

火星ヘリコプターのローター空力特性に関する数値的研究

報告書番号：R22JACA41

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2022/20591/

● 責任者

佐藤 允, 工学院大学

● 問い合わせ先

佐藤 允, 工学院大学(msato@cc.kogakuin.ac.jp)

● メンバ

佐藤 允, 吉川 昂汰

● 事業概要

火星の洞窟・縦孔探査を目的とし、JAXA 宇宙科学研究所、JAXA 航空ユニット、東京都立大学、工学院大学によって火星ヘリコプター「HAMILTON」の研究開発が進められている。火星の大気環境は地球と比べると密度が約 1/100、音速は約 3/4 であるため、火星ヘリコプター実現には低レイノルズ数かつ高マッハ数でも高性能なローターの開発が必要不可欠である。

JAXA 宇宙研では、火星大気を模擬した低圧環境におけるローター空力性能を実験的に測定する研究を進めている。しかし、本実験は低圧タンク内で行われるため、ローター周りの流れについて調べることは極めて困難である。そこで本研究では実験と同様の条件でローター周り流れに関する数値解析を行うことにより、流れ場の特性を明らかにすることを目的としている。

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

JAXA で開発された回転翼に関する流体解析ソルバー「rFlow3D」を用いた、3次元回転翼周り流れに関する大規模数値シミュレーションを行うため。

● 今年度の成果

今年度は主に2つの検証を行った。昨年度に引き続き、火星大気環境を模擬した低圧タンク内で計測実験を行うにあたってローター周りの流れ場と空力特性が閉空間からどのような影響を受けるのかを数値解析によって調べた。つづいて、火星での飛行を想定した、高回転数駆動において生じる流れの圧縮性がローター空力特性に与える影響を調べた。数値解析ソルバーには JAXA で開発された rFlow3D を用い、解析対象は「HAMILTON」[1]のシングルローターとした。

図 1 は開空間での計算格子、実験に用いている低圧タンクおよびタンク内を模擬した閉空間の計算格子を示している。

図2は推力係数とトルク係数・フィギュアオブメリットの関係を開空間, 閉空間の数値解析結果および実験結果のそれぞれについて示したものである。数値解析結果より, 推力係数の増加(ピッチ角の増加)に伴い閉空間の影響が顕著になるが, 低推力領域(低ピッチ角)においてはその影響が小さく, 実験値とも良好な一致が得られることがわかった。

低レイノルズ数環境における圧縮性の影響を調べるために, パラメータとして翼端マッハ数を亜音速領域(0.21)と遷音速領域(0.77)に設定し比較を行った。また, 本解析ではブレード翼型に CLF5605 翼を用いたケースに加え, 低レイノルズ数環境において高い空力性能を示す三角翼型を用いたケースについても解析を行った。

図3は CLF5605 翼型ブレードにおける圧縮性の影響を示したグラフで, 横軸に推力係数, 縦軸にフィギュアオブメリットを示している。各翼端マッハ数における空力性能の差異は小さいことが分かった。

図4は各翼型の流れ場の違いを示している。両翼型ともに圧縮性の影響は小さい一方で, 同ピッチ角における流れ場は翼型によって大きく異なることが分かった。

[1] Sugiura, M., Tanabe, Y., Sugawara, H., Kimura, K., Oyama, A., Sato, M., Yoshikawa, K., Buto, Y., Kanazaki, M., Kishi, Y., Kikuchi, D., and Minajima, T., "Blade Shape Optimization of Mars Helicopter Exploring Pit Craters", VFS Forum 78-paper93, 2022.



