

風力発電の最新技術動向と環境影響評価に関するシンポジウム(2012.3.29)

# 浮体式洋上風力発電の最新動向

長崎総合科学大学

池上 国広

# 風力発電

再生可能なクリーンエネルギーの代表的なものとして期待されて、その利用技術の開発・実用化に向けての取り組みが世界各国で積極的に展開されている。

## 長所

- ・再生可能で、環境に優しい  
クリーンエネルギー
- ・比較的**低コスト**で事業化容易
- ・**小規模分散型**で、有事の際の  
影響が最小
- ・離島などの**独立電源**としての  
活用
- ・設置や修理が**短工期**

## 短所

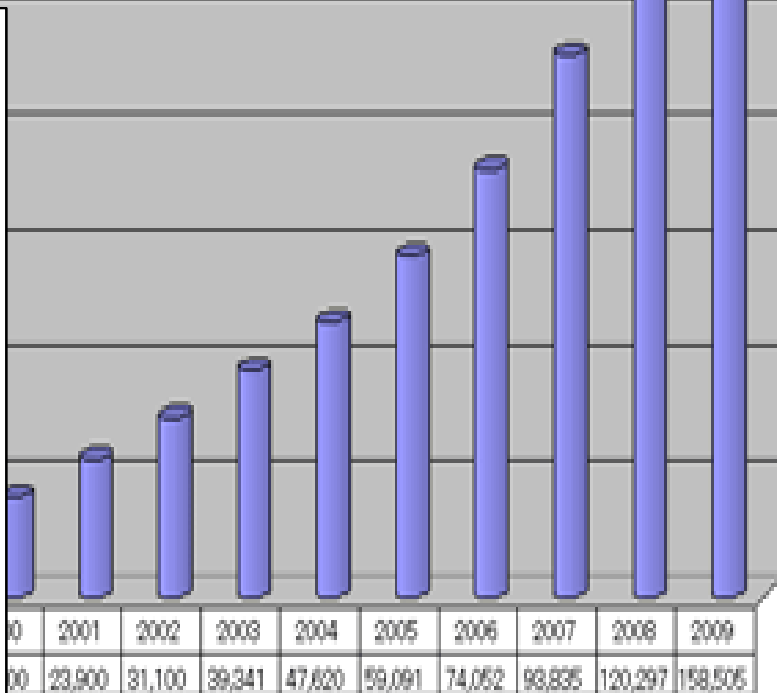
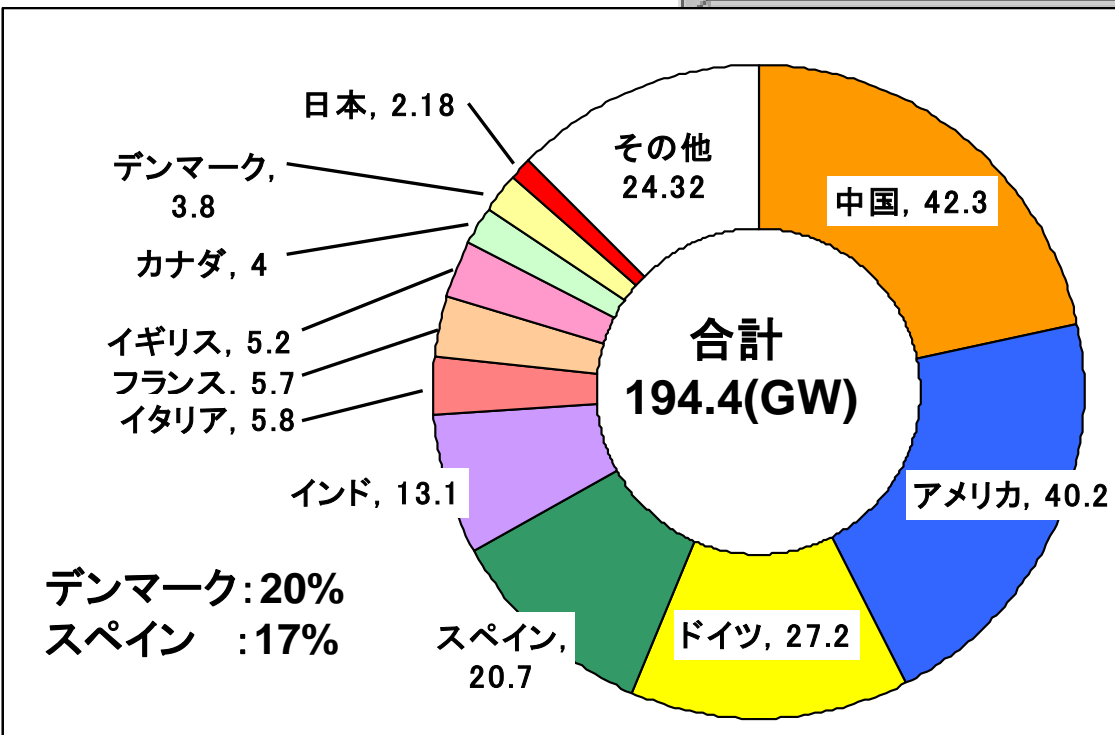
- ・不安定で不確実(出力変動)
- ・周辺環境への影響(騒音、景観)



# 世界の風力発電の導入量

資源量: 世界全体の電力需要量(14TW)の4倍に相当

世界累計設置容量  
(2010年末)  
194.4GW(2.3%)  
4.5~11.5%(2020年)



# 洋上風力発電

陸上風力発電における問題が顕在化し、洋上風力発電に関心

- ・地形や建物による影響が少なく、**風況**が良いため、より安定した発電が可能
- ・**用地**の確保
- ・**賦存量**が大きい
- ・**生態系**への悪影響が懸念されない
- ・**景観、騒音**の問題が緩和

**デンマーク**を中心に建設が進められてきたが、近年になって、欧州全域に広がる勢いを見せ、特に、**英国**の伸びが著しい



Nysted Offshore Wind Farm

デンマーク ロラン島南部設置  
2.3MW×72基=166MW (2003年設置)  
2.3MW×90基=207MW (2010年設置)

# 世界の洋上風力発電所

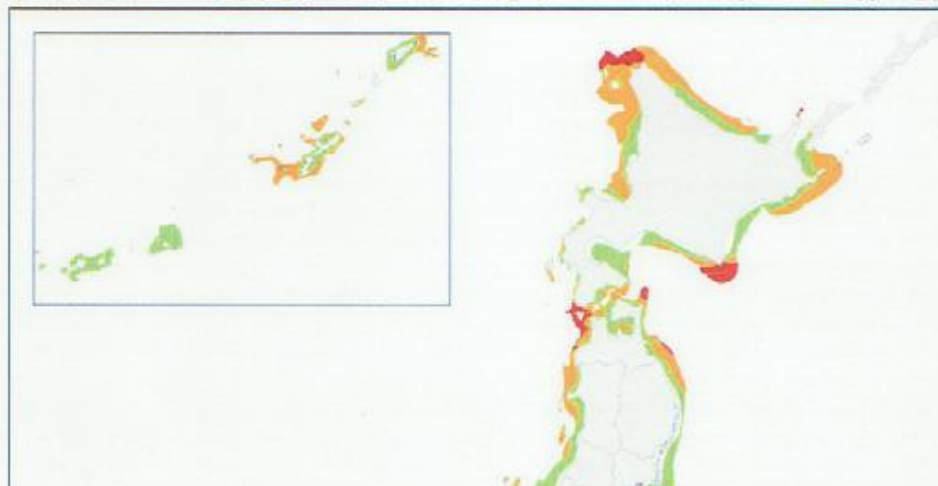
- ・2010年現在、欧州各地に**39**の**着床式洋上風力発電所**があり、**2,396MW**の供給能力
- ・**100GW**以上のプロジェクトが進行中であり、2020年に**40GW**、2030年**150GW**を目標



## 洋上風力発電のランキング

発電所	出力 (MW)	国	メーカーと型番	稼働年
<a href="#">Thanet</a>	300	<a href="#">イギリス</a>	100 × <a href="#">ヴェスタス V90-3MW</a>	2010
<a href="#">Horns Rev II</a>	209	<a href="#">デンマーク</a>	91 × シーメンス 2.3-93	2009
<a href="#">Rødsand II</a>	207	<a href="#">デンマーク</a>	90 × シーメンス 2.3-93	2010
<a href="#">Lynn and Inner Dowsing</a>	194	<a href="#">イギリス</a>	54 × シーメンス 3.6-107	2008
<a href="#">Robin Rigg (Solway Firth)</a>	180	<a href="#">イギリス</a>	60 × シーメンス	2010
<a href="#">Gunfleet Sands</a>	172	<a href="#">イギリス</a>	48 × シーメンス 3.6-107	2010
<a href="#">Nysted (Rødsand I)</a>	166	<a href="#">デンマーク</a>	72 × シーメンス 2.3	2003

# 日本の洋上風力の導入ポテンシャル



## 開発不可条件

### 自然条件

風速: 6.5 m/s 未満

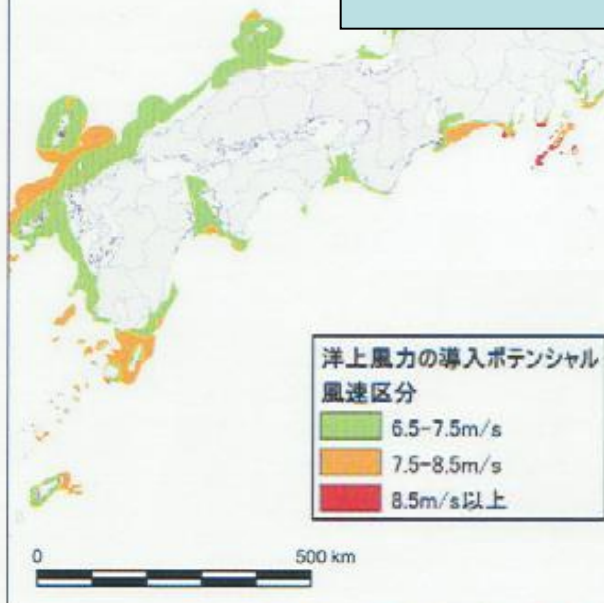
離岸距離: 30 km 以上

水深: 200 m 以上

### 社会条件

法規制区分: 国立・国定公園(海域公園)

## 洋上風力の開発・普及に期待



風速区分	面積 (km <sup>2</sup> )	設備容量 (万 kW)	比率
6.5~7.0m/s	40,561	40,561	25.8%
7.0~7.5m/s	55,917	55,917	35.6%
7.5~8.0m/s	36,852	36,852	23.4%
8.0~8.5m/s	17,903	17,903	11.4%
8.5m/s以上	6,029	6,029	3.8%
合計	157,262	157,262	100.0%

※本調査では着床式と浮体式を区分していない。

※設備容量は1万kW/km<sup>2</sup>で算定している。

(陸上: 28,294万kW)

図 4-15 洋上風力の導入ポテン:

# 日本の洋上風力発電

・着床式の実績が出てきつつある。

海岸部設置：3施設（瀬棚町、サミットウィンドパワー酒田、ウインドパワーかみす）設置

沖合設置：NEDOで実証試験実施中

設置水深が浅水域（水深50m程度）に限定

せたな町洋上風力発電施設「風海鳥」

サミットウィンドパワー酒田洋上風力発電所

瀬棚の風が、美しい地球を未来へつなげる原動力です。



600kW x 2基（2004年設置）

ブレード直径 47m, ハブ高さ 47m

防波堤背後のドルフィン型基礎上に設置

町単独事業



2,000kW x 5基（2004年設置）

ブレード直径 80m, ハブ高さ 60m

岸壁に近接

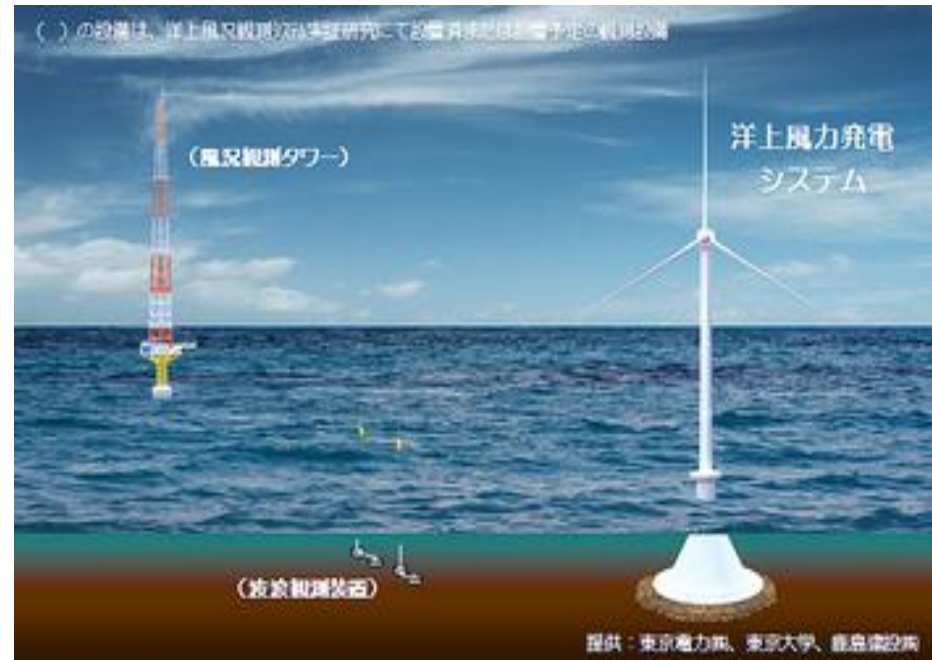
# 日本の洋上風力発電

ウインド・パワーかみす洋上風力発電所



2MW×7基 (2010年設置)  
ブレード直径 80m, ハブ高さ 60m  
モノパイル基礎(鋼製モノパイル)  
護岸から50mの外洋

NEDO洋上風力発電システム実証研究



銚子沖3km、2010年度～2013年度  
着床式

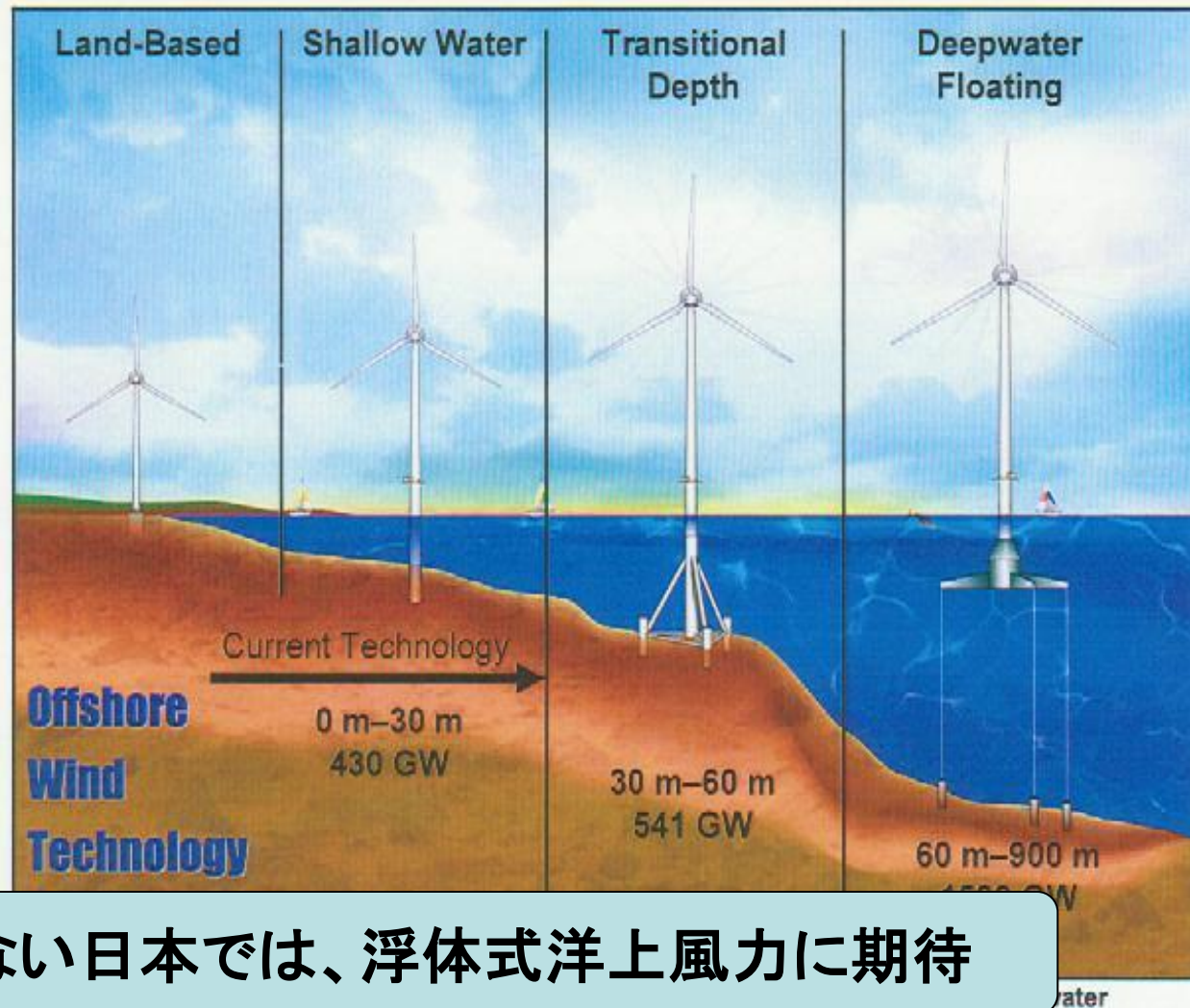
発電システム、保守管理技術開発  
設計指針作成、環境影響評価



# 洋上風力発電の種類

水深によって異なったタイプの基礎

- ・水深30m未満  
着床式洋上風力  
直径6m程度の円柱型
- ・水深60m程度まで  
着床式洋上風力  
3脚のパイル構造  
鋼鉄製のジャケット構造
- ・大水深  
浮体式洋上風力



遠浅の少ない日本では、浮体式洋上風力に期待

# 浮体式洋上風力発電の種類

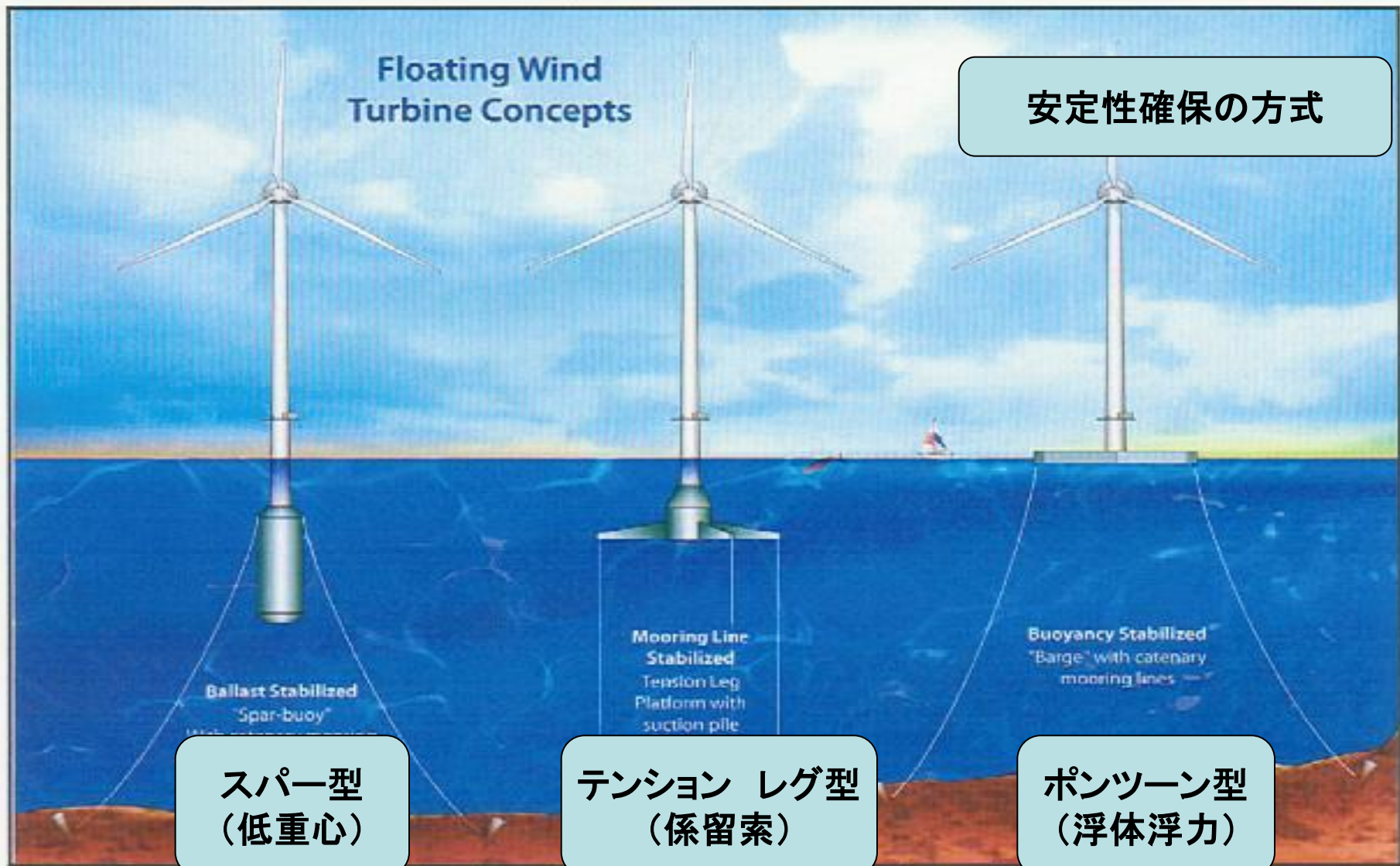


Figure 1-2. Floating platform concepts for offshore wind turbines

# 世界の浮体式洋上風力発電

- ・欧州を中心にして、浮体式洋上風力発電の開発進展中
- ・イタリアで実海域での模型試験、ノルウェーで世界初の実証試験
- ・2011年に入り、さらに2ヶ所で実証実験開始

Blue H (イタリア)



イタリア プツリャ州の南東21km沖設置(2008年)  
¾ scale model, 8か月で撤去  
設置水深:113m  
Tension leg 係留システム

Hywind (ノルウェー)



ノルウェー南西海岸10km沖設置(2009年6月)  
風車: Siemens製 2.3MW  
設置水深:200m  
鋼製スパー型、喫水100m、カテナリー係留

# 世界の浮体式洋上風力発電

SWAY (ノルウェー)



ノルウェー ベルゲン沖設置(2011年3月)  
1/6 scale model、5MWを想定  
異常気象に遭遇し、浸水して沈没

WindFloat (ポルトガル)



ポルトガル アグサドウラ沖設置(2011年)  
風車: Vestas製 V80-2.0MW  
浮体: セミサブ型、チェーンと繊維索係留

# 日本の浮体式洋上風力発電

ハイブリッドスパー型(環境省、京大)



五島市柁島沖1キロ(2010年度～2015年度)

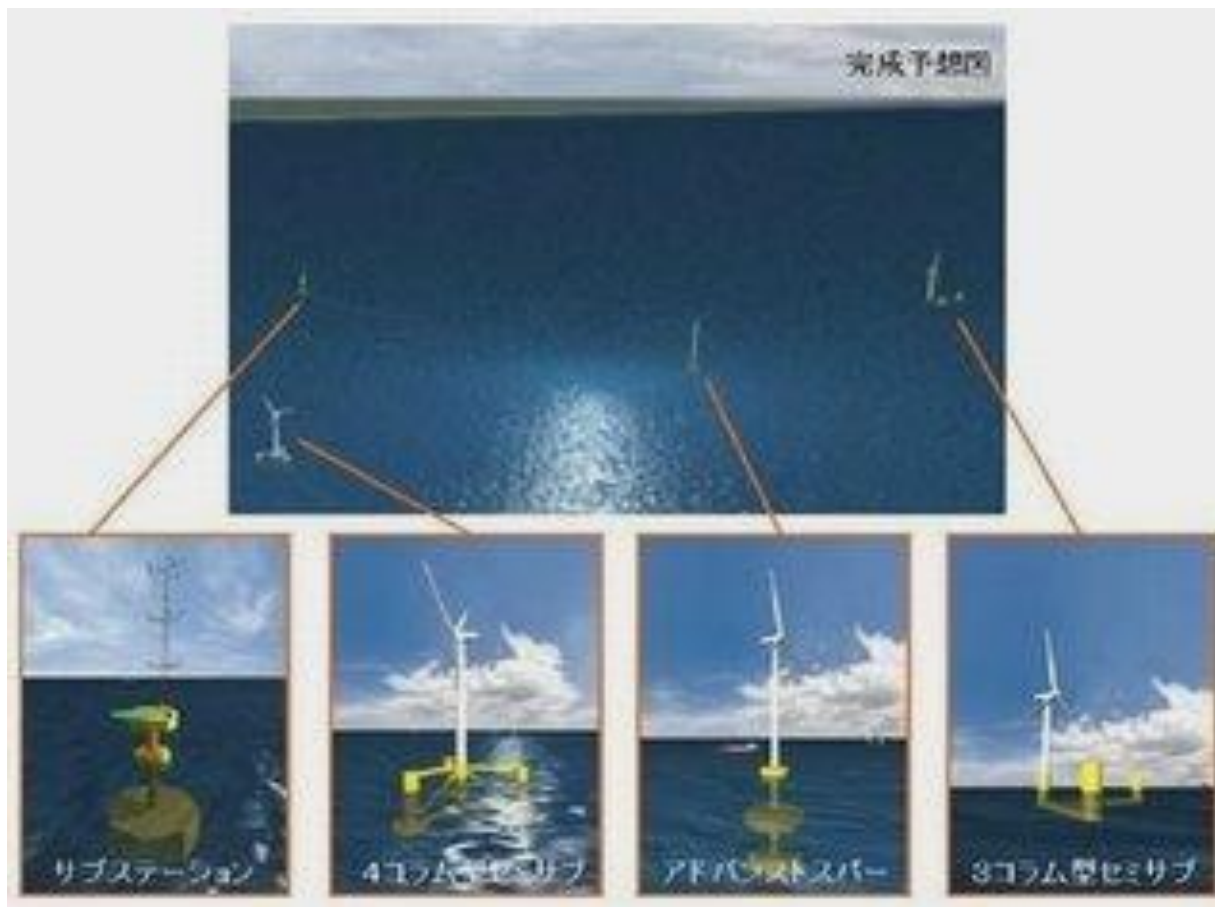
風レンズ風車(福岡市、九大)



