

偏心分銅を用いた浮体式波力発電装置の研究

Studies on Floating Wave Power Generating System with Eccentric Weight

学籍番号 07604 氏名 佐藤 遼太

指導教員 山下 健一郎

概要

近年、燃料枯渇問題や環境問題の対策として、より環境負荷の少ない発電方式が求められている。本研究では偏心分銅を用いた新しいタイプの波力発電装置を提案した。また、同システムについて動作実験を行い、その結果を基に種々な検討を行った。さらに、実際の海上において同システムを用いた実験を行い、これらの実験結果から本提案装置の有用性と改善点を明らかにした。

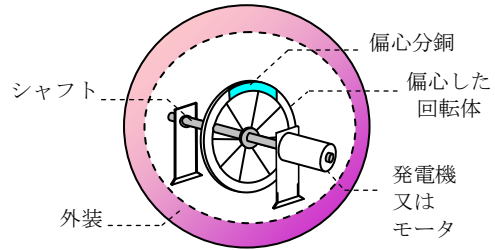


図1 提案する浮体式波力発電システム

1. はじめに

近年、地球温暖化などが問題になっていることから再生可能エネルギーが注目されている。日本は島国であり、海岸線の長さは31,709kmにもおよぶ⁽¹⁾。日本周辺海域での波力エネルギーは平均13kW/mといわれており、仮に全海岸線において波力エネルギーを電力に変えるとすれば 4×10^8 kWhにもなる⁽¹⁾。このことから波力エネルギーの利用は我が国において有用であると考えられる。波力発電の方式としては、可動物体形、振動水中形、水流形、受圧面形など⁽¹⁾多種多様なものがあるが、これらの装置は、波のエネルギーを効率よく回収できるものの、構造が複雑なため保守の面で不利となることが予想される。海上で運用する場合、これらは非常に重要な問題であり、構造が簡単で保守に優れた装置の開発が望まれている。本研究では構造が簡単でありメンテナンスが容易で、かつ堅牢な新しいタイプの波力発電装置を提案し、同装置について種々な検討を行う。

2. 提案する波力発電装置と同装置の動作原理について

波力が物体に及ぼす運動は海底、中層、海上によって異なる。海底では左右に直線運動をし、中層から海上にかけて円運動に変化する。提案する装置を図1に示す。本システムは図示するように、偏心分銅を有する回転体を持つ簡易なシステムであり、この回転体が波の円運動による向心力を受けて回転することにより発電を行うものである。まず、提案システムの動作を確認するために必要となる供試装置を製作した。同供試装置は偏心分銅を有する回転体を持つシステム本体と、これに波を模擬した円運動を与える装置とで構成されている。同供試装置を用いて提案システムの動作実験を行った結果、システム本体に円運動を与えると、本体内部の回転体が、与えられた円運動と同期することによって回転し続けることを確認できた。また、本体に与える円運動に必要な電力を測定した結果、本体内部の回転体が停止している状態よりも回転している場合のほうが大きな値となることが判明した。これはシステム本体に与えた円運動のエネルギーの一部が偏心した回転体の回転エネルギーに変換されたためと考えられる。以上より、本提案システムは波を模擬した円運動を与えることにより発電できることが明らかとなった。また、上述した動作実験に用いた偏心分銅の質量を変えて同様な実験を行った結果、質量が大きいほど円運動を与えるのに必要なエネルギーが大きくなることがわかった。このことから、偏心分銅の

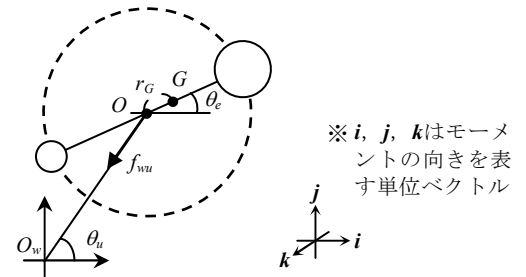


図2 システム模式図

質量が大きいほど波の円運動のエネルギーを回転エネルギーとして吸収できる可能性のあることがわかった。

3. 本システムの動作に関する検討

本提案装置の安定した運用を行うためには、同システムの理論的な解析が必要であると考えられる。図2は方程式の導出に必要な簡易モデルであり、同図では2つの質点で分銅を等価的に表した。同等価モデルを基に本システムの諸方程式を導出した。次式は中でも重要な方程式であり、システム本体の重心回りの力のモーメント m_G を示す方程式である。

