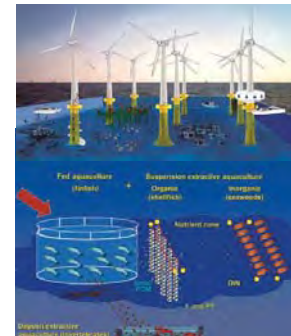


## 欧州の洋上風力発電と日本の展望

(さらに 沖合養殖と洋上風力との共生の可能性)



長崎大学

海洋未来イノベーション機構

織田 洋一

[yo.oda@nagasaki-u.ac.jp](mailto:yo.oda@nagasaki-u.ac.jp)

## 欧州（EU）における電源別発電能力の増減

2000年から2017年までの18年間の増減（NET）

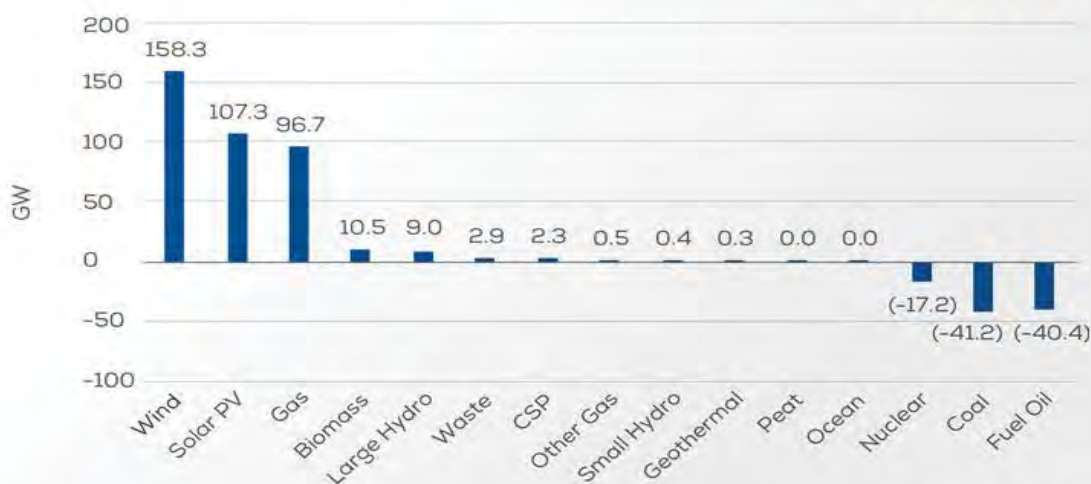
### 増加組御三家

風力 +158GW  
ソーラー +107GW  
天然ガス + 96GW

### 減少組御三家

石炭 ▲41GW  
石油 ▲40GW  
原子力 ▲17GW

Net electricity installations in the EU from 2000 to 2017

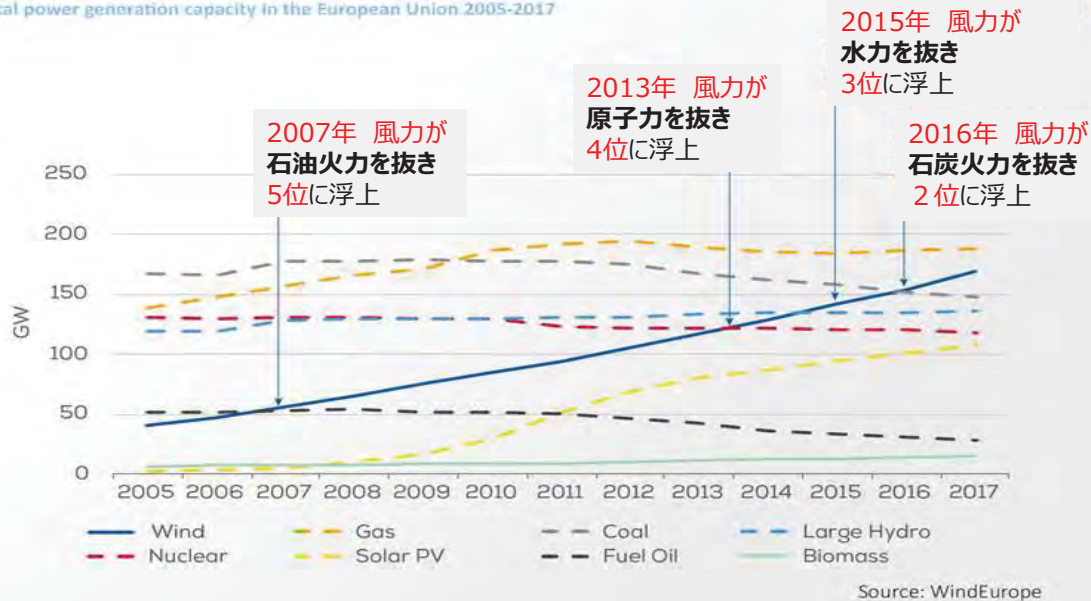


Source: WindEurope

## 欧州（EU）における電源別発電能力の推移 (2005-2017)

欧州では風力発電が9年間で4電源をゴボウ抜きし、2016年に2位に躍進。  
天然ガス（1位）の背中を捉え、風力発電がトップを狙えるポジションに浮上。

FIGURE 1  
Total power generation capacity in the European Union 2005-2017



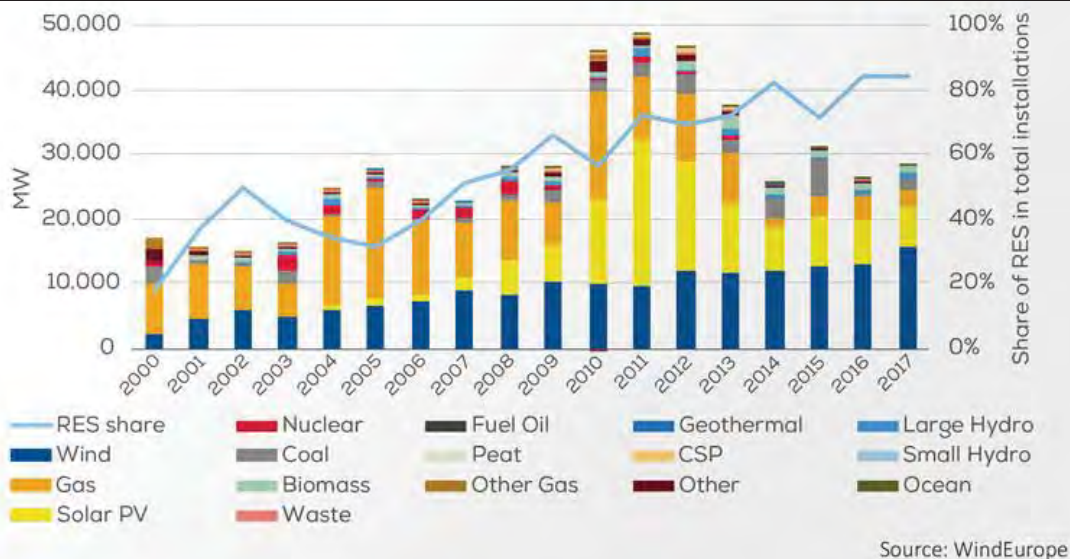
2017年はEU28カ国の電力総需要の11.6%を風力発電が供給した。

デンマーク 44.4%、ポルトガル 24.2%、アイルランド 24.0%、ドイツ 20.8%、スペイン 18.6%、英国 13.5%

3

## 欧州（EU）における電源別新設量と再エネ比率の推移 (2000~2017)

欧州（EU）では年間新設電源のうち再生可能エネルギー比率が2007年に50%を突破、  
2016年以降は80%以上に増加。  
2000年以降、**風力発電**の年間新設量が着実に増加を続けている。年間新設量では、  
2012年以降 **太陽光**、**天然ガス**がピークアウトし、2017年は半数以上が**風力発電**。

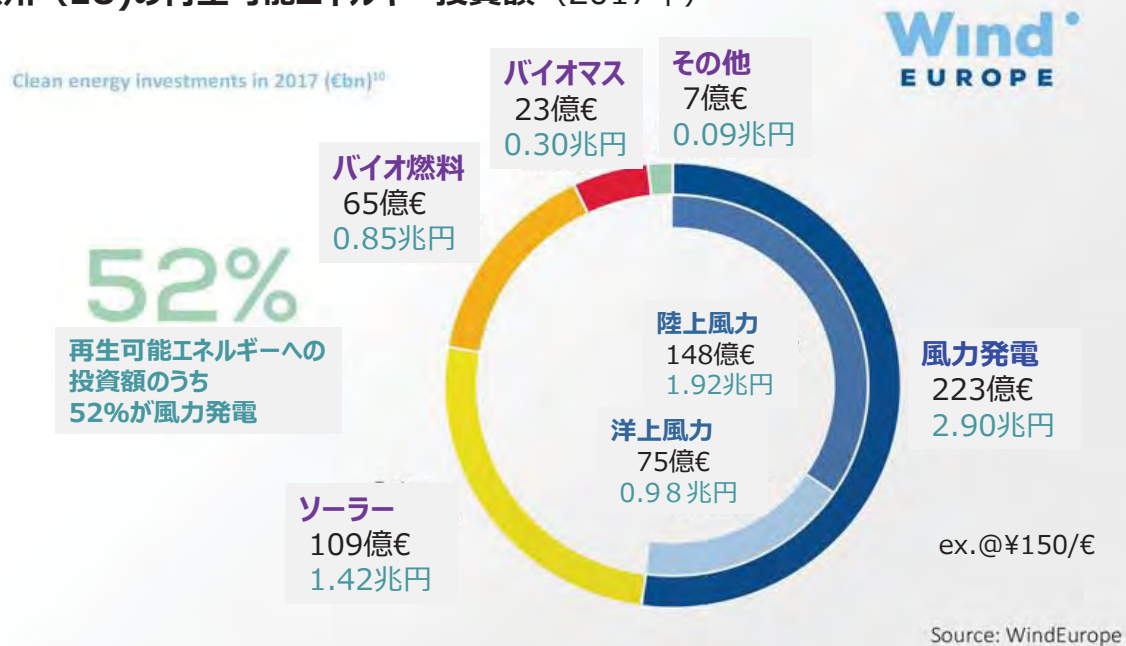


当面の注目点は、Nordstream2（バルト海経由独露天然ガスパイプライン：55bilNM3/Y）の新設動向。

4

## 欧州（EU）における再生可能エネルギー投資額の電源別内訳 (2017年、単位：10億€)

### 欧州（EU）の再生可能エネルギー投資額（2017年）

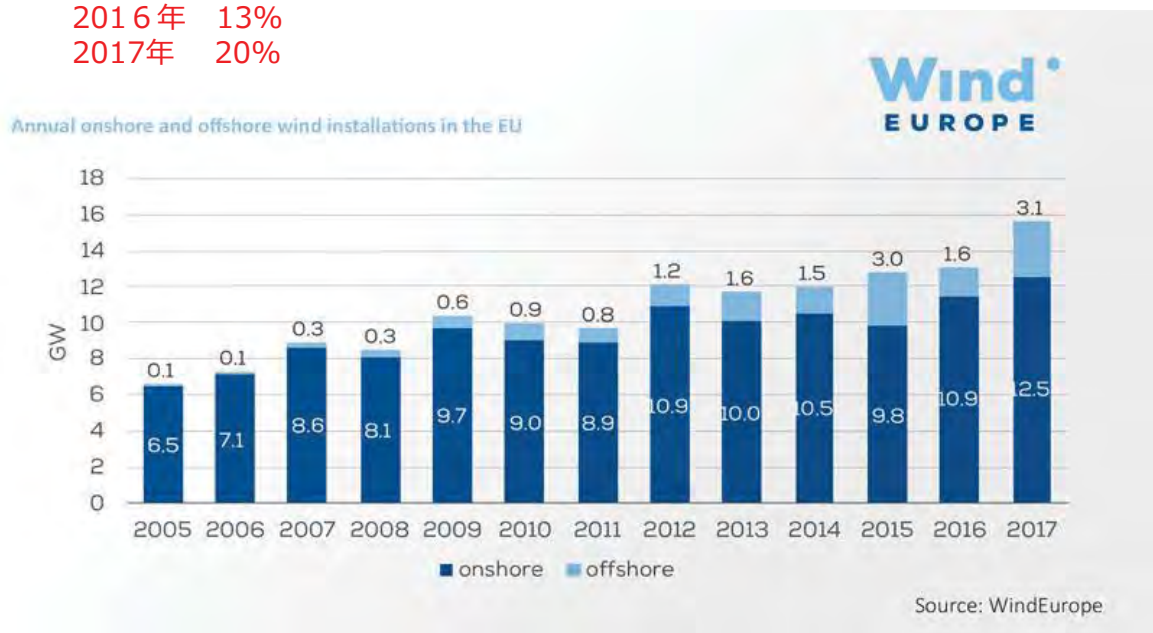


5

## 欧州（EU）における風力発電の年間新設能力の推移 (陸上および洋上) (2005-2017)

年間新設能力では、  
洋上風力は風力全体の

2015年 23%  
2016年 13%  
2017年 20%



6



## 欧州（EU） 風力発電（陸上・洋上）の新設投資額の推移 (2010～2017)

**2017年は11.5GWの風力プロジェクトが最終投資決定**

**総投資額は223億ユーロ（2.9兆円）**

陸上風力 148億ユーロ（1兆9200億円）

洋上風力 75億ユーロ（9800億円）

**2016年は275億ユーロ（3.6兆円）**

陸上風力 93億ユーロ（1兆2100億円）

洋上風力 182億ユーロ（2兆3700億円）

EUROPE (ex. @¥150/€)



年間投資額では、  
洋上風力は風力全体の

2015年 50%

2016年 67%

2017年 34%

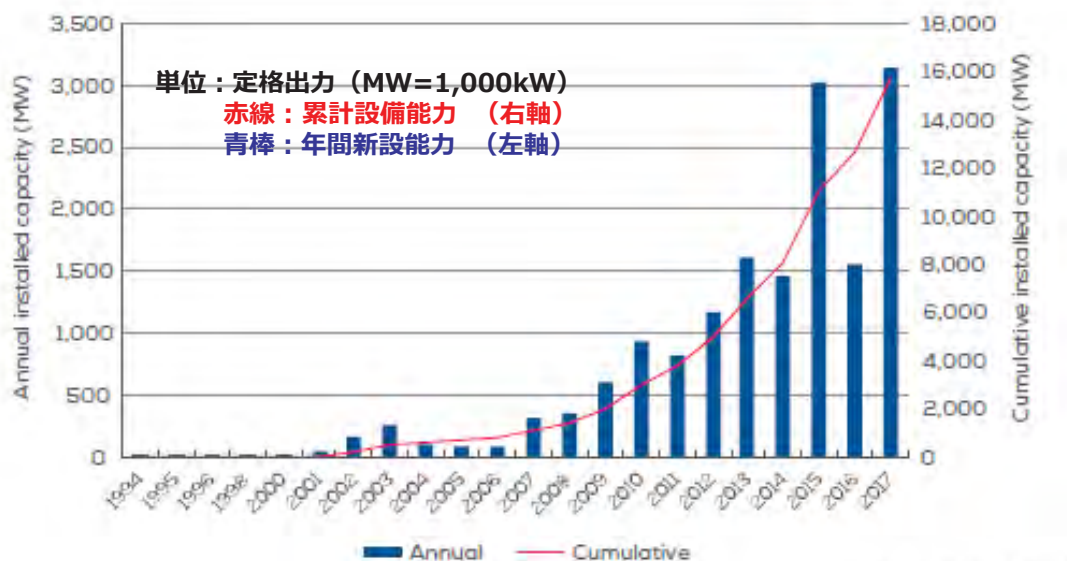
7

## 欧州の洋上風力発電能力の拡大実績

Offshore Wind in Europe (1991-2016)

