

磁歪材料を用いた振動発電デバイスの波浪エネルギー利用に関する一考察

金沢大学大学院 学生会員○我妻純平 金沢大学 上野敏幸 金沢大学 正会員 斎藤武久

1. 研究の目的

波浪エネルギーは化石燃料に代わる次世代エネルギーとして我が国で先駆的にその利用に関する研究開発が進められてきた再生可能エネルギーの一つである。その利用方法に関しては、OWC(Oscillating Water Columns) に代表される、波浪エネルギーを空気流に変換しタービンを回転させる方式が代表的であり、現在欧州での実用化が進んでいる。ただし、元の波浪エネルギーを複数の変換過程を経て電気エネルギーに変換するこのシステムでは、エネルギー変換に伴うエネルギー損失が大きい、このため、エネルギー損失の少ないデバイスの開発は将来の再生可能エネルギーの効率的な利用促進への鍵であり多くの研究が行われている。特に最近では、波動運動に追従した柔軟圧電材料の変形から電力を獲得する研究が進められている¹⁾。これに関連して、著者らは柔軟圧電材料よりも格段に大きな電位差の発電を可能とする磁歪材料を用いた発電デバイスの開発に成功している。本研究ではこの発電デバイスを用いた波浪エネルギー利用を実験的に考究する。

2. 研究の内容

磁歪材料は曲げ等の変形によって磁束密度変化を誘発する材料で、本研究で用いる振動発電機は、図-1 に示すようにコイルを巻いた磁歪素子を板に連結させた平行な片持ち梁構造を基本としている。発電原理としては、磁歪材の変形に伴う磁場の変化を利用した電磁誘導であり、磁歪素子が自由振動（固有周波数は 200Hz 程度）する際に発電効率が最も高くなる。このため、梁端部へ永久磁石を装着し、磁石の脱着に伴う梁の固有振動を利用して所定の周波数振動を確保する²⁾。梁端部の磁石の脱着をいかに実現させるかが効率的な発電のポイントとなるが、本研究では、磁石の脱着に対して波浪による水面の上下変動を活用するため図-2 のような浮体（浮き）を連結した新たな梁を活用して磁石の脱着を試みた。予備実験より磁石の脱着が発生する張力はおおよそ 2.9kgf を超える場合であった。本研究では図-3 に示す造波水槽中央に水深 35cm のもとで振動発電デバイスを設置し、規則波（入射波高 $H=5.2 \sim 12.8\text{cm}$ 、周期 $T=1.5 \sim 3.0\text{s}$ ）および規則波の諸元が有義値となる不規則波を作用させて、デバイス設置位置での水位変動、浮きに作用する張力および出現電位差（200 Ω 抵抗結線時）を計測した。なお、静水状態での浮体の喫水はおおよそ 7cm（浮体直径は 24cm）であり、このとき浮体と梁を連結する係留鎖にはたわみが無いようにしている。

