

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：	基盤研究(C)
研究期間：	2006～2008
課題番号：	18560772
研究課題名(和文)	波浪エネルギー吸収のための最適浮体構造に関する研究
研究課題名(英文)	Study on Optimal Hull Design Method for Wave Energy Absorption
研究代表者	永田 修一 佐賀大学・海洋エネルギー研究センター・教授 30404205

## 研究成果の概要：

本研究では、波浪エネルギーを吸収するための最適浮体形状を明らかにすることを目的として研究を実施した。基本的な浮体形状として、後ろ曲げダクトパイと呼ばれる波力発電装置をターゲットとし、この装置について 1) 形状の異なる 5 種類の装置模型を用いて浮体形状によるエネルギー吸収性能への影響、2) 数値計算および水槽実験を用いて装置に働く波強制力、ラディエーション流体力特性等を明らかにした。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18 年度	2,400,000	0	2,400,000
19 年度	600,000	180,000	780,000
20 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	330,000	3,830,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海洋流体工学、自然エネルギー、海洋波浪

## 1. 研究開始当初の背景

自然エネルギーの一つである波浪エネルギーは無公害で豊富な資源である。地球温暖化に代表される環境破壊が進み、石油の暴騰も続いている今日、波浪エネルギーの有効利用は人類にとって喫緊の課題であり、その利用技術の開発は海洋工学に関係する研究者の責務でもある。波浪エネルギーから電気エネルギーへ変換する波浪発電システムとして、数多くの方法が提案され、現在、その実用化のための研究が世界各所で行われている。このシステムは、波浪エネルギーを取り

出す方法により、振動水柱型、可動物体型、越波型、また、設置方法から固定式、浮体式等に分類できる。中でも、浮体内部に、水室とそれに連結された空気室を設置して、波浪エネルギーから空気エネルギーへの一次変換を行い、その後、空気流で空気タービンを回転させることによって空気エネルギーから電気エネルギーへの二次変換を行う浮体型振動水柱方式は、現実的で最も実用化に近い方法とされている。それは、この方式が、台風等の異常時には空気を解放することによって装置の安全性を確保できること、浮体をドックで製作できるため経済的である等

の利点を持つためである。このため、日本では過去に、この浮体型振動水柱方式の具体的なシステムとして、船型波力発電装置「海明」や「マイティーホエール」等が提案され、実証実験も行われている。

しかしながら、これらのシステムは、波浪エネルギーから空気エネルギーへの一次変換効率が悪い。設備費が高い。浮体の係留にも多額の費用が必要である。二次変換装置として用いられたウェルスターピンは世界的な主流であるが、高出力の場合、強度、保守及び騒音に難点がある。波が自然任せでいつも安定したエネルギーを得ることができないため、電力貯蔵技術が必要である。等の理由から、実用化のレベルには達していない。

## 2. 研究の目的

本研究では、浮体型振動水柱方式の波浪発電システムの実用化するために、課題を克服する研究を行う。具体的には、浮体の全体形状及び内部の水室とそれに連結された空気室の大きさ・配置に工夫を加え、波浪エネルギーから空気エネルギーへの一次変換効率を大幅に向上させるとともに、全体としてコンパクトで製作コストの安い浮体構造を開発する。また、水室内の水柱の運動や浮体に設置した付加物の効果を利用して浮体に働く波漂流力を低減させことにより、係留コストが安い浮体構造を開発する。これらの開発目標を達成するために、波浪中の浮体構造物に関する水槽実験を行い、性能評価のための数値シミュレーションプログラムを新たに開発する。

## 3. 研究の方法

研究の目的を達成するための基本の浮体構造として、益田によって提案された後ろ曲げダクトブイ (Backward Bent Duct Buoy, BBDB) を考える。これは、空気室に繋がるパイプ型の水室を後ろ向きに曲げた形状を持ち、パイプの後部端に開口部を持つ波浪発電システムである。

