

2013年2月25日

海洋情報フォーラム

巨大産業に成長する欧州の洋上風力発電 それに続く潮流発電や海流発電

いま 何がおこっているのか？ 何故なのか？ 何が必要なのか？

三井物産戦略研究所

織田 洋一

欧州の洋上風力発電容量

All Wind : Global Cumulative Capacity 238GW (End of 2011)

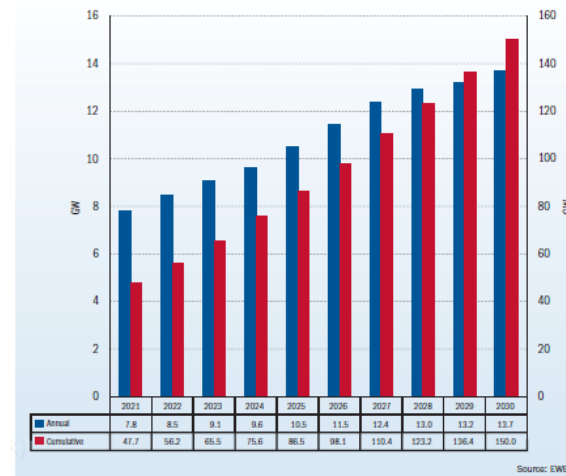
Offshore Wind in Europe is expanding sharply

2010 : 3GW → 2020 : 40GW → 2030 : 150GW

2011-2020 (累計容量:GW)



2021-2030 (累計容量(右軸)、新設容量(左軸))



欧州の洋上風力発電の累計容量は、2010年に3GW、2020年に40GWに達し148TWhの電力が洋上風力発電から供給されると予想されている。この電力量は2020年におけるEU全体の電力需要量の3.6~4.3%に相当し、2010年度の日本の総電力量の約13%に相当する。

2030年には累計容量が150GWに拡大し、563TWhの電力が供給されると予想されている。

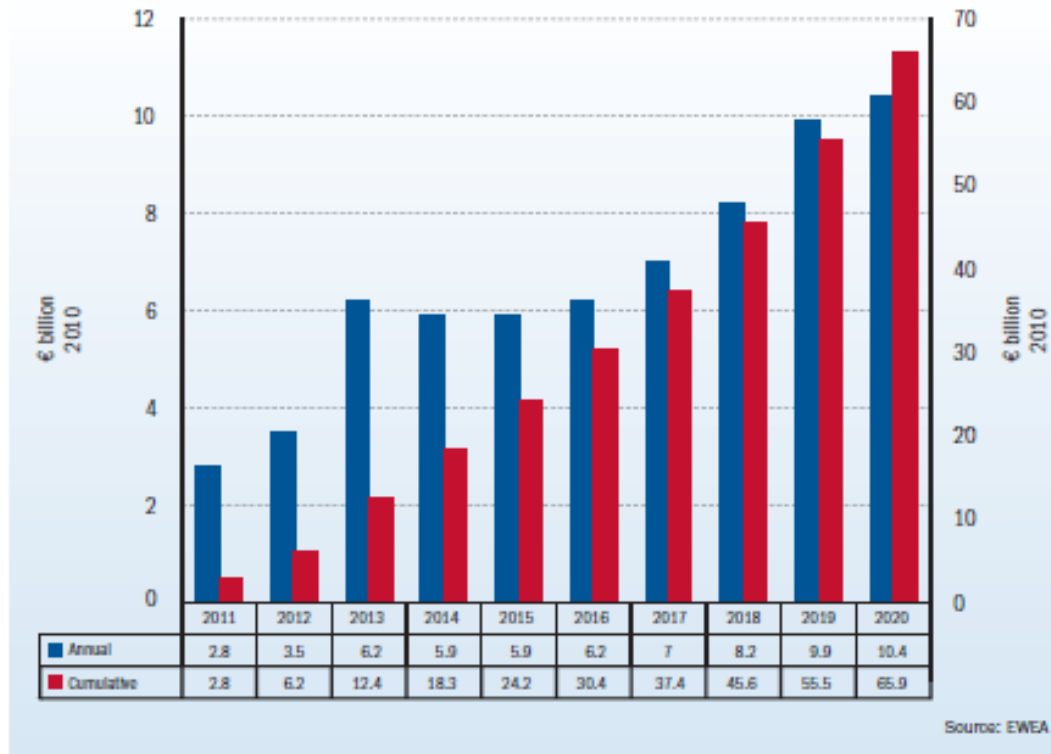
(単位) 1GW(ギガ・ワット)は100万kW(キロ・ワット)と同じ。発電容量の単位。

1GWは発電容量では、所謂、大型原発1基分に相当する(電力量は異なる)

1GW=1,000MW=1,000,000kW

☆ 電力量を表すTWh(テラ・ワット・アワー)は、GWh(ギガ・ワット・アワー)の1,000倍

欧州洋上風力発電の投資規模

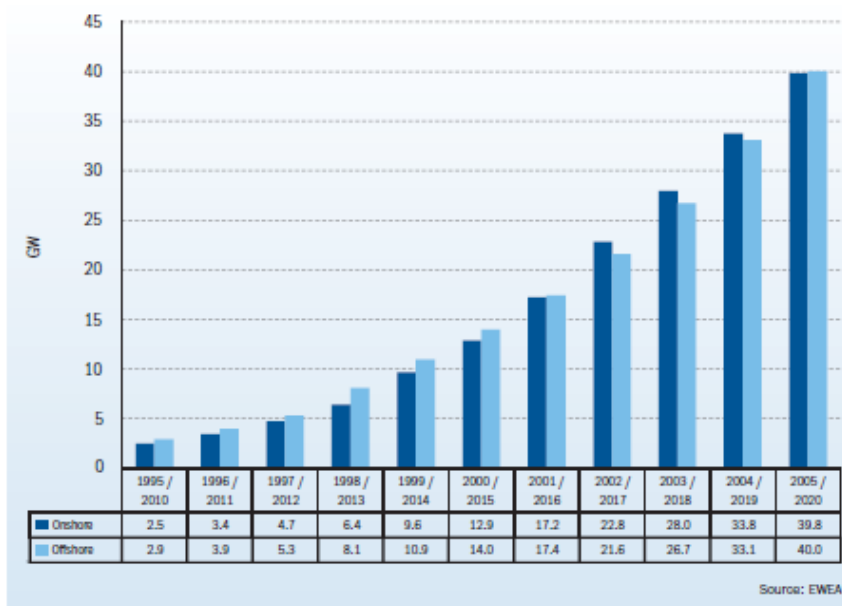


- 年間投資規模は2011年の28億ユーロ(3,500億円)から2020年には104億ユーロ(1兆3千億円)に拡大
- 2011年から2020年までの累計投資規模は670億ユーロ(8兆4千億円)

(換算レート:€=¥125)

欧州における陸上風力と洋上風力

陸上風力発電容量の伸び(1995-2005)と
洋上風力発電容量の拡大予想(2010-2020)



欧州における洋上風力発電容量の拡大は、15年前の陸上風力と略同じ

陸上 2.5GW→39.8GW(1,590%)
洋上 2.9GW→40.0GW(1,379%)

陸上風力と洋上風力による
発電電力量予測(2021-2030)



2030年に、洋上風力による発電量が、
陸上風力による発電量に迫る(49:51)

陸上 462→591TWh(128%)
洋上 177→562TWh(318%)