**2017年末で累計出力1,578万キロワットに拡大。（定格出力で大型原発15基以上に相当）**

**過去10年間で約14倍に拡大。 1997:0.03GW → 2007 : 1.1GW → 2017 : 15.78GW**



（グラフ） 欧州における洋上風力発電の発電能力推移（1997-2017）

(Source : Wind Europe offshore wind statistics 2017)

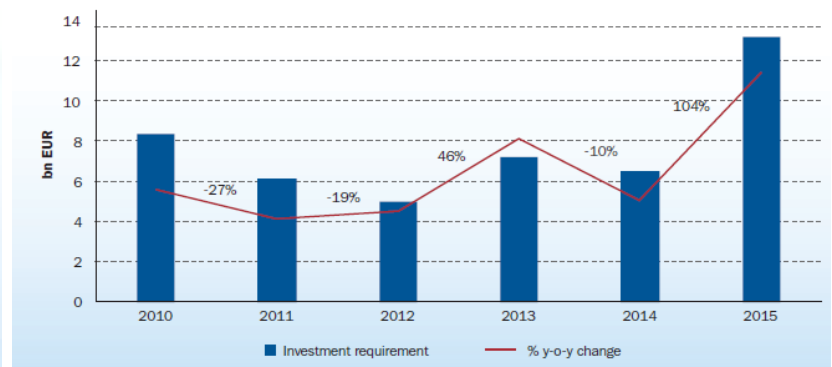
8

# 欧州の洋上風力発電 年間市場規模

Market Size of Offshore Wind in Europe

欧州における2015年の年間投資額は約2.3兆円 (@ ¥130/€)

Annual Investment in 2015 18 billion Euro



欧州における洋上風車建設の年間直接投資額推移 (2010-2015)  
Offshore Wind investment (excluding Transmission & Re-finance)

2015年の欧州洋上風力発電市場投資額

洋上風力発電設備 1兆7200億円  
送電設備 2300億円  
リファイナンス 3900億円

(Source : Wind Europe (ex EWEA) )

9

## 欧州のこれからの洋上風力発電能力の拡大予想

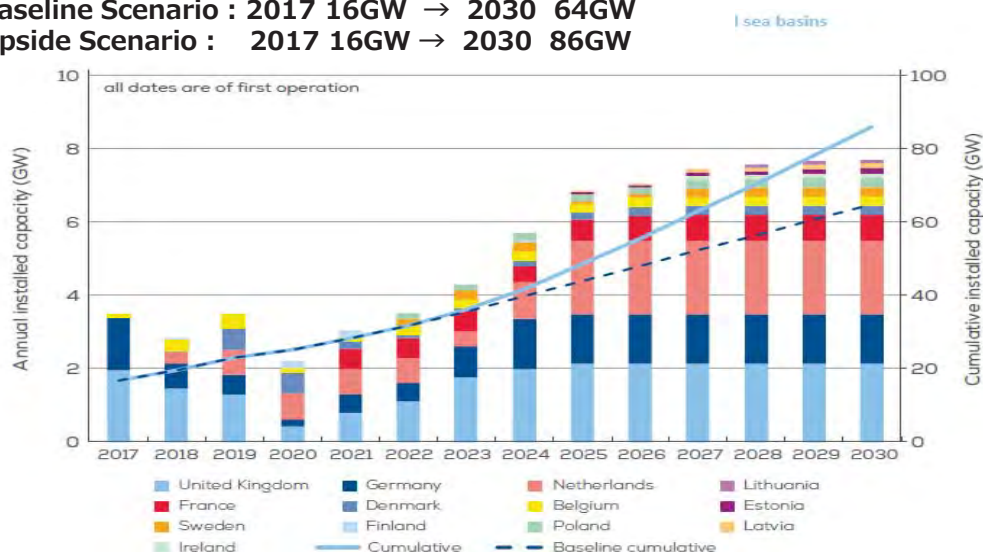
Offshore Wind in Europe (2017-2030)

2030年に4倍～5倍の能力 (2017年比) に拡大する予想 (年間投資額は10兆円規模)

Expansion of Offshore Wind Capacity

Baseline Scenario : 2017 16GW → 2030 64GW

Upside Scenario : 2017 16GW → 2030 86GW



(Source : BNG Accpsoate for Wind Europe (2017)

欧州の洋上風力発電能力の拡大予想 (2017年～2030年)

累計設備容量 : Base Line Scenarioは点線 (64GW in 2030) Upside Scenarioは実線 (86GW in 2030)  
年間新設容量 (国別) : 図の棒線はUpside Scenario (Base Line Scenarioの前提は2024年以降新設4GW/年)

10

# 英国洋上風力 ラウンド3 事業計画

## UK Offshore Wind Round3

Capacity : **32GW** (Total of 9 Ocean Zones)

(大型原発 32基分の出力)

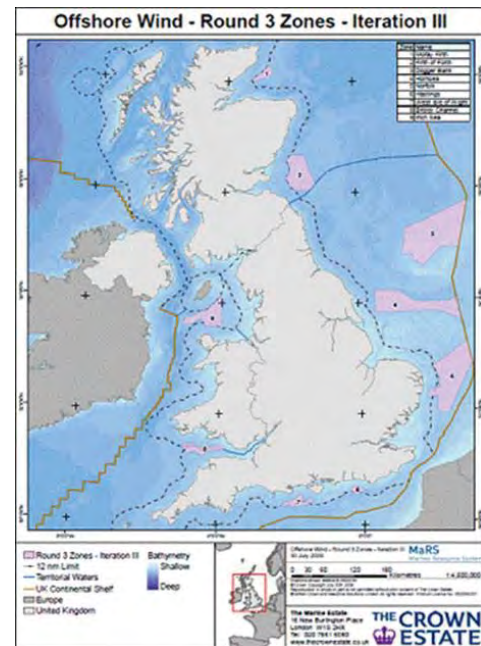
Investment : **GBP 120 bil** (約16兆円) (@¥135/£)

Developers: **SSE, Centrica, RWE, E.ON, Statoil** etc.

By Main Energy Players from Power, Oil & Gas

### UK Offshore Wind 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( ① SSE Renewables 、 ② RWE Npower Renewables、 ③ Statoil、 ④ Statkraft) | 9GW   |
| 4. <u>Hornsea zone</u>               | Siemens Project Ventures 、 Mainstream Renewable <b>Power</b>                             | 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 Rounds

|        | Power  | Leasing Round |
|--------|--------|---------------|
| Round1 | 1.5 GW | Apr 2001      |
| Round2 | 7.3 GW | Dec 2003      |
| Round3 | 32 GW  | Jan 2010      |

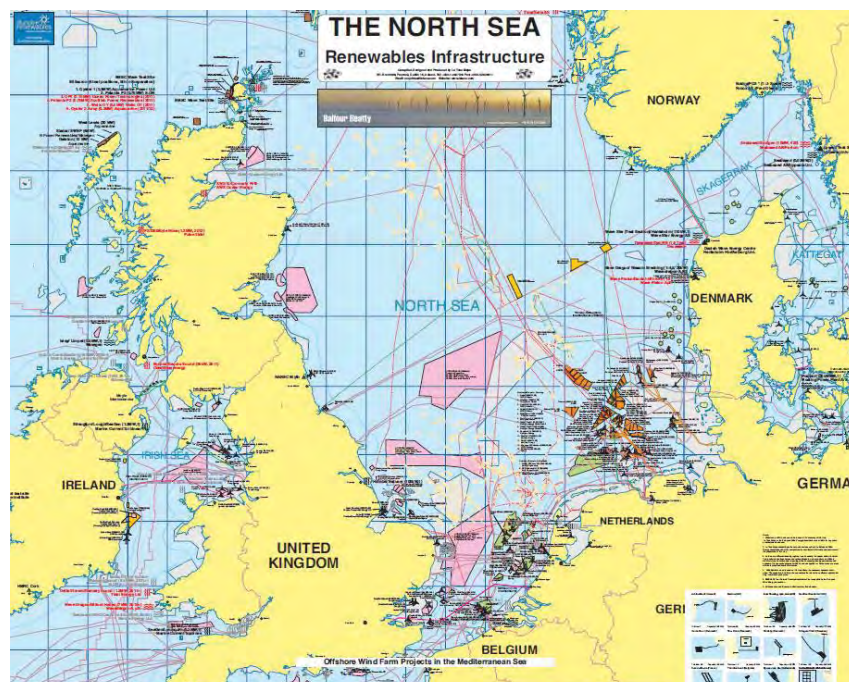
Several years are necessary from Leasing Round to Construction

11

## 欧州の洋上風力発電 海域ゾーニング

### Ocean Zoning for Offshore Wind in Europe

政府が海域（EEZ）を洋上風力発電用に大規模にゾーニングすることにより市場が拡大し、中長期的なインフラ整備やサプライチェーンの拡充が実現し、競争市場が機能している。

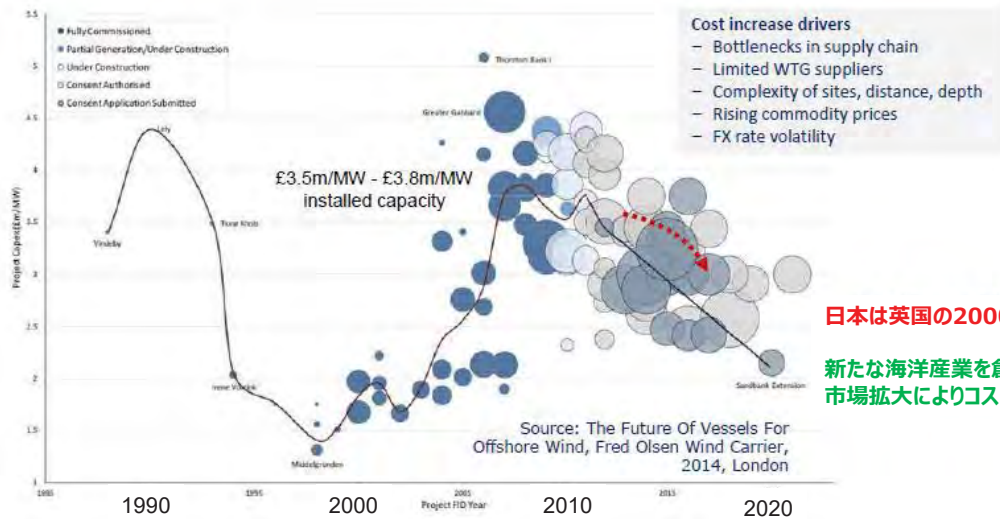


12



## 欧州における出力あたりプロジェクトコストの推移 (1990-2020) Cost Trend on European Offshore Wind

- ・ 2000年に英国がラウンド1事業の海面入札を開始。しかし小規模市場であった2008年頃までコストが上昇を続けた。
- ・ 年間新設規模が0.5～1 GW (500～1000万キロワット)に拡大した2008年～2010年頃以降にコストが低減に転じた。



欧州の洋上風力発電の出力あたりCAPEXの推移 (1990-2020)

(Source : The Carbon Trust)

2010年以降の発電コストは順調に低減を続けている。

- ・ 2017年にドイツで実施された事業オークションではFITなどの補助金を不要とするプロジェクトが3件落札された。
- ・ 英国の2017年落札案件もMWh (メガワット時) あたり 57.5英ポンド、kWh (キロワット時) あたり 8.6円。(1英ポンド150円換算)
- ・ 今後も洋上風車の更なる大型化等と相まって発電コストの順調な低減が見込まれている。

欧州の洋上風力発電コストは既に原発の発電コストを下回っており (解体費用込)、補助金不要の一般電源としての地位を確立しつつある。

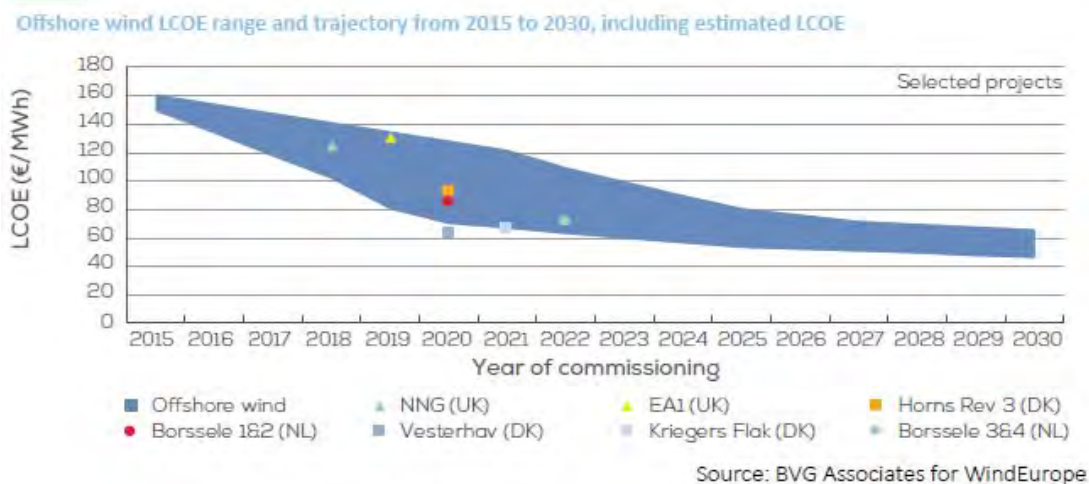
13

## 欧州洋上風力 発電コスト低減予想 (2015~2030) Cost of Energy of Offshore wind in Europe

欧州風力発電協会 (Wind Europe) は、欧州全体の平均発電コストが、**2030年に陸上までの系統接続費用込で 平均65ユーロ/MWh (¥8.5/kWh (@¥130/Euro) 以下**に低減されると予想。

また、欧州には総電力需要の約25%を供給できる最適海域が存在し、

**最適海域では平均54ユーロ/MWh (¥7.0/kWh (@¥130/Euro) で発電が可能**であると分析。



Lowering LCOE of Offshore Wind in Europe

14

# 欧州のサプライチェーン地図

Supply Chain in Europe ¥

欧州エリア内のGlobal Supply Chain —各国の競争力を生かした配置—  
(アジアも今後 Asian Global Supply Chain が形成される可能性)



Supply Chain for Offshore Wind in Europe

(Source : EWEA “Wind in our Sails”)

## 欧州の洋上風力発電プロジェクト

Offshore Wind Farm in Europe



調査、建設、操業に各種の船舶が必要

海底地質調査  
海底基礎の建設  
洋上風車の設置  
洋上変電所の建設  
海底送電線の敷設

### 着床式洋上風力ファーム

ファームあたりの事例

発電出力：50万キロワット  
(500MW)

建設コスト：2,200億円

洋上面積：10km x 10km



Sheringham Shoal Offshore Wind Farm, UK (317MW (3.6MW x 88) (Photo by Yoichi Oda May 2014)



# 洋上風車建設用の船舶 Offshore Wind in Europe

## Vessels and Platforms



**Jack-up Platform**  
Excilibur



**Leg-stabilised crane vessel**  
A2Sea Sea Power



**DP2 Heavy lift cargo vessel**  
Jumbo Javelin



**Semi-submersible heavy lift vessel**  
Thiaf at Alpha Ventus



**Leg-stabilised crane vessel**  
Ordered by RWE

(Left) Leg-Stabilised crane vessel  
Ordered by RWE  
to Daiwo ship buildings, Korea.  
Delivering 6MW x 4 WTs  
100 mil Euro for one vessel )  
Major Specifications  
Overall Length 100m Width 40m  
Maximum load 4,200 ton  
Cranes: 800 ton, 500 ton  
Highest Hook Height :  
110m above deck

17

## BOW

## Video Tour for 8MW WT 8 MW 洋上風車紹介ビデオ ~Siemens-Gamesa 8MW WT BOW construction ~

<https://www.offshorewind.biz/2018/01/01/siemens-gamesa-shows-how-its-done-at-sea-video/>

**8MW洋上風車の着床式建設方法紹介ビデオ (4:05)**

### Siemens-Gamesa 8MW WT (Wind Turbine) 概要

(2017年11月28日発表内容)

- Siemens Gamesa Renewable Energy has launched a new **8MW offshore model** that features a **167-metre rotor**. (Blade Length 81.5m)
- The **SG 8.0-167 DD model** has blades that allow for an 18% greater swept area and up to 20% higher annual energy production than its SWT-7.0-154 predecessor, Siemens Gamesa said.
- The company added that the new turbine re-uses proven components from the predecessor that allows a "short time to market".
- A prototype 8MW machine with a smaller rotor was installed and commissioned in January at the Østerild test site in Denmark, with a prototype with a 167-metre rotor to be installed at the site next year.
- The SG 8.0-167 DD model is expected **to be market ready in 2020**, with Danish outfit Orsted planning to deploy the new turbine at the 752MW Borssele 1&2 offshore wind farm in the Dutch North Sea.



