

交差軸型風車の起動性能における迎角に関する研究

Research on angle of attack in the starting performance of cross-shaft wind turbines

上原鷹宗¹, ○中島裕也¹, 藤澤佐翔² 惠藤浩朗³

Takamune Uehara¹, *Yuya Nakajima¹, Yoshito Fujisawa², Hiroaki Eto³

Abstract: Amid growing attention on offshore wind power generation, the Floating Cross Axis Wind Turbine (FCAWT) has been proposed for its superior start-up performance. This study focuses specifically on the turbine's start-up phase to understand the impact of the openable plate attached to the blades on start-up performance. During startup, the force exerted by the blades attempting to rotate the shaft approximately doubled with the introduction of the openable plate, demonstrating its effectiveness in improving startup performance. Furthermore, to function as a lift-type turbine, angle-of-attack settings must be implemented, necessitating an evaluation of how the angle-of-attack affects the wind load characteristics during startup.

1. はじめに

再生可能エネルギーの利用が世界的に拡大する中、洋上風力発電が特に注目を集めており、日本でも水平軸および垂直軸型風車を対象に様々な検討が進められている。しかし、日本の海域の様々に不安定な風況下では、浮体式基礎を用いた沖合での運用が求められ、浮体動揺に伴う回転軸の傾斜が、発電効率および起動性能を低下させる要因として検討されている。そのような中、浮体式交差軸型風車（以下、FCAWT）が、株式会社 OKYA^[1]により提案された FCAWT の回転軸は、Figure 1 に示すように風向に対して交差する。そのため、浮体動揺に伴う回転軸の傾斜の影響が非常に少なく、安定した発電が期待されている。また、Figure 2 に示すような重力式の「開閉式プレート（以下、プレート）」が受風面積を拡大させることで、電力を使用せずに起動性能を向上させることが期待されている。

2. 研究目的

本研究は、FCAWT の起動時における風荷重特性把握を目的とし、プレートを付加したことによる起動性能への影響を評価する。また、Figure 2 に示す迎角 α [deg]が FCAWT の起動性能に与える影響の把握も実施する。

3. 計算モデルの概要

Figure 3 に OKYA（株）による実証実験に用いられた風車モデルを示す。本研究ではこの風車モデルと中規模水平軸型風車の諸元を参考に、Figure 4 に示す三枚翼直線翼型風車の計算モデルを Table 1 に掲げる条件で構築した。ここで翼型は NACA4412 を採用した。

4. 解析手法及び解析モデルの諸条件

本研究では、空中固定した FCAWT に作用する風荷重を評価するため、流体解析ソフト scFLOW^[2]を用いて

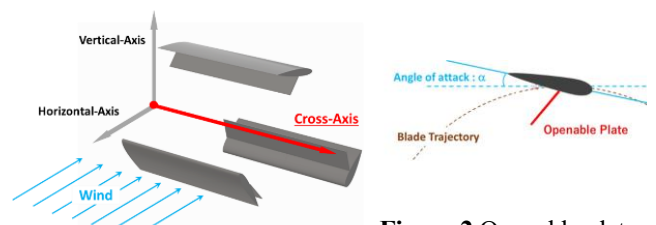


Figure 1 FCAWT Rotation Axis. Figure 2 Openable plate and Angle of attack.



Figure 3 Existing model.

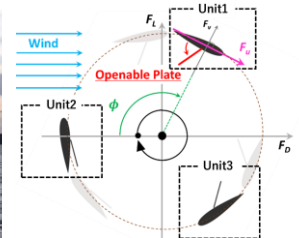


Figure 4 Cross section of a wind turbine. and F_u

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]
Blade and retractable plate length	36.0 [m]
Turning radius (r)	10.0 [m]

数値解析を実施した。事前計算に基づき、モデルと領域の奥行寸法を統一し、擬似二次元解析とし、奥行寸法を 0.5m とした。さらに、風車モデルにプレートを付加した場合と無い場合について、各翼に作用する全体座標系の力を局所座標系に変換し、回転軌道に対して接線方向の力 (F_u) を算出して評価する。

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

5. 計算結果および考察

5.1 開閉式プレートを付加した際の起動性能への影響

ブレード単体およびプレートの迎角 α が0degの場合の圧力図を Figure 5 に示す。ただし、起動時においてプレートは Figure 4 に示す Unit 1 でのみ開いた状態となることから今回は Unit 1 に作用する F_u の比較を行った。また、迎角ごとに算出した F_u を Figure 6 に示す。

Figure 5 より Unit 1 にかかる風荷重がプレートを付加した場合の方が高いことが確認された。さらに、Figure 6 よりいずれの迎角でも F_u が20~40Nほど増加することが確認された。このことから、起動性能向上に対するプレートの有効性を示す結果が得られたと考える。

