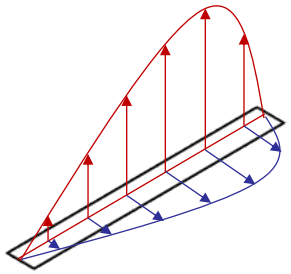
回転翼統合解析ツールの最新機能紹介（rBET/RMT, rFlow3D, rNoise）

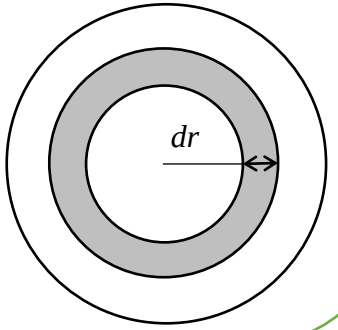
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
菅原　瑛明

JAXAで開発している回転翼解析ツール

rBET/RMT

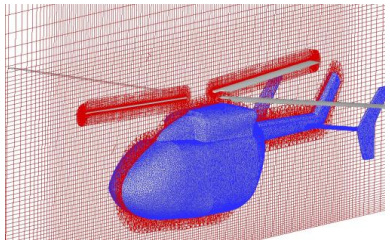
- 翼素理論による簡易解析ツール
- **rBET**
  - ➢ 線形誘導速度モデルを用いたヘリコプタロータの空力性能予測
  - ➢ 空力弾性解析
- **RMT**
  - ➢ 翼素運動量理論で誘導速度を求める軸流ロータの空力性能予測
- **rMode**
  - ➢ ブレードの固有振動モード解析ツール
  - ➢ rBET, rFlow3Dで空力弾性解析で利用する

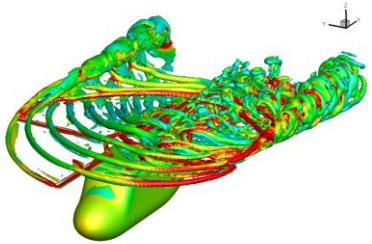




rFlow3D

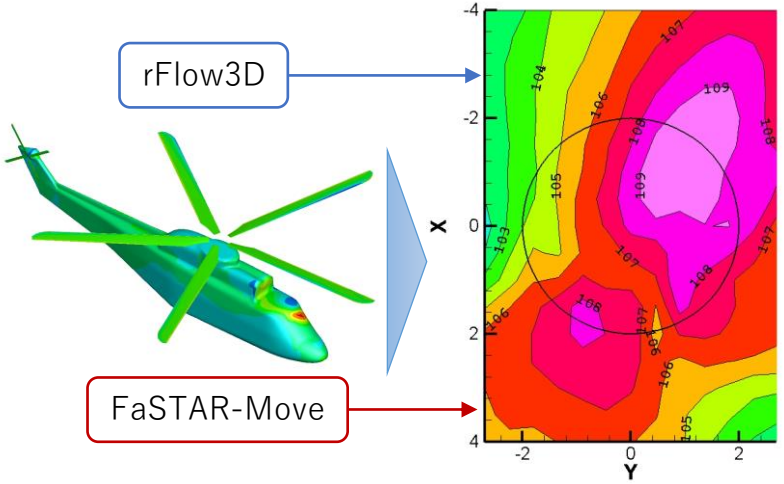
- 移動重合格子法を用いた回転翼用CFDツール
- ロータのトリム解析
  - ➢ Single rotor
  - ➢ Coaxial rotor
- CFD/CSD解析
  - ➢ ブレードの空力弾性解析
  - ➢ rModeが必要
- 物体格子20個、背景格子7個配置可能
- 非構造格子
  - ➢ FaSTAR
- 部分重合格子(Chimera grid)
- 自動格子生成ツール, rGrid





rNoise

- FW-H 法 に 基 づ い た Farassat Formulation 1による騒音解析
- CFDで求めた表面圧力分布を用いて、観測点に伝わる音圧を計算する
- rFlow3DとFaSTAR-Moveに対応
- 観測点における音圧変動、音圧分布を出力



