

## 垂直軸型風車を搭載する浮体の風・波中動揺特性

## Motion Characteristics of a VAWT Installed Floating Body in Wind and Regular Waves

居駒知樹<sup>1</sup>, 相田康洋<sup>1</sup>, 恵藤浩朗<sup>1</sup>, 関谷直樹<sup>2</sup>, 高橋賢一<sup>3</sup>, 直井和久<sup>4</sup>Tomoki Ikoma<sup>1</sup>, Yasuhiro Aida, Hiroaki Eto, Naoki Sekiya, Kenichi Takahashi and Kazuhisa Naoi

Abstract: This paper describes a CST research project regarding a floating offshore wind turbine system equipped with twin-vertical axis wind turbine. In the project, effects of gyro-moment due to rotation of the turbines on motion of the floating body. As a floating body, the study focused on a pontoon with moonpools and hydrodynamic characteristics in water waves. The study conducted model experiments in wave-wind coupled conditions and theoretical calculations in both frequency and time domains. The linear potential theory based calculations is useful to predict motions of the pontoon with moonpools. The gyro-moment could reduce roll motion in beam seas and the moonpool.

## 1. はじめに

風力発電の日本での増加には陸上での設置場所や設置できる定格出力（風力タービン規模の制約による）洋上風力発電の開発が必須である。現在の事業計画案のほとんどが着床式での洋上風力発電ファームであるが、設置可能海域は限定されること、離岸距離が大きくなると日本ではすぐに水深が深くなってしまふこと、風況は沖合に行くほど条件が良いことなどの理由から、浮体式洋上風力発電の開発も強く意識されているし、環境省も積極的な働きかけを行っている。

大型の風力発電のタービンとして水平軸型が導入されるのが一般的である。より高効率な発電を実現するために積極的なピッチ制御も行われている。そしてより高効率な運転が可能となるような制御機構を有するタービンを浮体システムに搭載した際ですら、姿勢を含めた浮体の運動応答制御を考慮した浮体システム設計が可能となっているのが現状である。しかしながら、浮体形状をより単純化・軽量化して製造コストを低減することや、喫水を大きくしない浮体形式でありながら波浪中動揺を増大させない浮体形状などが必要とされているのも事実である。風車方式については、主流である水平軸型は風況の良い海域では選択の余地がないが、日本列島周辺海域のそれは欧州などと比較して決して良いと呼べるものではない。設備利用率だけでも、欧州では60%を望める海域があるのに対して日本では30%を目標にすることが精一杯である。すなわち、欧州の海域と比較すればそれほどまでに風況が悪いともいえる。このような実用を鑑み、本学理工学部において浮体式洋上風力発電の技術提案を行うため

の研究プロジェクトを筆者らは提案・実施した。研究期間は令和元年度～2年度の2カ年であり、「大型垂直軸風車を搭載した浮体式風力発電システムのタービン性能と耐波浪性能からみた実現可能性の研究」という研究テーマの下で、主に浮体形式の提案と要素技術開発・応答シミュレータの開発を目的として実施された。

本報告では研究成果の中でも浮体形式と垂直軸風車の浮体運動への影響を調べた内容について紹介する。

## 2. 垂直軸型風車2基を搭載したポンツーン浮体

5MW級の垂直軸風車2基を搭載した浮体システムを提案した。基盤となる浮体は浅海域での設置や取り回しに有利なポンツーン型を基本としながら、浮体の波浪中動揺を大きくさせないために大きなムーンプールを有する形状で提案した。フランスのIDEOL社がすでに単一のムーンプール付き浮体を提案しているがその流体力学的特性は明確に示されていないため、課題の抽出を含めて検討の余地があった。また、風況が悪い日本では水平軸よりもトルクの大きな垂直軸を選択肢として検討しておくことは重要であると考えた。

## 3. 理論計算および水槽実験結果

本研究ではTP15内の海洋建築工学水槽に6機が連動する送風機を設置し、規則波中応答および風・波共存場でのツイン風車浮体の運動応答実験を実施した。また、線形ポテンシャル理論により周波数領域および時間領域での運動解析を行った。Table 1.にツイン風車浮体模型 (Fig. 1) の諸元を示す。横波の規則波中実験では水深1.0mで波周期0.6から1.73秒、波高は10および20mmの2ケース、送風機による模型設置位置での平均風速は3.0m/sとした。理論計算では入射波、散

1: 日大理工・教員・海建 2: 日大理工・教員・機械 3: 日大理工・教員・航宇 4: 日大理工・教員・電気

乱波と発散波を考慮する計算であり，グリーン関数法を適用した。結果を Fig. 2 に示す。横波のため左右揺，上下揺および横揺の無次元値を無次元波数に対して示した。ムーンプールの応答低減効果をみるために同排水量のポンツーンでの結果も示した。赤の破線の計算結果は実験値をよく説明している。ただし，横揺については本計算が低周波数域で過大評価であるが，風車が回転している影響を強く受けている影響だと思われる。運動方程式中でジャイロモーメントの影響を考慮したが，周波数領域での定式化では十分な考慮ができていないと推察される。上下揺はポンツーンの結果よりも高周波数域で応答が低減される。横揺では実験結果と計算値との間の差異が見られるが，実験結果から運動応答は十分に小さくなっていることが確認できる。

