

沿い波型遊水室で稼動する浮体式波力発電のポテンシャル評価

山口大学 フェロー会員 ○羽田野 袈裟義

山口大学 学生会員 長瀬 吉行 李 万元

三菱日立パワーシステムズ 正会員 Pallav Koirara

1. 結論

海洋波のエネルギーは無尽蔵の再生可能エネルギー源の一つであり、四方を海に囲まれた我が国の事情から波力発電の実用化が切望されている。波力発電の実用化には、装置の耐久性、設置・維持補修の容易性と低廉性、発電能力、環境影響が小さいことの全てが一定以上の水準にあることが求められる。

当研究室では、上記の要件を満足するため、波の進行方向に縦列配置した沿い波型遊水室内に浮体式装置を配置し、波による遊水室内の水塊と浮体の上下運動を利用して動力変換する方式を開発中である。

本研究は、この遊水室の合理性、力学モデルの概要を示すと共に、実証実験に向け各地の波浪データを元にして発生電力の評価を行った。

2. 沿い波型遊水室内の水塊上下動の利用

本提案技術の遊水室群の配置を図-1に示す。図の折れ線形状の防波堤のうち岸沖方向部分に遊水室を配置して稼働する。この構成で、①沿岸域での屈折により海岸に向かう波を沿い波の形で利用でき遊水室群の外壁への波の作用力を回避できる、②防波堤の利用により設置・維持補修の省力と経費節減が可能である、③防波堤の岸沖方向長さを利用できるため発電力が大きい、④遊水室内の水塊運動も水平成分を消すため動力変換装置の耐久性が期待できる。

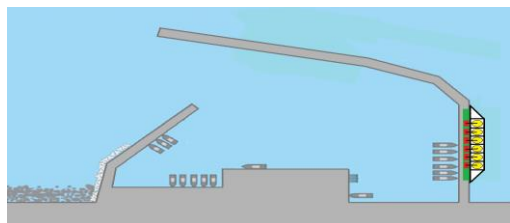


図-1 沿い波型遊水室の配置の模式図

3. 浮体+ラック・ピニオン方式の動力変換

本装置は、遊水室で上下動に制限した波の動力を図-2に示すようにフロートとシャフト、ラック、ピニオンを介して回転運動に動力変換し、発電機を回す。この動力変換は上下動のみの水塊運動で可能となる。

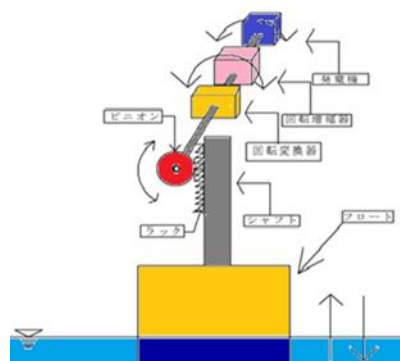


図-2 浮体-ラックアンドピニオン方式

4. 力学モデル

力学モデルは、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。最終的にピニオンの回転角 θ に関する次式を得る。

$$\left(\frac{I}{R_p} + M_f R_p \right) \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{1}{R_p} \left(C + \frac{G^2 k_t k_e}{r} \right) \frac{d\theta}{dt} + \frac{\rho g \pi}{4} d_f^2 R_p \theta = \frac{\rho g \pi}{4} d_f^2 x_w \quad (1)$$

ここで M_f はフロートの質量、 g は重力加速度、 d_f はフロートの直径、 x_w は水面の静止時からの上昇量、 θ はピニオンの無負荷・静止状態からの回転角、 I は回転体全体の慣性モーメント、 C は機械系の粘性減衰係数、 R_p はピニオンの半径、 k_t はトルク係数、 k_e は誘導発電係数である。発生電力 P_G は式(1)で得られる θ の時系列データから次式で与えられる。

キーワード 波力発電, 沿い波型遊水室, 水塊上下動, 浮体上下動, ラック・ピニオン

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 0836-85-93

$$P_G = r \cdot i^2 = r \left(\frac{-Gk_e}{r} \cdot \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \tag{2}$$

ここで、 i は発電機に発生する電流、 G はギア比、 r は負荷抵抗である。

5. 発生電力

波の条件として式(3)の正弦波を与え、ピニオンの回転角と回転速度の初期条件を式(4)に与える。

$$x_w(t) = \frac{H}{2} \sin(\omega t) \tag{3}$$

$$\theta(0) = 0, \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{\theta=0} = 0 \tag{4}$$

本装置諸元を表-1 のように仮定した。

表-1 装置諸元

名称	諸元	記号と単位	ラックアンドピニオン
フロート	質量	M_f (kg)	4830
	直径	H_f (m)	2
	高さ	D_f (m)	3
	噴水率	r_s	0.5
ピニオン	慣性モーメント	I (kg・m ²)	1.2348
	半径	R_p	0.18
増幅器	ギア比	G	41.36
	誘導発電係数	k_v (V/rps)	0.7639
発電機	トルク係数	k_t (N・m/A)	0.7639
	負荷抵抗	r (Ω)	0.6666
機械部分	粘性減衰係数	C (N・m・s)	1470
	重力加速度	g (m/s ²)	9.81
海水の密度		ρ_w (kg/m ³)	1025

5. 1 複数連結時の発生電力

複数の遊水室内で位相が異なる装置の稼働について、装置条件を表-1 に示す値とし、波条件は水深 10m、波高 1m、周期 4s とした。このとき波長は 24.65m である。装置間距離 2.5m、装置台数 1 台～10 台の場合の全発生電力を評価した。図-3 は 5 台(間欠稼働、設置区間長 12.5m)の場合の結果、図-4 は 5 台(常時稼働、設置区間長 12.5m)の場合の結果を示す。図より常時稼働設置区間長が波長の半分程度では合計発生電力が安定することが分かる。

