

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 31 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760729

研究課題名(和文) 環境と調和する柔軟発電体を用いた海床設置型波エネルギー発電装置の開発

研究課題名(英文) Study on environmental friendly submerged wave power generation system using FPED

研究代表者

田中 義和 (Tanaka, Yoshikazu)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00335704

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：近年、エネルギー需要の増加が、国際的な関心事項となっている。この問題に取り組む上で、地球温暖化の対応手段としても、再生可能エネルギーの利用量増加は重要である。現在、注目を集め、活用されている再生可能エネルギーは、風力発電、太陽光発電であるが、海洋エネルギーの活用はそれらに比べあまり進んでいない。海洋エネルギーは、再生可能エネルギーとして大いに可能性がある。そこで、本研究では、柔軟発電体を用いた海洋エネルギー発電装置の研究を行った。柔軟発電体の設計パラメータを変えて加振機および造波機を用いた実験を行い、発電特性を得た。また、柔軟発電体の発電特性評価方法を開発し、その妥当性を確認した。

研究成果の概要(英文)：In recent years the growing demand for energy has become an international concern. Importantly, whilst tackling this issue, it is critical to increase renewable energy usage as a countermeasure to global warming. Currently, the most widely utilised and researched renewable energy technologies are wind and photovoltaic power generation. In contrast, there has been limited interest in power generation using ocean based energy, such as waves and tides. The ocean provides an unlimited source of renewable energy and the advantages of exploiting this energy source are self evident. In this study, the wave power generation using flexible piezoelectric devices (FPEDs) have been performed. Changing design parameters such as length and thickness of the FPED, some experiments have been performed using a shaker and water tank, and the power generation characteristics has been obtained. A theoretical model to estimate the performance of FPEDs has been also developed and validated.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：自然エネルギーの利用 波力発電 環境発電 柔軟発電体

1. 研究開始当初の背景

近年、欧州諸国の自然エネルギー利用発電技術への関心・期待は非常に高く、政府主導の下、積極的な施策がなされている。海洋エネルギーを利用した発電技術開発の例としては、洋上風力発電、Pelamis・Oyster・Wave Dragon・EPAM 発電（以上、波力発電）、SeaGen(潮力発電)を挙げることができる。洋上型風力発電に関しては周知の通り、欧州で精力的に研究開発が実施されており、その開発には、国内主要企業も参入し、実用レベルで研究開発が進んでいる。一方、波力・潮力・潮流発電に関しては、風力発電・太陽光発電に比べて、発電効率、経済性、安全性、景観、コストなどの面で課題が多く、本格的導入にはまだまだ時間がかかる状況である。

一方、日本においては、1980～2002年代に波力発電について活発な研究・開発（海陽、海明、マイティホエール）が行われたが、近年では、欧州諸国と比べ研究・開発があまり実施されていない。平成23年8月19日に閣議決定された第4期科学基本計画において、グリーンイノベーションの推進がうたわれ、今後、海洋立国日本として、海洋エネルギー開発は実施すべき重点課題であることは、世界を牽引、経済的繁栄を維持しつつ拡大する観点から、明らかである。

2. 研究の目的

代表者らにおいては、柔軟発電体を用いた海洋エネルギー発電方法として、垂下蓮式海洋エネルギー発電システムを提案し、研究を実施している。垂下蓮式海洋エネルギー発電システムは、日本の外洋に設置し、発電することを想定しているが、日本沿岸に到来する波エネルギーを用いて発電する方法も有望といえる。日本沿岸の波エネルギーは平均7kW/mであると推定されており、このエネルギーを回収する技術を開発することは、日本のエネルギーセキュリティの確保、経済発展を牽引していく上で大変重要であることは明らかである。また、近年減少傾向にある藻場をなんらかの形で再生することは海洋環境・漁業を維持する上で重要である。そこで、代表者は、環境と調和する柔軟発電体を用いた海床設置型波エネルギー発電装置に関する研究を着想した。そこで、本研究では、沿岸環境と調和し人工藻場として活用でき、かつ、沿岸に押し寄せるあらゆる種類の海洋エネルギー（波浪、潮汐、砕波、渦）を回収することが可能な新しい方式の海床設置型波エネルギー発電装置の開発を目的とした。

