

単索係留された相反転プロペラ式潮流発電ユニットの姿勢安定化

村上 天元^{*1}, 柳 品^{*1}, 金元 敏明^{*1}

Posture Stabilization of Counter-rotating Propeller Type Tidal Stream Power Unit Moored with One Cable

Tengen MURAKAMI^{*1}, Pin LIU^{*1} and Toshiaki KANEMOTO^{*1}

^{*1}Institute of Ocean Energy, Saga University
1, Honjo, Saga-City, Saga, 840-8502, Japan

Abstract

Tidal current is expected as an attractive renewable energy source because the time change of flow direction and velocity is predictable. Tidal current energy extraction devices can be categorized as a horizontal axis system and a vertical axis system. The authors have developed a horizontal axis counter-rotating type power unit which is applied in the conversion of wind energy and tidal energy. A counter-rotating type tidal stream power unit is composed of tandem propellers driving double rotational armatures, while the rotating torques are counter-balanced in the power unit. The power unit can be moored with a cable and keep the posture stable without rolling motion in the tidal stream, in which the cable is hooked at the balancing point of the moment among the buoyancy, gravity and drag. The posture, however, may lose balance by a dynamic disturbance. In order to keep the posture horizontal in every circumstance, the winglets are installed on each rear blade. In this research, effectiveness of winglets are verified by a circular water channel test. Besides, the numerical simulation was carried out to investigate the flow behavior around the propellers.

Key words : Tidal Stream, Power unit, Counter-rotating, Tandem Propellers, Posture

1. 緒 言

潮流は、潮の干満によって規則的に起こる往復流であり、長期にわたって予測可能なため、比較的信頼性の高いエネルギー源と言える。本研究では、持続可能な循環型社会の構築に向けて、未開発の流動包蔵エネルギーを効率良く吸収する簡易発電ユニットの開発を目的としている。プロペラ形、ダリウス形などの従来タービンも高効率化を達成しつつあるが、ここでは、前後二段のプロペラが内外二重回転電機子をそれぞれ駆動する相反転方式 (Kubo, et al., 2008) を採用する。相反転方式は、前後のプロペラ間および内外の回転電機子間で回転トルクが相殺され、発電ユニットにローリングが働かない優れた特徴を有しており、1本の索だけで本発電ユニットを安定姿勢で係留できる可能性がある (Jung, et al., 2017)。その姿勢は浮力、重力、抗力がキーポイントとなり、発電ユニットを子午面上の回転モーメント中心で係留すると、抗力によってプロペラ回転面を流れに対面させることができる。

本研究では、流れ方向の変化によって発電ユニットの姿勢が傾いた場合に、瞬時に安定姿勢に戻すウイングレットの効果について回流水槽実験によって検証した。また、前後段プロペラ周りの流動様相を明らかにするための非定常数値シミュレーションを実施した。

2. 実験装置

Fig. 1 は後段プロペラにウイングレットを有する発電ユニット模型および座標系を示す. 前段プロペラ枚数は3枚, 後段プロペラ枚数は5枚であり, 本模型に発電機は搭載していない. 模型は, モーメント中心 P をサポートプレートで支持し, ピッチング運動が可能な状態で, 水深 0.7 m, 幅 1.0 m の回流水槽に設置した. Fig. 1 の S に内蔵したモーションセンサにより, 加速度および回転角速度を計測し, 高速度カメラによって水平方向からの傾斜角 α を計測した.

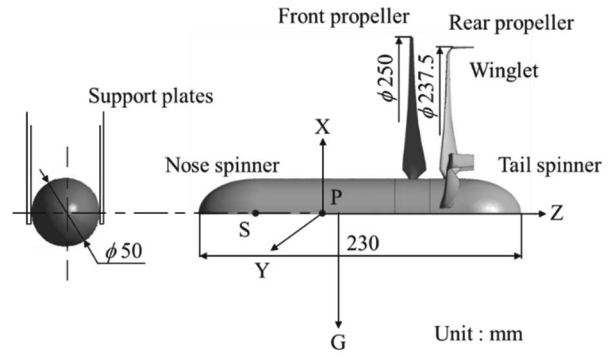


Fig. 1 Sketch of power unit with winglets.

