間のシームレス化（ファイル入出力を伴わないデータ転送）の実装を行った．
- ・データ解析技術を活用したEFD/CFD融合に資する研究テーマについて選定，着手した．



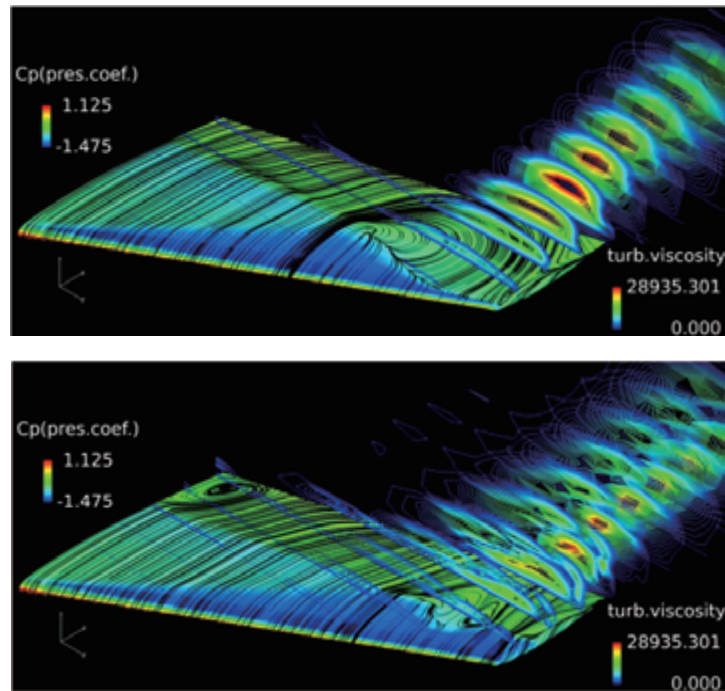


図1 データ同化による複雑流動場の再構築（上：計算結果，下：再構築結果）

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	0.4時間
ケース数：	40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)：	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：	JSS-M, JSS-A, SORA-PP, SORA-LM

#### ● 成果の公表状況

##### 査読付論文

- 1) H., Kato, A., Yoshizawa, G., Ueno, and S., Obayashi, “A data assimilation methodology for reconstructing turbulent flows around aircraft,” *Journal of Computational Physics*, Vol. 283, pp. 559-581, Feb. 2015.
- 2) 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).
- 3) H. Kato, “Data Assimilation Experiment for the Study of Boundary Layer Transition,” *Fluid Dynamics Research* (投稿中)

##### 査読なし論文

- 4) H. Kato, “An Approach to Representing Turbulent Flows by Data Assimilation,” *Fusion2014*, July 2014.
- 5) H. Kato, “An optimization of turbulent flows by using data assimilation,” *WCCM-XI*, July 2014.



## 口頭発表

- 6) “流体工学分野へのデータ同化技術の応用,” 第30回LES研究会, May 2014.
- 7) 加藤博司, 吉澤徹, 上野玄太, 大林茂, “データ同化技術を活用したEFD・CFDの不確実性に基づく流れ場の再構築,” 第46回流体力学講演会/第32回航空宇宙数値シミュレーションシンポジウム, July 2014.
- 8) “データ同化を用いた乱流解析,” 日本機械学会第27回計算力学講演会, Nov. 2014.
- 9) 加藤博司, 三坂孝志, “航空・流体力学分野におけるデータ同化の応用～設計に活かすデータ同化技術の構築に向けて～,” 第7回EFD/CFD融合ワークショップ, Jan. 2015.
- 10) H., Kato, “Application of data assimilation to fluid problems of aerospace engineering ,” The fifth annual Japanese data assimilation workshop, Feb. 2015.

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	146334.25	5336.76

※ JSS-M, JSS-Aの利用実績あり

## 30. 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：航空本部 aFJR プロジェクトチーム，西澤敏雄(nishizawa.toshio@jaxa.jp)

構成員：ASI 総研，吉倉弘高

#### ● 事業の目的

低圧タービン（LPT）におけるフラッタについて，強制振動および流体・構造連成解析を用いて解析する．LPT フラッタの予測技術を向上させ，軽量化された LPT のフラッタ特性を高精度に予測可能とする．

#### ● 事業の目標

実証試験との比較を通じてCFDのフラッタ特性予測精度が十分であることを確認する．そのうえで，構造減衰などを含めたLPT全体としての翼振動安定性評価を可能とする．

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

流体・構造連成解析は翼列の場合，最終的には全周解析が必要となるため，JSS2での大規模解析が必須である．

#### ● 今年度の成果

試験供試体翼型についてフラッタ特性を取得し，流体・構造連成解析を開始した．

## 空力減衰

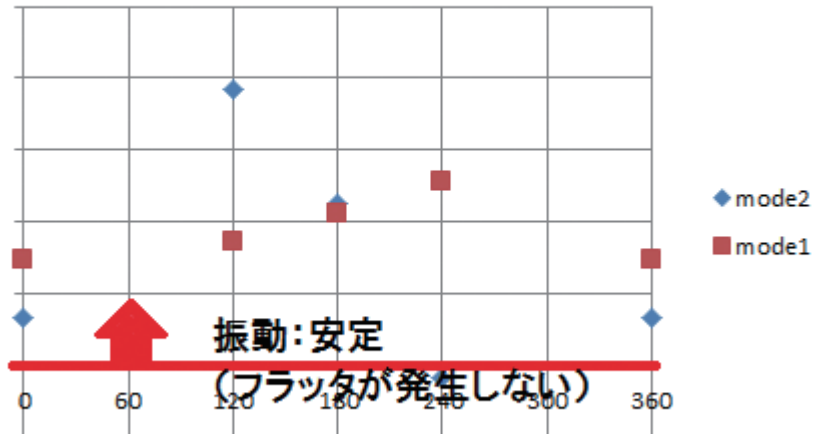


図1 供試体翼列フラッタ解析結果

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： 240時間  
 ケース数： 32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)： 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： JSS-M

### ● 成果の公表状況

無し

### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	28.41	

※ JSS-Mの利用

### 31. QTW 巡航時空力特性の研究

#### A Study of Aerodynamic Characteristics for Cruise of QTW

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 機体システム研究グループ，村上 哲(murakami.akira@jaxa.jp)

構成員：航空本部 風洞技術開発センター，青木良尚(aoki.yoshihisa@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

潜在的なニーズとして存在する，航空輸送の高速性，空間利用および環境性能に対するポテンシャルを革新する航空機概念の創出を最終目的に，システム性能解析・評価ツールの構築と重要技術課題の抽出を行い，研究事業といった次のステップへの準備を整えること.

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

4発ティルトウイングVTOL機の巡航時空力特性に関するパラメトリックスタディを行う為.

#### ● 今年度の成果

今年度は，ISV アプリケーション(Pointwise)で作成した格子を用いて，ワークステーションで計算を実施するとともに，FaSTAR による JSS2 での試計算を開始した.

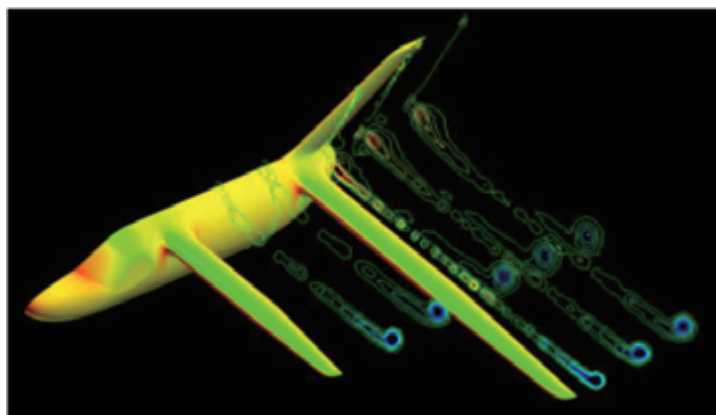


図1 BIZ-001形態の渦度分布

## ● 成果の公表状況

## 査読なし論文

- 1) 青木良尚, 岡田典秋, 村岡浩治: タンデム複葉翼空力特性の非粘性・非圧縮流体解析, 第46回流体力学講演会/第32回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
- 2) 青木良尚, 岡田典秋, 村岡浩治: 4発テイルトゥイングVTOL機巡航形態の基本空力特性, 第52回飛行機シンポジウム

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	—	—

## 32. 圧縮性乱流の高精度解析に関する研究

### High-fidelity numerical simulation of compressible turbulent flows

#### ● 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，河合宗司(kawai@flab.isas.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

本研究ではまず、超臨界圧・遷臨界条件下の高精度な乱流解析が必要となる、正確な熱力学物性の反映、および高精度かつ安定な計算手法を提案し、その有効性を示す。またその上で超臨界圧・遷臨界乱流境界層の DNS 解析を世界に先駆けて実施し、非線形な熱力学物性変化が乱流境界層に与える影響を明らかにする。

#### ● 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・遷臨界乱流境界層特有の熱力学物性と乱流との相互干渉流体物理を理解し、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

本事業で実施する遷臨界乱流境界層のDNS解析では、非線形な熱力学物性変化と干渉する壁乱流の詳細を数値実験により再現するため、その非常に小さい空間および時間スケールを直接解像する必要がある。そのため、膨大な格子点数+膨大なタイムステップ数が必要となり、当該スパコン利用が事業遂行のために不可欠となる。

#### ● 今年度の成果

超臨界圧・遷臨界条件下の乱流解析でのキーは、遷臨界条件での急激な熱力学物性変化を数値的に安定に捕獲し、かつ任意の状態方程式下でも物理的な速度平衡や圧力平衡を保つかである。本研究では、NISTデータのテーブル参照を行う事により、正確な熱力学物性や輸送係数を数値解析に反映し、かつ全エネルギーではなく、圧力の時間発展方程式を解く事で、遷臨界条件下でも圧力平衡を保つ手法を開発した。また人工拡散項を密度の式に付加することで、急激な熱力学物性変化を数値的に安定に捕獲し、かつ運動量の式に物理的な矛盾が起きない様に、密度拡散の効果が付加することで速度平衡を満たしている。

本提案手法により、超臨界条件特有の实在流体効果により、理想流体から大きく逸脱する遷臨界乱流境界層に対して、圧縮性 Navier-Stokes 方程式の DNS に成功した。著者の知る限り、(LES も含めても)本 DNS が世界で初めての遷臨界平板乱流境界層解析である。本 DNS により、通常理想流体乱流境界層では見られない、遷臨界乱流境界層特有の熱力学物性と乱流との相互干渉現象や特異な乱流統計量を明らかにした。また遷臨界乱流境界層が TKE バジレットに与える影響を解析することで、低速流でありながら、实在流体効果により遷臨界乱流境界層では圧縮性の効果が重要となることを示した。

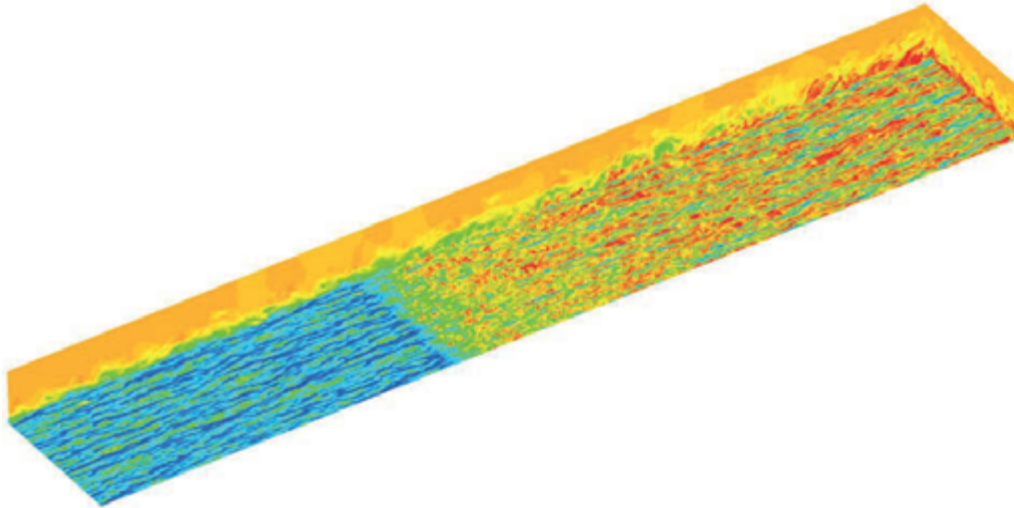


図1 加熱壁面を有する超臨界圧・遷臨界乱流境界層のDNS

#### 【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：	450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, 自動並列
利用計算システム：	JSS-M

#### ● 成果の公表状況

##### 査読なし論文

- 1) S. Kawai, “Strong real-fluid effects on transcritical turbulent boundary layers at supercritical pressures,” Ninth International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP-9), accepted, Melbourne, Australia, June-July 2015.
- 2) 河合宗司, “超臨界圧・遷臨界乱流境界層のDNS：実在気体効果に起因する特異な乱流統計量,” 0813, 日本機械学会 第92期流体工学部門講演会, 富山大学, 富山, 2014年9月.
- 3) 河合宗司, “超臨界圧条件下における遷臨界乱流境界層の高精度シミュレーション,” 2C13, 第46回流体力学講演会, 弘前文化センター, 青森, 2014年7月.

##### 口頭発表

- 4) S. Kawai, “DNS of transcritical turbulent boundary layers at supercritical pressures under abrupt variations in thermodynamic properties,” 67th APS Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics, submitted, APS, San Francisco, CA, U.S.A., November 2014.

##### 招待講演・セミナー

- 5) 河合宗司, “超臨界圧・遷臨界乱流境界層のDNS：特異な乱流統計量とその物理的考察,” 招待セミナー, 東京大学JAXA社会連携講座「反応性熱流動グループ」研究会, 東京大学, 2014年11月.
- 6) 河合宗司, “支配方程式レベルで工夫する高次精度計算法：航空宇宙工学から宇宙理学まで,” 招待セミナー, 第4回次世代航空機研究セミナー, 東北大学大学院次世代航空機研究センター, 2014年7月.

**受賞**

- 7) 日本航空宇宙学会 第46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2014, 最優秀賞 数値シミュレーション部門.

● **年間利用量**

※ JSS-Mの利用



### 33. 宇宙往還機の飛行特性に関する研究 *Study on flight characteristic of space vehicle*

#### ● 事業形態

技術研修生

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：首都大学東京大学院，大司早織(staishi@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

宇宙往還機の着陸時における安定性および揚力確保のための最適形状の獲得.

#### ● 事業の目標

HOPE に準ずる性能をもつ個体の獲得とその機体形状の傾向の把握.

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

最適計算における多くのサンプル解析と時間コストの低減.

#### ● 今年度の成果

Vtailに関する最適形状の把握とHOPEに準ずる性能を持つ個体を獲得できた.

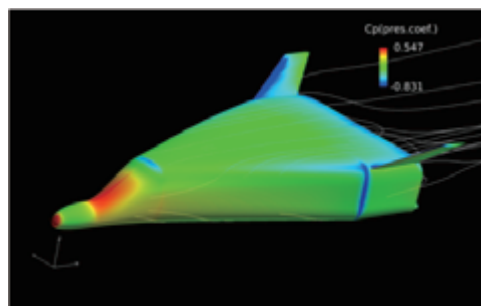


図1 Vtail 形状最適化における圧力係数分布での特性

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	5時間
ケース数：	8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)：	12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：	JSS-M, SORA-PP

## ● 成果の公表状況

## 査読付論文

- 1) Saori T., “Development of Aerodynamic Design Process for Reusable Winged Space Vehicle Using OpenVSP”, 29<sup>th</sup> Congress of International Council of the Aeronautical Sciences, 2014

## その他

- 2) 大司早織, 「OpenVSPによる機体設計フレームワークと次世代宇宙往還機空力設計への適用」, 修士論文, 首都大学東京大学院, 2014

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	9348.59	2.99

※ JSS-Mの利用実績あり

## 34. 宇宙環境利用基礎科学数値解析

### *Numerical Analysis on Fundamental Physics under Microgravity*

#### ● 事業形態

宇宙科学運営事業

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 ISS 科学プロジェクト室 室長，高柳昌弘(takayanagi.masahiro@jaxa.jp)

構成員：宇宙科学研究所 学際科学研究系，足立 聡(adachi.satoshi@jaxa.jp)

大学共同利用システム研究員 岡山大学 名誉教授，東辻浩夫(totsuji-09@t.okadai.jp)

#### ● 事業の目的

宇宙環境，中でも微小重力を利用した物理現象に関し，数値シミュレーションを行うことによって現象の理解を深めることを目的とする．我々は特に微粒子プラズマに着目した計算を実施する．

#### ● 事業の目標

微粒子が規則的な構造形成を形成するメカニズムや，微粒子が存在しない領域（ボイド）が形成するメカニズムを理解す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

モデルは非線形連立方程式となるので，数値的に解を得るために使用する．収束までの時間がかかるため，WSではなくスパコンを使用することにより効率的に解を得ることを目指す．

#### ● 今年度の成果

並列処理への最適化が十分ではなかったため，十分な処理速度を得ることができず，利用が非常に少なくなった．このため，報告書を提出できる成果を得ることができなかった．メンバ t878 が継続利用を希望したため，次年度は引き続き並列処理向け最適化を進め，十分な処理速度を得られるようにコードを改良したい．

前述のように、スパコンを使用した成果を得ることはできなかった。以下では、他のコンピュータを使用した計算結果の例を示す。

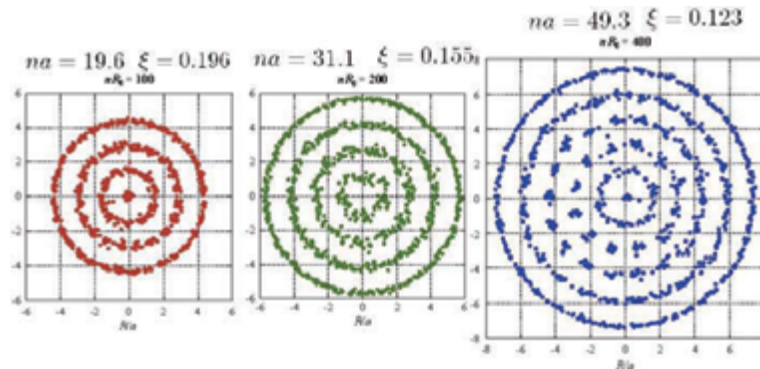


図1 他のコンピュータで計算した円柱微粒子プラズマのシェル構造の例

この例では、微粒子がシェル状構造を形成する結果が得られ、ボイドが存在しない。一方、計算条件を変えると、ボイドが発生するであろうことが現在予測されつつある。どのような条件ならばボイドが発生するのかを明確にするために次年度は頻度高く計算したいと考えている。

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	テストで少し使った程度
ケース数：	テストで少し使った程度
ジョブの並列プロセス数：	1～4程度
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1～4程度
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

無し

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	—	—

## 35. 液体ロケットエンジン再生冷却性能予測解析 *Regenerative cooling performance analysis for liquid rocket engines*

### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト・一般研究

### ● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発本部 情報・計算工学センター，井上 弘(inoue.hiroshi@jaxa.jp)

構成員：研究開発本部 情報・計算工学センター，根岸秀世(negishi.hideyo@jaxa.jp)

研究開発本部 情報・計算工学センター，大門 優(daimon.yu@jaxa.jp)

研究開発本部 情報・計算工学センター，西元美希(nishimoto.miki@jaxa.jp)

研究開発本部 情報・計算工学センター，小椋光治(ogura.koji@jaxa.jp)

研究開発本部 情報・計算工学センター，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

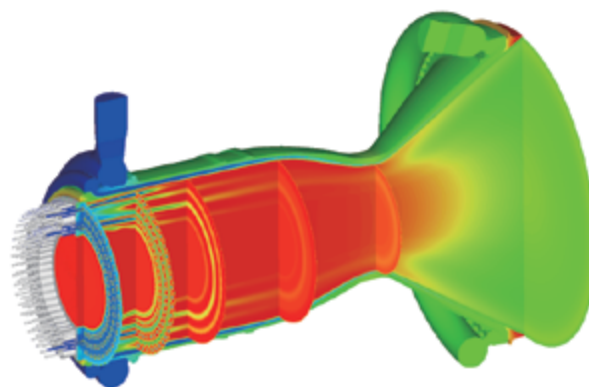
再生冷却解析技術としては，設計開発プロセスで利用可能な解析精度（圧力損失 7%，昇温量 5%，壁面温度 50K 以内）を満たす数値シミュレーションによる評価技術を構築する。

### ● 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

- ・冷却溝内部の表面粗さモデルを導入し，基礎検証を実施。圧力損失の予測精度が向上することを確認。
- ・LE-5Bエンジン燃焼器の検証では，冷却溝数百本（半周）と燃焼器外周3本を対象に，冷却解析および燃焼・冷却・熱構造連成解析でほぼ目標精度を達成。



	圧力損失[MPa]	昇温量[K]
表面粗さなし (冷却剤のみ)	-6.7%	-
表面粗さあり (冷却剤のみ)	-0.0%	-
表面粗さあり (冷却剤+燃焼連成)	-0.7%	+4.5%

図1 LE-5B エンジンでの再生冷却性能予測検証

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	240時間
ケース数：	4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)：	1512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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM, SORA-TPP

## ● 成果の公表状況

## 口頭発表

- Hideyo Negishi, Yu Daimon, Hideto Kawashima, "Flowfield and Heat Transfer Characteristics in the LE-X Expander Bleed Cycle Combustion Chamber," 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, AIAA Paper 2014-4010, 2014.

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	131095.25	0.91	156490.83

※ No.35, No.36 と No.57 の報告書に按分  
JSS-M の利用実績あり

## 36. 液体ロケットエンジンの燃焼振動関連解析

### *Numerical simulation of the oscillatory combustion in the liquid rocket engines*

#### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト ・ 一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：研開本部 情報・計算工学センター，井上 弘(inoue.hiroshi@jaxa.jp)

構成員：研開本部 情報・計算工学センター，清水太郎(shimizu.taro@jaxa.jp)

研開本部 情報・計算工学センター，森井雄飛(morii.youhi@jaxa.jp)

研開本部 情報・計算工学センター，本江幹朗(motoe.mikiroh@jaxa.jp)

航空本部 数値解析技術研究グループ，溝渕泰寛(mizobuchi.yasuhiro@jaxa.jp)

(株) 菱友システムズ，菱田 学(MANABU\_HISHIDA@mail.ryoyu.co.jp)

#### ● 事業の目的

- ・ LE-9エンジン開発の最大リスクの1つである「振動燃焼発生」について，設計評価を行い不具合の未然防止に資する。
- ・ 高圧燃焼下での圧力振動発生メカニズムを解明し，その抑制デバイスの評価法を確立する。

#### ● 事業の目標

現行の波動方程式ベースの安定性評価手法用の妥当性評価のために，火炎の非定常応答特性を調べる必要がある。そのためまずは非定常燃焼計算の検証を，実際に燃焼振動が発生した水素・酸素の高圧サブスケール試験との比較で実行し，予測精度の確認及び課題の抽出を行う。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

数千万セルの非定常のLES（JAXA内製コードFaSTARに燃焼と実在気体特性を反映できるように改良）の実施には，スパコン解析環境が必須である。得られた詳細な非定常燃焼特性データは，実験でも得られない貴重なデータである。これにより現行の精度不十分な予測手法の妥当性が始めて評価できる。

#### ● 今年度の成果

角田で実施された高圧下での水素・酸素サブスケール試験で発生した燃焼振動の再現を試みた。水素温度を低下させていった場合に，火炎が伸びスロートと干渉する事で縦のモードが励起されるというメカニズムが判明してきた。最低限の検証ができたため，別の研究として実機の火炎非定常特性予測に本コードの適用を開始した。

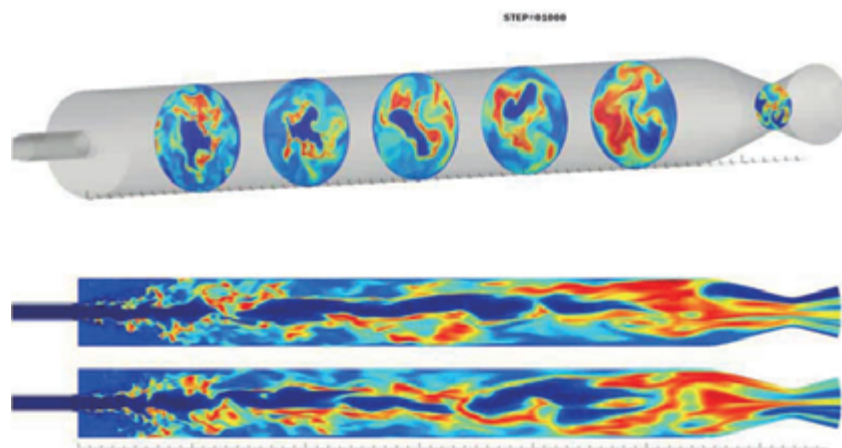


図1 振動発生時の温度の瞬時場 (80-3800K)

#### 【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：	512-1024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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM, SORA-TPP

#### ● 成果の公表状況

##### 口頭発表

- 1) 数値流体シンポジウム2014, “ロケットサブスケール燃焼試験における燃焼振動”, 清水, 森井, 他
- 2) CNESとの共同研究成果報告会 (9月)

##### その他

- 3) LEX成果報告会
- 4) 社内技術資料

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	131095.25	0.91	156490.83

※No.35, No.36とNo.57の報告書に按分  
JSS-Mの利用実績あり



## 37. 温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) 運用事業におけるスパコン利用 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：第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
竹島敏明(Takeshima.Toshiaki@jaxa.jp)

構成員：第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
上田陽子(ueda.yoko@jaxa.jp)

第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
齋藤紀男(saitoh.norio00@jaxa.jp)

第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
山崎朋朗(yamasaki.tomoo@jaxa.jp)

第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
田中 誠(tanaka.makoto@jaxa.jp)

### ● 事業の目的

- a. GOSAT L1 プロダクト再処理速度の飛躍的向上によるユーザビリティの大幅な向上.
- b. スパコン利用の技術的蓄積.

### ● 事業の目標

- a. JSS2 を利用した FTS データ再処理の準備 (JSS2 の利用により再処理速度の飛躍的向上を期待)
- b. GOSAT-2 に向けた技術的ノウハウの蓄積

### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

大量のデータ(6.5年分)を、最新アルゴリズムで高速再処理を行いユーザに提供する事で、ユーザビリティの大幅な向上に貢献できる。

※GOSATのデータ利用ユーザは、長期間連続したデータが必要である。

### ● 今年度の成果

- a. 利用手順及び方法が明確になり、JSS2 上で GOSAT のデータを処理できる事を確認できた。
- b. JSS2 上で再処理を実施する事により、TKSC 上の処理と比較し 20 倍以上の処理速度向上が期待できる結果となった。

## GOSAT 1年分のデータ処理時間

TKSC	JSS2
62 ~ 88日	3.3日以下

図1 TKSC の処理時間と JSS2 上の処理時間比較(1年分のデータ)

## 【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：	60~120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

無し

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	36815.84	

38. 改良型高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)運用事業(高次処理試行)におけるスパコン利用  
Utilization of JSS2 for AMSR-E higher level 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：第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
竹島敏明(Takeshima.Toshiaki@jaxa.jp)  
構成員：第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
齋藤紀男(saitoh.norio00@jaxa.jp)  
第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
齋藤 進(saitoh.susumu@jaxa.jp)

● 事業の目的

AMSR-E の高次処理アルゴリズムが JSS2 プレポストシステムへ容易に移植可能であることを検証する。

● 事業の目標

AMSR-E の高次処理アルゴリズムより、検証用に選定した 2 つのアルゴリズムを JSS2 プレポストシステムへ移植する。

● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

AMSR-E が過去に観測した全期間分（約10年分）の処理を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

1 つの高次アルゴリズムについて移植を完了した。もう 1 つのアルゴリズムでは、移植前後の環境で処理結果を比較したところ、動作環境の相違と考えられる差異がみられたため、今後原因を追究していく。

	最初のジョブ開始時刻 Y/M/D H:M:S	最後のジョブ完了時刻 Y/M/D H:M:S	処理時間 H:M:S (sec)
1 回目	2015/03/11 19:00:19	2015/03/11 19:08:01	00:07:43 (463)
2 回目	2015/03/18 09:40:53	2015/03/18 09:48:10	00:07:18 (438)
3 回目	2015/03/22 17:22:21	2015/03/22 17:30:00	00:07:40 (460)
平均	-	-	00:07:34 (454)

図1 降水量アルゴリズム 116 ジョブの実行結果

## 【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： 116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

無し

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]			335.53

### 39. 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

JAXA プロジェクト

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
竹島敏明(Takeshima.Toshiaki@jaxa.jp)  
構成員：第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
齋藤紀男(saitoh.norio00@jaxa.jp)  
第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
齋藤 進(saitoh.susumu@jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

AMSR-E のプロダクト改善に向けた、プロダクト処理環境（再処理環境）の構築。

#### ● 事業の目標

プレポストシステムへ、プロダクト作成処理を移植する。また、その処理ジョブを大量に投入するシステムを構築する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

AMSR-Eが過去に観測した全期間分（約10年分）の処理を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

プロダクト作成処理を移植し、ジョブを大量に投入するシステムを構築した。また、プロダクト改善に必要な中期(1年分)のデータを短期間で生成した。

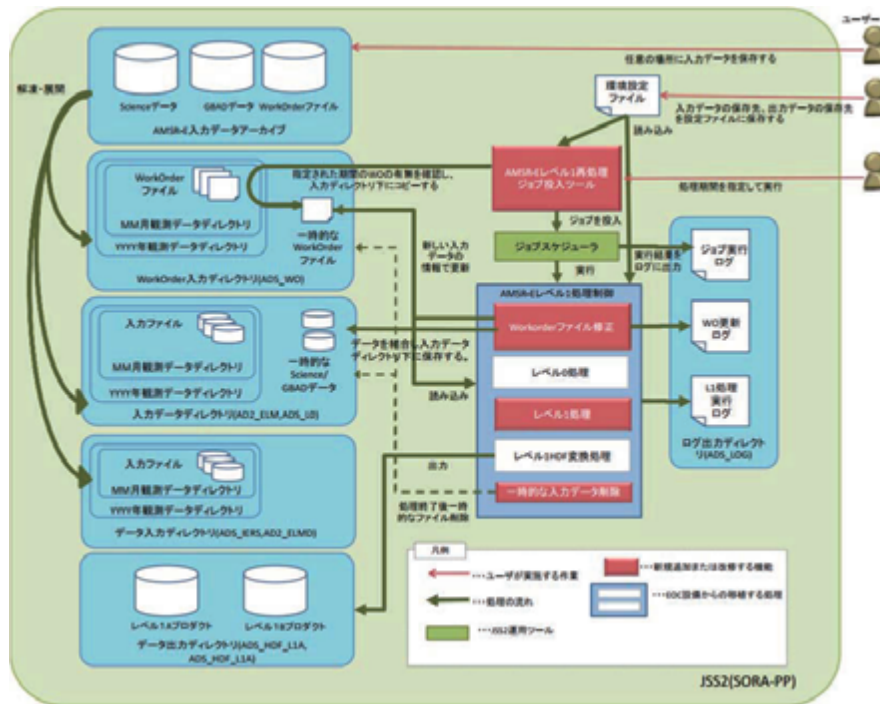


図1 SORA-PP上に構築したAMSR-Eレベル1再処理システム

【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：	50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

無し

● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	3001.34	11.05	2.33

## 40. 火星飛行機の開発に向けた研究

### Research for development of future Mars Airplane

#### ● 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 飛翔工学系， 大山 聖(oyama@flab.isas.jaxa.jp)

構成員：宇宙科学研究所 飛翔工学系， 藤井孝藏(fujii@flab.isas.jaxa.jp)

