

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560813
 研究課題名 (和文) 消波及び送水機能をもつ浮遊渚 (円錐形状浮体) による波力発電装置の開発
 研究課題名 (英文) Development of the wave-power generation device by the floating beach device (the conical floating-body) with wave-absorbing and water-flow features
 研究代表者
 田中 博通 (TANAKA HIROMICHI)
 東海大学・海洋学部・教授
 研究者番号：90134014

研究成果の概要：消波機能と送水機能を兼ね備えた円錐形状浮体の送水エネルギーが見込まれることから、その原理を活かした重力式 (越波型) 波力発電装置を開発した。この研究では、波高、周期、越波揚程、プロペラの特性に対する発電効率について詳細に実験的な研究を行った。その結果、最も効率が良い条件は、波高 15cm、周期 1.2s、越波揚程 12cm、プロペラ 6 枚、プロペラの角度 23° の時で、発電効率は 3.5% となった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	540,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：波力発電、波エネルギー、エネルギー変換、越波型、浮体構造物、送水機能、消波機能

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本沿岸の波エネルギーの賦存量は、全国平均で 6kW/m 推定されている。わが国では、1978 年から 2002 年かけて波の上下変化を空気室の振動に変換してタービンを回す方式 (OWC) と波の圧力を板で受けてピストンを回す振り子方式を主に波力発電の開発を行ってきたが、実用化に至らない結果となった。四方を海に囲まれている地理的条件ではあるが、波エネルギーはほとんど活用されていないのが現状である。

(2) 欧米諸国では、様々なタイプの波力発電が開発され、波力エネルギー技術への関心は高く、なかでも欧州における波力エネルギーの実証プロジェクトでは、地域の送配電網への接続が実現している。また、欧州での海洋エネルギー利用技術の開発は、欧州委員会の地球温暖化対策としての再生可能エネルギーの利用を基本においた政策に支えられている。

2. 研究の目的

(1) 自然エネルギーである波浪エネルギー利

用に着目し、わが国で従来研究されている水中振動式や振り子式でなく、現在開発している消波機能と送水機能を併せ持つ円錐形状浮体（仮称：浮遊渚）を使用して波エネルギーから電力を取り出す、いわゆる波力発電装置を開発することを目的とする。

(2)円錐形状浮体に関する既往の研究から、小さな波高に対しても送水量が見込めることが確認できた。よって、本研究においては、先ず、波高、周期、揚程による送水量を把握し、その結果を踏まえて効率の良い波力発電装置を開発する。

3. 研究の方法

(1)送水特性を求めるための実験

斜面勾配が 1:1 の急勾配の図-1 に示す 3号機模型を使用した。送水流量は、送水管を実験用の受水槽に接続し、その水位変化より求めた流量と、送水管内に取り付けられた2次元流速計によって計測した流速から求めた流量の2つの流量から求めた。また、波高計によって計測した有義波高から算定した入射波エネルギーと流量から算定した送水エネルギーより送水効率を求めて、浮体の送水特性について検討した。

送水特性実験は、図-1 に示す 3号機模型を用いて東海大学海洋学部臨海実験所第一水理実験棟内の平面水槽(22m×23m×1.2m)を用いて行った。実験に用いた 3号機模型の仕様を表-1 に示す。

実験模型縮尺はフルードの相似則を用い、1/17 と設定した。図-2 に送水特性実験の実験概要図を、図-3(a)、図-3(b)に実験ケース概要図を示す。図-3(a)は実験水槽内に設置した受水槽と 3号機模型を送水管で接続した接続ケース、図-3(b)は送水管を実験水槽内に自由放流とした自由放流ケースである。また、送水管長変化ケースは自由放流ケースと同様の装置で、送水管長を 4 ケースに変化させて実験を行った。表-2 に送水特性実験の各ケース概要を示す。

