

## ドルフィン係留された浮体式誘電エラストマー波浪発電装置の発電性能に関する実験的研究

## A Experimental Study on Electrical Generation Characteristics of a Mooring dolphin Floating Type Wave Energy Converter Dielectric Elastomer

○村田一城<sup>1</sup>, 増田光一<sup>2</sup>, 居駒知樹<sup>2</sup>, 千葉正毅<sup>3</sup>, 和氣美紀夫<sup>4</sup>\*Kazuki MURATA<sup>1</sup>, Koichi MASUDA<sup>2</sup>, Tomoki IKOMA<sup>2</sup>, Seiki CHIBA<sup>3</sup>, Mikio WAKI<sup>4</sup>

Abstract: This paper studies significant characteristics of the floating type wave energy convertor using the dielectric elastomer. In order to verify the performance of dielectric elastomer generation in vertical direction, a model experiment in a water channel with a wave maker was carried out. The dielectric elastomer generator attached on the top of a floating body was moored by four piles like the dolphin. The performance of power in regular waves is verified. The experimental results show the generating efficiency is improved in the short-period incident wave with non-dimensional wavenumbers. It is also found out that 0.7 s of the period of the incident wave can achieve 50% of the generating efficiency. Therefore the availability of the generating device with dielectric elastomer is proven.

## 1. 緒言

従来の波浪発電の発電方法では、波エネルギーを発電用のタービンを回すために、複数のエネルギー変換の過程が必要である。Pelrine や Chiba ら<sup>1)</sup>が開発した誘電エラストマーを用いた波浪発電装置は、波のエネルギーで誘電エラストマーの膜を変形させることで直接電気エネルギーを取り出すことができる<sup>2,3)</sup>。また、Masuda ら<sup>4)</sup>は小型発電ブイに誘電エラストマーを用いて実海域実験を行い発電効率の評価を行った。この実海域実験では、誘電エラストマーを搭載した小型ブイの波に対する出力サイクルが明確になった反面、発電に大きく影響していたものが小型ブイが受ける波漂流力であったことから、鉛直運動のみの誘電エラストマーの発電量を十分に評価できなかった点が確認された。以上のような、誘電エラストマーを活用した浮体式波浪発電装置の既往の研究では、波浪エネルギーに対して、どの程度の発電効率が期待されるか明確に評価できない状況であり、特に鉛直方向成分における誘電エラストマーの発電特性は現状では評価することができない。そこで本研究では、2次元水槽を用いて誘電エラストマーを搭載した浮体の鉛直方向運動のみの発電性能を検証し、ドルフィン係留浮体に搭載した誘電エラストマーの発電特性を明確にすることを目的とする。

## 2. 水槽実験概要

今回の実験で使用する装置はドルフィン係留された浮体の上部に誘電エラストマーを搭載する形をとる。模型浮体をドルフィン係留させる杭は水槽底部から設置し、浮体四方の各接続点で係留力を確保する。また、

誘電エラストマーを係留する索は浮体内部を通過して水槽底部に設置した滑車を介して水槽上部点 P にて固定する形をとり、ここで誘電エラストマーに対する膜への初期張力を加える。入射波は、斜路端部から 6.35 m の位置で計測する。下記 Figure 1 にその概要図を示す。またを Table 1 に実験模型および誘電エラストマー諸元を示し、Table 2 に波条件諸元を示す。

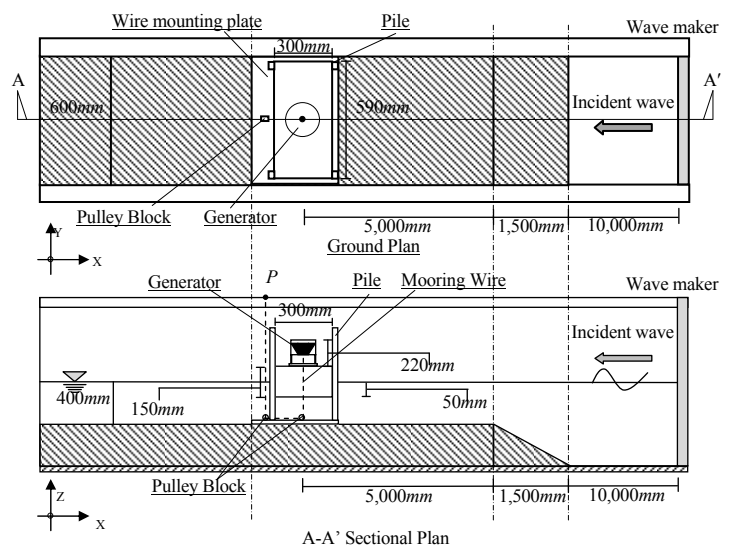


Figure 1. Experimental setup system

Table 1. 実験模型およびエラストマー諸元

浮体長さ [mm]	300.0	発電機直径 [mm]	120.0
浮体幅 [mm]	590.0	発電機高さ [mm]	150.0
浮体高さ [mm]	370.0	模型総質量 [kg]	6.325
喫水 [mm]	0.036		

1 : 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻 Graduate school of Nihon Univ. 2 : 日本大学理工学部海洋建築工学科 College of Science and Technology, Nihon Univ. 3 : 千葉科学研究所 Chiba Science Institute 4 : 有限会社 Wits Wits Inc.