3. 実験結果

Fig. 2 はウイングレットなしの場合 (PU_o) とウイングレット付きの場合 (PU_w) の傾斜角の時間変化を示す. 時刻 0 s における初期傾斜角は $\alpha_0 = 63 \text{ deg.}$ であり, 流速は 0.7 m/s である. Fig. 2 に示すように, ウイングレットなしの場合, 初期傾斜角 63 deg.から傾斜角 10 deg.に達するまでに 4.87 s 要したが, ウイングレット付きの場合は 0.96 s と, ウイングレットなしの場合の約 1/5 の時間で概ね水平姿勢に戻ることができた. すなわち, ウイングレットを設けることで, あらゆる潮流環境に適応し, 水平姿勢および高出力を維持し得ることが分かる. また, Fig. 3 はモーションセンサによって計測した加速度の時間変化を表し, Fig. 4 は回転角速度の時間変化を表す. Fig. 3 に示すように, ウイングレット付きの場合 (PU_w), 深さ方向の加速度 A_x および水平方向の加速度 A_z は, ウイングレットなしの場合よりも短い時間で, 概ね 0 m/s^2 となっている. さらに, Fig. 4 に示すように, ウイングレット付きの場合, 時刻 0 s ~ 1.0 s までの時間, ピッチ方向の回転角速度は高く, この結果は Fig. 2 および Fig. 3 の結果と対応している.

Fig. 5 は流速を 0.5 m/s, 0.7 m/s, 1.0 m/s の3通り変化させたウイングレット付きの場合の傾斜角の時間変化を示している. 流速 0.5 m/s, 0.7 m/s, 1.0 m/s の場合における, 初期傾斜角 $\alpha_0 = 63 \text{ deg.}$ から傾斜角 10 deg.に達するまでの時間は, それぞれ 1.76 s, 0.96 s, 0.73 s であり, 流速が速いほど水平姿勢に短時間で戻ることができる.

4. 数値計算

数値シミュレーションには3次元粘性数値解析コード ANSYS-CFX ver.19.0 を使用し, 乱流モデルには SST を採用した. Fig. 6 はウイングレットなしの場合にお

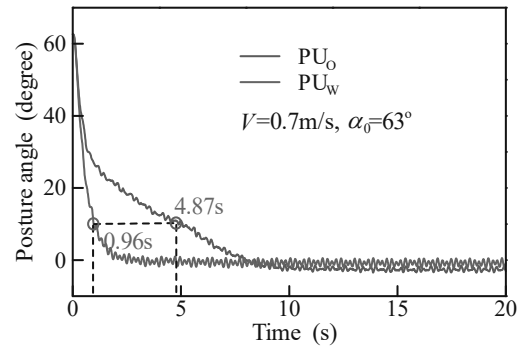


Fig. 2 Time changes in posture angle.

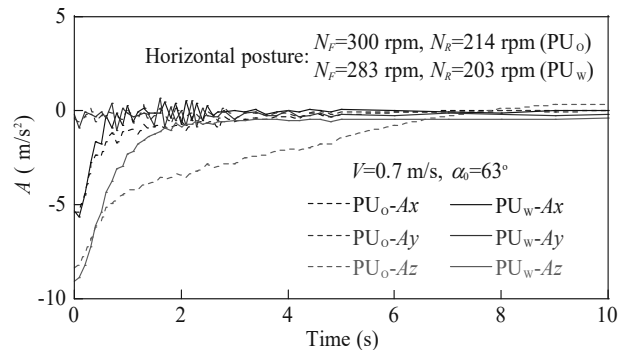


Fig. 3 Time changes in acceleration.

