

インテーク・翼周りの CFD 解析に関する研究

報告書番号：R24JTET10

利用分野：技術習得方式

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2024/26983/

● 責任者

橋本敦, 航空技術部門 航空機 DX チーム

● 問い合わせ先

藤井 愛実(m-fujii@moegi.waseda.jp)

● メンバ

藤井 愛実, 小西 晃平, 小椋 圭大, 内田 康介

● 事業概要

近年急速に進展しているビジネスの高速化に対応するため、世界各国で超音速/極超音速航空機の研究開発が進められている。超音速/極超音速空気吸い込み式エンジンを実現するための課題の1つとして、バズが挙げられる。バズとは、超音速/極超音速インテークで発生する衝撃波の自励振動現象である。この現象は激しい圧力振動を伴いエンジンの破損につながる恐れがあることから、設計段階においてバズの静圧波形を予測し、設計に反映することが求められる。そこで、バズのメカニズム解明および静圧波形予測モデル構築を目的として CFD 解析を行った。また、高揚力装置周り流れの予測手法に関する研究も実施した。高揚力装置周りの流れ場は、非定常流れを伴う剥離が発生するため、正確な空力予測は依然として困難である。本研究では、高揚力装置周り流れの数値解析に RANS 法と WMLES 法を組み合わせたハイブリッド法を適用する。流体現象を考慮しつつ、格子依存性を明らかにすることで、小さな計算リソースで高忠実 CFD が実施可能な技術の開発を目指す。

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

バズは剥離と衝撃波の移動を伴う非定常現象であり、現象の再現には大きな計算コストを要する。JAXA スーパーコンピュータの使用により複数条件での再現が可能となった。高揚力装置周りの流れ場は非常に複雑であり、大規模な剥離を伴う非定常流れが発生する。このような流れの高忠実なシミュレーションには高い計算能力が必要であり、JAXA スーパーコンピュータを使用する必要がある。

● 今年度の成果

バズは、インテークの流入/流出流量の不均衡を伴う非定常現象(図1)であり、バズモデル構築においては流出流量の時間変化の予測がカギとなる。そこで、質量流量と密接に関係する密度および全温分布の挙動を調査した。その結果、バズ静圧上昇期間のうち期間 I2 では、高速度で前進する終端衝撃

波に伴い密度および全温分布が大きく急速に変化することが明らかとなった。一方で、静圧上昇期間のうち期間 I3 では、全温分布が対流の影響により変化していくことが明らかとなった。これらの結果に基づき、移動垂直衝撃波の理論式等を用いることで、出口ノズル前方における物理量を予測し、ひいては流出流量を予測するモデルを新たに構築した。構築したモデルをこれまで構築してきたバズモデルへ組み入れ、定量的に妥当にバズ静圧波形を予測できることを確認した(図2)。高揚力装置周り流れの解析では、30P30N 翼型を対象とした RANS/WMLES ハイブリッド手法により CFD 解析を FaSTAR を用いて実施した。高忠実なシミュレーションが必要な領域に WMLES を適用し、そうでない領域に RANS を適用することで計算コストの削減を図った。RANS 領域と WMLES 領域の配置を工夫し、最も物理的に忠実度の高い結果が得られる配置を探索した。流れ場の可視化結果(図3)や表面圧力係数分布(図4)を詳細に検討した結果、翼の負圧面に RANS 領域を配置することで、物理的に妥当な結果が得られることが分かった。