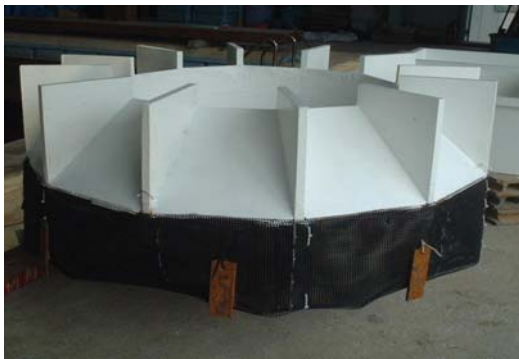


図-1 3号機模型（円錐形状浮体）

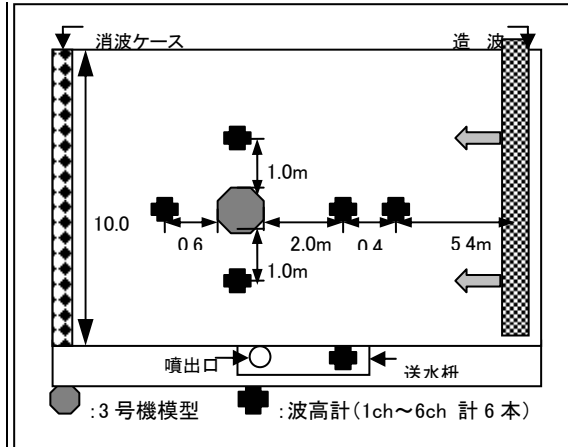


図-2 送水実験特性実験概要図

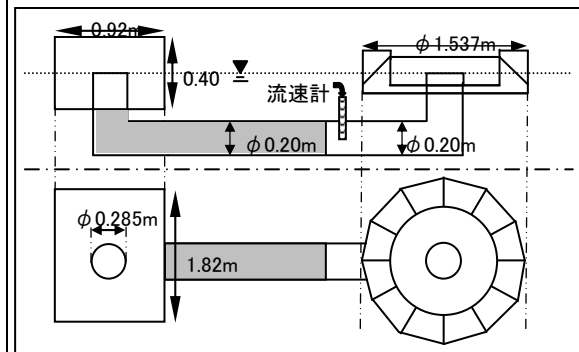


図-3(a) 送水特性実験装置接続図

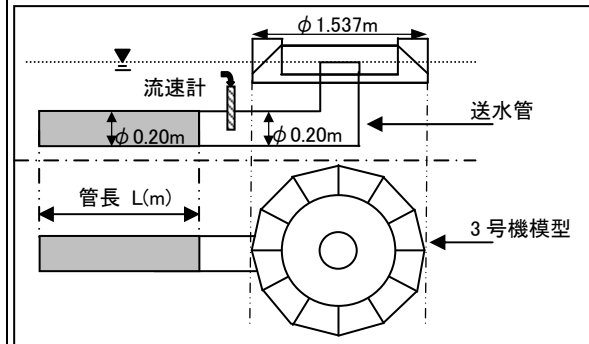


図-3(b) 送水特性実験装置接続図

表-1 3号機模型仕様

模型縮尺	1/17
外径	1.537m
収斂堤の枚数	12枚
斜面勾配	1:1
受水柵容積	0.194m ³

表-2 送水特性実験ケース概要

実験ケース名	実験条件
S	送水柵に接続
A	送水管長2.43m
M	送水管長5.03m
T	送水管長7.28m
K	送水管長9.53m

(2) 波力発電装置の実験

実験は、平面水槽 (22m×23m×1.2m) で不規則波による実験を行った。図-4 に示すように消波機能と送水機能を併せもつ円錐形状浮体 (模型縮尺 1/17) に波力発電装置を設置し、円錐形状浮体はチェーンで 4 点係留し、アンカーで固定してある。

実験は、①プロペラの枚数 (4, 6, 8 枚)、②プロペラの角度 (15, 17, 19, 21, 23, 25°)、③越波揚程 (10, 12, 13, 14cm)、④波高 (14, 15cm)、⑤周期 (1.1, 1.2, 1.3, 1.4s) の条件を組み合わせ実験を行い、回転数 (rpm)、電圧 (v)、送水管内流速 u (cm/s)、波高 $H_{1/3}$ (cm)、周期 $T_{1/3}$ (s) を取得し比較検討を行った。