宇宙科学研究所 飛翔工学系， 野々村拓(nonomura@flab.isas.jaxa.jp)

客員准教授， Li Weipeng(li@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学， 関本諭志(sekimoto@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学， 李 東輝(lee@flab.isas.jaxa.jp)

東北大学， 森澤征一郎(morizawa@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)

東京理科大学， 近藤勝俊(kondo@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学， 長田裕樹(nagata@flab.isas.jaxa.jp)

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

東北大学， 安藤善紀(andoh@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学， 加藤宏基(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

九州工業大学， 佐々木岳(sasaki@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学， Gabriel Pichon(pichon@flab.isas.jaxa.jp)

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

東京大学， 福本浩章(fukumoto@flab.isas.jaxa.jp)

The Ohio State University， 浅田健吾(asada.2@osu.edu)

#### ● 事業の目的

世界初の火星飛行探査実現に向けた火星探査飛行機の開発。

#### ● 事業の目標

世界初の火星飛行探査実現に向け，高解像度数値解析を用いて3次元翼周りの流れ場と空力特性を解析し，火星探査飛行機の開発に繋がる知見を得る。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

低レイノルズ数の翼周りの流れ場は剥離，遷移，再付着が生じる上に，翼端渦との干渉を観察することが重要なため高精度かつ大規模な数値解析が必須となる。

## ● 今年度の成果

低レイノルズ数領域において、大規模かつ高精度 3 次元数値解析により翼端渦と剥離泡の干渉の効果を明らかにし、翼端渦が空力係数に与える影響を理解した。また実験結果との比較から流れ場および空力係数の部分的な一致を確認した。

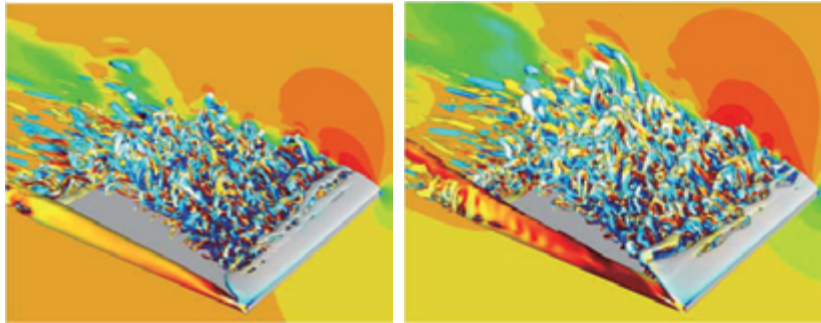


図1 3次元平板翼周りの流れ場構造 (左:迎角5度, 右:迎角10度)

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間:	300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):	84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:	JSS-M

## ● 成果の公表状況

無し

## ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用



## 41. 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 rarefied gas flows of rocket, satellite and ISS

### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト・一般研究

### ● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発本部 情報・計算工学センター，井上 弘(inoue.hiroshi@jaxa.jp)

構成員：研究開発本部 情報・計算工学センター，谷 洋海(tani.hiroumi@jaxa.jp)

研究開発本部 情報・計算工学センター，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

当初目標より大幅に計算高速化を実現でき，今中期開始時点と比較して8割まで作業量を減らすことができた。これにより，例えば1週間以内に10以上の姿勢や噴射パターンの評価が可能となり，荷重低減方法を迅速に評価できる。

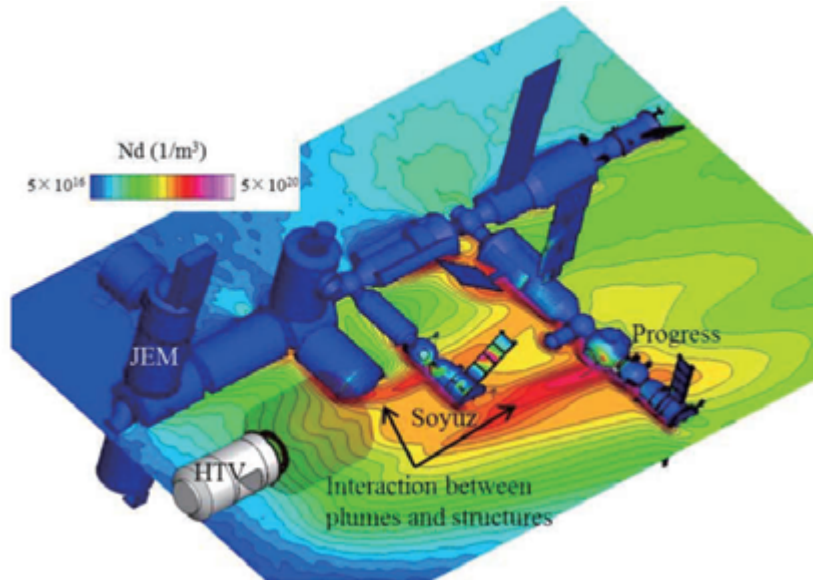


図1 HTV メインエンジンブームと ISS の干渉

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	48時間
ケース数：	20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)：	400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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-TPP

#### ● 成果の公表状況

##### 口頭発表

- 1) 谷 洋海, 大門 優, 根岸秀世, 高田真一, 植松洋彦, 松浦真弓, “N-S/DSMC連成解析によるHTVメインエンジンブームのISS干渉評価,” 第28回数値流体力学シンポジウム, 9-11日, 12月, 2014.
- 2) 谷 洋海, 大門 優, 根岸秀世, “宇宙空間における複数ガスブーム間干渉が平行平板に与える影響,” 第58回宇宙科学技術連合講演会, 2014, 12-14日, 11月, 2014.

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	8164.44		57311.60

※ JSS-Mの利用実績あり

## 42. 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

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，嶋田 徹(shimada.toru@jaxa.jp)

構成員：研究開発本部 情報・計算工学センター，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 27 年末までに，ハイブリッドロケットの飛翔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φ40×175mm) の燃焼シミュレーションを行った。その結果，両方向で酸化剤流量が等しいケースにおいて，図 1 と図 2 にそれぞれ示すように，燃焼室内部の瞬時の流れ場や温度場等の様相を把握することができた。

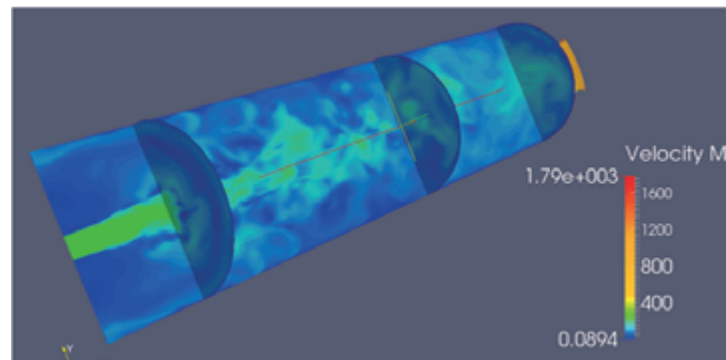


図 1 速度絶対値のコンタ(単位：m/s)

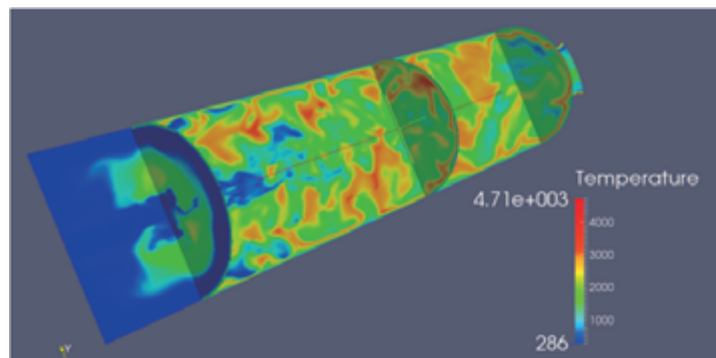


図2 温度コンタ(単位: K)

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間:	約600時間
ケース数:	1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-PP, SORA-LM, SORA-TPP

## ● 成果の公表状況

## 査読なし論文

- 1) Numerical Simulations of Combustive Flows in a Swirling-Oxidizer-Flow-Type Hybrid Rocket (AIAA 2014-0310)

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	126131.59	108.82	11613.55

## 43. 空力音響に関する学術的研究

### *Numerical study of fundamental aeroacoustic issues*

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所飛翔工学系，藤井孝藏(fujii@flab.isas.jaxa.jp)

構成員：宇宙科学研究所飛翔工学系，大山 聖(oyama@flab.isas.jaxa.jp)

宇宙科学研究所飛翔工学系，野々村拓(nonomura@flab.isas.jaxa.jp)

客員准教授，Li Weipeng(li@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，関本諭志(sekimoto@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，李 東輝(lee@flab.isas.jaxa.jp)

東北大学，森澤征一郎(morizawa@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)

東京理科大学，近藤勝俊(kondo@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，長田裕樹(nagata@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，寺門大毅(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

東北大学，安藤善紀(andoh@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，加藤宏基(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

九州工業大学，佐々木岳(sasaki@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，Gabriel Pichon(pichon@flab.isas.jaxa.jp)

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

東京大学，福本浩章(fukumoto@flab.isas.jaxa.jp)

The Ohio State University，浅田健吾(asada.2@osu.edu)

#### ● 事業の目的

空力騒音は将来の航空宇宙輸送を考える上で解決しなければならない最優先課題の1つであるが、その発生機構は未解明なものが多い。そこで、本事業では空力音響の基礎的問題に取り組み、その生成機構を明らかにすることで空力騒音の予測と低減に繋げる。

#### ● 事業の目標

空力音響問題は大きく物体との干渉を伴うものと伴わないものの2つに分けられる。本事業では問題解決の第一歩として、物体との干渉を伴わない流れにおいて重要な音源となる自由乱流に着目し、そこから発生する音響波の生成機構を明らかにする。

## ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

近年の空力音響解析技術の高まりにより、基礎的な流れ場においては数値解析を用いることで実験と同等の精度での解析が可能となってきてきた。しかし、解析には時空間ともに高精度が要求されるため、高精度解析の実現にはスパコンの利用が必要不可欠となる。

## ● 今年度の成果

一様等方性乱流の解析により、高い乱流変動の流れでは音源項のレイノルズ応力項とエントロピー項が打ち消しあうことを明らかにした。また、混合層に対する粒子の与える影響を調べ、粒子の存在によりせん断層の発達率が妨げられ、音源の位置が変化することを示した。

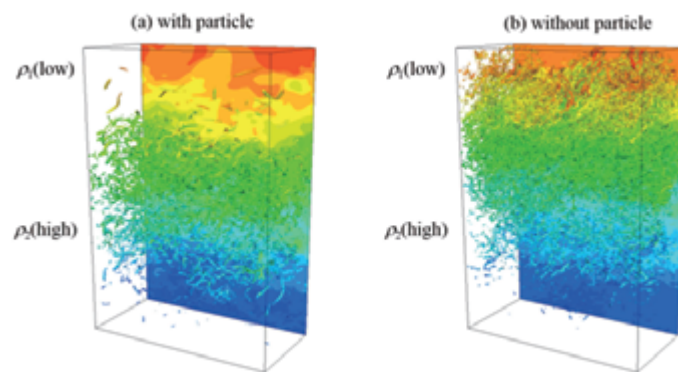


図1 混合層の発達度の違い。(a)粒子あり，(b)粒子なし。

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	30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：	自動並列
利用計算システム：	JSS-M, SORA-PP

## ● 成果の公表状況

### 査読付論文

- 1) Nonomura, T, Terakado, D, Abe, Y and Fujii, K, “A new technique for free stream preservation of finite-difference WENO on curvilinear grid,” *Compt. Fluids*, **107**, 242-255 (2015).

### 査読なし論文

- 2) 寺門大毅, 野々村拓, 佐藤 允, 藤井孝藏, “一様等方性圧縮性乱流の音源分布,” JAXA-Special Publication.

### 口頭発表

- 3) Terakado, D, Nonomura, T, Sato, M and Fujii, K, “Compressibility effects on sound source distributions in isotropic compressible turbulence,” 10<sup>th</sup> International ERCOFTAC Symposium on Engineering Turbulence Modeling and Measurements, Marbella, Spain, 2014.

- 4) Terakado. D, Nonomura. T, Sato. M and Fujii. K, “Relation between sound sources and vertical structures in isotropic compressible turbulence,” ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Montreal, Canada, 2014.
- 5) Nagata. Y, Nonomura. T, Asahara. M, Fujii. K, Yamamoto. M, “A high-order upwind method for gas-particle flow toward the analysis of acoustic waves from a rocket plume including solid,” ICCFD8, Chengdu, China, 2014.
- 6) 寺門大毅, 野々村拓, 佐藤 允, 藤井孝藏, “一様等方性圧縮性乱流の音源分布,” 第46回流体力学講演会/第32回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 青森, 2014年.
- 7) 寺門大毅, 野々村拓, 佐藤 允, 青野 光, 河合宗司, 藤井孝藏, “一様等方性圧縮性乱流における音源分布の統計的性質,” 日本機械学会第92期流体工学部門講演会, 富山, 2014年.
- 8) 長田裕樹, 野々村拓, 朝原 誠, 藤井孝藏, 山本 誠, “固体粒子を含むロケットプルーム音響解析に向けた固気二相流の高次精度解析手法の提案,” 平成25年度衝撃波シンポジウム, 神奈川, 2014年.
- 9) 長田裕樹, 野々村拓, 朝原 誠, 藤井孝藏, 山本 誠, “超音速固気混相流の高精度数値解析,” 日本機械学会第92期流体工学部門講演会, 富山, 2014年.

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	40077.19	196.47

※ JSS-Mの利用実績あり



## 44. 月着陸候補地点のシミュレーションおよび解析 *Simulation and analysis for candidates of landing site on the Moon*

### ● 事業形態

JAXA プロジェクト (プリプロジェクト)

### ● 事業の責任者・構成員

責任者：月惑星探査プログラムグループ, 星野 健(hoshino.takeshi@jaxa.jp)  
構成員：月惑星探査プログラムグループ, 石原吉明(ishihara.yoshiaki@jaxa.jp)  
月惑星探査プログラムグループ, 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)  
月惑星探査プログラムグループ, 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

日時, 範囲, 解像度, 高度などの諸条件を変化させた月面の日照・日陰, 地球局との月面からの通信可視性の解析を行い, 着陸地点の選定に資する。

### ● 事業の目標

NASAとの共同プロジェクトの立ち上げに向け, 工学的・科学的な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

地形を考慮した日照時間や通信可否のシミュレーションおよび解析計算に利用し, 最適な着陸地点の選定に重要な役割を果たす。

### ● 今年度の成果

一部のシミュレーションと初期解析の実施を行い, 日照の良い地点の情報等が得られた。また, 本格的に利用する上で, スパコンで期待できる計算量の把握と, ジョブ投入から計算結果が出るまでにかかる時間の把握などの予備的検討を実施できた。



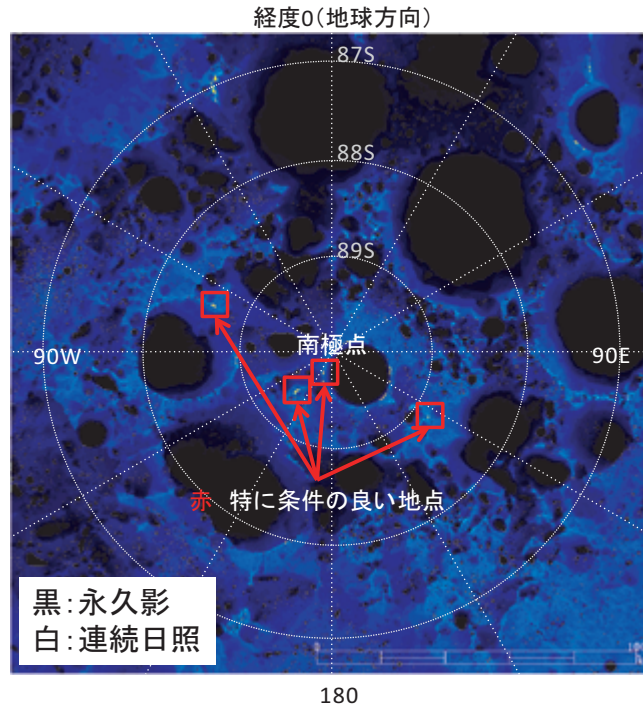


図1 月南極の日照マップの例

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	3~24時間(シミュレーション・解析対象による)
ケース数：	14~720ケース(シミュレーション・解析対象による)
ジョブの並列プロセス数：	1~16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：	JSS-M, JSS-A, SORA-PP, SORA-LM

● **成果の公表状況**

査読なし論文

- 1) SELECTION OF LANDING SITES FOR FUTURE LUNAR MISSIONS WITH MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION. M. Nishiyama, H. Otake, T.Hoshino, et al, Proceeding of the 46th Lunar and Planetary Science Conference, 2015.

その他

- 2) JAXA JOINT STUDY REPORT ON Resource Prospector (RP), PME-114001B

● **年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	4412.59	1497.47

※ JSS-M, JSS-Aの利用実績あり

## 45. 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による放出機構検討 *Numerical Simulation of Separated Capsule Cover Behavior for a Reentry Demonstrator*

### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト・一般研究

### ● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発本部 JEDI, 井上 弘(inoue.hiroshi@jaxa.jp)

構成員：研究開発本部 JEDI, 藤本圭一郎(fujimoto.keiichiro@jaxa.jp)

研究開発本部 JEDI, 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は、複雑な物理現象のシミュレーションを広範囲な条件下で実施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の設計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の設計検討のためには、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、様々な気流条件及びカバーの初期速度・角度条件における空力特性評価を高速かつ高精度で実施することが必要である。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カバー放出機構の設計案に対して、様々な条件下での大規模剥離流れを含むCFDの大規模な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

- ・ JEDIの基盤CFDコードLS-FLOWに埋込み境界法を併用し、カプセルカバーの空力解析を実施した。
- ・ 小型回収カプセルのカバー放出系の設計案及び実機条件における解析を実施し、必要となるカバー初期並進速度や初期ピッチ角及びピッチレート要求を明確化することで設計案の絞り込み検討を行った。

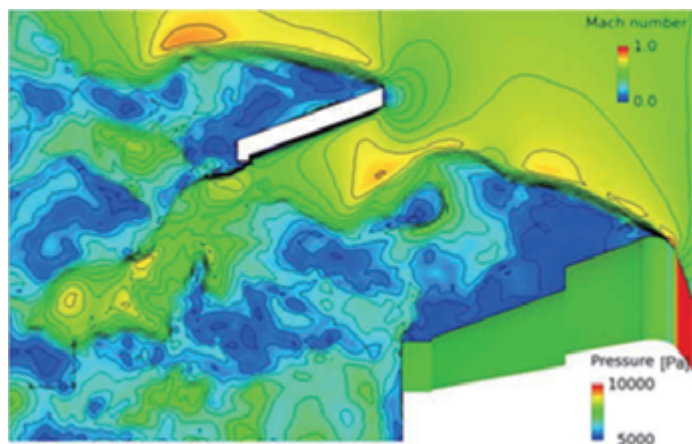


図1 小型回収カプセルカバー放出時の空力特性解析

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	2日～1週間
ケース数：	約70ケース
ジョブの並列プロセス数：	約50@JSS-M,約12@SORA-TPP
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4@JSS-M, 12@SORA-TPP
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：	JSS-M, SORA-LM

## ● 成果の公表状況

### 査読なし論文

- 1) 藤本圭一郎, 他, “安全性定量評価に向けた空力CFD解析の精度検証,” 第58回宇宙科学技術連合講演会, 2014.

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]		2138.05

※ JSS-Mの利用実績あり

## 46. 再突入カプセルの遷音速不安定に関する研究

### Study on transonic instability of re-entry capsule

#### ● 事業形態

技術研修生

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：首都大学，森上群平(gmorikami@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

再突入カプセル周りの三次元非定常流れにおけるマッハ数依存性の調査を行い，再突入カプセルの運動予測に向けた，空力データベースに先立つ知見の獲得。

#### ● 事業の目標

HTV-R再突入カプセルの空力データベース整備・構築。

#### ● 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

HTV-R カプセルの運動予測に先立ちカプセル周りのマッハ数ごとの剥離位置の傾向など，流れ場の傾向を知ることができた。

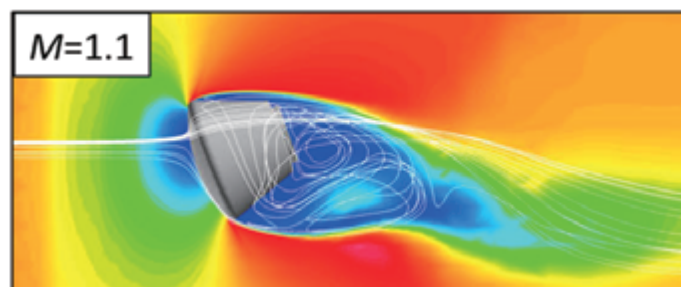


図1 機体表面  $C_p$  分布(206 形態,  $M=0.95$ ,  $\alpha=3^\circ$ ,  $\phi=0^\circ$ )

## 【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：	FLAT, MPI
スレッド並列手法：	OpenMP, 自動並列
利用計算システム：	JSS-M, SORA-PP

## ● 成果の公表状況

## その他

- 1) 森上群平, DESによるHTV-R再突入カプセルに対する速度域ごとの非定常特性, 卒業研究論文 首都大学東京 航空宇宙システム工学コース, 2014

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	95655.49	

※ JSS-Mの利用実績あり

## 47. 将来宇宙輸送システムの空力設計

### *Aerodynamic design of future space transportation system*

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙輸送ミッション本部 宇宙輸送系システム技術研究開発センター，  
沖田耕一(okita.koichi@jaxa.jp)

構成員：宇宙輸送ミッション本部 宇宙輸送系システム技術研究開発センター，  
青木良尚(aoki.yoshihisa@jaxa.jp)  
宇宙輸送ミッション本部 宇宙輸送系システム技術研究開発センター，  
高間良樹(takama.yoshiki@jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

将来の宇宙輸送システムを考案する。

#### ● 事業の目標

人工衛星の代替となる輸送システムを考案する。

#### ● 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。  
空力加熱の相対値を計算する。

#### ● 今年度の成果

18種類の機体形状のCFDを行い，空力・制御の観点から適切な形状を選択した。

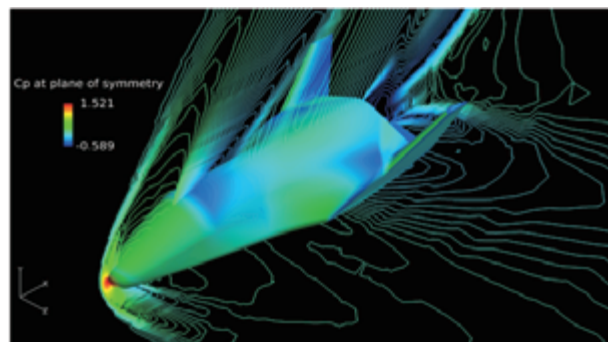


図1 衛星代替システムのCFD結果 (M=1.5, AOA=5deg, 対称面のCp分布)

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間： 10時間  
ケース数： 28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**

無し

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	8350.66	



## 48. 将来輸送技術の研究（再使用型輸送システム）

### Research on Future Reusable Space Transportation Systems

#### ● 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)

#### ● 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・スクラムジェットとの複合サイクル（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，スクラムモードからラムモードへの遷移過程を非定常RANS法およびHybrid RANS/LES法を用いて解析した。超音速燃焼状態から壁面垂直噴射による水素燃料流量を急に増加させた場合に，燃焼器内部が亜音速流状態に遷移する様子を確認した。（図1）
2. RBCCエンジンのスクラムモードにおける燃料・空気の効率的混合促進のための燃料噴射器として研究中のHyper-Mixer型噴射器について，各種設計パラメータを変化させた場合の性能への影響をCFDにより調べた。今年度は昨年度調べた定性的結果が格子解像度に依存しないことを確認するための追加計算を実施した。（図2）
3. 炭化水素系のエタノールを燃料とするRBCCエンジンのCFD解析を実施するための基礎研究として，フィッティング対象の違いによる数種のエタノール総括反応モデルを大学との共同研究にて開発し，それらのRBCCエンジン燃焼流れ場に対する予測能力の検討を行った。計算対象はキャビティ付超音速燃焼器（壁面からの単孔垂直噴射）であり，同形状で実施された燃焼実験との比較を行った。図3はマイクロフローリアクタの火炎位置をフィッティング対象として作成された総括反応モデルを用いた計算結果の例である。（図3）



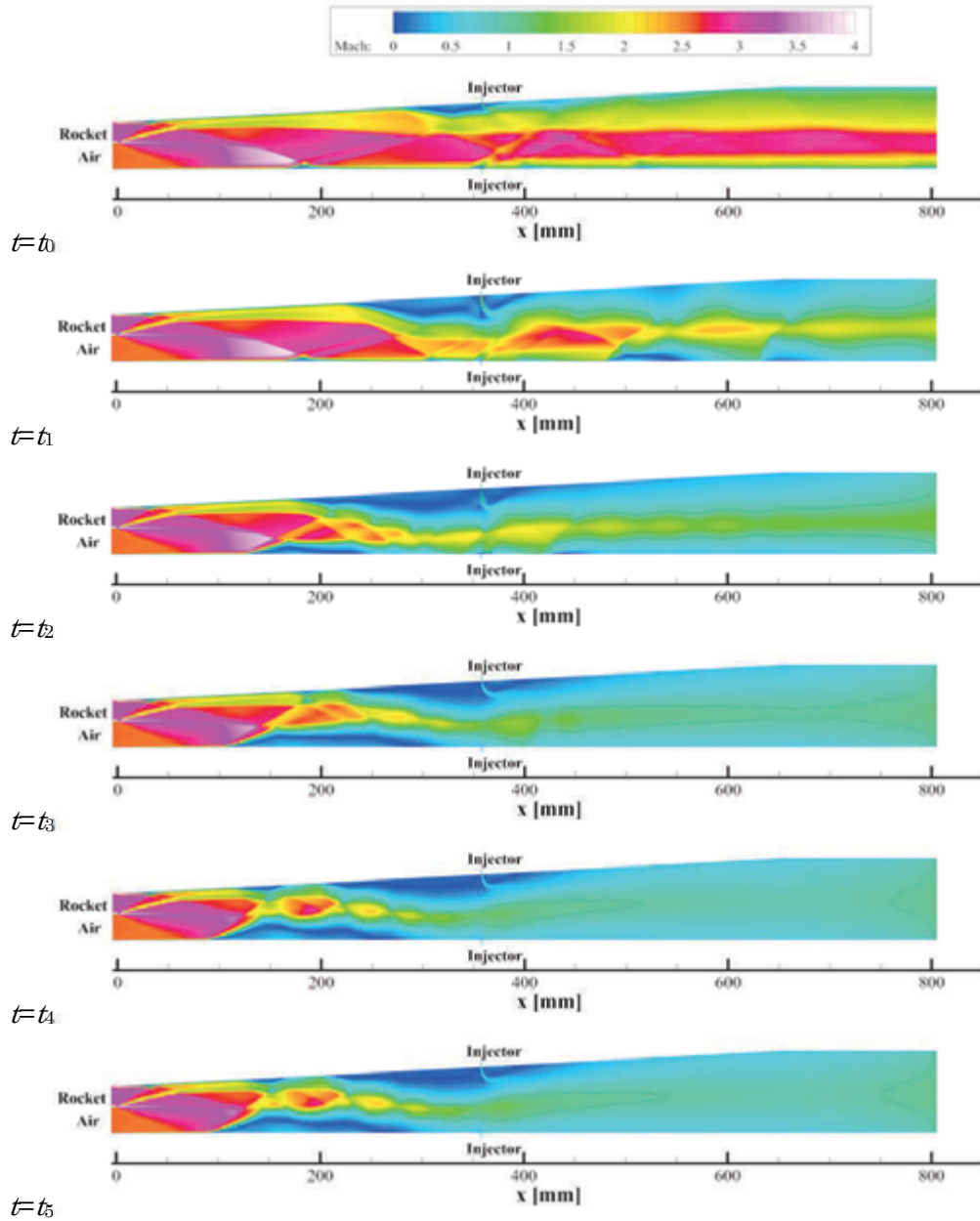
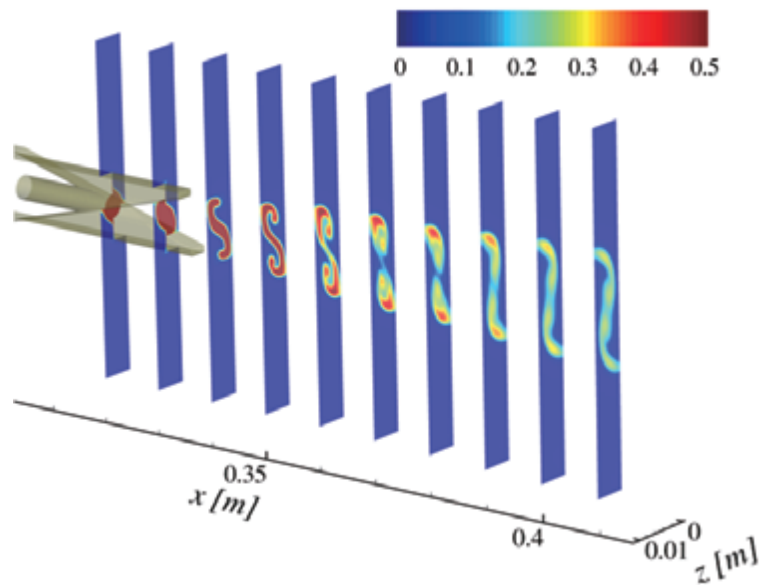


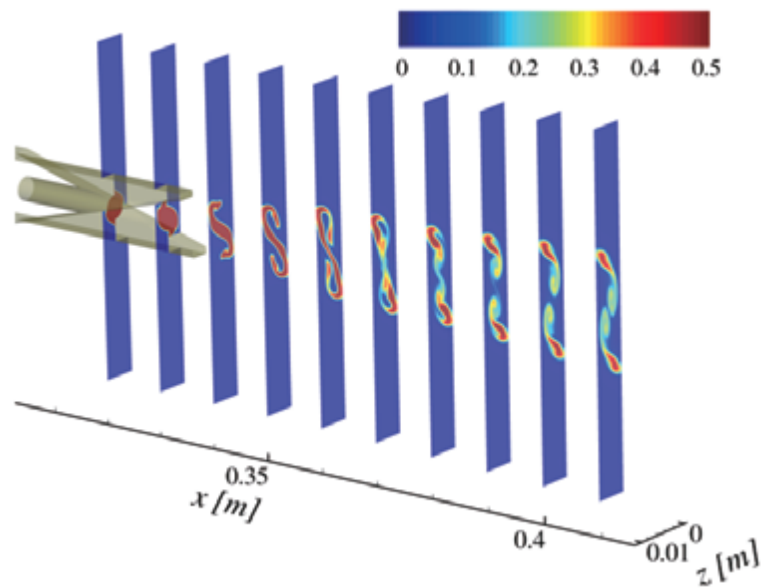
図1 RBCC 燃焼器内部マッハ数分布の時間変化

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	100時間
ケース数：	5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：	JSS-M, JSS-A



(a) coarse grid

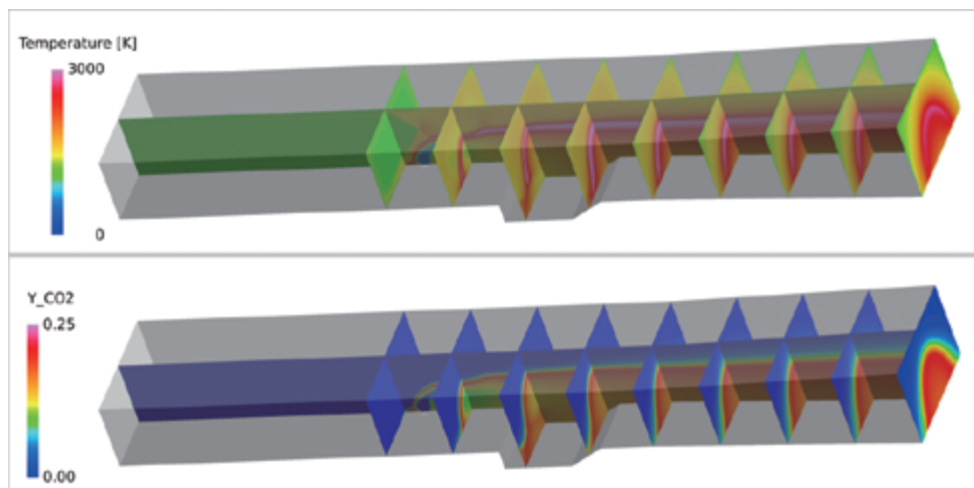


(b) fine grid

図2 格子解像度の違いによる比較（水素質量分率分布）

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	15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)：	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

図3 温度分布（上）およびCO<sub>2</sub>質量分率分布（下）

#### 【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：	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

##### 査読付論文

- 1) Ogawa, H., and Kodera, M., “Physical Insight into Hypermixer Injector Design for Fuel/Air Mixing Enhancement in Scramjet Engines,” to be submitted to *Journal of Propulsion and Power*.

