

## 静粛超音速機技術の研究開発

報告書番号：R17JTET01

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4338/>

### ● 責任者

牧野好和 航空技術部門次世代航空イノベーションハブ

### ● 問い合わせ先

牧野良好 makino@chofu.jaxa.jp

### ● メンバ

岸祐希,北崎慎哉,山本洵,岩本剛,金崎雅博,藤原弘明,小幡秀幸,春日洋平,宮崎正也,佐藤宥毅

### ● 事業概要

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

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

### ● JSS2 利用の理由

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

### ● 今年度の成果

超音速機において最適翼型の平面形依存性を調査した結果,テーパー翼はクランクドアロー翼より前縁キャンバーが小さい翼型が低抵抗になることがわかった。また,遷音速飛行が長い機体では,音速近傍で抵抗が低い後退角の大きなクランクドアロー翼等が抵抗低減に有効だが,超音速飛行が長い機体ではテーパー翼などの後退角の浅い平面形の採用も選択肢に入ることがわかった。

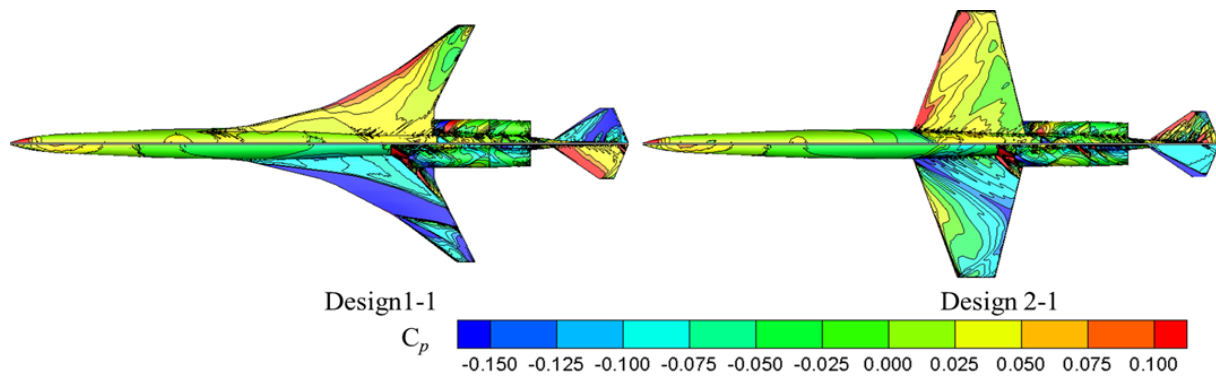


図1 クラノイドアロー翼とテーパ翼の表面圧力分布

## ● 成果の公表

### ● 査読付論文

- 1) 岸祐希, 金崎雅博, 牧野好和, 松島紀佐, "設計探索法による超音速最適翼型の平面形依存性に関する考察", 日本機械学会論文集 Vol.83, (2017), p.16-00454.

### ● 査読なし論文

- 1) Y. Kishi, S. Kitazaki, A. Ariyarat, Y. Makino and M. Kanazaki, "Planform Dependency of Optimum Supersonic Airfoil for Wing-Body-Nacelle Configuration using Multi-Fidelity Design Optimization", AIAA 2017-4468, (2017).

### ● 口頭発表

- 1) 岸祐希, 金崎雅博, 牧野好和, "ソニックブーム・抵抗の同時低減に向けた 前進翼平面形の超音速空力調査", 第49回流体力学講演会／第35回 ANSS, 1A09, (2017).
- 2) 小幡秀幸, 赤塚純一, 渡辺安, 亀田正治, "模型用小型エンジンを用いた排気ダクトの推力・音響特性評価", 第49回流体力学講演会／第35回 ANSS, 1B11, (2017).
- 3) 岸祐希, 金崎雅博, 牧野好和, "抵抗とブームの同時低減を目指した前進翼をもつ SST の検討", 第55回飛行機シンポジウム, 3A02, (2017).
- 4) 岩本 剛, 春日洋平, 石川敬掲, 徳川直子, "小型超音速実験機に対する全面層流化の試み", 第55回飛行機シンポジウム, 3A08, (2017).

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |            |
|---------------|------------|
| プロセス並列手法      | MPI        |
| スレッド並列手法      | 自動並列       |
| プロセス並列数       | 4 - 128    |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 12000.00 秒 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.35

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 1,789,166.76 | 0.24          |
| SORA-PP  | 83,621.32    | 1.05          |
| SORA-LM  | 1,104.56     | 0.57          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 2,969.57      | 2.06          |
| /data      | 73,850.95     | 1.37          |
| /ltmp      | 16,927.09     | 1.28          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 75.21    | 3.23          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## グリーンエンジン(超高温燃焼器技術の研究)液膜式気流微粒化の数値計算

報告書番号：R17JTET03

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4339/>

### ● 責任者

中村俊哉 航空技術部門次世代航空イノベーションハブ

### ● 問い合わせ先

松浦一哲 matsuura.kazuaki@jaxa.jp

### ● メンバ

松浦一哲, 牧田光正, 中村直紀, 飯野淳, 張会来, 上坂峻也, 岩崎智行, 篠原竜汰, 東海枝一樹

### ● 事業概要

平面液膜式微粒化ノズルの実験により雰囲気圧力, 偏向翼角によって微粒化特性が変化することが明らかにされた。しかし, 液膜の分裂場は, 噴射孔出口近傍の非常に狭い領域で起こっており, 実験のみから分裂現象を把握することは難しい。本事業では, 噴射孔出口近傍の分裂場に対して数値解析を実施し, 微粒化のメカニズムを明らかにすることを目的としている。

### ● JSS2 利用の理由

実験において計測された液滴粒径は数  $10\mu\text{m}$  オーダーとなっている。このような微小な液滴の分裂場を適切に再現するためには, 数  $\mu\text{m}$  オーダーのメッシュを用いた数億セル以上の大規模な計算を実施する必要がある, スパコンの利用は不可避である。

### ● 今年度の成果

これまで数値解析で再現できていなかった平面液膜式微粒化ノズルの低圧条件(0.1MPa)において粒径が大きくなるという実験結果を再現するためにコードの改修をおこなった。その際にベンチマークテストとしてミルククラウンに対する解析をおこない, コードの改修によりクラウンを形成するために必要な不安定性を再現することができるようになったことを確認した(図 1,2)。改修されたコードを用いておこなった平面液膜式微粒化ノズルに対する数値解析(図 3,4)では低圧において大きく成長した液糸が分裂する様子が捉えられており, 実験では把握することが困難な液滴分裂メカニズムの詳細を理解することが可能となった。

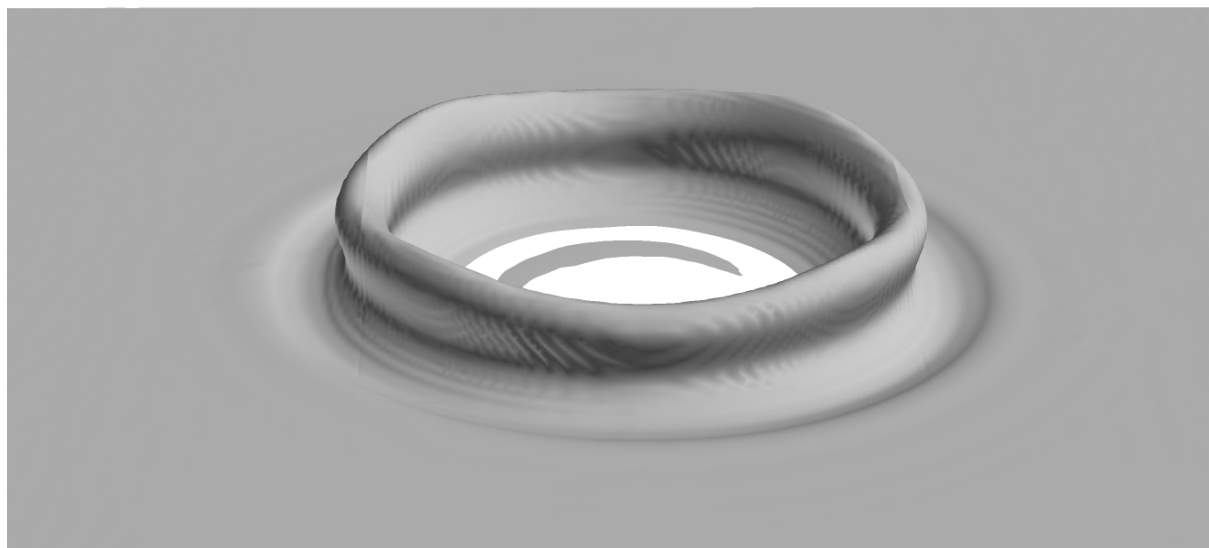


図1 ミルククラウン (旧コード)

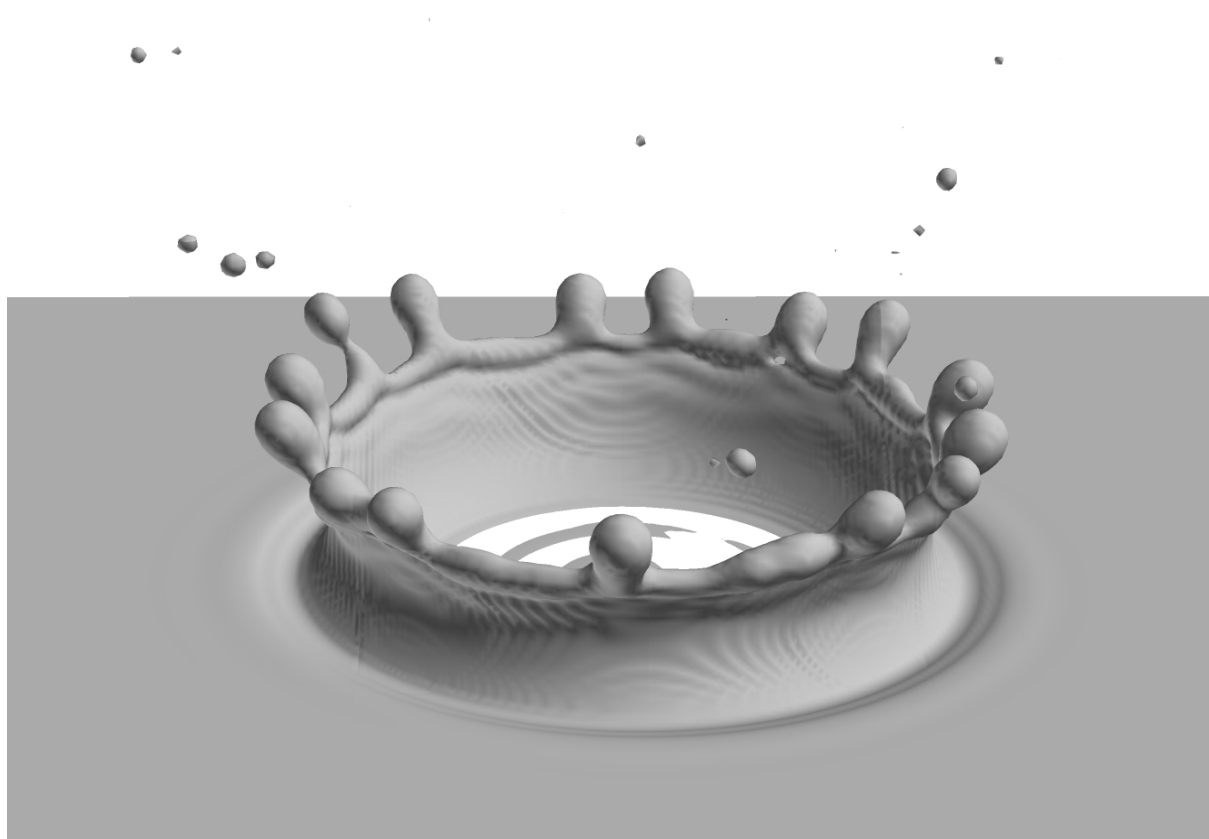


図2 ミルククラウン (新コード)



