

令和 5 年 6 月 4 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K18908

研究課題名（和文）可変型同調回転慣性質量機構をもつスマート波力発電装置の開発

研究課題名（英文）Development of a smart wave energy converter with tuned variable inertial mass

研究代表者

浅井 健彦（Asai, Takehiko）

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：90775793

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は可変型同調回転慣性質量機構をもつ波力発電装置を提案している。既往研究では本機構による発電効率向上が報告されているが、共振効果を利用しているため、波の周期変化に対して発電効率を最適に保つことが出来ないことが指摘されていた。

そこで、本研究では回転慣性質量値を調節出来る可変型機構と、その値を適切に制御出来るアルゴリズムを提案している。波高計から計測されたデータに高速フーリエ変換を用いることで波の卓越周期を計算し、その値に応じて回転慣性質量値を調節出来るシステムを構築し、実際に計測された波データを用いてシミュレーションを実施し、発電効率の向上を確認することが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では新たな可動物体型の波力発電装置を提案しており、脱炭素社会を目指す現代社会において大きな社会的意義をもつと考えられる。

また、本研究でも用いられている同調回転慣性質量機構は本来、地震動を受ける建築・土木構造物の制振技術として提案されているものであり、その技術を波力発電装置へ応用することは既存の学問分野を超えた学際的な研究と考えられ、その学術的にも大きな可能性を示したと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This research introduces a point absorber wave energy converter (WEC) with tuned variable inertial mass. The tuned inertial mass (TIM) was introduced in the field of civil engineering as a control device for structures subjected to seismic loadings. Moreover, a point absorber WEC equipped with TIM, in which a motor is used, has been proposed and its effectiveness has been shown. However, since the TI mechanism takes advantage of the resonance of the inertial mass to absorb energy from vibrating buoys, it has been pointed out that the TI could not respond well to the dominant period changes of ocean waves. Thus, a system to control the inertial mass is developed. In this system, the dominant wave period is calculated by the Fast Fourier Transform using the wave amplitude and the inertial mass is adjusted accordingly. Numerical results showed that the proposed system responded appropriately to the wave period changes and works better than the TIM system.

研究分野：構造物の振動制御

キーワード：波力発電 同調回転慣性質量機構 イナーター 再生可能エネルギー

## 1. 研究開始当初の背景

近年、国内外において地球環境に負荷のかからない、さまざまな再生可能エネルギー源についての研究が進められている。特に、我国においては、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震とその後の原発事故以降、太陽光や風力など再生可能エネルギーの利用促進に関する社会的な要請が高まっており、その実用化が急がれている。

注目を集める再生可能エネルギー技術のひとつとして、振動エネルギーを電気エネルギーへと変換するエネルギーハーベスティングが挙げられる。これまで振動を利用したエネルギーハーベスティング技術に関する研究は圧電(ピエゾ)素子を用いた、高周波の微振動による mW レベルを対象としたものが主流であり、その用途は限定的であった。しかし、近年モーターを用いた、数 Hz 以下の低周波振動を対象とした kW レベルの発電を可能にするエネルギーハーベスティング技術の研究が進められている。

このモーターを利用した大規模エネルギーハーベスティング技術の応用例のひとつとして、延々と発生し続ける海洋波により振動する浮標を用いた波力発電装置が挙げられる。本課題では、この装置の発電効率の飛躍的な向上を目指した、同調回転慣性質量機構付き波力発電装置を提案する。同調回転慣性質量機構では、回転により得られる慣性質量をバネを介して浮標に接続させる。そしてこのバネの剛性と、回転慣性質量を発生させている錘の回転中心からの半径距離を適切に調節することで、共振効果を起こし、モーターの回転数を上げて発電効率を向上させる。

## 2. 研究の目的

太陽光発電や風力発電に加え、近年注目を集める再生可能エネルギー源として、海洋波を利用した波力発電が挙げられる。米国においては、米国内で1年間に必要な電力の6%に相当する260TWhが海洋での波力発電で賄うことが出来るという報告もされており、現在、数多くの波力発電に関する研究が進められている。そのひとつに、図1(a)に示すような浮標を用いた波力発電装置が提案されている。ここでは、海底に設置したモーターと海洋波により振動する海上の浮標をワイヤーで接続することでモーターを回転させ、浮標の振動エネルギーを電気エネルギーへと変換するエネルギーハーベスティング技術を利用している。ワイヤーが弛むことがないようにモーターと海底の間には初期張力をもったバネ1が設置されている。

