

日本における洋上風力発電と将来展望

東京大学大学院工学系研究科
社会基盤学専攻
石原 孟

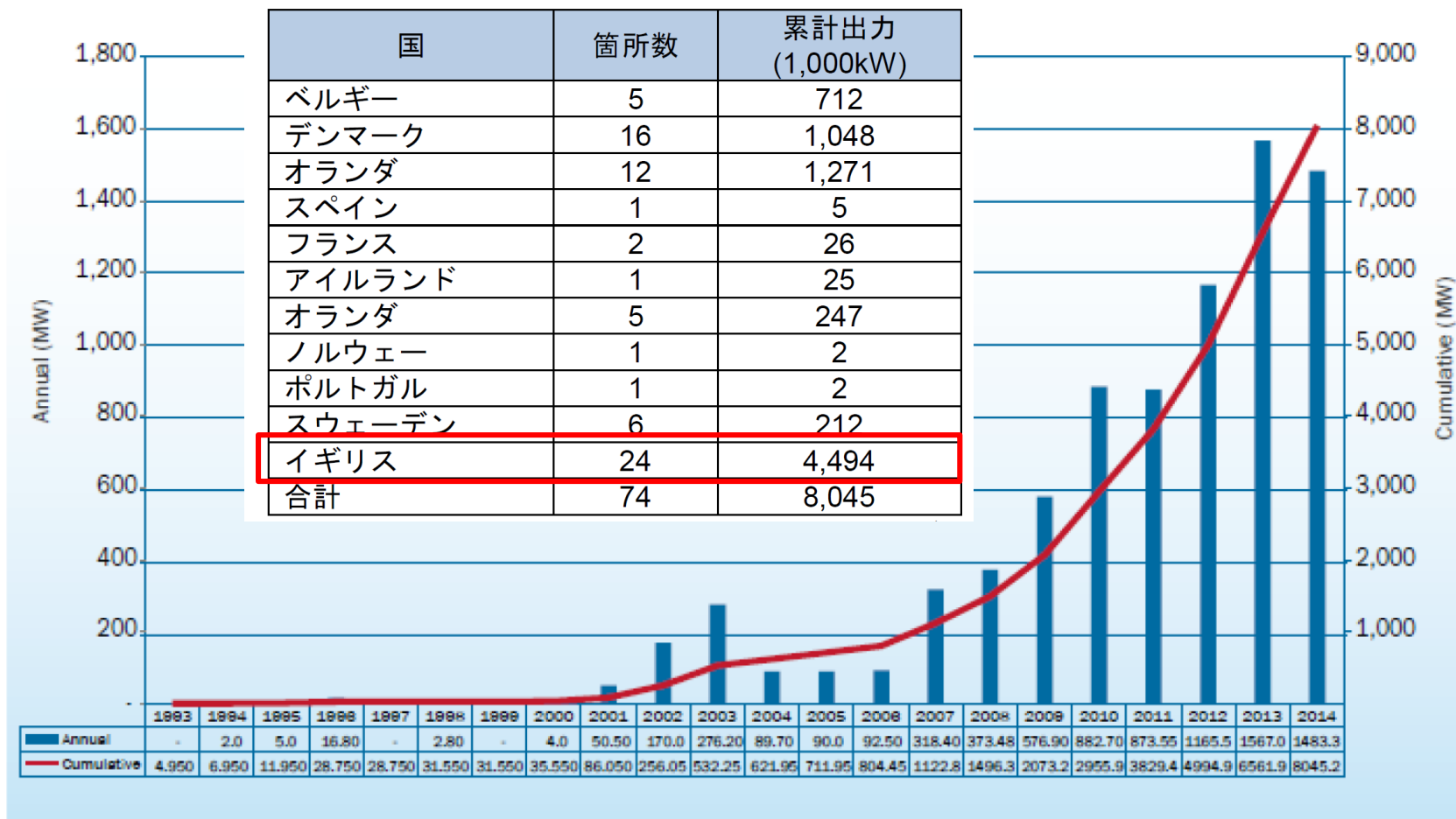
2016年9月9日

1. 洋上風力発電の現状
2. 洋上風力発電の研究開発
3. 洋上風力発電の将来展望

1. 洋上風力発電の現状

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、2015年までに累計1200万kWを達す。
- 2015年に新規に建設された洋上ウインドファームは370万W、1ヶ所あたりの平均出力は37万kW(2014年実績)
- 2015年の欧州の洋上風力への投資は3GWで133億ユーロ(1.74兆円、約58万円/kW)



(出典) EWEA 「The European offshore wind industry – key trends and statistics 2014」(2015年)

欧州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
London Array	630	United Kingdom	175 × Siemens 3.6MW	2012
Gwynt y Môr	576	United Kingdom	160 × Siemens 3.6MW	2015
Greater Gabbard	504	United Kingdom	140 × Siemens 3.6MW	2012
Anholt	400	Denmark	111 × Siemens 3.6MW	2013
BARD Offshore 1	400	Germany	80 × BARD 5.0MW	2013
Global Tech I	400	Germany	80 × Areva Multibrid 5.0MW	2015
West of Duddon Sands	389	United Kingdom	108 × Siemens SWT-3.6MW	2014
Walney (phases 1&2)	367	United Kingdom	102 × Siemens SWT-3.6MW	2012
Thorntonbank	325	Belgium	6 × Senvion 5MW, 48 × Senvion 6.15MW	2013
Sheringham Shoal	315	United Kingdom	88 × Siemens 3.6MW	2012