福岡市海の中道沖(2011年12月)  
3KW風車2基

# 日本の浮体式洋上風力発電

福島復興・浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業(経産省、丸紅)



福島県沖合最大40キロ (2011年度～2015年度実施)  
浮体式風車(2MW1基、7MW2基)と浮体式変電所1基を建設

## 環境省委託事業

# 浮体式洋上風力発電実証事業

世界で3例目、我が国初の浮体式洋上風力発電の実海域実証事業

- スケジュール

- H22 地域受容性評価、環境影響評価方法検討、基本設計

- H23 小規模試験機設計・建造、実証機詳細設計、気海象調査、環境事前調査

- H24 小規模試験機設置・実証運転、実証機建造、気海象調査、環境調査

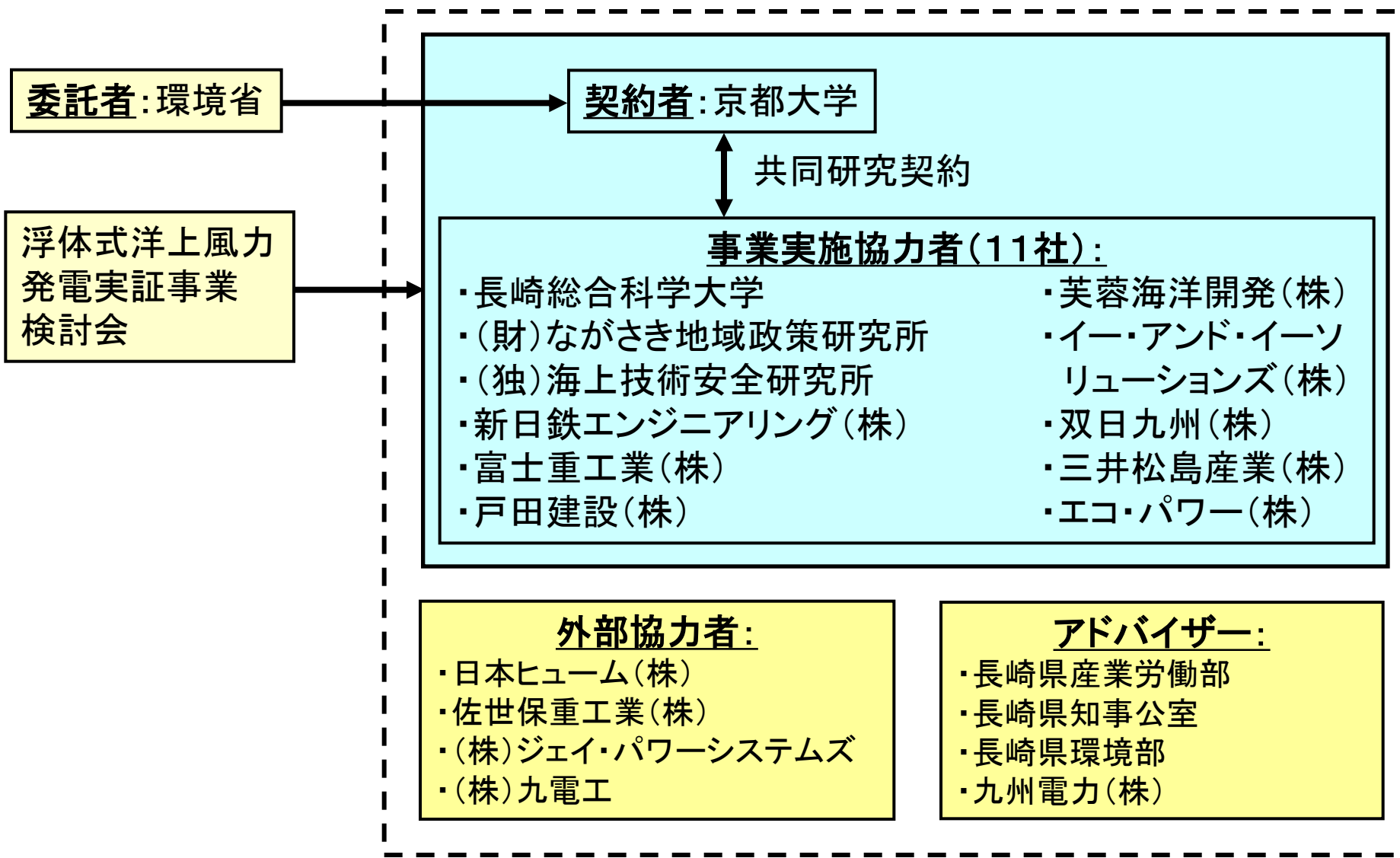
- H25 実証機設置・実証運転、気海象調査、環境調査

- H26 実証運転、気海象調査、環境調査

- H27 実証運転・実証機撤去(予定)、事業性等の評価、環境調査・手法検証

# 業務実施体制

(平成22年度)





# 業務実施体制

(平成23年度以降)

委託者:環境省

浮体式洋上風力  
発電実証事業  
検討会

## 共同事業実施者(5社):

- ・戸田建設(株)
- ・芙蓉海洋開発(株)
- ・(独)海上技術安全研究所
- ・富士重工業(株)
- ・京都大学

共同研究契約

## 外部協力者(9社):

- ・長崎総合科学大学
- ・新日鉄エンジニアリング(株)
- ・(株)ジェイ・パワーシステムズ
- ・佐世保重工業(株)
- ・エコ・パワー(株)
- ・(財)ながさき地域政策研究所
- ・日本ヒューム(株)
- ・イー・アンド・イーソリューション(株)
- ・(株)九電工

## アドバイザー:

- ・長崎県産業労働部
- ・長崎県環境部
- ・九州電力(株)
- ・長崎県企画振興部
- ・長崎県水産部
- ・(財)日本海事協会

# 実証施設設置海域

五島市柗島 天見ヶ浦沖合い1 kmの地点を選定

## ・自然条件

水深: 約96 m

年平均風速: 6.95 m/s (高度60 m)

極値風速: 53.1 m/s (50年)

有義波高: 7.7 m (50年)

