

新型振り子式波浪発電の現地性能試験

近藤 倅郎*・谷口 史一**・渡部 富治***・浜田 和哉****

1. はじめに

化石燃料の大量消費によって, 1991 年から 2100 年までの間に 1 万 5000 億トン (炭素換算) の CO_2 が放出されるとする IPCC のシナリオでは, 地球全体の平均気温は約 2°C の上昇, また海面水位は約 50 cm 上昇すると予測されている. 大気中の CO_2 濃度を 550 ppm で安定化するには 21 世紀の年間排出量は現在の排出量を越えてはならず, さらにそれ以後の大幅な削減が必要と推定されている. 現在, 化石燃料に変わる代替エネルギーの研究, 特に再生可能エネルギーの技術開発は地球温暖化防止に必要不可欠となっている.

室蘭工業大学では波エネルギーに焦点をあて, 1975 年以來 24 年にわたり, 波エネルギー変換装置の開発を進めてきた. なかでも, 振り子式波エネルギー変換装置は 1980 年から開発され, 現地試験を実施してその高効率性が立証されている. 振り子式は, 空気圧変動を利用した振動水柱型 (OWC) とは異なり, 物体運動によりエネルギーを吸収する「可動物体型」の一種で, 入射波→振り子板揺動→油圧ポンプ→モーター→発電という機構でエネルギーを変換する. 1990 年までは油圧ポンプとしてシリンダーポンプを用いていたが, シリンダーの耐久性や設置工事の困難性などの問題点があったので, これを解決して一層のコストダウンをはかるべく, ロータリーベーンポンプを採用した現地試験を 1993 年より実施している. 本論文では, 1998 年冬に取得されたデータにより新型振り子システムのエネルギー吸収性能についてデータ分析し, 実海域実験の成果を総括し報告する.

2. 実験装置の概略

2.1 振り子式の特徴

図-1 に振り子式波浪発電装置の概略図を示す. この装置の特徴として次の (1)~(4) が挙げられる.

(1) 防波堤に働く滑動合成波力が軽減される.

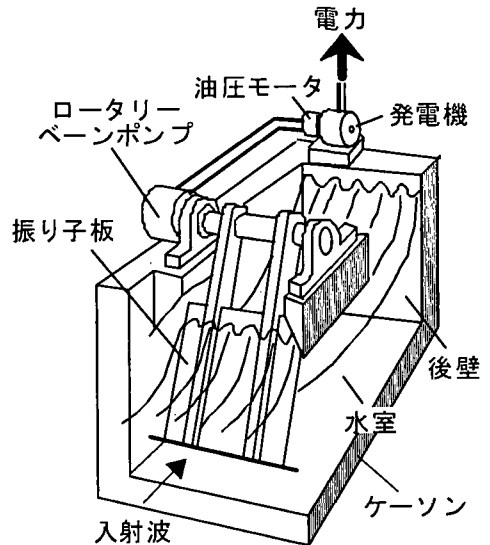


図-1 振り子式波浪発電装置概略図

- (2) 振り子板を除き, 電機・油圧装置は海面上に設置され, 危険が少ない.
- (3) 振り子板の運動は部分重複波の水粒子運動に沿っており, 損失が生じにくく, 効率が良い.
- (4) “油圧ポンプ/モーター”により振り子運動を回転運動に変換すれば, 各種の自動制御が容易になり, 波力特性変化に関係なく良好な運転ができる.

2.2 システム構成

図-2 にシステムの基準回路図を示す. 沖に向かって開口したケーソンを設置し, その水室内に波を引き入れることによって波が定常波となり, 節部の水粒子の動きが往復水平流となることで, そこに設置された振り子が揺動する. この運動を油圧ポンプ等により油圧パワーに変換させ, さらに油圧モーター, 発電機を通して電力を起こすシステムである.

