

2 方式の浮体式波力発電の力学比較

山口大学 学生会員 ○佐藤 功平

大分県庁 非会員 出沢 健太郎

山口大学 フェロー会員 羽田野 袈裟義

佐賀大学 正会員 PALLAV Koirala

1. 緒論

当研究室は浮体釣合鍾式波力発電装置を開発中である。この方式はワイヤーの使用により構造強度の主要問題を解決した。しかし、波の条件によってはワイヤー張力が一時的に負となり、その後に衝撃的な緊張が発生する事態があった。そこで、新提案として図-1 に示す常時緊張型の浮体式波力発電装置の力学モデルを構築し、基礎的な波浪条件でワイヤー張力と発生電力の計算を行なった。

2. 常時緊張式波力発電装置

常時緊張式波力発電装置は浮体-釣合鍾式と同様、水面の上下動の動力をワイヤーを介しプーリの回転に変えて発電する。構成はフロート、ワイヤー、駆動プーリ、アイドラプーリ、回転変換機、回転増幅器、発電機からなり、前記のワイヤーの一時的な弛緩の後の衝撃的な緊張を回避し、常時発電する。単位時間のエネルギー利得（仕事率）は、駆動力（重力・浮力）の向きとワイヤーの運動速度の内積であり、合理性が明らかである。また遊水室内での稼働により水塊運動が略鉛直となりフロートへの水平作用力が消え、構造強度上の問題がほぼ解決される。

3. 力学モデル

フロートの無負荷・静止状態での釣合式、稼働状態でのフロートの運動方程式、回転体の運動方程式、発電機関連の力学から構成される。

3. 1 フロートの無負荷・静止状態での釣合式

無負荷・静止状態でのフロートの釣合式は、フロート質量を M_f 、重力加速度を g 、海水の密度をフロートの質量、 g は重力加速度、海水の密度を ρ_w 、フロートの直径を D_f 、この状態のフロート喫水深を h として式(1)により与えられる。

$$M_f g = \frac{1}{4} \rho_w \pi D_f^2 h g \quad (1)$$

3. 2 稼働状態でのフロートの運動方程式

フロートが一部没水状態($0 \leq h + x_w - x_f \leq H_f$)での運

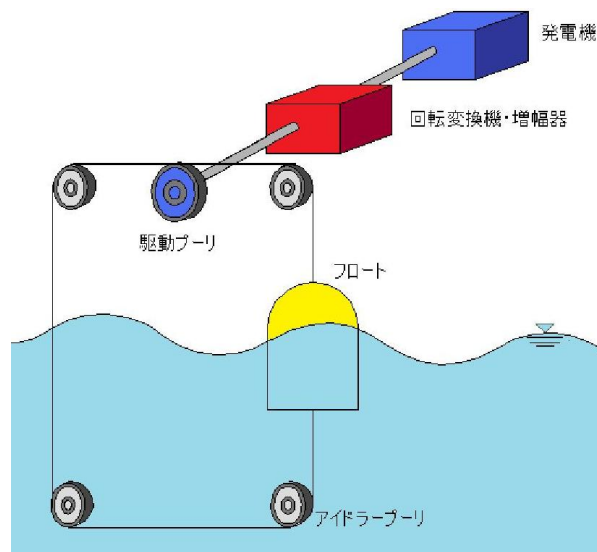


図-1 改良型浮体-釣合鍾式波力発電装置

動方程式は式(2)となる。

$$M_f \frac{d^2 x_f}{dt^2} = \rho g \frac{\pi d_f^2}{4} (x_w - x_f) + f_1 - f_2 \quad (2)$$

ここで x_f と x_w はそれぞれフロートと水面の無負荷静止状態からの上昇量、 f_1 と f_2 はそれぞれフロート上部と下部に接続されたワイヤーの張力である。

3. 3 回転体の運動方程式

回転体の運動方程式は式(3)として与えられる。

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + C \frac{d\theta}{dt} = \tau + (f_2 - f_1) R_m \quad (3)$$

ここで I は回転体全体の慣性モーメント、 θ は回転体の無負荷・静止状態からの回転角、 C は機械系の粘性減衰係数、 τ は発電機により駆動プーリが受ける反時計回りのトルク、 R_m は駆動プーリの半径である。

3. 4 発電機関連の力学

トルク τ と発生電圧 e 、発生電力 P_G は式(4)~(6)として表現される。

$$\tau = -G k_t i \quad (4) \quad e = G k_e \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

$$P_G = r \left(-\frac{G k_e}{r} \cdot \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \quad (6)$$

