

令和 4 年 6 月 12 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02365

研究課題名（和文）低潮流域に適用可能な浮沈式潮流発電システムの実海域実験

研究課題名（英文）Demonstration experiments of a floating/submersible shrouded tidal current power system

研究代表者

経塚 雄策（Kyojuka, Yusaku）

長崎大学・海洋未来イノベーション機構・教授

研究者番号：80177948

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、低流速の潮流中でも発電可能な浮沈式潮流発電システムを開発し、長崎県五島市の奈留瀬戸において約1か月の実証実験を行った。このシステムは、低流速潮流に対応するために大型のディフューザーを装着することによってタービン周りの流れを増速し、高効率の発電性能を実現するとともに海中の潮流発電装置をロープ係留することによって設置工事やメンテナンスのための海上工事費を大幅に抑えて“低コスト化”を図るものである。

2020年8月に行われた実海域実験において、本装置の各種発電性能パラメータや装置の深度、姿勢などに関する約1か月間のデータが得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

潮流発電の原理は風力発電と同じであり、学術的には既に確立しているが、社会的には地球温暖化対策として今日的な意義がある。特に、潮流発電は他の再生可能エネルギーが機構の影響を受けて不規則に変動するのに対して予測可能であることが大きな特徴であり、信頼性の高いクリーンエネルギー源である。本研究は、この潮流発電の実用化を目指して実施されたものであり、実海域において浮沈式潮流発電システムを約1ヶ月間にわたり運用し、各種データの取得を行った。実海域実験を通じて、水槽実験では得られない貴重な経験をしたことが大きな意義である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a floating/submersible tidal current power generation system that can generate electricity even in low-speed tidal currents, and conducted a demonstration experiments for about one month in Naru-Strait Goto City, Nagasaki Prefecture. This system was installed by a large diffuser to increase the flow around the turbine to achieve high-efficiency power generation performance in the low-speed tidal currents, and the four mooring ropes were used for the position keeping of the device in the sea. The purpose using mooring ropes was to "reduce the cost" by significantly reducing the marine works cost for the installation and maintenance.

In the demonstration experiments in the sea in August 2020, we obtained data for about one month regarding various power generation parameters, depth and attitude of the device.

研究分野：海洋工学

キーワード：潮流発電 実海域実験 浮沈式潮流発電装置 ロープ係留 ディフューザー付きタービン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化対策として脱炭素化と再生可能エネルギーの拡大が急務となっており、海洋エネルギーについては、洋上風力発電がメインであることは衆知の事実であるが、潮流発電についても“予測可能性”という特徴において大きな期待が寄せられていた。特に、スコットランドで実施中の MeyGen Project の Phase 1a においては、1.5MW の潮流発電装置 4 基が稼働率 40% 以上の実績を上げており、商業発電も可能なレベルに到達していると思われた。

一方、我国は島嶼国であり、多くの離島においては主としてディーゼル発電によって電力を確保している現状があるが、離島は当然海に囲まれており場所を選べば一定以上の流速の潮流が存在する場合がある。そこではメガワット級の潮流発電は難しいが、離島のニーズに合わせた規模の潮流発電は可能であると考えられた。

2. 研究の目的

上記の背景のもと、研究代表者らは低流速潮流中でも使用可能な潮流発電装置の開発を目指して、大型ディフューザー付きの潮流発電装置と低コストを実現するためにロープ係留方式を用いる浮沈式潮流発電システムを提案した。大型ディフューザーを導入する理由は 2 つあり、低流速潮流中で発電可能となるように大型ディフューザーによる増速効果と浮沈式システムとするために肉厚ディフューザーとして浮力を確保するためである。ディフューザー付きタービンの最適設計法については、研究開始前に確立しており、模型実験も行って所要の性能を確認済みであったが、これらの技術の実用化のためには実海域において実証することが必要であると思われた。そこで、本研究では、浮沈式潮流発電システムの有効性を確認するために、実海域において約 1 か月間の実証実験を行い、各種データを取得することを目的とした。

3. 研究の方法

図 1 は、最適設計されたディフューザー付き潮流発電装置であり、これを基にして表 1 のような主要目の実海域実験用の装置を製作した。

実海域実験の場所としては、五島市の奈留瀬戸を選択した。その理由は、奈留瀬戸が 2014 年に内閣府海洋総合政策本部によって潮流発電の実証サイトとして認定された強潮流の場所であるためである。具体的な実験場所としては奈留島の篝火崎灯台から約 85m の水深約 12m の地点である。現地の潮流特性を考慮して、実海域におけるアンカーを図 2 のように配置した。すなわち、上潮時の平均流向は北西方向 312° であり、下潮時は南方向 186° であるので、2 組のアンカーをそれらの角度に合わせて配置した。