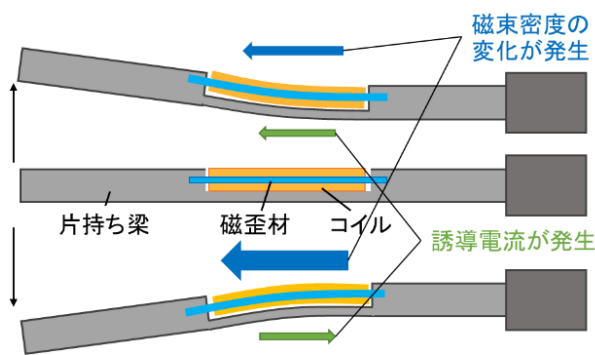


図-1 磁歪素子を連結した板およびコイルの構造

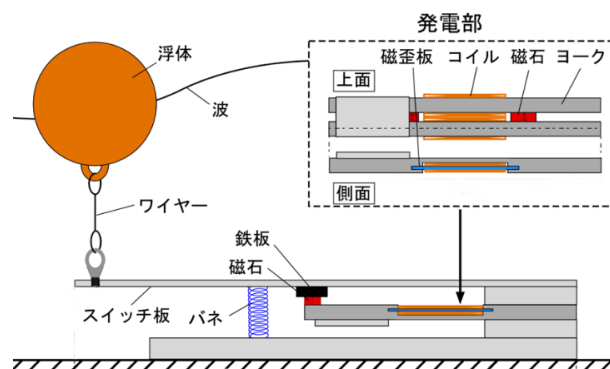


図-2 浮体を用いた振動発電デバイスの概要

3. 実験結果および考察

まず、振動発電デバイスに規則波を作用させた場合のデバイス設置位置での水位、浮きに作用する張力および出現電位差の時間変化特性を図-4 に例示（ $H=7.3\text{cm}$ 、 $T=2.0\text{s}$ ）する。図よりデバイス付近の水位の上昇に伴って浮体への浮力および鉛直方向変動波圧が増加し、係留鎖に作用する張力が 2.9kgf へ到達後、図-4 下段の拡大図に示すような周期

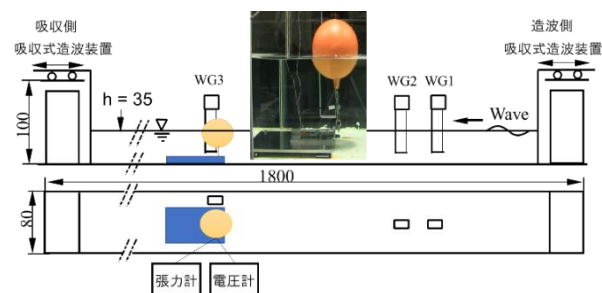


図-3 実験水槽の概要

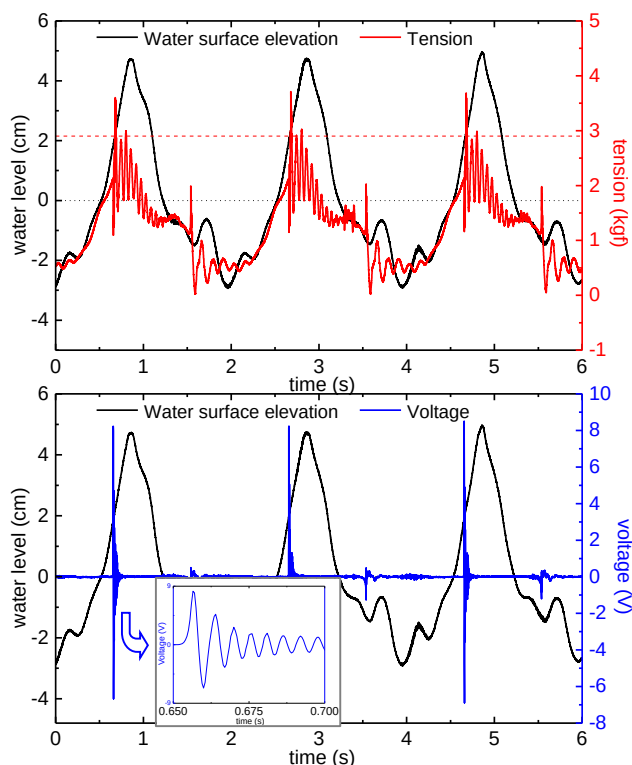


図-4 規則波を作用させた場合の発電機位置での水位、パイに作用する張力、出現電位差の関係 ($H=7.3\text{cm}, T=2.0\text{s}$)

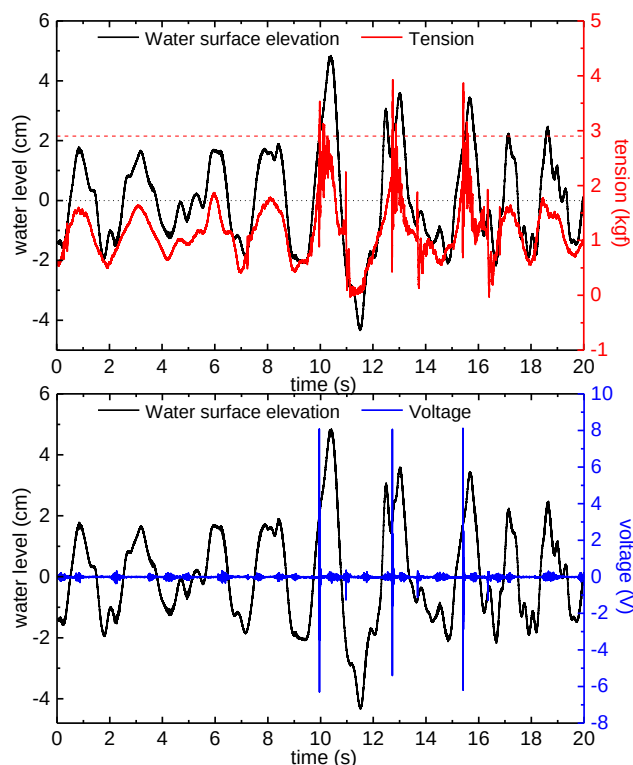


図-5 不規則波を作用させた場合の発電機位置での水位、パイに作用する張力、出現電位差の関係 ($H_{1/3}=7.3\text{cm}, T_{1/3}=2.0\text{s}$)

