第23回 福岡県 地域エネルギー
政策研究会向け

世界における洋上風力発電の動向と国内の現状について

2019年3月1日
日本風力発電協会
国際･広報部長
（日本風力ｴﾈﾙｷﾞｰ学会 理事会）
上田 悦紀

オランダのアイセル湖畔のWestermeer 洋上風力発電所
Siemens 3MW x 48台 = 144MW、2016年6月運開
岸から 600m と 1200m の2列配置（沿岸陸上も加えると3列）
地元市民が出資、投資額は 4億ユーロ（511億円）

目　次

1. 洋上風力発電は年商約2兆円の大産業
2. 洋上風力発電の歴史
3. 洋上風力の仕事：調査～建設～O&M～撤去
4. 世界の拠点港の例
5. 日本の現状

洋上風力発電

・陸上の適地に風車を建て尽くした欧州では、障害物がなく、強風が吹く北海やバルト海に、大規模な洋上ウィンドファームが続々と建設されています。

・欧州の洋上風力発電は2018末で18.5GWが運転中。2030年には約200GWまで増やす計画です。

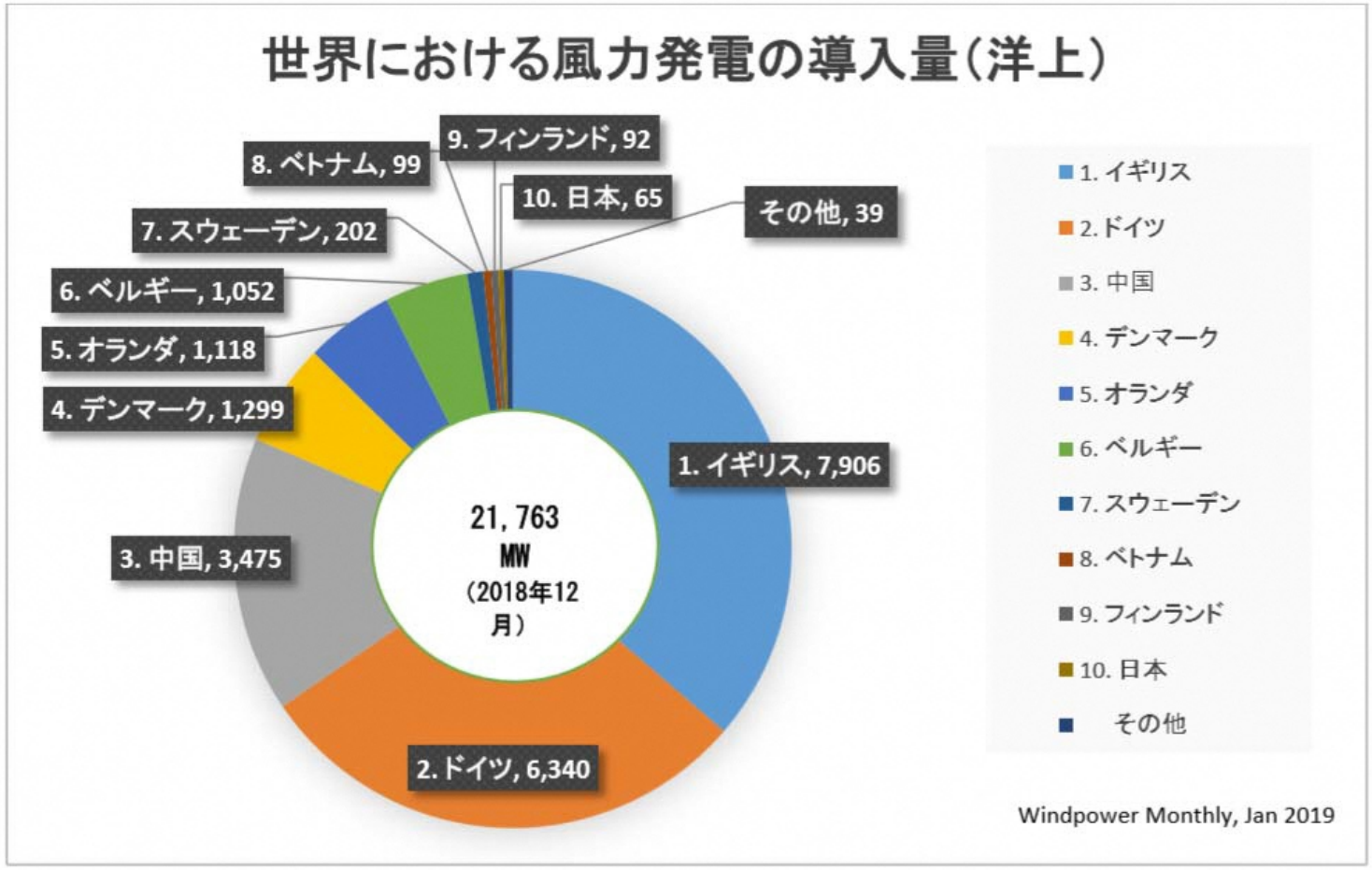
・日本でも着床式と浮体式の双方のタイプの研究開発が始まっています。

スウェーデン　マルメ
リルグランド洋上ウィンドファーム
2.3MW×48台＝110.4MW

世界の洋上風力発電は2億2千万kW（2018年末）
日本は65,400kW（世界の0.3%で10位）

風力発電全体に占める洋上風力発電の割合は、
累積で2.9%、2018年新規では8.5%
英国1位7.9GW、ドイツ2位6.3GW。

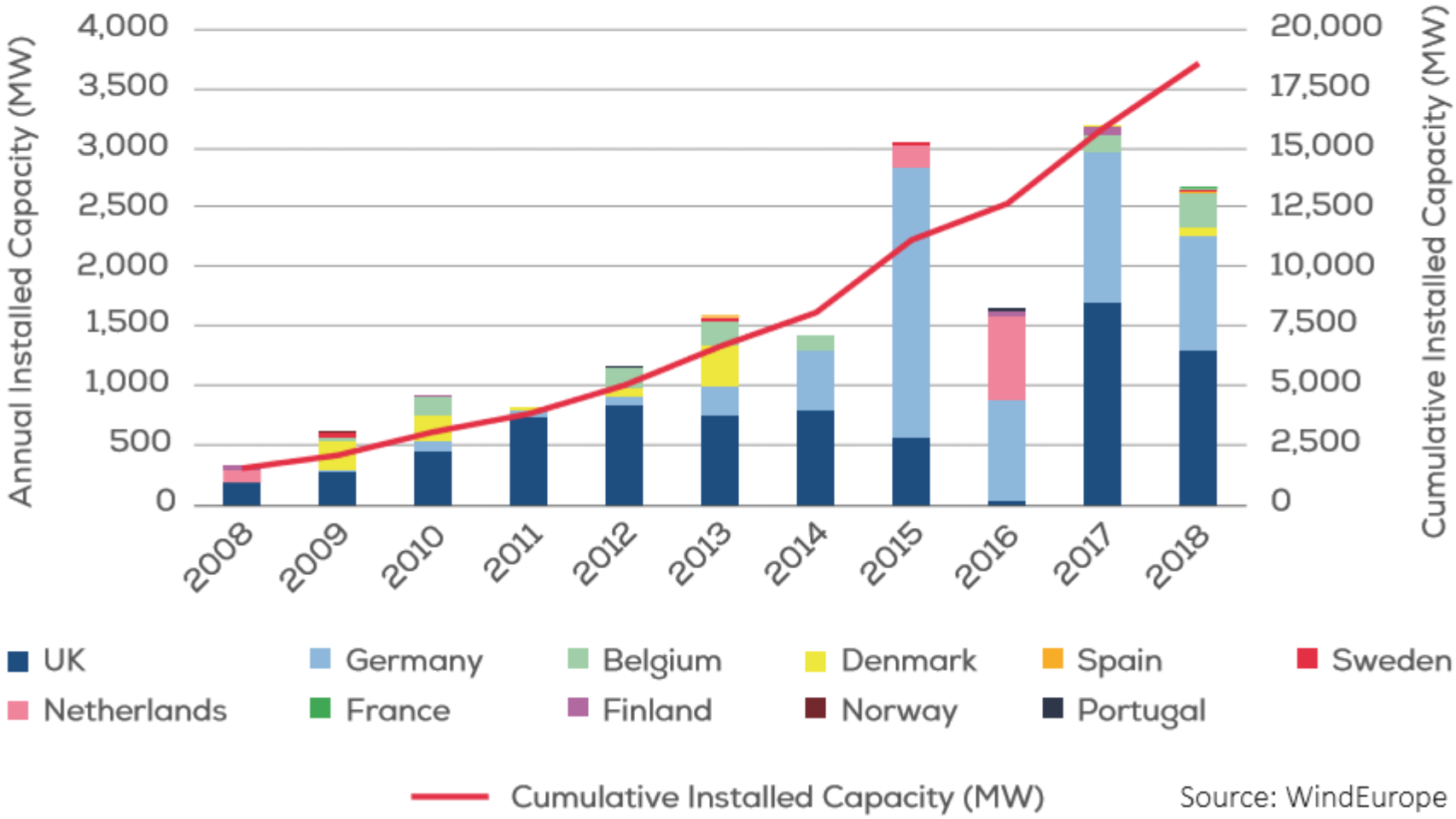
	洋上
1. イギリス	7,906
2. ドイツ	6,340
3. 中国	3,475
4. デンマーク	1,299
5. オランダ	1,118
6. ベルギー	1,052
7. スウェーデン	202
8. ベトナム	99
9. フィンランド	92
10. 日本	65
その他	115
合計	21,763



欧州は約3GW/年のペースで洋上風力を導入中

FIGURE A

Annual offshore wind installations by country and cumulative capacity (MW)

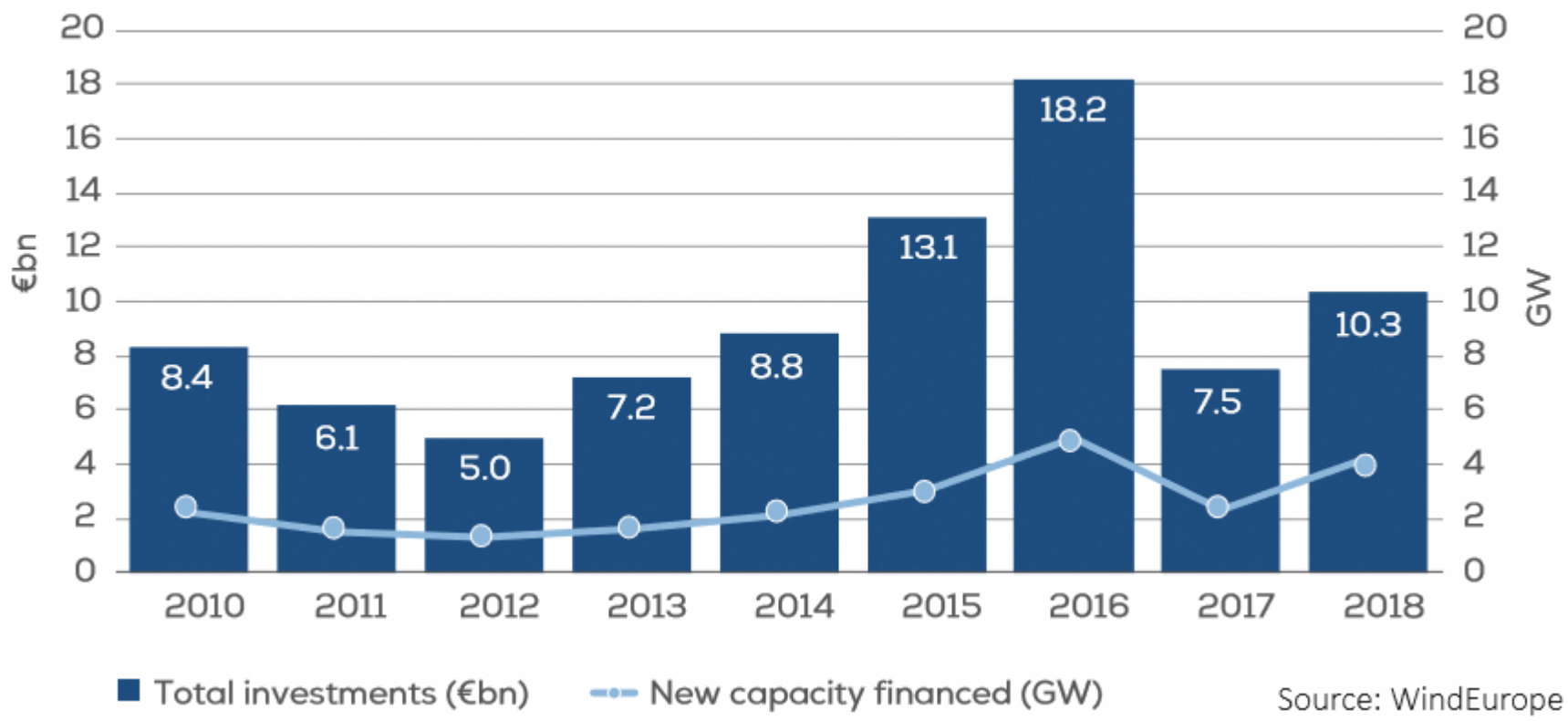


Source: WindEurope

最近の欧州は洋上風力開発に毎年
75～182億ユーロ(1～2.4兆円)を投資している

FIGURE B

New offshore wind investments and capacity financed: 2010-2018 (€bn)



Source: WindEurope

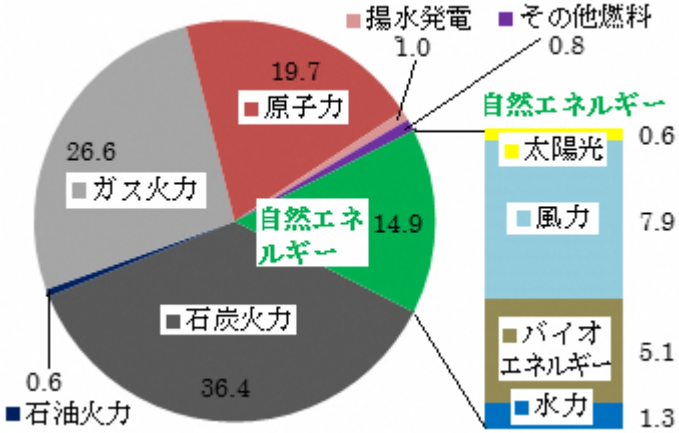
英国の洋上風力は、環境ではなく産業・雇用政策

1. 雇用対策

・衰退する北海油田の代替産業：海上・大型・ｴﾈﾙｷﾞｰ関連
（原油産出量は最盛期の1/2以下に低下）

・石炭産業衰退時の教訓は
「生活保護より産業誘致の方が経済効率が高い」

英国の電源構成（出典：環境ビジネス）



2. エネルギー＆環境

・風力・海洋エネルギー以外に
有望な再生エネルギーが無い
（水力・地熱・バイオマス無し、
太陽光は高緯度曇天）

・陸上風力は環境＆景観の反対で成功率は43%と低い
ゾーニング済みの沖合の洋上風力の方が確実

・国際海底送電線（Super Grid計画）の整備が進んでいる

英国は洋上風力に LCR 50%を設定、SGREとMVOWの工場誘致に成功

https://www.siemens.co.uk/en/news_press/index/news_archive/2014/major-uk-offshore-wind-manufacturing-site-to-be-built-by-siemens.htm

SIEMENS

Siemens United Kingdom | Contact

Siemens to build major offshore wind manufacturing site in the UK

1,000 new jobs to be created in Hull area.

Siemens manufacturing plans will help create around 1,000 jobs - 550 at the blade factory and 450 at Green Port Hull.

Today, Siemens has announced its decision to invest £160 million (EUR190m) in wind turbine production and installation facilities in Yorkshire. The revised plan will be spr sites comprising the previously announced Green Port Hull project construct and service facility and a new rotor blade manufacturing facility in nearby Pa Riding. Siemens is investing £160 million across the two locations and its p Associated British Ports (ABP) is investing a further £150 million in the Gree development. The investment will provide a huge boost to the UK's offshore the Humber region. The combined investments of £310 million will create up directly, with additional jobs during construction and indirectly in the supply c

Prime Minister David Cameron said:

"This is a massive vote of confidence in our long-term economic plan. This i going to create lots of new jobs and opportunities, meaning more financial s of mind for families and a more resilient economy for our country."

