

令和5年度 長崎県南島原市における
潮流発電実海域試験

成果報告書

令和6年度3月

早崎潮流発電推進研究会

目次

| | |
|------------------------|----|
| 第1章 序論..... | 1 |
| 1.1 研究背景..... | 2 |
| 1.2 潮流発電装置..... | 3 |
| 1.3 既存研究..... | 4 |
| 1.4 研究目的..... | 6 |
| 第2章 垂直軸型可変ピッチ翼水車..... | 7 |
| 2.1. 垂直軸型可変ピッチ翼水車..... | 8 |
| 2.2. 可変ピッチ機構..... | 10 |
| 2.3. 回転中の取り付け角度..... | 11 |
| 2.4. 設備利用率について..... | 11 |
| 第3章 実海域実験..... | 12 |
| 3.1. 実験体制..... | 13 |
| 3.2. 実験海域..... | 13 |
| 3.3. 浮体モデル..... | 14 |
| 3.4. 実験方法..... | 15 |
| 3.5. 実験条件..... | 16 |
| 3.6. 計測項目..... | 17 |
| 3.7. 計測機器..... | 18 |
| 3.8. 計測機器の校正値..... | 21 |
| 3.9. 計測条件..... | 22 |
| 3.10.解析方法..... | 22 |
| 第4章 実海域実験結果..... | 27 |
| 4.1 実験結果..... | 28 |
| 4.2 回転数..... | 28 |
| 4.3 各パラメーター..... | 29 |
| 4.4 従来の変機構との比較..... | 29 |

| | |
|---------------------|----|
| 第5章 今後の課題..... | 30 |
| 5.1. 増速ギアの設置..... | 31 |
| 5.2. 発電機抵抗値の設定..... | 31 |
| 5.3. 流向の設定..... | 32 |
| 5.4. 可変幅の最適化..... | 33 |
| 第6章 結論..... | 34 |
| 6.1. 結論..... | 35 |
| 参考文献..... | 36 |
| | 37 |

図一覧

第1章 序論

図1 各流速に対する年間発電量とエネルギー量

図2 タービンの形式

図3 各周速比におけるパワー係数

図4 実海域実験で使用された水車

図5 翼の取り付け角度ごとの水車パワー係数

図6 理想ピッチ角度

図7 垂直軸型可変ピッチ翼水車の曳航試験

第2章 垂直軸型可変ピッチ翼水車

図8 ブレード断面

図9 ブレード断面

図10 初期取り付け角度の定義

図11 取り付け角度ごとのトルク係数(流速 1.0m/s)

図12 可変ピッチ翼水車のイメージ

図13 ガイドレール

図14 ローラー, ロッド

図15 水車の構造概要

図16 ガイドレール方式による可変方法(-14°の時)

図17 ハンドル

図18 目盛り

図19 取り付け角度 γ_0 ($\theta = 0^\circ$ のとき)による1回転中のピッチ角度変化の違い

図20 実証海域(出典:日本国土地理)

第3章 実海域実験

図 21 浮体モデル

図 22 組立

図 23 浮体モデルの係留

図 24 初期取り付け角度 ($-14^\circ, -10^\circ, -7^\circ, 0^\circ$)

図 25 回転数計測の目印

図 26 回転数計測の目印

図 27 流速計表示部

図 28 流速計(送受波器)

図 29 流速計(送受波器)設置位置

図 30 発電機

図 31 発電機粗図

図 32 PLC・データロガー

図 33 系統図

図 34 無負荷電圧曲線

図 35 出力電圧特性

図 36 出力電流特性

図 37 発電機効率特性

第5章 今後の課題

図 38 出力電力特性

図 39 出力電力特性

図 40 最適な流入方向の違い

図 41 取り付け角度 γ_0 ($\theta = 0^\circ$ のとき) による 1 回転中 n のピッチ角度変化の違い

図表一覧

第 2 章 垂直軸型可変ピッチ翼水車

表 1 水車諸元

第 4 章 実海域実験結果

表 2 回転数

表 3 計測時の流速

表 4 各パラメーター(20Ω)

第 1 章 序論

1.1 研究背景

日本の電力供給は主に火力発電に依存している。しかし、石炭や化石燃料などの非再生可能なエネルギー源を使用し、それに伴う熱エネルギーを利用する火力発電は二酸化炭素排出による環境への影響が懸念されている。さらに日本はこれらの化石燃料の大半を他国から輸入しており、輸入国の政情に左右される燃料価格の変動や供給の不安定性が大きくなりリスクとなっている。これらの課題に対処するために、過去には安定供給と低い二酸化炭素排出量を実現するために原子力発電の建設が進められていたが、2011年3月11日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故が発生したことで、原子力発電の推進に歯止めがかかった。この事故を受け、環境への負荷が少なく、自国で賄うことができる再生可能エネルギーに関心が高まってきている。

再生可能エネルギーは波や風、太陽光など様々だが、中でも研究対象とした潮流は季節や気象の影響を受けにくく、流況を比較的予測しやすいため計画的な利用が可能な信頼性の高いエネルギーと言える。また、海水は空気の約800倍の密度があるため、潮流はエネルギー密度の観点で風力よりも高いポテンシャルがあるといえ、日本は排他的経済水域の面積が世界で6番目に広く、黒潮や対馬海流のような巨大海流が流れている。しかし潮流発電は日本では商業化に至っていないのが実情であり、その原因は最大流速が1.5m/s以上の強流速域が極めて少ないことにある。居駒らの日本列島周辺の流速域データの解析による各流速(海流を含む)に対する年間発電量とエネルギー量を図1に示す。0.5m/s以下の流速帯の年間発生時間が多く、エネルギーポテンシャルが大きい流速は0.5~1.5m/sの低流速域に集中考察しており、そのため低流速でも高いトルクが得られ稼働できる垂直軸型可変ピッチ翼水車を研究対象としている。

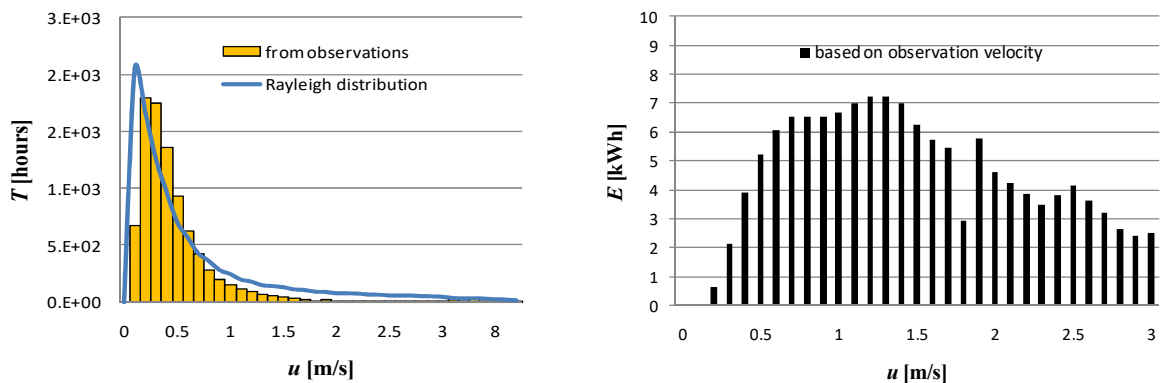


図 4 各流速に対する年間発電量とエネルギー量

1.2 潮流発電装置

代表的なタービンの種類を図 2 に示す。基本的には潮流発電は風力発電と同じ発電方式のためタービンの種類はほとんど同じであり、大きく分けると水平軸型と垂直軸型に分類できる。また水平軸型と垂直軸型は、発電に使用する力の違いで揚力型と抗力型に分類される。一般的には常に速い流速であれば水平軸の揚力型が、装置の回転速度が稼げ、発電出力が装置の半径の 2 乗に比例するため効率が最も高い。しかし前節のとおり日本列島周辺は強流速域が少ないため、水平軸と比べて低流速でも起動しやすく設備利用時間の向上が見込める垂直軸型が日本の流況に適していると考える。また垂直軸型の中でも揚力型が回転速度を稼ぐことができ効率の面で優れている。図 3 に各周速比における各タービンのパワー係数を示す。