3. 研究の方法

本研究課題で提案する柔軟発電体 Flexible Piezoelectric Device を用いた海床設置型波エネルギー発電装置の概念図を図1, 2に示す。図に示すように、FPEDを海床から縦置きに設置した場合、FPEDを海床に対して水平に設置した場合を想定している。このような装

置構成を念頭に置き、振動試験機や造波水槽を用いて様々な条件で実験を実施した。また、FPEDの波力発電特性を理論的に評価できる方法があれば、実海域に供用する装置の設計をする上で有用である。そこで、FPEDの発電特性評価方法についても研究を行った。

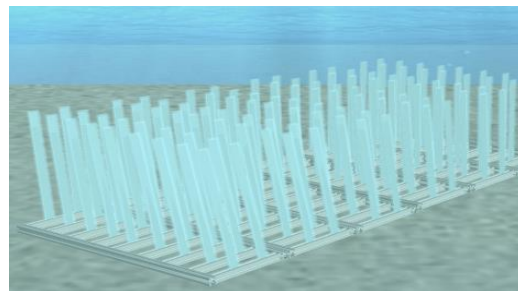


図1 FPEDを用いた海床設置型発電装置（縦置き型）

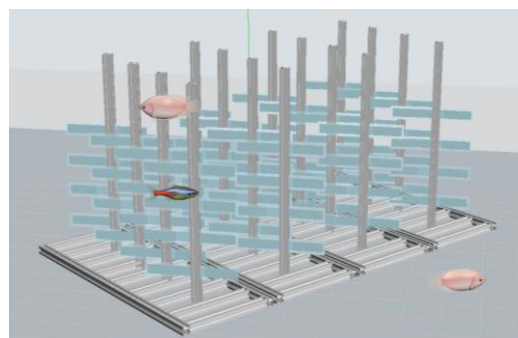


図2 FPEDを用いた海床設置型発電装置（横置き型）

FPEDの基本構成を図3に示す。FPEDは、柔軟な圧電材料である圧電フィルム、シリコンゴムや天然ゴムといった柔軟素材から構成される。使用する素材が柔軟であるため、圧電セラミックスを用いた発電体に比べ、デバイスの固有振動数は低くすることができ、海洋エネルギーの振動数1～10Hzに併せやすい特徴がある。

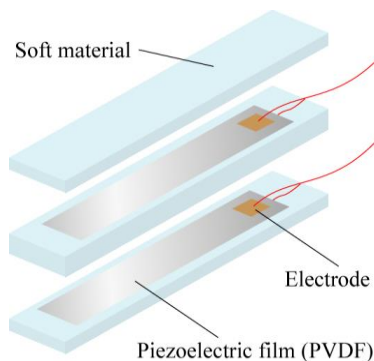


図3 FPEDの基本構成

実験で使用する造波水槽の大きさを考慮して、FPEDを多数製作し、波条件（波の周期、波の高さ）、FPEDの設置方法（装置内での設置位置、設置間隔、設置場所）を考慮した、シリーズ実験を行い、実験結果を整理し、発

電特性をまとめた。また、FPEDの発電特性評価方法の開発を行った。評価方法の妥当性検証に、実験データも使用した。

4. 研究成果

実験の様子を図4,5に示す。図4は縦置き型、図5は横置き型の実験の様子である。造波水槽を用いた実験装置の全体構成を図6に示す。水槽の大きさは8mである。左端に造波機が設置されており、右端には消波帯が設置されている。発電装置を水槽の中央に設置し、波力発電特性の計測を行った。

