

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560474

研究課題名(和文) 現地用波力水車の製造と現地海岸のエアレーション実験

研究課題名(英文) Invention of waterwheel working by field waves  
and its application to the aeration for coasts

研究代表者

石田 啓 (ISHIDA HAJIME)

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：50093183

研究成果の概要(和文)：海岸波浪エネルギーを抽出する3種類の波力水車(①リンク使用, ②チェーン使用の現地用, ③浮体式の現地用)を製作し, 現地用の圧縮空気製造装置を完成した。①および②の水車では毎分17lもの空気製造に成功し, 特に②の現地用の大波浪対応型での製造実証は大きな成果である。しかし周辺の現地では利用可能な栈橋が無いため, 現地に多い防波堤に設置できる③の水車を新たに試作し, 重複波による圧縮空気製造に成功した。

研究成果の概要(英文)：Three kinds of waterwheel (①using link, ②using chain, ③floating type) working by waves have been invented for the generation system of compressed air in fields. The wheel ① and ② can generate 17 l per minute, and especially the success of the field type ② for large waves is a good result. However there is few piers for placing these wheels. Then the new floating type wheel which can be placed on the break water is invented to generate compressed air by standing waves.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：波浪エネルギー利用

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：海岸工学, 水車, エネルギー, 圧縮空気, 水理実験

## 1. 研究開始当初の背景

今世紀の人类的な重要課題は, Energy, Environment, Economy, Ecology の頭文字を採った4Eの時代であるという向きが有る。これは, 地球環境の悪化を防ぎつつまた多種生物のDNA保存を重視し, 豊かな人間社会の保持・発展を目指すための最重要事項を意味

するが, 人類と他の生物が快適に生活するためには, まず良好な生活環境とエネルギーが必要である。この場合, 環境負荷の少ない再生可能なエネルギー資源の一つに海岸波浪の持つエネルギーがある。波浪エネルギーは, 海に囲まれた我国全体では, 約3,500万Kwと豊富なことから, その有効利用が大いに期

待され、特に冬季波浪の激しい日本海域において波力発電に関する現地実験が実行された経緯はあるが、現在でも実用化の域に達しているとは言い難い。

波浪エネルギー利用システムは従来から様々な方式が研究され、その主な方式は既に詳しく分類されているが、その中で海面の上下運動の位置エネルギーを空気タービンで抽出する方式および波浪による水粒子の運動エネルギーを水車や波受け板で抽出する方式に関する研究成果が数多く蓄積されている。前者は空気室の建設に多大な費用を要する割には空気タービンによるエネルギー変換効率が低く、得られるエネルギーは大きくない。

一方、波浪の運動エネルギーの抽出を目指した近藤らの研究では、波力を受けて振り子運動する波受け板が消波効果を発揮すると同時に、板の運動を動力とした波力発電が可能になるという極めて合理的な装置を開発している。ただしこの装置では、油圧ポンプを用いて板の往復運動を一方向回転力に整流し、この回転力で発電機を駆動する構造になっているため、油圧ポンプのエネルギー変換効率や不安定性の高い電力の実用化などに課題を残しているように思われる。

一般に、波力発電は波浪の不規則性の影響を受けるため、もともと安定性面で課題があり、したがって、クリーンなエネルギーを安定して利用できることも強く望まれているため、波浪エネルギーを電力に変換することは必ずしも得策ではない。即ち、多様なエネルギー形態での利用方法を追求することが重要である。例えば、得られた波浪エネルギーを電力化しないで直接にコンプレッサを駆動して圧縮空気を製造したり、海水を輸送するポンプの動力に使用するといったよう

に、幅広い波浪エネルギー利用システムを開発することは港湾や沿岸地域における省エネ対策や水質環境改善などに大いに役立つと期待される。

## 2. 研究の目的

ここでは、海岸波浪の持つエネルギーを利用して、沿岸域の環境改善を行うことを目的とする研究を行う。具体的には、波のエネルギーにより駆動軸が回転する波力水車を作成し、この駆動軸に圧縮空気を製造し得るコンプレッサを採りつけた波力水車システムの完成を目指す。得られる圧縮空気が大量な場合はこれを動力源として波浪発電などに利用できるが、そのまま海中に放出することにより海水の溶存酸素量を増加させることが可能なため、小規模システムの場合でも、海水の浄化に利用できる長所がある。

波のエネルギーには運動エネルギーと位置エネルギーがあるが、まず運動エネルギーを取り出す波力水車として、波力を受けて往復運動する波受け板の振り子運動を一方向回転に変換するためのギア構造を組み込んだ「振り子式の波力水車」を作成開発した。

