

波力発電の現状と今後の展望

足利大学

工学部創生工学科機械分野

自然エネルギーコース 講師

飯野 光政

内容

1. 波力エネルギーの特徴と性質
2. 波力エネルギー変換装置の種類と性能表示
3. 現在までの開発状況
4. 波力発電の利活用方法と課題
5. 今後の展望

波力エネルギーの特徴と性質

波力資源のポテンシャルと現状

大陸沿いで利用可能な
波エネルギー量*

29,500TWh

人類の総電力消費**(2021)

24,877TWh

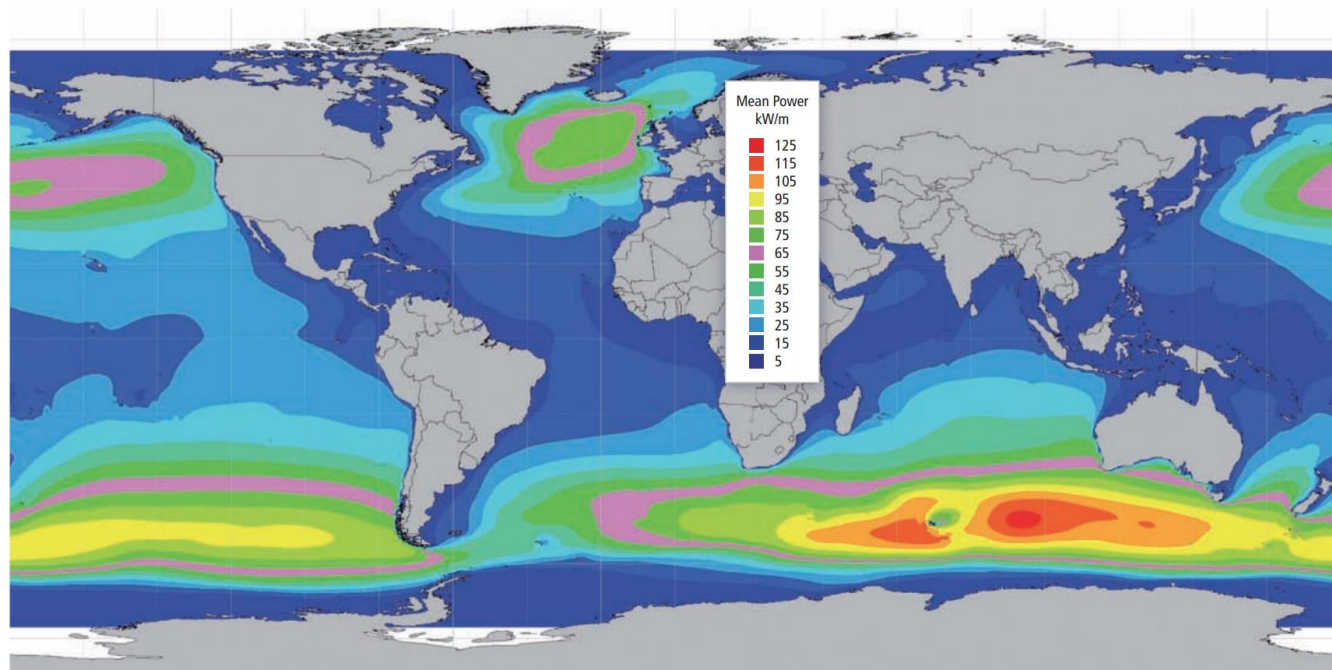
大陸沿いで利用可能な
平均波パワー

3,368GW

現在欧州で稼働中の
波力発電設備容量***

1.4MW

地球の波力エネルギーマップ*



波力エネルギーは膨大なポテンシャルを持つものの、
ほとんど利用できていない

* Lewis, A et.al. , 2011: Ocean Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation

** 世界エネルギー統計 <https://yearbook.enerdata.jp/>

*** Ocean Energy Europe, Ocean Energy Key trends and statistics 2021

日本沿岸の波パワー

表 6-4 海洋エネルギーのポテンシャル試算例

試算例	試算結果			前提条件等
	賦存量 ^{※1}	導入 ポテンシャル ^{※2}	発電 ポテンシャル ^{※3}	
前田・木下ら	—	50 GW	—	日本周辺の平均波力エネルギー密度を約 10 kW/m とし、日本全周（約 5,000 km）で 100 % 吸収するとした場合
高橋ら	—	36 GW	—	日本沿岸の平均波力エネルギー密度を 7 kW/m と試算している、日本の総海岸線を 5,200km とした場合
波力発電 検討会	300 GW～ 400 GW			沖合いの波エネルギー密度 15～20 kW/m、 沖合線長 10,000 km、風による復元効果を 2 倍とした場合
NEDO	195 GW (沖合 100 km まで)	現状技術： 5.4 GW 将来技術： 24.9 GW	現状技術： 19 TWh 将来技術： 87 TWh	【賦存量】 離岸距離 100 km の外周ラインで平均波力エネルギー密度を線積分して算出。 【導入・発電ポテンシャル】 - 沿岸固定式：沿岸部で、護岸に隙間なく設置 - 沖合係留方式：波に対して垂直方向に複数設置し、更にそれらを波の進行方向に多段に設置。 - 現状技術では離岸距離 30 km 以内かつ 100 m 以浅の外周ラインの距離から算出。 - 将来技術では離岸距離 100 km の外周ラインの距離から算出。

※1：設置可能面積、波パワー等から理論的に算出されるエネルギー量

※2：地理的条件を考慮し、発電デバイスを海上または陸上に敷設した場合に得られる設備容量

※3：地理的条件を考慮し、発電デバイスを海上または陸上に敷設した場合に得られる年間を通じた総発電量

出典：前田久明・木下健「波浪発電」（1979）生産研究 31 巻 11 号、高橋重雄「日本周辺における波パワーの特性と波力発電」（1989）港湾技術研究資料 No.654、「海洋エネルギーポテンシャルの把握に係る業務」（2011、NEDO）より NEDO 作成

日本沿岸の波力エネルギー(kW/m)



「波力発電の動向について」(2009, OEA-J 資料)

出典:NEDO 再生可能エネルギー技術白書(2014)

日本沿岸の波パワーは平均7kW/m 海岸線全体では36GWの賦存量
NEDOの試算では、将来87TWhのポテンシャル(日本の全電力消費の10%程度、太陽光発電の現在の発電状況と同様))

波の起こる原理

おうちの方へ
波は、大きく分けて
「風浪」と「うねり」の
2種類があります。風浪は
風の吹いている海上でその
風によって起きる波で、波
の頭が鋭く尖り、また波の
山が横に長く伸びていない
ことが特徴です。うねりは、
風浪が発生域を離れて静かな
海域に進んできたもの、または
発生域で風が弱まった後に残る
もので、風浪に比べて波の高さ
が小さく、波の山が横にかなり
長いのが特徴です。
8月の土用波は、太平洋の
まん中でできた台風による風浪
がうねりとなって日本に到達する
ものです。



<https://kids.gakken.co.jp/kagaku/kagaku110/science0264/>

波は一度起きたら海水の振動・波動としてエネルギーが伝わってくる
海上の風は空気自体が流れるが、波はその場から水が大きく動くことはない

波力エネルギーの特徴・性質①エネルギー密度が高い

波力エネルギーは沿岸でも他の再エネを上回る**エネルギー密度**

沿岸: 10kW/m

沖合: 数十kW/m

外洋: 100kW/m以上

メリットの一例

小型の装置でも大出力が期待できる。

(海面でエネルギーを取得できるので高さも必要ない)

デメリットの一例

小さな面積に大きなエネルギーなので、各部材にかかる荷重は非常におおきくなる

100kWの波力発電



Eco wave powerウェブサイトより

100kWの太陽光発電



<http://www.t-sankyo.jp/sun/index3.html>

100kWの風力発電

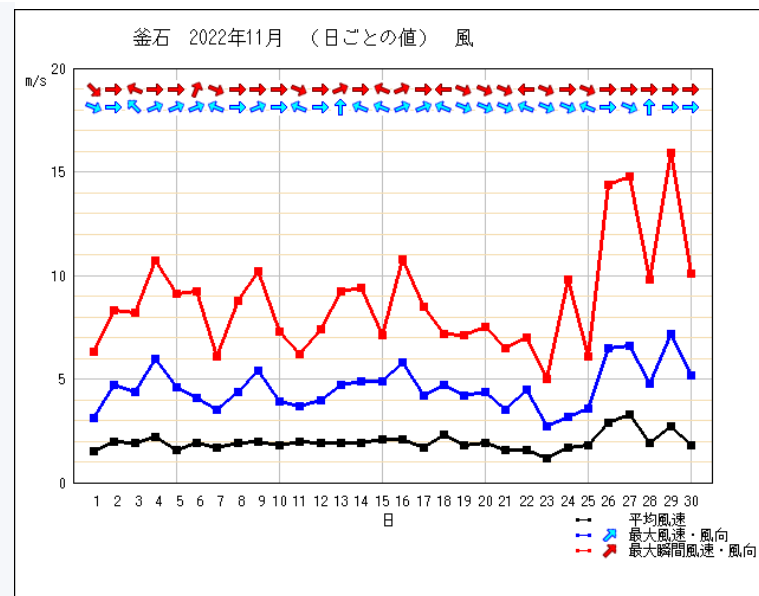


波力エネルギーの特徴・性質②変動性

波高、波周期の変化



風速の変化



波エネルギーはエネルギー密度が高く変動性がある
強い時間、弱い時間がある変動性再生可能エネルギー(VRE)

