

海洋エネルギー資源国際フォーラム講演資料(平成21年6月25日)  
海洋エネルギー資源利用推進機構(OEA-J) 波力分科会報告

## 波力発電の動向について

佐賀大学海洋エネルギー研究センター

永田修一

# 1. はじめに

- 1)近代波力発電の歴史は、波力発電機能を持つ航路標識ブイの発明者で、波力発電の父として海外で名高い故益田善雄氏の1940年代の研究に遡るとされる。
- 2)現在、世界で、約100の波力発電に関する開発プロジェクトが様々な研究ステージで進んでいると言われている。1991年の欧州委員会での決定(波浪エネルギーを、再生エネルギーの研究開発の一つと位置づけた)が、波力発電開発環境を劇的に変化させた。

## 2. 波力発電開発のトレンド

IEA-OES (International Energy Agency Implementing Agreement on Ocean Energy Systems)から出されたレポート(2006年)を整理して、近年の波力発電装置開発の傾向を調べる。このレポートでは、53種の波力発電装置が示されている。日本は無し。

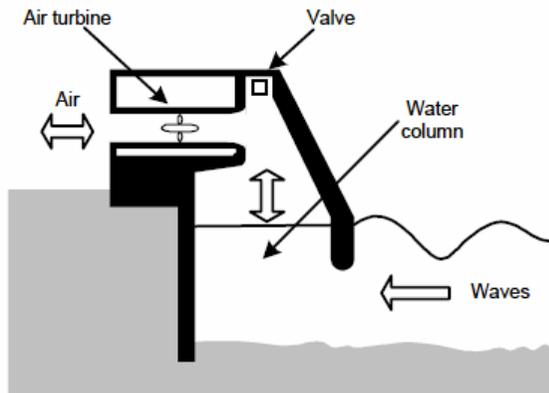
(U.S Department of Energyのデータベースも詳しい)

## 2.1 波浪発電装置の分類

### (1) 振動水柱型 (Oscillating water column: OWC)

#### i) LIMPET

沿岸固定式波浪発電装置(LIMPET)は、英国のWavegen社がクイーンズ大学の協力を得て開発したもので、スコットランドのIslay島で500kwの世界初の産業用発電を行っている。(2000~現在)



<http://www.wavegen.co.uk/index.htm>

#### ii) Oceanlinx

オーストラリアのOceanlinx社は、海岸設置型の振動水柱型装置を開発した。パラボラアンテナ型の集波装置を備えている。350kW装置の実海域実験が、New South Wales、Kembla港で行われた。



<http://www.oceanlinx.com>

### iii) Ocean Energy Buoy (OE-Buoy)

Ocean Energy社は、浮体式の振動水柱型波力発電装置開発し、長さ12m、幅6m、喫水3m(実機の1/2.5)モデルの実海域実験をGalway湾で行なっている。



<http://www.oceanenergy.ie>

## (2) 可動物体型

### (a) Point absorber

#### i) Powerbuoy

アメリカのOcean Power Technologies社は、PowerBuoyを開発し、40kWの装置の実海域実験を行っている。



<http://www.oceanpowertechnologies.com>

#### ii) Wavebob

アイルランドのWavebob社は、Wavebobを開発し、実海域実験を行っている。



<http://www.wavebob.com>

## (b) Attenuator

### i) Pelamis

イギリスのPelamis wave power社のPelamisは、直径3.5mの円筒形浮体4台を連結し、全長150mの装置である。浮体連結部にシリンダーポンプ2台と可変容量型モータ1台を組み合わせた油圧変速機を使用して発電機駆動を行う。2008年9月に、北ポルトガル沖に750kW機が3基設置された。

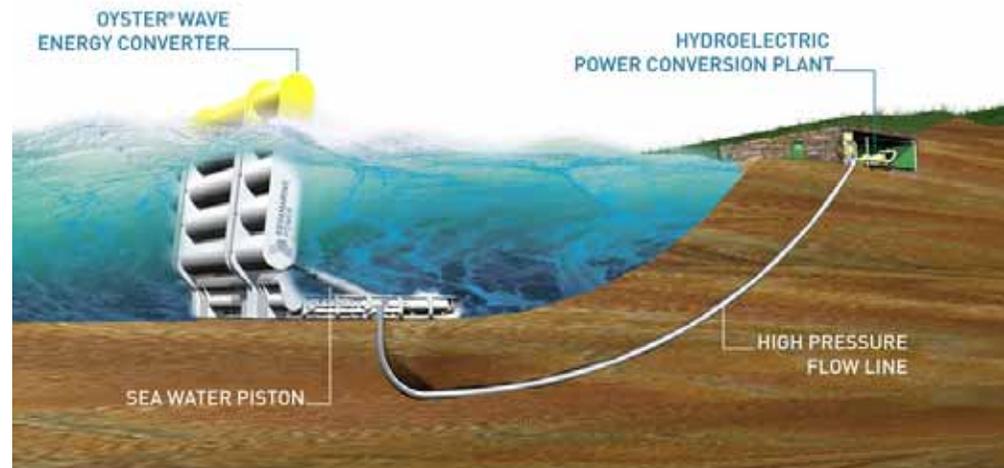


<http://www.pelamiswave.com>

## (c) Oscillating wave surge converter (OWSC)

### i) Aquamarine Oyster

イギリスのAquamarine power社は、海底をピン支持とした振動板を用いた装置を提案している。

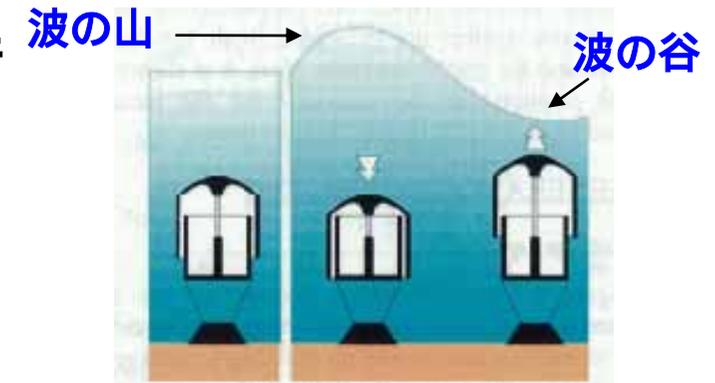


<http://www.aquamarinepower.com>

## (d) Submerged pressure differential

### i) Archimedes wave swing (AWS)

オランダのTeamwork Technology BVを中心に開発され、北ポルトガ沖で2MW機の実験が行われた(2005)。この装置は、海底等に固定された構造物とその上の波によって上下する浮体からなる。リニア発電機を用いて発電する。