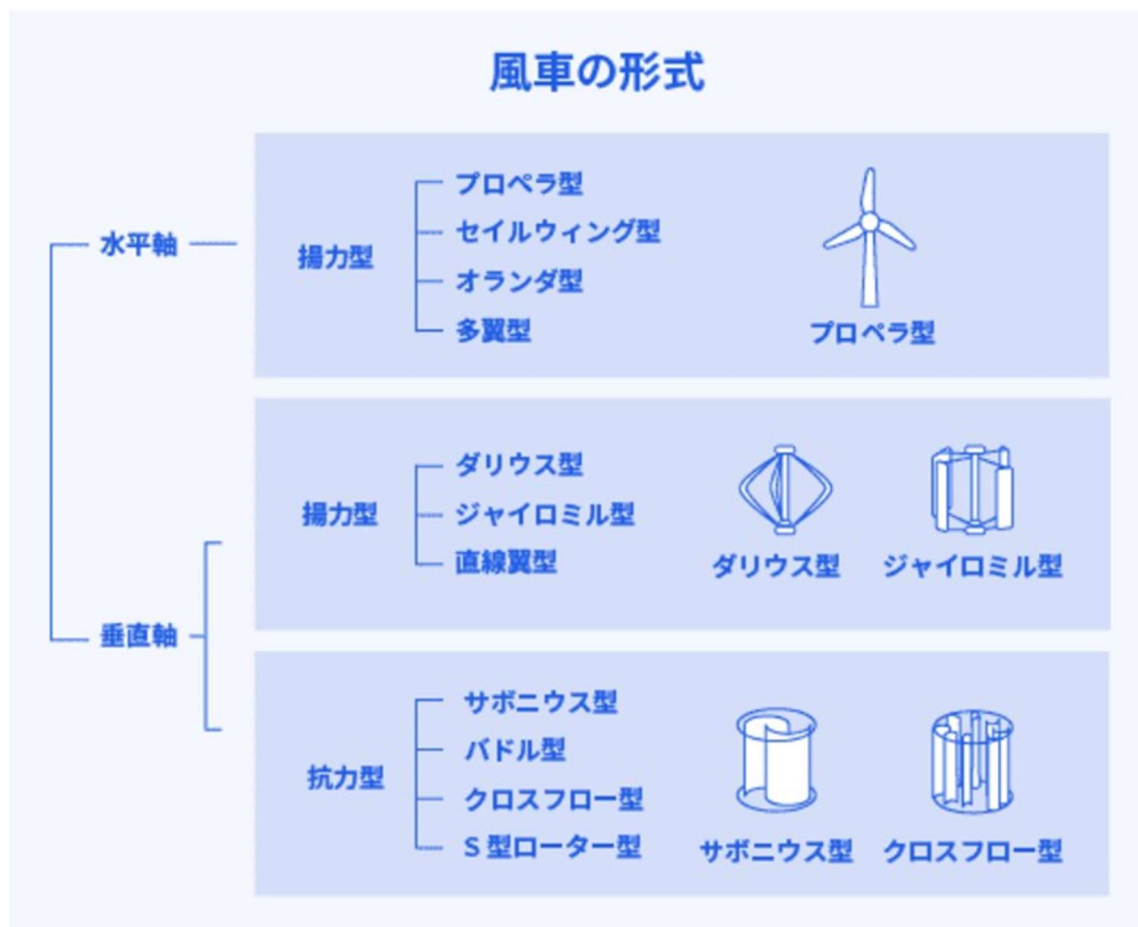


図 5 タービンの形式

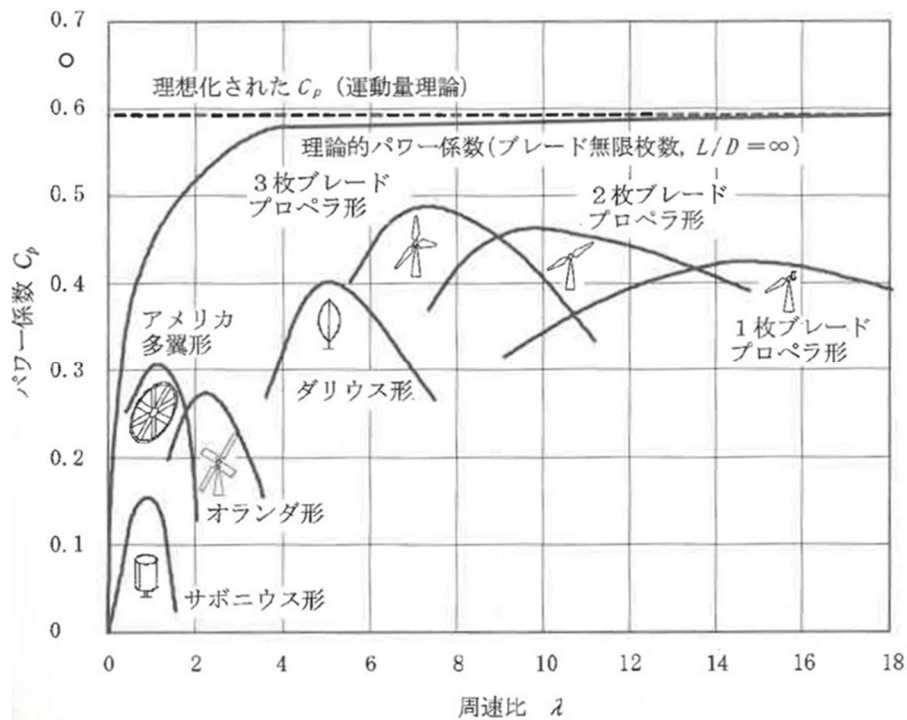


図 6 各周速比におけるパワー係数

1.3 既存研究

ダリウス形水車は過去に日本大学の木方らによって世界で初めて来島海峡での実海域試験を成功させている。87年から第3期で用いられた海底設置型発電装置は発電効率が最大で55%という非常に高い結果を得たり。この成功事例により我が国の複数のプロジェクトにおいてダリウス形水車あるいはその変形水車が採用されている。



図 4 実海域実験で使用された水車

経塚ら²⁾は水槽実験と単流管理論により動翼の断面形状，翼枚数および取り付け角度ごとの水車パワー効率について検討している。3枚翼の水車では取り付け角度 5° 設定の時に水車パワー係数が最も高かったことを確認した。

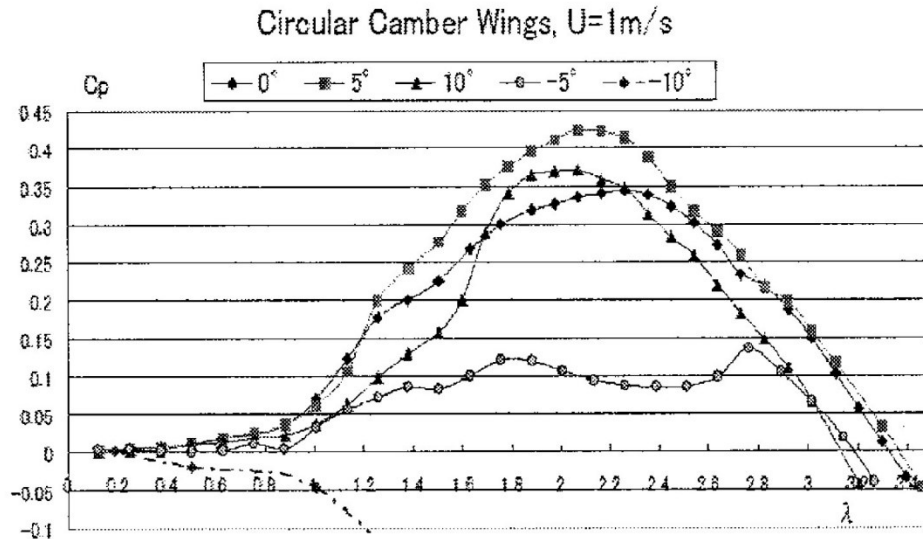


図5 翼の取り付け角度ごとの水車パワー係数

居駒ら³⁾は，翼素理論により一方向流に対して水車の起動トルクを効率的に稼ぐことのできる理想ピッチ角度を明らかにし，また理想ピッチ角度に酷似するピッチ角変化をする可変機構を考案し，数値計算により起動性能が著しく向上することを報告している。

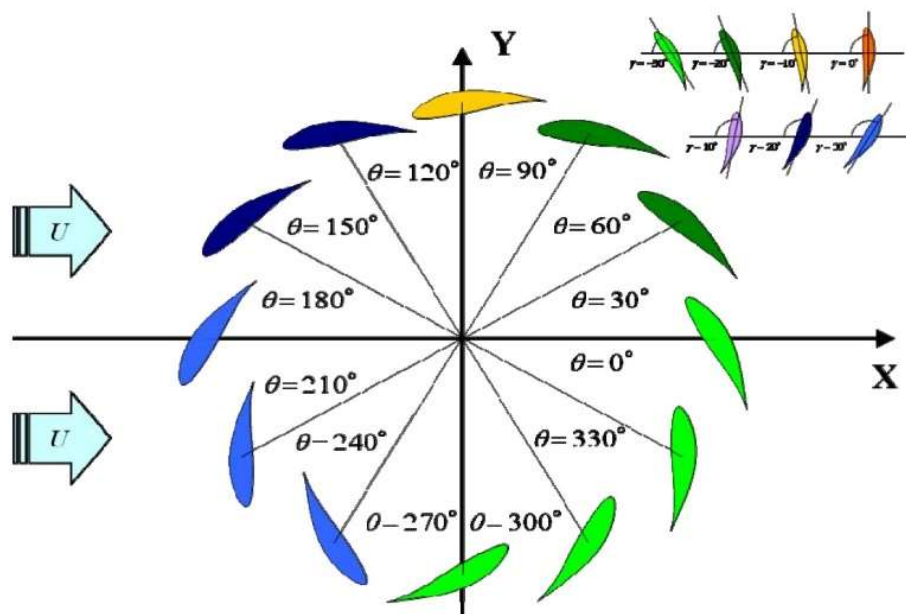


図6 理想ピッチ角度

居駒⁴⁾らは曳航試験により実海域での性能評価を行ったが可変ピッチ機構の導入による部品数の増加で機械的パワー損失が30%にまで増加したことが課題となった。



図7 垂直軸型可変ピッチ翼水車の曳航試験

そこで本研究では機械的パワー損失の低減のために、既存のピッチ角制御と異なる制御方法の検討が必要である。また垂直軸型可変ピッチ翼水車の係留状態における実海域実験は国内においては実績がなく海外では1例程度と、可変ピッチ制御による回転数や水車効率の性能向上が見込めるかという基本的な知見が非常に少ない。

1.4 研究目的

本研究プロジェクトの目的である、高い設備利用率で必要な発電量を見込める潮流発電システムの実用化と将来的な商用化、中規模な浮体式システムとしての開発のため、本実験は可変ピッチ機構を導入した垂直軸水車による係留された浮体システムによる可変機構の有用性の検証と可変機構の検討を本実験の目的とし係留状態における浮体式垂直軸型可変ピッチ翼水車の実海域試験を実施した。

第2章 垂直軸型可変ピッチ翼水車

2.1 垂直軸型可変ピッチ翼水車

本研究で使用したモデル水車は発電機を搭載した垂直軸型可変ピッチ翼水車である。可変ピッチ機構の仕組みについては題目 2.2 に示す。本研究で使用するモデル水車は、居駒らが使用したモデル水車を一部再使用しており、モデル水車の規模は直径 $D=1.0\text{m}$ 、ブレード長さ $\ell_b=1.3\text{m}$ 、(ブレード喫水 $d=0.9\text{m}$)、翼枚数 3 枚とした。水車のブレードに関して、翼形状は既存研究から NACA0018 の円弧キャンバー翼で、翼弦長 $c=0.306\text{m}$ 、ソリディティ $\sigma=0.293$ とした。ソリディティとは水車や風車の性能において重要なパラメーターの一つで以下の式で定義される。水車直径 D 、翼枚数 n_b 、翼弦長 c でありソリディティが大きいほど高トルク低回転数となることが明らかになっている。

