

II-47

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

室蘭工業大学・フェロー 近藤 徹郎
 室蘭工業大学・学生員 ○ 谷口 史一
 室蘭工業大学・正会員 飯島 徹
 T-Waveコンサルティング・ボランティア 渡部 富治
 北日本港湾コンサルタント 長内 戦治

1. 緒言

化石燃料の大量消費によって、年間、炭素換算で約 55 億トン、森林破壊等によって約 16 億トン、合計約 71 億トンの CO₂ が大気中に放出されている。海洋、南半球森林によってその約半分が吸収されているが残りの約半分は大気中に残留する。1991 年から 2100 年までの間に 1 万 5000 億トン（炭素換算）の CO₂ 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 50cm 上昇すると予測されている。大気中の CO₂ 濃度を 550ppm 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。そこで、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である。再生可能エネルギーは太陽光、太陽熱、水力、風力や波力などで CO₂ を排出しない。政府の補助制度などもあいまって、世界での発電量は今後とも急速に増加する見込みであり、これらの再生可能エネルギーの技術開発は非常に重要な CO₂ 対策であるといえる。

近藤らは波浪エネルギーに焦点をあて、1975 年以来 24 年にわたり、波力エネルギー変換装置の開発を進めてきた。1998 年 7 月、従来のロータリーベーンポンプにさらに改良を加えた 2 号機（工場実験でポンプ効率 90% 以上）を製作、設置し、室蘭港海域で行われた実海域実験の成果を総括し報告する。

2. 振り子式波浪発電の特徴

Fig.1 に室蘭工業大学で開発された、振り子式波浪発電装置（ペンデュラー：Pendulor）を示す。

振り子式波浪発電の特徴として以下の(1)~(4)があげられる。

- (1) 防波堤に働く波力が軽減される。
- (2) 受波板を除き、電機・油圧装置は海面上方に設置される。
- (3) 受波板の運動は定常波流跡に沿い流れ損失が生じにくく、効率が良い。
- (4) 油圧ポンプ/モータ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。

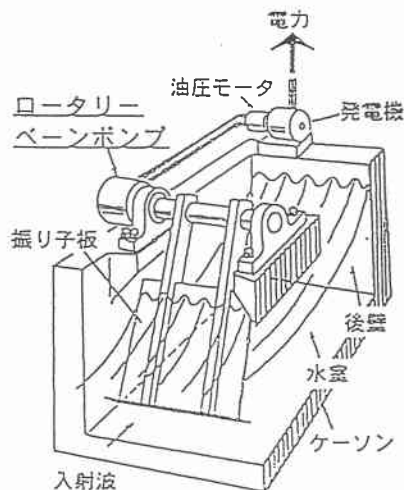


Fig.1 振り子式波浪発電装置

Field Experiment on Improved Rotary Vane Pump for Pendulor Wave Power System.

Hideo KONDO, Fumikazu TANIGUCHI, Toru IJIMA, Tomiji WATABE and Senji OSANAI.

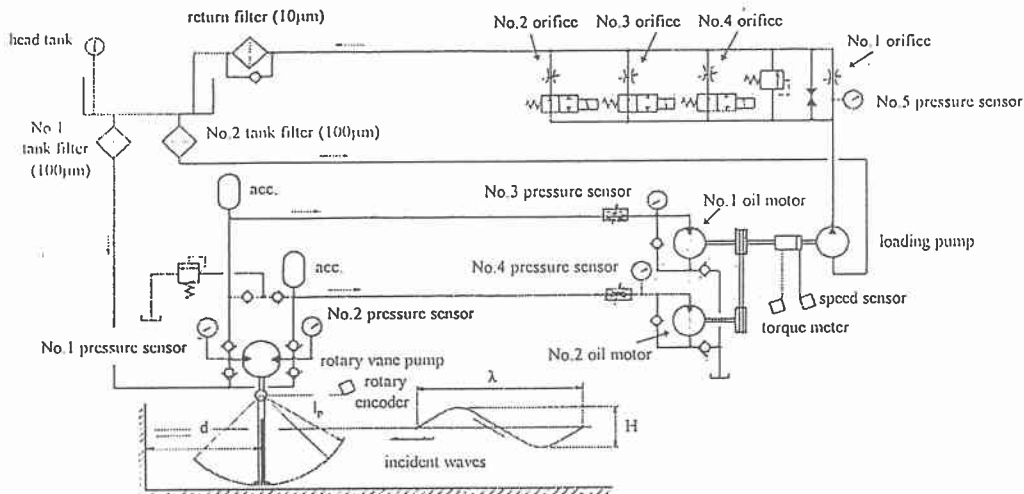


Fig.2 システム回路図

3. 実験装置

3.1 システム概略図：Fig.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。

一般に波力パワーはほぼ波高 H の 2 乗に比例するので、Fig.2 のような一定速度回転では H^2 に比例したモータ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。

今回の実験機では、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た。海上運転の耐久性向上も確認され、この構造は実用化への基準になると考えられる。

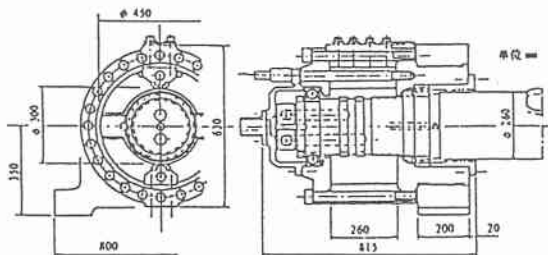


Fig.3 振り子用ロータリーベーンポンプ

3.2 振り子用ロータリーベーンポンプ：Fig.3 に振り子用ロータリーベーンポンプを示す。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はない。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。

