

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560975

研究課題名(和文) 能動的ピッチ制御を適用した潮流・海流発電のための高性能垂直軸型水車の研究開発

研究課題名(英文) R&amp;D of High Performance VAT with Active-Pitch-Controllable Blades for Marine and Tidal Current Generation

研究代表者

居駒 知樹 (IKOMA, Tomoki)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：50302625

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では垂直軸水車のブレードピッチ角を積極的に制御させることで、水平軸水車の性能に迫る水車効率を実現させ、潮流・海流発電用水車へ応用することを研究した。可変ピッチ機構を備えた水車模型を開発し一様流中での水車性能試験を実施した。2つのタイプのモデルを製作した。実験模型は機械的な摩擦抵抗も大きく、ネット性能は15%程度が最大であったが、ピッチ制御を行わないダリウス水車模型と比べた場合には、比較にならないほど高い性能が確認された。同時にCFD計算による数値実験を行い、水槽実験の共生回転によるグロス性能試験と共に水車効率55%という、極めて高い性能を発揮できる可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the application of pitch-controllable blades to a vertical axis marine turbine in order to be comparable to a horizontal axis marine turbine with high performance. The study developed a turbine model with variable-pitch mechanism and conducted model experiments in uniform flow in order to measure the turbine power. The net performance which was actual turbine power of the model was about 15% despite large mechanical friction. A Darrieus type without the pitch control was unable to rotate absolutely. The gross efficiency of the model taken from the forced rotation test was above 55% and it is huge efficiency.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：潮流発電 垂直軸水車 可変ピッチ制御 水車効率

1. 研究開始当初の背景

ヨーロッパでは積極的な海洋再生可能エネルギー開発が進められていた。特に、ヨーロッパ大陸の西岸の潮位差は比較的大きなところが多く、地形が入り組んでいる海域では潮流流速が非常に速い。スコットランドでは最大流速が 6m/s 程度となる海域もある。日本においても潮流は瀬戸内海や九州北西岸海域、そして海流については黒潮をはじめとして、幾つかの海域で 1.5~2m/s を超える。2m/s を超える流速では水車による発電は十分に経済的に採算性があるといわれていた。しかしながら、水車の基本性能を向上させることは常に重要である。

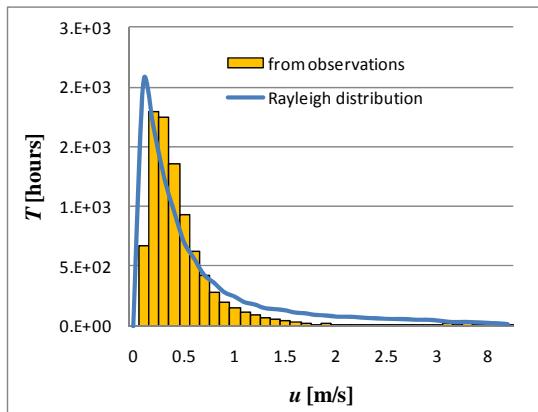


図1 日本周辺海域の流速毎の発生時間分布

日本周辺海域の潮流・海流成分のエネルギー賦存量は広大な海域面積・体積があるために非常に大きい。そのエネルギー密度は欧州のそれと比べれば必ずしも高くない。部分的に 4m/s 近い強流速を観測できる海域はあるものの、図1のように実際に流れを観測した場合の流速のほとんどは 1.0m/s 以下である。流れのパワー(エネルギー密度)は流速の3乗に比例するから、それを考慮したとしても図2のように一般的に潮流発電としては無視される 0.5~1.0m/s の流速帯のエネルギーは非常に大きい。

