

二次元造波水槽を用いた浮体式波力発電に関する研究

日大生産工(院) ○生源寺 圭
日大生産工 鷺見浩一

1. はじめに

近年、地球温暖化などの問題や社会情勢の影響により化石燃料の価格が高騰していることから、再生可能エネルギー技術の需要が高まりつつあり、新エネルギー開発が切望されており、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギーや天然ガスや燃料電池などの新エネルギーの研究開発が進められている。波力発電は太陽光や風力発電に比べて発電効率の安定性面から大変有利である。波は風によって生じ、そのエネルギーを風の無い海域にまで運ぶことができるため、持続的なエネルギー供給が可能であり、安定した発電量が期待される。また波力発電は波エネルギーを利用して電力を生み出す方法のことで、上記に記した2つのエネルギー問題の対策案として期待されている。

本研究では、二次元造波装置に浮体式波力発電システムを設置し、発電の検証を行うこととした。ここで、波力発電について説明する。波力発電とは、物体の運動を介してそのパワーを発電機に伝えること、または波のパワーを直接発電機に伝えて発電するものをいう。これにはいくつか種類があり、装置に空気室を設け、海面が上下動をして発生する空気の振動流を用いてタービンを回し発電する振動水中型、波のエネルギーを、可動物体を介して運動エネルギーに変換し、ピストンを動かして発電する可動物体型、波を貯水池に越波させて、貯水池の落差で生じた水流でタービンを回して発電する越波型がある。

本研究では、上記で取り上げた3つの発電方法のうち、可動物体型を採用することとした。理由としては、振動水中型、越波型に比べて構造が比較的シンプルであり、メンテナンスや維持管理がしやすいこと、また施設の占有面積を広く取らずに設置できることから、漁業への影響も少なくできると考えたため、浮体式可動物体型を採用し、規則波で造波した

水理実験により検証した。

2. 実験概要

図-1に実験水槽の概要を示す。実験は二次元造波水槽(長さ 28.0m, 幅 0.7m, 深さ 1.0m)を用いて実施した。Wave Generator から約 15.6m 離れた位置に、浮体式発電装置を設置し、水深 $h=0.50\text{m}$ と一定として規則波を作用させた。表-1に作用波浪条件を示す。また、設置場所における入射波に対する各波浪条件を基に発電量を検討した。実験条件については模型量と規則波のみを使用し、原型量や不規則波は考慮しないこととする。

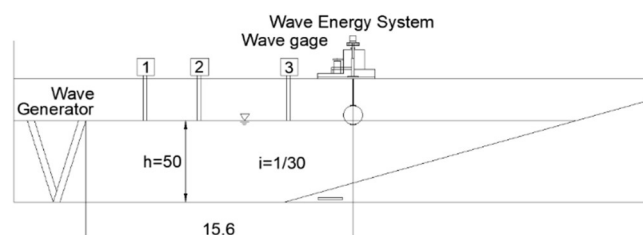


図-1. 二次元造波装置の断面図(単位:m)

表-1 波浪条件

水深	波高	周期
$h(\text{m})$	$H(\text{m})$	$T(\text{s})$
0.50	0.15	1.00
		1.50
		2.00

表-2. カウンターウェイト質量表

カウンターウェイト質量(kg)	
Case1	0.4kg
Case2	1.0kg

Study on floating wave power generation using a two-dimensional wave tank

Kei Shogenji and Hirokazu SUMI

3. 実験装置と方法

我々が考案した発電技術は、押力を利用して発電機を回転させる方式に基づき、上下運動による発電の有無および発電量の検証を行った。この技術は、サラダスピナーのメカニズムを応用している。図-2に詳細図を示す。この装置の構造は、回転運動を生成するためのスピニング機構が組み込まれており、上部のノブを押力により、内部に設置されたライフレングと呼ばれる軸が回転軸を回す仕組みとなっており、遠心力を発生させることができる。これらの原理を応用し、この回転軸の回転量を増加させるために取り付けた60Tの歯車（軸穴径φ3.0mm、幅2.0mm）を設置し、タイミングベルト400mmに改造を施し、プーリー機構を用いて発電機を駆動する方法を採用した。なお、発電機の仕様は定格荷重が24Vで小型のDCモーターを用いた。二つの球体を連結した構造を採用し、上下運動によって生じる押力を利用してライフレングから得た回転軸にギア取り付けカウンターウェイトを基盤の上部に固定した全体の構造を図-3および図-4に示す。この装置は、表-2に示された各カウンターウェイトの条件を用いて、実験においてこの2組のモデルを使用し、造波装置から発生した入射波によって連結された球体が上下運動を引き起こし、その結果、土台の上部に固定されたカウンターウェイトの落下速度によって押力がスピニング機構を介して回転軸を回転させる仕組みである。

