

# 日本型洋上風力発電技術の開発と将来展望

---

東京大学大学院工学系研究科  
社会基盤学専攻  
石原 孟

2019年2月28日

## ■膨大な風力賦存量

- ▶大都市(東京, ニューヨーク)での風が弱いに対し, 近隣する洋上の風は強く, 膨大な風力エネルギーがある
- ▶ドイツ・デンマークでは陸上風力発電の適地不足から洋上風力発電に進出

## ■少ない環境影響

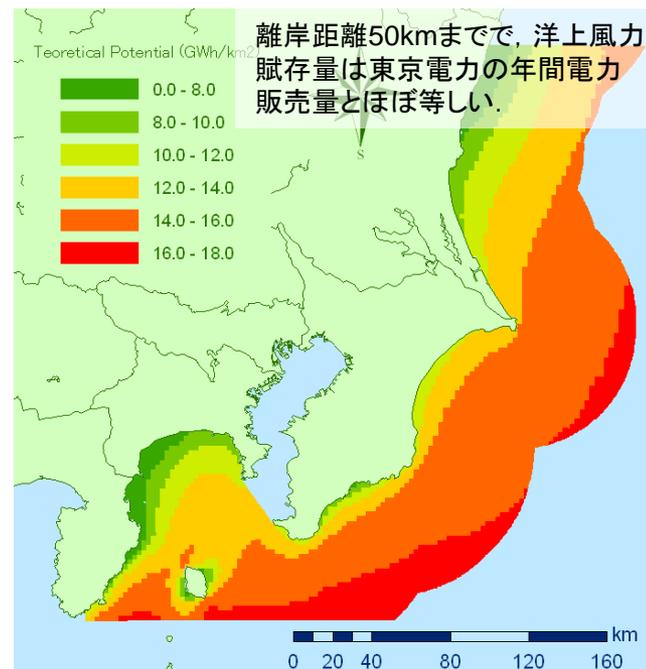
- ▶岸から離れるため, 景観・騒音の問題が少ない

## ■大規模化と大型化によるコスト低減

- ▶ウィンドファームの大規模化が可能
- ▶道路等の制約条件を受けないため, 大型風車の運搬・設置が容易

## ■少ない系統連系の制約

- ▶大電力消費地の近くに建設されるため, 強い電力系統に連系できる



関東沿岸洋上風力賦存量

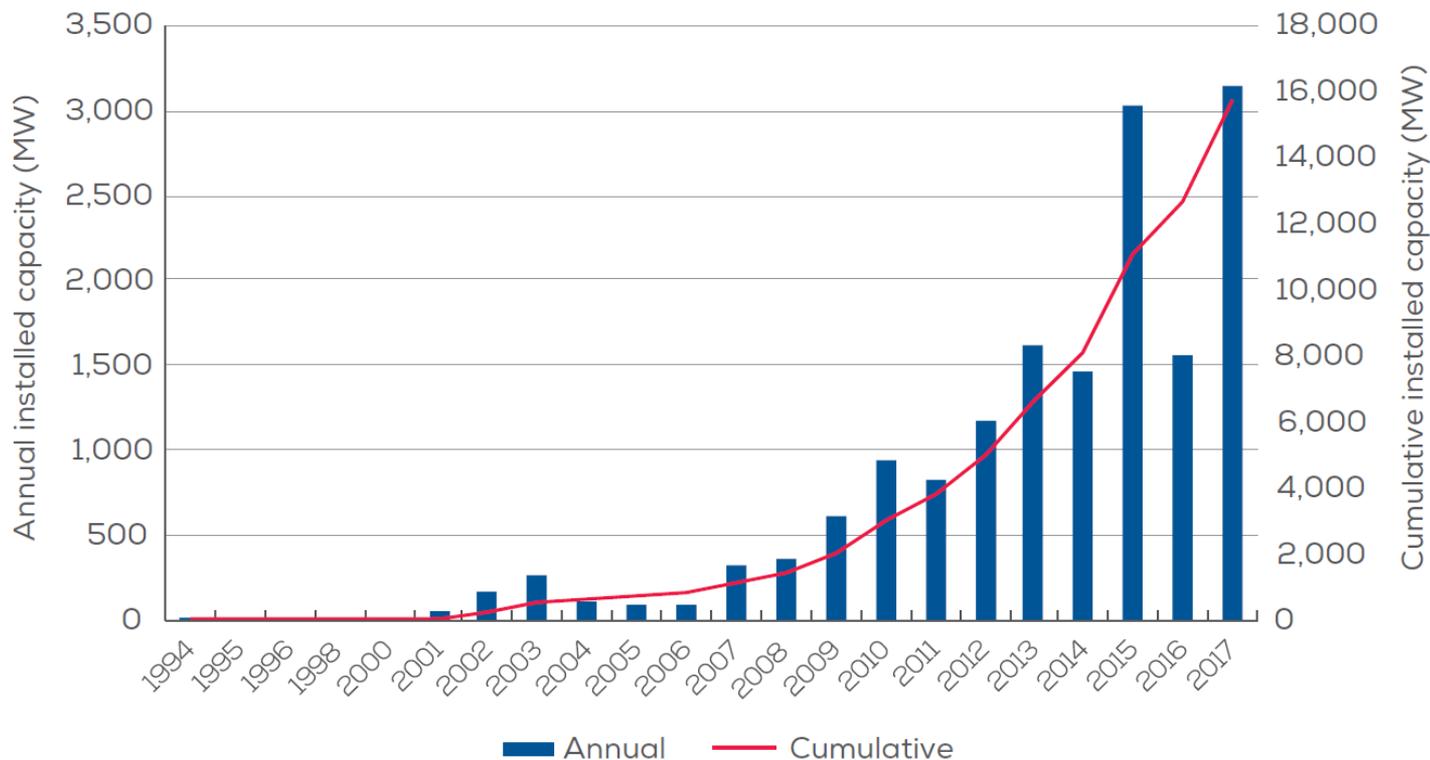


Horns Rev 洋上風力発電所(デンマーク)

# 欧州における洋上風力発電導入量

- 洋上風力発電の導入がイギリスを中心に拡大し、2017年までに累計 **1578万kW** を達し、**4149基洋上風車は11カ国** に建設されている。2020年まで2500万kW が建設される予定
- 2017年に新規に建設された洋上ウィンドファームの容量は **315万kW**、WFの最大出力は **50万kW**、単機容量は **5.9MW** (23%増)、設備利用率は **29%~48%**
- 2017年に建設されたWFの平均水深は **27.5m**、平均離岸距離は **41km**。