解析ツールパッケージ

rBET/RMT

rBET
RMT
標準配布 マニュアル

rMode
希望者への限定配布
マニュアル

rFlow3D

rGrid
rFlow3D
Post処理関係
マニュアル
チュートリアル

※空力弾性解析にはrBET/RMTのライセンスが必要

rNoise

rNoise
マニュアル

※マニュアル整備中

※FaSTAR-Moveとは別ライセンス

- CFD解析で要求される、
  形状作成（CAD）ー格子生成ー（解析）ー可視化
  のすべてが含まれているわけではないことに注意
- 格子生成はブレードの自動格子生成の整備を進めている
- 可視化はParaviewで読み込み可能なファイルコンバーターを整備
  - Paraviewの操作方法はサポートできない

最新機能紹介

- rBET/RMT Ver. 1
  - 更新なし

- rFlow3D Ver. 8
  - Ver. 7からバージョンアップ
  - 自動格子生成ツール「rGrid」の機能拡張
    - ダクテッドロータ解析用のダクト格子と背景円筒格子の自動生成機能
  - Chimera gridを用いた部分重合格子法の実装
    - 構造／構造物体格子間、および、構造／非構造物体格子間のChimera格子機能
  - トリム解析機能改善と拡張
    - T-H-Mxトリム解析の安定性改善
  - CFD/CSD解析手法の機能拡張
    - delta-airload法を用いたCFD/CSD連成解析手法の導入
  - 背景直交格子の読み込み可能フォーマットの追加
    - ファイル名に「.lb8.」と入れることでバイナリファイルと認識（例：BK_grid.lb8.x）

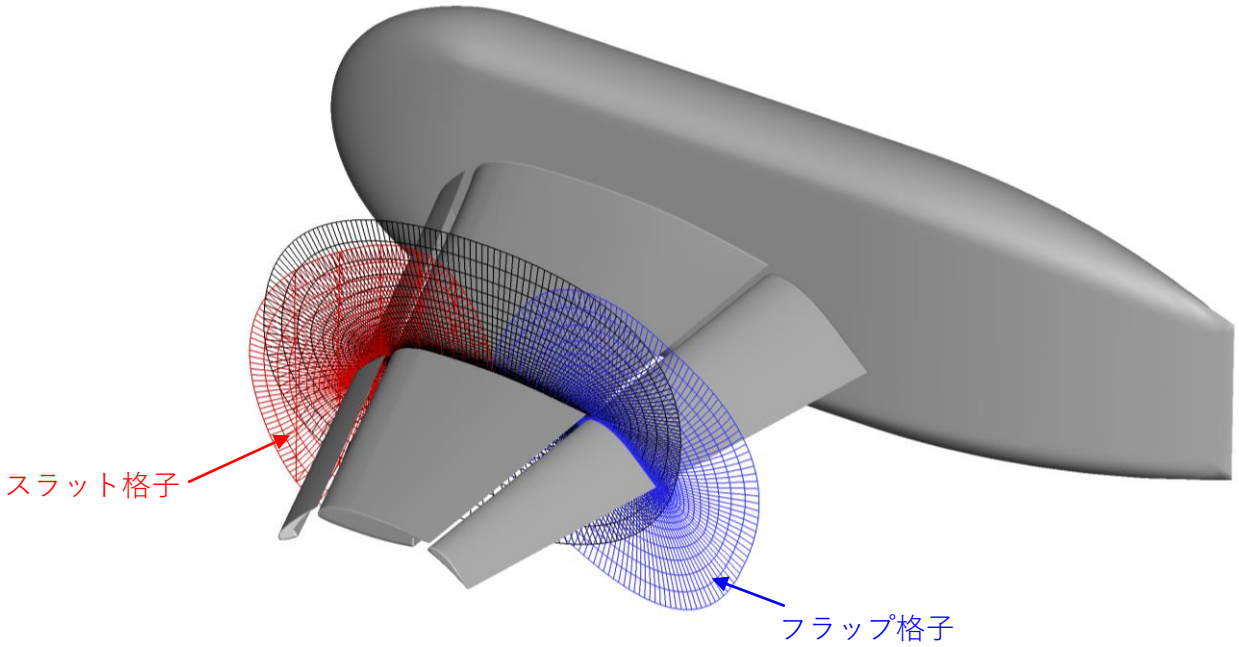
- rNoise Ver. 2
  - 複数ロータ、複数物体に対応
  - 観測点の設定に平面と球面が可能
  - rFlow3DとFaSTAR-Moveに対応

