

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04507

研究課題名（和文）振動水柱とジャイロ効果を用いたバージ型浮体式洋上風力発電施設のピッチ動揺軽減

研究課題名（英文）Reducing Pitch Oscillation in Barge-Type Floating Offshore Wind Turbines Using a Water Column and Gyroscopic Effect

研究代表者

平尾 春華（HIRAO, Shunka C.）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所・研究員

研究者番号：50711321

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：ジャイロ効果によりフライホイール回転数が大きくなるにつれ、共振周期が長周期側に移動したことを確認した。フライホイールのジャイロ効果によって変化した共振周期と波周期が近い時は回転がない時よりもピッチ動揺が大きくなり、フライホイールのジャイロ効果によって変化した共振周期と波周期が離れている時は回転がない時よりもピッチ動揺が小さくなることを確認した。水槽試験では、回転数が小さい時の方が共振周期と波周期が近く、大きい時の方が共振周期と波周期が離れている結果となった。そのため、ピッチ動揺低減効果が見込まれるフライホイール回転数以上でのフライホイールの回転が必要であるとの知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

洋上風力発電施設では火力発電等と比較し発電品質が悪いとされており、その原因は風車部への風の流入速度の変化である。そのため、ピッチ動揺の軽減を目的として、フライホイールのジャイロ効果に関して、洋上風力発電施設への適用を研究した。その結果、洋上風力発電施設のバージ型浮体への適用に関しての知見を得られた。ジャイロ効果により非常にピッチ振幅が小さくなるため発電品質への寄与は大きい。投入したエネルギーを考慮すると本研究で想定した風力発電への応用には課題が多いとの知見が得られた。一方でバージ型浮体の動揺低減との分野では設置作業船等への応用性から、早期の実現の可能性が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：The higher rotation speeds the flywheel has, the longer the natural periods become due to the gyroscope effect. The pitch amplitude of the floater is larger than the pitch amplitude with no rotation flywheel when the wave periods are near the natural periods shifted by the gyroscope effect. Otherwise, the pitch amplitude is smaller than the pitch amplitude with no rotation flywheel when the wave periods are far away the natural periods shifted by the gyroscope effect. In the tank tests, the wave periods were near the shifted natural periods when flywheel has a low rotation speed. Therefore, it is needing the high rotation speed of flywheel to reduce the pitch amplitude of the floater.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：ジャイロ効果 動揺低減 洋上風力発電

## 様式C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

浮体式洋上風力発電施設では、しばしば、浮体ピッチ動揺が問題になる。そこで、波を用いてのピッチ動揺の軽減ができないかを検討する。ピッチの動揺が問題になる場合として、風車の稼働中の受風速度の変化、荒天時の耐荷重、疲労荷重、メンテナンス等がある。

ピッチ動揺の軽減方法として、ピッチ抵抗を大きくする、ピッチ慣性モーメントとピッチ復原力を調整して、同調周期を波周期や風車の回転数等からずらす、動きをキャンセルするためのモーメントを加える等があげられる。

### 2. 研究の目的

本研究は、振動水柱型の波力発電に近い形式で、タービンを回し、タービンでフライホイールを回すことで、以外の、振動水柱部の水の出入りによる抵抗や、振動水柱のエネルギーを取得するタービンを回すことによる抵抗増加、フライホイールの回転によるジャイロ効果の見かけ復原力の増加による共振周期の変化を狙い、ピッチ動揺低減を目指す。

### 3. 研究の方法

費用面で応募当初の計画全部を実施できないことから計画を変更し、ジャイロ効果を優先して研究を行った。数値計算と水槽試験でジャイロ効果に関して、浮体ピッチ運動への影響を確認する。15MW 風車で、使用されるバージ型浮体にフライホイールを搭載したときのフライホイールとバージ型浮体の挙動に関して、1/100 想定モデルを製作し水槽試験を実施した。また、同じ条件下での数値計算を実施し、比較を行った。数値計算は流体力をパネル法で計算し、ジャイロ効果に関して、運動方程式を用いて効果を導出した。それらを組み合わせて、周波数領域で計算を実施した。

### 4. 研究成果

浮体に直接設置するフライホイールの効果の式を整理し、次式を得た。ジャイロ効果を表す数式は下記の通りである。

$$\begin{aligned} L_{12} &= -I_{xx2}\dot{P}_1 - I_{zz2}r_0Q_1 \\ M_{12} &= -I_{xx2}Q_1 + I_{zz2}r_0P_1 \end{aligned}$$

$L_{12}$ と $M_{12}$ はフライホイールから浮体に働くロールとピッチのモーメント、 $P_1$ と $Q_1$ は浮体のロール角速度とピッチ角速度、 $r_0$ はフライホイールの回転方向の角速度、 $I_{xx2}$ と $I_{zz2}$ はフライホイールの慣性モーメントを示している。上付きドットは時間微分を表す。

