

# ロータの影響を受けるプロペラの振動計測

防衛大学校  
有田俊作, 糸賀紀晶

# 研究背景

ロータ下にプロペラを有する形態が提案されている



<https://www.aero.jaxa.jp/spsite/helicopter/002.html>

K-RACERの図

[https://www.khi.co.jp/pressrelease/detail/20201006\\_1.html](https://www.khi.co.jp/pressrelease/detail/20201006_1.html)

RACERの図

<https://www.airbus.com/en/innovation/disruptive-concepts/disruptive-design/racer>

Conceptual model by Jaunt air mobility

<https://evtol.news/jaunt-air-mobility/>

# 研究背景

特に**ホバリング時**，ロータ，主翼，プロペラが干渉し，性能が変化する

- ・プロペラ性能への影響
  - ・主翼ダウンロードへの影響
- } 引き続き研究中

- ・プロペラ振動への影響
- 今回発表

# 研究背景

・プロペラ振動への影響

今回発表



<https://www.airbus.com/en/innovation/disruptive-concepts/disruptive-design/racer>

JAXAコンセプトモデル, RACERについて, ロータ下のプロペラ性能をCFD解析により調べ, 振動に言及している研究例がある  
(木村2020, Frey2022, Ohrle2019, Stokkermans2018 等)



- ・プロペラBPF (Blade Passing Frequency) の振動が励起される
- ・ロータBPFの振動は励起される場合とされない場合がある

Fig 12 of  
Frey et al., Aerodynamic Interactions on Airbus  
Helicopters Compound Helicopter RACER in Hover,  
J. AHS, Vol. 67, 012007-1-17, 2022

プロペラ面の推力分布が不均一になるので,  
プロペラBPFが励起されることは自明

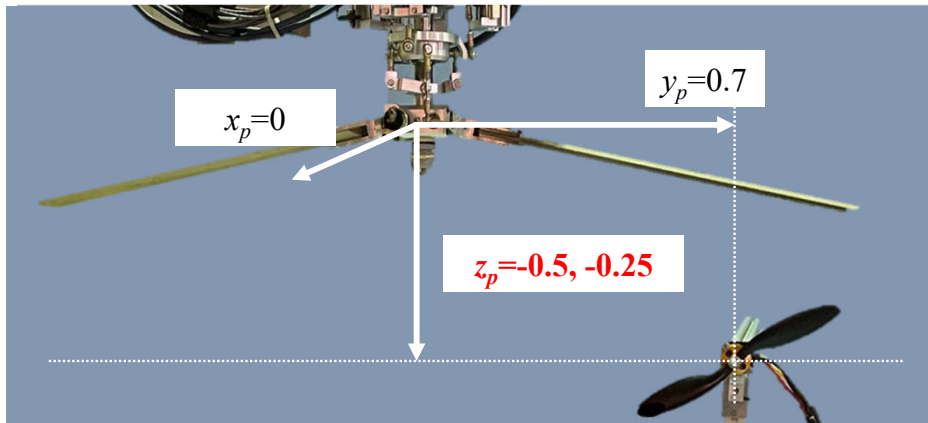
# 研究目的

ロータの影響を受けるプロペラに生じる振動を実験的に確認する。  
様々な条件における結果を整理し、振動の観点から有利あるいは不利な作動条件を明らかにする。

その前段階として・・・

本研究会で、振動測定の現状を報告し、手法や条件についてご意見をいただきたい。

# 実験装置



※ロータ半径で無次元化

今回の実験パラメータ

- ・プロペラピッチ
- ・ロータ - プロペラ鉛直距離
- ・プロペラ回転数

## 模型ロータ諸元

翼型	NACA0015
ロータ半径	469mm
翼弦長	60mm
ブレード枚数	2枚
ねじり下げ	なし
ヒンジオフセット	17mm
ルートカットアウト	113mm