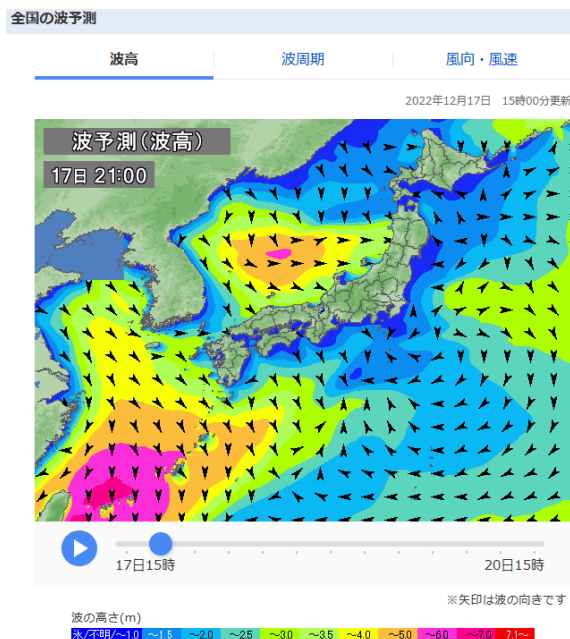
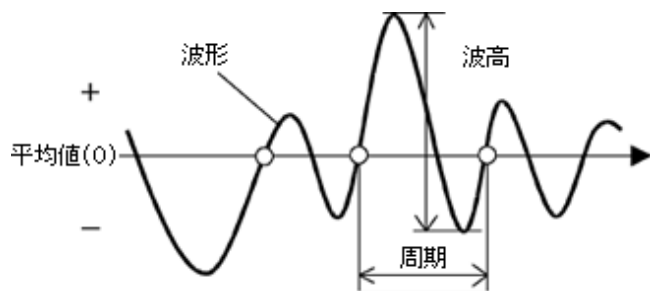
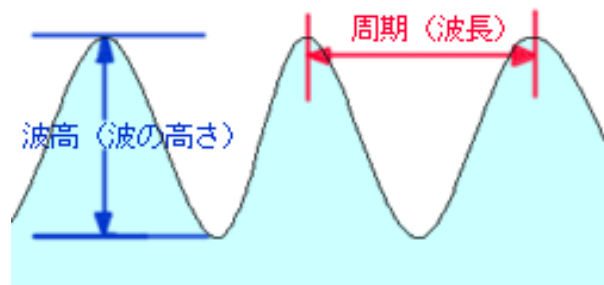
波エネルギーの評価の仕方 ①波高と周期

波は風（風速）や太陽光（日射強度）と違い、「**波高**」と「**周期**」の二つの状態をもつ

波高: 波の山から谷までの「高さ」

周期: 波の山から山までの「時間」

Yahoo! 天気(左: 波高 右: 周期)



波エネルギーの評価の仕方 ②計算式

- 波高 $H_{1/3}$ 、周期 $T_{1/3}$ のとき、1mあたりの波の平均パワーPは

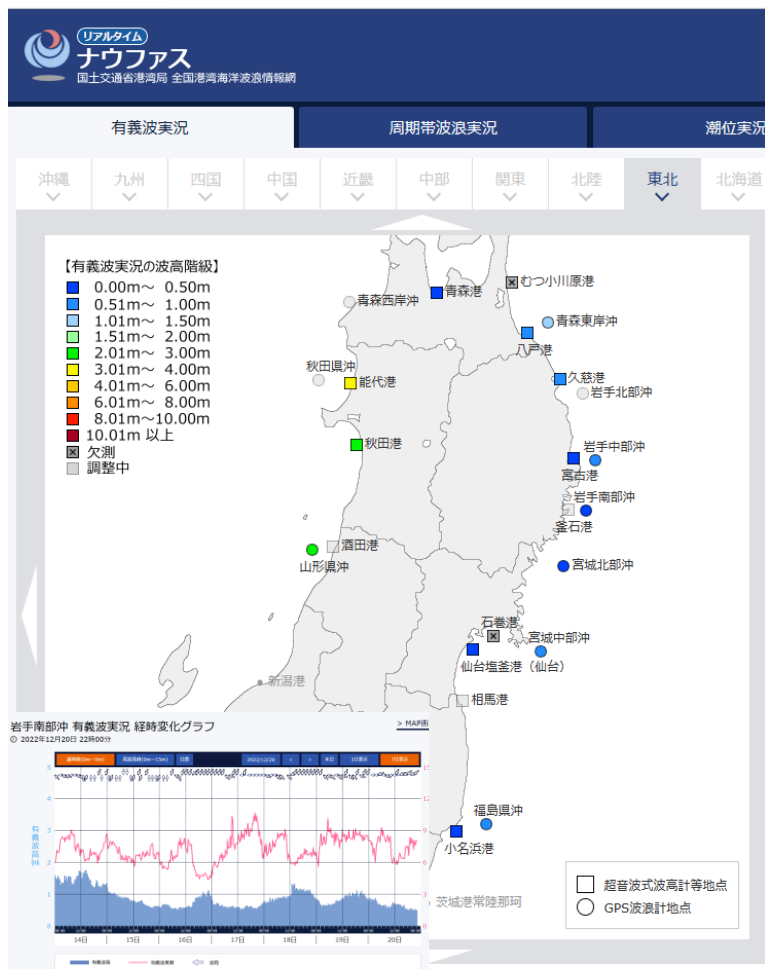
$$P = \frac{1}{2} \overset{\text{波高}}{H_{1/3}^2} \overset{\text{周期}}{T_{1/3}} [\text{kW/m}]$$

※波高、周期は1時間間隔程度で評価することが多い

波高が2倍になれば4倍、周期が2倍になれば2倍になる。
エネルギー量を正しく測るには、
「波高」と「周期」どちらも正確に把握することが重要

波高と周期の評価方法

長期観測データ(ナウファスなど)

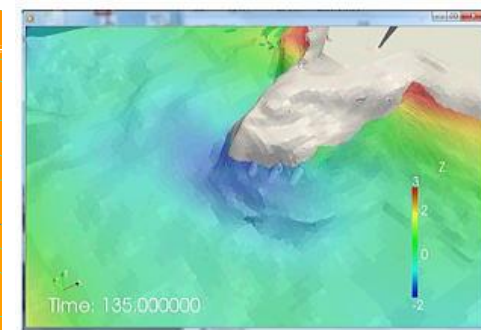
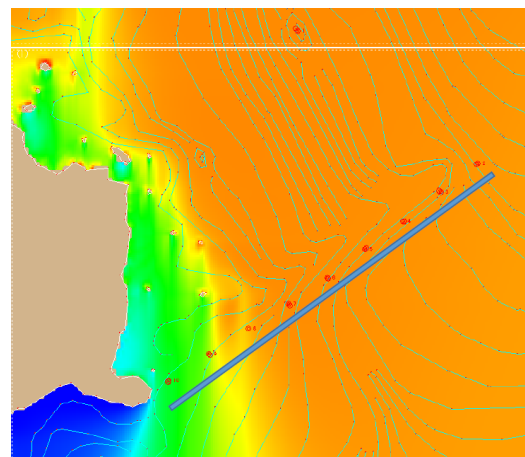


波浪観測(ブイ式、海底設置式波浪計など)



ゼニライトブイホームページより

波浪変形シミュレーション(地形影響を計算)