本研究では、まず、BBDBの浮体運動、水室内の水流の運動、空気室内の空気の運動に関して、詳細な水槽実験を実施して、波浪中でのBBDBの運動、波浪エネルギーから空気エネルギーへの変換特性を明らかにする。このために5種類の形状の異なる3次元BBDBモデルを製作し、これらのBBDBを対象とした規則波中応答試験により、浮体形状による変換効率、浮体運動、係留力等への影響を明らかにすることができる。

次にBBDBを対象に、規則波中での波強制力、ラディエーション流体力を求めることが

できる数値シミュレーションプログラムを開発する。さらに2次元実験、3次元実験の両実験に対応することができるBBDBモデルを制作し、波強制力特性、ラディエーション流体力特性を取得するとともにシミュレーションプログラムの妥当性を検証する。

## 4. 研究成果

まず、浮体形状による出力特性への影響について述べる。本研究では、Fig.1に示されるような基本的な浮体構造に、付加的なパーツを加えることにより、5種類の形状の異なる浮体について、規則波中運動応答試験を実施した。Fig.2に応答試験により得られた比圧力を示す。また、Fig.3には、比圧力と内部水面の変位より得られたBBDBの一次変換効率を示す。Fig.2およびFig.3を比較すると、各浮体形状の応答曲線は概ね一致しており、一次変換性能を比較に比圧力を用いることが基本的には可能である。しかしながら、一部にその値の大小が逆になっている部分もあり、詳細な一次変換性能比較には内部水面の変位も計測する必要があることがわかった。またFig.3から、今回の試験において比較した浮体形状ではE-typeの浮体が最も優れているものであることが明らかにできた。しかしながら、変換効率は最大でも35%程度であることや、周期が短い領域において効率の低下が激しいことから、これらの問題点を打破した浮体形状の開発が必要であることも明らかになった。

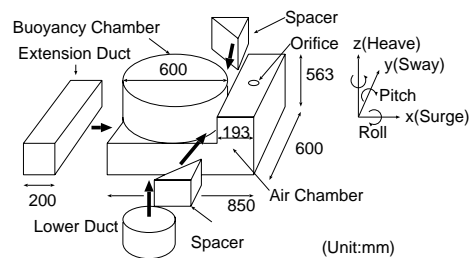


Fig.1 実験モデル

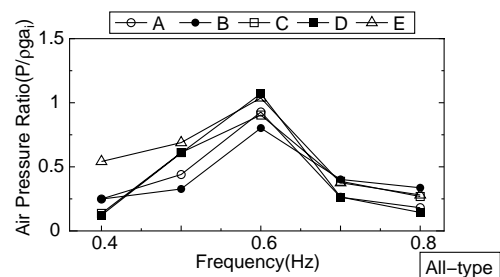


Fig.2 比圧力

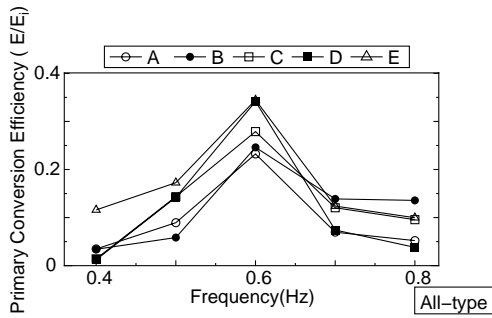


Fig. 3 一次変換効率

次に数値シミュレーションプログラムの開発について述べる。本研究では境界要素法をベースに、2次元、3次元のそれぞれについて、波強制力、ラディエーション流体力を求めるプログラムを開発した。さらにその妥当性検証のために、2次元実験、3次元実験をそれぞれ実施した。Fig. 4 に供試体模型の緒言を示す。

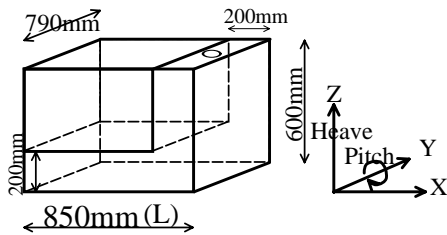


Fig. 3 供試体模型

Fig. 5 ~ 7 に水平方向、鉛直方向、ピッチ方向の各波強制力について、得られた3次元計算結果および実験結果を示す。全ての図において横軸は波周期、縦軸が各モードについての無次元波強制力である。数値計算値においてはレーレーの仮想摩擦を用いて、共振時の発散を抑えている。全ての図において計算値と実験値は良好な一致を示しており、波強制力についての妥当性が確認できた。

