

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05353

研究課題名（和文）スパイラル集流装置を用いた潮流発電システムの研究

研究課題名（英文）Tidal Current Power System with Spiral Flow Collector

研究代表者

木上 洋一（KINOUE, Yoichi）

佐賀大学・海洋エネルギー研究所・教授

研究者番号：50274486

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：円錐状の広がりを持つ往復流型の集流装置および往復流対応の衝動タービンから成る潮流発電システムを提案し、その有効性を回流水槽のモデル実験により示した。また旋回集流装置の導入を数値流体解析とモデル実験により進めたところ、衝動タービンと組み合わせた場合、タービン軸流速度は増すがタービン出力の向上は得られなかった。一方旋回集流装置を反動タービンと組み合わせた場合、タービン軸流速度が増すとともにタービン出力の向上を実現することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーの有効利用の一つとして、潮流エネルギーを用いた発電システムを提案しており、脱炭素社会へ向けた有意義な取り組みといえる。また提案された往復流に対応した潮流発電システムは、180度向きが変わる流れに対して、固定設置されたまま発電を行うことができるので、定期的に反転する潮流の性質に対して親和性が高いといえる。また固定設置により可動部や制御部を減らせるので、簡素化と高耐久化により初期費用と保守費用の低減化が期待される特徴を有している点も意義深い。

研究成果の概要（英文）：A tidal current power system consisting of a bidirectional flow collector with conical geometry and a bidirectional impulse turbine is proposed, and its effectiveness is demonstrated by a model experiment in a circulating water tank. In addition, the swirling flow collection device named spiral flow collector is introduced and the flow around it is investigated by computational fluid dynamics and model experiments. As a result, the turbine axial flow velocity increases but the turbine output does not improve for the impulse turbine. On the other hand, when the spiral flow collector is combined with the reaction turbine, both the turbine axial flow velocity and the turbine output increase.

研究分野：流体工学

キーワード：再生可能エネルギー 潮流発電 衝動タービン 反動タービン 旋回集流装置

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

海洋エネルギーとしては、波浪、潮汐、海流・潮流、海洋温度差、洋上風力、塩分濃度差の持つエネルギーなどがある。これらのエネルギーは膨大なため、海洋はエネルギーの一大供給地との認識が高まりつつある。これらの海洋エネルギーのうち、潮流エネルギーは、潮流の変動が月と太陽の引力に伴い規則正しく起こるので長期にわたって予測可能であり、信頼性の高いエネルギー源とみなされている。潮流発電システムには多くの研究開発例があるが、基本的構造にはタービンロータによる発電方式が採用されている。またタービンロータには軸流型とクロスフロー型があるが、軸流型が多く用いられている。

また潮流発電システムを設置方式で分類した場合、主に海底等への固定方式と係留・浮体方式に分けることができる。中・小型の係留・浮体方式に適した潮流発電システムとして、反転する二重軸流タービンロータ方式が提案されている。一方大型の潮流発電システムには、軸流タービンロータを海底設置する方式が多く採用されている。

軸流タービンロータによるエネルギー変換の基本的な考え方は、風力タービンと同様であるが、流体が海水なのでキャビテーション限界に配慮した考察が潮流タービンには必要である。潮流タービンでは、風力タービンとは異なり、キャビテーション限界のためにタービン直径をあまり大きくとることはできず、発電総出力を大きくしたい場合には、現在はたくさんのタービンロータを配列させている。また潮流の向きの変転に応じて、軸流タービンロータの向きを反転させるまたは翼ピッチを変更させる方式が一般的である。

2. 研究の目的

波力発電に関しては、空気室と往復流対応タービンを組み合わせたシステムがこれまでに多数提案されている。この往復流対応タービンを潮流発電に用いることも一策であると考えられ、1日に4回流れが反転する潮流に対して、タービンの向きの変転が不要であり、固定設置により高耐久性が期待できることがメリットである。そのため本研究ではタービンロータとして、往復流に対応しており幅広い作動条件で比較的高効率な衝動タービンロータを採用する。