波力発電の原理は、図-5 に示すように、入射波エネルギーを位置エネルギーに変換し、その落差で水流エネルギーが生じ、その運動エネルギーを直接利用することでプロペラを回転させ、接続した発電機を回転させて発電する方式である。

計測は、浮体の前後左右合計 5 本の波高計、浮体に取り付けた 3 次元加速度計、放水管内に取り付けた 2 次元電磁流速計、プロペラの回転を計測する回転計、発電機からの出力電圧を同時に計測した。データ総数は、各 4096 個、サンプリング時間は 20Hz である。



図-4 波力発電装置

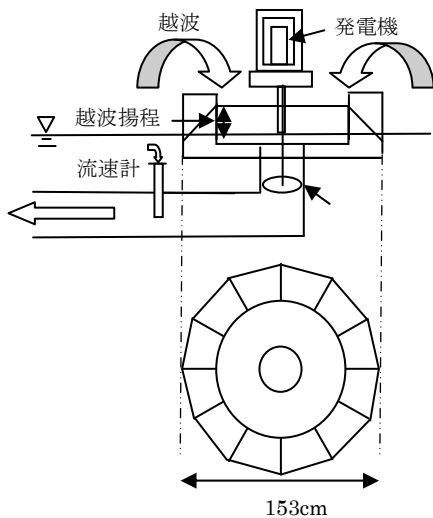


図-5 波力発電の原理

4. 研究成果

(1) 送水特性について

①越波揚程による波高と送水量の関係

図-6 と図-7 は、周期 1.25s のときの越波揚程をパラメータにした時の波高と送水量の関係である。図-6 は受水槽、図-7 は自由放流の実験結果である。自由放流における送水量は、受水槽に接続した場合の送水量よりも送水時のエネルギー損失が少ない分、送水量が増加した。また、越波揚程に対して入射波高が高くなるにつれ送水量が増加している。これは、入射波高が高ければ、単純に浮体を越波する際に得られる位置エネルギーが大きくなるためであると考えられる。

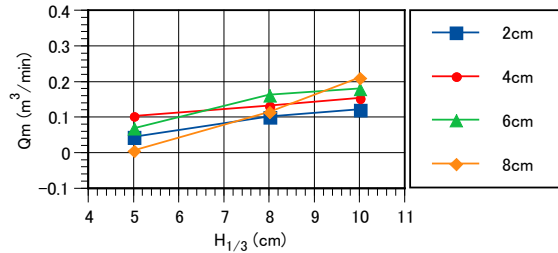


図-6 入射波高と送水量の関係 (S ケース)

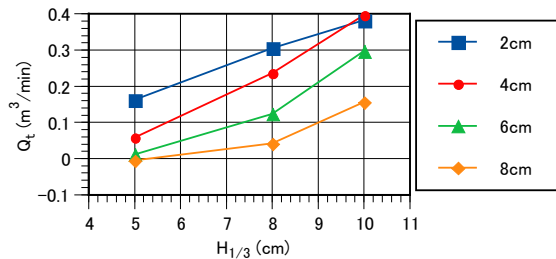


図-7 入射波高と送水量の関係 (M ケース)

②周期による波高と送水量の関係

図-8 と図-9 は越波揚程 4cm で周期をパラメータにした時の波高と送水量の関係を示したものである。図-8 は受水槽、図-9 は自由放流の実験結果である。周期 1.25s において最も送水量が多く、逆に周期が長くなるに従い送水量は低下している。これは、3 号機模型の固有周期に関係していると考えられる。3 号機模型の固有周期は約 2 s 前後であり、周期が長くなり 3 号機模型の固有周期に近づくことで共振を起こし、波動に浮体が連動することによる上下動揺で入射波の越波量が少なくなるためである。