The Green Port Hull project has been in the making for around four years ar of a huge team effort between many national and local political, business ar parties and many people within Siemens in the UK, Denmark and Germany,

The much anticipated investment is a landmark moment for the UK offshore the first manufacturing plant of its kind for Siemens next generation blade te (IntegralBlade®) designed for Siemens SWT-6.0-154 6 megawatt (MW) win leading edge technology - each rotor blade is 75 metres long and when rota area the size of two and a half football pitches.

www.mhivestasoffshore.com/mhi-vestas-offshore-wind-to-serial-produce-blades-on-the-isle-of-wight-uk/

MHI VESTAS OFFSHORE WIND

MHI Vestas Offshore Wind to serial produce blades on the Isle of Wight, UK

Serial production of 80m blades for MHI Vestas Offshore Wind's V164-8.0 MW® offshore wind turbine to commence on the Isle of Wight from as early as Q2 2015 pending firm and unconditional orders.

MHI Vestas Offshore Wind will serial manufacture the 80m blade for the V164-8.0 MW®, the world's most powerful offshore wind turbine on the Isle of Wight off the southern coast of the UK. The announcement is the first part of a wider industrialisation strategy in the UK which is expected to result in up to creating up to 800 jobs.

all at Vestas' blades technology centre on the Isle of Wight from 1 January depending upon a pipeline of firm and unconditional orders.

Wind's commitment to the UK offshore wind market.

our industrial strategy here in the UK, the world's largest offshore wind become the first manufacturer with the capacity to serial produce blades haring further aspects of our industrial strategy in due course."

K is already the world leader for investing in offshore wind, and 2,250 ng on that success with our historic reforms to the electricity market

ing designed, tested and produced in the UK. This is another great ment – not just in building the turbines themselves but right across the

y designed to develop large blades for the latest wind turbines. The facility n, and one for blade production, which will be leased by MHI Vestas Offshore

https://www.offshorewind.biz/2018/04/20/report-recommends-uk-content-increase-in-offshore-wind/

offshoreWIND.biz BUSINESS GUIDE

Report Recommends UK Content Increase in Offshore Wind

The UK government should establish a new 60 percent UK content target for British offshore wind projects, according to former UK Energy Minister Michael Fallon.

Left to right, Wilton Engineering Chief Executive, Bill Scott, Sir Michael Fallon, and Tees Valley Mayor, Ben Houchen. Source: Recognition PR

In his report – Winning Locally, Going Global – Fallon said that as the current 50 percent target is close to being met by some wind farm developers the higher target to be set for the remaining GBP 550 million spend to 2025.

Within the 60 percent target, which will include operating expenditure, he recommends at least **50 percent of capital expenditure** to be sourced within the UK.

Posted on April 20, 2018 with tags Michael Fallon, Winning Locally Going Global.

欧州の北海とバルト海の洋上風力サイトの地図

最近の洋上ウインドファーム

最近の洋上ウインドファーム

Burbo Bank Extension
英国リバプール沖
2017年5月運開
三菱Vestas V164×32台
＝254.2MW
開発費8億ﾎﾟﾝﾄﾞ(1100億円)
写真提供:MVOW社

最近の欧州の洋上風力発電所は百万kW級

英国のMoray洋上ウインドファーム。
9.5MW風車×100台＝950MW
（40万円/kW換算で、約4千億円の商談）

Windpower
ENGINEERING & DEVELOPMENT

EDP Renewables and ENGIE Awarded 950-MW Offshore Wind Contract

September 11, 2017 Michelle Froese : 0 Com

EDP Renewables, (EDPR) and ENGIE have an
company currently owned by EDPR (77%) ar
for the delivery of 950-MW of offshore winc

The contract was awarded by the UK's Depa
CfD auction.

【売買】三菱商事、英国スコットランドで新たな洋上風力発電事業に参画／発電容量は約95万kW、2022年に運転開始

infrato　2018年3月26日　事業参画・売買レポート　No Comment

2018年03月26日、三菱商事株式会社（以下、「三菱商事」）は英国スコットランドのモーレイ湾沖合で洋上風力発電事業を進める事業会社「Moray Offshore Windfarm（East）Limited社」（以下、「MOWEL社」）の株式33.4%を取得したことを発表した。

offshoreWIND.biz

Posted on October 30, 2017 with tags 9.5MW, MHI Vestas, Moray East.

MHI Vestas 9.5MW Preferred for 950MW Moray East OWF

Image: MHI Vestas

Moray Offshore Windfarm East (Ltd) plans to install one hundred 9.5MW wind turbines for its 950MW offshore wind farm in the Outer Moray Firth and has now selected MHI Vestas as the preferred turbine supplier.

Oscar Diaz, Project Director, Moray East said: *"Co-operation with MHI Vestas to couple the latest turbine technology with advances in engineering and project deployment has enabled the achievement of major reductions in the cost of offshore wind. Moray East will produce power at £57.50/MWhr – less than half the cost of similar projects being installed today."*

operation is expected in 2022.

欧州の洋上風力発電は 4GW/年へ

・2017年6月ロンドンの洋上風力大会で、以下の一連の発表があり、浮体式洋上風力開発が活発化。

前提条件：（着床式の）洋上風力発電の落札価格が急落（1年で半値になった）。

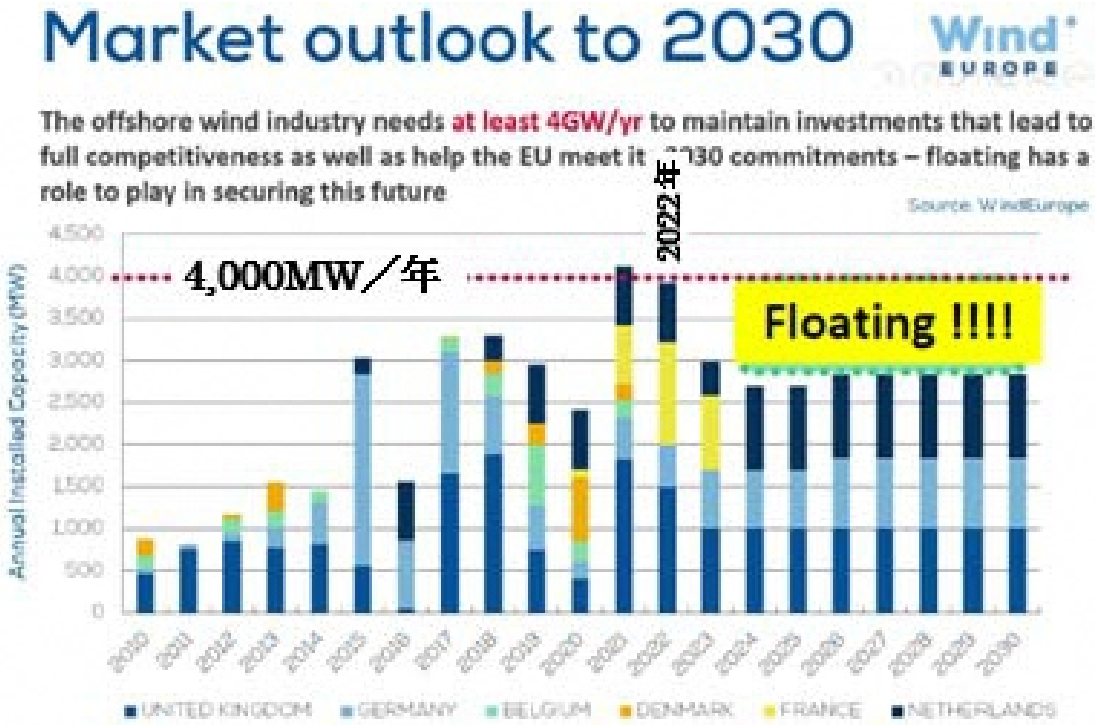
1) 落札したDong Energy がコスト低減で、風車メーカに12～15MW級の超大型風車の開発を要請

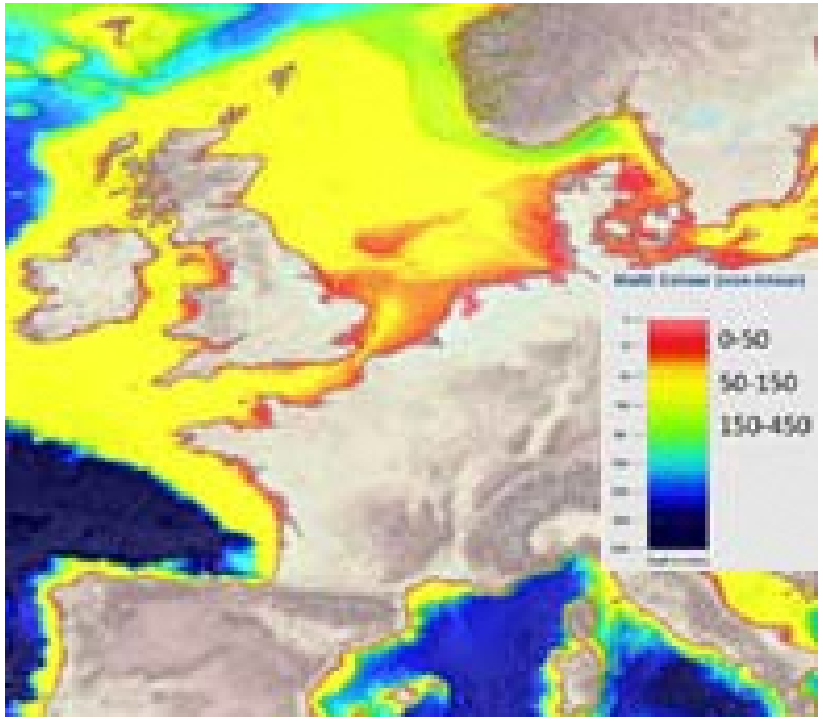
2) 風車メーカは「その開発費回収には毎年4GW以上の新規導入が続く市場規模が前提」と回答。

3) 従来の欧州想定の洋上市場規模は2～3GW/年だったので、約1GW/年のギャップが判明。
特に2022年以降の不足が顕著。（下左図）

4) 50m以浅の海域は既に着床式で割当て済み。市場拡大は50mより深海へ（下右図の黄色海域）。

5) 「2022～23年頃に大規模な商用の浮体式洋上風力プロジェクトが始まる」という期待が広がる。





北海では更に壮大な100GW構想が進む

洋上風力産業を永続させるには4GW/年×30年（洋上風車の寿命）＝120GW の市場が必要。
そのために北海中央に送変電基地を作って、四方八方に海底送電線を伸ばして連系する。

欧州3送電会社　北海のど真ん中に「人工島」建設へ。洋上風力発電のハブ＆ポーク化。1億人分の電力を賄う100GWの発電を確保へ。島は早ければ2035年に誕生（RIEF）。

2017-04-04 23:36:46

欧州の再生可能エネルギー開発が壮大になってきた。ドイツ、デンマーク、オランダの3か国の送電会社が、北海洋上に人工島を建設し、約1万基の洋上風力発電設備をつなぐネットワークのハブとして位置付ける。洋上の「ハブ&ポーク」の展開で、最大1億人が消費できる100GWの電力を作り出すという。日本は再エネ開発の"本気度"で欧州に大きな差をつけられてきた。

プロジェクトは「北海風力発電ハブ（North Sea Wind Power Hub）」と名付けられる。オランダとドイツを拠点とする送電大手会社のTenneT TSO B.V.（オランダ）とTenneT TSO GmbH（独）、デンマークのEnerginet の3社が主導する。域内の「エネルギー同盟」を推進する欧州委員会も後押ししている。

人工島を建設する海域は、北海を取り巻く6か国（ドイツ、英国、オランダ、デンマーク、ノルウェー、ベルギー）からほぼ等しい約200km沖合の地点。このうち5カ国の排他的経済水域に重なるが、今回のプロジェクトでは発電した電力と水域との関係を切り離すという。

RIEF Research Institute for Environmental Finance
一般社団法人環境金融研究機構
〒100-0011
東京都千代田区内幸町2-2-1 日本プレスセンター8階
Tel & Fax（03）6206-6639
Email: info@rief-jp.org

事業主体の3社は今後、数年かけて、人工島の建設地のフィージビリティスタディを実施、早ければ2035年には島が誕生すると想定している。建設予定の人工島は1つないし2つ。北海の面積は日本の国土の1.5倍の57万㎢と広い。ただ、中央部の面積1万7600㎢は、四国とほぼ同じ広さで東西に長い「ドッガーバンク」と呼ばれる浅瀬地帯になっている。

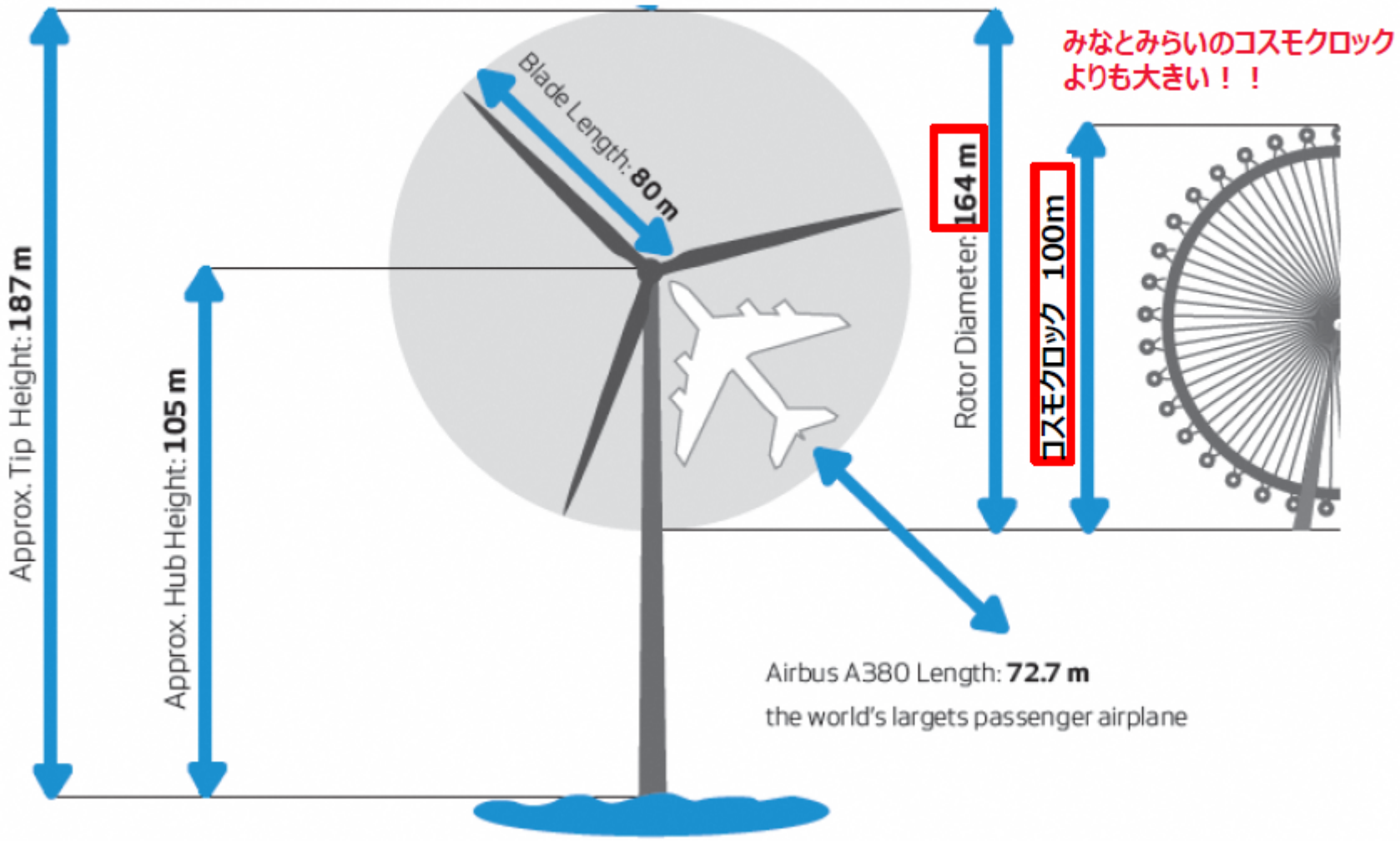
浅いところで水深13m、深い所で30m程度。現在、北海沿岸諸国が洋上風力発電を建設している沿岸部の深部とほぼ同じ水深という。つまり洋上風力建設と同じ条件で、島を作ることができる。人工島には建設コストがかかるが、現状よりコスト削減できる面もある。

