

# PPB型eVTOLおよび 静粛ロータ「Looprop」 に関する数値解析

工学院大学  
航空熱流体工学研究室

中新井田馨希, 佐藤 允

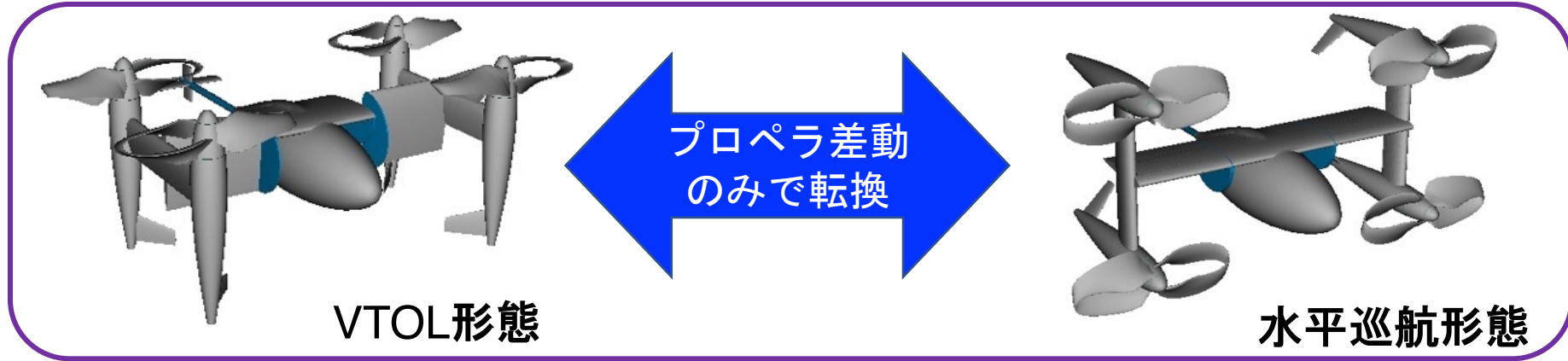
2024/03/22

# 新しい転換型eVTOL

Shima *et al.*, ICAS2022 (2022)  
嶋ら, ANSS (2019)  
etc.