18

BOW

## Video Tour for 8MW WT 8 MW 洋上風車紹介ビデオ ～Siemens-Gamesa 8MW WT BOW construction～



19

## SEV (Self Elevating Vessel)

Offshore Wind in Europe

着床式の洋上風車建設にはSEVまたはSEPが用いられる





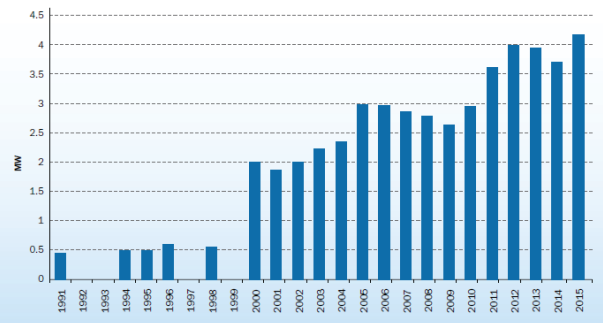
Lowering CoE  
Maximizing EP

# 洋上風車大型化の推移 Bigger Wind Turbines

風車大型化の推移 (Development of Bigger Wind Turbine)



風車出力大型化の推移 (Average size of Offshore Wind Turbines)



洋上風車は、数年毎に大型され、発電コストが低減

2.3MW Rotor Dia. About 82m  
3.6MW R.D. About 104m  
6MW R.D. About 154m  
8MW R.D. About 167m  
(10MW R.D. About 200m)

## 陸上風車大型化の限界

Limitation of onshore WT

(道路輸送の限界)



(Source: Mitsui & Co. Ltd.)

## 洋上風車は大型化

Offshore WT can be enlarged



(Source: A2SEA A/S)

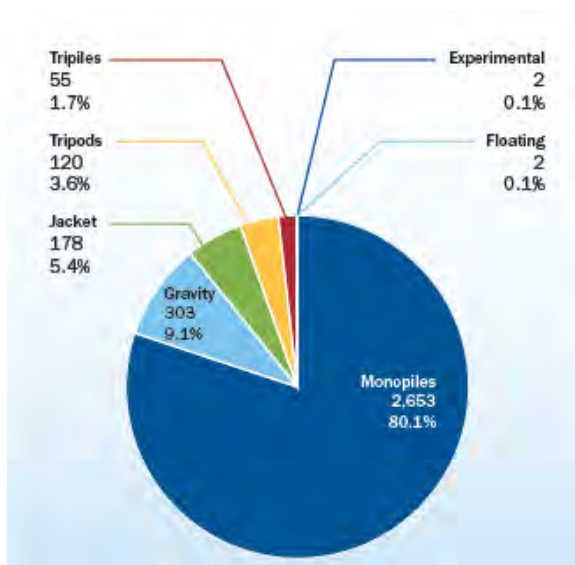
21

BOW

# 着床式基礎と方式別シェア

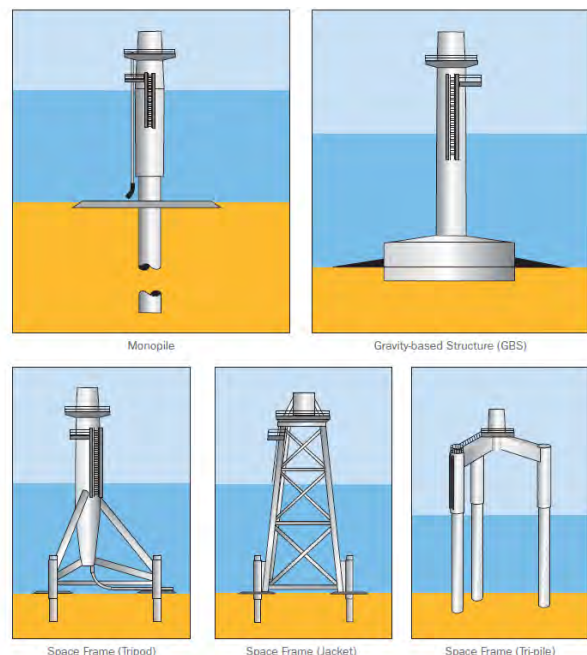
Subsea Foundations  
Offshore Wind in Europe

Foundation per Share



(as of end 2015, MW)

Typical Foundation Structure



Current major structure is monopile (80%)

(Source: EWEA )22



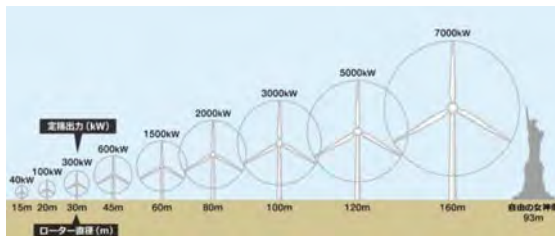
# 大きいことはいいことだ！ Big is Good ! Key for lowering the Cost of Energy (CoE).

## 発電コストは低いほど良い

$$LCoE = \frac{CAPEX + O\&M + D}{\text{Energy Production (kWh)}}$$

**風車は大きいほど良い** ← 発電量（EP）はローター直径の二乗に比例する  
（Swept Areaに比例：流体力学の基本）  
← 2 MW風車を240本建てるより、8 MW風車を60本建てる方が、  
出力あたりの建設費が安い

**プロジェクト規模は大きいほど良い** ← 傭船料が高い。天候待ちも含む。SEPは1日15百万円。  
100本建てる傭船期間は120日（1本当たり1.2日）  
10本建てる傭船期間は30日（1本当たり3日）



23

### BOW事例

## Dudgeon Offshore Wind Farm

6MW RD154m X 67 = 402MW 2017年10月操業開始（開所式11月）  
55km<sup>2</sup>, 38km offshore to center of the farm  
15億英ポンド（2,250億円）（56万円/ kW）（@ ¥ 150/GBP）

### Dudgeon Offshore Wind farm

- Wind farm site area - 55 km<sup>2</sup>
- 402 MW - 67 x 6MW Siemens WTGs on monopile foundations
- One offshore substation
- Two submarine cables - ca 40 km
- Two onshore cables – ca 48 km
- One onshore substation at Necton



24

# Dugeon Offshore Wind Farm

**SOV** (Service Operation Vessel)で沖合で2週間勤務。DP(Dynamic Positioning)インターネット完備の60個室(40 for OW, 20 for Crew) 会議室、食堂、ジム、プレールーム等完備。1日8時間勤務。現場が領海(12海里=22.2km)外にあるため作業員等はパスポートを携帯。

## Marine Concept

- Wind farm site located 46 n.m. from Great Yarmouth
- One Service Operations Vessel (SOV)
  - Capacity up to 40 technicians on 14-14 rota
- One Crew Transfer Vessel supporting the SOV at the field and operate as “ferry” between the field and the base



25

# Dugeon Offshore Wind Farm

## SOV (Service Operation Vessel)



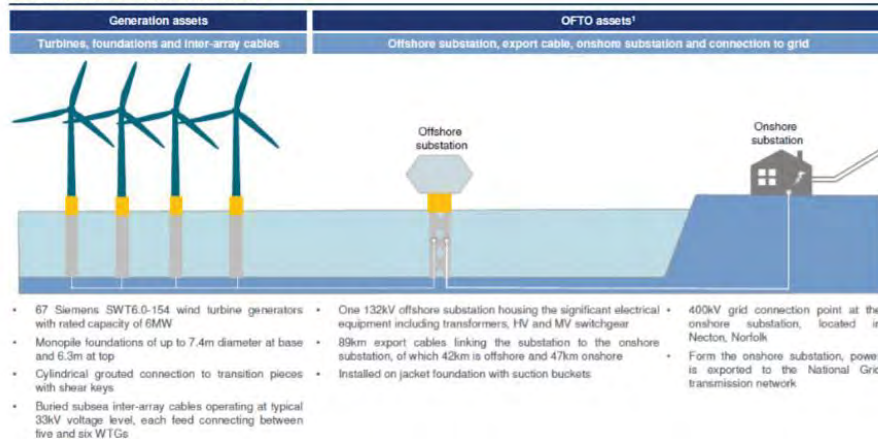
Walk in Bridge to offshore WT

26

## Offshore & Onshore Transmission

- 67 WTs – 1 offshore SS : Inter-Array cables (33kV)
- 1 offshore SS – 1 onshore SS : Export cable 40km x 2 (132kV HVAC)
- 1 onshore SS – SS/National Grid : Onshore cable 48km x 2 (400kV)

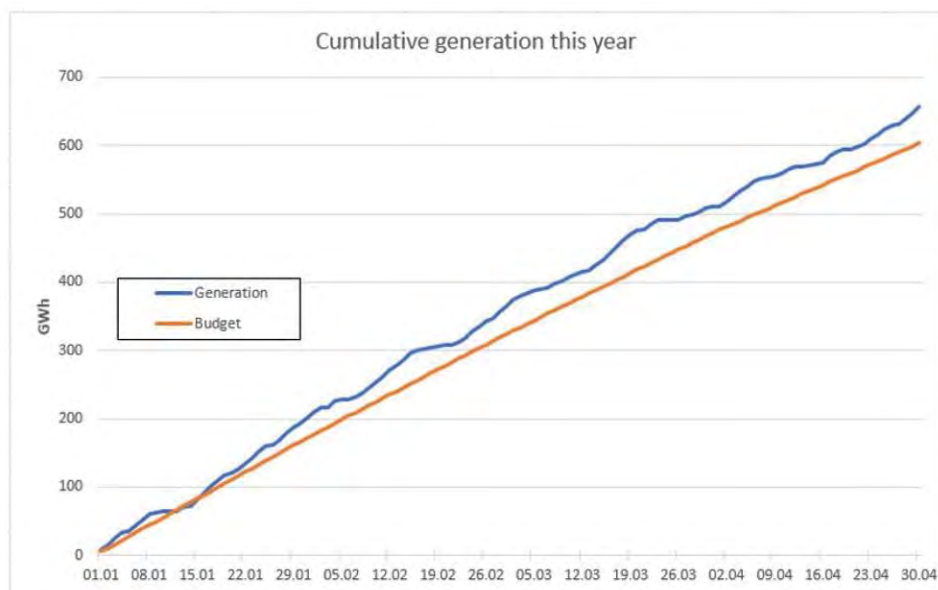
Overview of Generation and OFTO Assets



27

## Operational Performance

**Cf : 48%**  
**Annual Net Output: 1.7TWh**



**計画通りに発電できている**

28



## 風を読む 売上は風速の3乗に比例する

Key for lowering the Cost of Energy (LCoE).

### (Key)

- ・発電量 (Energy Production) は風速の3乗に比例する (流体力学の基本)
- ・発電量 (EP) は年間設備稼働率(Cf)に比例する
- ・20年間 (発電期間) の風を読むこと = 20年間の売上を予測すること

(日本の現状) コストは読める (文科系)。WT性能 (パワーカーブ) は理解できる (技術系)。  
しかし、風を読める人が少ない (特に経営層)。

(欧州の現状) 経験・実績が豊富。コストも風も読める。

風を読む専門家が多く、経験・実績も豊富。大手Developer内にも専門人材が充実。  
経営陣、保険、財務セクターに、プロの知見と実績が提供されている。  
IoT、Big Dataを活用できる素地ができています。(16GW)

### ★ サイト選定、ファーム・デザイン (風車配置)、風車選定が売上を大きく左右する。

風速が2倍のサイトなら売上は8倍。同じ風車でも前と後ろでは売上が異なる (WAKE)。  
風況 (風向、風速) は常に変化する (あらゆるDataの活用。Hindcast, MetOceanなど)。  
風況観測技術は著しく進展している (Floating Lidar, Double Dopplerなど)。

※着床式のCfは、初期の30%前後から、現在50%前後のプロジェクト (400MW)が出現。  
※浮体式の設備稼働率 Cfは、Hywind Demo(2MW)では2011年に年間50%、  
Hywind Scotland(30MW)では68% (2017年秋運開から半年間の実績)

29

## 資源評価が売上予測の基本

Wind Resources Assessment  
Key for Turnover & Lowering the Cost of Energy (LCoE).

### 資源評価は、エネルギー開発の基本 風力発電も同じ (風力資源の事前評価)

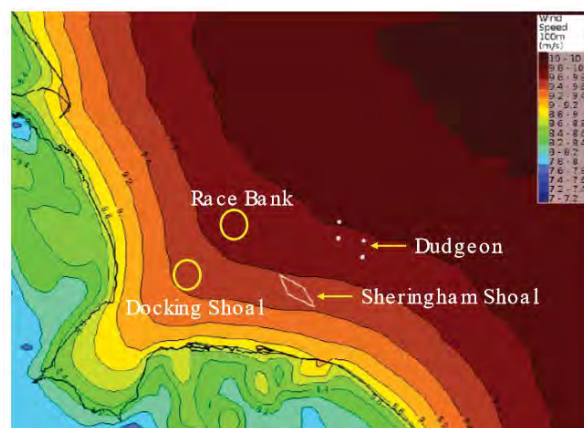
エネルギーセクターは従来の化石燃料一本足打法では生き残れないとの経営判断  
DONG(2017), Statoil(2018)は社名変更 (OilやNatural Gasを社名から削除)  
洋上風力発電は、エネルギーメジャーが参入する新たなエネルギー事業

Siteを沖へ出すほど設備稼働率が上がる。

MetOcean – Wind (Wind Resource Assessment)

- 34 year hourly time series wind model used for Dudgeon wind resource assessment
  - Measurements from the Docking Shoal and Race Bank meteorological masts (2-2.5 years)
  - Hind cast data (StormGeo 1979-2011)
- Estimates of 10-minute and 3-second gust are taken from measurements at Docking shoal and Racebank
- The wind resource has been set to 9.75 m/s at 100 m and 9.77 m/s at 102 m (used as hub height).

