

# 海洋エネルギーを活用した海洋機関の実現に向けた波力発電の検証

玉川学園高等部

稲葉 爽

## 1. はじめに

本研究は、「海洋機関」と称するシステムの一部を検証することを目的とする。海洋機関とは、波力、風力、太陽光などの海洋で得られるエネルギーを利用して持続可能なエネルギー供給を目指す多機能装置のことである。

また、さまざまな環境条件に適応し、柔軟に最適化が可能な点も特長であり、将来的には新たなエネルギー源の追加も可能な設計を目指している。本研究では、この海洋機関の一部として、波力発電システムを取り上げ、そのエネルギー変換効率や機械的構成について実験的検証を行う。特に、滑車や歯車を用いた機構のエネルギー効率に着目し、実用化に向けた基礎的データを収集することを主な目標とする。

(1) 波力発電について 波力発電とは、波の運動エネルギーを利用した発電方法であり、さまざまな種類が存在する。地球規模でのエネルギー問題が深刻化する中、海洋エネルギーの活用は持続可能なエネルギー供給の一つとして注目されている。特に、波力発電は広大な海洋面積を持つ地域において、大量のエネルギーを安定的に供給できる可能性があり、再生可能エネルギーの分野で重要な位置を占めている。本研究では、これらの背景を踏まえ、振動水柱型波力発電を利用する。振動水柱型波力発電とは、発電装置内にある空気室に海水が流れ込み、海面の上下運動によって空気が押し出され、その空気が風となってタービンを回すことで発電を行う仕組みである。

(2) 風力発電について 風力発電とは、風の運動エネルギーを回転運動に変換し、その回転によって発電を行う技術である。風力タービンを利用して風を受け、ブレードが回転することで発電機が稼働する仕組みである。特に海洋環境では、広大な水面がもたらす安定した風を利用できるため、陸上に比べて効率的に風力発電を行うことが可能である。海洋風力発電は、再生可能エネルギーの一環として注目されており、他のエネルギー源と組み合わせることで安定した電力供給を目指すことが求められている。

(3) 太陽光発電について 太陽光発電は、太陽光を直接電気に変換する技術であり、半導体材料を利用した太陽電池によって発電が行われる。海洋環境では、太陽光が豊富に得られる地域が多いため、効率よくエネルギーを利用することが可能である。また、太陽光発電は静音で環境に優しい特性を持ち、波力発電や風力発電と組み合わせるこ

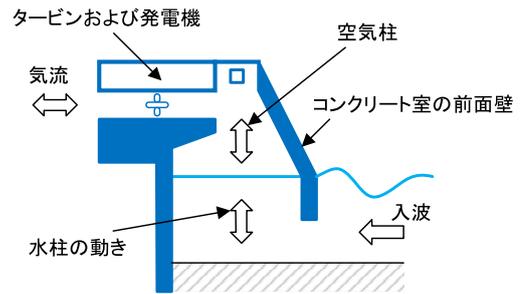


図1 波力発電装置構造(1)

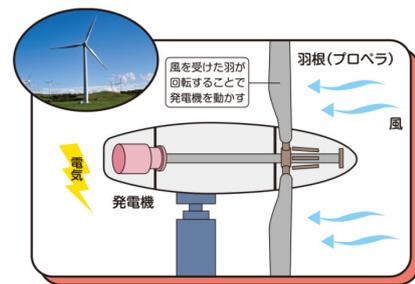


図2 風力発電装置構造(4)

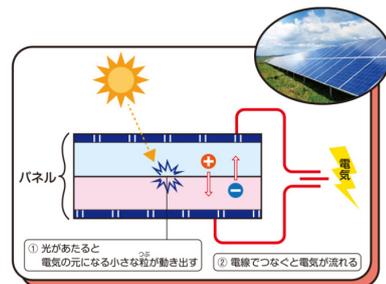


図3 太陽光発電構造(4)

とで、さまざまな気象条件下でも安定した電力供給が可能である。

(4) 先輩たちの先行研究で得た結果について 本校の先輩方の先行研究では、振動水中型波力発電装置の実験を通じて、発電効率の向上を目指した実験が行われ、実験室レベルでの装置の再現可能性を検証することが目的であった。この研究において、装置の改良を重ねた結果、最大約7mAの発電に成功し、発電装置の効果的な設計の可能性が示された。発電が成功した要因として、空気室部分の先端形状が重要であると考察されている。この発見は、波力発