それが送電コストだ。現在の洋上風力は、海中を長距離にわたって交流で送電できないことから、発電所ごと、またはウィンドファームごとに交流直流変換装置を設けなければならない。この変換装置の費用は風力発電設備が増えるほど上昇する。また風車の保守・整備費用も増える。

人工島がハブになると、各ウィンドファームから人工島に交流で送電、島内で一括して直流変換した後、各国に直流送電するようにすれば、変換装置のコストを大幅に削減できる。島には空港や港湾を設け、保守部品の備蓄スペースや、保守要員の常駐する"街"も置くので、保守・整備費用も減少する。

世界最大の商用風車 V164（今は定格出力10MW）

➢ 洋上風車（海にたてる風車）の大きさ



Q: この V164 が 1回転で発電できる電気の量は？

- 定格出力： 10,000 kW
- 定格回転数：10.5 rpm（1分間に 10.5回転）

↓

- 1回転で発電できる量：

  10,000 kWh÷60分÷10.5回転＝15.9 kWh / 回転

- 日本の一世帯当りの平均電力消費： 278 kWh / 月

（出典：電気事業連合会 http://www.fepc.or.jp/enterprise/jigyou/japan/ ）

↓

- 15.9 kWhは平均家庭の 1.7日分の電気になります。

  15.9 kWh / 278 kWh×30日＝ 1.7日

目　次

1. 洋上風力発電は年商約2兆円の大産業
2. 洋上風力発電の歴史
3. 洋上風力の仕事：調査～建設～O&M～撤去
4. 世界の拠点港の例
5. 日本の現状

1991年 世界初
デンマーク東部
1.8km沖
Windeby WF
オーナはOrsted
450kW×11台
（老朽化したので
2017年に
撤去された）

2000年、英国Blyth港
の0.8km沖、2MW×2台

1991年の世界初の洋上風力開発から、2MW級の
大型風車の洋上ウインドファームまで約10年かかった

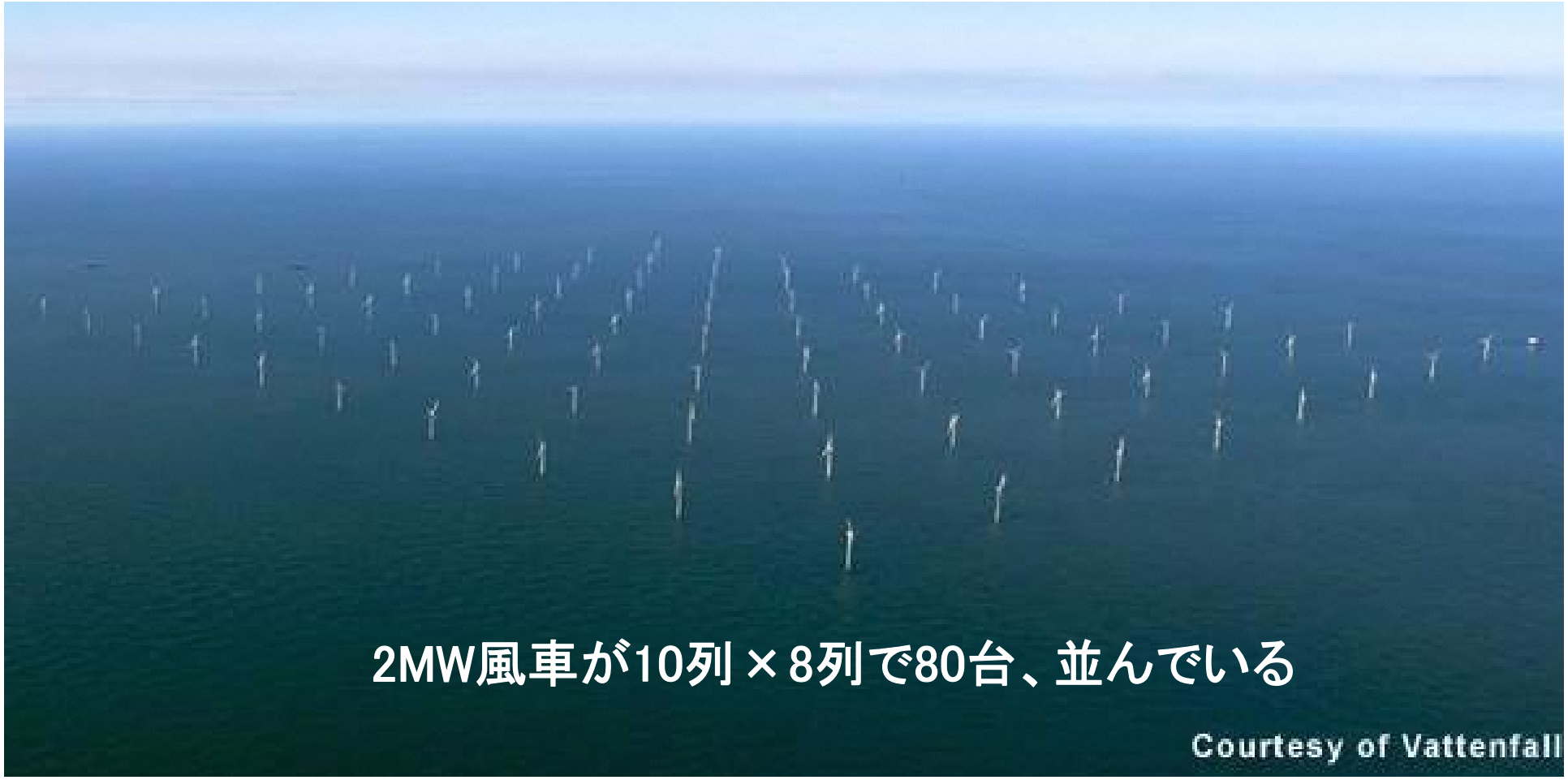
2001年、デンマーク
コペンハーゲン港の2km沖
Middelgrunden wind farm
オーナは、Orstedと市民出資
Bonus（現SGRE）2MW×20台

欧州北海の洋上ウィンドファーム

世界で初めての本格的な沖合の洋上風力開発。
大量建設手法は確率したが、コストは高い。

塩害や増速機トラブルで数回の大規模クレーム
（Jack up船によるナセル換装）を招き、
風車メーカのVestasは倒産しかけた。

デンマーク　東側沿岸
Horns Rev PJ　　2002年運開
Vestas 2MW×80台 ＝ 160MW
オーナはOestedとVattenfall
建設費2.78億ユーロ（約350億円）



欧州洋上風力コスト低減の道のり

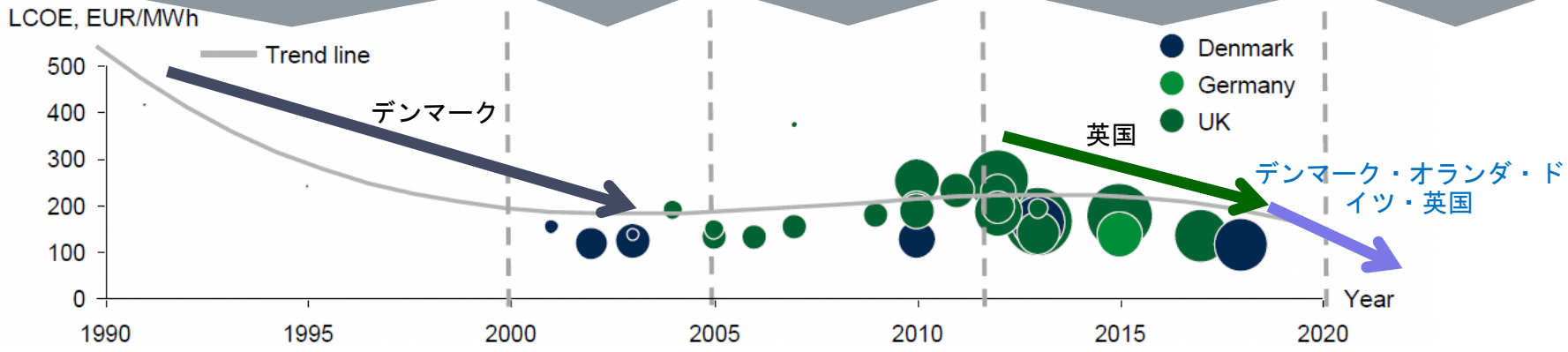
「洋上風力は一日にしてならず」 過去25年以上にわたる試行錯誤、条件の変化、技術革新等によりCOEは変動してきたが、近年、規模の経済と習熟効果、さらに激しい競争効果により大幅に下落。

不調の時代 → 復活

＊据付ベース

COEの推移

1990-2000	2000～2005	2005～2012	2012～2020	2020～
実証機～実用化初期	成長期	拡大期	成熟期	競争時代
①習熟効果	②タービンとプロジェクトの大型化	③プロジェクトコストの増大と設備利用率の改善	④サプライチェーンの成熟と規模の経済	⑤競争効果



タービン出力(MW)	～0.5	1.5-3.0	2.3-3.6	3.3-8.0
CAPEX (EURm/MW)	2.3-4.6	1.5-2.3	2.3-5.0	3.0-4.5
水深(m)	7	10	19	27

-水深が浅く、離岸距離も短い -初期プロジェクトからの習熟効果でCAPEXが低減	-厳しいプロジェクトの立地条件 -風車とプロジェクト規模が大型化 -一旦契約価格は下がったが大幅なコストオーバーランが発生し多数のサプライヤーが倒産	-より厳しいプロジェクトの立地条件 -タービンの供給不足と原材料費高騰でCAPEXが増加 -設備利用率の向上	-規模の経済で建設費低減 -タービンの大幅な大型化で発電量増加 -サプライチェーンの成熟化	-タービンのさらなる大型化 -習熟効果 -入札による競争激化

Source: MAKE

MHI VESTAS OFFSHORE WIND™

出典：2018/6/8のJEMA新エネルギー講演会での三菱Vestas社の山田正人氏の講演資料より。赤文字は上田が追記。

初期の洋上風力開発はトラブルが頻発
（大量のUnknown Unknown Riskが顕在化）

風車本体：

塩害による電装品（発電機・変圧器）の短絡事故

性急な風車大型化による増速機のトラブル

付帯設備：

洋上変電所の短絡事故、送電線の切断事故

建設工事：

Monopile・Toransition Piece間のグラウトの脱落

パイル打設の岩や不発弾による障害

基礎周りの洗掘、送電ケーブルの捩じれ・切断

Jack up船の調達難（工期延長や沈没事故）

運営：

資金調達難、開発の遅延

事業者、建設会社、風車メーカ、ケーブル会社の倒産

2003～2004年頃のVestasのHorns Rev洋上風力サイトのトラブルのニュース

WINDPOWER MONTHLY

https://www.windpowermonthly.com/article/960850/technical-pro

DENMARK

More technical problems at flagship project -- Vestas weighs option of dismantling all turbines at Horns Reef

1 June 2004 ,

Vestas is considering bringing all 80 wind turbines at the Danish Horns Reef offshore wind farm ashore to carry out repairs to faulty transformers, generators and correct "other small things," confirms the company's managing director, Svend Sigaard. The Vestas V80 2 MW machines were installed two years ago 14-20 kilometres off the west coast of Denmark in the North Sea.

The news that Vestas may take the blades off each machine and bring the turbine nacelles back to shore surfaced last month in a prospectus released by the publicly traded company prior to its long planned capital increase. The brief reference was followed by a statement by Danish utility Elsam, the owner of the 160 MW Horns Reef station. The generator problems have not been widely known about until now, but the transformer problem has been openly discussed since autumn 2003. The replacement of all transformers was started earlier this year (Windpower Monthly, March 2004).

建設専用船の事故例

海底送電ケーブルのトラブルは最近もまだ多い。

offshoreWIND.biz

IN DEPTH CONFERENCE

https://www.offshorewind.biz/2015/10/20/faulty part of horns rev 2 cable found/

BUSINESS GUIDE

Faulty Part of Horns Rev 2 Cable Found

Energinet.dk has located the part of the Horns Rev 2 subsea cable which caused the offshore wind farm's connection to go out of service on Monday.

The transmission system operator (TSO) reported that the error has been found approximately 800 meters from Energinet.dk's platform at sea, which collects electricity from numerous wind turbines in the North Sea.

The cable is still out of service, and Energinet.dk is preparing to carry out the repair work. The cable is scheduled to be repaired by November 25, subject to weather conditions.

Offshore WIND Staff; Image: DONG Energy/Archive (2008)

Posted on October 20, 2015 with tags Energinet.dk, Horns Rev 2.

初期(2007･8年まで)の洋上開発はコスト高で失敗

REUTERS ロイター

ニュース　経済・政策　ワールド　企業・産業　オピニオン　ライフ　写真

Jiji | 2011年 11月 17日 11:13 JST

オランダの洋上風力発電、コスト高で陰り

【エグモントアーンゼー（オランダ）１６日ロイター時事】オランダが２００６年に当地に同国初の洋上風力発電設備を設置したとき、この設備はグリーンな将来のシンボルと見られていた。北海の洋上にそびえる設備は巨人の武器のようで、タービンは二酸化炭素（ＣＯ２）排出を減らす一方で、増加する電力需要を満たす最大の希望でもあった。３０階建てのビルの高さがある３６機のタービンは、年に１０万世帯以上の需要を満たすに十分な発電をしている。

しかし、それから５年たった現在、グリーンな将来は先のことのように見える。財政赤字削減を迫られたオランダ政府は、洋上風力発電は費用がかかりすぎるとし、キロワット時当たり０．１８ユーロ（１９円）の補助金を続けられないとしている。昨年１年間の補助金は約４５億ユーロ（４６５０億円）に上った。

同政府は、この財政負担を一般家庭と産業界の需要家に転嫁し、一方で魅力的な民間部門の投資を呼び込もうとしている。消費者と企業への負担転嫁は１３年１月に実施され、同時に、民間投資家は再生可能エネルギー・プロジェクトへの参加申請ができるようになる。

ただ、民間への負担転嫁で得られるのは推定１５億ユーロで、これまでの補助金支出の３分の１にすぎない。また、投資に関心のある団体なども風力発電よりも費用のかからない技術を選ぶと見られている。

オランダの風力発電プロジェクトの将来は暗い。

同国では何世紀にもわたり、低地から耕作地への水のくみ上げなどで風力が利用されてきた。しかし、風力への国民の熱い思いは冷めつつある。洋上設備の設置、維持費用が高く、また、その格好の無様さが住民の不評を買っていることなどで、洋上風力発電は行き詰まり状態となった。

洋上設備は陸上のものよりも発電効率がいいものの、資材や海底掘削の費用は高く、しかも保守は陸上設備より面倒だ。

陸上風力発電にも障害がある。陸上でのプロジェクトのほぼ半分が住民とのトラブルを抱えている。背の高い設備が景観を壊すという主張の他、安全性や騒音への懸念も指摘されている。

