

低レイノルズ数領域でプロペラの影響を受ける固定翼の数値解析

報告書番号：R21JACA43

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2021/18265/>

● 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

● 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、プロペラと固定翼が干渉して生じる流れ場が飛行性能を向上させることが知られている。しかし、そのメカニズムには未だ不明な点が残されている。本研究では数値計算を用いて、低レイノルズ数領域においてプロペラ後流が固定翼周囲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 および FaSTAR 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[1]に基づいた形状で非定常計算を行った。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した。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 $Re=30,000$ で一定とした。プロペラ回転数は 4500rpm であり、迎角は 4° 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 $M_{tip}=0.52$ となる。

図 1 にプロペラ後流中に置かれた固定翼に働く揚力係数の、プロペラ 1 周分の時間履歴を示す。青線で示した風洞実験スケールの揚力係数と比べ、赤線で示した実機スケールは揚力が大きく振動してい

ることがわかる。

図2にプロペラ方位角が15°の時の固定翼上面の圧力係数分布を示す。V1として示した部分はプロペラ後流渦と固定翼の剥離せん断層から生じた渦が干渉して生じた強い渦の存在位置であり、翼表面はその渦の影響で圧力が低くなっている。風洞スケールと実機スケールを比較すると、V1の部分の圧力は実機スケールの方が低くなっており、実機スケールで生じた大きな揚力係数の振動は、この強い渦が周期的に流れることに起因していることを明らかにした。

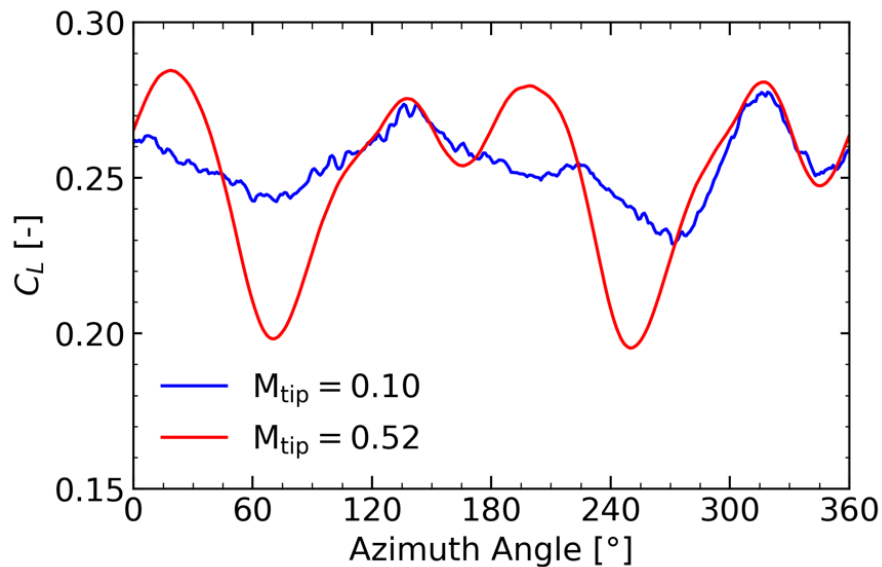


図1: プロペラ1周中の固定翼の揚力係数時間履歴

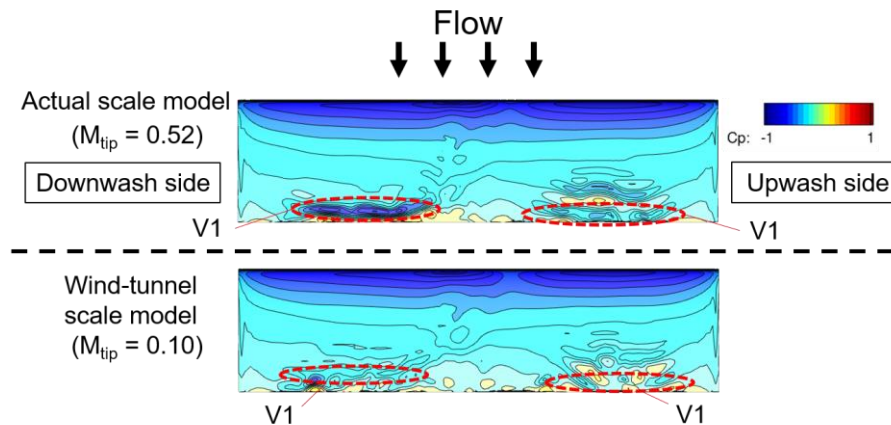


図2: 固定翼上面の表面圧力係数分布

● 成果の公表

-口頭発表

古澤善克, 北村圭一, 永井大樹, 「プロペラ・固定翼空力干渉においてプロペラの翼端マッハ数変化が与える影響の数値解析」, 第59回飛行機シンポジウム, 2021.

-ポスター

Furusawa, Y., Kitamura, K., Nagai, H., "Numerical Study on Mach Number Effects of Propeller on Propeller-Wing Interaction," 18th International Conference on Flow Dynamics, 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	OpenMP
プロセス並列数	36 - 1440
1 ケースあたりの経過時間	480 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合^{※1} (%) : 0.17

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	901,181.59	0.04
TOKI-ST	792,057.55	0.98
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	11,973.40	0.89
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	7.00	0.01
/data 及び/data2	15,380.00	0.16
/ssd	2,580.00	0.67

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	4.98	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)	2,751.50	1.93

※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