この水車では、波受け板の振動を増幅するためにリンク機構を使用しているが、現地波浪のような突如大きな波が来襲する場合には、装置が破壊される危険性がある。そのため、次に波受け板の振れ角度を大きくし得るように、「チェーン構造の波受け板方式の水車」を開発し、現地設置用の水車を試作した。

この現地用に開発した波力水車を現地に設置するに際し、栈橋のような沿岸構造物を利用する事が好都合であるが、周辺には適当な場所は無く、ほとんどが防波堤形状のもの

であったため、波力水車の形状を再度修正する必要が生じた。即ち、防波堤の前に生じる重複波の位置エネルギーを利用する「浮体式の波力水車」への改良を行う事とした。ただし、いずれの場合もコンプレッサーを使うが、通常のコンプレッサーではピストンシリンダーの潤滑油が海水に混入する危険性が有るため、本装置では、既に新規開発したリニアクランク式コンプレッサーを使用した。

### 3. 研究の方法

金沢大学自然科学研究科にある長さ約22m, 幅1m, 深さ1.8mの造波水槽に、波力水車を設置して圧縮空気の製造実験を行った。水槽の一端には吸収式造波機が設置されており、他端に、圧縮空気発生装置を設置したが、波力水車は3種類を用いた。進行波を使用する「リンク方式の波受板水車」を写真1に、「チェーン方式の波受板水車」の写真および設計図を、写真2および図1に示す。

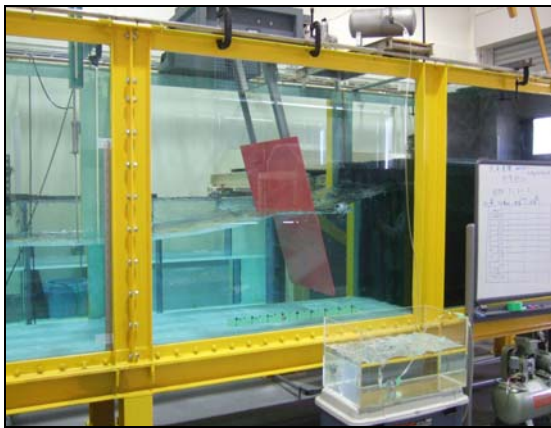


写真1 リンク式の波受板型波力水車

これらは主として進行波の運動エネルギーを取り出すものであり、波受板は、幅90cm, 高さ100cm, 厚さ6mmの鋼板を用いたが、静水状態では板の下方約50cmが没水する状態で設置した。波受け板の水槽の底からのクリアランスは11cm, 水槽側壁からは両岸とも約

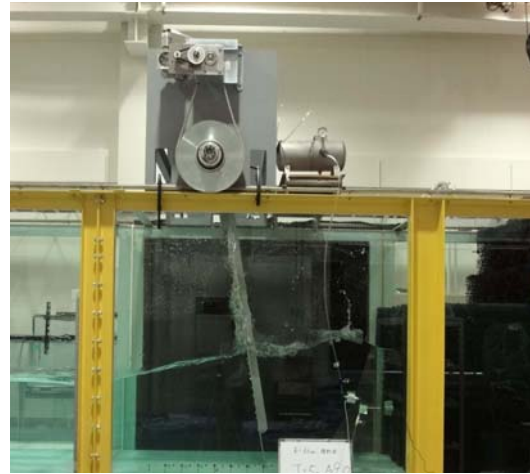


写真2 現地用のチェーン式波受板型波力水車

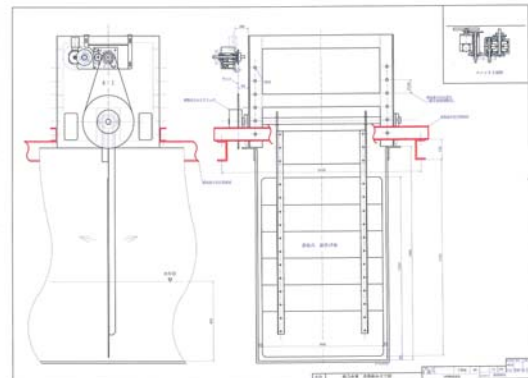


図1 チェーン式波受板型波力水車設計図



写真3 現地用浮体式波力水車

5cmとした。現地設置用の浮体式水車の写真を写真3に、設計図を図2に示すが、半円筒の浮体は、中に水を注入することにより質量を変化させて、その固有振動数と波の振動数との関係を調節できるように設計されている。