本潮流発電システムは浮沈式で、憩流時には水面に浮上する計画であったが、地元の漁協からの要請で憩流時にも水面下 3m 以下に留めるようにした。ロープ係留については、試行錯誤の結果、最終的には図 3 のように、ロープに中間ブイを付けることに

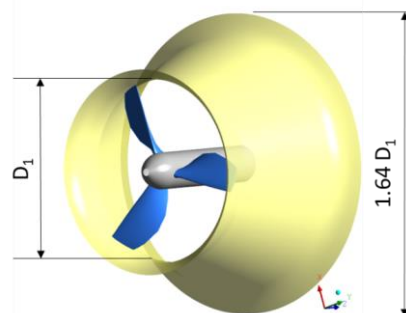


図 1 最適設計された潮流タービンシステム

表 1 潮流発電装置主要目

Length	1.9 m
Breadth	1.05 m
Weight in air	370 kg
Diameter of turbine	0.64 m
Diameter of diffuser	1.05 m
Rated power of generator	5kW
Rated rpm of generator	600 rpm



図 2 奈留瀬戸におけるアンカー位置

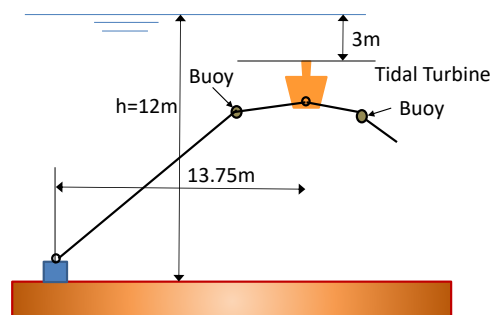


図 3 ロープ係留計画

なった。

本実海域実験では、図4に示すように流速、波浪、発電量、浮体深度、方位角、トリム角、ヒール角および水温・ナセル内気温などを計測した。これらのうち実時間でモニターするのは発電量のみで、その他についてはナセル内に小型データロガーを置いて記録し、実験終了後に回収した。発電量については、WiFiを用いて遠隔地からモニターした。

4. 研究成果

実海域実験を開始したのは2019年3月からであるが、当初は浮力材がトラブルの元であった。潜水士による設置工事作業においては装置を一旦海底(約12m)まで沈める必要があるが、ディフューザーで用いたウレタンフォームが圧縮強度不足だったり、設置後に発泡スチロールが水圧によって数日で縮小し浮力不足になったりした。幸い、ウレタンフォームには圧縮強度の大きなものがあるのでそれに変えて問題を解決した。

今回の実験を通じて問題となっているのは、潮流中でナセルのピッチ角が大きすぎるために発電効率が悪いということである。このことは、装置の製作中からある程度予想されていたが、装置前部が重すぎることが根本的な問題である。装置は潮流の中で中層に留まって発電を行う必要があるが、そのためには装置自身が重量よりも大きな浮力を持つ必要がある。ナセル後部を大きくし、浮力を稼ぐとともに浮力材も付加したが、それによって重心位置と浮心位置が離れてしまい、流れの中でも頭下げの姿勢が安定してしまっただけで、これを改善するために、尾翼の新設、ディフューザーに“つば”を付ける、係留ロープに浮力を付けるなどを行ったが、結果としてはピッチ角で10度程度の頭下げ角が残った。

表2に2021年5月までに行った10回の実海域実験の期日と主なメモを示す。回を重ねるごとに改良のために形状は浮力材の有無、尾翼の新設、ディフューザー“つば”新設などで少しずつ変化していった。第5回目には台風17号が付近を通過したために陸上施設が損傷を受けて通信不能となったが、装置そのものは特に問題はなかった。第6回目の実験では、電力線が破損してそこから浸水したが、その海水がナセル本体にも入ってしまい最大の事故となった。第7回目には、最初の大潮時には予想通りの発電量だったが、次の大潮時には予想通りではなかった。装置の回収時に分かったのは、係留ロープが尾翼と絡まってしまい2回目の大潮時には正常な状態ではなかったことが分かった。この問題を解決するために、図5のようにディフューザー端部から尾翼端部に細い線を張って、係留ロープがこの部分に入らないようにした。これが功を奏して第9回目は約1か月の安定した発電が達成できた。

図6は第9回目の実験期間中の1日当たりの総発電量(Wh/day)および最高発電量(Max W)である。この期間中に2回の大潮があり、1回目よりも2回目の発電量が大きくなっていることが

