

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 11 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22246107

研究課題名（和文） 離島・地域密着型海流発電装置に関する研究

研究課題名（英文） Ocean Current Turbine for islands and small communities

研究代表者

高木 健（TAKAGI KEN）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90183433

研究成果の概要（和文）：海中浮遊式海流発電は発電装置を海面下に配置できるため、水面上に配置しなければならない洋上風力発電や波力発電に較べて、発電装置を支持する構造の重量を軽くすることができコスト削減に大変有利なコンセプトである。このような海流発電装置として二重反転式と双発式の2つのコンセプトを提案し、それぞれの性能を評価するために、シミュレーション・コードを開発した。また、そのコードの精度を模型実験により検証した。このコードによる性能評価では2つのコンセプトともに成立の可能性は高く、低発電コストが期待できることが分かった。

研究成果の概要（英文）：Since the floating type current turbine can be installed beneath the sea surface, it is possible to construct it in very light weight compared with other marine energy devices installed on the sea surface such as floating wind turbines and wave power generators, and it is one of promising concepts for reducing the construction cost because of its weight. A contra-rotating turbine concept and a twin turbine concept are proposed as the floating type. In order to investigate the performance of these concepts, a simulation code has been developed, and it is validated by model experiments. It is concluded that both two concepts have possibility to be realized and produce low cost electricity.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
22年度	11,300,000	3,390,000	14,690,000
23年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
24年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	25,100,000	7,530,000	32,630,000

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：海流発電、浮遊式、低コスト、再生可能エネルギー

1. 研究開始当初の背景

海洋再生エネルギーを大規模に導入するためには発電コストを抑えることが重要であるが、海流発電は他の発電方式に比べ重量最小化の可能性が最も高い。欧州では波力や洋上風力が実用域に達しているが、これらに

乗り遅れず、黒潮など我が国の特徴を生かせる海流発電を進展させるべき時期がきている。

従来の研究でコスト削減法として分かったことは、発電に直接関係ない浮体部分を極力小さくできる形式が有利なことである。海

中浮遊式海流発電は発電装置を海面下に配置できるため、水面上に配置しなければならない洋上風力発電や波力発電に較べて、巨大台風襲来時の耐候性が格段にすぐれている。また、それ故に定格出力に対する発電装置を支持する構造の重量を軽くすることができる。

洋上風力発電や波力発電は海流発電より少し劣るとはゆえ、十分なコスト競争力を持つが、これらは既に多くの研究がなされ、欧州をリーダーとして実証プラント建造のフェーズに入っている。それよりも、低コストの可能性が高く、かつ我が国近海に豊富な資源量を持つ海流を利用するための技術を我が国の特徴ある基盤技術として確立することが急務である。

一方、我が国では海洋再生エネルギーの導入がなかなか進まないが、これは電力変動の問題と電力ケーブル敷設の問題があるからである。これに対し、申請者は両者を解決し、離島・地域における水産業の安定化に貢献するアイデアを提言している。

2. 研究の目的

この研究では世界初のメンテナンス重視型の係留式海流発電装置を研究対象とし、それが超すべき技術課題を模型実験と数値シミュレーションレベルで解決することを第1の目的とする。

具体的には①浮上式浮体・切り離し式係留による低コスト設置・メンテナンス法が可能な海流発電装置コンセプトの検討②大波高波浪中や変動海流中での安定・安全な係留と浮体の安定性確保による高信頼性の獲得③風波浪中での設置・メンテナンスの安全実施技術の確立である。

海流・潮流発電では、水平軸式以外のタービンも提案されているが、本研究では最も高効率を達成できることが分かっている水平軸式タービンの装備を前提とする。また、重量出力比の観点から最良と考えられる係留式を対象とする。さらに、電力供給を行う確かな出口として離島・地域の水産業への電力供給システムの検討を行う。

3. 研究の方法

浮遊式のコンセプトは発電に不要な支持構造を極力減らすことが狙いであり、コンセプト設計で得られた主要目によると、発電機が格納されるポッドの大きさよりタービンが大変大きい。また、スラスト力は浮体全体の排水量と同程度である。したがって、ポッドの運動はタービンに働く流体力の影響を大きく受ける。タービンの側もポッドの運動により流入速度が変化するため、両者の干渉影響が重要になる。

海中を浮遊するこのような構造物の運動

解析は例が少なくその性質は知られていない。そこで、2枚のタービンとポッドそれぞれに、6自由度の剛体の運動方程式を適用して運動方程式を定式化した。さらにランブド・マス法による係留系の計算コードを作成し、一本の係留索で係留される浮遊式海流発電装置の挙動推定コードを作成した。これを用いて、発電装置の動的挙動を調べることにした。

次に、模型試験によってシミュレーション・コードの検証を行うことにした。まず、初めに、小型2自由度強制制動揺装置を製作し、係留索単独の模型実験を行い、シミュレーション・コードの精度確認を行った。