世界最大の洋上風力発電所London Array

6

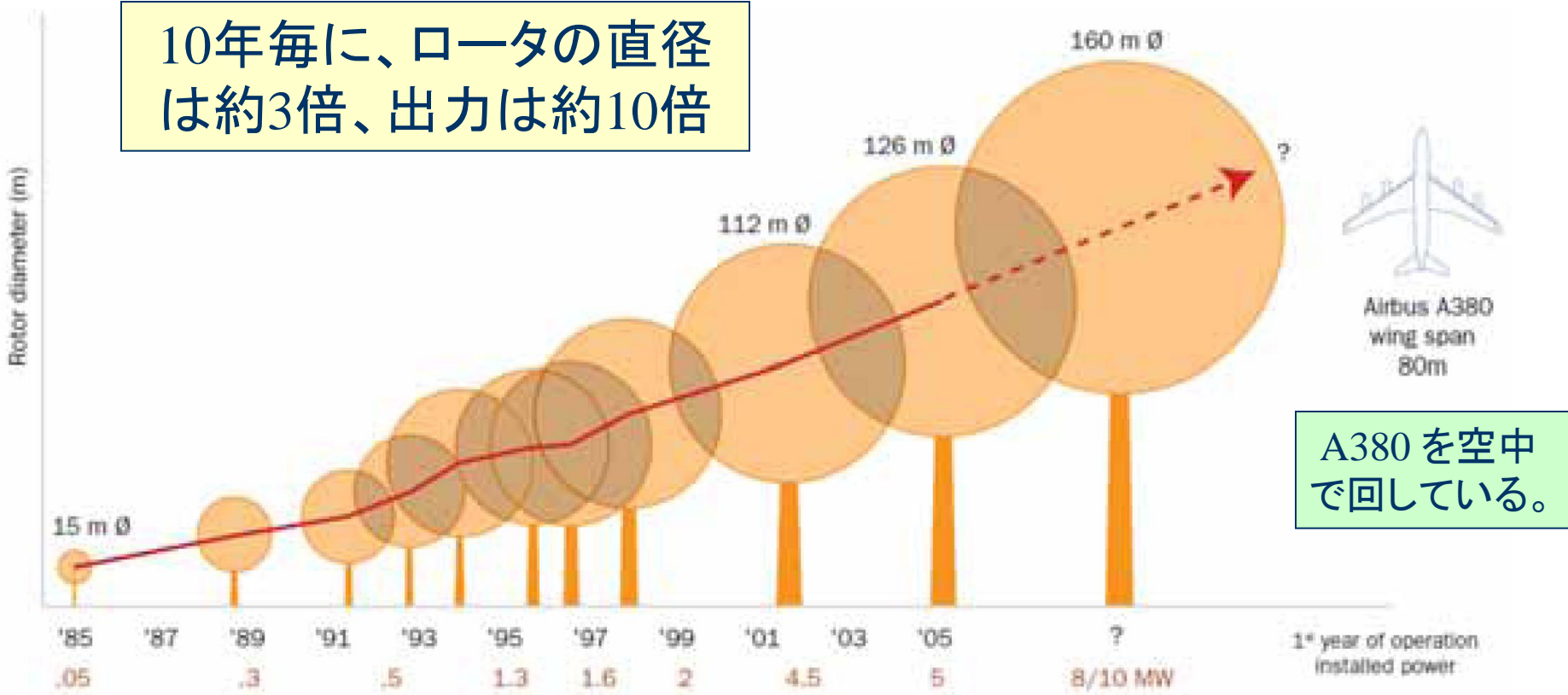


現在世界最大の洋上風力発電所London Arrayの設備容量は63万kW。
2012年12月に175基の風車の建設が完了、2013年4月6日は発電開始

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

風車の大型化

10年毎に、ロータの直径は約3倍、出力は約10倍



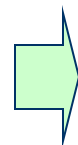
1985年
15m
50kW



1993年
40m
500kW



2005年
126m
5000kW



2020年
200m
20MW



Port storage for towers and nacelles

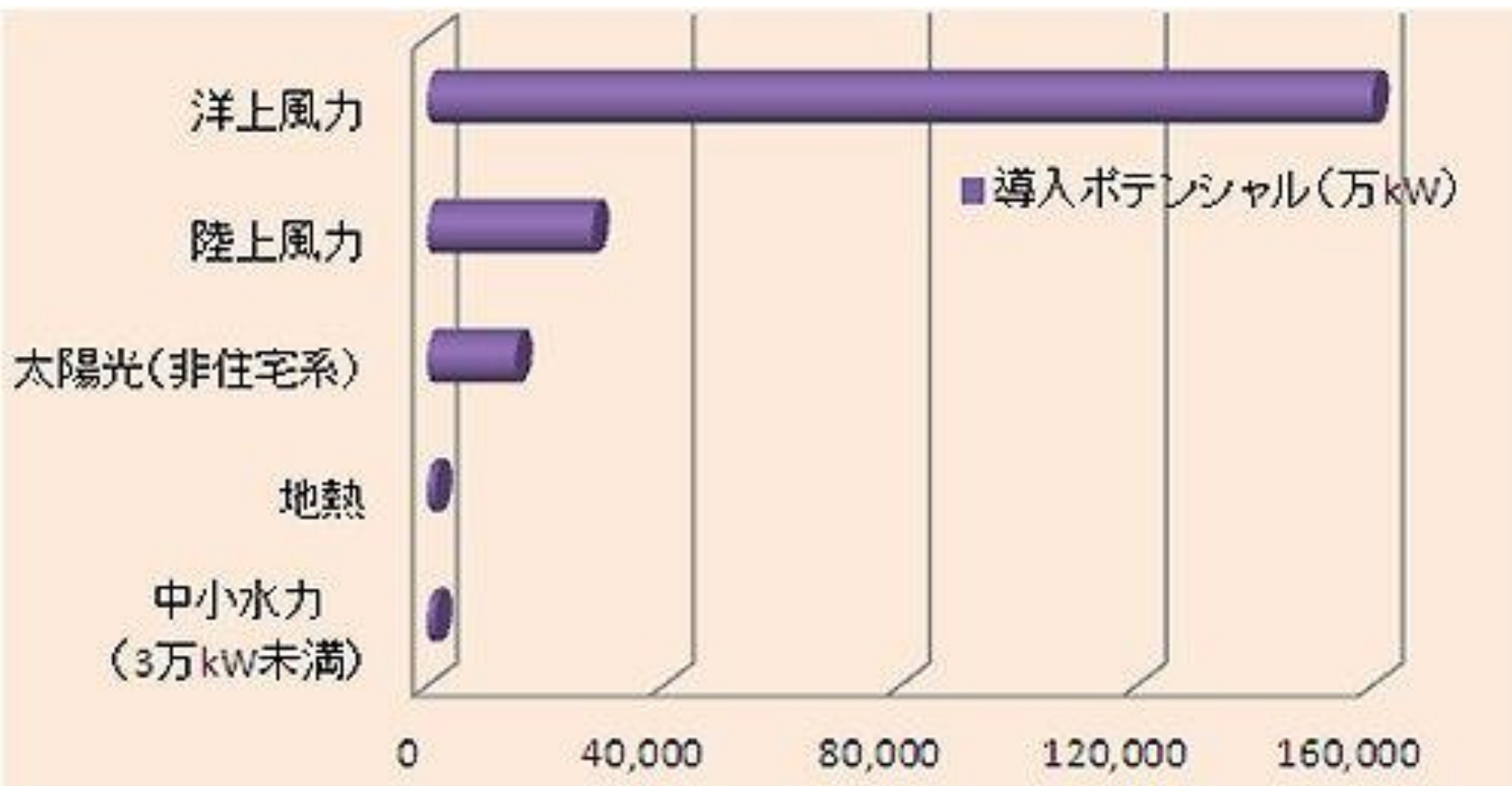


Port storage for monopiles



Offshore components awaiting shipment

- 建設コストを減らすために、作業はなるべく陸上で行う必要がある。
- 風車、基礎の組み立てに適した港湾は必要がある。
- 洋上風力発電開発を行うために、港湾への投資は不可欠である。



洋上風力の導入ポテンシャル：

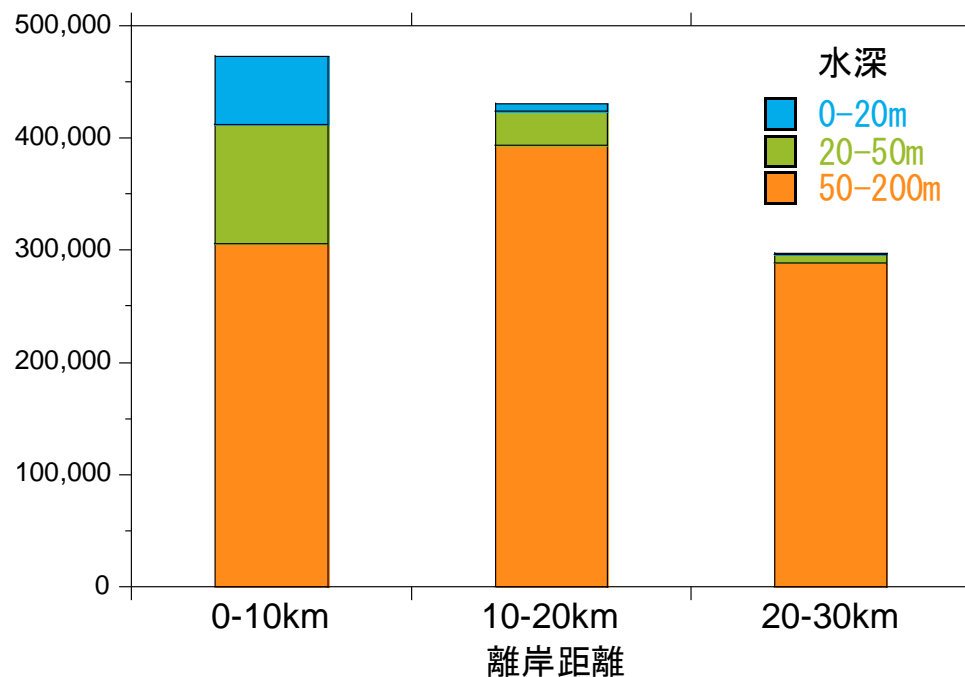
- 太陽光の10倍、地熱・小水力の100倍
- 日本の10電力会社の発電設備の8倍

■NEDOによる洋上風力賦存量評価

- 風速7m/s以上, 離岸距離30km, 水深200m までの洋上風力発電賦存量は, 約12億kW
- 水深50-200mの範囲の賦存量は水深50m までの賦存量の4倍以上

■洋上風力発電の開発可能性

- 着床式**洋上風力発電の適応限界水深と考えられる50mまでの賦存量は約2億1000万kW、設置可能海域内の5%が利用可能とした場合, **1000万kW**の設備容量
- 浮体式洋上風力発電**が実用化されれば, 水深200mまで設置可能海域の賦存量は約12億kWとなり、利用可能率を4%とした場合, **4800万kW**の設備容量



国内の洋上風力発電

Setana wind power plant



北海道

<http://www.town.setana.lg.jp/modules/tinycontents/index.php?id=27>

Wind Power Kamisu



茨城県

<http://www.komatsuzaki.co.jp/>

Summit Wind Power



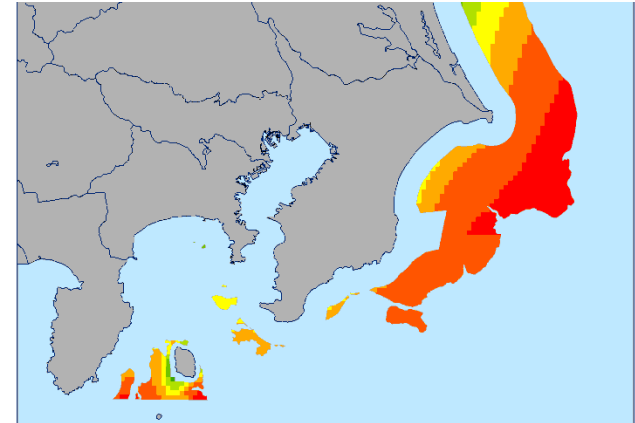
山形県

http://swp.jp/02business_1sakata.html

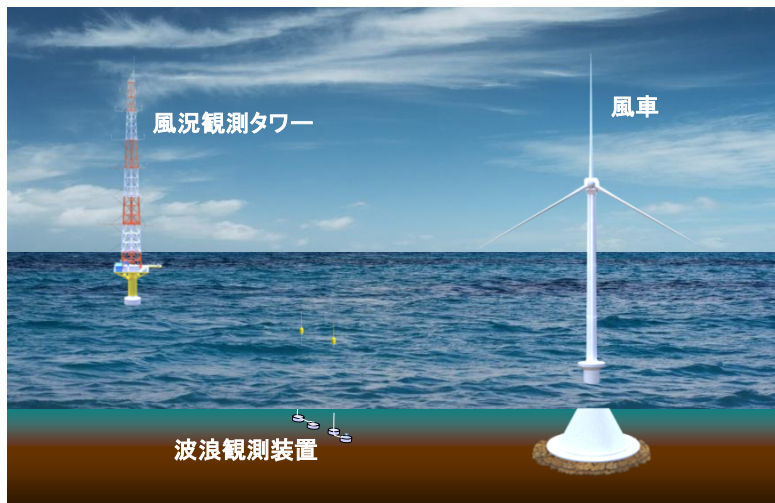
2. 洋上風力発電の研究開発

1. 欧州と我が国では気象・海象条件(台風・地震・うねり)が異なっていることから、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。
2. 洋上風車の設計、洋上での施工、維持管理等様々な課題がある。
3. 洋上風力発電の環境影響評価手法を確立する必要がある。

