

開閉式プレートの使用材料および開閉角制御に伴う交差軸風車の風車トルクに関する検討

Wind Turbine Torque of a Cross-Axis Wind Turbine  
Under Conditions of Varying Materials and Opening Angle Control of the Openable Plates

佐藤匠<sup>1</sup>, ○藤澤佐翔<sup>1</sup>, 鈴木渉<sup>2</sup>, 惠藤浩朗<sup>3</sup>  
Takumi Sato<sup>1</sup>, \*Yoshito Fujisawa<sup>1</sup>, Wataru Suzuki<sup>2</sup>, Hiroaki Eto<sup>3</sup>

Abstract: Offshore wind power generation is currently attracting attention, and the Floating Cross Axis Wind Turbine (FCAWT) has been proposed. Existing studies have confirmed the usefulness of retractable plates as a mechanism to improve the starting performance, but further study is needed on the adjustment of the plate material and opening angle to further improve starting performance.

1. はじめに

洋上風力発電では、水平や垂直軸型風車による運用や検討が進められているが、風向に対する制御や低風速域での起動性能に課題が残されている。そこで本研究では Figure 1 に示すような低回転時に各翼部に取り付けられた開閉式プレート（以下、プレート）が自重で開き、風に対する受圧面積を増加させ抗力型翼として起動性能を確保可能な交差軸風車（以下、FCAWT）<sup>[1]</sup>に関する検討を実施する。FCAWT の起動特性に関する既存研究としては加藤ら<sup>[1]</sup>による検討が挙げられ、プレートの有無による比較からプレートにより風車全体に作用する抗力係数が約 2.4 倍で得られることが確認されたが、Figure 1 に示すプレートの前面が受ける空気抵抗による起動性能低下に課題が残されている。

そこで、本研究では起動時および低回転時におけるプレートの使用材料や開閉角制御に伴う FCAWT の風荷重解析を行い、FCAWT のプレートを有する 1 枚の翼に着目し、風車が 1 回転する間に作用する翼に対する抗力 ( $F_D$ ) の評価を実施する。また風車全体としての性能を評価するため各翼が風車軸を回そうとする風車トルク ( $\tau$ ) を算出して比較検討を行う。またプレートの開閉角 ( $\theta$ ) や迎え角 ( $\alpha$ ) を Figure 2 に示す。本来であれば  $\alpha$  に角度を与えた解析が必要となるが、本研究では  $\theta$  の変化に焦点を当てているため  $\alpha=0\text{deg}$  とした。

2. 計算モデルの概要

Figure 3 に OKYA (株) による実証実験<sup>[2]</sup>に用いられた風車モデルを示す。本研究ではこの実証実験の諸元と中規模水平軸型風車の諸元から、Table 1 に示す諸元の風車モデルを構築した。風車は 3 枚翼で翼型は NACA0018 とし、Table 2 に示すとおりプレートの使用材料をマグネシウム (Mg) と中空ポリカーボネートと

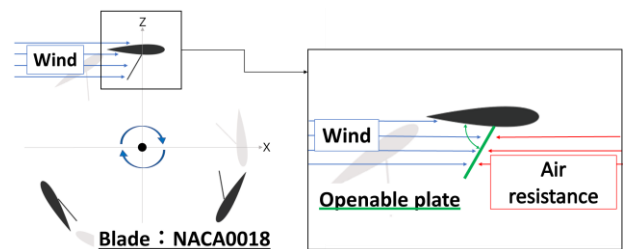


Figure 1 Cross section of a wind turbine.

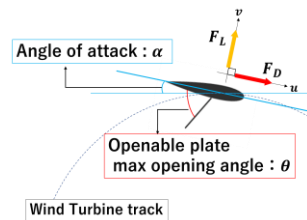


Figure 2 Opening angles of the openable plates.



Figure 3 Existing model.

Table 1 Wind turbine model specifications.

Plate width ( $W_B$ )	6.0 [m]
Plate thickness ( $t_B$ )	1.1 [m]
Openable plate width ( $W_p$ )	3.0 [m]
Openable plate thickness ( $t_p$ )	0.1 [m]
Openable plate max opening angle ( $\theta$ )	60, 45 [deg]
Blade and retractable plate length	36.0 [m]
Blade materials	Mg
Openable plate materials	Mg, hollow PC
Turning radius ( $r$ )	10 [m]

Table 2 Materials and opening angles of the openable plates of each wind turbine model.

	Materials of Openable plates	Maximum opening angle ( $\theta$ )
Model 1	Mg	60 [deg]
Model 2	Hollow PC	60 [deg]
Model 3	Mg	45 [deg]

設定してプレートの重量の変化に伴う起動特性の比較を行うとともに、 $\theta$  を 60, 45[deg]と変化させた解析を行うことで Model 1~3 の 3 種類の計算モデルにおける

1:日大理工・学部・海建 2:日大理工・院(前)海建 3:日大理工・教員・海建

翼に作用する風車トルクの評価も実施する．また風速  $V_w$  は  $V_w=5[m/s]$  と比較的低風速の定常風を用い， $V_w$  と周速比 ( $\lambda = 1$ ) から算出した角速度 ( $\omega$ ) で風車を強制回転させることで運転時を再現した非定常解析を実施した．