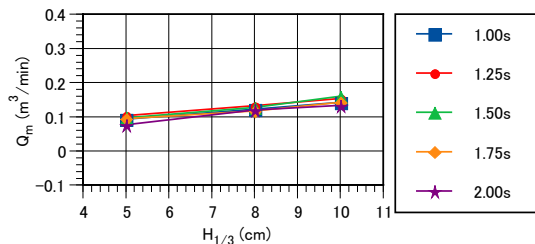


図-8 入射波高と送水量の関係 (S ケース)

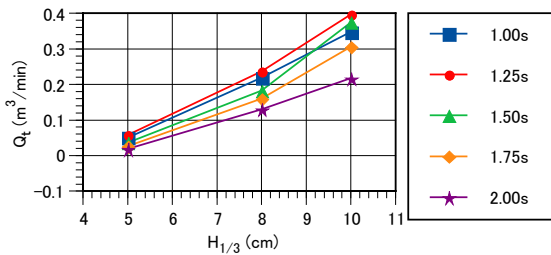


図-9 入射波高と送水量の関係(M ケース)

③周期による波高と送水効率の関係

図-10 は、揚程 4cm で周期をパラメータにした時の波高と送水効率の関係を示したものである。ここで言う送水効率(η)とは、入射波エネルギーに対する送水エネルギーの割合である。周期が長くなるにつれ送水効率は減少している。また、入射波高が高くなるにつれ送水効率が減少している。これらの結果より、周期が長く波高が大きくなるにつれ、送水効率が減少する。この原因として2つの原因が考えられる。1 つ目は、浮体自体が波に連動して越波量が減少するためであり、2 つ目は、越波はするものの浮体の受水枡に水が満杯に入り、入りきれない量の越波分が背後へと流出してしまうためである。このため、受水枡の容量を超える越波が見込まれる場合、揚程を調節して受水容積を増やすことが必要となる。この結果から分かるように、波高 5cm、周期 1.0s の時に、最高効率 33% となった。

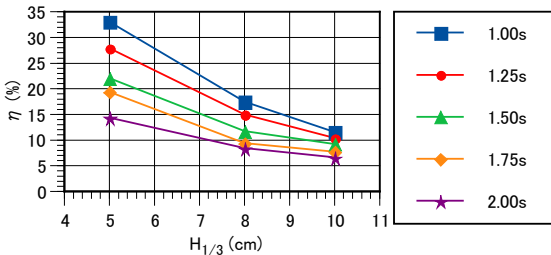


図-10 入射波高と送水効率の関係

④周期による送水管長と送水量との関係

図-11 は、揚程 4cm の場合の周期をパラメータにしたときの送水管長と送水量との関係である。どの周期においてもほぼ一様に、送水管長が 7.28m のとき送水量が最低値になった。逆に、周期 1.25s、送水管長が 2.43m においては送水量が $0.37\text{m}^3/\text{min}$ と最大値となった。

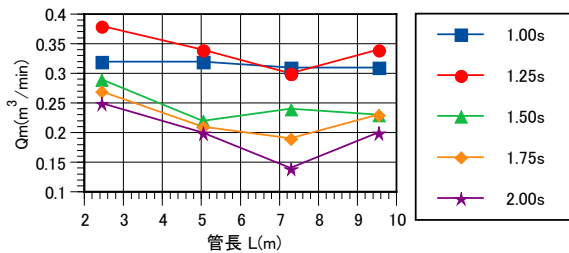


図-11 送水管長と送水量の関係

⑤周期による送水管長と送水効率との関係

図-12 は揚程 4cm の場合の周期をパラメータにしたときの送水管長と送水効率との関係である。周期 1.00 s のときに最大の効率を得ており、管長 9.53m のとき 46.5% と高い値となった。

送水管長の変化により管内流が変化し送水効率が変化することがわかった。また、送水管長が 7.28m (実海域値約 124m) 以上になると、送水管内の摩擦抵抗により送水管自体が逆止弁の役割を果たすことにより送水効率が上がるものと考えられる。