気象・海象条件の解明

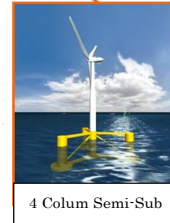
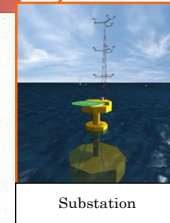
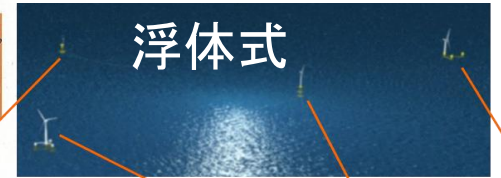


洋上風車設計・施工技術の開発



環境影響評価手法の確立

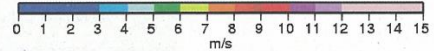




(出典: 福島洋上風力コンソーシアム)

日本海側

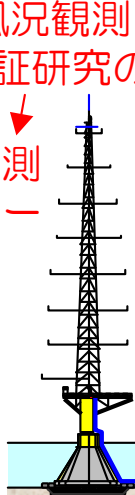
太平洋側





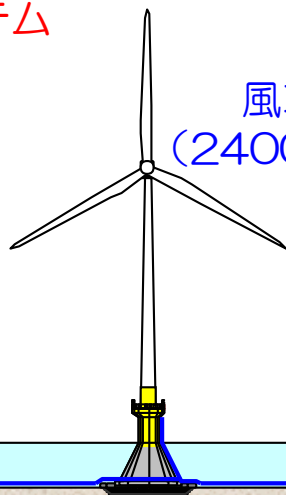
洋上風況観測システム
実証研究の設備

観測
タワー

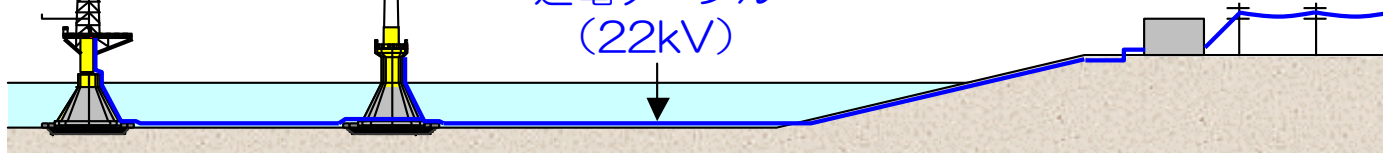


洋上風力発電システム
実証研究の設備

風車
(2400kW)

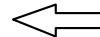


送電ケーブル
(22kV)



研究
設備

東電
系統





風車、観測タワー基礎の製作完了
(撮影時期：2012年5月)



観測タワーの完成 (8月18日)



海底ケーブルの敷設 (9月6日)

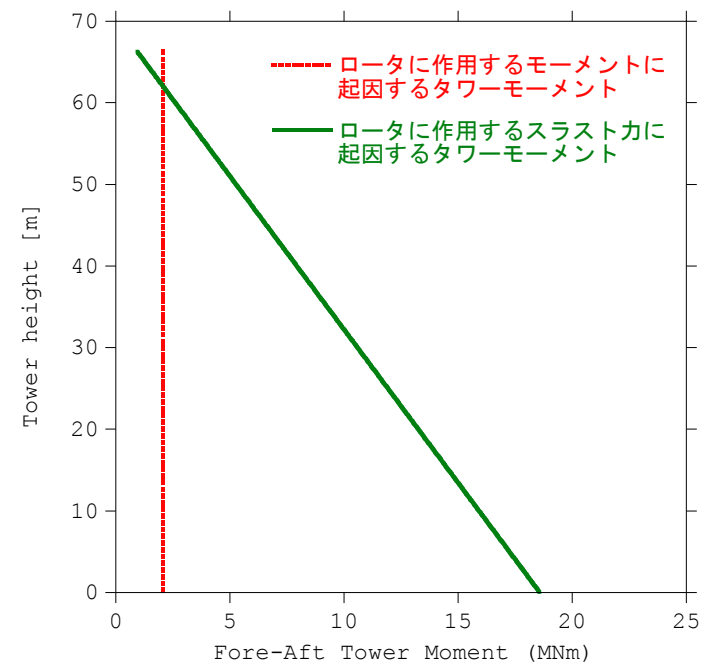
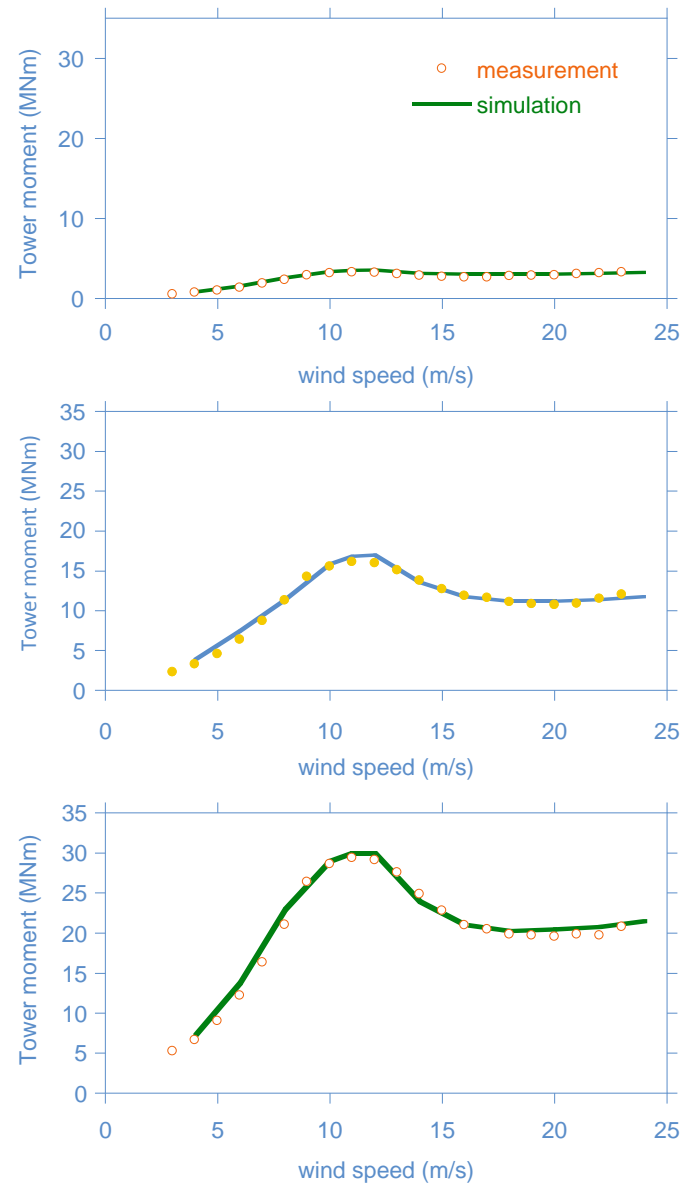
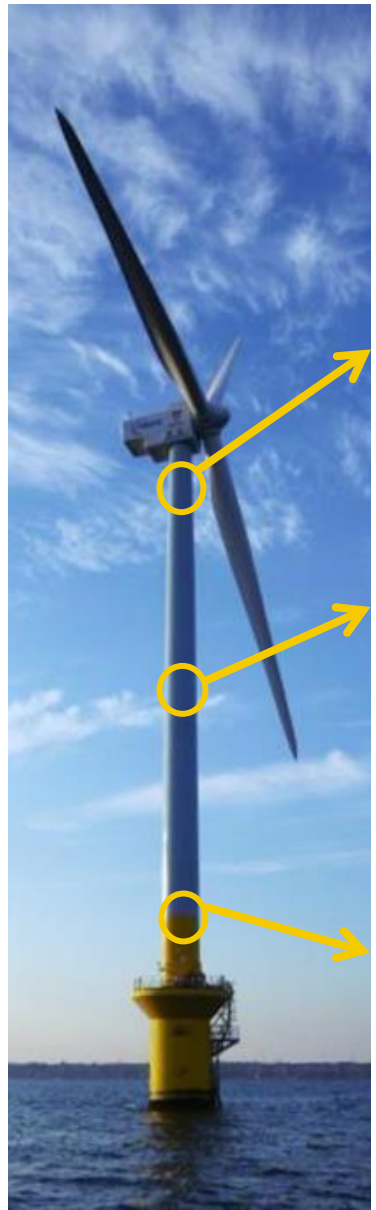