## プロペラ諸元

プロペラ直径	6inch (152mm)
ブレード枚数	2枚
<b>幾何ピッチ</b>	<b>3inch, 5inch</b>

# 実験装置

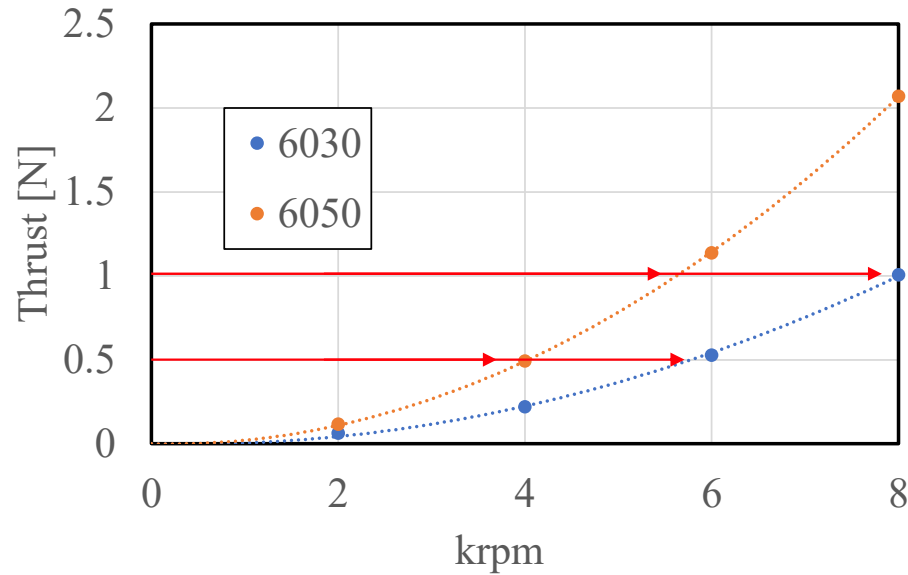
参考：JAXAコンパウンドヘリ模型（木村2020）と実験条件との比較

	$X_p$		$y_p$		$z_p$		プロペラ直径	
	JAXA模型	本実験	JAXA模型	本実験	JAXA模型	本実験	JAXA模型	本実験
実寸 [mm]	-63	0	527	328	-180	-235 -117	250	152
ロータ 半径比	-0.08 ↔	0	0.69 ↔	0.70	0.24 ↘	0.50 0.25	0.327 ↔	0.325

Fig. 10 of  
木村等, コンパウンドヘリコプタのメインロータとサイドプロペラの空力干渉, 第58回飛行機シンポジウム, オンライン, JSASS-2020-5153, 2020

サイドプロペラはその全体が後流の影響下にある

# 実験装置



$$C_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad \text{ただし } n : \text{rev/sec}, \quad D : \text{プロペラ直径} \quad (\text{木村2020})$$

おおむね  $C_T = 0.08$  (幾何ピッチ3inch)  
 $C_T = 0.17$  (幾何ピッチ5inch)

Fig. 6 of  
 木村等, コンパウンドヘリコプタのメインロータとサイドプロペラの空力干渉, 第58回飛行機シンポジウム, オンライン, JSASS-2020-5153, 2020

プロペラ単体での回転数と推力の関係

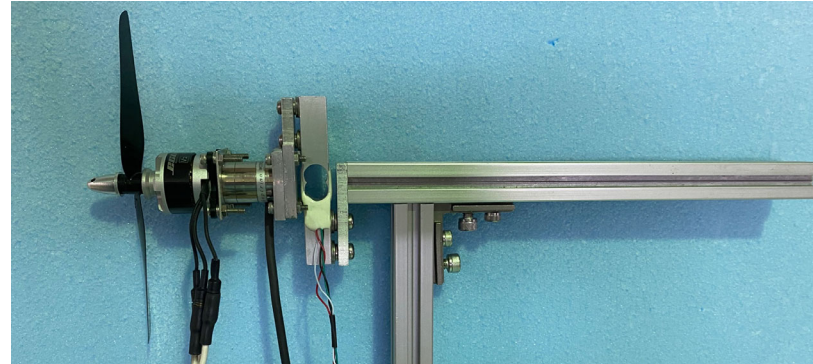
$\theta = 10, 17 \text{ deg}$  に相当

プロペラ実験におけるプロペラ回転数は、単体での推力が0.5Nおよび1.0Nとなる回転数とした  
 幾何ピッチ3inch : 5800rpm, 8000rpm  
 幾何ピッチ5inch : 4000rpm, 5600rpm

※今回の実験条件 ( $y_p = 0.7$ , ロータ作動条件 :  $C_Q = 6.91 \times 10^{-4}$ ) で、アンチトルクに必要なプロペラ推力は1.05N