電装置の設計において空気室の形状を最適化することが、発電効率の向上につながることを示している。さらに、波力発電の高効率化を目指す実験の結果、発電効率を上げるための最適な形状として、ひょうたん型のペットボトルが最も有効であることが明らかになった。この形状は、波が小さい時でも他の形状と比較して高い発電効率を持つことが示されている。

## 2. 動機及び目的：波力発電を基盤とした持続可能な技術開発の探究

（動機） 授業やメディアで滑車の仕組みに触れる中で、その機械的な特性と応用可能性に魅了されたことから本研究は始まった。特に、滑車を持つ運動の効率性と力の伝達の原理に関心を持った。そして地球温暖化やエネルギー問題に対する関心が高まる中、再生可能エネルギーの開発は非常に重要であると考えている。特に、電気エネルギーへの変換効率において、太陽光発電が10～20%であるのに対し、波力発電は30%と高い効率を誇っているのにも関わらず実用化例が少ない点に着目し波力発電を重点に実験を行った。最初は円運動の法則を用いた非電力降下装置の再現実験に取り組んだが、回転半径が大きい円運動が必要であることや、回転運動のエネルギーの減衰を実験装置で適切に制御することが課題となった。この経験を通じて、エレベーターの設計に新たな視点を取り入れる必要性を感じ、研究を重ねる中で、海洋機関という新たな研究分野に辿り着いた。

（目的） 本研究の目的は、実験室規模での装置が海洋機関の一例としていくつかの機能を検証することである。その中で、海面や海中、さらには海底に存在する浮遊物や海洋資源（例えば、深海鉱物やプラスチックごみなど）の効率的などの採集を想定し、波力を用いて一定の重さの物体を持ち上げられるかを確認することを主な目標とした。また、これと同時に発電量も測定し、仕事と電気エネルギーの生成を同時に行うことを目指した。具体的には、装置が動く際の電流や圧力を測定し、これらのデータを基に装置の現状を把握する。これにより、装置の性能を理解し、海洋機関としてどのように活用できるかについて多角的な検証を行う。また、以前行った円運動を利用した非電力降下装置の再現実験で得られた知見も活かしながら、新たな応用可能性を模索していく。

## 3. 実験構成

クロスフロー型の風車、歯車：歯数24個、3Dプリンターで作成した歯車（1つ目（小さい歯車）：歯数27個）、（2つ目（大きい歯車）：歯数31個）、ベイトリール、リールシート（リールを固定するもの）、おもり5kg（バケツに乗せるもの）、おもり1g～22g（持ち上げる用）、ひょうたん型のペットボトル、30Lのゴミ箱、電流計。

作成した歯車はCAD (fusion) を使って3Dデータを作り、3Dプリンターで出力して作成した。

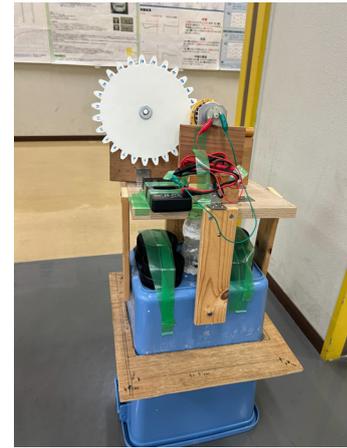


図4 実験装置構造

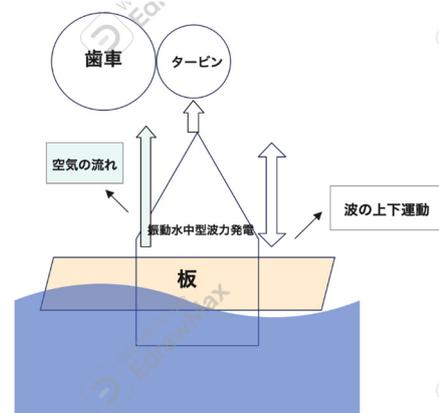


図5 実験装置構造の仕組み

## 4. 実験内容

3種類全て同様の手順で行う

(I)歯車, (II)大きい歯車, (III)小さい歯車

実験 1-1：手動測定, 実験 1-2：おもり5kg+手動測定  
1gのおもりから順番に巻き上げ力を測定していく。

全ての実験において1つの重さに対して複数回実験を行いその平均値をとる。

## 5. 結果と考察：実験データに基づくエネルギー効率の分析

実験結果は、以下のようになった。

(I)・(II)