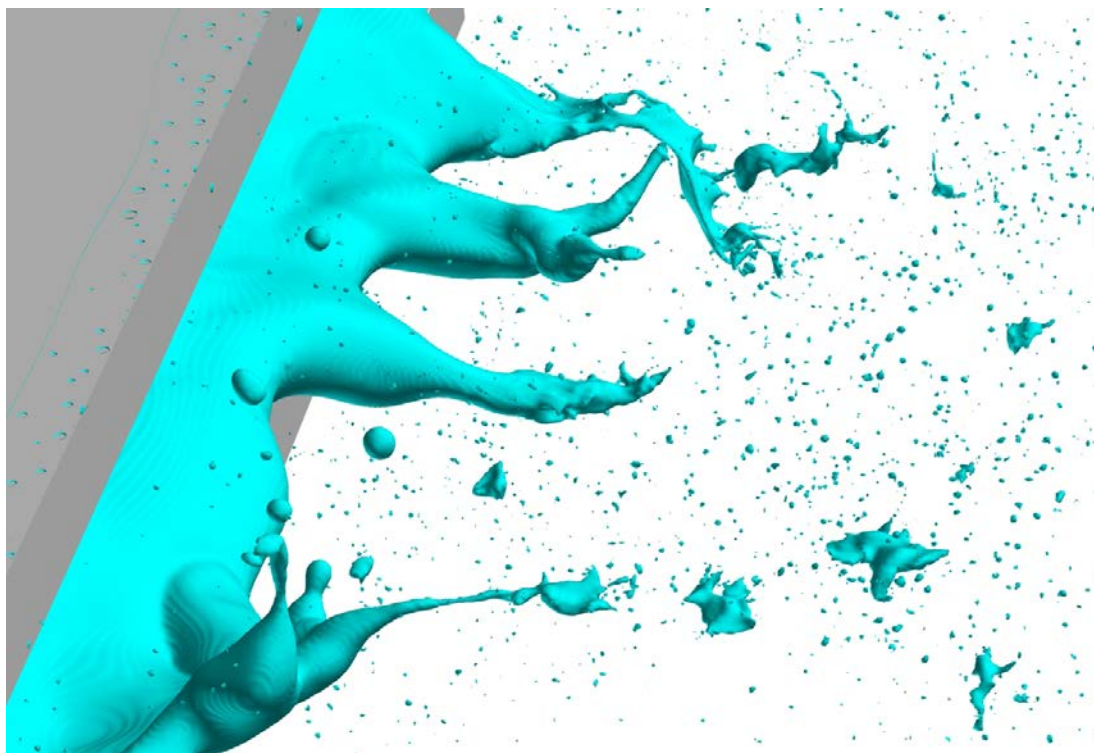


図3 平面液膜式微粒化ノズル（低圧）

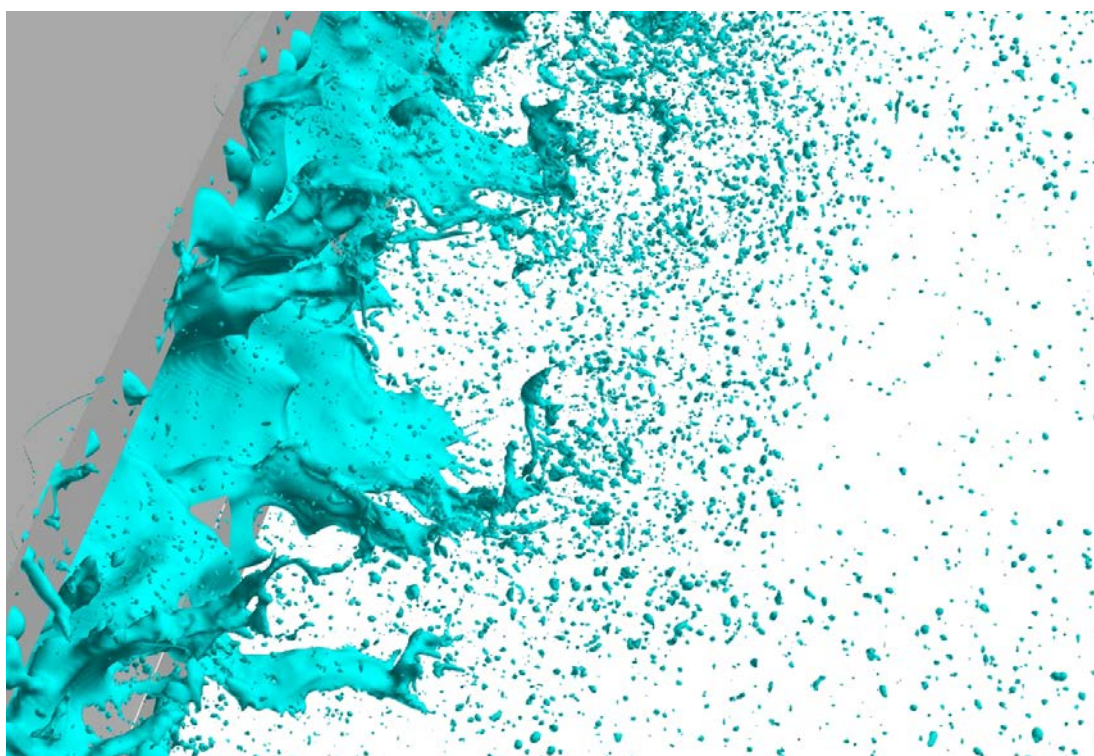


図4 平面液膜式微粒化ノズル（高圧）

## ● 成果の公表

なし

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |           |
|---------------|-----------|
| プロセス並列手法      | MPI       |
| スレッド並列手法      | OpenMP    |
| プロセス並列数       | 96 - 768  |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 600.00 時間 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.53

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 4,123,371.56 | 0.55          |
| SORA-PP  | 1,243.18     | 0.02          |
| SORA-LM  | 0.00         | 0.00          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 168.11        | 0.12          |
| /data      | 42,757.27     | 0.79          |
| /ltmp      | 14,865.46     | 1.12          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 0.14     | 0.01          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## 燃焼器解析に関する研究

報告書番号：R17JTET05

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4340/>

### ● 責任者

青山剛史 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

山本姫子 himeko@toki.waseda.jp

### ● メンバ

山本姫子

### ● 事業概要

環境適合性の高いジェットエンジン燃焼器開発に向けて、エンジン耐久性低下の原因となる燃焼振動に代表される圧力伝播と化学反応の双方を捉えることのできる実用的な計算コストを有する数値計算コードの開発に取り組む。また、本計算コードの妥当性を評価するため、DLR のスクラムジェットエンジン燃焼器を対象とした検証計算を行う。

### ● JSS2 利用の理由

燃焼計算コードの開発・検証計算に取り組む上で、スパコンの利用が必要となる。

### ● 今年度の成果

本研究では、密度ベースの流体解析ソルバである FaSTAR (FAST Aerodynamic Routines) に圧縮性 Flamelet モデルに基づく燃焼計算コードの実装を実施した。また、Flamelet ライブラリ参照時の計算コスト低減のため、人工ニューラルネットワーク (ANN) モデルを適用した。ANN モデルには 2 つの入力ユニット (混合分率とスカラー消散率)、3 つの隠れ層、そして各化学種質量分率に対応する出力ユニットを与えた (図 1: OH 質量分率の ANN モデル)。ANN による Flamelet ライブラリの近似は、従来の線形補間によるものと比較して 50% 以上のメモリ使用量の削減を達成した。また、実際の燃焼場における計算コードの評価のため、ドイツ航空宇宙センター (DLR) のスクラムジェットテストエンジンにおける数値シミュレーションを実施した (図 2: ANN モデルによる時間平均密度分布)。



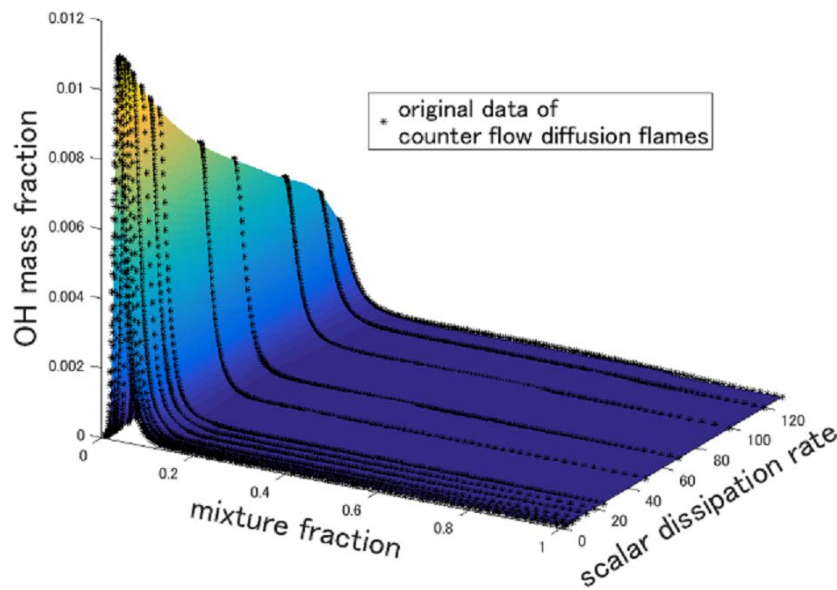


図 1 OH 質量分率の ANN モデル

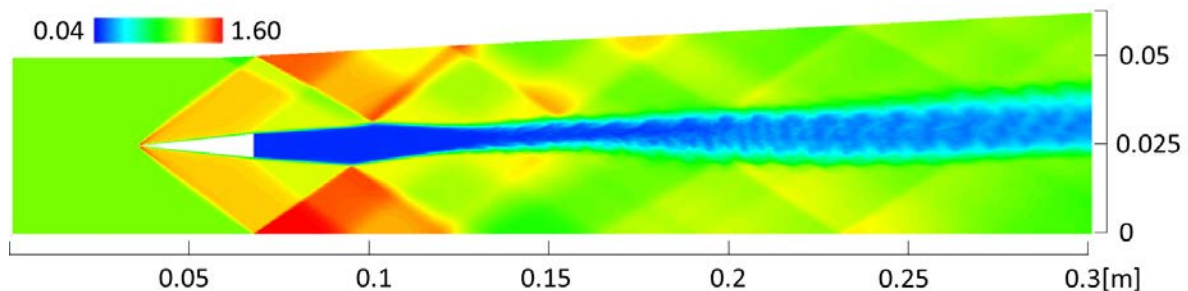


図 2 ANN モデルによる時間平均密度分布

## ● 成果の公表

### ● 査読なし論文

- 1) 山本姫子, 豊永壘, 溝渕泰寛, 佐藤哲也, G 方程式を用いた噴流浮き上がり火炎の数値解析, JAXA Special Publication(宇宙航空研究開発機構), 2017.12
- 2) 豊永壘, 山本姫子, 溝渕泰寛, 佐藤哲也, 圧縮性流体解析ソルバ FaSTAR を用いた超音速燃焼シミュレーション, JAXA Special Publication(宇宙航空研究開発機構), 2017.12

### ● 口頭発表

- 1) 山本姫子, 豊永壘, 溝渕泰寛, 佐藤哲也, 圧縮性流体解析ソルバ FaSTAR を用いた噴流浮き上がり火炎の数値解析, 第 57 回航空原動機・宇宙推進講演会, 2017.3
- 2) 山本姫子, 豊永壘, 溝渕泰寛, 佐藤哲也, G 方程式を用いた噴流浮き上がり火炎の数値解析, 第 49 回流体力学講演会/第 35 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2017.6
- 3) Himeko Yamamoto, Rui Toyonaga, Yusuke Komatsu, Koki Kabayama, Yasuhiro Mizobuchi, Tetsuya Sato, Improvement of compressible flamelet model using artificial neural network, The Asian Joint Conference on Propulsion and Power, 2018.3

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |           |
|---------------|-----------|
| プロセス並列手法      | MPI       |
| スレッド並列手法      | N/A       |
| プロセス並列数       | 2 - 1024  |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 120.00 時間 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.60

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 4,907,710.77 | 0.65          |
| SORA-PP  | 4,541.23     | 0.06          |
| SORA-LM  | 1.66         | 0.00          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 476.84        | 0.33          |
| /data      | 19,531.26     | 0.36          |
| /ltmp      | 1,953.13      | 0.15          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 0.48     | 0.02          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## 風車周りの CFD 解析

報告書番号：R17JTET09

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4341/>

### ● 責任者

田辺安忠 航空技術部門次世代航空イノベーションハブ

### ● 問い合わせ先

木村桂大 k.kimura@ilab.eco.rcast.u-tokyo.ac.jp

### ● メンバ

木村桂大, 田辺安忠, 篠崎陽介

### ● 事業概要

風車を集約配置する大規模な風力発電所においては、風車後方に形成される後流が後続の風車に干渉することで出力低下及び疲労の増大をもたらす。本研究では風車翼及びその後流域を対象とした大規模な数値解析を実施し、風条件および運転条件に対する風車後流の速度分布の傾向を明らかにしていく。今年度においては自然風況の特性（乱流による変動・大気境界層による速度差）が風車後流の速度分布に与える影響に着目し、流入風条件を変更した計算を実施した。

### ● JSS2 利用の理由

風車後流域の詳細を確認する為には、風車直径の 10 倍程度のスケールに対して格子を配置する必要がある。一方で風車の回転による変動の影響を考慮する為には風車翼の翼弦長基準の格子サイズが要求される。従って広範囲に渡って詳細格子を配置する大規模計算となり、スーパーコンピュータの利用が望ましい。

### ● 今年度の成果

自然風況のモデリングとして、高度によって風速差を与える大気境界層条件と、自然風況のスペクトルモデルから生成した風速変動を与える大気乱流条件を作成した。これらの条件下で後流解析を実施し、自然風の特徴が後流域に与える影響について調査した。大気境界層条件に関しては、上下方向の速度差は後流域が持つ変動によって平滑化され、風車直径の数倍程度の遠方域であれば大気境界層の影響は小さいことがわかった。大気乱流条件においては風速変動により風車翼から発生する渦の崩壊が促進され、速度回復が早まる傾向が得られた。以上の結果は、後流域の速度回復が平均的な速度場よりも風速変動によって引き起こされるものということを示唆している。