# 実験装置

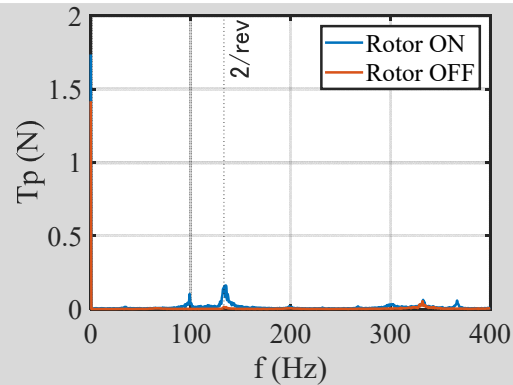


6分力計：Leprino PFS020YA500U6（サンプリング周波数1200Hz）  
SPロードセル：Sensorcon Micro Load Cell SC133（暫定1000Hz）

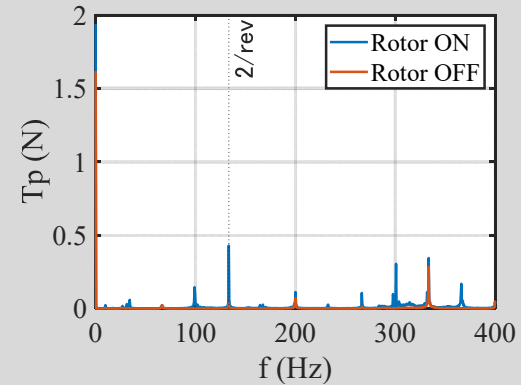
荷重計が2種類？

## 試し取り条件

4000rpm  
8045プロペラ  
 $x_p=0$   
 $y_p=0.7$   
