

低レイノルズ数領域でプロペラ後流の影響を受ける物体の数値解析

報告書番号：R22JACA43

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2022/20592/>

● 責任者

北村圭一, 横浜国立大学

● 問い合わせ先

古澤善克(furusawa-yoshikatsu-vz@ynu.jp)

● メンバ

古澤 善克, 北村 圭一, 鈴木 恵太, 坂爪 竣哉

● 事業概要

火星探査機の新しい形態として、日本では JAXA を中心に火星飛行機の研究開発が進んでいる。火星大気は密度が小さく、火星飛行機は低レイノルズ数領域を飛行することになるため、地球上を飛行する飛行機とは機体周囲の流れ場が大きく異なる。さらに、火星飛行機はプロペラ推進であるが、プロペラを有する航空機ではプロペラ後流が固定翼や胴体周りの流れと干渉することで、飛行性能に影響を与えることが知られている。この干渉は、高レイノルズ数領域においても発生するため、eVTOL のような地球飛行機においても重要な空力現象である。本研究では数値計算を用いて、低レイノルズ数領域から高レイノルズ数領域の幅広い条件においてプロペラ後流が固定翼や胴体周りの流れ場に非定常的に与える影響を明らかにすることを目的とする。

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

JAXA で開発された流体解析ソルバ rFlow3D, FaSTAR および FaSTAR-Move を用いた大規模な 3 次元数値計算を行うため、JSS3 を使用した。これにより、高速に複数の計算を行うことができる。

● 今年度の成果

本事業では、東北大学で行われた風洞実験に基づいた風洞スケールの模型(非圧縮流れ)と実機スケールの模型(プロペラ付近は圧縮性流れ)周りの流れ場を比較することで、実際の火星での飛行時に生じるプロペラ周りの圧縮性の影響がその後流中の固定翼の空力特性に与える影響を調査する。プロペラ後流の固定翼への影響を調査する前段階として、まずは固定翼を除いてプロペラのみをモデル化して非定常数値計算を行った。どちらのスケールでもプロペラ進行率は $J = 0.8$ 、レイノルズ数は $Re \sim 18,000$ (ブレードの半径方向 75%位置でのコード長基準)で一定とした。プロペラ回転数は 4500rpm であり、迎角は 0° とした。この時、風洞スケールではプロペラ翼端マッハ数は $M_{tip}=0.10$ 、実機スケールでは $M_{tip}=0.10$ とした。

ールでは $M_{tip}=0.52$ となる。

図1はプロペラのスパン方向63%位置でのQ値分布の瞬時場(プロペラが鉛直上向きの時)を示している。風洞実験スケールでは剥離せん断層から複数の渦が形成されている一方で、実機スケールでは渦が形成されておらず、圧縮性がせん断層を安定化させていることが確認できる。図2はプロペラ1周中にプロペラ回転面に働く法線力係数分布を示している。実機スケールではプロペラの回転に伴う法線力係数の変動が風洞実験スケールよりも弱まっていることがわかる。以上より、圧縮性がせん断層を安定化させることでプロペラに生じる振動が弱まることを明らかにした。その差異がプロペラ後流中に置かれた固定翼に与える影響を現在調査中である。

本事業ではまた、高レイノルズ数領域である eVTOL の水平飛行時を模擬した非定常計算を行った。プロペラおよび胴体周りの流れ場を解くことで、それらの間で発生する空力干渉を調査した。一様流速は $M = 0.1$ 、レイノルズ数は $Re = 3,700,000$ である。プロペラの回転数は 1800 rpm であり、取り付け角は 11° とした。

図3はQ値等値面および表面圧力係数分布の瞬時場を示している。プロペラより発生した翼端渦に沿って、胴体表面が低圧になっていることが確認できる。このことから、空力干渉において翼端渦が及ぼす影響を明らかにした。現在は、胴体とプロペラの干渉のみならず、固定翼との干渉も含めた三者空力干渉について調査中である。