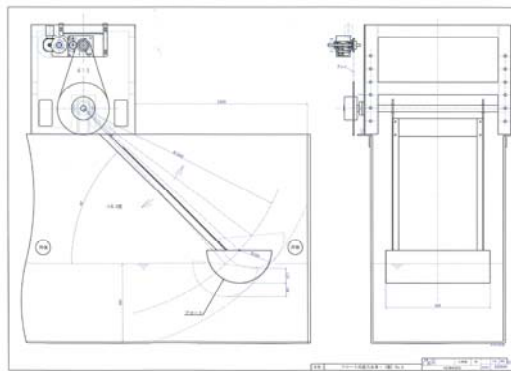


図2 現地用浮体型波力水車設計図

これらの3種類の波力水車により製造された圧縮空気は、必要な圧力になるようにエアタンクに貯めた後、水中に放出した。

実験データは、波の周期を固定して波高を順次変えながら、発生空気量を計測した。

#### 4. 研究成果

代表的な一例として、進行波の波力を利用する写真1のリンク式の波受板型の波力水車を用いた場合を示す。図3は、周期3秒で波高10cmの波による発生空気量の時間変化を示すが、峰および谷の両方の位相で空気が製造されることが分かる。これは、往復振動運動を一方方向回転に整流するギヤ装置を組み込んでいるためであり、本空気製造装置が高効率となるゆえんである。

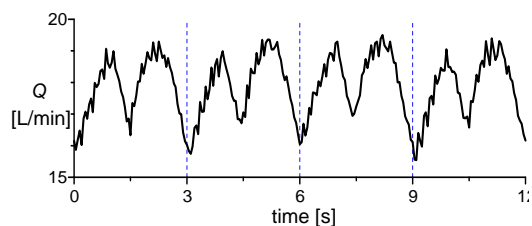


図3 発生空気量の時間変化

これらのデータを整理して各波の周期ごとに波高を変えながら平均的な発生空気量を計測した結果を図4に示すと、実験室スケールの小さな波で、毎分15~20Lもの多くの空気が製造されることが分かった。

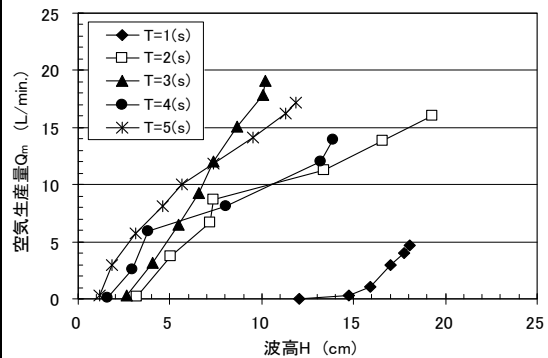


図4 波高による発生空気量の変化

図2に示す現地用のチェーン式の波力水車の結果を図5に示すと、リンク式よりやや性能は落ちるが、同様の良好な結果が得られる。

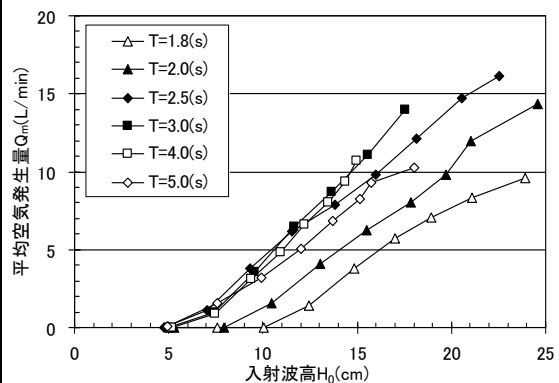


図5 現地用チェーン式波力水車の場合

図6はこの結果を波のエネルギーと発生空気エネルギーの関係を示したものであり、この外装曲線を作ることにより、現地波浪に適応できる圧縮空気抽出パワーの予測が可能となる。

さらに、波力水車を現地設置するに際し、現実には栈橋構造物が少なくなっている状態であるため、防波堤や岸壁などの前にその

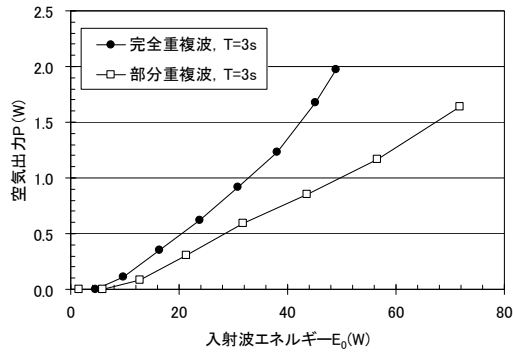


図6 波と圧縮空気のエネルギーの関係

まま設置できる浮体式の波力水車の製作が必要となったが、写真2および図2に示す浮体式の波力水車の作成を試みた結果、重複波の位置エネルギーを利用して圧縮空気を製造し得る新型の波力水車の製作に成功したと言える。