Chimera gridを用いた部分重合格子法の実装

- 部分重合格子はHiLiftPW-1で検証を実施
  - https://hiliftpw.larc.nasa.gov/index-workshop1.html
  - Rumsey, C. L. et al., “Summary of the First AIAA CFD High-Lift Prediction Workshop,” Journal of Aircraft, Vol. 48, No.6, Nov.-Dec. 2022.
  - 台形の単純な翼、スラット（30°）、フラップ（25度）あり
  - 多くのCFDソルバーの結果が公開されている

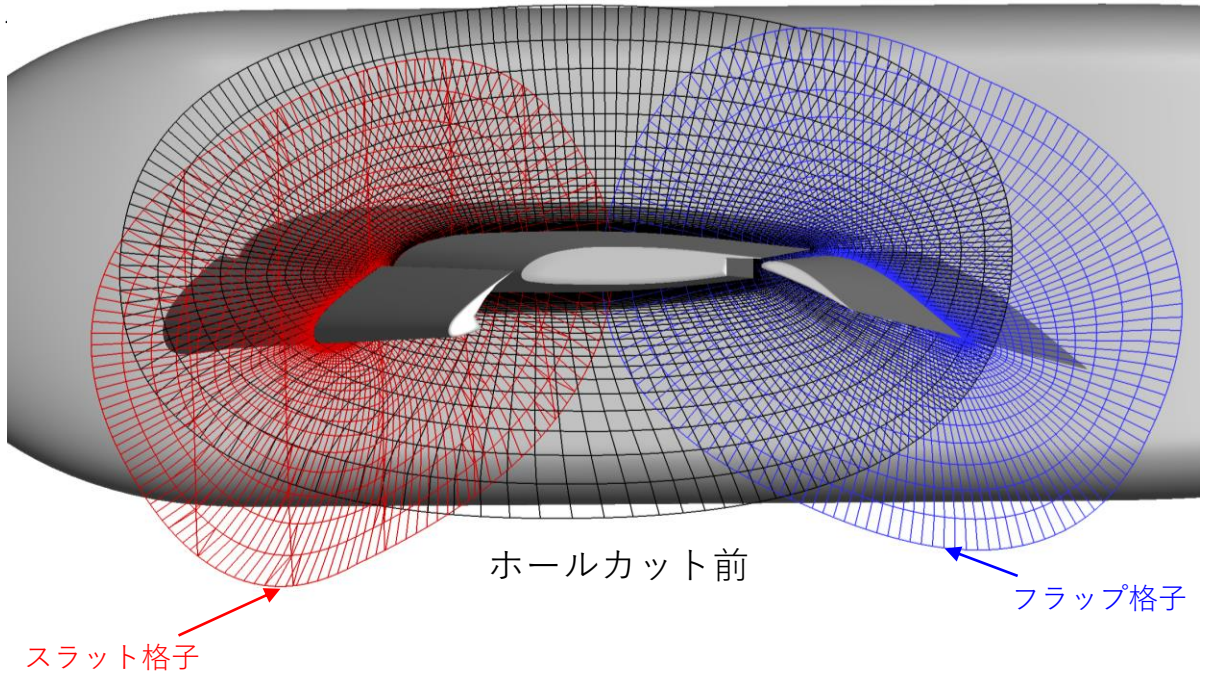
- 計算条件
  - Mach=0.2
  - α =0, 6, 13, 21, 28, 32