<http://www.awsocean.com>

## (e) Collector

### i) Wave Plane

デンマークのWave Plane International A/S は、海水循環装置 Wave Planeの実証実験を行った。浮体の傾斜面に向かってきた波は傾斜面をはい上がり、浮体の流路を通り、後部垂直管から海水深部へ流出する。

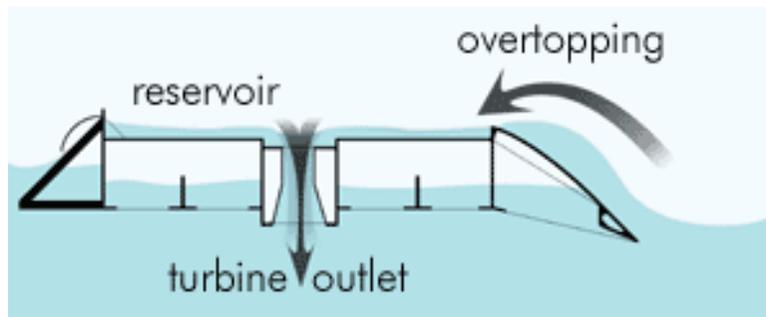


<http://www.waveplane.com>

### (3) 越波型 (Overtopping)

#### i) Wave Dragon

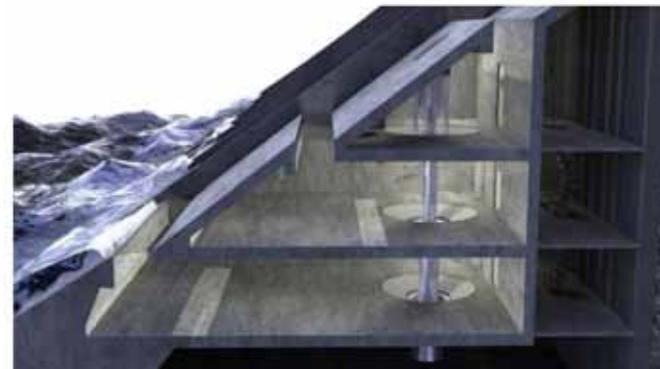
デンマークのWave Dragon ApSは、Nissum Breedingで、浮体式越波型装置Wave Dragon(2003~現在)を行った。西ウェールズ海岸沖にMW級の装置を設置する計画がある。



<http://www.wavedragon.net>

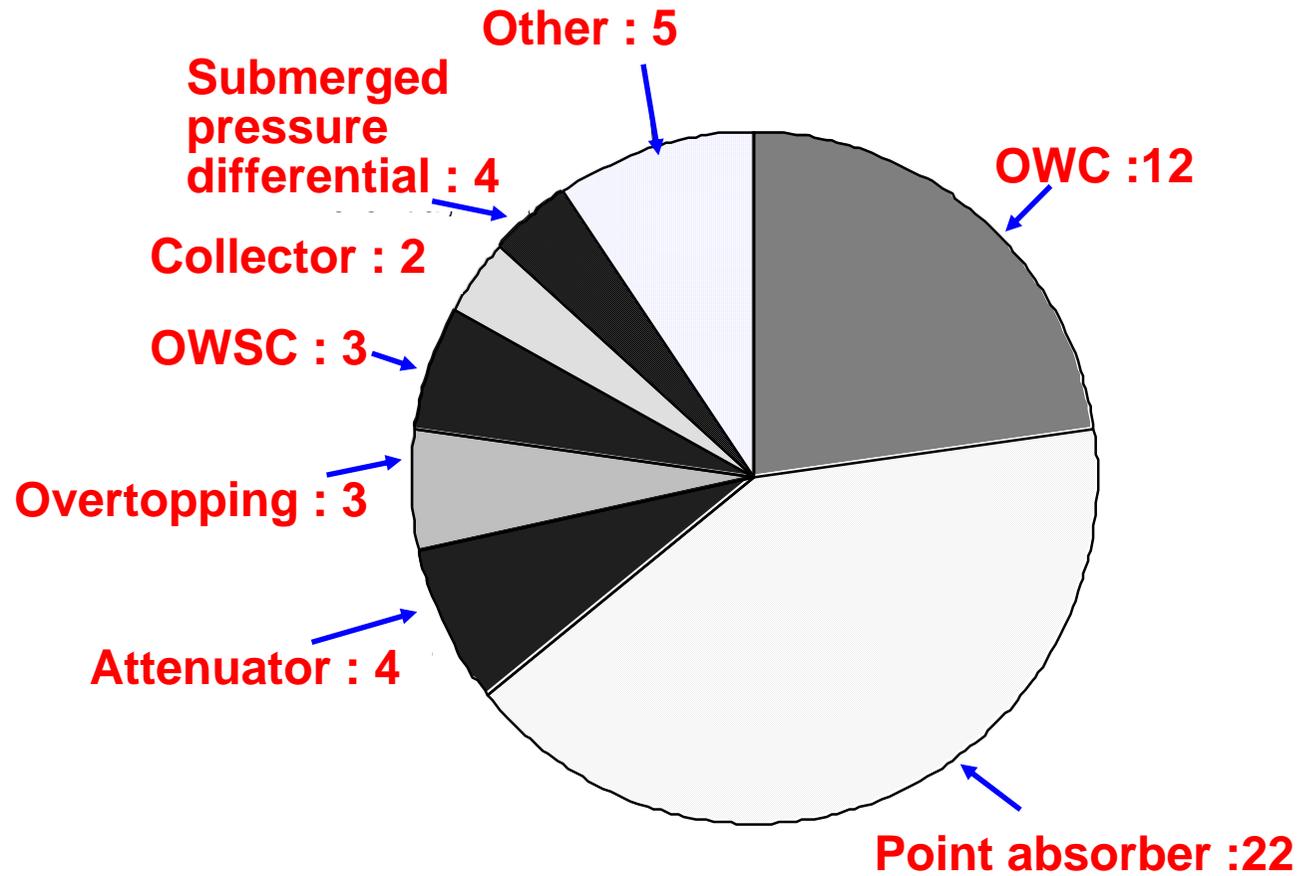
#### ii) SSG (Sea Slot-cone Generator)

