

水弁集約式波力発電システムに関する基礎的検討

Basic Study of Pneumatic Wave Power Conversion System with Water Valve Rectifier

菊地 新喜・石澤 清史*・植木 圭一*

東北学院大学工学部, 宮城県多賀城市中央 1-13-1

*東北電力株式会社, 宮城県仙台市青葉区中山 7-2-1

Shinki Kikuchi, Kiyoshi Ishizawa* and Keiichi Ueki*

Dept. of Elect. Engng., Tohoku Gakuin University, 1-13-1 chuo Tagajo 985-8537 Japan

* Electricity Technology R & D C. Tohoku Elect. Power Co., Inc., 7-2-1 Nakayama Aoba-ku Sendai 981-0952 Japan

(1999年10月28日受理、2000年1月25日採録)

It is necessary to utilize natural energies positively to reduce CO₂ in the atmosphere. Wave energy surging upon the Tohoku area coast estimated to total about 13 million kW is viewed as a future energy source. We discussed a practical generating system using wave power, and now propose an original method. We describe the composition of our power generating system with water valve rectifier and present experimental test results. We also discuss the basic characteristics of the wave power generating system using our model system.

Key words: pneumatic wave power conversion system, water valve rectifier

1. はじめに

地球環境を保全するために CO₂ 削減が国際的に義務づけられており, 化石燃料の使用を削減するものとして, 太陽エネルギー, 風力エネルギー, 海洋エネルギーなどの自然エネルギーの利用が今後の重要な課題となっている。東北地域は波エネルギー賦存量が多く, 干満差が少ないため, 波力発電システムを設置する好条件に恵まれている。そのため, 波力発電船「海明」や東北電力原町火力発電所に発電出力 130 kW の波力発電実証試験設備が建設されるなど活発に研究がなされている¹⁾。本稿では東北電力原町火力発電所に建設された水弁集約式波力発電システムの概要と実証試験に先立ち, 水弁集約式波力発電システムの実動模型を製作し波力発電システムの動作に関する基礎的検討を行った結果について報告する。

2. 水弁集約式波力発電システム

平均波エネルギーは (1) 式より近似的に求められる²⁾。

$$W_1 = 0.5 r_s \overline{H_{1/3}}^2 H_{dev} \overline{T_{1/3}} \quad (1)$$

ここに $\overline{H_{1/3}}$ は年間平均の有義波高 m, $\overline{T_{1/3}}$ は年間平均の有義波周期 s, H_{dev} は有義波高の標準偏差, r_s は波エネルギーと $H_{1/3}$ および $T_{1/3}$ との関係を定める係数であり, ある基礎となる年の 1 年間のデータに基づいて各観測点毎に求めているが, すべての観測点で $r_s = 2.7$ として計算している。

これによると東北地方の太平洋側では 7~9 kW/m の波エネルギーとなり, 東北地方全体では国全体の約 1/3 に相当する年平均 1300 万 kW の波エネルギーが打ち寄せている。東北電力株研究開発センターでは, このように東北地方が波力発電に有効な立地条件を有することに着目し, 原町火力発電所南防波堤の先端に発電出力 130 kW の水弁集約式波力発電システムを建設した。

Fig 1 に水弁集約式波力発電システムの全体構成図を示す。波エネルギーを空気エネルギーに変換する空気室, 空気室に取り込んだ往復空気を一方向に整流して取り出す水弁室, 水弁によって整流された空気流を集約する集合ダクト, 集合ダクトで集約された空気流により発電するタービン発電機より成る。図より明らかなように, 寄せ波時は空気室内の空気の圧縮作用で発生する大気圧より高い圧力 (以下正圧という) のみを通過させる正圧水弁, 引き波時には空気の吸引作用で発生する大気圧より低い圧力 (以下負圧という) のみを通過させる負圧水弁とを一对にし, 空気室に取り入れた往復空気流を水弁により一方向に整流し, 寄せ波時, 引き波時の両期間で発電できるようにしている。