Cumulative and annual offshore wind energy installation



Source: WindEurope



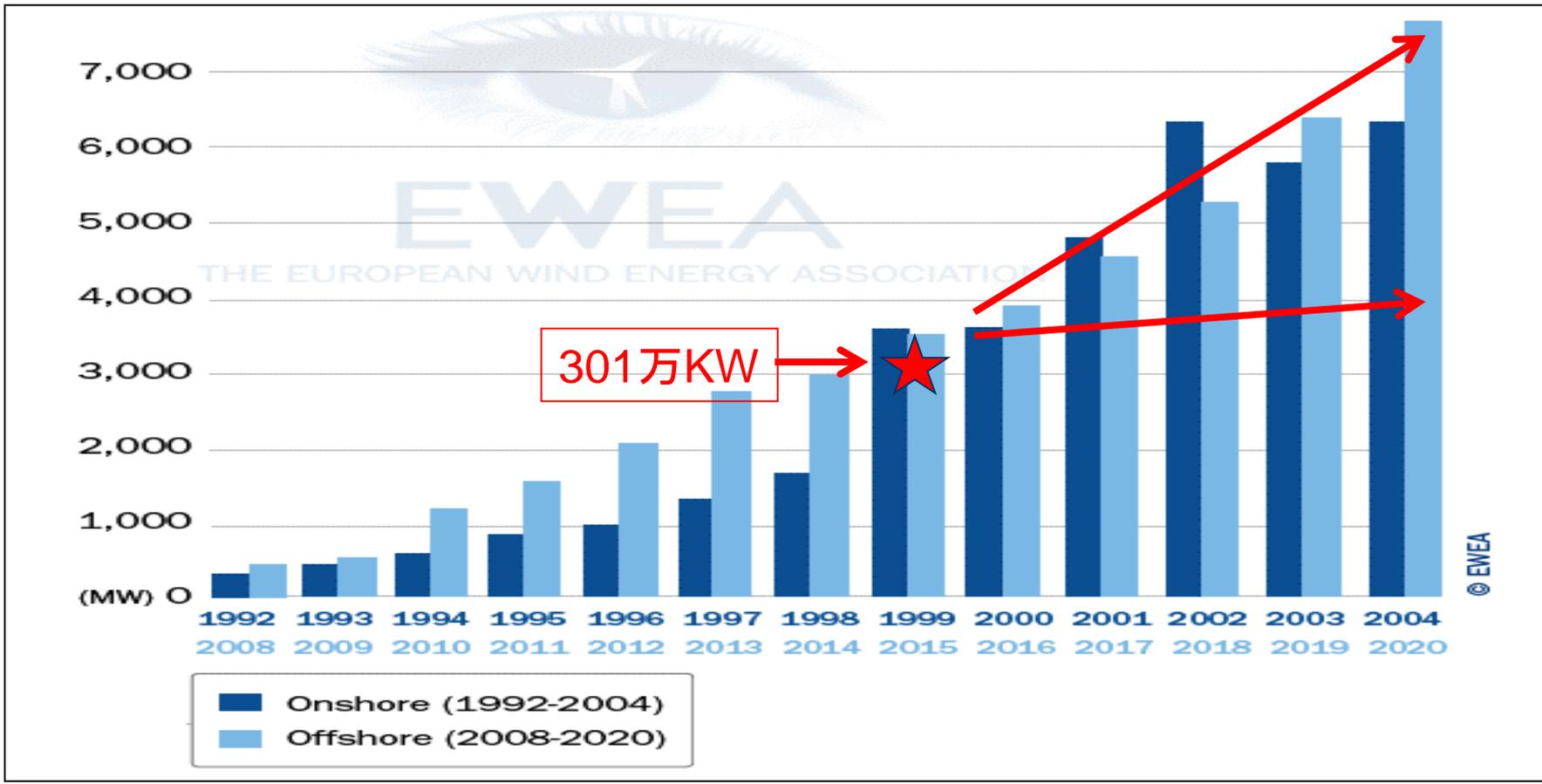
現在世界最大の洋上風力発電所London Arrayの設備容量は63万kW。  
2012年12月に175基の風車の建設が完了、2013年4月6日は発電開始

