

平成 22 年 6 月 14 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760330
 研究課題名(和文) 人工筋肉によるバイオミメティクス型流力制御と波・流れエネルギー利用技術の開発
 研究課題名(英文) Abiomimetics technology of electrical energy generated from current and wave power using an artificial muscle
 研究代表者
 陸田 秀実 (MUTSUDA HIDEMI)
 広島大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：80273126

研究成果の概要(和文)：

本研究では、波力、潮力、潮汐力、風力等の自然エネルギーを高効率で回収することが可能な弾性圧電デバイスの考案・開発を行い、その基本特性を明らかにした。特に、波浪外力によってしなやかに変形し、高効率な電気エネルギー変換が見込まれる弾性圧電デバイスの開発を行い、従来型の波力発電方式とは全く異なるタイプの波エネルギー利用技術の確立を行った。また、現在開発が進められている洋上風力発電システムの浮体部および水面下に、この弾性圧電デバイスを適用し、海洋エネルギーを効率的に利用可能な技術開発を行った。特に、波・流れ作用下における弾性圧電デバイスのさらなる汎用化、実用化、低コスト化に向けて、デバイスの構造様式やサイズ・形状を種々変化させ、発電性能を検証した。加えて、波・流れエネルギーに適合したデバイス開発の設計指針を得た。さらに、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、上述の弾性圧電デバイスを貼り合わせた全く新しいタイプの波浪発電方式を提案・開発し、その発電性能を検証した。

研究成果の概要(英文)：

We have developed a way of harvesting electrical energy from the ocean power, e.g. tide, current, wave, breaking wave and vortex, using a flexible piezoelectric device consisting of piezo-electric polymer film (PVDF), silicon and natural rubber. The flexible piezoelectric device (FPED) is a hydro-electric ocean energy converter designed to convert renewable energy harnessed from ocean energy into usable electricity. The basic concept generating electric power using FPED is to utilize fluid structure interaction, e.g. fluttering, flapping and periodic bending, caused by ocean energy. The FPED deformed by kinetic energy of the ocean power stores elastic energy and also converts it to the electric energy. We carried out some experiments using wave tank and the water tunnel with a bluff body. We have confirmed the electricity generated by wave, current and vortex using the FPED.

The developed FPED could be a new technology of harvesting electrical energy from the ocean power. A floating platform attached FPED could be coupled with an offshore wind turbine as a hybrid energy system in ocean space.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：自然エネルギー，計算力学，海洋環境，大気環境

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：自然エネルギー，海洋エネルギー，圧電素子

1. 研究開始当初の背景

平地が狭小で海岸線が長く、かつ、排他的経済水域(EEZ)が世界第6位(陸域の12倍)である我が国において、再生可能エネルギーの利用割合を大幅に引き上げるためには、気象・海象・地形特性を踏まえた着床式・浮体式の洋上風力発電システムの研究・開発が必要であり、国内外で導入が本格化しつつある(例えば、NREL(2007), Global Wind Energy Council(2009), NEDO 報告書(2008))。現在、日本の気象・海象条件に耐え得る浮体構造として、セミサブ型、スパー型、ハイブリッド型、ボックスガーダー型、曳航着座型などの洋上風力発電システムに関する基礎研究・実証試験が進められている。

しかしながら、洋上風力による発電量が期待できる海域は年間を通じて安定した風が吹くもの、自ずと風浪が発達する海域であり、また、有義波高やうねりが高い海域であることが多い。これら海洋エネルギーは無尽蔵かつ膨大であるものの、洋上風力発電システムの建造・維持・管理の点からすれば、耐外力性能を向上させる必要があり、自ずとコスト増につながってしまうというジレンマを抱えている。