表 1 水車諸元

| | | |
|------|-----------------|----------|
| タービン | 翼枚数 n_b | 3 枚 |
| | 水車直径 D | 1.0[m] |
| | ブレード長さ ℓ_b | 1.3[m] |
| | 翼弦長 c | 0.306[m] |
| | 翼型 | NACA0018 |
| | ソリディティ σ | 0.293 |

$$\sigma = \frac{cn_b}{\pi D} \quad (2.1.1)$$

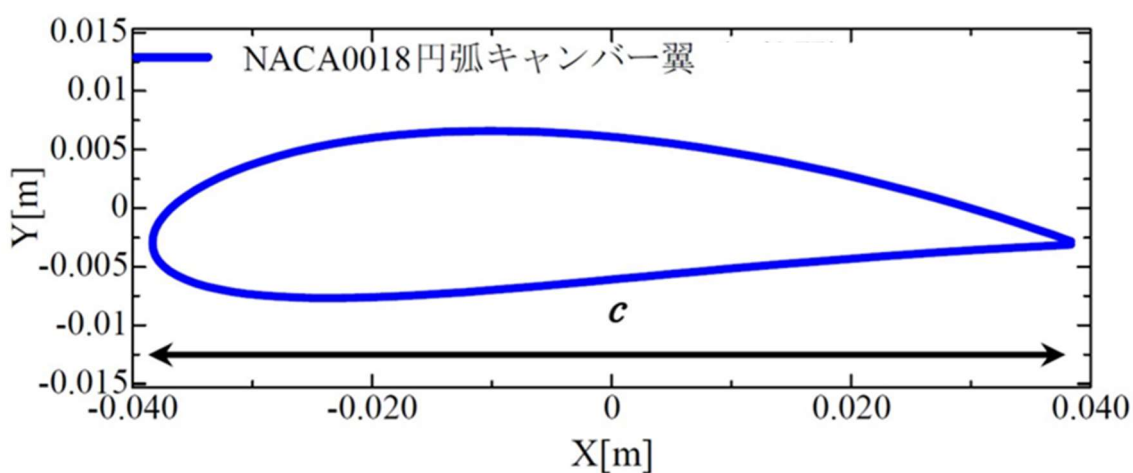


図 8 ブレード断面

そして居駒らのピッチ角度の制御をより簡素化した構造に変更した。加えてアルミ素材のブレードを，FRP に変え軽量化している。



図9 ブレード断面

2.2 可変ピッチ機構

垂直軸型可変ピッチ翼水車とは、回転中に翼のピッチ角度の制御を機械的かつ能動的に行えるフォイトシュナイダー推進器と同様の機構であるサイクロイダルプロペラを参考に設計された可変ピッチ機構を導入した垂直軸型の水車である。図 10 に示す O 点を O' 点まで移動させることで翼取り付け角度 γ_0 を可変される。翼の基準となる位置(回転角 $\theta = 0^\circ$)での翼の初期取り付け角度 γ_0 は $(-14^\circ \leq \gamma_0 \leq 10^\circ)$ までの範囲内で可変ができる。

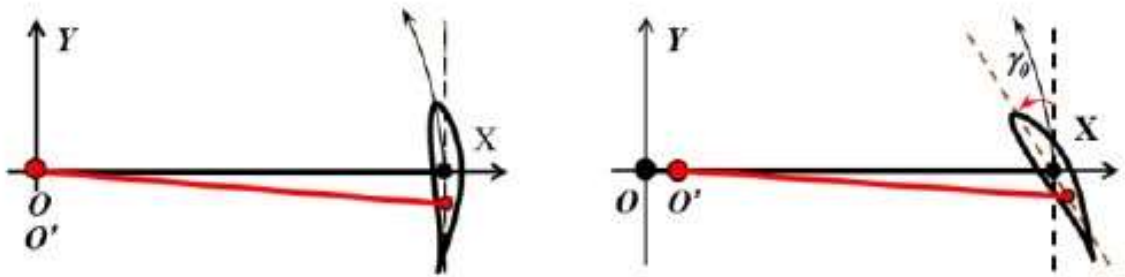


図 10 初期取り付け角度の定義

図 11 に初期取り付け角度 $\gamma_0(\pm 2^\circ, \pm 5^\circ, \pm 10^\circ)$ と通常のダリウス水車のトルク係数の比較³⁾を示す。通常のダリウス水車のトルクが負の値になるのに対して可変機構を取り入れることでトルク係数が大きく増加することがわかる。

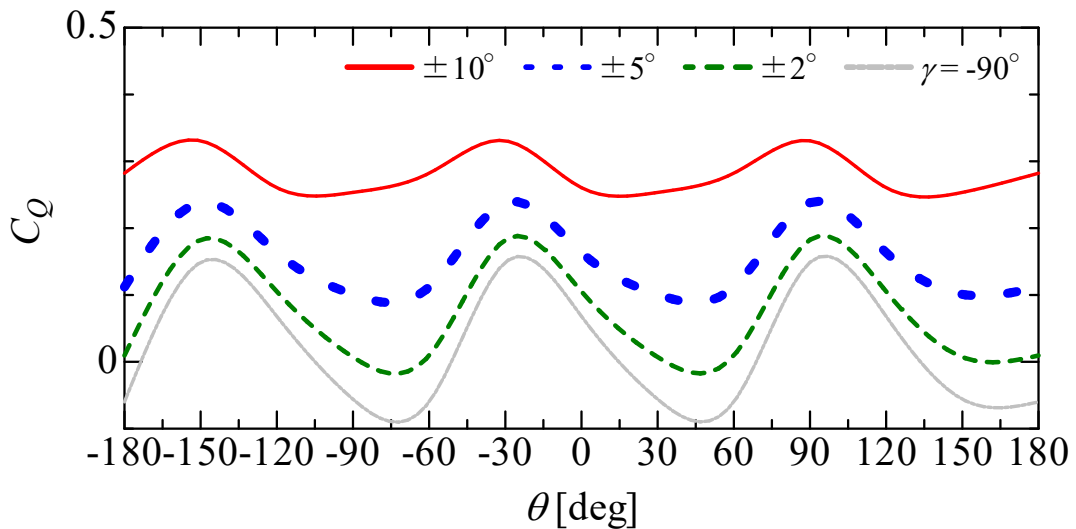


図 11 取り付け角度ごとのトルク係数(流速 1.0m/s)

2.3 回転角毎の取り付け角度

図 19 に実験で使用するモデル水車の取り付け角度 γ_0 を実線で、居駒らの水車の理想ピッチ角を破線で示す。

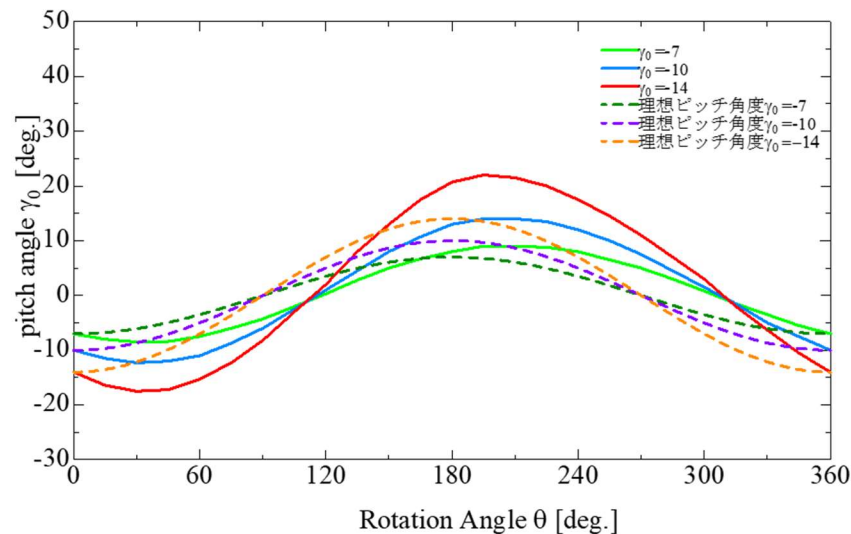


図 12 取り付け角度 $\gamma_0(\theta = 0^\circ$ のとき)による 1 回転中のピッチ角度変化の違い

2.4 設備利用率について

辻らが明石海峡で行った、NACA0018 直線キャンバー、ソリディティ 0.18 の 3 枚翼で直径 : 1.6 m, ブレード長さ : 1.6 m のダリウス水車が二次供給電圧一定制御方式で制御した場合に、発電最大流速設定 : 2.32 m/s で設備利用率 35%であった。この実験は通常のダリウス水車であり、可変機構を導入によって、さらに設備使用率の向上が見込まれ、発電機(負荷)制御方式、ソリディティと可変ピッチ制御との最適化などの課題を達成することで、プロペラ形に発電効率ではやや劣るものの長時間稼働させることによつての総合的な発電量でみると十分競うことができる性能になると考える。

第3章 実海域実験

3.1 実験体制

今回の実験機である HSPG1 号(Hayasaki Stream Power Generator #1) は日本財団の支援のもと日本大学理工学部 居駒知樹教授と共同開発したもので多くの団体の協力、参画を受けて実証実験を行った。

<実験主体>

早崎潮流発電推進研究会

<実証実験助成>

(公)日本財団

<協力・参画団体>

日本大学（居駒研究室）、島原半島南部漁協口之津本所、商船三井、本田重工業、新田鉄工所、澤山グループ、FURUNO、大石建設、中島建設、安達、南島原市、長崎県立口加高校