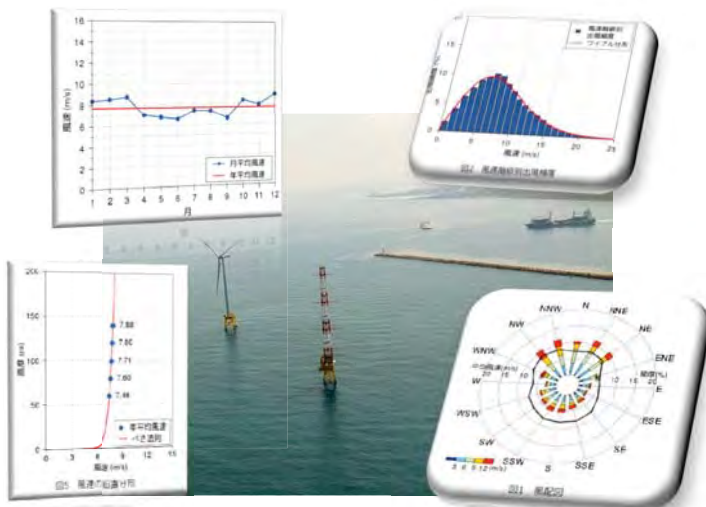
Documented in: "Documentation of resource basis, wind assessment and park layout including critical factors and opportunities"



(Source: equinor)

30

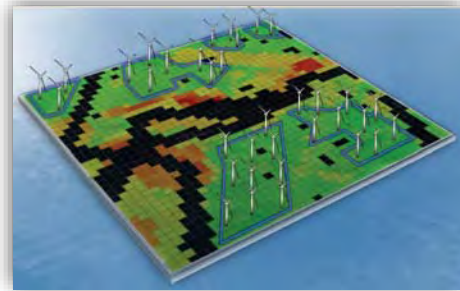
## 洋上風力開発における風況・海象調査の目的



北九州沖実証プロジェクトサイト  
(Source: NEDOホームページ)

## 風力アセスメント

(電力量見積における“不確実性”の低減)



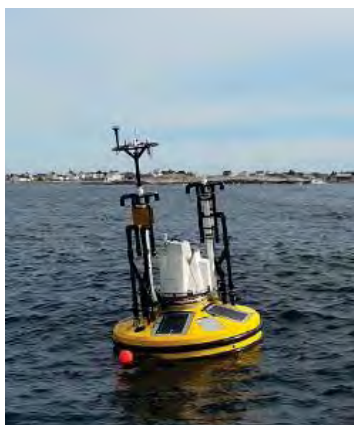
## 洋上風力発電所のデザイン



Arklow Bank, Southern Ireland

## 施工時の気象予測・施工支援

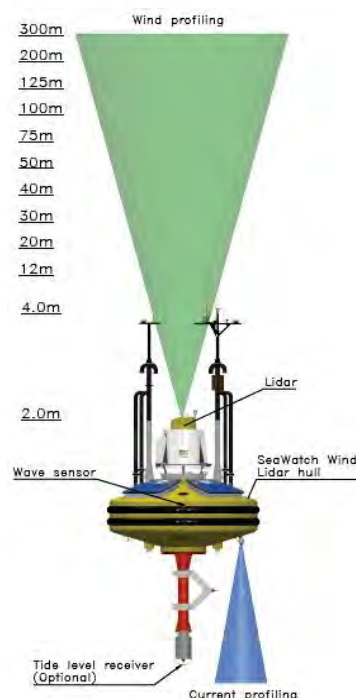
## 浮体式ライダーによる風況・海象データ取得



SEAWATCH Wind LiDAR buoy  
(製作: Fugro Norway)

### 寸法

重さ: 2,200kg  
高さ: 6.75m  
直径: 2.8m



### 主な観測項目

風速・風向  
気圧・気温  
波高・波向・波周期  
流速・流向  
水温

### 風況観測 (ZephIR 300 CW LiDAR)

観測高 (設定可能): 10m~300m  
観測高度数: 最大10高度 (任意設定)

### データ送信 (リアルタイム)

イリジウム衛星通信または  
GSM/GPRS/3G/4G

### 電力サプライ

メタノール燃料電池

### 連続運用期間

およそ9か月

### 主な導入メリット:

- ・ 導入コストが比較的安い
- ・ 設置場所を選ばない
- ・ 導入に係る時間が比較的短い
- ・ Bankableなデータ取得

(Source: Fugro Japan)

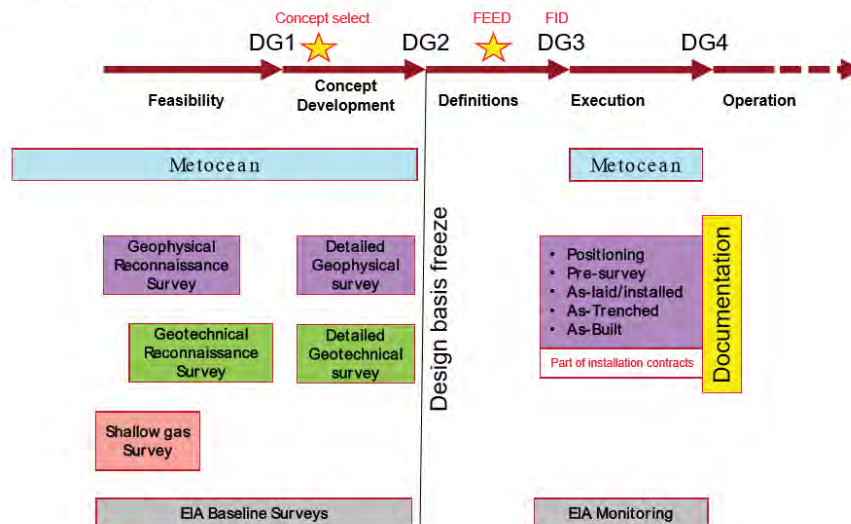


一次地質調査により、事業採算性を確認 (DG1)

二次地質調査により、ファーム(洋上風力発電所) の設計コンセプトを検討・決定 (DG2)

上記に基づき基本設計と技術仕様書を完成 (FEED: Front End Engineering & Design) (FID)

## Project development - Surveys



33

### Project事例 (UK)

Dudgeon Offshore Wind Farm  
402MW (6MWx67) GBP1.5bil

## 海底地質がCAPEXを左右する

### 1) 広域音響調査

3次元物理探査。海洋石油・ガスの探査と同じ技術を用いる。

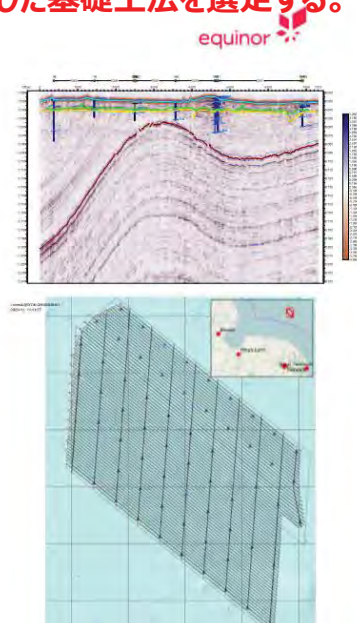
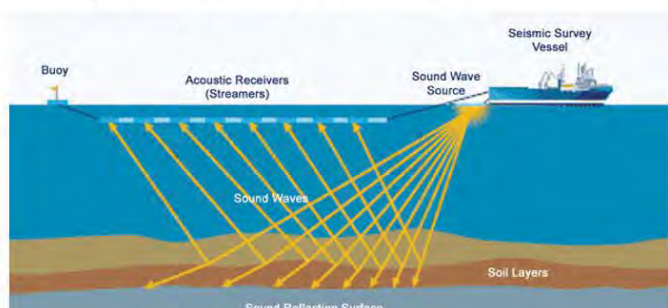
基礎に適した海底地点を選定するか、または海底地質に適した基礎工法を選定する。

### Geophysical Survey

(Multichannel survey)

#### • Purpose

- Acquire seismic data to enable reliable interpretation of the stratigraphy down to minimum 100m below seabed
- Establish geological model
- Evaluate geohazards (Eg. shallow gas and boulders)



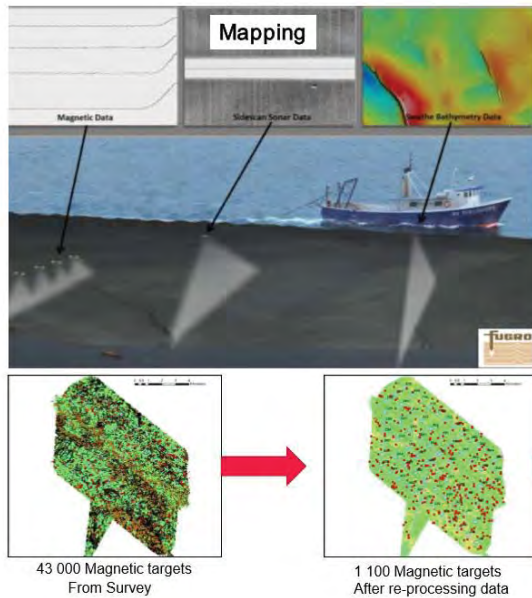
(Source: equinor)

34



## 海底地質がCAPEXを左右する

- 2) Mapping調査：** 電磁探査で4万3千個の金属反応 ⇒ Data処理により対象を1,100個に絞込  
⇒ 更に208個を海底撮影 ⇒ 20発の不発弾を特定し処理



Inspection/clearance

UXO:  
Unexploded Ordnance

- Installation corridor:**
- 208 Targets visual inspected
  - 20 Targets verified as UXO's and cleared



(Source: equinor)

35

## 海底地質がCAPEXを左右する

### 3) 風車建設候補地点をボーリング調査 20年以上耐え得る工法を検証

#### Geotechnical Surveys

- Purpose
  - Acquire soil information for ground truthing
  - Input to geological model and establish soil parameters
  - Input to foundation evaluation, park layout and design (location specific)

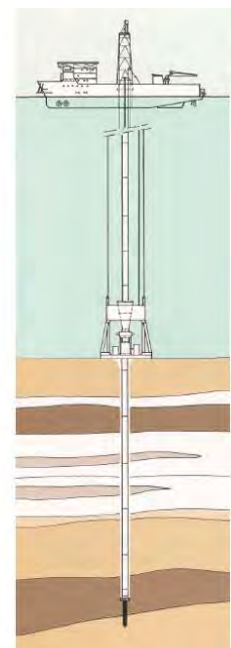
2009: Boreholes (50 m) - Reconnaissance

2013: Boreholes (50 m) and CPT - Detailed

2014: CPTs on each location (changed layout), and some boreholes to avoid pile driving refusal



Drilling vessel 'Blue Data'



(Source: equinor)

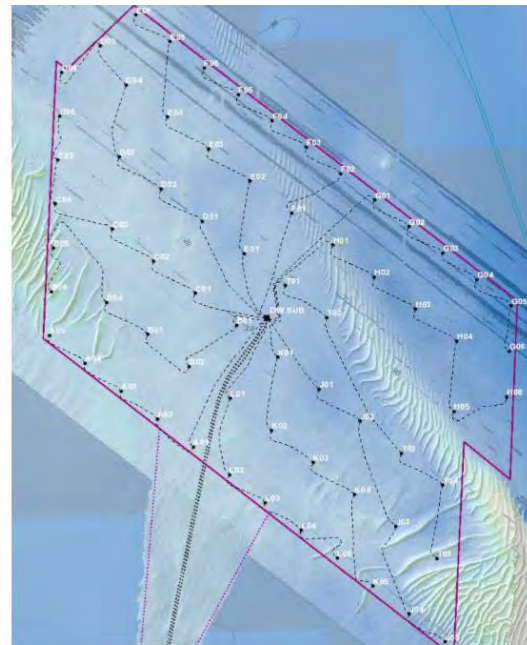
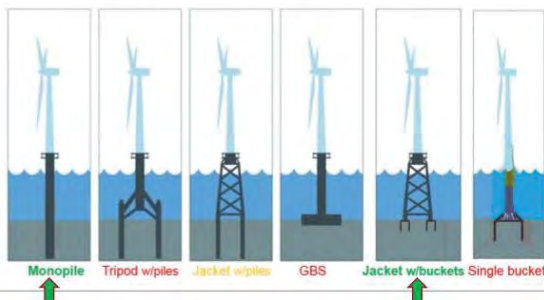
36

## 海底地質がCAPEXを左右する

### 4) 海底地質と水深に適応した基礎と工法を選定する。 基礎と工法によりコストが異なる。

#### Layout

- WTG size
- Wind conditions
- Soil conditions
- Other
  - Shipping lanes
  - SAR
  - Restricted areas (archaeological discoveries)



(Source: equinor)