今後は、浮体の中へ注入する水を変えることにより、浮体部の固有振動数と波の振動数との関係が与えるエネルギー抽出効率の変化を研究することが重要である。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 17 件)

- ① M.Amakata, M.Yuhi, H.Ishida,  
A Numerical Study of Wave Propagation and Run-up in Water Channels, Journal of Hydrodynamics, Vol.22(5), (2010), pp.197-202, 査読有
- ② 細沼宏之, 齋藤武久,  
ケーソン防波堤連結目地内での流体共振特性に及ぼす入射角の影響, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.66, No.1, (2010), pp.831-835, 査読有
- ③ 大貝秀司, 榎田真也, 石田啓,  
振り子式波力エネルギー吸収装置による圧縮空気発生と消波特性に関する実験的研究, 海洋開発論文集, 第 26 巻, (2010), p.525-530, 査読有

- ④ 由比政年, 榎田真也, 早川和宏, 川島弘靖, 浦貴暁, 石田啓,  
千里浜海岸における海浜変動の基本特性に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.66, No.1, (2010), pp.561-565, 査読有
- ⑤ 榎田真也, 由比政年, 石田啓,  
振動流場における小口径円柱周辺の局所洗掘に関する 3 次元数値解析, 海岸工学論文集 第 56 巻, (2009), pp.786-790, 査読有
- ⑥ 榎田真也, 由比政年, 石田啓,  
振動流場における小口径円柱周辺の局所洗掘に関する 3 次元数値解析, 海岸工学論文集 第 56 巻, (2009), pp.786-790, 査読有
- ⑦ 大貝秀司, 榎田真也, 石田啓,  
自然力利用の振り子式波力水車による圧縮空気自動製造に関する実験的研究, 海洋開発論文集, 第 25 巻, (2009), p.383-388, 査読有
- ⑧ 細沼宏之・齋藤武久・藤井 誠・石田啓,  
不規則波の入射に伴うケーソン防波堤連結目地内での流体共振特性, 海洋開発論文集, 第 24 巻, (2008), pp.495-500, 査読有

[学会発表] (計 11 件)

- ① M. Ichikawa, T. Saitoh, G.P. Miao,  
Theoretical analysis on wave and structure interaction around composite-type coastal structure, A case study of a seawall and detached breakwaters, Proc. 9th Int. Conf. on Hydrodynamics, (2010.10.14), pp.482-488, (China)
- ② S.Ogai, S.Umeda, H.Ishida,  
An experimental study of compressed air generation using a pendulum wave energy converter, Proc. of the 9th Int.

Conf. on Hydrodynamics, (2010.10.12),  
p.290-295, (China)

③ S. Umeda, M. Yuhi, H. Ishida,

Forces and vortex patterns around a  
circular cylinder in asymmetric  
oscillatory plus mean flow, Proc. of the  
5th Coastal Structures International  
Conference, CSt07, ASCE, Vol.1, (2009.  
7.3), pp.1000-1010, (Italy)

④ F.Kanemaki, O.Kunita, M.Yuhi,  
H.Ishida,

Reduction of Wave Penetration into  
Harbors by V-Shaped Approach  
Channel, Proc. 19th Int. Offshore and  
Polar Eng. Conf., Vol.3, (2009.6.25),  
pp.1222-1229, (Japan, Osaka)

⑤ T. Saitoh, H.Hosonuma, H.Ishida,

Resonant fluid motions in joint gap of  
caisson-type breakwater under random  
wave attack, Int. Conf. Coasts, Marine  
Structures and Breakwaters 2009, ICE,  
Vol.2, (2009. 9.17), pp.446-456, (UK)

⑥ S. Umeda, T. Yamazaki, H. Ishida,

Time evolution of scour and deposition  
around a cylindrical pier in steady flow,  
Proc. of the 4th Int. Conf. on Scour and  
Erosion, (2008.11.6), pp.140-146,  
(Japan, Tokyo)

⑦ S. Umeda, M. Yuhi, H. Ishida,

Three-dimensional numerical model for  
wave-induced scour around a Vertical,  
Cylinder, Proc. of 31th Int. Conf. on  
Coastal Engineering, ASCE, Vol.3,  
(2008.9.1), pp.2717-2729, (Germany)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 啓 (ISHIDA HAJIME)

金沢大学・環境デザイン学系・教授  
研究者番号：50093183

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

由比 政年 (YUHI MASATOSHI)  
金沢大学・環境デザイン学系・教授  
研究者番号：20262553

齋藤 武久 (SAITOH TAKEHISA)  
金沢大学・環境デザイン学系・准教授  
研究者番号：40242531

榎田 真也 (UMEDA SHINYA)  
金沢大学・環境デザイン学系・准教授  
研究者番号：30313688