Table 1 に本システムに使用したタービン発電機の仕様を示す。タービンには正圧空気流で回転する正圧タービンと負圧空気流で回転する負圧タービンを 1 軸に取り付けたタンデム式衝動形空気タービンを使用した。発電機としては誘導発電機を用い, 極数を 6 極と 12 極に切り替えることにより波浪状況に合わせた発電を可能にしている。定格発電出力はそれぞれ 130 kW, 65 kW である。

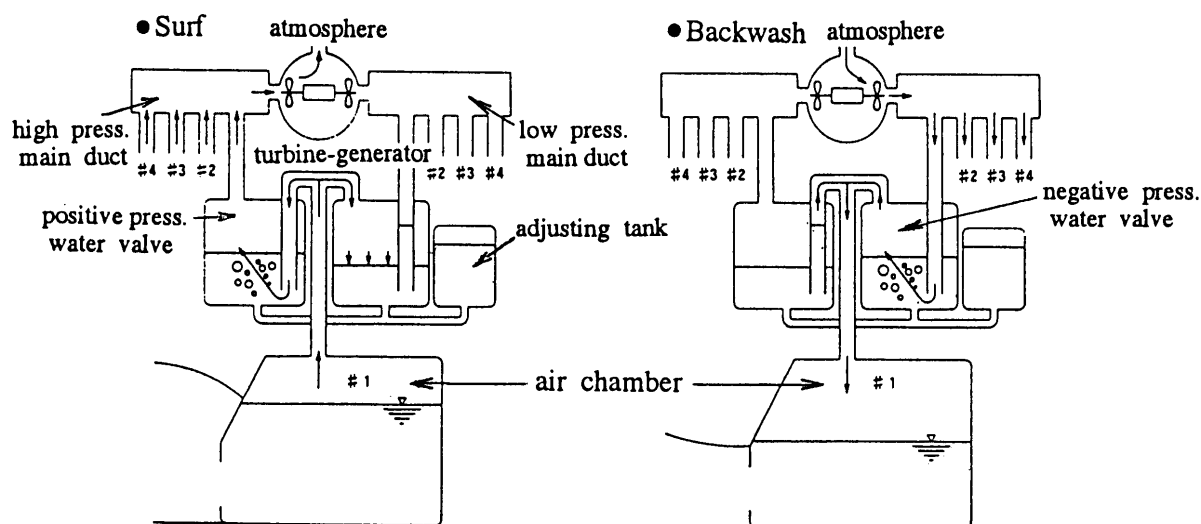


Fig. 1 Overall composition of the wave power generating system

3. 模型による実験結果

本システムの実証試験に先立って水弁集約式波力発電システムの模型を製作し行った基礎実験の結果について検討する。

Fig. 2 に装置の概観図を示す。水槽、水弁室、波力空気室、タービン室、造波装置から成る。各パーツは10mm 厚の透明アクリル板で製作し、装置内の水の動きを見えるようにした。水弁室は装置中央で仕切られた二空気室である。正圧側、負圧側とも二つずつあるが、ダクトは正圧側、負圧側とも一つずつに集約させている。造波装置は波こぎ板として20mm 厚のアクリル板を使用し、回転板をモータにより回転させ、クランクを介して波こぎ板を動かす。回転板の回転数 N は0~210 rpm の範囲で調整できるようにした。

Fig. 3 に波高特性を示す。これを見ると、波高値 H は回転数 $N = 0 \sim 90$ rpm の範囲ではほぼ比例して増加していることがわかる。 $N = 105$ rpm 付近で最大波高になるのは共振によるものと思われる。

Table 1 Dimensions of generating system

Turbine	Tandem type impulse air turbine	
Generator	3 ϕ induction generator	
Output power	130 kW	65 kW
Number of poles	6	12
Synchronous speed	1000 rpm	500 rpm
Voltage	400 V	
Frequency	50 Hz	