37

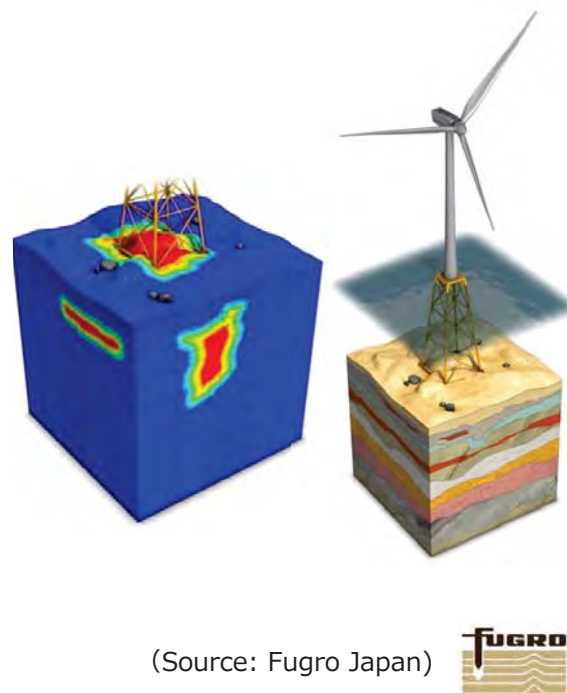
## 海底地質調査の目的

### 洋上風力サイトの地盤リスクの把握



写真 : <https://www.windpoweroffshore.com>

### 洋上風車基礎設計の最適化

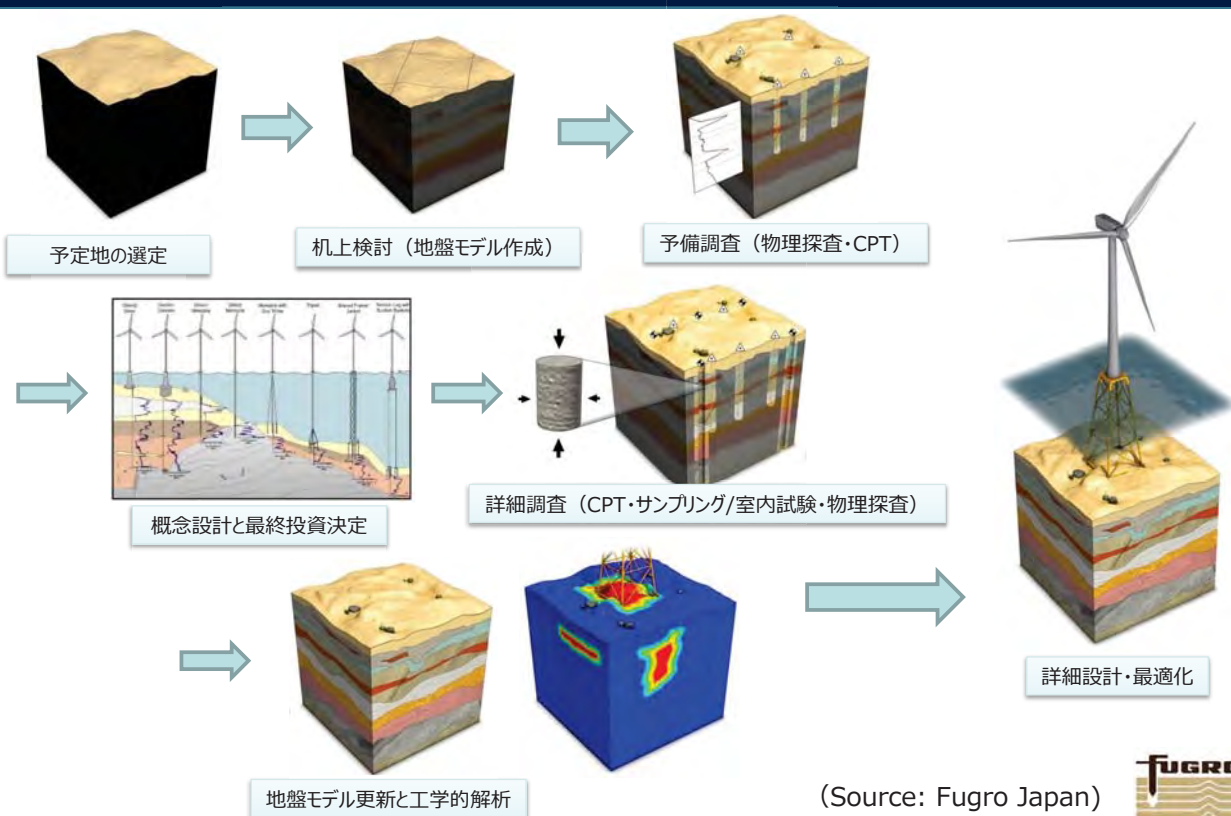


(Source: Fugro Japan)



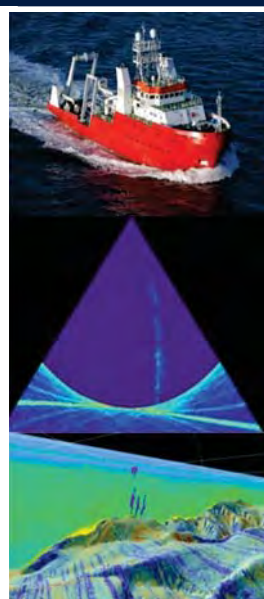


## 洋上風力開発サイトの地盤調査の流れ（サイト選定～詳細設計）

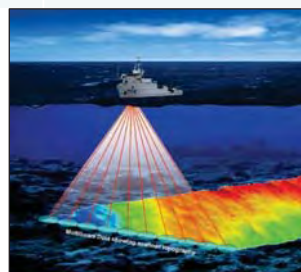


39

## 海底面及び浅部海底地盤調査で実施される一般的な物理探査



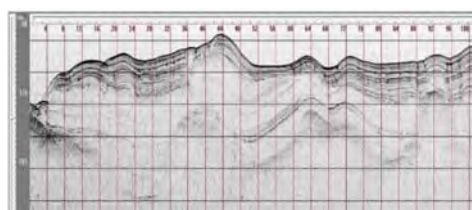
|   | 調査方法                   | 調査内容          |
|---|------------------------|---------------|
| 1 | シングルビームエコーサウンダー (SBES) | 正確な水深         |
| 2 | マルチビームエコーサウンダー (MBES)  | 海底地形          |
| 3 | サイドスキャンソナー (SSS)       | 海底面の特徴        |
| 4 | 磁気探査                   | 海底障害物（不発弾や沈船） |
| 5 | サブボトムプロファイラー (SBP)     | 浅部海底地質        |



マルチビームエコーサウンダー (MBES)



サイドスキャンソナー (SSS)



サブボトムプロファイラー (SBP)  
による海底断面地層イメージ



(Source: Fugro Japan)

40



# 海底地盤調査（現位置試験）：CPT

## CPT: Cone Penetration Testing - コーン貫入試験

CPTは、先端が円錐状の計測装置（コーン）を一定の速度（毎秒2cm）で地盤に突き刺す試験。  
地盤の力学特性値を連続的に計測することができる。

欧州では、洋上風力開発のための地盤調査の現位置試験はCPTにより実施されている。

※詳細基礎設計には試料サンプリングとその室内試験が必要。  
室内試験とCPTのデータの両方を用いて設計パラメーターを求める。

### CPTで取得するデータ

1) 先端抵抗 2) 周面摩擦 3) 間隙水圧

#### CPTの導入メリット

- 1) 調査にかかる時間が短い  
⇒スピード感を持った開発、開発コスト削減
- 2) 連続的で精度の高いデータが取得できる  
⇒地盤リスクのより正確な評価、安全で最適な基礎設計、コスト削減
- 3) リアルタイムで地盤データを取得できる  
⇒予期せぬ地盤状況への対応迅速化



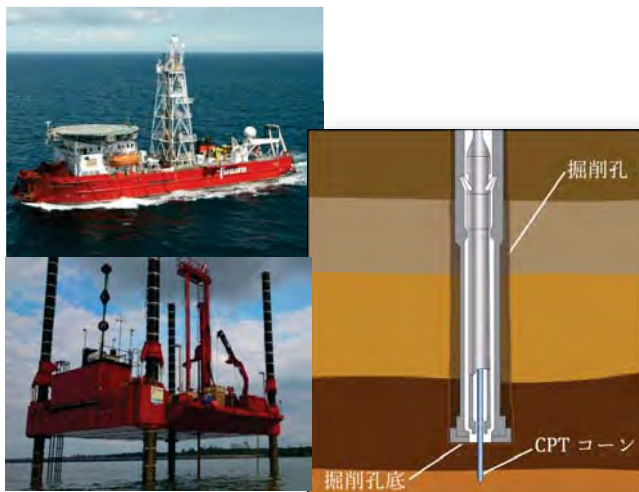
ムービー：掘削孔内でのCPT

(Source: Fugro Japan)



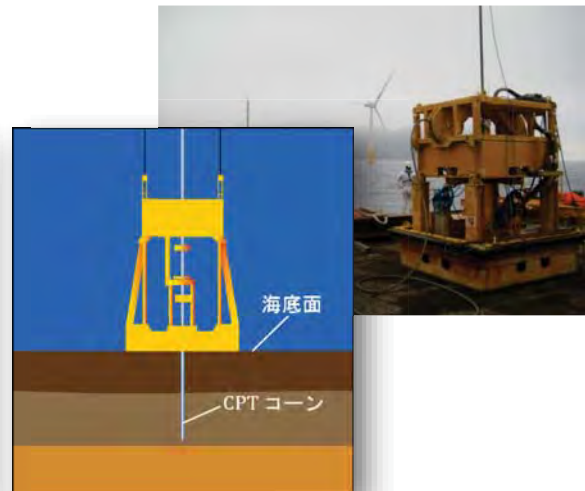
## CPTの実施方式

### ダウンホールCPT



掘削やぐらとムーンプールを備えた掘削船やSEP等により調査を実施。  
ドリルビットにより掘削した掘削孔底からCPT コーンを貫入。  
硬い層はドリルビットで掘削するため、深い地盤の調査が可能。  
着床式洋上風車位置の詳細地盤調査に用いられる。

### シーベッドCPT



クレーンやAフレームを備えた船によりCPT 機材を海底に降ろし、  
海底に着座させる。着座後、海底面からCPT コーンを貫入。  
ケーブルトや浮体式風車の係留場所等の他、予備地盤調査等の比較的浅い地盤を調査する際に用いられる。

(Source: Fugro Japan)



# 水深と海底地質がCAPEXを左右する

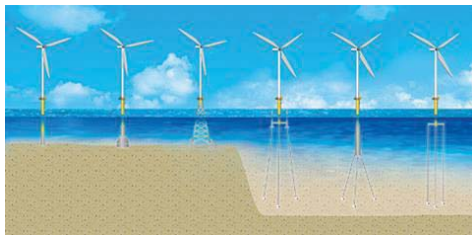
Key for lowering the Cost of Energy (LCoE).

- (Key) ・着床式 (BOW)では、水深と海底地質により基礎の工法と建設コストが異なる。  
 ・現在主流のモノパイル (BOW)でも、海底地質により建設コストが異なる。  
 ・浮体式 (FOW)では、浮体形式と設置工法によりコストが異なる。  
 ・浮体式でも、海底地質によりアンカリング工法と建設コストが異なる。

(日本の現状) 風車建設用の特殊船舶が殆どない。(一部建造開始。五洋建設、戸田建設)  
 海洋建設用の港湾インフラが乏しい。(響灘の港湾増強など検討中)  
 民間市場が殆どないため、現状では欧州に比べて洋上建設費用が高額。

(アジアの現状)

先行する台湾市場等によりAsian Global Marketが形成されつつある。  
 SeaJacksが2019年6月にSEP(Zaratan)を台湾に回航予定 (FormosaWF)。



各種基礎 (着床式、浮体式)



半潜水型スパッド台船  
戸田建設



SEP 五洋建設

43

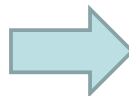
FOW

## Hywind Scotland video tour (FOW)

October 2017～ by 6MWx5 = 30MW



(組立ヤード in Stord, Norway (2017年5月織田撮影))



25km offshore Peter Head, UK (2017年10月運転開始)

- <https://www.bing.com/videos/search?q=Hywind+Scotland&&view=detail&mid=957FC43DC6AA6802A9B3957FC43DC6AA6802A9B3&FORM=VRDGAR>  
(full story 9:13)
- <https://www.bing.com/videos/search?q=Hywind+Scotland&&view=detail&mid=44BB5ECE5A226023C83044BB5ECE5A226023C830&&FORM=VDRVRV> (1:24 BBC)
- <https://www.bing.com/videos/search?q=Hywind+Scotland&&view=detail&mid=38B1E813641549783D8E38B1E813641549783D8E&&FORM=VDRVRV> (1:10 Opening 18<sup>th</sup> October 2017)
- <https://www.bing.com/videos/search?q=Hywind+Scotland&&view=detail&mid=F2FF930D4941A5311ACEF2FF930D4941A5311ACE&&FORM=VDRVRV> (2:08 Mating)

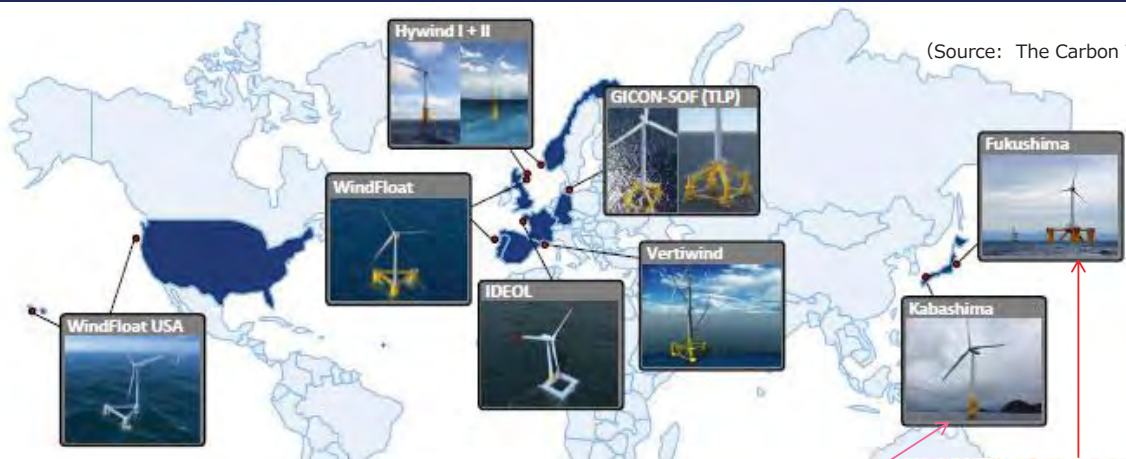
44

# Hywind Scotland video tour (FOW)

October 2017~ by 6MWx5 = 30MW



## 世界の浮体式実証計画 Global Challenge for FOW Technical Developments for Deep Sea



(Source: The Carbon Trust)

### FOW in the world

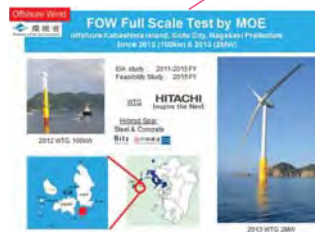
(Ocean test in full scale or scale model)



Prototype 2009 → Pilot Park 2017 → Commercial scale 2020 +

### Hywind – floating wind roadmap

(Source: Statoil)



(Source: MGSSI  
based on MoE & METI)



## 浮体式 方式別コスト構成比

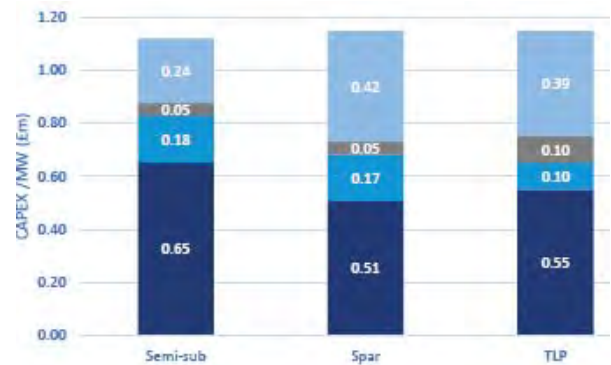
### Cost Breakdown of Floating Structure



**Floating Structure**  
(From the Left) Semi-sub, Spar, TLP

(Source: The Carbon Trust  
"Floating Offshore Wind Market and Technology Review")