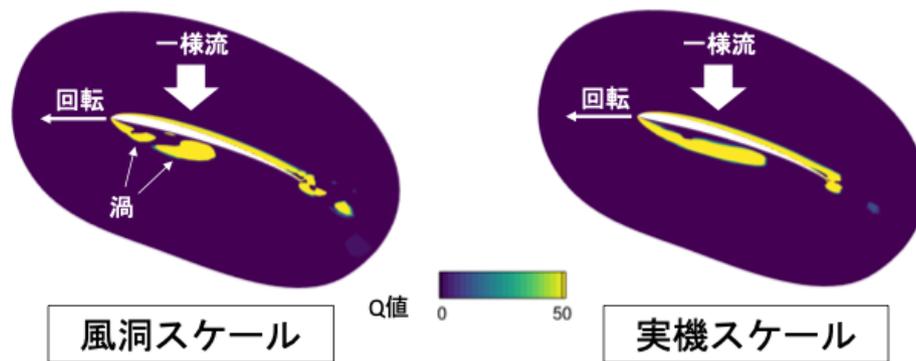


図1: プロペラのスパン方向63%位置でのQ値分布の瞬時場(プロペラが鉛直上向きの時)

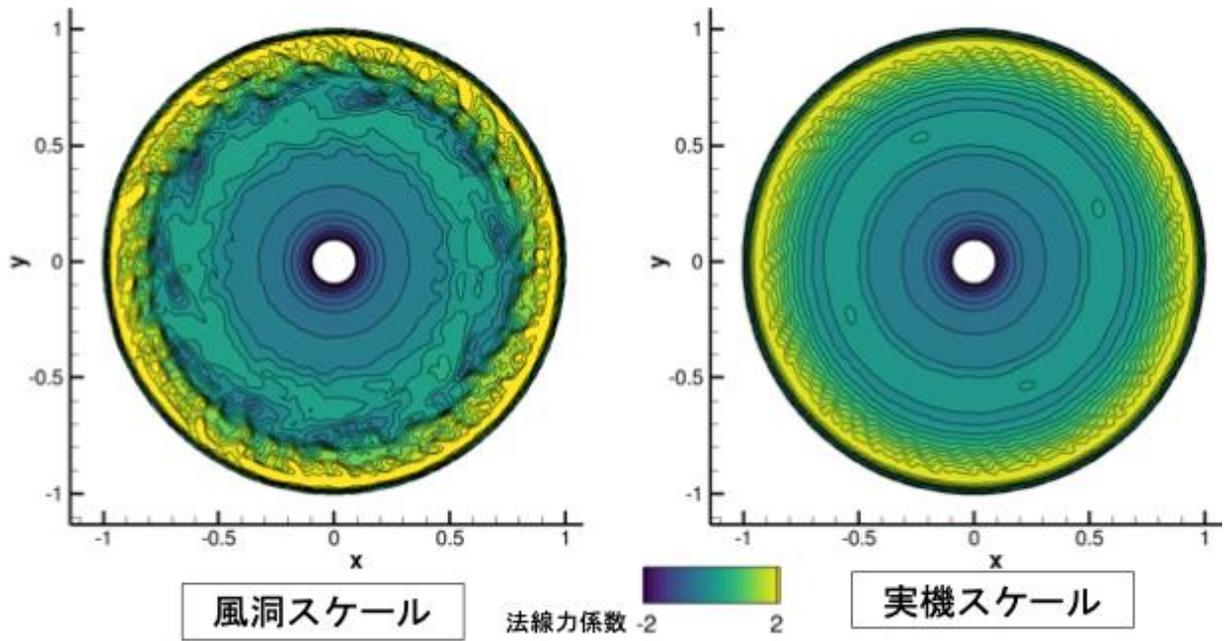


図2: プロペラ1周中にプロペラ回転面に働く法線力係数分布

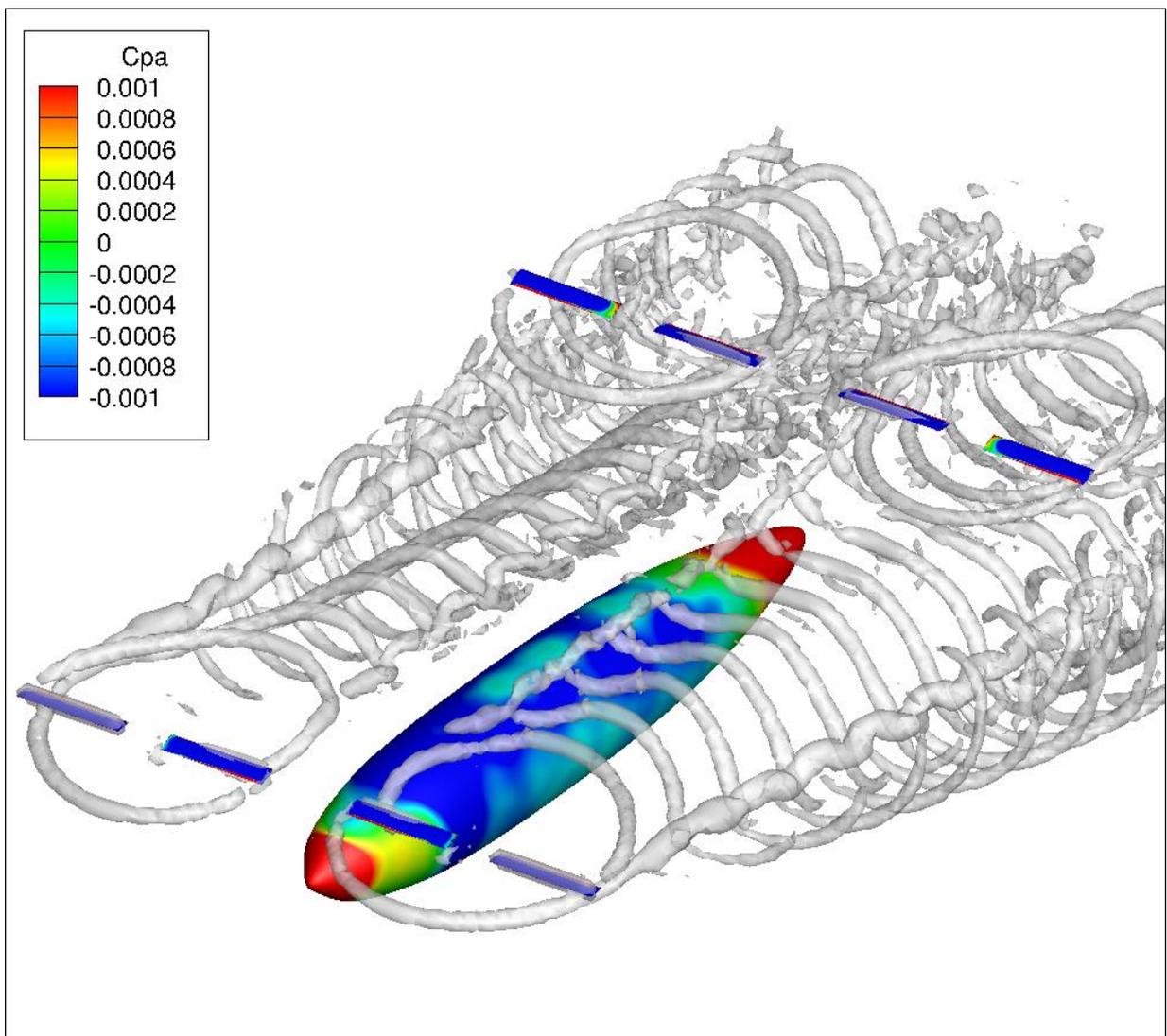


図3: Q 値等値面および表面圧力係数分布の瞬時場

● **成果の公表**

-査読付き論文

Furusawa, Y., Kitamura, K., "Stability effect of multidimensional velocity components in numerical flux SLAU," International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2023 (Accepted).

-口頭発表

Furusawa, Y. and Kitamura, K., "Roles of Multi-Dimensional Velocity Components in All-Speed Numerical Flux SLAU," AIAA Paper 2022-4033, 2022.

古澤善克, 北村圭一, 「圧縮性全速度スキームにおける多次元速度成分の計算安定性への影響(第2報):より広範なマッハ数域での調査」, 第36回数値流体力学シンポジウム, 2022.

鈴木恵太, 「eVTOL のロータ位置が機体空力特性に及ぼす影響の数値解析」, 第60回飛行機シンポジウム, 2022.

-ポスター

Furusawa, Y., Kitamura, K., Ikami, T., Okawa, M., and Nagai, H., "Numerical Study on Propeller Scale Effect on Flow Field around Blade," 19th International Conference on Flow Dynamics, 2022.

鈴木恵太, 「eVTOL のロータ位置が機体空力特性に及ぼす影響の数値解析」, 2022年自動車技術会春季大会, 2022.

● **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	OpenMP
プロセス並列数	36 - 1440
1 ケースあたりの経過時間	720 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.25

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	2,086,241.03	0.09
TOKI-ST	1,193,760.00	1.19
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	16,157.76	1.08
TOKI-TST	0.33	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	20.33	0.02
/data 及び/data2	25,720.00	0.20
/ssd	1,876.67	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	6.07	0.03

※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)	5,237.39	3.64

※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