3.2 実験の概要

本実験は長崎県南島原市口之津宮崎鼻沖で実施した。有明海の干満差が非常に大きく、有明海の入り口である早崎海峡は比較的流速が早く潮流発電に適した環境であるため長崎県南島原市口之津宮崎鼻沖周辺を実験海域に選定した。下げ潮時の流速が速く、実験期間中の 28 日(大潮)が最大で 1.7m/s となる。実験海域の位置を図 20 に示す。

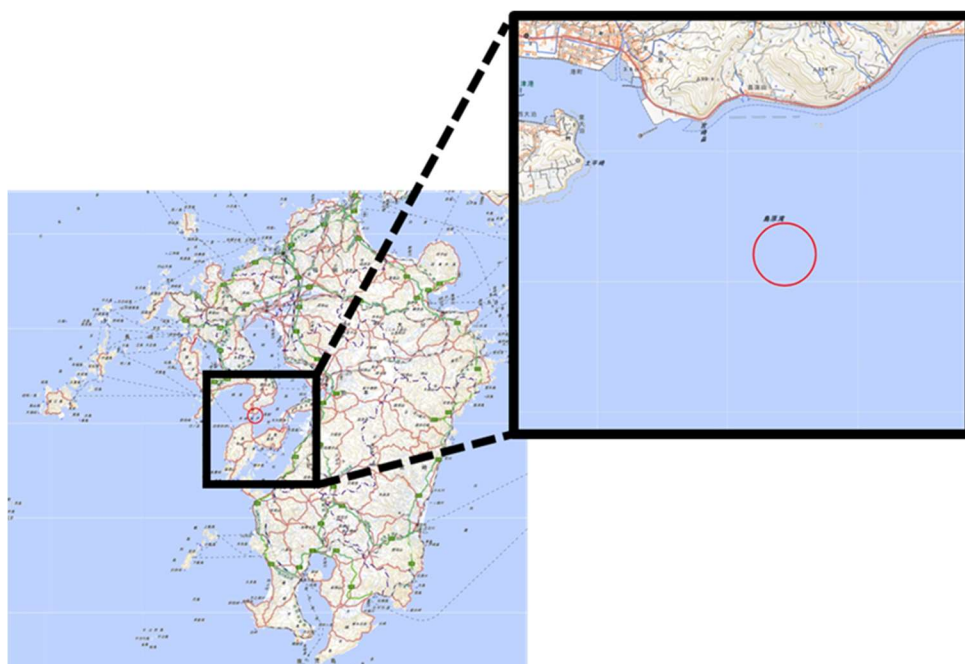


図 20 実証海域(出典:日本国土地理)

3.3 浮体モデル

水深や海底地形の影響を受けにくく、同じ設計の浮体構造物を幅広い海域に設置でき、量産化に向いている点、欧州で Bluewater や TIDALOS の浮体式潮流発電装置の開発が進められていることを鑑みて浮体式装置の開発も必要であると考え、浮体式を選択した。浮体モデルは幅 3.0m,長さ 5m の双胴型の係留筏で 1.3m×1.3m の中心部に水車全体を搭載した。浮体モデルの下部には長さ 1.0m, 直径 0.7m のフロートを 14 個設置している。浮体モデルを図 21 に示す。

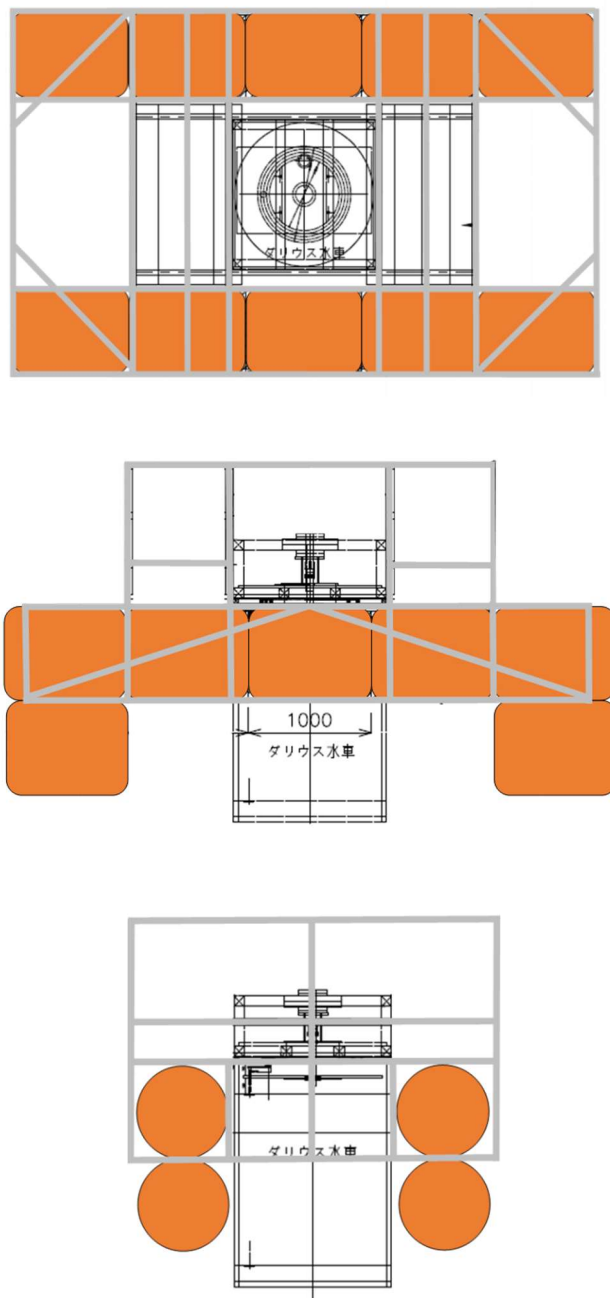


図 21 浮体モデル



図 22 組立

3.4 実験方法

本実験は居駒らが新潟県の粟島浦村で行われた水車を改良し海上設置型潮流発電装置の実際の潮流による実証実験を実施した。図 23 の通り二点係留でアンカーとロープで固定した。

<設置手順>

- 1 口之津港東防波堤灯台近く野積場においてアンカー2丁①②(1.0t と 0.3t をスイベルで結合)にロープ(18mm クレモナロープ)を結ぶ。
- 2 クレーンでアンカー①を吊り上げて堤防横の海底まで降ろし、ロープを揚錨船へ渡す。
- 3 揚錨船のウインチアンカー①を海底から船首の海面上まで引き上げ、船首にぶら下げた状態で、アンカー①の設置地点(筏の上流部)へと移動する。
- 4 アンカー①の設置地点へ投下する。
- 5 発電機を固定した筏をクレーンで堤防横の海上へ降ろす。
- 6 待機していた作業船で設置地点まで曳航して移動する。
- 7 筏の曳航については、口之津港発の7時15分の島鉄フェリーの航行に支障がないように、フェリーが野積場前を通過した後に移動する。
- 8 先に設置したアンカー①のロープで筏とアンカー①を固定する。
- 9 アンカー②も3と同様の作業を行って投下地点まで移動する。
- 10 アンカー②の設置後、ロープを警戒船へ渡して筏とアンカー②を固定する。

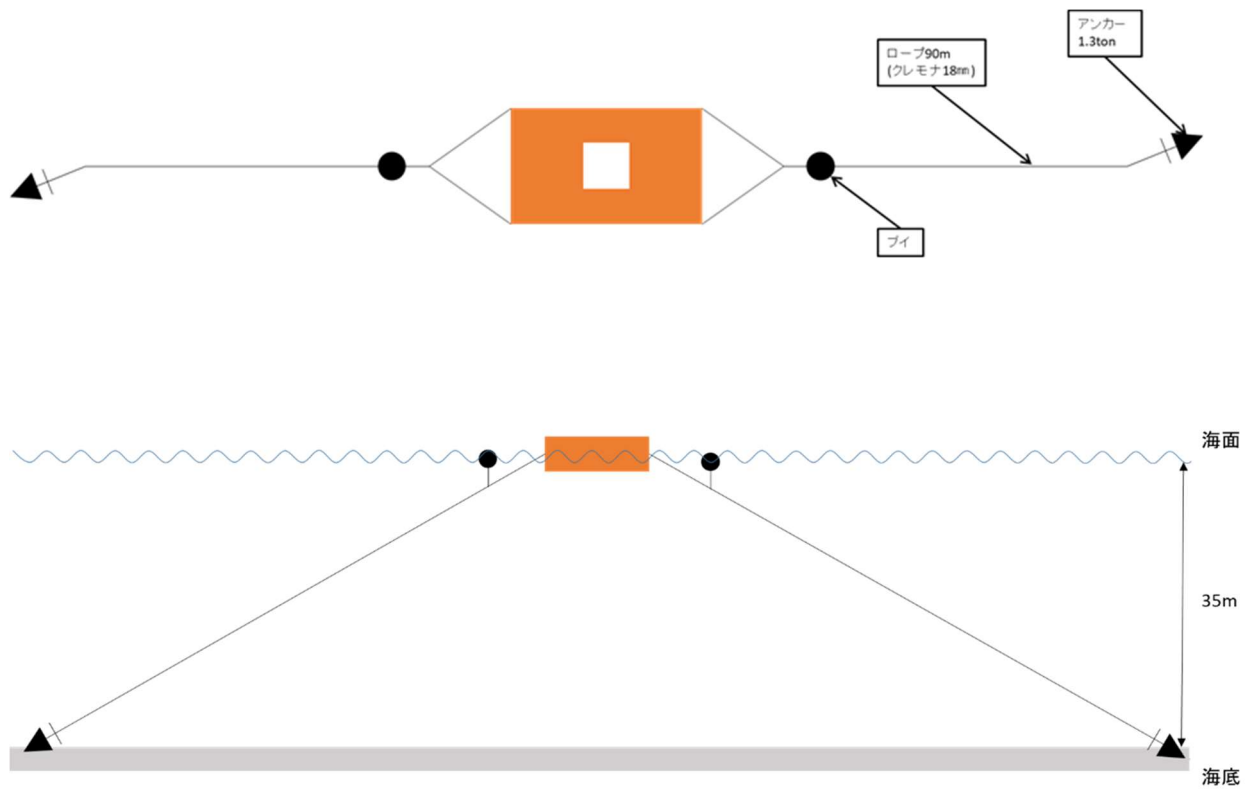


図 23 浮体モデルの係留

3.5 実験条件

対象の海域は $0 \sim 1.7\text{m/s}$ の海域であり, 初期取り付け角度 γ_0 の範囲は $(-14^\circ \leq \gamma_0 \leq 10^\circ)$ で $-14^\circ, -10^\circ, -7^\circ, 0^\circ$ とした。