次に、タービン・発電機の模型製作をおこなったが、発電機を内蔵する模型を製作するのは困難であったので、制動モータを内蔵し、制動トルクを発生させ、それを発電機に見立てて実験をした。この模擬装置は精密なトルクコントロールが行えないため、船舶研究の分野で一般的に行われているプロペラ・オープン・テストと同レベルの計測精度は到底望めないと予想されたため、シミュレーション・コードでタービン力の推定に用いられている翼素運動量理論による計算結果と比較検討を実施し、模型装置が出すタービン力とシミュレーションで使われている理論計算値との相関関係を確認した。

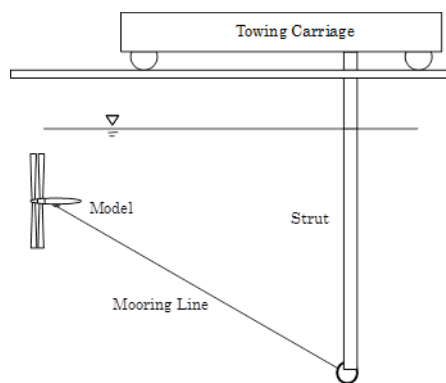


図1 曳引車による模擬係留実験

次に東京大学生産技術研究所の海洋工学水槽において、図1の如く模擬係留実験を曳引車に固定しておこなった。この実験によって得られた結果とシミュレーションによって得られた結果を比較し、シミュレーションの精度を確認した。精度の確認されたシミュレーション・コードにより、様々な条件下での海流発電装置の挙動を検討し、その成立性を検証した。

4. 研究成果

まず初めに最小構造重量の海洋エネルギー発電装置の有望な候補として2重反転タ

ービン式海流・潮流発電装置と双発タービン式海流・潮流発電装置を提案した。

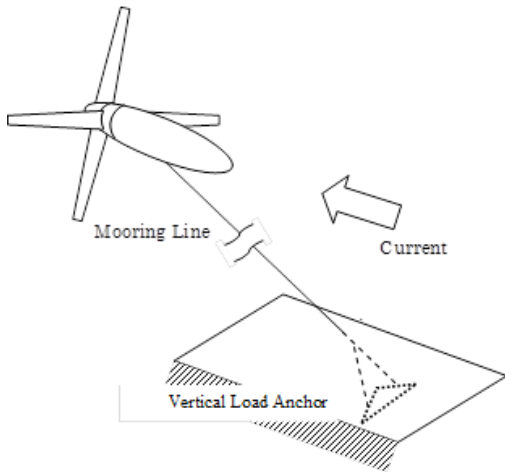


図2 2重反転式海流発電装置

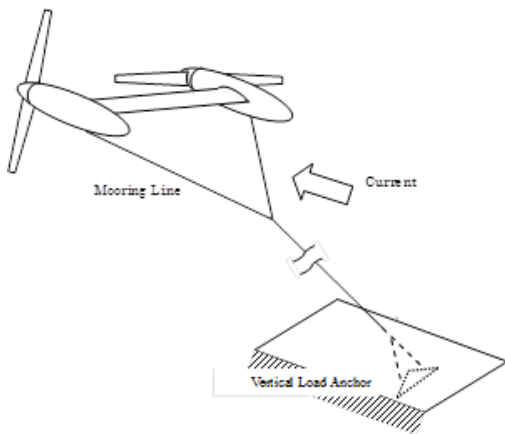


図3 双発式海流発電装置

図2と図3がそのイメージ図である。これらの装置について簡便な方法で構造重量の推定を行った。その結果、2重反転タービン式と双発タービン式の間では大きな差異は無いことが分かった。また、構造重量については発電機容量を大きくするメリットは無いことも分かった。また、両者とも着床式洋上風力発電装置と同レベルの重量出力比となることが分かった。

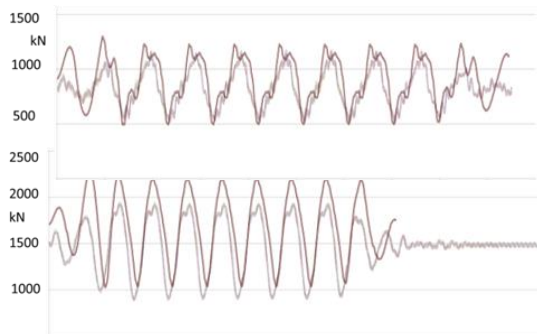


図4 係留張力の計算値と実験値

係留索に掛る張力などを正確に求めるため、Lumped-mass法に基づく係留系の計算プログラムを作成し、カタナリー係留とハイブリッド係留について図4のように計算値と実験値の比較を試みた。その結果、この計算法により、実験結果を上手く再現できることが分かった。

次に、浮体運動のシミュレーション・コードとこのコードを組み合わせるシミュレーションを行い、模型実験と比較した。図5はその一例であるが、シミュレーションが十分な精度で実施できることが確認できた。