洋上風力発電 欧州各国の2012年新設状況

- ・欧州の2012年新設容量は1,165MW（合計293基） **2011年比33%増加**
新設投資額は€40億（約4,800億円）
- ・欧州全体の2012年末の累計容量は4,995MW（合計1,662基）
1位は英国(59%)、2位デンマーク(18%)、3位ベルギー(8%)、4位ドイツ(6%)
- ・欧州10か国に合計55の洋上風力ファームが存在

TOTAL CUMULATIVE OFFSHORE TURBINES, WIND FARMS AND MW INSTALLED BY END 2012

累計容量（2012年末）

Country	UK	DK	BE	DE	NL	SE	FI	IE	NO	PT	Total
No. of farms	20	12	2	6	4	6	2	1	1	1	55
No. of turbines	870	416	91	68	124	75	9	7	1	1	1,662
Capacity installed (MW)	2,947.9	921	379.5	280.3	246.8	163.7	26.3	25.2	2.3	2	4,995

Source: EWEA

- ・2013~2014年の2年間で合計14の洋上ファームが建設され、新たに3,300MWが追加される予定
- ・2014年末の累計容量は**8,300MW**に達する見通し



欧州の直近の洋上風力建設状況 Big10

Wind farm	Total (MW)	Country	Coordinates	Turbines & model	Completion
London Array (Phase I)	630	 United Kingdom	 51°38'38"N 01°33'13"E	175 × Siemens 3.6-120	2012
Gwynt y Môr	576	 United Kingdom	 53°28'00"N 3°36'00"W	160 × Siemens 3.6-107	2014
Trianel Borkum West II	400	 Germany		80 × Areva Multibrid M5000	2012 (Phase 1) 2015 (Phase 2)
BARD Offshore 1	400	 Germany	 54°22'N 5°59'E	80 × BARD 5.0	2014
Anholt	400	 Denmark	 56°36'00"N 11°12'36"E	111 × Siemens 3.6-120	2013
Nordsee Ost	295.2	 Germany		48 × REpower 6M	2013
Meerwind Süd & Ost	288	 Germany	 54°23'00"N 7°42'00"E	80 x Siemens 3.6MW	2013
DanTysk	288	 Germany		80 x Siemens 3.6MW	2013
Lincs	270	 United Kingdom	 53°11'00"N 00°29'00"E	75 x 3.6MW	2012
Thorntonbank Phase 3	110	 Belgium		18 x REpower 6M	2013

今後の英国の巨大洋上開発事業 (Round3)

発電容量: **32GW** (海域9ゾーン合計)

(所謂、大型原発32基分の容量)

投資規模: **1,200億ポンド(約17兆円)** (@¥142/£)

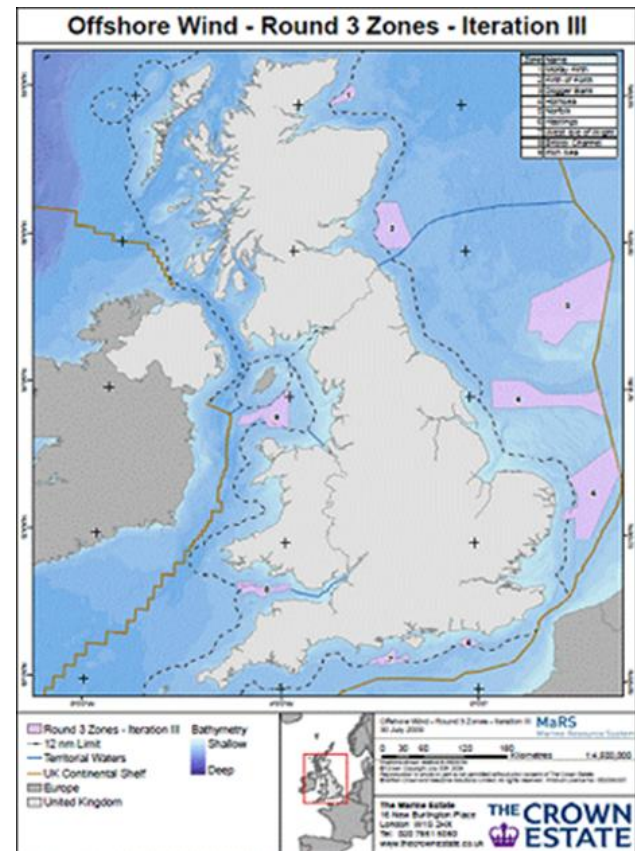
テベロッパーは、SSE(英) Centrica(英) RWE(独)

E.ON(独) Statoil(ノルウェー)等、欧州を代表する

電力、ガス、石油等の大手企業が主体

UK Offshore Wind Round3の落札企業と発電容量

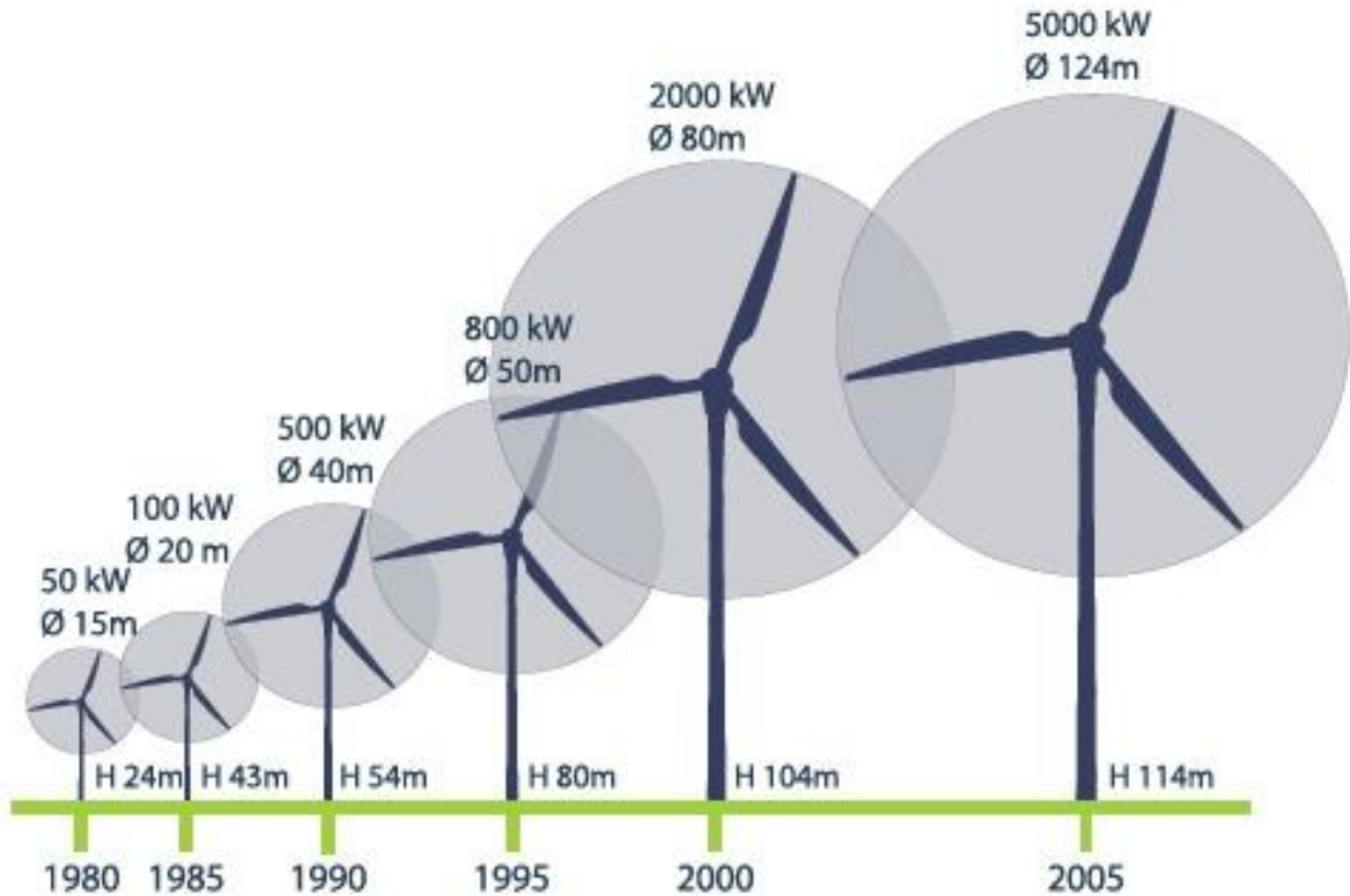
Round3 洋上開発ゾーン	落札企業	規模
1. <u>Moray Firth Zone</u>	Moray Offshore Renewables Ltd (75% owned by EDP Renovaveis) + SeaEnergy Renewables	1.3GW
2. <u>Firth of Forth Zone</u>	SeaFreen Wind Energy Ltd	3.5GW
3. <u>Dogger Bank zone</u>	Forewind Consortium(①SSE Renewables、②RWE Npower Renewables、③Statoil、④Statkraft)	9GW
4. <u>Hornsea zone</u>	Siemens Project Ventures、 Mainstream Renewable Power	4GW
5. <u>Norfolk Bank Zone</u>	Eats Anglia Offshore Wind Ltd、 Scottish Power Renewables、 Vattenfall Vindkraft	7.2GW
6. <u>Hastings Zone</u>	Eon UK	0.6GW
7. <u>West of Isle of Wight Zone</u>	Eneco New Energy	0.9GW
8. <u>Bristol Channel Zone</u>	RWE Npower、 RWE Innogy	1.9GW
9. <u>Irish Sea Zone</u>	Centrica Renewable Energy、 RES Group	4.2GW