ノルウェーのWAVEnergy ASは、固定式の装置で、潮位が変化した時の越波にも対応できる装置を開発した。

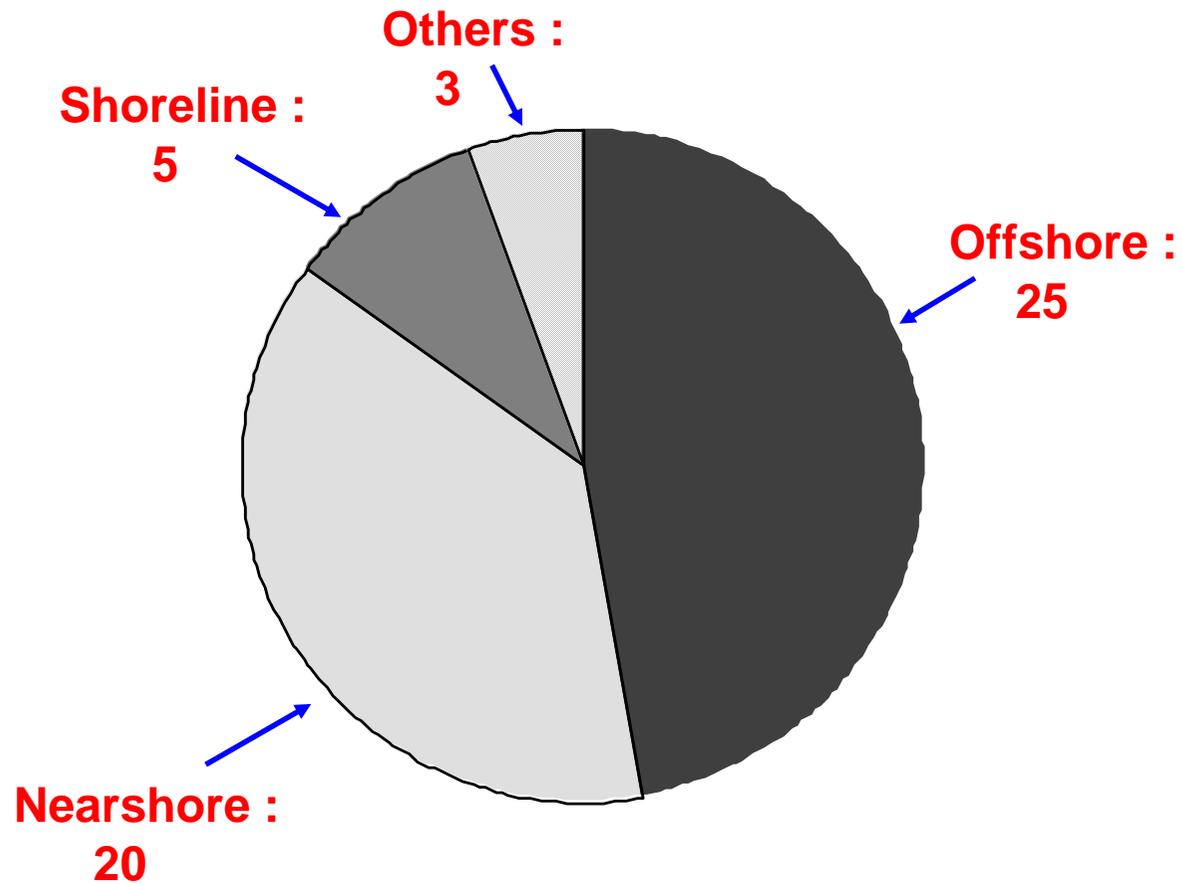


<http://waveenergy.no/about/>

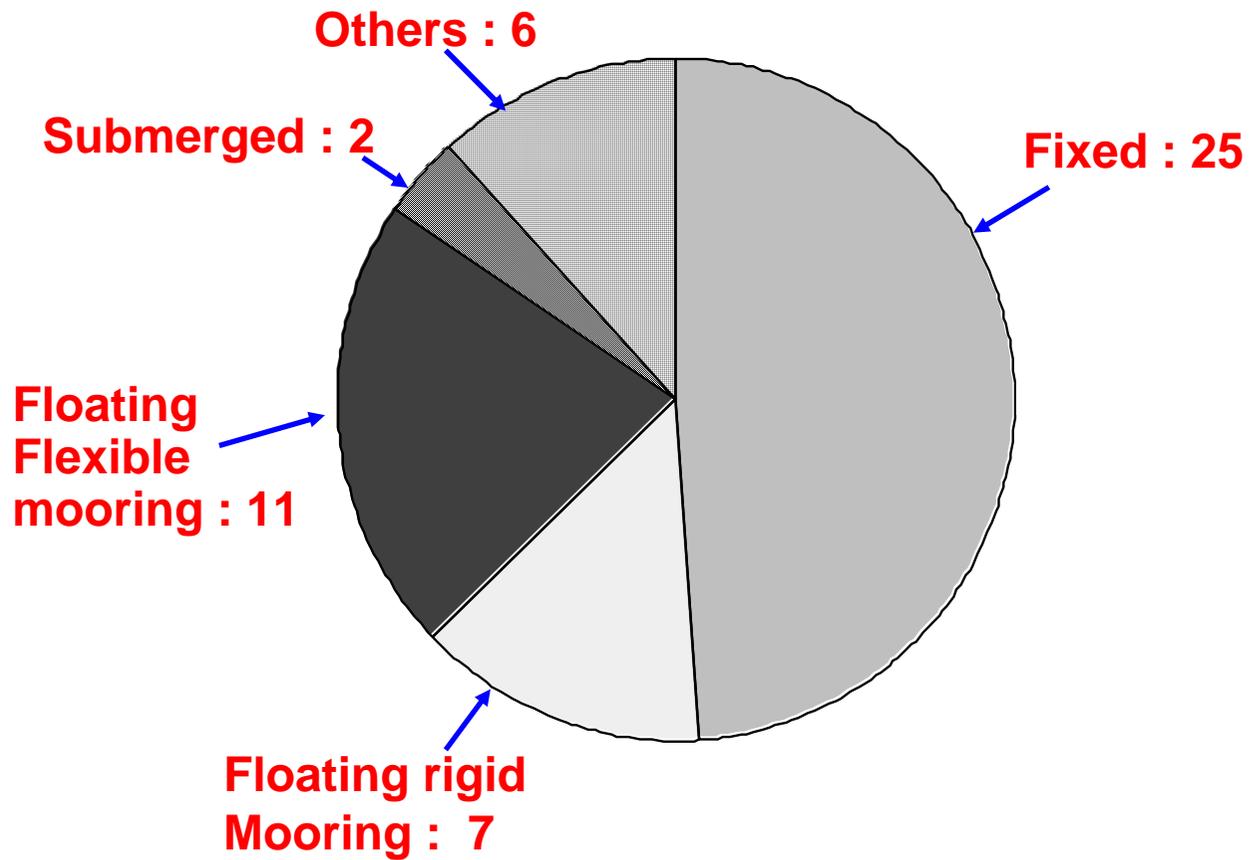
## 2.2 装置形式の分類



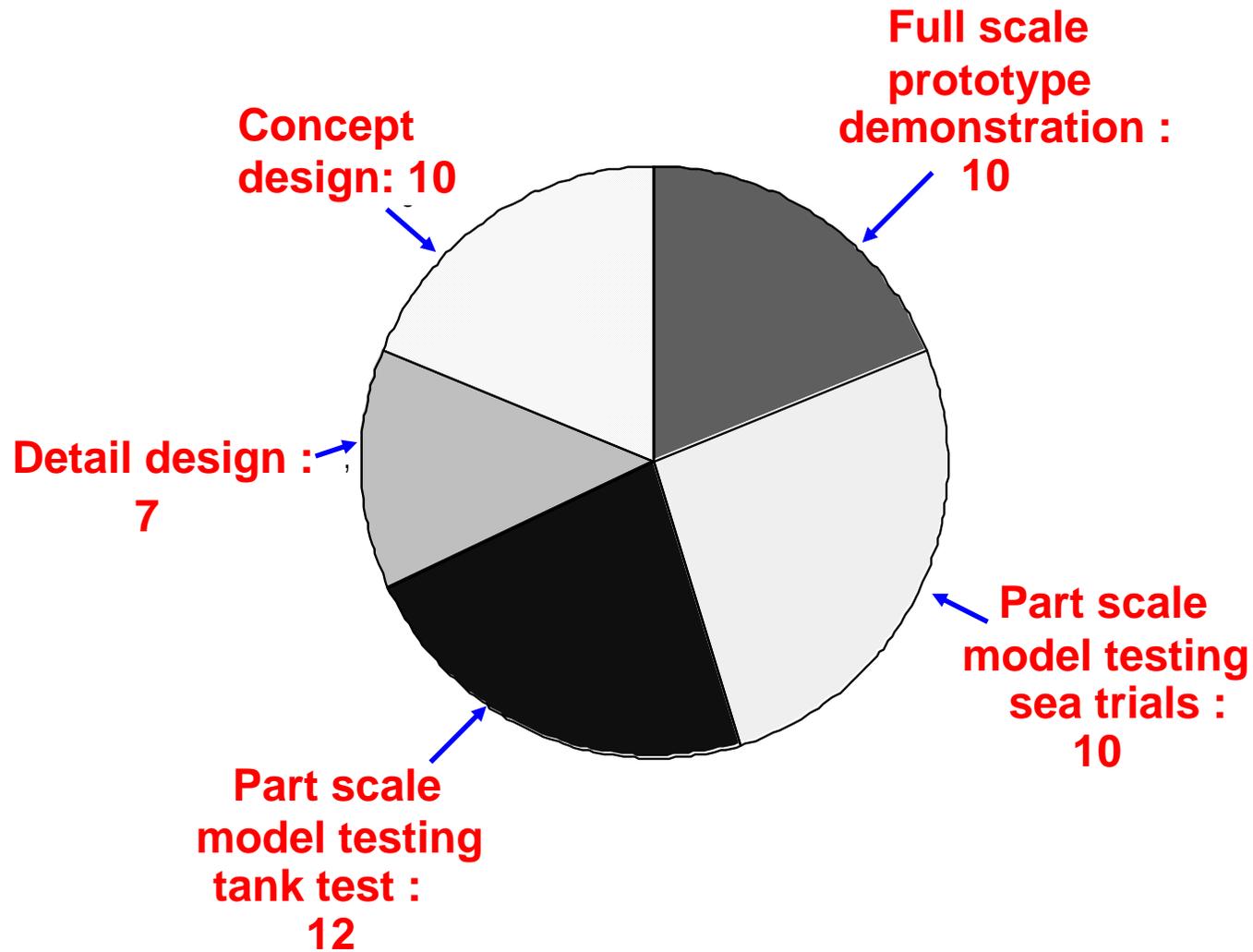
## 2.3 装置の設置海域



## 2.4 装置の定点保持方法



## 2.5 装置の開発ステージ



## 2.6 波力発電装置開発のトレンド

沿岸域の浅い海域 → 水深が深く波高の大きい沖合

