

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360213

研究課題名(和文)柔軟発電体を用いた新しい海洋エネルギー発電装置の開発

研究課題名(英文)Energy Harvesting Technology from Ocean Power Using Flexible Piezoelectric Material

研究代表者

陸田 秀実(MUTSUDA, HIDEMI)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80273126

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円、(間接経費) 4,290,000円

研究成果の概要(和文)：申請者は、既往研究において、海洋の流れ・渦・波エネルギーによって柔軟に変形(曲げ、せん断、引張・圧縮)し、デバイス内部に分極(電圧)が生じ、電気エネルギーを生み出すことができる「柔軟発電体」と称するものを開発した。

本研究では、この柔軟発電体の変形特性、発電性能を踏まえて、カキ筏のような垂下式弾性浮体ユニットに、複数の弾性圧電デバイスを組み込んだ新しいタイプの海洋エネルギー発電装置を提案・開発することを目的とした。その結果、室内実験およびフィールド試験を通して、本デバイスおよび発電装置の有用性が確認された。また、実用化に向けた設計ツールの開発および設計指針を示した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a way of harvesting electrical energy from ocean power using a Flexible Piezoelectric Device (FPED) consisting of PVDF and elastic material such as rubber, silicon and resin. The proposed FPED has a multi-layered structure with a distance between PVDFs. The electric power can be generated when the electric polarization occurs in the PVDF.

Using the developed FPED, we have proposed and developed a new type of ocean power generator, Elastic Floating unit with Hanging Structures, EFHAS consisting of floating unit and hanging unit as shown in Fig.2 and Fig.3. The EFHAS has two main parts, that is, floating unit and hanging unit. The floating unit can generate electric power from wave power and breaking. The hanging unit can generate electric power from not only wave but also current and vortex. We have investigated a structure of the EFHAS and also examined characteristics of motion and electric performance of the EFHAS in the experiment and ocean field.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：海洋エネルギー 圧電素子 波浪発電 潮流発電

## 1. 研究開始当初の背景

これまでに、我が国では種々のタイプの潮流発電、波力発電、潮汐発電が提案・研究・開発され、実証試験が行なわれてきた(例えば、マイティホエールや海明による波力発電、鳴門・来島における潮流発電など)。一方、欧州諸国の自然エネルギー利用・技術開発(European Ocean Energy Association, 2009)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。例えば、Wave Dragon, Pelamis, SeaGen, Stingray 等が挙げられる。しかしながら、太陽光発電や風力発電に比べて、発電効率、経済性、安全性、景観、コスト等の面で課題が多く、本格的な導入には至っていない。

本研究では、既存の問題点を克服しつつ、安定性・安全性・環境面に優れ、あらゆる種類の海洋エネルギー(潮流・潮汐・波浪・砕波・渦など)を回収することが可能な新しいタイプの海洋エネルギー発電方式を提案・開発することを目的とし、今後、急速な普及が見込まれる洋上風力発電施設および既存の海岸・海洋構造物とのハイブリッド化を念頭においた海洋エネルギー発電技術の開発を目指している。

## 2. 研究の目的

申請者らは、安定性・安全性・環境面に優れ、あらゆる種類の海洋エネルギー(潮流・潮汐・波浪・砕波・渦など)を回収することが可能な新しいタイプの海洋エネルギー発電装置を提案・開発することを目的としている。そのコア技術は、申請者らが開発している高分子圧電フィルムと弾性素材からなる柔軟発電体である。本申請では、2020年までに直径120mの洋上風力発電2000基以上(1千万キロワット以上)を稼働させる政府案(2010.6.18)が打ち出されたことを踏まえ、沖合の洋上風力発電施設とのハイブリッド化に適合した海洋エネルギー発電技術の開発を行う。また、既存の直立防波堤、潜堤(リーフ)・没水平板などの消波構造物に、上述の柔軟発電体を組み合わせた全く新しいタイプの発電装置の提案・開発も行う。

## 3. 研究の方法

以下の項目に沿って研究を遂行する。

### 海洋エネルギー発電装置の概念設計

ここで開発する海洋エネルギー発電装置は、複数の柔軟発電体で構成された発電ユニットを組み合わせて、洋上風力発電施設や各種海岸・海洋構造物とのハイブリッド化を可能とする海洋エネルギー発電装置である。この発電ユニットは、「トライアングル構造を組み合わせた水上浮体部」と「6本の平板部材