##### 口頭発表

- 2) 20th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference（予定）

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	29260.71	

※ JSS-M, JSS-Aの利用実績あり

## 49. 新型基幹ロケット空力特性基礎試験

### *Numerical Analysis of aerodynamic characteristics on next generation flagship launch vehicle*

#### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙輸送ミッション本部，岡田匡史(okada.masashi@jaxa.jp)

構成員：宇宙輸送ミッション本部，寺島啓太(terashima.keita@jaxa.jp)

宇宙輸送ミッション本部，伊海田皓史(ikaida.hiroshi@jaxa.jp)

三菱重工業株式会社，今井和宏(kazuhiro\_imai@mhi.co.jp)

三菱重工業株式会社，伊藤文博(fumihito\_itoo@mhi.co.jp)

三菱重工業株式会社，福澤 瞬(shun\_fukuzawa@mhi.co.jp)

#### ● 事業の目的

新型基幹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

新型基幹ロケット概念設計フェーズにおける機体成立性評価の観点で，飛行経路解析用空力データ及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にて取得する。

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 技術及び計算機進歩により技術的には 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

新型基幹ロケットは打上げ能力に応じてブースタ本数を可変とするなど，上記目標を達成するために，迎角・マッハ数も含めた多数のケース数を解析する必要があることから，スパコンの利用が必須であった。

#### ● 今年度の成果

新型基幹の各形態（固体ブースタなし/2本/4本の3形態）に対して，機体各部の表面 Cp 分布および各部の荷重分布の解析を実施した。得られた解析結果は新型基幹ロケットの飛行経路設計・構造設計のインプットデータとして適用し，概念設計フェーズとして機体の成立性に問題がないことを確認した。

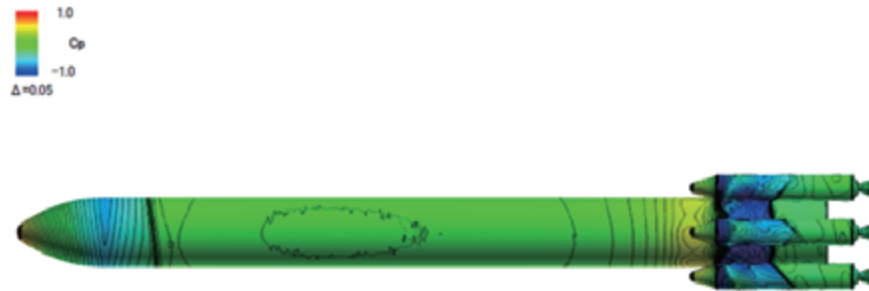


図1 機体表面  $C_p$  分布(206 形態,  $M=0.95$ ,  $\alpha=3^\circ$ ,  $\phi=0^\circ$ )

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	8時間
ケース数：	179ケース
ジョブの並列プロセス数：	100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：	JSS-M

#### ● 成果の公表状況

無し

#### ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用

## 50. 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，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に影響するのか，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

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。図 2 にはエンジン内の途中断面における質量流率（ $\rho u$ ）分布と共に、ストラット側面 12 点（両面で 24 点）を通過する流線を黒で示したものである。ストラット噴射を想定した流線であるが、必ずしも高  $\rho u$  分布位置を通るとは限らない。そこで高  $\rho u$  分布出位置を通る流線を探すため、高  $\rho u$  分布位置に点を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。その結果が図 2 中に示されている赤流線である。高  $\rho u$  分布位置に定めた 5 点とは、 $\rho u$  分布がエンジン断面の中央に纏まっているボートテイル形ストラット形態のものを基準とし、エンジン天板から 0.2m の点を中心としその周囲に 4 点を定めた計 5 点のものである。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ることが分かった。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る。

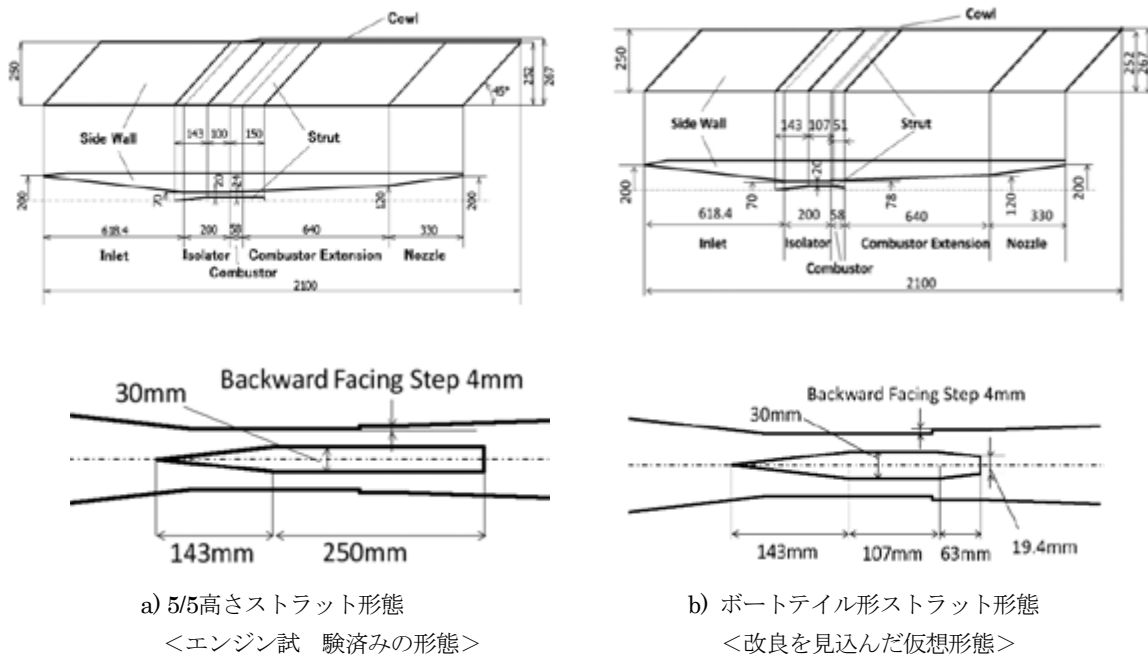


図1 ストラット二形態一両形態について CFD で比較

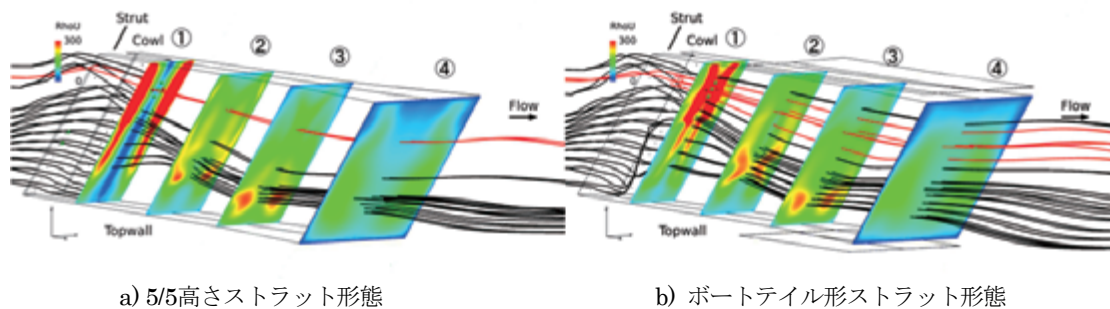


図2 高質量流率位置から遡上した流線（赤）



## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	200時間
ケース数：	8ケース
ジョブの並列プロセス数：	8プロセス or 16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：	JSS-M

## ● 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—燃料偏在の補正法」, 第46回流体力学講演会及び平成26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27年3月

## 口頭発表

- 2) Sato, Fukui, Watanabe, and , Munakata, "Consideration for Optimization of Fuel Distribution in a Scramjet Engine", AIAA 2014-2214, 19th AIAA International Space Planes et al Conference, June 2014, Atlanta.
- 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—燃料偏在の補正法」, 第46回流体力学講演会及び平成26年度航空宇宙シミュレーション技術シンポジウム, 平成26年7月 弘前
- 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—一流線遡上法による適正噴射位置探索」, 平成26年度衝撃波シンポジウム, 平成27年3月 伊香保
- 5) 佐藤, 福井, 渡邊, 宗像, 「スクラムジェットエンジンにおける燃料適正噴射位置探索」, 2015年日本航空宇宙学会北部支部講演会及び再使用型輸送技術シンポジウム, 平成27年3月 能代

## ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用



## 51. 世界初の火星飛行探査実現に向けた基盤研究と高高度飛行試験

### Fundamental research and flight test for future Mars Airplane

#### ● 事業形態

科研費

#### ● 事業の責任者・構成員

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

構成員：宇宙科学研究所 飛翔工学系，野々村拓(nonomura@flab.isas.jaxa.jp)

客員准教授，Li Weipeng(li@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，関本諭志(sekimoto@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，李 東輝(lee@flab.isas.jaxa.jp)

東北大学，森澤征一郎(morizawa@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)

東京理科大学，近藤勝俊(kondo@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，長田裕樹(nagata@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，寺門大毅(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

東北大学，安藤善紀(ando@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，加藤宏基(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

九州工業大学，佐々木岳(sasaki@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，Gabriel Pichon(pichon@flab.isas.jaxa.jp)

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

東京大学，福本浩章(fukumoto@flab.isas.jaxa.jp)

The Ohio State University，浅田健吾(asada.2@osu.edu)

#### ● 事業の目的

世界初の火星飛行探査実現に向けた翼周りの低レイノルズ数流れの基本特性理解。

#### ● 事業の目標

世界初の火星飛行探査実現に向け，高解像度数値シミュレーションを用いて翼周りの低レイノルズ数流れの基本特性を理解し，高性能な翼設計に繋がる知見を得る。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

火星探査飛行機の翼周りの流れ場は低レイノルズ数流れとなり，低レイノルズ数流れ場は少しのレイノルズ数の変化でその特性が大きく変化する。そのため，幅広いレイノルズ数領域での基本特性を理解するのが重要であり，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

低レイノルズ数領域において、大規模 3 次元数値シミュレーションによりレイノルズ数変化による流れ場特性変化を理解した。また、2 次元解析により 2 次元計算の信頼性および幅広いレイノルズ数領域における流れ特性に関する知見を得た。

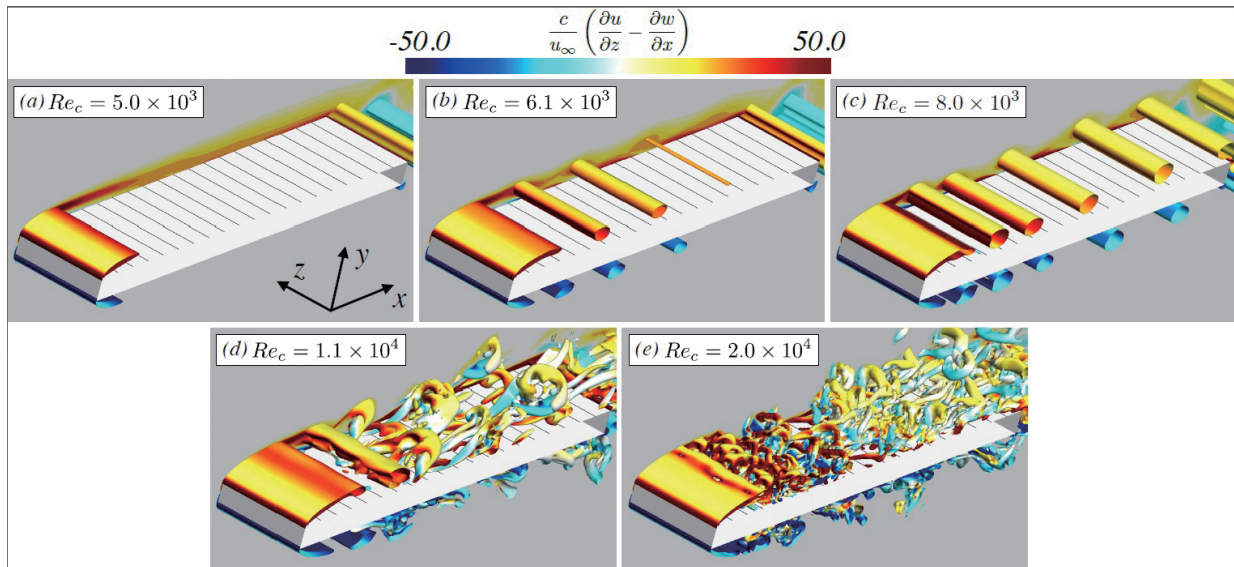


図1 レイノルズ数変化による 3 次元流れ場構造変化

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	30時間
ケース数：	51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)：	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：	JSS-M

## ● 成果の公表状況

### 査読付論文

- 1) D. Lee, S. Kawai, T. Nonomura, M. Anyoji, H. Aono, A. Oyama, K. Asai, and K. Fujii, “Mechanisms of surface pressure distribution within a laminar separation bubble at different Reynolds numbers”, *Physics of Fluids* 27 (023602), 2015

### 口頭発表

- 2) D. Lee, S. Kawai, T. Nonomura, A. Oyama, and K. Fujii, “Mechanisms of pressure distribution within laminar separation bubble at different Reynolds numbers”, American Physical Society 67th Annual Meeting Division of Fluid Dynamics, San Francisco USA, 2014.
- 3) D. Lee, T. Nonomura, A. Oyama, and K. Fujii, “Two- and three-dimensional numerical analysis for flow characteristics at various low Reynolds numbers”, International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, Stockholm Sweden, accepted for oral presentation 2015.

- 4) D. Lee, S. Kawai, T. Nonomura, A. Oyama, and K. Fujii, “Characteristics of pressure distribution and skin friction within the laminar separation bubble at different Reynolds numbers”, 9th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, Melbourne Australia, accepted for oral presentation 2015.

● 年間利用量

※ JSS-Mの利用

## 52. 先端的宇宙機推進機のプラズマ流れの数値解析

### Numerical Plasma Simulation on Advanced Space Propulsion Systems

#### ● 事業形態

一般研究，科研費

#### ● 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，船木一幸(funaki@isas.jaxa.jp)

構成員：東京工業大学大学院 総合理工学研究科，川崎 央・奥野喜裕

研究開発本部 数値解析グループ，窪田健一

静岡大学大学院，佐野達郎

#### ● 事業の目的

電気推進ロケットならびに将来型推進機の数値設計技術を獲得する。

#### ● 事業の目標

将来の大型宇宙機のメインエンジンとして期待され，高推力密度，高比推力といった特長を持つMPDスラスタならびに将来型スラスタの数値モデリングと性能予測ツールの構築を行う。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

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

#### ● 今年度の成果

MPDスラスタの数値設計では，推力と電力クラスを最初に設定した後，初期スラスタ形状を推定する。解析ツールは，スラスタ形状・動作パラメータ推定作業と，放電プラズマ（電磁流体）解析コード，そして熱構造解析コードから構成され，ツール全体を複数回反復利用することで熱構造的に妥当なスラスタの形状を求め，推力・性能特性を算出する。放電プラズマ解析コードは，放電室形状と動作条件（放電電流，推進剤種類と流量）を与えた際の推力・放電電圧を予測し，推進性能および壁面熱流束を評価する。放電プラズマ解析コードとしては，JAXAと東工大が開発したMAPSコードを用いた。MAPSコードは，Navier-Stokes方程式とMaxwell方程式を組み合わせた電磁流体コードである。一方，熱構造解析コードは，電極等の放電室壁面への熱流束を与えた際のスラスタ構体温度分布を予測する。熱構造解析コードにはNASTRANを用いており，現時点では熱解析のみ実施している。両コードを接続するのがシース熱伝達モデルであり，シース電圧降下とシース部への投入電力を予測すると共に，プラズマ解析結果をもとに電極ならびに絶縁体壁面への熱流束を予測する。今回はシースモデルの見直しを行い，自己無頓着なプラズマ流と電極の接続が可能となった。図1には，スラスタヘッドの構成と，典型的なヘッド内放電分布を示した。

今回は後者の弱連成解析により 100kW～1MW クラス自己誘起磁場型 MPD アークジェットの高・プラズマ解析を実施し，放電室設計を行った。設計結果は，別途実施した実験で確認され，数値解析予測が正確であることが示された。

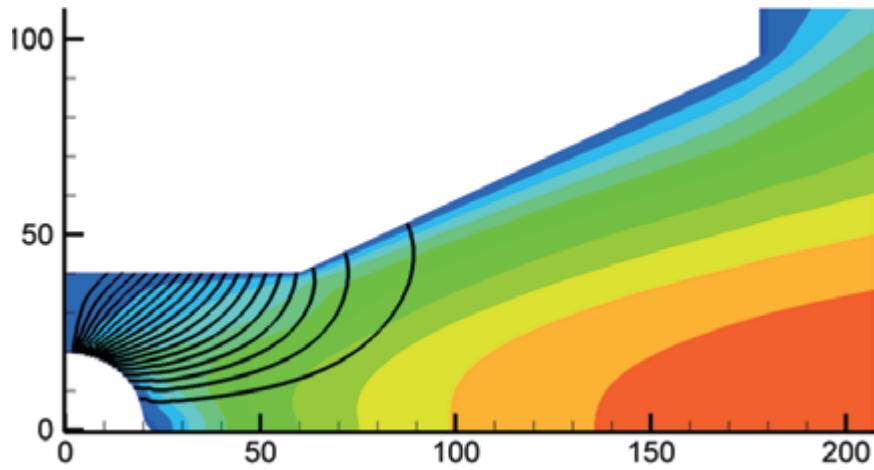


図1 自己誘起磁場型MPDアークジェットの放電経路ならびにプラズマ流解析結果 (Ar, 1.8g/s, 10kA)

#### 【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：

JSS-M

#### ● 成果の公表状況

##### 査読なし論文

- 1) Kawasaki A., Kubota K., Funaki I., Okuno Y., “Numerical Simulation of Plasma Flow in a Self-field MPD Thruster Coupled with Electrode Sheath”, 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Cleveland, Ohio, USA, (Jul. 2014).
- 2) Kawasaki A., Kubota K., Funaki I., Okuno Y., “Numerical Study of Plasma Flow and Electrode Sheath in a Magnetoplasmadynamic Thruster”, Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2014, AJCPP-2014-20, Jeju, Korea, (Mar. 2014).
- 3) Funaki I., Kubota K., Kawasaki A., Okuno Y., Miyazaki K., Takenaka S., Horisawa H., “Analysis of Self-field MPD Thrusters for Designing a Megawatt-class In-space Propulsion System”, 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Cleveland, Ohio, USA, (Jul. 2014).

##### 口頭発表

- 4) 川崎 央, 窪田健一, 船木一幸, 奥野喜裕, 「電極現象を考慮したMPDスラスタの電磁流体シミュレーション」, 第58回宇宙科学技術連合講演会, 2J15, 長崎, 2014年11月.
- 5) 川崎 央, 窪田健一, 船木一幸, 奥野喜裕, 「電極現象を考慮した電磁流体シミュレーションによるMPDスラスタの性能予測」, 第46回流体力学講演会/第32回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2E11, 弘前, 2014年7月.

#### ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用

## 53. 超音速噴流から発生する非線形音響波の発生機構の解明と定量的予測 Clarification of the generation mechanism and prediction of the acoustic waves from a supersonic jet.

### ● 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 宇宙飛翔工学系，野々村拓(nonomura@flab.isas.jaxa.jp)

構成員：客員准教授，Li Weipeng(li@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，関本諭志(sekimoto@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，李 東輝(lee@flab.isas.jaxa.jp)

東北大学，森澤征一郎(morizawa@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)

東京理科大学，近藤勝俊(kondo@flab.isas.jaxa.jp)

東京理科大学，長田裕樹(nagata@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，寺門大毅(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

東北大学，安藤善紀(andoh@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，加藤宏基(terakado@flab.isas.jaxa.jp)

九州工業大学，佐々木岳(sasaki@flab.isas.jaxa.jp)

東京大学，Gabriel Pichon(pichon@flab.isas.jaxa.jp)

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

東京大学，福本浩章(fukumoto@flab.isas.jaxa.jp)

The Ohio State University，浅田健吾(asada.2@osu.edu)

### ● 事業の目的

ロケット噴流から発生する音響波の予測低減は重要である。本研究ではロケット噴流を超音速ジェットとモデル化し、2dB 以内の予測精度を目標にどのような物理を数値シミュレーションで解像することが重要かを明らかにすることを目的としている。

### ● 事業の目標

様々な超音速ジェットの解析を行い、それぞれ2dB 以内の予測を行うために、解像すべき物理現象を明らかにする。これまでに乱流遷移する超音速ジェットの数値解析が十分な精度でできることを示しており、今年度は攪乱を与えた超音速ジェットに対する解析を行った。

### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

近年の空力音響解析技術の高まりにより、基礎的な流れ場においては数値解析を用いることで実験と同等の精度での解析が可能となってきてきた。しかし、解析には時空間ともに高精度が要求されるため、高精度解析の実現にはスパコンの利用が必要不可欠となる。



## ● 今年度の成果

今年度は攪乱を与えた超音速ジェット解析を行った。攪乱をあたえることで、乱流構造がより細かくなり、実験で見られている線形なせん断層の成長が観測された。また攪乱を与えたジェットは途中で乱流遷移するジェットよりも音響レベルが大幅に下がることがわかった。

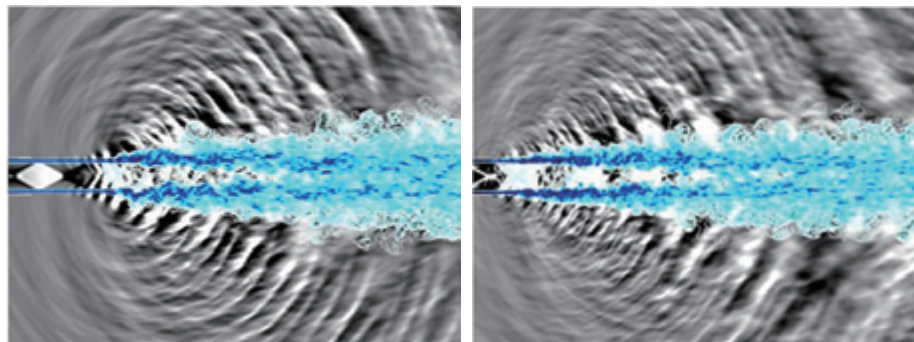


図1 攪乱あり（左）なし（右）の超音速ジェットの解析

### 【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：	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：	MPI
利用計算システム：	JSS-M, SORA-PP

## ● 成果の公表状況

### 査読付論文

- 1) Nonomura, T, Terakado, D, Abe, Y and Fujii, K, “A new technique for free stream preservation of finite-difference WENO on curvilinear grid,” *Compt. Fluids*, 107, 242-255 (2015).

### 口頭発表

- 2) 野々村拓, 藤井孝藏, “乱流遷移する超音速ジェットからの音響波の定量予測,” 日本機械学会第92期流体力学部門講演会, 富山, 2014年.
- 3) 野々村拓, 渡辺 毅, 阿部圭晃, 藤井孝藏, “乱流遷移する超音速ジェットからの音響波に対する流入せん断層パラメータの影響,” 日本機械学会第92期流体力学部門講演会, 富山, 2014年.
- 4) G. Pichon, D. Terakado, T. Nonomura, K. Fujii, “Effect of highly disturbed nozzle-exit boundary layers on supersonic round jet noise creation,” 日本航空宇宙学会北部支部2015年講演会, 能代, 2014年.

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	82.91	0.02

※JSS-Mの利用実績あり

## 54. 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研究科/宇宙科学研究所 特別共同利用研究員，

伴場由美(y-bamba@stelab.nagoya-u.ac.jp)

### ● 事業の目的

太陽観測衛星「ひので」が取得している太陽表面のベクトル磁場マップは，世界で最も高解像度でかつ高精度である．太陽表面に現れる活動領域（黒点がある領域）は，地球環境に影響を及ぼす太陽フレアの発生源である．「ひので」のベクトル磁場マップを下部境界条件として，上空のコロナにおける磁場構造をフォースフリー条件で推定する．推定された3次元磁場構造を用いて，フレア発生がどのような磁場構造で発生するか，発現させる機構は何かについて探る．

### ● 事業の目標

太陽観測衛星「ひので」が2012年～2014年に観測に成功した，フレアを起こした活動領域について，フォースフリー磁場の非線形計算を行い，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

フォースフリー磁場の非線形モデル計算には膨大な繰り返し計算が必要となる．1マップに対する計算に，スパコンで4-5時間必要とする．スパコン利用によって，様々なフレアや活動領域の計算を多数実施することが可能となるはずで，解析研究にスパコン利用が果たす役割は大きい．

### ● 今年度の成果

3月あたからスパコン利用を始め，まず Inoue et al. (2008, 2011, 2012 ApJ)が開発した非線形フォースフリー磁場のモデリングコードを JAXA スパコンにて使用できるように移植した．太陽観測衛星「ひので」が2014年2月2日に得た光球磁場を境界条件として，非線形フォースフリー磁場のモデルを用いて太陽コロナ磁場を計算した．磁場の三次元構造を可視化することで，太陽フレアが発生したと考えられる磁場の null 点の存在の確認に成功した．



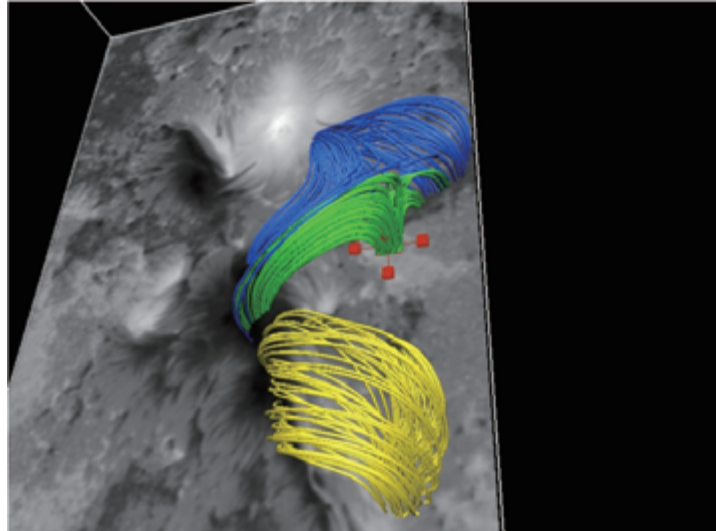


図1 白と黒の背景は「ひので」が観測した太陽表面の光球磁場.

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	4-5時間
ケース数：	3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-TPP

#### ● 成果の公表状況

無し

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	22.54		1356.43

## 55. 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 探査機搭載中間赤外カメラで取得される見込みの空間解像された天体の表面温度データを解析する場合に必要な数値シミュレーションに関する研究および検討。

#### ● 事業の目標

近接観測に伴い天体表面の地形、凹凸などの複雑形状が表面温度および分析にどの程度の影響を与えるのかを定量化し、観測運用ならびに解析時の計算に用いるべき表面メッシュの規模、熱モデルに必要な形状モデルの空間解像度を明らかにする。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

数百万面以上のノードを構成する微小面要素からなる形状モデルを用いた大規模な数値解析が可能になる。

#### ● 今年度の成果

スパコンの利用を始めるにあたっての基礎的な技能の習得およびプロセス並列のためのプログラミング技法の実践的理解, ならびに 300 コア並列による 20 万面程度の規模の計算の実施。

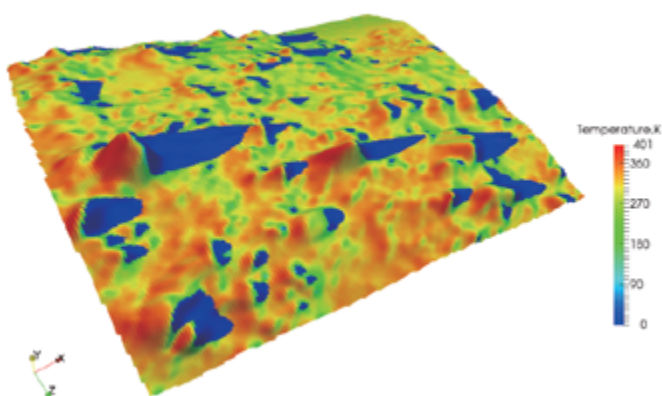


図1 小惑星 Itokawa の地形モデルを利用した表面温度分布の計算例

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	4時間
ケース数：	1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：	OpenMP
利用計算システム：	JSS-M , SORA-PP

#### ● 成果の公表状況

無し

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	3812.99	

※ JSS-Mの利用実績あり

## 56. ロケット・宇宙機に係る推進薬熱流体挙動の数値解析

### *Numerical Simulation of Thermal-Fluid Behaviors in Rocket and Spacecraft Propulsion Systems*

#### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト・一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発本部 情報・計算工学センター，井上 弘(inoue.hiroshi@jaxa.jp)

構成員：研究開発本部 情報・計算工学センター，根岸秀世(negishi.hideyo@jaxa.jp)

研究開発本部 情報・計算工学センター，藤本圭一郎(fujimoto.keiichiro@jaxa.jp)

研究開発本部 情報・計算工学センター，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

- ・ロケット推進系の数値シミュレーション技術構築に向けて考慮すべき重要物理現象の一つである沸騰伝熱に関して，様々な沸騰形態の定量評価が可能な相変化モデルを構築した。構築した相変化モデルは，極低温酸素の微小重力沸騰実験を対象に精度検証を実施した。結果として，「沸騰の初生」と「冷却性能」の関係性を再現する物理モデルを新規に開発し，以下の2点を実現した。
  - ▶ 核沸騰から膜沸騰まで遷移過程を含む沸騰現象の再現が可能な数値シミュレーション技術
  - ▶ 各沸騰様相における壁面熱流束を誤差5%で予測

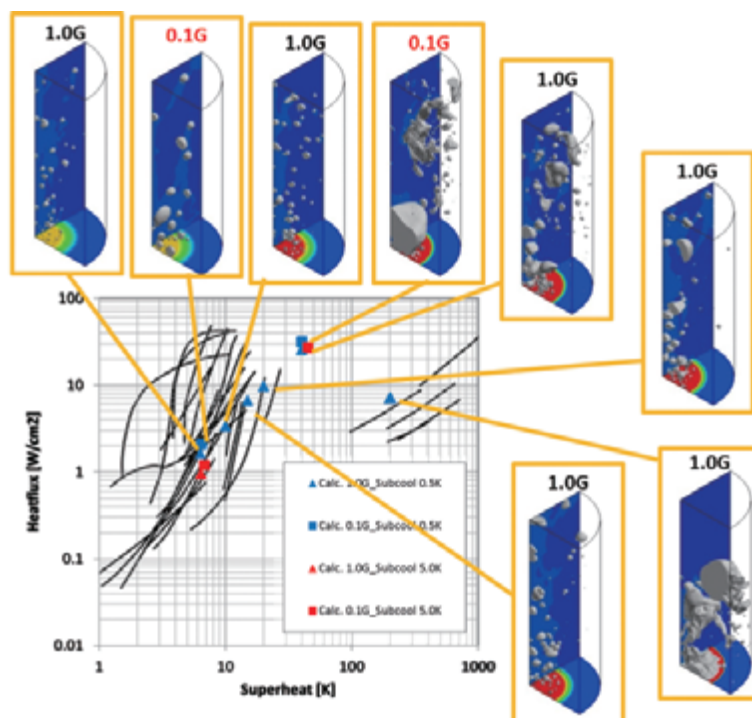


図1 液体酸素を対象としたプール沸騰の沸騰予測を行った可視化結果及び沸騰曲線

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	24時間
ケース数：	80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)：	4コア
プロセス並列手法：	OpenMP
スレッド並列手法：	なし
利用計算システム：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM

#### ● 成果の公表状況

##### 口頭発表

- 1) 梅村悠ほか，“宇宙輸送系に関わる自由表面流の数値解析，” 第28回数値流体力学シンポジウム，9-11日，12月，2014.