Fig. 3 に横揺，Fig. 4 に縦揺の時系列を風車が 70 rpm で回転している場合と無回転の場合と比較しながら示した。Fig. 3 より高回転で風車が回ることによって横揺が半分の振幅まで低減されている。これはジャイロ効果によりむしろ横揺が拘束される状態となったためである。本来左右対称で縦揺は発生しないがジャイロ効果により縦揺が発生していることが Fig. 4 からわかる。ジャイロ効果により主たる回転運動モードは大きく低減されるが，本来は小さいはずの運動モードが大きくなる可能性もある。

4. おわりに

ジャイロモーメントの影響はツイン風車では回転方向を逆にすることで浮体の運動低減に効果的に活用できる。またムーンプールの大きさや深さの調整により浮体運動の低減が可能である。

本研究プロジェクトでは，ムーンプールの影響に

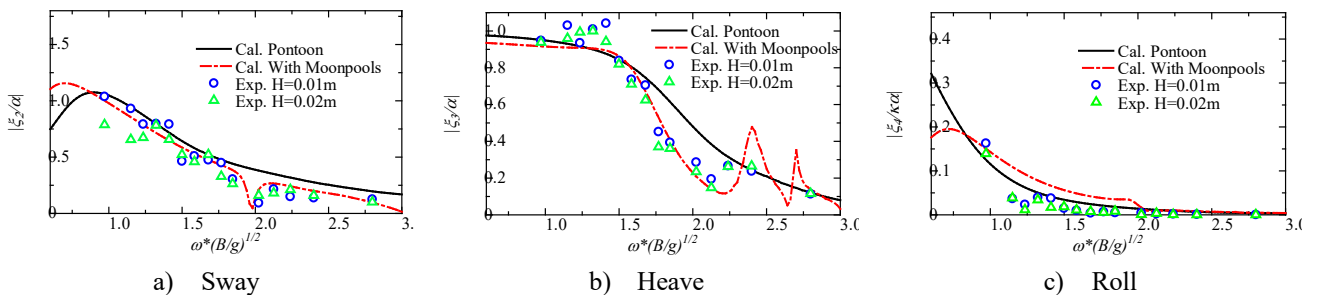


Figure 2. Motion response functions

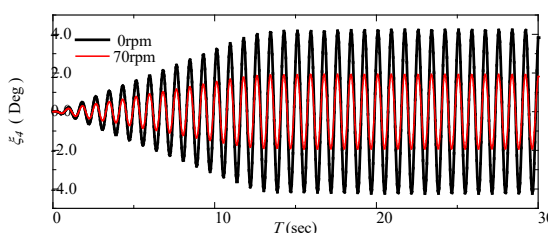


Figure 3. Time histories of roll motion (T=0.83 s)

関して非線形波力である波漂流力特性を含めて詳細な検討を行い，水塊のスロッシング現象と絡めながら研究した。別の機会に発表していく予定である。

Table 1. Principal particulars of experimental model

Foundation-floating (moonpool)	body	VAWT [unit: mm]	
Length	1000 (700)	Height	1300
Breadth	700 (250)	Radius of turbine	340
Depth	110	Chode length	70
Number of moonpools	2	Basic blade section with arc	NACA 0018
Draft	81	Blade thickness	130
KG	240	Solidity	0.39
GM <sub>x</sub>	74	Turbine mass [kg]	11.2
GM <sub>y</sub>	140	No. of turbines	2
Whole mass [kg]	28.2	Length of blade	1000

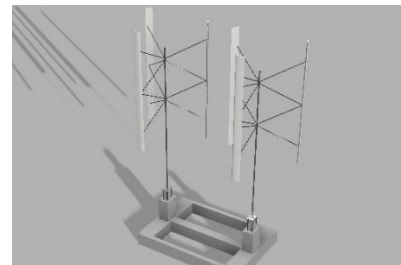


Figure 1. Idealization of model

参考文献

- [1] IDEOL : <http://ideol-offshore.com>, 2019.12
- [2] 居駒知樹, 増田光一, 林昌奎, 前田久明: エアクション支持浮体の規則波中応答特性と喫水影響に関する基礎的研究—水槽実験と3次元流体力解析理論の定式化—, 日本船舶海洋工学会論文集, 第3号, pp.197-204, 2006.

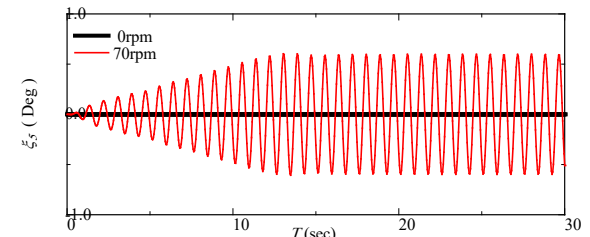


Figure 4. Time histories of pitch motion (T=0.83 s)