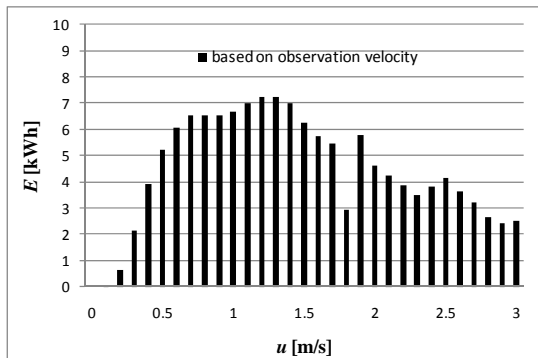


図2 流速毎の表層 1m (幅) × 20m (深さ) の面積当りの年間流れエネルギー期待値

最終的には経済性が問題となるが、比較的流速が低くとも、より効率的にかつより長時間でエネルギー変換が可能であれば、低コス

トで多くの発電用水車を設置することで大きな電力を確保できるはずである。そのためには、より高効率で複数の設置が容易である水車の開発が必要であった。

2. 研究の目的

代表的な垂直軸水車にダリウス水車がある。これは構造が比較的単純で製造コストを抑えられるという期待があった。特に潮流発電においては一日で 12 時間程度の周期での流向の変化に対して無指向性のダリウス水車の利点が強調されてきた。このことから構造的な単純さの優位性があったが、水平軸と比較したときの低流速域での高トルク確保という観点も無視できない。この特性をさらに強めるために、垂直軸水車に可変ピッチ機構を導入すれば、さらにその特性を引き伸ばして抗力型水車と揚力型水車の中間的特性をもつクロスフロー型に近づけられる可能性がある。流速が低くとも最高出力を低下させたくない場合には抗力型水車にはしたくない。

そこで、基本水車をダリウス型として、その翼に対して可変ピッチ機構を導入することでより流速の変化に順応できる、流速に対して広帯域の水車性能特性をもつ可変ピッチ垂直軸水車を開発することを目標とした。そして、可変ピッチ機構の水車高性能化に対する有効性を示すと共に、最高パワー係数(水車効率) 50%を目標として水車諸特性を調査することを本研究の目的として実施した。

3. 研究の方法

本研究は水槽実験と数値計算力学(CFD)的手法の2つの方法を適用して研究を進めた。いずれも水車の可変ピッチ機構と、それを実現するための制作方法が検討案件となる。

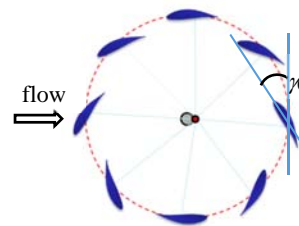


図3 一回転中のピッチ角制御の例

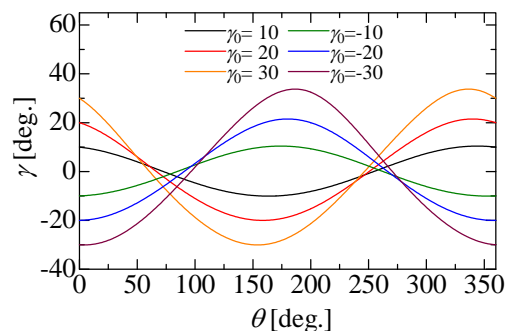


図4 設置角度によるピッチ角変化性状

そこで、実験模型の開発も行った。まずは、可変ピッチ機構の考え方を述べる。図 3 に、垂直軸水車の翼一枚がどのようにピッチ角を変化させながら回転するのかわを示した。下流側でのピッチ角を設置角度と定義した。この角度の決定によって可変角度幅が決まる。任意の設置角度のときに翼がどのように角度を変化させるのかを図 4 に示す。ピッチ制御にはサイクロイダル機構を適用した。

#### (1) 水槽実験

水槽実験では前述したサイクロイダル機構を備えた 2 つの可変ピッチ水車による検討を行った。平成 23 年度から 24 年度にかけて可変ピッチ水車模型による水槽実験を実施した。可変ピッチ機構を備えた水車模型のイメージを図 3 に、その際の模型を図 3 に示す。翼断面形状は NACA 63<sub>s</sub>-018 の円弧キャンバーであった。平成 24 年度に設計・製作し平成 25 年度に本格的な実験を実施した模型を図 4 に示す。図 4 の模型は直径 0.5m、ブレード長さは 0.6m であるが、ブレードの水面からの没水深さは 0.5m とした。また、6 枚までブレード枚数を変更可能な構造とした。翼断面は NACA 0018 の円弧キャンバーとした。