##### その他

- 2) JAXA技術資料多数

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	26432.86	37461.80

※ JSS-Mの利用実績あり

## 57. ロケット・宇宙機の燃焼関連評価用コードの機能強化

### *Functional enhancement and its validation of LS-FLOW solver for rockets and spacecraft*

#### ● 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：研開本部 情報・計算工学センター，井上 弘(inoue.hiroshi@jaxa.jp)

構成員：研開本部 情報・計算工学センター，清水太郎(shimizu.taro@jaxa.jp)

研開本部 情報・計算工学センター，森井雄飛(morii.youhi@jaxa.jp)

研開本部 情報・計算工学センター，本江幹朗(motoe.mikiroh@jaxa.jp)

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

#### ● 事業の目的

宇宙機スラスタ用推進器及びロケットエンジンの熱流束評価について，設計評価を行い不具合の未然防止や原因究明に資する。

#### ● 事業の目標

噴霧燃焼の機能強化及び，高圧下での燃焼解析の実現を目指し，ツールの開発と実験データとの比較による検証を実施する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

一部の燃焼解析（着火遅れ時間による検証）は直接計算によってのみ解析が可能であり，これを効率よく実施するには，スパコン解析環境が必須である。また検証は2D形状から段階をおって進めているが，一部の3D形状を模擬した定常解析においても，スパコン環境は必要不可欠である。

#### ● 今年度の成果

燃焼解析の基本性能評価のために，ヒドラジンの着火問題の検証を行った。着火遅れ時間は同様の解析とほぼ同程度となった。また熱流束の評価検証のためにロケットノズルの解析を実施した。いくつかのバグを修正した結果，十分な精度が得られる事が分かった。

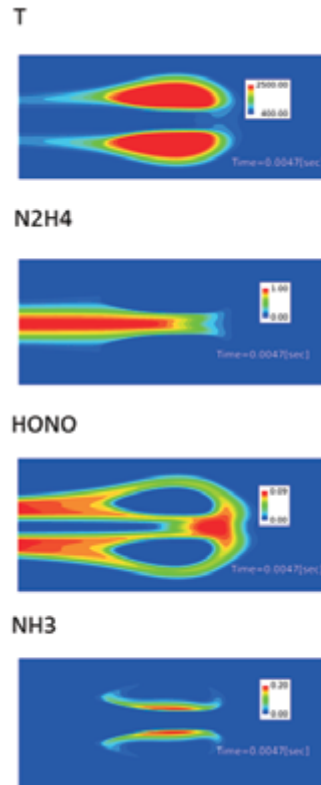


図1 気相ヒドラジン燃焼（着火後+0.3msの温度と各質量分率）

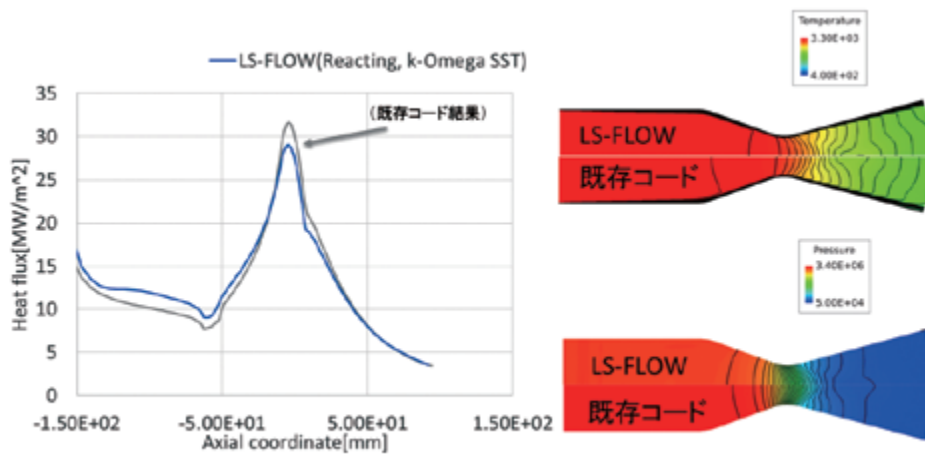


図2 超音速ノズルでの熱流束の検証

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	240時間
ケース数：	20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)：	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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM, SORA-TPP

## ● 成果の公表状況

1) EUCASS2015 (予定)

その他

2) 社内技術資料

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	131095.25	0.91	156490.83

※ No.35, No.36とNo.57の報告書に按分  
JSS-Mの利用実績あり



## 58. 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：宇宙輸送ミッション本部 宇宙輸送系システム技術研究開発センター，  
沖田耕一(okita.koichi@jaxa.jp)

構成員：宇宙輸送ミッション本部 宇宙輸送系システム技術研究開発センター，  
青木良尚(aoki.yoshihisa@jaxa.jp)  
宇宙輸送ミッション本部 宇宙輸送系システム技術研究開発センター，  
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。  
空力加熱の相対値を計算する。

#### ● 今年度の成果

CFD でカプセルの空力特性を推算した。

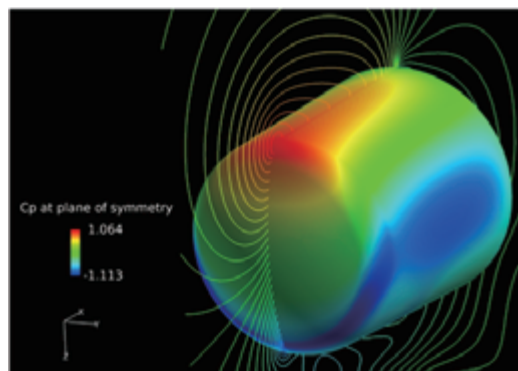


図1 再突入カプセルの CFD 結果 (M=0.4, AOA=50deg, 対称面の Cp 分布)

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間： 22時間  
ケース数： 16ケース  
ジョブの並列プロセス数： 10  
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)： 12  
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-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	6049.70	

## 59. ロケットフェアリング遷音速流れにおける音響振動解析技術の開発

### Numerical simulation of transonic buffet for rocket fairings

#### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト ・ 一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発本部 JEDI, 高木亮治(ryo@isas.jaxa.jp)

構成員：研究開発本部 JEDI, 堤誠 司(tsutsumi.seiji@jaxa.jp)

研究開発本部 JEDI, 丸山新一(maruyama.shinichi@jaxa.jp)

研究開発本部 JEDI, 小泉 拓(koizumi.thiroshi@jaxa.jp)

株式会社 菱友システムズ, 伊藤浩之 (ito.hiroyuki2@jaxa.jp)

株式会社 菱友システムズ, 安部賢治 (abe.masaharu@jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

新型基幹ロケットでは、従来は風洞試験からしか得られなかった遷音速飛行時の非定常空気力を CFD より算出する。得られた結果をインプットとして変動荷重推算、振動特性解析を実施することを目的とする。

#### ● 事業の目標

従来は非定常空気力を設定するために実施していたバフエット風洞試験を極小化し、開発費低減に寄与する。また、静粛フェアリング設計を可能とする解析ツールを確立する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

JSSでは約300ノードを利用し、周方向に20度の限られた領域を計算するために2週間の解析時間を要した。新型基幹ロケットのフェアリングを含む機体形状および飛行パラメータにおいて遷音速バフエットの評価が必要であり、開発スケジュールにタイムリーに結果を提供するためにはスパコンを用いた大規模計算環境が不可欠である。

#### ● 今年度の成果

- ・ LES/RANSハイブリッド法を利用したロケットフェアリング遷音速流れ解析を実施し、モデルの影響の調査を実施した。また、風洞試験結果と比較し、流体振動の予測レベルを評価した。
- ・ コーン・シリンダ形状/オジャイブ形状フェアリングにおける流体変動レベルの差異をCFDにより推算した。
- ・ CFD/構造音響FEM連成解析ツールを開発し、コーン・シリンダ形状/オジャイブ形状フェアリングにおける内部音響レベルの計算を実施した。
- ・ 吸音材最適配置計算ツールの高度化を実施した。

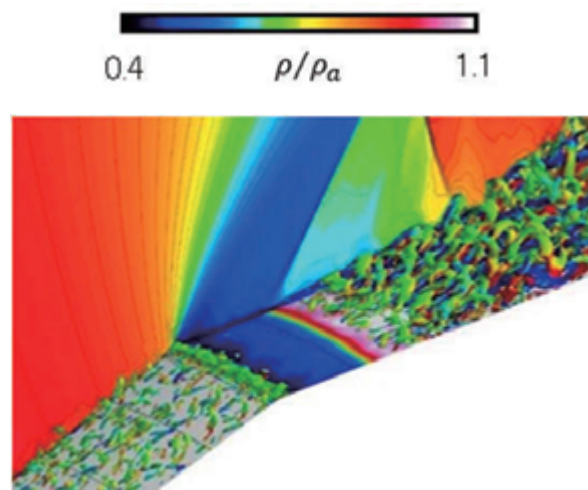


図1 コーン・シリンダ形ロケットフェアリング周りのCFD解析結果. 主流マッハ数は0.8.

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	約0.5ヶ月
ケース数：	10ケース
ジョブの並列プロセス数：	約300@JSS-M, 約300@SORA-PP
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4@JSS-M, 1@SORA-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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM

#### ● 成果の公表状況

##### 査読なし論文

- 1) 丸山新一, 他, “リングモードがフェアリングの音響特性に与える影響の検討,” 第56回構造強度に関する講演会, 2014.
- 2) 山本崇史, 他, “音響加振力低減を目的とした宇宙機内部の吸音材最適配置,” 第56回構造強度に関する講演会, 2014.
- 3) 丸山新一, 他, “フェアリング内騒音低減のためのモード寄与分析,” Dynamics and Design Conference, 2014.
- 4) 丸山新一, 他, “ペイロードフェアリングの低騒音化検討,” 第30回宇宙構造・材料シンポジウム, 2014.
- 5) 堤 誠司, 他, “ロケットフェアリング遷音速流れにおけるLES/RANSハイブリッド法の評価,” 第28回数値流体力学シンポジウム, 2014.

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	151856.72	1791.50

※ No.59とNo.62の報告書に按分  
JSS-Mの利用実績あり

**60. ロケットーラム複合サイクルエンジンにおけるエジェクタ・モードの数値計算*****Numerical Simulation of Ejector-jet Mode 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：宇宙輸送ミッション本部，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．

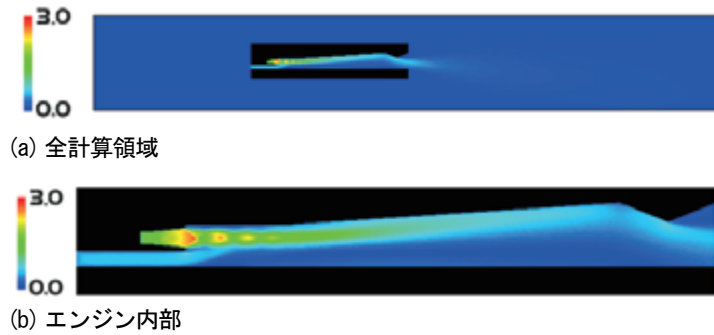


図1 CFDによって得られたマッハ数分布

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	5時間
ケース数：	30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)：	16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：	JSS-M, SORA-PP

**● 成果の公表状況****査読付論文**

- 1) “Analytical Method for Prediction of Suction Performance of Ejector-Jet”, 航空宇宙学会誌

**口頭発表**

- 2) “複合エンジンにおけるエジェクタ性能向上のための数値計算”, 日本航空宇宙学会北部支部2015年講演会ならびに第16回再使用型宇宙推進系シンポジウム

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	1296.85	

※ JSS-Mの利用実績あり

## 61. ロケットリフトオフ時の音響振動解析技術の開発と低騒音射点設計検討

### *Numerical simulation of lift-off acoustic*

#### ● 事業形態

JAXA プリプロジェクト ・ 一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発本部 JEDI, 井上 弘(inoue.hiroshi@jaxa.jp)  
 構成員：研究開発本部 JEDI, 高木亮治(ryo@isas.jaxa.jp)  
 研究開発本部 JEDI, 堤誠 司( tsutsumi.seiji@jaxa.jp)  
 研究開発本部 JEDI, 芳賀臣紀(haga.takanori@jaxa.jp)  
 研究開発本部 JEDI, 丸山新一(maruyama.shinichi@jaxa.jp)  
 研究開発本部 JEDI, 小泉 拓( koizumi.thiroshi@jaxa.jp)  
 株式会社 菱友システムズ, 伊藤浩之 (ito.hiroyuki2@jaxa.jp)  
 株式会社 菱友システムズ, 前川友樹 (maekawa.yuki@jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

ロケットリフトオフ時にエンジン排気ジェットに起因して発生する音響振動は、従来から半経験則やサブスケール燃焼試験を利用した設計評価手段がなかった。第 2 中期より構築してきた CFD を利用した設計解析技術の適用範囲を第 3 中期では拡大し、新型基幹ロケットに対してもフェアリング外部音響環境の評価、及び、パラメトリックスタディ(射点形状の感度評価)を実施する。そして、試験規模を抑えて開発費低減を図るとともに、仕様決定の迅速化に寄与することを目的とする。

#### ● 事業の目標

新型基幹ロケットの低騒音射点を設計するにあたり、液体ロケットエンジンを含む音源の発生機構を CFD で、複雑な射点周りの音響伝播機構を高精度な CAA 解析ツール(音響波の非線形性、反射・回折を加味)を開発・整備する。仕様決定の迅速化に寄与するため、リフトオフ時の 31.5-500Hz の周波数帯域を 1 週間程度で解析可能なツールとし、迅速な設計パラメータの影響を評価す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

新型基幹ロケットの射点形状の基本設計フェーズにおける音響環境への影響評価をクイックに、かつ高精度で実施することが引き続き必要である。また、CNES との共同研究における模擬射点形状での解析技術ベンチマーキングも引き続き来年度まで実施する計画となっている。

これらの作業は、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

- ・ 熱的完全気体を取り扱い可能な圧縮性CFDソルバに高次精度計算手法（6次精度Compact法）を実装し、H<sub>2</sub>/Airジェットの空力騒音解析を実施した。
- ・ イプシロンロケット開発時に実施した模擬射点音響環境計測試験結果、及びイプシロン試験機フライト結果を利用したCFDの定量的予測レベルの比較検証を実施した。
- ・ 新型基幹ロケット用の射点検討を実施。特に、発射台の影響をCFDにて調べた。

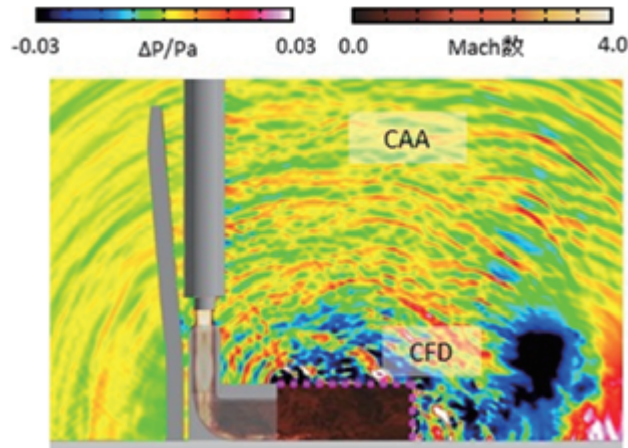


図1 イプシロンロケットリフトオフ時の空力騒音解析.

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	1週間～2ヶ月
ケース数：	約10ケース
ジョブの並列プロセス数：	約160@JSS-M, 約100@SORA-PP
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	4@JSS-M, 3@SORA-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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM

## ● 成果の公表状況

### 査読付論文

- 1) S. Tsutsumi, et al., "Study on Acoustic Prediction and Reduction of Epsilon Launch Vehicle at Liftoff," Journal of Spacecraft and Rockets, Vol.52, Issue 2, 2015, pp.350-361.

### 査読なし論文

- 2) 堤 誠司, 他, “フレームディフレクタから発生する超音速ジェット騒音の数値解析,” 第45期日本航空宇宙学会年会講演会, 2015.
- 3) 堤 誠司, 他, “イプシロンロケット試験機打上げ時の音響環境データに関するポストフライト評価,” 第46回流体力学講演会/第32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) Seiji Tsutsumi, et al., “Assessing Prediction and Reduction Technique of Lift-off Acoustics Using Epsilon Flight Data,” AIAA Paper 2015-1007, 2015.



### 口頭発表

- 5) Seiji Tsutsumi, et al., “Post-Flight Acoustic Analysis of Epsilon Launch Vehicle at Lift-Off,” Journal of the Acoustical Society of America, Vol.136, No.4,2014, pp.2137.

### その他

- 6) 堤 誠司, 高木亮治, 嶋 英志, “ロケット打上げ時のエンジン排気噴流による音響振動低減化に向けた射点設計,” 日本流体力学会学会誌, ながれ, 第33巻, No.5, 2014年10月, pp.437-444
- 7) 堤 誠司, 清水太郎, 伊海田皓史, “散水によるロケット打上げ時の音響振動低減化,” 日本液体微粒化学会学会誌, 微粒化, ol.23, No.80, 2014年11月, pp.81-86

### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	151856.72	1791.50

※No.59とNo.62の報告書に按分  
JSS-Mの利用実績あり

## 62. FaSTAR を用いた宇宙往還機の Vtail 角度による空力依存性解析

### The aerodynamic dependency analysis by Vtail angle of space planes using FaSTAR

#### ● 事業形態

研修生

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：東海大学 工学部航空宇宙学科，岩男拓実(takumii@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

宇宙往還機の空力係数の算出をこれまで行われてきた飛行実験を行う代わりに CFD を用いて算出することにより，宇宙往還機の最適形状の解析を行う。

#### ● 事業の目標

今回の解析で用いる機体には揚抗比が低いという欠点がある。そこで揚抗比の改善が効果できる機体後方にある Vtail の角度を変更していくことで，各空力係数にどのような変化が見られるかを検証していく。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

スパコンを用いることにより，これまで行われてきた飛行実験を行う必要がなくなるので，飛行実験に必要な機体の作製や実験に必要なコストの削減ができる。またさまざまな機体形状で実験を行うためにはその分，機体を作製しなければならないがスパコンを用いればこのような実験は容易に行える。

#### ● 今年度の成果

図 1 に Vtail 角度を変化させた時の揚抗比の変化を示す。このように Vtail の角度を倒していくと揚抗比が改善していることが分かった。このような結果となったのは Vtail の角度を倒したことによる揚力の増加が原因であると考えられる。ここで，Vtail の翼面の Cp 分布を図 2 に示す。それぞれ迎角はなしの場合であり，図 2 の左側が Vtail の角度が  $10^\circ$ ，図 2 の右側が Vtail の角度が  $40^\circ$  である。この Cp 分布を見てみると Vtail の角度を倒すことにより高い Cp の箇所が翼面上を後方へ移動し，全体的に赤くなっているのがわかる。このように翼の下面側の Cp が高い方がより揚力が増加するため，Vtail の角度を倒した方が揚力を増加させる結果となることがわかる。

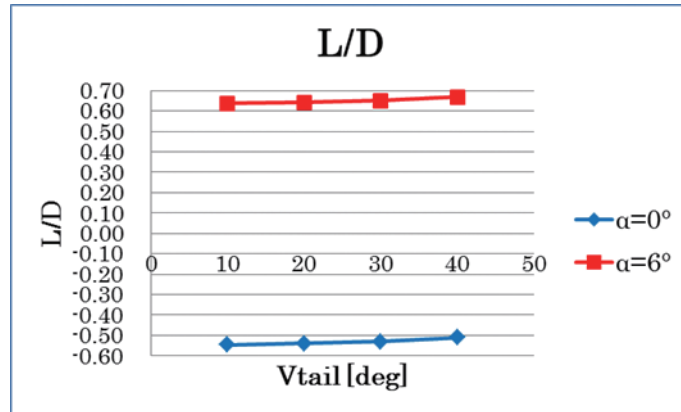


図1 揚抗比の変化

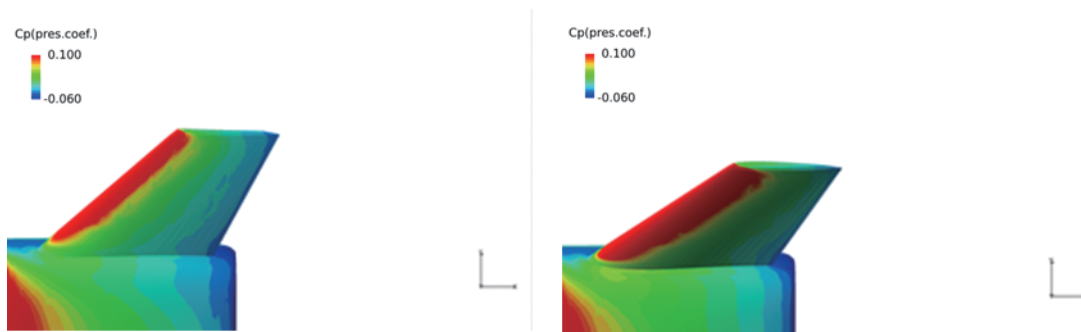


図1 Cp分布

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	8時間
ケース数：	30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)：	12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：	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM

● **成果の公表状況**

口頭発表

- 1) 2014年度東海大学工学部航空宇宙学科卒業研究発表会

● **年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	4920.05	4.18

※ JSS-Mの利用実績あり

## 63. 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：第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
竹島敏明(Takeshima.Toshiaki@jaxa.jp)  
構成員：第一衛星利用ミッション本部 ミッション運用システム推進室,  
齋藤紀男(saitoh.norio00@jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

- a. GPM 及び TRMM プロダクト再処理速度の飛躍的向上によるユーザビリティの大幅な向上.
- b. スパコン利用の技術的蓄積.

#### ● 事業の目標

- a. JSS2 を利用した GPM 及び TRMM データ再処理の準備として、プログラムの移植及びデータ検証を完了させる.

#### ● 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, 最新アルゴリズムで高速再処理を行いユーザに提供する事で, ユーザビリティの大幅な向上に貢献できる.

#### ● 今年度の成果

- a. 利用手順及び方法が明確になり, JSS2 上で GPM/TRMM のデータを処理できる事を確認できた.
- b. JSS2 上で再処理を実施する事により, TKSC 上の処理と比較し 16 倍以上の処理速度向上が期待できる結果となった.

##### 【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：	120プロセスまで
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

無し

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TPP
コア割当時間[コア・h]	8178.95	0.01	2.53

## 64. RCS 干渉場予測技術の開発

### Development of method to predict RCS interference flowfield

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部，風洞技術開発センター，浜本 滋(hamamoto.shigeru@jaxa.jp)

構成員：航空本部，風洞技術開発センター，藤井啓介(keisuke@chofu.jaxa.jp)

航空本部，風洞技術開発センター，高間良樹(takama.yoshiki@jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

回収機能付加型 HTV(HTV-R)を含めたカプセル形状再突入機における RCS 干渉予測する能力を獲得すること。

#### ● 事業の目標

極超音速風洞実験による RCS 干渉の実験と，CFD による風試条件・実機条件における干渉場予測とによって干渉による加熱率上昇・空力特性への影響評価を行う。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

極超音速流中においてRCSガスジェットを吹いたときの影響（空力特性，加熱率）をCFDで計算する。

#### ● 今年度の成果

CFD に苦戦したが，年度末にようやく計算できる目途が立った。

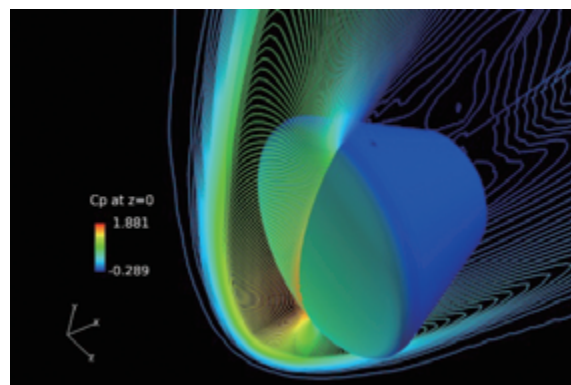


図1 HTV-R 再突入カプセルの CFD(M=2, AOA=20deg, RCS ON, RCS の流量 1/100)

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間： n時間  
 ケース数： 2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

無し

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	13923.93	

## 65. 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：航空本部 FQUROH プロジェクトチーム, 山本一臣(yamamoto.kazuomi@jaxa.jp)

構成員：航空本部 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, 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, 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

旅客機の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

新型基幹ロケットは打上げ能力に応じてブースタ本数を可変とするなど, 上記目標を達成するために, 迎角・マッハ数も含めた多数のケース数を解析する必要があることから, スパコンの利用が必須であった。



**● 今年度の成果**

JSS2 上でのコードのテスト目的の為、非公開.

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	388744.72	654.72

## 66. 小型回収カプセルアブレータのリセッション効果の調査

### Investigation of ablator recession effect on aerodynamics of small reentry capsule

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，村上桂一(murakei@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部 数値解析技術研究グループ，窪田健一(kubota.kenichi@jaxa.jp)

計算力学研究センター，金田 誠(mkaneda@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

宇宙ステーションからの物資回収手段として，HTV-R 再突入カプセルが提案されている。本格的な開発移行前に，小型回収カプセルによる飛行実証が計画されているので，遷音速領域における小型回収カプセルの静特性及び動安定性の評価に資する空力データを算出することを目的とする。

#### ● 事業の目標

HTV-R 小型回収カプセルのリセッション形状を模擬した模型の静的及び動的空力解析を行い，その影響を評価する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

HTV-R小型回収カプセルの遷音速領域における静特性及び動安定性の評価に資する空力データを算出するには，短期間で多くのケースのパラスタを実施しなければならず，そのためにはスパコン利用が必要不可欠である。

#### ● 今年度の成果

HTV-R 小型回収カプセル極超音速風洞試験供試体サイズ（直径  $D=20\text{cm}$ ）のアブレータリセッション有り・無し形状に対し， $P_0=1\text{MPa}$  の極超風試条件で完全気体解析を実施し，影響を評価した。

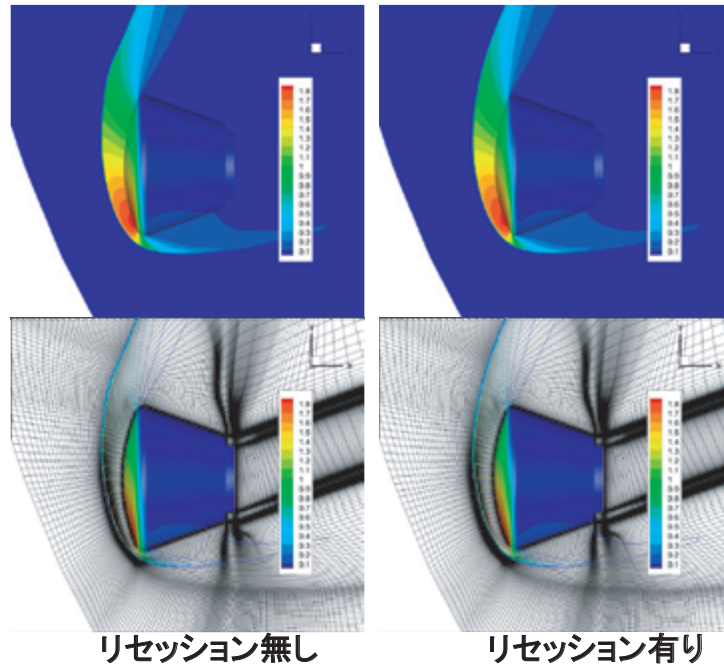


図1 HTV-R 小型回収カプセルのリセセッション有り無し形状のCp分布の比較  
(マッハ数  $M=9.45$ , 迎角  $30$  度)

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	25時間
ケース数：	6ケース
ジョブの並列プロセス数：	56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：	JSS-M, JSS-A

#### ● 成果の公表状況

その他

- 1) HTV-R開発室, 宇宙船C等への解析結果報告

#### ● 年間利用量

※ JSS-M, JSS-Aの利用

## 67. 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：航空本部 空力技術研究グループ，伊藤 健(ito@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部 空力技術研究グループ，松山新吾(smatsu@chofu.jaxa.jp)

研究開発本部未踏技術研究センター，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

火星探査カプセルを想定した風洞模型について LES による乱流解析を実施し，超音速領域におけるカプセル空力特性を評価した。LES による解析結果を風洞試験データ（JAXA 1m×1m 超音速風洞）と比較することで，超音速領域での空力特性を高精度（誤差 5% 以下）に再現可能であることを示した。

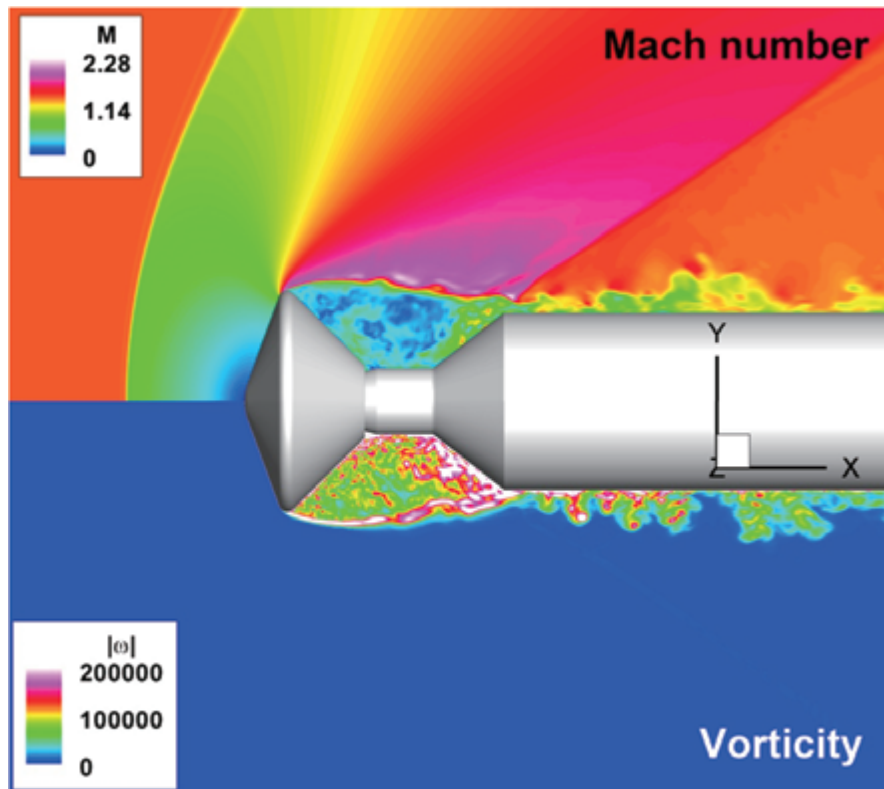


図1 LESによるマッハ 1.4 におけるカプセル模型まわりの解析  
(上: マッハ数分布, 下: 渦度分布)

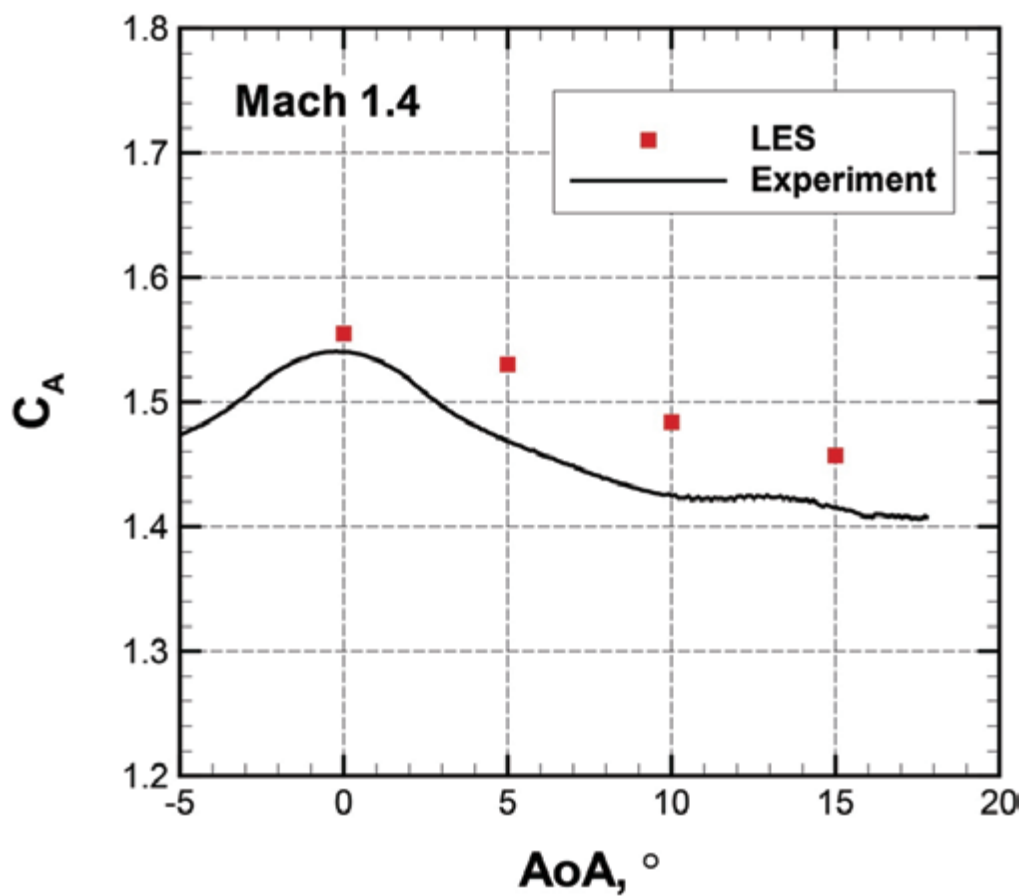


図2 マッハ 1.4 における空力特性 (軸力係数) の比較

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	250時間
ケース数：	2ケース
ジョブの並列プロセス数：	181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(VISIMPACT含む)
利用計算システム：	JSS-M

**● 成果の公表状況**

## 査読なし論文

- 1) S. Matsuyama, H. Takayanagi, K. Fujita, K. Mitsuo, M. Watanabe, and H. Nishijima, "Prediction of Supersonic Aerodynamics for a Mars Entry Capsule Using Large Eddy Simulation," AIAA Paper 2014-2692, 2014.