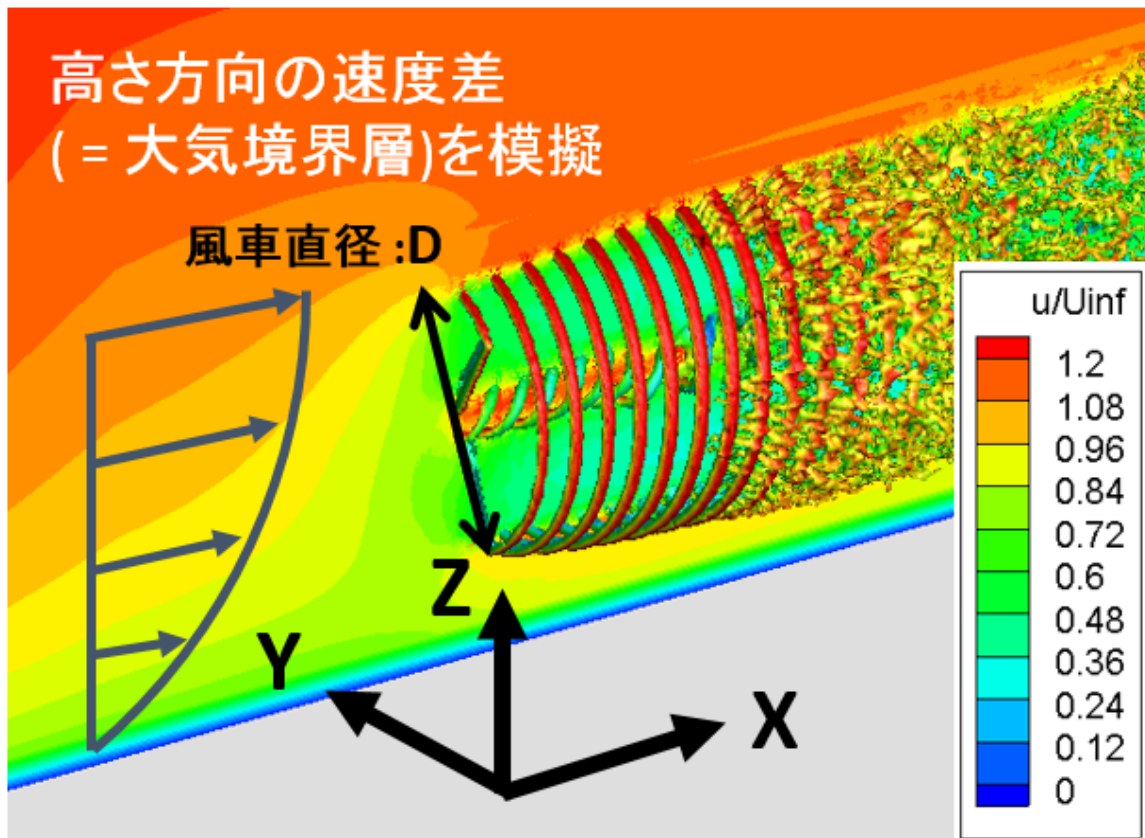


図1 大気境界層による速度差を考慮した後流解析

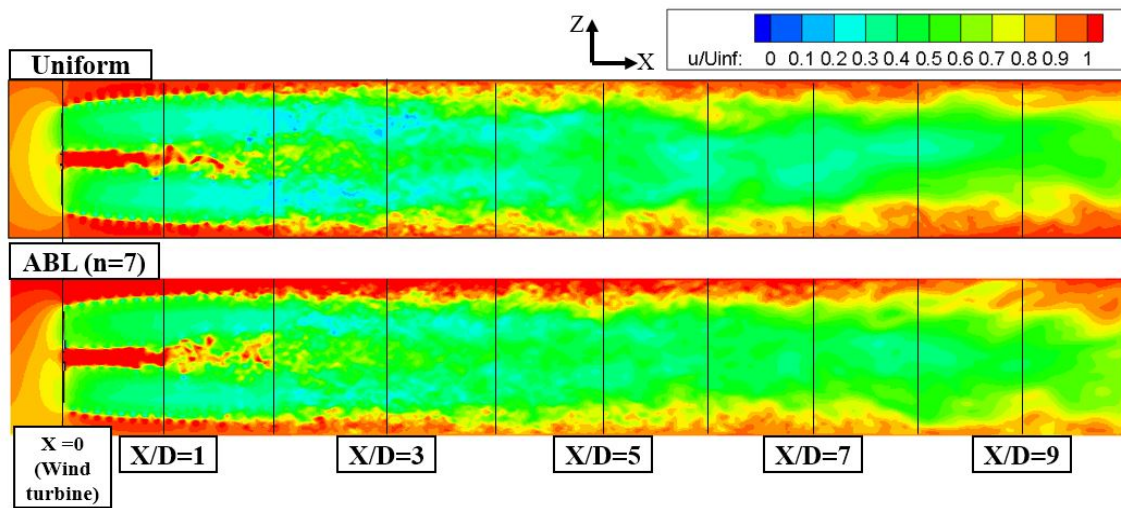


図2 風車後流域における主流方向速度コンター(上：一様流条件 下：大気境界層条件)



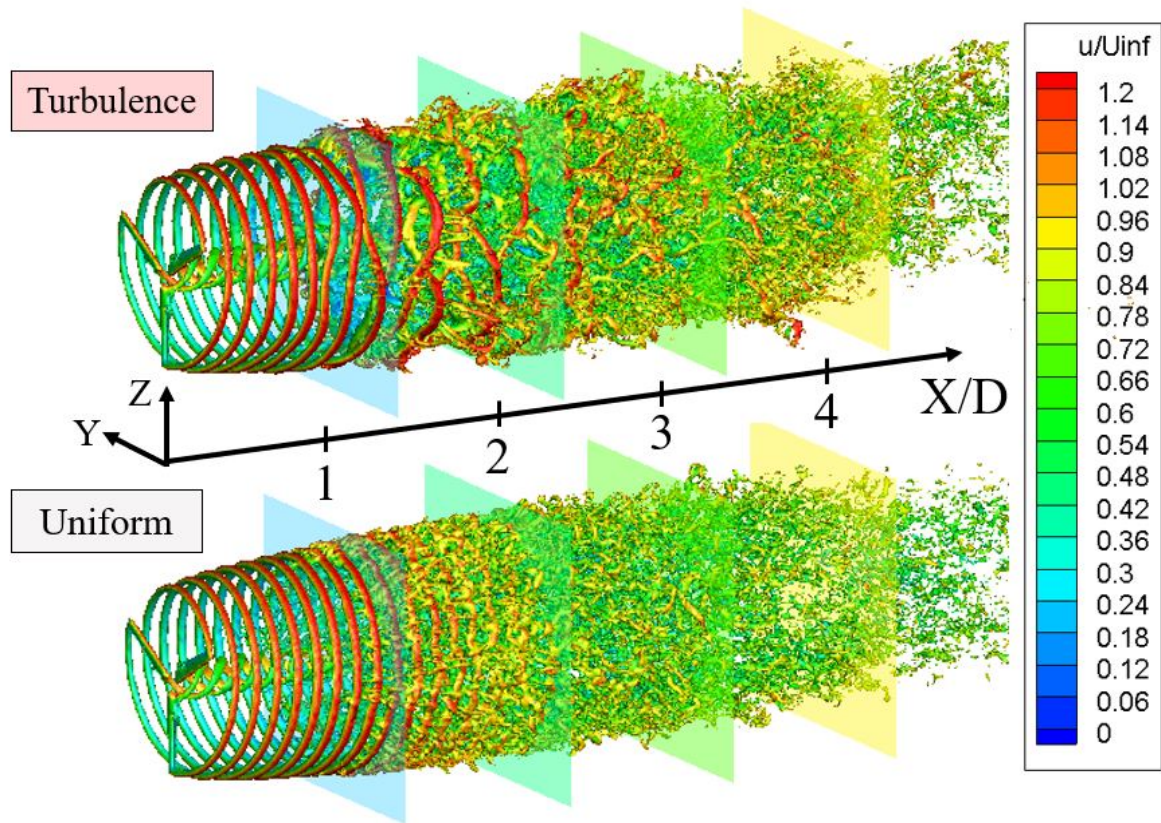


図3 風車翼端渦の可視化(上：大気乱流条件 下：一様流条件)

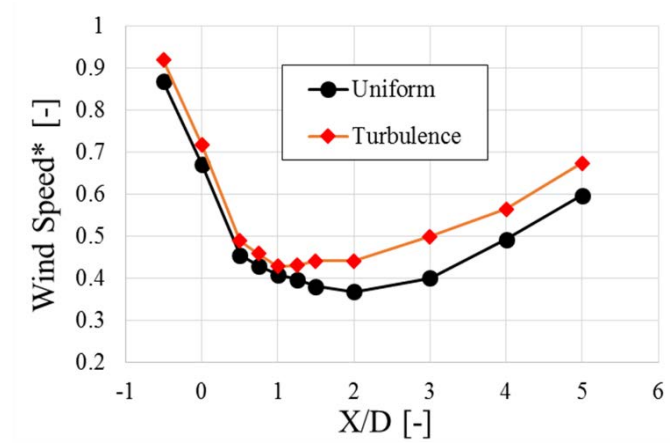


図4 後流域における平均主流風速の推移 (大気乱流条件 vs 一様流条件)

## ● 成果の公表

### ● 査読付論文

- 1) Keita Kimura, Yasutada Tanabe, Takashi Aoyama, Yuichi Matsuo, Chuichi Arakawa, and Makoto Iida, 'CFD simulations of a wind turbine for analysis of tip vortex breakdown,' Journal of Physics: Conference Series, 749 (2016) 012013, 2016

### ● 査読なし論文

- 1) 篠崎陽介,田辺安忠,青山剛史,松尾裕一,荒川忠一,大宮司啓文,飯田誠,“風車後流シミュレーションによる後流拡大の考察,” ながれ,36(6),pp.403-408,2017.

### ● 口頭発表

- 1) 篠崎陽介,田辺安忠,青山剛史,松尾裕一,荒川忠一,飯田誠,“風車後流に対する翼端渦放出周期の影響,” 第49回流体力学講演会/第35回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム,東京(2017 6 29),JSASS-2017-2025-F/A,2017.
- 2) 篠崎陽介,田辺安忠,青山剛史,松尾裕一,荒川忠一,大宮司啓文,飯田誠,“風車後流シミュレーションによる後流拡大の考察,”日本流体力学会年会 2017,東京(2017 8 31),pp.1-6,2017.
- 3) 篠崎陽介,田辺安忠,青山剛史,松尾裕一,荒川忠一,飯田誠,“風車後流エネルギー回復の翼端渦放出周期依存特性の解析,”日本機械学会 2017 年度年次大会講演論文集, 17(1),さいたま(2017 9 4),J0540206,2017.
- 4) Yosuke Shinozaki,Yasutada Tanabe,Takashi Aoyama,Yuichi Matsuo,Chuichi Arakawa,Hirofumi Daiguji,Makoto Iida,“Dependent characteristics of tip vortices on kinetic energy transition in wind turbine wakes”,WindEurope Conference & Exhibition 2017,Amsterdam(2017 11 30),PO153,2017.
- 5) Keita Kimura, Yasutada Tanabe, Takashi Aoyama, Yuichi Matsuo, Chuichi Arakawa, and Makoto Iida, 'Evaluation of wind turbine wake simulation focusing on grid resolution,' WWEC 2016, Tokyo, Japan, October, 2016
- 6) Keita Kimura, Yasutada Tanabe, Takashi Aoyama, Yuichi Matsuo, Chuichi Arakawa, and Makoto Iida, “CFD analysis of the effect of Atmospheric Boundary Layer on wind turbine wake,” AHS 73rd Forum, #28, Texas, USA, May, 2017.
- 7) 木村桂大,田辺安忠,青山剛史,松尾裕一,荒川忠一,飯田誠,“風車翼端渦崩壊過程の周速比特性,” 第49回流体力学講演会/第35回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム,1B08, 東京,2017.
- 8) Keita Kimura, Yasutada Tanabe, Takashi Aoyama, Yuichi Matsuo, Chuichi Arakawa, and Makoto Iida, “Numerical study of wake flow mixing in turbulence condition,” WindEUROPE Conference&Exhibition2017, Amsterdam, Netherlands, November, 2017.
- 9) 木村桂大,田辺安忠,青山剛史,松尾裕一,飯田誠,“数値解析にもとづく風車後流域の速度分布推移,” 第39回風力エネルギー利用シンポジウム,東京,2017.



## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |            |
|---------------|------------|
| プロセス並列手法      | MPI        |
| スレッド並列手法      | OpenMP     |
| プロセス並列数       | 2 - 8      |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 1000.00 時間 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.75

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 561,986.58   | 0.08          |
| SORA-PP  | 1,028,549.46 | 12.88         |
| SORA-LM  | 0.09         | 0.00          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 096.56        | 0.07          |
| /data      | 10,986.33     | 0.20          |
| /ltmp      | 2,197.27      | 0.17          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 0.00     | 0.00          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## インテークに関する研究

報告書番号：R17JTET10

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4342/>

### ● 責任者

青山剛史 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

橋本敦 hashimoto.atsushi@jaxa.jp

### ● メンバ

長尾志, 吉田秀和, 佐野正和

### ● 事業概要

JAXA では極超音速機実現に向けて離陸からマッハ5まで連続作動できる極超音速ターボジェットの研究開発が進められている。極超音速ターボジェットにおいてインテークはエンジンに入ってくる空気を減速・圧縮している。インテークの CFD 解析は風洞実験ではわからないインテーク内部での流れ場を可視化し、インテークの作動状態を把握することでより高効率なエンジン開発を行う。

<http://www.aero.jaxa.jp/research/frontier/hst/>

### ● JSS2 利用の理由

極超音速統合制御実験用インテークの性能調査を目的に、定常計算、非定常計算併せておよそ 30 ケースの 3 次元計算を行う必要があったため、CFD 解析には JAXA で開発された高速流体解析ソルバ FaSTAR を用いた。

### ● 今年度の成果

極超音速統合制御実験(High Mach Integrated COntrol experiment: HIMICO)用インテーク部は可変機構を有しており、第2,第3ランプの位置を調節することでインテーク高さを変えることが出来る。第2,第3ランプが側壁と干渉しないようこれらの間には1mmのクリアランスが存在する。このクリアランスをサイドクリアランスと称し、幅の長さを $w_{side}$ と表す。このサイドクリアランスの性能への影響を調査するため $w_{side}$ を変化させて数値解析を行った。

(図1)にはノズル高さ13mmのとき、(図2)にはノズル高さ9mmのときのマッハ数分布を示す。それぞれ図上部はセンターライン、図下部はセンターラインから16.5mm(側壁から5mm)平行移動させて面のマッハ数分布を示す。ノズル高さ13mmのときを見ると、センターラインにおいては $w_{side}=1$ mmのときに第2ランプ上で大規模な剥離が発生している。側壁方向に平行移動したのを見ると $w_{side}=1$ mmから0.5mmのとき第2ランプ上で剥離が発生しており、衝撃波がインテーク外部に漏れ出

ている．一方,ノズル高さ 9 mm のときではセンターラインにおいて  $w_{\text{side}}=1\text{ mm}$  から 0.5 mm において第 2 ランプ上で大規模な剥離が発生している．