本課題では、研究代表者が建築・土木構造物での応用を目指し取り組んでいる同調回転慣性質量トランスデューサーの原理を波力発電装置に用いることで、発電効率の向上を目指した、図1(b)に示すような装置の有効性を検証する。図に示すように、提案する装置は浮標とモーター間にさらにバネ2を設置し、モーター部には回転慣性質量を付加している。また、図1(c)に同調回転慣性質量機構付きモーターのモデルを示す。本研究の目的は、このバネ2の剛性と回転慣性質量を適切に調整するという極めて単純な方法で、慣性質量の共振効果を起こし、発電効率の向上を実現させることである。また、天候等により変化する海洋波の卓越周期の変化に容易に対応するため、回転慣性質量に取り付けられた錘の回転中心からの距離を制御出来る可変機構を提案する。

本研究では、文献調査、ヒアリング、数値解析シミュレーション、装置の試作とそれを用いた実験によって、提案する可変同調回転慣性質量機構付き波力発電の実現可能性を検討し、将来実用化を目指す。

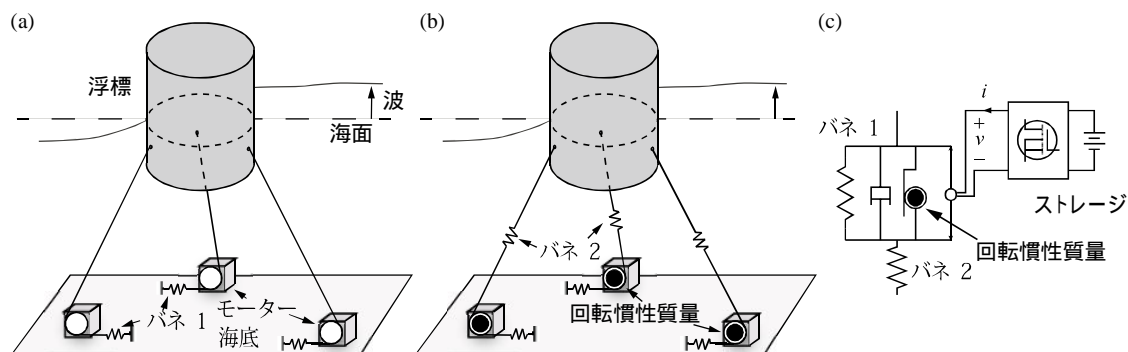


図1：波力発電装置の模式図とモデル

### 3. 研究の方法

本研究では、この提案する可変型同調回転慣性質量付き波力発電装置の有効性を(1)数値解析シミュレーション、(2)装置の試作と水槽実験、により実証する。

#### (1)数値解析シミュレーション

本研究の準備段階として、図 1(c)の簡易モデルを用いた数値解析を終えている。しかしながら、このモデルでは流体により浮体に作用する付加質量と付加減衰の効果を見逃しており、これらを考慮したより正確なモデルの構築が必要である。よって、本研究では、波力解析ソフトウェア WAMIT を用いて提案する装置のより正確な数値モデルを構築し、さらに、波力発電解析ソフトウェアである WEC-Sim を用いて数値解析シミュレーションを実施する。さらに、それらの結果を水槽実験での結果と比較することでそのモデルの妥当性を検討する。

#### (2)装置の試作と水槽実験

研究代表者が提案する装置の試作を行い、水槽実験を実施する。縮小可変型同調回転慣性質量付き装置を試作し、筑波大学が保有する二次元造波水槽において実験を行い、さまざまな周波数をもった波を入力することで、提案する機構の有効性を検証する。必要に応じ、装置、モデルの改良を繰り返し行い、発電効率の向上を図る。また、同調回転慣性質量機構をもたない場合の比較実験も行い、提案する装置の有効性を実証する。