## 口頭発表

- 2) S. Matsuyama, H. Takayanagi, K. Fujita, K. Mitsuo, M. Watanabe, and H. Nishijima, "Prediction of Supersonic Aerodynamics for a Mars Entry Capsule Using Large Eddy Simulation," 32nd AIAA Applied Aerodynamics Conference, 2014.

**● 年間利用量**

※ JSS-Mの利用

## 68. 多点継手構造の構造解析

### Structure Analysis of multi fastning joints

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 構造技術研究グループ, 中村俊哉(nakamura.toshiya@jaxa.jp)

構成員：航空本部 構造技術研究グループ, 高戸谷健(takatoya.takeshi@jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

金属と複合材料の継手構造に適用可能な光ファイバセンサを埋め込んだボルトの有用性を検討している。

#### ● 事業の目標

航空宇宙機に適用した場合, 多点の継手に用いられることが多いが, すべてのボルトに光ファイバセンサを埋め込むのは実用的ではないため, できるだけ本数を減らすべく周囲の異常を検知する限界を解析的に追い込んでいく。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

繰り返し計算が必要な非線形接触問題の構造解析を実施している。

#### ● 今年度の成果

光ファイバセンサを埋め込んだボルトのひずみの出力変化により周囲のボルトのゆるみを検出できることを解析的に示した。

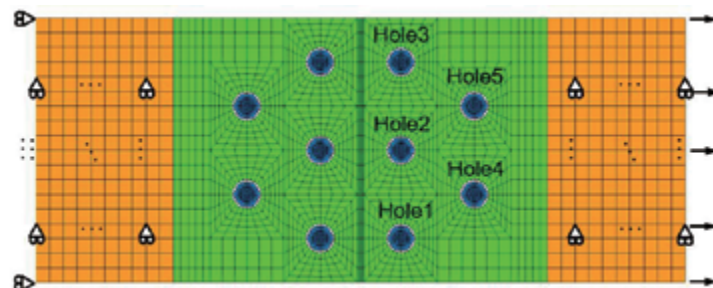


図1 多点継手の解析モデルの拘束条件と荷重条件

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	0.1時間
ケース数：	100ケース
ジョブの並列プロセス数：	1
プロセスあたりのコア数(=スレッド数)：	1
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：	JSS-A

**● 成果の公表状況****口頭発表**

- 1) 笠原, 高戸谷, 宇都宮, スマートボルトによる複合材せん断機械継手におけるボルト緩み検出の解析的検討, 関東支部第21期総会講演会10705 (2015)

**● 年間利用量**

※ JSS-Aの利用



## 69. 極超音速ビジネスジェットの空力性能評価

### *Aerodynamic Performance Evaluation of Hypersonic Business Jet*

#### ● 事業形態

研修生

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，村上桂一(murakami.keiichi@jaxa.jp)

構成員：東京理科大学，松井勇樹(ymatsui@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

現在JAXAで検討中の極超音速予冷ターボジェットを搭載したマッハ5で飛行する極超音速旅客機の空力性能評価。

#### ● 事業の目標

現在 JAXA で開発中の極超音速予冷ターボジェットを搭載した 40m 超級の極超音速旅客機の最適な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

現在，極超音速旅客機は概念設計段階であるため，将来の風洞実験に向けて各飛行条件での空力性能や周囲流のデータベースをCFD解析により作成する。

#### ● 今年度の成果

極超音速旅客機の主翼翼型及び平面型を変更することにより空力性能に与える影響を確認した。

また，平面型を改良し捻り下げを加えることで重心位置を機体長 60%とした場合の縦の静安定及びトリムが改善されることを確認した。

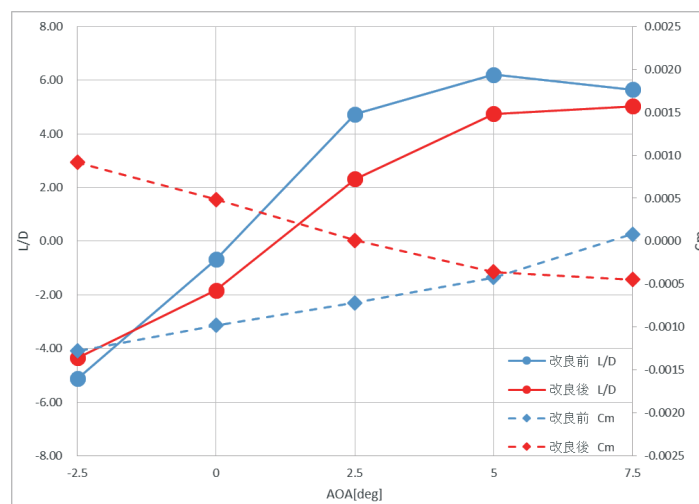


図1 Aerodynamic Performance

## 【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：	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：	JSS-M, JSS-A, SORA-PP, SORA-LM

## ● 成果の公表状況

その他

- 1) 学内発表.
- 2) JAXA内報告会

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	8815.30	1422.82

※ JSS-M, JSS-Aの利用実績あり

## 70. 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

### The aerodynamic dependency analysis by Vtail angle of space planes using FaSTAR

#### ● 事業形態

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，溝渕泰寛(mizo@chofu.jaxa.jp)

構成員：航空本部 数値解析技術研究グループ，松尾裕一(matsuo@chofu.jaxa.jp)

航空本部 数値解析技術研究グループ，松山新吾(smatsu@chofu.jaxa.jp)

数値フローデザイン，岡部壮志(okabet@nufd.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，実在火炎，旋回乱流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

液噴流壁面衝突解析のコード準備および試行。

ブンゼン火炎先端構造の解明。

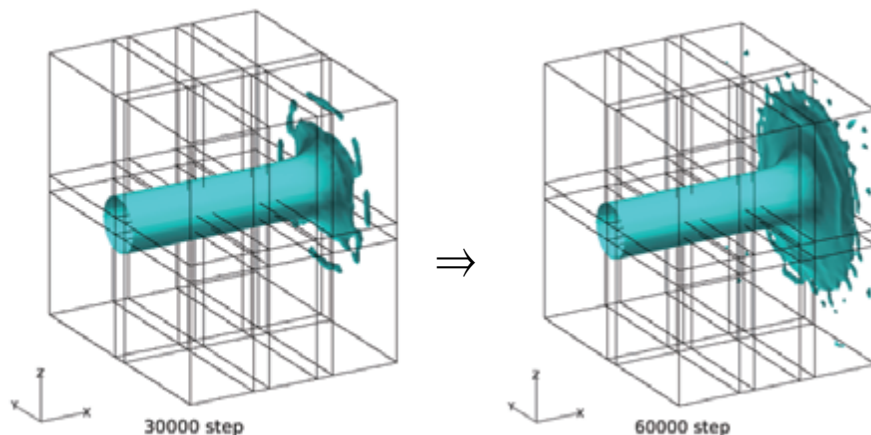


図1 壁面に衝突する液噴流

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	200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)：	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：	JSS-M, SORA-PP

## ● 成果の公表状況

## 査読付論文

- 1) Y. Mizobuchi and T. Takeno, A numerical study on the detailed structure of hydrogen/air Bunsen flame, Combust. Flame(投稿中).

## 査読なし論文

- 2) 吉澤 徹, 松尾裕一：航空工学におけるレイノルズ平均乱流モデルの概観 (JAXA-RR)

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	237437.03	

※ JSS-Mの利用実績あり

## 71. 風車周りの流れに関する研究

### Research about air flow around wind turbine

#### ● 事業形態

研修生

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，村上桂一(murakei@chofu.jaxa.jp)

構成員：山田 遼(ryamada@chofu.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

風力発電の更なる普及に必要な風車翼の大型化による発電量の引き上げに向けて、現在は風車翼直径が約 200m となる 10MW 超風車の実用化への様々な検討が進められている。本事業では、実用風車用のモデルとして提案された参照風車の性能について、CFD による検証を行い、今後の風車開発に貢献することを目的とする。

#### ● 事業の目標

風力発電用風車翼は、空力荷重や遠心力、重力により弾性変形する。現在実用化に向けた検討が進められている超大型風車では、従来風車よりも変形量が大きくなることから、弾性変形が風車性能に大きな影響を及ぼすことが想定されている。従って、超大型風車の実用化のためには、弾性変形が風車性能に与える影響に関する十分な評価が必要である。この課題に対し、本事業では参照風車の風車翼を対象とした流体構造連成解析を行い、弾性変形が風車翼周りの流れに与える影響について調査し、今後の風車開発に貢献す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

風車翼周りの数値解析は、格子数が非常に多い大規模解析となるため、メモリが多く必要となるなど計算コストが高く、また並列計算による高速化も必須となる。よって、本事業においてスーパーコンピュータを利用することにより、計算コストの影響を抑制した計算条件で解析し、また並列化による高速計算により、解析時間を大幅に短縮することが可能となる。このことは、本事業の実施期間の短縮化、および詳細な風車性能解析を実現するため、詳細な解析結果を短期間で風車開発に提供できるという利点をもたらす。

#### ● 今年度の成果

今年度は、高速流体ソルバである FaSTAR を用いて解析し、流入風速を変化させたときの風車性能変化について検証した。解析対象は、参照風車として提案されている 2 枚翼と 3 枚翼風車であり、風車のハブやナセルを省略し、風車翼のみで解析を行った。それぞれの設計風速点における風車性能を、翼素運動量理論に基づく解析結果と比較して結果を検証し、両者がよい一致を示すことを確認した。

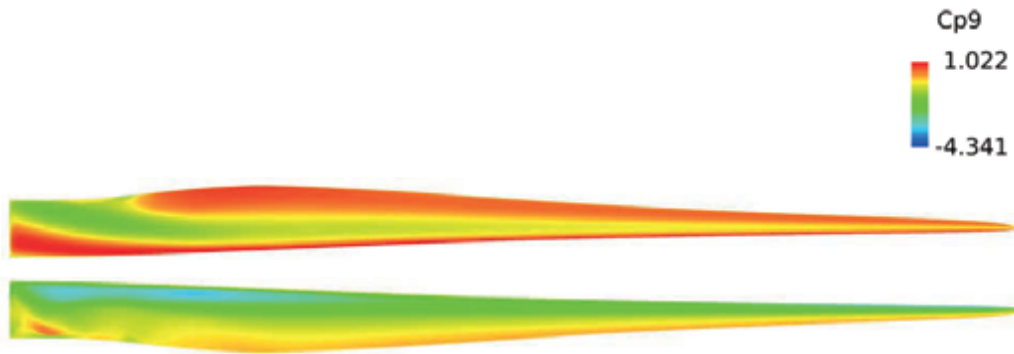


図1 風車翼圧力係数分布（上：正圧面，下：負圧面）

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	24時間
ケース数：	20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

##### 口頭発表

- 1) 2015年度機械学会年次大会にて発表予定

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	129817.30	1314.66

## 72. 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

本申請課題の目的は、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（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ある。これにより、金星探査機あかつき（Plannet-C）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指す。

#### ● 事業の目標

本研究は、金星における大気重力波の空間構造を数値的に調べることで、重力波が金星大気の運動にもたらす効果を考察すると共に、金星における重力波の伝播特性を明らかにすることを目的とする。本研究の大きな特色は、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解くことである。過去にも重力波が金星大気の運動に及ぼす影響を調べた理論研究はあるが、いずれも地球の重力波観測に基づいた経験的なスペクトルをモデルに組み込んでおり、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。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

雲解像モデルを用いた数値計算を高速に行うためにスパコンを利用した。

#### ● 今年度の成果

長時間の数値計算を実行することで、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数値的に求めた。数値実験の設定は雲層中の対流運動のみを議論した先行研究である Imamura et al. (2014) に準じるが、重力波の伝播を議論するために計算領域を鉛直方向に拡大した。図 1 に高度 65 km での運動エネルギー密度の 2 次元（水平波数-周波数）パワースペクトルおよび重力波の分散関係式を示す曲線を示す。図 1 はパワースペクトルが重力波の分散関係式を良く満たしていることを示しており、本数値実験によって重力波がよく表現されていることを意味する。また図 1 においてエネルギーの大きい成分の水平波長と周期はそれぞれ 150 km と  $3 \times 10^4$  s であり、位相速度は  $5 \text{ m s}^{-1}$  程度である。これらの値は Venus Express の紫外カメラで実際に観測かつ推定されている値と同程度である。今後はこの様なスペクトル解析を他の高度でも実施し、重力波の伝播特性を議論する予定である。

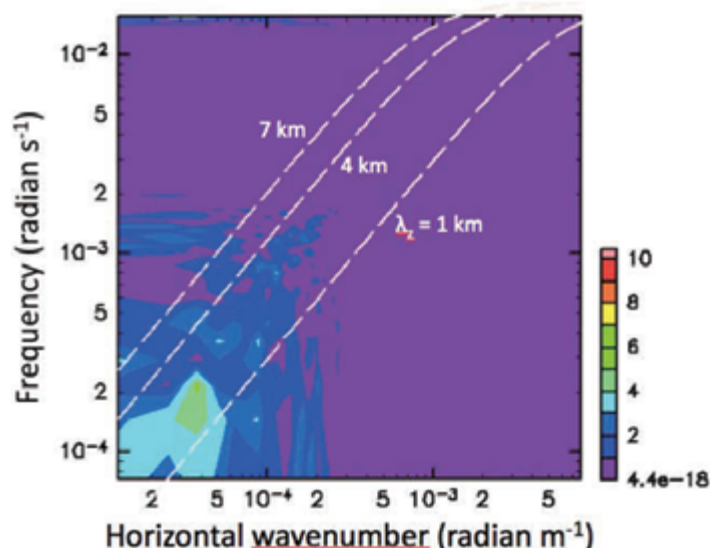


図1 水平 500km,鉛直 100km での重力波の水平波数・周波数スペクトル。  
白破線は鉛直波長が 1 km, 4 km, 7 km の時の分散曲線を表す。

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	360時間
ケース数：	7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)：	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：	JSS-M

#### ● 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, 中島健介, 石渡正樹, 金星雲層を想定した鉛直対流の数値計算, 日本地球惑星科学連合 連合大会2014 (横浜) 2014年4月 (口頭)

##### その他

- 2) 安藤紘基, 杉山耕一朗, 小高正嗣, 中島健介, 今村剛, 雲解像モデルdeepconvを用いた金星重力波の2次元数値実験, 日本地球惑星科学連合 連合大会2014 (横浜) 2014年4月 (ポスター)
- 3) 安藤紘基, 杉山耕一朗, 小高正嗣, 中島健介, 今村剛, 雲解像モデルdeepconvを用いた金星重力波の2次元数値実験, 日本気象学会2014年度春季大会 (横浜) 2014年5月 (ポスター)
- 4) 杉山耕一朗, 川畑拓也, 小高正嗣, 中島健介, 石渡正樹, 金星雲層を想定した鉛直対流の数値計算, 日本気象学会2014年度秋季大会 (博多) 2014年10月 (ポスター)

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	6734.03	

※ JSS-Mの利用実績あり



## 73. FaSTAR による風車後流の数値解析

### Numerical Analysis of aerodynamic characteristics on next generation flagship launch vehicle

#### ● 事業形態

研修生

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，青山剛史(aoyama@chofu.jaxa.jp)

構成員：東京大学大学院，池田大夢(h.ikeda@gg.cfdl.t.u-tokyo.ac.jp)

東京大学，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，風車後流による下流風車の出力低下や疲労が問題となる．この風車後流について，数値流体力学によってその現象を解明し，構造や影響を知り風車設計に適用する．

#### ● 事業の目標

風車後流について，実際に次の風車が配置される下流域までその影響を捉え，ウィンドファームにおける風車配置や風車翼設計に活用できる解析を行うこと，また設計への適用を考え，高速に解析を行えるようにすることが目標である．

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

風車後流解析は空間的に広い領域の情報を得る必要がある．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ふ．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

まず風車近傍の流れ場を解析し，実験値と比較しつつ風車空力性能や流れ場が適切に解かれていることを確認した．その上で風車直径  $D$  の 10 倍の下流域までの後流解析を行った．図 1 に示す主流方向速度の分布のように，風車によって低下した速度は下流  $6D$  付近から回復し始めるが，大きく変動しながら回復していく結果が得られた．また下流  $10D$  においても速度回復は不十分であり，図 2 の渦度等値面からも伺えるように，風車による影響が下流  $10D$  まで残ってしまうことが明らかとなった．

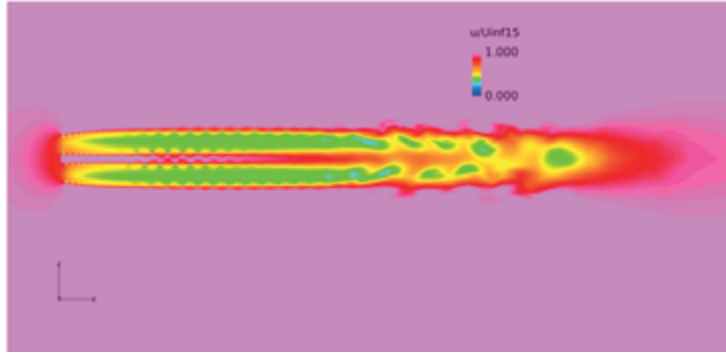


図1 風車後流における主流方向速度分布

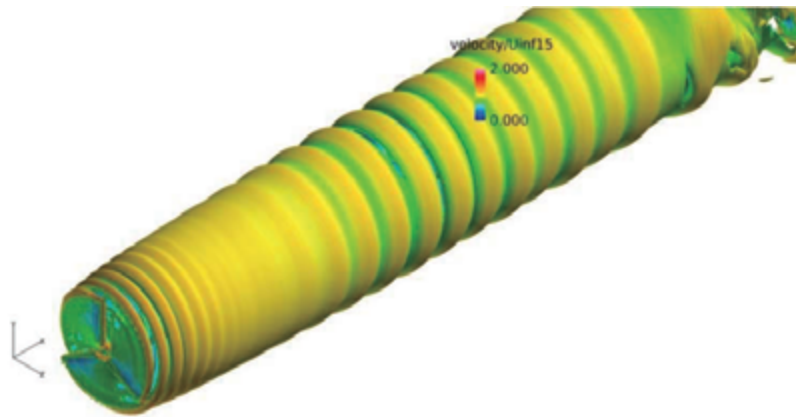


図2 風車後流の渦度 10[%]における等値面

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	50時間
ケース数：	2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

##### 口頭発表

- 1) Hiromu Ikeda, Makoto Iida, Chuichi Arakawa, Atsushi Hashimoto, Takashi Aoyama, Yuichi Matsuo, “VALIDATION OF WAKE ANALYSIS METHOD FOR DESIGN PRACTICAL USE”, Grand Renewable Energy 2014, (2014).
- 2) 池田大夢, 飯田 誠, 荒川忠一, 橋本 敦, 青山剛史, 松尾裕一, “ウィンドファーム適用に向けた大規模風車後流解析手法の検証”, 第28回数値流体力学シンポジウム, (2014).

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	64212.14	228.04

## 74. 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

一般研究

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 風洞技術開発センター，浜本 滋(hamamoto.shigeru@jaxa.jp)

構成員：航空本部 風洞技術開発センター，加藤裕之(kato.hiroyuki@jaxa.jp)

航空本部 風洞技術開発センター，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

無し

#### ● 成果の公表状況

無し

#### ● 年間利用量

※ストレージ利用

## 75. 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

#### ● 事業形態

情報化

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：航空本部 数値解析技術研究グループ，松尾裕一(matsuo.yuichi@jaxa.jp)

構成員：航空本部 数値解析技術研究グループ，村上桂一(murakami.keiichi@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

プロジェクト業務などで空力特性を評価する場合，解析支援システムによる大規模パラスタ解析が必要で，そのためにはスパコン利用が必要不可欠である．

#### ● 今年度の成果

当グループで開発した高速流体解析ソルバ FaSTAR を利用した CFD ワークフローを組み込んだプロジェクト対応解析支援システム ASSIST を構築し，JSS2 で流体解析を実施して空力特性を評価するなどのプロジェクト対応業務効率の向上が図られた．

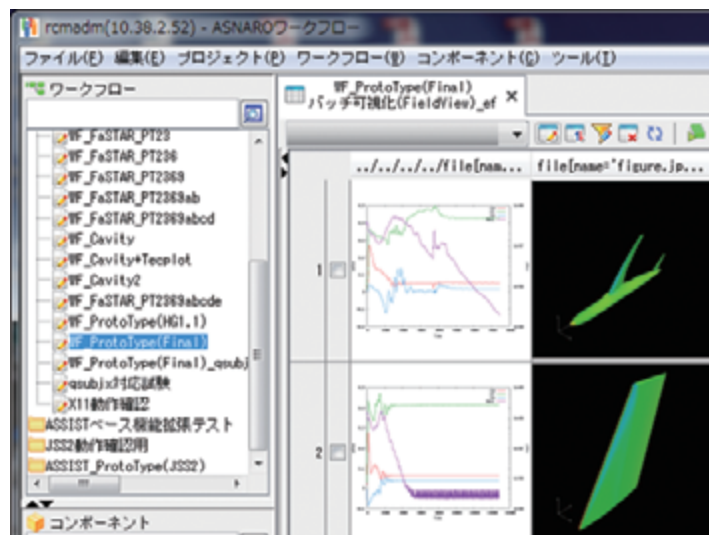


図1 ASSISTからJSS2解析実行した結果の一覧  
(収束履歴, 表面圧力などのサムネイル表示)

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	10時間
ケース数 :	6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 :	JSS-M, SORA-PP, SORA-LM

#### ● 成果の公表状況

##### その他

- 1) 数値解析技術研究グループの研究活動紹介などで発表.
- 2) 情報化促進会議で, 進捗・成果を報告.

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	0.01	2651.21

※ JSS-Mの利用実績あり

## 76. JAXA スーパーコンピュータの運営 (角田)

### Supporting for JAXA supercomputer users in Kakuda Space Center

#### ● 事業形態

スパコン利用支援業務

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：研究開発部門，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

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

当事業は基本的に研究者らへの支援で有る為，各研究等の成果はスパコン利用研究者らより為される。

#### ● 成果の公表状況

スパコン利用研究者らの報告による。

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	177.60	

## 77. 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

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。従来の数値流体解析手法に加えて、近年開発を進めている高次精度手法の適用を目指し、今年度は特に翼の空力弾性解析への拡張を行う。

#### ● 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、高次精度 CFD 手法の開発と実用問題への適用を進め、数値解析を用いた空力設計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。気球から切り離し後の軌道に及ぼす初期横滑り角の影響を調べ、風洞試験空力データベースを用いた場合の解析と同様の姿勢安定/不安定の傾向が得られることを示した。これら解析と平行して、新たな高次精度流束再構築法を用いた空力弾性解析プログラムの開発を進めた。今年度は、翼単独の亜音速フラッター解析を行い、精度の検証を行った。今後、実機形状、また超音速流れへの適用を目指す。

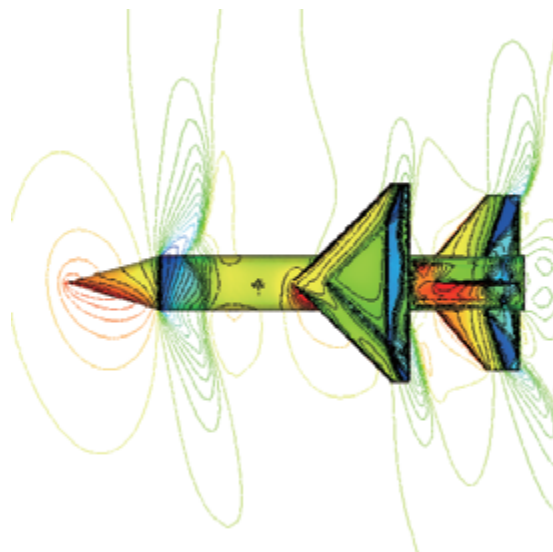


図1 飛行試験機体の空力解析（圧力分布：マッハ数 0.95，迎角 0，横滑り角 8°）

#### 【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：	JSS-M, SORA-PP

#### ● 成果の公表状況

##### 査読付論文

- 1) Y. Ishibashi and K. Miyaji, "Detached-Eddy Simulations of Synthetic Jets for High-Angles-of-Attack Airfoils," Journal of Aircraft, Vol.52, No.1, pp.168-175, 2015
- 2) I. Morinaka and K. Miyaji "Study on Two-dimensional Wing Flutter Analysis by a High-order Flux Reconstruction Method," Procedia Engineering, Vol.99, pp.543-550, 2015.

##### 口頭発表

- 3) 宮路幸二，森中一誠，「流束再構築法によるフラッターシミュレーション」，平成 26 年度航空宇宙空力シンポジウム，講演集 USB

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	38291.97	

※ JSS-Mの利用実績あり



## 78. 3次元超音速飛行体周りの圧力場計算

### Pressure signature calculation around 3-dimensional supersonic flight model

#### ● 事業形態

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，豊田 篤(toyoda@fuji.nuae.nagoya-u.ac.jp)

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)

名古屋大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻，

古川大貴(furukawa@fuji.nuae.nagoya-u.ac.jp)

名古屋大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻，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の評価する．

#### ● 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ため，機体の姿勢制御及び飛行位置の制御が困難であり，理想的な飛行からの姿勢，飛行位置のずれが与える影響を実験と数値シミュレーションを比較すること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つである超音速複葉翼形状について，数値シミュレーション及び自由飛行実験を行い，双方の近傍圧力波を取得した．これらの手法によって得られた圧力波の定性的な傾向は比較的良好に一致しており，複葉翼形状が有効であることが示された．

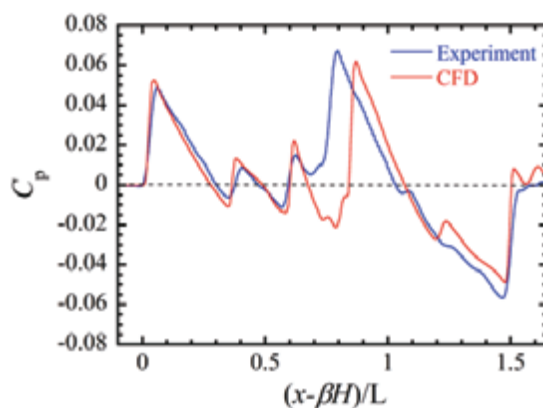


図1 Pressure signature obtained from CFD simulation and free flight experiment

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	40時間
ケース数：	1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：	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. Toyoda, K. Suzuki, T. Imaizumi, and A. Sasoh, “Staged Aft Body for Alleviation of Tail Boom,” *AIAA J.*, Vol. 52, pp. 2899-2901, 2014.

##### 口頭発表

- 2) 岩川輝, 豊田 篤, 今泉貴博, 大山 毅, 古川大貴, 青木勇磨, 佐宗章弘, “エアロバリスティックレンジを用いた近傍場実証に関する実験的研究,” 第52回飛行機シンポジウム, 長崎, 2014年10月.
- 3) A. Toyoda, A. Sasoh, T. Imaizumi, T. Ooyama, M. Kanamori, T. Aoyama, “Near Field Pressure Measurement around Free Flight 69 Degree Swept Back Delta Wing Model,” *AIAA Science and Technology Forum and Exposition (SciTech 2015)*, Jan. 2015, Kissimmee, FL, US.
- 4) 古川大貴, 青木勇磨, 岩川 輝, 佐宗章弘, 豊田 篤, “エアロバリスティックレンジを用いた超音速複葉翼の近傍場計測,” 平成26年度衝撃波シンポジウム, 群馬, 2015年3月.

