

J-4

可変ピッチ垂直軸型洋上風車の1点係留時における振れ回り運動シミュレーション
風単独作用時におけるスラスト制御が振れ回り運動に与える影響

Simulation of Swinging Motion of a Variable Pitch Vertical Axis Offshore Wind Turbine with a Single Point Mooring
Effects of Thrust Control on Swinging Motion in Wind Alone

○福永勇太¹, 居駒知樹², 譚雷²
Yuta Fukunaga¹, *Tomoki Ikoma², Tan Lei²

Abstract: This study proposes a floating offshore wind turbines with two variable pitch vertical axis wind turbines and aims to move the floating structure so that the two turbines are facing the wind direction and can efficiently generate electricity. The simulation results suggest that the floating structure can be moved so that it faces the wind direction by thrust control using a variable pitch mechanism.

1. 緒言

垂直軸型タービンを用いた浮体式洋上風力発電施設 (Floating Offshore Wind Turbines : FOWT) は導入実績が現在少ないものの、ナセル等の発電機構を下部に設置できることから、FOWT に比較的容易に静的安定性を持たせることができ、メンテナンス時におけ高所作業が必要なくなるという利点をもつ。本研究では、その利点に着目したコンセプトとして、Figure.1 に示すように垂直軸型風車を2基搭載した FOWT を提案し、2基の風車が風に対して正対し、効率良く発電可能なように浮体を移動させることを目指す。潮流発電用のタービンに関する研究^[1]として、可変ピッチ機構を導入することにより、トルク・パワー性能が向上することが確認されている。このとき採用した可変ピッチ機構は推進器を参考にした機構を用いていることから、スラストの方向を制御できる可能性がある。この利点として、複数機搭載された垂直軸型風車を風に対して正対させるように浮体を移動させるアシストとして機能することも考えられる。

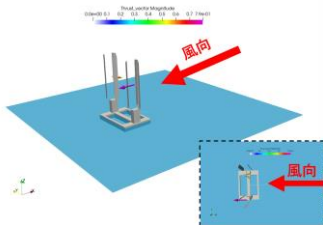


Figure. 1 Image of FOWT squarely facing the wind direction.

そこでまず、第1段階としてスラスト制御によって浮体を任意の位置へ移動させることが可能か検討する必要がある。したがって、本研究では、風単独作用時において可変ピッチ垂直軸型風車のスラスト制御が浮体の振れ回り運動に与える影響について検討することを目的とした。

2. 検討対象とする浮体および風車

本研究で検討対象とする風車の諸元を Table.1 に示す。また、浮体形式についてはムーンプールと呼ばれる開口部を設けたポンツーン型浮体とした。浮体の諸元を Table.2 に示す。

Table 1 1/100 scale model of wind turbine specifications.

Item	Value	Unit
翼型	NACA0018	-
翼弦長	0.1	m
タービン半径	0.15	m
ブレード長さ	1.0	m
ブレード枚数	3	-
質量	5.6	kg/基

Table 2 1/100 scale model of FOWT specifications.

Item	Value (ムーンプール)	Unit
長さ	1.0 (0.7)	-
幅	0.1 (0.25)	m
喫水	0.81	m
ムーンプール個数	2	-
質量	17.0	kg

3. 理論計算手法

理論計算は Figure.2 に示すように空間固定座標系 ($O_0 - X_0 Y_0$) 及び浮体の回転中心を原点として固定した座標系 ($O - x y$) を用いた以下の運動方程式を解く。この運動方程式を4次のRunge-Kutta法で解くことにより時々刻々の振れ回り運動をシミュレーションする。

$$(m + m_x)\ddot{u} - (m + m_y)vr = F_x \tag{1}$$

$$(m + m_y)\ddot{v} - (m + m_x)ur = F_y \tag{2}$$

$$(I_{zz} + i_{zz})\dot{r} = M_z \tag{3}$$

1 : 日大理工・院 (後)・海建 2 : 日大理工・教員・海建

ここで、 m は浮体の質量、 m_x, m_y は x, y 方向の付加質量、 I_{zz} は z 軸周りの慣性モーメント、 i_{zz} は z 軸周りの付加慣性モーメント、 u, v, r はそれぞれ x, y 方向の速度、 z 軸周りの角速度である。また上付きの \cdot は一階時間微分である。右辺の外力項 F_x, F_y, M_z はそれぞれ、 x, y 方向の外力、 z 軸周りのモーメントであり、以下の式のように各外力を足し合わせたものである。

