

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760580

研究課題名（和文）シュラウド付き潮流発電用水平軸型水車の開発に関する研究

研究課題名（英文）Development of a Tidal Powered Horizontal Axis Hydraulic Turbine with a Shroud

研究代表者

渡辺 幸夫（WATANABE YUKIO）

鳥羽商船高等専門学校・商船学科・講師

研究者番号：20332033

研究成果の概要：本研究は、風車の分野でも近年注目されているシュラウドを回転するプロペラ型（水平軸型）潮流発電用水車ブレード周りに設けることによって、その集流・加速効果と翼端失速低減効果を利用し既存の水平軸型潮流発電用水車よりも発電効率が向上するような、新しい水車の基礎性能把握を水槽実験、及び数値解析によって行った。シュラウドの周流増速効果について調査し、潮流発電用水車の模型試験と性能予測計算を行った結果、シュラウドを用いることで水車の出力係数を約 2.2 倍にすることが可能であるとの知見を得た。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,100,000	0	1,100,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,600,000	150,000	1,750,000

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、シュラウド、水平軸型水車、自然エネルギー、CFD

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化対策として新エネルギーの利用拡大が求められているが、海洋エネルギーに関する記述は、現在の「エネルギー白書」においてその言葉すらない。言うまでもなく、海水密度は空気の約 800 倍であり、流体のパワーは密度と流速の 3 乗に比例するので、2 ノットの流速は約 9m/s の風に相当する。日本沿岸では、鳴門海峡での最大流速 10 ノッ

トをはじめとして各地に潮流の強流域があり、そのエネルギーの賦存量は膨大である。この一部であっても海流エネルギーの利用によって地球温暖化対策に寄与することは、まさに時節に適ったことであると思われる。

そこで本研究では、風車の分野でも近年注目されているシュラウドを回転するプロペラ型（水平軸型）潮流発電用水車ブレード周りに設けることによって、その集流・加速効

果と翼端失速低減効果を利用し既存の水平軸型潮流発電用水車よりも発電効率が向上するような、新しい水車の基礎性能把握を水槽実験、及び数値解析によって行うことを目的とする。

2. 研究の目的

本研究では、回転する水車翼の周りにシュラウド（ダクト）を設けることにより、従来の水車よりも発電効率を高めるシュラウド付水平軸型潮流発電用水車について、次の項目を明らかにする

(1) シュラウド付水平軸型潮流発電用水車については、その最適設計法が知られていないので、翼素運動量理論にもとづく最適設計法を構築する。さらには市販の汎用 CFD ソフト Fluent を用いた解析方法の検討を行う。また設計する水車については、流速の低い潮流でも発電可能なように配慮する。

(2) シュラウド付水平軸型水車を設計・製作し、プロペラ単独試験器を用いた模型実験により、設計法の妥当性を確認する。また、シュラウドと水車の相互影響、シュラウドに働く流体力についても定性的・定量的に検証する。

3. 研究の方法

(1) 低流速域でも発電可能なような、水車の設計を行った。この設計を行う際のポイントは二つあり、一つは低レイノルズ数に対応した翼型を採用すること、二つめは、低周速比域に最適となるように、条件を定め設計を行うこと、である。設計に際しては、風車設計等で信頼性の高い、翼素運動量理論による設計計算をおこなった。

(2) シュラウドに関しては、九州大学の大屋らが行ったシュラウド内流れの研究を最大限参考にし、大まかな形状を決定する。ま

た、同時に汎用 CFD ソフト Fluent を用いた流れ計算を行い、シュラウド内の流れ解析を行った。流れ解析の乱流モデルには、LES モデルを用いた。

(2) 設計を行った水車を製作し、鳥羽商船高等専門学校（以下、本校とする）内の回流水槽およびプロペラ単独試験装置を用いて水槽実験を行った。ただし、プロペラ単独試験装置はそのままでは過回転してしまい水車実験に対応できないため、ブレーキ装置を新に付加した。

