

浮体式波力エネルギー装置のエネルギー利得の評価

山口大学工学部 正会員 羽田野袈裟義

山口大学大学院 学生会員 ○渡邊誠・種浦圭輔

山口大学工学部 ○中野公彦・斉藤俊

1. はじめに

著者らは、図1に示すつるべ式浮体式波力エネルギー装置を開発中である。この方式は防波堤前面や大型浮体外周部に設けた遊水室で使用する事により、技術的・コスト的に実施可能との評価を得ている。今回機械力学検討により、発生電力、トルク、ワイヤー張力、フロート上下動を調べ、駆動プーリ径、フロート径、ギア比などの諸元の変化によりエネルギー利得で有利な条件を検討した。

2. 機械力学モデル

機械力学モデルは、図2の式(1)～(5)で構成される。ここで、 τ は駆動プーリを回すトルク、 G はギア比、 k_τ はトルク定数、 i は電流、 e は電位差、 k_e は誘導電圧係数、 θ は駆動プーリの回転角(反時計)、 M_c はカウンターウェイトの質量、 d_f はフロートの直径、 ρ は海水の密度、 M_f はフロートの質量、 x_w は水位変位、 x_f はフロート変位、 f_f はワイヤー張力、 H_f はフロート高さ、 I は慣性モーメント、 C は回転系の粘性減衰係数、 f_c はカウンターウェイト側の張力、 R_m は駆動プーリの半径、 P_G は発生電力、 r は発電機の内部抵抗である。なお、発電機稼動状態におけるフロートの運動方程式では、カウンターウェイトの慣性を考慮し、フロートの喫水状態を一部没水、宙吊り、全没水、の3つの状態に場合分けして計算した。

3. 計算結果

装置の諸元を表1の様に設定して計算を行った。フロートは高さ3mの円筒とし、無負荷静止時状態の喫水率を0.6に固定した。

3.1 主要な力学量の時系列

表1の装置の諸元1を用い、波高3m、周期6sの場合の力学量の時系列を図3、図4に示す。図4より、3秒付近でフロートは下降速度が遅くなり宙吊り状態にな

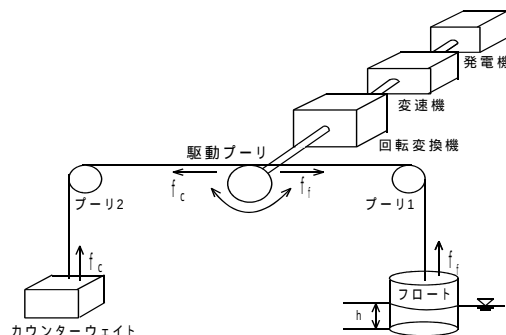


図1 つるべ式構成の概略図

発電機関連の力学

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

$$e = Gk_e \cdot d\theta / dt \quad (2)$$

無負荷・静止時状態でのフロートの釣合式

$$M_c g + 1/4 \pi d_f^2 \rho g h = M_f g \quad (3)$$

フロートの運動方程式

 $0 < h + x_w - x_f < H_f$ の時 (フロート一部没水状態)

$$M_f \cdot d^2 x_f / dt^2 = f_f + \pi/4 d_f^2 \rho g (h + x_w - x_f) - M_f g \quad (4-a)$$

 $h + x_w - x_f < 0$ の時 (フロート宙吊り状態)

$$M_f \cdot d^2 x_f / dt^2 = f_f - M_f g \quad (4-b)$$

 $h + x_w - x_f > H_f$ の時 (フロート全没水状態)

$$M_f \cdot d^2 x_f / dt^2 = f_f + \pi/4 d_f^2 \rho g H_f - M_f g \quad (4-c)$$

発電機稼動状態の駆動プーリの運動方程式

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

求める力学量

(発生電力・駆動プーリのトルク・ワイヤー張力・フロート変位)

$$P_G = r \cdot i^2 = r \left(\frac{-Gk_e}{r} \dot{\theta} \right)^2 \quad (6)$$

$$\tau = -Gk_\tau i \cdot \text{sgn}(\dot{\theta}) \quad (7)$$

$$x_f = R_m \theta \quad (8)$$

$$I \cdot \frac{d^2 \theta}{dt^2} + C \cdot \frac{d\theta}{dt} = \tau + (f_c - f_f) R_m \quad (9)$$