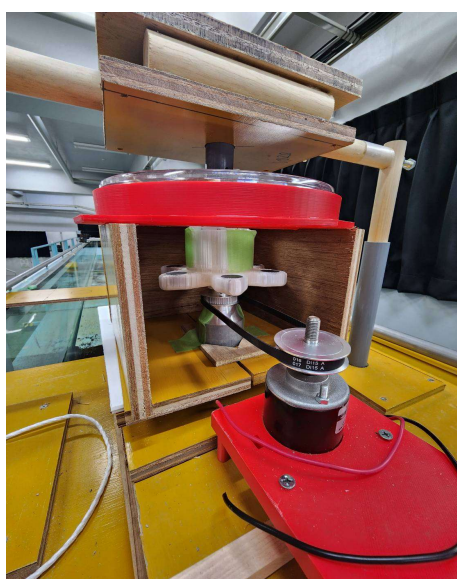


図-3 考案した浮体式波力発電

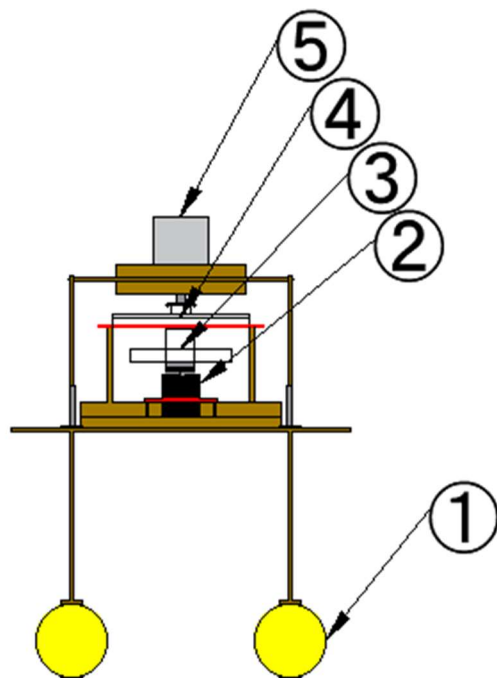


図-4. 発電機の断面図

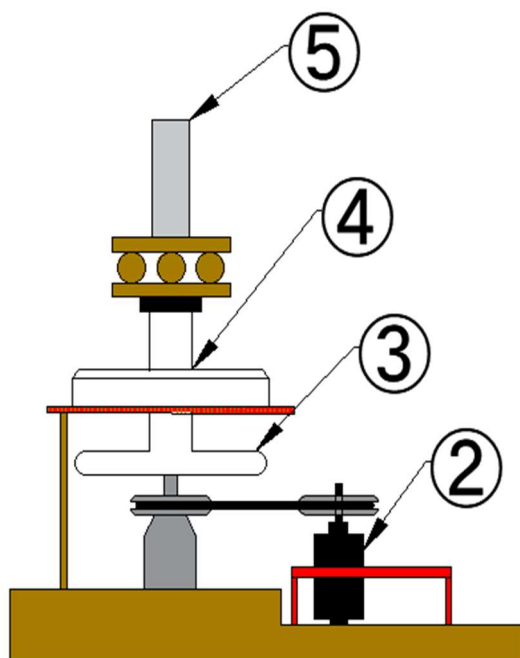


図-5. 発電機の側面図

ここで、図-4、図-5に関しての詳細を述べる。

- ① ゴム製の球体
- ② 小型DCモーター
- ③ ギア取り付けアタッチメント
- ④ サラダスピナー
- ⑤ カウンターウェイト

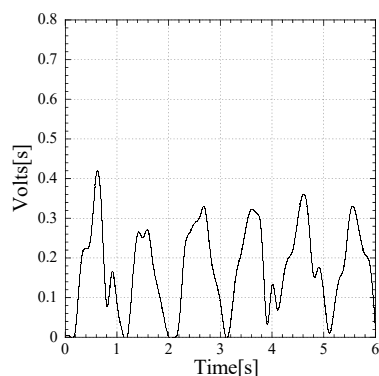


図-6. $T=1.00s$ (Case1)