沿岸域の固定式の振動水柱型装置

→ 浮体型装置、特に、可動物体型装置

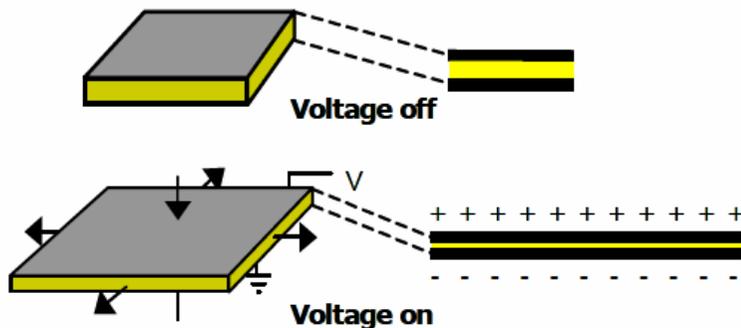
大型の単一装置 → 多数の小規模分散型装置

波力発電という単一機能

→ {  
・波力・風力・潮流・太陽光のエネルギーのトータル利用型装置へ  
・浮体の動揺低減装置

## 2.7 人工筋肉を用いた波力発電装置

日本のベンチャー企業HYPER DRIVE社は、米SRI Internationalに委託して、人工筋肉(EPAM: Electroactive Polymer Artificial Muscle)を用いた波力発電装置の開発を行っている。