<http://www.londonarray.com/media-centre/image-library/offshore/>

# 世界における大規模ウインドファーム(1-10位)

5

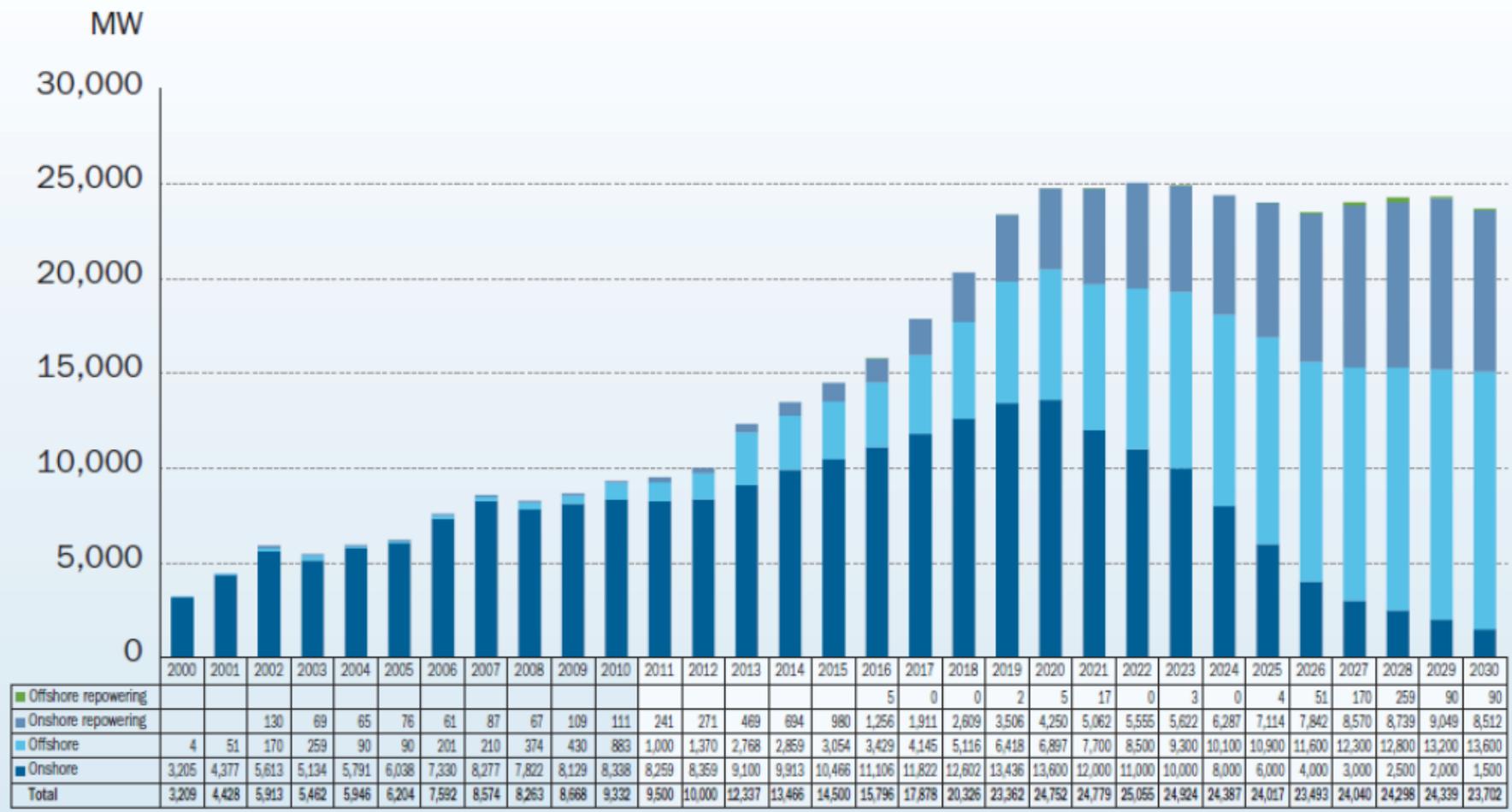
Wind farm	Total (MW)	Location	Turbines & model	Commissioning Date
<b>1. Walney Extension</b>	659	UK	40 x MHI-Vestas 8.25 MW 47 x Siemens Gamesa 7 MW	2018
<b>2. London Array</b>	630	UK	175 × Siemens 3.6MW	2012
<b>3. Gemini Wind Farm</b>	600	Netherlands	150 × Siemens 4.0MW	2017
<b>4. Gode Wind (phases 1+2)</b>	582	Germany	97 × Siemens 6.0MW	2017
<b>5. Gwynt y Môr</b>	576	UK	160 × Siemens 3.6MW	2015
<b>6. Race Bank</b>	573	UK	91 × Siemens 6.0MW	2018
<b>7. Greater Gabbard</b>	504	UK	140 × Siemens 3.6MW	2012
<b>8. Dudgeon</b>	402	UK	67 × Siemens 6.0MW	2017
<b>Veja Mate</b>	402	Germany	67 × Siemens 6.0MW	2017
<b>10. Anholt</b>	400	Denmark	111 × Siemens 3.6MW	2013
<b>BARD Offshore 1</b>	400	Germany	80 × BARD 5.0MW	2013
<b>Global Tech I</b>	400	Germany	80 × Areva Multibrid 5.0MW	2015
<b>Rampion</b>	400	UK	116 × MHI Vestas 3.45MW	2018
Hornsea Project I	1,218	UK	174 x Siemens SWT-7.0-154	2020
East Anglia I	714	UK	102 x Siemens SWT-7.0-154	2020



◆ 2020年まで2500万kW, 2030年までに6650万kW の洋上風力を開発し、EU全体に必要な電力の7.7% を供給する野心的な目標を掲げ、不確実性の評価も行っている。

# 欧州における洋上風力導入量見通し

- 陸上風力発電は2020年頃に年間導入量は頭打ちとなる
- 洋上風力発電は2030年まで年間導入量は拡大している。2020年代の前半にも洋上風力発電の年間投資額が陸上風力発電投資額を超える見通し



(出典) EWEA「Pure Power wind energy target for 2020 and 2030」(2011年)

2009: Hywind demo – 1<sup>st</sup> spar buoy

2011: WindFloat demo – 1<sup>st</sup> semi-sub – decommissioned in 2016

2012: Kabashima/Goto Spar – 1<sup>st</sup> concrete/steel



- 2013: Fukushima Compact Semi 2MW
- 2013: Fukushima floating substation – floating substation
- 2015: Fukushima V shaped semi sub 7MW
- 2016: Fukushima Advanced spar 5MW

# Hywind Scotland Project



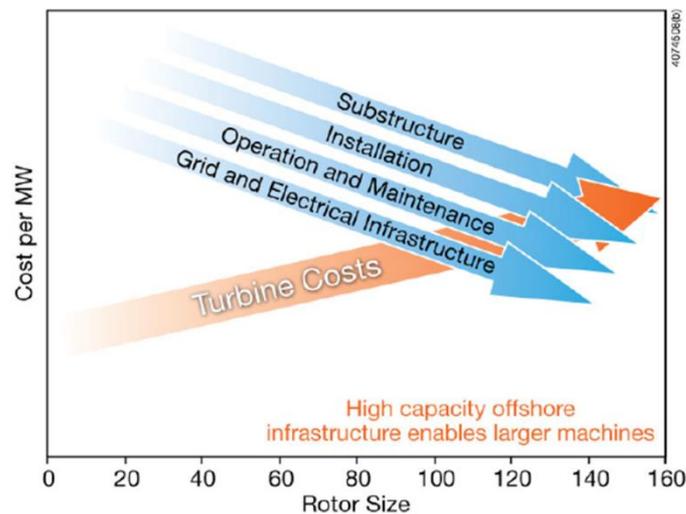
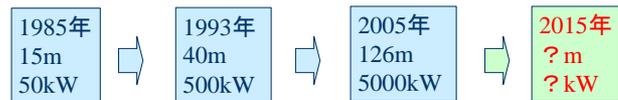
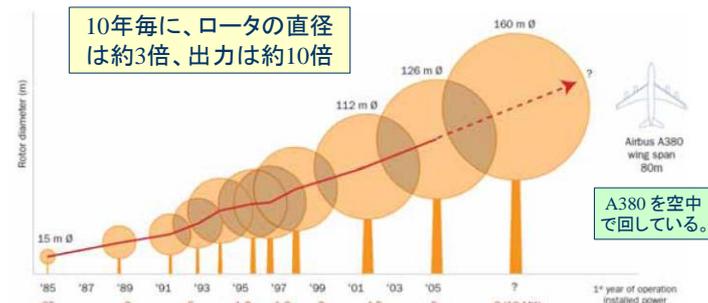
- ノルウェーStatoil（スタイル）とアラブ首長国連邦アブダビMasdar（マスダール）は、世界最大規模30MWの浮体式洋上風力発電所Hywind Scotlandプロジェクトにおいて、今後共同で事業を進め、2017年10月18日に英スコットランド沖合で発電が開始した。