2

## ➤ Passive Pendulum Body (PPB)



## PPB型eVTOL

- 胴体が翼から一本の自由回転軸で振り子状に吊るされている
- プロペラの差動によってVTOL形態と水平巡航形態の転換を行う

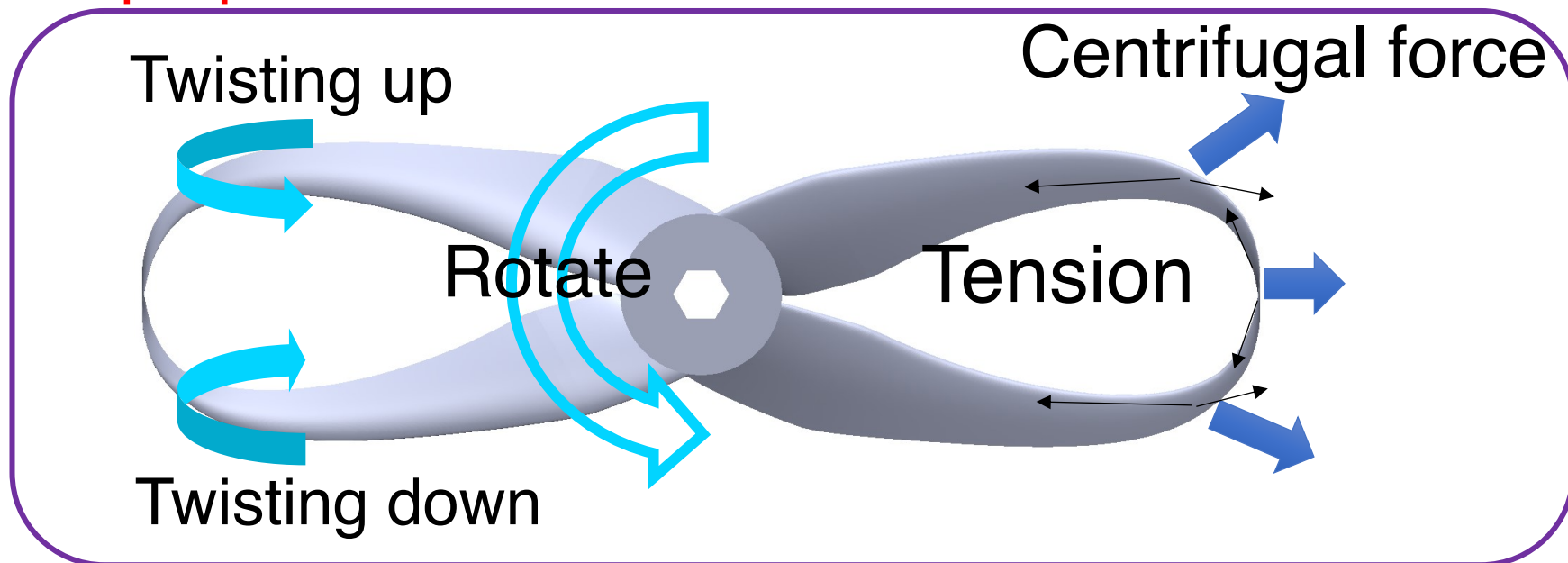
シンプルな機構, 有翼による高揚抗比・低騒音を実現

# Loop形状の静粛ロータ

Shima *et al.*, 8thARF (2019)  
中新井田ら, ANSS (2023)  
etc.

3

## ➤ Loopprop



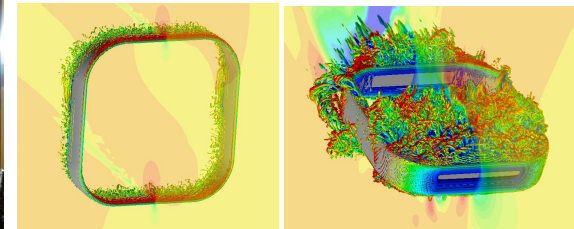
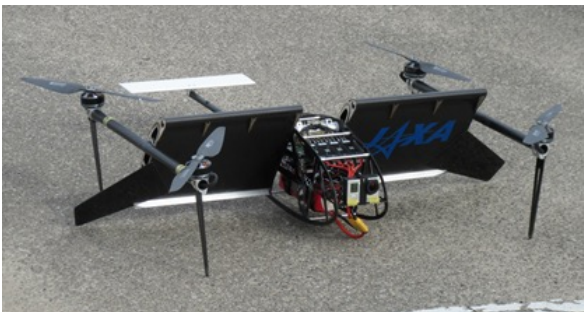
- 騒音低減効果のあるスキュードプロペラを基に設計
- ねじり下げとねじり上げの影響を相殺
- 遠心力と張力が釣り合う形状

**低騒音かつ構造的に優れたロータを実現**

# 目 標

PPB機構やLooppropなどの各種要素技術を  
組み合わせることで、  
高揚抗比と低騒音を兼ね備えたeVTOLを創出

物流，点検，災害時の利用等々，  
様々な分野での活躍が期待



飛行実証試験

風洞実験・数値解析

# PPB型eVTOLにおける プロペラ-翼干渉



# プロペラ-翼干渉に関する研究

多くは翼前方にプロペラを置いたもの




North et al., AIAA SciTech 2021 (2021)

近年の対象は

- 電動航空機
- 火星飛行機
- Tilt-wing eVTOL etc.

他, 国内では東北大(永井先生), ISAS(大山先生), 都立大(金崎先生), 横国大(北村先生)などなど

 **aerospace**

Article  
**Computational Study of Propeller-Wing Aerodynamic Interaction**

Pooneh Aref<sup>1</sup>, Mehdi Ghoreyshi<sup>1,\*</sup>, Adam Jirasek<sup>1</sup>, Matthew J. Satchell<sup>1</sup> and Keith Bergeron<sup>2</sup>

*J. Fluid Mech.* (2021), vol. 908, A10. © The Author(s), 2020. 908 A10-1  
Published by Cambridge University Press  
This is an Open Access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
doi:10.1017/jfm.2020.792

**Underlying mechanisms of propeller wake interaction with a wing**

M. Felli†

INM-CNR, National Research Council, Institute of Marine Engineering, 00128 Rome, Italy  
(Received 2 May 2020; revised 20 July 2020; accepted 7 September 2020)

AIAA JOURNAL

**Experiments of Propeller-Induced Flow Effects on a Low-Reynolds-Number Wing**

Garvin K. Ananda<sup>a</sup> and Michael S. Selig<sup>b</sup>  
*University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois 61801*  
and  
Robert W. Deters<sup>c</sup>  
*Embry-Riddle Aeronautical University, Daytona Beach, Florida 32114*  
DOI: 10.2514/6.2020-1056667