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	40188.82	4043.38

## 79. 荷電粒子ビーム装置を用いた衛星帯電制御の解析

### Analysis of Charging Control of a Spacecraft with Charged-particle Beam Emission

#### ● 事業形態

大学共同利用

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：中京大学, 村中崇信(muranaka@sist.chukyo-u.ac.jp)

構成員：京都大学 生存圏研究所, 山川 浩(yamakawa@rish.kyoto-u.ac.jp)

京都大学 生存圏研究所, 小嶋浩嗣(kojima@rish.kyoto-u.ac.jp)

京都大学 生存圏研究所, 星 賢人(kento\_hoshi@rish.kyoto-u.ac.jp)

#### ● 事業の目的

近年研究が進められてきた「帯電宇宙機を用いた軌道・姿勢制御手法」を実現するために、実際の宇宙電磁環境中での宇宙機の実現可能な帯電性能を地球周回軌道上・惑星間空間上それぞれについて明らかにし、その制御手法と帯電性能向上手法を確立することを目的とする。

#### ● 事業の目標

今期は、惑星間空間における太陽風プラズマ環境中での荷電粒子ビーム放出シミュレーションを行い、ビーム放出時の帯電電位、放出ビーム電流および太陽風プラズマ起源の宇宙機収集電流と宇宙機電位との相関を明らかにする。更に、推力・消費電力・必要な規模と質量・運用可能年数などの観点から既存の化学推進や電気推進システムとの比較を行い、帯電を用いるシステムが実際にどのようなミッションに適しているのかを評価する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

衛星軌道プラズマ環境中における荷電粒子ビーム放出による宇宙機帯電現象の定量評価のために、3次元完全粒子静電プラズマコードによる衛星帯電シミュレーションを行う。対象となる軌道環境における最適な宇宙機帯電制御手法を開発するために、放出する荷電粒子の粒子種（電子およびイオン種）、電流値等のビームパラメータ、宇宙機形状等による宇宙機の帯電特性を計算機実験により明らかにする。

#### ● 今年度の成果

JAXA 情報・計算工学センターが開発した宇宙機帯電解析コード HiPIC を機能拡張したコードを使用して、イオンビーム放出による宇宙機帯電解析を行った。今期は地上試験等による比較データが存在する、「はやぶさ」イオンスラスタ相当のキセノンイオンビーム放出を仮定した帯電特性の基礎的解析を実施した。真空および深宇宙環境中における帯電解析から、放出ビーム電流と宇宙機帯電の時間履歴、スラスタおよび宇宙機近傍の3次元空間電位が得られた。それぞれの代表的な計算結果を図1および図2に示す。地上実験でも確認されたように、宇宙機電位とスラスタ近傍の空間電位との電位差によって宇宙空間へのイオンビーム放出が抑制される現象が再現されている。

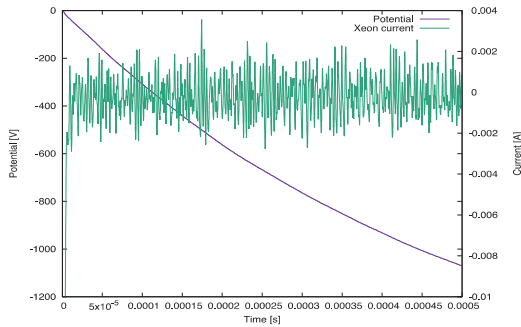


図1 キセノンイオン放出時のビーム電流と宇宙機電位の時間履歴

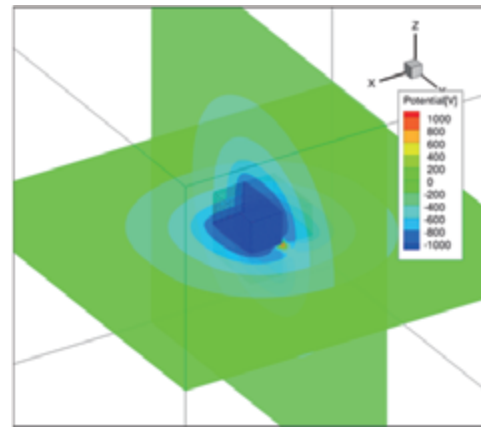


図2 キセノンイオン放出時の3次元電位分布(立方体型宇宙機)

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	20時間
ケース数：	15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)：	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-PP

**● 成果の公表状況**

査読なし論文

- 1) K. Hoshi, T. Muranaka, H. Kojima, H. Usui, I. Shinohara, H. Yamakawa, “Numerical simulation of spacecraft charging for electromagnetic orbital control,” Proc. 65th International Astronautical Congress, Toronto, Oct., 2014.
- 2) K. Hoshi, T. Muranaka, H. Kojima, H. Usui, I. Shinohara, H. Yamakawa, “Numerical simulation of satellite charging for propellantless orbital control,” Proc. 13th Spacecraft Charging Technology Conference, Pasadena, June, 2014.
- 3) Takanobu Muranaka, Satoshi Hosoda, Kazutaka Nishiyama, “Charging Analysis of HAYABUSA Spacecraft to Evaluate the Spacecraft Contamination due to Lack of Neutralization on Ion Thrusters,” The 13th Spacecraft Charging Technology Conference, Pasadena, USA, June, 2014.

口頭発表

- 4) 星 賢人, 村中崇信, 小嶋浩嗣, 臼井英之, 篠原 育, 山川 宏, “宇宙機の能動帯電を用いた軌道制御手法の推力特性の評価,” 第58回宇宙科学技術連合講演会, 長崎, 2014年11月.
- 5) 村中崇信, 星 賢人, 小嶋浩嗣, 山川 浩, 細田聡史, 西山和孝, “小惑星探査機「はやぶさ」におけるイオンエンジン中和不良時の宇宙機帯電解析,” 第11回宇宙環境シンポジウム, 大阪, 2014年12月.
- 6) 村中崇信, 星 賢人, 小嶋浩嗣, 山川 浩, 細田聡史, 西山和孝, “イオンエンジン中和不良時における宇宙機表面への逆流電流評価,” 平成26年度宇宙輸送シンポジウム, 相模原, 2015年1月.

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	0.05	

## 80. 完全再使用型宇宙輸送システムの空力解析

### *Aerodynamic analysis for the full reusable space vehicle*

#### ● 事業形態

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 博士前期課程 2年

牧園享弥(n344150t@tobata.isc.kyutech.ac.jp)

浦 優介(o344107y@mail.kyutech.jp)

#### ● 事業の目的

九州工業大学は、2005年から完全再使用型宇宙輸送システムとして有翼ロケットによるサブオービタル飛行システムの研究プロジェクトを進めている。従来の宇宙空間への輸送手段は、ほぼすべて使い捨てロケットによるものである。しかし、スペースプレーンのように容易に地球と宇宙を往復できる完全再使用型ロケットが実現できれば、打ち上げコストの大幅な削減が可能となり、宇宙開発の劇的な進歩が期待できる。そのため、本事業では有翼ロケットによるサブオービタル飛行システムの実現に資することを目的としている。

#### ● 事業の目標

これまでの有翼ロケットの設計では、HIMES (Highly Maneuverable Experimental Space Vehicle) の機体形状を用いてきた。しかし、想定高度 100km に到達後、安定な滑空飛行により地上へ帰還するには、空力加熱の低減および機体構造への負荷低減を目的とした高い減速能力が求められている。本研究では、数値流体力学的手法を用いたコンピュータシミュレーションにより、減速機構を搭載した HIMES 模型に関する超音速域高迎角姿勢での空力特性評価を行う。その結果から搭載する空力ブレーキ機構の設計を行い、完全再使用型宇宙往還機の研究開発に資することを目標としている。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

減速機構を搭載した機体形状を設計するに当たり、風洞試験と合わせて数値流体力学に基づく高精度の空力データ取得は不可欠である。解析対象および条件は、複数の空力装置およびその舵角の変更、一様流速度の変更等の多岐に渡り、また3次元の高精度解析のために膨大な格子点数を要する。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、スパコンを用いた数値流体力学による解析結果と、風洞実験結果を比較することで新たに開発する格子生成法と解析コードの評価を目標とした。

前半期は、その比較対象となる実験結果取得を目指し、風洞試験を実施した。図1に、風洞実験に用いた模型形状を示す。スピードブレーキやボディフラップといった空力部品を持たない形態を基本形状とし、そこにスピードブレーキと3つの舵角を持ったボディフラップ、そしてダウンノーズを一つずつ搭載する計6の形状において、空力特性を評価した。なおマッハ数 $M$ は0.5および2.0の2ース、迎角は $-4^\circ \sim 20^\circ$ を $1^\circ$ 毎、横滑り角なしの条件で各試験を行った。図2は、実験結果を代表して基本形状（図1 (1)）とスピードブレーキ搭載形状（図1 (2)）についての結果を示す。両マッハ数において迎角 $0^\circ$ におけるピッチングモーメント係数が、基本形状と比較してスピードブレーキ搭載形状でより大きくなっており、スピードブレーキが正のピッチングモーメントを発生させる役割を果たしていることが確認できた。また基本形状における舵角 $0^\circ$ でのトリム迎角は、各マッハ数において $3^\circ$  ( $M=0.5$ )、 $2^\circ$  ( $M=2.0$ ) であり、同様にB-スピードブレーキ搭載形状では、 $8^\circ$  ( $M=0.5$ )、 $17^\circ$  ( $M=2.0$ ) であった。したがってスピードブレーキ搭載の有無が、舵角 $0^\circ$ でのトリム迎角に差を生じさせる要因となっている事を確認した。同じマッハ数条件下でA形状とB形状両者に生じたこの差は、スピードブレーキが超音速飛行においてより有効であることを示した。

後半期には機体形状の3次元CADモデルの作成および格子の生成を行い、試験的な数値計算を行った。今回用いた格子生成法には、物体表面の近傍をプリズム層で覆い、その外部を四面体セル等で離散化するハイブリッド非構造格子生成法を用いている。そのため、これまでの既存の解析コードが使用できず、現在東北大学と共同でハイブリッド用解析コードを開発している。しかし、開発中のコードを用いた解析を完了する事ができなかった。今後、その原因を突き止め、解析コードの改良に努めたいと考えている。

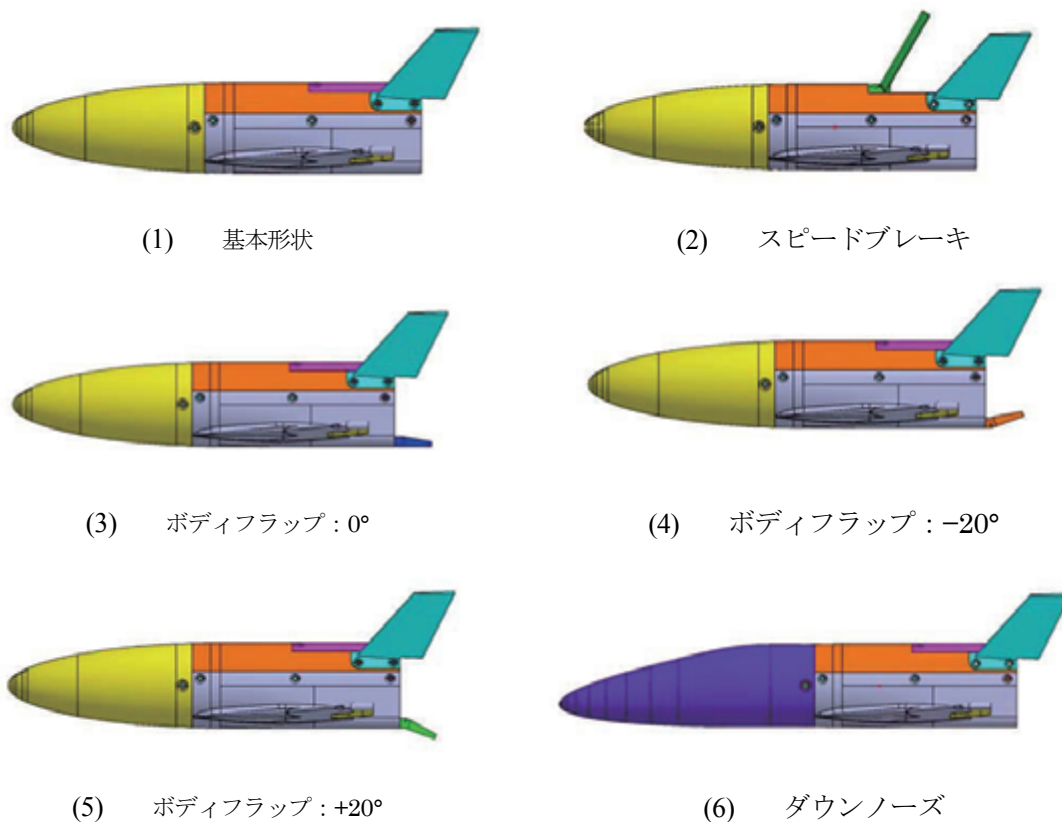


図1 試験形状



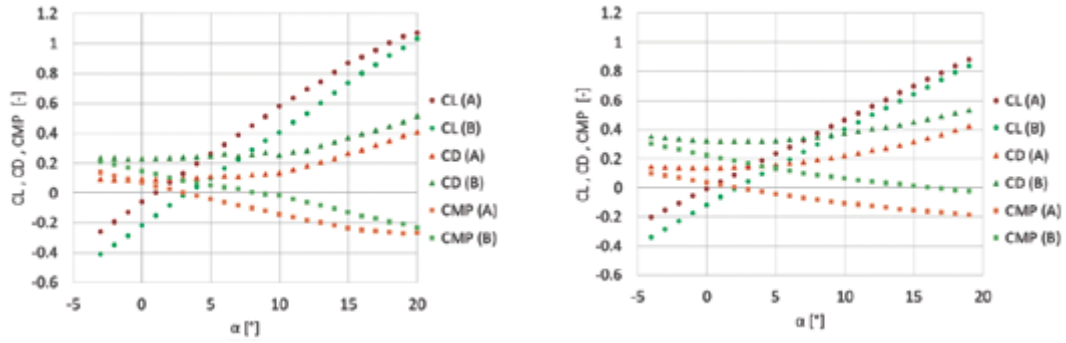


図2 試験結果

### 【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：

なし

利用計算システム：

JSS-M

### ● 成果の公表状況

#### 口頭発表

- 1) Yusuke Ura, Yuki Kutsuna, Koichi Yonemoto, Takaaki Matsumoto “Aerodynamic Trim Characteristics of Winged Rocket Tested by Subsonic and Supersonic Wind Tunnel” 30th International Symposium on Space Technology and Science, 2015. (発表予定)

### ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用

## 81. 高精度 MHD 計算を用いた高速磁気リコネクションの研究

### Study of fast magnetic reconnection by using newly high resolution MHD scheme

#### ● 事業形態

大学共同利用

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 斎藤義文(saito.yoshifumi@jaxa.jp)

構成員：宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 小川匡教(ogawa@stp.isas.jaxa.jp)

宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 篠原 育(iku@stp.isas.jaxa.jp)

宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 清水健矢(k.shimizu@stp.isas.jaxa.jp)

宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 藤本正樹(fujimoto@stp.isas.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

ジオテイル衛星観測データによる科学研究を進める。

#### ● 事業の目標

ジオテイル衛星観測に関連する科学成果を創出する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

ジオテイル衛星観測データの理解に数値的裏付けを与える。

#### ● 今年度の成果

高精度 MHD スキームを用いて、リコネクション様相の解像度依存性を明らかにした。

S.Kawai [2013] によって提案された高精度MHDスキームを用い、解像度を変更して計算を行った。その際それぞれの計算でリコネクションの様相がどのように変化するかを確認した。

電流層幅を $D$ とし、グリッド幅を $1/2D$  (低解像度)  $-1/12D$  (高解像度) に変更して求めたリコネクション率を図1に示す。この場合のリコネクション率は $z=0$ における $B_z$ の絶対値の積分により求めている。図1より、低解像度よりも高解像度ほど速いリコネクションが起こる傾向があることが分かる。これは高解像度計算ほど複数のX-lineが発生したからである。次に最も卓越したX-lineのみ注目し、それぞれの解像度で、注目するX-lineにおける電場からリコネクション率を求めて比較した。その結果を図2に示す。図2から、それぞれの解像度でリコネクション率がおよそ0.1に収束することが分かった。

以上の結果から、高解像度計算では複数 X-line が発生しリコネクションの様相が変化するが、最もリコネクションが卓越した1つの X-line に注目すると、そのリコネクション率は変化しないことが分かった。



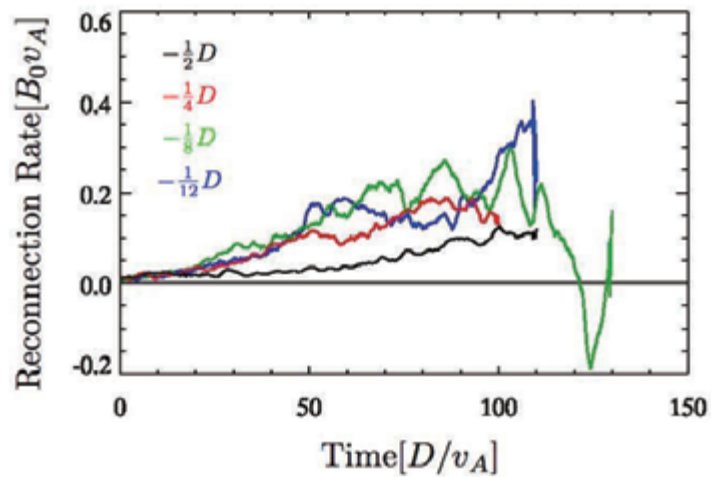


図1  $z=0$  における  $B_z$  の積分から求めたリコネクション率の解像度依存性. 高解像度計算ほど、リコネクション率が高い傾向が見られる.

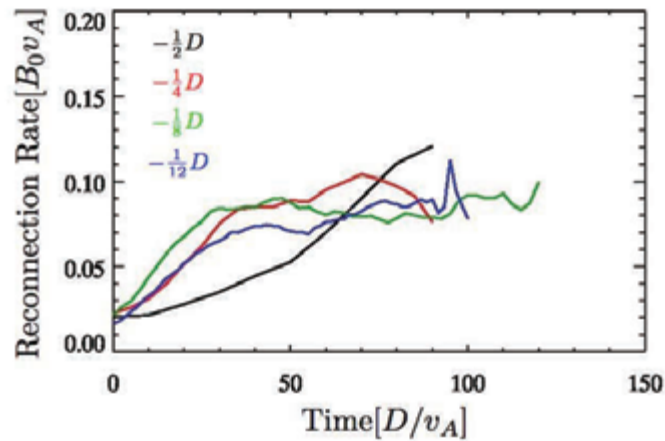


図2 最も卓越したリコネクションが発生している X-line におけるリコネクション率. それぞれの解像度で約 0.1 の値に収束していることが分かる.

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	20000秒
ケース数 :	8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-LM

**● 成果の公表状況**

## □ 頭発表

- 1) M.Ogawa, M.Fujimoto and S.Kawai, Study of fast magnetic reconnection by using newly high resolution MHD scheme, JPGU Meeting (Chiba, 2015, 5)

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]		22259.67

## 82. 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

大学共同利用

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者: 北大・理・宇宙理学, 倉本 圭(keikei@ep.sci.hokudai.ac.jp)

構成員: 東工大・ELSI, 木村 淳(junkim@elsi.jp)

京大・理・数学, 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. 現在航行中の **Messenger** 計画と将来打ち上げの予定されている **Bepi Colombo** 計画の得る水星の磁場, 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, 大規模なスカラ一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. 構築した数値モデルの精度確認も兼ねて, 幾つかのベンチマークテストを実行した.

また, 固体惑星の内部構造を念頭に置いた, 上部に強い安定成層領域が存在する場合の回転球殻MHDダイナモ計算を遂行し, 磁気擾乱が容易に球殻表層まで貫入することを数値的に示した. これまでにも上部安定成層がダイナモ作用に与える影響については研究されているものの, 表層に表われるポロイダル磁場のみが注目されているため, 本研究は惑星ダイナモを理解する上での新しい知見を与えると期待される.

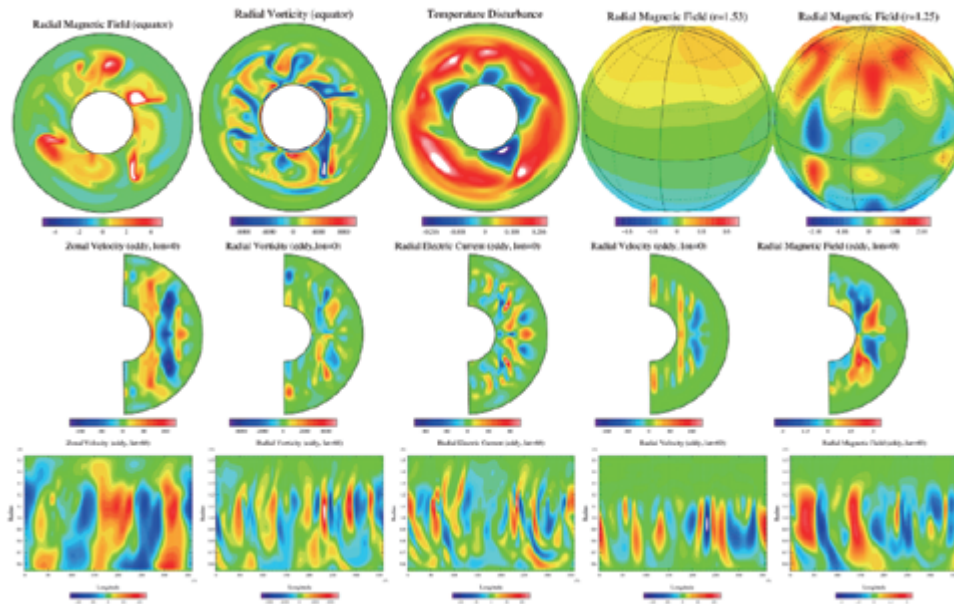


図1 Snapshots of MHD dynamo calculation with  $Ra=9 \times 10^5$ . Top row: From left to right, axial magnetic field, axial vorticity and temperature disturbance on the equatorial plane, radial magnetic field at the outer surface and the bottom of the stable layer. Middle row: Disturbance fields with respect to the longitudinal average in a meridional cross section. From left to right, azimuthal component of velocity,  $u$ , radial component of vorticity,  $\omega$ , radial component of electric current,  $j$ , radial component of velocity  $w$ , and radial component of magnetic field,  $b$ . Bottom row: Disturbance fields with respect to the longitudinal average on the plane with latitude  $60^\circ$  N. From left to right,  $u$ ,  $\omega$ ,  $j$ ,  $w$ ,  $b$ , respectively

### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	150時間
ケース数：	2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)：	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：	JSS-M

### ● 成果の公表状況

#### 査読付論文

- 1) 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.
- 2) Yuka Fujii, Jun Kimura, James Dohm, and Makiko Ohtake, Geology and photometric variation of Solar System bodies with minor atmospheres: Implications for solid exoplanets, *Astrobiology* 14, 753-768, doi:10.1089/ast.2014.1165, 2014.

- 3) Noriyuki Namiki, Takahide Mizuno, Naru Hirata, Hirotomo Noda, Hiroki Senshu, Ryuhei Yamada, Hitoshi Ikeda, Shinsuke Abe, Koji Matsumoto, Shoko Oshigami, Hideaki Miyamoto, Sho Sasaki, Hiroshi Araki, Sei-ichi Tazawa, Makoto Shizugami, Yoshiaki Ishihara, Masanori Kobayashi, Koji Wada, Hirohide Demura, Jun Kimura, Fumi Yoshida, and Naoyuki Hirata, Scientific use of LIDAR data of Hayabusa-2 Mission, New Results in the Observations and Space Exploration of Asteroids: Proc. Intl. CJMT-1 Workshop on Asteroidal Science, 74-96, 2014.
- 4) Yasuhito Sekine, Yoshinori Takano, Hajime Yano, Ryu Funase, Ken Takai, Morio Ishihara, Takazo Shibuya, Shogo Tachibana, Kiyoshi Kuramoto, Hikaru Yabuta, Jun Kimura, Yoshihiro Furukawa, Exploration of Enceladus' water-rich plumes toward understanding of chemistry and biology of the interior ocean, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan 12, No. ists29, p. Tk 7 - Tk 11, doi:10.2322/tastj.12.Tk\_7, 2014.
- 5) Koji Tsumura, Ko Arimatsu, Eiichi Egami, Yutaka Hayano, Chikatoshi Honda, Jun Kimura, Kiyoshi Kuramoto, Shuji Matsuura, Yosuke Minowa, Kensuke Nakajima, Taishi Nakamoto, Mai Shirahata, Jason Surace, Yasuto Takahashi, and and Takehiko Wada, Near-infrared Brightness of the Galilean Satellites Eclipsed in Jovian Shadow: A New Technique to Investigate Jovian Upper Atmosphere, The Astrophysical Journal 789, 122, doi:10.1088/0004-637X/789/2/122, 2014.

#### 口頭発表

- 6) Sasaki, Y., Takehiro, S. 2014, Penetration of magneto-hydrodynamic disturbances into an outer strongly stable layer caused by MHD dynamo in a rotating spherical shell, The 14th symposium of SEDI, Study of the Earth's Deep Interior, at the Shonan Village Center, Kanagawa, Japan, from August 3 to 8
- 7) The 15th Space Science Symposium, Sagamihara, January 2014, "Science objectives of the JUICE mission" [poster, coauthor].
- 8) The 15th Space Science Symposium, Sagamihara, January 2014, "JUICE-JAPAN WG: JUICE Laser altimeter (GALA)" [poster, coauthor].
- 9) Symposium on Planetary Science 2014, Sendai, Japan, February, 2014, "Science Targets of JUICE Mission: What we can do in 20 years later?" [oral, coauthor].
- 10) 45th Lunar and Planetary Science Conference, Woodlands, March 2014, "Development of Hayabusa-2 LIDAR" [poster, coauthor]
- 11) JpGU Meeting 2014, Yokohama, April 2014, "Longevity of an internal ocean in Ganymede" [oral].
- 12) JpGU Meeting 2014, Yokohama, April 2014, "Development of JUICE/Ganymede Laser Altimeter (GALA)" [poster].
- 13) JpGU Meeting 2014, Yokohama, April 2014, "Near-infrared detections of surprisingly bright Ganymede and Callisto in the Jovian shadow" [oral, coauthor].
- 14) JpGU Meeting 2014, Yokohama, April 2014, "Formation of extraterrestrial oceans: Cradles of life" [oral, coauthor].
- 15) JUICE/GALA Meeting, Tokyo, May 2014, "Topographic measurements of grooves and insights into the interior differentiation" [oral].
- 16) Asteroids, Comets, Meteors, Helsinki, June 2014, "Constraining distribution of regolith deposits from gravitational potential field on small asteroids" [oral, coauthor].
- 17) Origins 2014, Nara, July 2014, "Polymerization of building blocks of life on Europa and other icy moons", [poster].
- 18) Origins 2014, Nara, July 2014, "Geology and photometric/spectroscopic properties of Solar System bodies: Implications for Characterization of Small Exoplanets" [poster, coauthor].
- 19) AOGS 2014 Annual Meeting, Sapporo, July 2014, "Divergent evolutionary model among the large icy moons: Metallic core formation" [poster].

- 20) AOGS 2014 Annual Meeting, Sapporo, July 2014, “Near-infrared detections of surprisingly bright Ganymede and Callisto in the Jovian shadow” [oral, coauthor].
- 21) AOGS 2014 Annual Meeting, Sapporo, July 2014, “Development of JUICE/Ganymede Laser Altimeter (GALA) in Japan” [poster, coauthor].
- 22) Satellite formation workshop, Sapporo, August 2014, “Polymerization of building blocks of life on Europa and other icy moons” [poster].
- 23) Satellite formation workshop, Sapporo, August 2014, “Subsurface Ocean in the Icy Moons, as Possible Extraterrestrial Habitats” [poster].
- 24) European Planetary Science Congress 2014, Cascais, Spain, Sep 7-12, 2014, “Polymerization of building blocks of life on Europa and other icy moons” [poster].
- 25) The Astronomical Society of Japan 2014 Fall Meeting, Yamagata, September, 2014, “Probing Jovian atmosphere using eclipse of Galilean moons: Possibility for application of transit observation of exoplanet's atmosphere” [oral, coauthor].
- 26) The Japanese Society for Planetary Science 2014 Fall Meeting, Sendai, September 2014, “Science Objectives of JUICE (JUperiter ICy Moon Explorer) Mission” [oral, coauthor].
- 27) The Japanese Society for Planetary Science 2014 Fall Meeting, Sendai, September 2014, “Polymerization of building blocks of life on Europa and other icy moons” [poster].
- 28) The Japanese Society for Planetary Science 2014 Fall Meeting, Sendai, September 2014, “JUICE-JAPAN WG -Ganymede Laser Altimeter (GALA)- ” [poster, coauthor].
- 29) 45th Meeting of the American Astronomical Society's Division for Planetary Sciences (DPS), Denver, October 2014, “Scientific Goals of Hayabusa-2 LIDAR Experiment” [poster, coauthor].

● 年間利用量

※ JSS-Mの利用

### 83. リコネクション率に伴って変化する X-line 近傍の電場構造に関する研究

#### *Variation of X-line electric field structure associated with variation of reconnection rate*

#### ● 事業形態

大学共同利用

#### ● 事業の責任者・構成員

責任者：宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 斎藤義文(saito.yoshifumi@jaxa.jp)

構成員：宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 清水健矢(k.shimizu@stp.isas.jaxa.jp)

宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 篠原 育(iku@stp.isas.jaxa.jp)

宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 小川匡教(ogawa@stp.isas.jaxa.jp)

宇宙科学研究所 GEOTAIL プロジェクト, 藤本正樹(fujimoto@stp.isas.jaxa.jp)

#### ● 事業の目的

ジオテイル衛星観測データによる科学研究を進める。

#### ● 事業の目標

ジオテイル衛星観測に関連する科学成果を創出する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

ジオテイル衛星観測データの理解に数値的裏付けを与える。

#### ● 今年度の成果

リコネクション率は X-line 近傍の電子の物理によって支配されているのではなく、より大規模な X-line を囲むイオンスケールの状況によって支配されている。しかし、X-line における電場と X-line の周囲の状況がどのように相互作用しているかはよく知られていない。ここでは、反平行磁場が向かい合って薄い電流層を形成する最も単純な系を PIC シミュレーションで再現し、リコネクションの成長段階や減衰段階における X-line 近傍の電磁場構造変化に着目した。その結果、内部電子拡散領域端における磁場の電流層垂直方向成分の時間変化が、X-line におけるリコネクション率の時間変化と強い関連性を持つことが分かった (図 1)。また、成長段階と減衰段階の比較から、X-line におけるリコネクション率は、内部電子拡散領域端における電場の空間勾配を介して外部電子拡散領域端における電場の影響を受けていることが分かった (図 2)。さらに、これらの結果は X-line の移動や磁気島放出を含むより複雑な系においても適応可能であることを確認した。



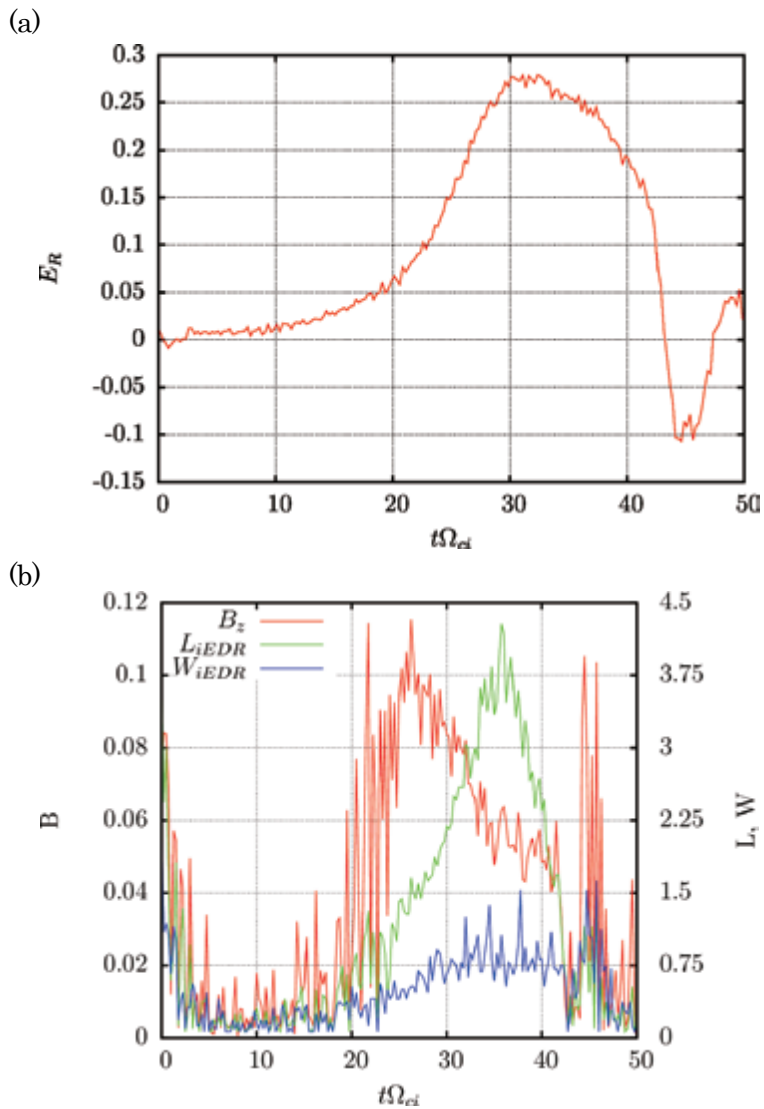


図1 (a)X-line におけるリコネクション率の時間発展, (b)内部電子拡散領域端における磁場の電流層垂直方向成分の時間発展 (赤線) と, 内部電子拡散領域の長さ (緑線) と幅 (青線) の時間発展. 内部電子拡散領域端における磁場の急激な減少はリコネクション率のピーク時にみられ, その後両者がほぼ一定となる準定常期がある.