UK Offshore Windの決定時期と容量

	規模	落札時期
Round1	1.5 GW	Apr 2001
Round2	7.3 GW	Dec 2003
Round3	32 GW	Jan 2010

風車の大型化(1) これまでの動向



風車大型化の動向(1980-2005)

風車の大型化(2) 現在の巨大ブレード開発

Siemens B75 ブレード

ブレード長: 75m (2012年4月現在 世界最長)

6MW洋上風車用のブレードのプロトタイプ

先端速度: 最高 290km/時

回転面積: 18,600m²

風圧荷重: 200トン/秒 (風速10m/秒時)



輸送

Denmark国立テストセンター (Osterild)での試験用に輸送
Siemensオールボー工場 (Aalborg,Denmark)から
Nakskov(Denmark)までの距離は
330kmだが、巨大で曲がれないため
迂回して575kmを輸送



巨大鋳型



エポキシ樹脂、ガラス繊維強化
バルサ等での製造風景



欠陥検査



上がA380
(2階建旅客機
最大定員853名)



6MW洋上風車とエアバスA380

風車の大型化(3) 最新事例

Siemens 6MW 洋上新型実証機

2013年1月 6MW新型風車の実証機が初めて英国洋上に設置された

Siemens : SWT-6.0 (6MW)

Direct Drive方式により故障率を低減
ナセル重量(Tower Head)を350トンに最軽量化
ローター直径 154m

設置サイト:

Gunfleet Sands3

Demonstration Project

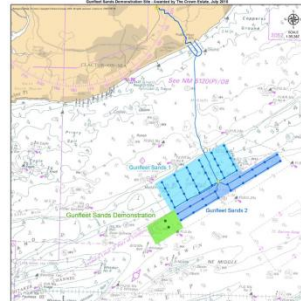
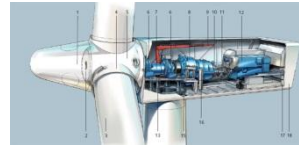
(英England 8.5km沖)

Developer: Dong Energy

(実証機の機種決定は2012年4月)

設置船: “SEA INSTALLR”

最大積載重量 5,000トン
主クレーン能力 800トン (ブーム長 94m)
サブクレーン 5基
(Operated by A2SEA A/S)



Siemensは2012~2013年に同型機50機を北海4か国に
設置する予定(英、デンマーク、独、蘭)



何故風車を大型化するのか？



売上は直径の2乗に比例する

- 直径が2倍なら発電量は4倍
- 電力の売上は4倍
- 電力優遇収入 (ROC (英国) やFIT) も4倍

新たな開発動向 FOW(1)

Floating Offshore Wind in Norway

Statoil Hydro “Hywind”



世界初のフルスケール浮体式洋上発電実証施設



設置水域に曳航されるHywind

Stavanger沖
Karmoyから南西約10km
水深200mの海域
(2009年4月設置)

建設設置費用:約4億クローネ
(約58億円)

実証試験の結果

・2011年の年間設備稼働率(Capacity Factor)

世界最高の50%を達成 (一般的に洋上は35~40%、陸上は平均25%)
(1Q:51%,2Q:41%,3Q:48%,4Q:63%) (年間発電量10GWh 2011)

最大風速:秒速30mまで発電

・モーションコントローラーシステム(自動姿勢制御)を開発

最大傾斜角:2° 以内を達成

Hywindの特徴

- ・Offshore Oil & Gas用の既存設置船を利用 (特殊設置船は不要)
- ・**最高の風況海域に設置可能** (水深100m以深の海域)
Offshore Oil & Gasセクターは洋上の風況、波況等を熟知
- ・浮体は大量生産によりコスト削減が容易

(今後) 3MW級複数基による実証を計画

風車大型化による発電コストの低減にも注目

タービン:Siemens 2.3MW

ローター径:82m

浮体(Spar Buoy):Technip (Finland)

海面下:100m 海上高:65m

直径(海面6m 海底8m)

カテナリー式 海底3点係留

海底送電線:Nexans (Norway)

送受電:Haugaland Kraft (Norway)

新たな開発動向 FOW(2)

Floating Offshore Wind in Portugal

Wind Float

By **Windplus**
(EDP, Respol,
Principle Power等の6社JV)

世界2番目のフルスケールFOW(浮体式洋上風力発電)実証施設
初の大西洋上セミサブ式FOW



特徴

- ・Heavy Lift Vesselを使用せず設置されたフルスケールFOW
- ・風向と荷重の変化に伴いバラスト水がセミサブの3本支柱間を移動して姿勢を制御
- ・4点非対称式カテリーナ係留(2点はタービン支持支柱)

特許は
Principle Powerが保有

初年発電量: 年間3GWh

設置水域: ポルトガル北部
Agucadoura 約5km沖
(設置: 2011年10月)
タービン: Vestus V80 2MW
係留: カテリーナ式4点係留

