火星へリコプタおよび火星ロケットの空力特性に関する数値的研究

報告書番号:R23JACA41 利用分野:JSS大学共同利用 URL:https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2023/24084/

● 責任者

佐藤允, 工学院大学

● 問い合せ先

佐藤 允, 工学院大学(msato@cc.kogakuin.ac.jp)

🎱 メンバ

佐藤 允, 白土 百合子, 吉川 昂汰

● 事業概要

JAXA 宇宙研が中心となって火星の洞窟・縦孔探査を目的とした火星へリコプタの研究開発プロジェ クトを進めている.宇宙研の大山研究室では火星大気を模擬した低圧環境における火星へリの空力特 性を実験的に測定する研究が行われている.本研究では,当該実験と同様の条件および実験では困難 な条件に対して,火星へリロータ周りの流れに関する数値解析を行うことにより,ロータの空力特性 と流れ場の特性を明らかにする.

加えて,火星で得られたサンプルを地球にリターンする際に使用する,火星ロケットの研究が宇宙 研の大山研究室で進められている.火星では地球と比べて低レイノルズ数かつ高マッハ数環境となる ため,火星環境に即した最適なロケット形状の知見が必要不可欠である.本研究では,火星環境にお けるロケット周りの流れに関する数値解析を行うことにより,ロケットの空力特性と流れ場から最適 な火星ロケット形状を明らかにする.

● 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ー「rFlow3D」および「FaSTAR」を用いて,火星環境下での回転 翼周り流れとロケット周り流れに関する大規模数値シュミレーションを行うため.

● 今年度の成果

火星ヘリコプタ用ロータ周り流れにおける圧縮性の影響を調べるために,火星ヘリコプタ 「HAMILTON」[1]のシングルロータを対象とした解析をおこなった.パラメータとして,ロータブ レードの翼端マッハ数を約0.2から0.8まで変化させた.各ケースでレイノルズ数は一定とした.数値 解析ソルバーには JAXA で開発された rFlow3D を用いた.

図1は各ケースにおける CT-CQ および CT-FoM の結果を示している. 結果より, 低 CT 領域では

翼端マッハ数の影響は小さいが,高 CT 領域において翼端マッハ数の影響は大きくなり,翼端マッハ 数が高く圧縮性の影響が強いほどロータ性能が減少することがわかった.図2はピッチ角 10 度と 20 度におけるブレード表面の Cp 分布を示している.ここではブレードスパン方向 90%断面の結果を示 す.ピッチ角 10 度の比較的低 CT 領域では翼端マッハ数の影響は小さいが,ピッチ角 20 度の高 CT 領域では Cp 分布に明確な差異が現れており,翼端マッハ数 0.21 と 0.42 の結果では流れの再付着によ り層流剥離泡と同様の Cp 分布が観察される.図3 は図2 と同断面における乱流運動エネルギー分布 を示している.ピッチ角 10 度の条件では翼端マッハ数による差異は小さい.一方で,ピッチ角 20 度 の条件では,翼端マッハ数 0.21 と 0.42 の場合,翼面付近に高乱流運動エネルギー領域が形成されてい る.この領域での乱流への遷移がおこり流れの乱流再付着が生じる.

また,火星ロケット周り流れにおけるレイノルズ数とマッハ数の影響を調べるために,既往研究で 提案されている形状[2]を対象とした数値解析をおこなった.パラメータとして,レイノルズ数および マッハ数を変化させた.数値解析ソルバーには JAXA で開発された FaSTAR を用いた.図4 はレイノ ルズ数 3.0*10^5,マッハ数 0.95 におけるロケット周りの流れを示している.背景は圧力分布,ロケッ ト表面は摩擦応力分布となっている.解析結果より,地球環境と火星環境では特に遷音速領域におい て空力特性に差が生じることがわかった.

[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.

[2] Jeffrey V. Bowles, Loc C. Huynh, and Veronica M. Hawke:Mars Sample Return: Mars Ascent Vehicle Mission & Technology Requirements, NASA/TM-2013-216511, 2013.



図 1: 空力性能に対する翼端マッハ数の影響



図 2: 異なる翼端マッハ数における Cp 分布の比較(左図:ピッチ角 10 度,右図:ピッチ角 20 度)



図 3: 異なる翼端マッハ数における乱流運動エネルギー分布の比較(上 図:ピッチ角 10 度,下図:ピッチ角 20 度)



図 4: 火星ロケット周りの流れ場

● 成果の公表

-口頭発表

[1]Kota Yoshikawa, Yuta Buto, Makoto Sato, Akira Oyama, Masahiko Sugiura, Yasutada Tanabe, Keita Kimura, Kuniyuki Takekawa, Yuki Kishi, Masahiro Kanazaki, "Compressibility Effects on Aerodynamic Characteristics and Flow Fields

of Mars Helicopter Rotor", 2023 AIAA AVIATION Forum (2023).

[2]吉川昂汰, 佐藤允, 大山聖, "火星ヘリコプタの実現に向けた遷音速ロータの空力特性に関する研究", 第 67 回 宇宙科学技術連合講演会 (2023).

[3]白土百合子,佐藤允,大山聖,"低レイノルズ数流れとなる火星サンプルリターンロケットの空力特性に関する研究",第67回宇宙科学技術連合講演会 (2023).

● 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(%): 0.11

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	2,848,767.77	0.13
TOKI-ST	4,907.05	0.01
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	0.10	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	1,024.00	0.85
/data 及び/data2	168,710.00	1.04
/ssd	2,510.00	0.24

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)	160.20	0.07

※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