**Aerodynamic Analysis of Tandem Tilt-Wing eVTOL Aircraft in Cruise and Transition Flight**

Atsushi Shinozuka<sup>1</sup> and Shota Taniguchi<sup>2</sup>  
*Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, Sagamiharu, Kanagawa, 252-5210, Japan*

Kanako Yasue<sup>3</sup>  
*JAXA, Chofu, Tokyo, 182-8522, Japan*

Ryota Fukuchi<sup>4</sup>  
*SUBARU Corporation, Utsunomiya, Tochigi, 320-8564, Japan*

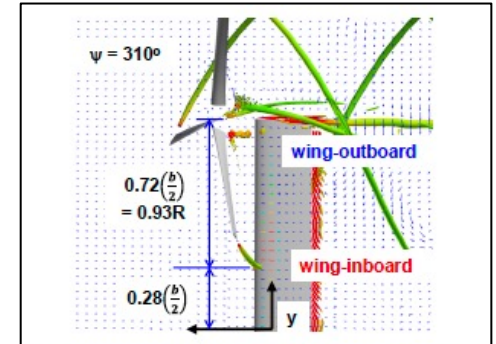
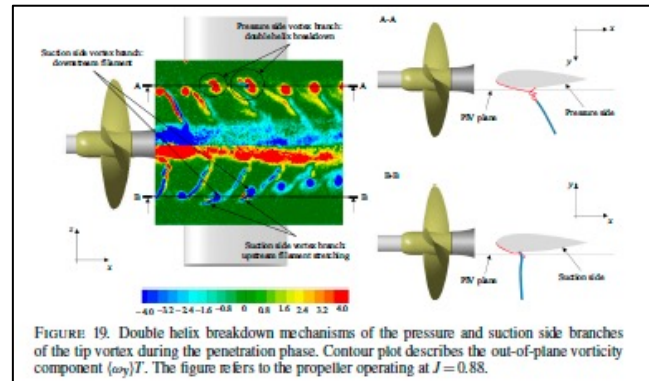
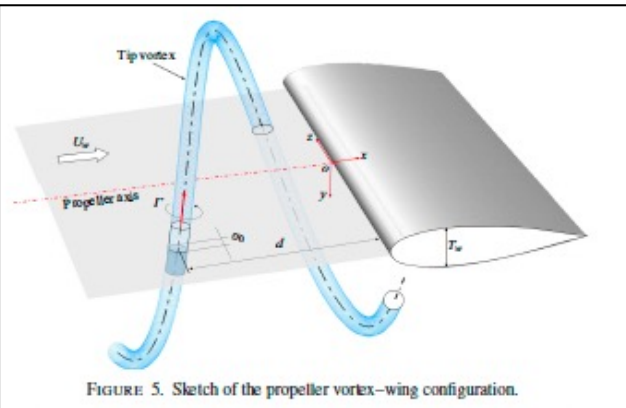
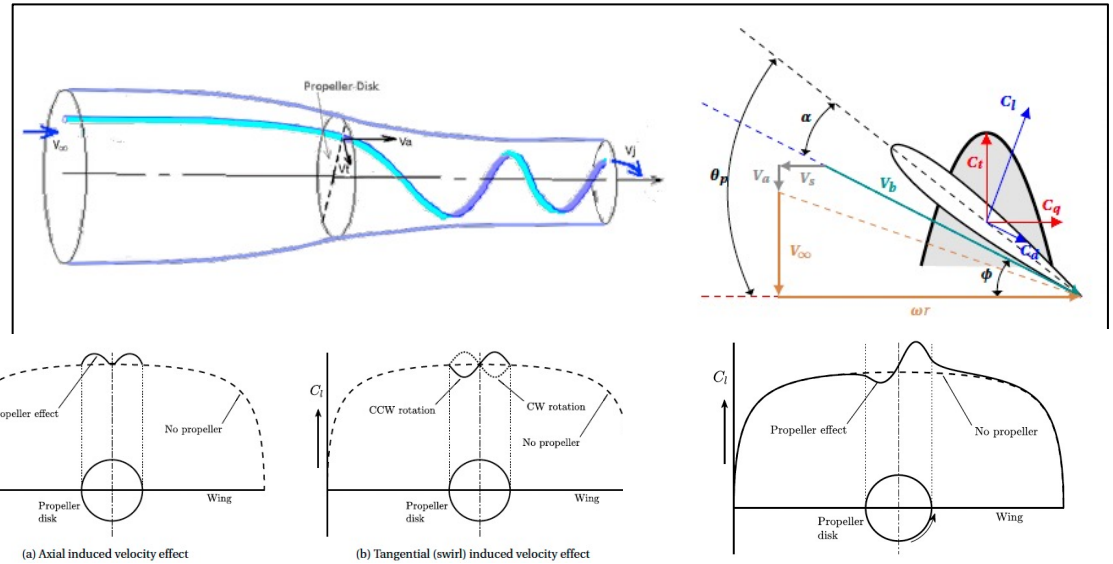
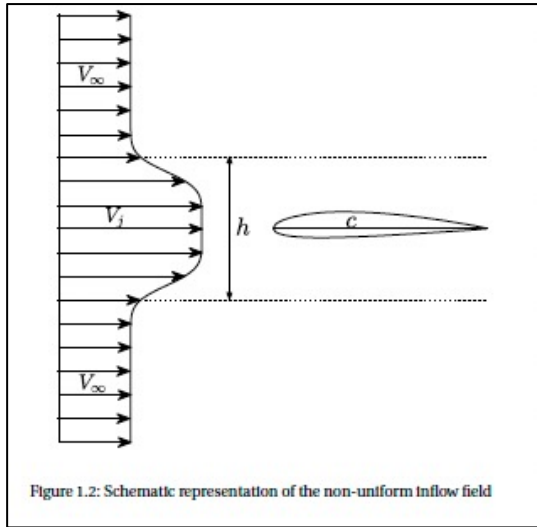
Akira Oyama<sup>5</sup>  
*Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, Sagamiharu, Kanagawa, 252-5210, Japan*



