

## フルフライトエンベロープの予測を目指した非定常流体解析に関する研究

報告書番号：R21JDA201N01

利用分野：航空技術

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2021/18357/>

### ● 責任者

青山剛史, 航空技術部門航空機ライフサイクルイノベーションハブ

### ● 問い合わせ先

小島良実, サンシカアンドレア(kojima.yoimi@jaxa.jp,sansica.andrea@jaxa.jp)

### ● メンバ

有菌 仁, 菱田 学, 橋本 敦, 林 謙司, 井手 優紀, 石田 崇, 加藤 宏基, 金森 正史, 松崎 智明, Andrea Sansica, 中元 啓太, 小島 良実, 杉岡 洋介, Paul Zehner, 上田 良穂, 保江 かな子, 山本 貴弘

### ● 事業概要

遷音速バフエットは航空機の翼に発生する衝撃波が激しく振動する現象であり, 航空機開発にあたってはこれを正確に予測する技術が求められている. 本研究では遷音速バフエットの高精度計算手法の確立を目的とし, Embedded Large Eddy Simulation (ELES)法の開発を行う. 2次元翼型を用いてELES法の技術を実証し, 最終的には3次元の旅客機形状における適用を目指す. また, 高速バフエットを低コストかつ高精度に予測する手法として, 全体安定性解析手法も開発する. NASA-CRM形状に対して, 高速バフエットのオンセットを予測して検証を行う.

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

ELESは壁面付近の乱流渦を高い解像度で計算する必要があるため, その実行には多くの計算資源を必要とする. また, 生産されるデータサイズも非常に大きく, 保存に大容量ストレージが必要であり, 可視化にも相応の計算負荷がかかる.

また, 全体安定性解析の実行にあたっては, JSSの利用は重要となる. 従来の局所的・1次元的な線形安定性解析は単純な形状にのみ適用されるが, 全体安定性解析は複雑形状周りの任意流れ場に適用可能である. 複雑形状に対する高精度な全体安定性解析には多くの計算資源が必要であり, JSSの利用が不可欠である.

### ● 今年度の成果

開発したELES法の動作を確認するため, OAT15A翼型を対象に遷音速バフエットのシミュレーションを行った. 翼の負圧面における渦構造を可視化した結果, 流入乱流が適切に導入されており,

ELES により乱流境界層と衝撃波の干渉が高精度に計算されていることが分かった (図 1)。また、揚力係数の時間変化により、バフエットオンセットを予測できることがわかった(図 2)。

全体安定性解析の研究では、3次元の複雑形状に対応した全体安定性解析を行うため、FaSTAR をベースに全体安定性解析コード(FaSTAR-GSA)を開発し、その動作を検証した。JTWT1 における実験結果と FaSTAR-GSA の結果を比較した結果、バフエットのオンセットを誤差 0.2 度以内できた。また、GSA の周波数とモードは、実験で得られた変動モードとよく一致した(図 3)。GSA モードを使用することにより、空間的な変動を調べることができる(図 4)。この検証を通して、FaSTAR-GSA が乱流、衝撃波、複雑・3次元形状、大規模格子の解析に対応しており、世界最高性能の全体安定性解析コードであることが分かった。