 $z_p=0.5$



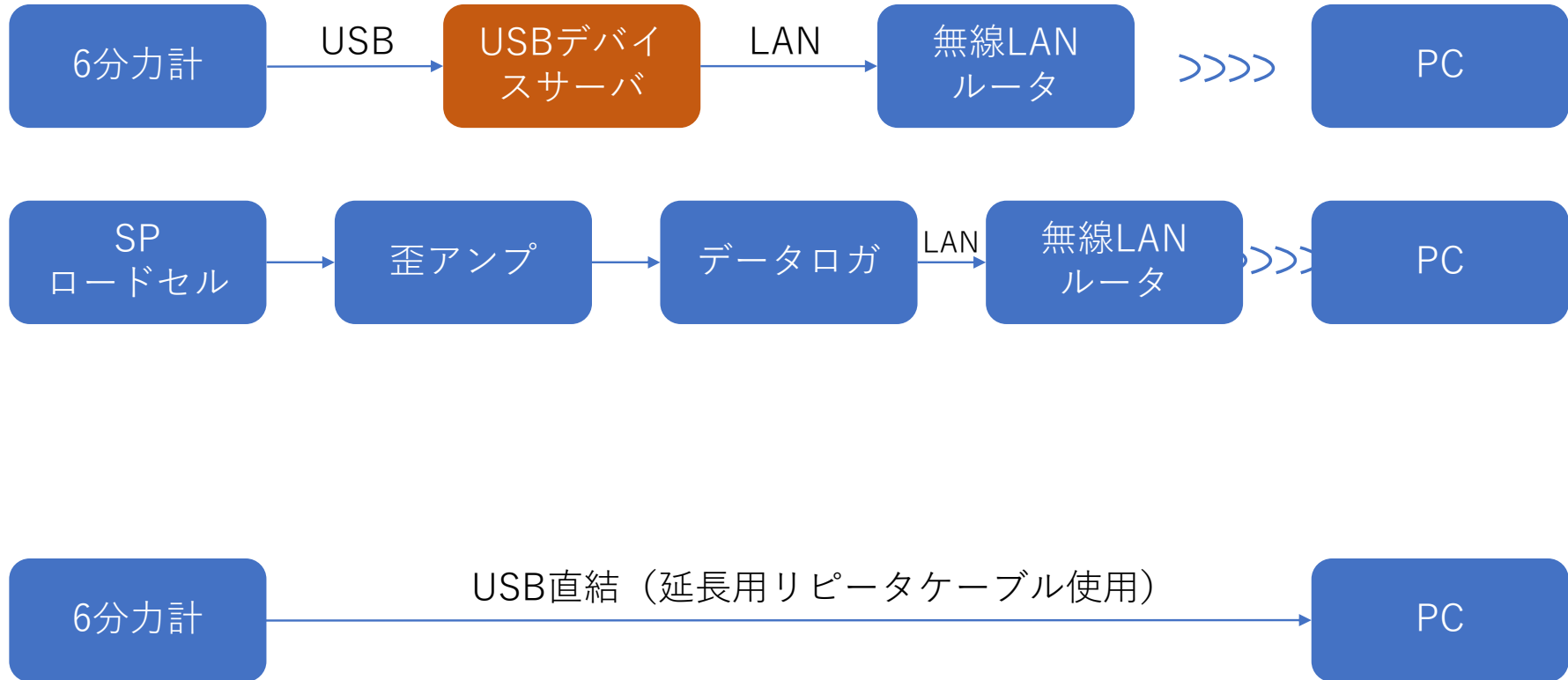
6分力計



SPロードセル

6分力計のデータを利用するとピーク周波数が1Hz程度ずれており、鋭いピークが立たない

# 失敗の原因

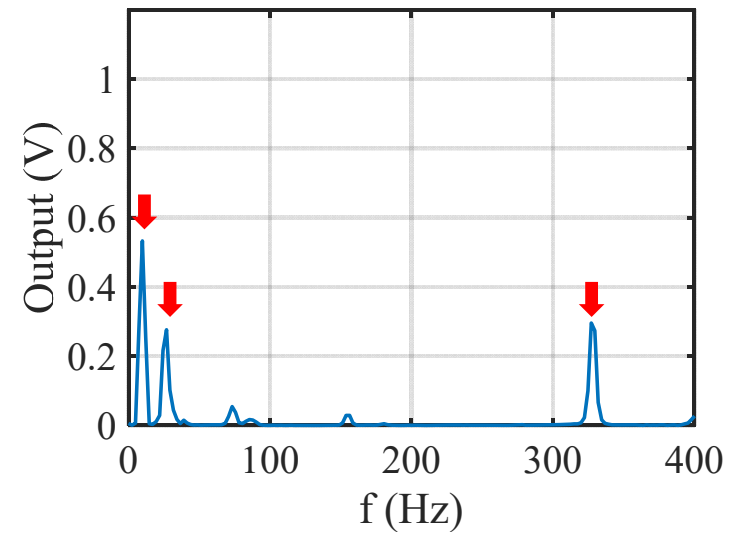
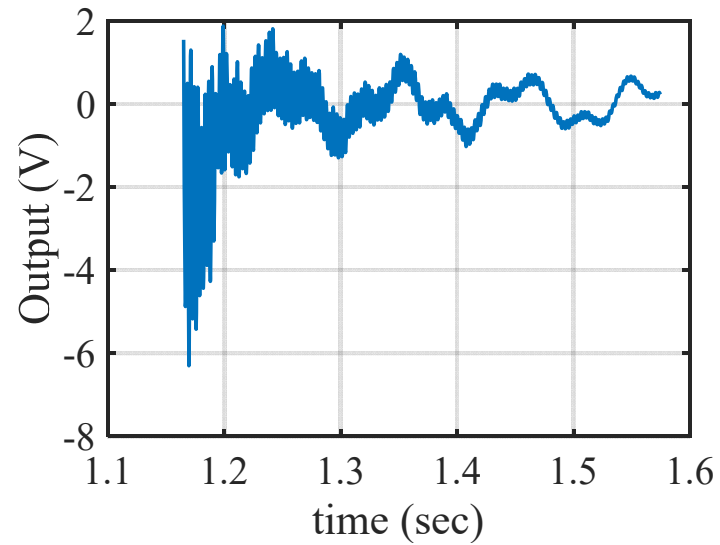
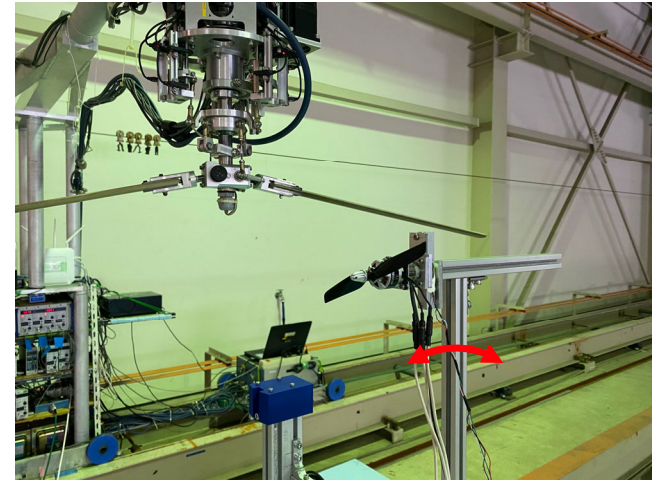