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	50時間
ケース数 :	4ケース
ジョブの並列プロセス数 :	40プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	160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 :	JSS-M, SORA-PP, SORA-TPP



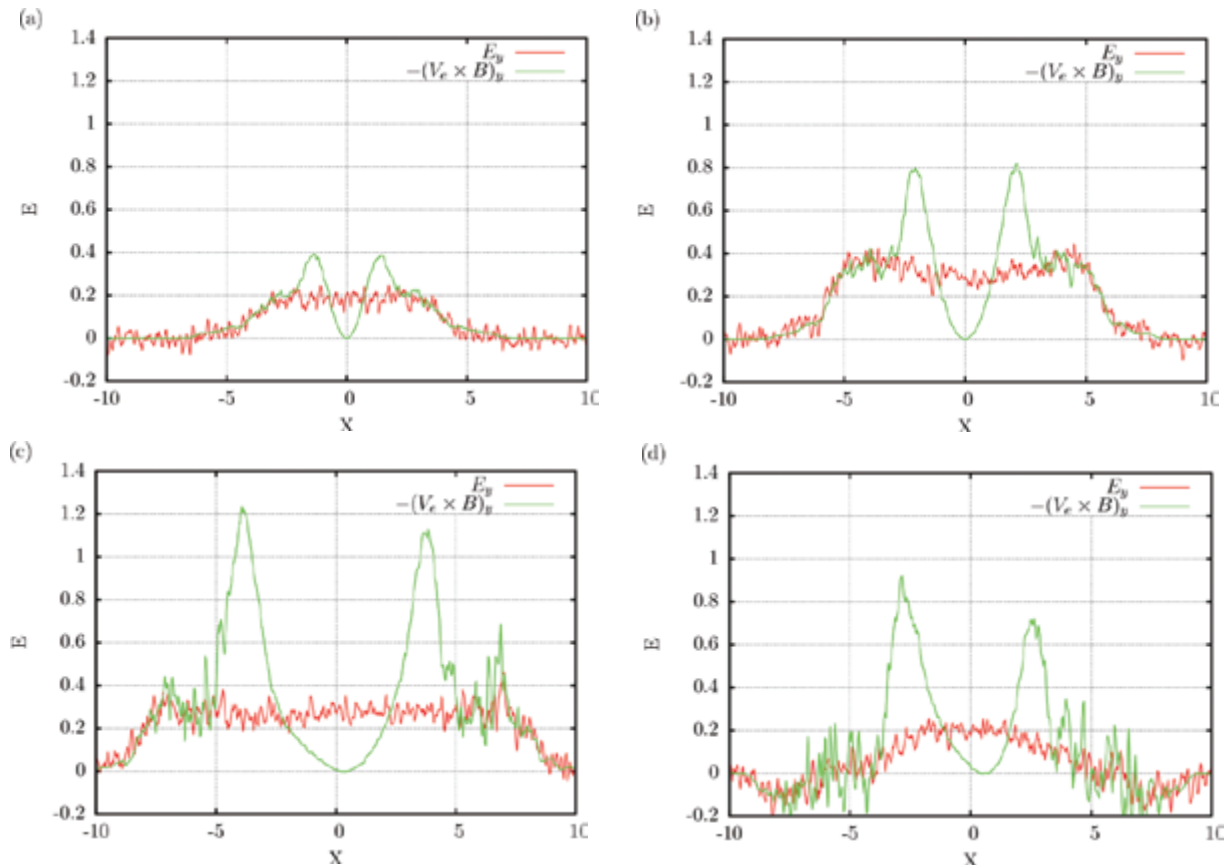


図2 X-line 近傍における電場( $E_y$  (赤線),  $-(V_e \times B)_y$  (緑線)) の下流方向プロファイル. (a) $t=26$ , (b) $t=30$ , (c) $t=36$ , (d) $t=40$ . 電場構造はリコネクション率に伴って変化する. また, 外部電子拡散領域端における電場がゼロでない限り磁気リコネクションは持続する.

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間 :	50時間
ケース数 :	4ケース
ジョブの並列プロセス数 :	40プロセス
プロセスあたりのコア数(=スレッド数) :	160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 :	JSS-M, SORA-PP, SORA-TTP

#### ● 成果の公表状況

##### 口頭発表

- 1) K.Shimizu, M.Fujimoto, and I.Shinohara, Time-varying structure of electric field around an X-line according to reconnection rate, US-Japan Workshop on Magnetic Reconnection (Tokyo, 2014.5)

#### ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM	SORA-TTP
コア割当時間[コア・h]	409627.90		3715.10

※ JSS-Mの利用実績あり

## 84. 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

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 2 年,

武藤大貴(daiki.muto@gmail.com)

九州工業大学大学院工学府機械知能工学専攻・修士課程 2 年,

荒木孝行(takaboy400@gmail.com)

衛藤 遥(bt.tper@gmail.com)

坂井敦紘(sakaiatsuhiro@gmail.com)

渡辺裕介(guren218@gmail.com)

九州工業大学大学院工学府機械知能工学専攻・修士課程 1 年,

坂本まい(mai.sakamoto.0307@gmail.com)

野坂拓矢(perunessi@gmail.com)

芝尾将史(masafumi627@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内部の流れ場を効率的に解くことを目的として、比熱比が変化する反応性流体を対象として、多化学種の質量保存式を含む圧縮性非定常前処理法を新たに構築した。そして、低速の酸素素剪断流に対する非定常性現象について解析が可能であることが示された。

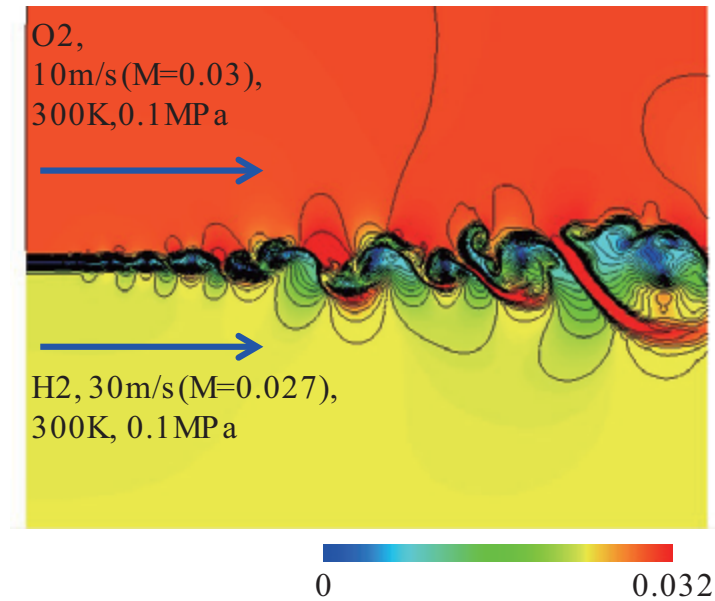


図1 前処理法を使用した酸素水素低速剪断流れの瞬間マッハ数分布

#### 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	5時間
ケース数：	1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：	なし
スレッド並列手法：	OpenMP
利用計算システム：	JSS-M

#### ● 成果の公表状況

##### 口頭発表

- 1) 坪井, 前処理法を用いた非定常圧縮性低速流れの数値解析: 酸素水素剪断流れの非定常性について, 第28回数値流体力学シンポジウム, C05-4, 2014

#### ● 年間利用量

※ JSS-Mの利用

## 85. 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 Multi-Phase Flow Solver based on Cartesian Mesh*

### ● 事業形態

大学共同利用

### ● 事業の責任者・構成員

責任者：東海大学 工学部, 高橋 俊(takahasi@tokai-u.jp)

### ● 事業の目的

ロケット発射時の音響解析, 宇宙線観測装置の冷却用ヒートパイプ解析用のための固気液三相流数値予測ソルバを開発するため, 境界適合格子法による高精度数値解析結果と, 本研究で開発している直交格子法と埋め込み境界法による解析を比較して精度検証を行う。

### ● 事業の目標

開発したソルバにより, 新たな音響予測解析を実施して既存手法の高度化を図ることと, 過去に例が無いヒートパイプを開発する際の動作点の調査, 内部熱輸送現象の解析による高精度設計を実現する。

### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

開発するソルバは等間隔直交格子を基本としているため, 高精度であるが解析規模が大規模化しやすい難点がある。その解析を円滑に実行するためにはスパコンが必須である。また, 多くの検証計算を円滑に実施するためにもスパコンが重要な役割となる。

### ● 今年度の成果

高精度 BFC と直交格子 IBM による大規模解析により, 本研究で開発している直交格子による解析手法の妥当性と適用性を実証した。

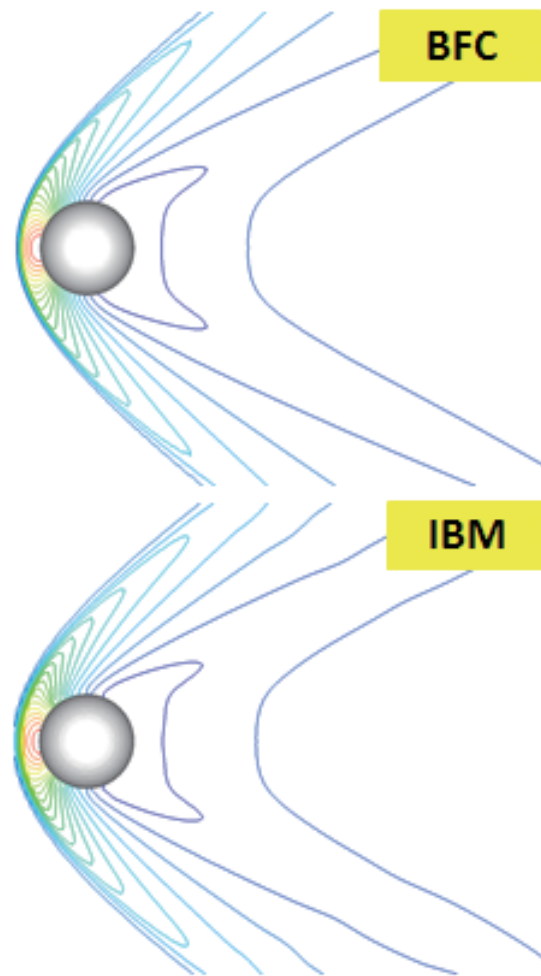


図1 超音速・低レイノルズ数下の球周りの解析の比較  
(上：高精度 BFC，下：直交格子 IBM)

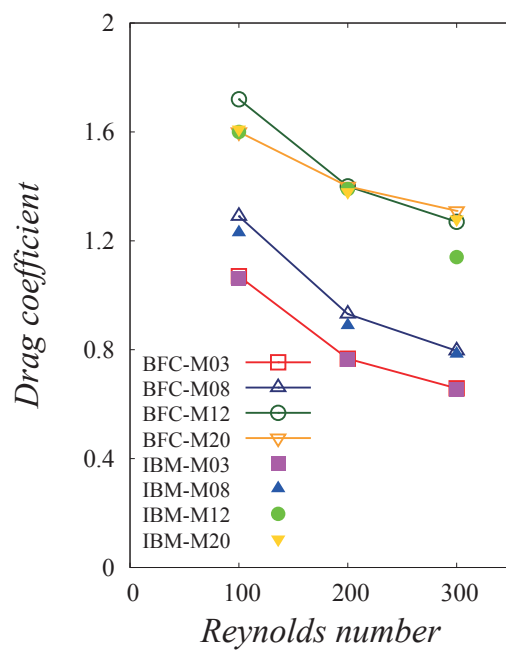


図2 高精度 BFC と直交格子 IBM との抗力係数の比較

**【計算情報】**

1ケースあたりの経過時間：	100時間
ケース数：	12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)：	12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****口頭発表**

- 1) 水野, 高橋, 野々村, 福田, “複数粒子が高マッハ数・低レイノルズ数で移動する流れ解析コードの構築と評価”, 第28回数値流体力学シンポジウム, 2014
- 2) 永田, 野々村, 福田, 高橋, “固気混相衝撃波流れ解析に向けた衝撃波を通過する粒子周りの流れ場の数値解析”, 第28回数値流体力学シンポジウム, 2014

**● 年間利用量**

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	113918.53	

## 86. 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

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)

#### ● 事業の目的

宇宙科学や航空宇宙工学に現れる流れのほとんどは非常に発達した乱流である。このような乱流の統計性質や動力学の詳細を明らかにすることが目的である。このことにより、極めて大きなレイノルズ数の乱流の性質を、理論的あるいは（乱流モデルによる）数値的な予言することを可能にする。

#### ● 事業の目標

スパコンの能力を最大限に活かすことにより、十分に発達した乱流の数値シミュレーションを実行し、従来までは不明であった乱流の性質を明らかにすることを目標とする。この目標を達成するために、さまざまな境界条件下の乱流の数値シミュレーションを系統的に実行し、また、その詳細なポストプロセッシングにより、世界最先端の乱流研究を遂行する。

#### ● 事業の中でスパコン利用が果たす役割

乱流研究は古くから実験が主導して進展してきた。しかし、現在のスパコンを用いれば、実験室で実現できるものと同等かそれ以上のレイノルズ数の乱流をシミュレートできるようになった。実際、世界的にもスパコンを用いた乱流研究が精力的に遂行され、実験では捉えることが難しかった乱流の統計や動力学の解明が急速に進展している。本事業においてもスパコンが果たす役割は極めて大きい。

#### ● 今年度の成果

発達した乱流のエネルギー散逸率に関する重要な知見を得た。従来まで、この量は G. I. テーラーが提案した散逸法則に基づいて評価されてきた。ところが、十分に発達した乱流の直接数値シミュレーションを実行してその統計を詳細に調べた結果、エネルギー散逸率が時間的に変動する乱流場ではテーラーの散逸法則が成立しないことが示された。エネルギー散逸率はあらゆる種類の乱流モデルに現れる統計量であるので、この結果の与える影響は大きい。



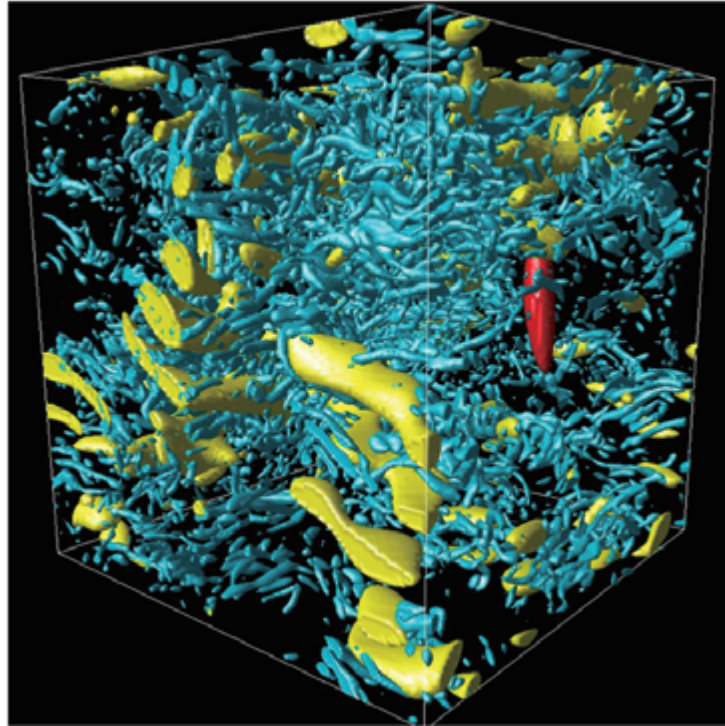


図1 発達した乱流中の渦構造の階層

#### 【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：	64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と自動並列の併用
利用計算システム：	SORA-PP

#### ● 成果の公表状況

##### 査読付論文

- 1) Tatsuya Yasuda, Susumu Goto and Genta Kawahara, “Quasi-cyclic evolution of turbulence driven by a steady force in a periodic cube”, Fluid Dyn. Res. 46 (2014) 061413.
- 2) Susumu Goto, Masaki Shimizu and Genta Kawahara, “Turbulent mixing in a precessing sphere”, Phys. Fluids 26 (2014) 115106.
- 3) Susumu Goto and J. C. Vassilicos, “Energy dissipation and flux laws for unsteady turbulence”, Phys. Lett. A 379 (2015) 1144–1148.

##### 口頭発表

- 4) 後藤 晋「乱流渦構造の可視化」第42回可視化情報シンポジウム（2014年7月22日，工学院大学）
- 5) 後藤 晋, J. C. ヴァシリコス 「非定常乱流におけるコルモゴロフの相似仮説の破れ」京都大学数理解析研究所研究集会（2014年7月23日，京都大学）
- 6) Susumu Goto “Hierarchy of multi-scale coherent vortices in unsteady turbulence driven by steady force”, JSPS Supported Meeting on Interscale Transfers and Flow Topology（2014年9月15日，Sheffield University, UK）



- 7) 齋藤雄太, 後藤 晋, 河原源太「一様等方乱流における多重スケール反平行渦対の追跡」第28回数値流体力学シンポジウム (2014年12月9日, タワーホール船堀)
- 8) 後藤 晋「乱流輸送現象の解明に向けた数値シミュレーションと室内実験」日本伝熱学会関西支部 第21期 第3回講演討論会 (2014年12月3日, 神戸大学)
- 9) 後藤 晋, J. C. ヴァシリコス 「非定常乱流におけるエネルギー散逸則: 数値的検証」日本物理学会第70回年次大会 (2015年3月22日, 早稲田大学)

● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	53.99	

## 87. 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 Multi Phase Flows Based on DNS Simulation

#### ● 事業形態

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(fukuda@tokai-u.jp)

#### ● 事業の目的

ロケットエンジンの排気ジェットに含まれる微粒子の影響を考慮した LES モデル構築のため，微粒子を模擬した高マッハ数・低レイノルズ数流れにおける剛体球周りの直接解析(DNS)を実施し，特性把握とモデル構築に向けた検討を行う。

#### ● 事業の目標

LES モデル構築に向けて，高マッハ数・低レイノルズ数流れにおいて剛体球が受ける抵抗力の特性を明らかとし，抵抗モデル作成に必要なデータベースの構築を行う。

#### ● 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大規模直接解析を実施する。

#### ● 今年度の成果

高マッハ数・低レイノルズ数流れにおいて，マッハ数が抗力係数に与える影響を確認した。その結果，従来提案されてきた抵抗モデルは，低レイノルズ数，高マッハ数の条件においては精度が悪く，再度検討する必要があることが明らかとなった。

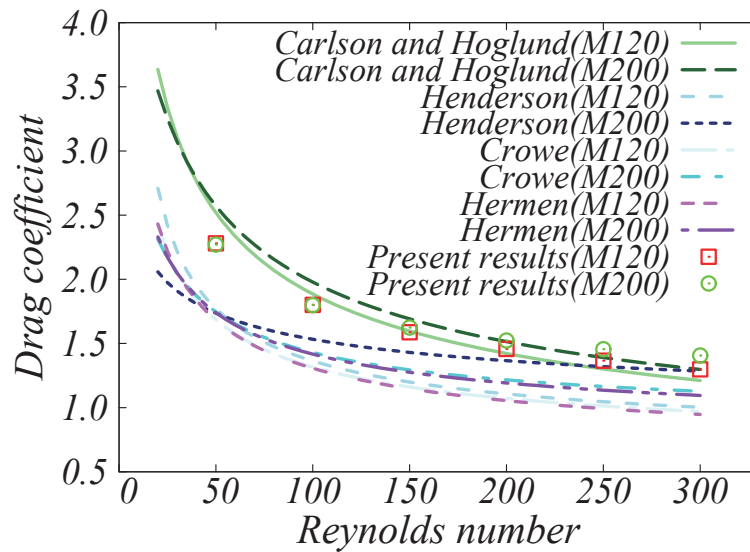


図1 既往の抵抗モデルと本計算の結果の比較

## 【計算情報】

1ケースあたりの経過時間：	100時間
ケース数：	60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)：	60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：	JSS-M

## ● 成果の公表状況

## 口頭発表

- 1) 永田貴之, 野々村拓, 福田紘大, 高橋 俊, “高マッハ数・低レイノルズ数・断熱条件下での球周り流れ解析”, 第28 回数値流体力学シンポジウム
- 2) 永田貴之, 野々村拓, 高橋 俊, 水野裕介, 福田紘大, “高Mach数・低Reynolds数・等温条件下における衝撃波を含む球周りの直接数値解析(Re=300)”, 平成26年度衝撃波シンポジウム

## ● 年間利用量

	SORA-PP	SORA-LM
コア割当時間[コア・h]	95397.61	

※ JSS-Mの利用

# 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) のサブシステムの一部が運用 (Main システムを除く) を開始した. 平成 27 年 4 月からは全てのサブ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 1.3PFLOPS から 3PFLOPS 以上に増強され JSS2 のフル稼働が開始されることになっている. ここでは, 平成 26 年度の JSS, JSS2 の利用概要をまとめる.

## 1. システム概要

### 1.1 JSS(～2014 年 9 月 30 日)

JSS のシステム構成を図 1-1 に示す. JSS は, 120TFLOPS の総演算性能を持つスカラ計算部, ストレージ部に加えて, フロントエンド機能や遠隔地に設置されるローカルサーバ等の周辺装置で構成される. なお, 各拠点は国立情報学研究所の SINET を使用したギガビットイーサネットで接続される.

## ● JSSのシステム構成図

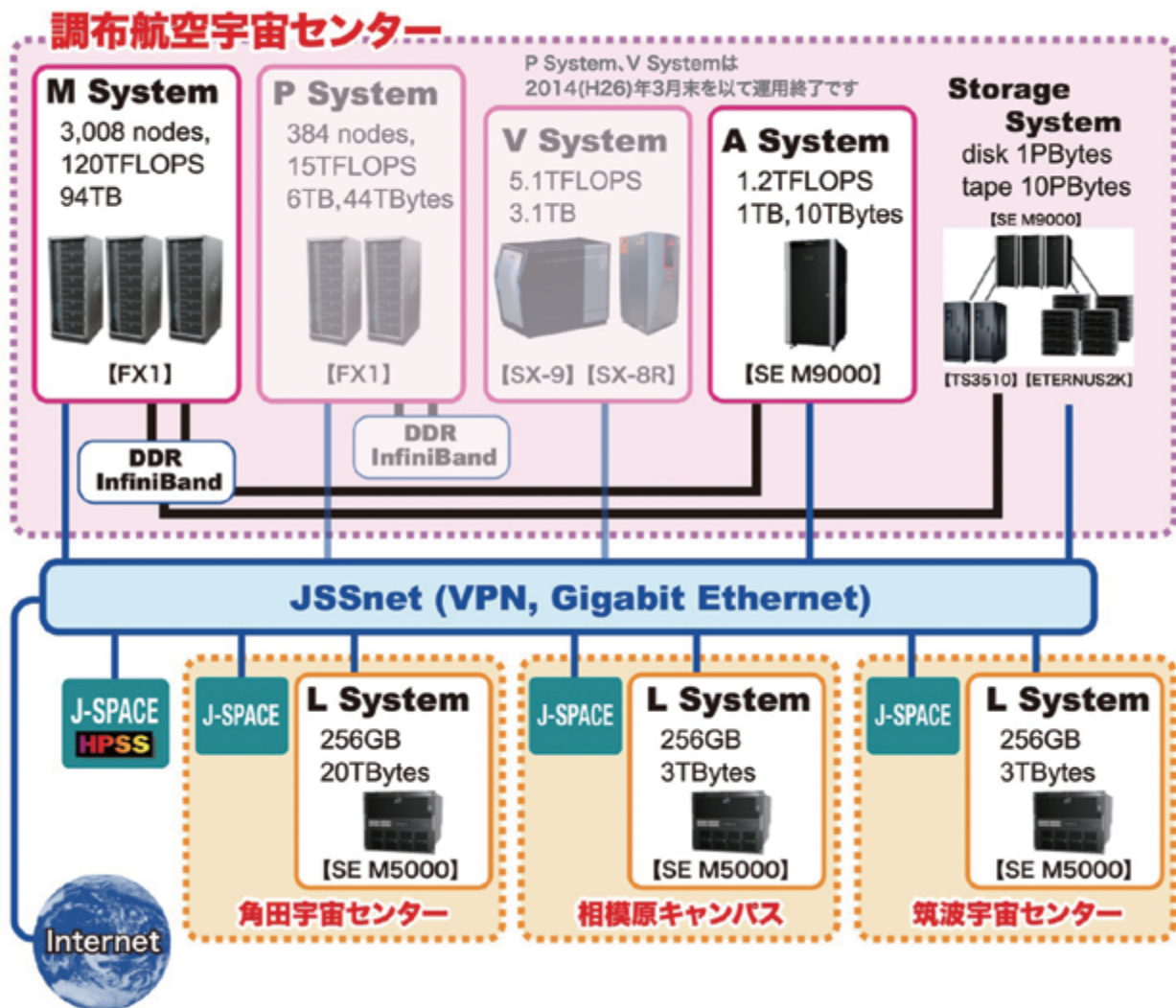


図 1-1 JSS の構成図

JSS の主要システムの諸元を表 1-1 に示す。

M システムは、3008 ノードの富士通 FX1 で構成されるスカラ型分散メモリ計算機である。ピーク性能は 120TFLOPS、94TB のメモリを有する。A システムは、富士通 SEM9000 で構成される 1TB のメモリを有する共有メモリ計算機である。

メインとなる M システムは、フロントエンドを 2 ノード、IO ノードを 3 ノード有しており、システムの負荷分散、冗長化にも考慮している。また、JAXA の主要拠点には、ローカルサーバとして L システムを設置しており、各拠点のユーザは L システムを経由して M システムを利用することができる。

スカラシステムの CPU には 1CPU あたり 4 コアを有する富士通 SPARC64VII プロセッサを採用している。

表 1-1 JSS の主要諸元

システム名	M(Main)システム	A(Application)システム
製品名	富士通 FX1	富士通 SEM9000
システムタイプ	スカラ MPP	スカラ SMP
ノード数	3008	1
ピーク性能(TFLOPS)	120	1.2
メモリ容量(TB)	94	1



写真：JSS-M（メイン）システム



## 1.2 JSS2(2014年10月1日～)

JSS2 のシステム構成図を図 1-2 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。

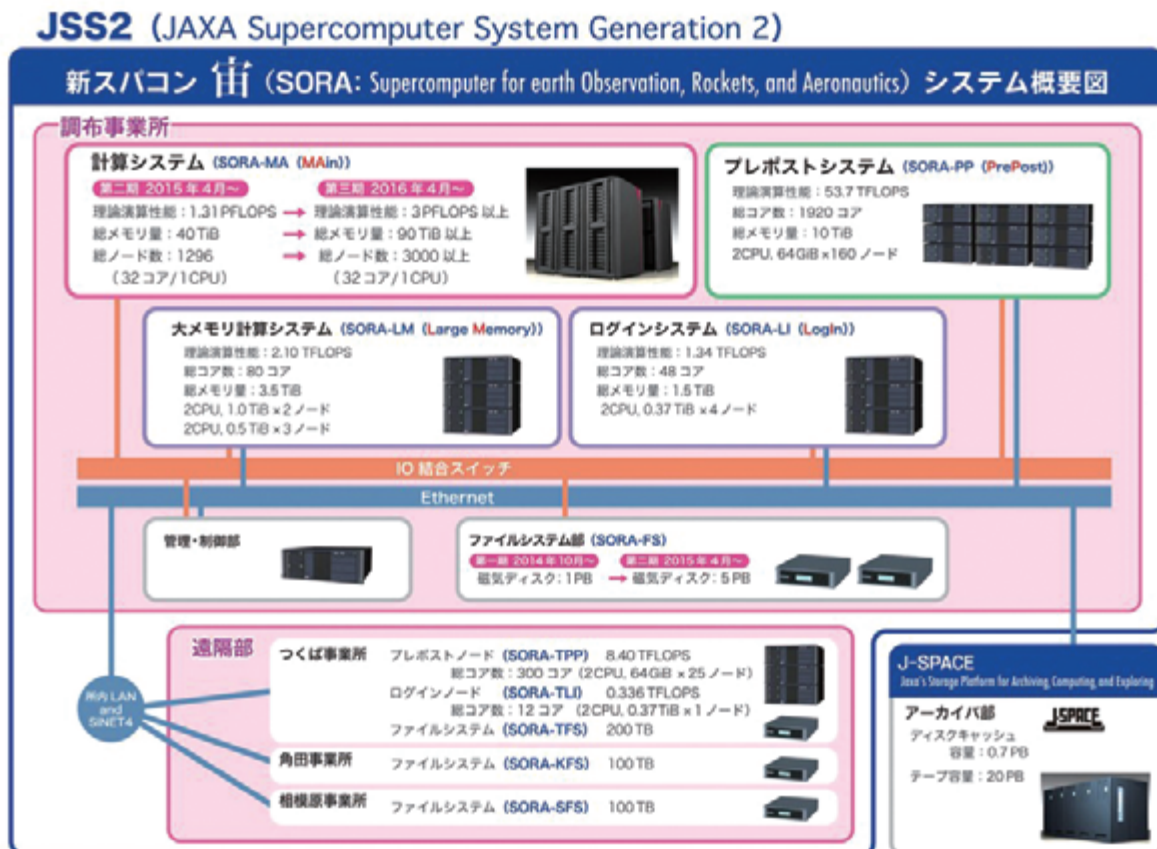


図 1-2 JSS2 構成図

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), ファイルシステム部(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 1-2 に示す。

表 1-2 JSS2 の主要諸元

システム名	計算システム (SORA-MA)	プレポスト システム (SORA-PP)	大メモリ 計算システム (SORA-LM)	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