図2 機械力学モデルの構成

キーワード：波力エネルギー、可動物体型、機械力学モデル、つるべ式

連絡先：(住所)〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1 山口大学工学部

(電話)0836-85-9317 (FAX)0836-85-9301

表 1 装置の諸元の変化

諸元 1	駆動プーリの半径 (m)	0.14
	駆動プーリの重さ (kg)	12.6
	フロート比重	1.1
	フロート直径 (m)	2
諸元 2	駆動プーリの半径 (m)	0.28
	駆動プーリの重さ (kg)	12.6 × 4
	フロート比重	1.1
	フロート直径 (m)	2
諸元 3	駆動プーリの半径 (m)	0.28
	駆動プーリの重さ (kg)	12.6 × 4
	フロート比重	1.0
	フロート直径 (m)	2
諸元 4	駆動プーリの半径 (m)	0.28
	駆動プーリの重さ (kg)	12.6 × 4
	フロート比重	1.0
	フロート直径 (m)	2
諸元 5	駆動プーリの半径 (m)	0.28
	駆動プーリの重さ (kg)	12.6 × 4
	フロート比重	1.0
	フロート直径 (m)	3

り、12 秒また 18 秒付近でフロート上昇速度が鈍り全没水状態に陥る。この様な時刻は発電力が小さい。従ってフロートの宙吊り状態や全没水状態が生じない条件が望ましい。この装置諸元 1 と波高(3m)の組み合わせでは、周期 7 秒以上では宙吊り状態や全没水状態は生じない。

3.2 実機の発電力評価

日本海の深浦港沖の冬季(1999 年 12 月～2000 年 2 月)の波浪条件で計算を行った。表 2 と 3 はその結果を示す。表の影の付いたセルは、2000 年冬期に生じた波高、周期の組を示し、数字はフロートが一部没水状態を維持できる波高と周期に対する平均発生電力を示している。表より、諸元 5 の装置は生起する全ての波に対して、フロートの一部没水を維持でき、有利である事が分かる。また、表 4 は、表 1 の装置諸元に対する深浦港沖冬季 3 ヶ月間の平均発生電力と、フロートの一部没水以外の状態の発生率を示す。また図 5 に諸元 5 での波高と平均発生電力の関係で、波高と共に発生電力の増大を示している。

4 . 結語

以上、浮体式波力エネルギー装置の力学的検討を行った。その結果、フロートが宙吊り状態や全没水状態になると不利である事、プーリ径とギア比とフロート直径が大きいと発電力が大きい事などを確かめた。

表 4 表 1 の装置諸元に対する P_G とフロートの状態

諸元の種類	平均発生電力	一部没水以外の状態の発生率
諸元 1	約 2.3kW	約 10%
諸元 2	約 3.5kW	約 2.7%
諸元 3	約 3.09kW	約 0.6%
諸元 4	約 10.19kW	約 3.3%
諸元 5	約 13.3kW	0%

