

2020年11月18日（水）
易しい科学の話

風力発電は、 主力発電になりうるか？



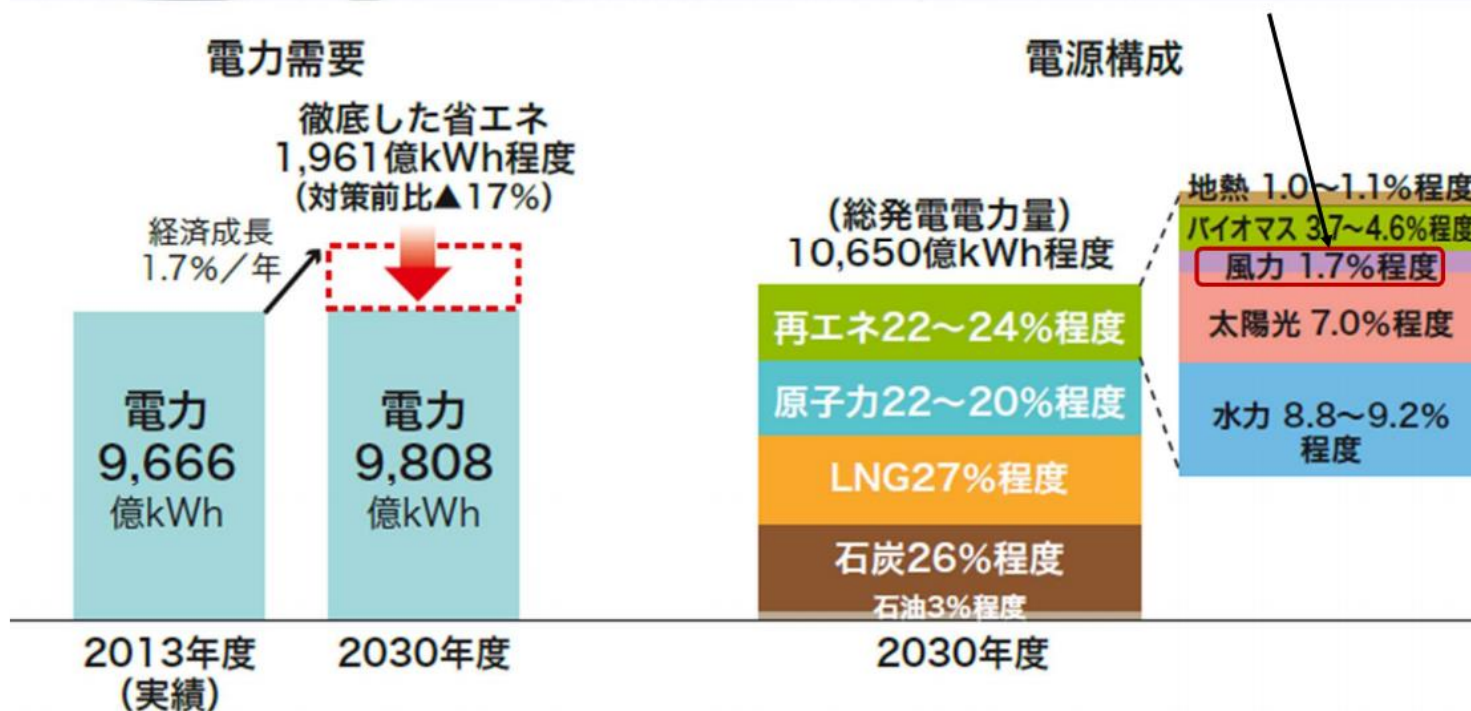
吉岡 芳夫

本資料は、インターネット上の公開情報をもとに作成しました。

これまで（2018年時点）の計画

政府の2030年電力のベストミックス

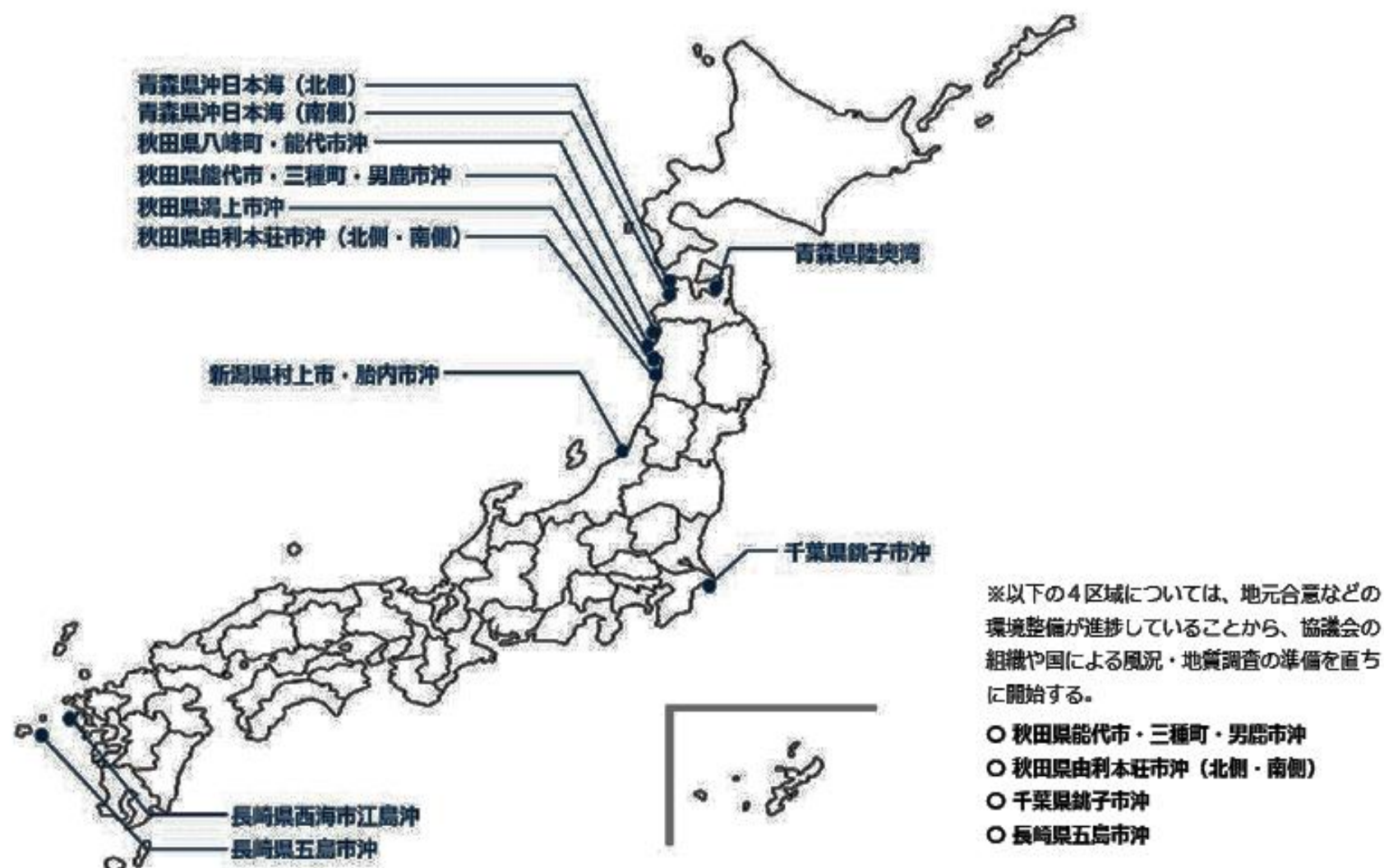