さらに、潮流エネルギーの大きさは潮流速度の3乗に比例するので、エネルギー密度を高めるためには集流が効果的である。軸流型の潮流タービンロータにディフューザを設置する方式が他にも提案されているが、本研究では往復流に対応する集流装置（コレクタ）を検討する。

本研究では、波力発電用の往復流型衝動タービンを潮流タービンへ適用することの有効性を検討することが第一の目的である。また往復流型の集流装置（コレクタ）を採用し、衝動タービンと集流装置で構成される潮流発電システムを提案することが第二の目的である。さらに第三の目的は、衝動タービンの案内羽根を集流装置部に移動させ、案内羽根付き集流装置（本研究では巡回集流装置と呼ぶ）についての検討することである。

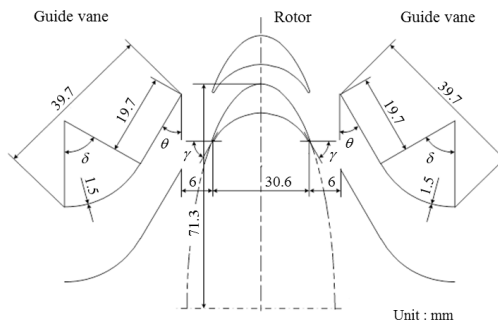
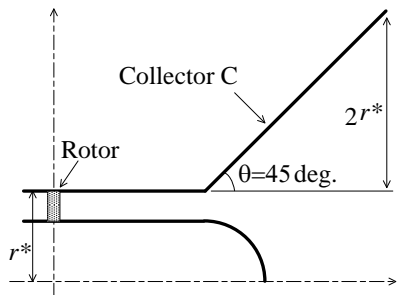
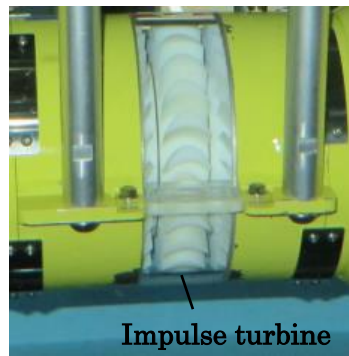


図1 集流装置付きタービンの概略図

図2 往復流型衝動タービン

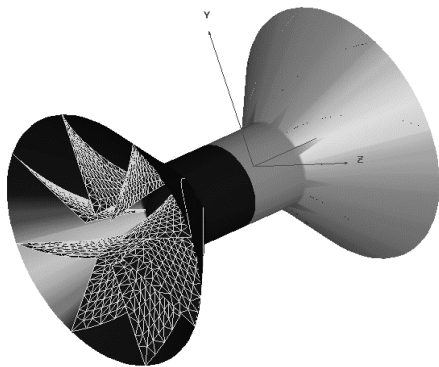


図3 旋回集流装置の概観図

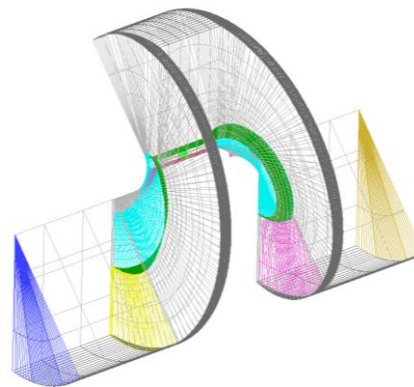


図4 案内羽根間の数値流体解析の領域

3. 研究の方法

(1) 実験による方法

海洋エネルギー研究所で行われた回流水槽実験での装置を図1に示す。潮流タービン試験装置は、全長約 2.5m、幅 1.0m、水深 0.7m の回流水槽内観測部に設置し、上流側の流速を一定に保ち、タービン（ケーシング直径 $D = 170\text{mm}$ ）の回転速度を $15\text{rpm} \sim 80\text{rpm}$ の範囲で段階的に変更して実験を行った。回流水槽は 2 インペラ方式垂直循環型回流水槽で、表面流加速装置、気泡除去装置および制波板を有している。ただし実験では、潮流タービン装置入口の軸流速度を別途用意したピトー管を用い、ロータ回転中心面から 1m 上流側、水底から 0.35m 上の位置で計測し、0.7 m/s 程度の主流速度で実験を行った。