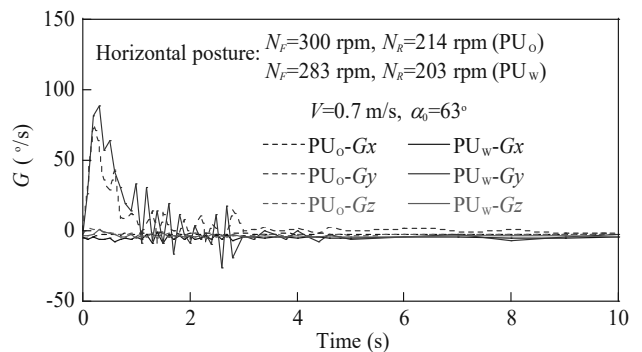


Fig. 4 Time changes in angular velocity.

ける計算領域および計算格子を示す。ウイングレットなしの場合の計算格子数は 10,672,096, ウイングレット付きの場合の計算格子数は 10,906,317 である。入口流速は 1.0 m/s であり, プロペラ回転速度は実験結果と対応している。

Fig. 7 は後段プロペラ後縁近傍に設けた断面における軸方向渦度分布を示す。渦度の正の値は時計回り, 負の値は反時計回りの渦度を表している。ウイングレットなしの場合, 後段プロペラの翼端近傍に時計回りと反時計回りの高い渦度の領域が存在するが, ウイングレットを設けることで時計回りの高い渦度の領域は縮小された。

次に, Fig. 8 は後段プロペラの翼端近傍に設けた子午面断面における周方向渦度分布を示す。周方向渦度の正の値は反時計回り, 負の値は時計回りの渦を表す。ウイングレットなしの場合と比較してウイングレット付きの場合は, 時計回りの高い渦度の領域が顕著に縮小されており, ウイングレットを設けることで翼端渦の発生に基づく発電ユニットの振動を低減し得ることが分かる。

5. 結 言

本研究では, 相反転プロペラ式潮流発電ユニットの後段プロペラにウイングレットを設けて, 姿勢安定化に及ぼす効果を実験検証し, ウイングレットを設けることであらゆる潮流環境に適応し, 高出力を維持し得ることが明らかとなり, また, 翼端渦の発生に基づく発電ユニットの振動を低減し得ることが明らかとなった。

謝 辞

本研究は, 科学技術振興機構事業研究成果最適展開支援プログラム A-STEP 機能検証フェーズの支援を受けて実施された。

文 献

- Kubo, K., Kanemoto, T., Development of intelligent wind turbine unit with tandem wind rotors and double rotational armatures (2nd report, characteristics of tandem wind rotors), Journal of Fluid Science and Technology, Vol.3, Issue 3 (2008), pp.370–378.
- Jung, H., Kanemoto, T., Liu, P., A numerical prediction of tip vortices from tandem propellers in the counter-rotating type tidal stream power unit, Journal of Power and Energy Engineering, Vol.5, No.12 (2017), pp.66-74.

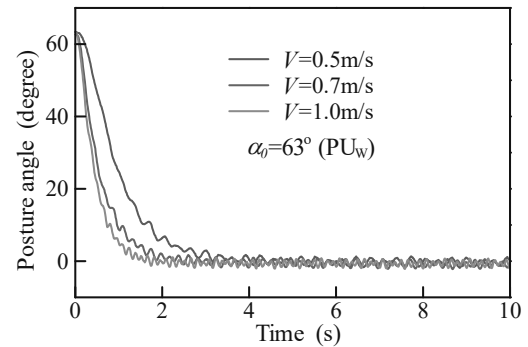
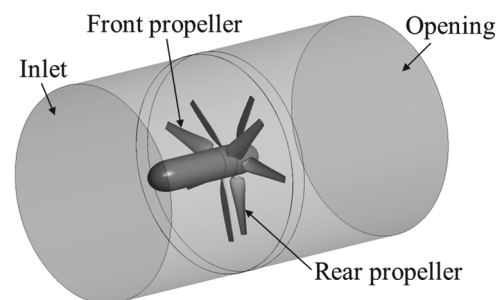
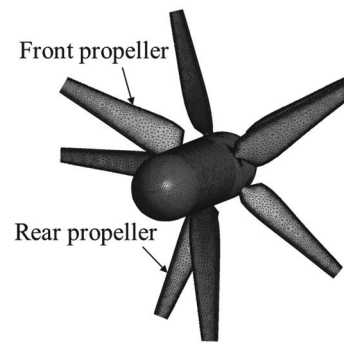


Fig. 5 Variation of posture angle due to flow velocity.