(図 3)には各  $w_{\text{side}}$  の値における性能マップを示す． $w_{\text{side}}=0.5\text{ mm}$ , 0.75 mm, and 1 mm (供試体の再現) のとき,流量捕獲率:MCR では 5%未満の精度で実験値に一致しており, $w_{\text{side}}=0\text{ mm}$  のとき,MCR で 2%未満の精度で理論値に一致している．このことから理論値と実験値の違いの原因がサイドクリアランスにあることがわかった．また実験において MCR が減少する原因が第 2 ランプ上に生じる剥離による衝撃波が外部に漏れ出ることにあることがわかった．

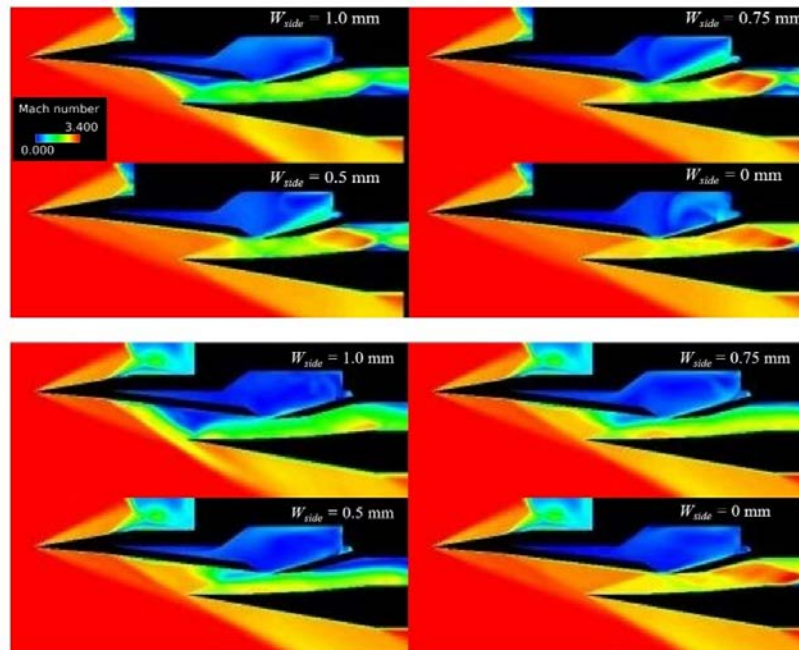


図 1 ノズル高さ 13 mm のときのマッハ数分布(センターライン;上部,側壁付近;下部)

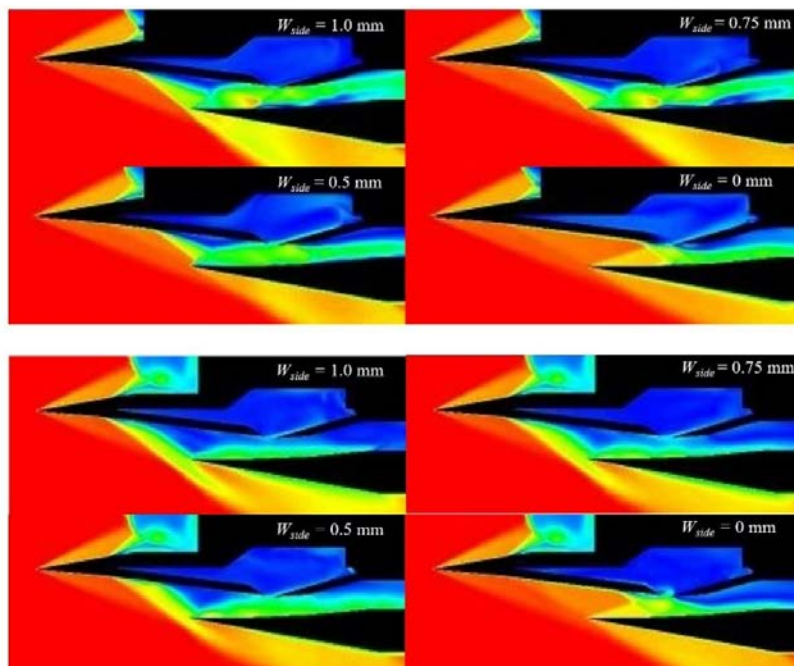


図 2 ノズル高さ 9 mm のときのマッハ数分布(センターライン;上部,側壁付近;下部)

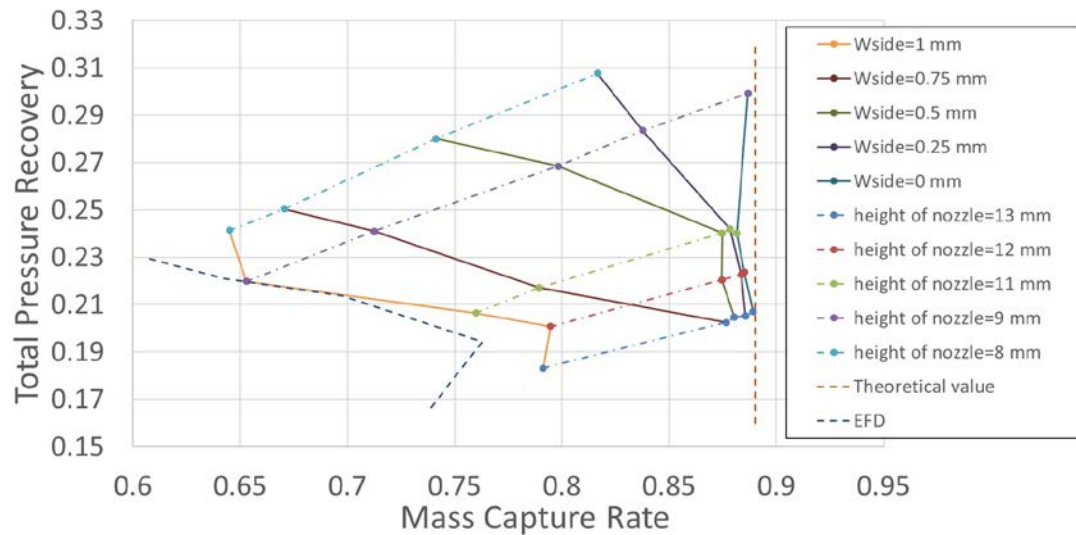


図 3 性能マップ

## ● 成果の公表

### ● 査読付論文

- 1) 長尾他, "超音速矩形インテークにおけるバズ発生に関する数値解析", 日本航空宇宙学会, 投稿中

### ● 口頭発表

- 1) Yoshida, H., et al., "Numerical Study of Hypersonic Air Intake Aerodynamics Performance for High Mach Integrated Control Experiment "HIMICO"", AIAA Propulsion and Energy Forum 2017
- 2) 吉田 他, "静粛超音速機インテークにおけるバズの発生予測に関する数値的研究", 第 55 回飛行機シンポジウム
- 3) 佐野 他, "極超音速統合制御実験(HIMICO)用インテークにおけるサイドクリアランスの影響", 平成 29 年度宇宙輸送シンポジウム
- 4) Yoshida, H., et al., "Numerical Study of Inlet Performance with Airframe/Propulsion Interference for High Mach Integrated Control Experiment "HIMICO"", AJCPP2018
- 5) 佐野 他, "超音速インテークにおける非定常振動の数値計算", 航空宇宙流体科学サマースクール

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |            |
|---------------|------------|
| プロセス並列手法      | MPI        |
| スレッド並列手法      | N/A        |
| プロセス並列数       | 512 - 1024 |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 12.00 時間   |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.93

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 7,438,629.22 | 0.99          |
| SORA-PP  | 26,731.96    | 0.33          |
| SORA-LM  | 2,995.19     | 1.54          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 495.91        | 0.34          |
| /data      | 29,296.89     | 0.54          |
| /ltmp      | 5,859.38      | 0.44          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 3.56     | 0.15          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合



## 再突入カプセルの遷音速不安定に関する研究

報告書番号：R17JTET12

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4343/>

### ● 責任者

青山剛史 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

小林憲司 knjkoba@chofu.jaxa.jp

### ● メンバ

小林憲司

### ● 事業概要

非定常流体ソルバーFaSTAR を用いて、大気突入カプセル後流の組織構造を調査した。大気突入カプセルは後流の非定常現象により、亜音域から遷音速域の飛行時に動的不安定性を示すことが知られている。本研究では、特に亜音速域のカプセル周りの流体现象を再現し、動的不安定のメカニズム解明に向けた考察を行った。

### ● JSS2 利用の理由

大気突入カプセル後流の流体现象を詳細に解析するために大きな計算コストが必要なため。

### ● 今年度の成果

$M=0.4, 0.8$  におけるカプセル後流の流体計算を行った。図2は揚力係数の周波数解析結果を示しており、 $St \approx 0.01$  の流体现象が再現されていることがわかる。 $St \approx 0.01$  はカプセルの動不安定の周波数に近い周波数域であり、動不安定メカニズムの解明にむけて重要な現象を再現することができた。

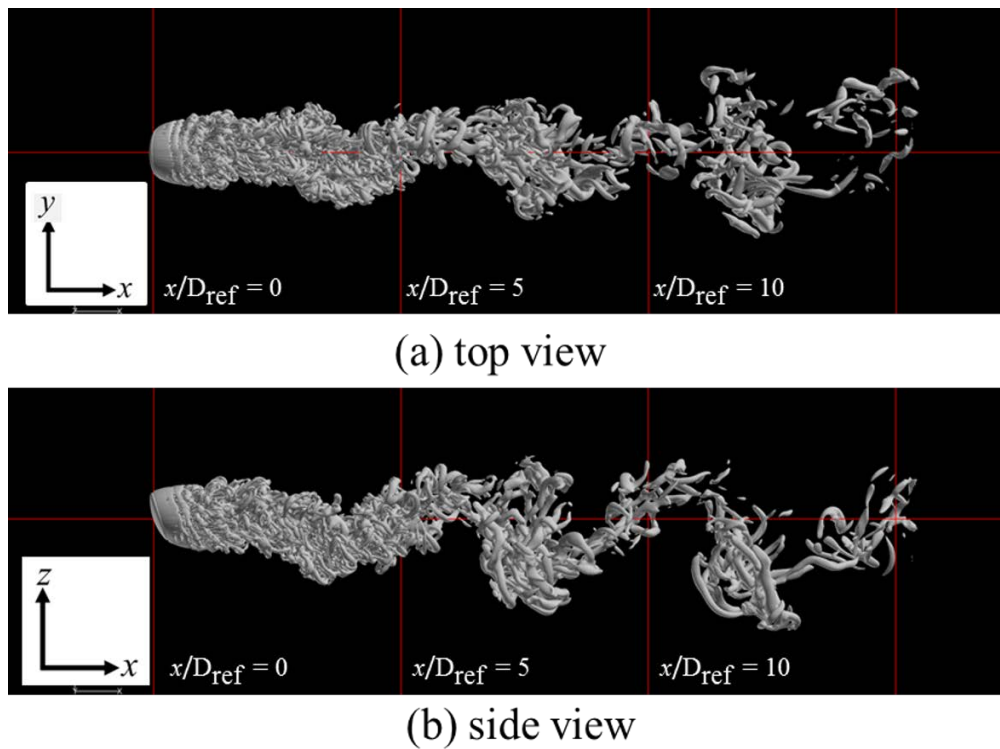


図1 M=0.4 におけるカプセル後流の瞬時場(Q 値の等値面)

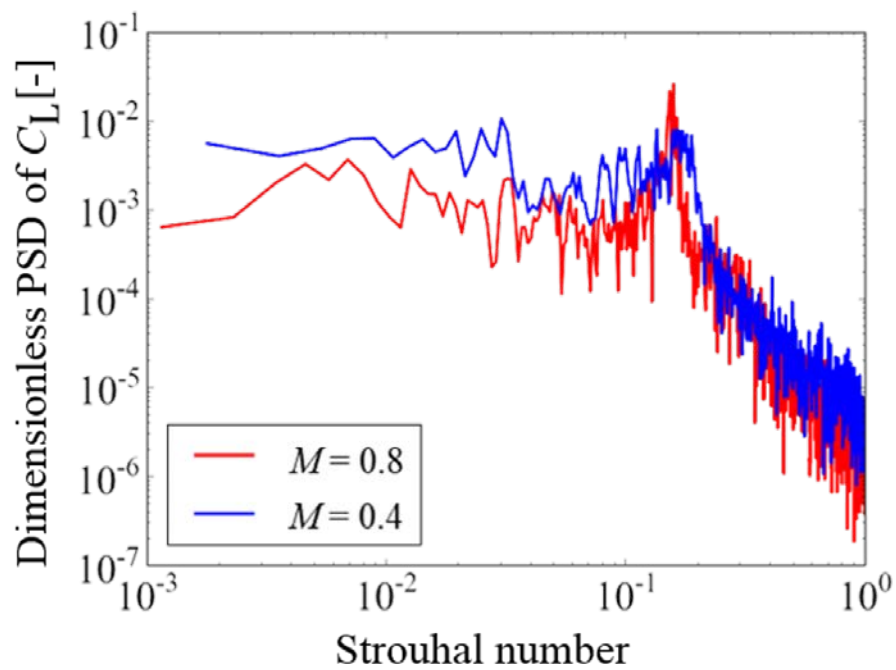


図2 揚力係数の周波数解析結果

## ● 成果の公表

### ● 口頭発表

- 1) 小林憲司, 大道勇哉, 金崎雅博 '大気突入カプセルの動不安定につながる亜音速非定常流の動的モード分解解析', 第31回数値流体力学シンポジウム, 京都工芸繊維大学, 2017年12月.