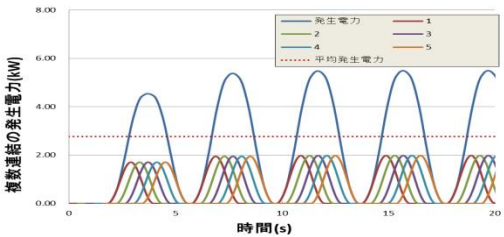


図-3 5 台連結発生電力(間欠稼働)

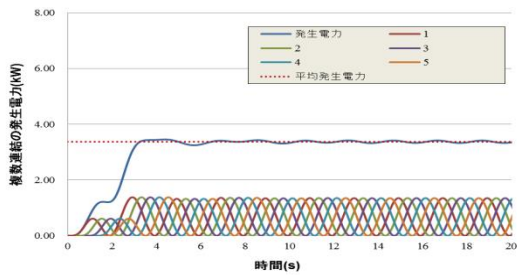


図-4 5 台連結発生電力(常時稼働)

5. 2 各地波浪データに基づく発生電力量

この装置を実海域で稼働する場合に装置 1 台あたりの発生電力量を表-1 の装置について見積もった。この装置諸元では、常時稼働発電と間欠稼働発電で正常に稼働できる範囲が変わらないため発電量の大きい常時稼働発電に関して年間と季節別の発生電力量の計算を行った。年間の新潟沖と浜田の発生電力量の計算結果を表-2 と表-3 に示す。

ここでは、周期・波高別の波の発生確率のデータを示さないが、新潟沖では浮体は、年間で 18 時間全没水や宙吊り状態が発生し残り 99.80%の時間で一部没水となり、浜田では 19 時間全没水や宙吊り状態が発生し残り 99.77%の時間で一部没水となる。また、新潟沖と浜田の両観測地点に共通し、冬場の発生電力量が高く夏場の発生電力量が著しく低いことが確かめられた。このため夏場は設置等に適する。

表-2 2013 年新潟沖(年間)周期・波高別総合発生電力量(kWh)

波高\周期	～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	10～16	合計
4.51～10.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.01～4.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.51～4.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.01～3.50	0	0	0	0	0	14.157055	83.396858	27.096552	0	124.65046
2.51～3.00	0	0	0	0	92.346826	300.08509	160.58475	10.248538	0	563.2652
2.01～2.50	0	0	0	8.2361589	553.11901	347.32071	66.910311	0	0	975.58619
1.76～2.00	0	0	5.3981391	84.338267	338.60503	83.974429	14.2742	0	0	526.59006
1.51～1.75	0	0	4.1329502	270.3931	337.80341	109.67616	7.2857894	0	0	729.29141
1.26～1.50	0	0	27.328079	373.59217	230.86707	69.464141	8.0292373	2.5621345	0	711.84283
1.01～1.25	0	0	115.97564	296.50172	118.23921	50.168547	1.8586198	0	0	582.74374
0.76～1.00	0	5.5081713	164.64324	169.99432	112.86834	23.463443	0	0	0	476.47752
0.51～0.75	0	52.671888	148.02709	143.06208	51.94509	2.7785657	0	0	0	398.48472
0.26～0.50	2.3976557	127.37646	143.05069	64.900932	5.1303792	0	0	0	0	342.85611
～0.25	13.529629	65.753795	25.556815	2.5532093	0	0	0	0	0	107.39345
合計	15.927285	251.31032	634.11265	1413.5719	1840.9244	1001.0881	342.33976	39.907224	0	5539.1817

表-3 2013 年浜田(年間)周期・波高別総合発生電力量(kWh)

波高\周期	～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	10～16	合計
4.51～10.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.01～4.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.51～4.00	0	0	0	0	0	0	62.878377	0	0	62.878377
3.01～3.50	0	0	0	0	0	70.785275	13.899476	0	0	84.684751
2.51～3.00	0	0	0	0	173.1503	222.28525	53.528249	0	0	448.9638
2.01～2.50	0	0	0	57.653112	849.71906	169.80123	44.606874	14.23408	0	1136.0144
1.76～2.00	0	0	0	179.21882	333.47465	93.853773	33.306466	0	0	639.85371
1.51～1.75	0	0	0	314.78599	196.39733	75.638732	21.857368	0	0	608.67942
1.26～1.50	0	0	30.364532	394.34729	225.09539	75.021273	32.116949	0	0	756.94543
1.01～1.25	0	0	124.41024	333.56443	222.45004	59.816344	1.8586198	0	0	742.09967
0.76～1.00	0	0	248.3144	262.2393	129.54208	14.819017	0	0	0	654.91479
0.51～0.75	0	48.024369	292.25862	191.98486	79.360554	4.1679485	0	0	0	615.79626
0.26～0.50	0.6850445	142.52393	214.91341	56.994219	11.864002	0.617459	0	0	0	427.59807
～0.25	4.5384198	41.999806	12.82058	0.4118079	0	0	0	0	0	59.770615
合計	5.2234643	232.54811	923.08178	1791.1998	2221.0534	786.80621	264.05238	14.23408	0	6238.1993

6. 結語

本装置の力学的検討に基づき、装置単体、複数連結時、各地波浪データによる予想発生電力および電力量の解析を行った。各地波浪観測データによる発生電力量の解析結果は装置 1 台で、新潟沖では年間 5539kWh、浜田では年間 6238kWh となった。日本海は冬場の波力が高く発生電力量が大きく、需要期に発生電力が大きい日本海の波力は合理的と言える。今後は企業との開発を行う予定である。