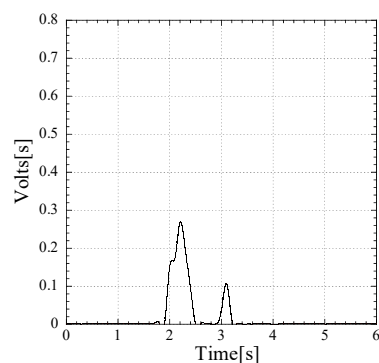


図-7. $T=1.00s$ (Case2)

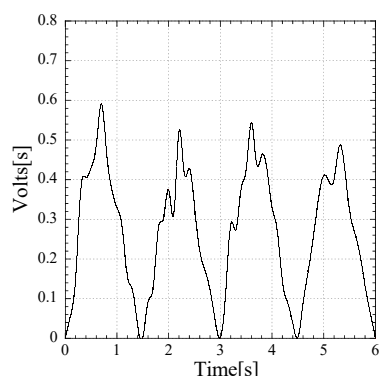


図-8. $T=1.50s$ (Case1)

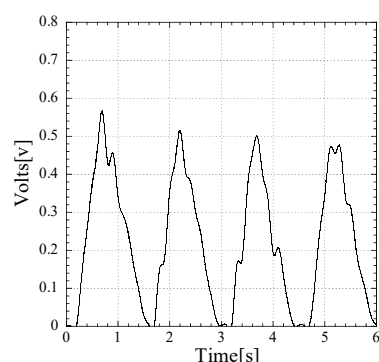


図-9. $T=1.50s$ (Case2)

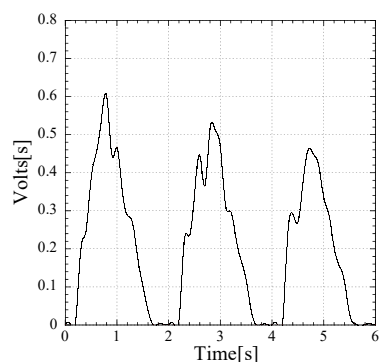


図-10. $T=2.00s$ (Case1)

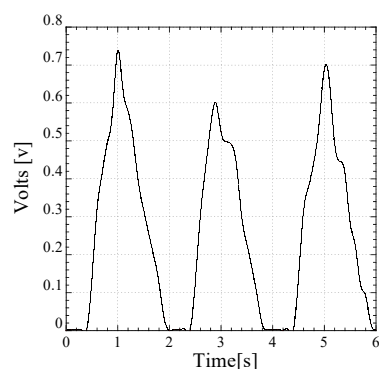


図-11. $T=2.00s$ (Case2)

4. 実験結果

本実験では、浮体式波力発電装置の発電性能を検証し、カウンターウェイトの Case1 および Case2 の条件を考慮しながら約 120 秒間、波浪作用させ発電量の検証を実施した。横軸を時間 (s) , 縦軸を電圧 (V) の関係を図-6~図-11 に示す。図-6~図-11 の実験機の稼働結果を見ると、周期が 1.0~2.0 秒の範囲において、Case1 および Case2 では電圧の持続性が欠如していることが分かった。また、周期 1.0 秒以下の場合には電圧が上昇することが確認された。当初想定したカウンターウェイトの質量が大きいと電圧が高くなるという仮説については、Case1 および Case2 の図-7 を除く結果で

は、電圧の変動に顕著な差異が見られないことが分かった。さらに、図-7 の Case2 においては、周期 1.0 秒の波浪条件下で一時的に発電の兆候が見られたが、実験結果全体のほとんどが発電が行われていないことが示されている。また、周期 2.0 秒の Case1 および Case2 では、電圧がゼロの状態が続いていることが確認された。

5. 今後の展望

本研究では、カウンターウェイトを基盤の上部に固定し、二つの球体を連結した構造を採用し、上下運動によって生じる押力を利用してライフリングから得た回転軸にギアを取り付