EPAMは、ゴム状の薄い高分子膜(エラトマー)を伸び縮み可能な電極で挟んだ構造で、電極間に電位差を与えると、静電力によって両方の電極が引き合い、その結果高分子膜が厚さ方向に収縮し、面方向に伸張する。

[http://www4.fed.or.jp/tansaku/yuki/02\\_chiba.pdf](http://www4.fed.or.jp/tansaku/yuki/02_chiba.pdf)

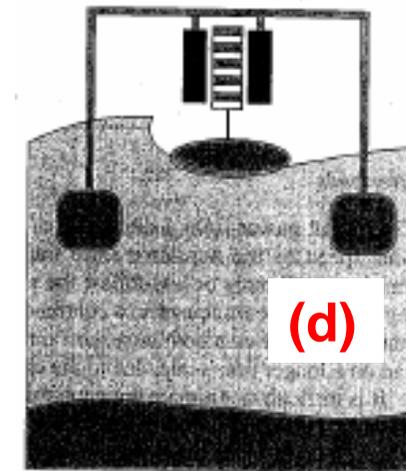
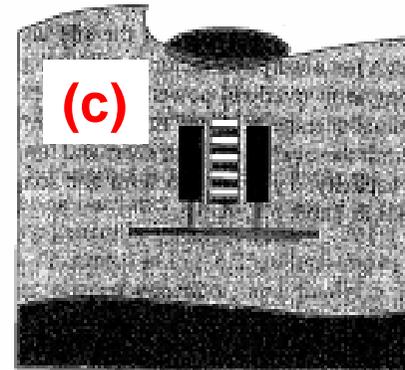
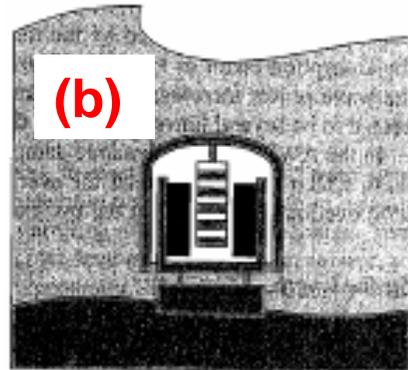
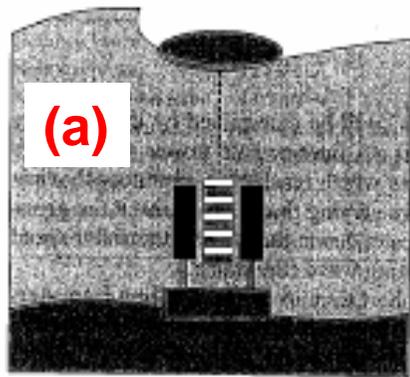
人工筋肉



<http://www.sri.com/news/video-broll/>

## 2.8 リニア発電機を用いた直接駆動波力発電

### 4種類の設置状態



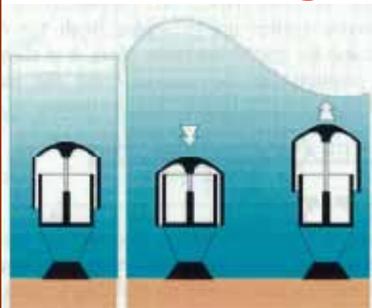
### Uppsala Univ.