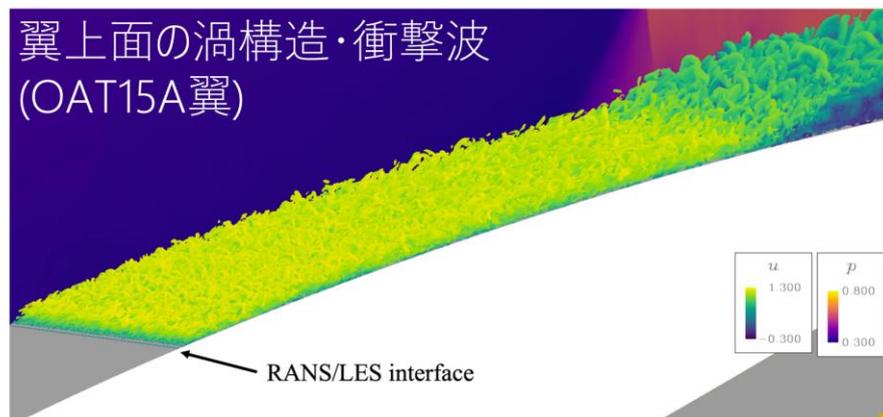
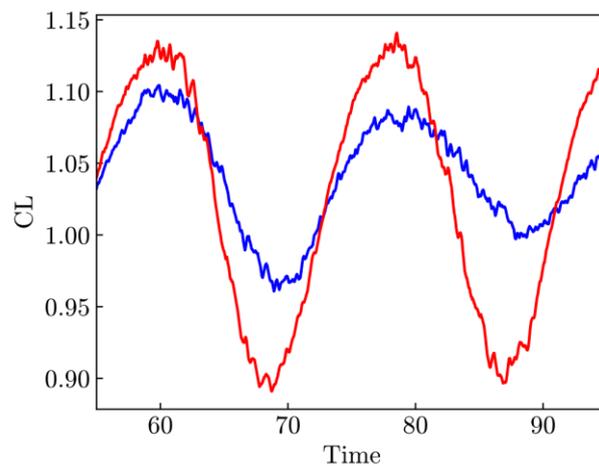


図 1: OAT15A 翼における渦構造と衝撃波の可視化



揚力係数の時間履歴 (OAT15A翼)  
青線:  $\alpha = 3.5^\circ$  (バフエットオンセット)  
赤線:  $\alpha = 4.0^\circ$

図 2: 揚力係数の時間変動

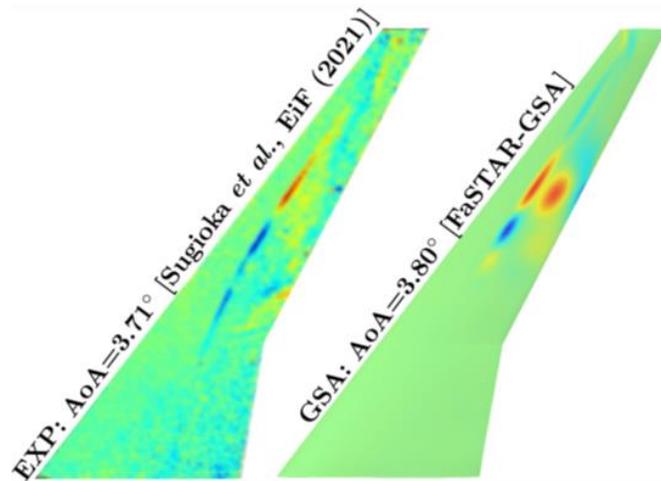


図 3: 実験と GSA のバフエットモードの比較

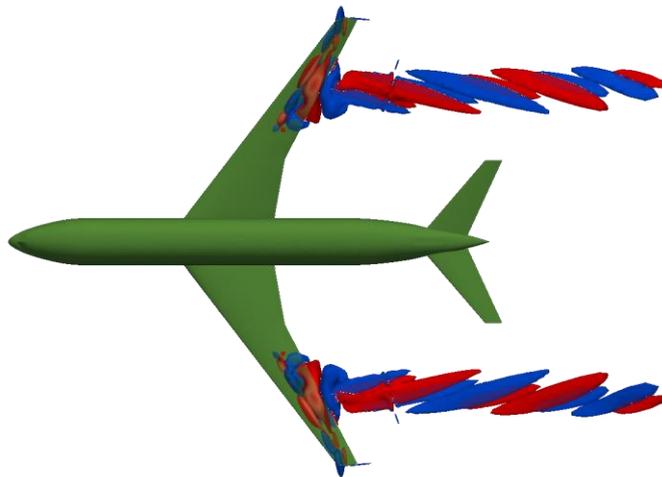


図 4: GSA の 3 次元の変動分布

## ● 成果の公表

-査読なし論文

1) Yoimi Kojima, Atsushi Hashimoto, "Embedded Large Eddy Simulation of Transonic Flow over an OAT15A Airfoil", AIAA 2022-0464, AIAA SCITECH 2022 Forum, January 3-7, 2022

2) 小島良実, 橋本敦, "Embedded-LES による OAT15A 翼周りの遷音速バフエット解析", 第 53 回流体力学講演会/第 39 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2021.