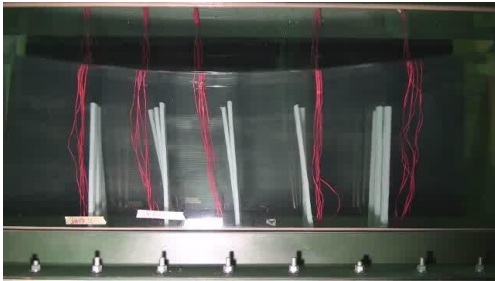


図4 縦置き型発電装置の実験の様子



図5 横置き型発電装置の実験の様子

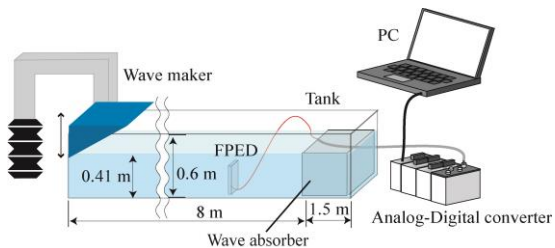


図6 実験装置の全体構成

図7に実験に使用したFPEDの組み合わせの一部を示す。FPEDの波力発電特性を体系的に調べるため、FPEDの厚さ、幅、長さを変えて試験体を製作し、波力発電実験に使用した。図7は、厚さを2通り、幅を4通り変えた場合の構成を示している。この他に、長さを変えた場合、圧電フィルムの厚さを変えたデバイスも製作し、実験に使用した。

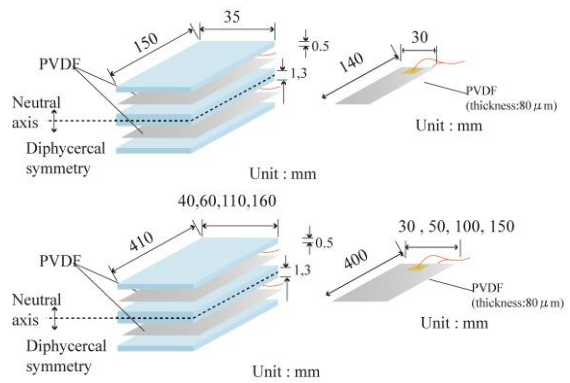
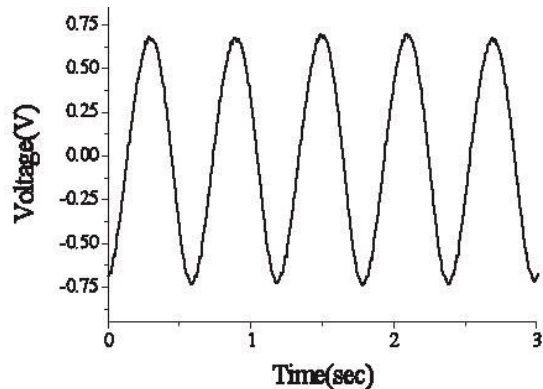
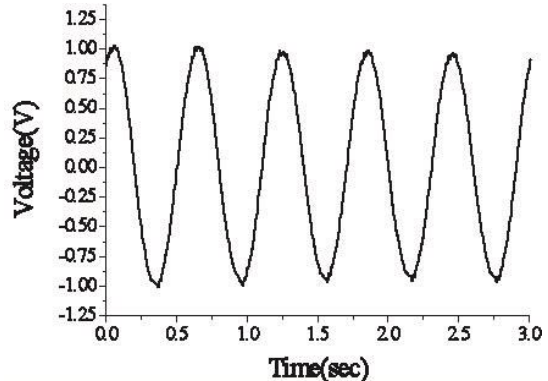


図7 実験に使用したFPEDの構成例

波力発電実験で得られる、出力電圧の時系列を図8に示す。図8より、造波機から生成される波は周期的であるため、出力電圧も周期的であることが確認される。また、波の波高が高いほど、出力電圧が高くなることも確認できる。このような実験データを製作したすべての試験体に対して、波の周期、高さを変えて計測を行った。そして、データ整理を行い、デバイスの形状、波に対して、発電特性を調べた。その結果、波の周期が早く、波高が高いほど、発生電圧は高くなることが確認された。デバイスの形状は、細長であることが望ましい傾向が得られた。



(a) 波振幅 30 mm, 周期 0.6 sec.



(b) 波振幅 60 mm, 周期 0.6 sec.