一般に波パワーはほぼ波高 H の 2 乗に比例するので, 図-2 のような一定速度回転では H^2 に比例したモータートルク制御が必要である. このため, 波高 H の変動により, 回路油圧が上下するとモーターの押しのけ容積も増減するようにしている. 油圧ポンプは振り子運動方向に連

* フェロー 工博 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科
** 学生会員 室蘭工業大学大学院建設システム工学専攻
*** 工博 T-Wave コンサルティングボランティア
**** 室蘭工業大学建設システム工学科 (現 北海道開発局)

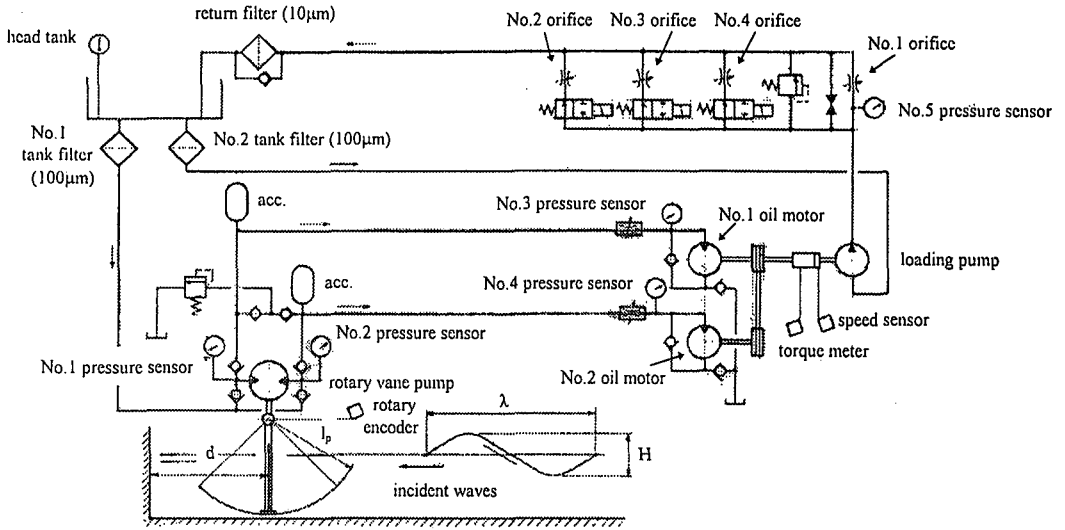


図-2 システムの基準回路図

動した2方向吐出式で、2台の油圧モータへ交互に圧油を供給する。この2台の油圧モータ間には180°位相差があり、この2台で1台の発電機を駆動するとき、モータのトルク変動は相殺され発電出力は安定する。この場合、モータ回路に接続した蓄圧器特性を適切に選択すると、インピーダンスマッチングが成立し、波高変動に関係なく発電効率が最高に保たれる。

実験機は振り子と油圧ポンプとが一体化した構造で海上据付作業の合理化を実現し、海上運轉の耐久性向上も確認されている。

2.3 ロータリーベーンポンプ

図-3に振り子用ロータリーベーンポンプを示す。

波浪エネルギー変換装置に使用される油圧ポンプは、一般に市販される油圧ポンプと比較して押しのけ容積は100~1000倍と大きく、回転速度は1/1000~1/100と低速である。このため、これに用いる油圧ポンプは大きく、かつ機密性に優れていなければならない。ロータリーベーンポンプは他のポンプと比較して、寸法や重量の面できわめて優れているため採用することとした。

振り子支持軸の一端にはポンプローターが直結し、カップリングなるものがない。振り子運動はノーバックラッシュでポンプローターに伝わり、疲れ破損の危険性が除かれている。

前回の1995年10月~1996年2月の実験ではロータリーベーンポンプ内の金属シールの接触不良等により油漏れが発生していた。今回の実験では、従来ロータリーベーンポンプの金属シール等に改良を加えた2号機(工場実験でポンプ効率90%以上)を採用している。