# プロペラ-翼干渉に関する研究

## 翼前方にプロペラをおいた場合の効果

R. Nederlof, Master thesis at the Delft University of Technology



M. Felli, Underlying mechanisms of propeller wake interaction with a wing, JFM (2020)

J. Lim, Fundamental Investigation of Proprotor and Wing Interactions in Tiltrotor Aircraft, 19VFS (2019)

# プロペラ-翼干渉に関する研究

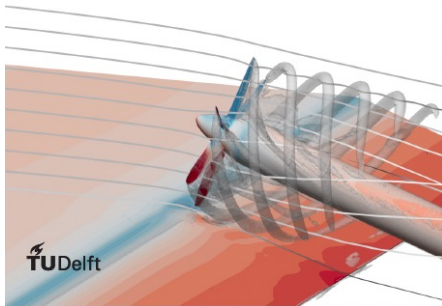
## 翼上方にプロペラを置いたもの

## デルフト工科大学のグループが近年多く発表

Aerodynamic interaction effects present in tiltable over-the-wing propeller systems

A numerical study

Sören Adrian Bölk



Master thesis



Master thesis

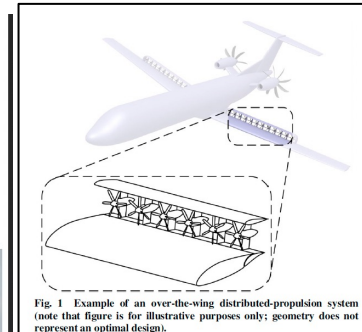
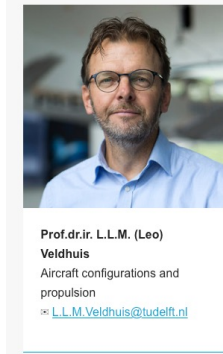
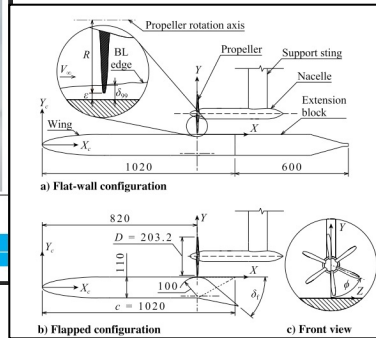


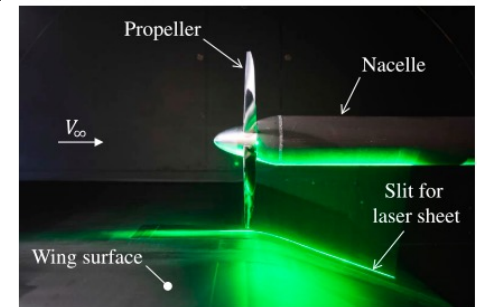
Fig. 1 Example of an over-the-wing distributed-propulsion system (note that figure is for illustrative purposes only; geometry does not represent an optimal design).