SPロードセル (1000Hz, 5000Hz) の結果と比較  
6分力計も振動解析に利用可能と判断

# 実験装置

実験装置の固有振動数確認 (タッピング)  
サンプリング周波数5000Hz, データ長2048, 矩形窓

取付治具の振動: 約10Hz, **約27Hz** ( $z_p$ に応じて変化)  
SPロードセルの振動: 約330Hz



# 実験結果

(振動以外の性能変化)

$z_p = 0.25$

ピッチ	回転数	推力[N] (ロータ有)	推力[N] (ロータ無)	推力比	パワー[W] (ロータ有)	パワー[W] (ロータ無)	パワー比
3inch	5800	0.57	0.47	1.21	2.39	2.98	0.80
	8000	1.05	0.97	1.08	7.11	7.92	0.90
5inch	4000	0.57	0.50	1.14	3.19	2.89	1.10
	5600	1.05	0.97	1.08	8.45	7.90	1.07

$z_p = 0.5$

ピッチ	回転数	推力[N] (ロータ有)	推力[N] (ロータ無)	推力比	パワー[W] (ロータ有)	パワー[W] (ロータ無)	パワー比
3inch	5800	0.60	0.47	1.26	2.88	2.96	0.97
	8000	1.09	0.98	1.11	7.70	7.99	0.96
5inch	4000	0.59	0.48	1.23	3.44	2.88	1.19
	5600	1.10	0.97	1.13	9.21	7.88	1.17

$z_p$ が大きい方が、推力変化が大きい

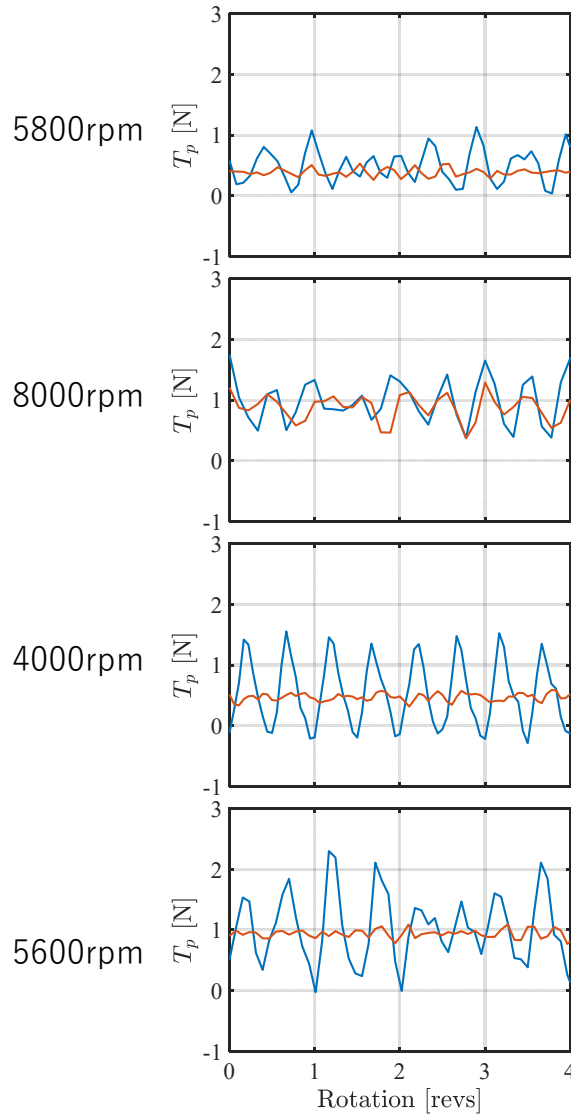
3inchプロペラはロータの影響で推力が増加するにもかかわらず、パワーは減少する。 $z_p$ が小さい場合に顕著