Fig. 4 に波の周波数特性を示す。これを見ると、波の周波数 f は回転数 N に比例して増加していることがわかる。

Fig. 5 に回転数 N に対するタービン回転数 N_T 、発電機誘起起電力 E の関係を示す。これを見ると、タービンは $N = 95$ rpm で回転を始め、その後、波高値と同じ傾向で減少している。これより誘起起電力 E は波高値 H およびタービン回転数 N_T に比例していることがわかる。

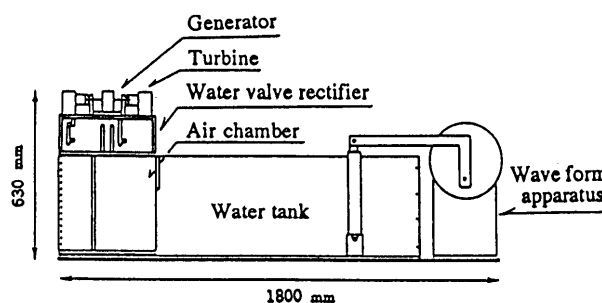


Fig. 2 Model of wave power conversion system built as a trial unit

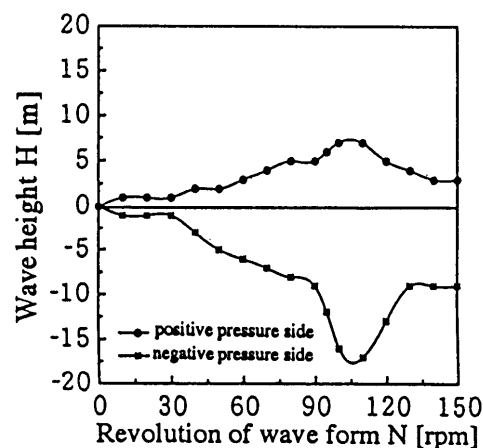


Fig. 3 Relation between revolution of wave form N and wave height H .

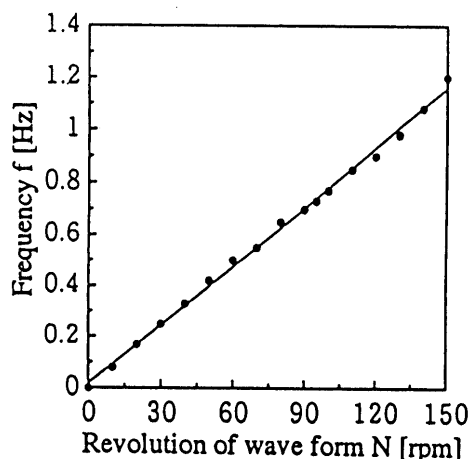


Fig. 4 Relation between revolution of wave form N and wave frequency f.

4. 実証試験結果および検討

次に今までに得られている実証試験データについて検討する。

Fig. 6 に空気室の圧力変化を示す。有義波高 80 cm，波周期 7s の時のデータである。これを見ると，防波堤先端部に近い No. 4 空気室の圧力が始めに立ち上がり，次いで No. 3，No. 2，No. 1 空気室の順に圧力がほぼ正弦波状に変化し，それぞれ正圧，負圧のダクトに集約されていることがわかる。

Fig. 7 は正，負圧集合ダクト圧力と発電出力の時間変化を示す。これを見ると，発電出力 W は正，負集合ダクトの差圧（＝タービン入口差圧）にほぼ比例して変化していることがわかる。又，瞬時的ではあるが，この程度の低い波でも 130 kW 程度の発電をしていることがわかる。しかし， $t = 200 \sim 205$ s の期間において発電出力が負の値になっており，発電機が電動機として動作し，配電系統より受電していることがわかる。本システムの発電特性は，水弁の没水深度にも大きく影響されるので今後検討する必要がある。

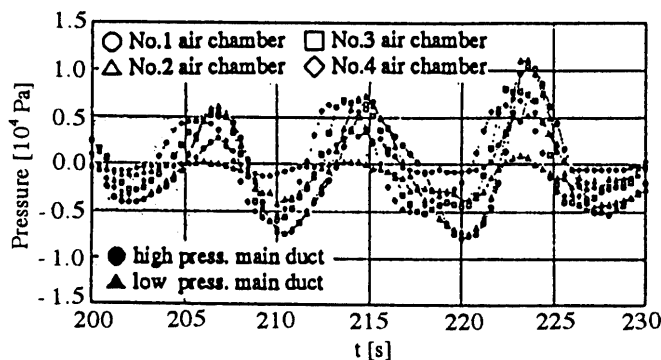


Fig. 6 Pressure change in each air chamber.