潮流: 最大流速 1.05 kt

## ・社会的条件

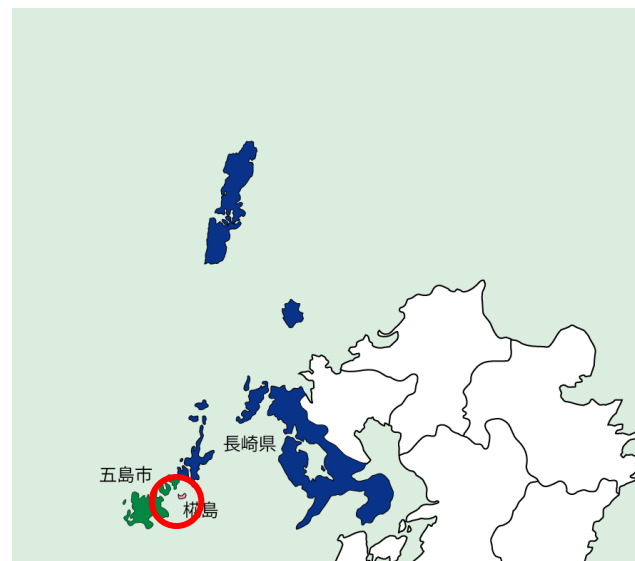
共同漁業権: 五島ふくえ漁協

地元自治会: 柗島自治会

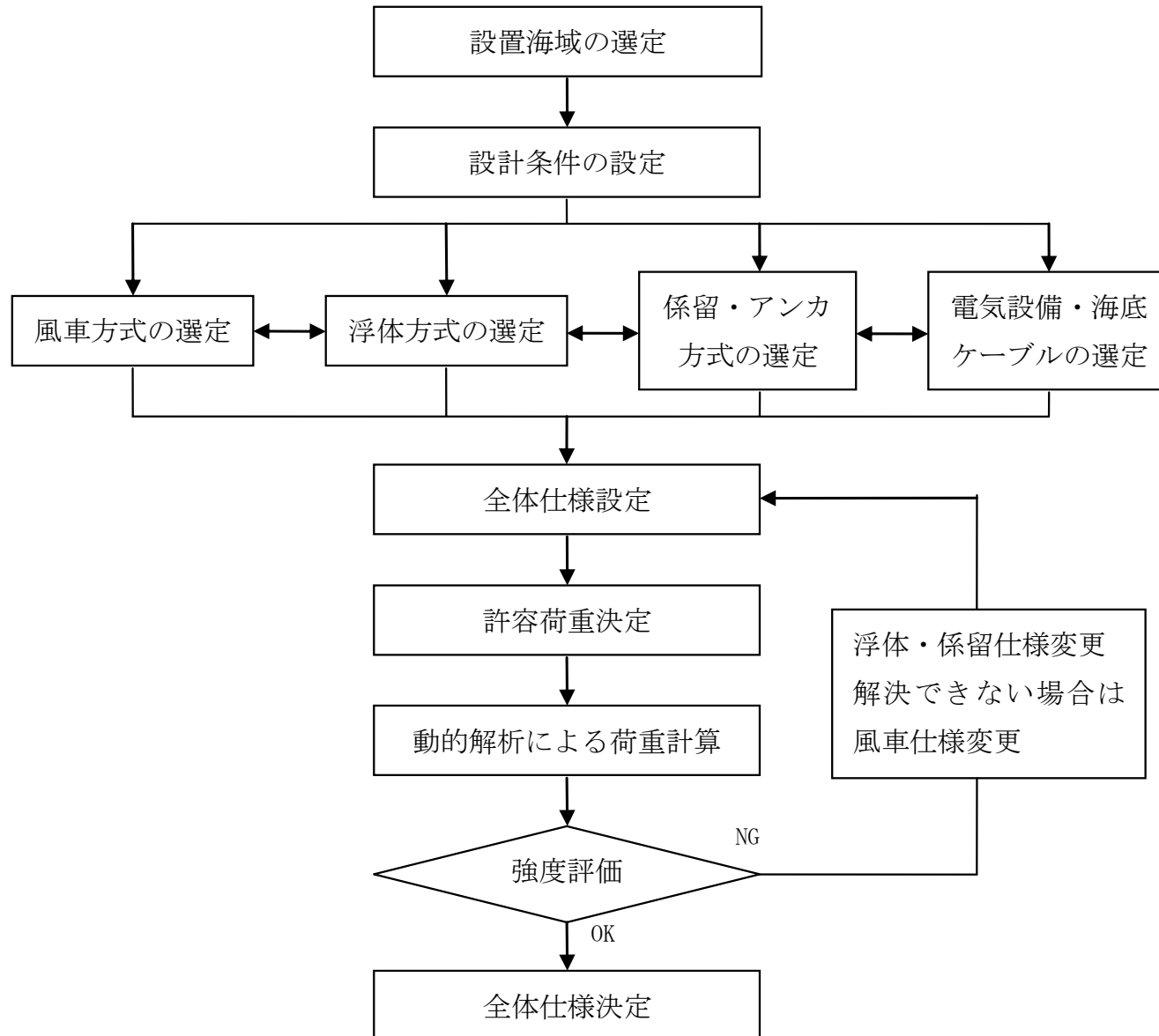
景観: 海域付近に美観地区なし

航路: 定期船の航路なし

航空路: 空港の制限区域に  
該当せず



# 基本設計フロー



# 基本仕様

## スパー型2MW級

### 浮体形式:

#### スパー型

- ・単純円筒形状で、水線面積小
- ・PCコンクリートと鋼のハイブリッド構造

### 風車方式:

#### 2MWダウンウインド風車

- ・水平軸3枚翼プロペラ式
- ・タワー:モノポール型

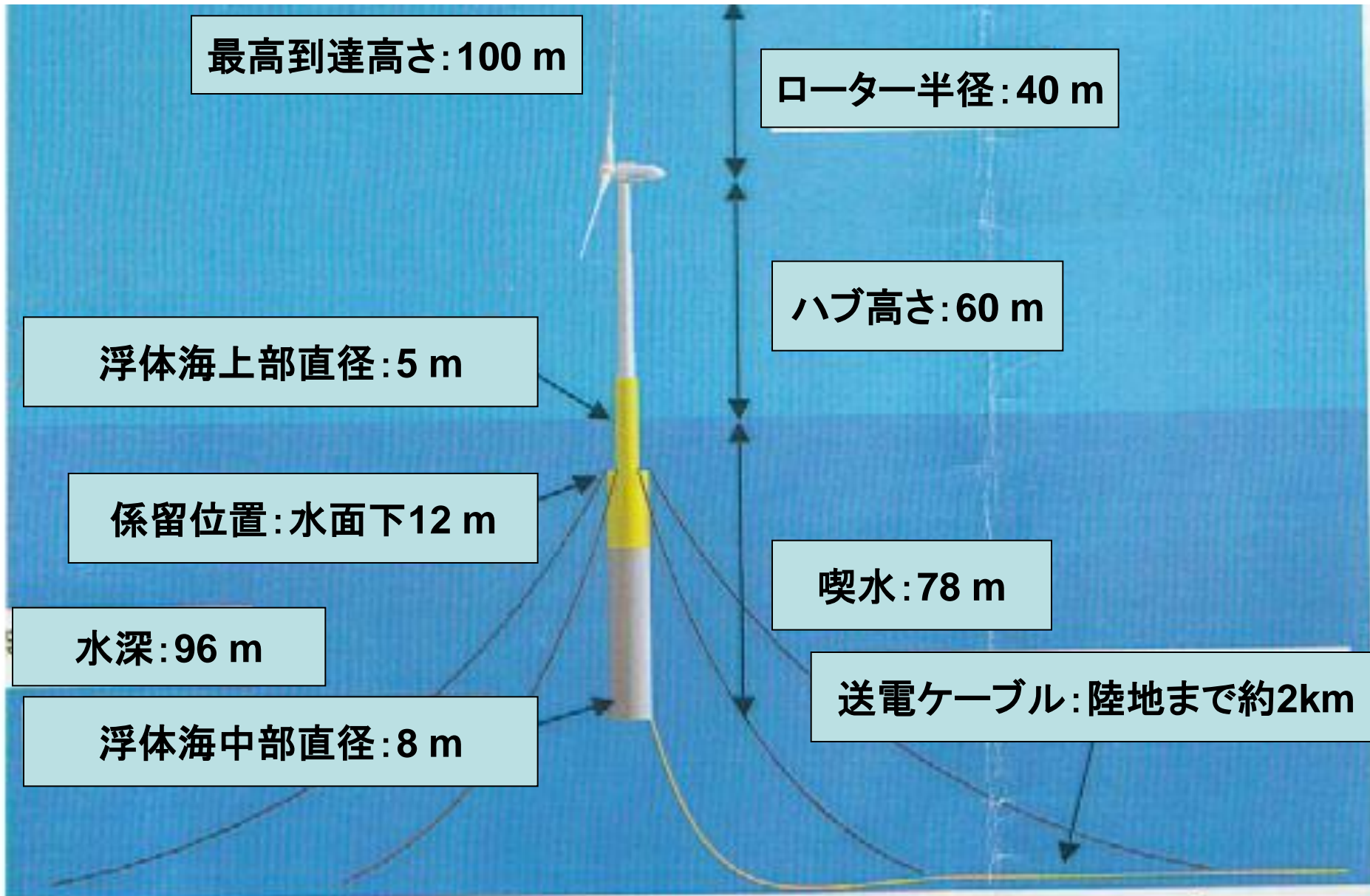
### 係留方式:

#### カテナリー係留方式

- ・アンカーチェーン
- ・アンカー: Drag Anchor方式

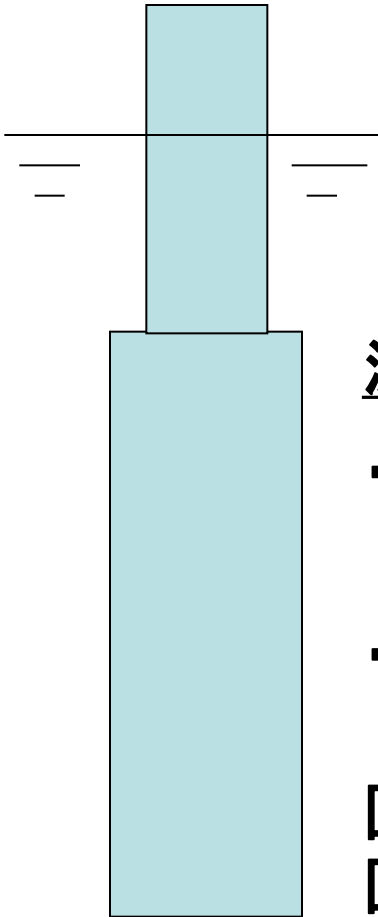


# 主要寸法



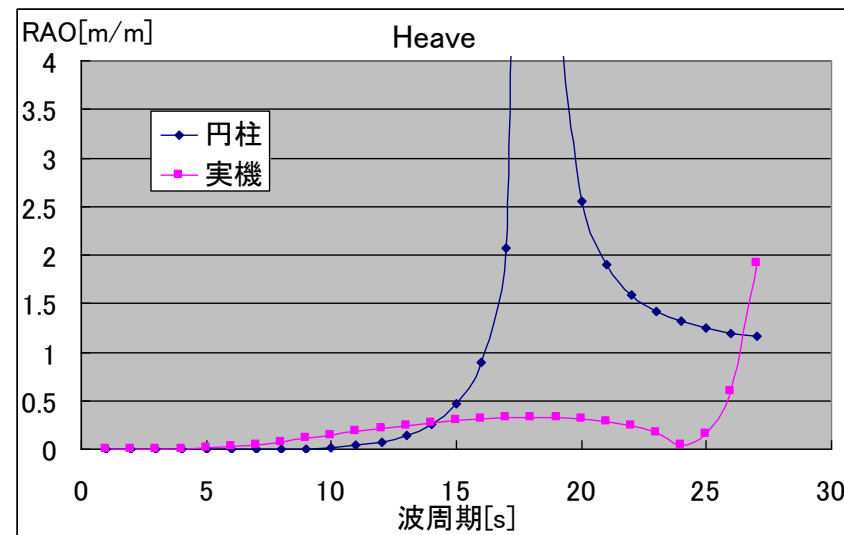
# スパー型浮体の特徴

- ・単純円筒形状で構造がシンプル、低コスト
- ・重心を下にすることで復原性を確保
- ・水線面積が小さいため、波力の影響が小さい



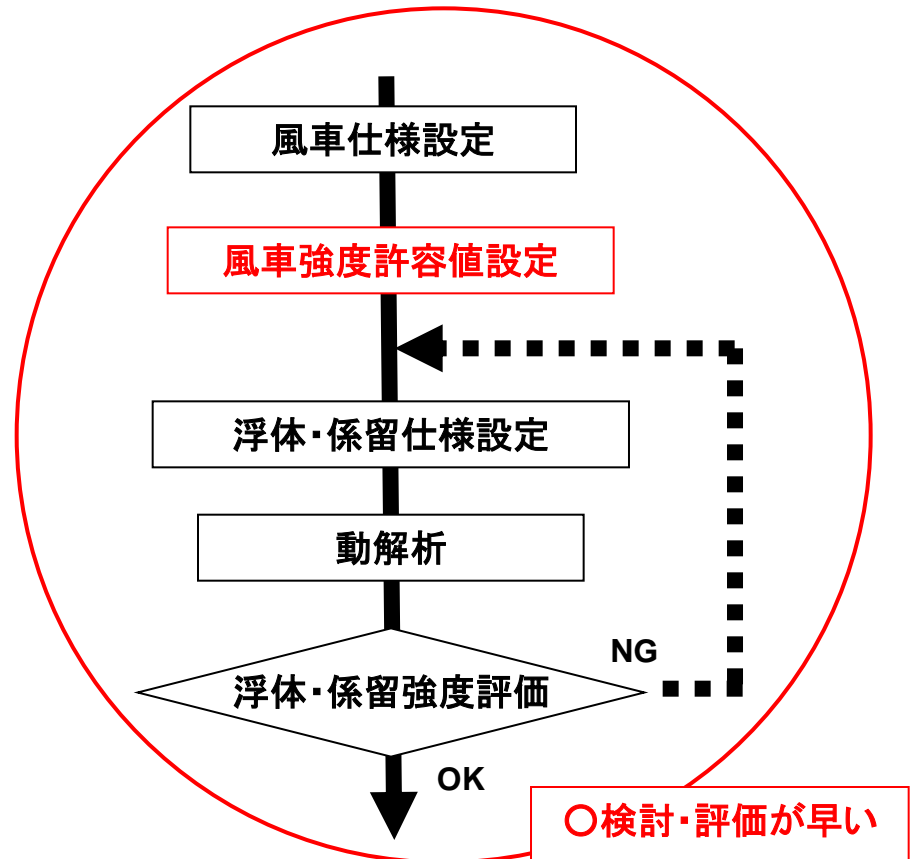
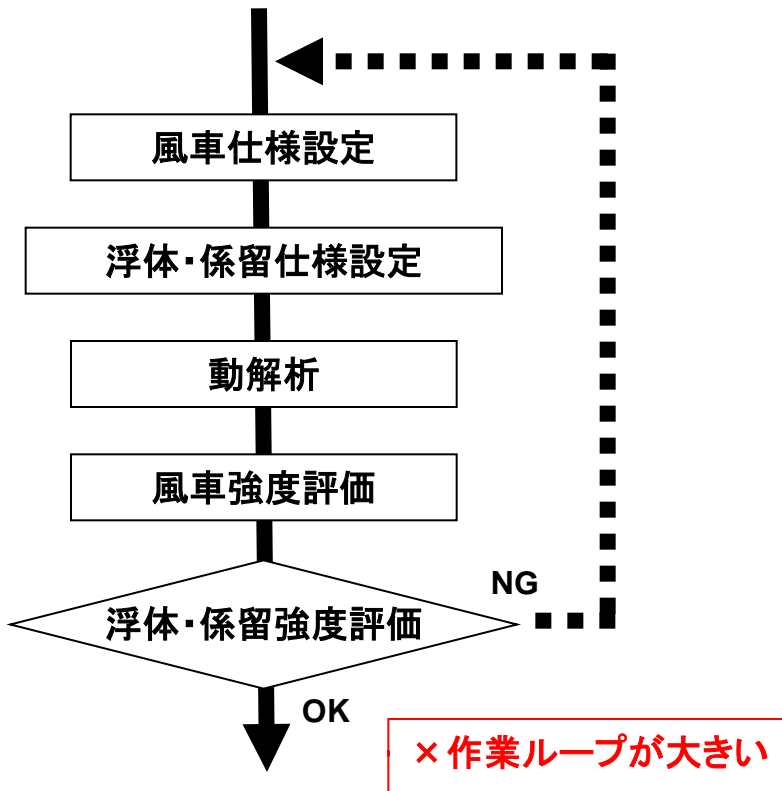
## 波浪応答特性