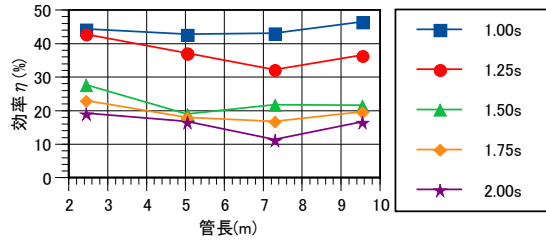


図-12 送水管長と送水効率の関係

⑥まとめ

種々の水域環境問題への対応と再生可能エネルギーとして波エネルギーを利活用することを目的とした円錐形状浮体を開発した。この装置の送水特性について実験を行った結果、自由放流時において最大送水効率が 46.5% に達した。この、送水エネルギーを活かした越波型の波力発電の開発結果について以下に述べる。

(2)越波型波力発電装置の開発について

①揚程との関係 (波高 15cm, 揚程 10cm, プロペラ 6 枚, プロペラ角度 17°)

図-13 は揚程 12cm における周期 1.1~1.4s の変化である。図中の \blacktriangle は管内流速、 \blacksquare は回転数、 \bullet は出力電圧である。周期が 1.3s までは安定した回転数と流速が得られている。揚程が 12cm までの場合には、長周期の波でも越波しやすいため、共振などの問題が発生しないものと考えられる。1.4s において周期 1.1~1.3s と比較すると、回転数が約 20%、流速は約 50% 低下している。これは揚程が高くなると、長周期では波と浮体が共振してし

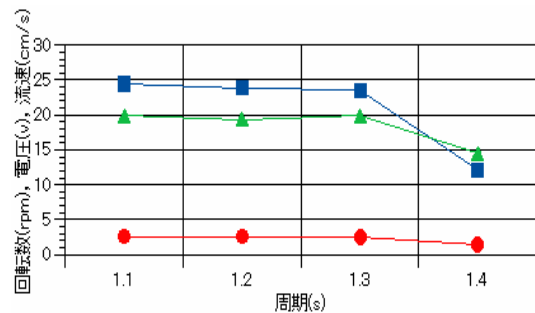


図-13 揚程との関係 (波高 15cm, 揚程 12cm, プロペラ 6 枚, 角度 17°)

まうため波が越波することが少なくなり回転数、流速が低下したことによるものと考えられる。揚程 14cm において、波と浮体が共振するため、周期 1.4s では回転数、流速ともにほぼ 0 に近くなった。ちなみに、この浮体の固有周期は、約 2 秒である。

②プロペラの枚数との関係(波高 15cm, 周期 1.2s, 角度 17°)

今回は、揚程を 10cm から 14cm まで変化させて実験を行った。図-14 は、揚程 12cm におけるプロペラの枚数を 4、6、8 枚としたときの管内流速、回転数、出力電圧の値である。揚程 10cm の場合はさほど変化が見られなかったが、プロペラ 6 枚で回転数が最大となった。プロペラの枚数が少ない程、通水性が良くなる傾向があることから流速が速くなっている。しかし、流速が速くてもプロペラに効率よくエネルギーが伝わるとは限らない。揚程 13cm において揚程 10cm と同じような傾向があったが平均回転数、流速ともに数値は揚程 13cm の方が高くなった。揚程が低すぎると位置エネルギーが小さくなるため効率が低下する。揚程 14cm と揚程 13cm を比較すると、プロペラ 4 枚では回転数が若干上昇したが、プロペラ 6、8 枚は大幅に回転数が低下した。揚程が高い場合はプロペラ枚数が多い程、効率が低下することわかる。