オランダのエネルギー消費に占める再生可能エネルギーの比率は４％にすぎない。同国は２０年までにこれを１４％に拡大することを目標としているが、極めて難しい情勢だ。

2010～13年頃に転機を迎えた

制度面：

英国式（目標値と水域指定）から、オランダ・デンマークの
セントラル方式（EIAと系統連系、規模と時期も国が指定）へ。

→ 制度面での事業リスクが事実上、0 になった。

技術面：

洋上風車の徹底した事前検証体制が確立

センサーによる主要機器の遠隔状態監視技術（CMS）が進歩

過去の運転データをAIでBig data解析して信頼性を向上

→　洋上風車の稼働率が劇的に改善された。

運営：

気象・海象予測による工程管理システムの高度化

拠点港・建設専用船・メンテ船等のインフラ整備が進む

関連機器の輸送・据付工事の効率化

→　多くの Risk は Known Unknown となり、<u>保険で対応可能</u>へ。

洋上風車は10MW以上へ

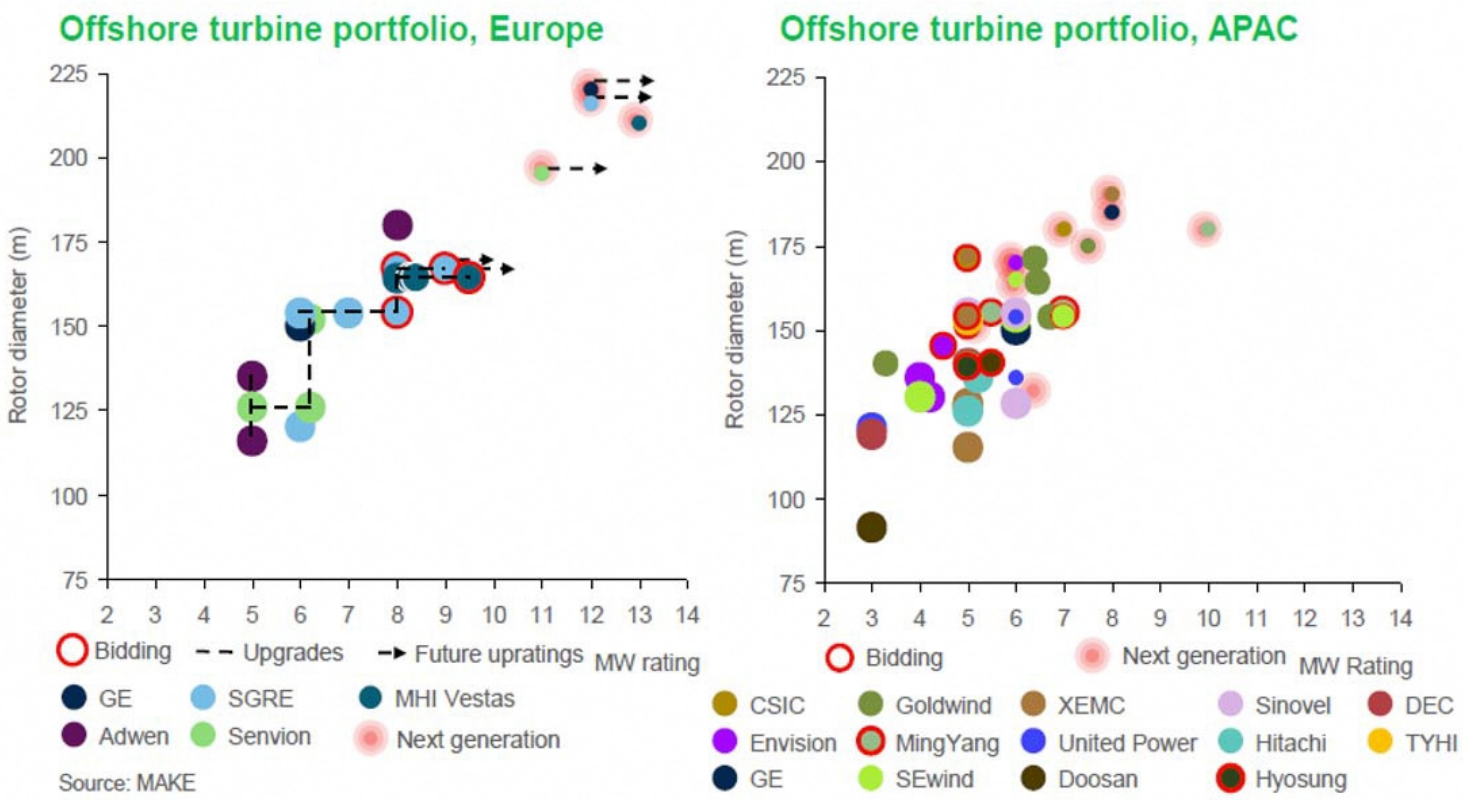
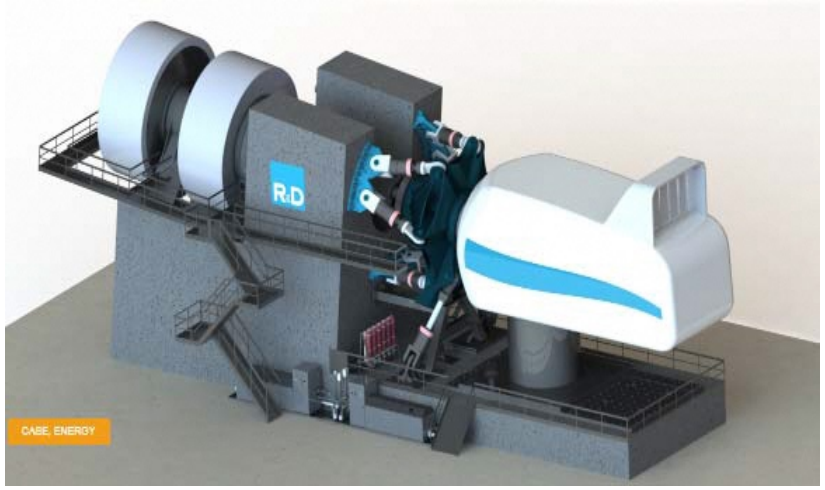


図 3.7.3-5　洋上風車開発のトレンド（出典：MAKE）

表 3.7.3-1□10MW 超風車の開発状況 [5)6)7)8)]

メーカ	機種名	定格	ロータ径	ステータス
MVOW	V164·10.0	10MW	164m	初号機を運転中
SGRE	SG10.0-193·DD	10MW	193m	2019 年に初号機を建設
GE	Haliade-X	12MW	220m	2019 年に初号機を建設
Senvion	No·data	10～16MW	No·data	EU 研究費で開発中

今は風車ナセルの実負荷工場試験設備が普及。実際に建設する以前に問題点を洗い出せる。



デンマーク OdenseのLORC試験センター（Lindo Offshored Renewable Center）のナセル荷重試験装置の例。
欧州には、国立・大学・共同設置・風車メーカ所有の、この種の荷重試験設備が今では多数存在する。

主要機器にセンサ^ーを設置して、状況監視と寿命予測（CMS:Condition Monitoring）

www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100054.html

国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

ホーム > 事業一覧 > エネルギー > 風力・海洋 > 風力発電高度実用化研・・・

風力発電高度実用化研究開発

基本情報

技術分野	風力・海洋	プロジェクトコード	P13010
担当部署	新エネルギー部(TEL:044-520-5270)		

事業・プロジェクト概要

事業期間:平成25年度～平成32年度　平成29年度予算:7.0億円

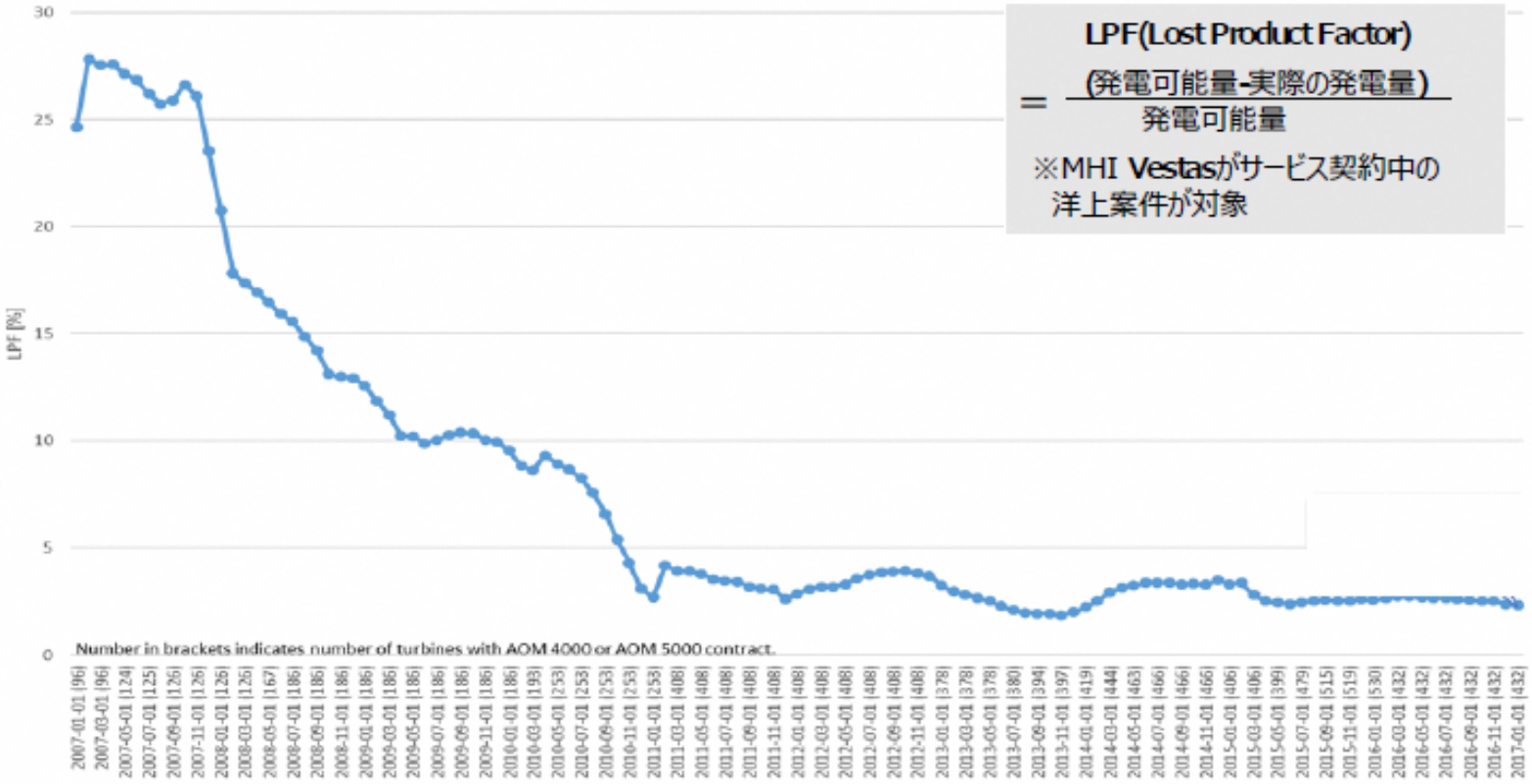
風力発電の大量導入が期待されているなか、性能向上や発電コスト低減などが重要な課題となっています。今後大型化する風車の主要部品やコンポーネント、設備利用率を向上するメンテナンス技術、風車の故障や部品の寿命等を把握するモニタリング技術等の実用化開発を実施し、風力発電の発電コスト低減を図るとともに、主要部品やコンポーネント、モニタリングやメンテナンス技術等に関する我が国企業の国際競争力強化を目指します。

本事業では、発電コスト低減に向けて、先進的な次世代の大型風車に適用可能な風車部品やメンテナンス技術を高度化する実用化開発を総合的に実施することで、陸上風力発電及び洋上風力発電に関する風車の性能や設備利用率を向上させます。また、小形風車の部品の標準化を実施し、コスト削減を目指します。

最近の風車の稼働率は約97%

2) COE低下の主要因｜技術的要因 – タービン信頼性(稼働率)の向上　（MHIVestasの実例）

MHIVestas Fleet Lost Production Factor (LPF)



LPF(Lost Product Factor)

$$= \frac{(\text{発電可能量-実際の発電量})}{\text{発電可能量}}$$

※MHI Vestasがサービス契約中の洋上案件が対象

Source: MHI Vestas

洋上風力促進にむけた長期の首尾一貫した政策支援

オランダの洋上風力開発の「セントラルシステム」の例。
350MW×2サイト/年×5年間の将来計画を国が提示。
→「いつ・どこで・どの規模か」を明確に規定。企業は長期計画を立て易い。発注平準化で設備の稼働率も上がる。

wind days 2016

Ambitious goals, both onshore and offshore

Well defined targets (3,500 MW offshore and 6,000 MW onshore), a solid support mechanism made available via multiple tender rounds and the provision of an offshore electricity grid result in increasing interest of the international wind energy industry in Dutch wind projects .

Dutch companies play a major role in offshore wind farm developments around the globe, being involved in almost all aspects of the offshore wind farm value chain. Utilities and developers are looking for the latest technology and innovative products.

If you want to learn more about and do business with the Dutch wind energy sector, the Wind Days is the place to be.

風力発電の最大の課題は経済性の向上（コストダウン）

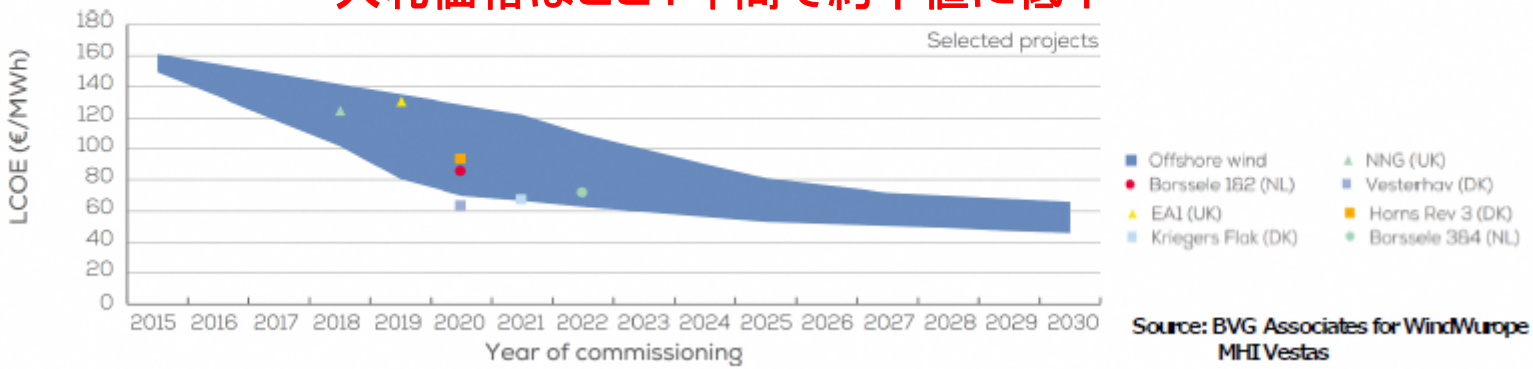
欧州洋上風力市場　事業入札動向

2015年からの2年間で落札価格が大幅に下落。セントラル方式のオークションの導入により事業者間の競争が激化したことが主因だが、25年以上の経験を通じて産業界全体が経験と実力を積み上げてきたことが背景にある。

2015.2	デンマーク	Horns Reef 3 (Vattenfall)	(406MW)	104 EUR/MWh
2016.6	オランダ	Borssele 1+2 (DONG)	(350MW x 2)	72.7 EUR/MWh
2016.9	デンマーク	Danish Nearshore (Vattenfall)	(350MW)	63.7 EUR/MWh
2016.11	デンマーク	Kriegers Flak (Vattenfall)	(600MW)	49.9 EUR/MWh
2016.12	オランダ	Borssele 3+4 (Shell, Van Oord, Eneco,三菱商事)	(350MW x 2)	54.5 EUR/MWh
2017.4	ドイツ	Gode Wind III (DONG)	(110MW)	60.0 EUR/MWh
	ドイツ	Borkum Riffgrund West II＋OWP West (DONG)	(240MW＋240MW)	市場価格(補助金ゼロ)
	ドイツ	He Dreiht (EnBW)	(900MW)	市場価格(補助金ゼロ)

COEの推移と予想レンジ

入札価格はここ１年間で約半値に低下



Source: BVG Associates for WindEurope
MHI Vestas

MHI VESTAS OFFSHORE WIND™

出典：再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題に関する研究会（第3回） 2017年6月14日
欧州洋上風力発電事業入札価格の動向・背景とそこから日本が学べること　MVOW　vice president　Masato Yamada

英国のテムズ河口沖の洋上風力発電所 London Array

2012年運開。
出力は630MW。
Siemens（現SGRE）3.6MW風車×175台
Monopile 基礎
オーナはOrsted, E.ON, Masdar, 他
開発費は24.2億ユーロ（約3,100億円）