2. 研究の目的

本研究では、洋上風力発電システムの発電性能・安全性・耐外力性能を維持しつつ、浮体部において海洋エネルギー(潮流・潮汐・波浪・碎波・渦など)を回収することが可能な洋上ハイブリッド型発電システムの浮体構造様式の開発を進める。その要素技術の一つとして、波・流れ等の流体エネルギーを、運動エネルギーに変換し、電気エネルギーを生み出す柔軟発電体(以下、弾性圧電デバイス FPED(Flexible Piezoelectric Device)と称す)を開発し、その蓄電化システムを構築する。また、既設の海岸・海洋構造物を有効利用した波浪発電装置の開発も進める。次いで、複合材料としての特徴を生かせば、海象・設置・発電条件に合わせたカスタマイズが容易であるという特徴を有しているため、種々の改良案・最適化を行う。さらに、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、上述の弾性圧電デバイスを貼り合わせた全く新しいタイプの波浪発電方式を提案・開発し、その発電性能についても検証する。

3. 研究の方法

著者らは、波力発電・潮流発電・海流発電といった特定の海洋エネルギーに特化した従来型発電方式とは異なり、全ての海洋エネルギーを利用可能とする薄型積層タイプの弾性圧電デバイス FPED (Flexible Piezoelectric Device) の考案・開発を行った(図-1 参照)。このデバイスの発電原理は、種々の海洋エネルギーによって曲げ・圧縮・引張・せん断の応力が加わると、高分子圧電フィルム PVDF (polyvinylidene fluoride) に電界(分極・電荷)が生じるというものであり、一種の圧電効果を利用した発電体と位置付けられる。この構造様式を用いれば、このデバイスのひずみ速度に比例した発電性能が得られることが期待される。したがって、静荷重ではなく動荷重に対して有効に働くため、非定常・無尽蔵な海洋エネルギーには非常に適していると言える。その他、超軽量、低コスト、柔軟な機械的運動特性、軽量素材との接合性、そして、どのような形にも加工可能(カスタマイズが容易)という特徴を有している。

Size : H25mm × W200mm × D5mm

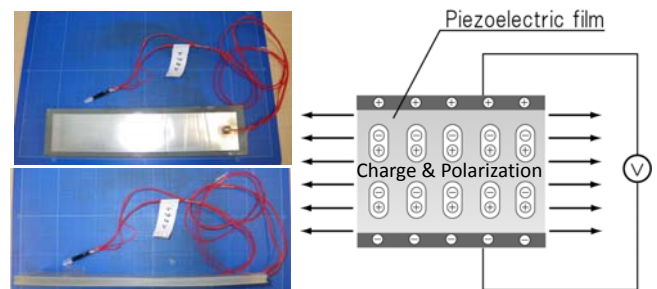


図-1 製作した弾性圧電デバイスと分極の様子

この弾性圧電デバイスの基本構造は、図-2 に示す通りである。2対の PVDF (厚さ $100\ \mu\text{m}$) と弾性体(例えば、厚さ 5mm 程度のシリコンや天然ゴムなど)を積層させた構造様式となっている。これら PVDF と弾性素材は圧着され、弾性素材に外力が加わると、弾性素材にかかる応力が PVDF に伝わり、圧電効果によって、電気配線に電流が流れるという仕組みである。ここで、 δ は PVDF 間距離であり、中心軸からの偏心距離に相当する重要なパラメータである。本研究では、PVDF 間距離 δ による比較検証を行うために、図-3 に示すような、PVDF を1枚組み込んだ Single Core Type, 2枚組み込んだ Dual Core Type, 4枚組み込んだ Quad Core type を試作した。