実験 1-1 では、滑車のサイズが小さく、歯数が24個の歯車を使用したところ、装置のリールが回転することは確認できなかった。

実験 1-2 では、滑車のサイズを大きくし、歯数が27個の歯車を使用して同様の実験を行ったが、こちらでもリールは回転しなかった。この結果から、滑車のサイズ変更により装置の動作に対する影響が確認された。

以上の結果を踏まえ、実験 1-2 は実施しなかった。

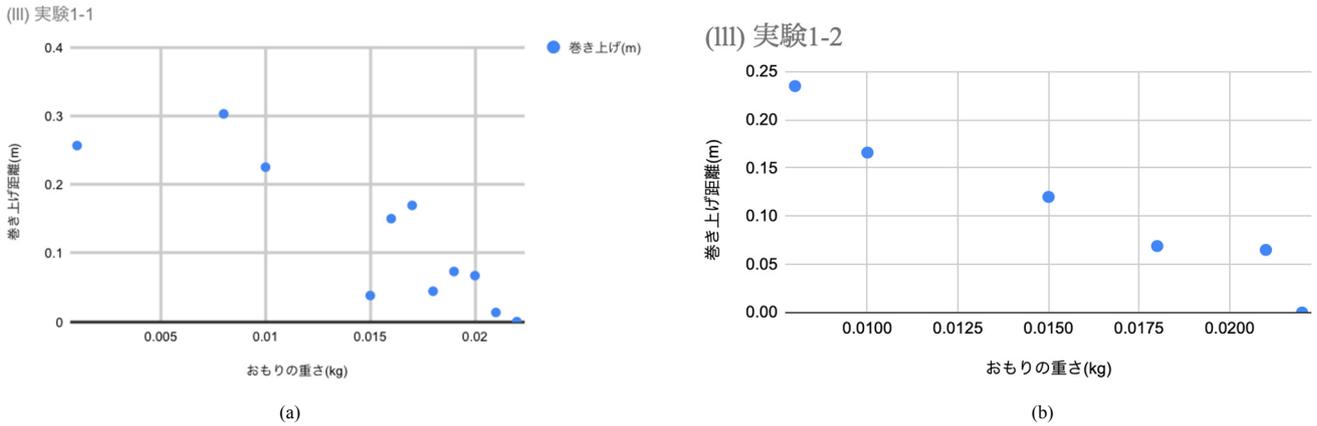


図6 おもりの重さと巻き上げた距離の関係

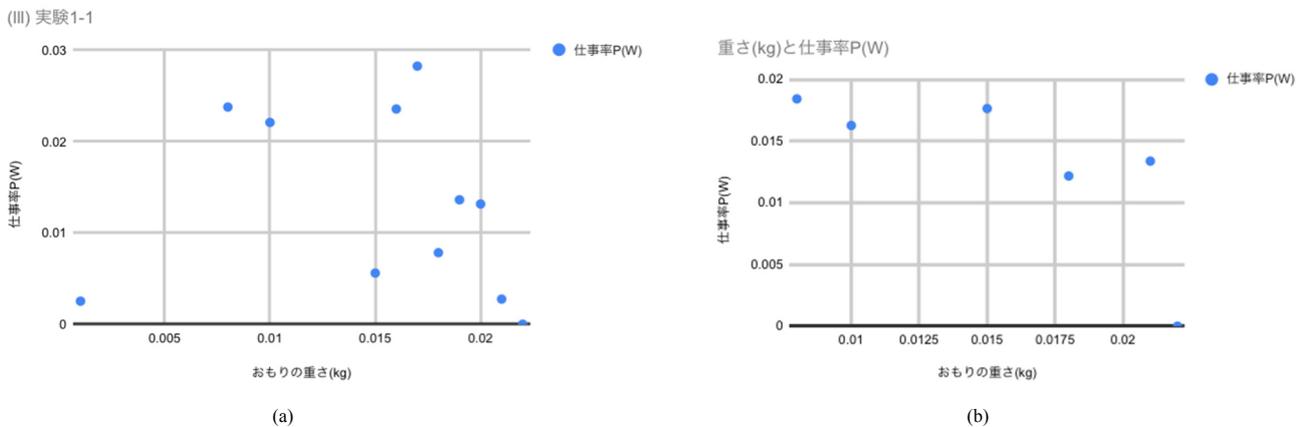


図7 おもりの重さと仕事率の関係

### (III)

〔実験 1-1〕 手で押し込んだ際、滑車が回転したが、測定において誤差が見られた。最大で 21g のおもりを持ち上げることができた。

〔実験 1-2〕 5kg のおもりを追加し手で測定した際には、滑車はスムーズに回転し、実験 1-1 に比べて結果が安定していた。最大で 21g のおもりを持ち上げることができた。