風車の建設完了 (10月14日)



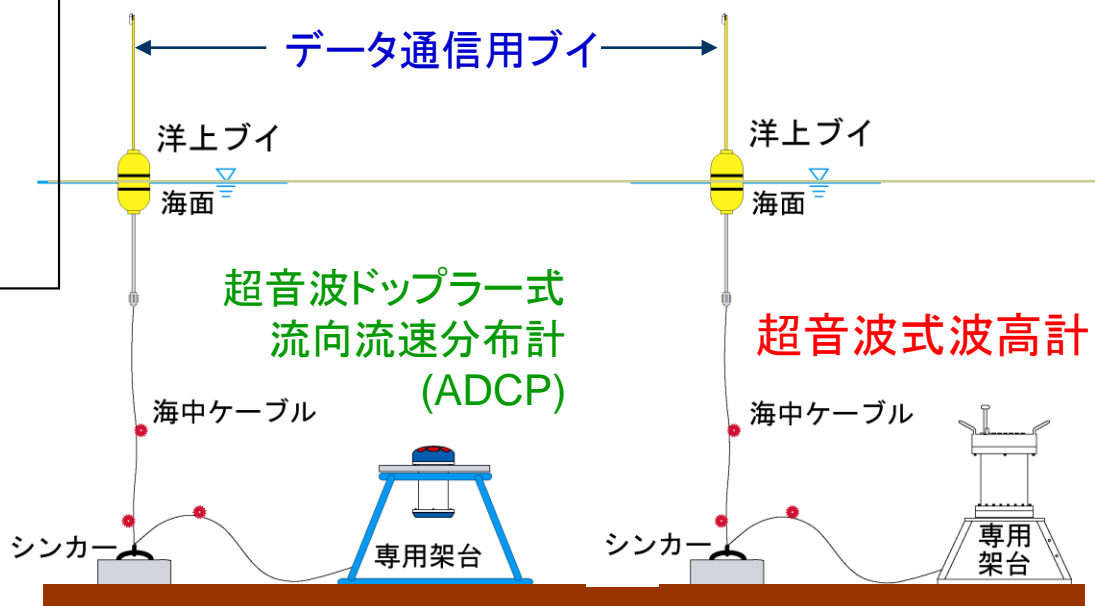
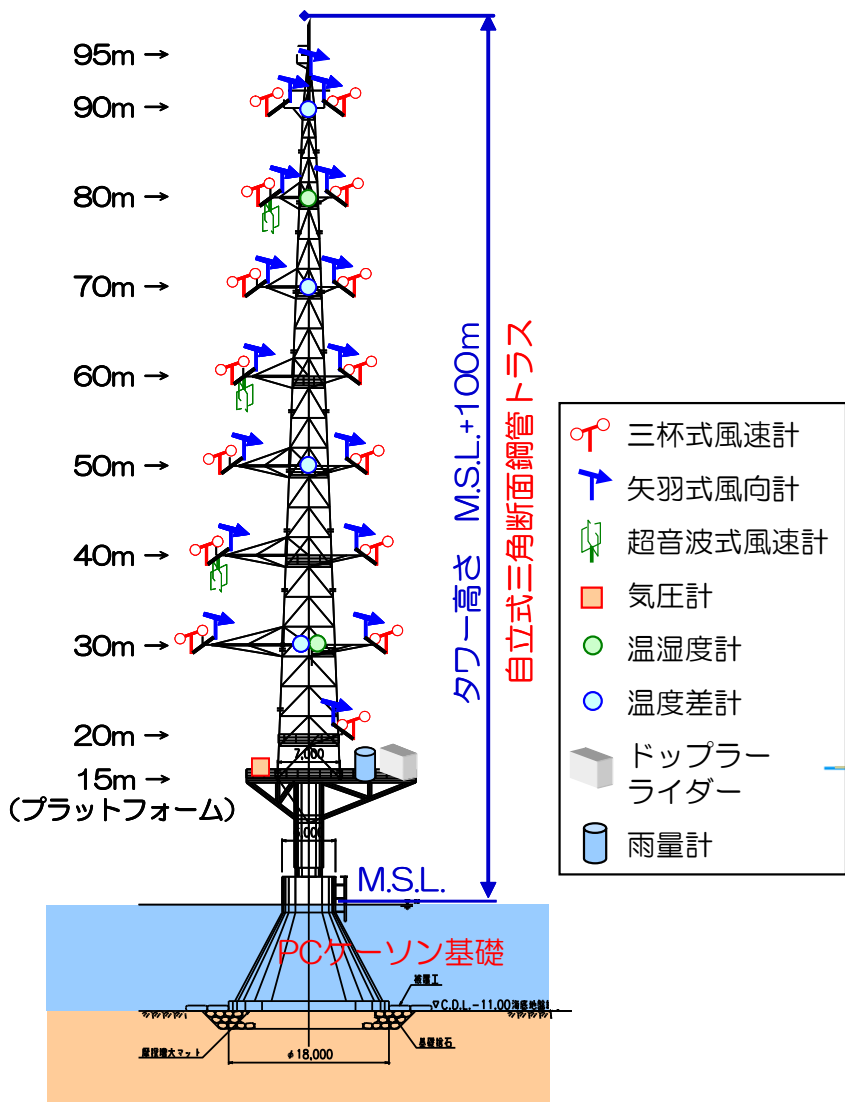
銚子沖における洋上風力発電実証設備（2013年2月に発電開始）

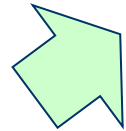
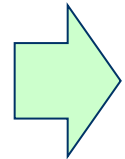
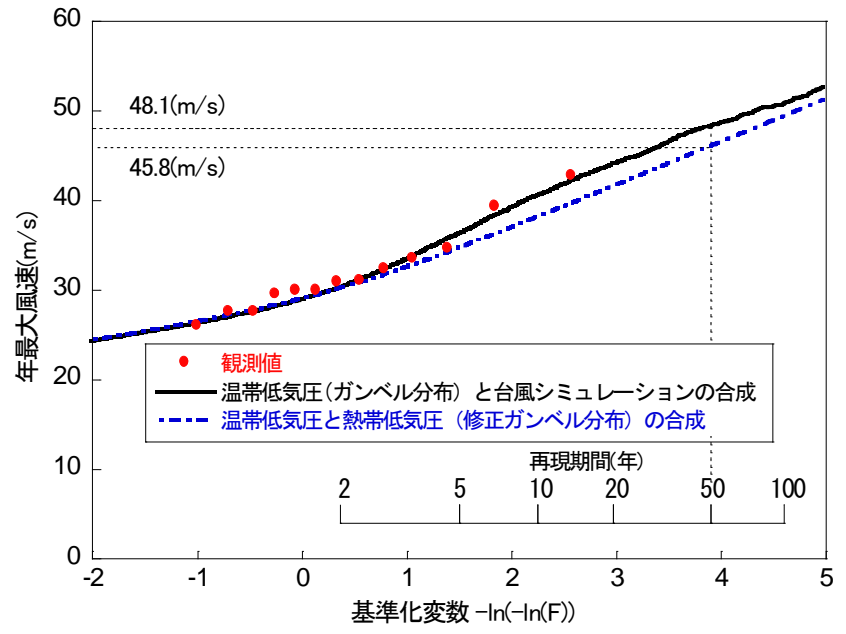
発電時の最大風荷重の予測結果



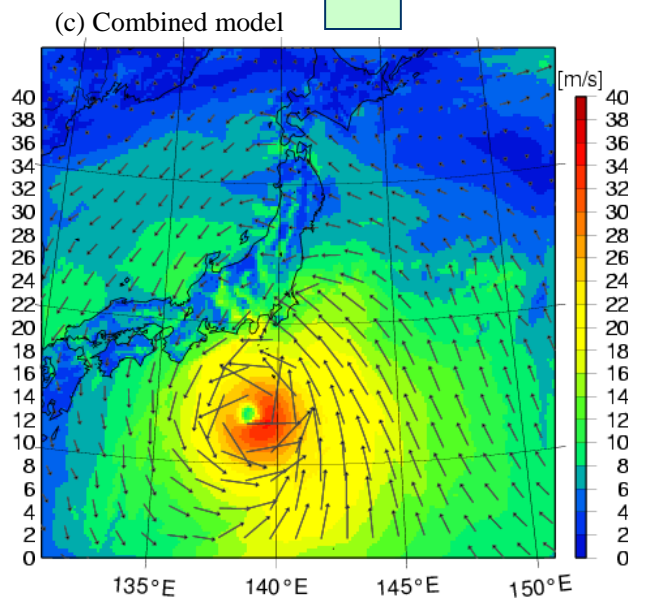
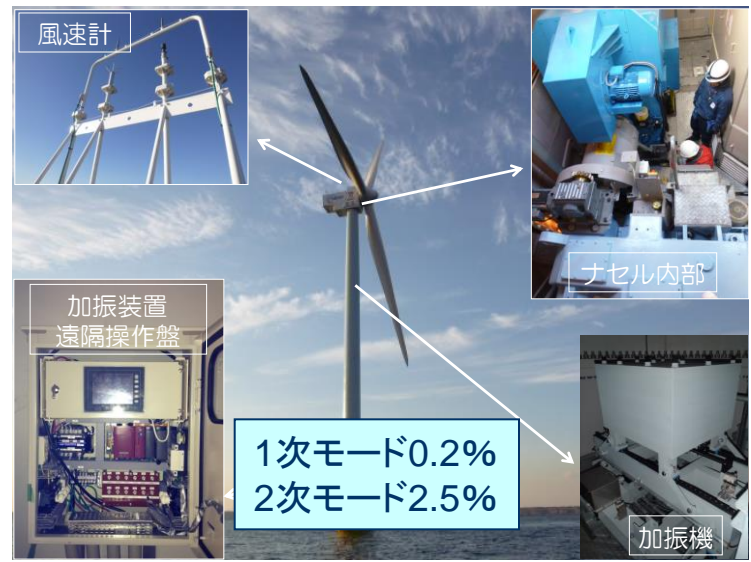
タワー基部ではスラスト力が支配的である一方、タワー頂部ではロータに作用するモーメントが支配的