Prof.dr.ir. L.L.M. (Leo) Veldhuis  
Aircraft configurations and propulsion  
✉ [L.L.M.Veldhuis@tudelft.nl](mailto:L.L.M.Veldhuis@tudelft.nl)



Dr.ir. R. (Roelof) Vos



b) Close-up of propeller (viewed from below)

Vries and Vos, "Aerodynamic Performance Benefits of Over-the-Wing Distributed Propulsion for Hybrid-Electric Transport Aircraft", J. Aircraft (2023).

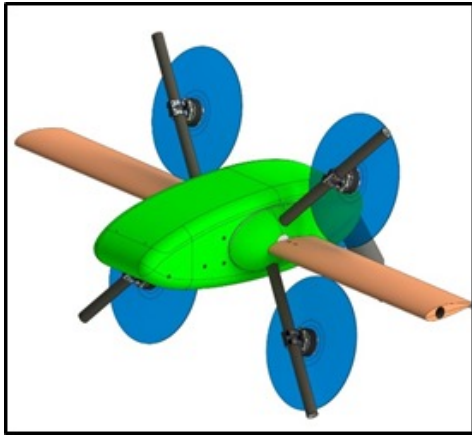
Vries et al., "Experimental Investigation of Over-the-Wing Propeller–Boundary-Layer Interaction", AIAA J. (2021)

Stokkermans and Veldhuis, "Propeller Performance at Large Angle of Attack Applicable to Compound Helicopters", AIAA J. (2021)



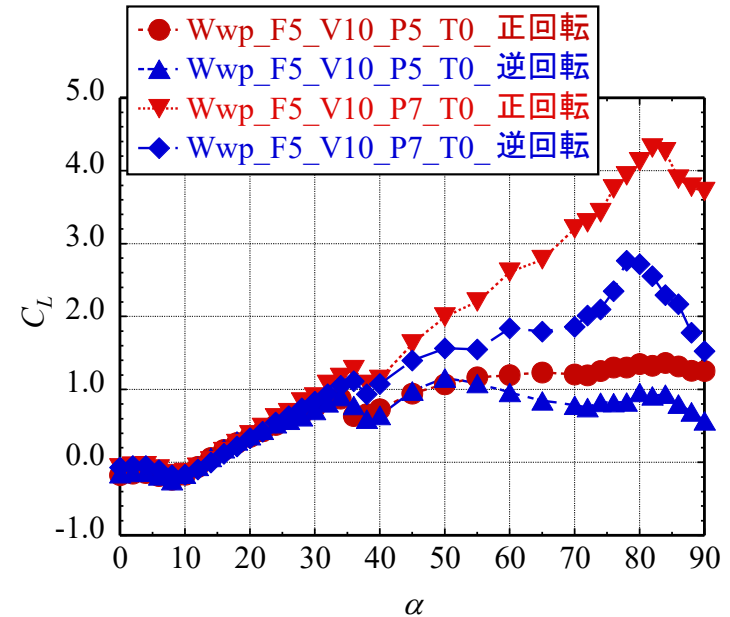
# PPB型eVTOLの形態例

## 翼に近接して上下に設置したプロペラと翼の干渉



嶋ら, 飛行機シンポジウム(2023)

中新井田ら, 飛行機シンポジウム(2023)



- 上下のプロペラ流れが翼性能に与える影響
- ガーニーフラップ付き翼との干渉
- プロペラ回転方向の影響 etc.

数値解析によって流れ場を調べる

# 数値解析方法

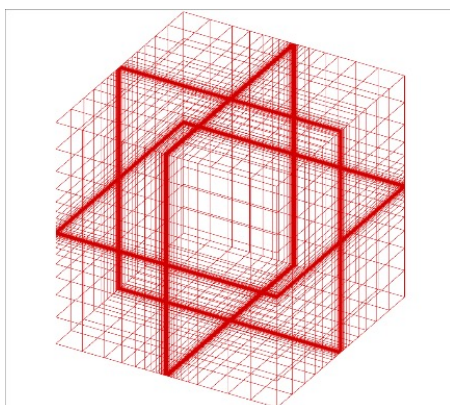
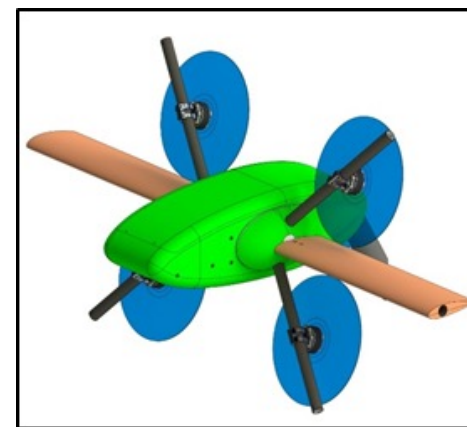
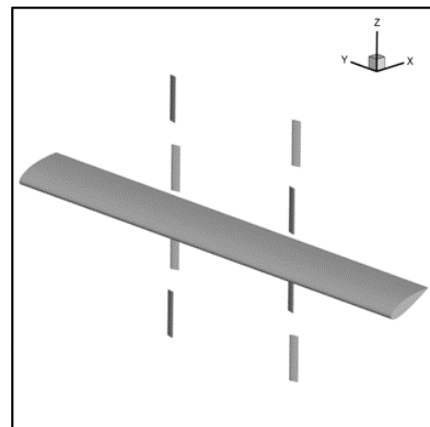
10