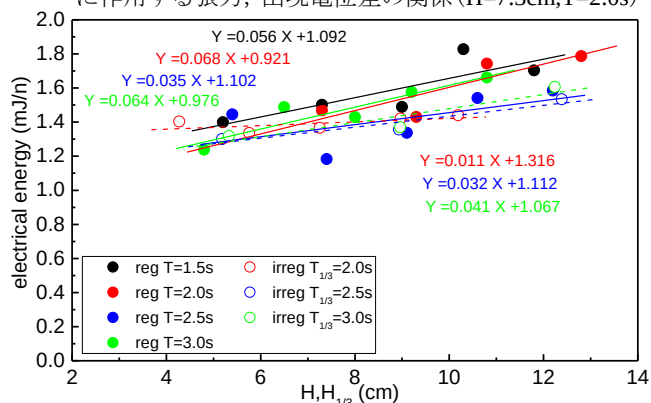


図-6 入射波高の変化に伴う一回の発電で取得できる発電容量の変化特性

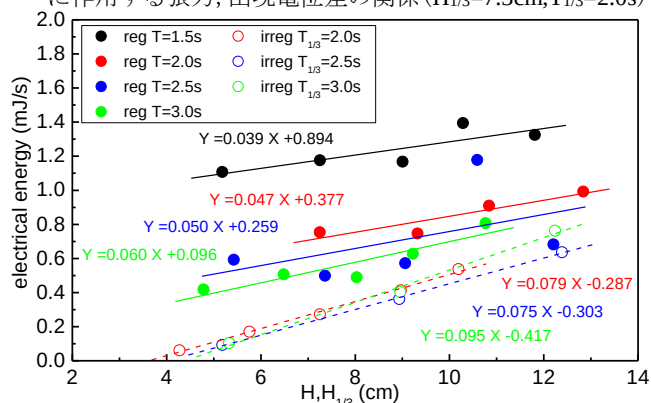


図-7 入射波高の変化に伴う単位時間当たりに発電で取得できる発電容量の変化特性

的な電圧の発生が確認された。なお、理論および数値解析から今回の実験条件の範囲では、浮体に作用する流体力としては浮力が卓越することを確認している。

次に、不規則波を作用させた場合の結果を図-5 に例示 ($H_{1/3}=5.5\text{cm}, T_{1/3}=2.0\text{s}$) する。発電デバイス付近の水位が比較的大きな場合、規則波の場合と同様に水位上昇に連動した発電が頻繁に確認されるが、不規則な浮体運動に起因することが考えられるが十分な発電に至らない場合もある。また、今回の実験で一回の発電時（例えば図-4 下段の電位差の時間変化で $t=0.65\sim 0.7\text{s}$ など）に取得できる発電容量を入射波の違いで整理した結果を図-6 に示す。図より、一回の発電時の発電容量は入射波高の増加に伴って若干の増加傾向がみられるものの周期の変化に関わらずほぼ一定となっている。一方、図-7 に単位時間当たりの発電容量特性を整理した結果を示す。対象期間における水面変動の周波数に発電回数は比例するため、短周期波ほど発電効率は高くなっている。なお、今回の実験範囲で最大の発電容量は 1.4mJ/s であった。また、入射波のエネルギーと得られた発電容量からエネルギー変換効率を検討できるが、これに関しては発表当日に検討結果の報告を行う。

参考文献

- 陸田秀実・川上健太・黒川剛幸・土井康明・田中義和：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，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 65, No. 1, pp. 1296-1300, 2009.
- 上野敏幸・河出卓也・山田外史：磁歪式振動発電の周波数アップコンバータによる広周波数帯域化，Dynamics and Design Conference 2013 講演論文集 in USB Flash Drive, 2013.