- 洋上風況の把握
- 高高度の風速鉛直分布の把握
- 洋上の大気安定度の把握
- 波浪特性の把握
- 黒潮域における海潮流特性の把握
- 波と風の同時生起性の把握





- IEC61400-1 Ed.4
 - 台風の評価
 - 地震荷重の評価
- IEC61400-3 Ed.2
 - 波浪の評価
- IEC61400-6 Ed.1
 - 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。

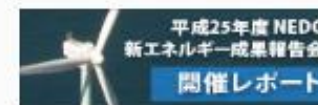
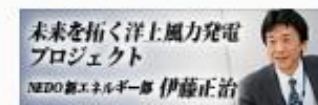
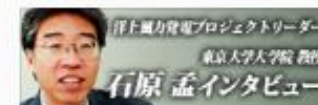
2013年11月5日

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～)

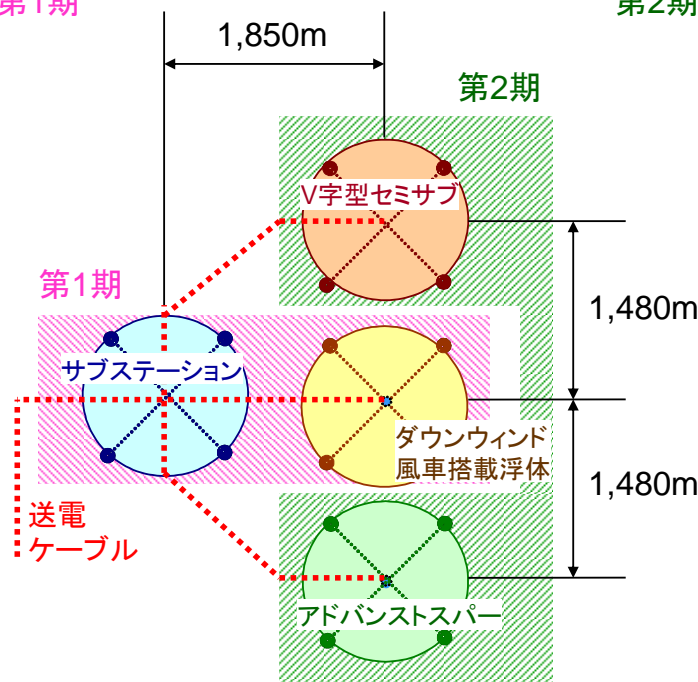
- 第1期では、浮体式洋上サブステーションと海底ケーブルを設置し、本実証研究の基盤を構築するとともに、既存の2MW商業風車搭載の浮体式洋上風力発電設備1基を建設し、実証研究を行う。
- 要素技術の開発を行うと共に、気象・海象・浮体動揺・応力などの浮体式洋上風力発電設備の設計に必要な基礎データを取得する。

第2期(平成25年度～)

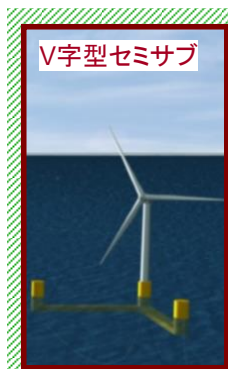
- 第2期では、今後の事業化を見据えて、世界最大級の7MW商業風車搭載の浮体式風力発電設備を建設し、実証研究を行う。
- 第2期の建設単価は第1期の半分に低減させ、大型風車搭載の浮体式洋上風力発電設備による大規模洋上ウインドファームの事業性を検証する。



第1期



第2期

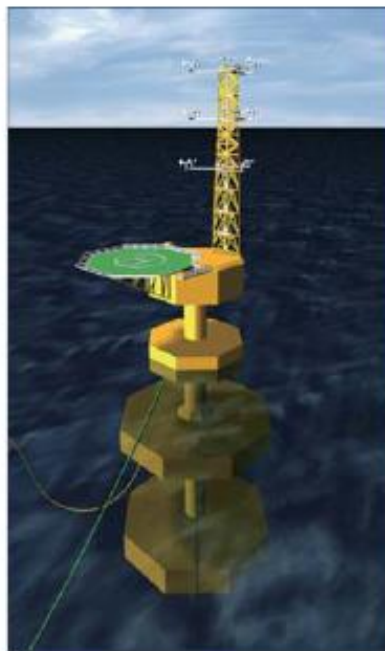


第1期 (2011~2013)

第2期 (2014~2015)

浮体サブステーション

コンパクトセミサブ浮体
(2MW)



アドバンストスパー浮体
(7MW)



V字型セミサブ浮体
(7MW)



3つの成功への鍵

技術的挑戦 / 社会的合意 / 福島復興

設計技術の確立 / 試験・検証 / 最適化

経済性の向上 / 技術の標準化 / 産業の創出

ふくしま絆



完成した浮体式洋上変電所と観測タワー

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

ふくしま未来



完成した2MW風車搭載浮体式洋上風力発電設備

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

ふくしま新風



完成した7MW風車搭載浮体式洋上風力発電設備

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

ふくしま浜風



完成した5MW風車搭載浮体式洋上風力発電設備

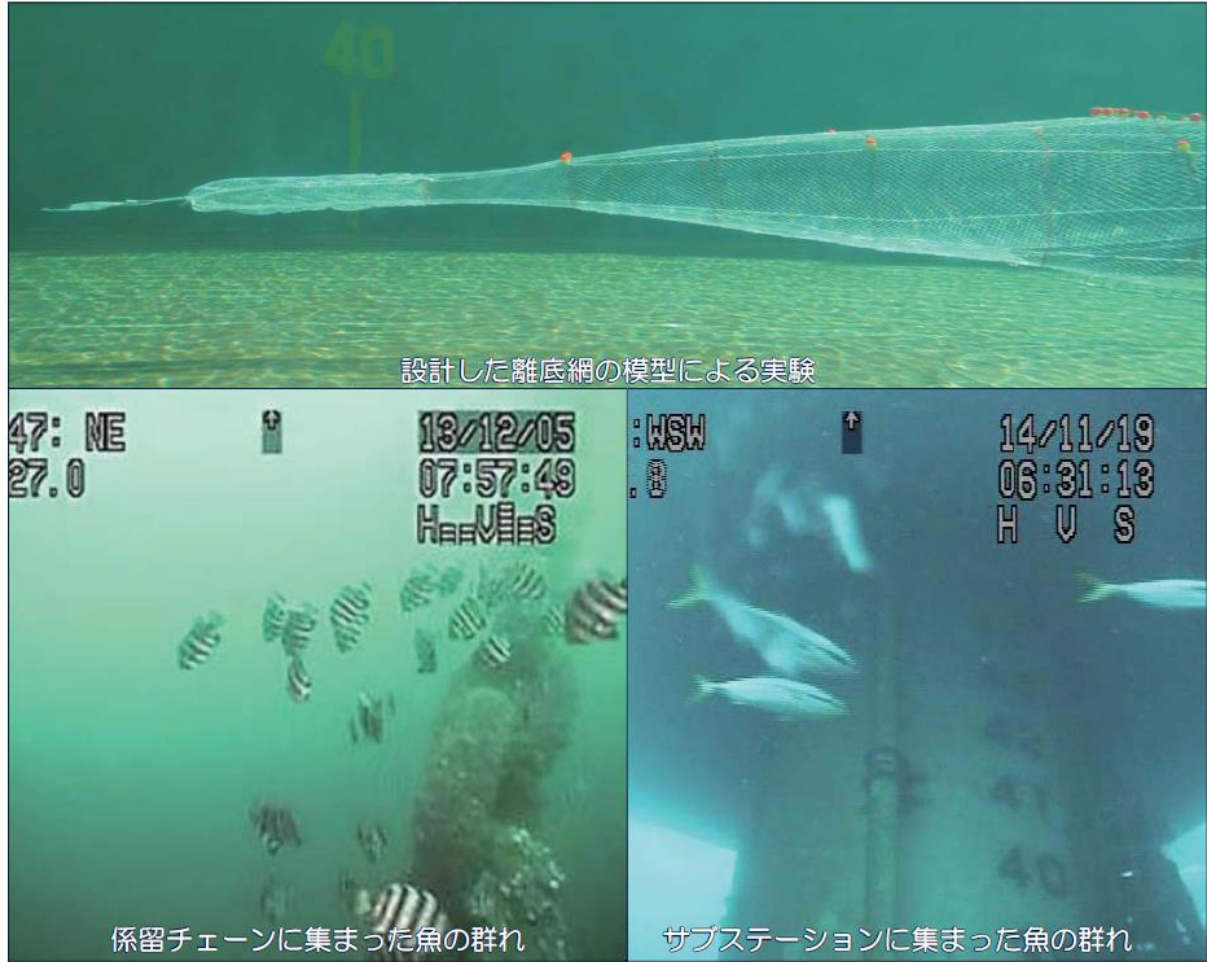
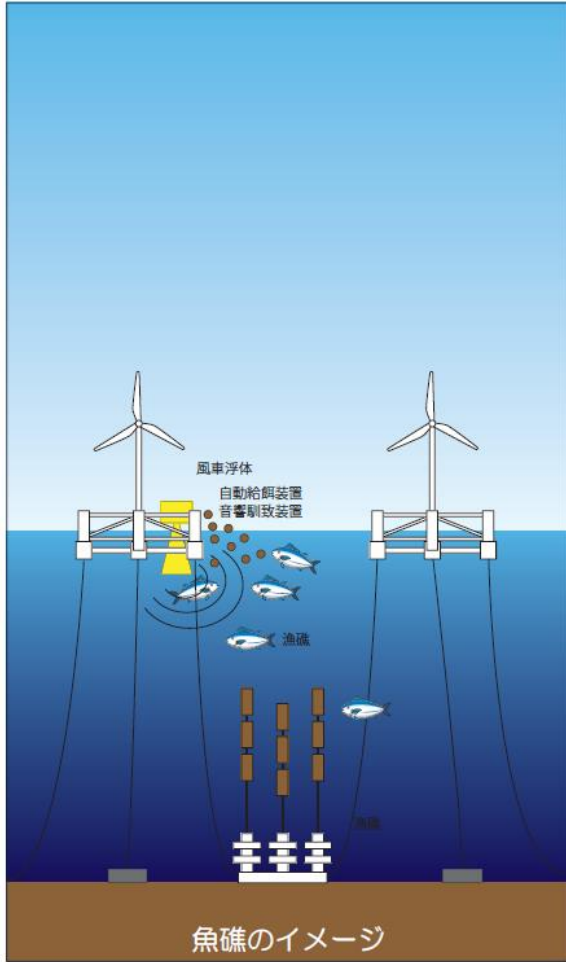
出典：<http://www.fukushima-forward.jp/>