ここで G はギア比、 r は負荷抵抗、 k_t はトルク係

数、 k_e は誘導発電係数である。

3. 5 最終的な計算式

以上の連立方程式を解くが、ここでは θ に関する式にまとめて θ の時系列を計算する。その結果から諸量の時系列を求める。 θ の式は次のようである。

$$\begin{aligned} & \left(I + M_f R_m^2\right) \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \left(C + \frac{G^2}{r} k_e k_\tau\right) \frac{d \theta}{dt} \\ & + \frac{1}{4} \rho_w \pi D_f^2 g R_m^2 \theta = \frac{1}{4} \rho_w \pi D_f^2 g R_m x_w \end{aligned} \tag{7}$$

3. 6 計算条件

理論式に与える波の条件として式(8)を仮定する。
また、初期条件としては式(9)を適用する。

$$x_w = \frac{H}{2} \tanh t \sin \frac{2 \pi}{T} t \tag{8}$$

$$\theta(0)=0, \quad \left.\frac{d \theta}{d t}\right|_0=0 \tag{9}$$

ここで、 H は波高、 T は波周期である。

4. 計算結果

計算は浮体釣合錘式で実験を行なったものと同じ諸元の装置（表-1 参照）について行なった。ワイヤー張力の結果を図-2 に示す。図より、浮体-釣合錘式ではワイヤー張力が一時的に負になることが分かる。一方、常時緊張式ではワイヤー張力が一定の正值（基底値）より低下しない。このため、常時緊張式では衝撃的なワイヤー張力が発生しない。また、常時緊張式のワイヤー張力は浮体釣合-錘式の値より小さい。このため、浮体-釣合錘式より構造強度において優れている。

発生電力の結果を図-3 に示す。常時緊張式は浮体-釣合錘式と異なり常時発電が可能である。一部没水状態かつ旧型の固有周期の範囲付近を除き、旧型に比べ常時緊張式の平均発生電力は大きくなる。

5. 結語

従来の浮体-釣合錘式波力発電装置に対し、その改良型を提案した。次に力学モデルを構築しワイヤー張力と発生電力の計算を行った。その結果、改良型はワイヤー張力が低減し、かつ負の値を示さないことが一般の傾向として分かった。また改良型の発生

表-1 諸元

名称	諸元	記号と単位	数値
フロート	質量	M_f (kg)	1680
	直径	H_f (m)	2
	高さ	D_f (m)	0.7
	喫水率	r_s	0.5714
駆動プーリ	半径	R_m (m)	0.18
	慣性モーメント	I (kg・m ²)	1.2348
増幅器	ギア比	G	41.36
発電機	誘導発電係数	k_e (V/tpm)	0.08
	トルク係数	k_τ (N・m/A)	1.2838
	負荷抵抗	r (Ω)	0.666
機械部分	粘性減衰係数	C (N・m・s)	1470
波	周期	T (s)	4
	波高	H (m)	0.27
重力加速度		g (m/s ²)	9.8
海水の密度		ρ_w (kg/m ³)	1025

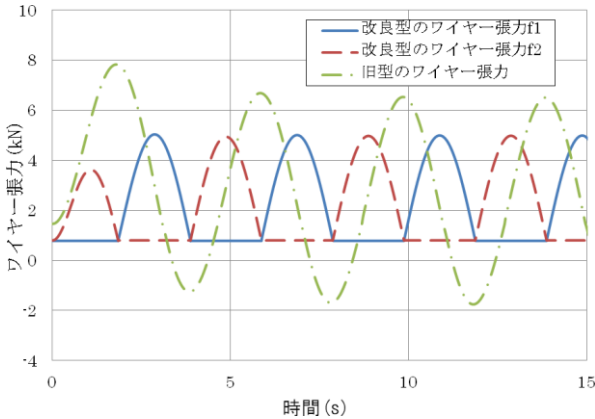


図-2 ワイヤー張力

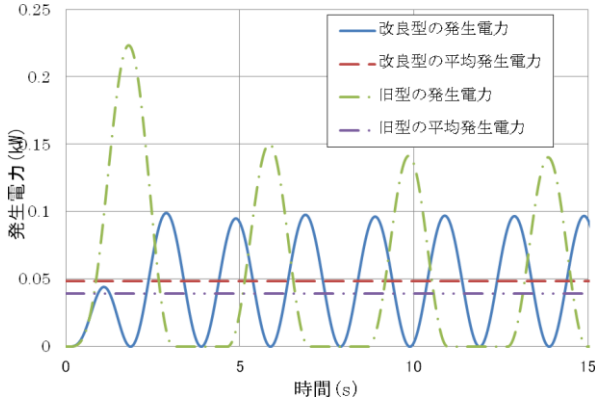


図-3 発生電力

電力は、一部没水状態が実現されていると旧型に比べて安定する結果となった。

[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，松浦正巳：浮体式波力エネルギー変換の力学，土木学会論文集 B Vol. 62 No. 3, pp270-283, 2006.