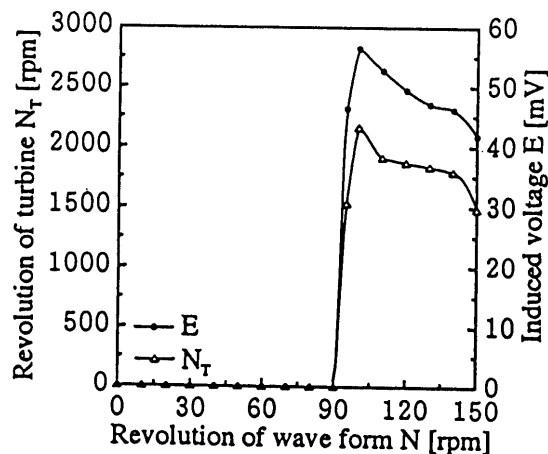


Fig. 5 Relation between revolution of wave form N and revolution of turbine N_T , induced voltage E.

Fig. 8 は平成 8 年冬から平成 9 年春までに計測された 166 のデータを解析処理して得られた空気室の圧力 ΔP と発電電力 W の関係を示す。これを見ると，多少のバラツキはあるが，空気室の圧力差 P_{air} が大きくなるに従い発電出力も大きくなっていることがわかる。しかし，定格出力 130 kW を超えるデータは全体の 3% 程度であることも了解される。

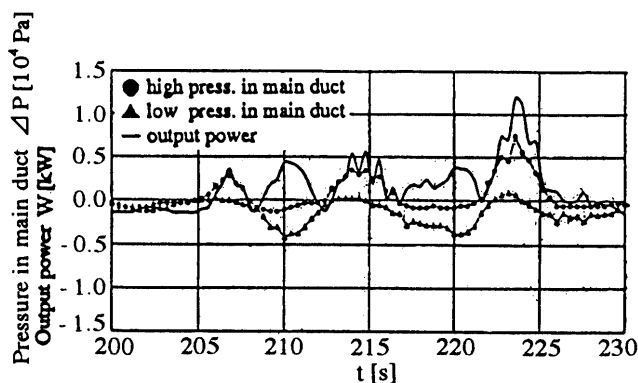


Fig. 7 Time variation t of the output power W and pressure ΔP in main duct.

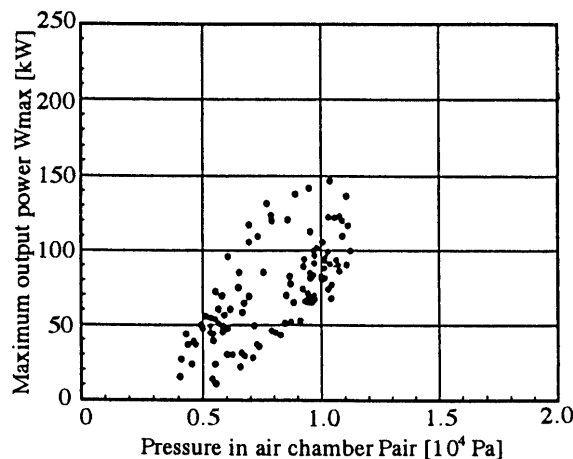


Fig. 8 Relation between maximum output power W_{max} and pressure P_{air} in air chamber.