JSS-M システムの障害発生状況を図 2-1 に示す。なおここでの件数は、メモリ交換など予防保守作業も含むものであり、特にハード障害に関しては、定常的に発生している。ただし、このうち、システムダウン（ログイン不可あるいは全演算停止）に至ったものは平成 21 年度は 5 件、平成 22 年度は 0 件、平成 23 年度は 6 件、平成 24 年度は 4 件、平成 25 年度は 2 件、平成 26 年度（上期）は 0 件と、全体としては安定して稼働していると言える。

JSS2 システムの障害発生状況を図 2-2 に示す。平成 26 年度（下期）は 14 件とやや多めになっている。

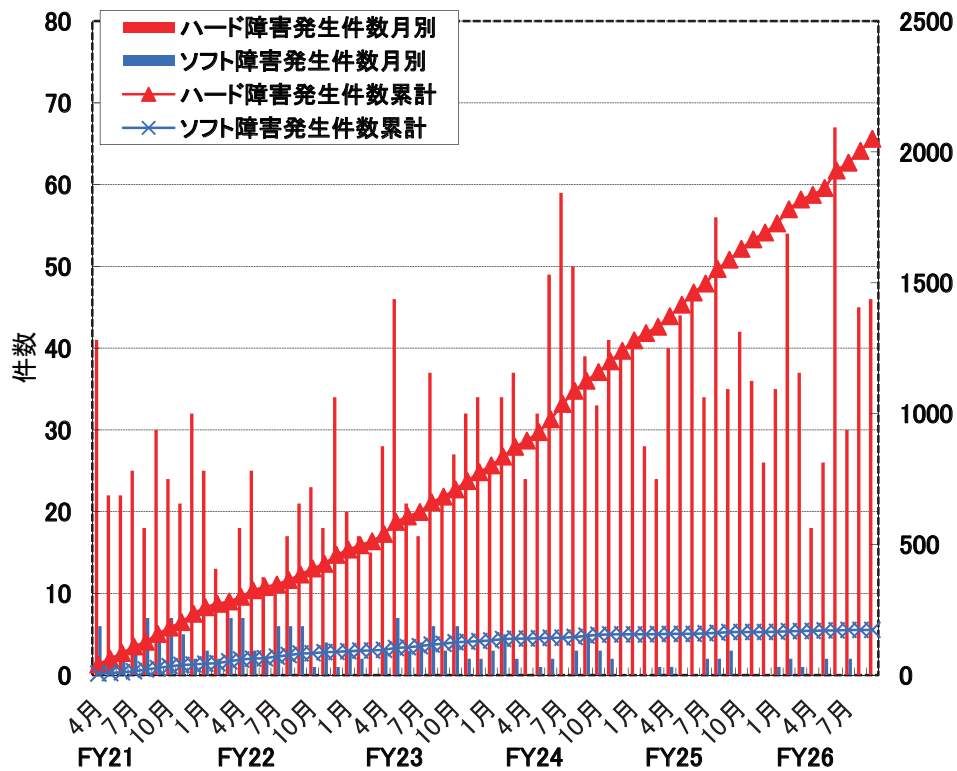


図 2-1 JSS-M システム障害件数

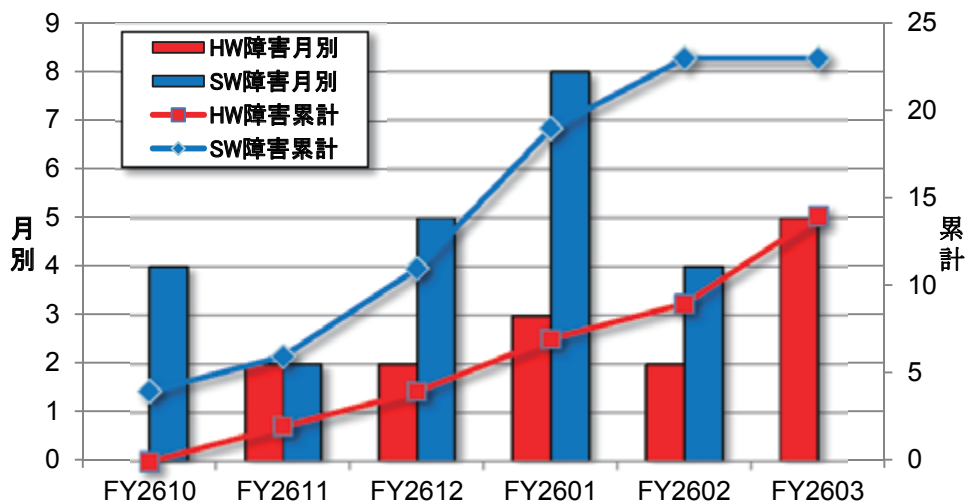


図 2-2 JSS2 システム障害件数

### 3. 運用概要

平成 21 年度から平成 26 年度（上期）の JSS-M システムの稼働状況を表 3-1 に示す。ここでの CPU 稼働率とはジョブ処理計画時間に対しての、バッチジョブ割当時間（実行ジョブに CPU を割当てていた時間）の割合である。平成 21 年度の平均は 83.6% だったのに対し、平成 22 年度の平均は 93.5%、平成 23 年度の平均は 92.7%、平成 24 年度の平均は 93.4%、平成 25 年度の平均は 94.5%、平成 26 年度（上期）の平均は 95.6% と大幅に向上することができた。これは、独自開発のジョブスケジューラを適用して、必要に応じたきめ細かなジョブの制御により効率良くジョブ運用を行っている成果と言える。また、JAXA プロジェクト支援などの緊急度の高い計算についても、このジョブスケジューラにより、優先度を適切に制御することで対応している。特に、混雑時に大規模なジョブを実行させるためには、CPU 稼働率を犠牲にしても当該ジョブの要求する資源を確保できるまで空きを増やす必要があるが、当該ジョブの実行開始予測時刻以内に終了するジョブは実行するなどの方策を駆使することにより、CPU 稼働率の低下を最小限度に抑えている。

表 3-1 JSS-M 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			
2009(H21)04	5,723,445	67.8%	8,336,170	99,737	8,435,907	3.0	27.2	0.0	30.1	9,537,925	60.0%	30
2009(H21)05	6,069,367	75.2%	7,941,521	131,060	8,072,581	2.4	84.0	0.0	86.4	8,633,858	70.3%	31
2009(H21)06	5,430,821	66.3%	8,144,059	42,928	8,186,987	0.0	32.8	10.3	43.1	9,443,908	57.5%	30
2009(H21)07	7,086,424	83.7%	8,458,897	3,894	8,462,791	5.8	35.2	0.0	41.0	8,922,857	79.4%	31
2009(H21)08	6,524,704	85.3%	7,648,942	599	7,649,541	0.0	108.3	0.0	108.3	9,708,987	67.2%	30
2009(H21)09	6,945,114	87.7%	7,888,981	30,441	7,919,422	0.0	64.3	0.0	64.3	8,645,703	80.3%	30
2009(H21)10	6,974,177	87.5%	7,968,994	1,297	7,970,291	0.0	69.0	12.7	81.7	8,645,041	80.7%	31
2009(H21)11	6,895,604	83.4%	8,263,176	1,846	8,265,022	1.8	20.8	10.6	33.2	8,477,932	81.3%	30
2009(H21)12	7,243,444	88.9%	8,072,068	78,664	8,150,732	0.0	69.1	4.0	73.1	8,330,517	87.0%	30
2010(H22)01	7,224,925	93.0%	7,768,083	3,047	7,771,130	0.0	86.2	12.0	98.2	7,821,672	92.4%	28
2010(H22)02	6,779,027	92.7%	7,315,229	131	7,315,360	0.0	19.8	44.0	63.8	7,409,407	91.5%	28
2010(H22)03	8,195,741	93.5%	8,768,612	1,299	8,769,911	0.0	15.0	0.0	15.0	8,949,066	91.6%	31
FY2009Total	81,092,792	83.6%	96,574,732	394,943	96,969,675	12.9	631.7	93.6	738.2	104,526,873	77.6%	360
2010(H22)04	7,862,593	91.9%	8,551,707	7,039	8,558,746	0.0	9.0	0.0	9.0	8,657,346	90.8%	30
2010(H22)05	7,196,734	84.7%	8,498,784	437	8,499,221	0.0	27.4	10.0	37.4	8,715,236	82.6%	31
2010(H22)06	7,164,019	91.8%	7,807,575	449	7,808,024	0.0	45.3	25.6	70.9	8,161,023	87.8%	30
2010(H22)07	8,109,108	94.7%	8,562,131	344	8,562,475	0.0	32.2	0.0	32.2	8,939,134	90.7%	31
2010(H22)08	7,419,249	93.8%	7,908,610	476	7,909,086	0.0	71.7	16.3	88.0	8,674,841	85.5%	31
2010(H22)09	7,973,387	94.6%	8,421,003	3,457	8,424,460	0.0	0.0	19.9	19.9	8,566,502	93.1%	30
2010(H22)10	8,466,147	96.1%	8,812,709	370	8,813,079	0.0	11.0	0.0	11.0	8,934,278	94.8%	31
2010(H22)11	7,270,375	95.8%	7,576,984	8,686	7,585,670	0.0	0.0	0.0	0.0	7,619,636	95.4%	30
2010(H22)12	5,485,956	94.3%	5,819,352	877	5,820,229	0.0	0.0	12.0	12.0	5,921,642	92.6%	27
2011(H23)01	5,926,035	96.5%	6,137,566	497	6,138,064	0.0	0.0	0.0	0.0	6,199,726	95.6%	27
2011(H23)02	5,688,136	96.3%	5,909,233	399	5,909,632	0.0	0.0	41.5	41.5	6,125,838	92.9%	26
2011(H23)03	2,268,927	94.7%	2,397,039	88	2,397,127	0.0	0.0	0.0	0.0	2,402,154	94.5%	11
FY2010Total	80,830,666	93.5%	86,402,694	23,119	86,425,813	0.0	196.6	125.2	321.8	88,917,356	90.9%	335

表 3-1 JSS-M システム稼働状況 (続き)

(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			
2011(H23)04	3,501,595	82.1%	4,266,348	1,202	4,267,550	0.0	0.0	0.0	0.0	4,283,494	81.75%	30
2011(H23)05	7,193,149	87.2%	8,251,818	794	8,252,613	42.1	11.5	9.0	62.6	8,290,393	86.76%	30
2011(H23)06	7,797,445	93.0%	8,383,528	249	8,383,777	0.0	13.7	9.5	23.2	8,446,160	92.32%	30
2011(H23)07	7,987,013	89.2%	8,951,283	50	8,951,333	0.0	0.0	0.0	0.0	8,952,736	89.21%	31
2011(H23)08	7,820,286	95.7%	8,172,896	1,168	8,174,064	0.0	31.6	33.0	64.6	8,417,821	92.90%	29
2011(H23)09	8,232,550	95.0%	8,662,693	272	8,662,965	0.0	0.0	0.0	0.0	8,662,921	95.03%	30
2011(H23)10	8,525,864	95.4%	8,921,582	16,075	8,937,657	0.0	0.0	1.2	1.2	8,957,720	95.18%	31
2011(H23)11	7,848,437	93.6%	8,174,752	206,928	8,381,680	3.8	14.4	9.0	27.2	8,465,725	92.71%	30
2011(H23)12	7,547,178	92.9%	8,115,770	5,797	8,121,567	2.3	60.0	9.0	71.3	8,139,764	92.72%	29
2012(H24)01	7,449,979	94.4%	7,893,638	1,387	7,895,025	4.4	87.8	0.0	92.2	7,977,496	93.39%	28
2012(H24)02	7,599,272	95.5%	7,957,497	829	7,958,326	0.0	24.6	10.0	34.6	8,143,401	93.32%	28
2012(H24)03	7,870,165	93.4%	8,426,225	146	8,426,371	2.2	43.7	0.0	45.9	8,795,226	89.48%	30
FY2011Total	89,372,931	92.7%	96,178,029	234,897	96,412,926	54.8	287.3	80.7	422.7	97,532,857	91.63%	356
2012(H24)04	7,718,164	91.9%	8,400,866	117	8,400,983	5.6	21.8	0.0	27.4	8,662,998	89.09%	29
2012(H24)05	8,106,281	90.6%	8,951,623	34	8,951,657	0.0	0.0	0.0	0.0	8,951,797	90.55%	31
2012(H24)06	7,656,855	93.9%	8,152,411	434	8,152,845	0.0	32.9	9.5	42.4	8,331,522	91.90%	29
2012(H24)07	8,447,225	94.5%	8,936,750	74	8,936,824	0.0	0.0	0.0	0.0	8,938,808	94.50%	31
2012(H24)08	6,437,701	88.0%	7,317,009	2,400	7,319,409	33.2	98.5	28.0	159.7	7,469,568	86.19%	25
2012(H24)09	7,971,034	92.0%	8,650,908	11,973	8,662,881	0.0	0.0	0.0	0.0	8,662,042	92.02%	30
2012(H24)10	7,984,859	94.8%	8,417,180	8,589	8,425,769	0.0	36.2	7.5	43.7	8,545,252	93.44%	31
2012(H24)11	8,145,672	94.0%	8,654,878	8,162	8,663,040	0.0	0.0	0.0	0.0	8,622,888	94.03%	30
2012(H24)12	7,745,812	94.7%	8,176,579	609	8,177,188	0.0	64.4	0.0	64.4	8,272,502	93.63%	29
2013(H25)01	7,404,183	96.0%	7,709,444	4,917	7,714,361	0.0	91.7	11.0	102.7	7,782,428	95.01%	28
2013(H25)02	7,422,608	95.5%	7,768,576	246	7,768,822	0.0	15.3	11.0	26.3	7,812,162	95.01%	28
2013(H25)03	7,692,393	95.1%	8,088,115	440	8,088,555	0.0	30.9	0.0	30.9	8,314,734	92.52%	30
FY2012Total	92,732,787	93.4%	99,224,339	37,995	99,262,334	38.8	391.6	67.0	497.4	100,406,700	92.36%	351
2013(H25)04	8,204,755	94.7%	8,661,351	515	8,661,866	0.0	0.0	0.0	0.0	8,663,018	94.71%	30
2013(H25)05	8,314,916	93.1%	8,933,000	619	8,933,619	0.0	0.0	0.0	0.0	8,934,565	93.06%	31
2013(H25)06	7,777,163	94.8%	8,201,697	181	8,201,878	0.0	26.2	9.5	35.7	8,226,812	94.53%	29
2013(H25)07	8,383,426	93.9%	8,930,866	954	8,931,820	0.0	0.0	0.0	0.0	8,933,973	93.84%	31
2013(H25)08	6,710,805	91.9%	7,805,809	669	7,806,478	0.0	72.4	0.0	72.4	8,035,335	89.24%	28
2013(H25)09	7,588,742	90.2%	8,416,557	619	8,417,176	4.4	0.0	0.0	4.4	8,472,273	89.57%	30
2013(H25)10	8,590,103	96.0%	8,934,942	1,629	8,951,241	5.5	0.0	0.0	5.5	8,951,729	95.96%	31
2013(H25)11	8,588,137	99.2%	8,661,201	2,201	8,661,402	0.0	0.0	0.0	0.0	8,622,538	99.14%	30
2013(H25)12	7,730,016	92.9%	8,309,086	8,275	8,317,361	0.0	42.7	10.0	52.7	8,011,447	96.49%	29
2014(H26)01	7,089,593	94.3%	7,514,737	1,413	7,516,150	0.0	115.3	4.0	119.3	7,557,719	93.81%	27
2014(H26)02	7,305,443	95.6%	7,639,253	1,216	7,640,469	0.0	29.6	4.0	33.6	7,745,640	94.32%	27
2014(H26)03	8,420,074	97.0%	8,677,635	299	8,677,934	0.0	15.0	0.0	15.0	8,653,587	97.30%	31
FY2013Total	95,163,174	94.5%	100,698,802	18,590	100,717,392	9.9	301.3	27.5	338.7	100,848,636	94.36%	354

表 3-1 JSS-M システム稼働状況 (続き)

(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			
2014(H26)04	7,972,917	94.7%	8,422,215	185	8,422,400	0.0	20.0	0.0	20.0	8,460,817	94.23%	29
2014(H26)05	8,639,199	96.5%	8,951,607	201	8,951,808	0.0	0.0	0.0	0.0	8,951,749	96.51%	31
2014(H26)06	7,664,720	93.0%	8,239,204	291	8,239,495	0.0	22.6	6.0	28.6	8,269,369	92.69%	29
2014(H26)07	8,580,822	95.9%	8,950,758	1,050	8,951,808	0.0	0.0	0.0	0.0	8,951,651	95.86%	31
2014(H26)08	7,733,933	98.9%	7,821,049	353	7,821,402	0.0	78.8	0.0	78.8	8,028,024	96.34%	28
2014(H26)09	7,167,493	94.7%	7,568,501	208	7,568,709	0.0	44.8	6.0	50.8	7,726,433	92.77%	28
FY2014Total	47,759,144	95.6%	49,953,333	2,288	49,955,621	0.0	166.2	12.0	178.2	50,388,043	94.78%	176

図 3-1 に JSS-M システムの平成 21 年度 (2009 年度) から平成 26 年度上期 (2014 年度 9 月) 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。月により、3009 コア以上のジョブの実行が目立つ月があるが、これは、「戦略的大規模解析」という枠組みで、通常ジョブでは実行できない規模のジョブを実行させていることによるものである。また、全体の傾向を一概に述べることはできないが、数百コアの規模のジョブが相当数を占めていることが分かる。

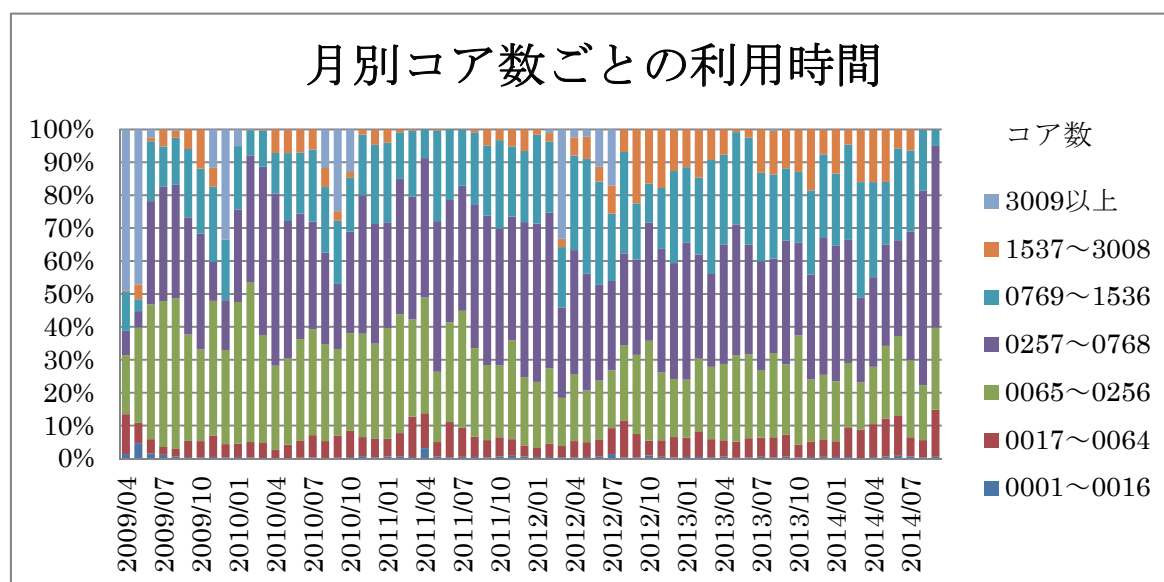


図 3-1 JSS-M システムのコア数別ジョブの実行状況

平成 26 年度 10 月からの JSS2/SORA-PP システムの稼働状況を表 3-2 に示す。10 月の稼働当初はユーザー数が少ないこともあり稼働率は 65%とやや低くなっているが、その後は平均 90%と安定して維持できている。

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				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			
2014(H26)10	904,013	65.1%	1,387,872	0	1,387,872	0	22,752	0	22,752	1,410,624	64.09%	31
2014(H26)11	1,214,097	88.9%	1,365,120	109	1,365,229	0	109	0	109	1,365,120	88.94%	30
2014(H26)12	1,127,705	99.4%	1,134,566	0	1,134,566	1,763	133,858	0	135,621	1,255,547	89.82%	29
2015(H27)01	1,050,278	95.2%	1,103,056	6,314	1,109,370	0	123,923	19,200	143,123	1,126,525	93.23%	28
2015(H27)02	1,125,900	94.0%	1,198,080	713	1,198,783	46,080	92,873	0	138,953	1,243,444	90.55%	26
2015(H27)03	1,129,054	86.4%	1,307,520	2,481	1,310,001	0	123,441	0	123,441	1,412,567	79.93%	29
FY2014Total	6,551,048	87.4%	7,496,215	9,617	7,505,832	47,843	496,956	19,200	563,999	7,913,826	82.78%	143

図 3-2 に JSS2/SORA-PP システムの平成 26 年度下期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おり、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。

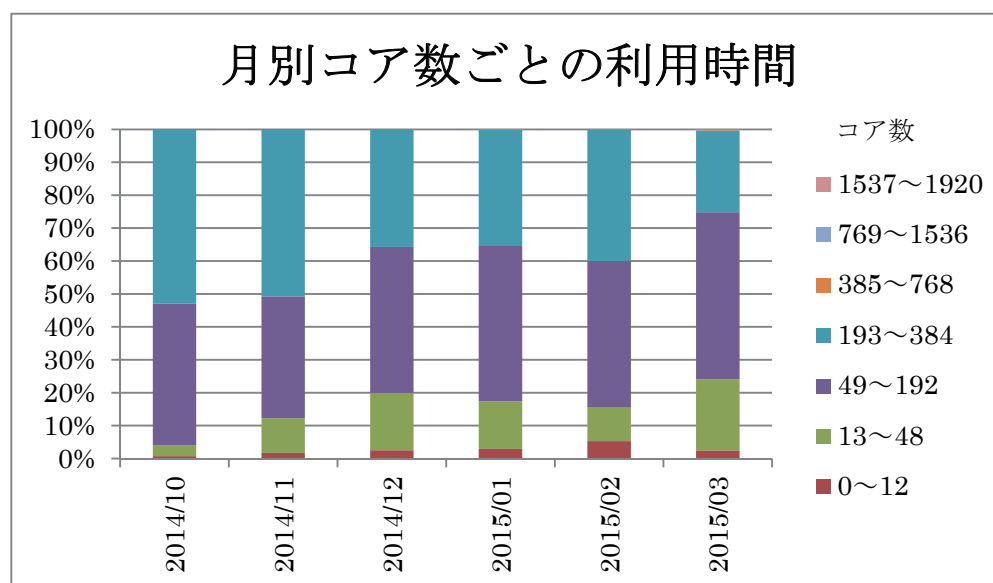


図 3-2 JSS2/SORA-PP システムのコア数別ジョブの実行状況

#### 4. ユーザ登録状況

JSS, JSS2 へのユーザ登録状況を表 4-1 に示す。JSS, 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

(人)	
分類	登録人数
内部利用	426
共同研究	20
JSS2 大学共同利用	41
設備貸付	0
研修生・学生	75
合計	562

#### 5. ユーザ区分別利用状況

JSS-M 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、共同研究が外部の利用割合としては最も多い。

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。JSS-M システムと同様に 9 割が内部利用で占めている。外部利用としては、共同研究と JSS2 大学共同利用の割合がほぼ同じ割合になっている。

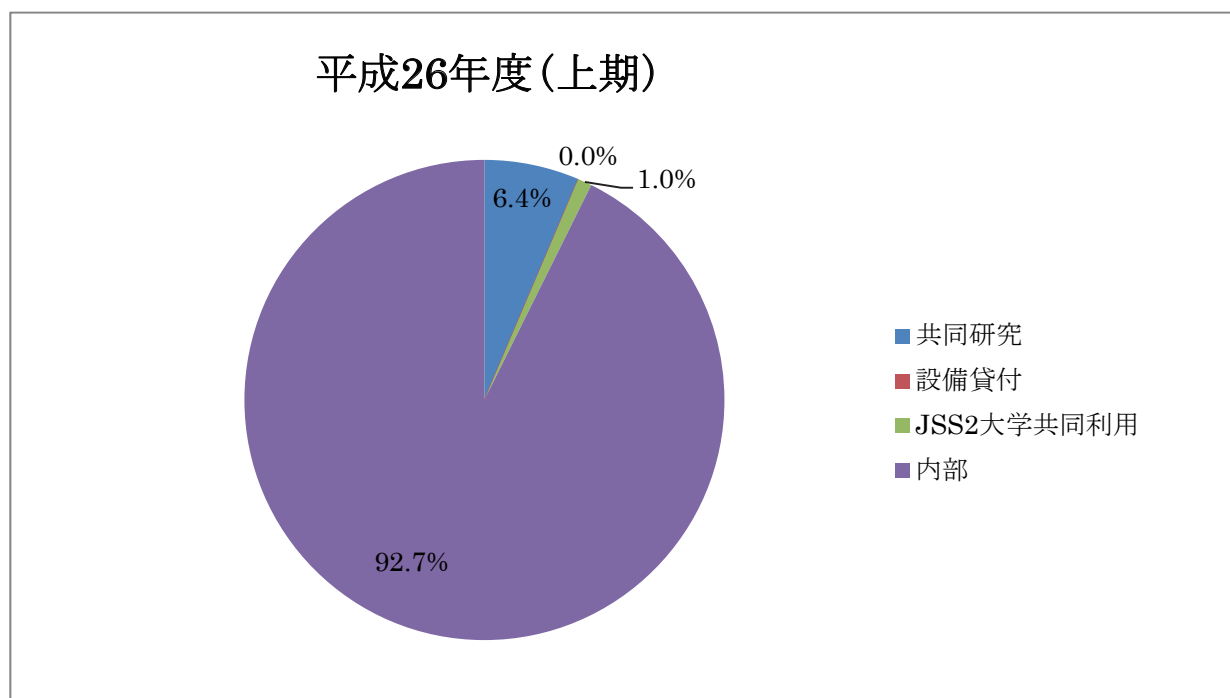


図 5-1 JSS-M ユーザ区分別利用割合

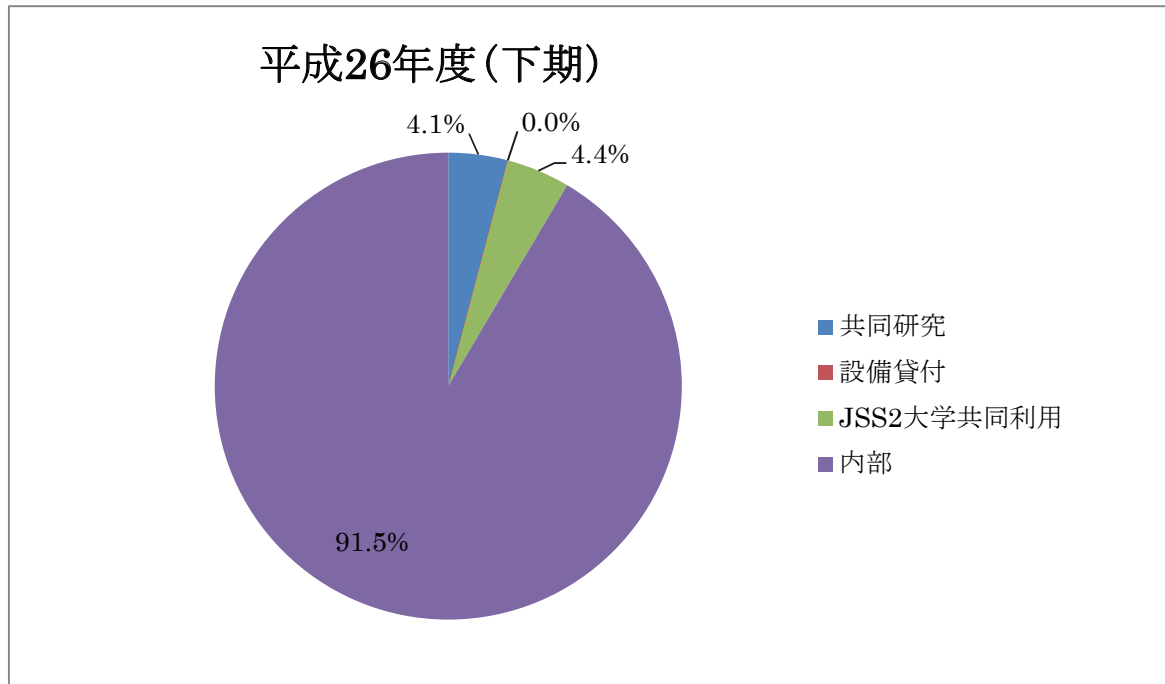


図 5-2 JSS2/SORA-PP ユーザ区分別利用割合

## 6. 分野別利用割合

JSS システムの分野別利用割合を図 6-1 に示す。平成 21 年度は JSS-M システム、それ以前はそれ以前の調布地区スパコンによる統計である。平成 15 年度頃は、航空分野が多くを占めていたが、平成 15 年度に JAXA 統合があり、これ以降平成 24 年度までは宇宙分野の割合が増加していることがわかる。平成 25 年度については、航空分野が約 5 割の利用になっている。平成 26 年度上期については、宇宙分野、航空分野とも約 4 割と同じ割合になっている。

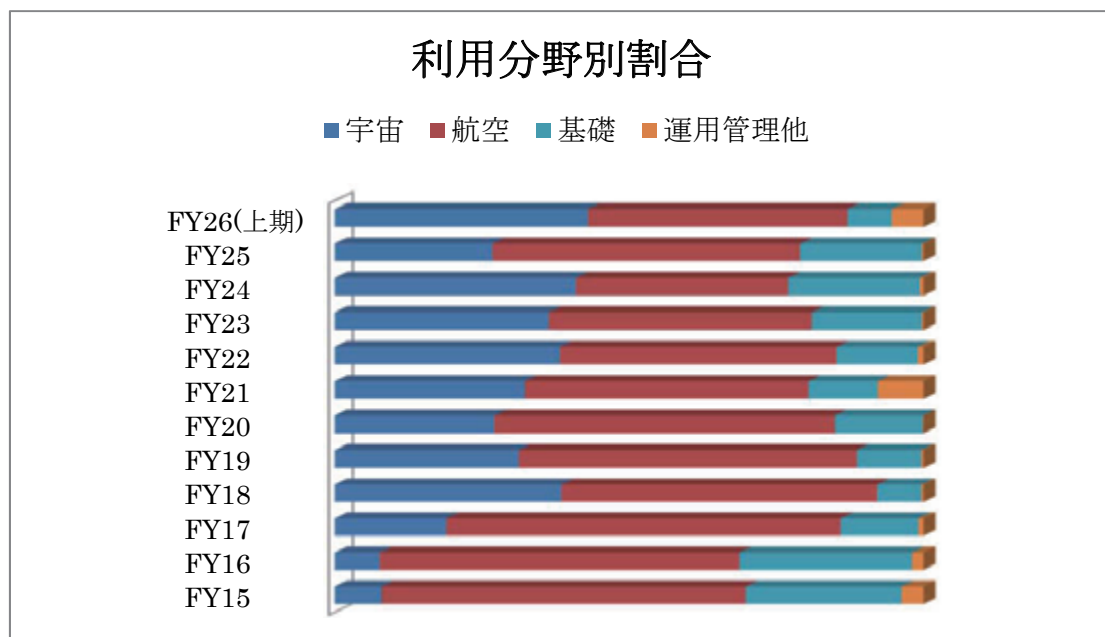


図 6-1 分野別利用割合

---

【発行】 セキュリティ・情報化推進部 スーパーコンピュータ活用課

【編集】 セキュリティ・情報化推進部

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, 小島英訓, 末松和代

---

著作権保護のため、記載事項の転載、コピーを禁じます。