

可動物体型波力発電装置の力学計算について

山口大学工学部 正 羽田野袈裟義

山口大学工学部 中野公彦

山口大学大学院 学 〇種浦圭輔

1. はじめに

当研究室では、フロートとカウンターウェイトを用いた波力エネルギー変換装置を開発中である¹⁾。昨年度予備的な実海域実験を行った。今回その使用したシステムの機械力学モデルを構築し、実海域で想定されるエネルギー利得の見積もりと、発電力、ワイヤー張力などの時系列を求める力学計算を行った。

2. 機械力学モデル

2.1 機械力学モデル

機械力学モデルは、発電機関連の力学、無負荷・静止状態でのフロート・カウンターウェイトの釣り合い式、発電機稼動状態におけるフロート・駆動プリー間の動力学により構成される基礎式を組み合わせ得られる駆動プリーの回転角 θ に関する2階常微分方程式を初期条件の下に解いた。基礎式は、駆動プリーのトルク τ 、発電機の発生電圧 e 、フロート直径 d_f 、フロートとカウンターウェイトの質量を M_f と M_c 、無負荷・静止時のフロートの喫水深 h 、水位とフロートの無負荷・静止時からの上昇量 x_w と x_f を用いると、次式(1)～(5)が得られる。

$$\tau = -Gk_\tau i \quad (1)$$

$$e = Gk_e \dot{\theta} \quad (2)$$

$$M_c g + \frac{1}{4} \pi d_f^2 \rho_w h g = M_f g \quad (3)$$

$$M_f \frac{d^2 x_f}{dt^2} = M_c g + \frac{1}{4} \pi d_f^2 \rho_w (h + x_w - x_f) g - M_f g \quad (4)$$

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + C \frac{d\theta}{dt} = \tau + (f_c - f_f) R_m \quad (5)$$

ここで、 G はギア比、 C は機械系の減衰係数、 k_τ と k_e はトルクと誘起電圧の係数である。式(4)に装置の諸量を用いて次式を得る。

$$\left(M_f R_m + \frac{1}{R_m} \right) \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{1}{R_m} \left(C + \frac{G^2 k_e k_\tau}{r} \right) \frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{4} \pi d_f^2 \rho_w g R_m \theta = \frac{1}{4} \pi d_f^2 \rho_w g x_w \quad (6)$$

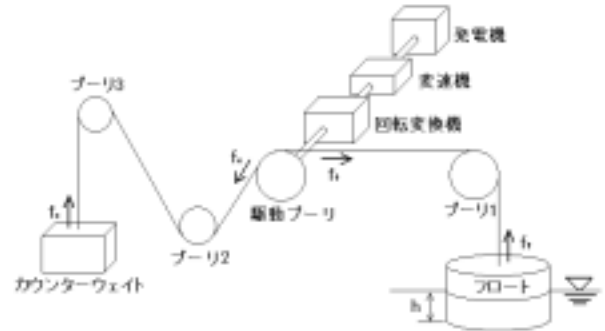


図-1 動力変換の全体のシステム

波は正弦波を仮定し、フロートが波の峰まで無負荷で追従し、その時点から発電機が作動開始するという初期条件の下に θ を解いて θ 、 $\dot{\theta}$ の時系列を求め、これらの結果を基礎式に代入して諸量の時系列を求めた。そして、次式により発生電力 P_G の時系列を求めた。

$$P_G = r \cdot i^2 = r \left(\frac{-Gk_e}{r} \right)^2 \dot{\theta}^2 \quad (7)$$

なお、フロート上昇時には発電機が作動しない条件を課し、式(1)、(2)と $e = i \cdot r$ より、トルクの時系列、式(5)よりワイヤー張力 f_i の時系列を f_c 、 $M_c g$ として求めた。また、フロートの上下動 x_f の時系列は $x_f = R_m \theta$ より計算した。

2.2 システム構成要素の諸元とCの決定

この機械力学モデルを昨年度の実海域試験の結果を用いて検証した。システム構成要素の諸元は、実海域試験で用いた諸元と同じ(表-1 参照)にし、プリーの粘性減衰係数 C の値は実験値から同定し、それらの平均値 C を用いて利得電力の実験値と計算値を比較した。これが図-2である。計算値は実験値と割合良い一致を示している。

表-1 システム構成要素の諸元

諸元	代入数値
フロート質量: M_f (kg)	500
フロートの直径: d_f (m)	2
フロートの高さ: l_f (m)	1
カウンターウェイト質量: M_c (kg)	350
ギア比: G	10
駆動プリーの半径: R_m (m)	0.14
駆動プリーの慣性モーメント: I (kg·m ²)	0.123
誘起電圧係数: k_e (V/(rpm))	0.092
トルク定数: k_τ (N·m/A)	0.878
内部抵抗: r (Ω)	1.45
重力加速度: g (m/s ²)	9.8
海水の密度: ρ_w (kg/m ³)	1.025×10^3