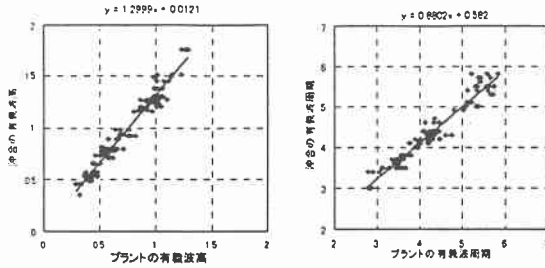


Fig.4 沖合とプラント横の波の相関性

4. 実験方法

4.1 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の頻度をもっとも高く、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Fig4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。

4.2 計測装置：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。Fig5にこの実海域実験に用いた計測システム図を示す。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間隔 0.3sec 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Fig2の電磁バルブによって切り替え、負荷A～H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 η ($=\eta_1 \times \eta_p \times \eta_m$)を求めた。Fig6に実測データの内、例として水面高、傾斜角、トルクを示す。

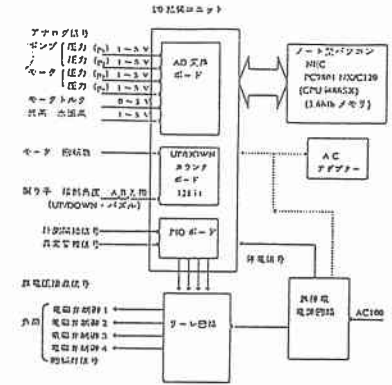


Fig.5 計測システム図

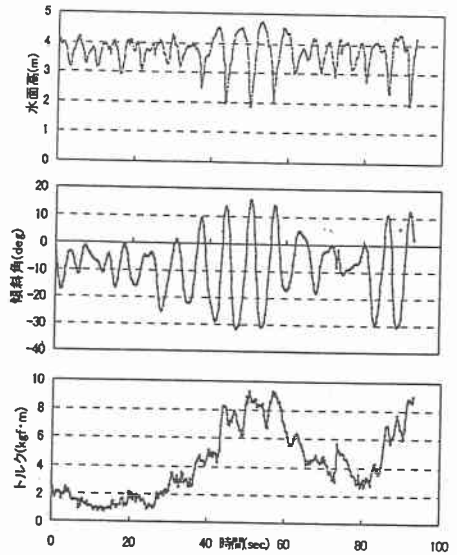


Fig.6 実測データ例

5. 実験結果と考察

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、Fig.7 に全効率と有義波高との関係を各負荷ごとに示す。これらより、負荷 A が高い効率を示していることがわかる

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 Fig.8、9 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・波浪発電は高い効率を示さなかった。算出した全効率は $H_{1/3}$ が高くなるにつれて高い効率を示した。特に実験機の設計波高、設計周期である $H_{1/3}=1.5(\text{m})$ 、 $T_{1/3}=4(\text{sec})$ では高い効率を示した。

ポンプ効率は工場実験では 90% の効率を上げたにもかかわらず、現地試験においては 75% 前後となったのはベーンポンプからアキュムレータへ圧油が流れる際の管路損失等であると考えられる。

6. 結言

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、効率は飛躍的に良くなったと言える。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た。

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。負荷の調整によっては全効率が 40% 以上にすることが可能と推測され、この結果から、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)植崎製作所、T-Wave コンサルティングボランティアならびに室蘭工業大学 工学部 建設システム工学科学生、浜田 和哉君に感謝いたします。

参考文献

- (1) 長内戦治・近藤俊郎・水野雄三・渡部富治 (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 pp1221~1225
- (2) 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) pp344~347
- (3) 近藤俊郎[編著] (1996)：海洋エネルギー利用技術、森北出版
- (4) 渡部富治 (1997)：振り子式波浪発電システムの高性能化 ～設計・試作・実験～

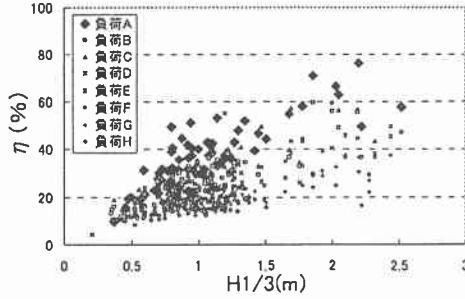


Fig.7 各負荷ごとの全効率と有義波高との関係

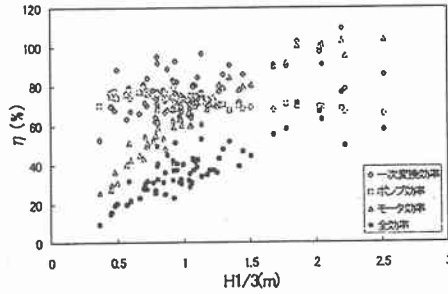


Fig.8 負荷 A における $H_{1/3}$ と各効率との関係

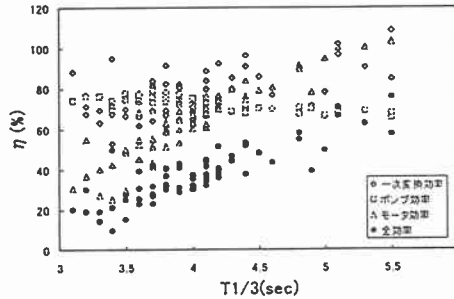


Fig.9 負荷 A における $T_{1/3}$ と各効率との関係