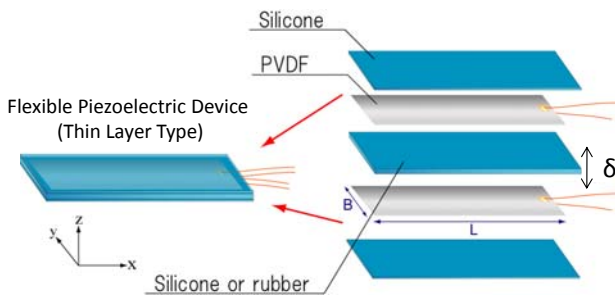


図-2 弾性圧電デバイスの基本構造

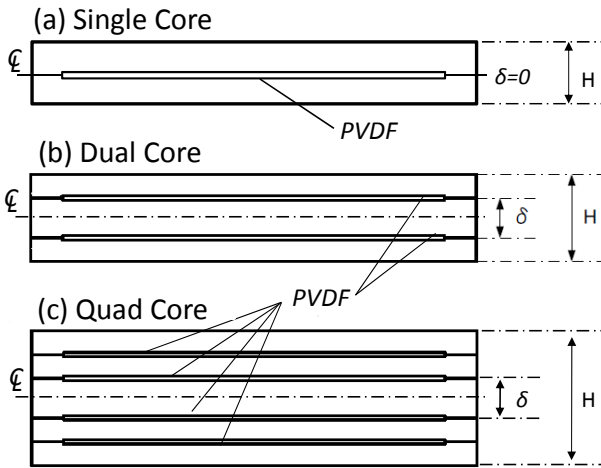
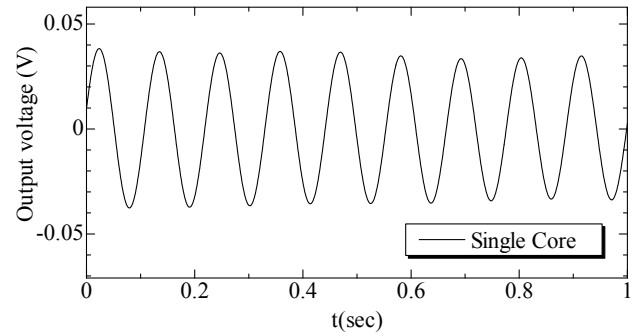


図-3 積層数の異なる弾性圧電デバイス

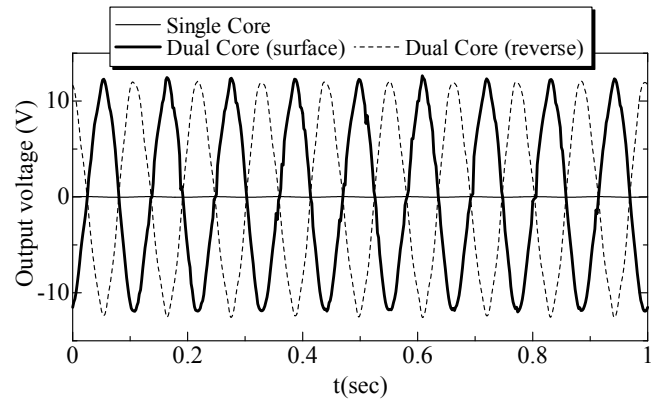
4. 研究成果

4. 1 発電の基本特性と回路設計

図-4 に示すように、1 枚の圧電フィルム (Single Core type, PVDF 間距離 δ が無い場合に相当) で FPED を製作し、起電力を調べると、Dual Core Type のそれに比べて 200 分の 1 以下の起電力しか得られないことが分かる。つまり、デバイスの中心軸から PVDF を偏心させる (フィルム間距離 δ を大きくする) ことで、曲げ変形に関わる大きなせん断応力を電気エネルギーに変換することが可能になる。図-5 は 2 枚の PVDF を組み込んだ場合のデバイスの電荷状態と回路設計の概念図を示す。このように、複数の PVDF を組み合わせた並列回路を構築することで、より大きな起電力を生み出すことができる。