海底ケーブルの陸揚げ地点に陸上開閉所を設置し、常時4人の作業員が洋上発電施設のリモートモニタリングにより管理を行っている。発電所のメンテナンスは、通常アクセス船を使用していますが、緊急時に迅速に対応できるように、ヘリコプターを使用したサブステーションでの緊急訓練を実施すると共に、より効率的なアクセス方法および維持管理手法の開発を行っている。



年4回(四季)の船舶からの目視調査では海鳥としてアホウドリやヒメウ等の重要種、底魚調査ではカナガシラやマダラ等が確認されている。通年における定点調査では、海産哺乳類としてカマイルカ等が確認され、浮魚類としてブリやメジナが周辺海域より多く集まっていることが確認された。



漁業関係者との協議を定期的に行うと共に、浮体周囲の漁業環境調査、魚獲試験、魚類のROV調査および海洋情報・データの提供を実施している。これらの活動を通じて、新たな漁具・漁法の開発や浮体の魚礁効果と集魚効果を明らかにすることにより、浮体式洋上風力発電と漁業との共存の具体的な方向性を検討している。



福島復興のシンボル事業である「浮体式洋上ウインドファーム実証研究」について、地元の住民に理解を深めていただくために、「福島洋上風力交流センター」を市小名浜の観光物産センターいわき・ら・ら・ミュウ2階に開設している。

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

g+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



お知らせ

お知らせ一覧

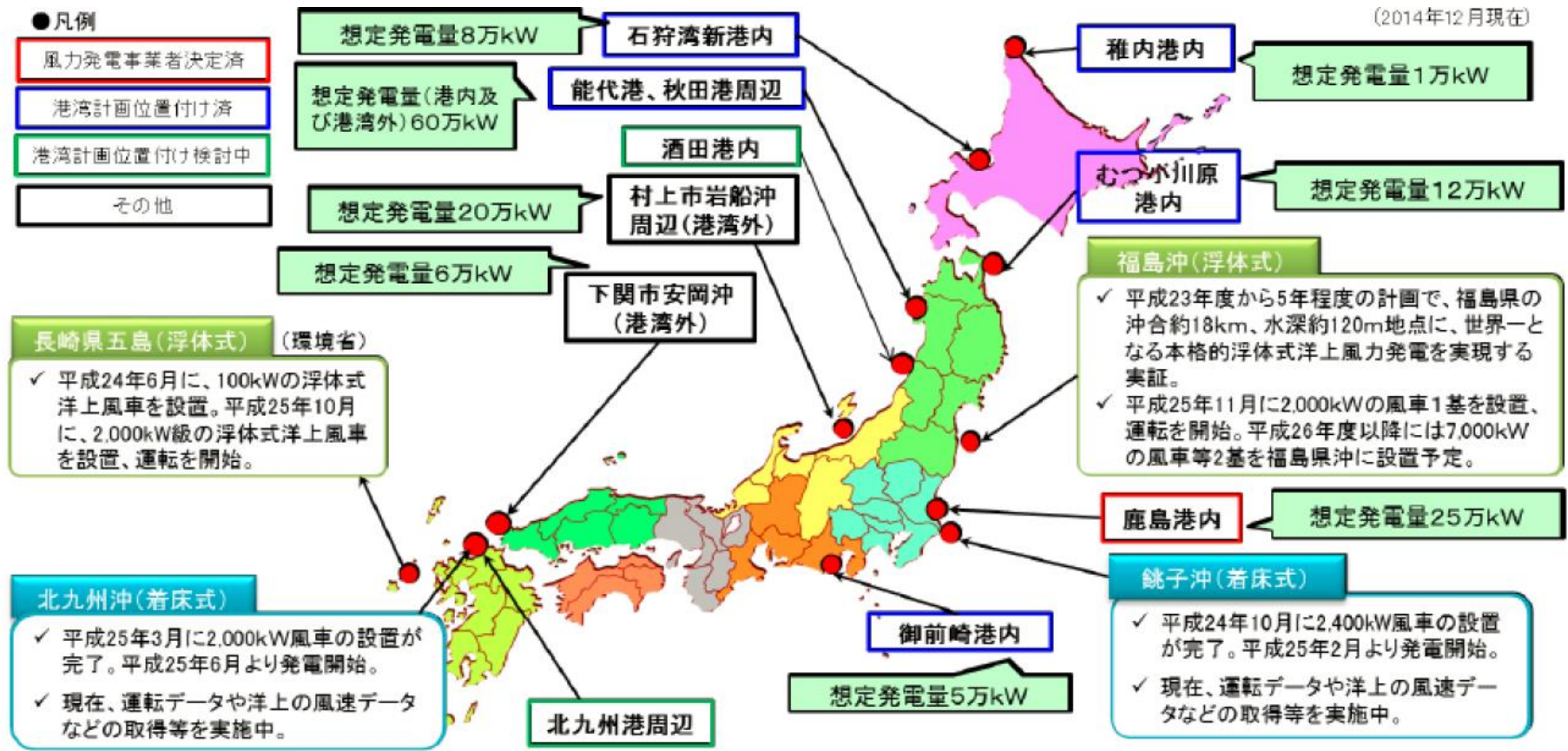
- 2014年6月11日 [福島復興・浮体式ウィンドファーム実証研究事業（第2期）の進捗について](#)
- 2014年5月16日 [ケネディ駐日米国大使が福島沖浮体式洋上ウィンドファームをご視察](#)
- 2014年4月21日 [浮体式洋上風力発電設備の発電状況記録映像を掲載](#)

■ 実証研究事業パンフレット



3. 洋上風力発電の将来展望

- 固定価格買取制度に洋上風力発電の買取区分が2013年に新設された
- 全国の港湾で商業ベースの着床式洋上風力発電の導入計画が始まっている



(出典) 経済産業省 調達価格算定委員会 第16回配布資料

■Bremerhaven港のあゆみ

- 1827年に、ブレーメンの外港都市としてヴェーザー川の下流50kmの位置に建設され、ドイツの主要な港湾として造船業とともに栄えてきた。第二次世界大戦終了後もドイツ駐留米陸軍への物資供給港としての役割を果たしてきた。
- 1989年に、冷戦終結に伴い、ドイツ駐留米陸軍への物資供給港としての役割が終え、さらに、アジアや東欧の台頭による造船業不況により3500人が失業、人口も減少した。
- 2001に、市議会では、北海における大規模洋上風力開発に適した港湾設備および造船・重工業の高い技術力、豊富な労働力を活かし、洋上風力開発を主目的とした再生可能エネルギーセクターの設立を決定し、2004年に世界最大規模の5000kW風車の試験を開始した。

■Bremerhavenの戦略

- Bremerhaven港の強みを生かした再生可能エネルギーセクターの設立（戦略立案）
- 世界最大規模の5000kW風車試験の実施により、港の魅力をアピール（広報活動）
- 実証実験サイトの提供と許認可手続きの迅速化（集積企業への支援）