3) Andrea Sansica, Atsushi Hashimoto, Shunsuke Koike and Toshinori Kouchi, "Side-Wall Effects on the Global Stability of Swept and Unswept Supercritical Wings at Buffet Conditions", AIAA 2022-1972, AIAA SCITECH 2022 Forum, January 3-7, 2022

4) アンドレアサンシカ, 橋本敦 "Prediction and Characterization of Buffet for Complex Configurations Using Global Stability Analysis", 第 53 回流体力学講演会/第 39 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2021.

-招待講演

1) Andrea Sansica, "The role of CFD and numerical simulations in the 4th industrial revolution", invited speaker to Seminar Series at the Ecole des Mines de Saint-Etienne, Saint-Etienne, France

-口頭発表

1) Yoimi Kojima, Atsushi Hashimoto, "Embedded Large Eddy Simulation of Transonic Flow over an OAT15A Airfoil", AIAA 2022-0464, AIAA SCITECH 2022 Forum, January 3-7, 2022

2) 小島良実, 橋本敦, "Embedded-LES による OAT15A 翼周りの遷音速バフエット解析", 第53回流体力学講演会/第39回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2021.

3) Andrea Sansica, Jean-Christophe Loiseau, Masashi Kanamori, Atsushi Hashimoto and Jean-Christophe Robinet, "System Identification on Two-Dimensional Transonic Buffet", MMLDT-CSET Conference, September 29, 2021

4) Andrea Sansica, Jean-Christophe Loiseau, Masashi Kanamori, Atsushi Hashimoto and Jean-Christophe Robinet, "System Identification on Two-Dimensional Transonic Buffet", IFAR Workshop, November 4, 2021

5) Andrea Sansica, Atsushi Hashimoto, Shunsuke Koike and Toshinori Kouchi, "Side-Wall Effects on the Global Stability of Swept and Unswept Supercritical Wings at Buffet Conditions", AIAA 2022-1972, AIAA SCITECH 2022 Forum, January 3-7, 2022

6) Andrea Sansica and Atsushi Hashimoto, "Prediction and Characterization of Buffet for Complex Configurations Using Global Stability Analysis", 53rd Fluid Dynamics Conference / 39th Aerospace Numerical Simulation Symposium, 2021

-ポスター

橋本敦, サンシカ・アンドレア, 大道勇哉, 金森正史, "MBSE (Model Based Systems Engineering) を用いた航空機のデジタル統合設計に関する研究開発", JAXA 航空シンポジウム, 2021

● JSS 利用状況

● 計算情報

|               |            |
|---------------|------------|
| プロセス並列手法      | MPI        |
| スレッド並列手法      | 非該当        |
| プロセス並列数       | 256 - 9600 |
| 1 ケースあたりの経過時間 | 100 時間     |

## ● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 3.85

内訳

| 計算資源      |               |               |
|-----------|---------------|---------------|
| 計算システム名   | CPU 利用量(コア・時) | 資源の利用割合※2 (%) |
| TOKI-SORA | 86,151,277.08 | 4.19          |
| TOKI-ST   | 1,254,373.77  | 1.54          |
| TOKI-GP   | 172.67        | 0.11          |
| TOKI-XM   | 1,302.08      | 0.94          |
| TOKI-LM   | 89,187.94     | 6.65          |
| TOKI-TST  | 0.00          | 0.00          |
| TOKI-TGP  | 0.00          | 0.00          |
| TOKI-TLM  | 0.00          | 0.00          |

| ファイルシステム資源     |               |               |
|----------------|---------------|---------------|
| ファイルシステム名      | ストレージ割当量(GiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| /home          | 1,019.91      | 1.01          |
| /data 及び/data2 | 108,831.90    | 1.16          |
| /ssd           | 1,658.95      | 0.43          |

| アーカイバ資源    |          |               |
|------------|----------|---------------|
| アーカイバシステム名 | 利用量(TiB) | 資源の利用割合※2 (%) |
| J-SPACE    | 86.19    | 0.58          |

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

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

## ● ISV 利用量

| ISV ソフトウェア資源   |          |               |
|----------------|----------|---------------|
|                | 利用量(時)   | 資源の利用割合※2 (%) |
| ISV ソフトウェア(合計) | 4,555.87 | 3.19          |

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合