2.3 実機の計算

発電装置を実海域に設置した場合に種々の波浪条件で、どの程度のエネルギー利得が見込まれるかは最大の関心事である。

ここでは、駆動プーリから発電機までの諸元を現地実験で使用した機械に設定し、発電機、フロートおよびカウンターウェイトを実機の値にしてシミュレーションを行った。発電機の誘導発電係数 k_e 、トルク定数 k_t 、内部抵抗 r は、市販の発電機の諸元を採用し、 $k_e=0.135(\text{V/rpm})$ 、 $k_t=1.2838(\text{N}\cdot\text{m/A})$ 、 $r=0.26(\Omega)$ に設定した。フロートは比重が1.1で直径と高さが2mのフロートで、無負荷・静止時の喫水率80%となるように設定した。図-3,4は波高0.5m、周期3sのときの発生電力、トルク、ワイヤー張力、フロートの上下動の時系列を示す。図では、発生電力がゼロと最大の間で変動すること、ワイヤー張力がカウンターウェイトの重量の周りで変動すること、フロートの上下動の振幅が波の上下動の振幅より小さいことが示されている。

次に、同じ装置構成で、種々の波高と周期の条件に対して発生電力の平均を求めた。その結果を図-5に示す。これによると、波高2m、周期6sで、2.6kWの発生電力が得られることが分かる。また最大の利得電力を与える波の周期は3秒である。ちなみに、系の固有周期は3.29秒であった。

3. 結語

本研究の主要な結果は以下のようである。

- (1) 再構築した機械力学モデルは予備的な実海域実験の結果を程よく再現した。
- (2) 発生電力、ワイヤー張力、トルク、フロートの上下動の時系列の計算結果は矛盾のないものであった。
- (3) 種々の波浪条件について発生電力の平均値を計算し、図-5を得た。

参考文献

- 1) 大木協：浮体式波力エネルギー変換装置のエネルギー
発電の利得電力について、山口大学修士論文 2002。

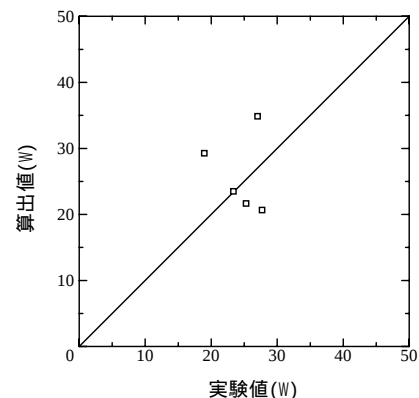


図-2 発生電力の算出値と実験値

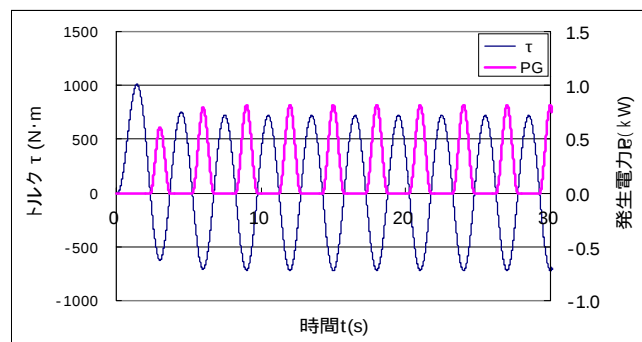


図-3 トルク τ と発生電力 P_g の時系列

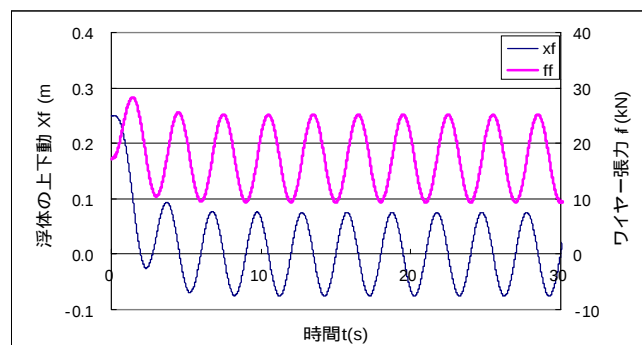


図-4 浮体の上下動 x_f とワイヤー張力 f の時系列

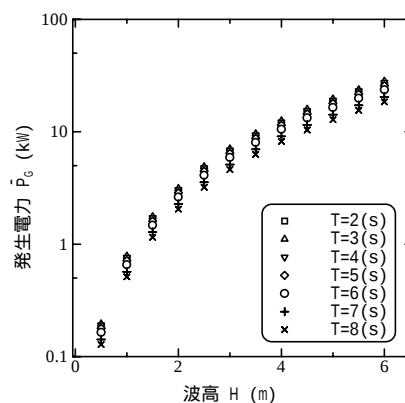


図-5 想定される利得電力