- ・波なし形状：  
波浪応答が小さい
- ・ジャイロ効果：  
風車のブレードの回転に伴って浮体軸回り運動が発生する

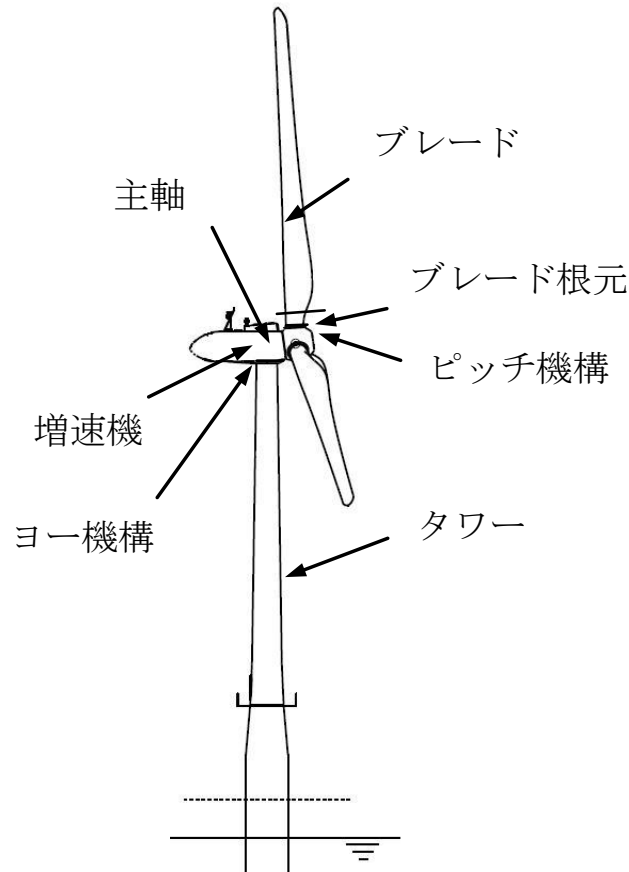


# 強度照査手法

短時間で最適設計をする為に、風車側の仕様を設定、クライテリアを定めて浮体側だけで設計ループを回せるようにした。



# 風力発電機の許容荷重



許容荷重設定部位

## ローターハブ・ナセル各部の許容荷重

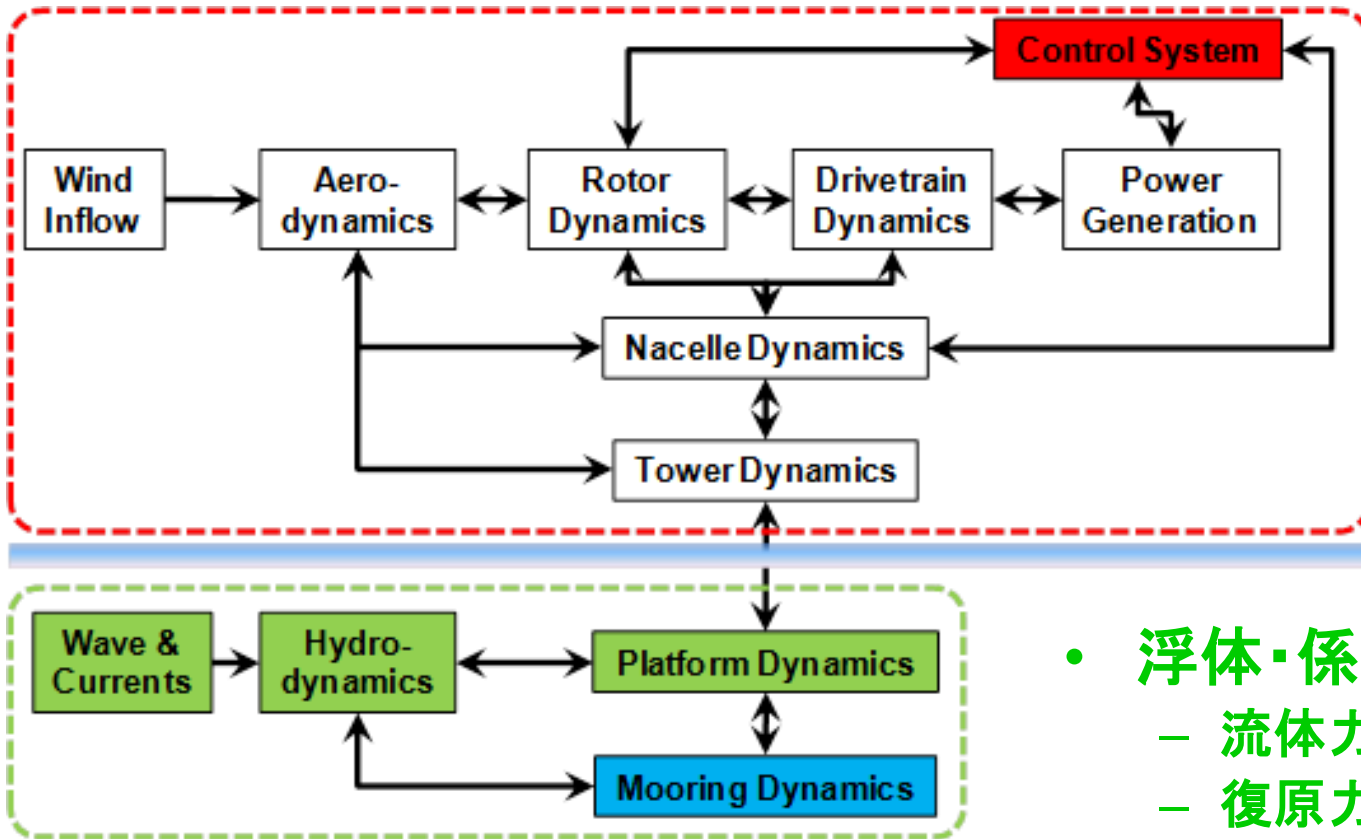
部 位	等価許容荷重
ブレード接続部	8,000 kNm
ピッチ機構	45,000 kN
主軸	20,000 kN
増速機	3,500 kN
ヨー機構	50,000 kN



# 解析法概要

## • 風車

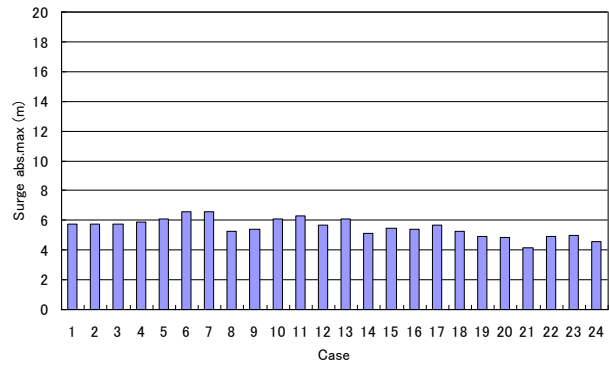
- 風車空力弾性解析ソフト:  
**FAST**
- 風車制御:外部コントローラ



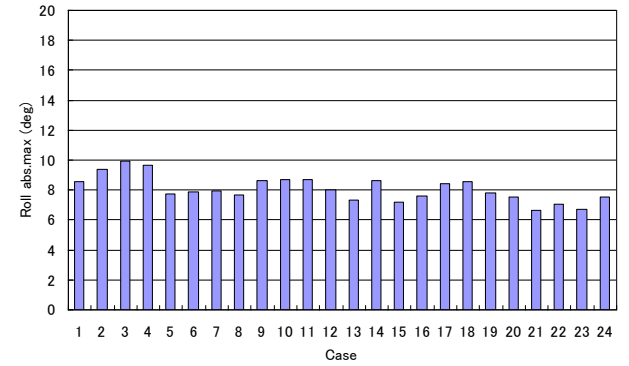
## • 浮体・係留系

- 流体力:Morison式
- 復原力:線形バネ
- 係留力:カテナリー理論

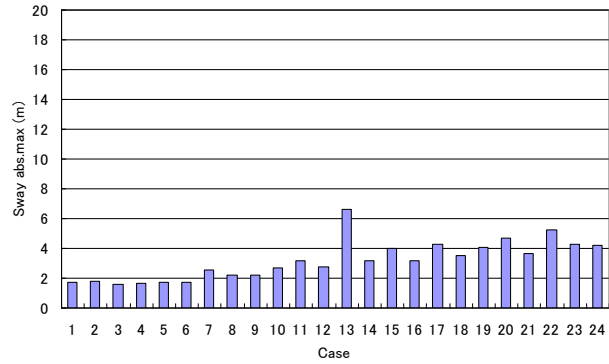
# 浮体変位 (DLC6.1a)



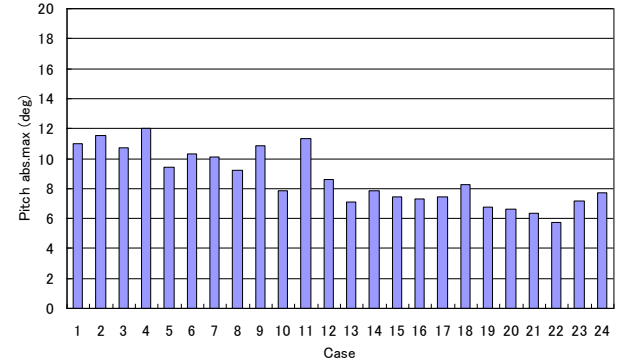
SURGE



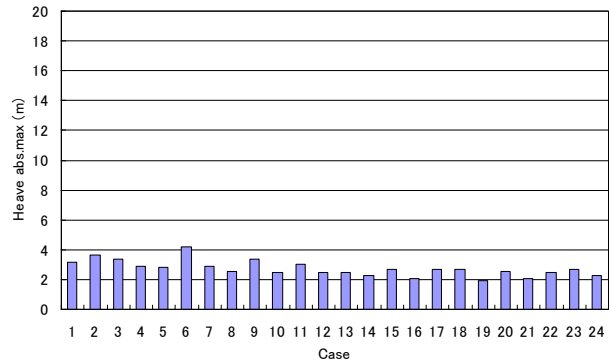
ROLL



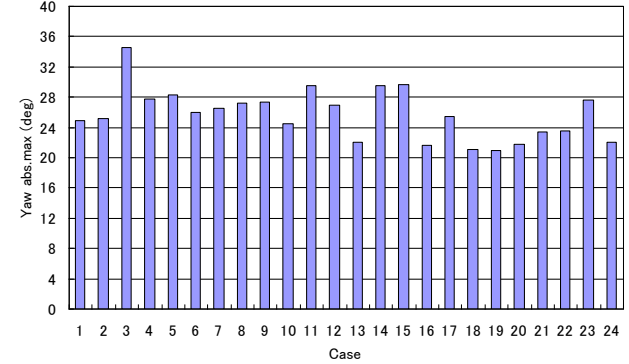
SWAY



PITCH



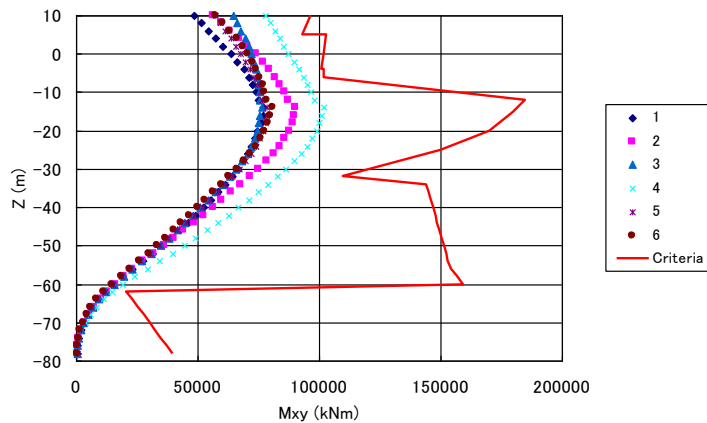
HEAVE



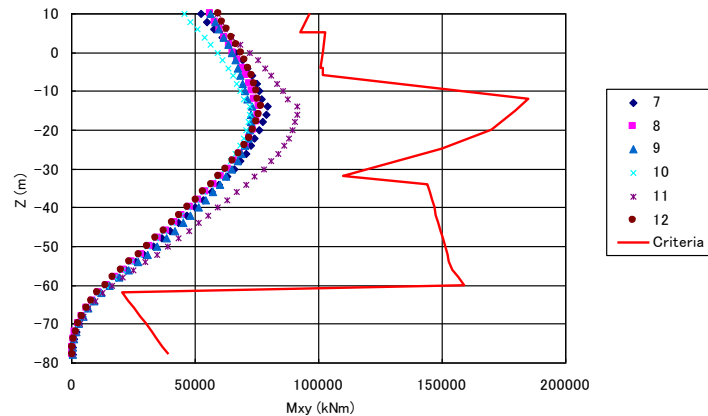
YAW

Case	1~6	7~12	13~18	19~24
$\theta$	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$