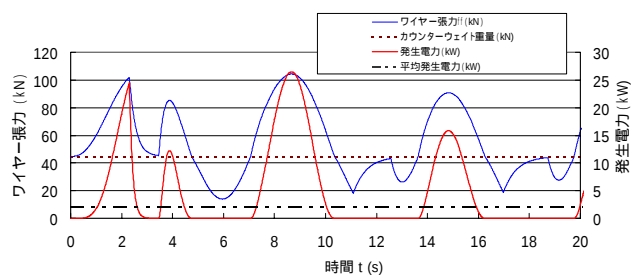
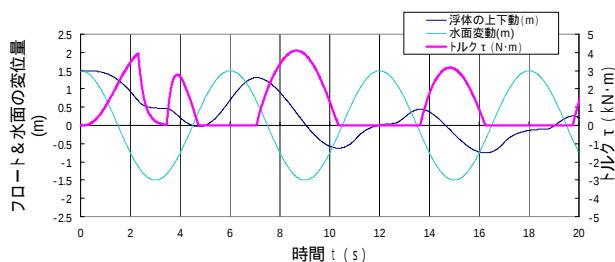
図 3 P_G と f_f の時系列図 4 x_f , x_w と τ の時系列

表 2 波高と周期と発生電力(諸元 1)

H \ T	1.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
7.5									
6.75									
6.25									
5.75									
5.25									
4.75									
4.25									
3.75								7.344	5.758
3.25							5.586	5.516	4.322
2.75				6.508	5.754	5.385	3.985	3.940	3.095
2.25		4.775	5.071	4.357	3.852	3.585	2.668	2.844	2.072
1.88	1.364	3.334	3.540	3.042	2.689	2.503	1.863	1.845	1.446
1.63	1.040	2.558	2.651	2.267	2.022	1.882	1.400	1.307	1.067
1.38	0.745	1.795	1.908	1.639	1.440	1.340	1.004	0.994	0.779
1.13	0.500	1.204	1.276	1.095	0.972	0.904	0.673	0.667	0.523
0.88	0.303	0.730	0.776	0.668	0.589	0.548	0.408	0.404	0.317
0.63	0.155	0.374	0.398	0.342	0.302	0.281	0.209	0.207	0.162
0.38	0.057	0.135	0.145	0.124	0.110	0.102	0.076	0.075	0.059
0.13	0.007	0.016	0.017	0.015	0.013	0.012	0.009	0.009	0.007

表 3 波高と周期と発生電力(諸元 5)

H \ T	1.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
8.5									54.665
7.5									42.559
6.75								45.452	34.473
6.25								38.968	29.555
5.75								32.352	25.015
5.25							34.525	27.498	20.854
4.75							28.262	22.508	17.071
4.25						40.677	22.625	18.019	13.666
3.75						31.889	17.515	14.029	10.640
3.25				44.115	23.787	13.231	10.537	7.952	
2.75				31.585	17.031	9.473	7.544	5.722	
2.25		3.119	21.144	11.401	6.341	5.050	3.830		
1.88	3.119		29.051	14.762	7.959	4.427	3.528	2.674	
1.63	2.344		21.838	11.097	5.983	3.328	2.650	2.010	
1.38	1.650		32.259	15.853	7.954	4.289	2.366	1.900	1.441
1.13	1.127	18.533	21.829	10.495	5.353	2.876	1.599	1.274	0.966
0.88	0.683	11.240	13.118	6.365	3.234	1.744	0.970	0.773	0.586
0.63	0.350	5.761	6.723	3.262	1.658	0.894	0.497	0.396	0.300
0.38	0.127	2.096	2.446	1.187	0.603	0.325	0.181	0.144	0.109
0.13	0.015	0.245	0.286	0.139	0.071	0.038	0.021	0.017	0.013

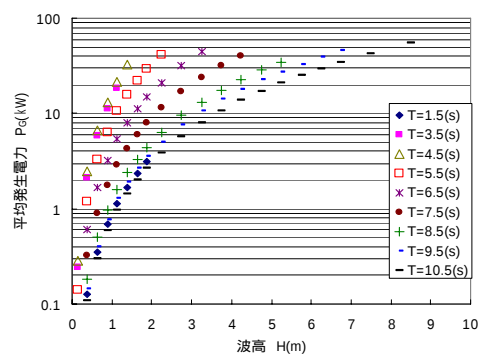


図 5 実機で想定される平均発生電力(諸元 5)