設置海域は(旧)Agucadoura波力発電ファーム

Wind Floatの構造

何故浮体式なのか？

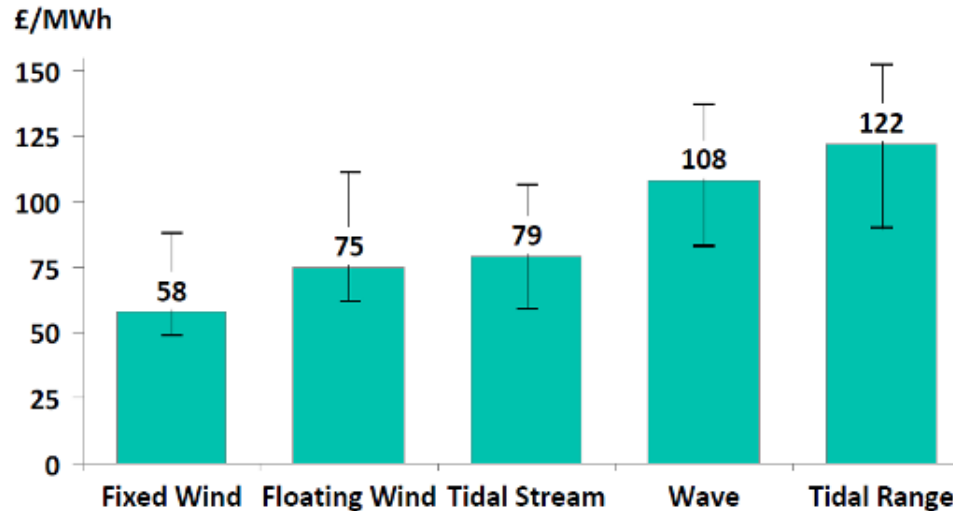
売上は風速の3乗に比例する

- 浮体式なら最高の風況海域に設置できる
水深や海底地形は関係ない
- 発電量は風速の3乗に比例する
風速が1.26倍なら売上は2倍
- HYWINDの年稼働率は50%（2011年）
稼働率が50%なら、40%の海域に比べて 売上げは1.25倍

2050年の欧州の発電コスト予測

(The offshore Valuation Group)

Estimated costs in 2050



着底式洋上風力発電 @¥ 8.4/kW (£58/MWh)

浮体式洋上風力発電 @¥10.9/kW (£75/MWh)

潮流発電 @¥11.5/kW (£79/MWh) (@¥145/£)

The Offshore Valuation Group: 構成メンバーは英国エネルギー気候変動省(DOE&CC)、Crown Estate等の政府組織とSSE(Scottish & Southern Energy)、RWE Innogy、E.ON、DONG Energy、Statoil等の電力・エネルギー企業やVestas等の風力装置メーカー、再生エネルギー関連企業等

将来の洋上風力発電の発電コストは石炭火力と同レベルまで下がるとの予測もある

風況観測データは重要です

- 海域による風況Dataが欲しい
- 出来ればリアルタイムDataを365日観測して欲しいです
- 海上50m～100mの風況Dataがあれば売上試算が可能です
- 新たな観測手法も開発されています

海底の地質データなども重要です

- 水深データに加えて、海底の地質データが欲しい
- 潮流や海流の観測Dataも必要です
やはり365日観測して欲しいです
- それがあれば、建設工法や建設時期を計画できます
- 建設費の試算も可能になります

新たな風況観測技術 —Lidar システムの開発—

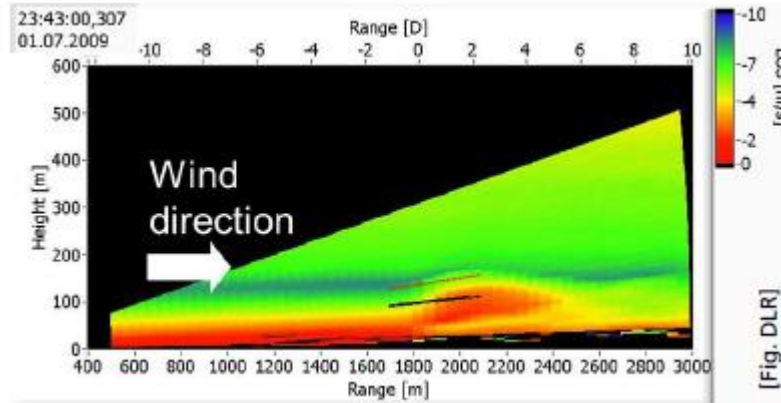
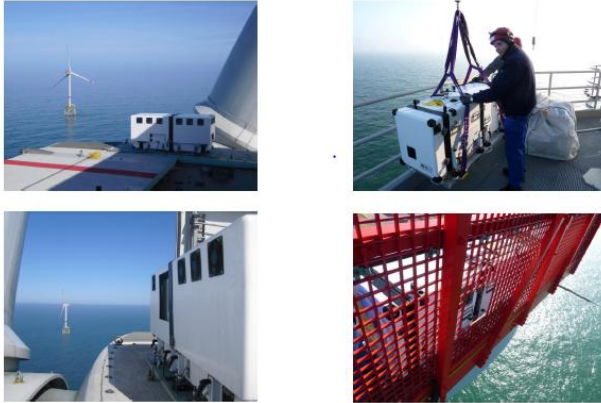
Lider-1 Project 2001-2010 for Onshore Wind

Lider-2 Project 2010-2013 for Offshore Wind

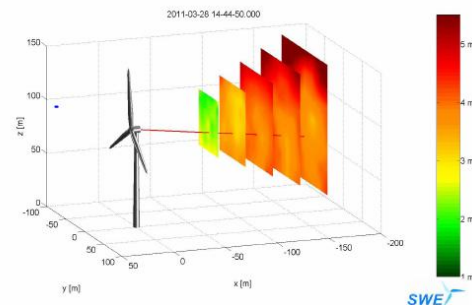
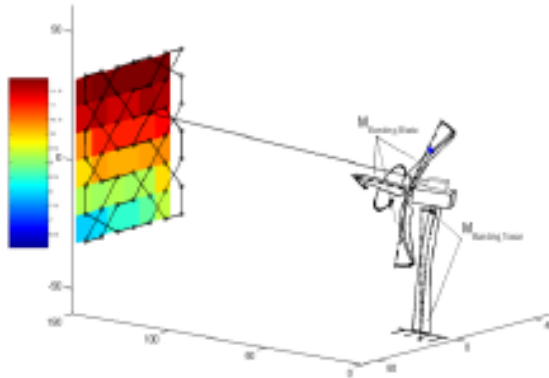
発電効率の最大化に寄与

Lidar (Laser Imaging Detection & Ranging) 技術を風況観測に応用
 ライダーはレーダーより遥かに短い波長の電磁波を用いるため、エアロゾルや雲の粒子の様な極めて小さな対象を測定でき、大気や気象学にも利用される。

REpower 5M & AREVA Wind M5000 – inflow and wake



Results of nacelle-based near wake measurements (AREVA M5000, AV7, alpha ventus)



前方の風況観測により風車 (Turbine) を最適制御
 荷重変動や出力特性へ応用

後方の風況観測により後方風車を最適位置に設置

Project Partner

日本の状況

Road Map for Onshore & Offshore Wind in Japan

Fiscal Year	Onshore	Offshore		Total
		Ordinary	Floating	
2010	2.42	0.03	0.00	2.45
2020	10.80	0.40	0.10	11.30
2030	21.20	3.30	4.30	28.80
2040	25.00	7.20	14.00	46.20
2050	250.00	7.50	17.50	275.00