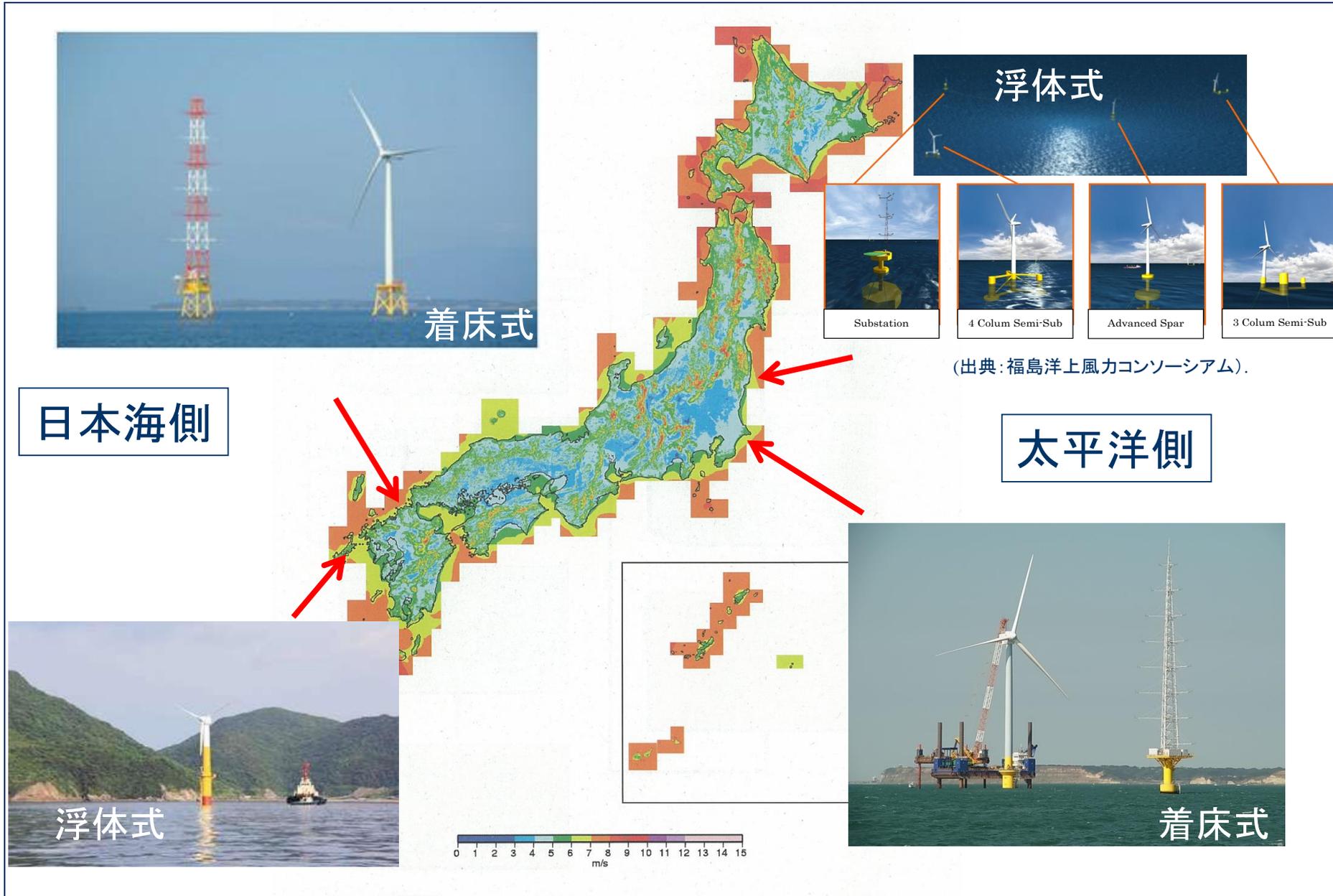
## ■洋上風力発電技術開発の必要性

▶わが国の気象・海象条件は欧州と異なることから、欧州での事例をそのまま適用することは**リスクが大きい**。また、外洋での**風車設置とメンテナンスの経験がなく**、洋上風力発電設備の安全性、信頼性、経済性に関する課題がある。

## ■洋上風力発電技術開発の計画

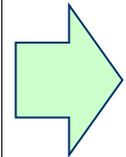
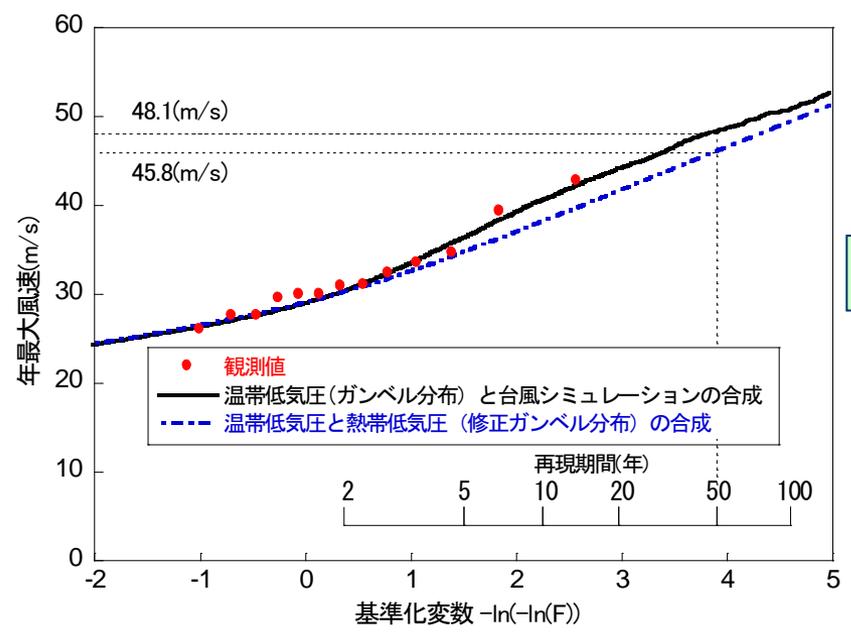
年度	研究開発テーマ
2008	洋上風力発電実証研究F/S評価
2009	洋上風況観測システム実証研究
2010	洋上風力発電システム実証研究
2011	洋上ウィンドファーム・フィージビリティスタディー
2013	地域共存型洋上ウィンドファーム基礎調査
2013	着床式洋上ウィンドファーム開発支援事業
2013	洋上風況観測技術研究開発
2014	次世代浮体式洋上風力発電システムの実証
2015	洋上風況マップ
2016	日本型洋上風車の台湾における実証前調査事業
2017	低コスト施工技術調査研究
2018	洋上風力発電低コスト施工技術開発
2018	次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究(要素技術実証)