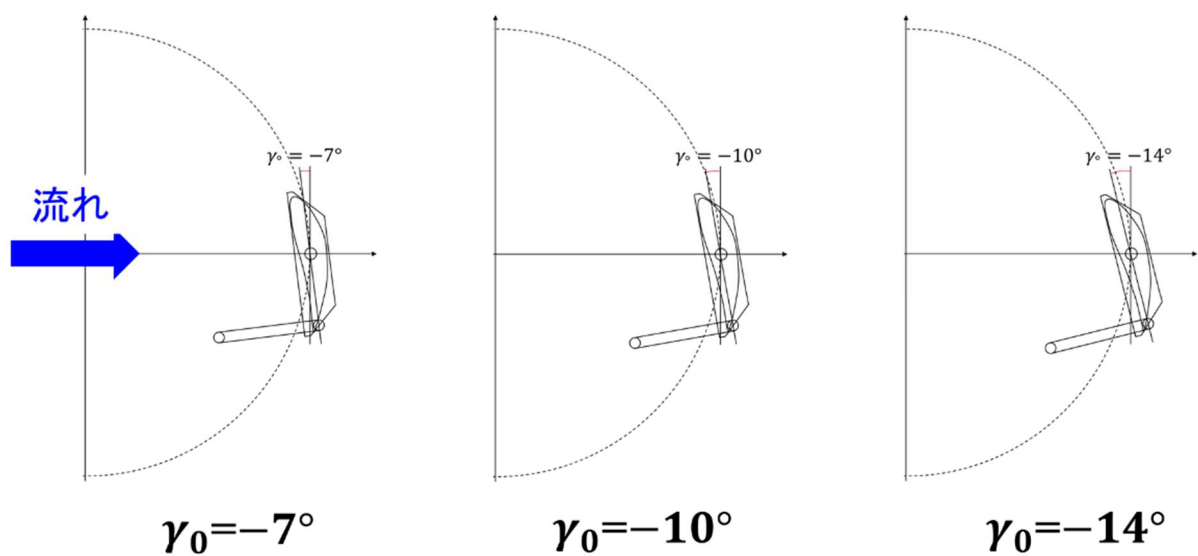


図 24 初期取り付け角度 ($-14^\circ, -10^\circ, -7^\circ, 0^\circ$)

3.6 計測項目

本実験では、浮体式垂直軸型可変ピッチ翼水車の性能を把握するために無負荷試験を実施した。無負荷試験は抵抗器を取り付けないため電流の値は0 [A]である。よって電圧、流速計を計測した。加えて水車の回転数を目視によって計測した。回転数の計測の際にはあらかじめ回転する部分にテープで印をつけて計測しやすくし、撮影をしながら計測することで数えなおせるようにした。

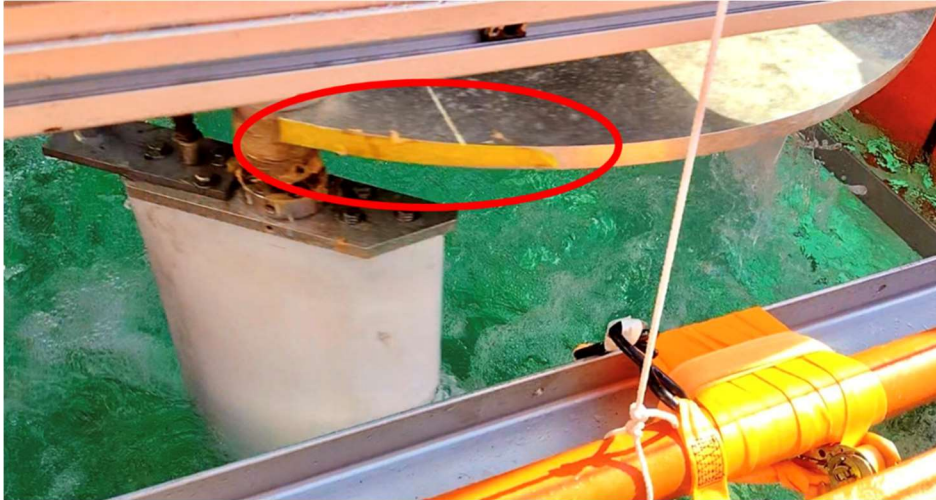


図 25 回転数計測の目印

3.7 計測機器

使用した計測機器は電圧電流計、流速計である。流速計はもっとも流速が速くなる下げ潮に正対する位置に設置した。それぞれを図 26~図 33 に示す。

<電圧電流計>



図 26 回転数計測の目印

<流速計>

品名：カラー潮流計 CI-88

メーカー：古野電機株式会社

計測方法：超音波ビーム



図27 流速計表示部

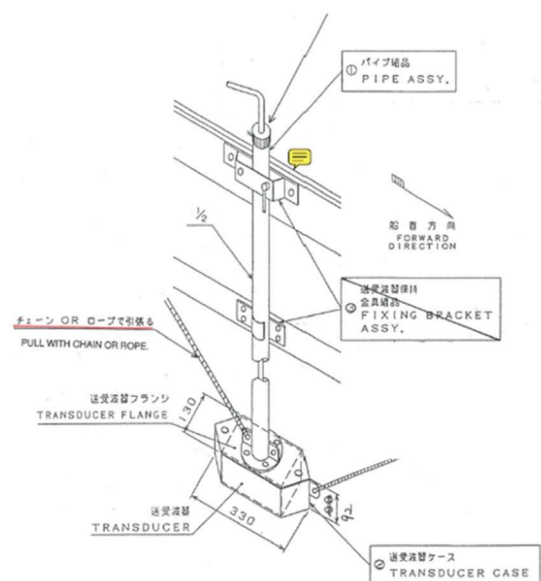


図28 流速計(送受波器)



図 29 流速計(送受波器)設置位置

<発電機>

株式会社スカイ電子のインターコアレス発電機 SKY-MG450

名称：インターローターコアレス発電機

形式：AC 3相 ブラシレス(3kW)

極数：48 極 永久磁石

外形：φ 454

重量：52kg

定格電流：272A

瞬間最大電流：17A

耐電圧：AC1500V

発電機設定：水車から増速機なしで直結かつ発電なし

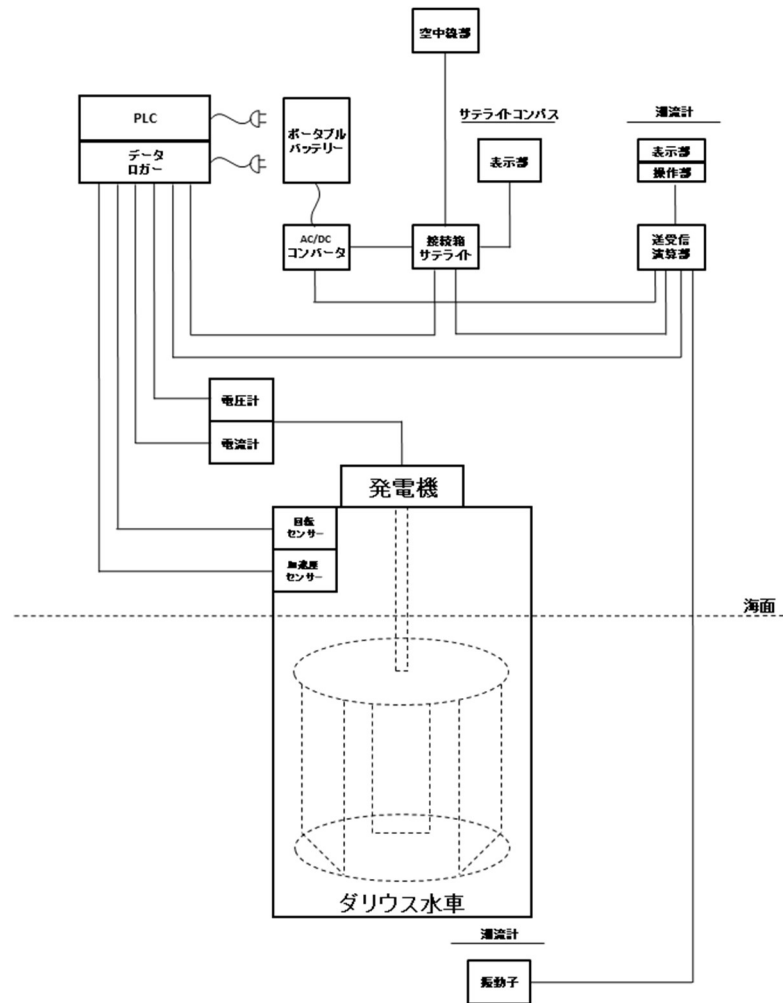


図 33 系統図

3.8 計測機器の校正値

本実験で使用した校正値それぞれ以下に示す。

1) 電圧計

電圧計の校正値を V_a と定義する。

$$V_a = 10 \left[\frac{V}{V} \right] \quad (3.8.1)$$

2) 流速計

流速計の校正値を U_a と定義する。

$$U_a = 100 \left[\frac{m/s}{V} \right] \quad (3.8.2)$$

3.9 計測条件

本実験では、浮体式垂直軸型可変ピッチ翼水車の性能を把握するために無負荷試験を実施し、取り付け角度ごとの電圧、流速、回転数を計測する。

初期取り付け角度: $\gamma_0 = -14^\circ, -10^\circ, -7^\circ, 0^\circ$ ($-14^\circ \leq \gamma_0 \leq 10^\circ$)