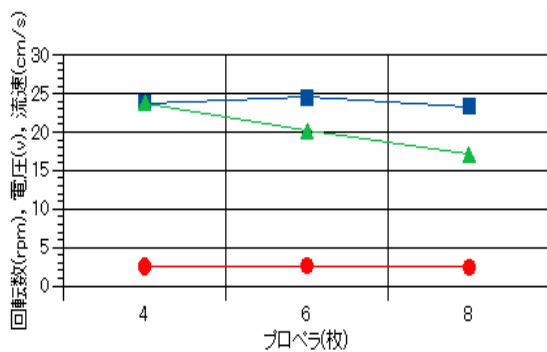


図-14 プロペラの枚数との関係(波高 15cm, 周期 1.2s, 揚程 12cm, 角度 17°)

③プロペラの角度との関係(波高 15cm, 周期 1.2s, プロペラ 6 枚)

今回は、揚程を 10cm から 14cm まで変化させ、更にプロペラの羽の角度を 15° から 25° まで変化させて実験を行った。図-15 は、揚程 12cm におけるプロペラ 6 枚時のプロペラ角度を 15~25° まで変化させた結果である。これは、揚程が低い場合には波と浮体が共振することなく越波しやいが、プロペラ角度が低い場合は流速から判断すると、通水性が悪いため貯水槽が比較的満水状態となり、越波した波がオーバーフローしてしまうことによるものと考えられる。このオーバーフローを避けるためにもプロペラ角度を大きくし

て通水性を良くすることにより効率が上昇する。図-15 に示すように、揚程 12cm においては、プロペラ角度 15~23° まで流速と回転数が上昇し、揚程 10cm の時と比較しても回転数、流速ともに効率が良くなった。しかし、プロペラ角度 25° の時に回転数、流速が低下した。これは、角度が大きくなると通水性が良くなり、プロペラにエネルギーが効率良く作用しなくなるため失速することによる。揚程 13cm ではプロペラ角度 17° で回転数が最大となり、その後角度が大きくなるに連れて回転数、流速は低下する結果となった。揚程 14cm ではプロペラ角度 17° で回転数、流速が最大となり、その後角度が大きくなるに連れて回転数、流速は大幅に低下する結果となった。揚程が高くプロペラ角度も大きいと、通水性が良くなり、プロペラに効率良くエネルギーが作用しないことが原因である。

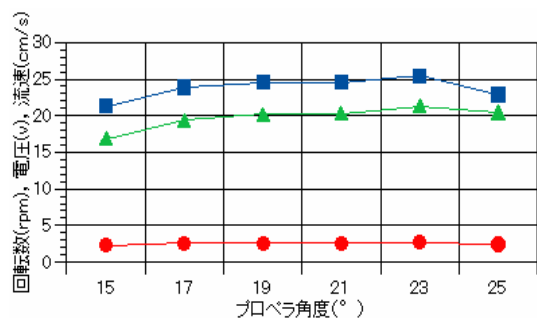


図-15 プロペラの角度との関係(波高 15cm, 周期 1.2s, 揚程 12cm, プロペラ 6 枚)

④揚程との関係(波高 15cm, 周期 1.2s, プロペラ 6 枚)

今回は、揚程を 10cm から 14cm まで変化させ、更にプロペラの羽の角度を 19° から 25° まで変化させて実験を行った。図-16 は、プロペラ 6 枚時のプロペラ角度 21° における揚程 10~14cm の変化を表したものである。プロペラ角度 19~25° において揚程 10cm から 12cm になると全てのケースで回転数、流速が上昇し、揚程 12cm において最も回転数、流速が大きくなった。揚程が低すぎても位置エネルギーが小さくなるため効率は低下し、逆に揚程が高すぎても越波しなくなり、効率は著しく低下する。

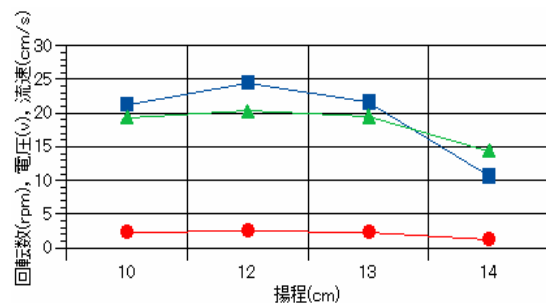


図-16 揚程との関係(波高 15cm, 周期 1.2s, プロペラ 6 枚, 角度 21°)