図8 出力電圧波形の例(デバイスの長さ150mm)

実海域への設置を想定した場合、FPEDを用い

た波力発電特性の評価ツールが重要である。実験でFPEDの波力発電特性を得られたので、実験データを検証データとして用い、FPEDを用いた波力発電特性評価方法の理論解析方法を検討した。検討した理論解析方法の概要を図9に示す。本研究で検討している海床設置型波力発電装置には、細長いFPEDが多数設置されている。そこで、FPEDは、材料力学の観点から、はりとして振舞うと仮定した。また、圧電フィルムは圧電方程式より評価できると考えられる。そこで、はり理論と圧電方程式を組み合わせ、FPEDの発電特性評価方法を開発した。この方法の妥当性は、FPEDの空气中強制振動実験を行うことにより確認した。そして、FPEDの波力発電特性評価方法を開発するために、図10に示すようなモデルを考え、波力の評価にモリソン式を導入した。すなわち、はり理論、圧電理論、モリソン式を組み合わせ、FPEDの波力発電特性評価方法を開発した。開発した評価方法の妥当性は、実験結果と比較することで検証した。図11に波力発電評価方法による結果と実験結果の比較を示す。横軸を波の振動数、縦軸を発生電圧としている。線が理論評価結果であり、プロットは実験結果であり、理論評価結果と実験結果はよく一致していることが確認できる。よって、本研究で開発した、FPEDの波力発電特性評価方法を用いて、実海域での波力発電特性を評価することが可能になったといえる。

理論計算方法

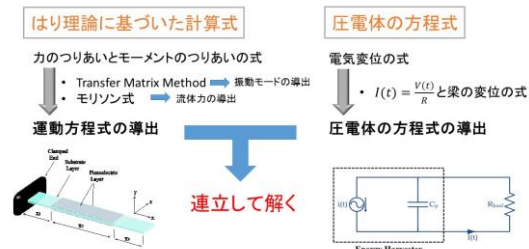


図9 理論解析方法の概要

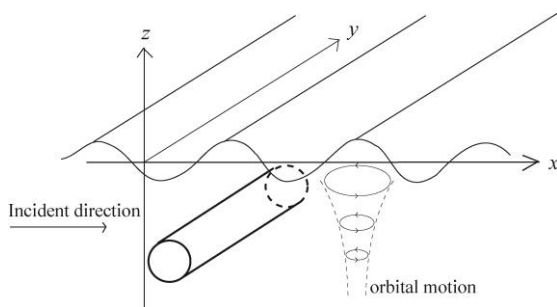
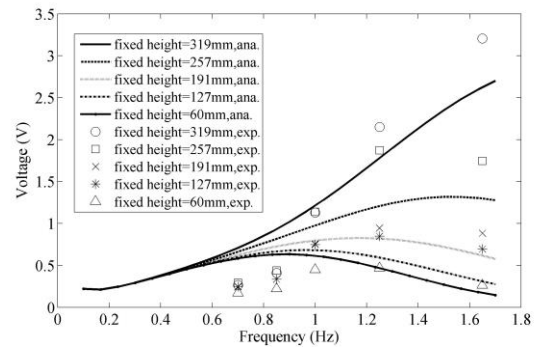
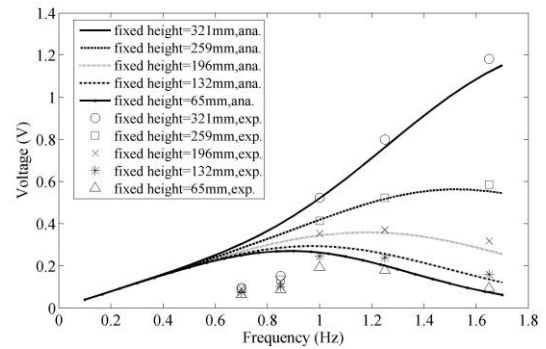


図10 FPEDを用いた波力発電の理論計算モデル



(a) デバイスの中間層厚さ 1 mm



(b) デバイスの中間層厚さ 3 mm

図11 波力発電の実験結果と理論計算結果の比較例 (波高 34.24 mm)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