4. 研究成果

(1) 実験用の水平軸型水車模型の設計・製作：設計の条件は、流速 1.0m/s、周速比（翼端周速/流速）=4、直径 250 mm、翼型 MF-703 揚抗比 0.0131 とした。本研究は基礎データの構築も検討事項の一つとなるため、実験施設となる本校回流水槽、プロペラ単独試験器などの諸元に依存する形となっている。ただし、周速比について流速が低くても発電するように、比較的低周速比（一般的な水平軸型風車は約 6）にしたこと、翼断面については、小型であり、更に水の中で稼働することを考慮し低レイノルズ数域で揚抗比が高く、比較的翼が厚いものを選んだ。図 1 には、上記条件のもとで設計し、製作上の不都合を手直した結果得られた水車模型製作図面を示す。

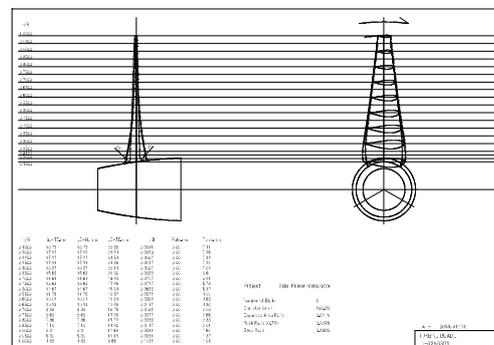


図 1 水車模型の形状

(2) シュラウド形状の検討：調査したシュ

ラウドの形状としては、下流に向かって内部断面積が縮小するタイプ（縮流型）、一定タイプ（中立型）、拡大するタイプ（拡大型）の内部流れを検討対象としている。

図2に大屋らが行った風洞試験を行った拡大型中空構造体モデルの中心軸上風速分布 U/U_{inf} を示す。用いた中空構造体モデルは狭い方の断面が一辺 120mm の正方形、広い方が一辺 240mm の正方断面である。モデルではその傾斜角 ϕ は 3.7deg. で L/D （シュラウド長さ/シュラウド直径）= 7.7 である。

図2から分かるように下流に向かって拡大するディフューザータイプのシュラウドが集流・加速に大きな効果があり、入口直後付近で最大 $U/U_{inf}=1.8$ を示す。ここで $X/L=0$ は構造体入口、 $X/L=1.0$ は構造体出口である。可視化の様子からは、縮流形では流れはモデルを避けて流れる傾向にあり、一方拡大型では流れは吸い込まれるようにモデルの中へ流れ入る。この拡大型の最適な開き角度を検討した結果、4deg. 前後の開き角が有効だと結論に至っている。

(3) シュラウド長さの検討：図4に拡大型シュラウドの軸方向長さとの入口径の比と内部での最大速度増加率との関係を示す。グラフ内の●は大屋らによる風洞試験結果、曲線は Fluent による CFD の結果を示している。計算結果と実験結果はよく一致しており、計算方法に問題がないことがわかる。

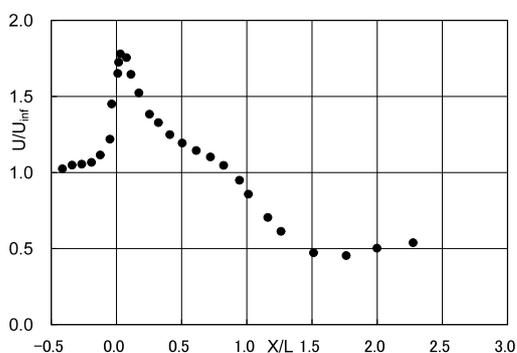


図2 中空構造体中心軸上の風速分布

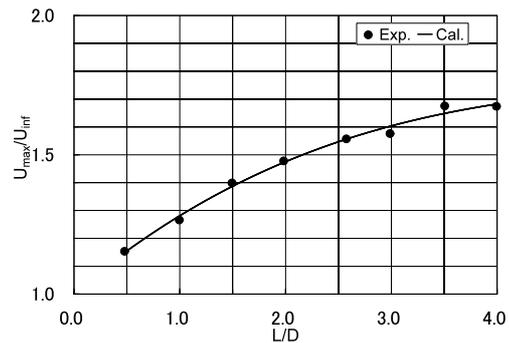


図3 中空構造体の長さに対する最大流速の変化
またグラフでは、 $L/D=1.0$ において U_{max}/U_{inf} = 約 1.3、 $L/D=3.0$ において U_{max}/U_{inf} = 約 1.6 という値を示しており、 L/D の増加と共に徐々に増速率が増加するが見てとれる。シュラウドに働く流体力等を考慮すると、 $L/D=1.0$ がシュラウドの長さとして適していると考ええる。

