#### 第13回JHPCN拠点シンポジウム

#### プロペラ駆動小型無人機の設計検討技法の確立を目指し た空力・推進・構造の実機丸ごと統合シミュレーション

Integrated Simulation of Aerodynamics, Propulsion, and Structure to Establish Design Study Techniques for Propeller-Driven Small Aircraft

#### 研究代表:金崎雅博(東京都立大) 研究副代表:永井大樹(東北大流体研)

## もくじ

# 1.はじめに 2. プロペラ形状・動作の直接計算 3. プロペラ流入出のモデル化(アク チュエータディスク) 4. 翼の空力弾性評価 5.風洞実験の概要 5.まとめと今後の展望

TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY

© HAPS mobile

□軽量小型無人航空機(Micro air vehicle: MAV)

✓小型軽量

▶惑星・衛星探査航空機,高高度プラットフォーム
 ✓電動でプロペラ駆動であることがほとんど
 ▶プロペラ後流にさらされる翼への現象に関する知見が必要

▶実験によるパラメトリックな研究は高コスト



# ロスーパーコンピュータを用いた研究で期待 できること

# ✓空力・推進・構造を統合した機体丸ごと シミュレーション技術の開発・運用

# √プロペラ形状直接計算

✓プロペラ後流のモデリング

### ✓構造との連成計算

#### □研究体制

✔都立大•東北大流体研(金崎,永井):全体統括 ✓北大(棟朝):計算機利用に関する指導 ✓JAXA航空本部(村上):ソフトウェア関連 ✓ 横国大・工学院(佐藤):プロペラ形状の直接計算 ✓都立大・JAXA宇宙研(金崎、大山):プロペラ後流の モデリング、翼最適設計. ✓ 東北大工学部(槇原,大塚):構造との連成計算 ✔ 東北大流体研(永井.藤田):風洞実験

## □研究の目標

- ✓空力・構造・推進の連成計算による機体 まるごとシミュレーション
  - ▶汎用化をはかり、任意のMAV概念に適用▶プロペラ後流にさらされる翼形状の最適設計
  - > 空力弾性に関する知見の獲得
  - ▶多数分野最適化と言った新たな学問分野の 創出
- ✓風洞実験との連携

Tokyo Metropolitan University

2. プロペラ形状・動作の直接計算



## <u>2. プロペラ形状・動作の直接計算</u>

#### □計算手法

ソルバ

- : rFlow3D
- 支配方程式 : 圧縮性NS方程式
  - : mSLAU (modified SLAU) ルー:Menter kーω SST 2003 & アーRe い

#### 数値流束 乱流モデル 時間積分

- : Menter k-ω SST 2003 & γ-Re<sub>θt</sub>遷移モデル :(背景格子)4次精度4段階ルンゲクッタ陽解法 (物体格子)2次精度Dual Time Stepping/LU-SGS陰解法
- 制限関数 空間精度

: minmod : Forth Order Compact MUSCL TVD

### □計算格子

- •約2,200万点
- ・移動重合格子法で4種の格子を重合



2. プロペラ形状・動作の直接計算



## <u>2. プロペラ形状・動作の直接計算</u>

#### <u>対象とする翼の特性理解</u>

#### <u> 工学院大による計算</u>



- 翼型 : 石井翼
- レイノルズ数 : 30000
- **迎角** :5°, 10°
- マッハ数 : 0.2



- 計算格子 (約2200万点)
- 計算手法(ソルバーはLANS3D)
  - 支配方程式
  - 空間差分
  - 時間積分
  - フィルタリング
  - SGSモデル

- : 3次元圧縮性Navier-Stokes方程式
- : 6次精度コンパクト差分
- : 2次精度ADI-SGS陰解法 + 内部反復5回
- : 10次精度陰的フィルター
- : Implicit LES

※計算資源(1ケース):北大スパコンで450[ノード・時間] (2[ノード] ×225[時間])



# 2. プロペラ形状・動作の直接計算



#### 2. プロペラ形状・動作の直接計算

複数のプロペラと主翼間の空力干渉についての調査

宇宙研による計画

プロペラ2~3基と固定翼を解析対象としてCFD解析を実施することで、

複数のプロペラと固定翼の空力干渉について調査する.

数值解析: 非構造格子重合格子法 (FaSTAR-move)

数値解析モデル例:



Tokyo Metropolitan University





X Shamsheer S. Chauhan and Joaquim R. R. A. Martins, AIAA SciTech Forum , 2020



3. プロペラ流入出のモデル化

 $Re=3.0 \times 10^{4}$ 



Tokyo Metropolitan University

15

3. プロペラ流入出のモデル化



MABE2風洞試験モデル (主翼の上反角無し)

プロペラ設置位置	
設置位置 (主翼スパン 方向)	ケース①:主翼翼端、 ケース②:主翼スパン中央、 ケース③:①と②の中央
設置位置 (機軸方向)	主翼前方、後方
回転方向	翼端渦と逆方向
プロペラ諸元	
プロペラの モデル化	ADモデル (理論式から作成)
直径[m]	0.318
設置範囲[-]	r/R=0.1~1.0 (0.0~0.1はハブ)
推力[N]	巡航飛行時で機体にかか る全抵抗を基に算出

✓ 上反角による影響を無視するため、MABE2機体は上反角無しの 形状を使用

✓ 決定した配置に対し, 翼形状最適設計を実施予定

※1 大山聖,他:火星探査飛行機の多目的設計探査,第55回宇宙科学技術連合講演会,2011

#### 4. 翼の空力弾性評価

#### プロペラ・非線形空力弾性解析法

#### <u>東北大工による計算</u>

16

プロペラ解析技術 Otsuka et al., AIAA J. Aircraft (under review). HAPSの大きく異なる2つのタイムスケール

▶ 高速タイムスケール: プロペラ回転 (100回転/秒)

➤ 低速タイムスケール: 空力弾性変形 (0.5振動/秒) 高速スケールの現象を空間・時間平均しても, 低速スケールの現象に与える影響は変わら ない

プロペラ回転後流を渦円筒近似

後流の空間離散化・時間更新が一切不要な高効率解析

非線形空力弾性解析技術 Otsuka et al., AIAA J., 2019

- ▶ 座標変換を必要としない高効率解析法
- ▶ 風洞実験で実証済み



#### 4. 翼の空力弾性評価

#### ①提案解析法を並列計算実装

# ②東北大学・大規模並列計算機AOBA-Bで解析(2020年) 度から使用実績あり)

③共同研究チームの高フィデリティCFD解析と比較検証







#### 5. 風洞実験の概要



#### 5. 風洞実験の概要

#### ◆解析手法:位相平均

#### ▶プロペラ回転の位相をレーザーカットにより熱線計測 と同時に取得

#### ▶プロペラ回転に基づいて位相平均





#### 乱れの伝播



▶ プロペラ由来の乱れの通過が確認できた







21

#### まとめ

□採択課題について,研究分担・予備実験を実施

- ✓プロペラ形状の直接計算・アクチュエータディスクによる 近似
  - ▶どちらも試行済み,結果も良好
  - >火星探査航空機をモデルとして, 翼設計計画
  - ▶複数プロペラのケースも計画
- ✓多分野融合計算
- ▶プロペラ・非線形空力弾性解析法をHAPSを対象に試行
  ✓風洞実験
- 風川天殿
  - >空力・場について取得可能
- □今後:予定を遂行しつつ,対象機に対する工学的知見を 集約.