写真出典：Siemens社の
Webサイト

世界最大の洋上風力発電所
英国Walney Extension 659MW

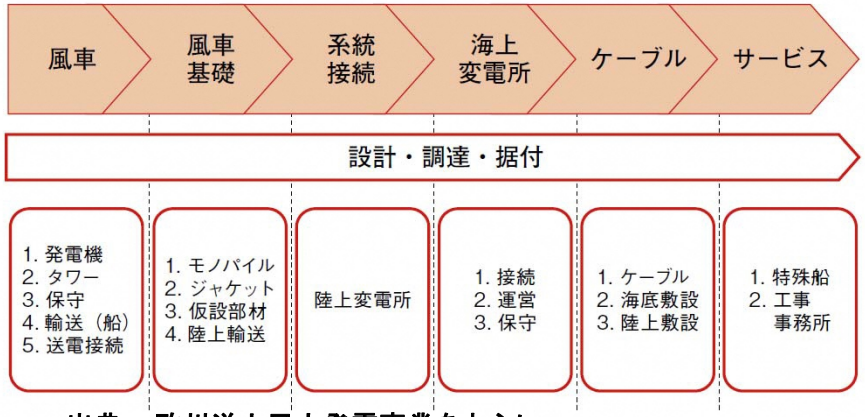
目　次

1. 洋上風力発電は年商約2兆円の大産業
2. 洋上風力発電の歴史
3. 洋上風力の仕事：調査～建設～O&M～撤去
4. 世界の拠点港の例
5. 日本の現状

➢ 洋上風力発電の開発手順

1. 事前調査
   - 洋上候補海域での風況計測
   - 環境アセスメント
   - 海底地盤調査
   - 許認可、漁業権、系統連系 等
2. インフラ整備
   - 超大型洋上風車
   - 建設専用船
   - 出荷拠点港（クレーン、岸壁補強）
3. 建設工事
   - 海底地盤の整備（均す）
   - 基礎据付
   - 風車（＋洋上変電所）の設置
   - 海底送電ケーブルの敷設
   - 試運転調整
4. 運転保守

図１　洋上風力　EPC サプライ・チェーン



出典：欧州洋上風力発電事業を中心に
/丸紅 栗原聖之副部長インタビュー　日本貿易会
http://www.jftc.or.jp/shoshaeye/pdf/201205/201205_10.pdf

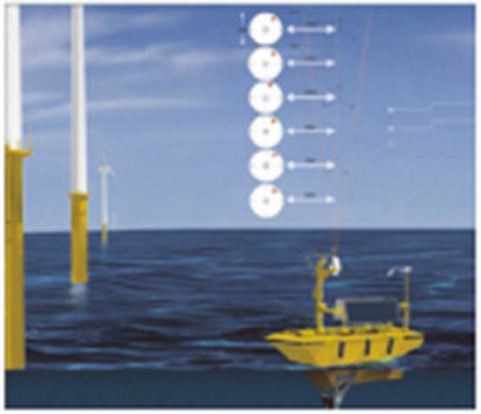
洋上に気象観測等を立てて風況計測
（最近はブイ式ドップラー計測が実用化）

ゼニライトブイ

FLIDAR

白浜観測タワー

三菱電機のドップラーライダ



WindSentinel Buoy Lidar

洋上風況を把握ため様々な測定方法

出典：Tsubasa windfarm design

海底地盤の調査（ボーリング）

砂質か岩盤か、砂質の場合は支持層までの深さをボーリングで調査する。
洋上風車の基礎は1台毎に水深と地質に合わせてセミ・カスタム生産される。

WEATHERING STORMY TIMES

The North Sea is a notoriously hostile environment for drilling rigs. Only the best technology can withstand the onslaught of nature's forces and operate profitably in these mature oilfields, especially at the current low crude oil prices. Choosing the right rig for every field and drilling site is crucial.

Defining a baseline

Safety is crucial

The right class for high-tech

"We feel that DNV GL was never doing anything else but support us. We were always a team trying to get the rig out."

Scott W. Marks, Senior Vice President Engineering at Noble

洋上風車建設中の不発弾処理
（最近の欧州では単なるルーチンワーク）

offshoreWIND.biz

Home　Mine　https://www.offshorewind.biz/tag/mine/

Horns Rev 3 Mine Goes Out With a Bang (Videos)

Horns Rev 3 Mine Goes Out With a Bang (Videos)

UK: Ramora Disposes of Mine near Greater Gabbard OWF

Frogman Corps Detonate Mine at Anholt Offshore Wind ...

EOD Specialist Ramora UK Safely Disposes of WWII Mine ...

reNEWS

renews.biz/105500/gode-wind-2-survives-mine-scare/

HOME › OFFSHORE WIND › GODE WIND 2 SURVIVES MINE SCARE

Gode Wind 2 survives mine scare

WW2 device towed safely away from 252MW project for disposal

11/01/2017

German authorities have towed an unexploded sea mine away from Dong Energy's 252MW Gode Wind 2 offshore wind farm in the German North Sea.

The mine, which was spotted at the edge of the wind farm earlier this week, is believed to be from World War 2, said Germany's Central Command for Maritime Emergencies (Havariekommando).

Havariekommando towed the mine to a sandbank between the uninhabited islands of Minsener Oog and Mellum, where disposal is planned for this afternoon during low tide.

The multi-purpose vessel Mellum was on the job, accompanied by a Federal Police vessel.

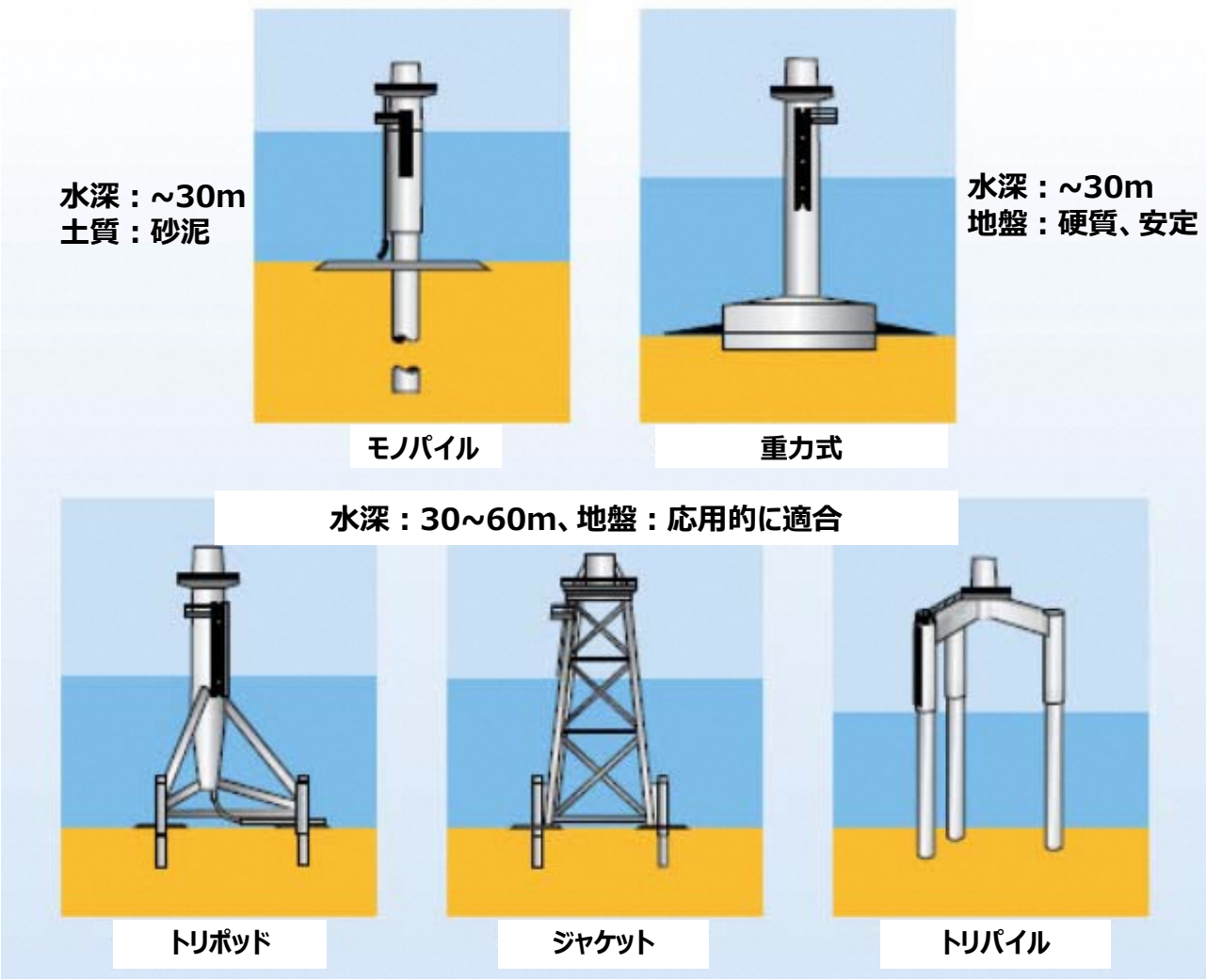
Earlier plans to detonate the mine offshore were cancelled due to bad weather.

Related Stories

CWind delivers for Dong
08 Sep 2017

UK crew backs GeoSea at Gode
31 Mar 2015

洋上風力（着床式）の基礎の形式



出典：EWEA Typical fixed Offshore Foundations

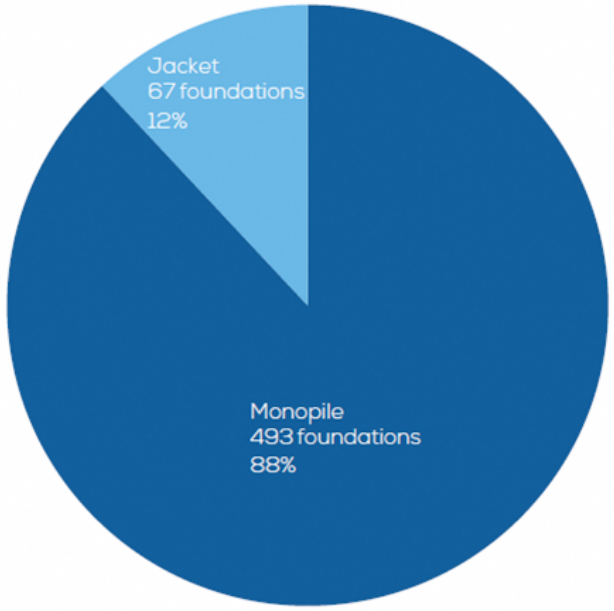
今は建設工数（＝建設期間＝コスト）が少ないモノパイル基礎が圧倒的に主流

・直径8m級の大口径化で、30m以上の深さもモノパイルで対応可能となり、大水深用だったジャケットやトリパイルが駆逐された。
（大口径が打てない岩盤基礎でのみ採用される。）

・地元で製造できる（地域貢献）の意味では、コンクリート製の重力式基礎に利点あり。

1.4 ANNUAL MARKET SHARE IN 2016 - SUBSTRUCTURES

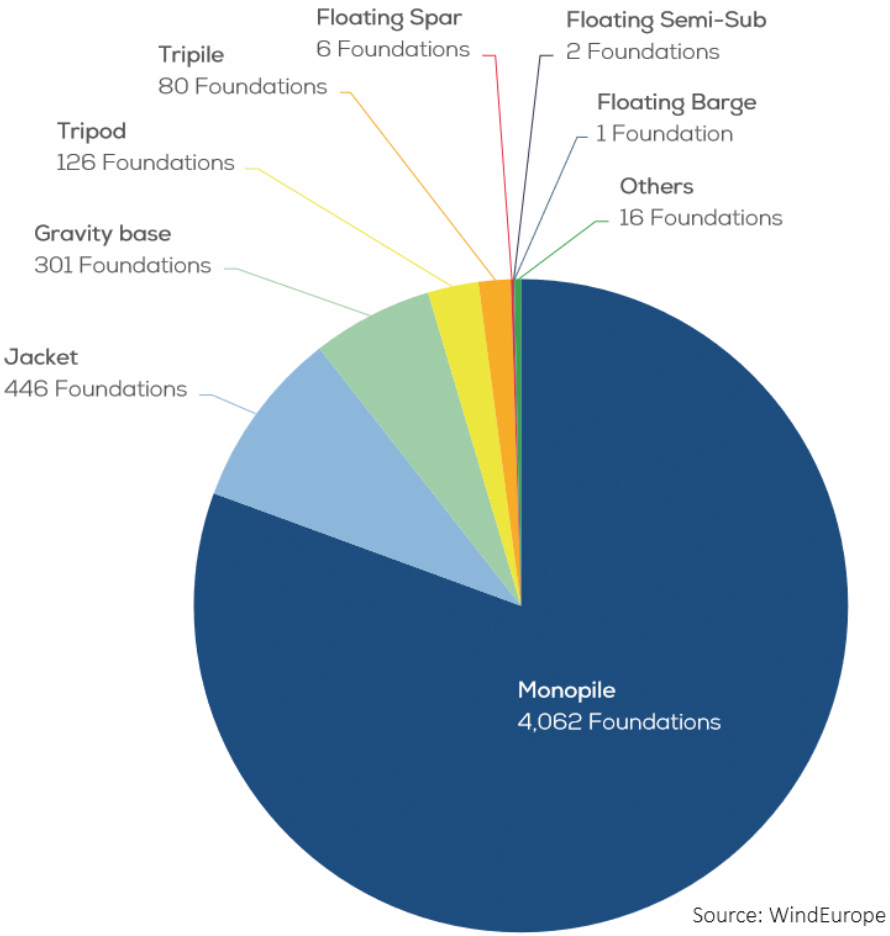
FIGURE 7 Foundation types' installed in 2016 annual market (units)



2016年の単年分のシェア

FIGURE 17

Share of substructure types for grid-connected wind turbines at the end of 2018



2018年末の累積シェア

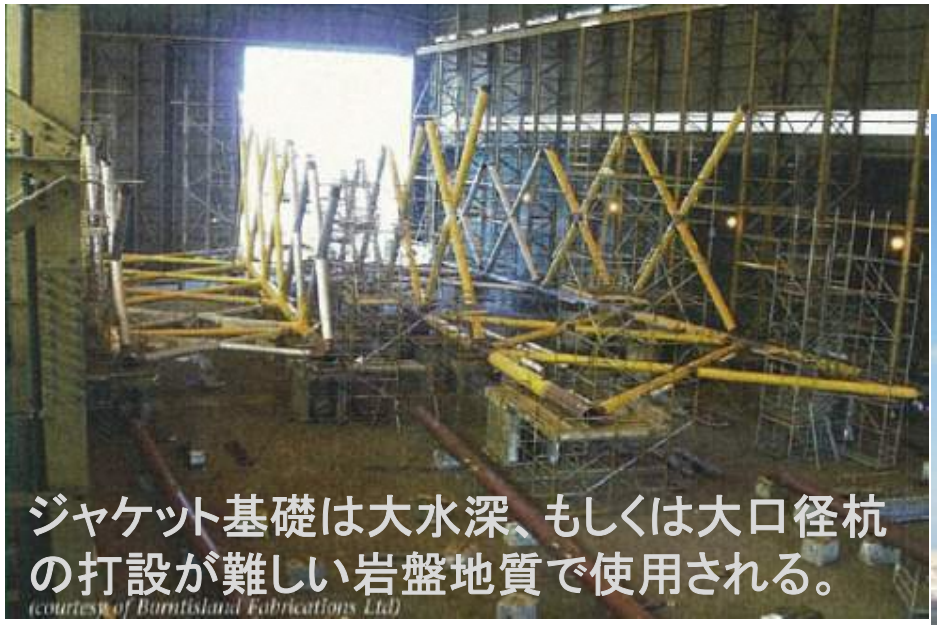
重力式基礎の製造

水深10m以下に限定されるが、
比較的安価。
大重量（数百～千トン）なので、
サイトの最寄りで製造される事が
多く、地元貢献度が高い。

洋上モノパイル基礎の量産（オランダ）

モノパイル基礎は形状が単純で、
標準化・自動溶接・量産性に
優れる。
モノパイルやトランジション
ピース（500～700 トン/本）を
200本/年 量産して出荷。
（約10万トン/年の鋼材を使用）