3. 実海域実験

3.1 計測

計測機器は南防波堤の内側に設置された中古コンテナを活用した計測小屋に設置した。図-4にこの実海域実

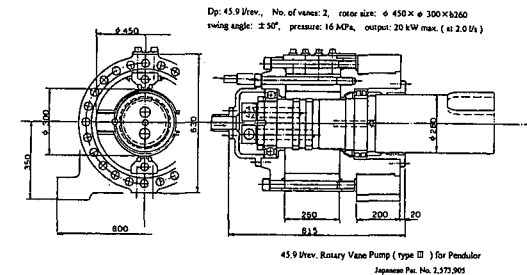


図-3 ロータリーベーンポンプ

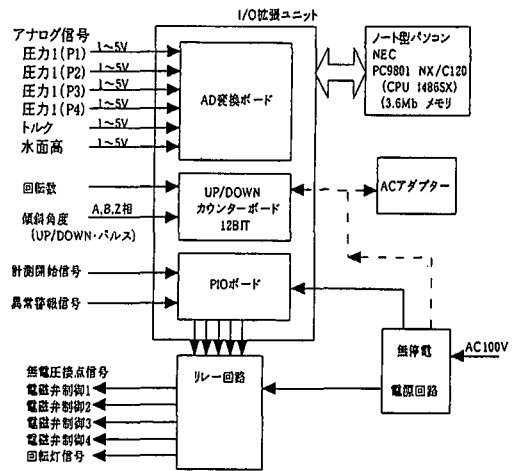


図-4 計測システム図

験に用いた計測システム図を示す。前回同様、測定記録は各計測機器の要素ごとの入出力を測定し、パソコンのハードディスクに自動記録させる方式を採用した。

計測は1) ポンプ圧力 (p1~p4) 4点, 2) モータ軸トルク 1点, 3) モータ回転数 1点, 4) 振り子傾斜角 1点, 5) 波高 1点, 計 8 点とし、一回の計測時間は 20 分間に設定して測定を行った。各測定点ごとのサンプル間隔はテストプラント波高計の計測間隔 0.3 sec に統一し、一回観測 (20 分間) ごとに油圧モータに働く負荷トルクを図-2 の電磁バルブによって切り替え、負荷 A~H (A から順に負荷比 2.5, 1.5, 1.0, 0.8, 0.7, 0.6, 0.45, 0.3) の 8 段階の連続測定を行うものとした。この記録データ

を元に、“入射波パワー”、“ポンプ入力”、“モータ入力”、“モータ出力”を計算し、ついで、一次変換効率 η_1 (ポンプ入力/入射波パワー)、ポンプ効率 η_p (モータ入力/ポンプ入力)、モータ効率 η_m (モータ出力/モータ入力) を算出し、全効率 $\eta (= \eta_1 \times \eta_p \times \eta_m)$ を求めた。図-5 に実測データの例として、1998 年 11 月 18 日 5 時 6 分から計測された水面高、振り子傾斜角、トルク、回転数を示す。また、計測された波高、振り子傾斜角、トルク、回転数