■ Platform ■ Moorings ■ Anchors ■ Installation

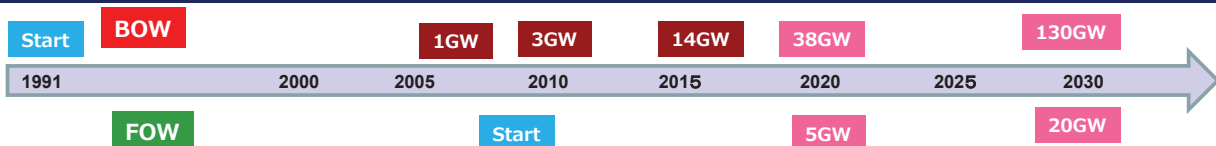


**Break down of CAPEX per type of Floating Structure**

(From the Left) Semi-sub, Spar, TLP  
(From the Bottom)  
Fabrication cost,  
Mooring cost,  
Anchor cost,  
Installation Cost)

## 洋上風力発電の歴史と市場規模予測

### History & Market Offshore Wind in Europe & Global Market



#### BOW (着床式洋上風力発電)

(Start) 世界初の洋上風力ファームが1991年にデンマーク沖で建設・操業。

- 累計発電能力は、2000年末35MW、2007年末1GW (1,122MW)、2017年末15.8GW。
- 現在まで世界（欧州）の主流は着床式。
- Wind Europeは、欧州全体の平均発電コストが、2030年に陸上までの系統接続費用込で 平均65ユーロ/MWh (¥8.5/kWh @¥130/Euro) 以下に低減されると予想。
- また、欧州には総電力需要の約25%を供給できる最適海域が存在し、最適海域では平均54ユーロ/MWh (¥7.0/kWh @¥130/Euro) で発電が可能であると分析。

#### FOW (浮体式洋上風力発電)

(Start) 世界初のフルスケール発電実証が2009年からNorway沖で開始 (Hywind Demo:2.3MWx1)

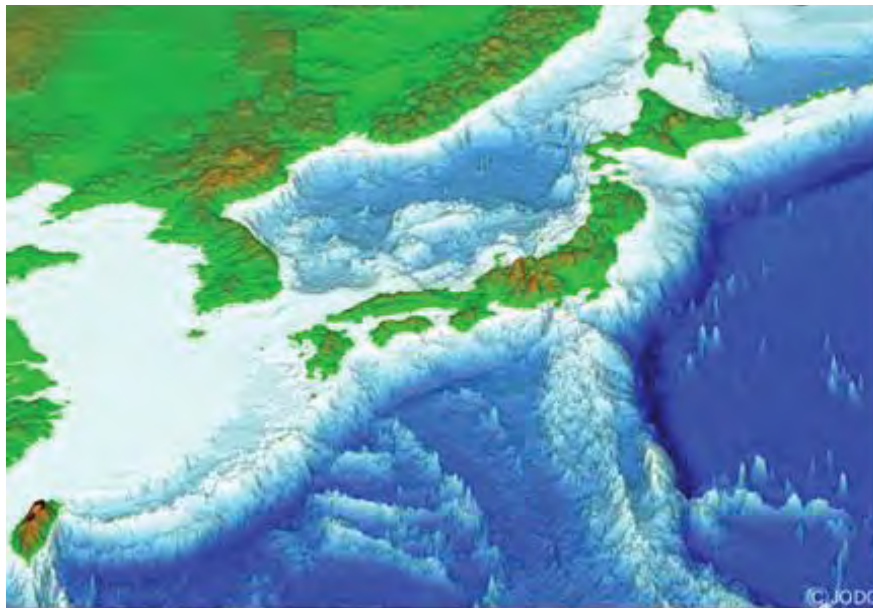
- ポルトガルと日本でもフルスケールの実証試験を実施。
- フランスで2018年からフルスケールの実証試験が開始。
- 2017年秋から英国で世界初の商業発電開始。(Hywind Scotland) (30MW:6MW x 5)

#### Market size (市場規模予測)

- 2030年の世界市場は150GWに拡大するとの予測。うち浮体式は20GW。
- 浮体式の発電コストは2025年以降に着床式と同等のレベルに低減されると予測されている。

# 日本の状況と課題

## Offshore Wind Perspective in Japan

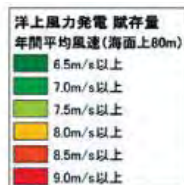


## 現在までの実績 国による洋上風力発電実証試験（日本）

### Offshore Wind Full Scale Demo



**BOW 2 MW**  
Offshore Kita Kyushu  
Fukuoka Prefecture  
2010-2015



**FOW 2MW, 5MW, 7MW**  
Offshore Fukushima  
Fukushima Prefecture  
2011-2016

Offshore Wind FOW Full Scale Test by METI

[http://www.fukushima-forward.jp/english/news\\_release/news160622.html](http://www.fukushima-forward.jp/english/news_release/news160622.html)



**FOW 2MW**  
Offshore  
Kabashima Island  
Nagasaki Prefecture  
2012-2015

Offshore Wind FOW Full Scale Test by MOE



**BOW 2.4 MW**  
Offshore Choshi  
Chiba Prefecture  
2010-2015

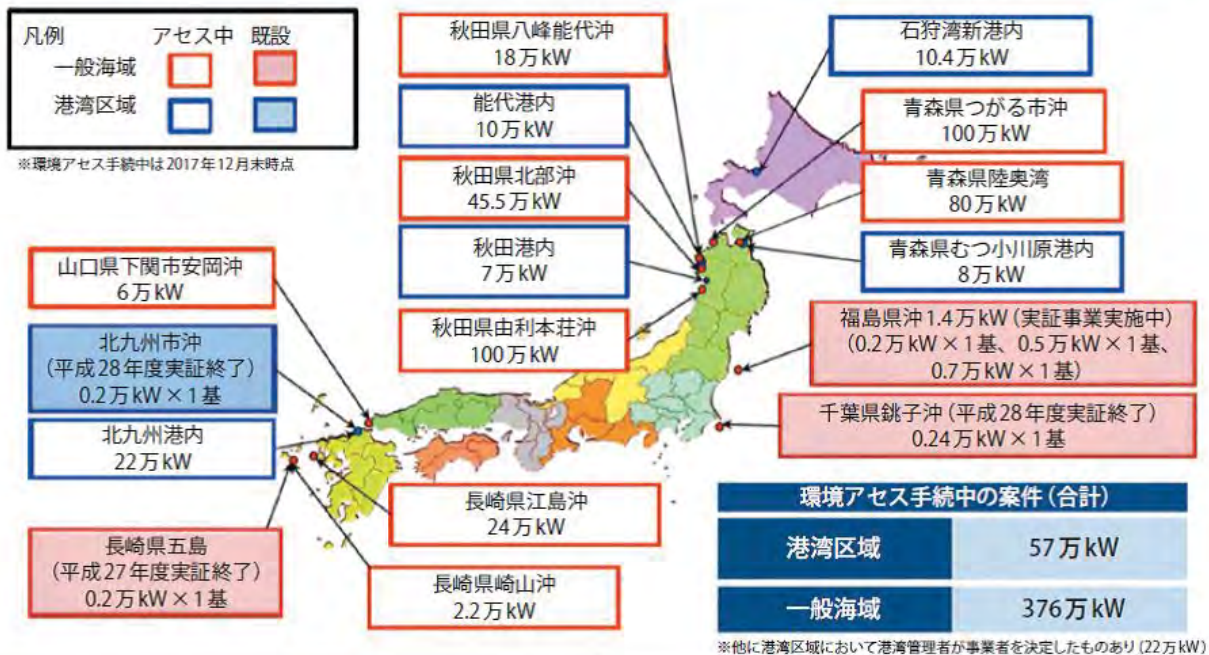




## 民間企業による洋上風力発事業計画(日本)

### Offshore Wind Projects in Japan

- 現在の我が国における導入状況及び環境アセスメント手続中の計画は以下のとおり。  
(導入量は約2万kW、環境アセス手続中の案件は約430万kW)



51

## 洋上風力発電の本格的コストダウンに必要な条件

### Territorial Water & EEZ of Japan



(Source : Japan Coast Guard)

領海面積の約2%またはEEZ面積の約0.2%をゾーニングすれば  
20GWの洋上風力発電所が建設可能。

洋上風力発電20GWから日本の電力需要の約6%が供給可能。

経済波及効果26-30億円。  
雇用規模約16-18万人。

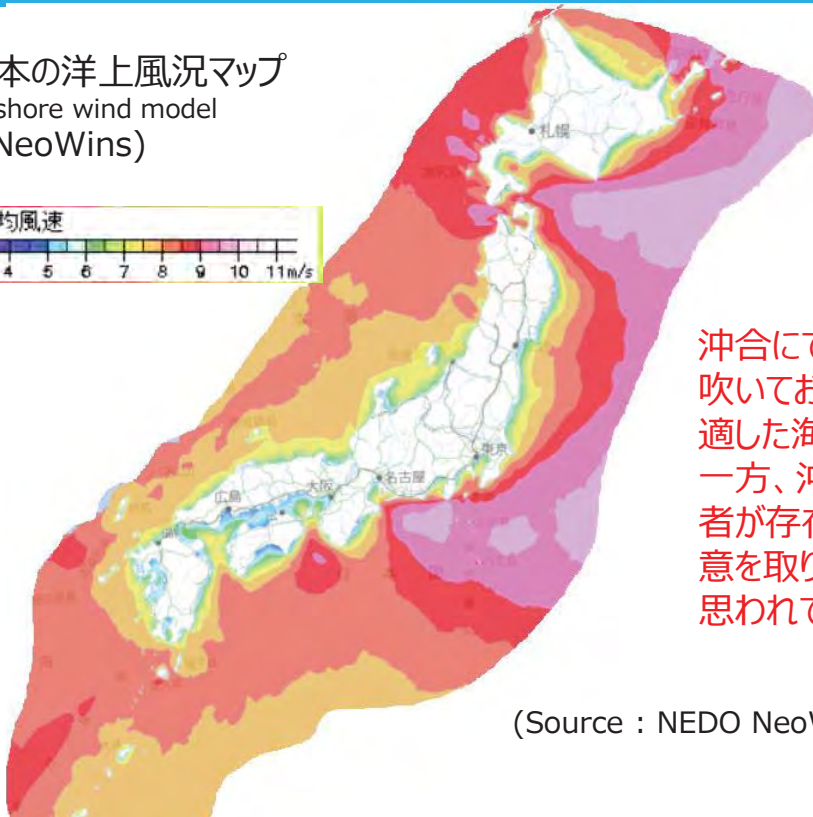
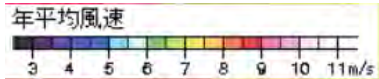
年間市場規模1GWで大幅なコストダウンの実現が可能。

52



# 日本の洋上風況マップ° Offshore Wind Model

日本の洋上風況マップ  
Offshore wind model  
(NeoWins)



沖合にでると早い風が安定して吹いており、洋上風力発電に適した海面が存在する。  
一方、沖合にでると多くの漁業者が存在しており、漁業者の同意を取り付けることが困難だと思われてきた。

(Source : NEDO NeoWins 洋上風況マップ)

53

## 長崎県 島の数日本1位 漁業生産量は日本2位

Nagasaki: 971 islands No.1 in Japan  
2nd Largest Fishery Production in Japan

Nagasaki



本土から見ると沖合でも島から見ると沿岸である海域に洋上風力発電と養殖に適した海面が存在する。  
洋上風力発電と沖合養殖は親和性が高く、共生するとコストダウンやシナジー効果が発揮できる。  
養殖との共生は、日本の洋上風力発電の普及に大きな扉を開く可能性が高い。  
長崎県は漁業生産量と生産額が日本2位の水産県であり、日本一の数の島がある。  
長崎で成功事例を創出することができる。

### 都道府県別島の数

|      |      |     |
|------|------|-----|
| 第1位  | 長崎県  | 971 |
| 第2位  | 鹿児島県 | 605 |
| 第3位  | 北海道  | 508 |
| 第4位  | 島根県  | 369 |
| 第5位  | 沖縄県  | 363 |
| 第6位  | 東京都  | 330 |
| 第7位  | 宮城県  | 311 |
| 第8位  | 岩手県  | 286 |
| 第9位  | 愛媛県  | 270 |
| 第10位 | 和歌山県 | 253 |

54

Co-Existence

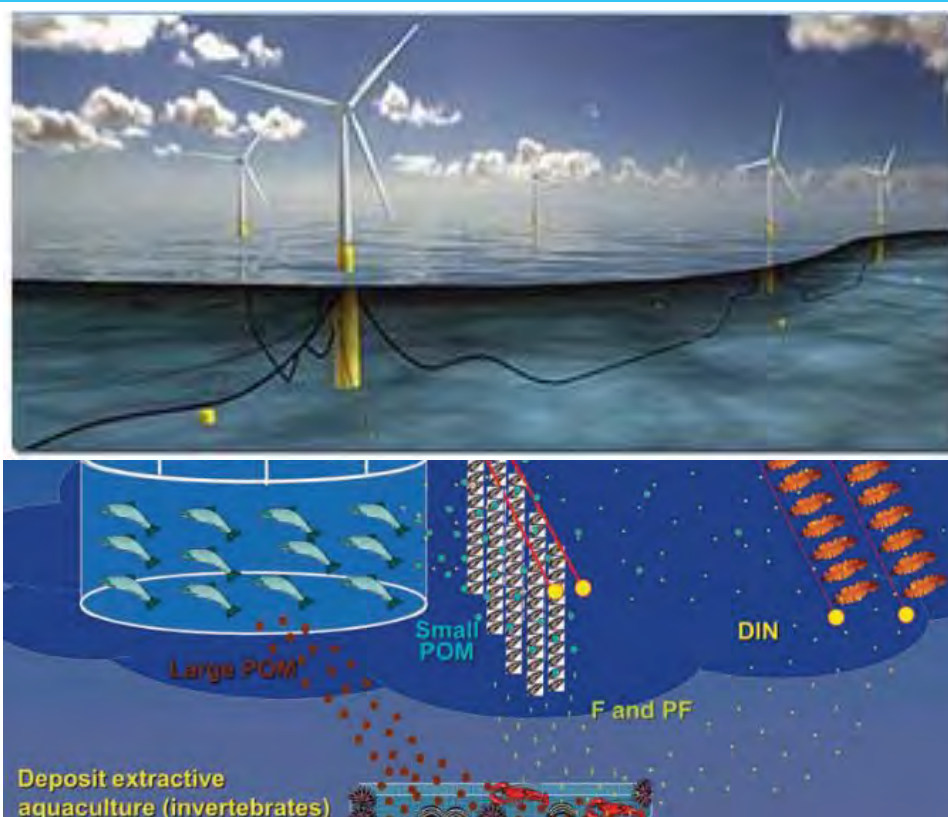
## 着床式洋上風力と養殖の共生イメージ Co-Existence with Aquaculture