回路抵抗: 無し

サンプリング周波数: 1Hz

3.10 解析方法

1. 水車回転数の算出

回転数は2通りの方法で求めた。目視による算出と発電機の仕様書に記載されている無負荷電圧曲線を用いて、計測した無負荷時の電圧から回転数を換算した。

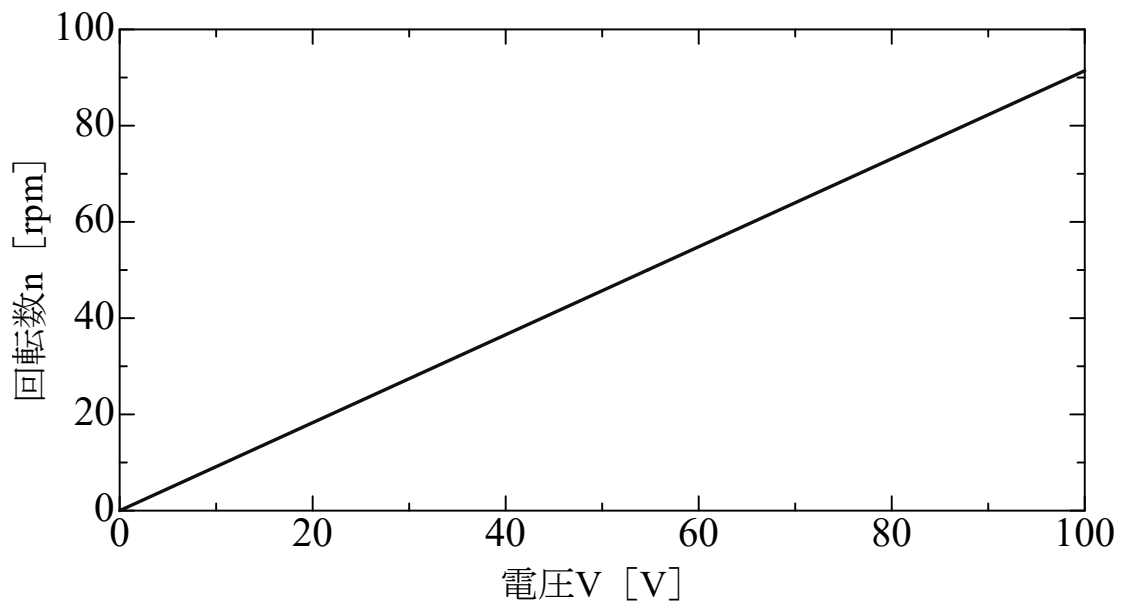


図 34 無負荷電圧曲線

2. 回転数から発電時の電圧 (V) と電流 (A) 発電機効率 (Cg) を推定

発電機抵抗値を 20Ω と仮定し、出力電圧特性、出力電流特性、効率特性のグラフ(100rpm 以下は回帰曲線により外挿)から電圧 $V[V]$ 、電流 $A[A]$ 、発電機効率 C_g を換算した。実際に発電する場合、負荷が大きいと回転しなくなる可能性がある。しかし平成 18 年の曳航試験では同型の水車に発電機抵抗値 $10 \sim 5 \Omega$ まで負荷をかけても回転数が大きく変化せず水車のトルクが余剰状態であったため、今回の水車においても 20Ω 負荷程度では問題なくタービンが回転すると考えられる。

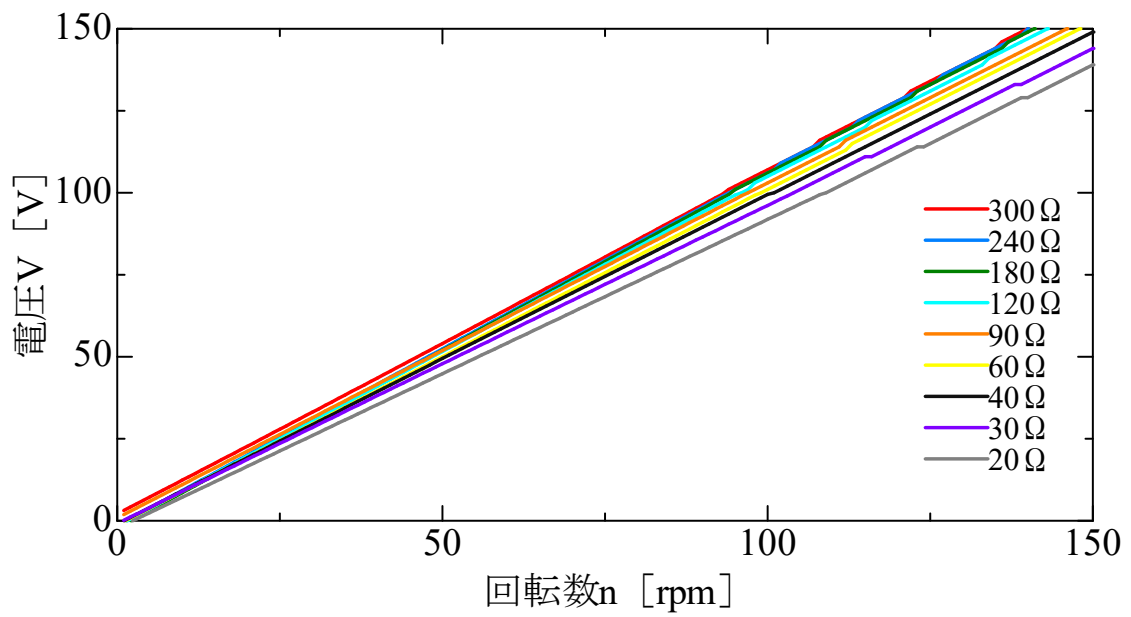


図 35 出力電圧特性

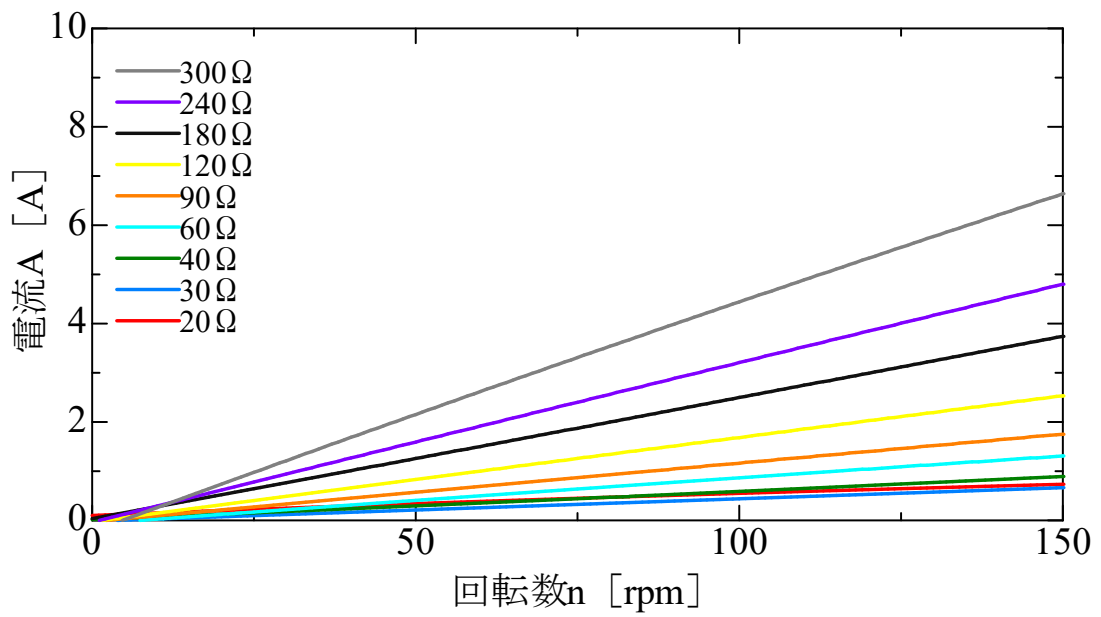


図 36 出力電流特性

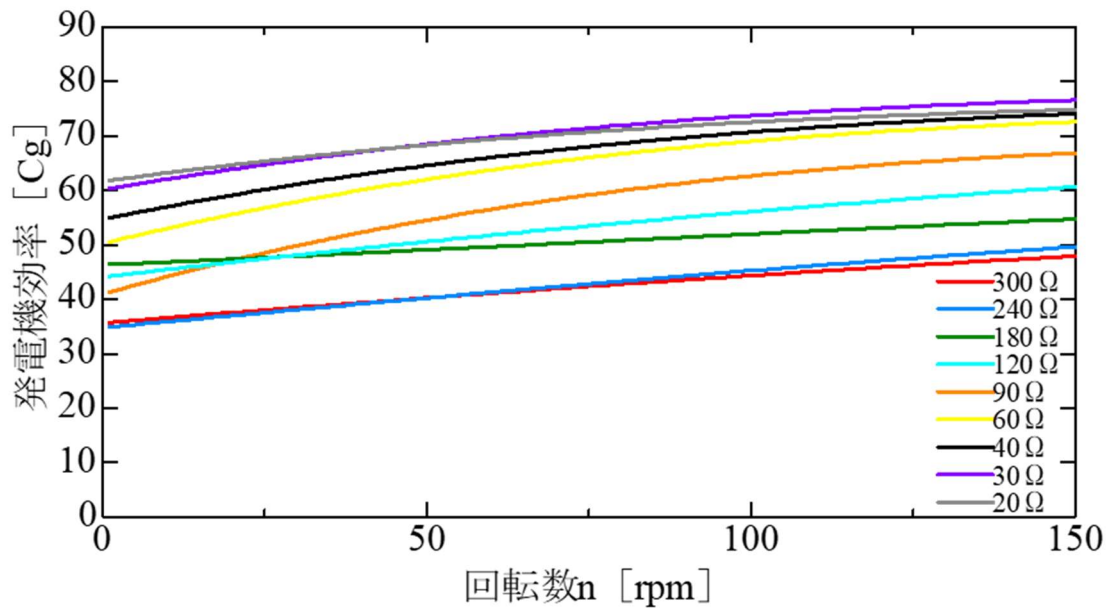


図 37 発電機効率特性

3. 各パラメーターの算出

以下の式に用いて発電機出力 W [W], 水車の周速比 λ , トルク Q [$N \cdot m$], 水車のパワー係数 C_p を算出した。

1) 周速比 λ

周速比は翼の先端周速と水車に対する流入速度の比で定義され、流れ中の回転速度を評価する値であり、周速比が高いほど駆動性能が良いと言える。式により角速度を求め、式により周速比を求める。角速度は、ある点を回る回転運動の速度を単位時間に進む角度によって表わした物理量である。なお、グラフによって求めた回転数 n [rpm] を 60 で除し、 N [rps] に補正している。

