

J-22

可変ピッチ機構の導入による垂直軸型水車の高性能化に関する研究

(その 1) 起動性能・駆動性能の評価

A study on Improvement Performance of a VAT Marine Turbine Applied Variable-Pitch System

(Part1)Evaluation of Starting and Driving Performance

○仲村泰徳¹, 中澤那世留¹, 居駒知樹², 増田光一², 林昌奎³*Yasunori Nakamura¹, Naseru Nakazawa¹, Tomoki Ikoma², Koichi Masuda², Chang-Kyu Rheem³

Abstract: A purpose of this study is to develop a high performance marine turbine by adopting the variable-pitch system to the vertical axis type marine turbine. In the present study, the authors clarify a performance of the vertical axis type marine turbine with variable-pitch system and the vertical axis type marine turbine by theoretical calculations and experiments. Diameter of the turbine model is 0.3 m and blade length is also 0.3 m. Blade number is three blades. Blade cross-section shape is NACA 63₃-018 of arc chamber. Improved starting performance of this marine turbine has been confirmed.

1. 研究背景

本研究は潮流・海流発電を目的とした垂直型水車を対象としている。この水車は他の発電装置と比較してエネルギー変換効率が良く、流れに対して無指向性で回転を行えるなどの利点があるが、起動性能が悪いなどの欠点も存在する。しかし、日本大学の木方らが実海域の実証試験として来島海峡にて日本初の潮流発電を成功させた実績がある^[1]。この実績により、日本における潮流発電用水車の研究は垂直軸型水車が主流であり、起動性能や水車パワーの向上を目的として行われている^{[2], [3]}。

本研究もこの実績から垂直軸型水車の研究を進めており、欠点である起動性能を向上させる為に可変機構を採用した。これにより、比較的流速条件が悪い海域においても稼働する、高性能な垂直軸型水車の開発を行い、水車性能の評価を行った。

2. 既存の研究

居駒ら^[2]は翼素理論により、一方向流に対する水車の起動トルクが効率的に稼げる、翼の理想ピッチ角度を明らかにした。その理想ピッチ角度に酷似するピッチ角を成す可変ピッチ機構の考案し、CFD 計算を用いて検討した結果、起動性能が著しく向上したと報告している。

吉村ら^[3]は可変ピッチ機構を導入した、垂直軸型可変ピッチ翼水車模型を開発した。この水車の水車性能を明らかにするために水槽実験を行い、居駒ら^[3]と同様に理想ピッチ角度に酷似した翼制御の設定を行った結果、起動性能が向上したと報告している。

3. 研究目的

可変ピッチ機構を導入した垂直軸型水車で、異なる翼制御の設定をした水車の起動性能や駆動性能を明らかにする。その結果を用いて、比較的條件が悪い流速域でも稼働することが出来る翼制御の設定を明らかにし、流況に応じた適切な翼制御を行うことで、高性能な垂直軸型水車の開発をすることを目的とする。

4. 研究方法

可変ピッチ機構を導入した垂直軸型水車で、異なる翼制御の設定を行った水車と、基礎となる垂直軸水車の起動性能や駆動性能を水槽実験と CFD 計算によって算出し、性能を比較する。

5. 可変ピッチ機構

本研究で導入する可変ピッチ機構は、既存の研究^{[2], [3]}と同様の機構である。この可変ピッチ機構は、水車の回転角度 θ 毎に翼の取り付け角度を制御出来るフォイトシュナイダー推進機と、サイクロイドプロペラを参考にした機構である。翼制御の設定は、翼の位置 $\theta=0^\circ$ における取り付け角度 γ_0 ($-30^\circ \leq \gamma_0 \leq 30^\circ$, $\gamma_0=1^\circ$ 間隔) を決定することで、水車が 1 回転するなかで翼の位置に応じて能動的に、翼のピッチ角が変化する。(以後、初期取り付け角度 γ_0 と称す。)

6. 水槽実験

6. 1 実験装置

水槽実験は、東京大学生産技術研究所千葉実験所風洞付造波回流水槽にて実施した。水槽規模は長さ 25m, 幅 1.8m, 水深は 1.0m である。垂直軸型水車と可変ピッチ機構を導入した垂直軸型水車 (以後、可変ピッチ

1 : 日本理工・院 (前)・海建、Department of Oceanic Architecture and Engineering/CST/Nihon University.

2 : 日本理工・教員・海建、Department of Oceanic Architecture and Engineering/CST/Nihon University.

3 : 東京大学・教員・生研、Institute of Industrial Science, the University of Tokyo.