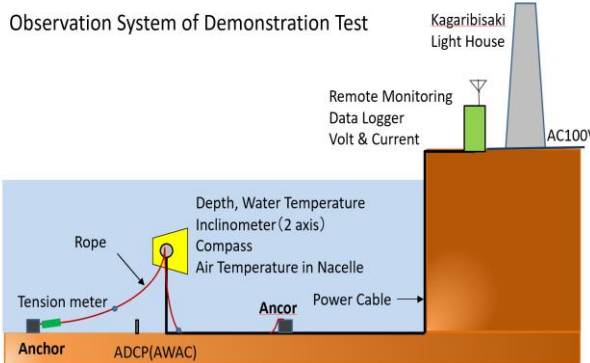


図4 実海域実験における計測装置

表2 実海域実験の記録

回	日付	メモ
1	2020/3/16	ウレタンフォームの耐圧強度不足
2	4/13 ~19	発泡スチロールの変形による浮力消失
3	5/10~19	装置ピッチ角の過大
4	6/23~7/14	最大 126W (ピッチ角過大) =>尾翼新設
5	9/14~10/6	最大 480W (台風 17 号による施設損傷)
6	11/22~12/3	電力線破損によるナセル部浸水事故
7	2020/3/2~3/28	最大 714W (2 週目以降発電量低下)
8	7/2~7/16	回転軸ベアリング錆、パワコン不調
9	7/29~8/30	最大 663W、1 か月間の安定発電成功
10	2021/4/24~5/18	最大 884W、2 回目の大潮後発電量低下



図5 9回目の実験時の装置写真

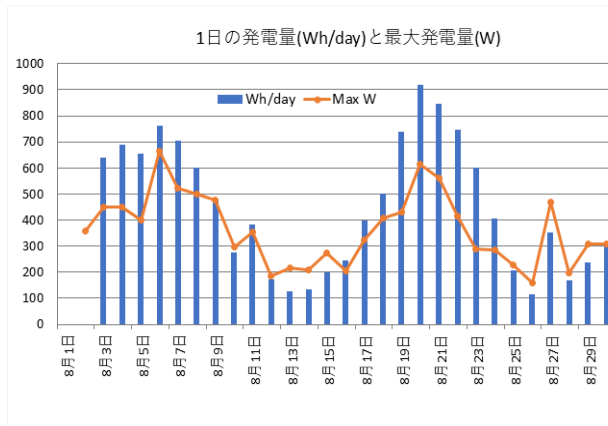


図6 1日の総発電量(Wh/day)と最大発電量 (W)

分かる。最大の発電量は8月6日の663Wであったが、日当たり発電量の最高値は8月20日の919Wh/dayであった。

図7は、8月20日の流速（推定値）、発電量、潮位とナセルの没水深度、ナセルのピッチ角とロール角の変化を示したものである。流速は設置した超音波式多層流速計(AWAC)が不調だったため、2019年5月～7月までの同じポイントの観測値から推定したものである。この地点の潮流の特徴は上潮（8時と20時頃）は下潮（1時と13時頃）に比較して弱い。その下の図は、発電量の記録であるが、上記の潮流の特徴を反映して下潮時の発電量が多い。発電データのサンプリングは1ヘルツで行ったが、データが激しく変動していることが分かる。この変動の原因が全て潮流の乱れによるものかどうかは現時点では不明であるが、今後、乱流観測なども行って明確にしたい。この発電量と潮流データを比較すると、本装置のカットイン流速は0.5m/s程度であることが分かる。

次に、その下の図は潮位と装置の水圧（ヘッド換算）の比較であり、両者の差は装置の海底からの高さとなる。これによれば、発電量が最も大きかった13時頃の装置高さは海底から1～2mのところであり、その高さでは海底境界層により流速も小さくなっている。最後の図は、ナセルのロールとピッチの観測値である。発電量に大きく影響するのはピッチであるが、11:00～14:00頃のピッチは -12° 程度であり、これは頭下げとなっており、流れに完全には正対していないと言える。

以上を総括すると、2020年8月の実験においては1か月間の安定した潮流発電には成功したが、発電量については不十分であったと言える。発電量が上がらなかった理由は、装置の深度が深すぎたために流速が小さくなったこと、流れに対するピッチ角が大きすぎて完全には正対しなかったことである。今後の発電量の改善策としては、これらの2点を解決することである。