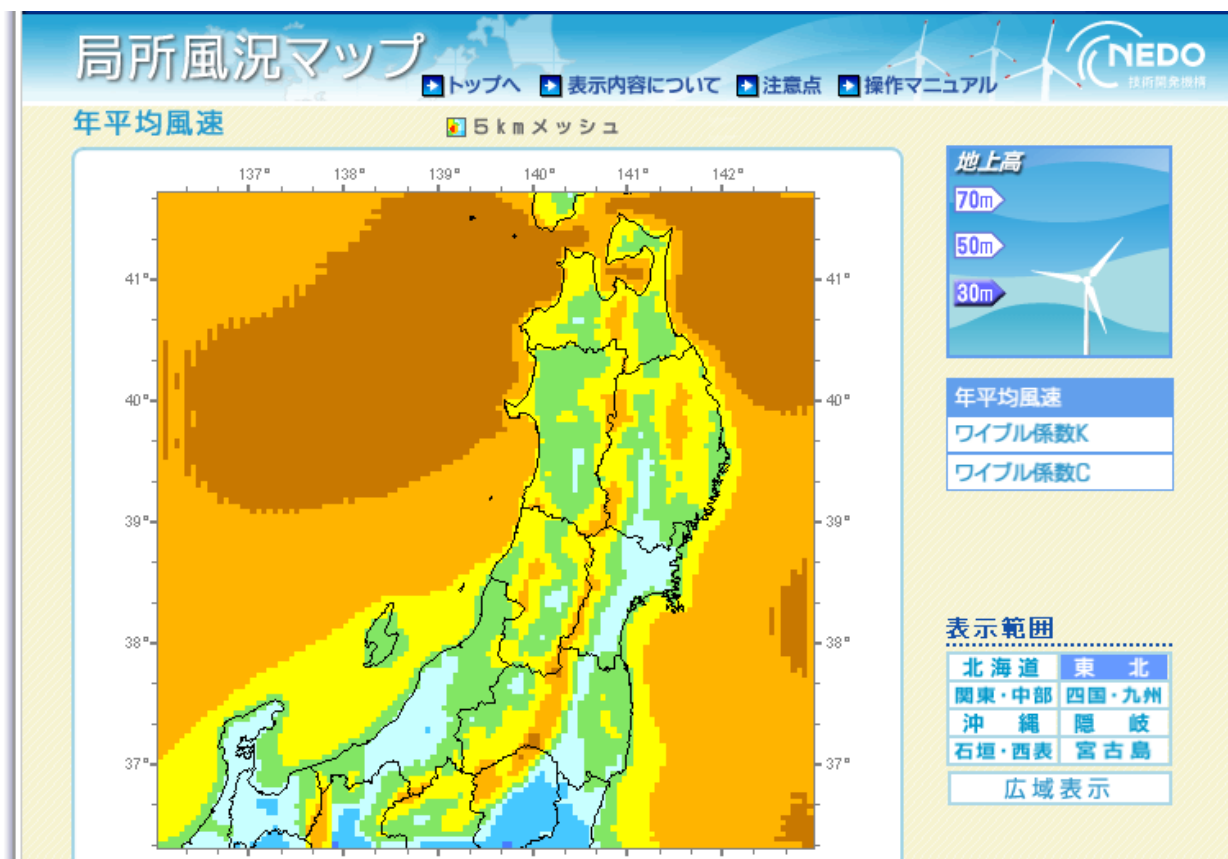
岸近くでの波高は倍
半分急激に変化する

沿岸で発電を行う場合に精度よくエネルギー量を評価するには、事前の計算と実測は必須

※風況のマップ

風力発電では、クリックした地点の風がすぐわかるようなマップが整備されている

※ただし、1km間隔なので、発電所計画時には風の実測、シミュレーションを必ず行う

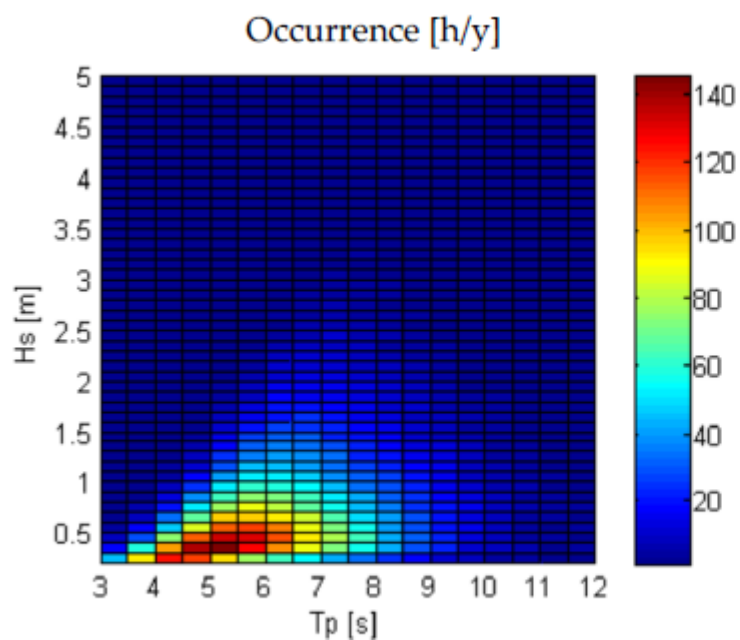


波力発電でもこのようなマップがあると、簡単に候補地かどうかの判別ができる

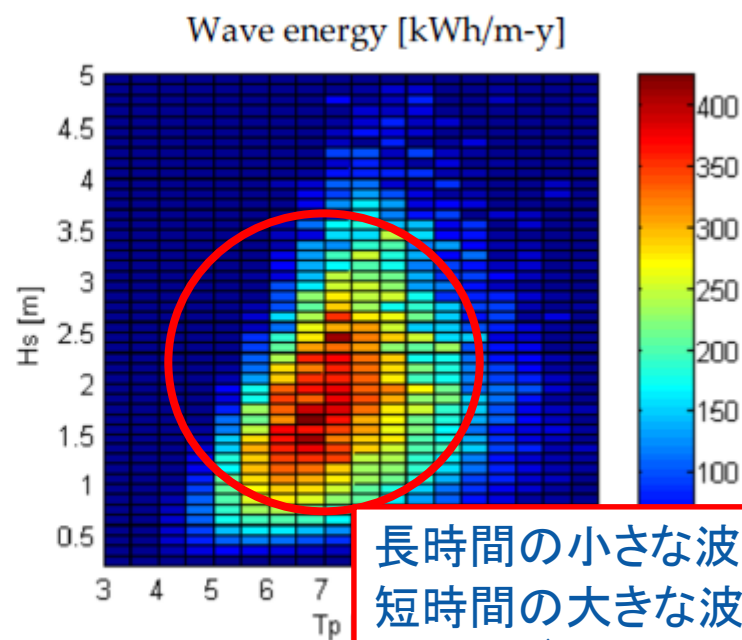
年間に襲来するエネルギーの計算

場所ごとの波高と周期の出現頻度表を何らかの方法で取得できれば、
1年間の波エネルギーの試算ができる

1年間の波高と周期の出現時間



1年間の波高と周期別の波エネルギー積算量



長時間の小さな波よりも
短時間の大きな波のほうが
エネルギーを持っている。

Figure 4. Examples of scatter tables on the island of Pantelleria (Italy) [30].

適切な波浪資源の評価には、波高と周期を知る必要がある

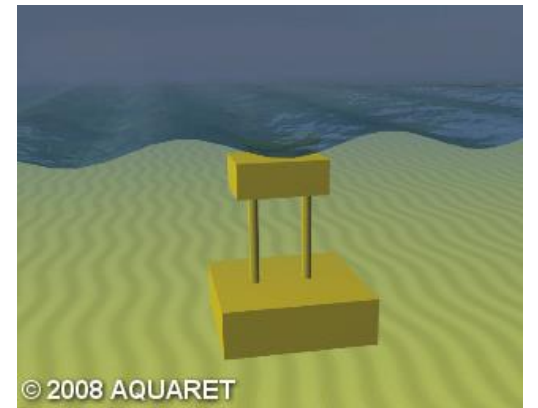
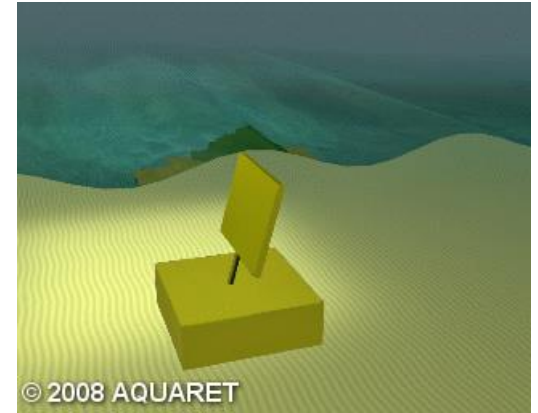
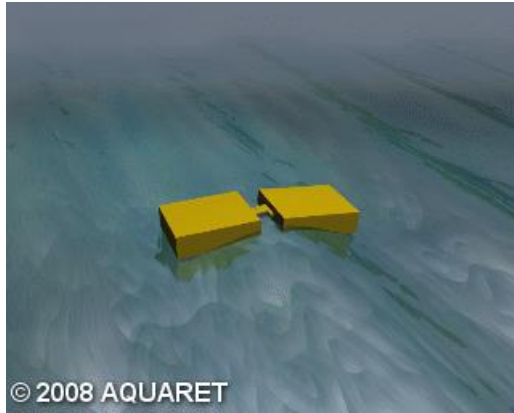
波の性質のまとめ

- 波はエネルギー密度が高く、外洋ほど加速度的に増加
- 変動性再生可能エネルギー源
- 波高と周期によりエネルギー量が変化する
- 波浪は地形の影響で変化し、特に浅瀬になる沿岸では地形影響で倍半分エネルギーが変わる
- 長期観測データベースやシミュレーション、実測を組み合わせる評価することができる
- 波高と周期を評価、予測できれば、その場所の波エネルギー量を評価することができる。

波エネルギーは波高と周期で整理する方法が世界的に標準となっている。波力発電所計画、実証試験計画においてはそれらの評価が必須となってくる。

波力エネルギー変換装置の種類と 性能表示の仕方

波力発電装置の種類



イギリスの海洋エネルギー実証フィールドEMECのウェブサイトより引用

波力発電装置は様々な方式があり、すべての規模、場所で使える方式はさだまっていない

性能表示の方法 パワーマトリックス

- 近年は波高と周期別の出力の一覧表「パワーマトリックス」が統一的な方法として認知されている

過去の実証試験の性能評価例

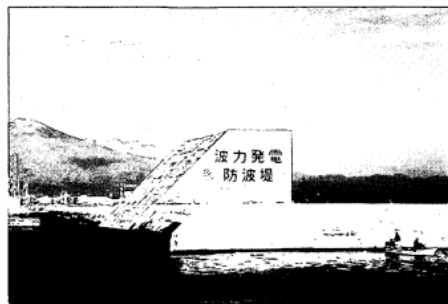


写真-1 波力発電ケーソン防波堤

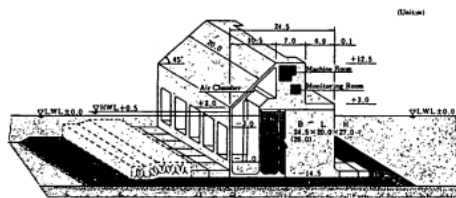


図-2 波力発電ケーソン防波堤

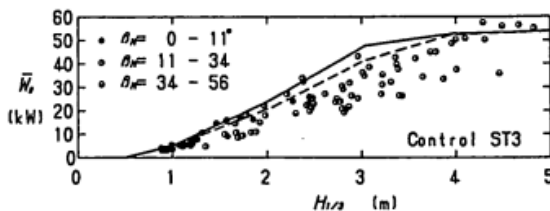


図-48 発電出力

波力発電装置AquaBuOYのパワーマトリックス

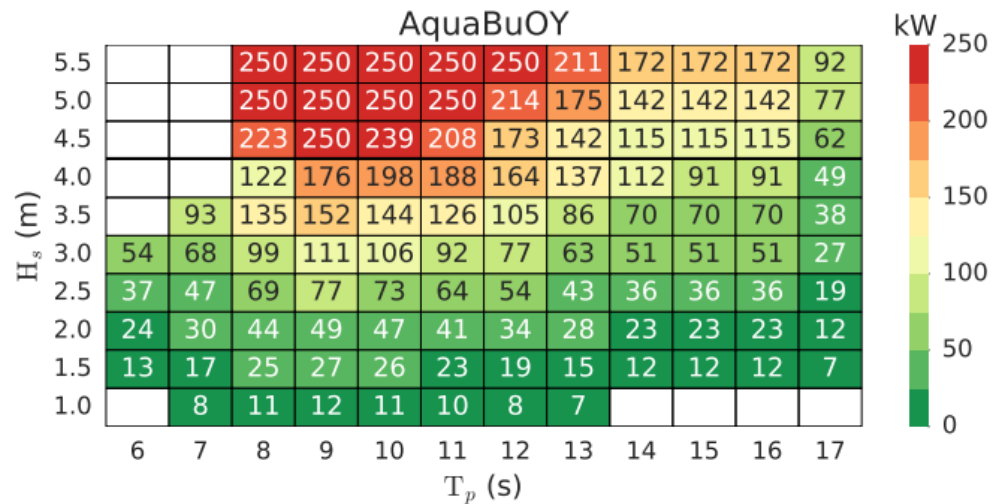


Figure 5: Power matrix of AquaBuOY [from 7].