(GW) (Cumulative Capacity)

(Source: JWPA (Japan Wind Power Association) 22 Feb 2012)

風車	出力 2.4MW/基
風車数	50基
総出力	120MW
海底ケーブル	66 k V
年間経常費比率	9%
総建設費	488億円
年間経常費 (A)	43.9億円
設備利用率	32%
年間発電量 (B)	336GW h
発電原価 (A)/(B)	¥13/ k Wh
建設単価	41万円/ k W

日本の洋上風力発電設備試算例 (税抜)
 (資料)NEDO「洋上風力発電等技術研究開発」
 (2008年FS評価)

洋上風力発電の国別容量 (2009-2010)

Position 2010	Country	Total Offshore Capacity 2010 [MW]	Added Offshore Capacity 2010 [MW]	Rate of Growth 2010 [%]	Total Offshore Capacity 2009 [MW]	Total Offshore Capacity 2008 [MW]
1	United Kingdom	1341	653	94,9	688	574
2	Denmark	854	190,4	28,7	663,6	426,6
3	Netherlands	249	2	0,8	247	247
4	Belgium	195	165	550,0	30	30
5	Sweden	164	0	0,0	164	134
6	China	123	100	434,8	23	2
7	Germany	108,3	36,3	50,4	72	12
8	Finland	30	0	0,0	30	30
9	Ireland	25	0	0,0	25	25
10	Japan	16	15	1500,0	1	1
11	Spain	10	0	0,0	10	10
12	Norway	2,3	0	0,0	2,3	0
TOTAL		3117,6	1161,7	59,4	1955,9	1491,6

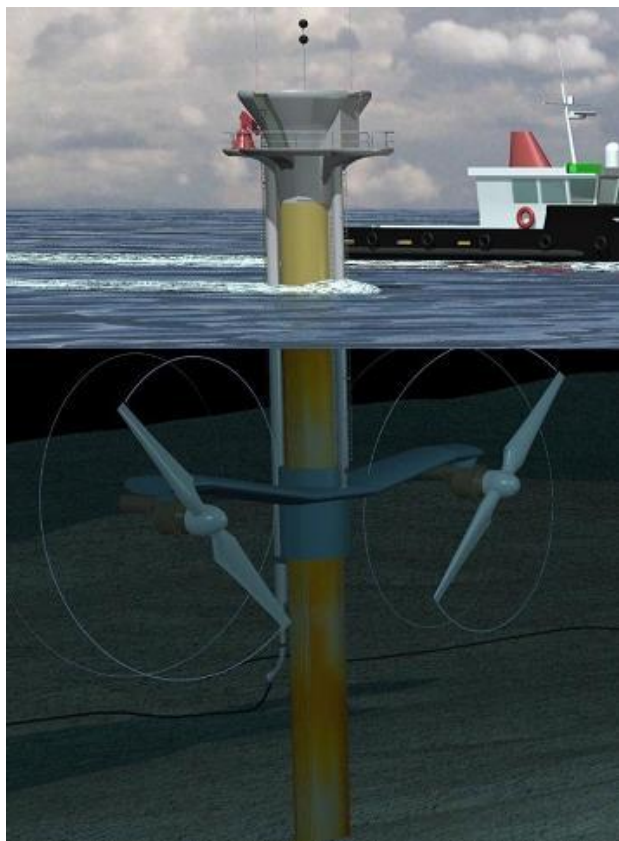
- ・最大の洋上風力発電国は英国 世界12か国中10か国は欧州
中国は6位(123MW), 日本は10位(16MW) (2010年末 累計容量)
- ・(2010年)中国は上海沖に102MW新設
日本が鹿島に新設した14MWは2011年3月の大地震と津波に耐えた

洋上風力発電 まとめ

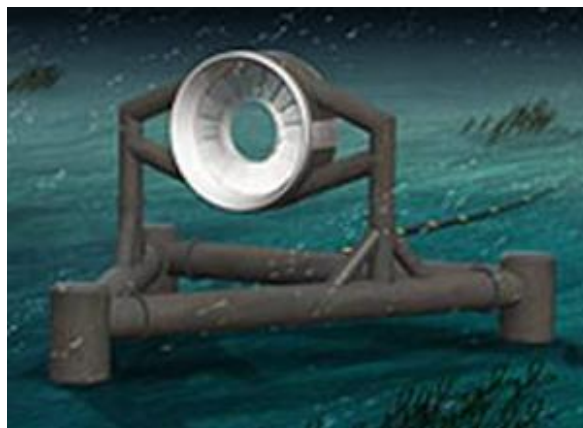
- 欧州の洋上風力発電は巨大産業に拡大することは確実
- 洋上風力発電は、最も競争力に優れた再生可能エネルギー発電に育つ可能性が高い
- **風況の把握、各国の政策は重要**
- 当面は着底式が主体
- 今後は浮体式やOffshore Oil & Gasセクターの動向にも注目する必要がある
- 北米、アジア、中南米でも普及する可能性がある
- **海洋大国日本でも期待されている**

海洋における発電

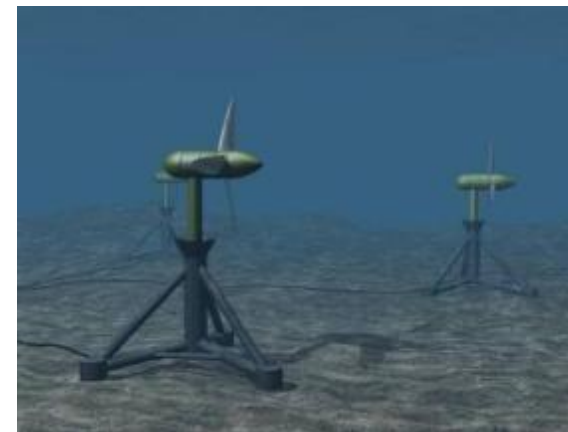
Tidal 潮流発電



Siemens MCT “SeaGen”



OpenHydro
“Open-Centre Turbine”



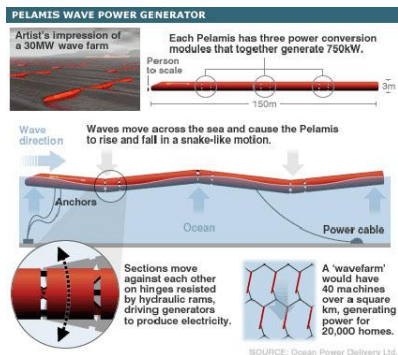
Swan Turbine
“Swan Turbine”