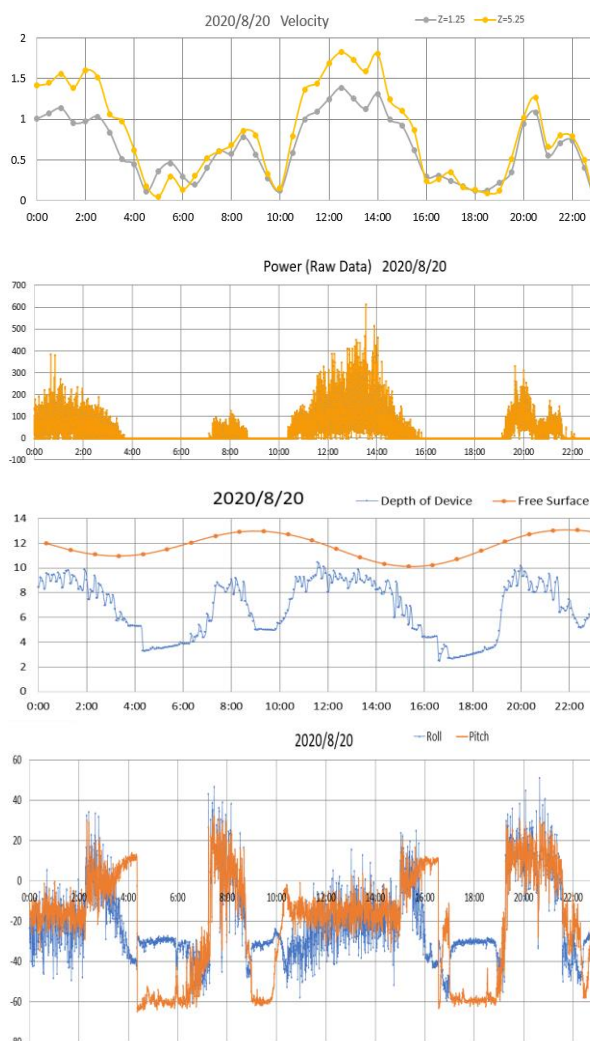


図7 2020年8月20日の流速，発電量，潮位・装置水圧，ナセルのロールとピッチの観測値

<引用文献>

- ① 経塚雄策，坂口大作，永瀧拓己，黒川洗，末吉誠，烏谷隆，野田穰士朗，胡長洪：浮沈式潮流発電システムの実海域実験（速報），日本船舶海洋工学会講演会論文集，第26号，81-85，2019.
- ② Daisaku Sakaguchi, Yusaku Kyojuka : DESIGN OF A SHROUDED TIDAL CURRENT TURBINE BY MUTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION, Proc. of Grand Renewable Energy 2018, Yokohama Japan, June 2018.
- ③ D. Sakaguchi, M. Ishida, H. Hayami, L. Mueller, Z. Alsalihi and T. Verstraete, Multipoint Multi-objective Optimization of a Low Solidity Circular Cascade Diffuser in Centrifugal Blowers, Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition, GT2014-26013, pp.1-10, 2014.
- ④ Yusaku Kyojuka, Daisaku Sakaguchi, Makoto Sueyoshi and Changhong Hu: A floating/submersible shrouded tidal current turbine system applicable in low speed tidal flow, Proceedings of the 13th European Wave and Tidal Energy Conference, 1st – 6th September 2019, Napoli, Italy.
- ⑤ 経塚雄策，坂口大作，烏谷隆，胡長洪：浮沈式潮流発電システムの実海域実験結果、日本船舶海洋工学会講演会論文集，第32号，623-627，2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yusaku Kyojuka, Daisaku Sakaguchi
2. 発表標題 Demonstration Experiments of a Floating/Submersible Tidal Current Power System in Naru-Strait in Goto, Nagasaki
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Novel Computational and Experimental Methods for Complicated Fluid-Structure Interactions, RIAM, Kyushu University (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusaku Kyojuka, Daisaku Sakaguchi, Makoto Sueyoshi, Changhong Hu
2. 発表標題 A floating/submersible shrouded tidal current turbine system applicable in low speed tidal flow
3. 学会等名 13th European Wave and Tidal Energy Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 経塚 雄策、坂口大作、永瀧拓己、黒川洸、末吉誠、胡長洪、烏谷隆、野田穰士朗、胡長洪
2. 発表標題 浮沈式潮流発電システムの実海域実験（速報）
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和元年春季講演会
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	胡 長洪 (Hu Changhong) (20274532)	九州大学・応用力学研究所・教授 (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	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	坂口 大作 (Sakaguchi Daisaku) (70244035)	長崎大学・工学研究科・教授 (17301)	
研究分担者	末吉 誠 (Sueyoshi Makoto) (80380533)	九州大学・応用力学研究所・助教 (17102)	削除：2019年10月18日

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