## 計算対象(2023実験に準拠)

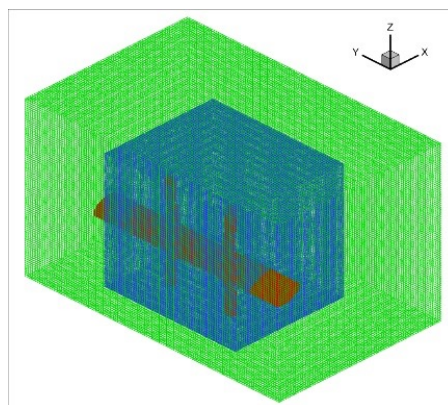
- 風速[m/s] : 10, 20
- プロペラ回転数[rpm] : 7700
- 迎角[deg] : 30, 50

## 計算手法・計算格子

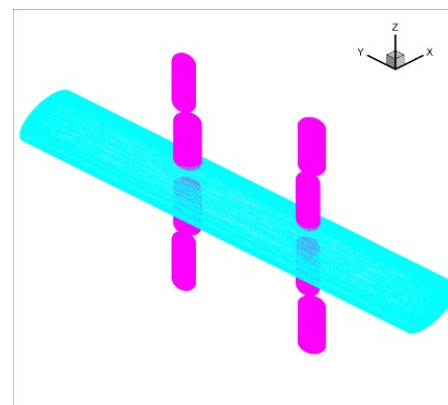
- ソルバー : rFlow3D
- 計算格子 : 約3300万点



外側背景格子



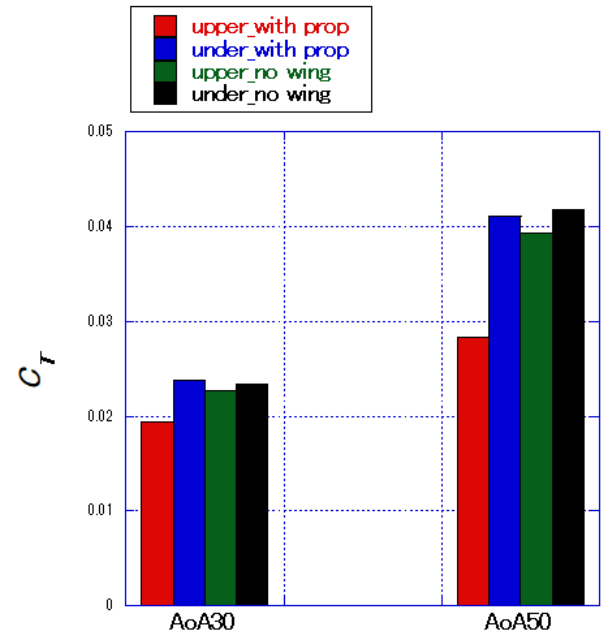
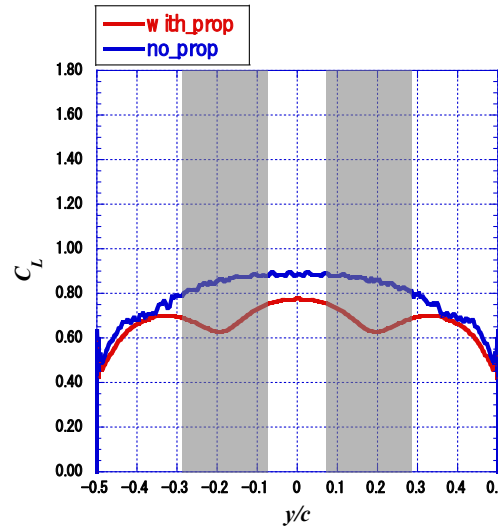
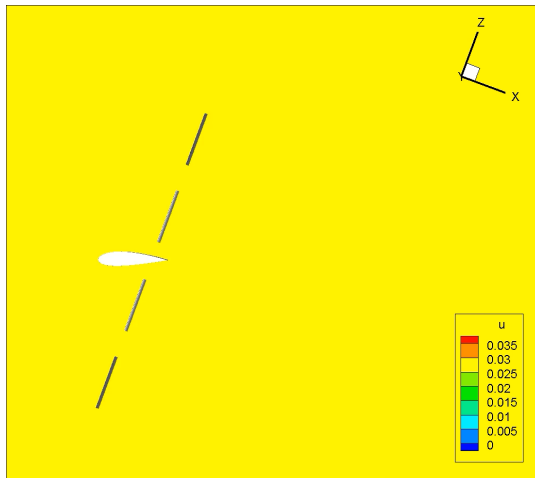