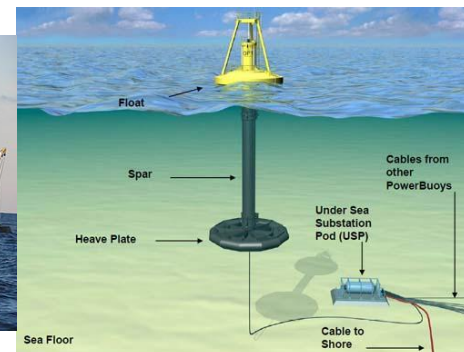
Kawasaki Heavy Industries

海洋における発電

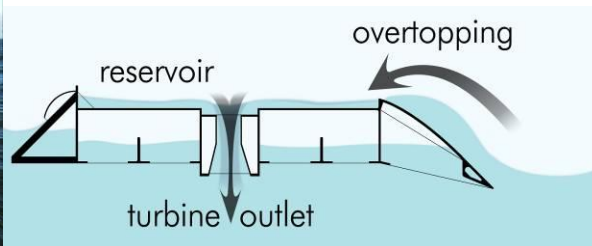
Wave 波力発電



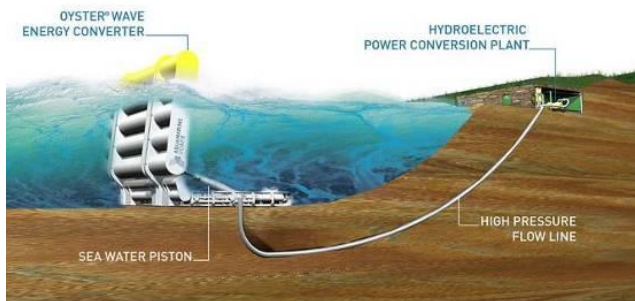
Pelamis Wave Power社
“P2”



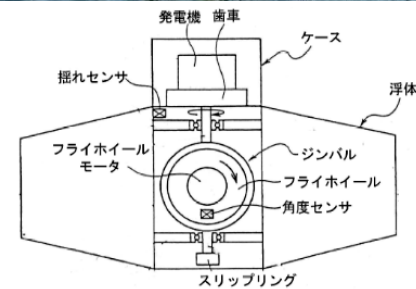
Ocean Power Technology社
“The PowerBuoy”



Wave Dragon社
“Overtopping Generator”

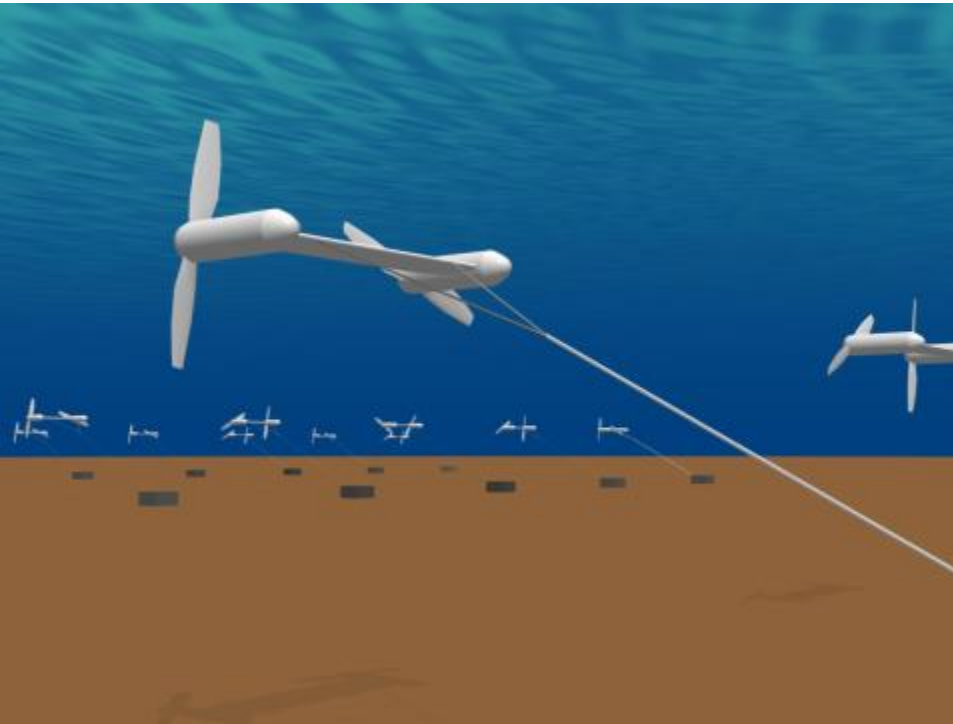


Aquamarine Power社
“Oyster”



ジャイロダイナミクス社
“ジャイロ式波力発電システム”
(神戸大学 神吉教授)

海洋における発電 海流発電 Ocean Current



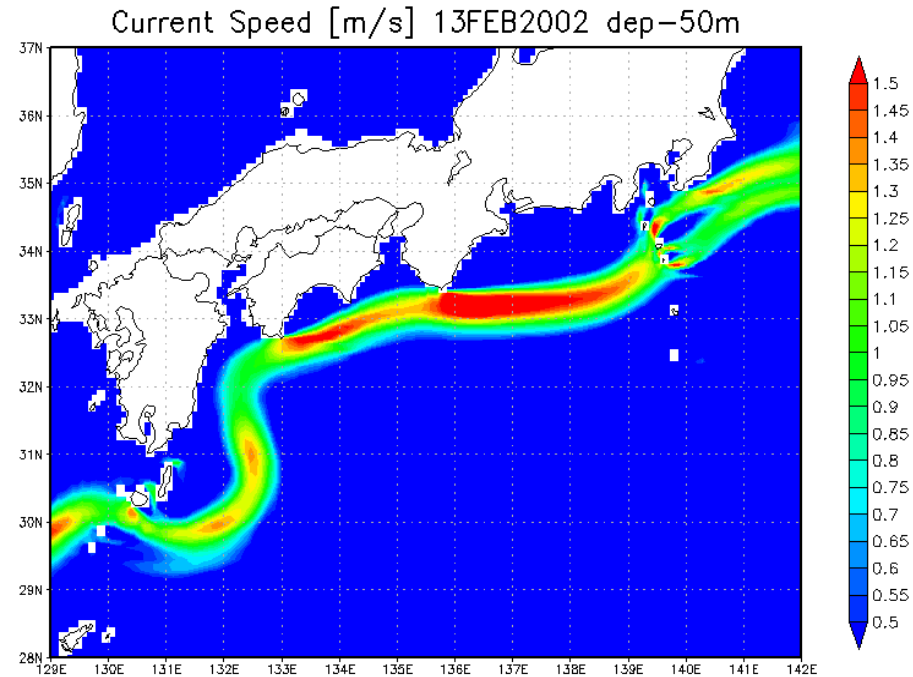
海流発電装置 (イメージ図)

(東大、東芝、IHI,三井物産戦略研究所)

NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)による要素技術開発委託事業。期間は平成23年度から5年度を予定。

海中浮体式海流発電装置の特徴

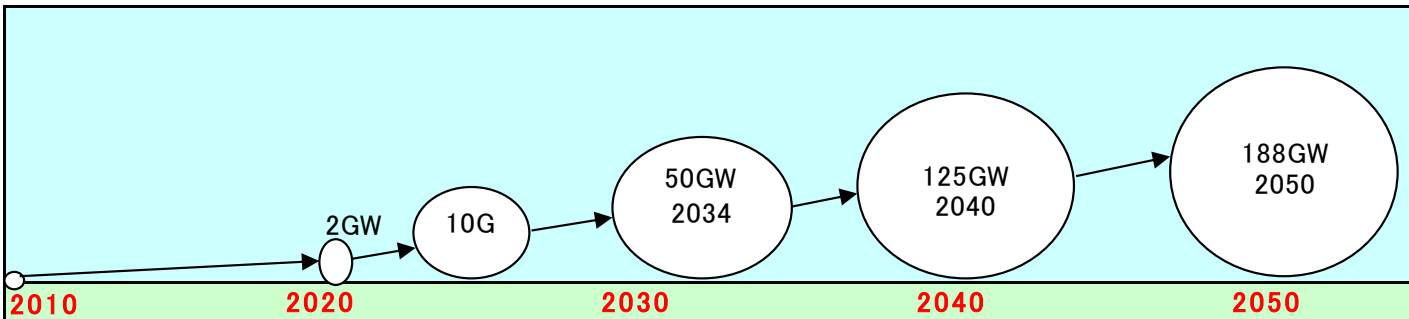
日夜、季節による変動が少ない安定エネルギーである海流を利用できれば安定的な発電が可能。
海底係留式であるため敷設費用が低減でき、水深の深い日本の海底にも設置が可能。
海中で発電を行うため、台風や津波などの影響を受けにくい。
海上に浮上させることができるため、設備の保守、修理、交換が容易。