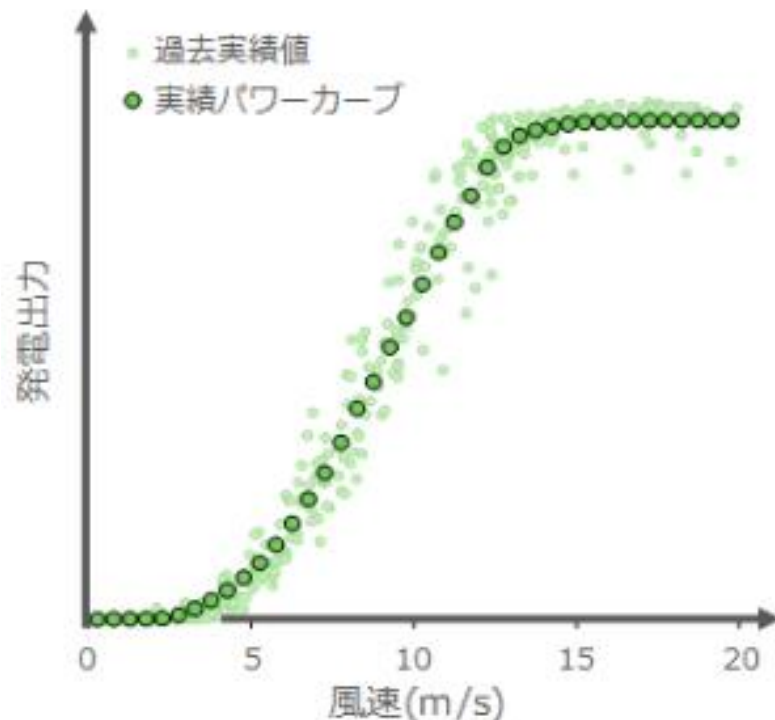
波高と周期別の出力がわかっているれば、波高と周期の出現時間と合わせて、年間発電量の計算ができる



※風力発電はパワーカーブ

- 風力は風速だけに関係するので、パワー「カーブ」となる
- 波力は「波高」と「周期」の二つに関係するのでパワー「マトリックス」となる

風力発電のパワーカーブ



波力発電のパワーマトリックス

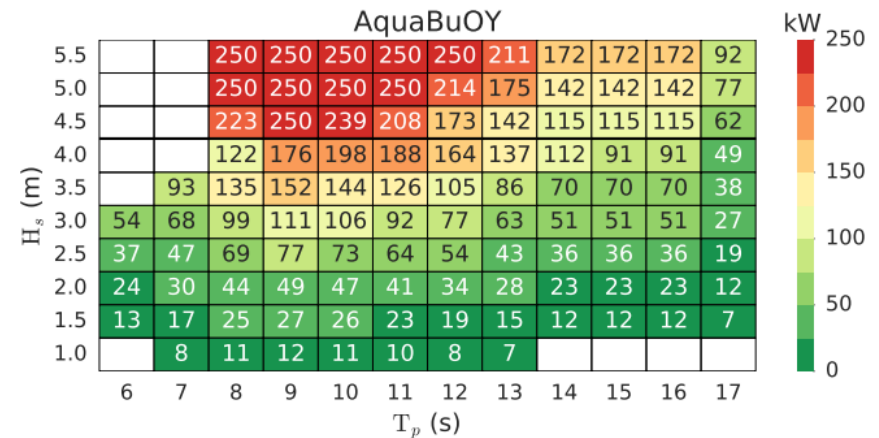


Figure 5: Power matrix of AquaBuOY [from 7].

正しく評価するには幅広い波条件での長期実海域実験が重要になる

「パワーマトリックス」の検索結果

Google power matrix wave

Q すべて 画像 ショッピング 動画 ニュース もっと見る ツール

scattering matrix pelamis generator seapower science keriting sea power pelamis wave ヤフオク obat keriting wave dragon wave height

ResearchGate Power matrix of Wave Dragon [from 25]. | Downlo...

University of Victoria The Development of Power Matrices - University of Victoria

ResearchGate Pelamis P-750 power matrix output as a function of signifi...

ResearchGate Power matrix from a Pelamis P-750 device [51]. | Downlo...

ResearchGate In Color] Wave Power Matrix for a 750kW Pelamis wave power conver...

MURAL - Maynooth University Research Archiv... Power production assessment for wave energy can...

Seapower Power Matrix - Seapower

ResearchGate Power matrix for a WEC designed to operate i...

University of Victoria The Development of Power Matrices - University of Victoria

ResearchGate Power matrix of the Pelamis P1 d...

ResearchGate Power matrices of the investigated wave...

Davieta Innanaria Naval

Hairik Crin Rht

Atomic Energy

ResearchGate

ヤフオク! Vahan! JAPAN. 在庫ナシ!

ResearchGate

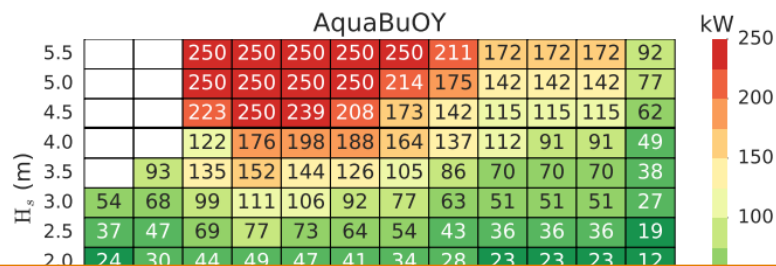
MDPI

今後の波力発電機開発では、性能評価において**信頼性の高い「パワーマトリックス」**を示していることが、信頼できる波力発電機の一つの指標となる

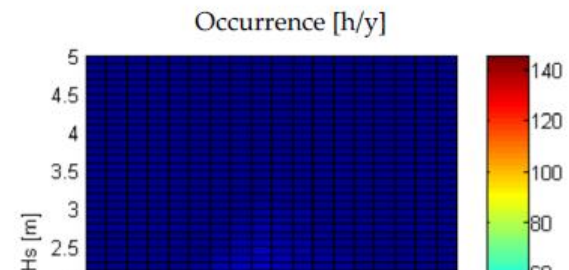
波力発電方式のまとめ

- 波力発電にはいろいろな方式がある。
- 近年は波高と周期に対応した性能表「パワーマトリックス」による性能表記が主流
- 発電量の正しい予測のためには、精度のよいパワーマトリックスの取得が必要。計測の充実したフィールドでの長期実海域試験が望ましい。

信頼できる装置性能
のデータ



信頼できる
設置場所の波条件



今後は事業化に向けて原理検証、実海域での信頼性確認だけでなく、適切な性能評価と予測可能な発電を行う装置としていくことが重要となってくる

T_p [s]

現在までの開発状況

これまでの開発状況

海明 (振動水柱型 1976)



三瀬固定波力発電プラント
(振動水柱型 1983)



PICO
(振動水柱型 ポルトガル
2000)



Wave Dragon
(越波型 デンマーク 2005)



酒田港防波堤組込み型 波力発電
(振動水柱型 1989)



マイティーホエール
(振動水柱型 1998)



LIMPET
(振動水柱型 UK 2005)



Pelamis
(可動物体式 UK 2008)



Pendular (可動物体式 1983)



TAPCHAN
(越波型 ノルウェー 1985)



ブローホール 波力発電
(振動水柱型 2014)

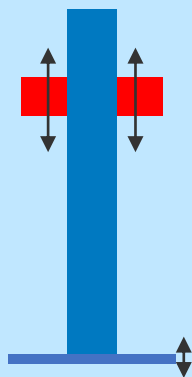


Power Buoy
(可動物体式 US 2011)

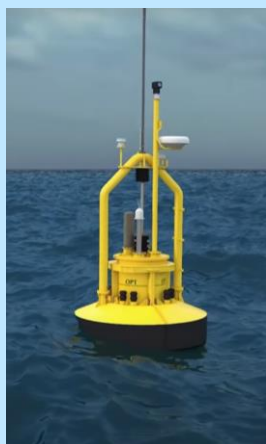


現在長期実海域試験に成功している方法

ポイントアブゾーバ型(浮体型)*

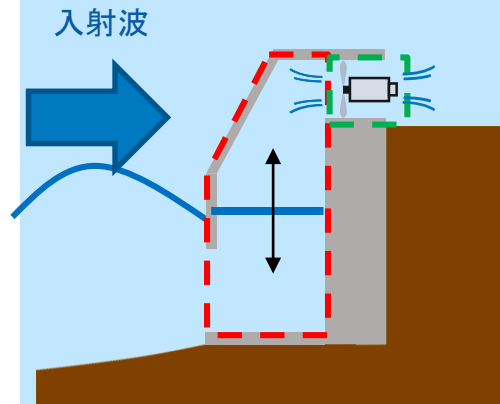


波により動きやすい
小型浮体を動きにくい
大型浮体や固定基礎
に取り付け、相対運
動で発電(ボールねじ
で発電機を回す等)

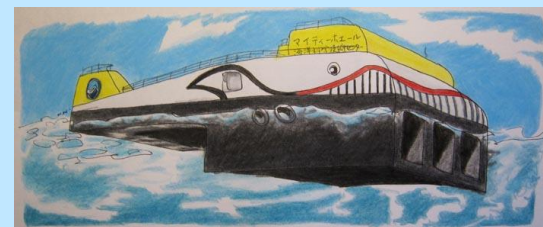
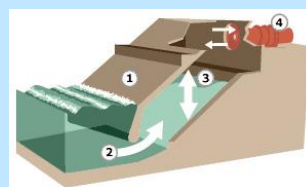


*Demonstration of OPT PB3 PowerBuoy Capabilities,
https://www.youtube.com/watch?v=WyiR_vtRR_M