M.Leijon et al. ,  
Renewable Energy 31,  
2006

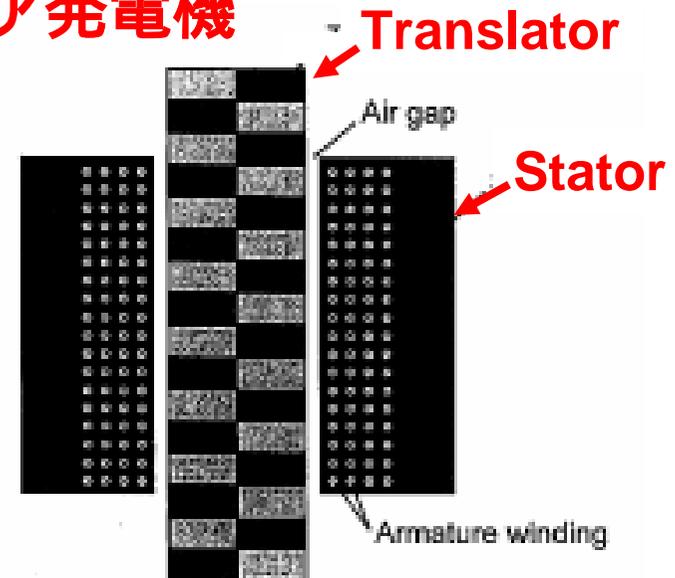


### Archimedes Wave Swing



<http://www.awsocan.com/PageProducer.aspx>

### リニア発電機

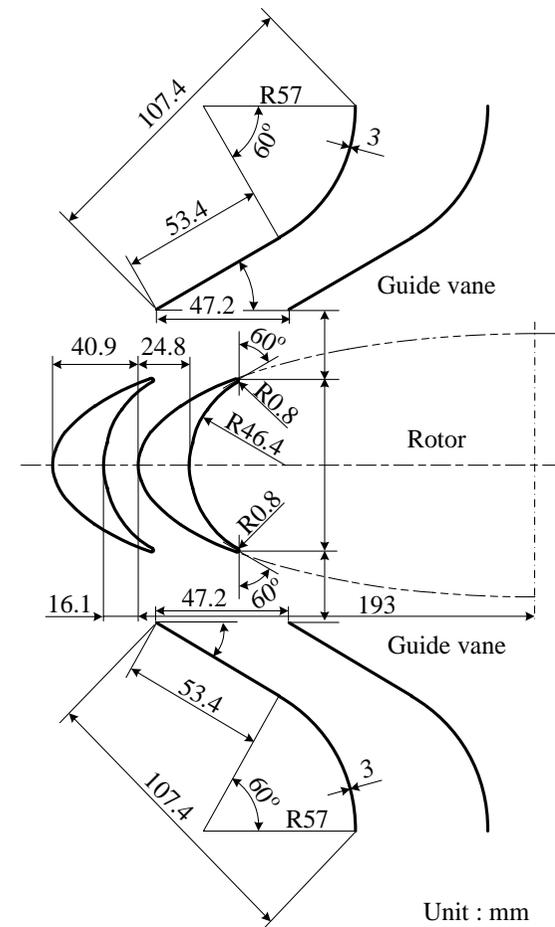


### 3. 我が国の波力発電に関する最近の研究

#### (1) 佐賀大学海洋エネルギー研究センターでの研究

#### (a) 振動水柱型波力発電装置用のタービンの研究

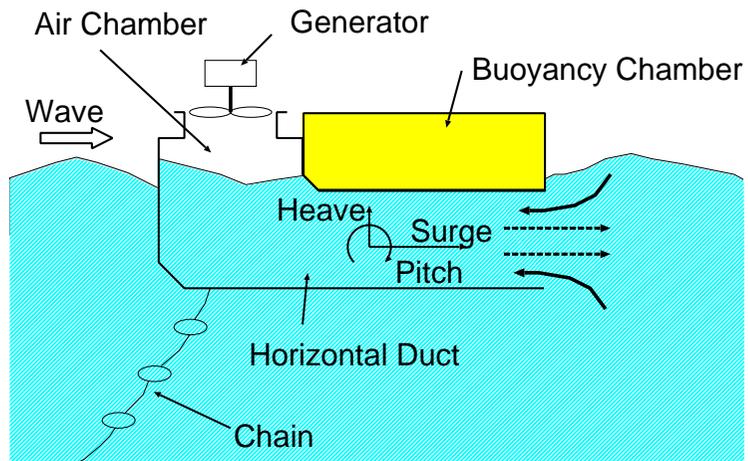
松江高専、佐賀大学、国土交通省北陸地方整備局は共同で、固定式振動水柱型波力発電用の衝動タービンの実験を新潟西海岸で実施した。



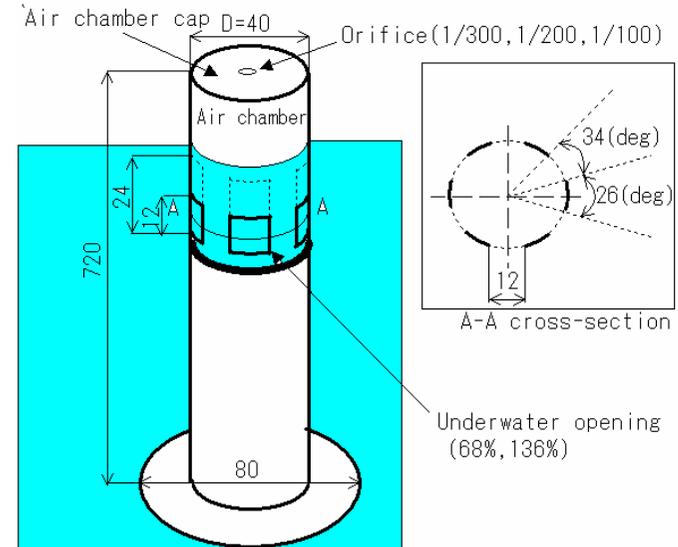
## (b) 浮体式波力発電装置

### i) 後ろ曲げダクトブイ(BBDB)

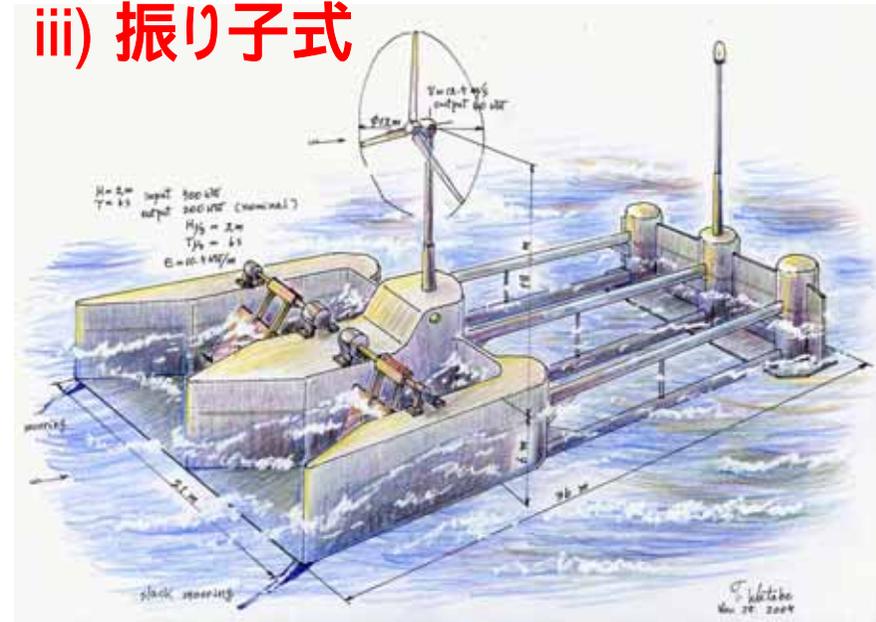
佐賀大学では、益田善雄氏によって提案された浮体型波力発電装置“後ろ曲げダクトブイ”の実用化研究を実施中。アイルランド、韓国、インドでも同様な研究を実施中。



### ii) スパー型



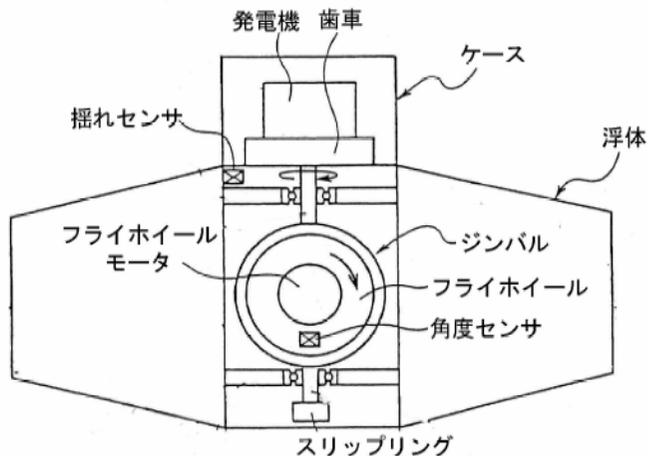
### iii) 振り子式



## (2) ジャイロ式波力発電

神戸大学(神吉教授)では、高速回転中の円板に、傾き速度を与えることにより生じるジャイロモーメントを利用して、浮体の波による揺れから直接発電機を回転させる方式の、浮体型波力発電装置を開発中である。フライホイールをY軸周りに一定回転させた状態で、浮体が波によりX軸周りに揺すられると、ジャイロモーメントが発生してジンバルをZ軸周りに回転させる。