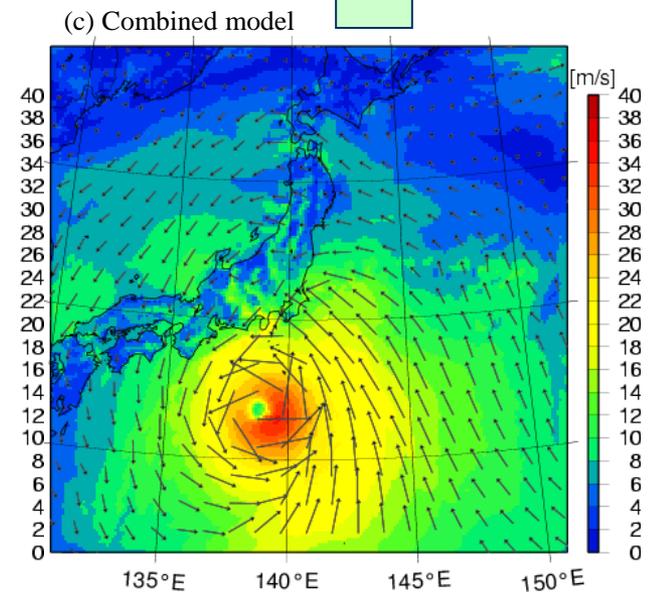
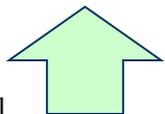
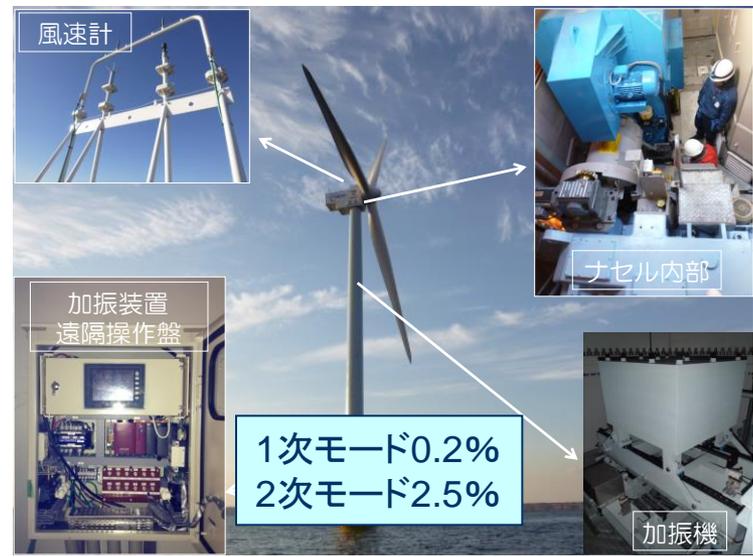
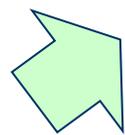




銚子沖における洋上風力発電実証設備（2013年2月に発電開始）



- IEC61400-1 Ed.4(風車)
  - ・台風の評価
  - ・地震荷重の評価
- IEC61400-3 Ed.2(洋上)
  - ・波浪の評価
- IEC61400-6 Ed.1(タワー・基礎)
  - ・支持構造物の評価





## 国内初! 沖合における 洋上風力発電への挑戦

～プロジェクト現場レポート～

ホーム プロジェクト背景 プロジェクト概要 風車の構造 洋上作業工程 現場レポート フォトギャラリー お問い合わせ 参考資料



2013年12月27日

「再可変エネルギー技術白書」改訂版発表と「新エネルギー成果報告会」開催レポート掲載!

2013年12月11日

フォトギャラリー更新! — 北九州市沖・空から見た洋上風力発電設備の写真を掲載しました。

2013年12月11日

「平成25年度NEDO新エネルギー成果報告会」開催のお知らせを掲載しました。

2013年11月5日

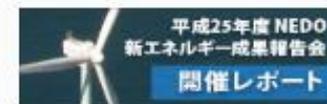
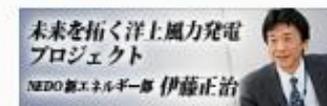
フォトギャラリー更新! — 跳子沖・空から見た洋上風力発電設備の写真を掲載しました。

[→ 過去の更新情報一覧](#)

NEDOは、国内で初めての沖合における洋上風力発電の実現に向けて、洋上の風向と風速を観測する洋上風況観測タワーと実際に洋上で発電を行う洋上風車を実海域に設置するプロジェクトを推進しています。

具体的には、千葉県跳子沖及び福岡県北九州市沖の2か所で2012年度中を目処に実際に洋上風況観測タワーと洋上風車を設置し、風況観測や風力発電を行う実証研究を行います。これにより、我が国で洋上風力発電を実施するにあたり必要となる風車の建設・運用・保守に関する技術の開発や環境影響評価手法の検討を行います。