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |           |
|---------------|-----------|
| プロセス並列手法      | MPI       |
| スレッド並列手法      | N/A       |
| プロセス並列数       | 512       |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 700.00 時間 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.13

内訳

| 計算資源     |            |               |
|----------|------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h) | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 533,290.78 | 0.07          |
| SORA-PP  | 14,231.82  | 0.18          |
| SORA-LM  | 17,487.62  | 9.01          |
| SORA-TPP | 0.00       | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 238.42        | 0.17          |
| /data      | 42,480.49     | 0.79          |
| /ltmp      | 976.56        | 0.07          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 5.80     | 0.25          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## 抵抗低減機体設計技術の研究

報告書番号：R17JTET15

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4344/>

### ● 責任者

牧野好和 航空技術部門次世代航空イノベーションハブ

### ● 問い合わせ先

郭東潤 kwak.dongyoun@jaxa.jp

### ● メンバ

小林保鷹,山崎裕太朗,郭東潤,遠藤史歩子,安達弘貴,荻野翔矢

### ● 事業概要

航空機の燃料消費量削減及び空港騒音低減を目的とし,抵抗低減技術や空力構造等の統合設計技術の研究開発を行っている. 100-150 席クラスの旅客機を対象とし,誘導抵抗低減技術および摩擦抵抗低減技術を適用し低抵抗機体設計を行い,基準機 (TRA2012A)と比較し巡航揚抗比 7%向上を実現する機体形状(TRA2022)を創出することを目標とする.同時に,将来の低抵抗・低騒音航空機(TRA203X)技術として,unconventional 機体概念設計技術及び機体推進干渉効果・空港騒音推算技術を開発し,エンジンや騒音技術を合わせ 2030 年度前半に燃費 50%減,騒音 1/10 を目指す低騒音・低燃費機体の設計基盤技術を得ることを目的とする.

<http://www.aero.jaxa.jp/research/ecat/ecowing/>

### ● JSS2 利用の理由

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

### ● 今年度の成果

本研究では,研修生や共同研究などの外部との連携により,エコウィング技術の研究開発において航空機の燃費削減及び騒音低減を目標に巡航飛行時の抗力を低減させる空力技術,空力騒音を低減させる設計技術の研究を行った.

抵抗低減技術では,誘導抵抗低減する翼端形状の研究を行い有望な翼端形状を抽出した. 昨年度の解析により選択した 2 つに翼端形状(Split tip winglet と Downward rakelet)について数値解析を行い最終的な空力形状を設計した. Downward rakelet 形状では,翼端渦による干渉軽減による誘導抵抗低減に加

え衝撃波の発生を抑制させることで造波抵抗低減が得られ(図 1),基準形状に比べ翼のスパン長増の効果を含めて 3%程度の抵抗低減効果が得られた。

空力騒音低減技術では,高揚力装置前縁スラットから発生する空力騒音をスラット配置変更により減らす低騒音化設計法の研究を行った。スラット配置による空力・騒音最適化設計向けに低コストな定常 RANS CFD 結果を元にした簡易的な騒音評価目的関数を検討し,高忠実度非定常 DDES CFD 解析によりその妥当性を確認した。また,スラット配置最適化設計を行った結果を用い,流れ場変化と騒音変化の対応から騒音発生・低減メカニズムを調べ,低騒音化に向けた設計知識を得た。

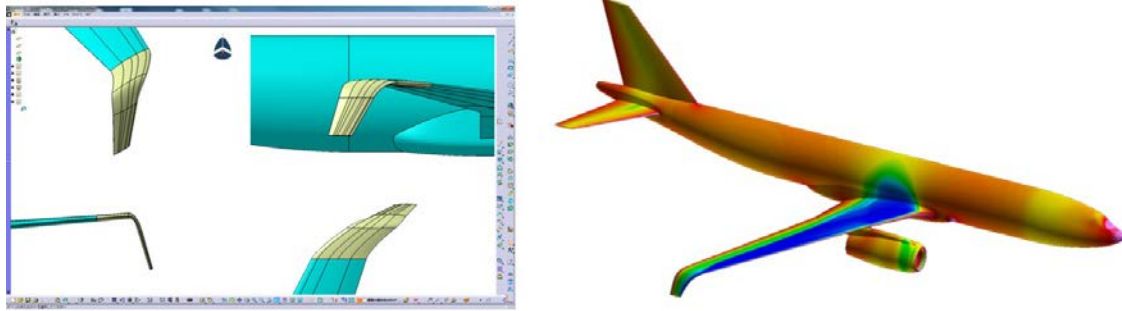


図 1 Downward Rakelet 形状

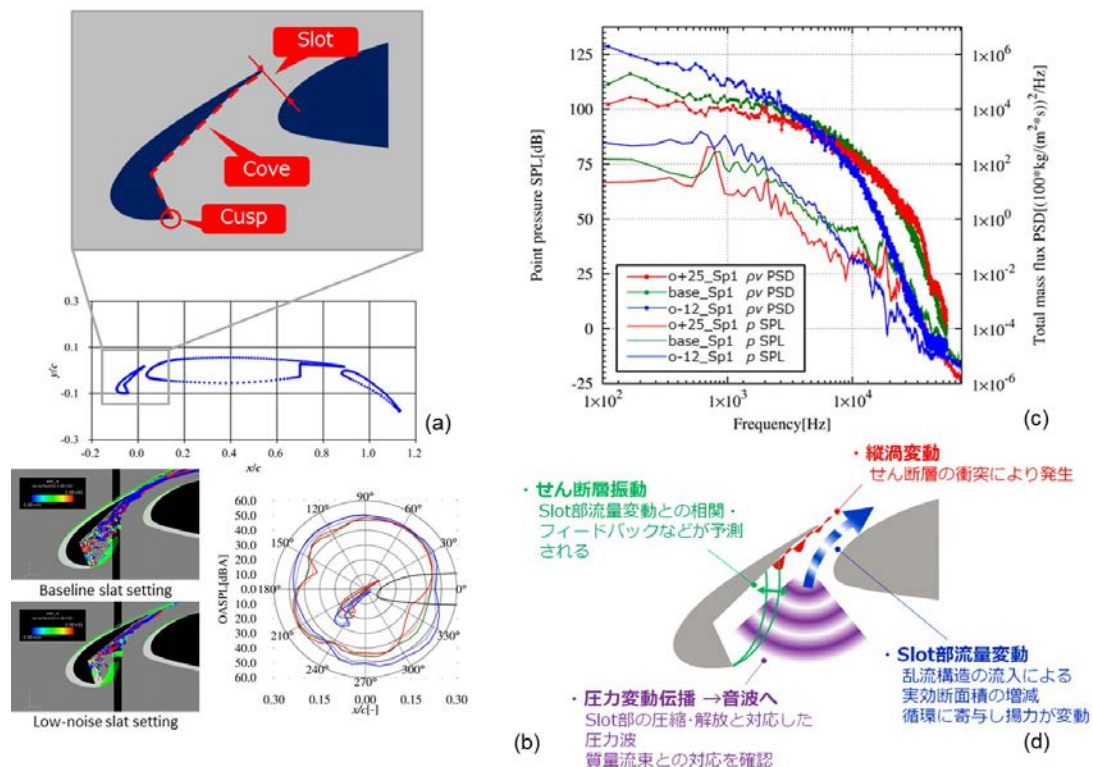


図 2 高揚力装置スラット空力・騒音配置最適化と騒音発生/低減メカニズムの調査:  
(a) 三翼素高揚力翼型, (b)非定常計算結果可視化(Q 値等値面を x 軸方向温度で色づけ)と騒音評価結果, (c)スラット配置変更によるスラット下方点における近傍場音圧値とスロット部を通過する質量流量の PSD 比較, (d) 計算データから考察した低周波騒音発生機構の概念図



## ● 成果の公表

### ● 査読付論文

- 1) 小田裕樹,湯原達規,李家賢一,"渦格子法を用いたスパン方向揚力分布の最適設計手法の検証", 日本航空宇宙学会論文集, 66 巻 (2018) 1 号 pp. 31-38.

### ● 口頭発表

- 1) 小林保鷹, "Reynolds Averaged Navier-Stokes 計算を用いたスラット配置最適化設計向け騒音評価パラメータの検討", 第 55 回飛行機シンポジウム, 2017.

## ● JSS2 利用状況

### ● 計算情報

|               |           |
|---------------|-----------|
| プロセス並列手法      | MPI       |
| スレッド並列手法      | OpenMP    |
| プロセス並列数       | 15 - 50   |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 300.00 時間 |

### ● 利用量

総資源に占める利用割合<sup>※1</sup> (%) : 0.18

内訳

| 計算資源     |              |                           |
|----------|--------------|---------------------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合 <sup>※2</sup> (%) |
| SORA-MA  | 1,038,242.42 | 0.14                      |
| SORA-PP  | 14,889.15    | 0.19                      |
| SORA-LM  | 8.52         | 0.00                      |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00                      |

| ファイルシステム資源 |               |                           |
|------------|---------------|---------------------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合 <sup>※2</sup> (%) |
| /home      | 889.49        | 0.62                      |
| /data      | 22,837.66     | 0.42                      |
| /ltmp      | 20,833.34     | 1.57                      |

| アーカイバ資源    |          |                           |
|------------|----------|---------------------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合 <sup>※2</sup> (%) |
| J-SPACE    | 62.92    | 2.71                      |

※1 総資源に占める利用割合 : 3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## 格子ボルツマン法に関する研究

報告書番号：R17JTET17

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4345/>

### ● 責任者

青山剛史 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

石田崇 ishida.takashi@jaxa.jp

### ● メンバ

山谷徹,浅岡大知

### ● 事業概要

本研究の目的は,bulk 粘性の影響を考慮した衝突項モデルを構築し,高 Re 数流れ解析における安定性を検証することである。衝突項モデルとして SRT(Single-Relaxation Time)を用い,衝突項に bulk 粘性の影響を与えた際の計算安定性と計算時間を比較するため,2次元せん断層流れの検証計算を実施した。これにより,bulk 粘性の影響を考慮した SRT では,低解像度の場合でも安定性および精度が向上することが見出された。

### ● JSS2 利用の理由

LBM による非圧縮性流体解析ソルバを用いた非定常計算は計算コストが大きく,高並列化によって処理を高速化するために JSS2 を利用している。

### ● 今年度の成果

SRT に bulk 粘性の影響を加えることで,高レイノルズ数および低解像度の場合でも計算が安定化し精度が向上した。

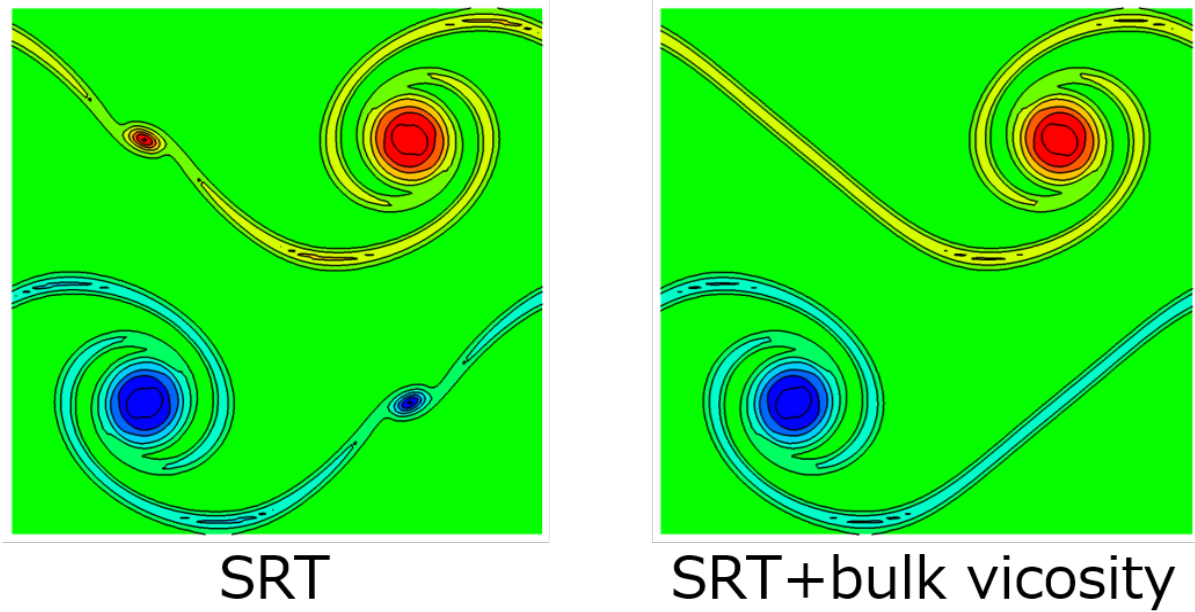


図1 2次元せん断層流れ(レイノルズ数 10000)

#### ● 成果の公表

- 口頭発表

- 1) 山谷徹, "格子ボルツマン法における衝突項モデルの性能評価", 第30回数値流体力学シンポジウム, (2016), B06-1.
- 2) 山谷徹, "格子ボルツマン法を用いた非定常流体解析と流れ場の統計量比較", 第31回数値流体力学シンポジウム, (2017), D08-1.

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |        |
|---------------|--------|
| プロセス並列手法      | MPI    |
| スレッド並列手法      | OpenMP |
| プロセス並列数       | 2      |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 90 秒   |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.34

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 2,528,479.04 | 0.34          |
| SORA-PP  | 0.00         | 0.00          |
| SORA-LM  | 0.00         | 0.00          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 486.37        | 0.34          |
| /data      | 48,923.51     | 0.90          |
| /ltmp      | 3,906.25      | 0.29          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 0.00     | 0.00          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## 流体素子による空気流量配分制御技術の研究

報告書番号：R17JTET18

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4346/>

### ● 責任者

山根敬 航空技術部門推進技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

吉田征二 yoshida.seiji@jaxa.jp

### ● メンバ

吉田征二(JAXA),牧田光正(JAXA),中村直紀(ASIRI),武石育海(早稲田大学)

### ● 事業概要

ジェットエンジンから排出される窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )を低減するために,希薄燃焼方式が有望であると考えられている.希薄燃焼方式の課題である燃焼が不安定になりやすいという点を解決するために,安定な燃焼を行うパイロットバーナと,希薄で低  $\text{NO}_x$  燃焼を行うメインバーナを組み合わせ用いられる.パイロットバーナとメインバーナに流れる空気流量配分を,機械的に動く部品を持たない流体素子で制御することにより,燃焼器の性能向上を目指す.