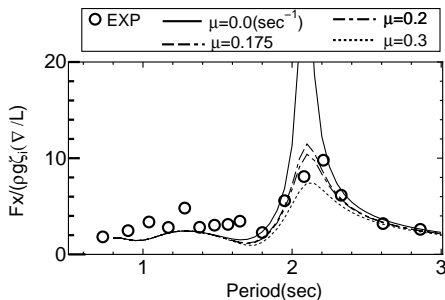


Fig. 4 水平方向波強制力

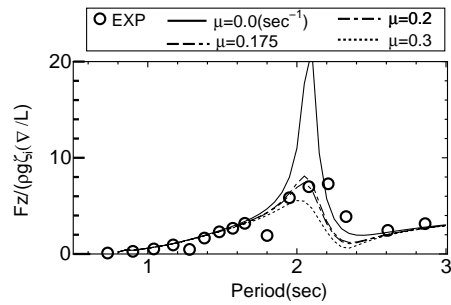


Fig. 5 鉛直方向波強制力

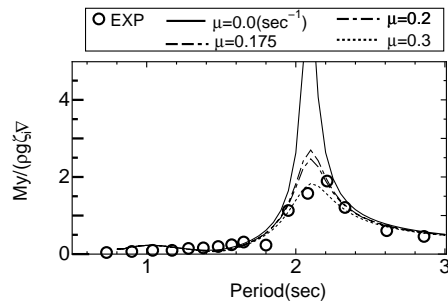


Fig. 6 ピッチ方向波強制力

次に3次元ラディエーション流体力についての検討を行った。ラディエーション流体力を計測するためには強制動揺試験が必要とされるが、サージ、スウェイ、ヨーなどの水平方向変位を生じる動揺試験は困難である。そのため、本研究ではヒープ方向、ピッチ方向のみについて強制動揺試験を実施した。

Fig. 7, 8 はヒープ方向についての付加質量係数および減衰係数である。横軸に波周期、縦軸に無次元係数を用いてプロットしている。また Fig. 9, 10 はピッチ方向についての付加質量係数および減衰係数である。各図には実験値と仮想摩擦係数  $\mu$  を変化させた場合をプロットしている。これらの図において波周期 2 秒付近が浮体のヒープ方向、ピッチ方向の同調周期で、この時、付加水質量の値は大きく変化し、減衰係数はピークを示している。仮想摩擦を用いない場合、同調周期近傍において、実験値と計算値には大きな隔たりがあるが、仮想摩擦係数  $\mu$  を適切な値に設定することにより、各付加水質量係数、減衰係数の計算値は実験値と良く一致する。これらの図から本研究で開発した数値計算コードのラディエーション流体力についての妥当性を確認することができた。

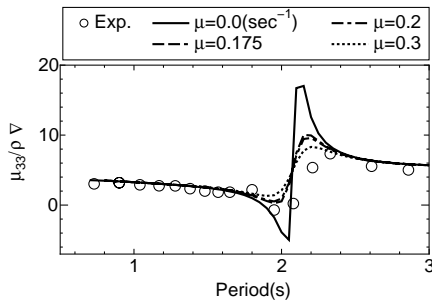


Fig.7 付加質量係数(ヒーブ)

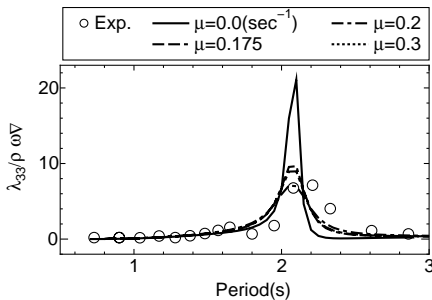


Fig.8 減衰係数(ヒーブ)