また実験では、タービン前後の壁面静圧差、タービンに加わる軸方向の力、出力トルクおよびタービン角速度を測定した。タービン案内羽根入口の軸流速度は、ロータ回転中心面から 95mm 上流側のスパン中央で測定し、タービン前後の壁面静圧はロータ回転中心面から 60mm 上流側および 60mm 下流側で計測した。

旋回集流装置の実験装置については軸流速度を計測するピトー管の位置を、上流の旋回流れを避けて下流側に変更した。またタービン下流側の旋回流れを除くために、ピトー管前方にハニカム構造の整流板を用いた。

衝動タービンには、図2に示す翼列形状のタービンを採用した。供試ロータは、翼先端直径 169.4mm、翼先端隙間 0.3mm、入口（出口）角 50deg 、翼枚数 24 枚である。また、ロータ前後には設定角 37.5deg 、厚さ 1.5mm、羽根枚数 26 枚の固定案内羽根を配置してある。ハブ比については、0.6 の実験を行った。

潮流発電装置のコレクタには、円錐形状で開き角 45deg のコレクタ C（図1）を主に用いて性能試験を行った。

(2) 数値解析による方法

本潮流発電システムの性能改善を図るために、案内羽根を集流装置に設置した、旋回集流装置について検討する。またコレクタ C の場合で検討を進める。固定案内羽根付き衝動タービンでは、特に下流側案内羽根部ではく離による圧力損失が大きいため、旋回集流装置によりはく離流れを避けることで性能改善を試みる。旋回集流装置の概観図を図3に示し、上流側では半径内向きに旋回流が生じる。数値解析では集流装置の内部と外部の流れを取り扱い、簡便化のためにタービン部は圧力損失係数を持つ多孔壁と模擬して取り扱う。

図4は計算領域の概観を示している。羽根枚数は 8 枚であるが、1 ピッチ分の計算とした。定常・3次元の NS 数値解析を FLUENT(ANSYS17)を用いて実施した。FLUENT による NS 数値解析の対流項には風上 2 次精度のスキームを用い、他の項も 2 次精度とした。乱流モデルには RNG $k-\epsilon$ 乱流モデルを用いた。空間の離散には非構造の 4 面体セルを用い、ICEMCFD(ANSYS17)でセル生成を行った。

壁面には滑りなし条件を、周期面には周期境界条件を与えた。ただし、多孔壁下流のストレート部の周期面には、回転速度を抑制するため、壁面条件を与えた。流入境界条件には軸流速度の実験値を、流出境界条件には大気圧を与えた。一方初期条件には、ラプラス方程式を用いて境界条件を滑らかに補間した値を用いた。

4. 研究成果

(1) 往復流型の衝動タービンを海域に固定設置させることにより、潮流から発電を行うことが可能であることを、回流水槽を用いたモデル実験を行って示した。

(2) 円錐状の広がりを持つ往復流型の集流装置（コレクタ）を衝動タービンに設置することにより、タービン出力が大きく増加することが、回流水槽を用いたモデル実験を行って示された。またコレクタ最大面積を増加させると、上流側コレクタ背面のはく離領域が増加するものの、タービン出力は増加することも示された。

(3) 回流水槽のモデル実験におけるブロッキング比は最大 0.29 と大きいですが、大型プール曳航実験を集流装置付き衝動タービンシステムに対して行い、ブロッキング比がタービン性能に与え