5.2 迎角設定が起動時に風荷重特性に及ぼす影響

次に、起動時に α が風荷重特性に及ぼす影響を評価するために、Figure 4 に示す Unit1~3 に作用する F_u の合計値を Figure 7 に示す。Figure 7 より、 $\alpha=-20deg$ で最大値、 $\alpha=25deg$ で最小値を示した。Figure 6 において、Unit 1 の F_u が $\alpha=-30deg$ に近づくにつれ増加傾向を示すのに対し、Figure 7 の合計値では $\alpha=-20\sim-30deg$ にかけて低下傾向を確認した。この結果から、Unit 2, 3 における F_u の評価が必要と考えられる。さらに、藤澤らによる既存研究^[3]において自然環境条件、風速 $V_w=20m/s$ 、周速比 $\lambda=1.5m/s$ の条件下では $\alpha=-25m/s$ 付近で F_u の最大値が得られていることから、回転速度ごとに適切な α を検討する必要がある。

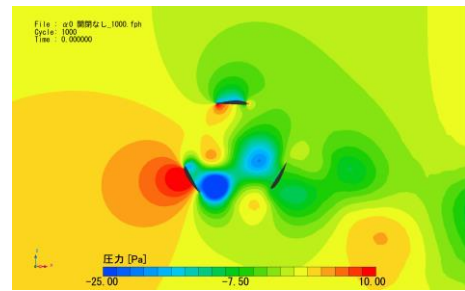
6. おわりに

本研究で得られた知見を以下に示す。

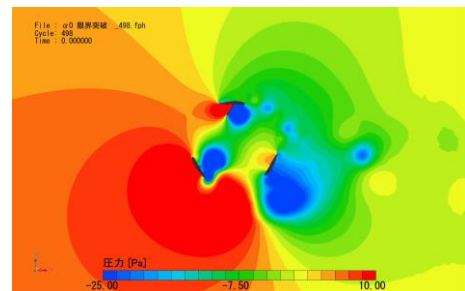
- Figure 5 よりプレートの取り付け状態の方が受風面積が増えるため、起動時に F_u の値が向上することを確認
- Figure 6 よりプレートを取り付け場合の F_u の値がブレード単体の値より約2倍となる結果を獲得
- Figure 7 より $\alpha=-20deg$ において F_u が最大値を示し、 $\alpha=-30deg$ にかけて低下傾向を示すことを確認

今回の結果から回転速度ごとの α の選定が必要と考えられることから、幅広い自然環境条件での非定常解析を実施する予定である。

また Figure 6 で示したように $\alpha=-20\sim-30deg$ における F_u が低下していることや Figure 5 より Unit 2, 3 に作用する F_D に大きな差が生じたことから、プレートを付加した状態による Unit 2, 3 にも着目して検討を進めていく。そして Figure 5b よりプレートの開口角(θ)に圧力が強く作用することから θ に作用する圧力が F_u の値に大きく関係すると考えられることから、 θ についても変更した解析が望まれる。



a) Model 1 (Blade)



b) Model 2 (Blade and Openable plate)

Figure 5 Pressure distribution of the blade with and without openable plates at an angle of attack of 0°

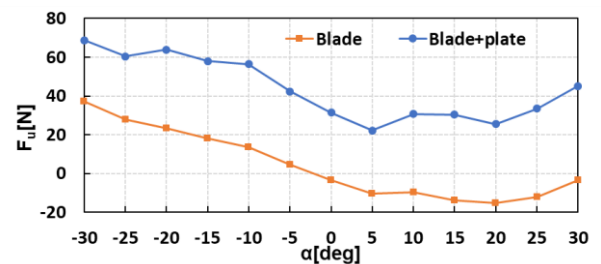


Figure 6 Mean F_u of the blade alone and the blade with plate in Unit 1 under positive and negative angles of attack

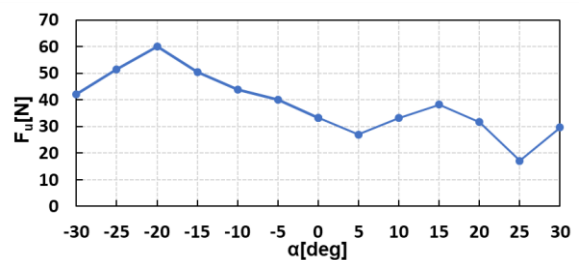


Figure 7 F_u of the three-blade rotor with openable plates under positive and negative angles of attack variation

参考文献

[1] OKYA (株) <https://okya.jp/distinations/technology>
 [2] 流体解析ソフト scFLOW—株式会社 HEXAGON <https://www.cradle.co.jp/product/scflow.html>
 [3] 恵藤浩朗, 藤澤佐翔: 交差軸型風車の風荷重と起動特性に関する研究, 土木学会論文集 (海洋開発), 2025