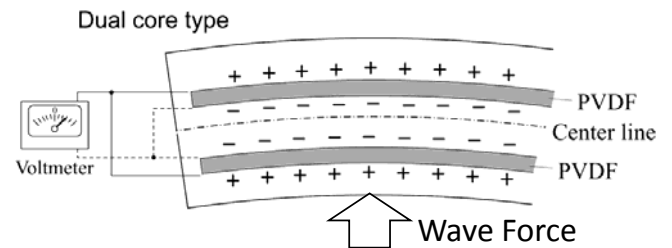


(a) Single Core type

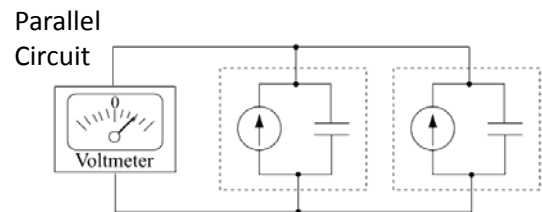


(b) Dual Core type

図-4 Single Core と Dual Core type による起電力の比較



(a) 電荷状態



(b) 回路設計

図-5 波浪エネルギーによって曲げ変形が生じた場合の弾性圧電デバイス FPED の電荷状態と回路設計

4. 2 波浪エネルギー利用への適用

図-6 は、波浪外力が作用した時の弾性圧電デバイスの変形の様子を示したものである。これらは波周期 T_w に対して $t/T_w=0.5$ および 1.0 に相当する時刻のものである。また、Top は弾性圧電デバイス FPED 内部に組み込まれた PVDF の上端位置を示している。いずれのケースも波周期に応じて、波上・波下側に往復運動しているが、弾性圧電デバイスの変形具合や形状は、PVDF 長 l によって大きく異なることが分かる。具体的には、 $l/L=1.0$ や 0.75 の場合、弾性圧電デバイスは上端から下端までほぼ一定の変形曲率を保持したまま、往復振動している。その一方で、 $l/L=0.25$ や 0.5 の場合、PVDF 上端位置 (Top) において、変形曲率は大きいものの、それより下方では、ほとんど変形していないことが分かる。特に、 $l/L=0.25$ の場合、弾性圧電デバイスは常に波下側に傾き、上端部がフラッターングした状態となっている。このような PVDF 長 l とデバイス変形の様子が、起電力量に与える影響を調べたものが図-7 である。

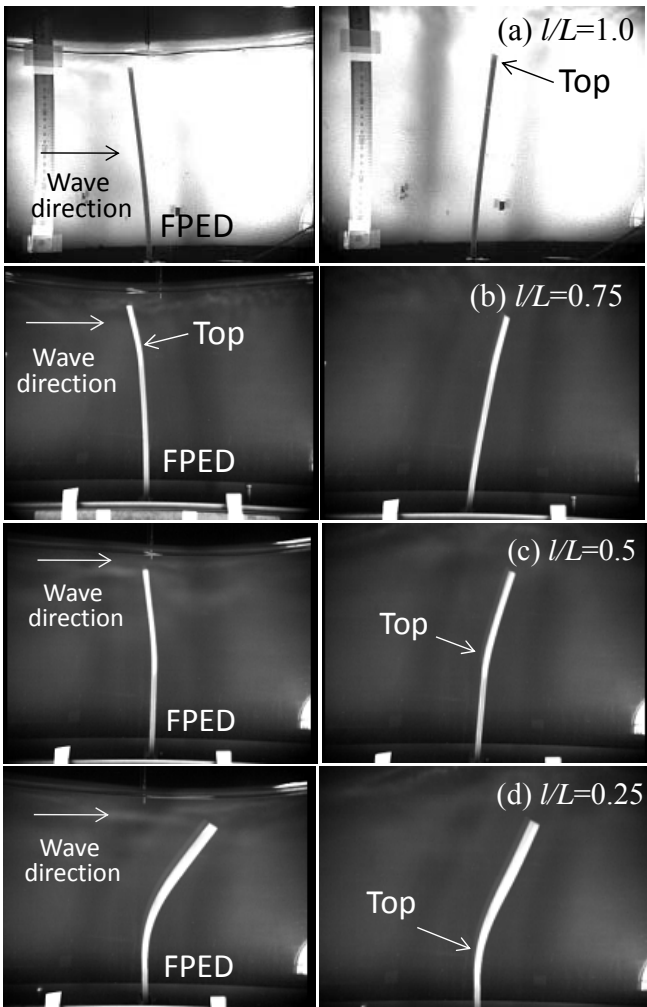


図-6 波浪外力による弾性圧電デバイスの変形の様子 (Top は FPED 内部に組み込まれた PVDF の上端位置を示す、左図: $t/T_w=0.5$, 右図: $t/T_w=1.0$)

$l/L=1.0$ と 0.75 の場合、入射波高が大きくなるにつれて、発電量は波高の 2 乗にほぼ比例して増大していることが分かる。その一方で、 $l/L=0.25$ と 0.50 の場合、顕著な発電量はほとんど見込めないことが分かる。以上のことから、少なくとも弾性圧電デバイスに組み込む PVDF 長は $l/L=0.75$ 以上必要であることが明らかとなった。