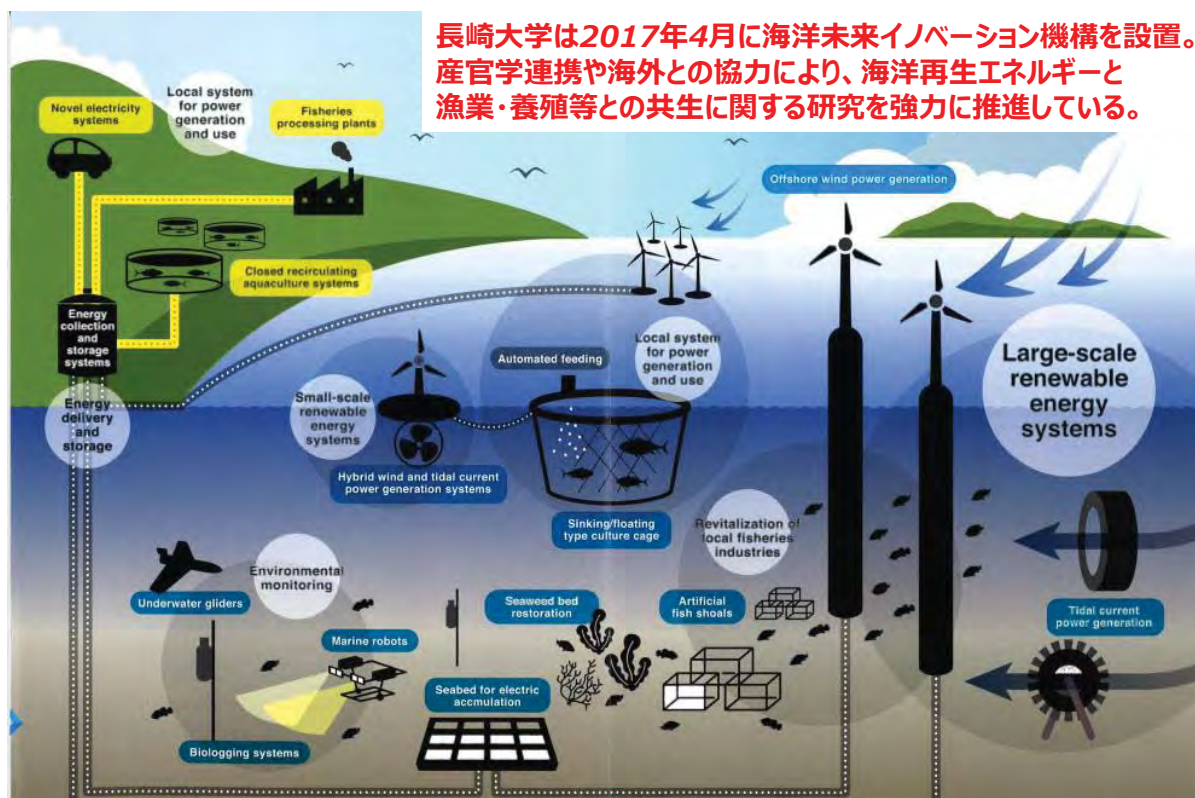
(Source: Statoil)

Co-Existence

## 浮体式洋上風力と養殖の共生イメージ Co-Existence with Aquaculture







長崎県、五島市、地元企業  
長崎海洋産業クラスター形成推進協議会  
長崎総合科学大学  
水産研究・教育機構

連携

連携

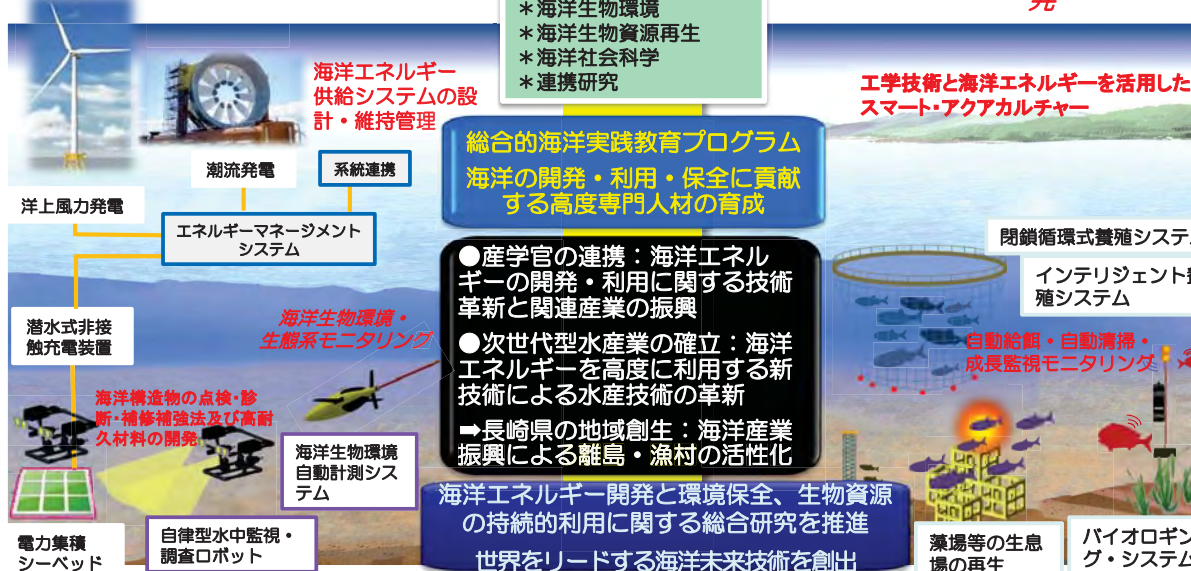
連携

国内の大学・研究機関  
海外大学

海洋未来イノベーション機構

海洋エネルギーマネージメント

次世代型の水産技術開発





- ・長崎県内市町へ公募。
- ・4市1町の提案の中から、長崎県としての提案海域を選定。提案書作成。
- ・平成26年2月26日に国（総合海洋政策本部（本部長：首相））へ提案書提出
- ・平成26年7月15日 国から選定



### ③offshore Enoshima Hirashima (tidal stream nursery site)

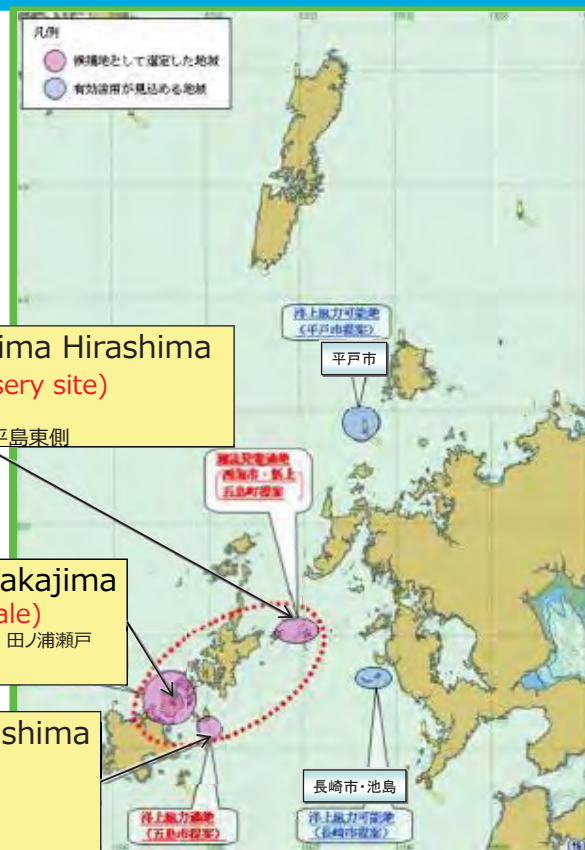
西海市江島平島沖  
江島東側、江島北側、平島東側

### ②offshore Hisakajima (tidal Stream full scale)

五島市久賀島沖 奈留瀬戸 田ノ浦瀬戸

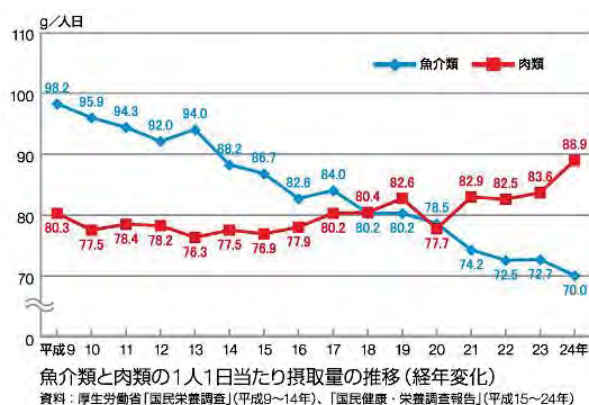
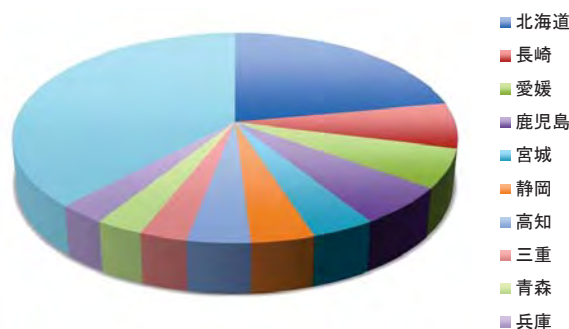
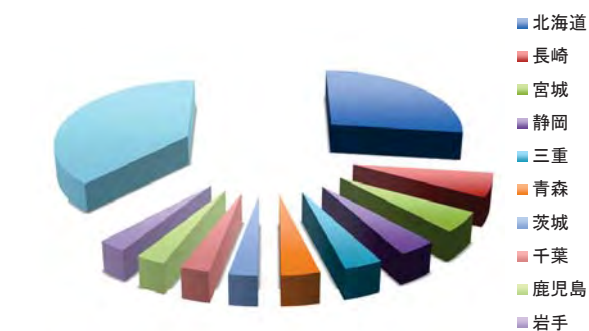
### ①offshore Kabashima (FOW full scale)

五島市梶島沖

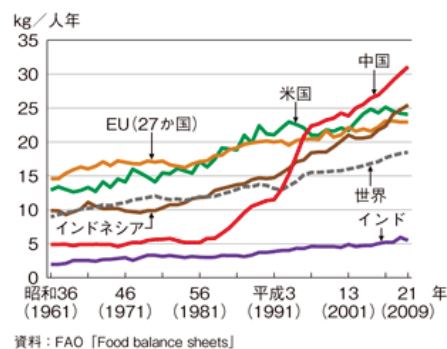


## 長崎の強み 2 全国2位の水産県

Strong R&D on Fishery & Aquaculture in Nagasaki



図I-1-6 世界の食用魚介類の年間国内供給量の推移(1人当たり主要国別)



## 長崎の強み3 養殖と輸出に強い

Strong R&D on Fishery & Aquaculture in Nagasaki

水産は長崎の基幹産業

しかし・・・ 漁業生産量・生産額は減少  
漁業人口・後継者も減少  
捕る漁業から作る漁業へ

残念ながら・・・ 国内マーケットは限られており  
、漁業者の収益性の向上は困  
どどこに活路を見出すか・・・

健康食材として魚に注目の集まっている海外への  
販路拡大こそ、水産業の復活に必要

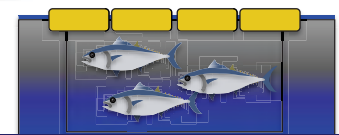
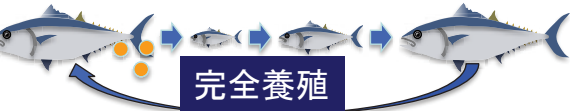
養殖魚販売のターゲットは・・・

欧米・中国ほか、海外の諸国です



### 海外で魚を売るためには！

- ①完全養殖魚であること・・・養殖用種苗の生産から、飼育し、出荷まで、完全に飼育下でコントロール
- ②綺麗な環境で飼育された魚であること・・・汚染されていない環境での養殖
- ③環境を守りながら飼育された魚であること・・・海を汚さない努力が必要
- ④安定した品質・サイズの魚であること・・・季節による味やサイズに変動のない品質、いつでも安定出荷



海を汚さず、綺麗な海で



## 長崎の強み3 養殖と輸出に強い

Strong R&D on Fishery & Aquaculture in Nagasaki

日本から上海市場に鮮魚を直接出せるのは長崎だけ  
(地理的優位性、歴史的優位性)

トラフグの養殖生産量は日本一 (中国富裕層向けに需要拡大中)

大手事業者が長崎で完全養殖 (マグロなど)

中国人の好む高級魚、アカハタの養殖拡大を戦略的に拡大

中国向け輸出、米国向け輸出に強い実績

長崎の戦略的ターゲットは輸出拡大



国  
水産研究・教育機構



長崎大学

長崎大学海洋未来イノベーション機構  
環東シナ海環境資源研究センター

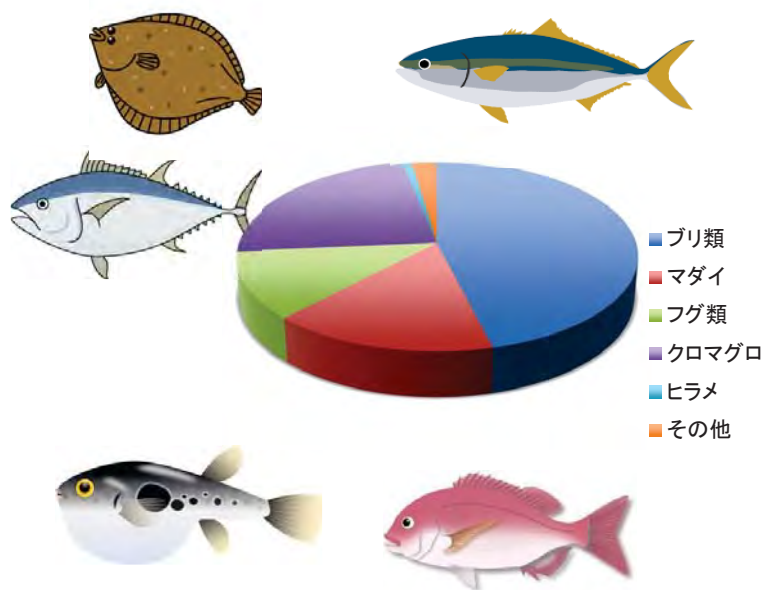


長崎県

総合水産試験場

革新的インテリジェント養殖システムによる海外戦略養殖拠点形成  
～長崎から日本の水産を変える～

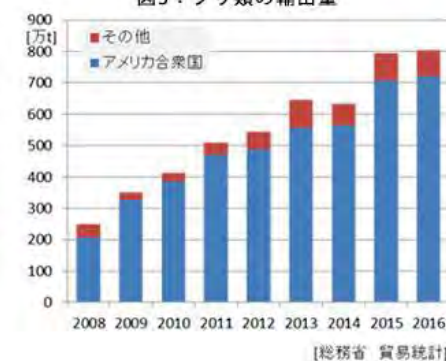
## 世界の主流は養殖魚 Global Aquaculture Production