翼水車と称す。)の両水車模型は、水車直径 $D=0.3\text{m}$ (水車半径 $l=0.15\text{m}$)、ブレード長さ $l_b=0.3\text{m}$ の翼枚数 $n_b=3$ 枚翼の水車で、翼断面形状は翼弦長 $C=0.076\text{m}$ とした NACA63-018 に、動翼の円運動の軌跡と同じ円弧キャンパーをつけたもの(円弧翼)を用いた。ソリディティは $\sigma=0.244$ である。

6. 2 計測項目と実験方法

水槽実験では、起動性能・駆動性能試験と強制回転試験を実施した。本誌では起動性能・駆動性能試験について記述し、強制回転試験については(その2)で記述する。計測項目は流速 $U\text{ m/s}$ 、回転数 $n\text{ rpm}$ 、トルク $Q\text{ N}\cdot\text{m}$ 及び流速方向(X軸方向)の荷重 $f_x\text{ N}$ 、流速方向に直交する(Y軸方向)荷重 $f_y\text{ N}$ を計測した。起動性能・駆動性能試験の計測条件は、各初期取り付け角度 ($30^\circ \leq \gamma_0 \leq -30^\circ$, $\gamma_0=10^\circ$ 間隔) に設定した水車に、 $U=0.2\text{m/s}$ から 1.2m/s まで 0.2m/s 間隔の範囲の流速のなかで、自己起動する流速や回転数を計測した。

7. CFD 計算

CFD 計算には汎用熱流体解析ソフト FLOW-3D®を用いた。CFD 計算は3次元の計算であり、計算領域は回流水槽の寸法と同様にした。水車モデルのサイズは水槽実験で用いた水車模型と同様である。実際には翼を支える支柱が回転時に造波抵抗となっているが、計算では自由表面がなく、造波抵抗を考慮していない。この点において、水槽実験とは異なる条件設定である。

水槽実験と同様の計測条件で計算を行い、実験値との比較によって計算精度を検証し、水槽実験では行えない流速域での性能評価を CFD 計算で行っていく。

8. 起動性能・駆動性能について

起動性能・駆動性能試験は、 $-30^\circ \leq \gamma_0 \leq 0^\circ$ に翼制御の設定をした可変ピッチ翼水車と取り付け角度 $\gamma=0^\circ$ の垂直軸型水車の計測を行った。また、実験の計測条件と同様の CFD 計算を行い、結果の比較を行った。

Figure.1 に両水車の各流速における回転数の結果を示す。可変ピッチ機構を導入することで、起動性能の向上が確認できた。しかし、通常の垂直軸型水車と同様の翼制御の設定では、実験で使用出来る流速域では回転することが出来ないことを確認した。駆動性能については、翼の制御角度が小さい設定の水車が良いことが分かる。垂直軸型水車も起動さえ出来れば、駆動性能が良いことが伺える。

CFD 計算の結果と実験の結果の比較について、 $\gamma_0=-10^\circ$ に翼制御した設定の水車において、流速が速くなり、回転数が増してくると実験値との差異が確認できる。しかし、その他の設定の水車において近い値を

示し傾向を捉えていることが確認できた。これにより、水槽実験で使用出来ない流速域での検討が行えると判断出来る。これらの結果から、流速が遅い場合には制御角度を大きくし、速い場合には制御角度を小さくする様な制御を行うことで、広範な流速域に対応可能な水車を開発することが出来る。

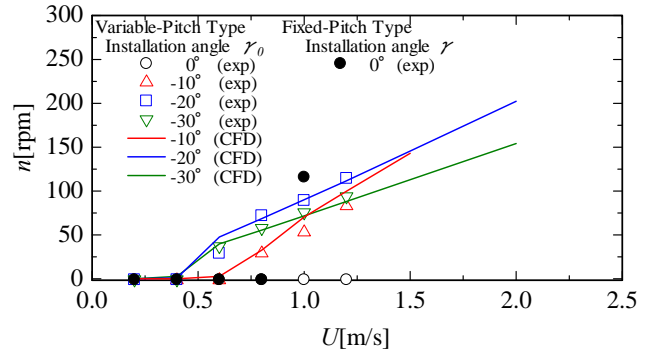


Figure.1 Starting and driving performance

9. 結言

可変ピッチ機構を導入することで、翼のピッチ角度が制御可能になり、設定次第では起動性能が向上するが、駆動性能も同時に満たす設定は困難である。しかし、流況に応じた翼制御を行う事が出来れば、広範な流速域に対応可能な水車を開発することが出来る。

潮流・海流発電を行う上で、流況条件が決して良いとは言えない日本列島近海において、広範な流速域に対応可能な水車の開発は非常に重要である。私たちは海域を選択することなく、どの海域においても発電可能な水車を開発することを目指している。

謝辞

なお、本研究は科学研究費補助金課題番号 23560975 (代表：居駒) および、日本大学理工学部シンボリック・プロジェクト (海洋利用システム, 代表：居駒) の一部として実施したことを付記し、両助成に感謝致します。

参考文献

- [1] 木方靖二, 塩野光弘: 来島海峡におけるダリウス形水車による潮流発電, 電気学会論文誌 D, Vol.112-D, No.6, pp.530-538, 1992
- [2] 居駒知樹, 藤尾慎太郎, 増田光一, 林昌奎, 前田久明: 垂直軸型可変ピッチ翼水車の可変機構とトルク特性について, 日本船舶海洋工学会講演論文集, 第9号, pp.233-236, 2010
- [3] 吉村佑祐, 居駒知樹, 増田光一, 林昌奎: 可変ピッチ式垂直軸型水車の開発と性能評価, 第22回海洋工学シンポジウム論文集, 日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会, OES22-050, CD-ROM, 2011