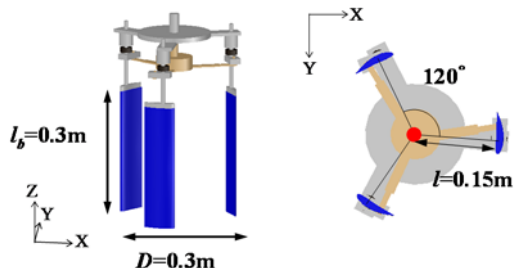


図 5 可変ピッチ水車の機構イメージ

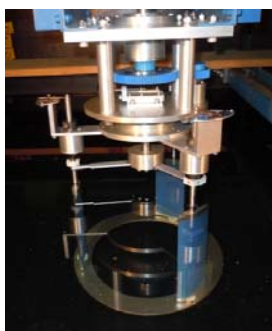
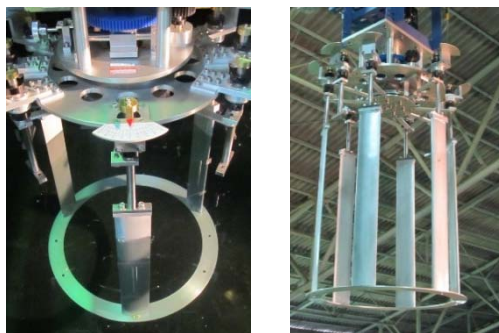


図 6 可変ピッチ翼水車 (3 枚翼タイプ)



a) 3 枚翼設定      b) 6 枚翼設定

図 7 水車模型 (2012 model)

#### (2) 数値実験

熱流体汎用ソフトウェアによる数値計算力学的な数値実験を実施した。再現する状況は水槽実験とした。なお、計算には乱流モデルは適用していない。

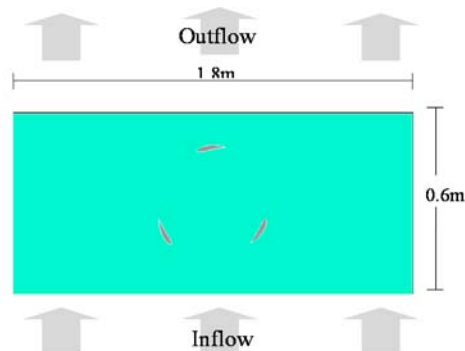


図 8 CFD 計算の 2 次元領域の定義

#### 4. 研究成果

水槽実験では機械的ブレーキシステムによって負荷試験を実施し、使用した水車模型の基本性能を求めた。図 9 と 10 は負荷試験に使用されたモデルである。図 10 は 5 枚ブレードとしたとき、図 9 は 3 枚ブレードを設置角度の違いによる水車パワー係数の特性であり図 10 は 5 枚翼の結果である。これらの効率は水車模型の機械摩擦や自由表面での造波等によるエネルギー損失を含むネット効率である。よって、模型の制作精度等によってこのカーブ特性や最大効率は変化する。この模型の最大効率は 16% 程度を期待できる。また、可変ピッチにしないダリウス型 (0 度設定) よりも -7 ~ -10 度の範囲でピッチ制御された方が性能はよくなる。

図 11 は水槽実験を再現した CFD 計算結果との両者の比較である。2 次元 CFD 計算は精度がよいとはいえないが、おおよその傾向を調べることは可能である。また、これは実験に相当するだけの抵抗係数を同定させている。この抵抗係数を用いて各種設置角度の影響等について数値実験を行った結果が図 12 である。図 12 は数値実験で強制回転試験を行って、パワー係数の理想値 (グロス効率) を示す。-7 度の設定において、ソリディティが 0.293 で最高 55% 程度の効率を得た。

ソリディティ毎にどの設置角度が理想的かを調べたのが図 13 である。この結果からそのソリディティにおいても設置角度が -7 度程度で最高効率を得ることがわかった。

可変ピッチ機構を垂直軸水車に導入することで、より広い流速域において効率的に水車を運転できる可能性を示すことができた。特に、最高効率を何もしないよりも 10 ポイント以上向上できることと、低流速域においてもトルクを得ることで、起動性能も向上し、かつ相当量のパワーテイクオフを期待できることが示唆される数値実験結果を得た。