図1: 計算対象, 計算格子

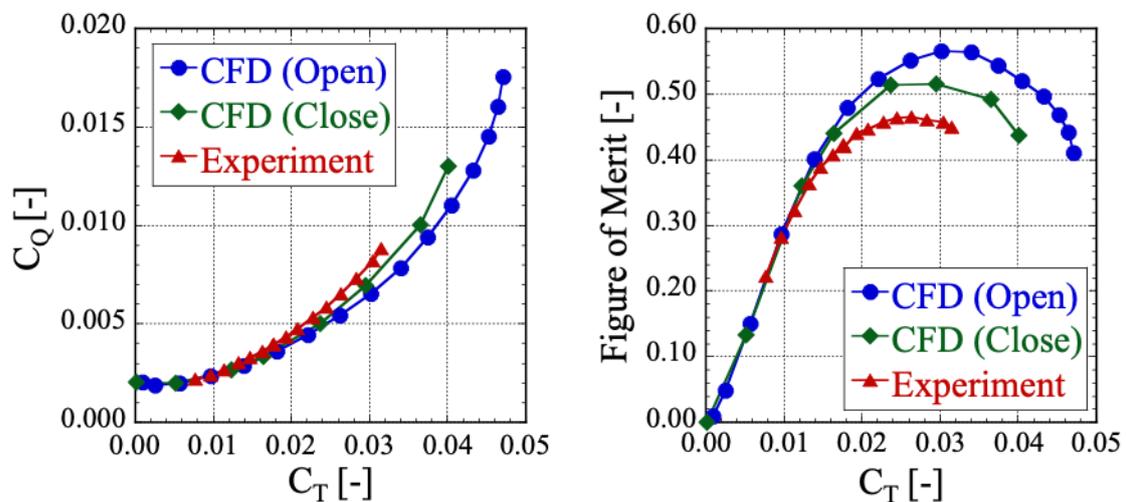


図2: 開空間と閉空間の空力性能の比較

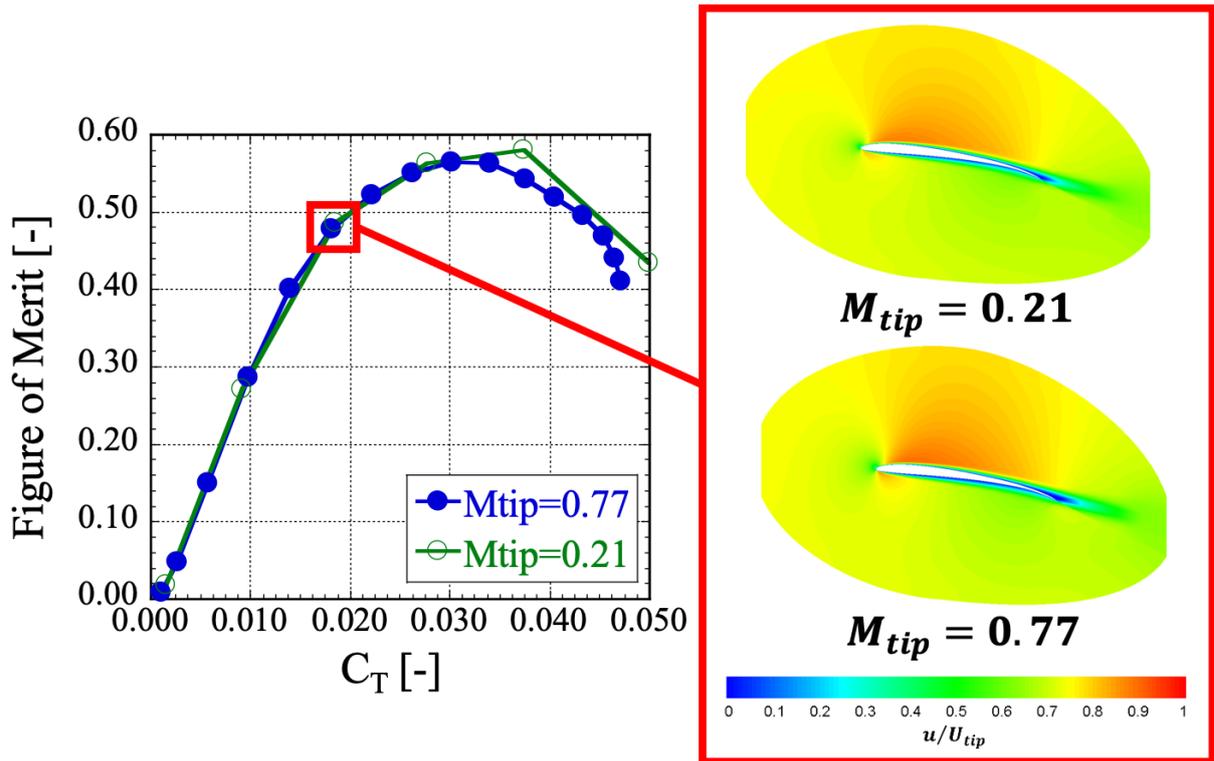


図3: 異なる翼端マッハ数における空力性能と流れ場の比較

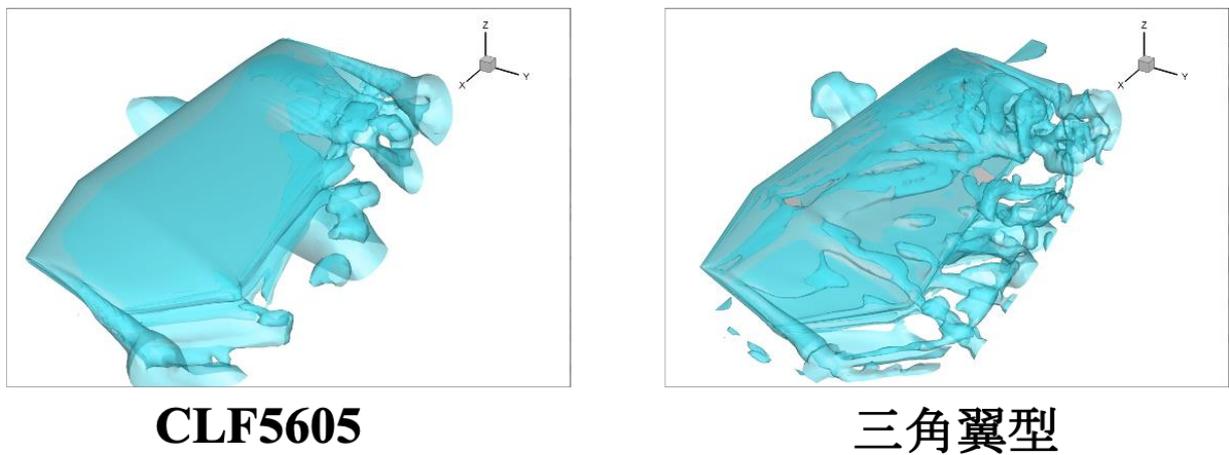


図4: 異なるブレード翼型における流れ場の比較

● 成果の公表

-口頭発表

[1]吉川昂汰, 武藤悠太, 佐藤允, 大山聖, 杉浦正彦, 田辺安忠, 木村桂大, 竹川国之, 岸祐希, 金崎雅博, "火星ヘリコプタ「HAMILTON」のロータ空力特性に関する計測実験および数値解析", 第54回流体力学講演会/第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2022年6月29日.

[2]吉川昂汰, 佐藤允, 大山聖, 杉浦正彦, 田辺安忠, 木村桂大, 竹川国之, 岸祐希, 金崎雅博, "火星へ

リコプタ用ロータの翼型による空力特性の比較検証", 第60回飛行機シンポジウム, 2022年10月12日.

● JSS 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	OpenMP
プロセス並列数	1
1 ケースあたりの経過時間	1920 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.02

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	568,031.81	0.02
TOKI-ST	2.00	0.00
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	0.00	0.00
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	15.00	0.01
/data 及び/data2	35,840.00	0.28
/ssd	150.00	0.02

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

● 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)	0.00	0.00

※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