次にフライホイールを搭載した1/100モデルを製作し、水槽試験を実施した。波周期は荒天時に遭遇しやすい波周期とした。モデルを図1に示す。試験結果を図2～5に示す。試験結果はモデルスケールの結果である。回転数が大きいほど、共振周期が長周期側に移動している。6000rpm以下の回転数では、運動がフライホイール静止時よりも大きくなる周期が存在する。特に共振周期と波周期があっている2000rpmと4000rpmで浮体運動が大きくなっている。共振周期と波周期が離れている8000rpm以上の回転数では元の浮体運動よりも小さくなっている。

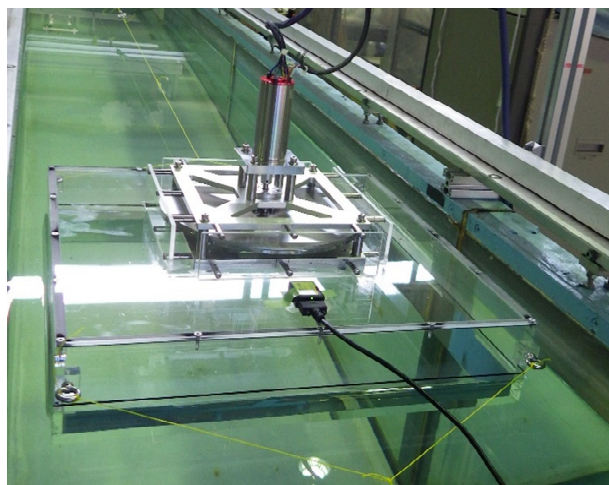


図1 縮尺1/100のフライホイール搭載バージ浮体模型

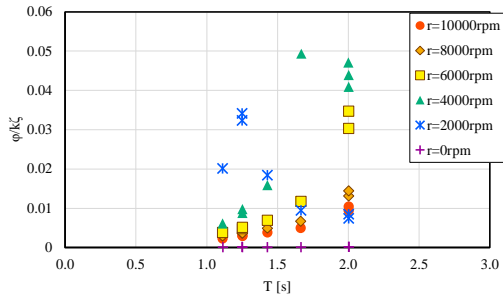


図2 フライホイールの回転数変化によるロール運動変化

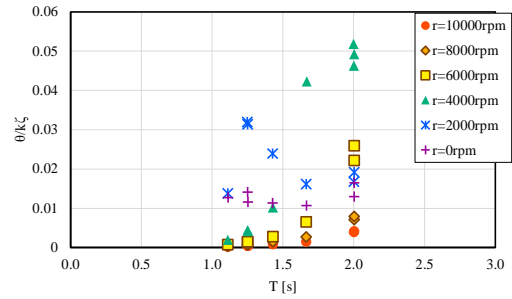


図3 フライホイールの回転数変化によるピッチ運動変化

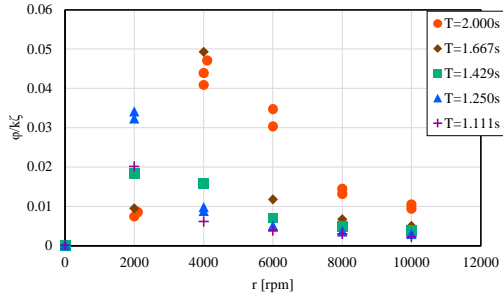


図4 波周期変化によるロール運動変化

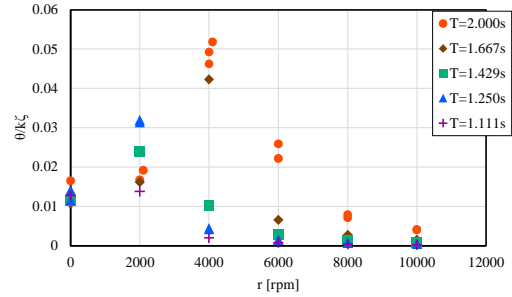


図5 波周期変化によるピッチ運動変化

以上の結果から、浮体動揺軽減に必要な最低回転数が存在する。必要回転数以下のフライホイールの回転では浮体動揺は軽減どころか増大することが示された。しかしながら、本研究が当初目的としていたジャイロ効果を見かけ復原力に用いる方法として、想定した波の条件、フライホイール回転数では、動揺低減に適することが判明した。

課題として、動揺低減に必要な最低回転数を達成するためには、エネルギーを多く必要とするため、発電できるエネルギーとの兼ね合いで利用できる条件が少ないことが判明した。

フライホイールによる動揺低減は、極端にバージ型浮体の浮体動揺を小さくできることから、バージ型浮体が多く用いられている洋上風力発電施設の設置作業船などでの活用が考えられる。本研究の結果は設置作業船への適応が考えられ、その場合、吊り荷とフライホイールの干渉影響等を調べる研究が必要となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 平尾春華
2. 発表標題 Model Test and Numerical Simulation for Floating Oscillating Water Column Type Wave Energy Converter with Backward Bend Duct
3. 学会等名 The International Society of Offshore and Polar Engineers (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	國分 健太郎  (Kokubun Kentaroh)  (50358404)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所・海洋先端技術系副系長    (82627)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------