(鉛直方向3本は流れエネルギーを吸収、水平方向3本は波エネルギーを吸収)を層状に繋ぎ合わせた垂下部」による2重浮体構造様式となっている。水上浮体部は、波浪・潮汐・砕波による海面変動に伴う運動エネルギーを吸収する。その一方で、垂下部は、波浪・潮流・渦流れに伴う運動エネルギーを吸収するという特長を有している。したがって、特定の外力条件に特化した従来型海洋エネルギー発電方式(例えば、波力発電、潮流発電、潮汐発電)とは全く異なるタイプの発電方式である。ここで提案する海洋エネルギー発電技術は、洋上風力発電施設や既存の海岸・海洋構造物の安定性・耐外力性・海洋環境を確保しつつ、その周辺の海洋エネルギー(波、潮流、渦、砕波)を総合的にトラップ(吸収)し発電する。

### 柔軟発電体の発電性能向上に向けた構造様式の基本設計

柔軟発電体は、高分子圧電フィルムと弾性素材による積層構造によって、潮流・波エネルギー利用において発電効率10~15%程度の発電性能を達成している。ここでは、実海域において発電効率20%超(稼働率40~50%の場合)を目指して、新たな積層構造の提案、各種の機能性樹脂材料(塩化ビニール樹脂、高分子薄膜樹脂、シリコン、ゴムなど)の適用、各種海洋エネルギー条件による寸法の最適化を行う。その際、シート型やクロス型といったデバイスタイプも考案・開発し、カスタマイズ性と発電性の向上を図る。さらに、その基本的な構造機能特性(ヤング率、ポアソン比、降伏点、破断荷重など)の解明に関する実験を行い、起電力との関係を明らかにする。

### 水上浮体部と垂下部の運動性能と発電・蓄電性能に関する実験

項目 で明らかとなった基本設計に基づいて、海洋エネルギー発電ユニットの部分構造である水上浮体部・垂下部を個別に製作し、各種海洋エネルギー(波、潮流、渦など)に対する運動性能および発電性能を明らかにする。また、効率的な蓄電回路を設計・製作し、蓄電性能を明らかにする。既往の研究において、柔軟発電体の発電量は、弾性変形の局所的なひずみ速度に依存することが分かっている。ここでは、水上浮体部および垂下部の運動は、高速ビデオカメラおよびレーザー変位計を用いて計測し、その発電量との関係を明らかにする。

### 実海域でのフィールド試験

実用化に向けて、縮尺模型を用いたフィールド試験を行う。ここでは、耐波性能、疲労、電子機器類の耐熱性などについても検討す

る。

#### 実用化に向けた設計ツールの開発

圧電方程式と流体の基礎方程式を連成させることにより、本発電装置の設計ツールが開発される。これに基づいて、基本設計で段階で、デバイスの構造様式、発電性能を予め推定することが可能となる。

#### 4. 研究成果

研究期間中に以下の研究成果を得た。

水上浮体部と垂下部の運動性能と発電・蓄電性能に関する実験

既往研究において明らかとなった基本設計に基づいて、海洋エネルギー発電ユニットの部分構造である水上浮体部・垂下部を個別に製作し、各種海洋エネルギー（波、潮流、渦など）に対する運動性能および発電性能を明らかにした。また、効率的な蓄電回路を設計・製作し、蓄電性能を明らかにした。さらに、水上浮体部および垂下部の運動は、ビデオカメラを用いて計測し、その発電量との関係を明らかにした。

実機を想定した海洋エネルギー発電装置の発電・蓄電性能に関する実験

前年度に製作された水上浮体部および垂下部をジョイントし、実機を想定した海洋エネルギー発電装置を製作した。次いで、各種海洋エネルギー（波、流れ、渦、砕波）を作用させ、連結部、垂下部、縦横部材、ワイヤー部に作用する複合作用力を計測するとともに、ビデオカメラによってその弾性変形特性や運動特性（備品：3分力計）を明らかにした。同時に、全ての柔軟発電体から総発電量を求め、発電効率を明らかにした。