⑤周期との関係(揚程 12cm, プロペラ 6 枚, 角度 17°)

図-17 は、プロペラ 6 枚、角度 17°、揚程 12cm における波高 15cm の場合における周期 1.1 ~ 1.4s の場合の出力結果である。波高 14cm と波高 15cm を比較すると、波高 15cm の方が回転数、流速ともに効率が良い結果となった。波高が大きくなると越波する量が増えるため、流水エネルギーが大きくなり、結果として効率が良くなる。周期が 1.4s の場合は、波高 14、15cm ともに効率が低下した。

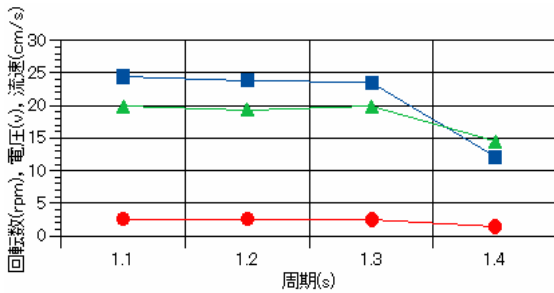


図-17 周期との関係 (波高 15cm, 揚程 12cm, プロペラ 6 枚, 角度 17°)

⑥まとめ

円錐形状浮体による越波型波力発電装置を開発した結果、最もエネルギー効率の良かったのは、波高 15cm、周期 1.2s、プロペラ 6 枚、角度 23°、揚程 12cm 時で、そのときの発電効率は約 3.5% となった。

(3)おわりに

この研究は、円錐形状浮体を用いた重力式(越波型)波力発電システムを開発するための基礎的研究であり、今回は波高、周期、越波揚程、プロペラの特長に対する発電効率について実験的な研究を行った。

この成果を踏まえ、近年欧米において様々な方式の波力発電装置が開発され、商用電力として送配電網へ接続している現状に対して、海洋基本法が制定され、海洋基本計画も策定されたわが国として、再生可能エネルギーの一分野である海洋エネルギーを利活用する観点から波力発電を大いに開発し、実用化することが重要である。

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 3 件)

- ① 田中博通、鈴木厚志、淀川已之助：波力発電の現状と重力式(越波型)波力発電装置の開発、海洋開発論文集、第 34 巻、土木学会、(掲載確定)、(2009)、査読有
- ② H. Tanaka, A. Sumita, A. Suzuki & Y. Manabe: Experimental Study on Water Flow Characteristics of Conical Floating

Structure, Proceedings of the 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, (Accepted), (2009), 査読有

- ③ 田中博通、住田哲章、鈴木厚志、真鍋安弘：円錐形状浮体の送水特性に関する実験的研究、海岸工学論文集、第 55 巻、土木学会、1316-1320、(2008)、査読有

[学会発表] (計 2 件)

- ① 鈴木厚志、住田哲章、田中博通、淀川已之助：円錐形状浮体の送水特性と波力発電装置の開発、土木学会第 63 回年次学術講演会、土木学会、(2008)、査読無し
- ② 住田哲章、田中博通、真鍋安弘：浮遊渚(円錐形状浮体)の送水特性に関する実験的研究、土木学会第 62 回年次学術講演会、土木学会、(2007)、査読無し

[その他]

- ① 日刊工業新聞 2009 年 1 月 1 日付けの科学技術特集記事「次世代を支える」において、本研究にて開発中の「越波型波力発電装置」が紹介された。
- ② ホームページ
<http://www.scc.u-tokai.ac.jp/ocean/oc/stuff/tanaka.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 博通 (TANAKA HIROMICHI)
東海大学・海洋学部・教授
研究者番号：90134014

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

- ① 淀川 已之助 (YODOKAWA MINOSUKE)
東海大学・研究員
- ② 真鍋 安弘 (MANABE YASUHIRO)
大洋プラント株式会社・代表取締役