**Table 2.** 波条件諸元

波高 [ m ]	波周期 [ sec ]					
0.04	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20

3. 実験解析結果

3.1 解析方法

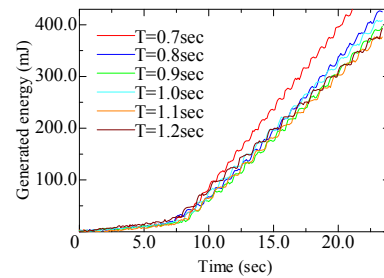
本実験では規則波中の入射波パワー $P_I$ を求め評価を行う。入射波パワー $P_I$ は水の密度 $\rho$ および入射波の振幅 $a$ 、浮体幅 $B$ 、水深 $h$ 、波数 $k$ を用いて下記の(1)式のように表すことで算出した。浮体運動変位は CCD カメラを 1 台設置し、誘電エラストマー付き浮体の重心上にターゲットを 2 か所設置したものを 2 次元解析システムにより計測する。その後浮体の各運動成分に分解し、フーリエ解析をすることで算出する。

$$P_I = \frac{\rho g^2 a^2}{8\pi} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) (\tanh kh) TB \quad (1)$$

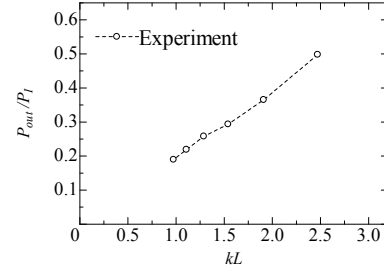
3.2 実験結果および考察

Figure 2 は誘電エラストマーによる計測時間内での実際の発電量の時系列を有次元値 (mJ) で示した。縦軸は発電量の累積を表している。横軸は実験時の実時間である。各々のカーブは入射波周期の違いを表している。入射波周期が短いほど発電量が大きくなることがわかる。これは規則波による浮体模型の単振動応答に対応して誘電エラストマーが伸縮しているためであり、1 段の上昇が入射波周期による 1 サイクルの運動に対応している。特に、入射波周期が 0.7 秒のときに、著しく発電量が大きくなる。そのため、波周期が短いほど例えば Figure 2 中の 10 秒から 20 秒までの 10 秒間における振動サイクルは多いことになる。

Figure 3 は紙面の都合上、誘電エラストマー付の浮体模型による波パワーの最終変換効率を示す。縦軸は実験から得られた発電エネルギーから単位時間当たりのエネルギーに換算した値を、入射波パワー $P_I$ で除した数値に対応する。横軸は無次元波数である。発電効率はおよそ 20%~50%の範囲で短周期になるに従って増加する傾向を示す。本実験では 0.7 秒の入射波において約 50%の変換効率を実現している。ただし、発電効率の特性は入射波周期に大きく依存する結果を示した。これは Figure 2, 3 から 1 サイクルでの発電量が同程度の場合、単位時間当たりの発電エネルギーは短周期域の方がより大きくなり、長周期域では小さく見積られるためである。本実験において発電出力が最大になるように Heave 特性が最適化されているわけではない。しかし、その条件下において発電変換効率を最大で約 50%を示した成果は大きなものであると考えられる。



**Figure 2.** Cumulative electric energy



**Figure 3.** Power generation efficiency of each incident wave power

4. 結言

本研究によってドルフィン式係留浮体に誘電エラストマーを搭載することへの適用可能性を示すことができた。下記に本研究の結論をまとめる。

- 1) 無次元波数が大きい短周期の入射波になるにしたがって、発電効率は向上する結果となった。
- 2) 本実験では 0.7 秒の入射波において約 50%の発電変換効率を実現できたことが確認できた。
- 3) ただし 2)の結果において、発電出力特性は波数依存、つまり波周期に対する依存が顕著に表れた形となった。

5. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 22360370 の助成を受けた。

6. 参考文献

[1] R. Pelrine, and S. Chiba : “Review of Artificial Muscle Approaches”, Proc. of Third International Symposium on Micromachine and Human Science, Nagoya, Japan, 1992.

[2] S. Chiba, M. Waki, R. Kornbluh, and R. Pelrine : “Innovative Power Generators for Energy Harvesting Using Electroactive Polymer Artificial Muscles“, Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) 2008, ed. Y. Bar-Cohen, Proc. SPIE. Vol. 6927, 692715 (1-9), 2008.

[3] Seiki Chiba, Mikio Waki, Roy Kornbluh, Ron Pelrine, Koichi Masuda, Tomoki Ikoma : “Innovation Electric Generators Using Electroactive Polymer Artificial Muscle(EPAM)”, EcoDesign2009 ST1-1M-3

[4] K. Masuda, T. Ikoma, K. Nakatsugawa, M. Waki, and S. Chiba : “A Real Sea Test of Wave Powered Generation Bouys Using Dielectric Elastomers, OMAE2012-84017, 2012.