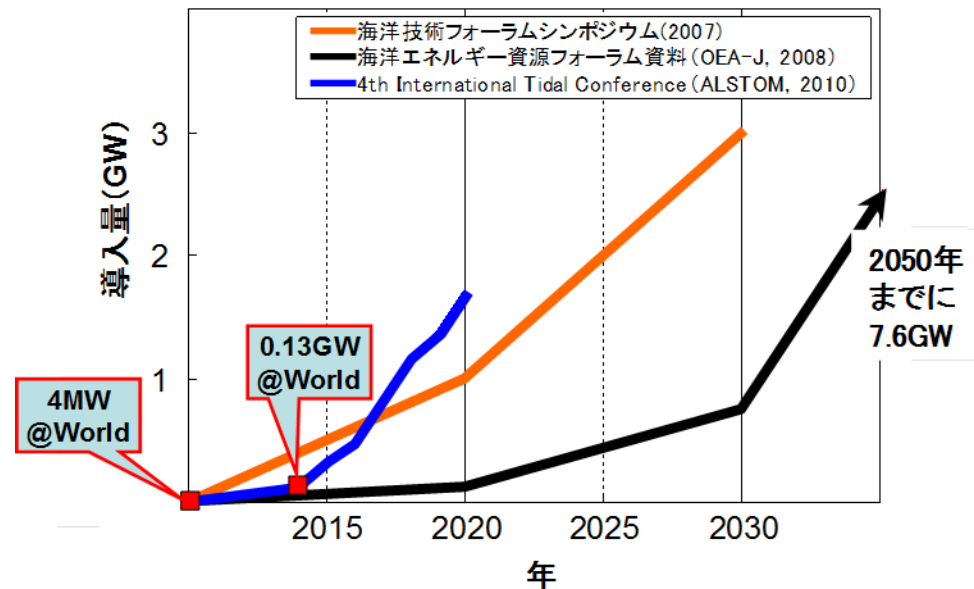
くろしお

黒潮は日本の沿岸付近を流れる代表的な海流のひとつ。海流は巨大な安定エネルギーであり、安定的な再生可能エネルギー発電としての利用が期待されている。

海洋エネルギー発電の市場規模予測例



Wave and Tidal in Europe
 estimation of market size
 (European Ocean Energy Association)

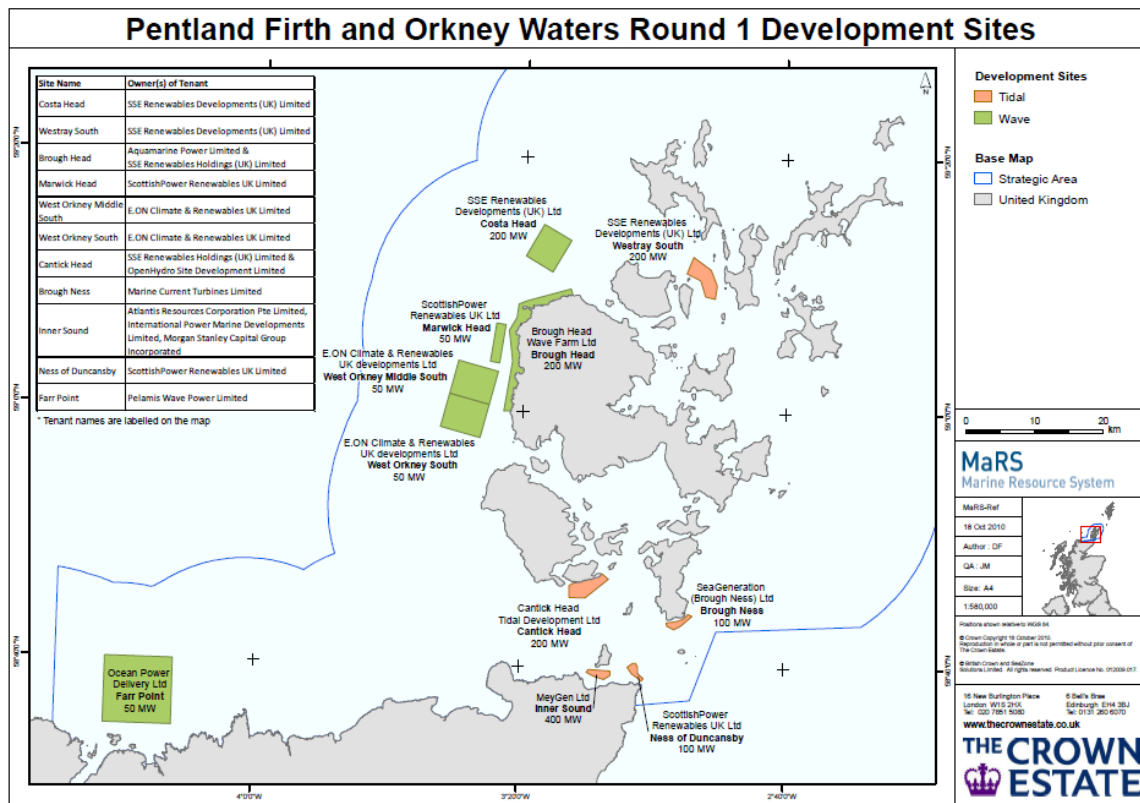


世界の規模予測(青) と 日本の目標例 (黒、赤)

英国における 潮流・波力発電所 建設計画

合計160万kW
(潮流1GW, 波力0.6GWの合計)

U.K. Wave & Tidal Round 1



Tidal		
Developer	Capacity	Name of Site
SSE Renewables Developments (UK) Ltd	200 MW	Westray South site
SSE Renewables Holdings (UK) Ltd & OpenHydro Site Development Ltd	200 MW	Cantick Head site
Marine Current Turbines Ltd	100 MW	Brough Ness site
Scottish Power Renewables UK Ltd	100 MW	Ness of Duncansby site
MayGen Ltd (International Power)	400kw	Inner Sound site
S.Total	1,000 MW	

Wave		
Developer	Capacity	Name of Site
SSE Renewables Developments Ltd	200 MW	Costa Head site
Aquamarine Power Ltd & SSE Renewables Developments Ltd	200 MW	Brough Head site
Scottish Power Renewables UK Ltd	50 MW	Marwick Head site
E.ON	50 MW	West Orkney South site
E.ON	50 MW	West Orkney Middle South site
Pelamis Wave Power Ltd	50 MW	Armadale site.
S.Total	600 MW	