テキストサイズ  小  中  大



## 第1期(平成23年度～)

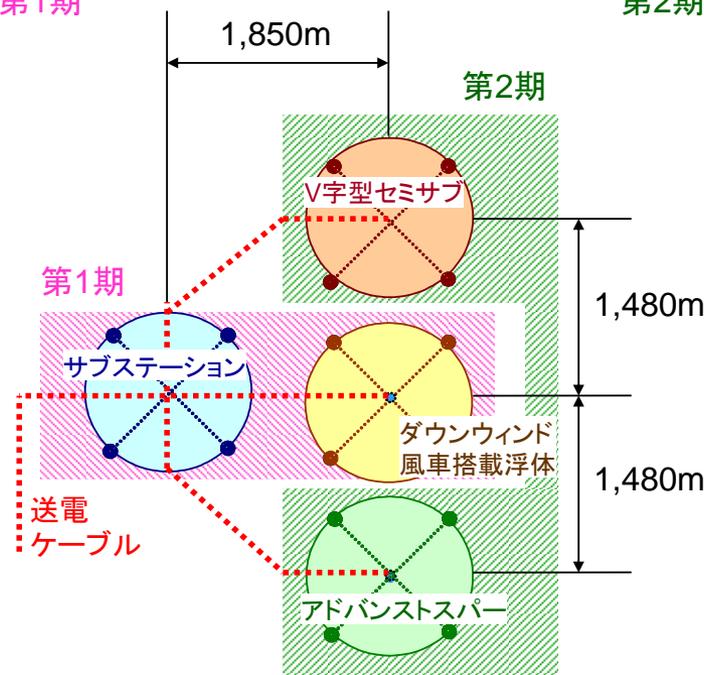
- 第1期では、浮体式洋上サブステーションと海底ケーブルを設置し、本実証研究の基盤を構築するとともに、既存の2MW商業風車搭載の浮体式洋上風力発電設備1基を建設し、実証研究を行う。
- 要素技術の開発を行うと共に、気象・海象・浮体動揺・応力などの浮体式洋上風力発電設備の設計に必要な基礎データを取得する。

## 第2期(平成25年度～)

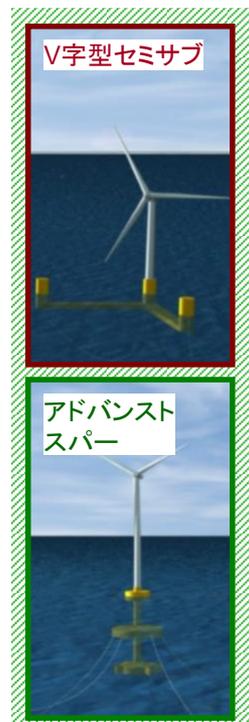
- 第2期では、今後の事業化を見据えて、世界最大級の7MW商業風車搭載の浮体式風力発電設備を建設し、実証研究を行う。
- 第2期の建設単価は第1期の半分に低減させ、大型風車搭載の浮体式洋上風力発電設備による大規模洋上ウインドファームの事業性を検証する。



第1期



第2期



東日本大震災および原発事故の被害を受けた福島県の復興のために、政府は福島県沖合の海域に世界初の浮体式洋上ウィンドファームを建設した。東京大学は本プロジェクトのテクニカルアドバイザーを務め、浮体の動揺を考慮した気象・海象の観測手法を開発すると共に、浮体式洋上風力発電の安全性・信頼性・経済性の評価手法を確立している。

2011~2015

2016~

浮体サブステーション

コンパクトセミサブ浮体  
(2MW)

V字型セミサブ浮体  
(7MW)

アドバンストスパー浮体  
(5MW)



福島洋上風力 コンソーシアム  
Fukushima FORWARD

テキストサイズ 小 中 大

ツイート 35 いいね! 164 +1 0 B! 2 English

ホーム プロジェクト概要 研究課題 ニュースリリース フォトギャラリー 海上工事 公告 お問い合わせ

## 福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業



■ 全体完成予想映像



■ 発電状況記録映像



■ 実証研究事業パンフレット



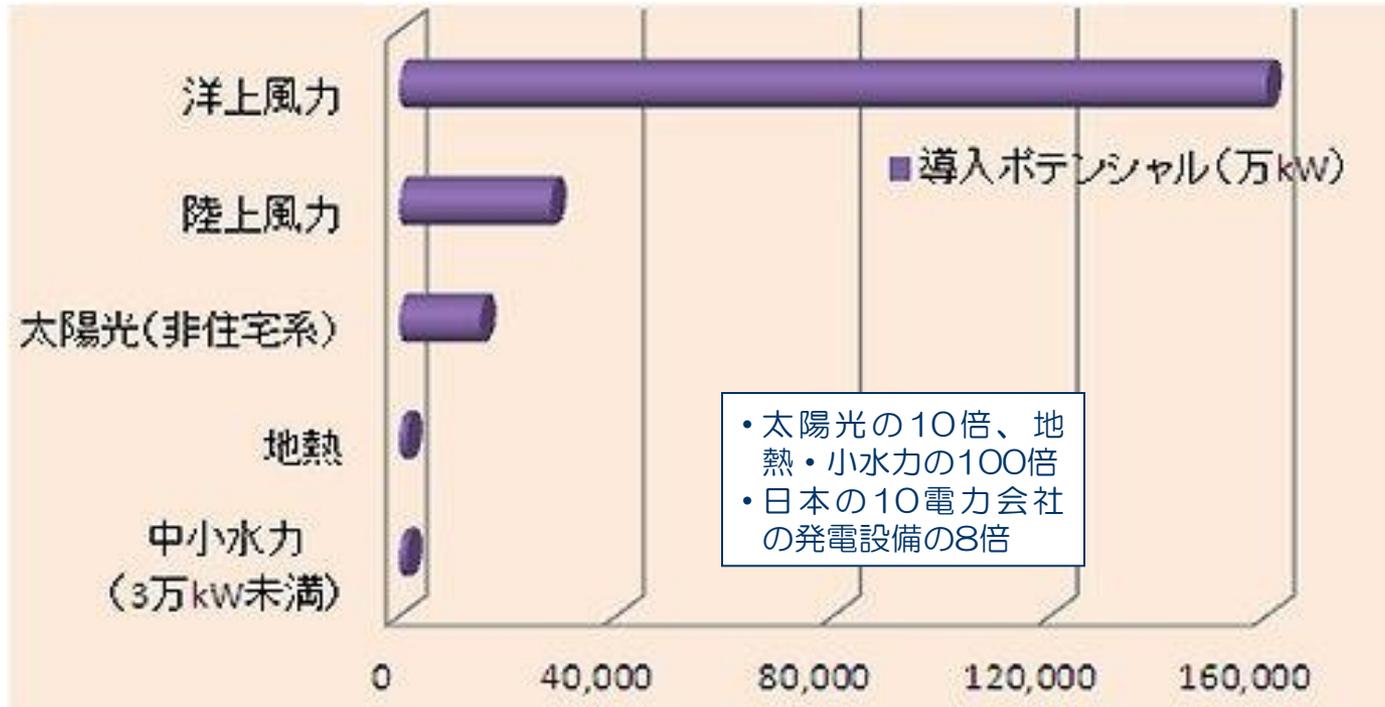
**お知らせ** お知らせ一覧

- 2014年6月11日 [福島復興・浮体式ウィンドファーム実証研究事業（第2期）の進捗について](#)
- 2014年5月16日 [ケネディ駐日米国大使が福島沖浮体式洋上ウィンドファームをご視察](#)
- 2014年4月21日 [浮体式洋上風力発電設備の発電状況記録映像を掲載](#)