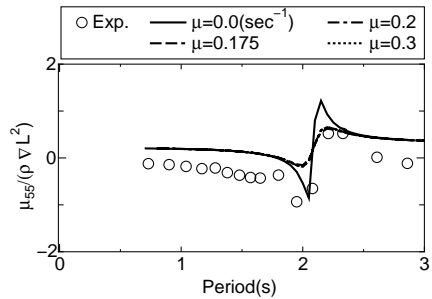


Fig.9 付加質量係数(ピッチ)

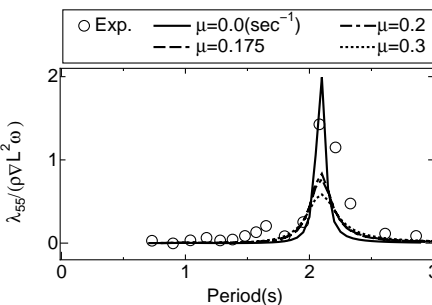


Fig.10 減衰係数(ピッチ)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

1, 永田修一、豊田和隆、今井康貴、瀬戸口俊明：浮体型振動水柱型波力発電装置の発電性能時系列計算法の開発、日本船舶海洋工学会論文集、第 8 号、pp 231-240, 2008, 査読有

2, S. Nagata, K. Toyota, Y. Imai, T. Setoguchi : Experimental Study on Hydrodynamic Forces Acting on a Floating Wave Energy Converter ``Backward Bent Duct Buoy'', Proc. of the Eighteenth ISOPE Conference, pp 366-373, 2008, 査読有

3, 豊田和隆、永田修一、今井康貴、瀬戸口俊明、経塚雄策、益田善雄：浮体式波力発電装置(後ろ曲げダクトブイ)の一次変換性能に関する研究、日本船舶海洋工学会論文集、第 6 号、pp 247-256, 2007, 査読有

4, S. Nagata, K. Toyota, Y. Imai, T. Setoguchi, Y. Kyojuka, Y. Masuda: Experimental Research on Primary Conversion of a Floating OWC ``Backward Bent Duct Buoy'', Proc. of the Seventeenth ISOPE Conference, pp 475-482, 2007, 査読有

[学会発表](計 6 件)

1, 真子祐輔(永田修一)：浮体式波力発電装置(後ろ曲げダクトブイ)に働く流体力に関する研究、平成 20 年日本船舶海洋工学会春季講演会、2008 年 5 月 29 日、長崎市

2, 小田純子(永田修一)：浮体式波力発電装置「後ろ曲げダクトブイ」の波上側への進行特性に関する実験的研究、第 20 回海洋工学シンポジウム、2008 年 3 月 19 日、東京都

3, 真子祐輔(永田修一)：スパー型波力発電装置の一次変換特性に関する研究、平成 19 年日本船舶海洋工学会春季講演会、2007 年 5 月 25 日、東京都

4, 豊田和隆：浮体型波力発電装置(後ろ曲げダクトブイ)の一次変換性能に及ぼす浮体形状について、平成 19 年日本船舶海洋工学会春季講演会、2007 年 5 月 25 日、東京都

5, 豊田和隆：浮体型波力発電装置（後ろ曲げダクトブイ）の一次変換性能に関する実験的研究、平成 18 年日本船舶海洋工学会秋季講演会、2006 年 11 月 17 日、神戸市

6, 永田修一：浮体型波力発電装置（後ろ曲げダクトブイ）の波浪中挙動に関する研究、日本機械学会 2006 年年次大会、2006 年 9 月 20 日、熊本市

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

永田 修一

佐賀大学・海洋エネルギー研究センター・教授・30404205

### (2)研究分担者

豊田 和隆

佐賀大学・海洋エネルギー研究センター・准教授・10274507

瀬戸口 俊明

佐賀大学・海洋エネルギー研究センター・教授・90145186

### (3)連携研究者

経塚 雄策

九州大学・総合理工学研究科・教授・80177948