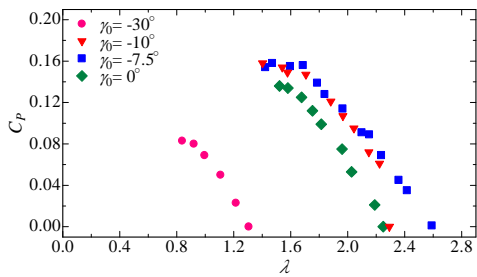


図9 3枚翼設定における2012 modelの設置角度毎の周速比に対する水車効率を示す。

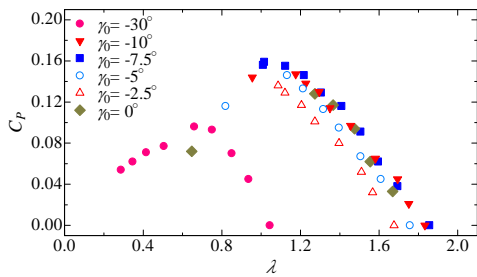


図10 5枚翼設定における2012 modelの設置角度毎の周速比に対する水車効率

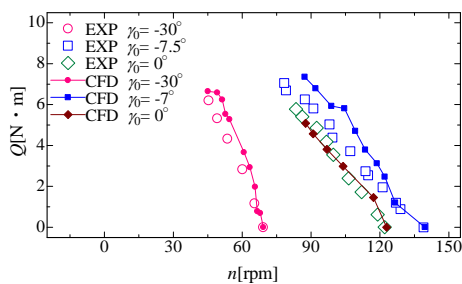


図11 水車トルクの水槽実験結果とCFD計算結果の比較

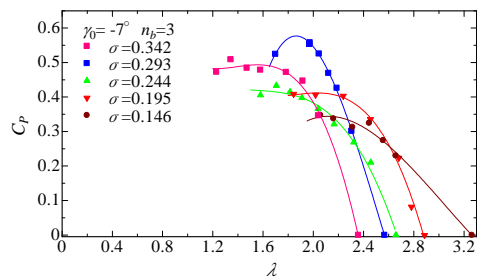


図12 3枚翼の場合のソリディティ毎の水車効率の違い

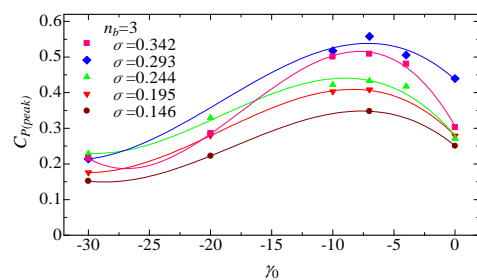


図13 最大水車効率の設置角度に対する変化のソリディティの影響

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 居駒知樹, 中澤那世留, 増田光一, 仲村泰徳, 林昌奎: 可変ピッチ機構の導入による広範な流速域での垂直軸型水車の高性能化に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, pp.138-142, 2013.9. (査読有)

〔学会発表〕(計5件)

- 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パワー係数に与える影響, 第24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, OES24-55, 2014.3.
- ② Tomoki Ikoma, Koichi Masuda, Yasunori Nakamura, Chang-Kyu Rheem, Hisaaki Maeda and Naseru Nakazawa, "Development of a Vertical Axis Marine Turbine with Variable Pitch Blades for Wide Range Current Speed," Proceedings of the International Symposium on Marine and Offshore Renewable Energy, The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers (JASNAOE) and The Royal Institution of Naval Architects (RINA), Paper No. S6-3, CD-ROM, 2013.10.
- ③ Tomoki Ikoma, Koichi Masuda, Yasunori Nakamura, Chang-Kyu Rheem and Hisaaki Maeda, "Performance and Characteristics of Take-Off Power of a Vertical Axis Marine Turbine with Variable-Pitch Blades," Proceedings of the ASME 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE'13), ASME, 11262, CD-ROM, 2013.6.
- ④ 居駒知樹, 仲村泰徳, 増田光一, 林昌奎: 垂直軸型可変ピッチ翼水車のトルク性能と水車パワーに関する基礎的研究, 第23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, OES23-048, CD-ROM, 2012.8.
- ⑤ 居駒知樹, 増田光一, 仲村泰徳, 林昌奎: 垂直軸型可変ピッチ翼水車の水車性能に関する実験的研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第14号, 2012S-G4-4, pp.319-322, 2012.5.

〔図書〕(計0件)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

居駒 知樹 (IKOMA, Tomoki)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号: 50302625

(2) 連携研究者

大塚 文和 (OTSUKA, Fumikazu)

日本大学・理工学部・助教

研究者番号：60513984

林 昌奎 (RHEEM, Chang-Kyu)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：70272515