$$F_x = F_{cx} + F_{wx} + F_{ix} + F_{mx} \quad (4)$$

$$F_y = F_{cy} + F_{wy} + F_{iy} + F_{my} \quad (5)$$

$$M_z = M_{cz} + M_{wz} + M_{iz} + M_{mz} \quad (6)$$

ここで、下付きの c は浮体部に作用する流れによる荷重およびモーメント、 w は浮体部に作用する風による荷重およびモーメント、 t は風車に作用するスラストおよびモーメント、 m は係留力である。外力項を構成する荷重の算定は、相対流速や風速を考慮し、スラストについては翼素運動量理論を用いて算定した。詳細な定式化については紙面の都合上割愛する。

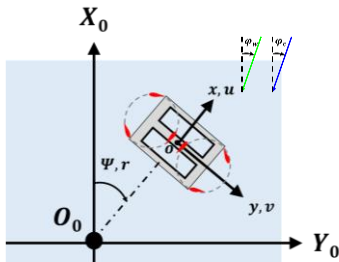


Figure 2 Coordinate system.

4. 計算条件

計算条件は Table 3 に示す通りである。潮流による流速 V_c は与えず、風車単作用時の検討を実施した。

なお、 L_R は1点係留のレバー長さ、 k は係留索のばね定数、 ρ_w, ρ_a は水の密度、空気密度である。

計算の比較を行うため、固定ピッチ風車（初期取付角度 $\gamma_0 = 0.0^\circ$ ）可変ピッチ風車（初期取付角度 $\gamma_0 = -30.0^\circ, \gamma_0 = 30.0^\circ$ ）による比較を実施した。

5. 理論計算結果

数値計算結果を Figure 3 に示す。また、固定ピッチ風車の最終回頭位置を Figure 4、可変ピッチ風車の最終

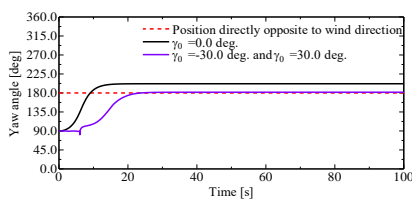


Figure 3 Calculation results for rotation in the reverse direction.

回頭位置を Figure 5 に示す。Figure 3 の黒線で示す固定ピッチの結果を見ると破線で示す理想的な回頭位置との差が生じてしまっている。Figure 4 に示すスラストのベクトルをみると2基の風車はそれぞれ、スラストの向きが逆方向に生じていることが確認でき、外力が釣り合った位置で浮体が停止したことが考えられる。一方の可変ピッチ風車の計算結果および Figure 5 の最終回頭位置を見ると、ほぼ理想的な回頭位置に最終的に移動していることが確認できる。しかし、回頭をはじめめるまでは、固定ピッチよりも時間を要していることから、風向に対してさらに俊敏に回頭させるために、時々刻々とピッチ角を制御することが今後の課題となる。

Table 3 Conditions of the simulation.

Item	Value	Unit	Item	Value	Unit
M	28.2	kg	V_c	0.0	m/s
I_{zz}	1.61	kg m ²	V_w	3.0	m/s
L_R	0.65	m	ρ_w	1000.0	kg/m ³
k	23.0	N/m	ρ_a	1.23	kg/m ³

6. 結言

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- 1) 垂直軸型風車に可変ピッチ機構を導入することにより、風向と正対するように浮体を移動できることが示唆された。
- 2) 風向に対してさらに俊敏に回頭させるため、時々刻々とピッチ角を制御することが今後の課題となる。

7. 謝辞

本研究は科学研究費補助金基盤研究 (B) (課題番号: 22H01706) の助成を受けたものである。

8. 参考文献

- [1] 居駒知樹, 増田光一, 中澤那世留, 林昌奎, 惠藤浩朗: 垂直軸可変ピッチ翼水車のソリディティとピッチ制御角度が水車効率に与える影響, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, NO.2, pp.I_91-I-96, 2014



Figure 4 Final position of the case of a fixed pitch wind turbine.



Figure 5 Final position of the case of a variable pitch wind turbine.