#### 実海域での1/50スケールフィールド試験

本発電装置のフィールド試験は、日本周辺の波・流れ条件と試験海域のスケールを考慮して、1/50スケールで実施した。実施の実現性を考慮して、対象海域は沖縄沿岸域とした。得られた結果に基づいて、本発電装置の設計指針を提示した。

以下に主要な結果の図を添付する。

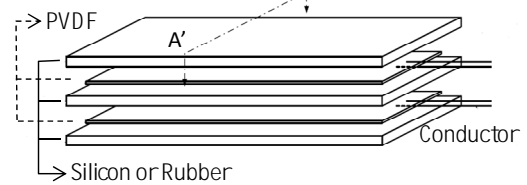
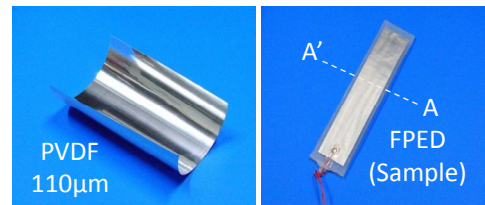


Fig. 1 Overview of flexible piezoelectric material (FPED)

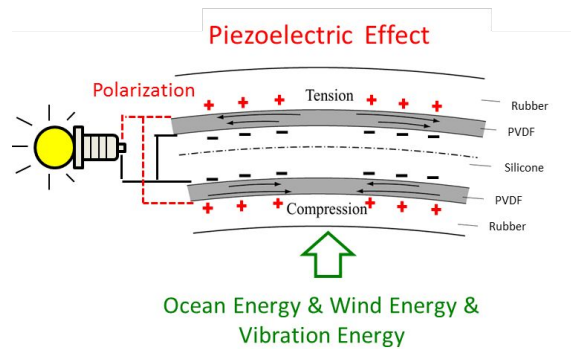


Fig. 2 Principle of power generation using FPED

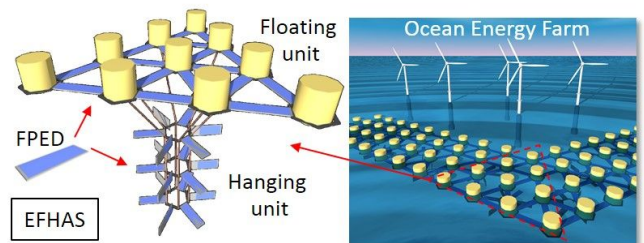


Fig. 3 Overview of elastic floating unit with hanging structure (EFHAS).

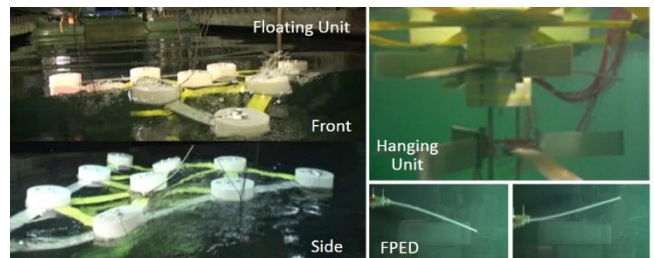


Fig. 4 Motions of EFHAS in water waves (Left: Floating unit, Right: Hanging unit)

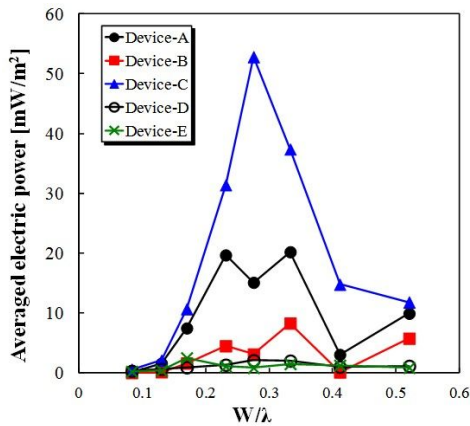


Fig.5 Relationship between device length ratio  $W/\lambda$  to wave length and averaged electric power generated by floating unit.