洋上ジャケット基礎の製造（英国･ドイツ）



ジャケット基礎（運搬）

ClassNK

出典：NEDO着床式洋上風力発電導入ガイドブック（平成27年9月）

モノパイル基礎（トランジションピースの輸送と設置）

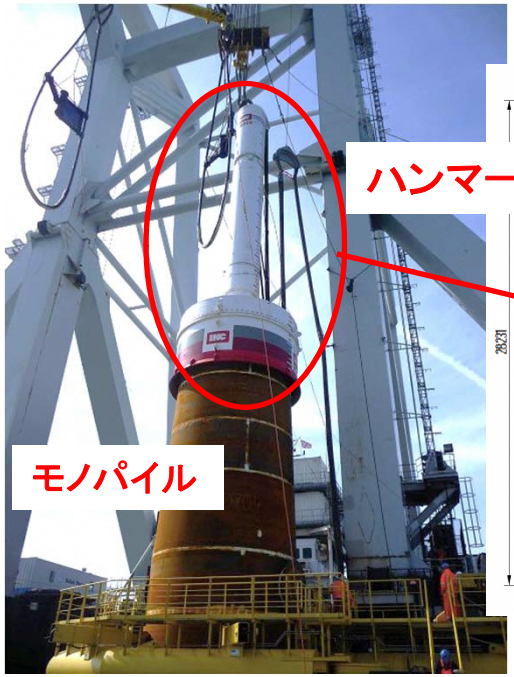
ClassNK

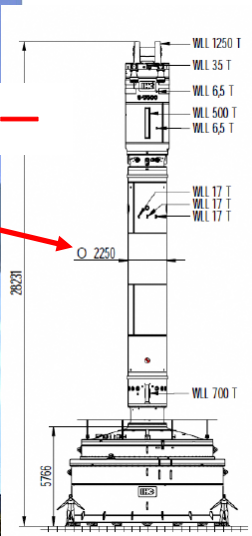
トランジションピースは、モノパイルと風車タワーの間に使用され、風車の傾きや高さを調整する。
モノパイルとグラウチング（セメント等を隙間に注入）により固定される。

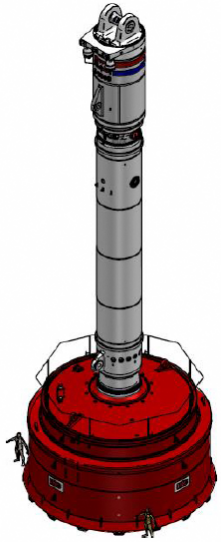
洋上風車基礎の据付工事

重力式基礎：海底を均してから基礎を置く

モノパイル基礎：　巨大な油圧ハンマーで打込む
（杭打ちは1回のみ）







ジャケット式基礎
（4隅を杭打ち）

トリポッド式基礎
（3本足を夫々杭打ち）

モノパイル打設のコストダウン&垂直精度向上

基礎打設は風や波浪の影響を余り受けないので、
SEPより賃貸料の安いクレーン船で設置する。
（建設船の分業化）

打設時にモノパイルを支える
蟹ハサミ状の治具が開発され、
垂直度の精度が向上して
トランジションピースによる
角度補正の必要が小さくなった。

もしモノパイル打設中に岩が出てきたらドリルで砕く

MIDOS Pile

Bauer's newest development for seabed drilling is the MIDOS-Pile - **M**ixed **D**rilled **O**ffshore **S**teel Pile. This piling system combines the experience and know-how of Bauer for seabed drilling and soil mixing techniques. The MIDOS-Pile is the long awaited piling solution for offshore wind, offering reliable foundation piles for jacket structures with negligible noise emissions at competitive costs. Wherever you do not need rock drilling techniques you can use the MIDOS-Pile.

The structural element of the MIDOS-Pile is a steel casing; the dimensions are determined by design calculations, usually 2.00 m to 2.50 m in diameter and 30.00 m to 45.00 m long. The casing is positioned in the satellites of the Bauer modular template. At the tip of the casing a starter piece is mounted with a diameter 0.30 m to 0.40 m larger than the casing diameter. At the top of the casing inside one or several rotary drives are clamped into the casing. This rotary drive turns a shaft, which has at the bottom end several mixing tools fitting into the starter pieces of the casing.

Specially designed cement slurry exits the mixing tool, so that the loosened soil is immediately mixed with this slurry to a soil-cement-mixture. When reaching the final depth, the rotary drives with the shaft and the mixing tool is extracted, the casing and the starter piece remain in place. The soil-cement-mixture hardens to a 28-days-strength of approximately 5 MPa. Depending on the properties of the surrounding soil the MIDOS-Pile can reach a bearing capacity in compression and tension beyond 20 MN.

The BAUER Dive Drill

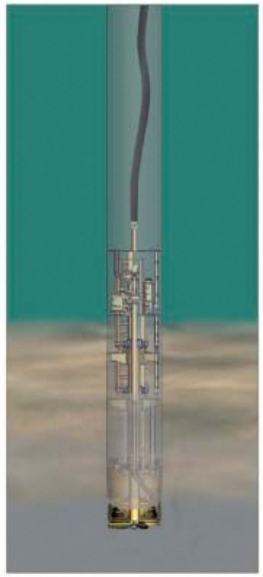
Relief Drilling for the Drive-Drill-Drive Method

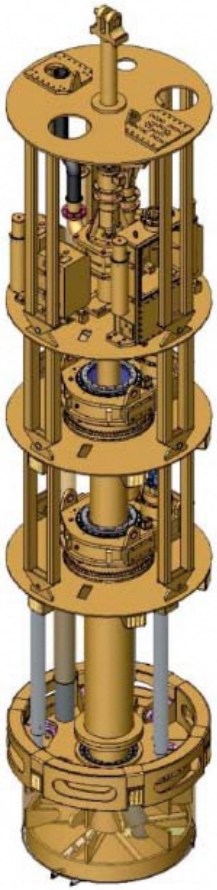
In cases when pile driving does not cause too much noise or when a piling vibrator is used, Bauer has available a system for quick and economical relief drilling for the foundation of jacket structures – the Dive Drill. Often the soil conditions are such, that the foundation piles do not reach the necessary embedment depth because of excessive buildup of friction. In this case the piling hammer or vibrator can be withdrawn and the Dive Drill is inserted into the casing. It clamps itself into the casing and drills out all soil and rock material inside of the casing.

The Dive Drill is mounted on a special outfitted crawler crane which contains all controls, power and umbilical winches to operate the Dive Drill safely and efficiently. A specially designed drilling tool loosens the soil/rock and then mixes it with the seawater in order to be pumped up to the vessel. The drilling operation works in one continuous sequence where the Dive Drill moves down inside of the casing until it has reached the desired depth. Normal drilling diameter is between 2.00 m and 3.50 m.

The Dive Drill offers distinct advantages in relation to conventional top drills:

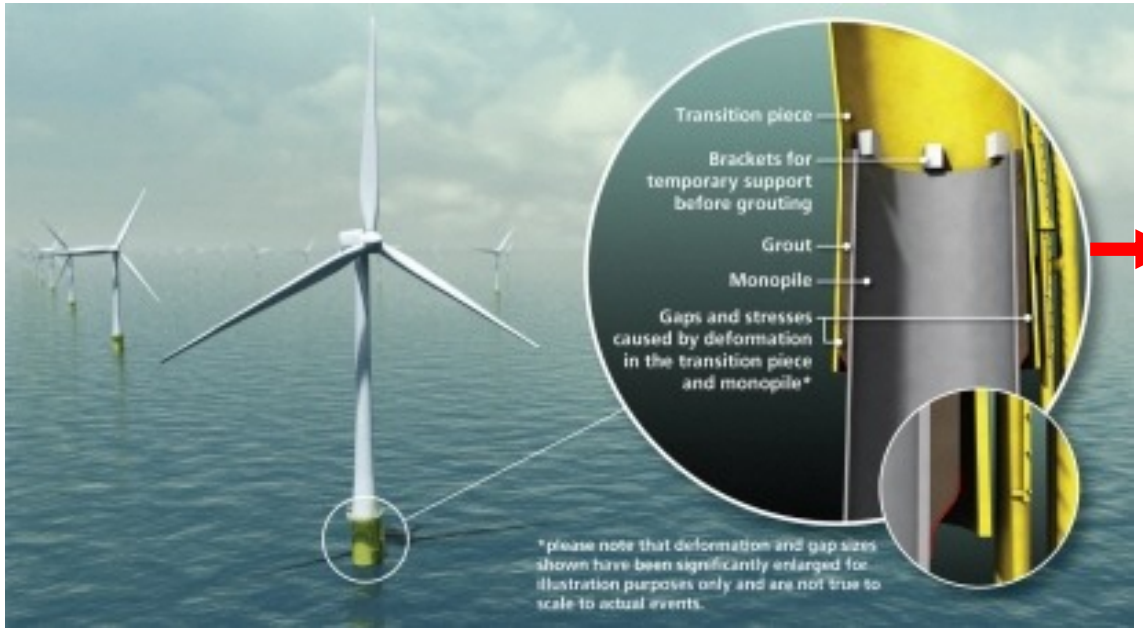
- It can be installed directly into the casing when hitting refusal, regardless whether the top of the casing is above or below the water table.
- The switch from pile driving or vibrating to relief drilling can be accomplished within a very short time period.
- The drilling tool can be equipped with teeth (or rollers) which fit ideally to the soil/rock to be excavated. Therefore drilling progress is much faster than with conventional full face roller bit reverse circulation drilling.

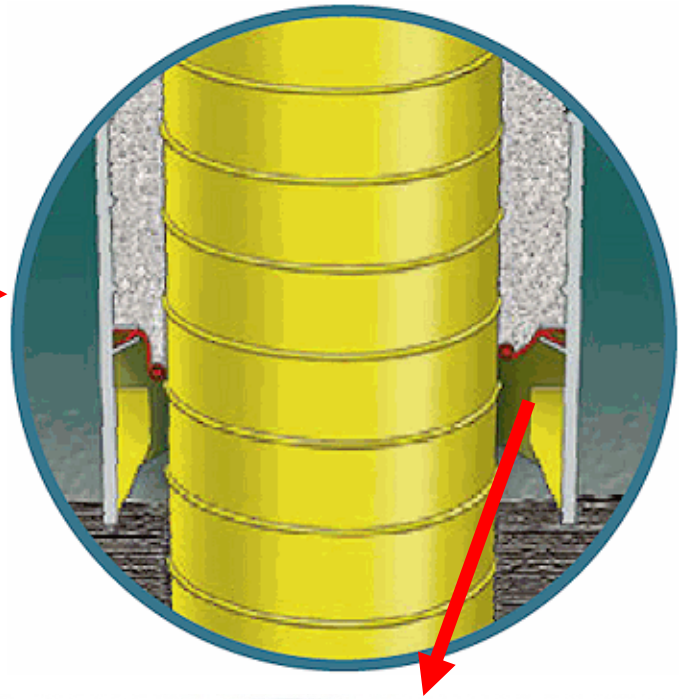




出典：Bauer社

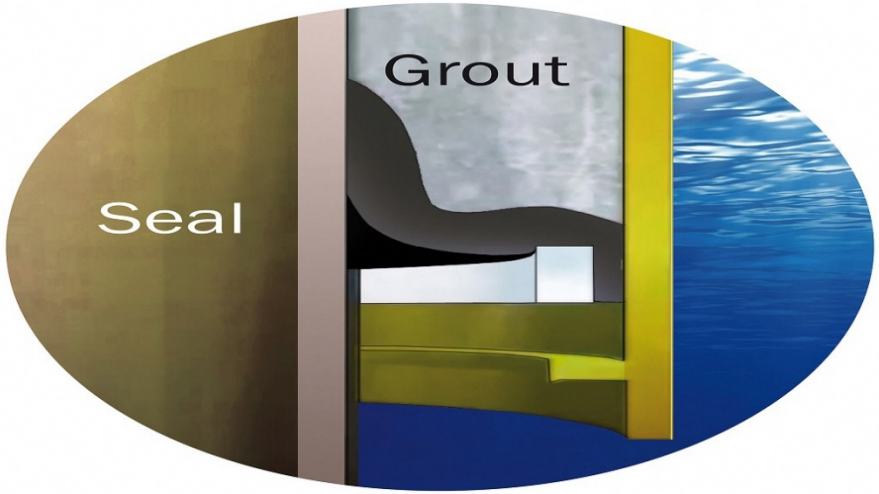
モノパイル基礎（MP）が打設時に傾いた場合はトランジションピース（TP）で垂直に補正する。





TP の内径はMP の外径より少し大きいので、
その間隙分で傾きを補正する。
間隙にグラウト（セメント）を流込んで固定する。
下端はシール部材で漏れを防止する。

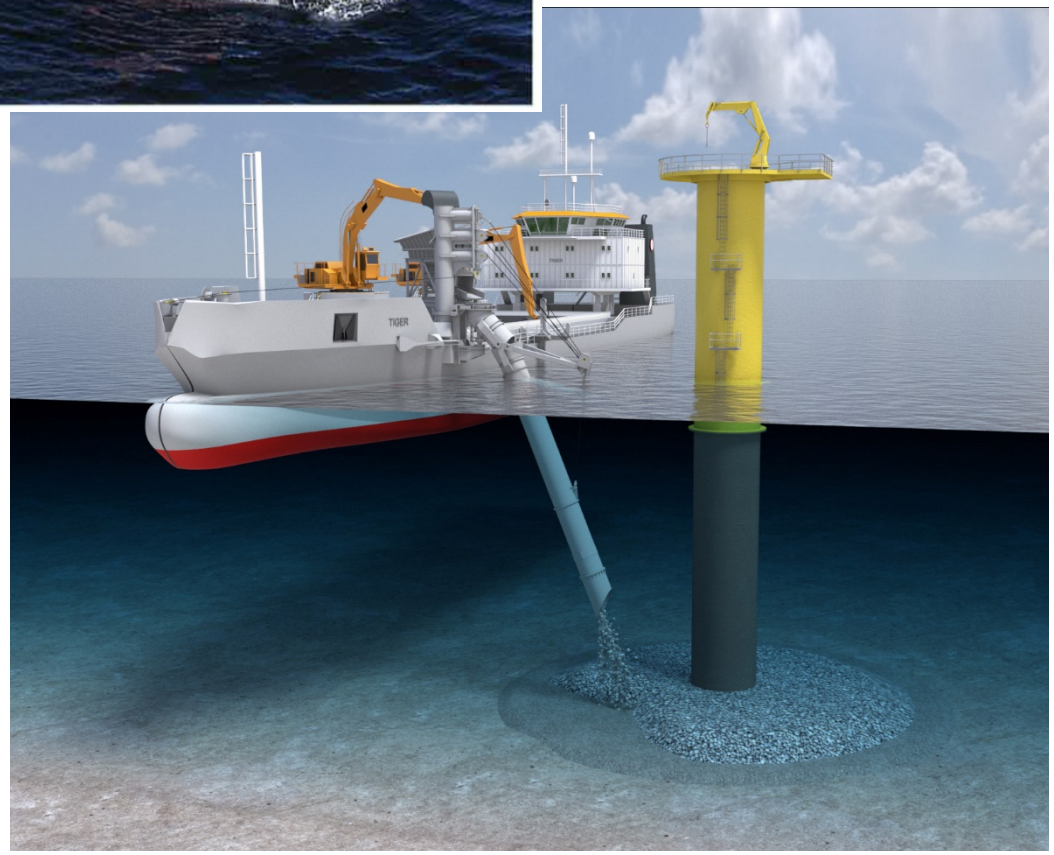
グラウトが支持力不足で脱落するトラブルがあり、
今は MP/TP の接続部の一部をコーン状にして
グラウトの荷重分担を減らす改善が普及した。