- 計算手法
  - 圧縮性N-S方程式
  - 全速度型mSLAUスキーム（数値流束）
  - FCMT法（空間高次精度化, 空間4次精度）
  - 2次精度中心差分（粘性流束）
  - Dual-time stepping/LU-SGS（時間積分法）
  - SA-R（乱流モデル）

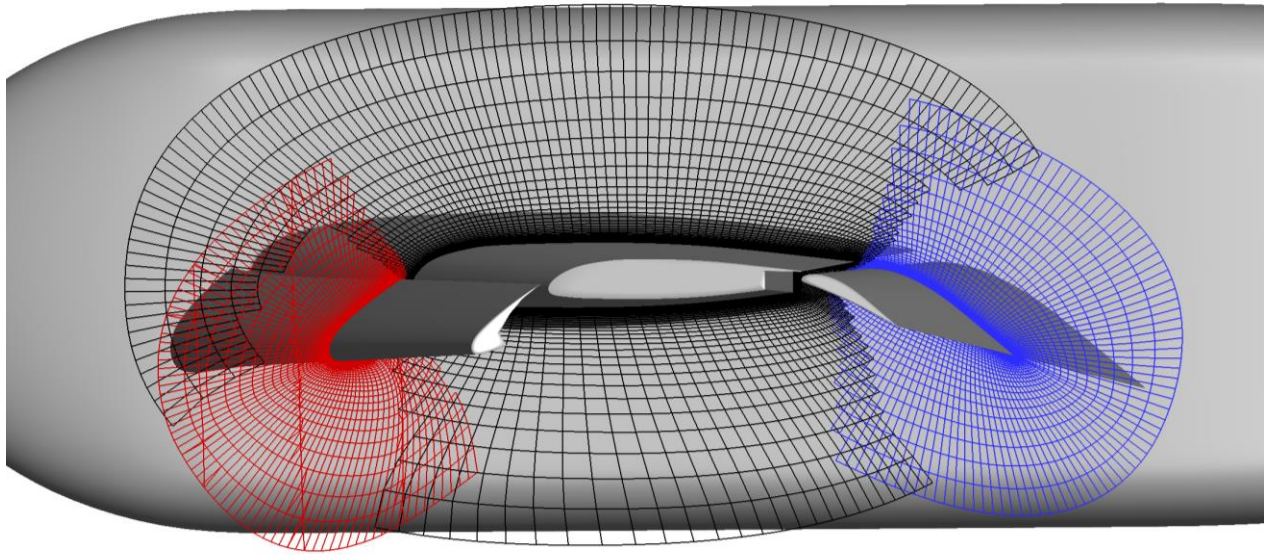


計算モデル（実際は左右対称で解いている）

Chimera gridを用いた部分重合格子の様子



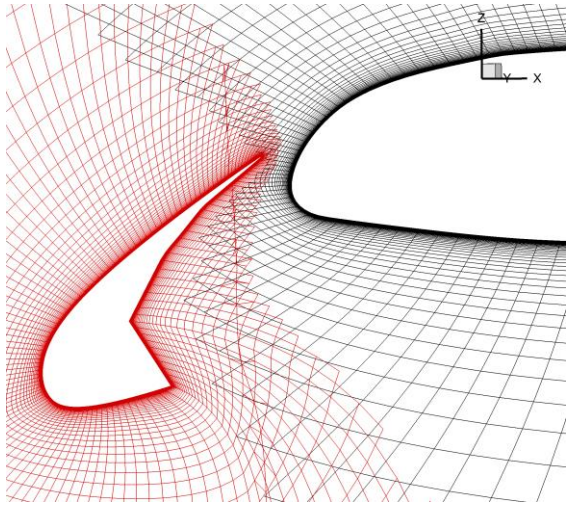
ホールカット前



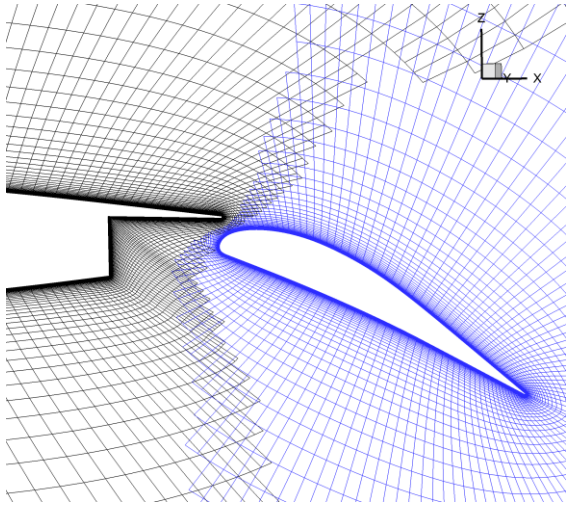