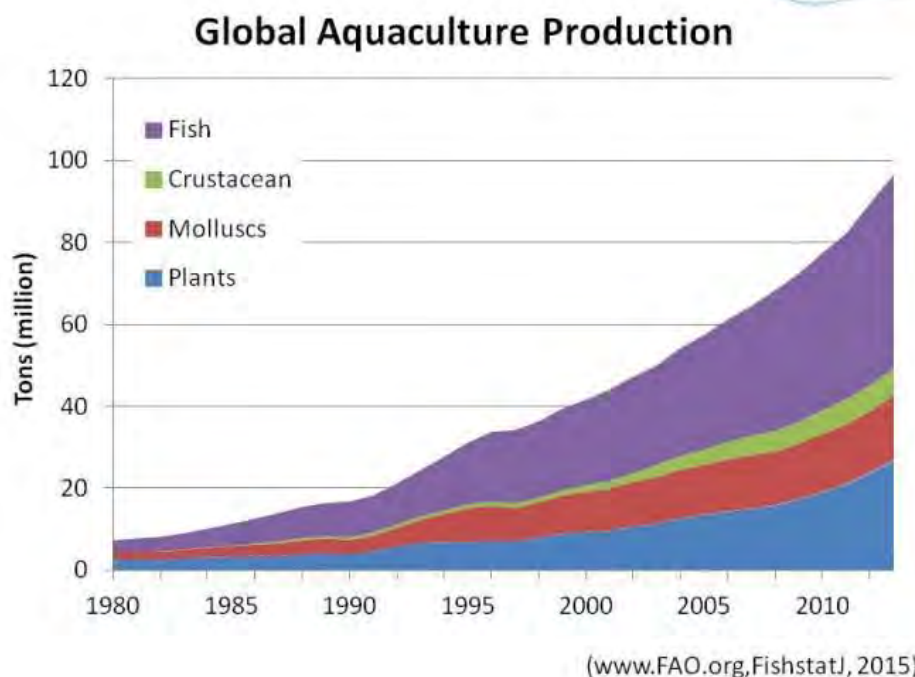
**完全養殖は安全の証。  
輸出証明書に必須。**

天然魚神話は日本の常識、  
世界の非常識。  
何を食べたかが判らない魚は  
安心して食べられない。

図3：ブリ類の輸出量







魚の養殖は世界の成長産業。

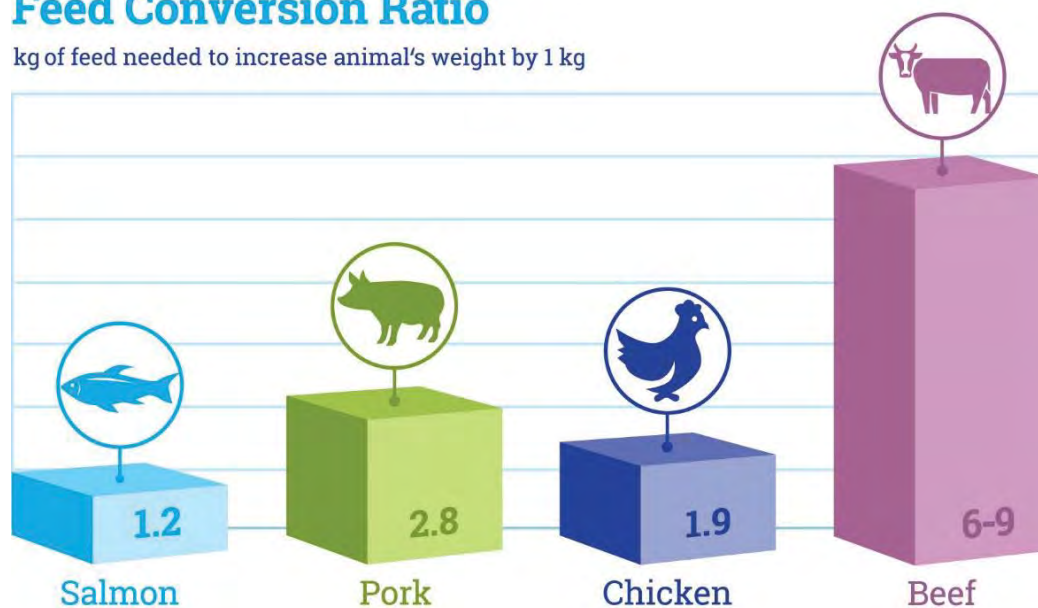
年間生産量は 4千万トン(2004) から 8千万トン(2016) に拡大

65

世界の人口は2015年73億人から2050年に97億人へ（国連人口予測中位推計）。食料供給拡大が大きな課題。魚の養殖は最も効率が優れた手段。

### Feed Conversion Ratio

kg of feed needed to increase animal's weight by 1 kg



For farm-raised salmon, pork, chicken and beef. (Adapted from Global Salmon Initiative, 2016)

66

# 日本の水産政策改革

## 水産政策改革を「農林水産業・地域の活力創造プラン」に位置付け

水産庁は、2018年6月1日(金)、政府の「農林水産業・地域の活力創造本部」において、水産政策改革の具体的な内容を「農林水産業・地域の活力創造プラン(改訂版)」の中に位置づけた。改革の方向性として、水産資源の適切な管理と水産業の成長産業化を両立させ、漁業者の所得向上と年齢のバランスのとれた漁業就業構造を確立することを目指すとし、必要な法整備等を速やかに行うとしている。別紙8で示されている「水産政策の改革について」は全9頁で、改革の具体的な内容が示されており、全国6か所で説明会が開催された。関係学会でも議論が活発に交わされている。

<http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/kaikaku/suisankaikaku.html>

67

## 革新的インテリジェント養殖システムによる海外戦略養殖拠点形成 ～長崎から日本の水産を変える～

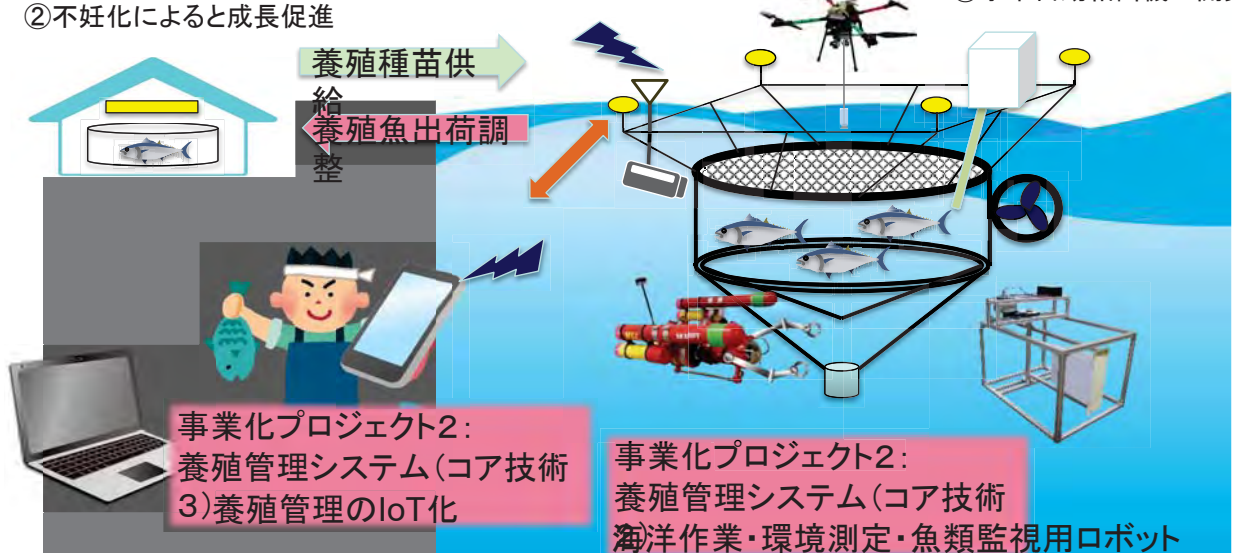
### 基盤構築プロジェクト1: 海外戦略魚の安定生産

- ①ハイブリット型陸上養殖技術を用いた産卵制御による種苗の周年確保(周年採卵)
- ②不妊化による成長促進

### 事業化プロジェクト1: 沖合養殖産業創出(コア技術1)

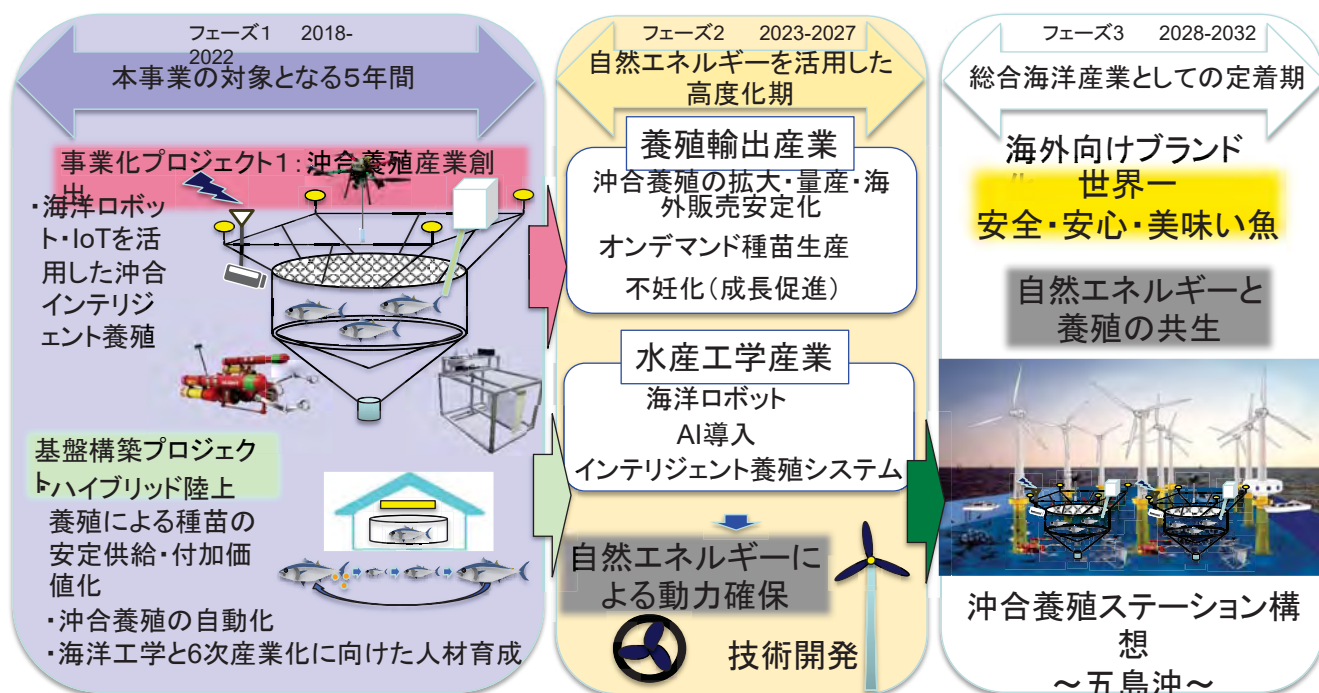
### 基盤構築プロジェクト2: 養殖の自動化技術

- ①沖合養殖のための独立電源小型潮流発電
- ②水中自動給餌機の開発



# 革新的インテリジェント養殖システムによる海外戦略養殖拠点形成 ～長崎から日本の水産を変える～

## ビジョン



## 洋上風力発電の大規模展開とコストダウンを実現するための日本の課題

### 海洋政策

- 課題：一般海域の事業利用に関する法制整備（目的：Bankable Project）  
→ 対策：2018年3月9日閣議決定（法制化を目指す）
- 課題：離島振興とEEZの有効利用 → 離島振興法の制定・改正（2017）

### 電力・エネルギー政策

- 課題：送電線利用率の向上、系統強化  
→ 対策：東北電力等がConnect & Manage開始。（発送電分離は法的分離）
- 課題：風力発電全体の2030年導入目標の引き上げ
- 課題：洋上風力発電の大規模導入（数値目標と海域大規模ゾーニング）← リアリティと成功事例が必要

### 漁業との共生

- 課題：水産業の再生 → 対策：水産政策改革（大企業参入等）（2017～）
- 課題：洋上風力発電の沖合進出と漁業との共生  
→ 対策：養殖における技術イノベーションと漁業の再生  
洋上風力や海洋RE発電と漁業との共生に関する成功事例の創出

### インフラ、サプライチェーン

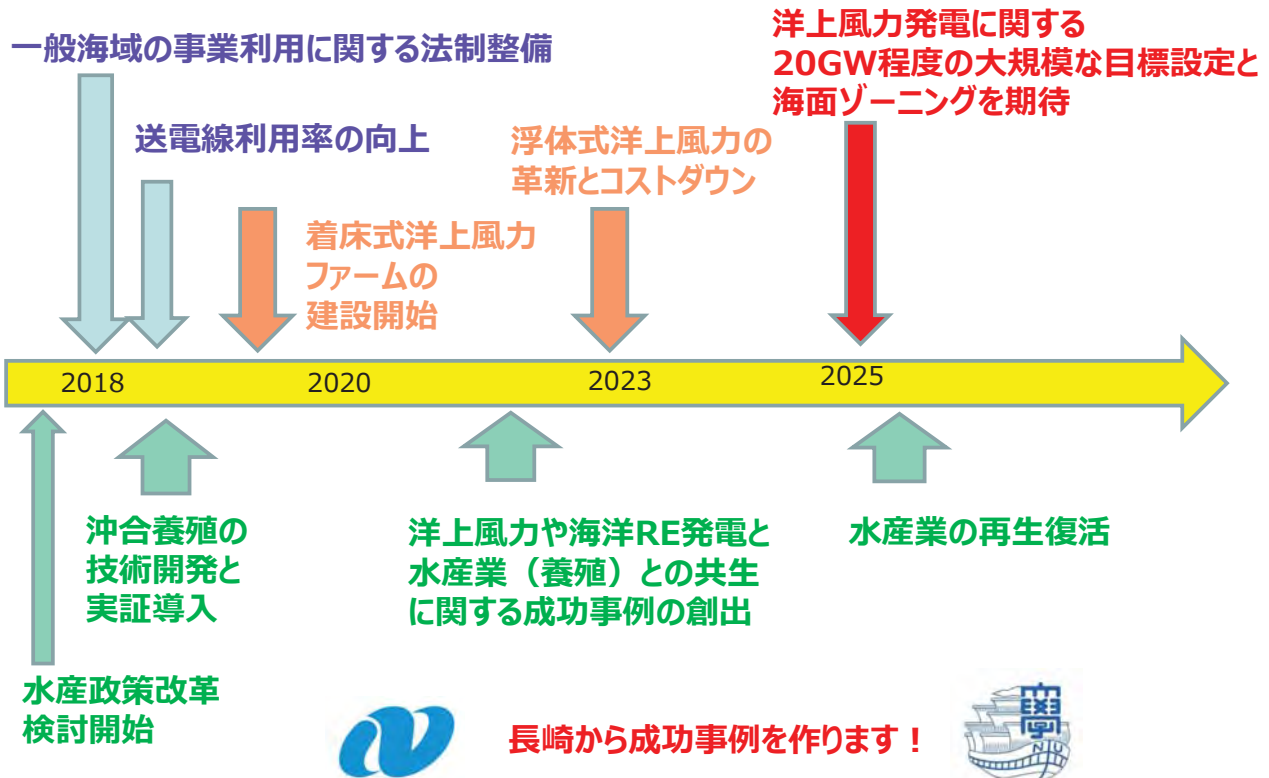
- 課題：インフラとサプライチェーンの整備



長崎から  
成功事例を作ります！



# マイルストーン



71

Thank you for your attention !



Yoichi Oda

Coordinator

Organization for Marine Science and Technology

Nagasaki University

[yo.oda@nagasaki-u.ac.jp](mailto:yo.oda@nagasaki-u.ac.jp)