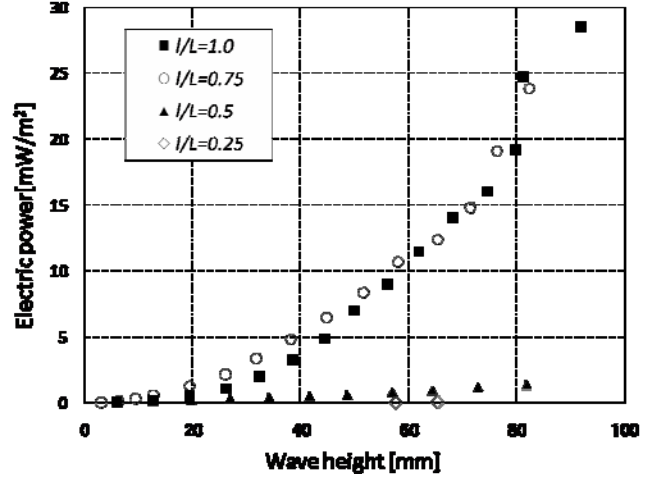


図-7 PVDF 長の違いによる波高と発電量の関係

4. 3 流れエネルギー利用への適用

本実験は、広島大学所有の回流水槽 (計測部寸法の長さ 4.0m, 幅 1.4m, 水深 1.0m) を用いる。水槽中央付近に、弾性圧電デバイス (PVDF 間距離 $\delta=5\text{mm}$, デバイス長 $=33\text{cm}$, 幅 $=10\text{cm}$) を水平に設置し、一様流れを作用させ、流速と起電力の関係を調べた。一様流れの条件は、流速 $0.16\sim 0.80\text{m/sec}$ (5 通り)、流入角度 $\theta=0\sim 180^\circ$ (5 通り) とした。ここで、流入角度 $\theta=0^\circ$ は流れに並行に設置した場合 (下流方向)、流入角度 $\theta=90^\circ$ は流れに直角に設置した場合に相当する。また、渦励起によるデバイスの振動促進を図る目的で、デバイス先端に Bluff body (一辺が 10cm の立方体) を付加した場合も実験した。

図-8 は、流れエネルギーによって得られた弾性圧電デバイスの起電力の時系列変化を示しており、Bluff body の有無による比較である。図より、両者ともデバイスの上下振動によってランダムな起電力が得られている。特に、Bluff body 有りの場合に、渦励起による圧力差からデバイスの弾性変形が促進され、無の場合のそれよりも大きな起電力が発生することが分かる。このことを詳しく調べるため、流速ごとの発電量の比較 (流入角度 $\theta=45^\circ$ の場合) を行った (図-9)。図より、Bluff Body の有無に関わらず、流速が大きいと発電量は急増することが分かる。また、Bluff Body 有

りの場合の発電量は、無の場合のそれよりも高速域で顕著な差となって現れ、最大で約3倍近くの発電性能の増加が見込めることが分かる。また、図-10は流入角度に対する発電性能の比較(Bluff body 有の場合)を行ったものである。図より、流入角 $\theta=45^\circ$ において最も発電量が見込めることが分かる。その値は、通常の設定状態(Bluff Body 無しで流入角 $\theta=0^\circ$ の場合)に比べて、約20倍の発電量であった。