# 実験結果

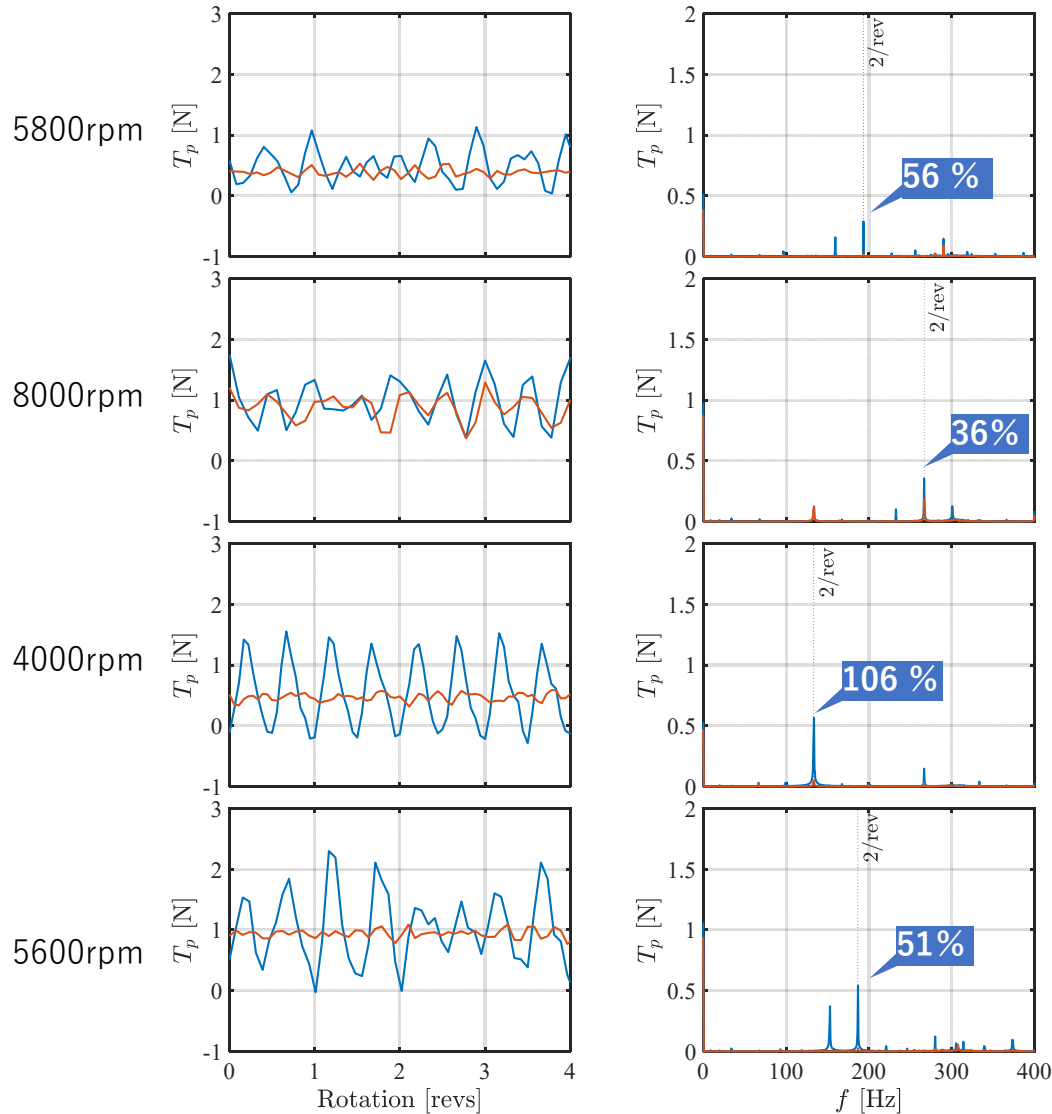
サンプリング周波数1200Hz, データ長2048×10, 矩形窓

$$z_p = 0.25$$

幾何ピッチ  
3inch



幾何ピッチ  
5inch



振幅は推力よりもピッチ角に依存する

ロータBPF(34Hz)はほとんど観測できない

木村2020の結果  
( $\theta_{sp} = 10\text{deg}$ の時, 4%程度)  
に比べて振幅が大きい  
※本実験のプロペラの $C_T$ は,  
 $\theta_{sp} = 10,17\text{deg}$ に相当