る影響はわずかに留まることを実験的に示した。

(4) 衝動タービンローターのハブ比がタービン性能に与える影響を、回流水槽を用いたモデル実験により調査し、ハブ比 0.6 の場合が最も高いタービン出力を示した。

(5) 衝動タービン部の案内羽根を取り除いて、代わりに集流装置に案内羽根を設置する巡回集流装置を導入するために、数値流体解析を行った。羽根枚数や羽根ねじり角について調査を行い、羽根枚数 8 枚、羽根ねじり角 180 度を採用した。

(6) 巡回集流装置を設計製作して回流水槽におけるモデル実験を行った結果、タービン軸流速度が増加して流れの取り込みを改善することができた一方、タービン出力はやや下回って向上に至ることができなかった。

(7) 巡回集流装置のモデル実験におけるタービン出力低下の原因は、巡回集流装置出口流れと衝動タービンとのマッチングが不十分であることが主因であることが示された。

(8) 衝動タービンに代えて反動タービンを導入するために、ポテンシャル理論を用いた羽根設計を行った。さらに反動タービンローターを設計製作し、回流水槽におけるモデル実験を行って調査した。その結果、タービン軸流速度が増加して流れの取り込みが改善するとともに、タービン効率も増加して、タービン出力を大きく向上させることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sakaguchi Masaki, Kinoue Yoichi, Hirayama Koki, Murakami Tengen, Shiomi Norimasa, Imai Yasutaka, Nagata Shuichi, Takao Manabu	4. 巻 143
2. 論文標題 Bidirectional Impulse Turbine With Spiral Flow Collector for Tidal Energy Conversion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ASME Journal of Fluids Engineering	6. 最初と最後の頁 121112 ~ 121112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/1.4052176	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sakaguchi M, Hirayama K, Kinoue Y, Murakami T, Shiomi N, Imai Y, Nagata S, Takao M	4. 巻 2217
2. 論文標題 Numerical investigation on flow collector with guide vane for tidal energy conversion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012071 ~ 012071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2217/1/012071	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 坂口 優希, 木上 洋一, 平山 滉樹, 村上 天元, 塩見 憲正, 今井 康貴, 永田 修一, 高尾 学
2. 発表標題 潮流発電用の旋回集流装置の数値解析
3. 学会等名 日本機械学会第 99 期流体工学部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Sakaguchi, K. Hirayama, Y. Kinoue, T. Murakami, N. Shiomi, Y. Imai, S. Nagata and M. Takao
2. 発表標題 Numerical Investigation on Flow Collector with Guide Vane for Tidal Energy Conversion
3. 学会等名 The 16th Asian International Conference on Fluid Machinery (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂口優希, 木上洋一, 平山滉樹, 村上天元, 塩見憲正, 今井康貴, 永田修一, 高尾学
2. 発表標題 旋回集流装置と衝動ターピンを用いた潮流発電システムの研究
3. 学会等名 ターボ機械協会第84回(長崎)講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Sakaguchi, Y. Kinoue, T. Murakami, N. Shiomi, Y. Imai, S. Nagata and M. Takao
2. 発表標題 Bi-Directional Impulse Turbine with Spiral Flow Collector for Tidal Energy Conversion
3. 学会等名 18th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Kinoue, M. Sakaguchi, N. Shiomi, M. Takao, T. Murakami, Y. Imai and S. Nagata
2. 発表標題 Bi-Directional Flow Collector with Guidevane for Tidal Energy Conversion
3. 学会等名 The 2nd IAHR-Asia Symposium on Hydraulic Machinery and Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木上洋一, 坂口優希, 塩見憲正, 高尾学, 村上天元, 今井康貴, 永田修一
2. 発表標題 潮流発電用の案内羽根付き集流装置に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会第97期流体工学部門講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	永田 修一 (NAGATA Shuichi) (30404205)	佐賀大学・海洋エネルギー研究所・特任教授 (17201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------