潮流発電、海流発電の特徴（1）

売上は直径の2乗に比例する

- 直径が2倍なら発電量は4倍
 - 電力の売上は4倍
 - 電力優遇収入（ROC（英国）やFIT）も4倍
-
- ・潮流は欧州でも日本でも（他国でも）、沿岸近くを流れている
 - ・海流は、欧州では沿岸から遠く、日本や米国東岸では沿岸近くを流れている

潮流発電、海流発電の特徴 (2)

売上は流速の3乗に比例する

- 潮流は干満と同じで予想可能な安定エネルギー
主なエネルギー源は、定期的に変化する月の引力
流速は海底地形と密接な関係 場所によってはとても速い
稼働率は季節に関係なく年間を通じ安定しています
- 海流はゆったりした流れ
常に流れているので常に発電でき、設備稼働率は高い
でも場所によっては安定していません 蛇行も困ります
- 潮流も海流も発電量は流速の3乗に比例する
平均流速が1.26倍なら売上は2倍

流況観測データは重要です

- 海域による流況Dataが欲しい
- 出来ればリアルタイムDataを365日観測して欲しいです
- 海面から水深約100mまでの流況Data(鉛直Profile)があれば売上試算が可能です
- ADCPなどの観測手法も開発されています

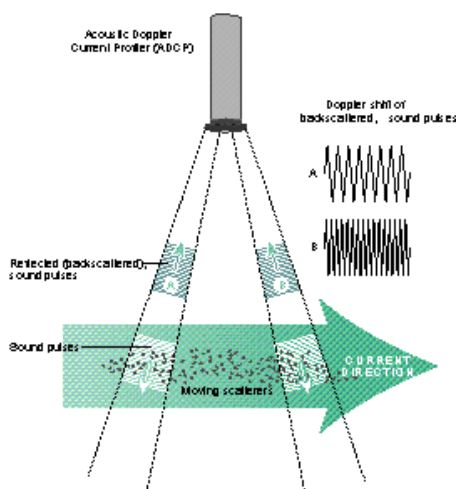
海底の地質データも重要です

- ・水深データに加えて、海底の地質データが欲しいです
- ・海底付近の潮流や海流の観測Dataも必要です
やはり365日観測して欲しいです
- ・それがあれば、建設工法や建設時期を計画できます
- ・建設費の試算も可能になります

海流、潮流の観測手法 ADCP

ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

ドップラー効果を利用して音波を利用して海流や潮流の測定が可能(多層流向流速測定)

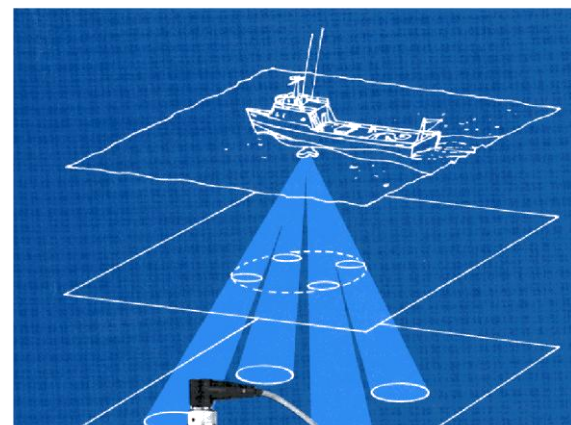


測定イメージ



ブイからの測定が可能

Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)



船からの測定も可能

- ・一般には海流や潮流の流速は海面ほど早く、海底に近づくほど遅い
- ・発電量は流速の3乗に比例するため、鉛直方向の流速測定が重要
- ・流況測定は発電装置を海底から固定する為の保持力を設計するためにも重要
- ・発電装置を固定する為の海底の土木工事にも必要

海洋エネルギー発電（潮流、海流、波力発電） まとめ

- 欧州の潮流発電、波力発電は既に商業開発段階
- 潮流発電は、予測可能エネルギーとして注目度が高い
- 波力発電はポテンシャルが大きい
- 海流は、日本や米国東岸では沿岸近くを流れており期待が高い

- **潮流観測、海流観測、波力観測は重要**
- **各国の政策も重要**

- **海洋大国日本でも期待されている**
- **北米、アジア、中南米でも普及する可能性がある**
- **今後はOffshore Oil & Gasセクターの動向にも注目**

EMECでテスト中のTidal Devices (1)



Open Hydro “Open-Centre Turbine”

EMEC: 欧州海洋エネルギーセンター
(Europe Marine Energy Centre)



Hammerfest “HS-1000”



Designed, developed and deployed in Orkney



Scotrenuable “SR250”

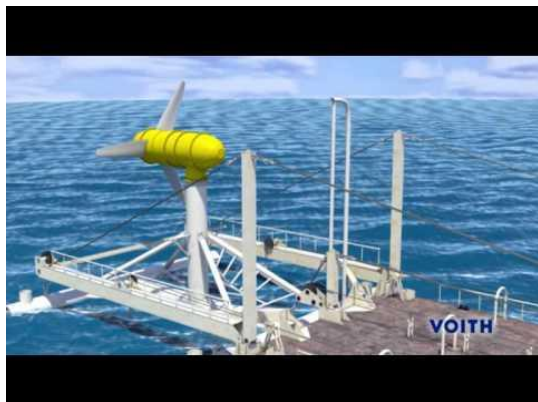


TGL Alstom (ex. TGL Rollos-Royce)

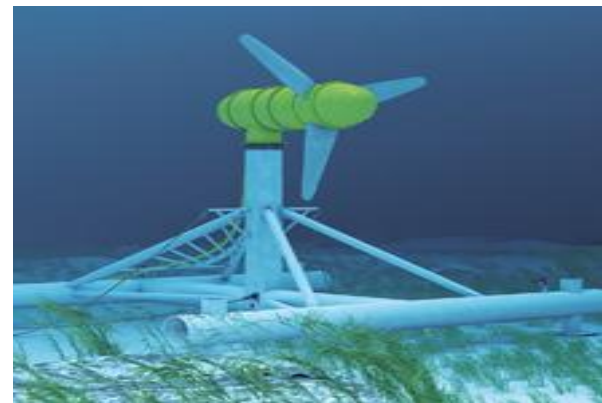
EMECでテスト中のTidal Devices (2)



Atlantis AR-1000



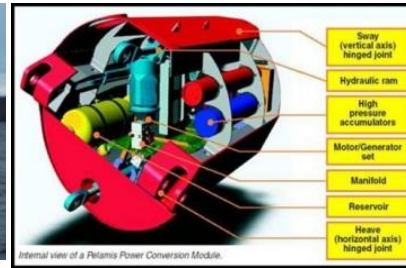
Voith



EMECでテスト中のWave Devices



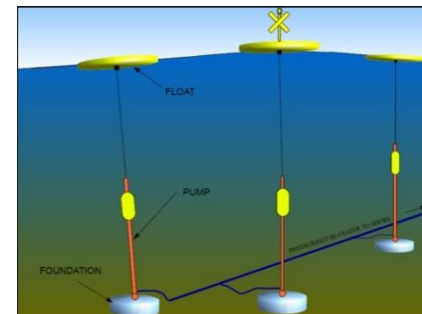
Aquamarine Power “Oyster” Near Shore Wave Devices



Pelamis Wave Power “P2”



Wello Oy “F1”



Seatricity (予定)

ご清聴ありがとうございました。



三井物産戦略研究所

織田 洋一