振動水柱型(Oscillating Water Column OWC)



波により空気室(1次
変換部)の空気を押し
引きして、空気タービ
ン発電機(2次変換部)
を回す。往復流でも回
る対称形状のタービ
ンを使うことで安定し
た発電ができる。



実海域での長期運転に耐えることが証明されている方式は非常に少ない

2010年代の技術開発

- 2010年代は数百kW規模の沖合設置型の大型装置の商用化が全世界で期待されていた

ペラミス P2 (780kW、全長180m 幅3.5m)



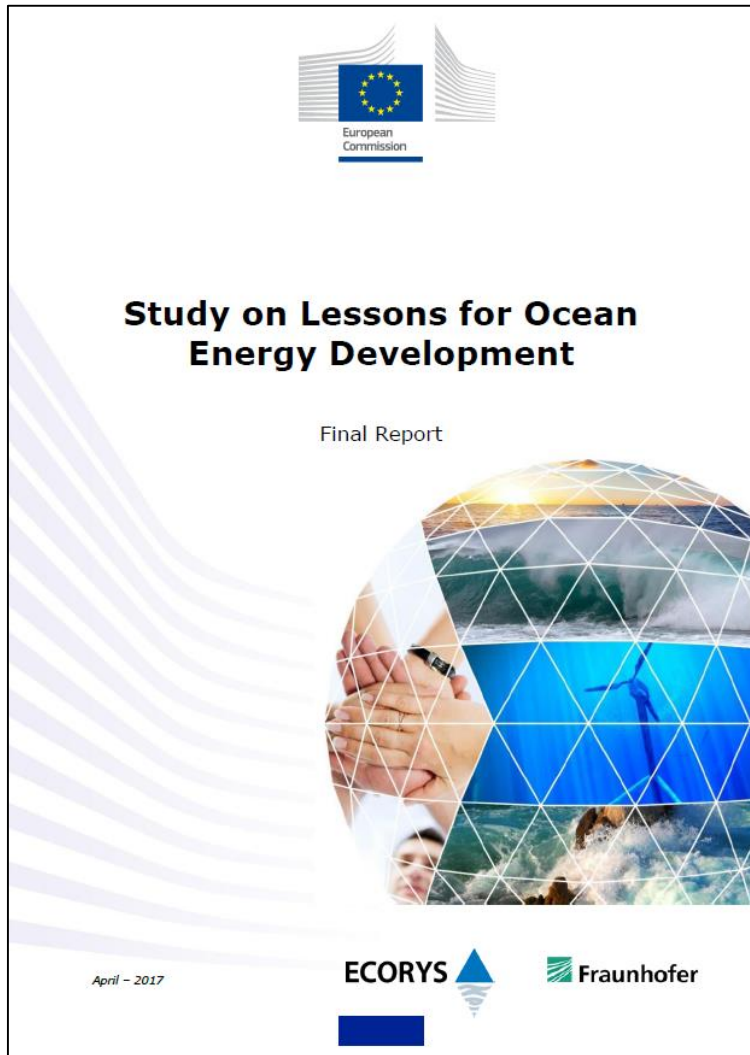
Oyster (ピーク出力600-800kW)



Wave dragon
(250kW機の1/4プロトタイプ)



2010年代の技術開発の失敗（EUのレポートより）



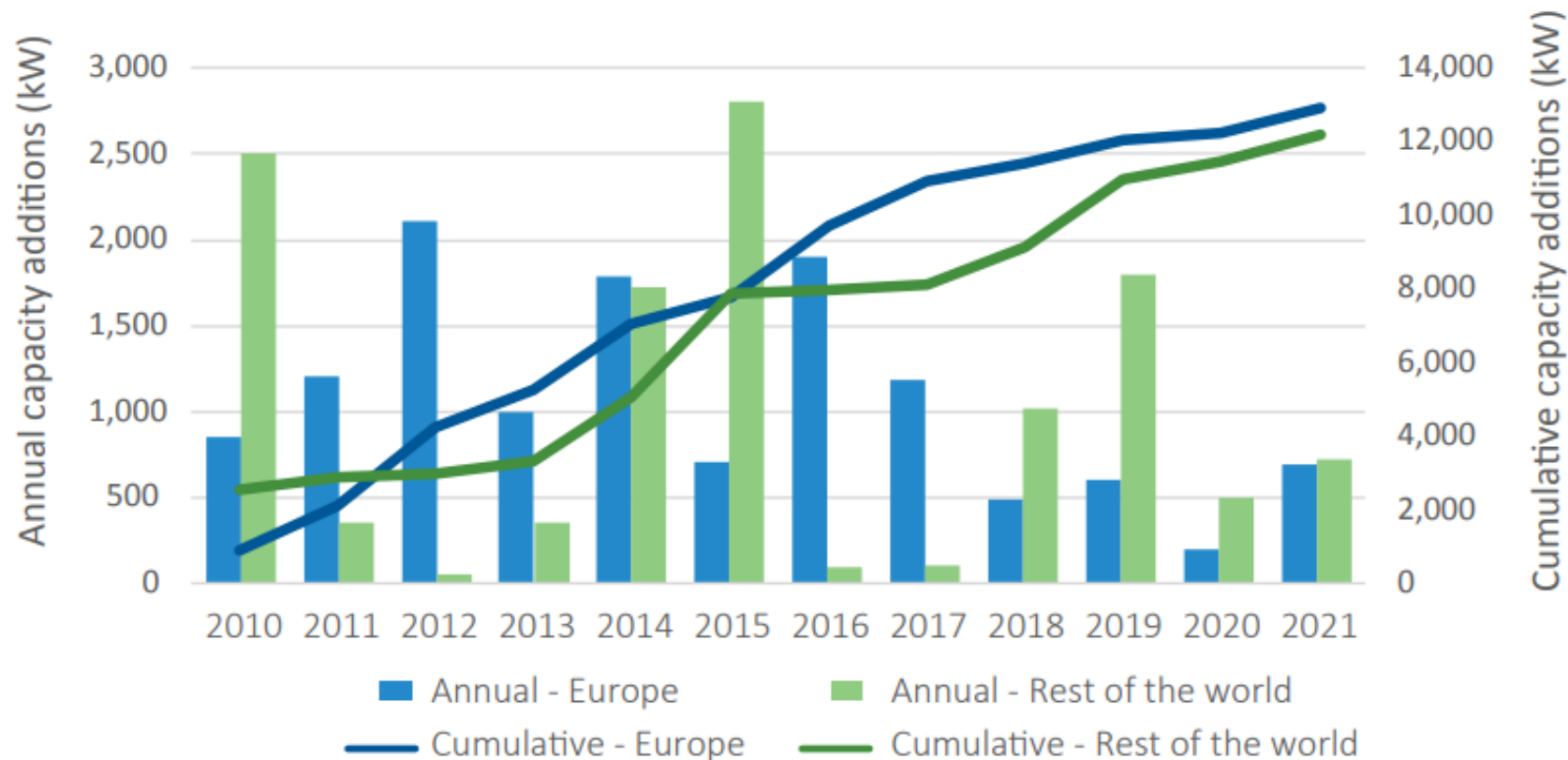
EUは波力発電の失敗をみとめ、今後の開発に向けた総括を行っている

・ペラミスP2の失敗の原因

- i. 波力発電に対する**過剰な社会的期待**とそれを受けた発明者が経営者となったこと（**熱心で強いアイデアや意見**を持つが、**知識や経験が不足**している人間が意思決定を行った）
- ii. 資本が**適切な要素技術の進歩に投入されなかった**（例えば制御システムの改善）
- iii. ある段階から**縮尺試験を経ず**に**フルスケールの実証**に移行したこと

※さらに、沖合設置型の装置には想定よりもはるかに厳しい波荷重、メンテナンスの困難さがあったということも指摘されている

ただし、開発の勢いは落ちていない



波力発電は依然として実証試験レベルの発電規模だが、設備導入量自体は2010年代後半にも落ちていない。

2021年の新設波力発電一覧

導入国	製造者/装置名	方式	出力[kW]
オーストラリア	Wave Swell Energy	振動水柱	200
チリ	Ocean Power Technology/PB3	可動物体	3
中国	Hangzhou Huge Wave Technology	可動物体	0.3
米国	Calwave/X1	可動物体	-
中国	GIEC/Changshan	可動物体	500
ノルウェー	Havkraft/HWEC	振動水柱	30
英国	MOCEAN/Blue X	可動物体	10
オランダ	Slow Mill/ Slow Mill	可動物体	40
キプロス	SWEL/WLM	可動物体	1.4
スペイン	Wello/Penguin 2	可動物体	600

Ocean Power Technology PB3
(ポイントアブゾーバ 3kW)



Wello Penguin 2
(ジャイロ式 600kW)



現在（2015後半～2020年代）の開発の方向性

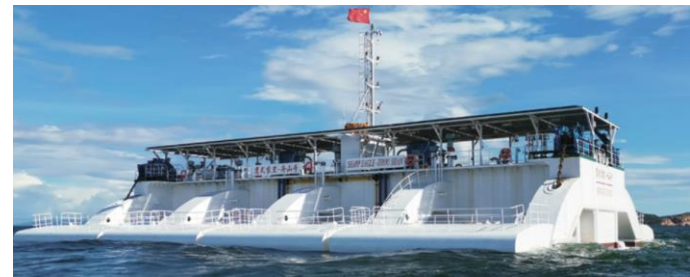
①小型で信頼性の高い装置

→ 量産品・ニッチ市場向けの製品（～数十kW）



②比較的大型の大出力装置

→ 将来の一般電源としてのプロトタイプ(数百kW～)



同じ波力発電でも、世界には信頼性が高く、安定して使える装置と研究開発段階のものが混在している

技術成熟度レベル（TRL） -開発段階の客観的指標-

技術成熟度レベル

文 17の言語版 ▾

ページ ノート

閲覧 編集 履歴表示

出典: フリー百科事典『ウィキペディア（Wikipedia）』

技術成熟度レベル(**Technology readiness levels ,TRL**) 技術開発水準/技術成熟度評価 は、体系的な分析に基づいて、新技術の開発のレベルを評価するために使用する基準。