1. H. Mutsuda, R. Watanabe, S. Azuma, Y. Tanaka and Y. Doi., Ocean Power Generator Using Flexible Piezoelectric Device, Proceedings of the ASME 32rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 査読有, 2013, CD-R, OMAE2013-10078
2. 陸田秀実, 森崎健一, 田中義和, 土井康明, 引張・圧縮型柔軟発電デバイスを用いた波浪エネルギー利用方法に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, 査読有, 2013, I_1311-I_1315
3. 陸田秀実, 東翔太, 渡邊隆太, 田中義和, 土井康明, 垂下式弾性浮体ユニット型海洋エネルギー発電方式の発電特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, 査読有, 2013, I_1316-I_1320
4. Mutsuda, H., J. Miaygi, Y. Doi and Y. Tanaka, Wind Energy Harvesting Using Flexible Piezoelectric Device, Journal of Energy and Power Engineering, Vol.7, 査読有, 2013, pp.1047-1051
5. Yoshikazu Tanaka, Keitaro Matsumura, Hidemi Mutsuda, An

experimental study of power generation and storage using a flexible piezoelectric device , International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.39, Number 1-4, 査読有, 2012, pp.603-608

6. Yoshikazu Tanaka, Yoshikazu Michinaka and Hidemi Mutsuda, An experimental study of a submerged power generator that uses flexible power generation devices, Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 20, No. 2, 査読有, 2012, pp.541-546
7. Y. Tanaka, K.Matsumura and H.Mutsuda, Study on flexible power generation device using piezoelectric film, Journal of Energy and Power Engineering, ISSN1934-8975, Vol. 6, Number 3, 査読有, 2012, pp.353-360
8. H. Mutsuda, M. Hirata, R. Watanabe, Y. Doi and Y. Tanaka, Elastic Floating Unit with Piezoelectric Device for Harvesting Ocean Wave Energy, Proceedings of the ASME 31rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2012-83318, Vol.7, ISBN 978-0-7918-4494-6, 査読有, 2012, pp.233-pp.240

[学会発表] (計 9 件)

1. Y. Tanaka, T. Oko, H. Mutsuda, A. A. Popov, R. Patel, S. McWilliam, Forced vibration experiments on flexible piezoelectric devices operating in air and water environments, 16th international symposium on applied electromagnetics and mechanics ISEM2013, pp.353-354, Aug. 1, 2013, Quebec, Canada.
2. 尾古卓也, 田中義和, 陸田秀実, 水中に設置された柔軟発電体の理論解析方法に関する研究, 第22回 MAGDA カンファレンス in 宮崎, pp. 465-468, 12月3日, 2013, 宮崎
3. 尾古卓也, 田中義和, 陸田秀実, 空気中および水中に設置された柔軟発電体の理論解析方法に関する研究, 第26回計算力学講演会 CD-ROM 論文集, 2518, 11月4日, 2013, 佐賀
4. 東 翔太, 渡邊 隆太, 陸田 秀実, 田中 義和, 土井 康明, 海洋エネルギー利用に向けた柔軟発電デバイスの開発とその発電特性, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2013S-YS1-6, CD-ROM, 5月27日, 2013, 広島

5. 尾古卓也, 田中 義和, 陸田 秀実, 道中 良和, 柔軟発電体の理論解析方法に関する研究, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2013S-YS1-8, CD-ROM, 5月27日, 2013, 広島
6. 田中義和, 尾古卓也, 陸田秀実, 道中良和, はり理論による柔軟発電体の理論解析に関する検討, 第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 34-37, 5月15日, 2013, 箱根
7. Hidemi Mutsuda, Junpei Miyagi, Yasuaki Doi and Yoshikazu Tanaka, Wind Energy Harvesting Using Flexible Piezoelectric Device, ICPEE2012, Sep. 1-2, 2012, Phuket, Thailand
8. 田中義和, 渡邊隆太, 陸田秀実, 杉谷信, 宮本憲一, 水中強制振動実験による柔軟発電体の発電量の検討, 第21回 MAGDA コンファレンス, pp. 529-532, 11月22日, 2012, 仙台
9. 田中義和, 道中良和, 品川和毅, 陸田秀実, 柔軟発電体を用いた海床設置型発電システムの開発, 第24回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 67-72, 5月16日, 2012, 富山

[その他]

ホームページ等

http://naoe.hiroshima-u.ac.jp/6koza/index_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 義和 (TANAKA, Yoshikazu)
広島大学 大学院工学研究院・助教
研究者番号: 00335704

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者