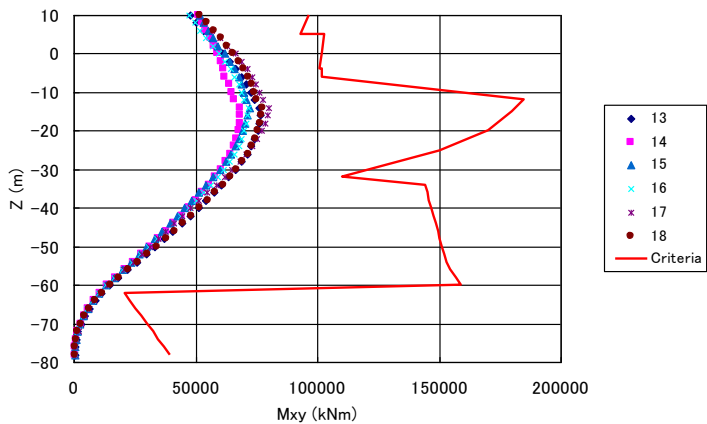
# 浮体曲げ (DLC6. 1a)



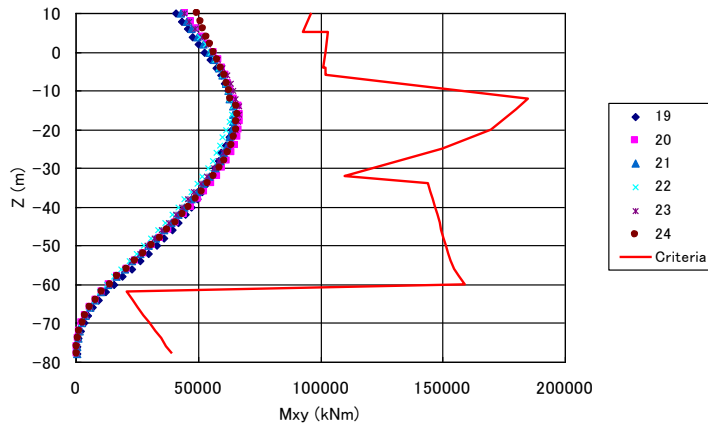
$\theta = 0\text{deg}$



$\theta = 30\text{deg}$



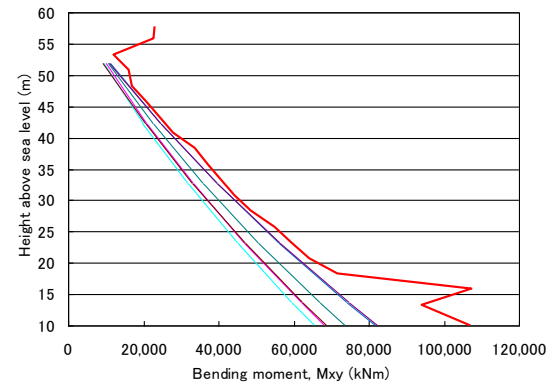
$\theta = 60\text{deg}$



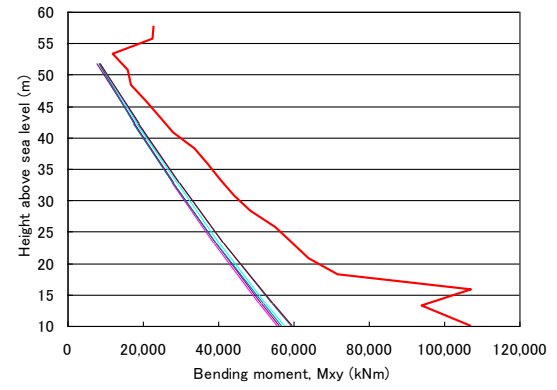
$\theta = 90\text{deg}$

# タワー (DLC6. 1a)

許容値に対するタワー  
設計荷重  
(限界状態設計法)

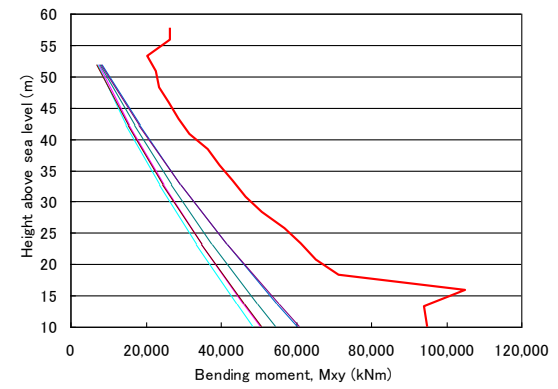


$\theta = 0\text{deg}$

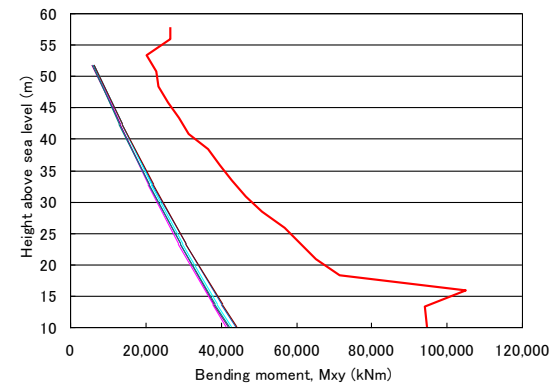


$\theta = 90\text{deg}$

許容値に対するタワー  
設計荷重  
(許容応力度設計法)



$\theta = 0\text{deg}$



$\theta = 90\text{deg}$

# 気象・海象調査

## 目的

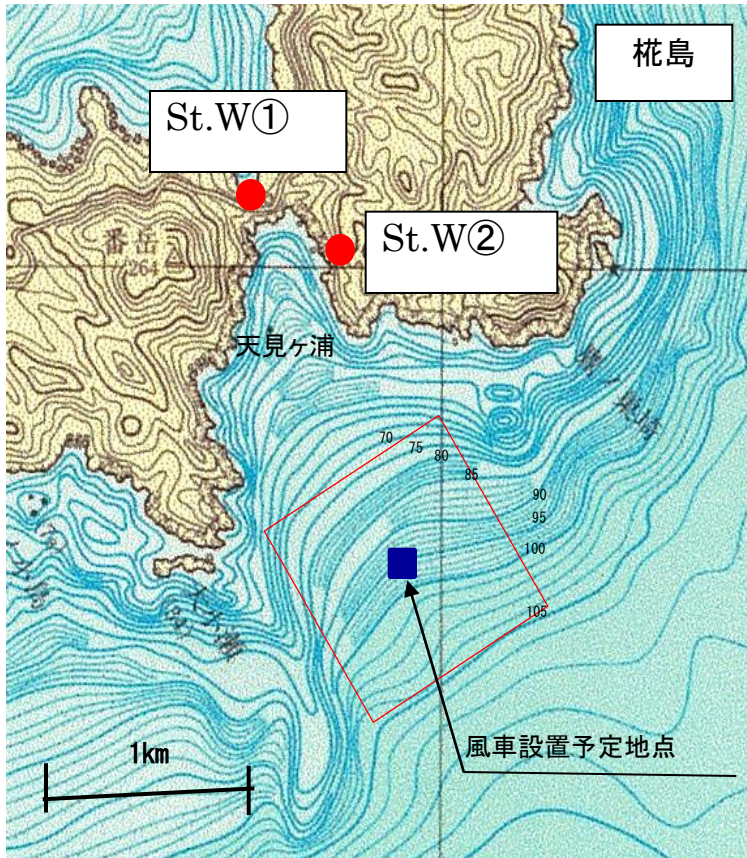
実証候補海域の風況、波浪、流況の特性を把握するとともに、浮体式洋上風力発電設備設計条件の基礎データを取得する。

## 調査項目

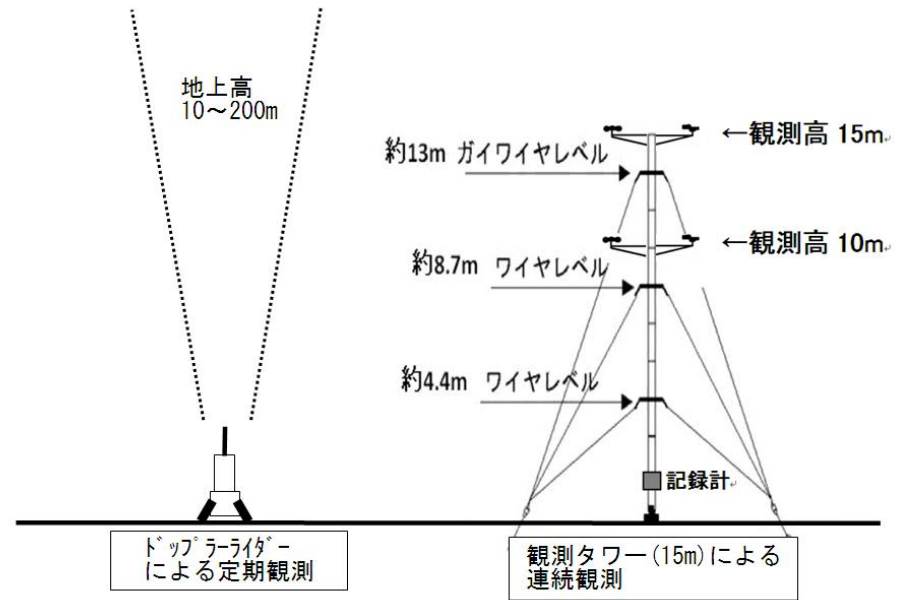
- ・地上風調査
- ・波浪調査
- ・流況調査

# 気象調査

## 地上風観測



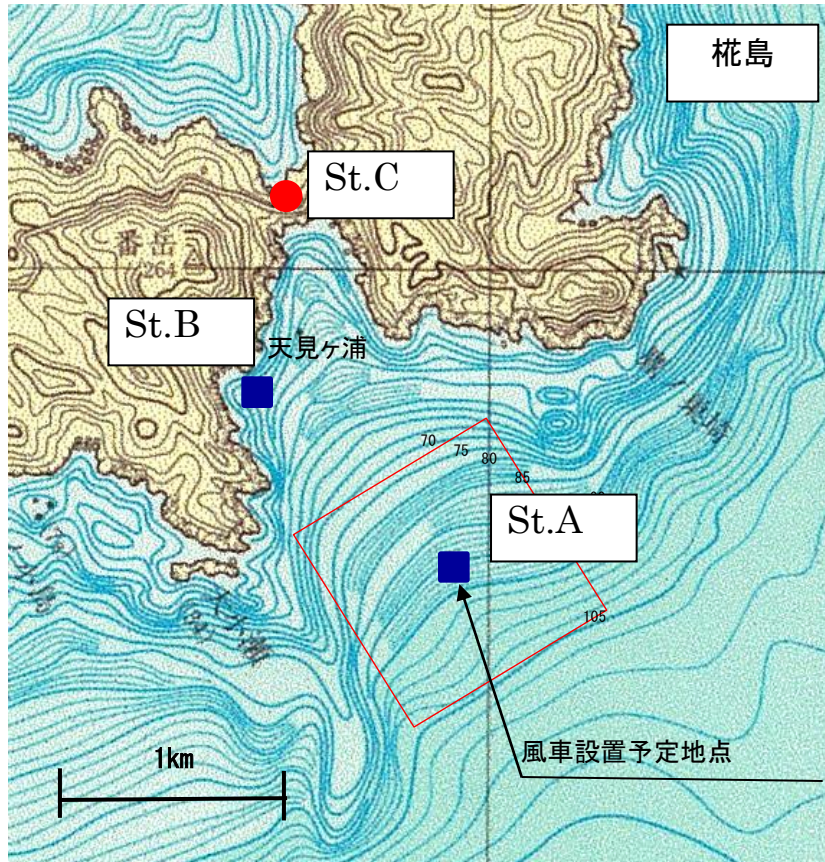
● : 地上風観測地点



地上風観測機器

# 海象調査

## 波浪・流況観測



- ブイ式波浪計 (St. A)
  - H23. 2. 23～H23. 3. 25
  - H23. 4. 22～

- 海底設置型波浪計 (St. B)
- 電磁流速計 (St. A、St. B)
  - H23. 8. 11～H23. 9. 11

- Xバンドレーダー (St. C予定)
  - H23. 9～H23. 11 (予定)



ブイ式波浪計



海底設置型波浪計

# 環境影響評価

洋上風力発電の普及には、環境影響の評価が不可欠

## 環境の自然構成要素の良好な状態の保持

- ・大気環境 : 騒音、低周波音
- ・水環境 : 濁度、底質(硫化物、粒度組成)
- ・地形 : 海底地形

## 生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全

- ・海域植物 : 海藻草類
- ・海域動物 : 底生生物、魚介類、海産哺乳類
- ・動物 : 鳥類
- ・生態学的に重要なエリア : 藻場、干潟、サンゴ礁
- ・生態系 : 重要種の生態との関連
- ・その他生物環境 : 水中騒音