<http://www.fukushima-forward.jp/>

- 様々な世界初の技術（浮体式変電所、ライザーケーブル等）を開発した。
- 台風、高波、強い海潮流の中で、無事故で発電所の建設を完成させた。
- 浮体式洋上風力発電所を運用し、2019年度からの事業化を目指している。

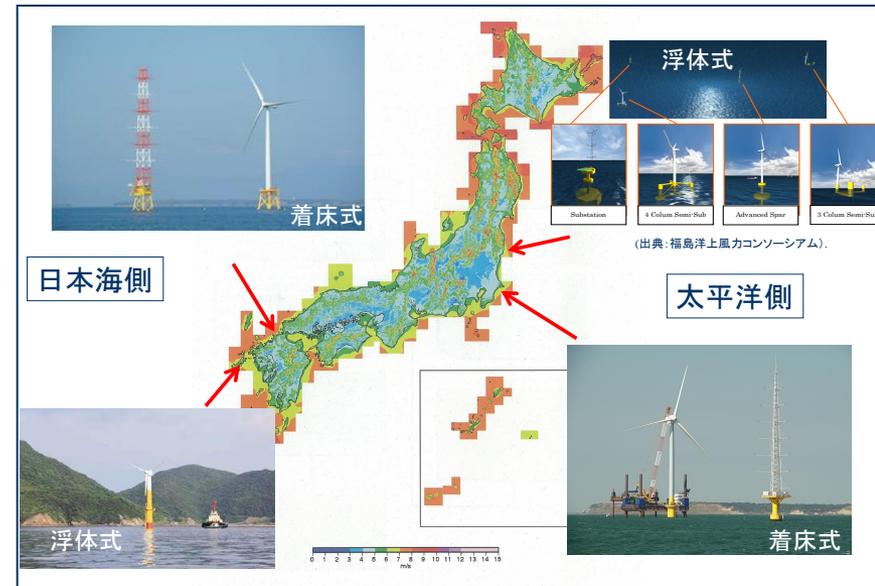
東日本大震災以降、再生可能エネルギーが大変注目を集めており、政府は2030年までに電力需要の22～24%を再生可能エネルギーで賄うという目標を掲げている。



- 設置期間: 2012年4月1日～2017年3月31日 5年間
- 設置目的: 海洋国家日本の強みを生かし、安全性・経済性・信頼性が高く、わが国の自然環境条件に適した次世代風力発電システムの開発を目指す。  
洋上風力発電関連分野における大学院生の教育と国際的に活躍できる若手人材の育成を目的とする。

## 国家プロジェクトの参画

- ▶ 浮体式洋上ウインドファーム実証研究 (経済産業省、テクニカルアドバイザー)
- ▶ 着床式洋上風力発電の実証研究 (NEDO、プロジェクトリーダー)
- ▶ 浮体式洋上風力発電施設の安全性に関する研究開発事業 (国土交通省)
- ▶ 次世代浮体式洋上風力発電システムの実証 (NEDO)



## 国際・国内基準の作成

- ▶ 洋上風車設計要件分科会主査 (IEC)
- ▶ タワー・基礎分科会主査 (IEC)
- ▶ 浮体式洋上風車設計要件分科会主査 (IEC)
- ▶ 土木学会洋上風力小委員会委員長 (土木学会)

### IEC61400-1 Ed.4 (風車)

- 台風の評価
- 地震荷重の評価

### IEC61400-3 Ed.2 (洋上)

- 波浪の評価

### IEC61400-6 Ed.1 (タワー・基礎)

- 支持構造物の評価

- 総合研究機構に寄付講座を開設、5年間でシンポジウムを5回開催
- 寄付講座の教員による研究報告および国内外の著名な大学・研究機関の方による招待講演
- 最新の研究成果と国内外の最新動向を紹介

### 「次世代風力発電システムの創成寄付講座」設置記念シンポジウム

日時：2012年12月21日(金)  
 ワークショップ 14:00-17:30 (13:15受付開始)  
 交流会 17:30-18:30 (無料)

場所：武田光増知ビル 5階 武田ホール(東京大学本郷キャンパス)

参加費：無料  
 定員：200名  
 主催：国立大学法人 東京大学 一般財団法人 日本海事協会

※参加ご希望の方は、12月14日(金)まで以下URLで事前登録をお願いします。  
<https://class.mitsunobu.repo.nii.ac.jp/seminar/2012/>

#### プログラム

13:15～ 受付開始  
 14:00～14:05 開会の挨拶  
 原田 昇 (東京大学大学院 工学系研究科)

14:05～14:10 主催者挨拶  
 木下 啓治 (一般財団法人 日本海事協会 常務理事)

14:10～14:30 講演1 「わが国に於ける浮体式海上風力発電技術の現状と将来展望」  
 石原 孟 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

14:30～15:30 講演2 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 藤村 隆之 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

15:30～16:45 講演3 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 山口 敬二 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

16:45～16:55 講演4 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 高野 隆之 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

16:55～17:25 報告討論 「次世代風力発電システムの創成寄付講座」  
 高野 隆之 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

17:25～17:30 閉会の挨拶  
 藤村 隆之 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

17:30～18:30 交流会

※本席に関するお問い合わせ先  
 国立大学法人東京大学 Tel: 03-5841-1145 / E-mail: nihara@bridge.t.u.tokyo.ac.jp  
 一般財団法人日本海事協会 Tel: 03-5226-2032 / E-mail: wmd@jassco.or.jp

### 「次世代風力発電システムの創成寄付講座」第2回シンポジウム (第4回 洋上風力発電ワークショップ)

日時：2014年1月10日(金) 10:00-18:30 (参加無料)

会場：武田光増知ビル 5階 武田ホール(東京大学本郷キャンパス)

定員：200名  
 主催：国立大学法人 東京大学 一般財団法人 日本海事協会

※参加ご希望の方は、2014年1月6日(月)まで以下のURLで事前登録をお願いします。  
<https://class.mitsunobu.repo.nii.ac.jp/>