<http://www.aero.jaxa.jp/research/basic/propulsion/advanced-core-engine/>

### ● JSS2 利用の理由

流体素子の形状の最適化のためには,流体素子の形状に関するパラメトリックスタディを多数行う必要があるため,スパコンを用いた CFD 解析が必要.

### ● 今年度の成果

流体素子の性能向上を目的とし,異なる流路形状を持つ約 25 パターンの計算格子を作成し数値解析を実施した. 2本の出口流路を隔てるスプリッターの形状および位置を変化させることでスプリッター先端部において主流噴流が曲げられ,流体素子の性能目標値が達成できた.

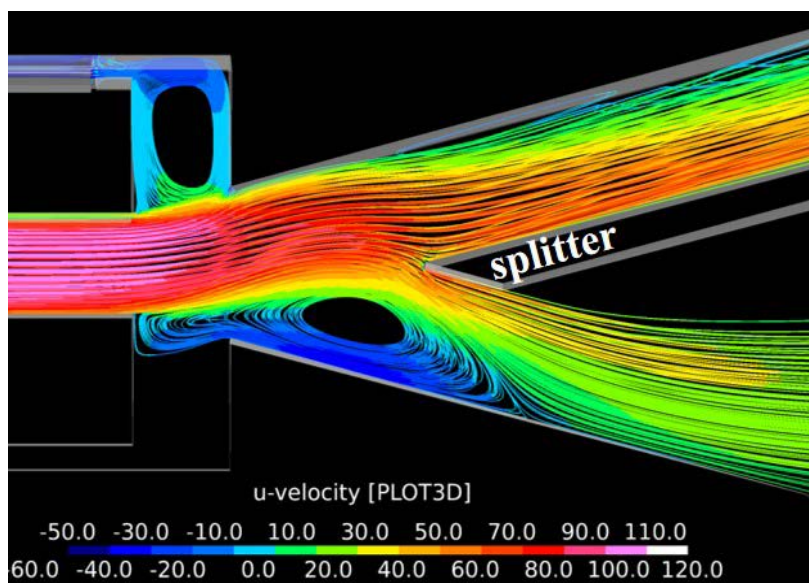


図 1 スプリッター形状変更前の流体素子内部の流線可視化図

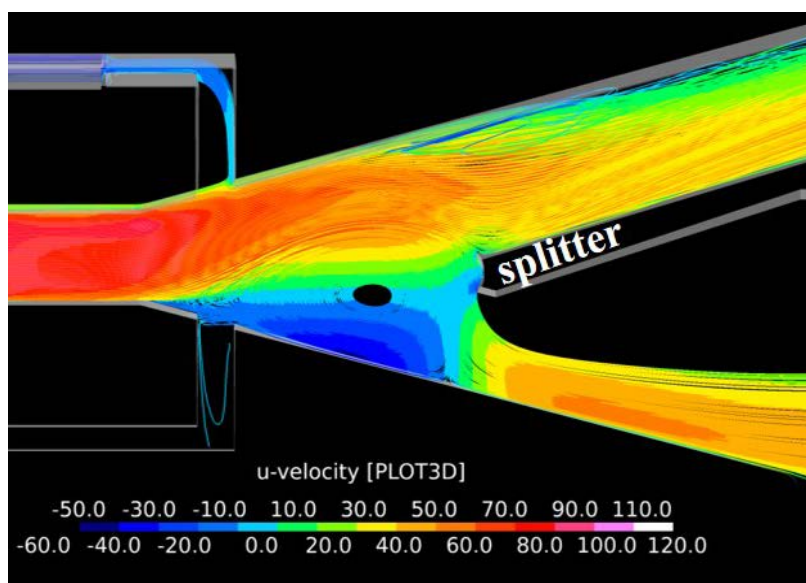


図 2 スプリッター形状変更後の流体素子内部の流線可視化図

## ● 成果の公表

なし



## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |          |
|---------------|----------|
| プロセス並列手法      | MPI      |
| スレッド並列手法      | 自動並列     |
| プロセス並列数       | 36       |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 50.00 時間 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.14

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 1,115,250.61 | 0.15          |
| SORA-PP  | 915.97       | 0.01          |
| SORA-LM  | 0.00         | 0.00          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 104.37        | 0.07          |
| /data      | 3,158.78      | 0.06          |
| /ltmp      | 3,472.22      | 0.26          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 0.14     | 0.01          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## 連携大学院:3次元バフェット解析に関する研究

報告書番号: R17JTET21

利用分野: 技術習得方式

URL: <https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4347/>

### ● 責任者

青山剛史 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

橋本敦 hashimoto.atsushi@jaxa.jp

### ● メンバ

小島良実, 齋藤陽一

### ● 事業概要

遷音速バフェットとは、遷音速飛行中の航空機において、翼上面に発生する衝撃波が振動する現象であり、航空機の安全性に大きな影響がある。

これまで、スパン方向に一様な形状を持つ2次元翼におけるバフェットが広く研究されてきた。一方、現実の航空機により近い3次元翼におけるバフェット現象の研究例は多くない。3次元翼におけるバフェットでは、スパン方向に衝撃波面が伝播することが知られているが、そのメカニズムの解明は不十分である。

本事業では、3次元翼におけるバフェット現象のメカニズムを明らかにすることを目的とする。後退角を変更した平行四辺形状の翼モデルについてCFD (Computational Fluid Dynamics) 解析を実施した。その結果、スパン方向への衝撃波面の伝播を再現することができた。また、翼後縁で発生する圧力波のコード方向への伝播が観察された。

### ● JSS2 利用の理由

本事業で解析した3次元バフェット現象は複雑な非定常流れであり、その解析には多くの計算資源を必要とする。そのため、スーパーコンピュータの利用が必須となる。また、大きな容量となる計算結果の分析にあたっては大容量メモリが必要となる。よって、数値計算の実行及び非定常データの分析にJSS2を利用した。

### ● 今年度の成果

(図1)および(図2)に後退角 $0^\circ$ と $15^\circ$ のケースにおける表面圧力係数 $C_p$ の時間変動を示す。図1の後退角 $0^\circ$ の結果をみると、衝撃波面が主に翼弦方向に振動している。また、振動は翼幅方向に一様であり、現象は2次元적이다。一方図2の後退角 $15^\circ$ の結果をみると、衝撃波面がスパン方向に伝播している様子が観察でき、3次元的な現象が発生している。また、衝撃波の伝播は翼の中間あたりから起きていることもわかる。

(図 3)に後退角  $15^\circ$  のケースで翼後縁から発生する圧力波（クッタ波）を可視化した連続画像を示す。キャプションは無次元時刻を示している。図 3 をみると、クッタ波は翼後縁に対して平行に発生し、上流へと伝播している。

以上のように、本研究では 3 次元バフエットの再現に成功した。また、翼後縁で発生したクッタ波が翼弦方向に伝播する様子を観察した。



図 1 表面圧力係数の時間変動（後退角  $0^\circ$  ）

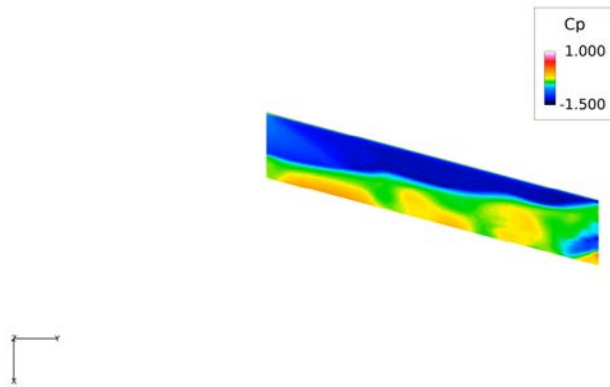


図 2 表面圧力係数の時間変動（後退角  $15^\circ$  ）

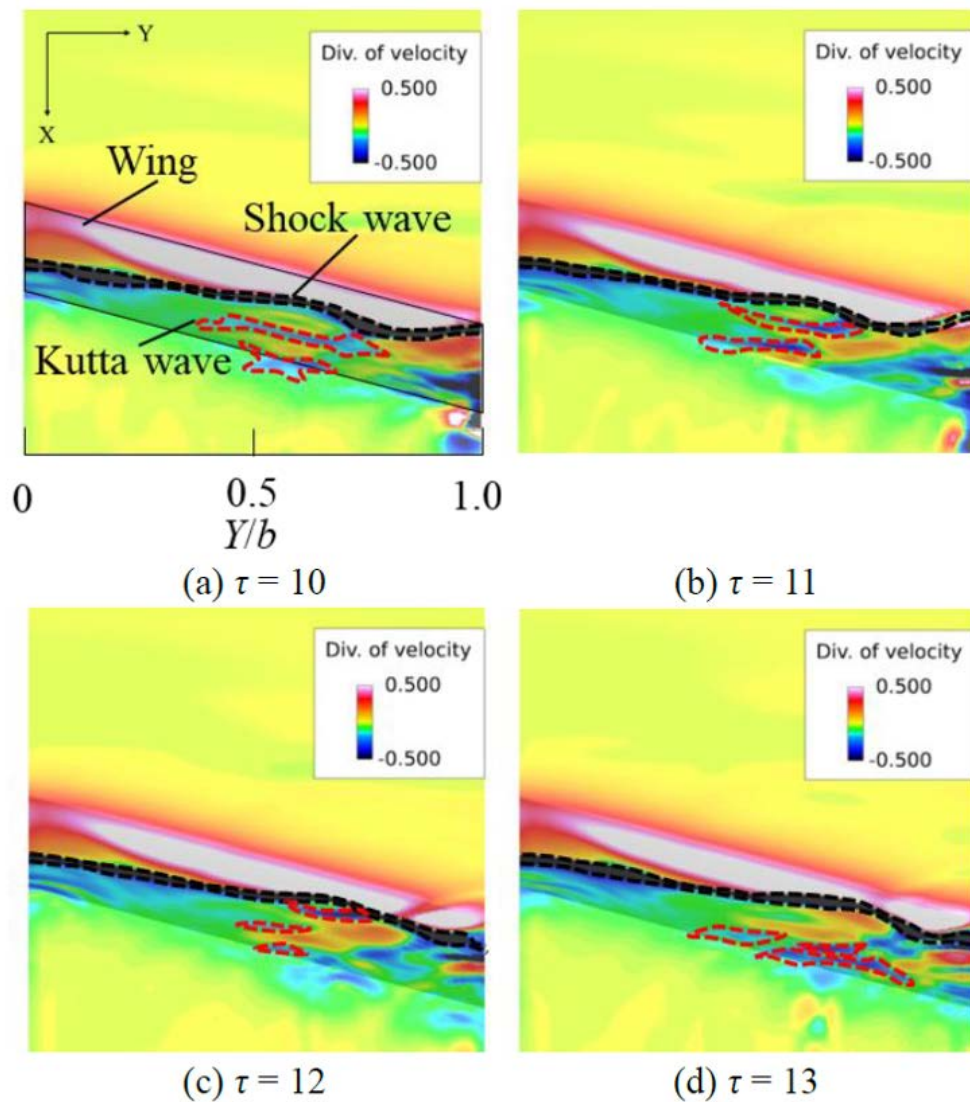


Fig. 5 Div. of velocity transition along a surface at  $Z = 0.5c$

図3 翼後縁で発生したクッタ波の伝播

## ● 成果の公表

### ● 査読付論文

- 1) 小島良実, 橋本敦, 青山剛史, 亀田正治, "三次元翼における遷音速バフエット特性のスパン方向変化," 日本航空宇宙学会論文集, 第 66 巻, 第 1 号, pp. 39-45, (2018).

### ● 口頭発表

- 1) Yoimi Kojima, Atsushi Hashimoto, Takashi Aoyama and Masaharu Kameda, "Variation in spanwise direction of transonic buffet on a three-dimensional wing," 31st International symposium on shock waves, Nagoya, Japan, (2017).

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |          |
|---------------|----------|
| プロセス並列手法      | MPI      |
| スレッド並列手法      | N/A      |
| プロセス並列数       | 320      |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 60.00 時間 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.92

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 7,331,969.95 | 0.96          |
| SORA-PP  | 40,867.27    | 0.51          |
| SORA-LM  | 180.59       | 0.09          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 104.90        | 0.07          |
| /data      | 19,531.26     | 0.36          |
| /ltmp      | 3,906.25      | 0.29          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 93.24    | 4.01          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## 航空エンジン燃焼器解析

報告書番号：R17JTET23

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4348/>

### ● 責任者

青山剛史 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

豊永塁 toyonaga.l.0121@ruri.waseda.jp

### ● メンバ

豊永塁

### ● 事業概要

環境適合性の高いジェットエンジン燃焼器開発に向けて、エンジン耐久性低下の原因となる燃焼振動に代表される圧力伝播と化学反応の双方を捉えることのできる実用的な計算コストを有する数値計算コードの開発に取り組む。また、本計算コードの妥当性を評価するため、DLR のスクラムジェットエンジン燃焼器を対象とした検証計算を行う。

### ● JSS2 利用の理由

燃焼計算コードの開発・検証計算に取り組む上で、スパコンの利用が必要となる。

### ● 今年度の成果

本研究では、密度ベースの流体解析ソルバである FaSTAR(FAST Aerodynamic Routines)に圧縮性 Flamelet モデルに基づく 燃焼計算コードの実装を実施した。また、Flamelet ライブラリ参照時の計算コスト低減のため、人工ニューラルネットワーク (ANN)モデルを適用した。ANN モデルには 2 つの入力ユニット(混合分率とスカラー消散率)、3 つの隠れ層、そして各化学種質量分率に対応する出力ユニットを与えた(図 1:OH 質量分率の ANN モデル)。

また、従来、混合分率とスカラー消散率によって得られていた Flamelet ライブラリに対して混合分率の分散を導入し、各化学種質量分率の乱流の影響を考慮した。これにより各化学種質量分率に乱流の影響が考慮され、Flamelet ライブラリの精度が向上した(図 2: 推定確率確率関数による Flamelet ライブラリの拡張)。