20kW級のブイ型試験機の実験が鳥取県賀露港沖で、50kW級のドーナツ型試験機の実験が和歌山県西牟婁郡周参見漁港内にて実施された。



構造図

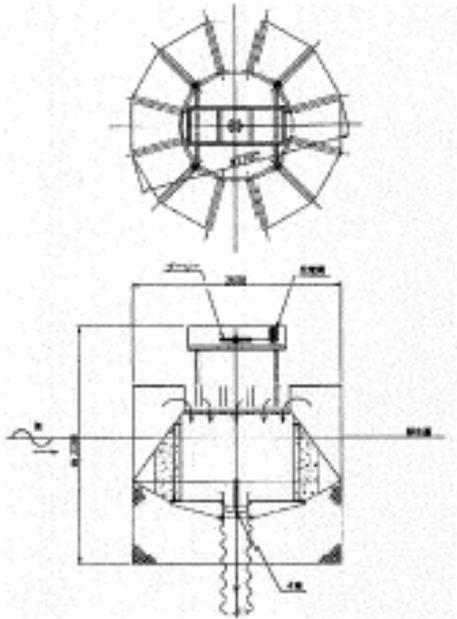
実験の様子



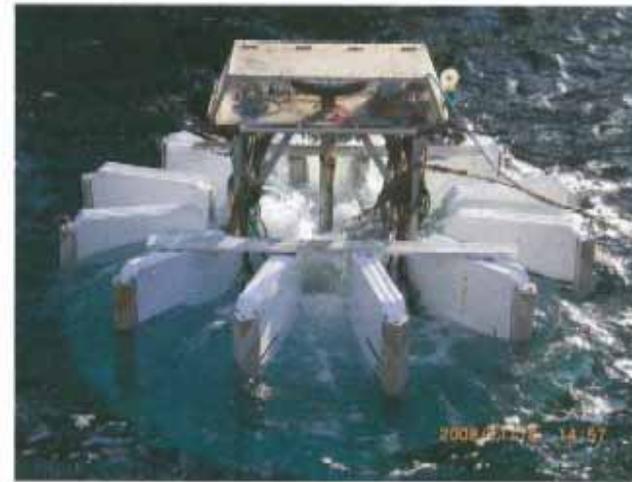
神吉博: 高効率ジャイロ波力システムの開発、山口大学建設部会技術講演会、2008

### (3) 浮遊渚による波力発電

大洋プラントと東海大学は、鉛直円筒の水面近傍に設置された陣笠斜面と収斂提を用いて、波を鉛直円筒上部に越波流入させ、この貯水海水を、ヘッド差を利用して落下させ、鉛直円筒内の水車を回転させることにより発電する波力発電装置(浮遊渚方式)の実海域試験を横浜港で行っている



構造図

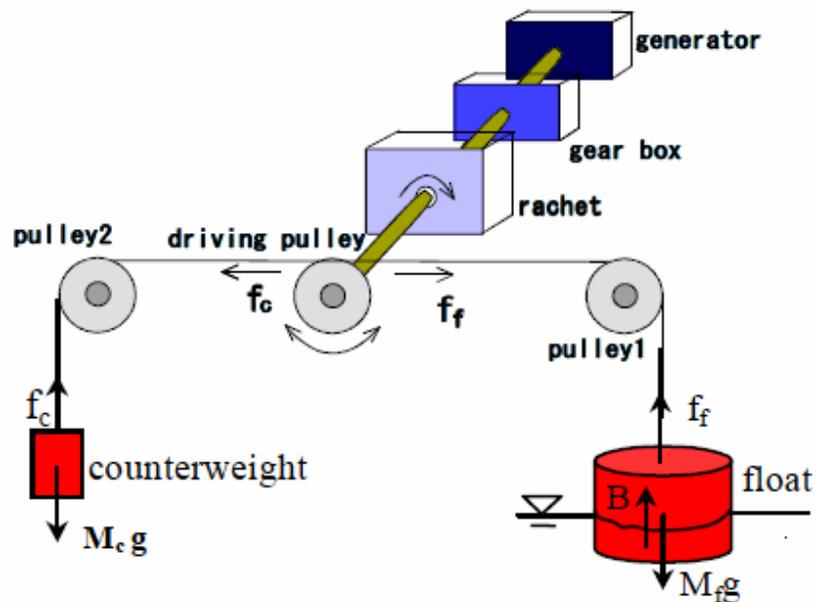


実験の様子

真鍋安弘、田中博通：浮遊渚による波力発電実験、  
OEA-J 波浪エネルギーミニワークショップ、2009

## (4) つるべ式波力発電

山口大学(羽田野教授)では、つるべ式波力発電装置を開発中である。



概念図



実験の様子

K.Hadano, P.Koirala, K.Nakano and K.Ikegami : A refined model for float type energy conversion device, ISOPE2007, pp.421-427

## 4 . 我が国の波力発電の今後の課題と対策

## 4.1 沖合の波浪マップの作成

日本近海の平均波パワー：7kW/m（水深50m以下の実測値による）

日本の総海岸線長を5000kmとすると、波パワーの総量は、日本の消費電力の1/3程度である。最近の研究によると、水深が大きい沖合での波パワーは、水深50以下の観測地の2倍以上\*という値も出ている。沖合の波浪マップの作成が必要である。（\* S.Takahashi : Resumption of wave power development, Proc. of 2009 Int. Seminar on Ocean Energy, IOES-Saga Univ., 2009）



沖合の波力発電の適地:

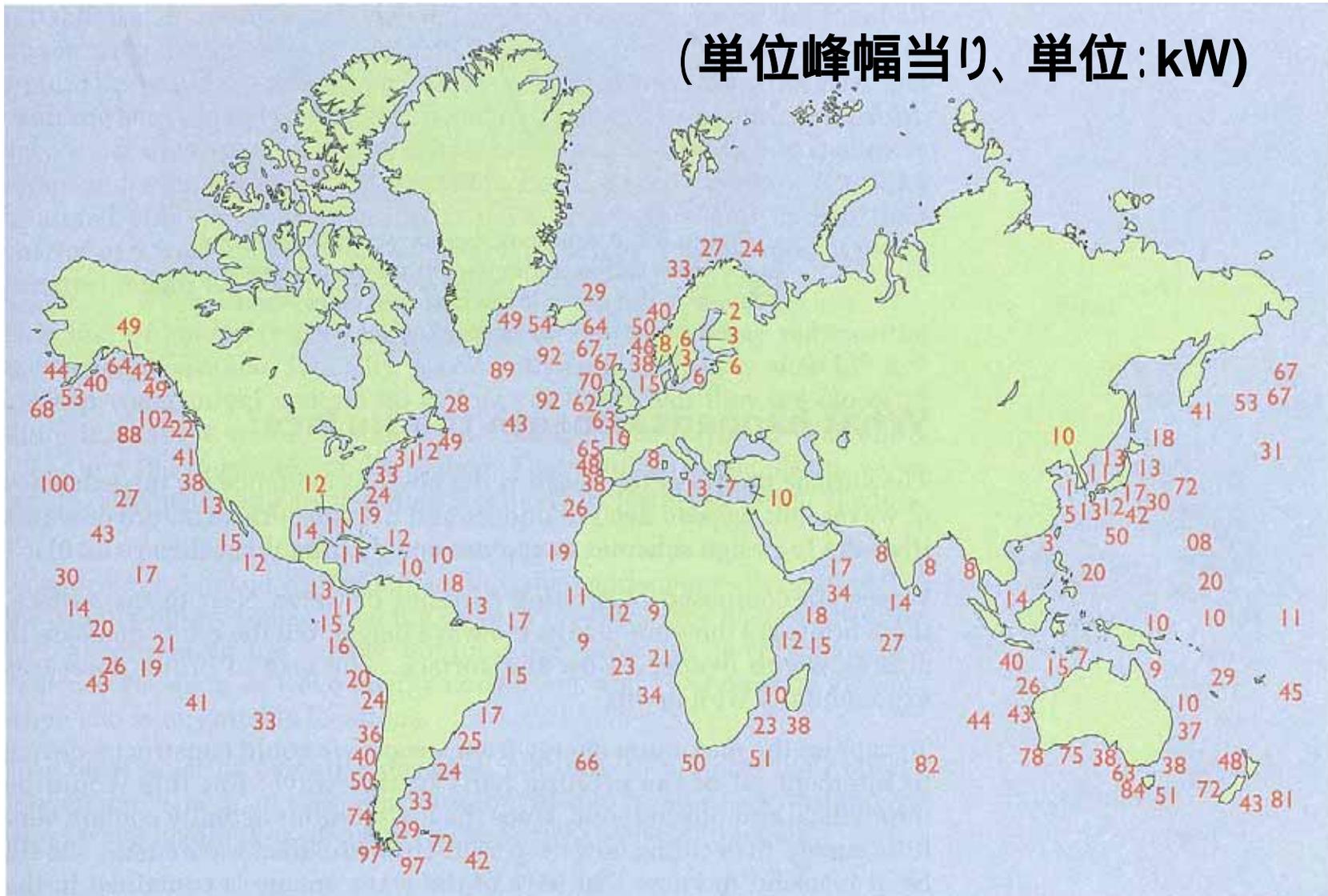
波パワー: 20 ~ 70kW/m

[http://e-tech.eic.or.jp/libra/lib\\_38/lib38.html](http://e-tech.eic.or.jp/libra/lib_38/lib38.html)

高橋重雄: 日本周辺における波パワーの特性と波力発電、港湾技術研究資料、No.654, 港湾技術研究所、1989

# 世界の波パワー密度

(単位峰幅当り、単位: kW)



Duckers, L.: Renewable Energy, Boyle, G. ed., P.325, Oxford University Press, 1996

## 4.2 高効率、高信頼性の波力発電装置の開発

**設置海域：** 水深が深く波高の大きい沖合

**形式** : ・浮体型装置、特に、可動物体型装置  
・多数の小規模分散型装置

**装置の多機能化：**

- ・波力・風力・潮流・太陽光のエネルギーのトータル利用型装置へ
- ・浮体の動揺低減装置

## 4.3 実海域実験場所の整備

提案した装置の発電性能、耐久性、高信頼性を評価、確認する海域が必要である。

**EMEC ORKNEY**

The European Marine Energy Centre was set up to provide developers of wave and tidal energy devices with a purpose-built open-sea performance testing facility.

An area offshore, west of Orkney Mainland at Billia Croo, has been developed for the testing of wave energy technologies.

**Billia Croo Substation**  
Housing high voltage electrical equipment to connect devices to the National Grid. Designed to minimise environmental impact.

**Cable Marker Board**  
International Maritime Organisation cable marker board.

**Black Craig Observation Point**  
Former coastguard lookout station converted to house powerful camera for monitoring activity at sea. Camera controlled from the data centre.

**Waverider Buoys**  
There can be up to two wave rider buoys present within the site at any one time. These collect and transmit data on the wave conditions.

**Electric Cables**  
Each test berth is connected to the onshore substation by an 11,000 volt subsea electric cable. A buoy marks the offshore end of each cable.

**Vessel Activity**  
A range of different vessels (small and large) can be expected to be working in and around the test area.

**Diver Activity**  
Divers can be expected to be working in the area.

欧州海洋エネルギーセンター

<http://www.emec.org.uk>

## 5. 海洋エネルギー資源利用推進機構(OEA-J) 波浪エネルギー分科会の今後の作業

**a) 高効率、高信頼性、低価格の波力発電装置の提案**

**b) 各種波力発電装置の評価**

海外の装置も含め、技術評価ができるように、各装置の特徴（長所、課題点等）の整理が必要である。

**c) 実海域実験海域の整備**

実験海域の選定及び、実験法、データ整理法等についての整理が必要である。

**d) ベンチャー企業の開発支援**

技術相談、模型実験、性能評価計算等の実施により、ベンチャー企業の開発を支援する。

**e) 波力発電装置に関する国際基準関連**

IECやIEA-OESで行っている波力発電装置関連の標準化対応作業を行う。