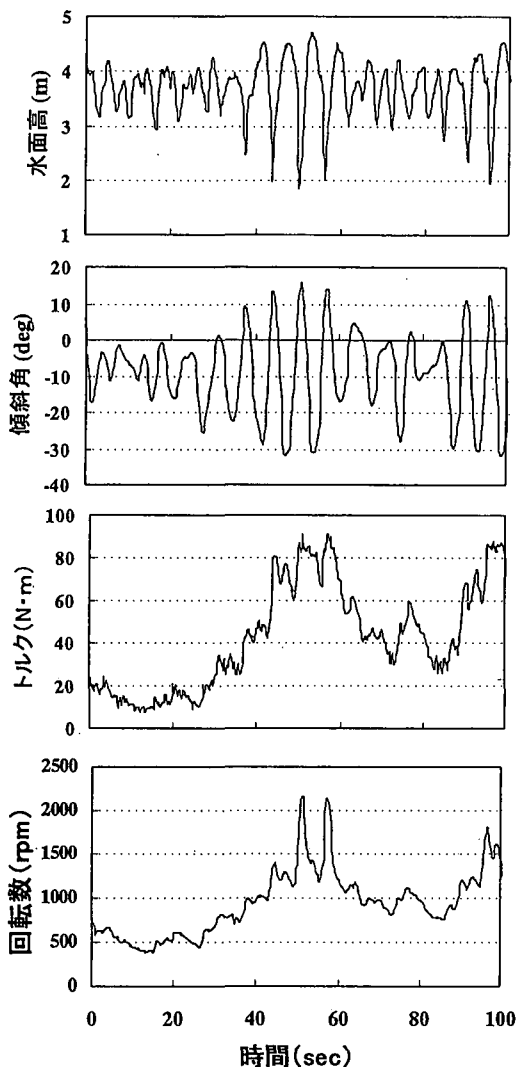


図-5 実測データ例
(1998 年 11 月 18 日 5 : 06 ~ $H_{1/3} = 2.288$, $T_{1/3} = 5.572$)

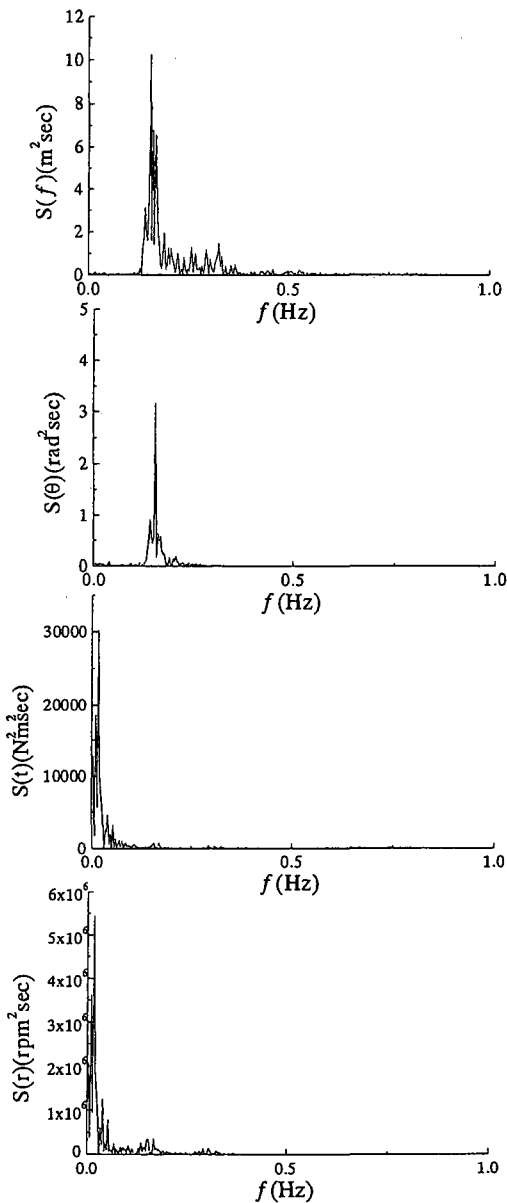


図-6 パワースペクトル
(1998 年 11 月 18 日 5 : 06 ~ $H_{1/3} = 2.288$, $T_{1/3} = 5.572$)

の実測値にFFTを施し、図-6に示すパワースペクトルを求めた。これにより、波に対する振り子揺動の応答が非常に良いことがわかる。

3.2 実験海域の波浪特性

実験海域は室蘭港南外防波堤基部で噴火湾に面した箇所のため、来襲波高はW~WNWの頻度が高くて全体の35.8%を占める。波高1m以上の波の出現率は10.7%で秋季から冬季に集中。春季から夏季にかけては比較的静穏である。波の周期は4~5秒の波が集中して来襲する。