Stone dumping vessels

出典：DOB Academy

出典：Jan De Null社



洗堀（Scouring）の防止のために基礎の周りに砕石を敷き詰める

Jack up船に効率よく風車を積み込む

出典：DOB Academy

MVOW社：洋上風車仮組立・積出拠点 最新式

【タワー】

○写真の巨大クレーンを用いて、この基地に運搬されてきたタワーを垂直に立て、積み出しに備えている。

○写真の3MW機で、タワーの高さは約65m程度。現在実証中の8MW機では、これが110m程度となる予定。

タワーを全一体化。一隻に搭載できる風車台数が増えて建設が効率化。

【運搬船への積み込み】

○基地内で垂直に立てられたタワーは、垂直のまま運搬船に積み込まれる。

【運搬】

○発電サイトまで、運搬。一度に8本程度のタワーを運搬することが可能。

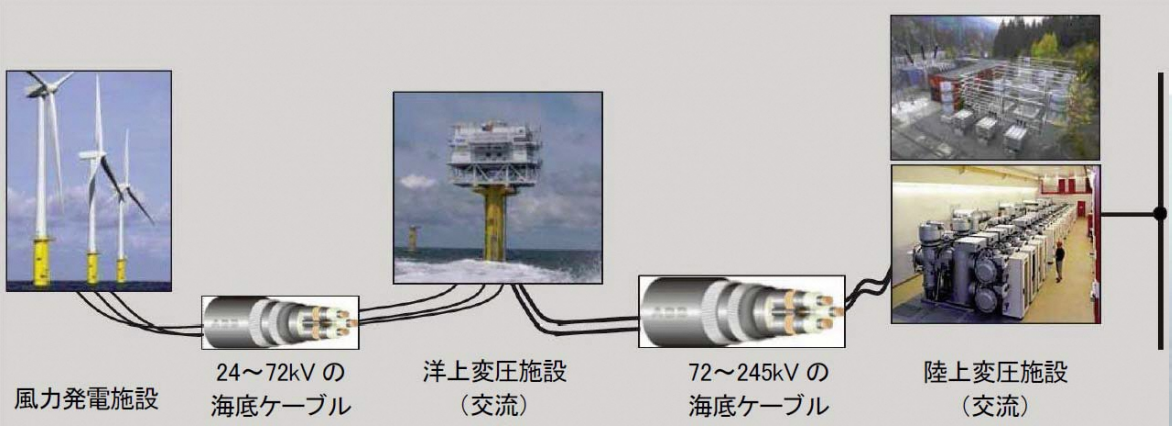
出典：資源エネルギー庁　新エネルギー小委員会 欧州調査報告　2014年8月8日
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/shin_ene/002_haifu.html

風車の設置

写真：SeaJacks社（丸紅の子会社）の建設専用船 Zaratan号

海底まで脚を伸ばして安定できる建設専用船（JUV/Jack-up vessel）でタワー、ナセル、ロータを組立てる。傭船料は約2千万円/日と高い。

洋上風力の送変電設備



出典：Offshore-Windpark 講演資料、Udo Christiansen 氏、ABB AG 社

海底送電ケーブルの敷設

ケーブル敷設船(CLV)

沿岸部でのケーブルの敷設

鍬入れ

噴出孔

ケーブル敷設溝(海底)

洋上風車のメンテはアクセス性が問題
（特に波浪が荒い冬季）

冬季のアクセス性向上には波浪補償式渡船橋（アンペルマン）を備えた専用船（SOV：Service Operation Vessel）が必要

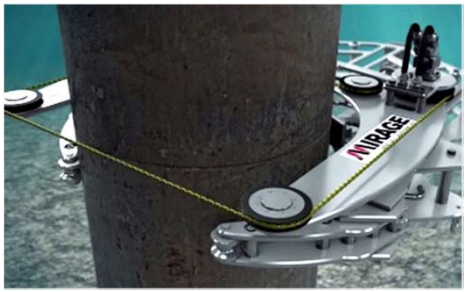
ULSTEIN社
Siem Moxieと舷門(Uptime社)

より安価な21mタイプ
標準型CTV（Crue transfer Vessel）
Njord Offshore社

事業終了後の撤去工事：基礎の例

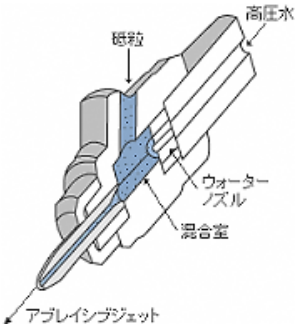
- モノパイル等の鋼材切断には主に以下の技術が用いられている。

【ダイヤモンドワイヤカッター】



（出典：Mirage Machines）

【アブレシブウォータージェット】



（出典：東成エレクトロビーム）

（出典： Oceaneering）

- いずれも既製品では直径３ｍまでしか対応していないが、直径３ｍ以上（Φ3.3～3.5m）鋼材切断の実績があり、特注品の採用により対応可能と想定される。

目　次

1. 洋上風力発電は年商約2兆円の大産業
2. 洋上風力発電の歴史
3. 洋上風力の仕事：調査～建設～O&M～撤去
4. 世界の拠点港の例
5. 日本の現状

大規模な拠点港の例

出典：DOB Academy

<u>拠点港に求められる仕様</u>

・大型機器（ブレード、タワー、MP基礎、TP等）を仮置きするための広大な後背地
・5～9MW風車の大重量のナセル（約400ﾄﾝ）を置いても崩れない埠頭の地耐力
・大型Jack up船が接舷できる水深（10m以上）、その脚を支えられる海底地盤
・埠頭で機器の作動試験が可能な電源供給
・（可能なら）関連機器工場を誘致できるだけの土地と陸運

埠頭に仮置
されたナセル・
タワーへの
試験用の
電気の供給

全一体タワーの
仮置用の治具と
養生用の鉄板

小規模な拠点港の例（ベルギーのOostende港）

出典：DOB Academy

www.windpoweroffshore.com/article/1405058/dong-scraps-humber-plans

WINDPOWER OFFSHORE

Home | News & Analysis | Countries | Special R

Business & Finance | Technology | Policy & Markets | F

産業誘致の失敗事例：2017年8月、洋上風力最大手のOrsted（旧名Dong Energy）が英国北東部のAble港の拠点港化契約を破棄

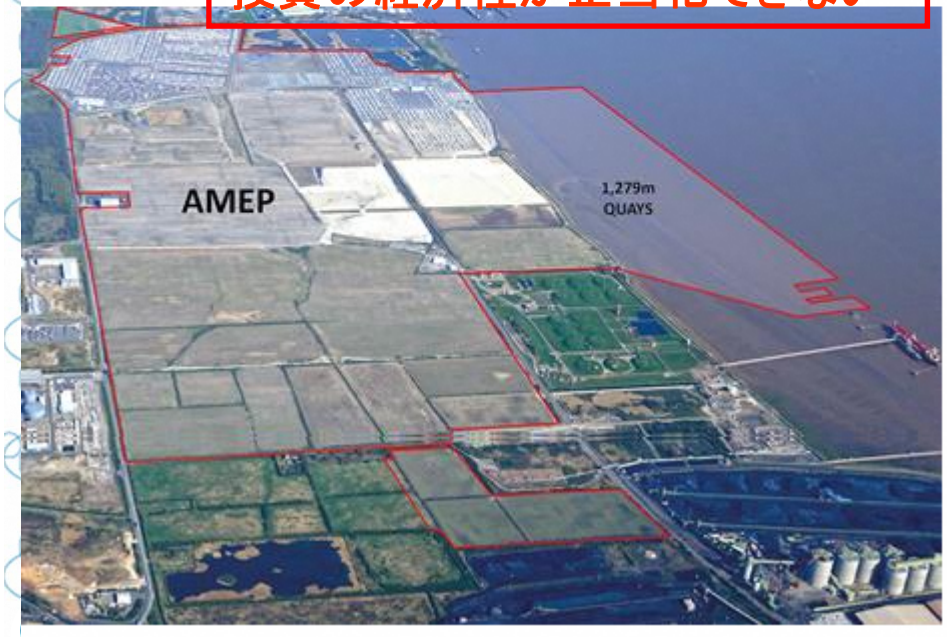
UNITED KINGDOM

Dong scraps Humber plans

9 August 2016 by David Weston, Be the first to comment

UK: Dong Energy has cancelled its plans to build a base port at the Able Marine Energy Park (Amep) on the River Humber, northeast UK, as it could not "justify the investment".

投資の経済性が正当化できない



Dong will not set up a central base port in the UK, relying on existing infrastructure

ウインブルドン現象：地元は会場を貸すだけで活躍するのは海外選手ばかりになること。

In June 2015, Dong and port operator Able UK signed a memorandum of understanding (MoU) to potentially use the port as a base hub for its North Sea projects.

"Following a detailed review we have concluded that the timescales for development of such a hub would preclude it providing support for any of our planned projects. We will now fully support and engage with the industry approach," Dong said in a statement.

"Dong Energy remains fully committed to the Humber region and we expect to have invested £6 billion (€7 million) in the area by 2019. We currently operate or are a partner in six offshore wind farms along the UK east coast, which are operational or under construction. Together they have a capacity in excess of 3GW," the Danish wind developer added.

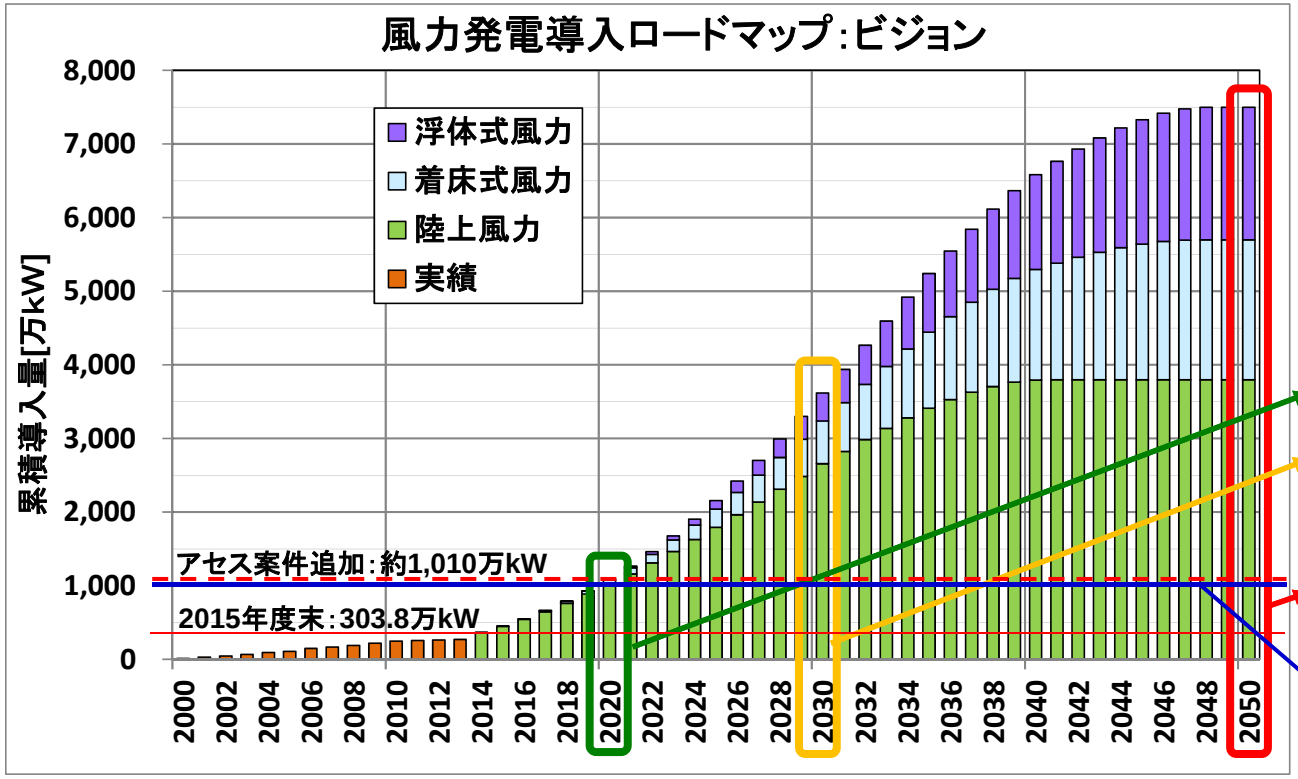
Dong's announcement followed a report by the UK government and the Offshore Wind Industry Council (OWIC) on the potential of the UK's east coast ports. It found the UK's current port infrastructure was sufficient to support the development of the UK's offshore pipeline.

目　次

1. 洋上風力発電は年商約2兆円の大産業
2. 洋上風力発電の歴史
3. 洋上風力の仕事：調査～建設～O&M～撤去
4. 世界の拠点港の例
5. 日本の現状

日本における風力発電の導入拡大に向けて
JWPA WindVision　：　2030年に36.2GW

- エネルギー基本計画を踏まえ長期エネルギー需給見通しにおいて示された、我が国風力発電の導入見通し2030年1,000万kWは2020年以降早期に達成見込み
  （※2015年末導入量303.8万kW ＋ 環境アセス中案件（2016年1月末時点）706.5万kW ＝ 1,000万kW超）
- 引き続き、次の段階である2030年3,620万kWの導入達成に向けて業界を挙げて全力で取り組んでいく



	風力発電導入実績と導入目標値[万kW]				発電電力量
年度	合計	陸上	着床	浮体	[億kWh]
2010	248	245	3	0	43
2020	1,090	1,020	60	10	230
2030	3,620	2,660	580	380	840
2040	6,590	3,800	1,500	1,290	1,620
2050	7,500	3,800	1,900	1,800	1,880

国の風力発電導入見通し：1,000万kW
（長期エネルギー需給見通し）

日本の着床式洋上風力発電のポテンシャル

- 日本の一般海域における洋上風力発電のポテンシャルは、着床式だけでも全国合計91GW程度
- 年平均風速7.0m/s以上、水深10～40m、約20km²以上のまとまったエリアを確保できる海域を選定（約100MW以上のプロジェクトを想定）

5.0MW級（ローター径126m）風車を前提としたポテンシャル

	全体容量	風速別(m/s)容量 MW				
	MW	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0	9.0-
全国	91,906	37,623	32,729	16,301	4,598	655
北海道	34,492	9,688	13,391	8,648	2,337	428
東北	15,999	6,595	6,211	2,192	876	126
東京	12,680	5,650	5,322	1,480	126	101
中部	11,243	3,112	3,395	3,477	1,260	0
北陸	0	0	0	0	0	0
関西	1,449	1,247	195	6	0	0
中国	510	435	76	0	0	0
四国	2,482	2,173	258	50	0	0
九州	13,051	8,724	3,880	447	0	0