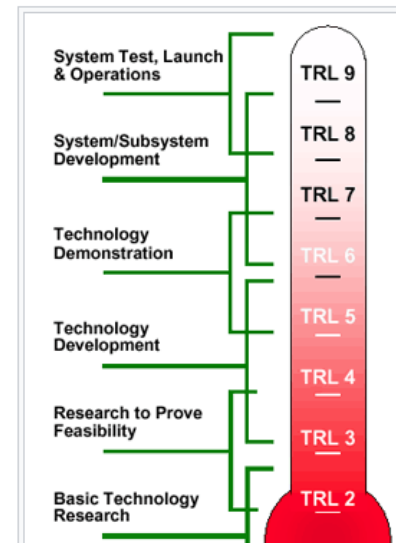
9段階であれば、TRL1 が最も基礎的な研究、TRL9が最も商業化に近い。

歴史 [編集]

技術成熟度レベルは1974年、NASAにより提唱され、1989年に正式に定義された。はじめの定義は7つの技術レベルを持っていたが、現在では9つのレベルに拡充され、これが現在広く普及している。^[1]

NASAによるTRLの定義 (1989)^[2]

- Level 1 – 基礎理論の着想段階
- Level 2 – 技術要素の適応、応用範囲の明確化
- Level 3 – 技術実証のデモンストレーション(**Proof of Concept**)この段階から、実証試験等を行い検証を始めていく
- Level 4 – ラボレベルでの実証



技術成熟度レベル(**Technology readiness levels ,TRL**) 技術開発水準/技術成熟度評価 は、体系的な分析に基づいて、新技術の開発のレベルを評価するために使用する基準。

現

9段階であれば、TRL1 が最も基礎的な研究、TRL9が最も商業化に近い。

波力発電の技術成熟度レベル

① ステージ 1(研究フェーズ:TRL1~TRL3)

- ・小規模模型(模型縮尺 1/100 ~ 1/25)の水槽実験による基本コンセプトの証明
- ・簡易 Power take-off(PTO)システムによる発電性能の評価
- ・規則波や不規則波中での装置形状の最適化

② ステージ 2(開発フェーズ:TRL4)

- ・中規模模型(模型縮尺 1/25~1/10)の設計波浪(異常時, 供用時波浪)下での水槽実験や数値モデルによる性能, 安全性の確認
- ・より精巧な PTO システムを用いた発電性能評価

③ ステージ 3(デモンストレーションフェーズ: TRL5 ~ TRL6)

- ・大規模模型(模型縮尺 1/5~1/2)の実海域実験による PTO システム, 係留系, 発電性能等の評価
- ・送電ケーブルや送電網の適合性の検証
- ・装置全体および構成要素の信頼性, 耐久性, 有効性の評価

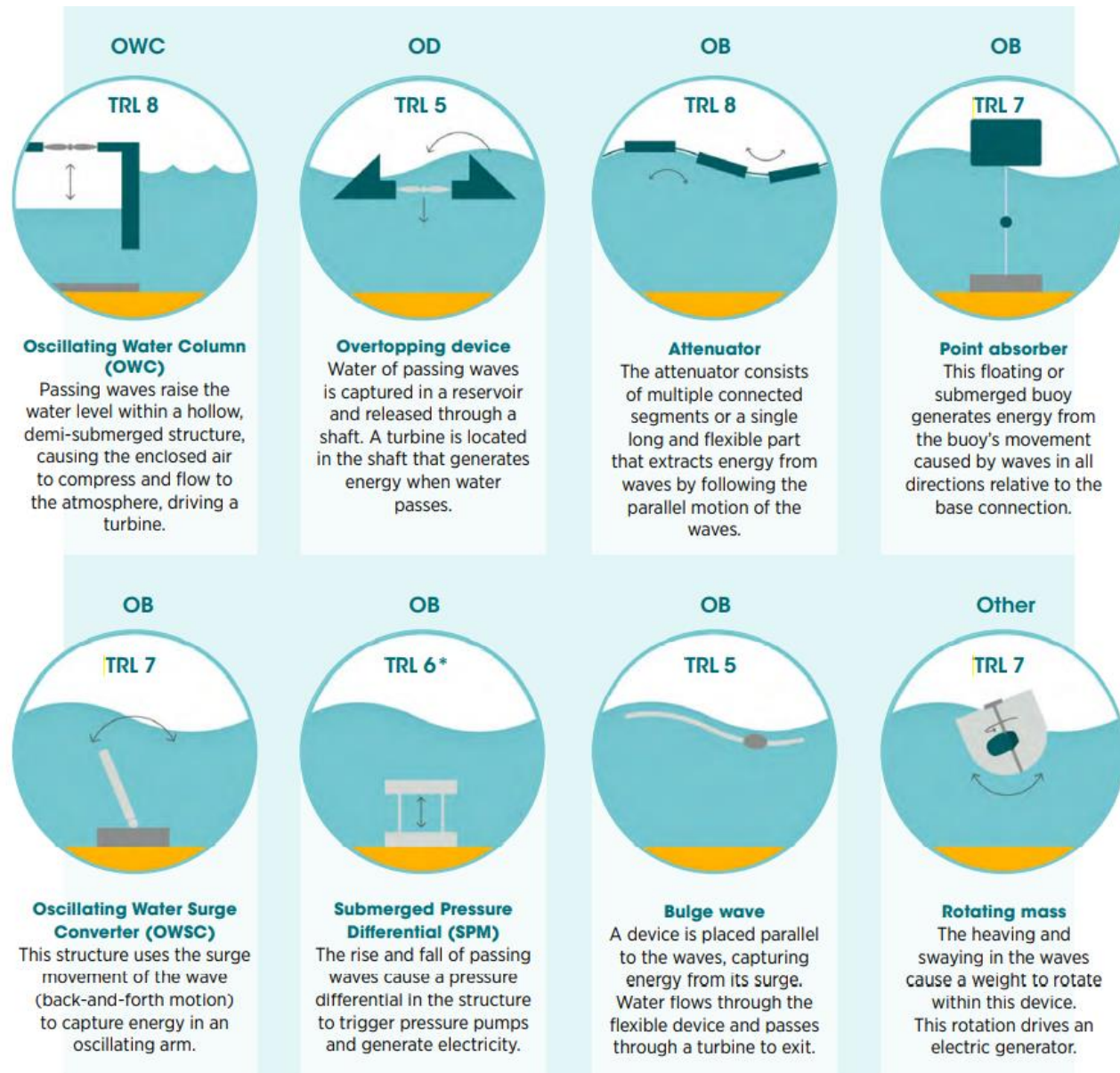
④ ステージ 4(商用化前フェーズ:TRL7~TRL8)

- ・より実機に近い単一装置(縮尺 1/2~1/1)の実海域実験による発電性能評価, ステージ 3 での検討項目の更なる確認
- ・複数装置の建設, 配置, O&M 等の関連項目についての検討

⑤ ステージ 5(商用化の展開フェーズ:TRL9)

- ・長期間に渡る複数(3~5 基)実機装置の実海域実験による商用機に関する技術の最終確認・装置の設置・発電等に関わる総合的な経済性の確認

各方式の技術成熟度の現状



装置によって技術成熟度はまちまち。どの方式も商用化前フェーズ(Pre commercial)である。

※商用化前フェーズのイメージ（浮体式洋上風車）

- 浮体式洋上風車はまさにPre-commercialから、Commercialに移行しつつある技術

Global Floating Wind Industry's Path to Commercialization



**Proof of Concept Phase
2009 to 2016**
Prototypes Ranging from 2 - 7 MW
Research Funded

コンセプト検証フェーズ
100%補助事業



**Pre-commercial Phase
2017 to 2023**
Multi-turbine commercial machines
12 – 50 MW – financed with subsidies
14 projects totaling 229-MW