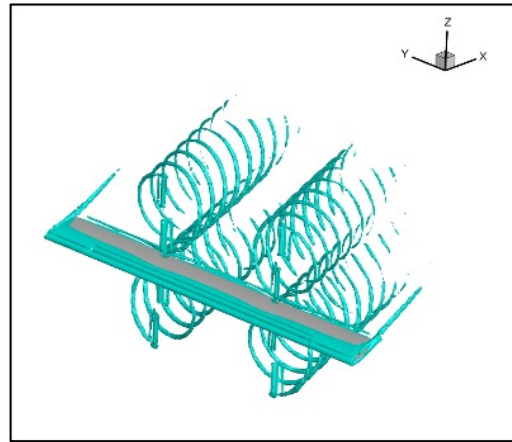
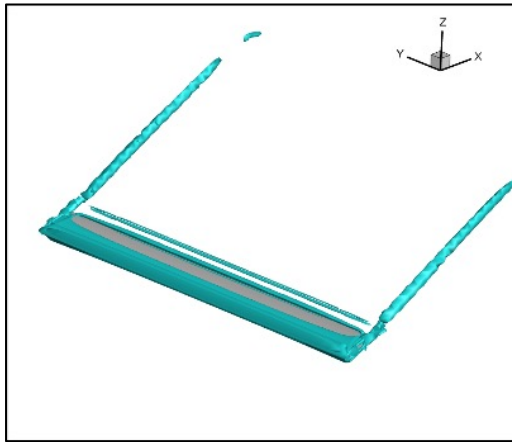
内側背景格子



物体周り格子

JSS3 ノード数: 1 計算時間: 約720 [hs]

## PPB型eVTOLのプロペラ-翼干渉について検討中



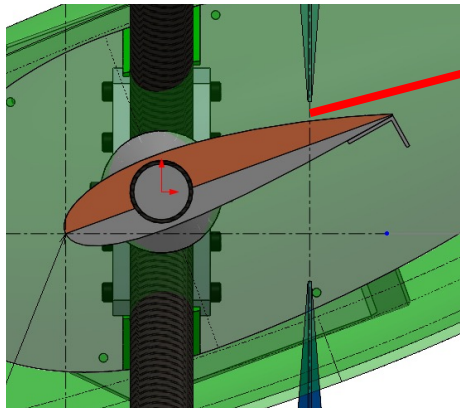
翼の存在がプロペラ  
性能に与える影響

プロペラ流れが翼性能に与える影響

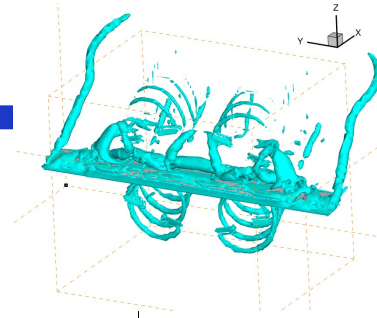
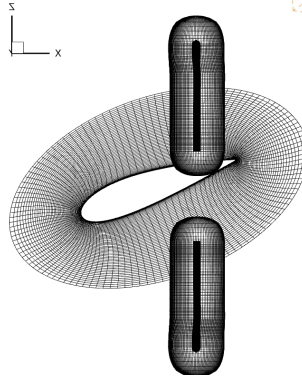
# 数値解析の課題