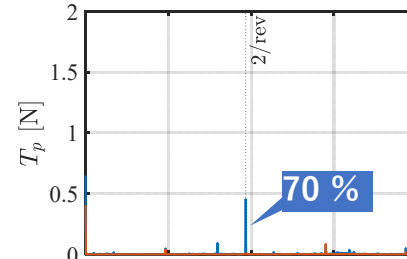
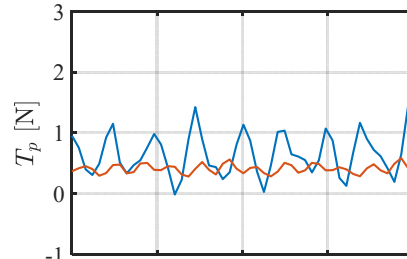
# 実験結果

サンプリング周波数1200Hz, データ長2048×10, 矩形窓

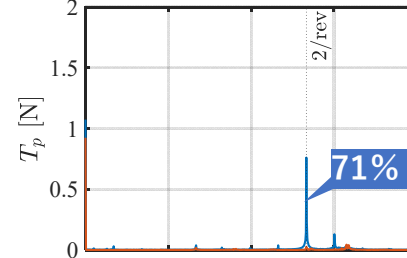
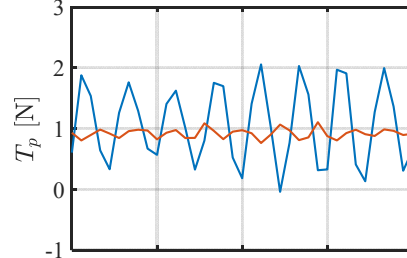
$$z_p = 0.5$$

幾何ピッチ  
3inch

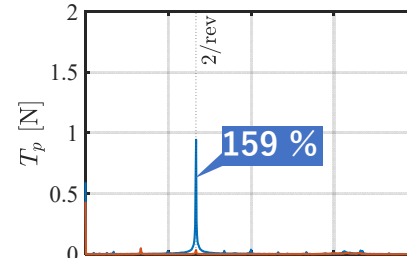
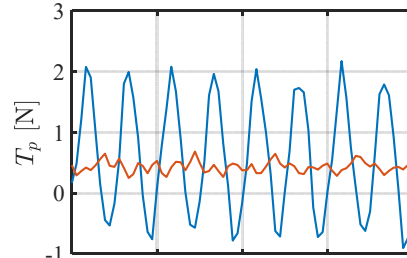
5800rpm



8000rpm

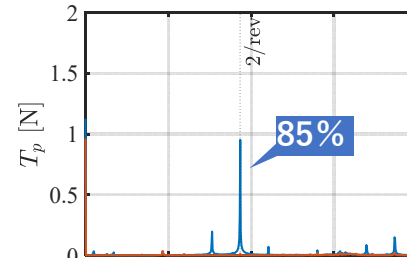
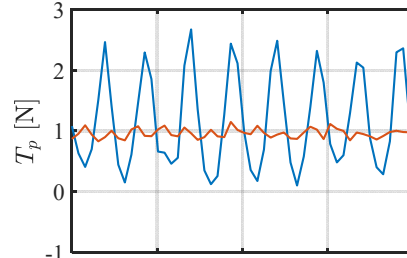


4000rpm



幾何ピッチ  
5inch

5600rpm



振幅は推力よりもピッチ角に依存する

ただし幾何ピッチ3inchの場合は推力に応じて振幅も大きくなっている

ロータBPF(34Hz)はほとんど観測できない

木村2020の結果

( $\theta_{sp} = 10\text{deg}$ の時, 4%程度)に比べて振幅が大きい

※本実験のプロペラの $C_T$ は, $\theta_{sp} = 10,17\text{deg}$ に相当

$z_p = 0.5$ の方が0.25の場合よりも振幅が大きい  
(吹きおろしの大きさが関係?)

## 結論

- ロータの影響によるプロペラの振動はプロペラBPFが最も顕著
- 実験ではロータBPFの振動は観測できなかった
- CFD解析の結果よりも大きな振幅を観測
- 振幅は推力よりもピッチ角に依存（推力変化とは相関あり）
- ロータ - プロペラ鉛直距離が大きい方が振幅が大きい

★結果の背景にある現象について考察中