実験海域の沖合1.8km、水深22m地点の波高計(超音波式、北海道開発局所管)とテストプラント横に設置した波高計(空中発射式、室蘭工業大学所管)との、1998年11月10日から11月20日における同時記録を比較し、その結果を図-7に示した。波高は両者の相関係数が0.982と高く、周期においても短周期の4~5秒では0.967と相関性が高いことが分かった。この結果は前年度の研究(加藤ら)と一致している。

4. 実験結果

収集されたデータの中から、沖合の波高計における有義波高が0.3m以上のものを解析し、図-8に全効率と有義波高との関係を各負荷ごとに示す。これより、負荷

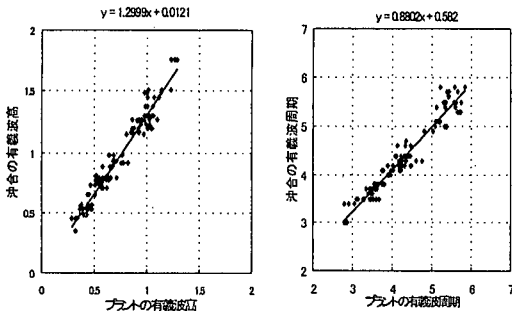


図-7 沖合とプラント横の波の相関性

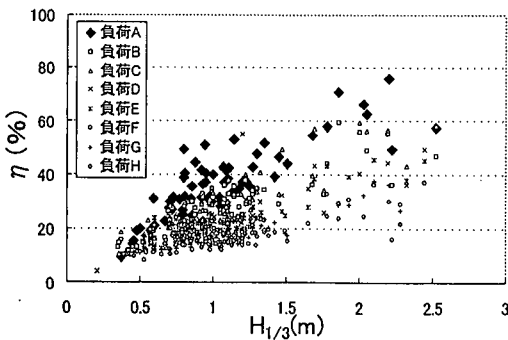


図-8 各負荷ごとの H_{1/3} と全効率の関係

Aが高い効率を示していることがわかる。

図-9, 10に負荷AとHにおける、入射波パワーと各効率の関係を示す。これより、負荷Aが負荷Hよりも一次変換効率が良いことが明確に現れている。負荷Hでは負荷が殆ど掛かっていない状態であり、波に対して振り子が振れ過ぎるためであり、効率が上がらないと考えられる。

全ての負荷において次のような結果が得られた。例として図-11, 12に負荷Aにおける H_{1/3}, T_{1/3} ごとの各効率を示す。H_{1/3}, T_{1/3} の値が大きくなるにつれ一次変換効率、モータ効率は高い効率を示したが、ポンプ効率は高い効率を示さなかった。算出した全効率は H_{1/3} が高くな