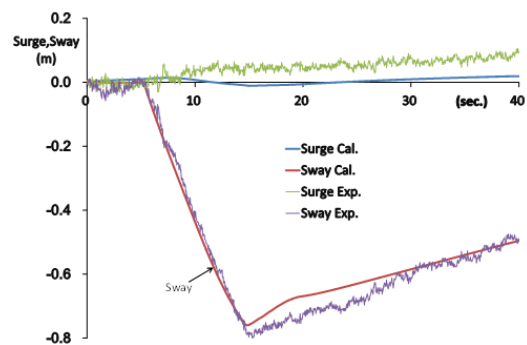
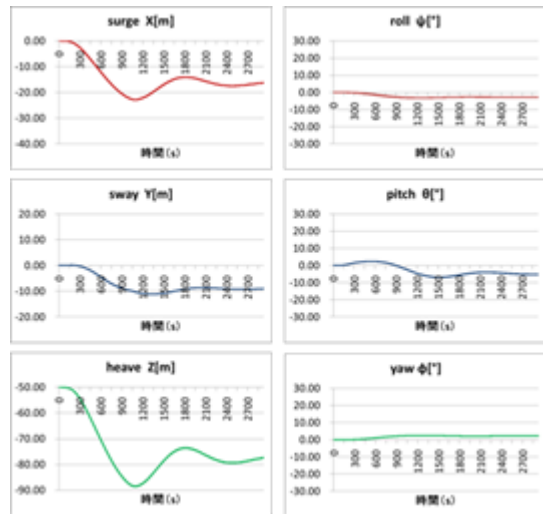


図5 浮体運動の計算値と実験値



このシミュレーション・コードを用いて様々な状況下における海流発電装置の挙動を調べた。図6はその一例として実施した、双発式海流発電装置の片方の発電機に異常が発生し、タービンへの負荷トルクが急激に減少した場合のシミュレーションである。

何のコントロールもしないと海上に浮上するまでに30°程度のロールなど大きな動きが見られたが、ピッチコントロールによって変位が抑えられることが確認できた。また、このシミュレータにより、流の向き

や速さが急激に変化した場合の浮体姿勢などについても知見を得ることができ、今後、このような装置を設計する際に大変役に立つことが分かった。

これらの他にも、係留系の配置やインストール法、あるいはメンテナンス時の浮体の波浪中運動特性やメンテナンスシナリオの作成、離島への電力供給や本土系統への連結可能性の調査など広範な検討を実施し、このコンセプトの実現可能性と経済性を示すことができた。

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9件)

①高木 健、松田和也、須山友樹：二重反転タービン式海流発電装置の技術的成立性に関する研究 —運動特性の視点からの検討—、日本船舶海洋工学会論文集、印刷中、2013. 査読有

②Takagi, K. : Motion Analysis of Floating Type Current Turbines, Proceedings of the ASME 2012 31th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2012, Rio de Janeiro, Brazil, 2012. (CD-R のためページ記載無し)、査読有

③五之治孝明、坂田和輝、高木 健、異常時における双発式海流発電装置の動き、第 23 回海洋工学シンポジウム、日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会、2012. (CD-R のためページ記載無し)、査読無

④Takeda, K, Takagi, K and Shimizu, M. : Mooring Line with a Power Cable for a Marine Current Turbine, OCEANS 2012, Yeosu, 2012. (CD-R のためページ記載無し)、査読無

⑤Sakata, K., Gonoji, T. and Takagi, K. : A motion of Twin type Ocean Current Turbines in realistic situations, OCEANS 2012, Yeosu, 2012. (CD-R のためページ記載無し)、査読無

⑥高木健、松田和也、須山友樹：二重反転タービン式海流発電装置の技術的成立性に関する研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集第 15 号、pp313-312、2012.

⑦Takagi, K., Suyama, Y. and Kagaya, K. : An Attempt to Control the Motion of Floating Current Turbine by the Pitch Control, OCEANS 2011, Kona, 2011. (CD-R のためページ記載無し)、査読無

⑧松田和也、高木健、小澤暁人：海洋エネルギー回収を目的とした係留システムのための最適な係留索の検討、第 22 回海洋工学シンポジウム、日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会、2011. (CD-R のためページ記載無し)、

査読無

⑨高木健：最軽量海流・潮流発電コンセプトに関する検討、第 22 回海洋工学シンポジウム、日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会、2011. (CD-R のためページ記載無し)、査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 健 (TAKAGI KEN)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90183433

(2) 研究分担者

木下 健 (KINOSHITA TAKESHI)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：70107366

(3) 連携研究者

鈴木 英之 (SUZUKI HIDEYUKI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：00196859

大内 一之 (OUCHI KAZUYUKI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・客員共同研究員

研究者番号：40533972

中山 一郎 (NAKAYAMA ICHIRO)

独立行政法人水産総合研究センター・水産工学研究所・部長

研究者番号：80371813

山口 一 (YAMAGUCHI HAJIME)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：20166622