以下のグラフは(III)の実験 1-1 と 1-2 について示している。

図 6 では、重さが増加するにつれて巻き上げられる距離が変化することが確認された。一般的に、より重いおもりでは巻き上げ距離が短くなる傾向が見られた。これは、重いおもりを引き上げるためにはより大きな力が必要となり、装置の効率が低下するためであると考えられる。図 7 では、重さが増加するにつれて仕事率も上昇する傾向が確認された。これは、重いおもりを持ち上げるために必要な力が大きくなることから、システム全体のエネルギー消費が増加するためである。図 8 では、実験中の時間に伴って電流効率が一定であることが示された。これは、システムが時間の経過にかかわらず安定して動作していることを示唆しており、長時間の運用における装置の信頼性や耐久性に寄与していると考えられる。

図 9 では、圧力が一定である場合でも巻き上げた距離に

差が見られることが確認された。この結果から、圧力以外の要因（例えば、波の高さや装置のメカニズム）が巻き上げ性能に大きく影響を与えることが示唆される。図 10 では、全体的な分布が均一ではなく、特定の条件下でのみ高い効率で達成されていることが示された。この分布は、システムのパラメータ調整によって最適化される可能性があることを示している。

### (考察)

(I)・(II)：滑車のサイズがシステムの動作に大きく影響を与えたと考えられる。実験(I)では滑車のサイズが小さく、十分なトルクを伝達することができなかったため、リールが回転しなかったのだと思う。実験(II)では、滑車のサイズを大きくしたことでシステム全体の慣性モーメントが増加し、装置の回転に対して抵抗が増加したと考えられる。大きな滑車は回転を開始するためにより大きな力が必要となるため、入力エネルギーが不足しリールが回らなかったと推測される。

(II)：歯車のサイズが適切であったためトルクの伝達が効率的に行われ、滑車の回転がスムーズになったと考えられる。手動操作時の力のバラつきによる誤差が 1 回目の測定では見られたが、2 回目の測定で 5kg のおもりを追加したことで、装置全体にかかる荷重が増加し、手動操作時の力が

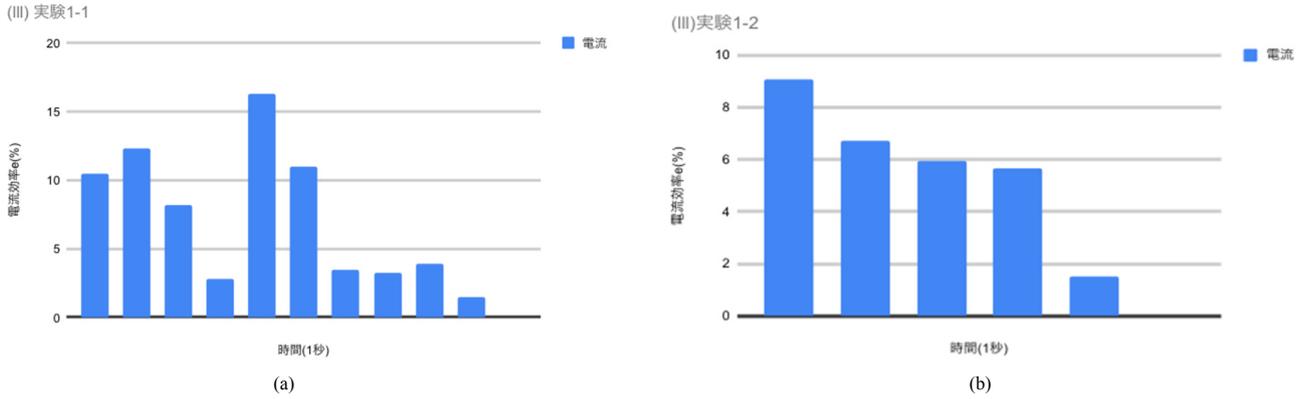


図8 時間と電流効率の関係

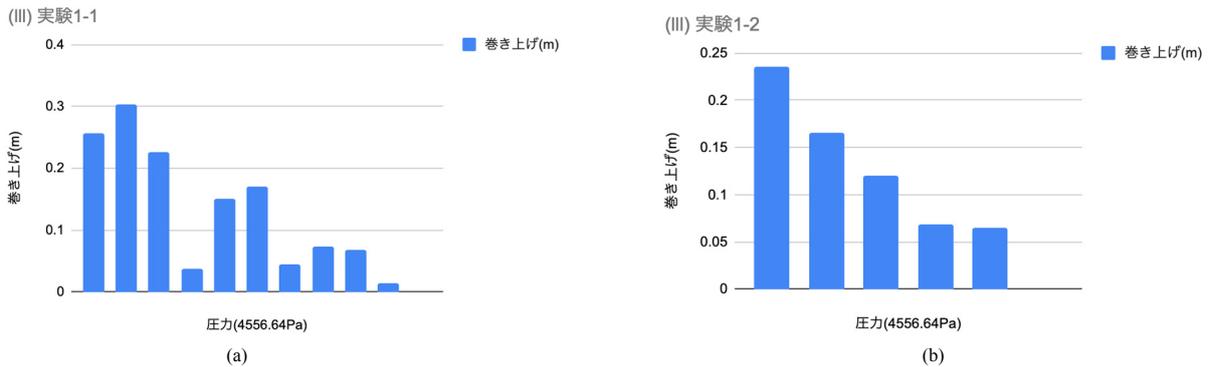


図9 圧力と巻き上げた距離の関係

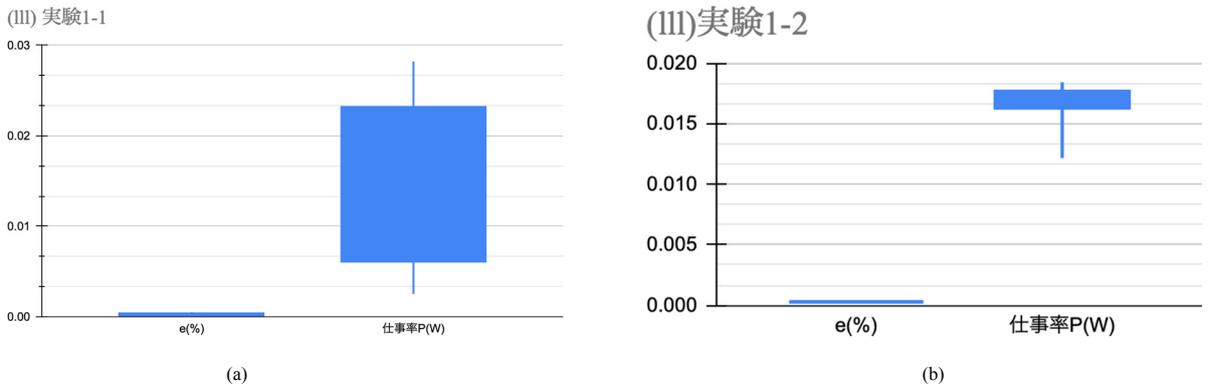


図10 発電効率および仕事率の分布

より安定して伝わったため、結果の安定性が向上した。今回の実験結果・考察から、滑車のサイズと装置の慣性モーメントのバランスが重要であることが明らかになった。したがって、装置の設計においては、滑車のサイズやシステム全体のトルク、慣性のバランスを最適化することが重要であり、効率的なエネルギー伝達を実現するための検討が必要であると考えられる。

## 6. 課題と展望：装置改良と円運動の応用によるシステム改良

(課題) 今回の実験全体における課題として、まず挙げられるのは滑車や歯車のサイズ選定の難しさである。実験の

結果からも明らかなように、滑車や歯車の大きさはトルクや慣性モーメントに直接影響を与え、装置全体の性能に大きく関わる。歯車が小さすぎるとトルク不足により十分な回転が得られず、大きすぎると慣性モーメントが増大して回転が困難になるという問題が生じる。このため、最適なサイズの選定が実験の成功にとって重要ですが、それを決定するための具体的な基準や指標が不足している点が課題として明らかである。また、手動操作による力の加え方にバラつきが生じるため、実験結果の再現性と安定性に欠けるという点も問題である。特に手動測定では、操作の微妙な違いが結果に大きな影響を与えるため、より定量的で安定した測定方法を確立することが必要とされる。また、波