$$N = \frac{n}{60} \quad (3.10.1)$$

$$\omega = 2N\pi \quad (3.10.2)$$

$$\lambda = \frac{2N\pi l}{U} = \frac{\omega l}{U} \quad (3.10.3)$$

2) 発電機出力 W

発電機出力は発電機から得られる電流 A [A], 電圧 V [V], から発電機出力を式で算出する。

$$W = A \cdot V \quad (3.10.4)$$

3) 水車軸パワー ωQ

出力 W [W]と発電機効率 C_g から水車軸パワーを $\omega Q = W \cdot C_g$ (1.5)式により算出する。
理論的には(3.8)式 of 出力 W の値と同じである。

$$\omega Q = W \cdot C_g \quad (3.10.5)$$

4) トルク Q

水車軸パワー ωQ [W] と回転数 n [rpm] からトルク Q [N・m] を式により算出する。

$$Q = \omega Q / 2N\pi \quad (3.10.6)$$

5) 水車パワー係数 C_p

水車の発電性能は水車パワー係数で評価できる。水車軸パワー ωQ を用いて水車パワー係数を求める。水車から得られる動力について、面積 S [m²]を通過する流体が単位時間あたりの生み出すエネルギーを考える。質量 m [kg], 速度 u [m/s]の物体が持つ運動エネルギーは式で定義される。

$$E = \frac{1}{2} m u^2 \quad (3.10.7)$$

流体の質量は、単位時間あたりに面積 S [m²]を通過する流体の質量であるので、質量流量として式で表わされ、単位時間当たりの流体の運動エネルギーは式で定義される。

$$m = \rho S u \quad (3.10.8)$$

$$E = \frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} \rho S u^3 \quad (3.10.9)$$

潮流発電装置は、流体のエネルギーのうち、どれだけ利用できるかという装置であるため、その変換効率は水車パワー係数 C_p として式で求めることができる。投影面積 A は水車直径 D とブレード長さ l_b (ブレードの喫水) の積によって式で求める。

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho Au^3} = \frac{\omega Q}{\frac{1}{2}\rho Au^3} \quad (3.10.10)$$

$$A = D \times l_b \quad (3.10.11)$$

これは水車の動力から発電機によって電気変換したパワーを示しており、水車主軸に与える力を大きくし、回転数が上がれば水車から取り出さる発電機出力は大きくなる。一般的な水車は、抗力になりうる面積や変枚数を波らし、回転数（周速）を上げることで発電効率を高めようとしている。

第4章 実海域実験結果および考察

4.1 実験結果

本実験は、11月25日に係留し12月16日まで海域に設置した。しかし計測機器の設置準備や調整を行ったため、計測は12月11日から12月16日に行った。

4.2 回転数

無負荷電圧特性のグラフから求めた回転数と目視による回転数を比較したものを表2に示す。無負荷電圧特性のグラフから換算した回転数が、目視による回転数と比べると値が下振れている。計測した電圧がレンジオーバーで電圧計測の不良箇所が多かった。そのためレンジオーバーした箇所が正しい値を計測できず下振れたと考えられる。よって計測した電圧が、電圧や電流、発電機効率を求める際には目視による回転数の値を使用した。

表2 回転数

| 取り付け角度 γ_0 (degree) | グラフによる回転数 n (rpm) | 目視による回転数 n (rpm) |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 0 | 12.8 | 23 |
| -7 | 13.0 | 26 |
| -10 | 11.3 | 27 |
| -14 | 15.0 | 23 |

取り付け角度ごとの計測時の流速の平均値を表3に示す。今回の実験では浮体に搭乗しているときのみ計測を行っており、計測作業が行える比較的落ち着いた流況で計測したため、どの角度においても流速は1.0m/s前後と比較的低流速となったが、計測外では大潮があったため高流速時もあった。また少なくとも流速0.8m/sで水車の起動することを確認できた。

表3 計測時の流速

| 取り付け角度 γ_0 (degree) | 流速 (m/s) |
|-------------------------------|-------------|
| 0 | 1.1 |
| -7 | 1.0 |
| -10 | 0.9 |
| -14 | 0.9 |

4.3 各パラメーター

取り付け角度毎の各パラメーターを表4に示す。

表4 各パラメーター(20Ω)

| 取り付け角 γ_0 (degree) | 回転 n(rpm) | 出力 W(W) | 発電機効 率 C_g (%) | 水車軸パワー ωQ (W) | 水車効率 C_p (%) | 周速比 λ | トルク Q(N・m) |
|-------------------------------|--------------|------------|---------------------|--------------------------|-------------------|------------------|---------------|
| 0 | 23.0 | 17.0 | 65.1 | 26.1 | 4.8 | 1.1 | 10.9 |
| -7 | 26.0 | 22.6 | 65.5 | 34.6 | 7.5 | 1.4 | 12.7 |
| -10 | 27.0 | 24.7 | 65.6 | 37.6 | 10.8 | 1.6 | 13.3 |
| -14 | 23.0 | 17.0 | 65.1 | 26.1 | 8.1 | 1.4 | 10.9 |

取り付け角度 $\gamma_0=0^\circ$ の可変機構を利用していないものと比べると、可変機構を利用した取り付け角度 $\gamma_0=-7^\circ$, -10° , -14° 設定の時の水車効率のほうが水車効率の値が大きく、実海域の係留状態においても可変ピッチ機構が有効であると考えられる。本実験では特に取り付け角度 $\gamma_0=-10^\circ$ 設定で水車性能が高く出力 $W=24.7W$, 水車効率 $C_p=10.8\%$ を示した。このことから角度のつく度合いによって水車性能が大きく変わり、流況に合わせて適切な角度設定にすることが重要であるといえる。

4.4 従来の可変機構との比較

従来は流速 1.0m/s の時に最も効率のよいピッチ可変幅が $\pm 25^\circ$ であったのに対して、本実験の水車は流速 1.0 m/s 程度で最も効率のよいピッチ可変幅が $\pm 10^\circ$ と角度が浅い。可変機構は取り付け角度を深くすることで得られるトルクを大きくしているため、浅い角度で高効率になることが出来る今回の水車は、軽量化されたブレード (FRP) と新規の可変機構により新潟モデルよりも機械的パワー損失は低下したと考えられる。また今回推定されたトルクが従来のトルクより大きく、これは簡素化により失われるトルクが少ないからと考えられる。加えて回転数から試算される発電機出力と水車出力は周速比 1.5 程度で新潟モデルから 50% 程度水車性能が向上している。

第5章 今後の課題

5.1 増幅ギアの設置

実際の水車の回転数よりもやや高い回転数になると予想していたため、設置によるパワー損失の増加を考慮してギアを設けなかった。そこで今回の水車がおよそ 25rpm であり、ギアによって 2 倍の 50rpm, 3 倍の 75rpm にした場合の出力を推定すると、出力電力特性から出力は 2 倍で 76W, 3 倍で 176W(ギアによるロスを 20%と仮定)と大きく出力が増加する。今回の水車はトルクが余剰状態であり、ギアの設置による回転数の減少は少ないと考えられるため、さらに出力を増加させることは十分可能である。

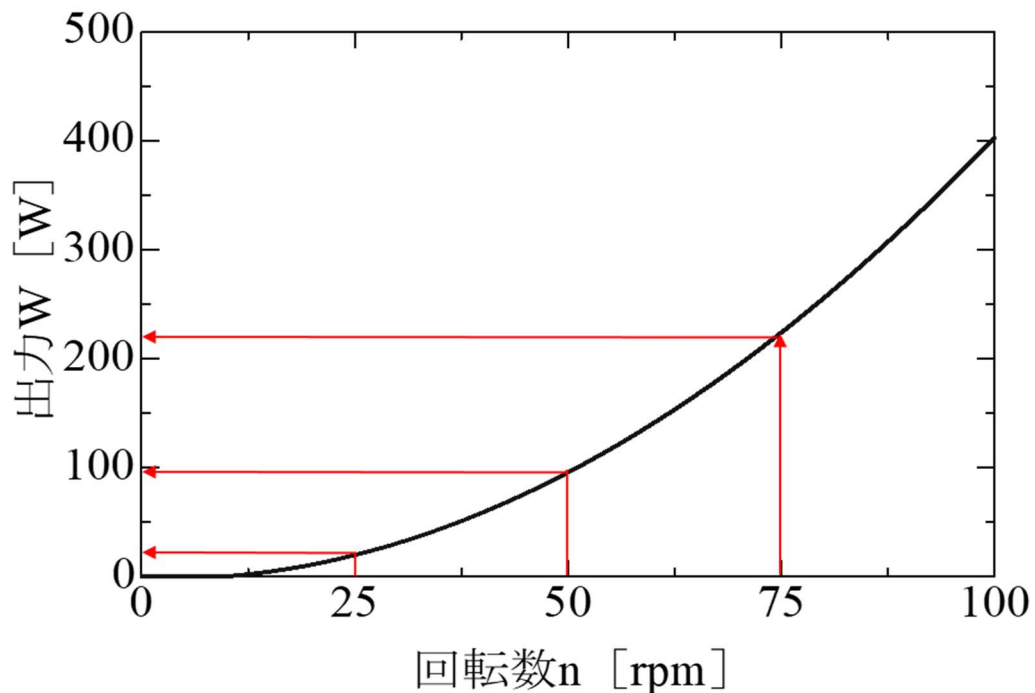


図 38 出力電力特性

5.2 発電機抵抗値の設定

負荷抵抗値が低いほどトルクは増加する一方で、抵抗をかけすぎると回転数が減少してしまう。しかしながら前述のとおり、今回の水車はトルクが余剰状態であり、抵抗の増加による回転数の減少は少ないと考えられるため、さらに出力を増加させることは可能であり、実際に居駒らの可変ピッチ水車においても、10~5Ωまで負荷抵抗値が低くしたが回転数の減少は少なかった。