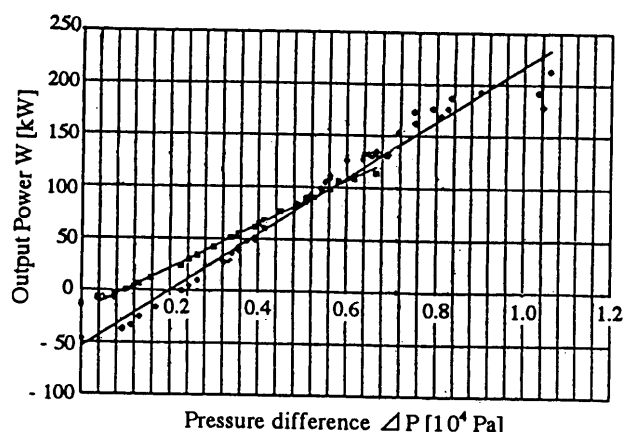


Fig. 9 Relation between output power W and pressure difference ΔP .

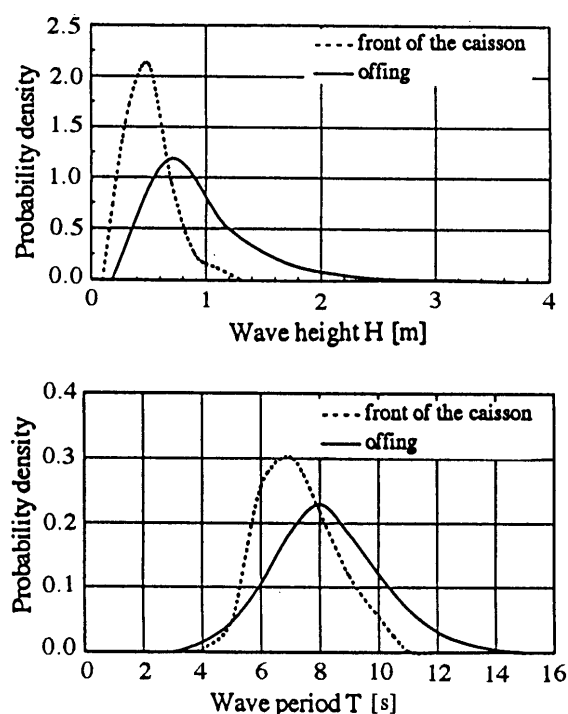


Fig. 10 Probability density of wave height H and wave period T .

Fig. 9 は正負集合ダクトの差圧 ΔP と発電出力 W の関係を示す。これを見ると、発電出力 W は正負集合ダクトの差圧 ΔP にほぼ比例していることおよび $P = 0.6 \times 10^4 \text{ Pa}$ 以下では、 $N = 500 \text{ rpm}$ 運転の方が大きい出力が得られることがわかる。

Fig. 7～9 の結果より発電機定格について検討してみる。

Fig. 10 に平成 8 年 9 月から 11 月までの期間に計測した有義波の波高 H と周期 T の出現状況を示す。これを見ると、波力発電ケーソンのあるところの波は 50 cm 付近の波高がほとんどで、最大でも 2 m を越えていないが、沖合の波は 75 cm を中心に最大 3 m まで広く分布している。周期についても沖合より約 1 秒短くなっていることがわかる。発電機設計に際しては、沖合の波のデータを用いていたため、発電機定格が大きく設計されていたことが了解される。

5. まとめ

以上、水弁集約式波力発電システムの動作について、模型実験により基礎的検討を行ない、発電出力 W は波高値 H に比例することなど基本的事項を確認した。更に実証試験の測定結果について検討し、130 kW の発電出力が発生することを明らかにしたが、発電機極数の設定や水弁没水深度の調整など、今後更に検討する事項が多々あることも明らかになった。今後は発生電力量を最大にする発電システムについて検討する予定である。

文 献

- 1) 石澤清史：電気現場技術，37，431，p.23 (1998)
- 2) 波エネルギー利用技術の現状と将来展望：土木学会エネルギー土木委員会編，p.5 (1990)