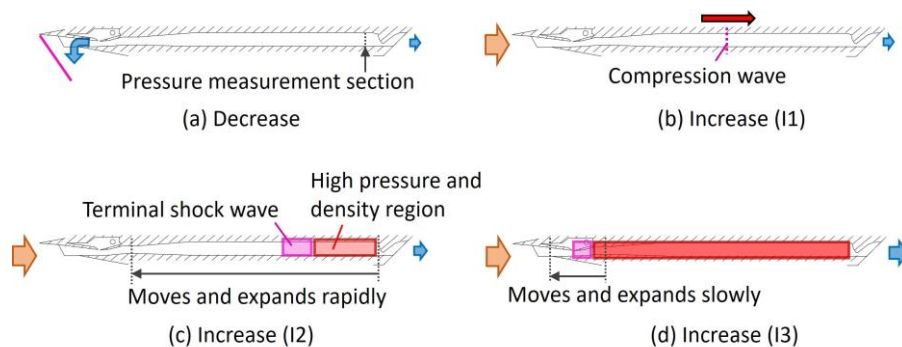


図 1: インテークバズの概要

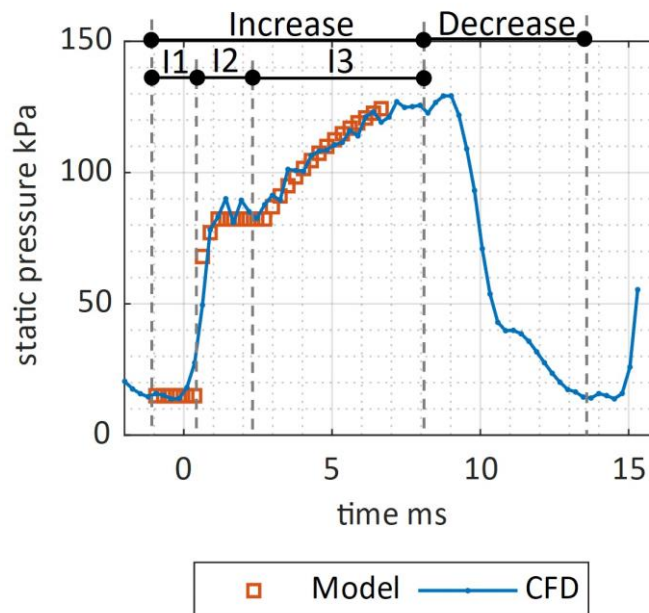


図 2: バズ静圧波形予測モデルの出力 (CFD 解析結果の計測断面を図 1(a)に示す)

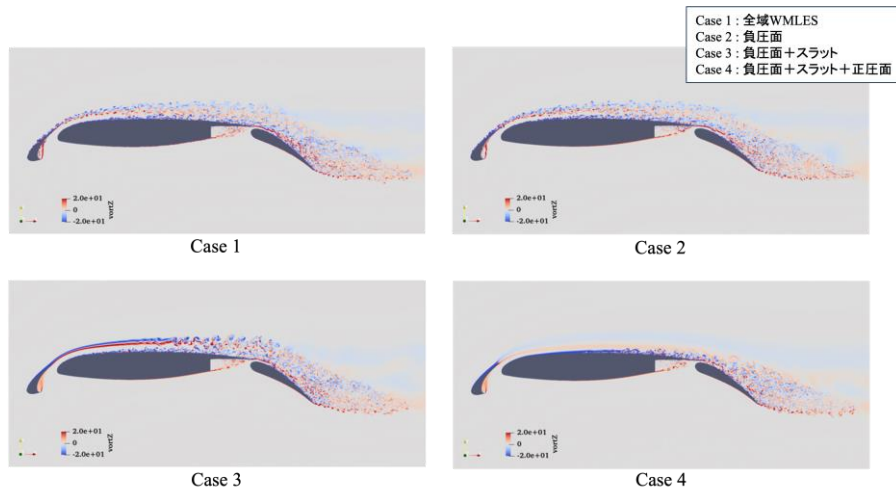


図 3: 高揚力装置周り流れにおけるスパン方向渦度分布

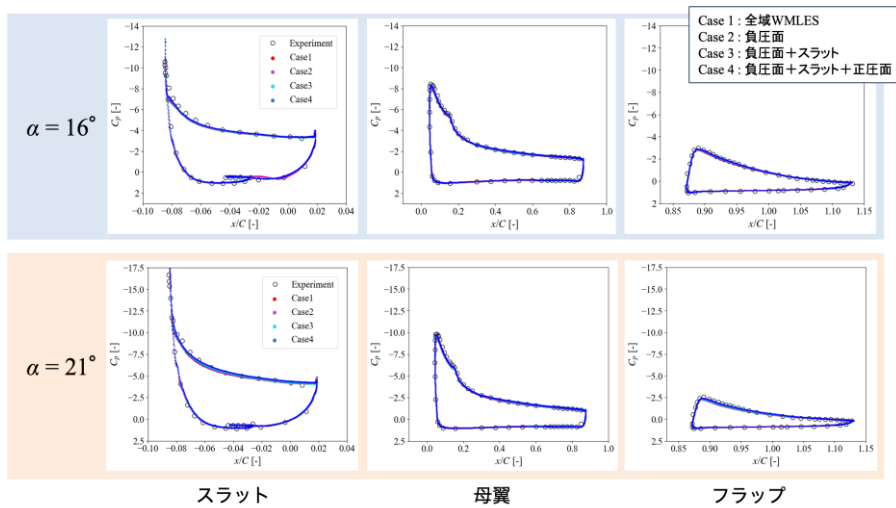


図 4: 翼表面圧力の分布

● 成果の公表

-査読付き論文

1) Fujii, M., Sato, T., and Taguchi, H., Investigation of Intake Buzz Focusing on Shock Wave Movement and Inflow/Outflow Balance, Journal of Propulsion and Power, accepted.

-口頭発表

1) Fujii, M., Sato, T., Hashimoto, A., and Taguchi, H., Mechanism Investigation of Density Distribution Change during Buzz in Ramjet Intake, 2024 AIAA AVIATION, AIAA 2024-3917, Las Vegas, Jul. 2024.

2) 内田, 小島, 青山, 高揚力装置周り流れの RANS/WMLES ハイブリッド法による数値解析, 第 38 回 数値流体力学シンポジウム, 東京, 2024.

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	非該当
プロセス並列数	96 - 4608
1 ケースあたりの経過時間	96 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.70

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	17,819,534.40	0.82
TOKI-ST	92,465.33	0.09
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	2,260.43	1.10
TOKI-LM	12,419.94	0.90
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	775.83	0.52
/data 及び/data2	48,121.67	0.23
/ssd	5,438.33	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	0.38	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

● 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)	4,401.10	3.01

※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