

# 沿い波型遊水室群内の複数の波力発電装置による発生電力の評価

山口大学 学生会員 ○長瀬 吉行

李 万元

山口大学 フェロー会員 羽田野 袈裟義

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。

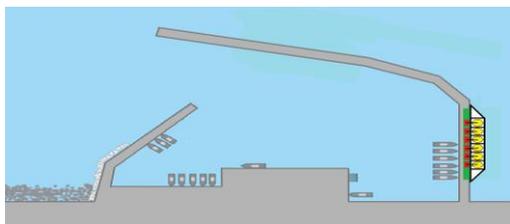


図-1 沿い波型遊水室の配置の模式図

## 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。

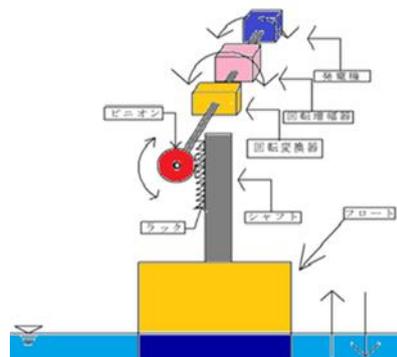


図-2 浮体-ラックアンドピニオン方式

## 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  $\theta$  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、 $\theta$  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  $\theta$  の時系列データから次式で与えられる。

キーワード 沿い波型遊水室、可動物体型、複数装置

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 TEL0836-85-9353

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

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。

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

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

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
	喫水率	$r_f$	0.5
ピニオン	慣性モーメント	$I$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	1.2348
	半径	$R_p$	0.18
増幅器	ギア比	$G$	41.36
	誘導発電係数	$k_e$ (V/rps)	0.7639
発電機	トルク係数	$k_t$ ( $\text{N}\cdot\text{m}/\text{A}$ )	0.7639
	負荷抵抗	$r$ ( $\Omega$ )	0.6666
機械部分	粘性減衰係数	$C$ ( $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ )	1470
重力加速度		$g$ ( $\text{m}/\text{s}^2$ )	9.81
海水の密度		$\rho_w$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	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3台(設置区間長7.5m)の場合の結果、図-4は5台(設置区間長12.5m)の場合の結果を示す。図より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。

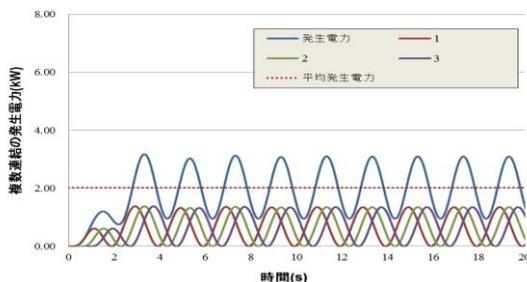


図-3 3台連結発生電力(常時稼働)

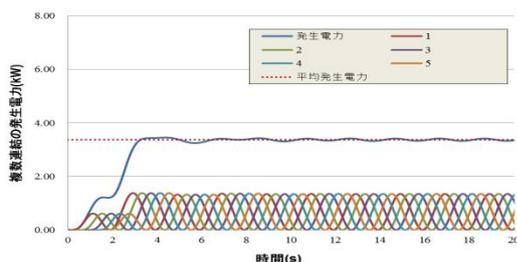


図-4 5台連結発生電力(常時稼働)

## 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。年間の鳥取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、鳥取では浮体は、年間で34時間全没水や宙吊り状態が発生し残り99.61%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、鳥取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年鳥取(年間)周期・波高別総合発生電力量(kWh)

波高(m)	周期(s)	～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	15.875266	78.597971	0	0	94.473237
3.01～3.50		0	0	0	0	0	42.471165	111.19581	0	0	153.66698
2.51～3.00		0	0	0	0	57.716767	166.71394	53.528249	40.994151	0	318.95311
2.01～2.50		0	0	0	0	328.66492	316.44776	66.910311	71.170401	6.7891345	789.98252
1.76～2.00		0	0	0	89.609409	348.86579	123.49181	57.096799	0	0	619.0638
1.51～1.75		0	0	0	221.96448	247.46064	71.856795	40.071842	13.949399	0	595.30315
1.26～1.50		0	0	9.1093597	346.90701	242.41042	52.792747	18.734887	10.248538	0	680.20296
1.01～1.25		0	0	115.97564	317.09212	222.45004	38.59119	11.151719	1.77926	0	707.03997
0.76～1.00		0	2.7540857	182.18719	184.48996	206.49776	25.933279	2.3790333	1.1387264	0	605.38004
0.51～0.75		0	40.278503	233.8069	203.84493	82.246392	13.892828	2.0073093	0	0	576.07686
0.26～0.50		5.8228782	90.540566	216.60033	76.431554	11.222705	1.8523771	0	0	0	402.47041
～0.25		5.2234643	54.134996	19.821292	1.5648702	0	0	0	0	0	80.744623
合計		11.046343	187.70815	777.50072	1441.9043	1747.5354	869.91915	441.67393	139.28048	6.7891345	5623.3577

表-3 2013年浜田(年間)周期・波高別総合発生電力量(kWh)

波高(m)	周期(s)	～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	4.1678485	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、鳥取では年間5623kWh、浜田では年間6238kWhとなった。日本海は冬場の波力が強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。