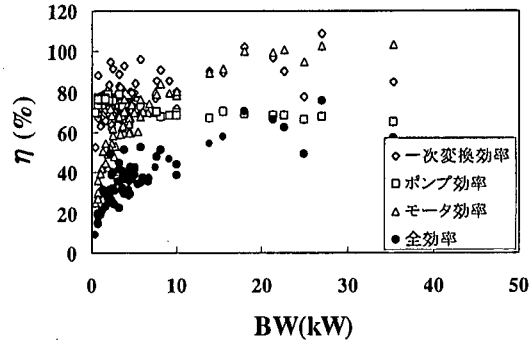


図-9 負荷 A における入射波パワーと各効率の関係

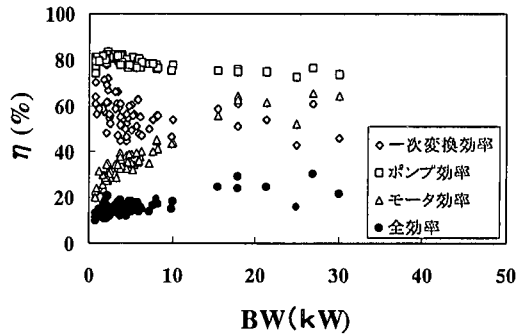


図-10 負荷 H における入射波パワーと各効率の関係

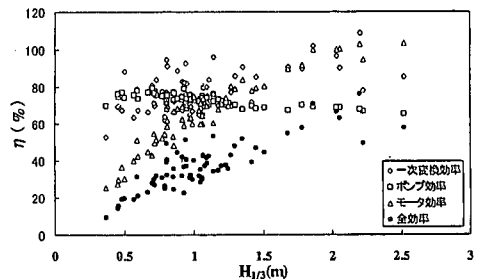


図-11 負荷 A における H_{1/3} と各効率の関係

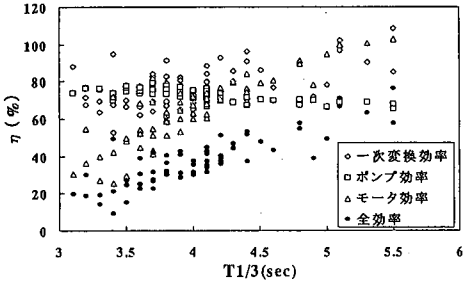


図-12 負荷 A における $T_{1/3}$ と各効率の関係

るにつれて高い効率を示した。特に実験油圧システムの対象設計波高、周期である $H_{1/3}=1.5$ (m), $T_{1/3}=4$ (sec) で高い効率を示した。

一次変換効率は平均 64% を取得した。一次変換効率が高効率を取得できた理由として、図-6 に示す波と振り子傾斜角のパワースペクトルから、波に対する振り子周期の応答が非常に良いことからわかる。ポンプ効率は平均 77% を取得した。工場実験では 90% の実績を上げていたがこれはポンプからアキュムレータに圧油が流れる際の管路損失等が考えられる。モータ効率は平均 47% を取得した。モータ効率は波高変動により効率が変動するので、波高が高くなれば高効率が望める。

5. む す び

1) 今回の実験においてロータリーベーンポンプの改良の結果、特に油漏れを起こしていたために効率が低下していたポンプの向上が得られ、効率は飛躍的に良くなったと言える。

2) 負荷 A~H のうち、負荷 A が一次変換効率、モータ効率では最も高い効率となり、全効率においても最も高い効率となった。

3) 負荷の調整によっては全効率を 40% 以上にすることが可能と推測される。現地実験によるこの値は線状に配置されるシステムとしては現時点で世界的に最高である。さらに、コスト分析から判断しても(近藤ら, 1998), 振り子式は将来の有望な波浪発電システムであると判断できる。

謝辞：実験にあたりご協力をいただいた(社)寒地港湾技術研究センター、(株)樫崎製作所、北日本港湾コンサルタント(株)各位に感謝いたします。

参 考 文 献

長内戦治・近藤俊郎・水野雄三・渡辺富治 (1998): ロータリーベーンポンプによる振り子式波力エネルギー変換装置の実用機開発, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 1221-1225.
 加藤 満・近藤俊郎・長内戦治・井上達治 (1998): 波浪発電実験プラントによる三次元波浪変形特性, 土木学会北海道支部, 論文報告集, 第 45 号 (B), pp. 344-347.
 近藤俊郎 [編著] (1996): 海洋エネルギー利用技術, 森北出版, p. 185.
 近藤俊郎・谷口史一・飯島 徹・渡辺富治・長内戦治 (1999): 改良型ロータリーベーンポンプによる振り子式波浪発電の現地試験, 土木学会北海道支部, 論文報告集, 第 55 号 (B), pp. 214-217.
 近藤俊郎・藤間 聡・加藤 満・飯島 徹・渡部富治・浦島三郎・太田典之 (1998): 波浪発電と海岸保全のためのハイブリッド型システム, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 1226-1230.
 渡部富治 (1997): 振り子式波浪発電システムの高性能化一設計・試作・実験一, 寒地港湾技術研究センター報告書, 39 p.