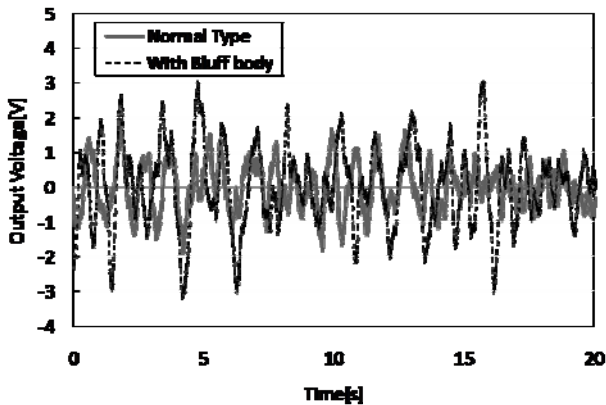


図-8 流れエネルギーによって得られた起電力の時系列

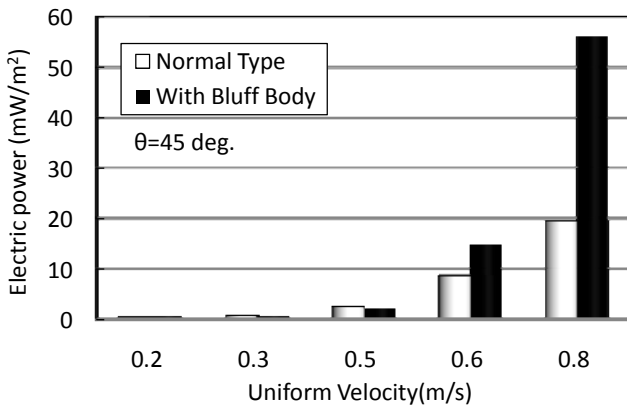


図-9 Bluff Bodyの有無による発電量の比較 (流入角度 $\theta=45^\circ$ の場合)

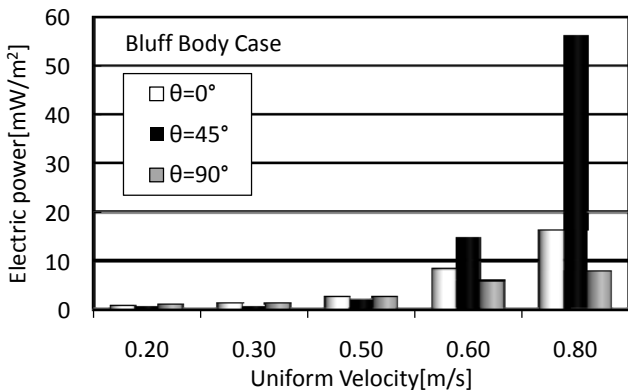


図-10 流入角の違いによる発電量の比較 (Bluff Body 有りの場合)

4. 4 まとめ

本研究では、様々な海洋エネルギー(潮流・潮汐・波浪・碎波・渦など)を利用することが可能な新しいタイプの発電装置を開発した。また、著者らが独自開発している発電体(弾性圧電デバイス PVDF)の積層構造や材料、さらには、PVDF寸法と、その発電性能を検証した。その結果、より効率的に波エネルギー発電を行うには、デバイス寸法を $L/\lambda=0.32$, $B/\lambda=0.09$, $\delta/\lambda=0.005$, PVDF長 $l/L=0.75$ 以上とすると良い。また、流れエネルギーに発電を行う場合、Bluff bodyを付加し、流入角度 45° とすれば約20倍の発電性能が期待できることが分かった。

また、既設の海岸・海洋構造物を有効活用し、低コスト・低負荷型の新たな波浪発電装置を開発することを目的として、シートタイプとニットタイプの弾性圧電デバイスを開発した。本デバイスを各種構造物(防波堤・潜堤(リーフ)・没水平板など)に貼り合わせれば、静穏時の規則的な波エネルギーのみならず、碎波によるジェット水塊や渦運動によって発生した流れエネルギーも、電気エネルギーへと変換可能であることが分かった。

さらに、本研究で開発したPTV画像解析法および数値計算手法(CFD)は、本発電デバイスの開発支援ツールと成り得ることを示した。

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8件)

①A Technology of Electrical Energy Generated from Ocean Power Using Flexible Piezoelectric Device, Hidemi MUTSUDA, Kenta KAWAKAMI, Takayuki KUROKAWA, Yasuaki DOI, Yoshikazu TANAKA, Proceedings of the ASME 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2010-20103, CD-ROM, 掲載決定, 2010, 査読有

②Study on flexible power generation device using piezoelectric film, Tanaka, Y., K. Matsumura, N. Inoue and Hidemi MUTSUDA, Proc. of the 16th International Conference on Electrical Engineering, 掲載決定, Busan, 2010, 査読有