けたプーリー機構を用いて発電機を回転させる構築し、二次元造波水槽による発電検証を実施した。今回の発電装置は試作型発電機の実証実験を通じて、多くの課題や改善点がわかった。当初想定していた発電の持続性については、実際には持続的な発電が難しいことが判明したので、改良や設計変更の見直しを行う必要がある。今後の展望について示した。

- 1) 図-2に示されているサラダスピナーは、負荷がない状態で持続的に回転することが確認されているため、実際にはタイミングベルトの張力によって摩擦や抵抗が生じ、回転軸が不安定になることが発電の持続性に影響を与えると考えられる。その為、回転軸の不安定を最小限に抑えるために、上蓋と回転盤の間にベアリングを備えたギアを設置することで、摩擦や抵抗に起因する問題を解決できると推察される。この結果、回転速度の低下を抑制し発電の持続性やさらなる電圧の向上が期待される。

図-12,13にベアリング搭載のギアを示す。

- 2) 現在使用している球体はゴム製であり、実験を行っているため、カウンターウェイトのさまざまな条件に適應できる浮力の形状が考慮されていないことが、電圧の変動や発電の持続性に影響を与えていると考えられます。これらの問題に対する解決策として、各種条件に對應可能な浮力の形状の設計変更が必要であると考えられます。特に波高が大きい場合には、浮力の球体や上下運動にしか対応できない土台の設計に問題があり、発電が行われていない可能性もある。これは、上向きの力が発電機に変換されていないことが原因であると考えられる。改善策として、浮力の形状を水面に対して垂直ではなく傾けることで、入射波からの力を上向きに変換しさらなる上下運動の運動エネルギーが増加し、それを電気エネルギーに変換することで発電量の増加に寄与することが期待される。球体を傾斜させた土台の設計を図-14に示す。

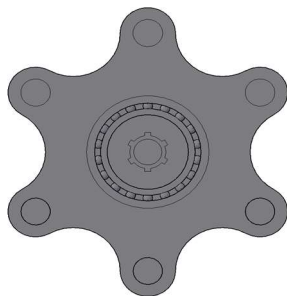


図-12 ベアリング搭載のギア 平面図

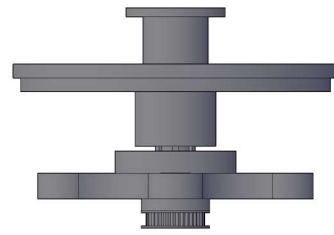


図-13 ベアリング搭載のギア 側面図

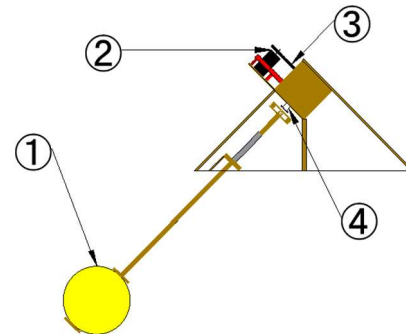


図-14 球体を傾斜させた土台の設計 側面図

6. 参考文献

- 1) 羽田野 袈裟義, 種浦 圭輔, 渡邊 誠, 中野 公彦, 斉藤 俊, 松浦 正己 浮体式波力エネルギー変換の力学, 土木学会論文集B2 (2006) p. 270-283
- 2) 重松 孝昌, 加藤 健司, 脇本 辰郎, 吉岡 真弥, 曾谷 一慶, 縦スリット式直立消波工を利用した波力発電の試み, 土木学会論文集B2(海岸工学) (2011) p. I_1231-I_1235
- 3) 大橋 弘隆, 中野 訓雄, 波力発電技術の開発, 電気設備学会誌 (2014)
- 4) 永田修一, 浮体式波力発電システム, マリンエンジニアリング (2015) p. 48-53
- 5) 永田修一, 波力発電の動向について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 (2009) p. 101-104
- 6) 居波 智也, 田中 博通, 越波式波力発電装置開発に向けた波エネルギーの変換効率に関する研究, 日本エネルギー学会大会講演要旨集 (2019) p. 138-139
- 7) 波力発電, 地理空間情報技術ミュージアム MoGIST, <https://mogist.kkc.co.jp/word/59ff786f-2e66-483a-92ad-02840a093538.html>