12

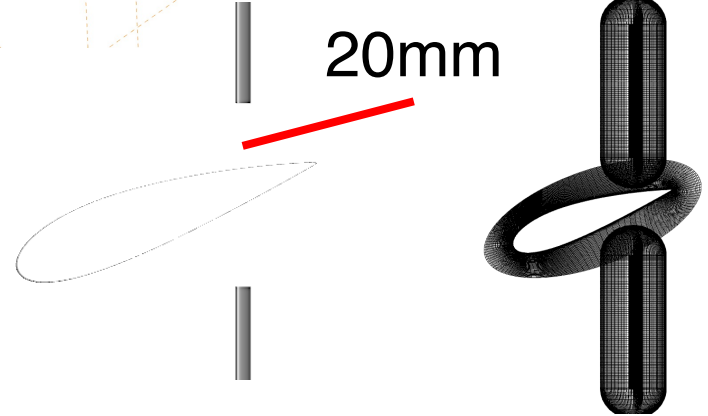
## プロペラと翼間の距離に制約



7mm

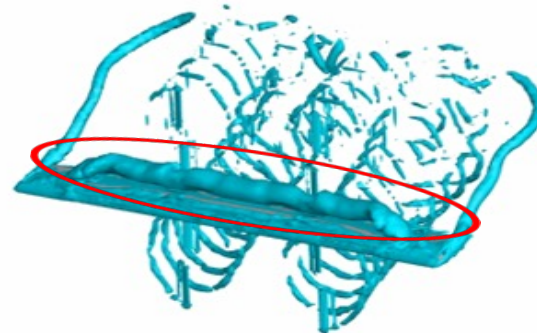


20mm




大規模な剥離流れの場合、流れの時間スケールがプロペラ1回転より大きい

プロペラ1回転分の平均だと不十分



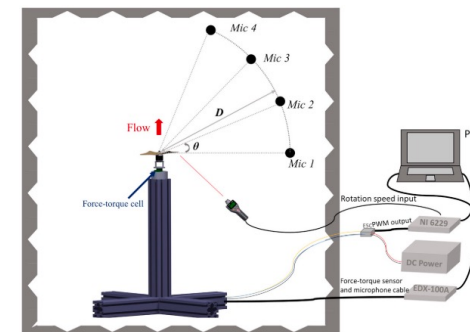
# Looppropの数値解析



# Looppropに関する実験



Sun et al., Int. J. Environmental Research and Public Health (2023)



## Looppropロータの騒音低減効果を確認

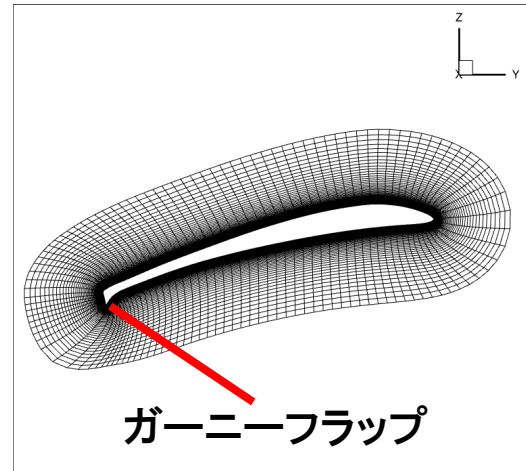
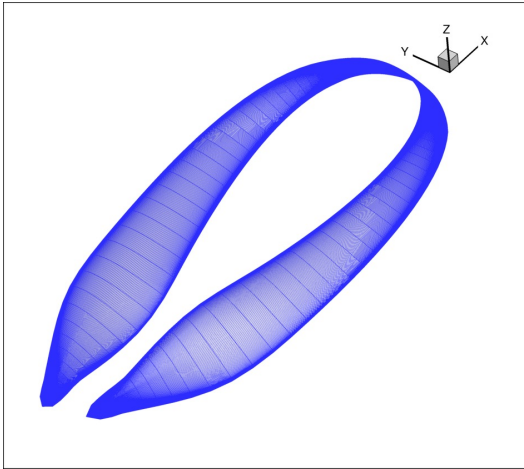


**Loopprop形状の最適化が必要**

数値解析によってLoopprop周りの流れ場、  
空力特性の把握



## Looppropブレード格子(SOH)の自動作成ツール



非公開

# 数値解析結果

詳細はAIAA AVIATION 2024  
にて発表予定

16

非公開

## PPB型eVTOLにおけるプロペラ-翼干渉の数値解析

- 翼に近接して上下に設置されたプロペラと翼の干渉について、プロペラ誘起流れが翼性能に与える影響および翼の存在がプロペラ性能に与える影響を調査
- 翼とプロペラをより近接した数値解析の実行が課題

## 静粛ロータ「Looprop」の数値解析

- Loopropの自動格子生成ツールで作った格子を用いた数値解析を行い、Loopropの特性について調査
- 最適化手法の適用には計算時間の短縮(計算の高速化)が必須