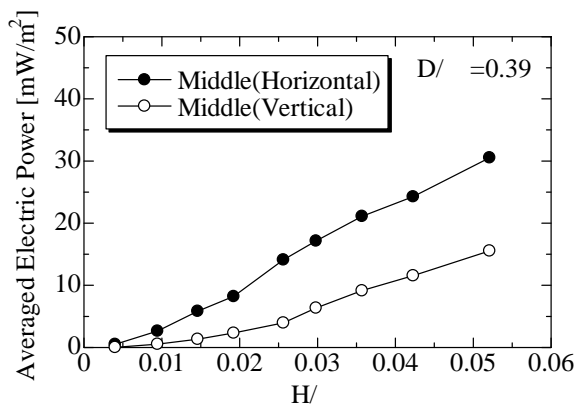


Fig. 6 Relations between averaged electric power and wave height in middle stage of hanging unit ( $D/\lambda = 0.39$ )



Fig.7 Field test in Okinawa, 2013. The diameter of the floater is about 40cm (Left: Floating unit, Right: Hanging unit)

## 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 16 件)

1. Forced Vibration Experiments on Flexible Piezoelectric Devices Operating in Air and Water Environments, Yoshikazu Tanaka, T. Oko, H.Mutsuda, A. A. Popov, R.Patel and S. Mcwilliam, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, in press, 2014.1 (査読有)
2. 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, 陸田秀実, 東翔太, 渡邊隆太, 田中義和, 土井康明, 土木学会論文集, B2(海岸工学), Vol.69, No.2, I\_1316-I\_1320, 2013.11 (査読有)
3. 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, 陸田秀実, 森崎健一, 田中義和, 土井康明, 土木学会論文集, B2(海岸工学), Vol.69, No.2, I\_1311-I\_1315, 2013.11 (査読有)
4. Ocean Power Generator Using Flexible Piezoelectric Device, H. Mutsuda, R. Watanabe, S. Azuma, Y. Tanaka and Y. Doi, Proceedings of the ASME 32rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, ISBN:978-0-7918-5542-3,doi:10.1115/OMAE2013-10078, Nantes, France, 2013.6 (査読有)
5. Wind Energy Harvesting Using Flexible Piezoelectric Device, Mutsuda, H., J. Miyagi, Y. Doi and Y. Yanaka, Journal of Energy and Power Engineering, Vol.7, pp.1047-1051, 2013.6. (査読有)
6. An experimental study of power generation and storage using a flexible piezoelectric device, Yoshikazu Tanaka, Keitaro Matsumura, Hidemi Mutsuda, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.39, Number 1-4, pp.603-608, 2012. (査読有)
7. Wind Energy Harvesting Using Flexible Piezoelectric Device, Mutsuda, H., J.Miyagi, Y.Do, Y.Yanaka, International Conference on Power and Energy Engineering, ICPEE 2012, CD-R, Phuket, Thailand, 2012.9. (査読有)
8. An Experimental Study of a Submerged Power Generator that Uses Flexible Power Generation Devices, Yoshikazu Tanaka, Y. Michinaka, H. Mutsuda, Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetic and Mechanisc, Vol.20, No.2, pp.541-546, 2012.6 (査読有)
9. 弾性圧電デバイスを用いた風力エネル

ギー利用に関する研究, 宮城潤平, 陸田秀実, 土井康明, 田中義和, 日本機会学会論文集, B 編, 第 78 巻, 789 号, pp.1068-1072, 2012.5 (査読有)

10. Elastic Floating Unit with Piezoelectric Device for Harvesting Ocean Wave Energy, H. Mutsuda, M. Hirata, R. Watanabe, Y. Doi and Y. Tanaka, Proceedings of the ASME 31rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2012-83318, Vol.7, pp.233-pp.240, ISBN 978-0-7918-4494-6, Rio de Janeiro, 2012. (査読有)
11. Study on Flexible Power Generation Device using Piezoelectric Film, Tanaka, Y., K.Matsumura and H.Mutsuda, Journal of Energy and Power Engineering, Vol.6, No.3, pp.353-360, 2012.3. (査読有)
12. 垂下式弾性浮体ユニット型海洋エネルギー発電方式の開発, 渡邊隆太, 陸田秀実, 平田真登, 土井康明, 田中義和, 柳原大輔, 日本船舶海洋工学論文集, No.14, pp.151-158, 2011.12 (査読有)
13. An Experimental Study of a Submerged Power Generator that Uses Flexible Power Generation Devices, Yoshikazu Tanaka, Y. Michinaka, H. Mutsuda, The 20th MAGDA Conference in Pacific Asia, pp.524-529, Kaohsiung, 2011.11 (査読有)
14. An Experimental Study of Power Generation and Storage Using a Flexible Piezoelectric Device, Tanaka, Y., K.Matsumura and H.Mutsuda, Proc. of 15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, pp.279-280, 2011.9. (査読有)
15. Study on Wave Power Generator Using Flexible Piezoelectric Device, Hidemi MUTSUDA, Kenta KAWAKAMI, Masato HIRATA, Yasuaki DOI, Yoshikazu TANAKA, Proceedings of the ASME 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2011-49071, Rotterdam, 2011.6 (査読有)