#### プログラム

9:30～ 受付開始  
 9:30～10:05 開会挨拶  
 講演1 「ヨーロッパを中心とした風車のO&Mのデジタル化の現状について」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 藤村 隆三

10:10～10:30 特別講演 「How can monitoring improve the reliability & availability of offshore wind turbines and lower the Cost of Energy?」  
 Durham University, UK (Invited Professor / Peter Yanson (同時通訳))

11:40～12:00 全体質疑  
 13:00～ 特別講演  
 講演2 「次世代風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

14:25～15:10 講演3 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 藤村 隆三

15:10～15:25 休養  
 講演4 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 山口 敬二

15:25～15:55 講演5 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 高野 隆三

16:25～16:40 講演6 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 藤村 隆三

16:40～16:55 全体質疑  
 16:55～17:00 閉会挨拶  
 17:10～18:30 交流会 (ホール前ホワイチにて開催いたします(参加無料))

※本席に関するお問い合わせ先  
 国立大学法人東京大学 Tel: 03-5841-1145 / E-mail: nihara@bridge.t.u.tokyo.ac.jp  
 一般財団法人日本海事協会 Tel: 03-5226-2032 / E-mail: rcosman@jassco.or.jp

### 日米浮体式洋上風力発電の最新動向 Overview of Floating Offshore Wind in Japan and US

(第3回 次世代風力発電システムの創成寄付講座シンポジウム 第5回 洋上風力発電ワークショップ)

日時：2014年10月23日(木曜日) 9:30-12:35 (参加無料、同時通訳)

会場：東京大学 武田ホール (武田光増知ビル5F)

定員：200名  
 主催：国立大学法人東京大学、一般財団法人日本海事協会  
 福島洋上風力コンソーシア

※参加ご希望の方は、2014年10月22日(木曜日)まで以下のURLで事前登録をお願いします。  
<https://class.mitsunobu.repo.nii.ac.jp/>

#### プログラム

9:00 受付開始  
 9:30～9:35 開会の挨拶  
 藤村 隆三 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授) 石原 孟 (総合司会)

9:35～10:00 講演1 「Overview of Floating Offshore Wind in Japan and US」  
 藤村 隆三 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

10:00～10:25 講演2 「Overview of Floating Offshore Wind in Japan and US」  
 藤村 隆三 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

10:25～10:50 講演3 「Overview of Floating Offshore Wind in Japan and US」  
 藤村 隆三 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

10:50～11:00 質疑  
 11:00～11:05 休養  
 11:05～11:30 講演4 「Overview of Floating Offshore Wind in Japan and US」  
 藤村 隆三 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

11:30～11:55 講演5 「Overview of Floating Offshore Wind in Japan and US」  
 藤村 隆三 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

11:55～12:20 講演6 「Overview of Floating Offshore Wind in Japan and US」  
 藤村 隆三 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

12:20～12:30 閉会挨拶  
 藤村 隆三 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

12:30～12:35 閉会挨拶  
 藤村 隆三 (東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授)

※本席に関するお問い合わせ先  
 国立大学法人東京大学 Tel: 03-5841-1145 / E-mail: nihara@bridge.t.u.tokyo.ac.jp  
 一般財団法人日本海事協会 Tel: 03-5226-2032 / E-mail: rcosman@jassco.or.jp

### 次世代風力発電システムの創成寄付講座 第4回シンポジウム (第6回 洋上風力発電ワークショップ)

日時：2015年12月17日(木曜日) 13:30-17:30 (参加無料)

会場：東京大学 武田ホール (武田光増知ビル5F)

定員：200名  
 主催：国立大学法人東京大学、一般財団法人日本海事協会

※参加ご希望の方は、2015年12月16日(水曜日)まで以下のURLで事前登録をお願いします。  
<https://class.mitsunobu.repo.nii.ac.jp/>

#### プログラム

12:30～ 受付開始  
 13:30～13:40 開会挨拶  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟 (総合司会)

13:40～14:10 講演1 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

14:10～14:40 講演2 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

14:40～15:10 講演3 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

15:10～16:40 講演4 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

16:40～16:55 全体質疑  
 16:55～16:58 休養  
 16:58～16:59 休養  
 16:59～16:59 休養

16:59～17:10 講演5 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

17:10～17:20 全体質疑  
 17:20～17:30 閉会挨拶  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

17:40～19:00 交流会 (ホール前ホワイチにて開催いたします(参加無料))

※本席に関するお問い合わせ先  
 国立大学法人東京大学 Tel: 03-5841-1145 / E-mail: nihara@bridge.t.u.tokyo.ac.jp

### 次世代風力発電システムの創成寄付講座 第5回シンポジウム (最終回) (第7回 洋上風力発電ワークショップ)

日時：2017年9月4日(月曜日) 12:30-17:30 (参加無料)

会場：東京大学 武田ホール (武田光増知ビル5F)

定員：200名  
 主催：国立大学法人東京大学、一般財団法人日本海事協会

※参加ご希望の方は、2017年9月3日(日曜日)まで以下のURLで事前登録をお願いします。  
<https://class.mitsunobu.repo.nii.ac.jp/>

#### プログラム

12:30～ 受付開始  
 13:30～13:40 開会挨拶  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟 (司会)

13:40～14:10 講演1 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

14:10～14:40 講演2 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

14:40～15:10 講演3 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

15:10～15:40 講演4 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

15:40～15:55 全体質疑  
 15:55～16:10 休養  
 16:10～16:10 休養

16:10～16:30 講演5 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

16:30～17:25 特別講演 「浮体式海上風力発電システムの創成寄付講座」  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

17:25～17:30 閉会挨拶  
 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 石原 孟

※本席に関するお問い合わせ先  
 国立大学法人東京大学 Tel: 03-5841-1145 / E-mail: nihara@bridge.t.u.tokyo.ac.jp

- 欧州では、2030年までに6650万kWの洋上風力を開発し、EU全体に必要な電力の7.7%を供給する野心的な目標の実現に向けて、大きく前進している。技術開発と導入拡大により大幅のコスト削減を実現した。
- 我が国においては、2013年の洋上風力発電の固定価格の新設、2016年の港湾法の改正、2018年11月30日「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」が成立、全国規模で洋上風力発電の導入拡大が期待されている。
- 東京大学は、産学連携を通じて、世界をリードする洋上風力発電技術を確立すると共に、次世代エネルギーインフラの創成を目指す。

ご清聴ありがとうございました！

7MW

2MW

サブステーション

5MW

世界初浮体式洋上  
ウインドファーム