### 3. 計算結果および考察

#### 3.1. プレートの使用材料の風車トルクへの影響把握

Model 1, 2 を比較し  $F_D$  と  $\tau$  の時刻歴応答を Figure 4, 5 に，6.28[s] 時の風況図を Figure 6 に示す．グラフよりプレートの重量が変化しても  $F_D$ ， $\tau$  は共にほぼ等しい値が得られることが確認された．これは式 (1) に示すプレートに作用する遠心力と重量の釣合式の両辺に質量が含まれていることから，質量にほとんど依存せず，同様の結果を示したと考えられる．

$$mr\omega^2 = mg \quad (1)$$

ただし， $g$  : 重力加速度

#### 3.2. 開閉角制御の風車トルクへの影響把握

Model 1, 3 を比較し計算結果を Figure 7, 8 に示す．また抗力に差が生じた 5.49[s] 時の流況図を Figure 9 に示す． $F_D$  を比較すると最大値は一樣な値となったが，4~6[s] における最小値に注目すると Model 1 と比較し Model 3 は数値が増加していることが確認された． $\tau$  に関しては Model 3 の方が最大値は減少したが最小値が増加している．これらの結果から  $\theta$  を制御した Model 3 の方が，風車が回転する間に作用する空気抵抗を低減することができ， $\tau$  も比較的安定すると考えられる．

### 4. おわりに

本研究で得られた知見を以下に示す．

- 低回転時，起動特性はプレートの重量に依存せず用途に応じて使用材料を検討可能．
- $\theta$  の制御により空気抵抗を低減可能であり  $\tau$  を比較的安定して得ることが可能．
- $\tau$  に負の値が確認されており風車を逆回転させようとする力が生じている．今回は抗力のみ焦点を当てたが，今後は揚力も考慮し Figure 2 に示す迎え角の設定などにより， $\tau$  を正の値で安定して得られる条件の検討が必要．
- Figure 9 の流況を確認すると下部に位置する翼周辺に変化が見られ， $F_D$  に差が生じたことから今後はこの位置のプレートの挙動に着目し検討を実施．

#### 参考文献

- [1] 加藤靖崇，山川健介，須賀達樹，関口竣介，惠藤浩朗；浮体式交差軸型風車の起動特性に関する検討，日本大学理工学部学術講演会，2023.11
- [2] OKYA (株) <https://okya.jp/distinations/technology>

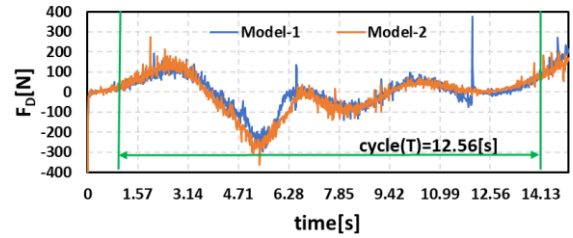


Figure 4 Drag acting on one set of blade and openable plate due to change in materials.

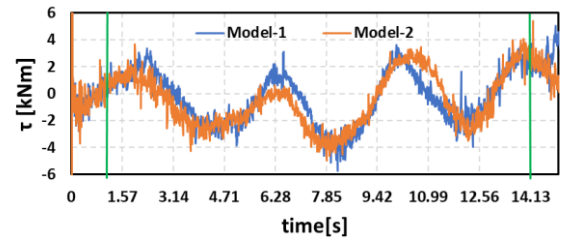


Figure 5 Total torque generated on wind turbine shaft due to change in materials.

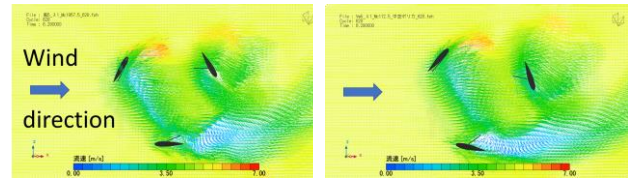


Figure 6 Wind flow diagram at 6.28[s].

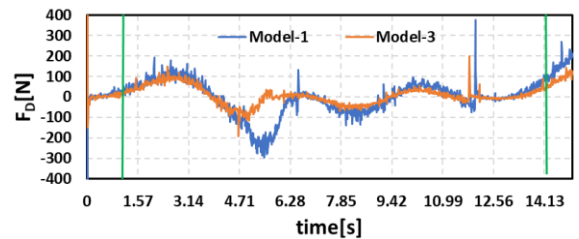


Figure 7 Drag acting on one set of blade and openable plate due to change in  $\theta$ .

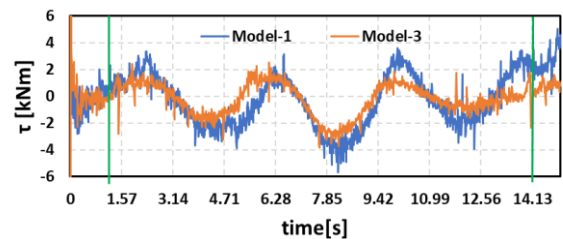


Figure 8 Total torque generated on wind turbine shaft due to change in  $\theta$ .

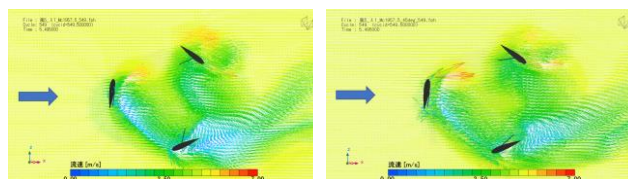


Figure 9 Wind flow diagram at 5.49[s].