## 人と自然との豊かな触れ合い

- ・景観 : 景観資源



# 環境調査

## 目的

環境影響評価を行なうため、調査して環境データを取得する。

## 調査項目

- ・騒音・低周波音
- ・濁度、底質
- ・海藻草類、底生生物、魚介類
- ・海産哺乳類
- ・鳥類
- ・生態系
- ・水中騒音
- ・景観
- ・漁業環境基礎調査
- ・漁業実態調査

# 騒音、低周波音



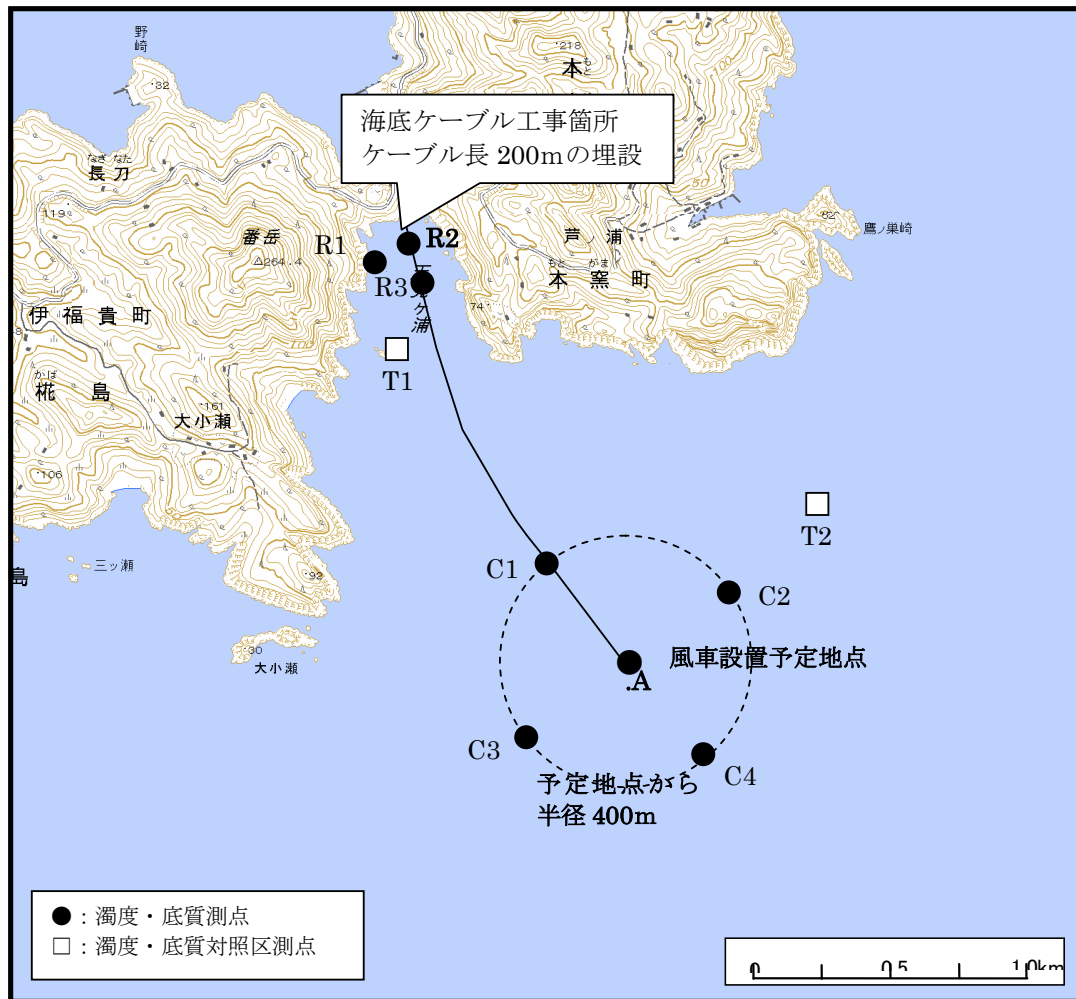
騒音調査イメージ



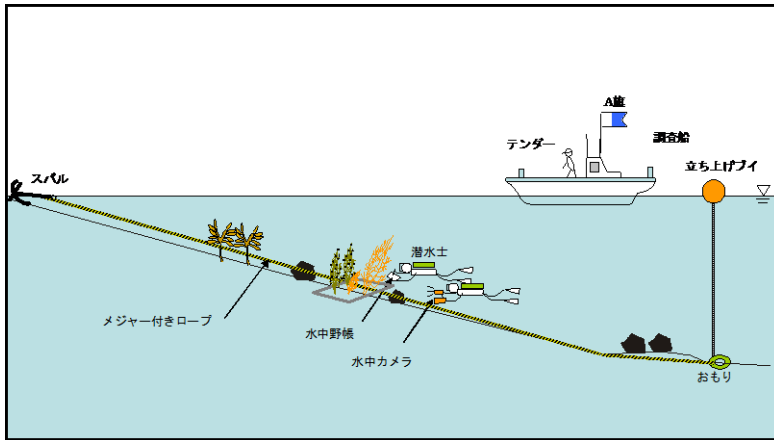
# 濁度、底質



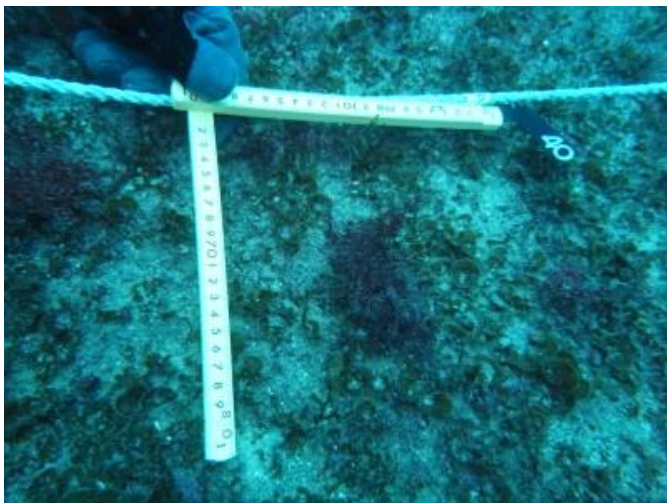
濁度測定器  
(クロロテック)



# 海藻草類



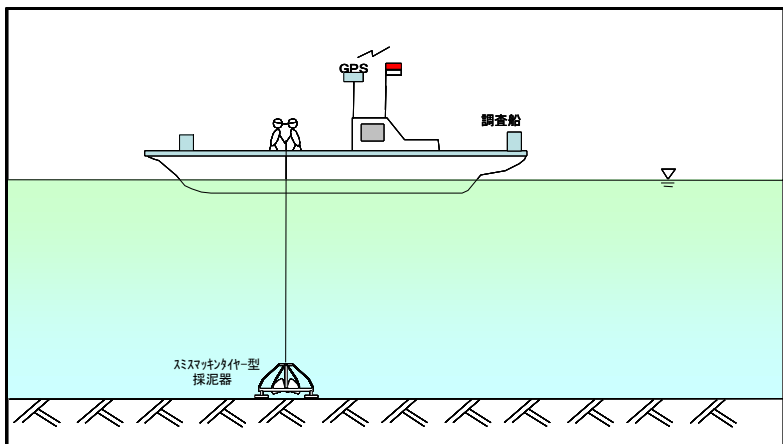
潜水士による観測状況



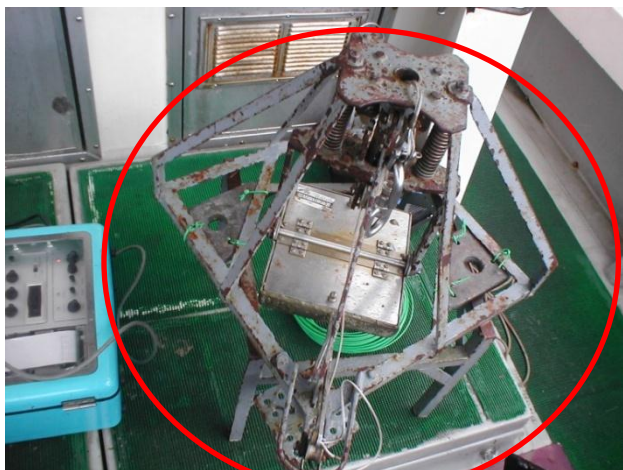
海藻草類観察  
(中央の海藻はオバクサ)