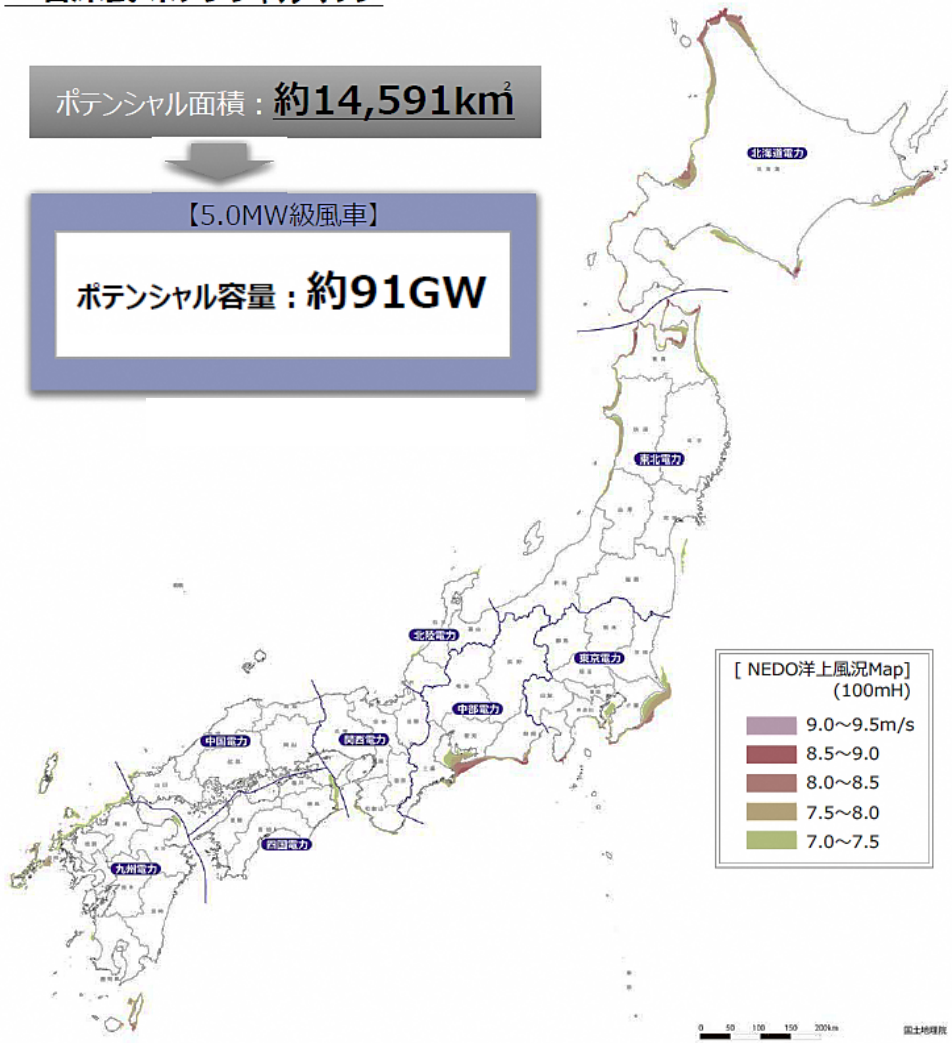
前提：風車離隔を10D×5Dとし必要面積を算出（D＝ローター径）

■着床式 ポテンシャルマップ

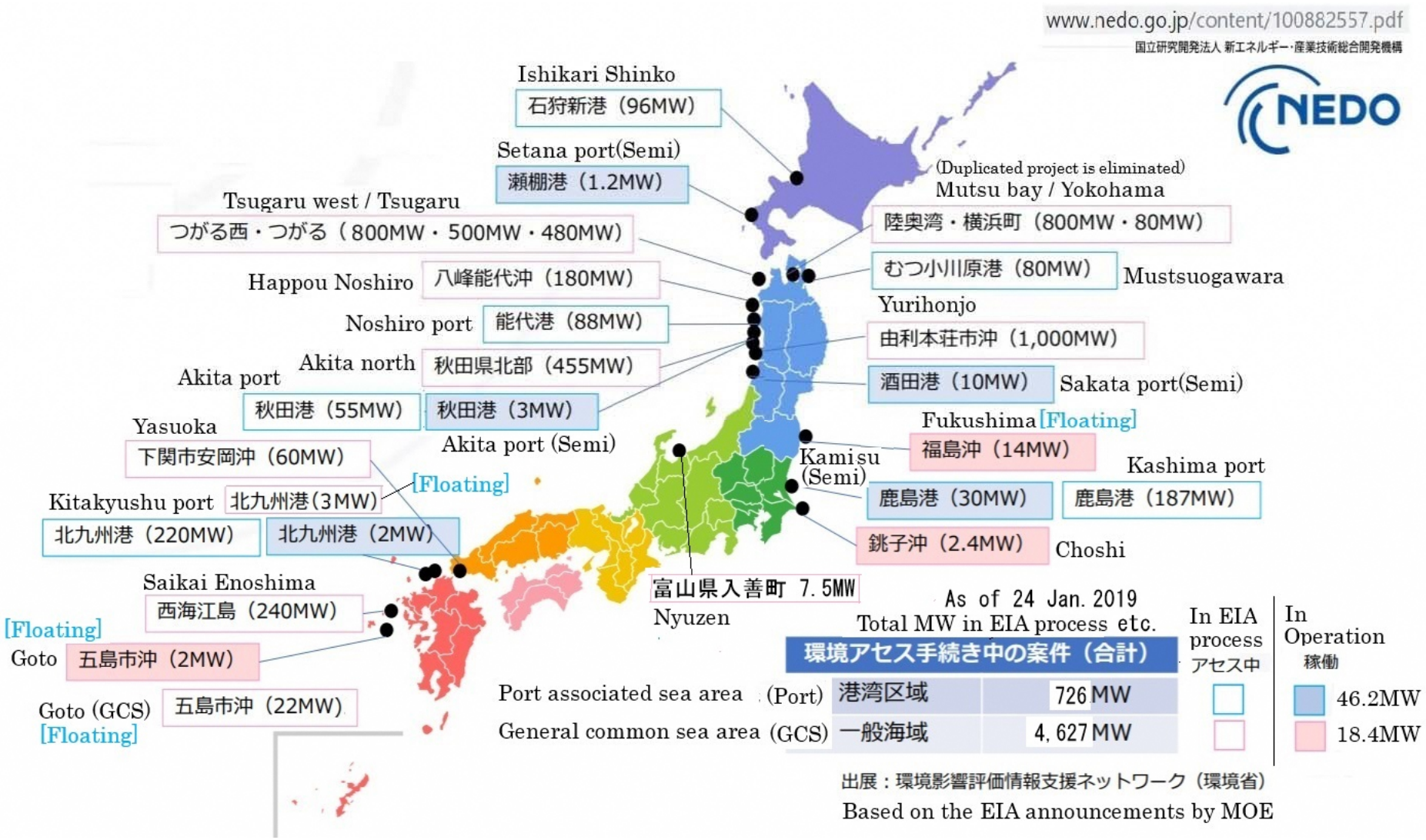
ポテンシャル面積：約14,591km²

【5.0MW級風車】

ポテンシャル容量：約91GW

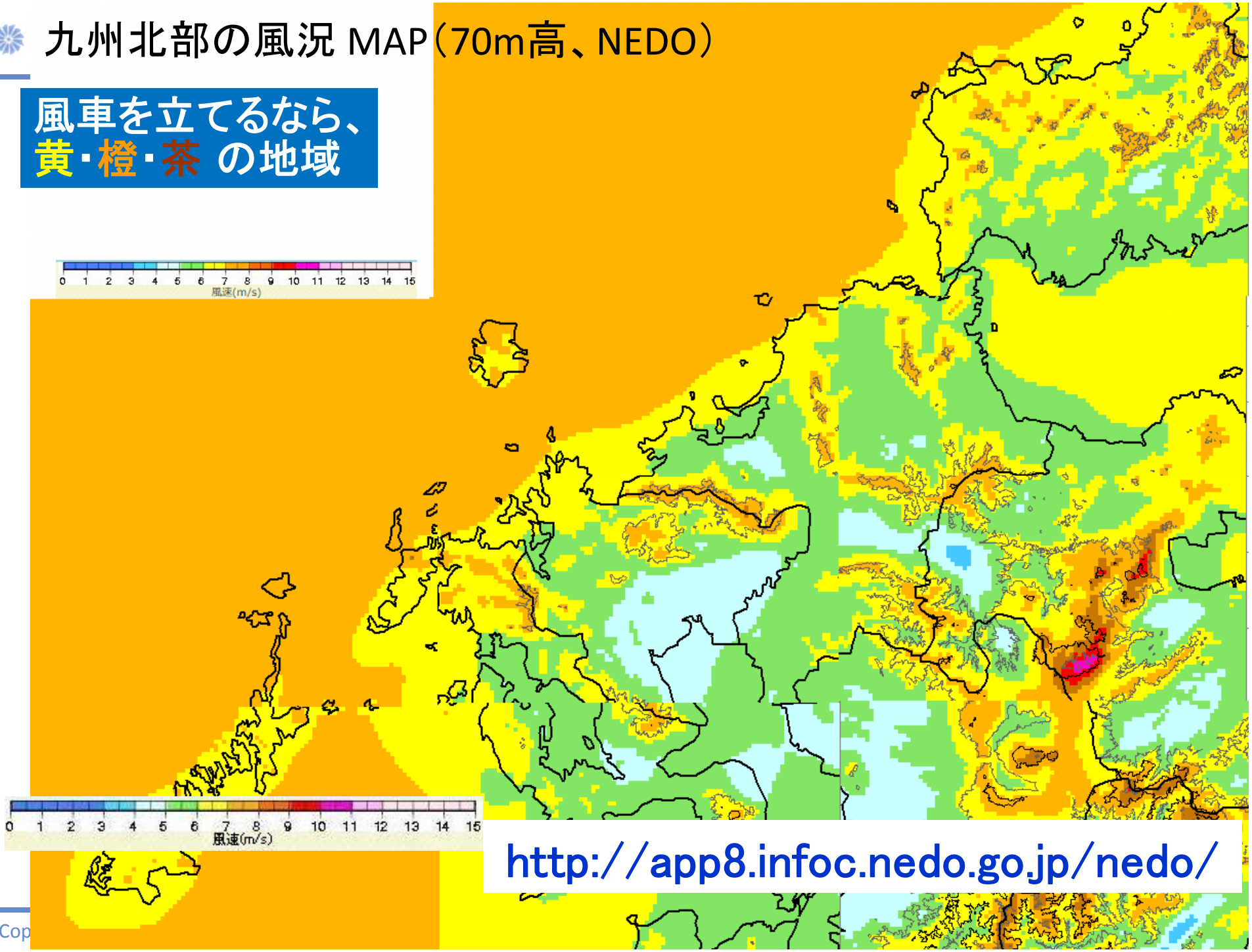


日本の風力発電の開発計画
（大多数は着床式、ごく少数が浮体式）



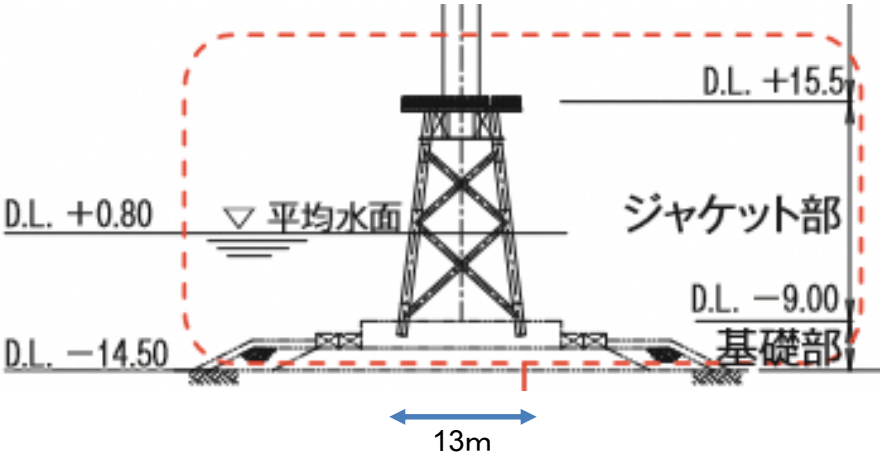
九州北部の風況 MAP（70m高、NEDO）

風車を立てるなら、
黄・橙・茶 の地域



重量式＋ジャケット（ハイブリッド重力式）
NEDO北九州沖

出展：NEDO



出展：新日鉄エンジニアリング
洋上風力発電設備基礎の設計技術の確立

ジャケット部380ｔ＋基礎部3,720ｔ　合計4,100ｔ

NEDOの次世代浮体式洋上風力実証研究

北九州では洋上風力開発と港湾整備が進む

地理的優位性を活かした
洋上風力発電の推進

あらゆる機能を備えた
洋上風力発電の総合拠点の形成

未利用エネルギーを活用した
植物工場など、新たな産業誘致

＋

低炭素で安定安価な
エネルギーの供給と
スマートコミュニティ創造事業の
成果を活用した、エネルギーを
賢く使う仕組みづくり

→

- 環境エネルギー産業のトップランナーとして、響灘地区で行う取組みを全国に拡げ、我が国のエネルギー産業の推進を大きく加速させる。
- 東アジアに近接している立地特性を活かし、エネルギー産業の拠点として海外の需要を取り込む。
- 広い範囲で経済・雇用創出など地域の発展に大きく貢献。

響灘地区における風力発電関連産業の展開

風力発電関連産業アジア総合拠点の形成に向けて

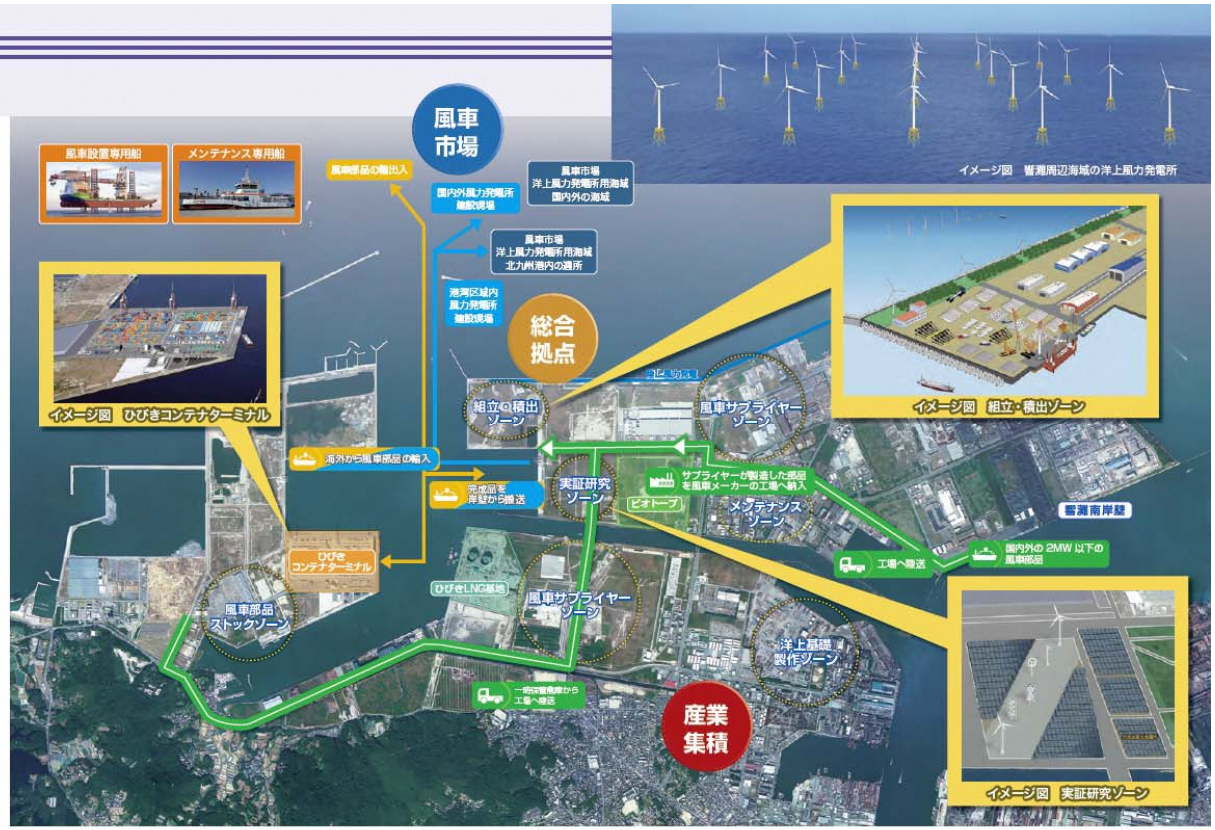
響灘地区に広がる
約2,000haの埋立地は
本市の貴重な財産

▶

環境・エネルギー産業の
集積を目指し平成22年度より
「グリーンエネルギーポートひびき」
事業に着手

「グリーンエネルギーポートひびき」事業は、
風力発電関連産業を北九州市の産業と結びつけ、

響灘地区において
「風力発電関連産業アジア総合拠点」の
形成を目指します



出典：響灘エネルギー産業拠点化推進期成会パンフレット

安川電機（福岡県行橋市）が風車用の発電機と電力変換装置を製造している

安川電機

毎日新聞

風力機器１００億円超　１６年度売上高見通し
欧州・中国向け 好調

会員限定有料記事　毎日新聞 2016年2月18日　西部朝刊

安川電機は１７日、２０１６年度の風力発電関連事業の売上高見通しを１４年度実績比で２・８倍の１００億円超になると明らかにした。洋上風力発電などが盛んな欧州や中国向けに発電機やコンバーター（電力変換装置）の大型機器を供給する。同社は風力発電など環境エネルギー事業をロボット事業とともに重点分野に位置づけており、数年後には数百億円規模にしたい考え。

発電機など大型機器は行橋事業所（福岡県行橋市）で製造している。

日本ロバロの九州工場（戸畑区中原）が風車用のヨー軸受を製造している

Nippon Roballo

ThyssenKrupp

九州工場

〒804-0002 福岡県北九州市戸畑区
中原46番地59

新日鉄住金エンジニアリング(株)構内
電話：+81-93-873-7066
ファックス：+81-93-873-7065

外径寸法：3,000mm ～ 5,600mm

出典：日本ロバロのWebサイト
http://www.roballo.co.jp/JP/company_Kyushu.shtm

直方にある石橋製作所が風車用の増速機を製造

出典：石橋製作所

ニッスイマリン工業（北九州）は
洋上風力作業員のトレーニングを提供

訓練用プールでのサバイバル訓練（写真提供：ニッスイマリン工業）

福岡県（北九州市）は日本の洋上風力の勝ち組（模範的な成功ケース）

・既に2件の洋上風力国家プロジェクトが立地。

・北九州市沖で大規模な商用の洋上開発も進行中。

・北九州港で拠点港の整備が進む。

（商圏は日本だけでなく、台湾・韓国も視野）

・関連産業の集積も着々と進行中。

・学術面では九州大学によるサポートがある。