商用化前フェーズ
補助金あり事業化

**Utility-scale Floating Arrays
2024 and beyond**
400-MW+ Capacity
Competitive with Market Conditions

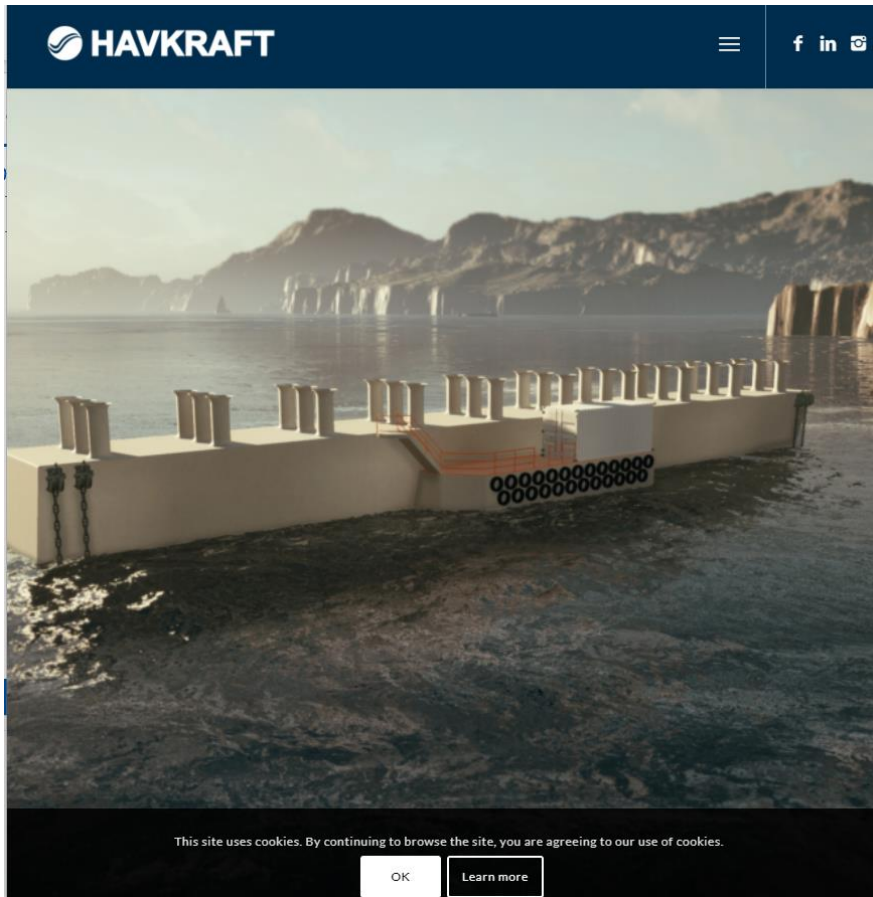
商用化フェーズ
マーケット競争力あり

<https://energypost.eu/floating-offshore-wind-turbines-utility-scale-by-2024/>

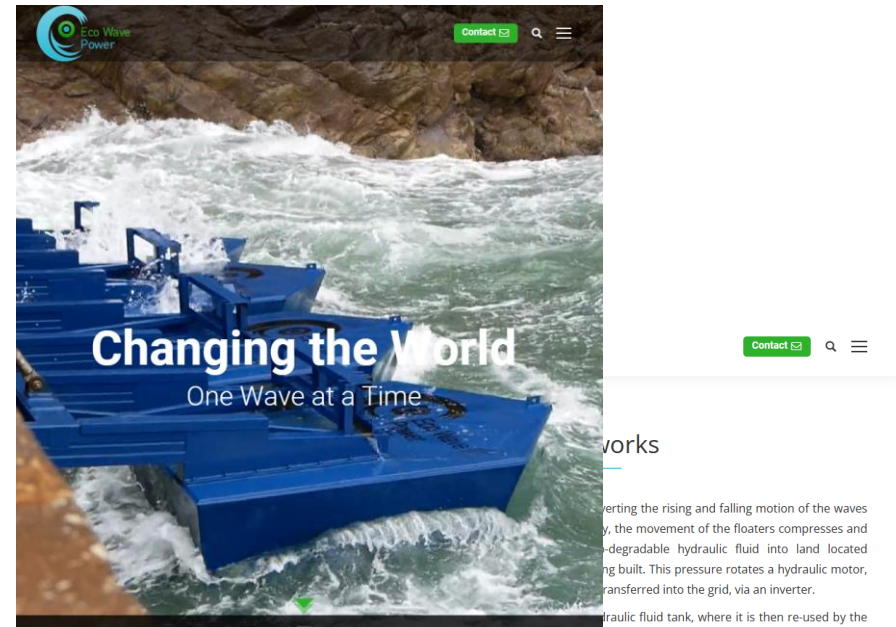
波力発電（装置・プラント）を販売している世界の企業

”波力発電機メーカー”によるパイロットプラントが世界中で運転を開始している

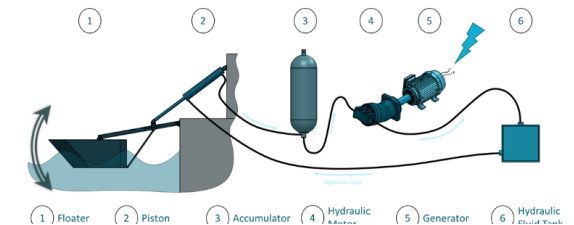
Havkraft社（ノルウェー）



Eco Wave Power社（イスラエル）



...the rising and falling motion of the waves
...the movement of the floaters compresses and
...degradable hydraulic fluid into land located
...ing built. This pressure rotates a hydraulic motor,
...transferred into the grid, via an inverter.



※なぜ沿岸、近海なのか（eco wave power社）

投資家情報（英語のみ）

なぜオンショア/ニアショアなのか？

オフショア波で利用可能な高いエネルギーポテンシャルを求めて、いくつかの波力エネルギー開発者はシステムをオフショアに配置しました。ただし、これらのシステムは、次の理由で商品化に苦労しました。

- **高コスト:** オフショアシステムに関連するCAPEXは、そのようなシステムの設置、保守、および電力網への接続に暗黙のうちに高コストがかかるため、高くなります。彼らのオフショア展開は船、ダイバー、水中送電ケーブル、および水中係留の使用を必要とするので。
- **低信頼性:** 沖合の海洋気候はしばしば非常に過酷であり、20メートルもの波高を経験することがあります。固定式の人工機械は、この種の条件で長期間生き残るのに苦労しています。
- **オフショアシステムを取り巻く保険の欠如:** 洋上波力エネルギーシステムに関連する高コストと信頼性の低さは、洋上波力発電所の保険に加入する際に問題を引き起こしました。
- **オフショアシステム的环境への悪影響:** 環境団体は、新技術の展開においてかなりの発言権を持っています。しかし、多くの海洋波力エネルギーシステムの多くは海底に係留する必要があり、地元の海洋生態系を乱し、海洋移動を妨げる可能性があるため、多くの人々がオフショア波力エネルギーシステムの展開に反対しています。

波力エネルギー部門のオフショア競合他社が経験した困難の結果として、Eco Wave Powerは、陸上および沿岸環境にシステムを設置し、防波堤などの海洋構造物に取り付けることで、別のアプローチを取ることを決定しました。

波力エネルギー部門の新しい研究は、エコウェーブパワーのアプローチをサポートしています。たとえば、図1では、最大波力はオフショアの方が高いですが、オフショアとニアショアで利用可能なパワーのレベルは、次の理由により実質的に同じであることがわかります。

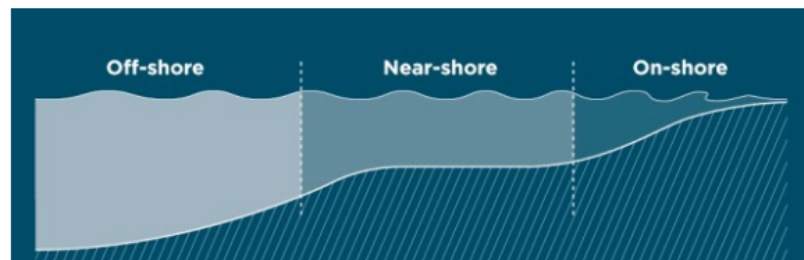


図1: WECの海岸への近さに対する波力の変動

出典: <https://waveenergyconversiontamu15.weebly.com/theory-of-wave-energy-可用性.html>

今後の課題と将来

今後のコスト見通し

- イギリスのコスト・導入量目標(イギリス物理科学協会)

2035年までに90ポンド/MWh(14.4円/kWh)

2050年までに22GWを導入

- アメリカのコスト目標(米国エネルギー省)

2035年までに0.17ドル/kWh(22円/kWh)

現在の波力発電の有望な展開先（ニッチ市場）



Wave energy in the UK: Status review and future perspectives

Siya Jin*, Deborah Greaves

School of Engineering, Computing and Mathematics, Faculty of Science and Engineering, University of Plymouth, Plymouth, PL4 8AA, UK

ARTICLE INFO

Keywords:
UK wave energy
Government and industry support
Progress and status
Utility scale and niche applications
Recommendations

ABSTRACT

This review aims at giving a picture of the progress of the UK wave energy and suggesting key steps needing to be taken for its contribution to the Net Zero greenhouse gas emissions target by 2050. It follows consultation through scoping wave energy workshops held by the Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) in August 2019 and by Supergrid Offshore Renewable Energy (ORE) Hub in January 2020 and a series of structured interviews with academics, policy makers, funding bodies and industry professionals. It is believed that the UK has excellent wave resources and advanced techniques that need to be rapidly developed to achieve the target of 22 GW of installed capacity by 2050 (Greaves et al. (2020)). The wave energy resources in the UK are reviewed, summarising wave energy hotspots for development and identifying openly accessible wave data. The progress and achievements of wave energy development in the UK are reviewed and described to underline the important roles that UK government and industry support have to play in securing a leading position in wave energy. The potential benefits of wave energy for the decarbonisation of UK industry (including utility scale and niche markets) to achieve Net Zero target by 2050 are presented, as well as the steps that need to be taken in the next 30 years to achieve its potential.

1. Introduction

In response to concerns over climate change, a total of 192 countries signed the Kyoto Protocol in 1997 in a working global agreement to fight climate change [1]. Since then, renewable energy has been acting as an increasingly crucial part of the energy mix as shown in Fig. 1, which is summarised from the data in the World Energy Balances 2018 report by the International Energy Agency (IEA) [2]. The UK, as one of the major economies in the world, is at the forefront of utilising renewables, having achieved nearly 30% of renewable electricity generation in 2017.

Renewable energy comes in a number of forms, including hydroelectric dams, wind (onshore/offshore), solar, biomass, geothermal, tidal and wave, etc. Wind and solar have been rapidly developed in the past 10 years and are competitive with the fossil fuel presently, as shown in Fig. 2 (summarised from the data presented in [3,4]). In comparison, wave energy is far behind with approximately £300/MWh of levelised cost of energy (LCOE) presently, as estimated in [5] in 2018. Although still at early stage, wave energy has great potential as an important contribution for energy mix resilience as it features of high energy density (probably the highest among renewable energy sources [6]) and provides compensation for the use of wind and solar energy [7]. It is expected that if the exploitable global wave energy resource is harnessed fully (estimated up to 29,500 TWh/year [8]), this could

satisfy the annual electricity generation of the world (26,700 TWh in 2018 [9]).

The device that captures and converts energy in the waves to useful power is called a wave energy converter (WEC). Different approaches have been used to classify WEC concepts and the most commonly used definitions can be found in [10–12]. Here, we classify WEC by the working principle, as illustrated in Fig. 3. (1) Oscillating body converts wave motions into device oscillations to generate electricity. Two main sub-categories are further given according to the dominant oscillating modes: translation (heaving or horizontal movement) and rotation (flap and articulated, etc.). (2) Oscillating water column (OWC) uses trapped air above a water column to drive turbines for electricity generation. Fixed and floating types are available which are further classified based on the dynamic feature of the supporting structure. (3) Overtopping device applies reservoirs to generate a head flow to drive turbines for electricity generation and can be further divided into fixed and floating type. (4) Novel concepts fall outside of the above categories, such as the devices using flexible membrane and hybrid technologies.