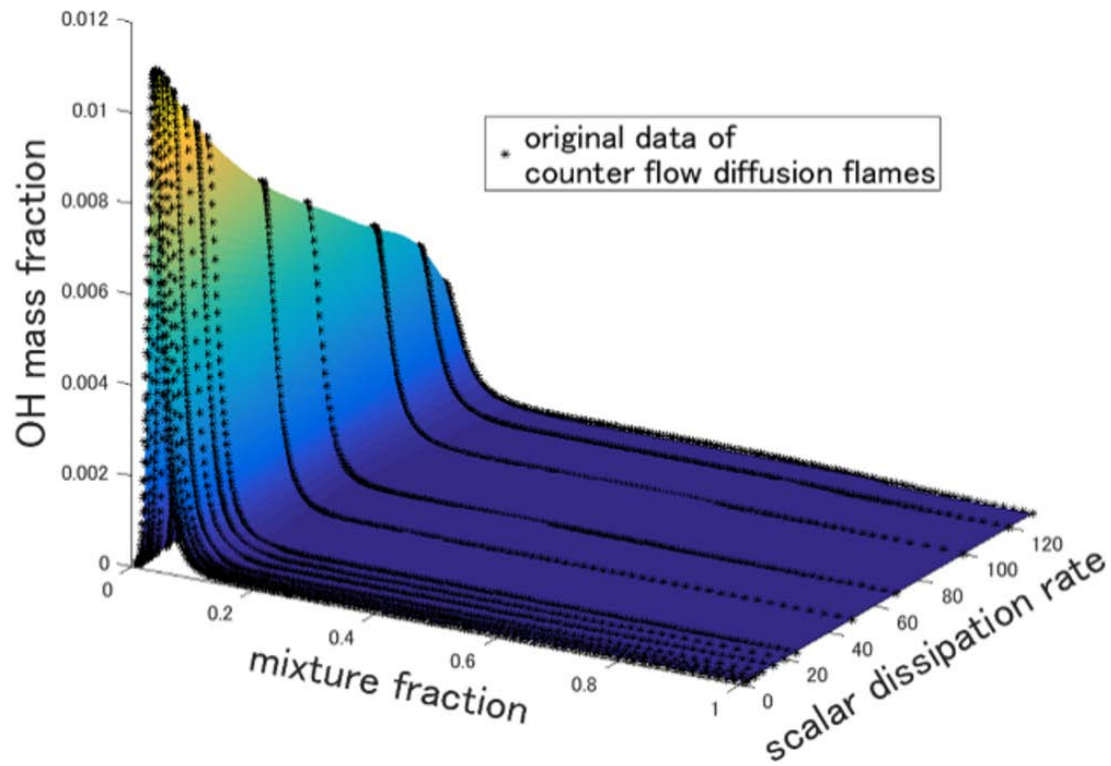


図1 OH 質量分率の ANN モデル

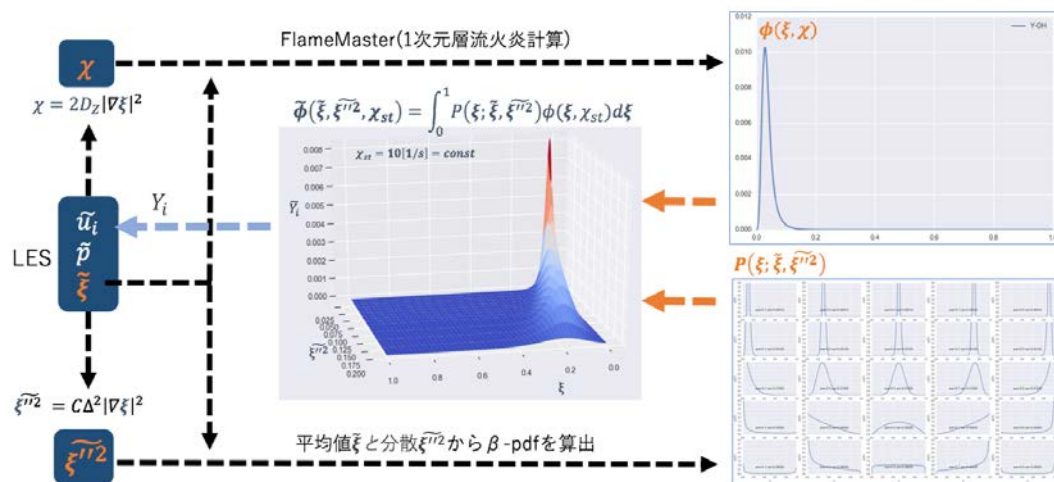


図2 推定確率確率関数による Flamelet ライブラリの拡張

## ● 成果の公表

### ● 査読なし論文

- 1) 豊永塁,山本姫子,溝渕泰寛,佐藤哲也,圧縮性流体解析ソルバ<sup>®</sup> FaSTAR を用いた超音速燃焼シミュレーション,JAXA Special Publication(宇宙航空研究開発機構),2017.12
- 2) 山本姫子,豊永塁,溝渕泰寛,佐藤哲也,G 方程式を用いた噴流浮き上がり火炎の数値解析,JAXA Special Publication(宇宙航空研究開発機構),2017.12

- 口頭発表

- 1) 山本姫子,豊永埜,溝渕泰寛,佐藤哲也,圧縮性流体解析ソルバ` FaSTAR を用いた噴流浮き上がり火炎の数値解析,第 57 回航空原動機・宇宙推進講演会,2017.3
- 2) 山本姫子,豊永埜,溝渕泰寛,佐藤哲也,G 方程式を用いた噴流浮き上がり火炎の数値解析,第 49 回流体力学講演会/第 35 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム,2017.6
- 3) Himeko Yamamoto, Rui Toyonaga, Yusuke Komatsu, Koki Kabayama, Yasuhiro Mizobuchi, Tetsuya Sato, Improvement of compressible flamelet model using artificial neural network, The Asian Joint Conference on Propulsion and Power, 2018.3

- JSS2 利用状況

- 計算情報

|               |           |
|---------------|-----------|
| プロセス並列手法      | MPI       |
| スレッド並列手法      | N/A       |
| プロセス並列数       | 2 - 1024  |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 150.00 時間 |

- 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.22

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 1,746,759.24 | 0.23          |
| SORA-PP  | 980.73       | 0.01          |
| SORA-LM  | 361.16       | 0.19          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 476.84        | 0.33          |
| /data      | 9,765.63      | 0.18          |
| /ltmp      | 1,953.13      | 0.15          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 0.00     | 0.00          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## スペースプレーンに関する研究

報告書番号：R17JTET24

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4349/>

### ● 責任者

佐藤英一 宇宙科学研究所宇宙飛翔工学研究系

### ● 問い合わせ先

丸祐介 maru.yusuke@jaxa.jp

### ● メンバ

今井真冬,向井智哉

### ● 事業概要

空気吸込式エンジンを搭載するスペースプレーンの空力設計およびその特性評価を CFD を用いて行う。

### ● JSS2 利用の理由

シミュレーション実行環境が良く整備されている。また,CFD ソフトが充実している。

### ● 今年度の成果

Fluent を利用して CFD シミュレーションを行った。

CFD の妥当性を確認するため,風洞実験を行った形態について CFD シミュレーションを行い,結果を比較した。揚力及び抗力について一致した結果が得られた。(図1)

スペースプレーンの空力形状にウェーブライダーのコンセプトを適用することを考えている。ウェーブライダーにおいて,空力形状を変化させることで,非設計マッハ数での性能を改善することを考え,CFD によってその効果や特性を評価した。翼端を曲げて衝撃波面に近づけることで設計マッハ数以下での性能改善を図ったが,性能にあまり変化はなかった。一方,翼を縮めることで,設計マッハ数以上で性能改善できることを示した。(図2)

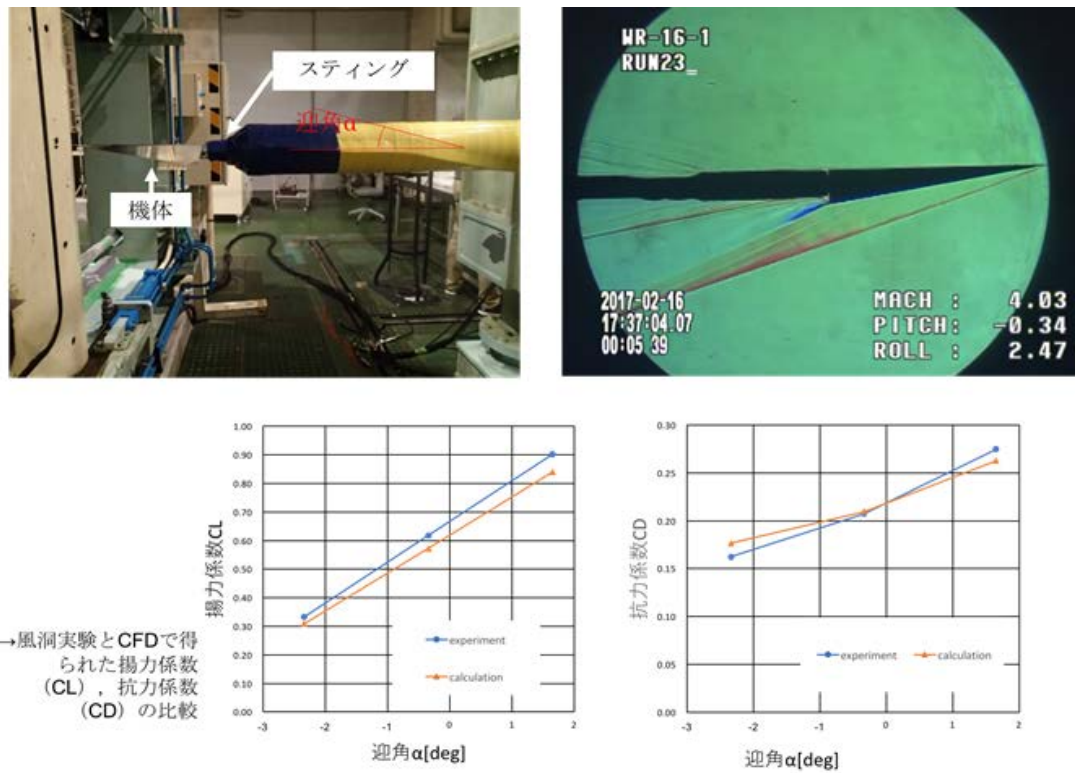


図1 風洞実験と CFD で得られた揚力および抗力係数の比較

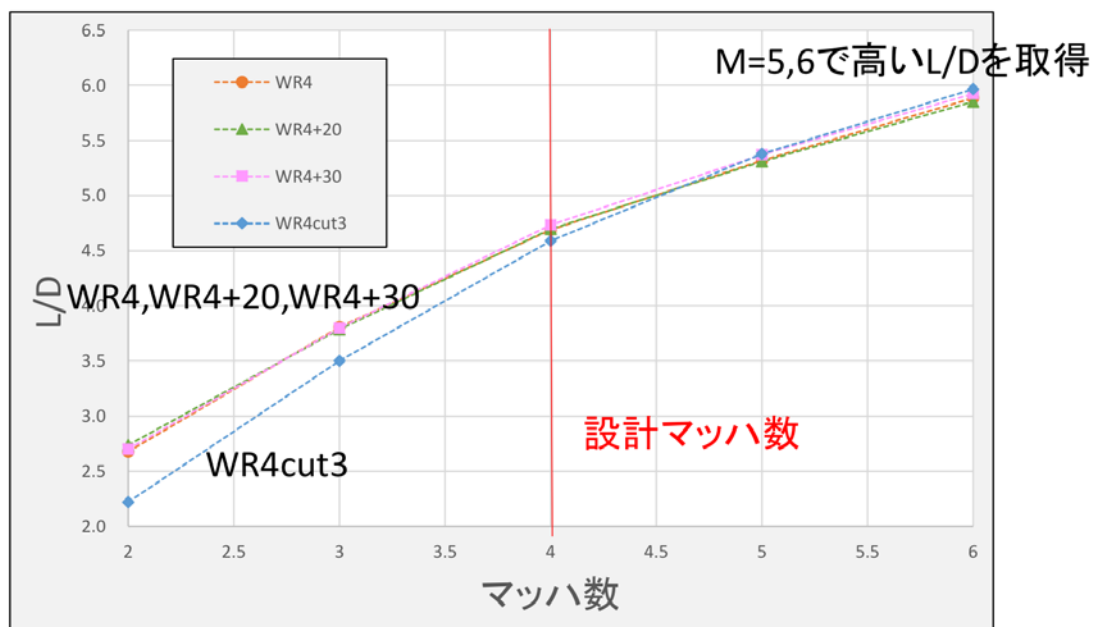


図2 空力形状変化の揚抗比への影響

## 衝撃波面と翼端の距離

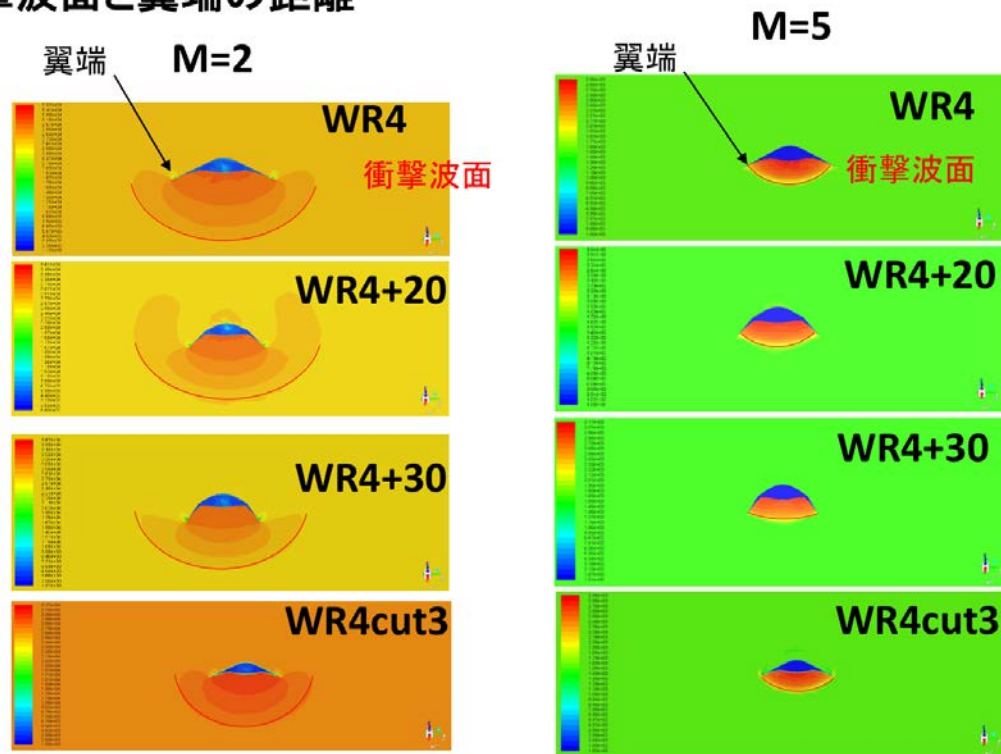


図 3 衝撃波面と翼端の関係

### ● 成果の公表

#### ● 口頭発表

- 1) 今井真冬, 真子弘泰, 丸祐介, 澤井秀次郎, "ウェーブライダー形状の翼変形による非設計点性能向上に関する研究", 第 61 回宇宙科学技術連合講演会, 2J14, 新潟, 2017/10
- 2) 今井真冬, 真子弘泰, 丸祐介, 澤井秀次郎, "ウェーブライダー形状の非設計点における空力性能に関する研究", 平成 29 年度宇宙航行の力学シンポジウム, 相模原, 2017/12