③弾性圧電デバイスを用いた波エネルギー利用技術の開発, 陸田秀実, 川上健太, 黒川剛幸, 土井康明, 田中義和, 土木学会論文集, B2, Vol.65, No.1, pp.1296-1300, 2009, 査読有

④Lagrange粒子付Euler型スキームによる流体構造連成解析法の適用性, 陸田秀実, 栗原健浩, 黒川剛幸, 川上健太, 土井康明, 土木学会論文集, B2, Vol.65, No.1, pp.51-55, 2009, 査読有

⑤粒子法による流力弾塑性解析法の開発と衝撃圧問題への適用, 陸田秀実, 湯藤康治, 土井康明, 土木学会論文集, B2, Vol.65, No.1, B2-65, pp.36-40, 2009, 査読有

⑥ Numerical Study on Interaction between Violent Wave and Structure using SPH, Hidemi Mutsuda, Yu SHIMIZU and Yasuaki Doi, Particle-Based Methods, -Fundamentals and Applications, PARTICLES 2009, ECCOMAS(European Community in Computational Methods in Applied Science), Edited by E.Onate and D.R.J.Owen, pp.266-269, Barcelona, ISBN:978-84-96736-82-5, 2009, 査読有

⑦Numerical Simulation of Dynamic Response of Structure Caused By Wave Impact Pressure Using an Eulerian Scheme with Lagrangian Particles, Hidemi Mutsuda and Yasuaki Doi, Proceedings of the ASME 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2009-79736, CD-ROM, Hawaii, 2009, 査読有

⑧SPH法による流力弾性解析法と水面衝撃圧問題への適用, 陸田秀実・清水 雄・土井康明, 土木学会論文集, B編, Vol.65, No.2, pp.70-80, 2009, 査読有

[学会発表] (計8件)

①弾性圧電デバイスを用いた海洋エネルギー発電技術に関する研究, 川上健太, 陸田秀実, 平田真登, 土井康明, 田中義和, 第20回環境工学総合シンポジウム講演会, 印刷中, 2010.6.27-28, パシフィコ横浜

②垂下式弾性浮体ユニット型海洋エネルギー発電のためのデバイス開発, 平田真登, 川上健太, 陸田秀実, 田中義和, 柳原大輔, 第22回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演会, pp.206-207, 2010.5.19-21, 門司港ホテル

③柔軟発電体の振動特性について, 田中義和・松村啓太郎・井上直子・陸田秀実, 第22回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演会, pp.200-205, 2010.5.19-21, 門司港ホテル

④圧電フィルムを用いた柔軟発電体の試作と基礎実験, 田中義和・井上直子・松村啓太郎, 陸田秀実, 第18回MAGDAコンファレンス in 東京, 日本AEM学会主催, 2009.11.19-20, 東京都市大学

⑤弾性圧電デバイスを用いた海洋エネルギー利用技術の開発, 陸田秀実, 川上健太, 平田真登, 土井康明, 田中義和, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, pp.97-98, 2009.11.19-20, ホテルベルディ熊本

⑥弾性圧電デバイスを用いた流力振動発電技術, 川上健太, 陸田秀実, 黒川剛幸, 第19回環境工学総合シンポジウム講演会, pp.374-377, 2009.7.9-11, 沖縄

⑦弾性圧電デバイスを用いた流れエネルギー利用技術, 川上健太, 陸田秀実, 田中義和, 松村啓太郎, 第21回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演会 in 長野, pp.641-646, 2009.5.20-22, 長野

⑧圧電フィルムを利用した柔軟発電デバイスに関する基礎研究, 松村啓太郎, 田中義和, 陸田秀実, 川上健太, 新宅英司, 第21回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演会 in 長野, pp.635-640, 2009.5.20-22, 長野

○出願状況 (計1件)

名称: 海洋エネルギー発電デバイス及びこれらを用いた蓄電装置

発明者: 陸田秀実・田中義和・川上健太・松村啓太郎

権利者: 国立大学法人広島大学

種類:

番号: 特願2009-265726

出願年月日: 平成21年11月20日

国内外の別: 国内

[その他]

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/mutsuda/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

陸田 秀実 (MUTSUDA HIDEMI)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 80273126

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: