

2023年度 永守財団 研究助成 研究報告書

| | |
|---------|-----------------|
| 所属機関 | 室蘭工業大学 大学院工学研究科 |
| 職位または役職 | 准教授 |
| 氏名 | 佐藤 孝洋 |

1. 研究題目

確率共振を活用する可変界磁波力発電機

2. 研究目的

再生可能エネルギーの大量導入に向け、四方を海に囲まれた日本では波力の活用が有望である。中でも波で発電機を直接揺らして発電するリニア型方式は、機械的機構が少なく堅牢である。ただしリニア型はバネ系の共振を利用するため、波の周期と共振しなければ十分な出力が得られない。そこで電磁力によって系を非線形化しその電磁力を可変界磁で調節する。これにより共振点以外でも発電可能なシステムを実現する。

3. 研究内容及び成果

<機械パラメータの設計指針の検討>

助成1年目では、「確率共振可変界磁型の波力発電機(図1)」の基本的な形を検討し、試作機を通して非線形振動の効果を検証した。その際、バネ定数と発電機に発生する電磁力が振動特性に与える関係性を明らかにしたが、発電機可動部の質量が、振動特性にどのような影響を与えるかは明らかに出来ていなかった。

そこで、助成1年目に設計した発電機モデルに対して、機械パラメータの組み合わせ(バネ定数・質量)が、特性に与える影響を数値的に検討した。具体的には、確率共振の特性を左右する「発電機のポテンシャルエネルギー」の「谷の深さ(図2)」と、可動体の質量についてのパラメータスタディを行い、振動の周波数特性がどのように変化するかを分析した。その結果から、谷の深さ・質量

と、振動のしやすさに関する傾向を、図 3 のように整理することができた。結果をまとめると下記の通りである。

- エネルギーの谷が浅すぎない方が、確率共振が発生しやすく帯域幅が拡大しやすい。
- 質量が重いほど、ピーク振幅は増えるが帯域幅が減少する

この結果から、今後発電機を設計する際に、質量をどのように決めればよいのかの指針を得た。

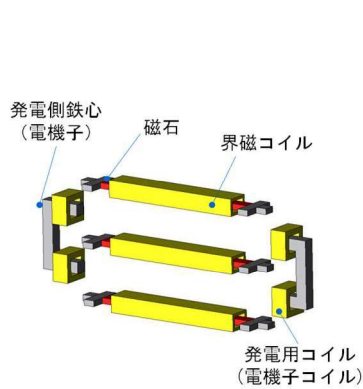


図 1 提案波力発電機

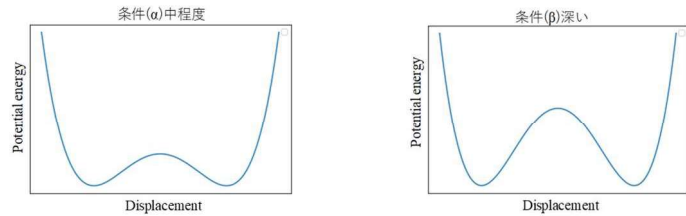


図 2 発電機のポテンシャルエネルギー

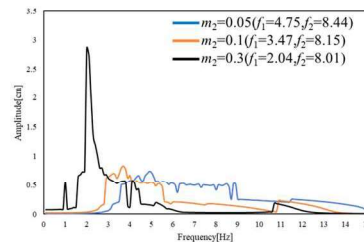


図 3 質量と振動特性の関係

<専用加振装置の制作>

波力発電機の特性を試験する際、実際の海の波に近い条件で加振することが望ましい。海の波は「高々1Hz程度・大振幅」という特徴がある。市販の加振試験用の装置は数十 Hz で微小振幅な振動を想定しており、上述のような極低周波での加振試験を行うには高価な特殊装置が必要になる。

そこで、リニアサーボモータ(厳密にはラックピニオン式)を利用した加振装置を試作した(図 4)。本装置により、周波数 1Hz 程度で、数十 cm で、最大 2Hz～最小 0.1Hz 程度の振動を発生させることができ、かつ、正弦波以外の加振も可能である。



図 4 リニアサーボを活用した専用加振装置

<改良発電機の制作>

前述の専用加振装置を得たことで、波力発電に適切な条件で加振試験が実施できるようになった(具体的には、数十 kg 以上の重量でも、数十 cm 以上で加振できるようになった)。

そこで、機械パラメータの設計指針の検討で得た知見を元に、数十 cm 以上で十分に揺れることができるよう、発電機の改良設計を行った。改良設計は、数 cm 以上の振幅を保てるように、可動範囲を調整し、前回のプロトタイプ機と比べて大型の設計とした。大型化したことで、鎖交磁束量が増え、数 Hz であっても数 V 以上の発電が可能と見込まれる。サイズの変更に伴い、電磁力とポテンシャルエネルギーの大きさが大きく変化するが、「機械パラメータの設計指針」の検討で得た知見を元に、適切なパラメータを設計した。設計した発電機を、開発済みのシミュレーション法で評価した結果、帯域幅が線形に比べて拡大することを確認した。

改良設計を実際に試作するため、治具も含めた全体設計を行い、発電機の外観を図 5 のように設計した。磁気部品(鉄心)や巻線などを特注して、必要なパーツを揃え、発電機をくみ上げた。今後は、改良発電機を、専用加振装置に設置して加振試験を行い、様々な振幅・周波数・波形の下での発電特性を、試験を通して明らかにしていく予定である。



図 5 改良発電機の外観

4. 今後の研究の見通し

本助成期間内において、非線形性を有する波力発電機の開発に必要な「シミュレーション法」「パラメータ設計指針」「専用加振装置」が揃い、発電機設計に関する様々な検討を行う基盤が完成した。今後も、改良設計を続け、広帯域で高効率な波力用発電機の設計を進めていく。

加えて、非線形性を制御するための制御則についても検討を進めていく。これまでの検討で、電磁力を増減させることで、振動しやすい条件を可変できることは示したが、海況に合わせてどのように可変するかは検討してこなかった。そこで、「電磁力を調整して非線形性を制御」し、海況に合わせて適切な動作で稼働させるための方法を明らかにしていく。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

【学術論文(査読付き)】

- Takahiro Sato, “NUMERICAL SIMULATION OF WAVE ENERGY CONVERTER BASED ON STOCHASTIC RESONANCE AND VARIABLE MAGNETIZATION”, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics. (in press)

【国際会議(査読あり)】

- Takahiro Sato, “A Coupled Analysis of Nonlinear Vibration Energy Harvester Based on Predictor-Corrector Approach”, The 27th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS 2024), Nov., 2024.

【国内会議(査読なし)】

- 小澤友希, 田畑郁弥, 佐藤孝洋, “確率共振波力発電機の設計と試験結果”, 令和 6 年電気学会全国大会, 2-121, Mar., 2024.
- 田畑郁弥, 小澤友希, 佐藤孝洋, “確率共振浮体式波力発電機におけるエネルギー構造と可動物体質量が発電特性に与える影響”, 令和 6 年電気学会全国大会, 2-122, Mar., 2024.