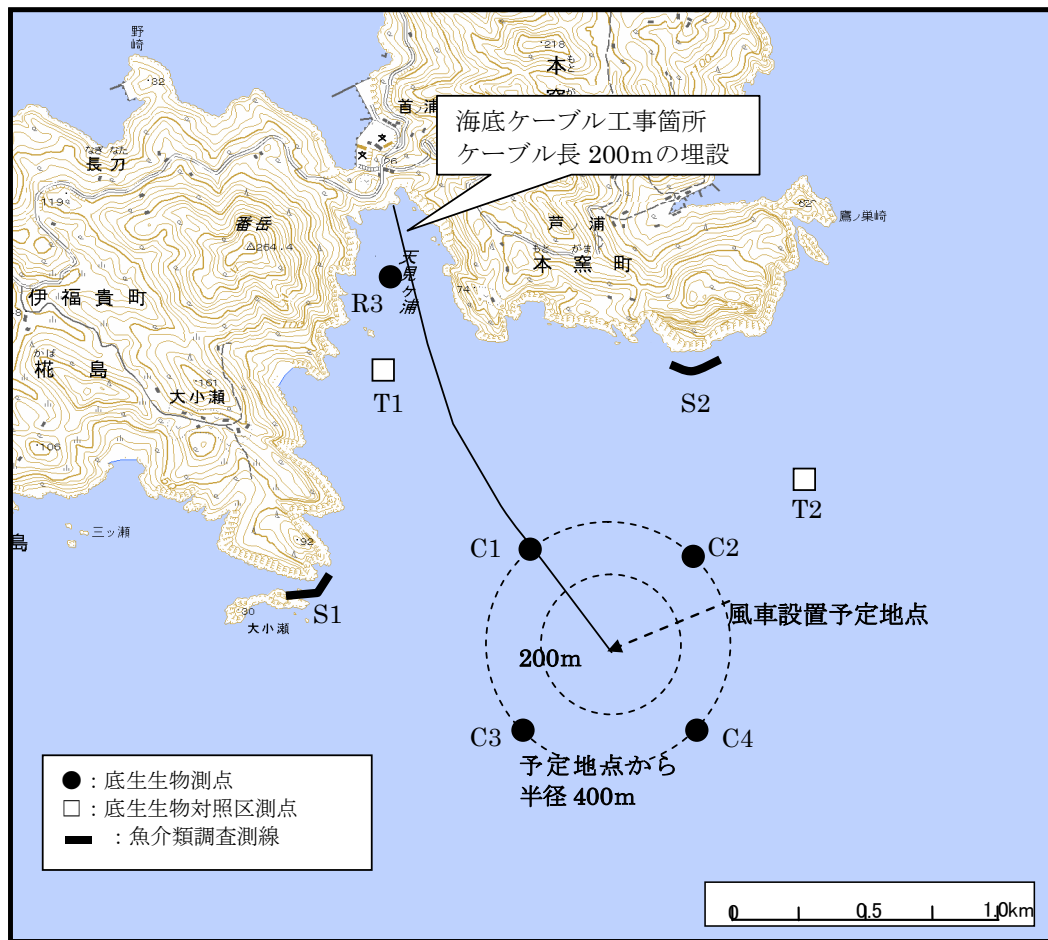
# 底生生物



スミスマッキンタイヤー型採泥器  
による採集の状況

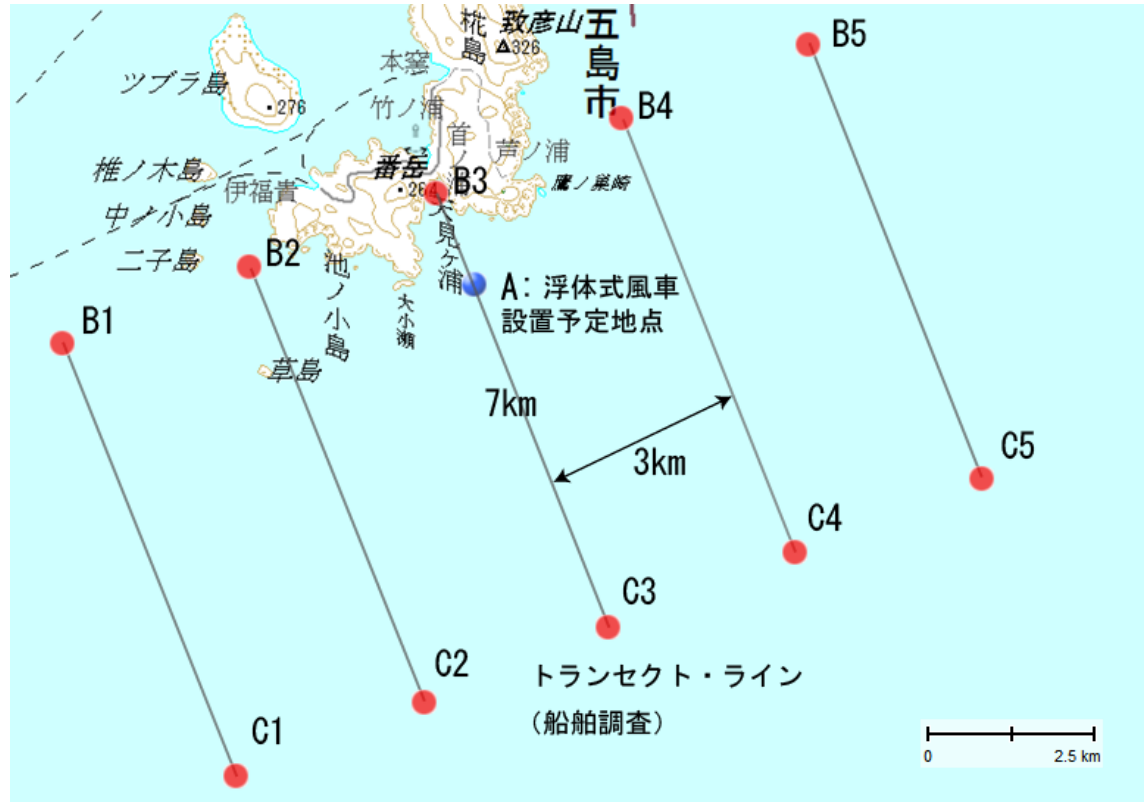
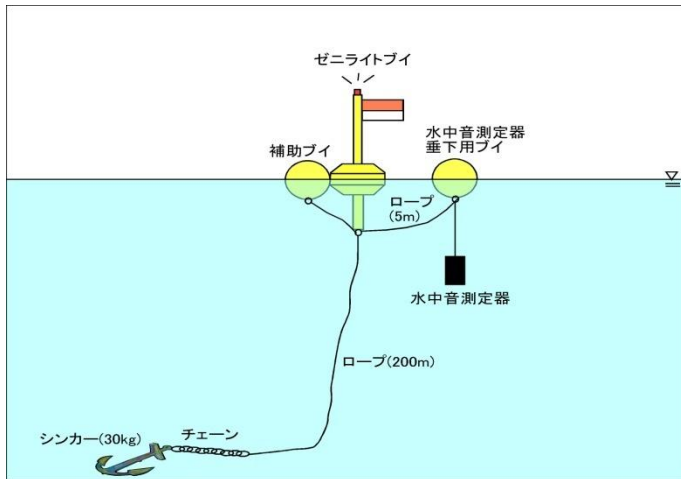
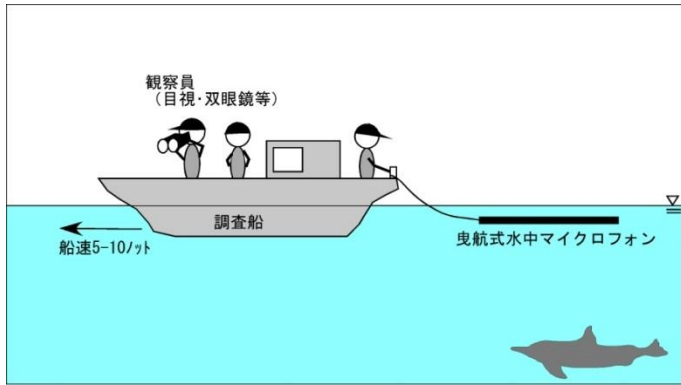


底生生物採取のための  
スミスマッキンタイヤー採泥器

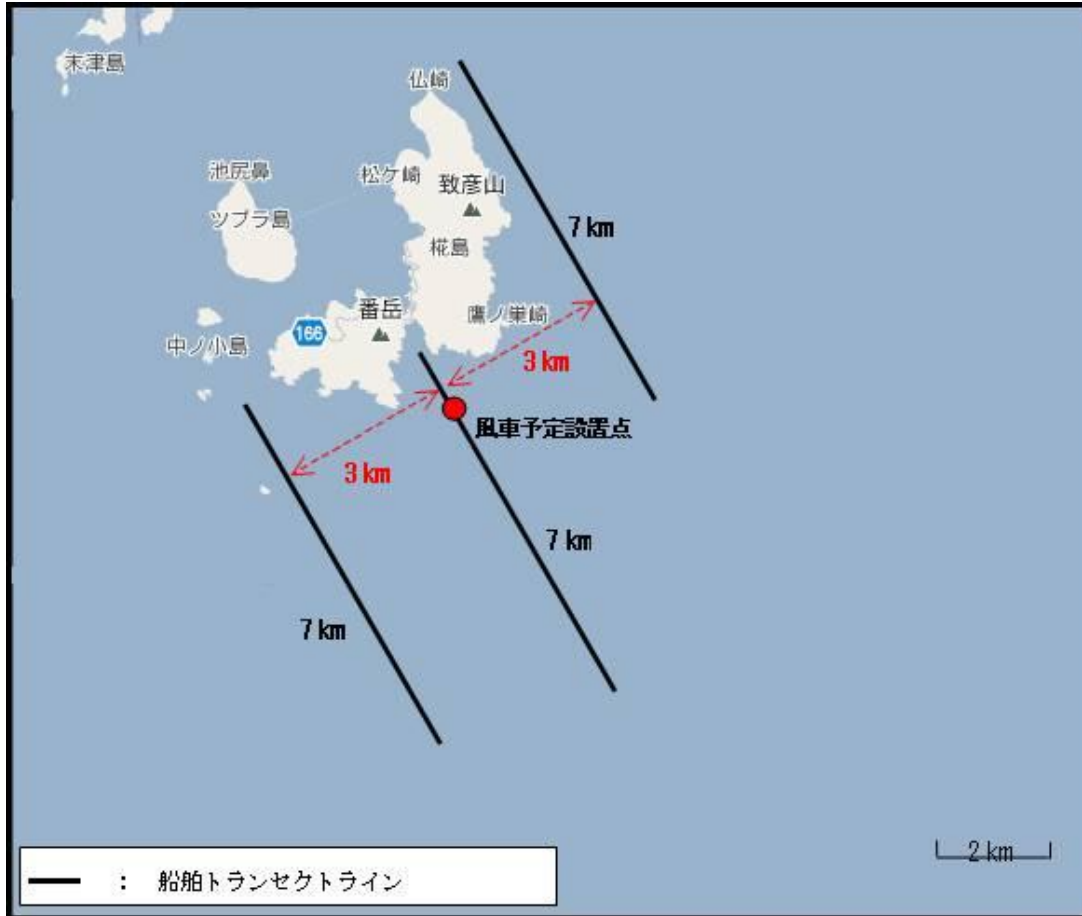


# 海産哺乳類

【目視調査（船上）、生物音調査、生物音連続調査】



# 鳥類



オオミズナギドリ



トビ



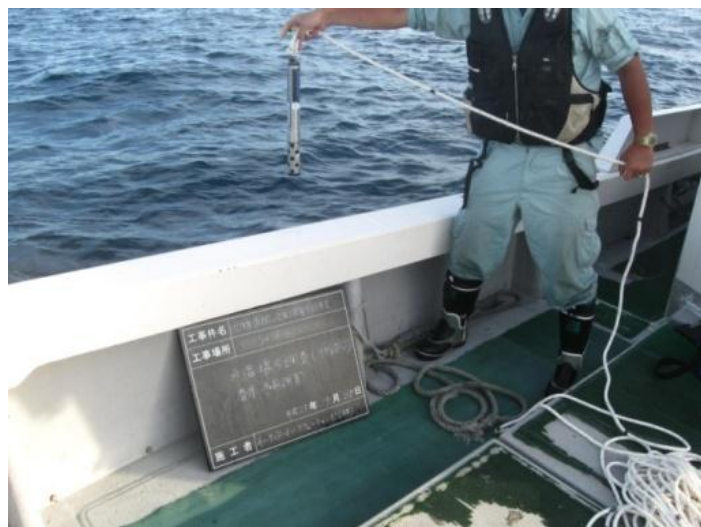
ハヤブサ



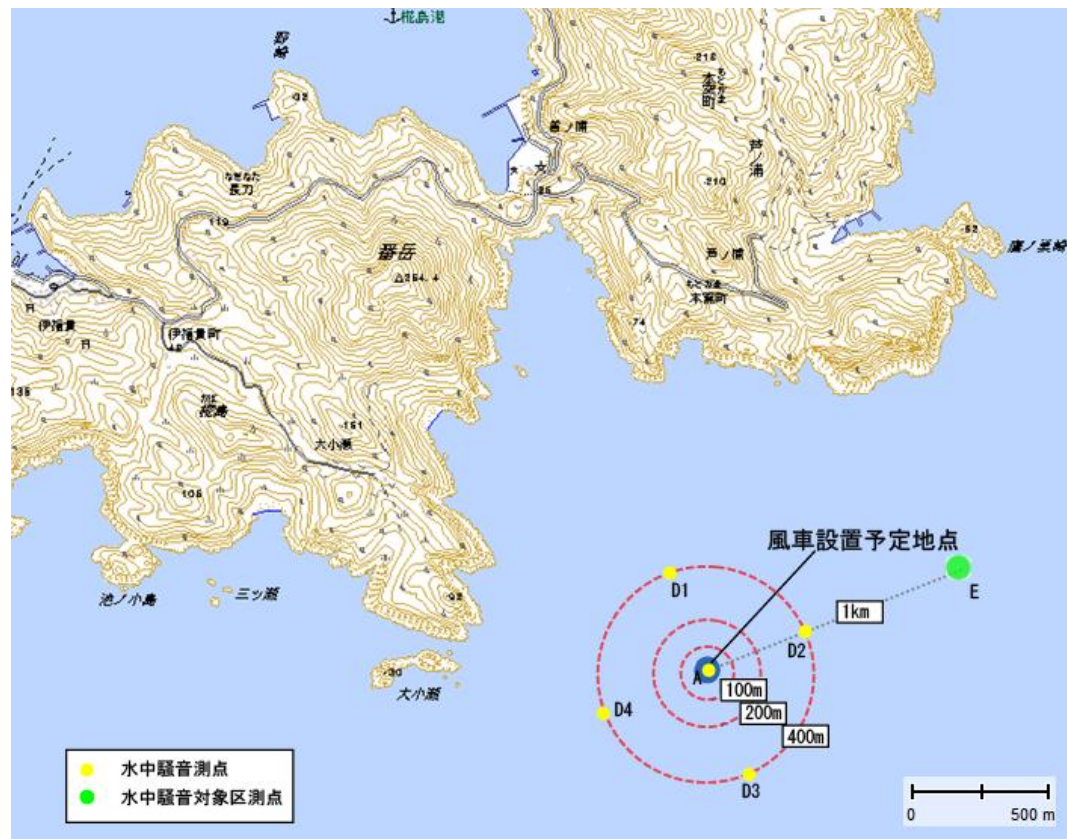
コサギ

鳥類観測地点ならびに船舶調査(トランセクトライン)

# 水中音



水中音の測定





# 地域受容性

## 地元(自治体、漁協、住民)の協力・支援体制の構築

- **関係機関に対する説明・協議**
  - **社会的条件**に関する説明・協議(地元の合意)  
長崎県、五島市、自治会、漁協、商工会
  - **許認可**に関する説明・協議(許認可)  
省庁：国交省地方整備局、海上保安庁長崎海上保安部  
長崎県：五島振興局、環境部
- **地元との協調関係の形成・醸成**
  - **地元住民、漁協説明会**の開催(情報公開・交換)
  - **危機管理連絡会**の設置(危機管理体制)  
五島市、消防本部、海上保安部、五島警察署、漁協

# まとめ

- ・風力発電

  - 洋上風力発電の普及

  - 日本の場合は浮体式に期待(実証実験)

- ・浮体式洋上風力発電実証実験(環境省)

  - 平成22～27年(運転:25～27) 五島市沖

  - スパー型浮体、PCハイブリッド構造

  - 環境影響評価、地域受容性