### 4. 研究成果

提案する機構に実海域(福島沖、鹿島沖)で計測された波高データを WEC-Sim に入力して行った数値解析シミュレーションの結果を図 2 に示す。ここでは、1 自由度系でモデル化可能な従来の可動物体型の波力発電装置 (SDOF) と同調回転慣性質量機構を用いた装置 (TIM) 、そしてさらに本研究で提案する可変型の同調回転慣性質量機構を用いた装置 (Variable TIM) の発電効率を比較している。可変型機構の制御アルゴリズムとして、得られた波高データに高速フーリエ変換を用いることで、卓越する波周波数を計測し、その値に応じて回転慣性質量値を変更する方法を用いている。ここでは高速フーリエ変換に用いるデータ数を変化させることで、発電量に及ぼす影響を検討している。図 2 からわかるように、提案する機構により発電効率を大きく向上させることが可能となることを確認することが出来た。

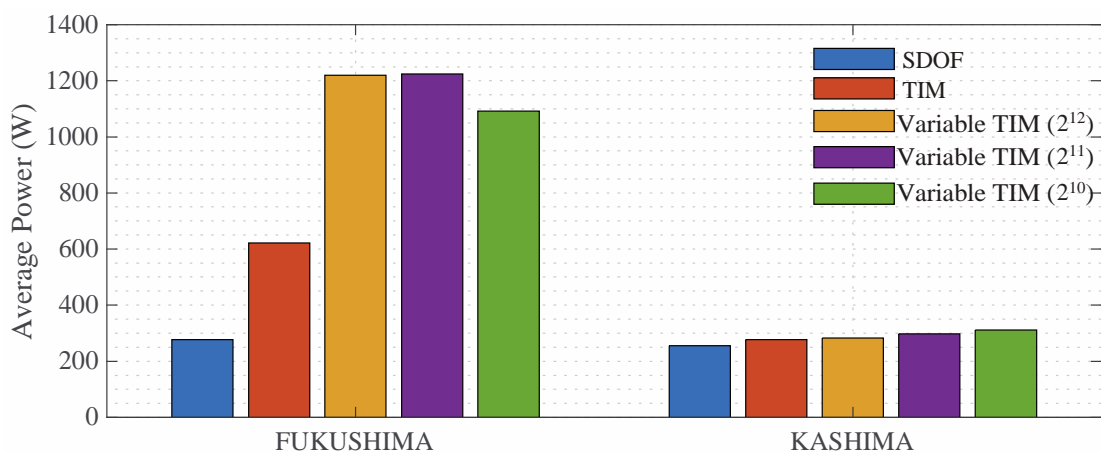


図 2 : 発電効率の比較

また、本研究では、提案する波力発電装置を浮体式洋上風車のような浮体式構造物に取り付けることで、波力発電だけでなく、その構造物の制振にも大きな効果があることを示すことが出来た。この成果は提案機構のさらなる応用可能性を示しており、今後、さらなる研究へとつながっていくと大きく期待出来る。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Asai Takehiko, Sugiura Keita	4. 巻 171
2. 論文標題 Numerical evaluation of a two-body point absorber wave energy converter with a tuned inerter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Renewable Energy	6. 最初と最後の頁 217 ~ 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.renene.2021.02.021	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 Sugiura Keita, Sawada Ryoko, Nemoto Yudai, Haraguchi Ruriko, Asai Takehiko	4. 巻 98
2. 論文標題 Wave flume testing of an oscillating-body wave energy converter with a tuned inerter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Ocean Research	6. 最初と最後の頁 102127 ~ 102127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apor.2020.102127	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 Haraguchi Ruriko, Asai Takehiko	4. 巻 202
2. 論文標題 Enhanced power absorption of a point absorber wave energy converter using a tuned inertial mass	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 117740 ~ 117740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2020.117740	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 Nemoto Yudai, Takino Minoru, Tsukamoto Shota, Asai Takehiko	4. 巻 257
2. 論文標題 Numerical study of a point absorber wave energy converter with tuned variable inerter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 111696 ~ 111696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2022.111696	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 根元雄大, 杉浦啓太, 瀧野稔, 浅井健彦
2. 発表標題 可変型同調回転慣性質量機構をもつ可動物体型波力発電装置
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉浦 啓太, 原口 瑠理子, 浅井 健彦
2. 発表標題 同調回転慣性質量機構をもつ可動物体型波力発電装置における性能保証制御の有効性の数値的検証
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 波力発電装置及び波力発電方法	発明者 浅井健彦、荒木慶一、原口瑠理子	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-537638	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------