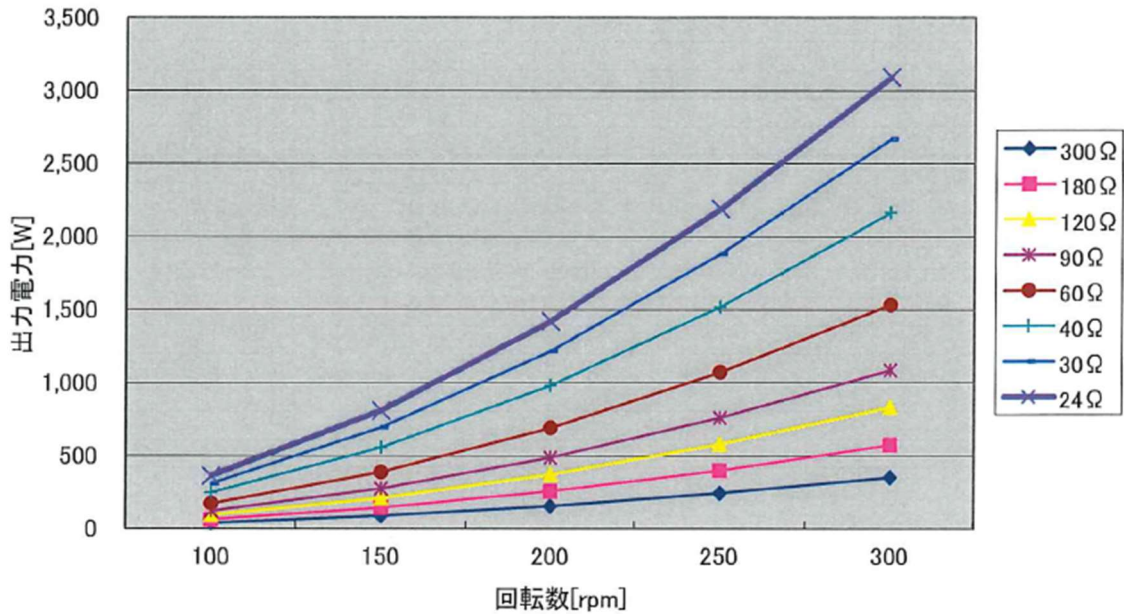


図 39 出力電力特性

5.3 流向の設定

また可変プレートのピッチ角度変化を比較すると取り付け角度が最小値と最大値になるときの回転角 θ が異なる。従来の変換機構は上流(回転角 θ が 180° 側)から下流(回転角 θ が 0° 側)に流れるときの理想ピッチ角であるため、今回のピッチ角度変化の場合は約 30° のずれがあるため、流れが 30° 斜めから流入した場合に最も水車性能が良くなると考えられる。

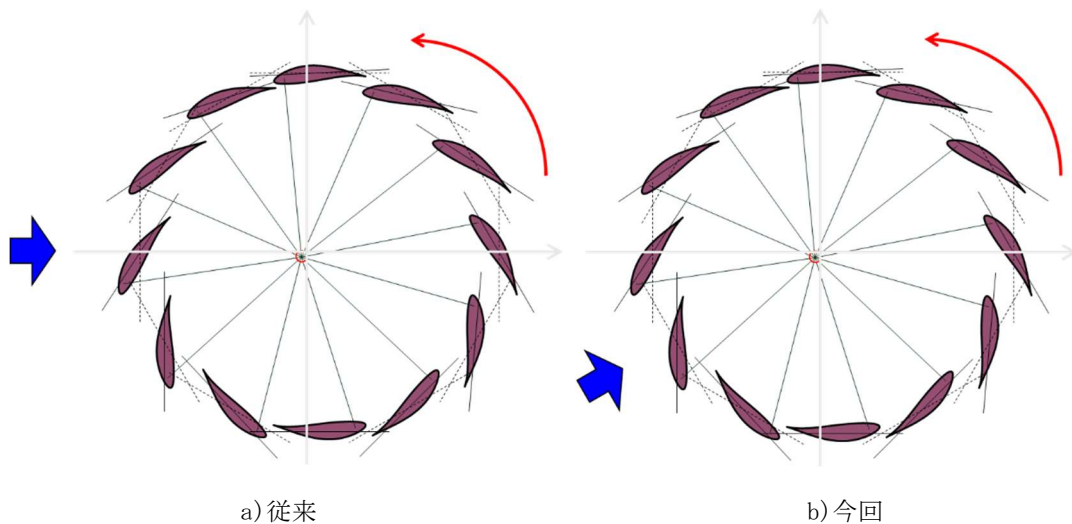


図 40 最適な流入方向の違い

5.4 可変幅の最適化

最小値と最大値の可変幅がおおよそ同じなのに対して、図の今回の水車の取り付け角度 γ_0 は可変幅にずれがある。よって今回の仕組みは理想ピッチ角から離れたピッチ角変化になるため、従来のものと比べるとトルクを得にくい可能性がある。また取り付け角度が最大値と最小値になるときの回転角が異なる。理想ピッチ角に近いピッチ角変化に設定可能になるだけでなく、深い角度をつけられれば、より低流速で起動し設備利用率の上昇を狙える。

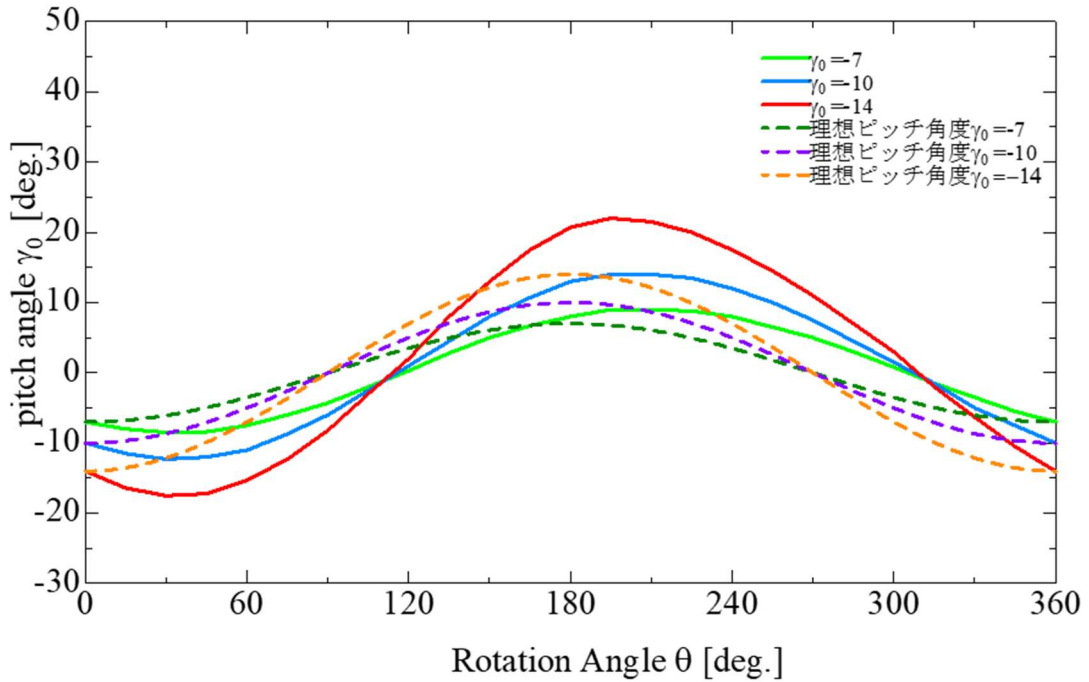


図41 取り付け角度 γ_0 ($\theta = 0^\circ$ のとき) による1回転中 n のピッチ角度変化の違い

第 6 章 結論

6.1 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1 実海域での係留浮体で、可変ピッチ垂直軸水車の潮流中での稼働を確認した。
- 2 実際の潮流を使用した場合においても可変機構を取り入れたことで水車性能の向上を確認した。
- 3 水車本体の重量低減や可変機構の変更により水車性能を 50%程度向上できたといえる結果を得た
- 4 水車トルクには余裕があることが推察されるため、増幅ギアや発電機抵抗を高負荷にすること発電機出力のさらなる増加が見込める。
- 5 より低流速域から高流速域での稼働と、稼働時間の延長による設備利用率向上が期待でき、今後のさらなる改良と開発の継続によって、装置としての実用化が見込める。

参考文献

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) 経塚雄策, 尾川協一郎, 若濱久敬: 潮流発電用ダリウス形水車の流体力特性について, 日本船舶海洋工学会論文集, 第4号, pp. 39-45, 2006.
- 3) Tomoki Ikoma, Shintaro Fujio, Koichi Masuda, Chang-Kyu Rheem, Hisaaki Maeda
IMPROVEMENT OF TORQUE PERFORMANCE OF A VERTICAL AXIS TYPE MARINE
TURBINE FOR A WATER CURRENT GENERATION SYSTEM, Proceedings of the ASME
2010 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2010,
OMAE2010-20474, 2010
- 4) 居駒知樹, 惠藤浩朗, 増田光一, 小口篤大: 垂直軸型可変ピッチ水車性能への流速変動の影響について, 日本船舶海洋工学講演会論文集, 第24号, pp.749-752, 2017