〔学会発表〕(計 6 件)

1. 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, 東翔太, 渡邊隆太, 陸田秀実, 田中義和, 土井康明, 日本船舶海洋工学学会春季講演会, CD-R, 広島, 2013.5.27
2. はり理論による柔軟発電体の理論解析に関する検討, 田中義和, 尾古卓也, 品川和毅, 陸田秀実, 第 25 回「電磁力関連ダイナミクス」シンポジウム, SEAD25, 箱根, 2013.5.15
3. 柔軟発電体を用いた海床設置型発電シ

ステムの開発, 田中義和, 道中良和, 品川和毅, 陸田秀実, 第 24 回「電磁力関連ダイナミクス」シンポジウム, 富山, 2012.5.16

4. 垂下式弾性浮体ユニット型海洋エネルギー発電方式に関する研究, 渡邊隆太, 陸田秀実, 平田真登, 土井康明, 田中義和, 柳原大輔, 日本船舶海洋工学学会秋季講演会, CD-R, 東京, 2011.11.26
5. 圧電フィルムを用いた柔軟発電デバイスの応用に関する研究, 田中義和, 松村啓太郎, 道中良和, 陸田秀実, 第 23 回「電磁力関連ダイナミクス」シンポジウム, 名古屋, 2011.5.18
6. 弾性圧電デバイスを用いた風力エネルギー利用技術の開発, 宮城潤平, 陸田秀実, 土井康明, 田中義和, 第 21 回環境工学総合シンポジウム 2011, 東京, pp.294-295, 2011.6.30

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 5 件)

1. 名称: 移動体用発電装置  
発明者: 高尾英伸, 曾根靖博, 陸田秀実, 田中義和  
権利者: 豊田鉄工, 広島大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2013-232379  
出願年月日: H25 年 11 月 8 日  
国内外の別: 国内
2. 名称: 発電素子, 発電デバイス, 発電ユニット及び発電素子の設置方法  
発明者: 改森信吾, 菅原 潤, 陸田秀実, 田中義和  
権利者: 住友電工, 広島大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2013-85310  
出願年月日: H25 年 4 月 15 日  
国内外の別: 国内
3. 名称: 発光素子を備えた積層型発電体及びその発電装置  
発明者: 川島政彦, 福本博文, 陸田秀実, 田中義和  
権利者: 旭化成, 広島大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2012-266427  
出願年月日: H24 年 12 月 5 日  
国内外の別: 国内
4. 名称: 積層型発電係留体  
発明者: 福本博文, 川島政彦, 陸田秀実, 田

中義和，森崎健一  
権利者：旭化成，広島大学  
種類：特許  
番号：特願 2012-268636  
出願年月日：H24 年 12 月 7 日  
国内外の別：国内

5. 名称：振動発電デバイス  
発明者：田中義和，陸田秀実，道中良和，品川和毅，川原勇，三浦孝師，本條智弘，加藤隆一  
権利者：倉敷化工，広島大学  
種類：特許  
番号：特願 2011-240206  
出願年月日：H23 年 11 月 1 日  
国内外の別：国内

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
[http://naoe.hiroshima-u.ac.jp/2koza/index\\_j.html](http://naoe.hiroshima-u.ac.jp/2koza/index_j.html)  
<http://seeds.hiroshima-u.ac.jp/soran/ag34bff/a.html>  
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/mutsuda/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

陸田 秀実 (MUTSUDA, HIDEKI)  
広島大学・工学研究院・准教授  
研究者番号：80273126

### (2) 研究分担者

田中 義和 (TANAKA, YOSHIKAZU)  
広島大学・工学研究院・助教  
研究者番号：00335704  
(H24 年度まで研究分担者)