#### ● その他

- 1) 今井真冬, スペースプレーンの空力性能評価に関する研究, 修士論文, 帝京大学大学院, 2018

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |          |
|---------------|----------|
| プロセス並列手法      | 非該当      |
| スレッド並列手法      | N/A      |
| プロセス並列数       | 1        |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 10.00 時間 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.00

内訳

| 計算資源     |            |               |
|----------|------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h) | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 0.00       | 0.00          |
| SORA-PP  | 0.00       | 0.00          |
| SORA-LM  | 0.00       | 0.00          |
| SORA-TPP | 0.00       | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 019.07        | 0.01          |
| /data      | 190.73        | 0.00          |
| /ltmp      | 3,906.25      | 0.29          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 0.00     | 0.00          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合



## 乱流燃焼場を対象とした化学反応計算手法に関する研究

報告書番号：R17JTET25

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4350/>

### ● 責任者

青山剛史 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

小松湧介 ksw.koma2@asagi.waseda.jp

### ● メンバ

小松湧介

### ● 事業概要

極超音速旅客機の実現に向け、極超音速条件での機体・推進の統合制御技術の実証を目指した研究開発が進められている。実験機に搭載されるラムジェットエンジンの性能取得に必要なデータを燃焼試験だけで取得するのは困難であり、実験データの補間や燃焼器内の現象把握のため数値解析が必要とされている。そこで、JAXAが開発した高速流体解析ソルバ FaSTAR を基盤にして詳細反応機構を考慮した熱流体解析ソルバを開発する。また、開発したソルバの検証として2次元形状を対象にした解析を行う。

### ● JSS2 利用の理由

実燃焼器スケールで化学反応を含む数値解析を行うと、計算コストが非常に大きくなる。そのため、並列化を行うことができる JSS2 を利用した。

### ● 今年度の成果

JAXAが開発した高速流体解析ソルバ FaSTAR を基盤に、化学種輸送方程式と Arrhenius 型反応モデルの実装を行って、詳細反応機構を考慮できる熱流体解析ソルバを開発した。また、LU-SGS 法と Point-Implicit 法を組み合わせた時間積分法を実装した。

検証計算として2次元管内予混合流れを対象に本ソルバで数値解析を行い、解析解と定量的に一致する結果を得た(図1)。さらに、Burrows と Kurkov が行った超音速拡散燃焼実験を対象にした解析では、化学種質量分率や温度の分布に比較的大きな誤差が出たものの、それらの最大値については実験結果と一致する結果を得た(図2, 3)。

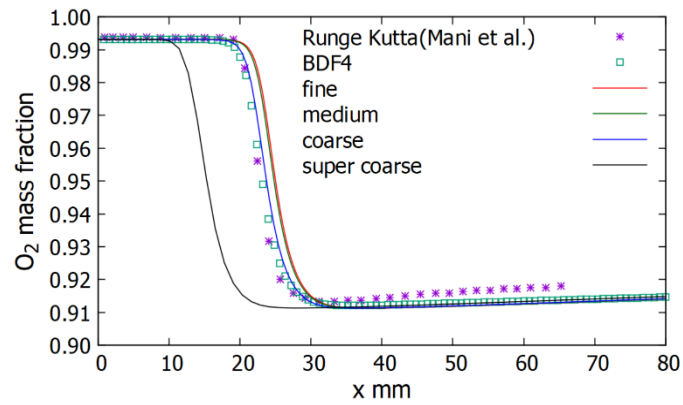


図 1 主流方向の O2 質量分率分布(実線：解析結果,プロット：解析解(定圧仮定))

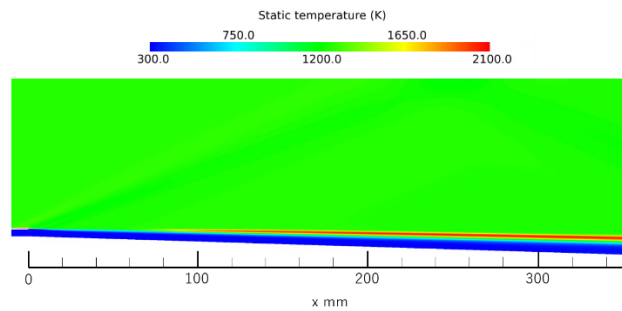


図 2 テストセクション内の静温分布

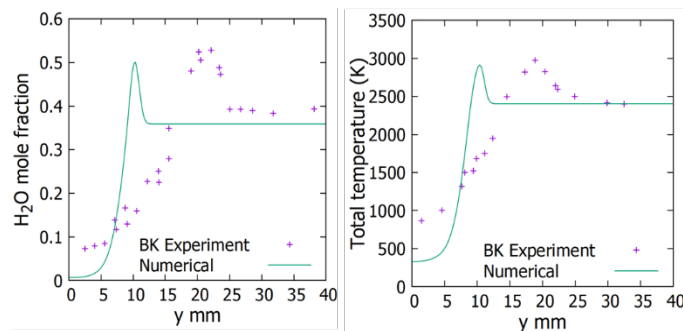


図 3 テストセクション出口の H2O 質量分率分布(左)および全温分布(右)(実線：解析結果,プロット：実験結果)

## ● 成果の公表

なし

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |           |
|---------------|-----------|
| プロセス並列手法      | MPI       |
| スレッド並列手法      | N/A       |
| プロセス並列数       | 32 - 64   |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 120.00 時間 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.68

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 5,618,850.84 | 0.75          |
| SORA-PP  | 3,882.99     | 0.05          |
| SORA-LM  | 1.60         | 0.00          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 476.84        | 0.33          |
| /data      | 9,765.63      | 0.18          |
| /ltmp      | 1,953.13      | 0.15          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 0.00     | 0.00          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## 低速バフエットに関する研究

報告書番号：R17JTET26

利用分野：技術習得方式

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2017/4351/>

### ● 責任者

青山剛史 航空技術部門数値解析技術研究ユニット

### ● 問い合わせ先

金森正史 kanamori.masashi@jaxa.jp

### ● メンバ

金森正史, 吉川貴広

### ● 事業概要

低速バフエットとは、低速かつ高迎角での飛行時に起こるバフエット現象である。航空機が安全に飛行するため、非定常現象であるバフエットの解析は重要であるが、今までは遷音速バフエットが主に研究されており、低速バフエットの研究例は少ない。バフエットとは主翼後流が胴体や尾翼にあたり機体を振動させる現象であるが、本事業では主翼後流が水平尾翼に与える影響を解析する。低速かつ高迎角時に起こるバフエット現象、低速バフエットの現象把握に向けて、実際の航空機形状に近いモデルを用いて RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 解析を行う。

### ● JSS2 利用の理由

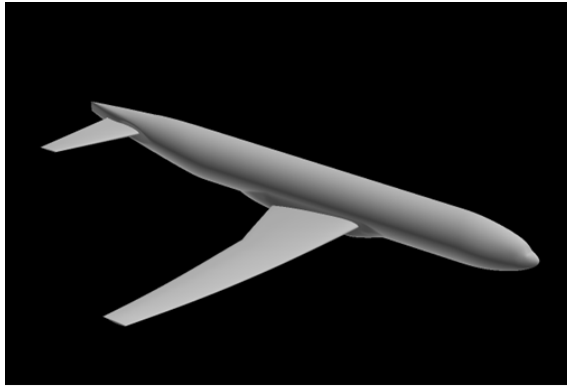
本事業では航空機全機モデルの解析を行う。また、現象把握のためには高解像度の格子が必要であり、多くの計算資源が必要である。そのような大規模な計算では通常多くの時間を有するが、スパコンを用いることで短時間で多くの結果を得ることができる。よってスパコンの利用は必要不可欠である。

### ● 今年度の成果

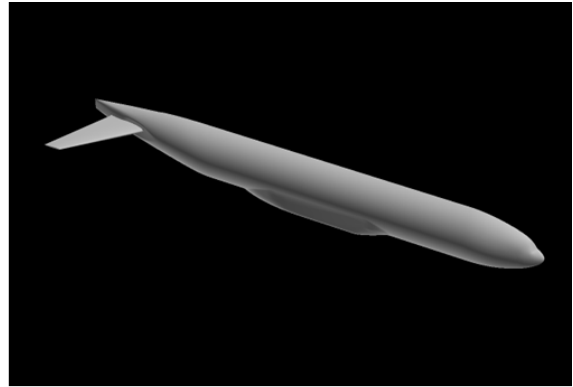
本事業では2つのモデルを比較する。1つは NASA Common Research Model (CRM) ,もう一方は NASA CRM より主翼を取り除いたモデルである。それぞれ model 1 と model 2 と呼称し、(図 1)に示す。

本事業では低速バフエットにおける水平尾翼の挙動に着目し、低速バフエットが起こるであろう迎角で比較を行いたい。しかし model 1 と model 2 では水平尾翼の有効迎角が異なる。これは model 1 において、水平尾翼は主翼の吹き下ろしの影響を受けるためである。そこで正確な比較検討を行うために、model 1 に関して、幾何迎角から有効迎角へと補正を行った。補正後の model 1 と model 2 の水平尾翼のみが発生する、迎角に対する揚力係数の変化を(図 2)に示す。

(図 2)より有効迎角 6deg から 8deg にかけて差異が大きくなっていることがわかる。これは model 1 の全機の揚力係数が急落（失速）する箇所と一致する。



model 1



model 2

図 1 model 1 および model 2

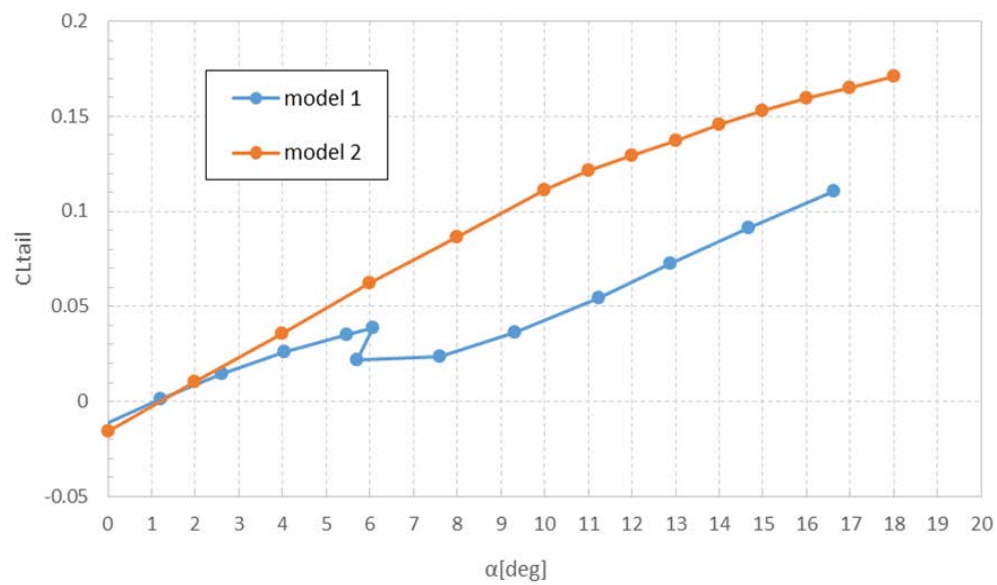


図 2 水平尾翼のみが発生する揚力係数の迎角に対する変化

## ● 成果の公表

なし

## ● JSS2 利用状況

## ● 計算情報

|               |          |
|---------------|----------|
| プロセス並列手法      | MPI      |
| スレッド並列手法      | N/A      |
| プロセス並列数       | 512      |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 12.00 時間 |

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.20

内訳

| 計算資源     |              |               |
|----------|--------------|---------------|
| 計算システム名  | コア時間(コア・h)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| SORA-MA  | 1,585,547.03 | 0.21          |
| SORA-PP  | 864.95       | 0.01          |
| SORA-LM  | 929.75       | 0.48          |
| SORA-TPP | 0.00         | 0.00          |

| ファイルシステム資源 |               |               |
|------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名  | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home      | 476.84        | 0.33          |
| /data      | 9,765.63      | 0.18          |
| /ltmp      | 1,953.13      | 0.15          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 0.00     | 0.00          |

※1 総資源に占める利用割合 : 3 つの資源(計算, ファイルシステム, アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合