- 大型風車メーカー2社（洋上風力関連）
- 設計コンサルタント、重工（風車関連）
- 風車試験機関（風車関連）
- 中型風車メーカー2社（輸出関係）



Source: Windenergie Agentur



ブレーマハーフェン港湾空撮図



陸上に設置された実証研究の洋上風車



岸壁に隣接する風車メーカー工場



風力発電産業用に改修された港湾施設

- 福岡県の北九州市は港の沖合に広がる2700万平方メートル(ha)の水域を対象に、発電能力が200MW以上の設備を建設・運営する事業者を募集する。
- 2017年1月以降に事業者を選定して、建設開始は2021年度を見込んでいる。

響灘地区を風力発電産業の総合拠点に

産業集積

響灘地区は、テストセンター、メンテナンス訓練施設、風車部品の物流センターの整備を行うとともに、風力発電関連企業の誘致を進めています。

風車市場

北九州港の近海周辺は、洋上風力発電設置に適した海域が広がっており、北九州港湾区域から導入を進めています。

拠点港化

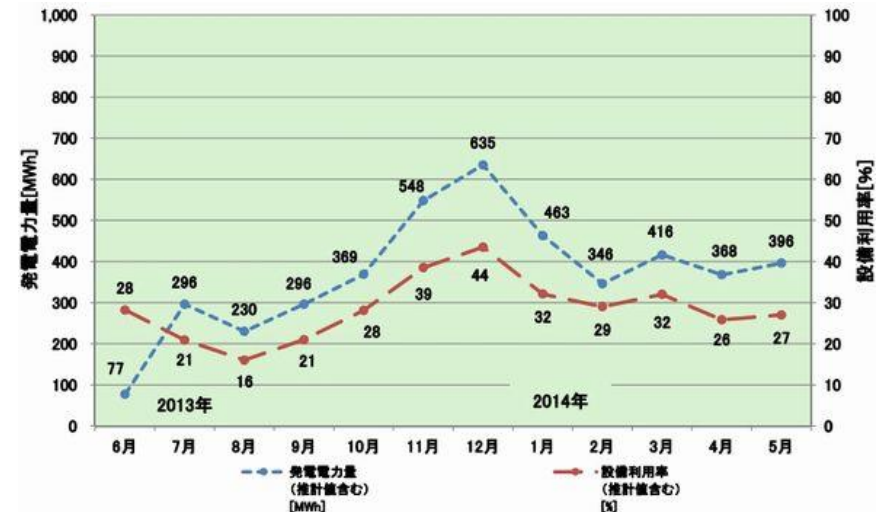
風車の大型化に伴い、60mを超える長尺部材、400トンを超える重量部材の積み出しが可能な岸壁及び背後に保管が可能なヤードの整備を進めています。

(出典：北九州市港湾空港局)

充実した電力系統、港湾インフラの利用、
海域の管理と利用調整の仕組みの整備



- 北九州市の公募で建設する大規模な洋上風力発電所が完成すると、発電能力を200MW、設備利用率を30%で計算すると、年間の発電量は一般家庭の使用量に換算して約15万世帯分に相当する。
- 現在の洋上風力発電の買取価格(1kWhあたり36円、税抜き)を適用した場合には、年間の売電収入は約190億円にのぼる。



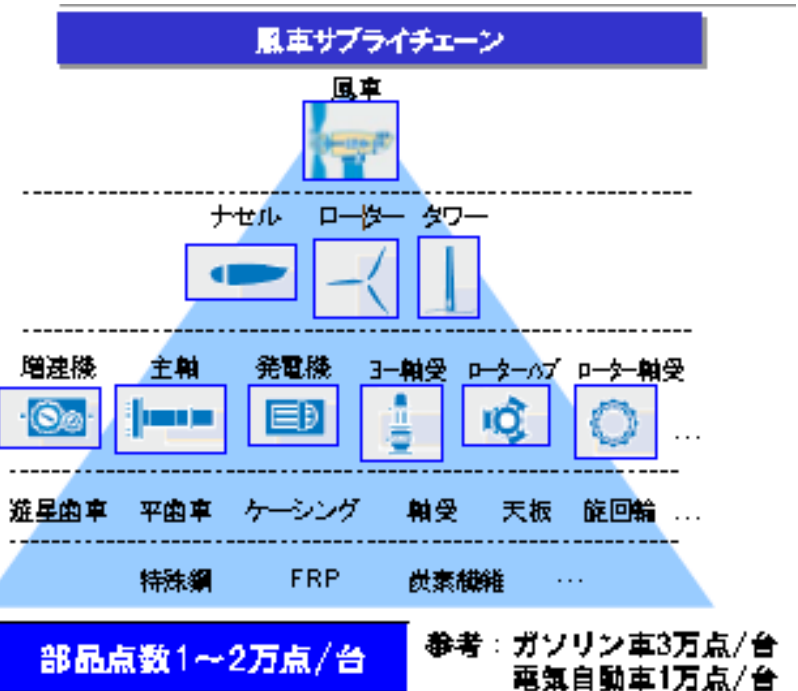
NEDOが公表した2013年の実証データによると、年間の平均値で7.1m/s、設備利用率は28.5%、洋上風力の目標値である30%に近い水準を実証した。

風力発電関連産業アジア総合拠点イメージ図



洋上風力を含めた風力発電設備そのものの導入だけでなく、部品やメンテナンス、訓練施設、物流センターなどの関連産業も集積させることで、アジアの中心となる大規模な風力発電産業を築こうという壮大なプロジェクトである。北九州市は7日、洋上風力発電施設設置・運営への参加を検討している事業者向けの説明会を開催した。新電力会社など8グループが参加した。

- 風車は1~2万点の部品からなる自動車型産業
- 日本の風力累積導入量は250万kW、世界の1%
- わが国では売上高3000億円と雇用5000人
- 世界では売上高8.3兆円(日本の30倍)と雇用50万人(日本の100倍)



産業	雇用者数/新規 設置量 MW	雇用者数/既存 設置量 MW
風車製造(直接雇用)	7.5	—
風車製造(間接雇用)	5.0	—
風車設置	1.2	—
保守・メンテナンス	—	0.33
その他直接雇用*	1.3	0.07
合計	15.1	0.40

陸上風力発電： 雇用者数は年間新規導入の場合風1MWあたり15.1人となっており、その大半は風車製造に関わるものである。

洋上風力発電： 雇用者数は22人と推計しており、陸上風力発電に比べ1.5倍の雇用効果が期待される。

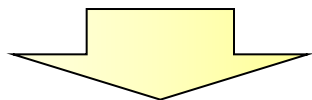
(出典：みずほコーポレート銀行の資料)

■ イギリスの洋上風力開発の戦略

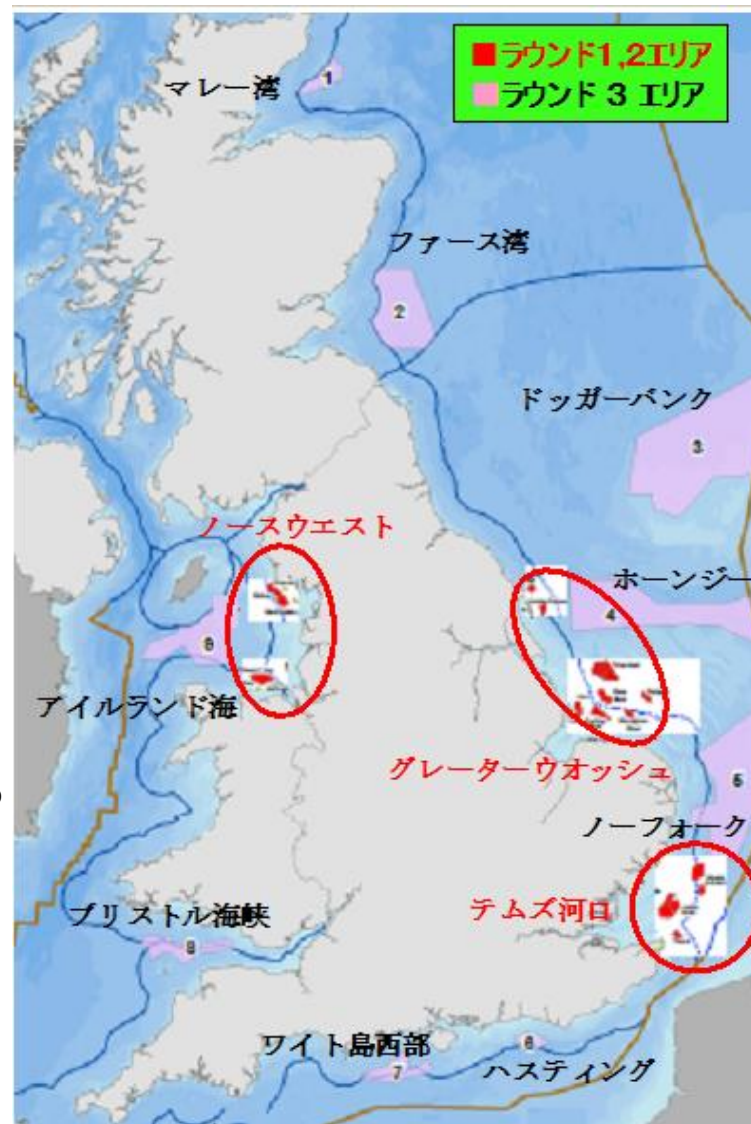
- 2007年、政府は2020年までに1800万kWという開発目標を発表
- 事業規模は13兆円、7000基以上の洋上風車を設置し、国の全消費電力の3分の1を賄う
- 英国国王の資産管理を行う政府系特殊法人が開発区域を指定。北海海底油田鉱区のように入札を実施