Table 1 and Fig. 4 provide summaries of the globally active WEC technologies at the time of writing to demonstrate the evolution of the installed & planned capacity by country between 2000 and 2019. The data are compiled from various sources including published papers, reports and individual company websites [13–43]. Clearly, numbers

- ・波力発電機を組み込んだ防波堤
- ・海水淡水化用
- ・海上養殖
- ・洋上石油・ガス産業
- ・島しょ部のマイクログリッド
- ・軍事・監視用
- ・航路標識などの航法支援ブイ
- ・海洋観測（波高観測など）
- ・海水のミネラルや水素などを抽出するための電源
- ・ラグジュアリーリゾートの電源（個人経営含む）
- ・海洋保全（波力発電による消波）

既に安定した発電ができることはわかっている。しかし高コスト。
直近の商業化には一般の電源としては高コストでも、高付加価値の利用、電源コストが高い地域での利用が重要。

* Corresponding author.
E-mail addresses: siya.jin@plymouth.ac.uk (S. Jin), deborah.greaves@plymouth.ac.uk (D. Greaves).

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110932>
Received 21 September 2020; Received in revised form 2 February 2021; Accepted 1 March 2021
Available online 15 March 2021
1364-0321/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

高い技術成熟度の装置に待ち受ける技術的課題

SANDIA REPORT

SAND2013-7205
Unlimited Release
Printed September 2013

Technological Cost-Reduction Pathways for Oscillating Water Column Wave Energy Converters in the Marine Hydrokinetic Environment

Diana Bull and Margaret E. Ochs

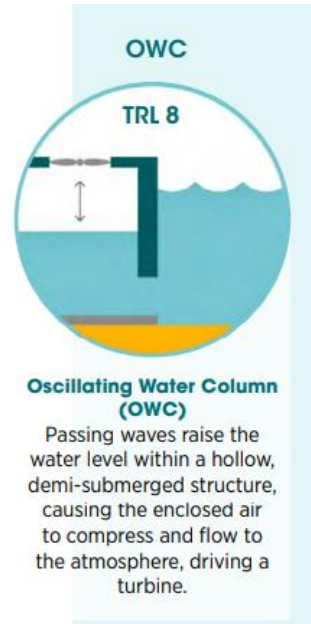
Prepared by
Sandia National Laboratories
Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermore, California 94550

Sandia National Laboratories is a multi-program laboratory managed and operated by Sandia Corporation,
a wholly owned subsidiary of Lockheed Martin Corporation, for the U.S. Department of Energy's
National Nuclear Security Administration under contract DE-AC04-04AL85000.

Approved for public release; further dissemination unlimited.

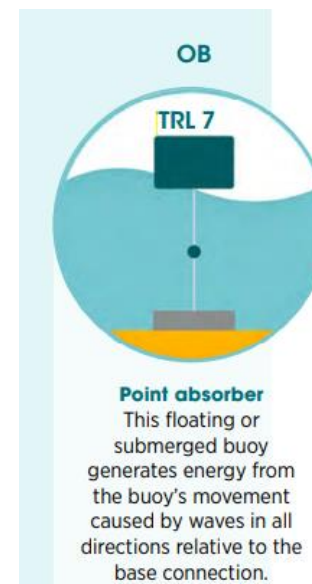


Sandia National Laboratories



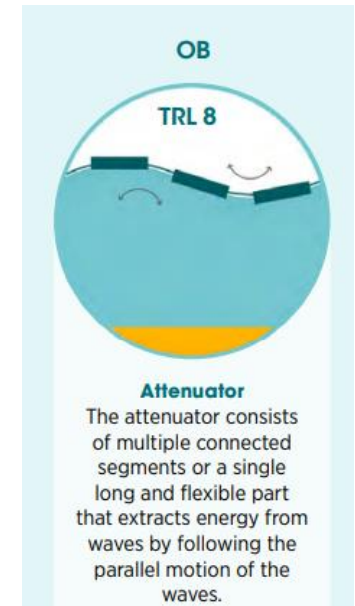
Oscillating Water Column (OWC)

Passing waves raise the water level within a hollow, demi-submerged structure, causing the enclosed air to compress and flow to the atmosphere, driving a turbine.



Point absorber

This floating or submerged buoy generates energy from the buoy's movement caused by waves in all directions relative to the base connection.



Attenuator

The attenuator consists of multiple connected segments or a single long and flexible part that extracts energy from waves by following the parallel motion of the waves.

- ・制御システムの高度化
- ・電力変換装置の性能向上
- ・構造設計の最適化
- ・波力発電装置アレイのレイアウト最適化（振動水柱，ポイントアブゾーバ型）
- ・装置形状の最適化（アッテネータ型）
- ・計画的なメンテナンス（アッテネータ型）

技術的にも効率以外の要素が重要になってきている

その他の課題



波力発電の研究開発動向*

永田 修一**

1. はじめに

今日、地球の温暖化対策としての再生可能エネルギーの利用拡大は世界的な大きな流れとなっている。再生可能エネルギーの一つである波浪エネルギーを利用して発電する波力発電についても、波浪エネルギーの賦存量が膨大であることから、大きな期待が寄せられ、

すでに1-3GW、2050年までに60GWと推定（2020年11月発表）している。

これまで、様々な形式の波力発電装置が提案されているが、現在まで提案された主なエネルギー変換システムは、発電方式により、①波エネルギーを空気エネルギーに変換して空気タービンを回して発電する“振動水柱型（Oscillating Water Column: OWC）”、②波

海中で運動する物体の運動エネルギーを、油圧モータ

6.3 研究ファンドの充実²⁷⁾

海洋エネルギー利用装置の開発は、2.において述べたステージ1からステージ5の順に、進められる。次のステージに進むためにはステージゲートをクリアする必要がある。我が国の研究開発費の支援・補助については、現在、ステージ1、2では文科省の科研費や基礎研究費等の助成金、また、ステージ4、5では経産省やNEDO等の補助金（必要な研究開発費の2/3を補助）が利用できるが、ステージ3の支援が少ないために、基礎技術の革新が、経産省やNEDOの実証試験に繋がらない原因になっている。今後、ステージ3の研究開発費の支援・補助を行うシステムを確立すべきで、有望なものについては、100%補助金事業にすべきと思われる。

風力や太陽光と違い、技術面でも社会制度面でも、実環境の試験が困難であり、水槽実験レベルから先の開発が容易ではない

実際に電源として使える発電装置の開発には研究者・技術者以外の様々なプレイヤーが必要

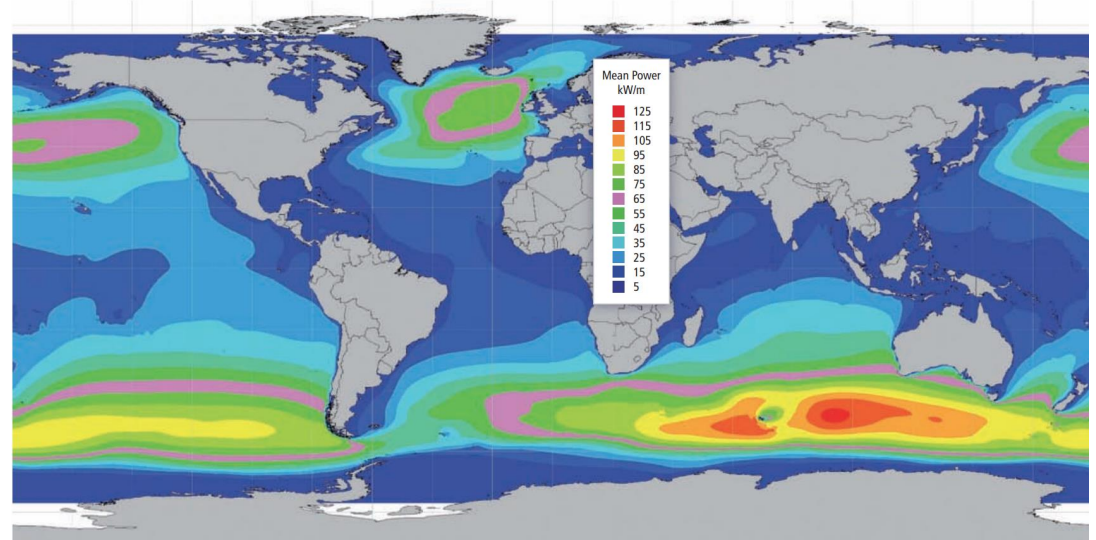
佐賀大学海洋エネルギー研究センター 永田教授の記事より

6.2 実海域実験海域の整備

波力発電装置の開発においては、提案した装置の発電性能、耐久性、信頼性を実際の海域で実験を行い、評価、確認する必要がある。海外には、英国の欧州海洋エネルギーセンター(EMEC)を始め、数多くの系統に連結された実証フィールドがある。我が国では、国が認定した波力発電の実証フィールドとして、岩手県釜石市沖と新潟県粟島浦村沖の2か所があるが、系統への連結も無く、実証フィールドとしては未整備である。今後の施設整備が期待される。

未来の展望

清水建設「深海未来都市」構想



国際連合ハビタット・マサチューセッツ工科大学(MIT)「水上都市」計画

ニュース

地球に似た7惑星見つかる 3つは海がある可能性

2017.02.24

米航空宇宙局(NASA)は23日、地球から約40光年離れた恒星の周囲を回る7つの太陽系外惑星を見つけたと発表した。いずれも地球に似ており、生命を育む海が存在する可能性がある惑星も3つあるという。NASAとベルギーの大学などの国際観測チームによる成果で論文は22日付の英科学誌ネイチャーに掲載された。

国際観測チームはNASAのスピッツァー宇宙望遠鏡や南米チリにある欧州南天天文台の望遠鏡などで、みずがめ座の方角にあり、地球から約40光年離れた赤色矮星(わいせい)とみられる恒星「TRAPPIST1」を観測。この恒星の手前を惑星が横切る際にわずかに暗くなる現象の分析から7つの惑星が回っていることを確認した。