(4) 水槽試験結果：水車模型を作製し、回流水槽試験を実施した。水車模型の形状（翼弦長分布と取り付けピッチ角分布）を表した写真を図6に示す。



図4 水車模型（写真）

水槽試験には、本校荒天船舶実験室内の回流水槽を用いた。また荒天船舶実験室には、プロペラ単独試験装置が設置されており、本研究の水車性能試験には、この単独試験装置を用いた。

実験条件は、流速 1.2m/s、周速比 1.5～8.0（0.5 刻み）である。実験では設計流速より 0.2m/s 大きくしたが、これは、計測機器の制

約条件を考慮したためである。また、周速比の範囲は、実験中、正のトルクが発生領域である。

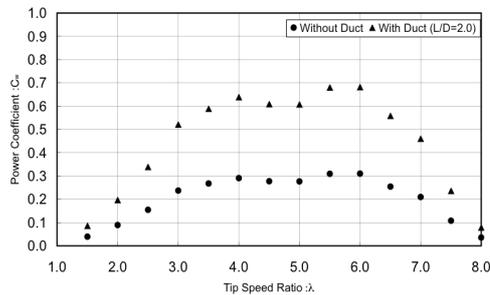


図5 水槽試験結果とシュラウドによる出力増加

上記の条件下で行った実験結果を図7の●として表している。グラフの縦軸の出力係数 C_W は、水車発生出力を流入流のエネルギー $0.5\rho U_\infty^3 \pi (0.5D)^2$ で除したものである。

グラフから、設計条件の周速比4.0において最大値に近い値をとっていること、また、最大値付近の値を広い周速比域でとっていることが読み取れる。これは、この水車が低流速から発電し、更に、広い領域で高い発電効率を得ることが可能だということがいえる。

(5) シュラウドを用いた際の水車性能予測：シュラウドは、それ自体にも大きな流体力が発生するため、無闇に大きくならないことが望まれる。そこで、拡大型 $L/D=1.0$ ($U_{max}/U_{inf}=1.3$) のシュラウドで水車を覆うことを仮定し、(1)式を用いて水車性能を簡易予測した。なお、水車は、シュラウドの入口付近に設置すると仮定する。計算結果は、図7内の▲として示す。

$$C_{W_{withDuct}} = (U_{max}/U_{inf})^3 C_{W_{withoutDuct}} \quad (1)$$

簡易予測の結果、シュラウドを用いた場合の C_W は用いない場合の約2.2倍となる。水車直径と同じ長さの拡大型シュラウドを用いるだけで、大きな出力の増加が見込まれる。

ただしこれは、あくまでも最大速度比を係数として用いた予測計算の結果であり、数値解析や水槽実験によって今後より詳細に検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 渡辺幸夫、潮流発電装置の高出力化を目指したダクトの開発、鳥羽商船高等専門学校紀要、第32号(掲載予定)、2010、査読有
- ② 柳原大輔、岩下英嗣、渡辺幸夫、繊維ゴムを用いた水平軸型風車ブレードのパッシブピッチ角制御、日本機械学会論文集B編、75巻、259-267、2009、査読有
- ③ 渡辺幸夫、シュラウド付き潮流発電用水平軸型水車の開発に関する研究、鳥羽商船高等専門学校紀要、第31号、81、2009、査読有
- ④ Yukio WATANABE、Hidetsugu IWASHITA、Masamitsu Ito、Shape Optimum Design of Wind Turbine Blade Operating in Low Reynolds Number Range、European Wind Energy Conference Scientific Proceedings、2007、BL3.321、2007、査読有

[学会発表] (計2件)

- ① 渡辺幸夫、弾性変形を利用した小型風車の新しいピッチ制御機構に関する研究、第6回全国高等専門学校フォーラム、2008.8.21、広島県呉市
- ② Yukio WATANABE、Shape Optimum Design of Wind Turbine Blade Operating in Low Reynolds Number Range、European Wind Energy Conference & Exhibition in Milan 2007、2007.5.8、Milan、Italy

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 幸夫 (WATANABE YUKIO)

鳥羽商船高等専門学校・商船学科・講師

研究者番号：20332033