ラウンド1	18区域	150万kW	2001入札完了
ラウンド2	15区域	710万kW	2003入札完了
ラウンド3	9区域	3200万kW	2010入札完了

※計画通りにいけば、設備容量は4060万kWに達する

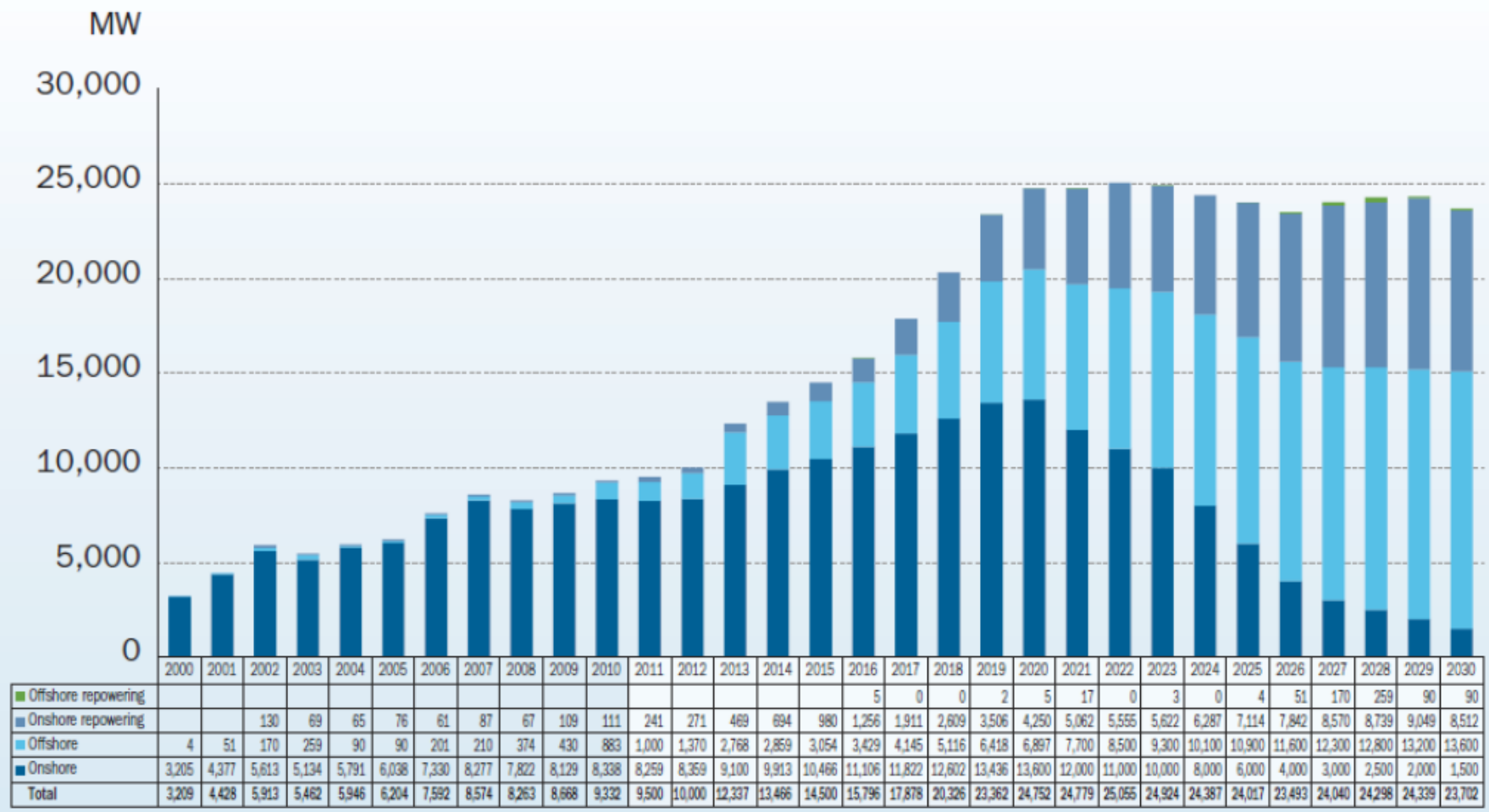


世界中の風力発電企業の研究施設や製造拠点を集積し、国の一大産業として発展させる



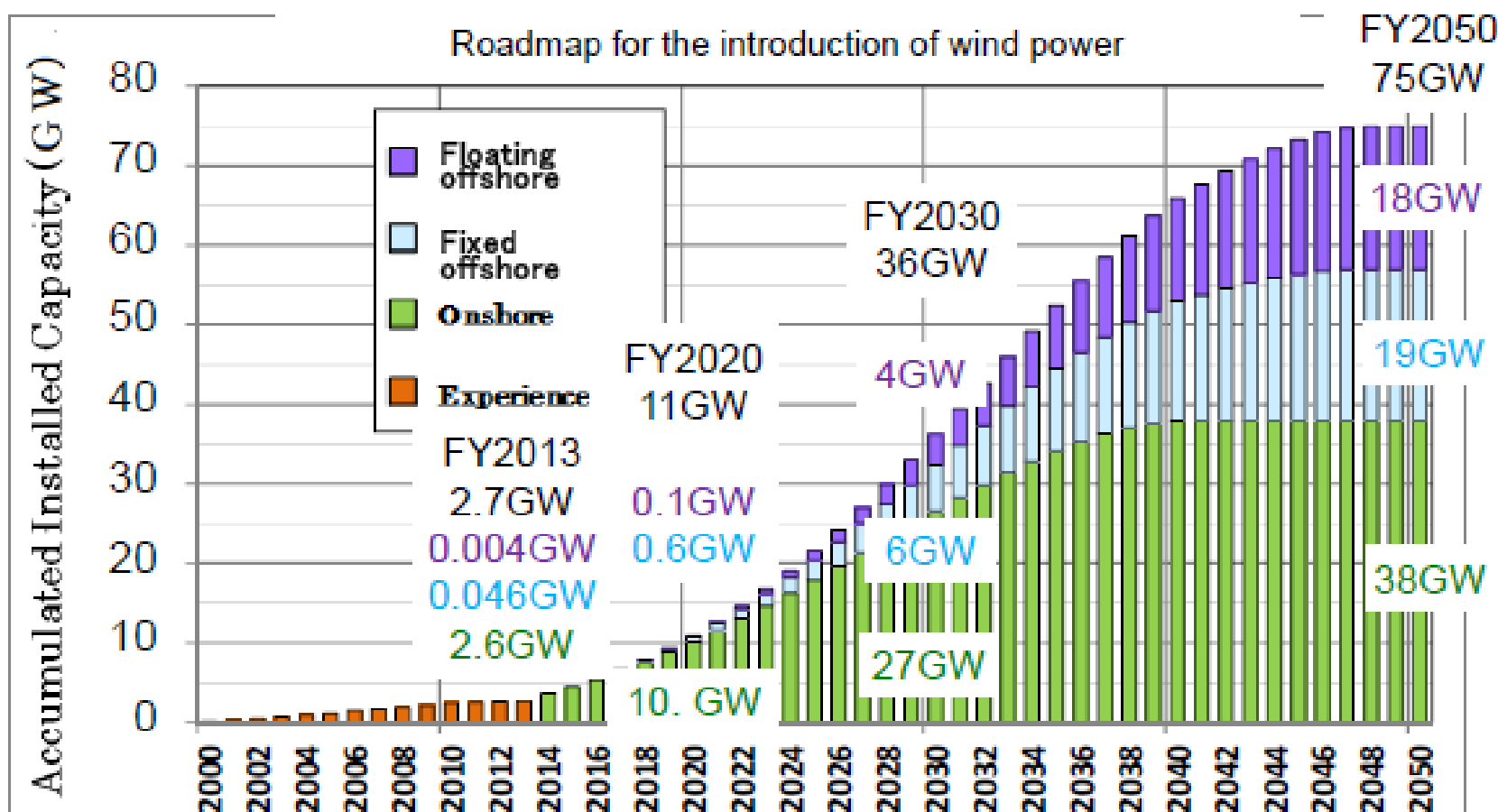
欧州における洋上風力導入量見通し

- 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)

- 2050年までに風力発電による電力供給は20%を目指す。
- 2020年:1100万kW、2030年:3600万kW、2050年:7500万kW
- その半分は洋上風力、着床式は4分の1、浮体式は4分の1



Electricity supply by wind power : 0.5% → 2% → 9% → 20%

ご清聴ありがとうございました！



2002年に2000kWの風車80基がデンマークに建設された（Horns Rev洋上風力発電所：水深6～12m, 離岸距離14～20km）（出典：EWEA, 2009）