ホールカット後

- 壁距離を参照して、各格子の優先順位を決めている
- 物体内部の格子は非計算点としている
- 物体格子間で物理量のやり取りをして計算をしている

- **注意：格子を適切に作成する必要がある**
  - **計算ができているが、補間がうまくできていない場合がある**

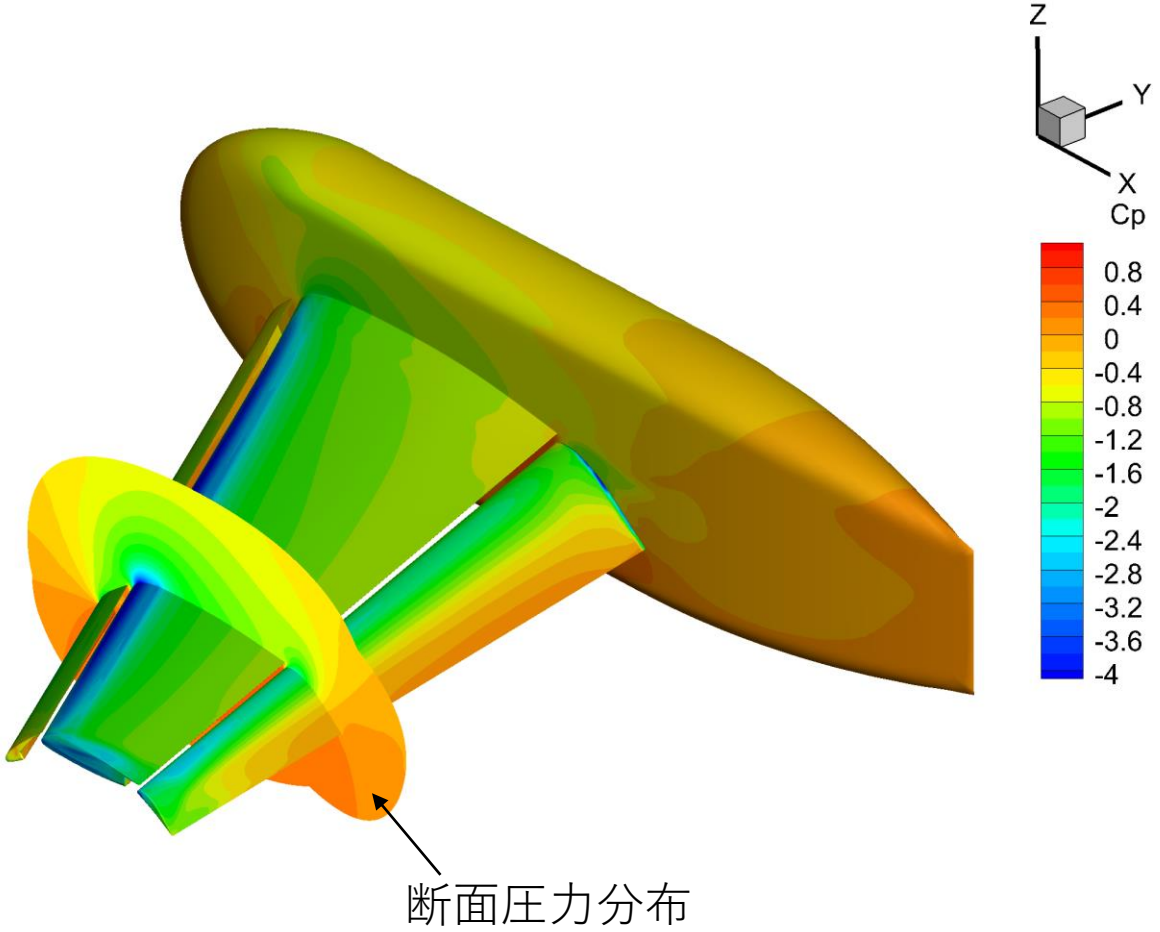


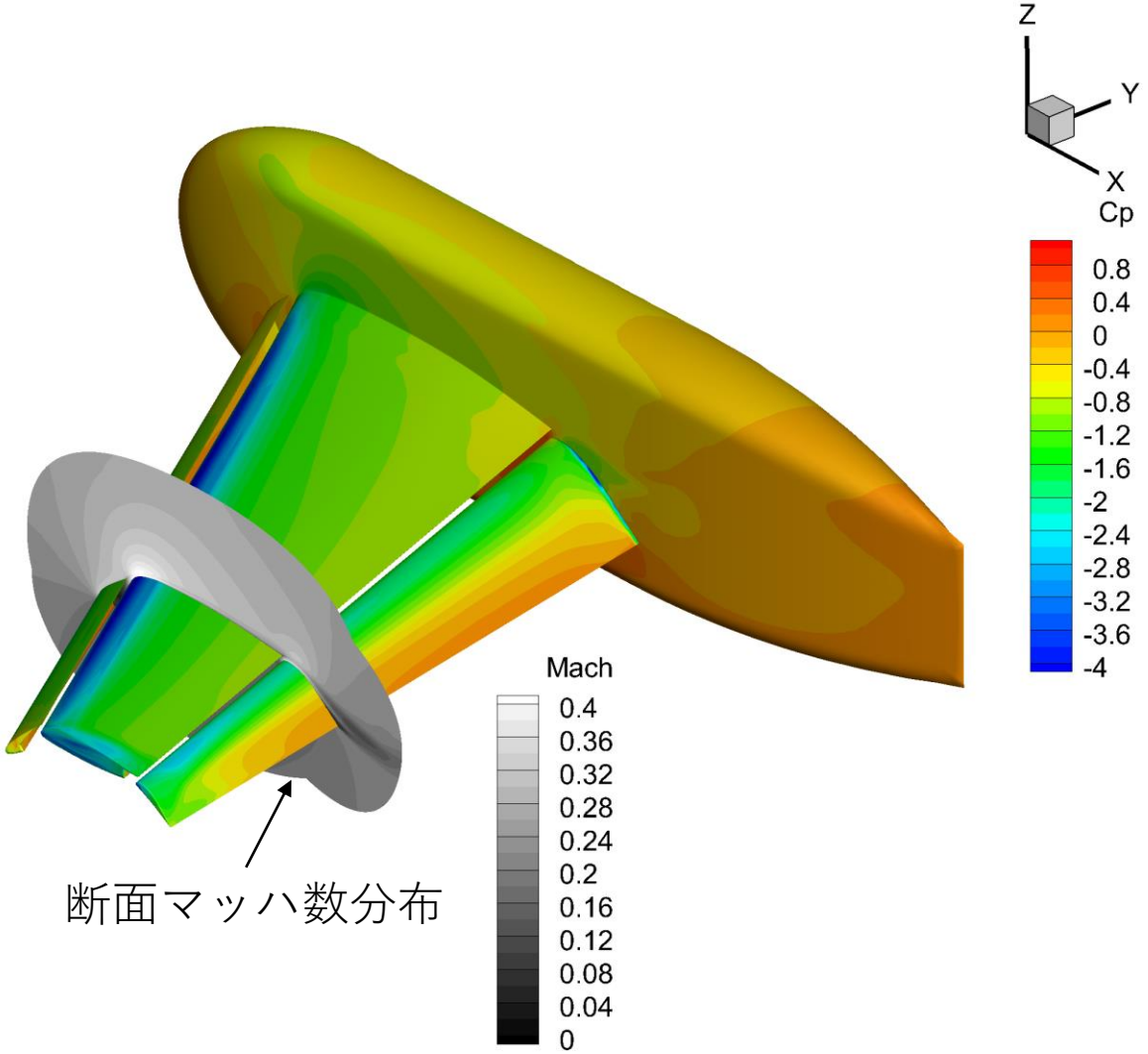
スラット部拡大



フラップ部拡大

表面圧力分布等

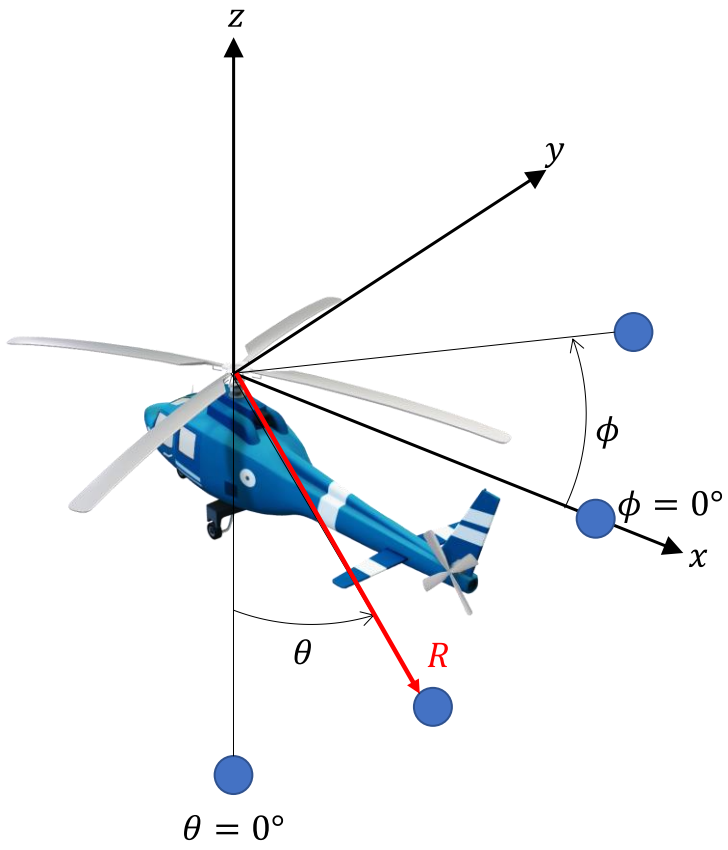




- 不連続な領域は見られず、重合格子としてうまく解けていることを確認

rNoise新機能

- rNoise Ver. 2
  - 複数ローター、複数物体に対応
  - 観測点の設定に平面と球面が可能
  - rFlow3DとFaSTAR-Moveに対応




```
&Mic_Carpet
        i_def_plane = 1                    ! 0:carpet, 1:sphere
! === Carpet input
        ! *** NImic, NJmic, NKmic :: number of Mic
        ! *** Xmic, Ymic, Zmic    :: Mic locations
        NImic=9, Xmic=・・・・
        NJmic=9, Ymic=・・・・
        NKmic=1, Zmic=・・・
! === Sphere input
        R_sphere      = 4.0,
        theta_sphere  = 120.0,
        dthera_sphere = 10.0,
        phi_sphere    = 360.0,
        dphi_sphere   = 30.0,
&End
```

まとめ

- 回転翼解析ツールの最新機能を紹介
  - rBETは昨年度と同じ
  - rFlow3DはVer.8にバージョンアップ
  - rNoiseは今年度からrFlow3Dから独立。FaSTAR-Moveにも対応。