$$m_G = \{ r_G f_{wu} \sin(\theta_u - \theta_e) - M' g r_G \cos \theta_e - \tau_g \} k \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 r_G は回転体の中心から重心Gまでの長さ、 f_{wu} は回転体の中心Oに働く向心力、 θ_u は波の円運動の中心 O_w から見た本システムの進み角、 θ_e は回転体の中心から見た偏心分銅の進み角、 τ_g は発電機の負荷トルク、 M' は偏心した回転体の全質量である。なお、本稿ではベクトルを太字で表わしている。

本システムを用いて発電を行うためには、(1)式の平均値が正となる必要がある。同式から、どのような条件において m_G の平均値が正となるのかを検討する。まず、右辺第二項は、変化する値が θ_e のみであり、本体が一回転する間に生じる右辺第二項のモーメントの平均値は零となる。このことから、 m_G の平均値が正になるためには右辺第三項の平均値より右辺第一項の平均値が大きくなる必要がある。右辺第三項の値は発電機により生じる負荷トルク τ_g であるため、調整が可能である。また、回転速度も右辺第三項の τ_g により調節が可能となるため、こ

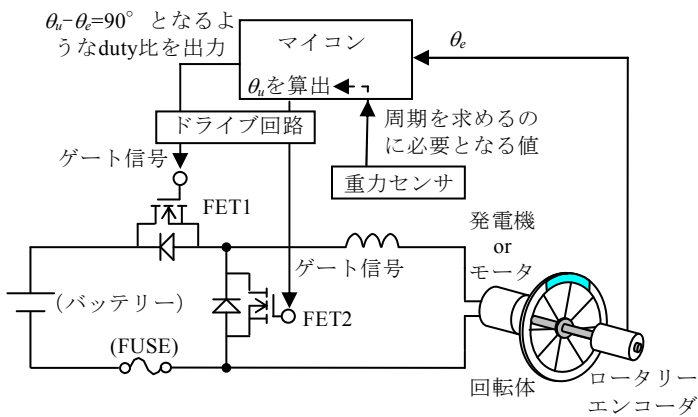


図3 制御回路

これらの調整により m_G の平均値を正にすることができるだけでなく、右辺第一項の θ_u と θ_e の位相差を 90° となるように調整できれば右辺第一項を最大値に保つことが可能となる。以上より、波の円運動による本体位置と偏心分銅の最適な位置関係が明らかとなった。

4. 安定した動作に必要な制御について

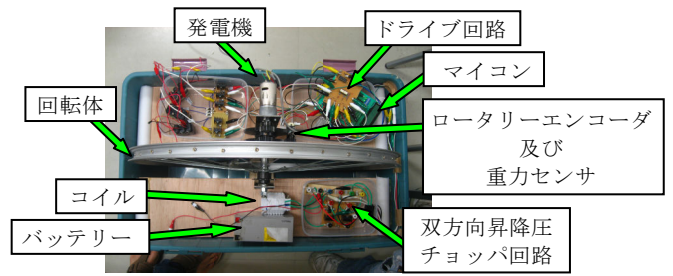
前章において本提案装置の最も重要となる動作条件について検討を行い、 θ_u と θ_e の位相差が 90° の時にモーメント m_G が最大となることが明らかとなった。 θ_u と θ_e の位相差を 90° に保つためには(1)式の τ_g を制御する必要がある。同期から外れ $(\theta_u - \theta_e) > 90^\circ$ となる場合には、 τ_g を負の値にするためモータリングを行い、 $(\theta_u - \theta_e) \leq 90^\circ$ となる場合は τ_g を正の値にするため発電を行う。このような制御を行うためには θ_u と θ_e の値を検出する必要がある。 θ_e はロータリーエンコーダ等を用いて容易に検出することが可能である。これに対して、波の運動に対する装置の位置 θ_u はロータリーエンコーダのような装置では検出を行うことができない。そこで重力センサを用いて1周期前の波から次の波を推定することとした。その方法とは重力センサを用いて装置の傾きを検出することによって、1つ前の波の始まりと終わりの時間 T (波の周期) 及び次の波が来てからの時間 t を計測し、 θ_u を求める方法である。次式に θ_u 、 T 及び t の関係式を示す。

