将来回転翼機研究会/回転翼解析技術交流会 2023/3/24

低レイノルズ数領域における平板翼ロータのホバリング解析

横浜国立大学 坂爪竣哉、鈴木恵太、古澤善克、北村圭一



- □ 研究事例①(低レイノルズ数領域における平板翼ロータのホバリング解析)
 - 背景•目的
 - 研究手法
 - 結果•考察
- □研究事例②

(風洞スケール・実機スケールでのプロペラ翼端付近の圧縮性の影響)

□ 研究事例③

(プロペラ・固定翼統合モデルにおける空力干渉の数値解析)

計算事例①-背景·目的

・火星探査機の多様化
 →用途に応じて使用される



ローバ [1]



オービタ[2]

・火星へリコプタの使用
 →垂直離着陸が可能
 竪穴探査への利用が期待



ヘリコプタ [3]

[1]https://www.space.com/42288-nasa-keeps-hailing-mars-rover-opportunity.html [2]https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/maven/

[3]https://slashgear.jp/science/9399/

計算事例①-背景·目的

-火星ヘリコプタ使用の条件・課題

・大気密度が地球の約1/100
 →低レイノルズ数領域での飛行

・二重反転ロータの使用
 →上面ロータの後流が下面ロータに干渉するなど流れ場が複雑になる



目的 ______
 低レイノルズ数領域における二重反転ロータの空力解析
 ・シングルロータとの比較
 ・二重反転ロータの非定常性に関する調査

計算事例①-研究手法

•計算条件[4]

翼型	平板翼
アスペクト比	4
コード長 <i>c</i> [m]	0.0295
スパン長 <i>b</i> [m]	0.117
ロータ半径 <i>R</i> [m]	0.137
ロータ間距離 [m]	0.0822(0.6 <i>R</i>)
回転速度 [rpm]	500
レイノルズ数	1.1×10^{4}
ピッチ角[deg.]	15
翼端マッハ数	0.02108



[4] 西村練, 大川真生, 伊神翼, 藤田昂志, 永井大樹, "低レイノルズ数条件下における同軸反転ロータの アスペクト比の違いによる性能調査", 第54回流体力学講演会, 2022.



•計算手法

- ソルバ :rFlow3D
- 乱流モデル:なし
- 時間積分 : (外側背景格子)4段階ルンゲクッタ陽解法 (内側背景格子・物体格子)Dual-time stepping/LU-SGS陰解法
- 空間精度 : FCMT(Fourth Order Compact MUSCL TVD)

•計算格子

- ・3種類の格子を重合(物体格子、外側・内側背景格子)
- ・異なる格子密度について検証→密度に対する解の収束を検証
- Coarse : 4,192,928 cell
- Medium : 8,115,537 cell
- Fine : 17,794,159 cell



計算事例①-結果·考察



・3パターンを検証し、格子収束を確認

計算事例①-結果・考察

・二重反転ロータの結果 →upperに比べ、lowerでは大きな振動が見られる





 C_0

計算事例①-結果・考察

・1周分の表面圧力の変化(上面)

表面圧力の時間変動:upper < lower
 翼根側にも変化が見られる











Сра

1.69231E-05 -1.53846E-06

-2E-05

計算事例①-結果・考察

・1周分の表面圧力の変化(上面)

・表面圧力の時間変動:upper<lower ・翼根側にも変化が見られる









0.03

Сра

.69231E-05 -1.53846E-06

計算事例①-結果・考察





0.03

0.02

計算事例①-結果・考察

・1周分の表面圧力の変化(下面)

表面圧力の時間変動:upper<lower
 高圧領域の変化が顕著













Cpa

1.69231E-05 -1.53846E-06

-2E-05





計算事例①-結果・考察

・シングルロータとの比較
 →upperがおおよそ一致
 →推力の上昇(lowerの影響)はほぼ見られない





計算事例①-結果•考察

結論

upperに比べ、lowerでは大きな振動が見られる
 →・表面圧力の時間変動:upper<lower
 ・特に下面側において高圧領域の変化が顕著

・推力係数はシングルロータとupperがおおよそ一致
→推力の上昇(lowerの影響)はほぼ見られない





<u>風洞スケール・実機スケールを比較し、プロペラ翼端付近の圧縮性の影響を調査</u>





風洞スケール・実機スケールを比較し、プロペラ翼端付近の圧縮性の影響を調査



✓ 実機スケールでは圧縮性が剥離せん断層を安定化させ、プロペラの振動が弱まることを明らかにした.

計算事例③

・プロペラ・固定翼統合モデルにおける空力干渉の数値解析

ソルバ: Fastar-Move

AIAA workshopで取り上げられた、プロペラ・固定翼における空力干渉を計算

(Hooker, J et al..: Overview of Low Speed Wind Tunnel Testing Conducted on a Wingtip Mounted Propeller for the Workshop for Integrated Propeller Prediction, AIAA Paper 2020-2673, 2020.)





計算事例③

・プロペラ・固定翼統合モデルにおける空力干渉の数値解析

プロペラ近傍は一様な格子によって解像するべき しかし、一様な細かい格子は<u>格子点数</u>増 計算コスト増

→格子点数の節約を目的とし、非一様な計算格子において同様の計算 その結果…

・プロペラ後流中の固定翼表面圧力 →どちらの格子でも良好に再現







計算事例③

・プロペラ・固定翼統合モデルにおける空力干渉の数値解析

・格子のレベルが切り替わる領域で非物理的な圧力勾配 →回転翼の空力解に振動が発生