Simulation domain



Grids

Fig. 6 Simulation domain and grids.

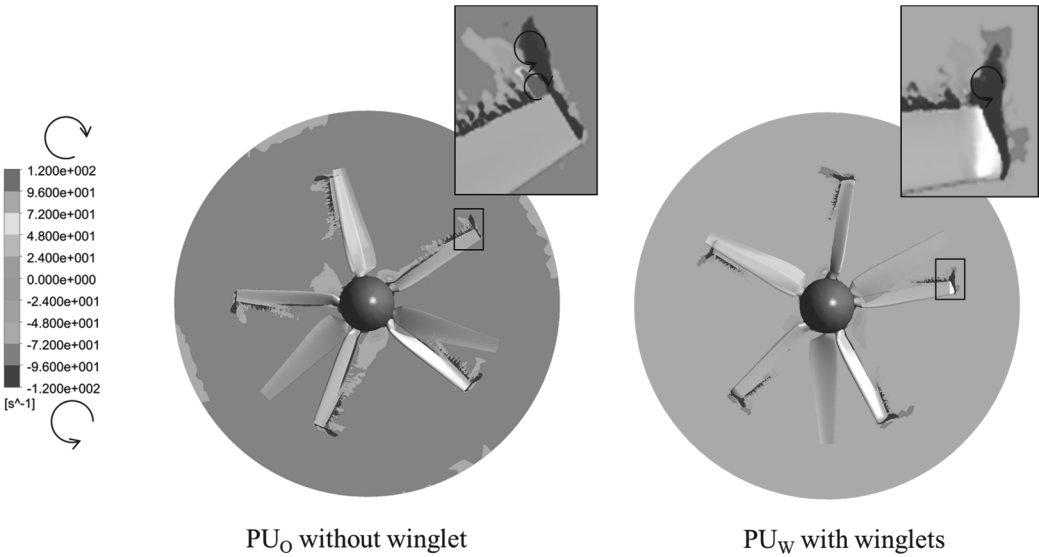


Fig. 7 Axial vorticity.

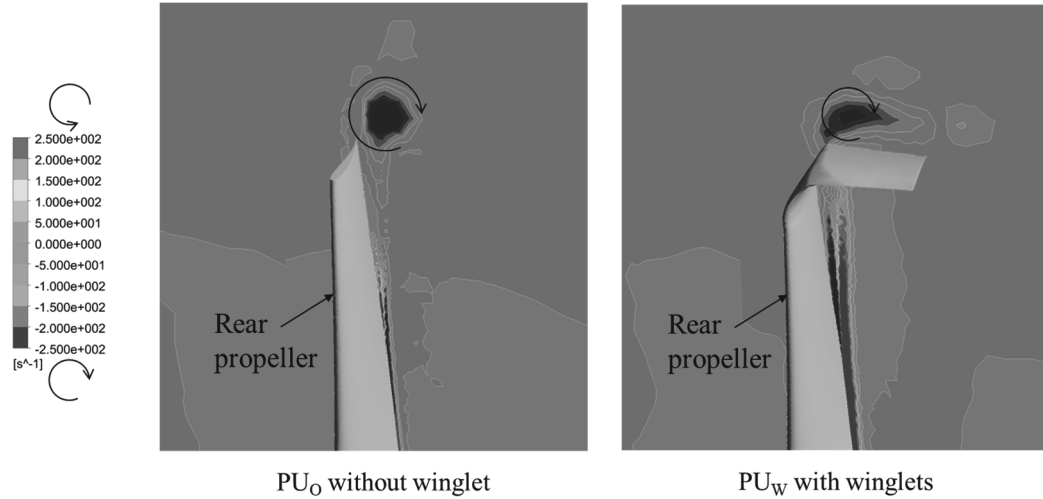


Fig. 8 Tangential vorticity.