$$\theta_u = \frac{360^\circ}{T} \times t \quad \dots \dots \dots (2)$$

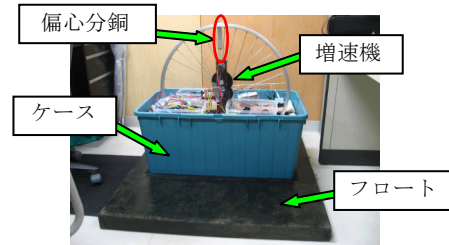
次いで、制御装置について説明する。図3に本制御回路を示す。同制御回路は双方向昇降圧チョップ回路及びマイコン等により構成される。 θ_e はロータリーエンコーダを用いて検出し、 θ_u は前述したように重力センサなどから推定するものとする。 θ_u と θ_e の位相差をマイコンで計算し、位相差が 90° より大きい場合はマイコンにより FET2 を OFF とし降圧チョップ回路に切り替えモータリングを行い、逆に位相差が 90° 以下のときは FET1 を OFF とし昇圧チョップ回路に切り替え発電を行う。同装置により、 θ_u と θ_e の位相差を 90° に保つことが可能であると考えられる。

5. 試作機を用いた海上実験

実際に海上で実験を行い本提案システムの有用性を確認するため、前章までの結果を基に試作機を製作した。まず、製作した同試作機を図4に示す。同装置は図4(a)に示すように、供試装置と同様な偏心分銅を有する回転体だけでなく、制御装置(双方向昇降圧チョップ回路、



(a) 試作機各部名称



(b) 試作機正面

図4 試作機

12Vバッテリー等を含む)、センサ関係(重力センサ、ロータリーエンコーダなど)、ドライブ回路、昇降圧チョップ回路の制御を行うマイコン等から構成される。回転体のシャフトの回転は図4(b)に示す増速機により、111倍に増速して直流発電機(定格50.1W)に伝達される。さらに、本装置は防水のためケースに収め、同装置を海面に浮かべるため同図に示すように底部にフロートを接続した。

製作した試作機を用いて実際に海岸沿いにおいて実験を行った。同実験では試作機を海面に浮かべ、回転体に波の運動を与えた。その結果、本装置は提案した制御法により動作するものの、良好な発電結果を得ることができなかった。その理由は以下のとおりである。1つ目は、海岸沿いでは1周期前の波と次の波が大きく異なるため、前章で提案した1つ前の波から次の波を推定する方法では、推定した θ_u と実際の θ_u が等しい値にならないため、 θ_u と θ_e の位相差を 90° に保つことができず、重心周りのモーメントの値を大きくすることができなかった。2つ目は、波が連続して発生しないため、連続動作が困難となった。これらの問題を解決するためには、比較的大きな波が連続で発生する場所に本装置を設置する方法が考えられるが、このような発電装置は様々な場所で使用できることが好ましく、今後改良が必要であると考えられる。どの様な条件においても本装置を運用するためには、 θ_u の検出法及び、波が連続して発生しない場合の運用方法を新たに考える必要がある。

6. むすび

本研究では偏心分銅を用いた新しいタイプの波力発電装置を提案し、実際に製作・実験を行った。その結果、本提案システムは様々な課題が残るものの波力を利用した発電システムとして利用できる可能性のあることが明らかとなった。

参考文献

- (1) 小野里庄次:「エネルギー資源-現状と課題-」, 白桃書房, pp.125-126, (1979)
- (2) 山本義隆:「新・物理入門」, 駿台文庫, pp.55-102, (2004)