風力：1.7%
あまりに小さい
目標値！



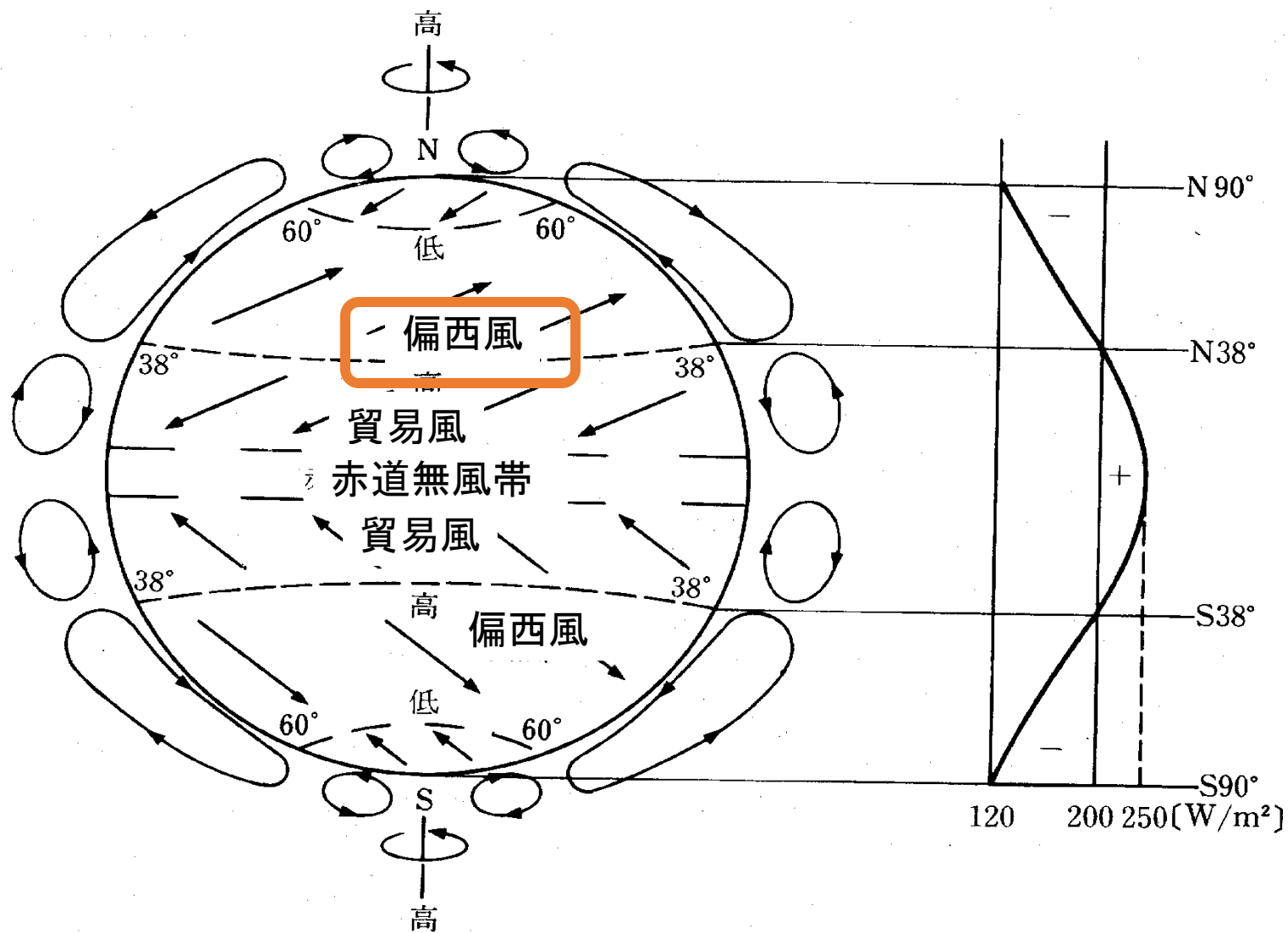
2020/7 梶山経産大臣の発言

- 非効率の石炭火力発電は、廃止
 - 非効率石炭火力の発電容量は4割程度
 - 政策を変えるとアナウンス
- 先着優先ルール見直し
 - 再生エネルギーが不利にならない メリットオーダー方式へ。再エネは市場で 優先
 - オープンアクセス 発電事業の自由化
- 洋上風力官民協議会
 - 経産省と国交省港湾局 関連業界
 - エネルギー政策と産業政策融合の復活
 - 洋上風力発電の数値目標、インフラ整備に言及
- ⇒本格的再エネ導入への期待

図1. 促進区域の指定に向けた有望な区域等の整理



出典：資源エネルギー庁



偏西風が強い

太陽エネルギーの収支



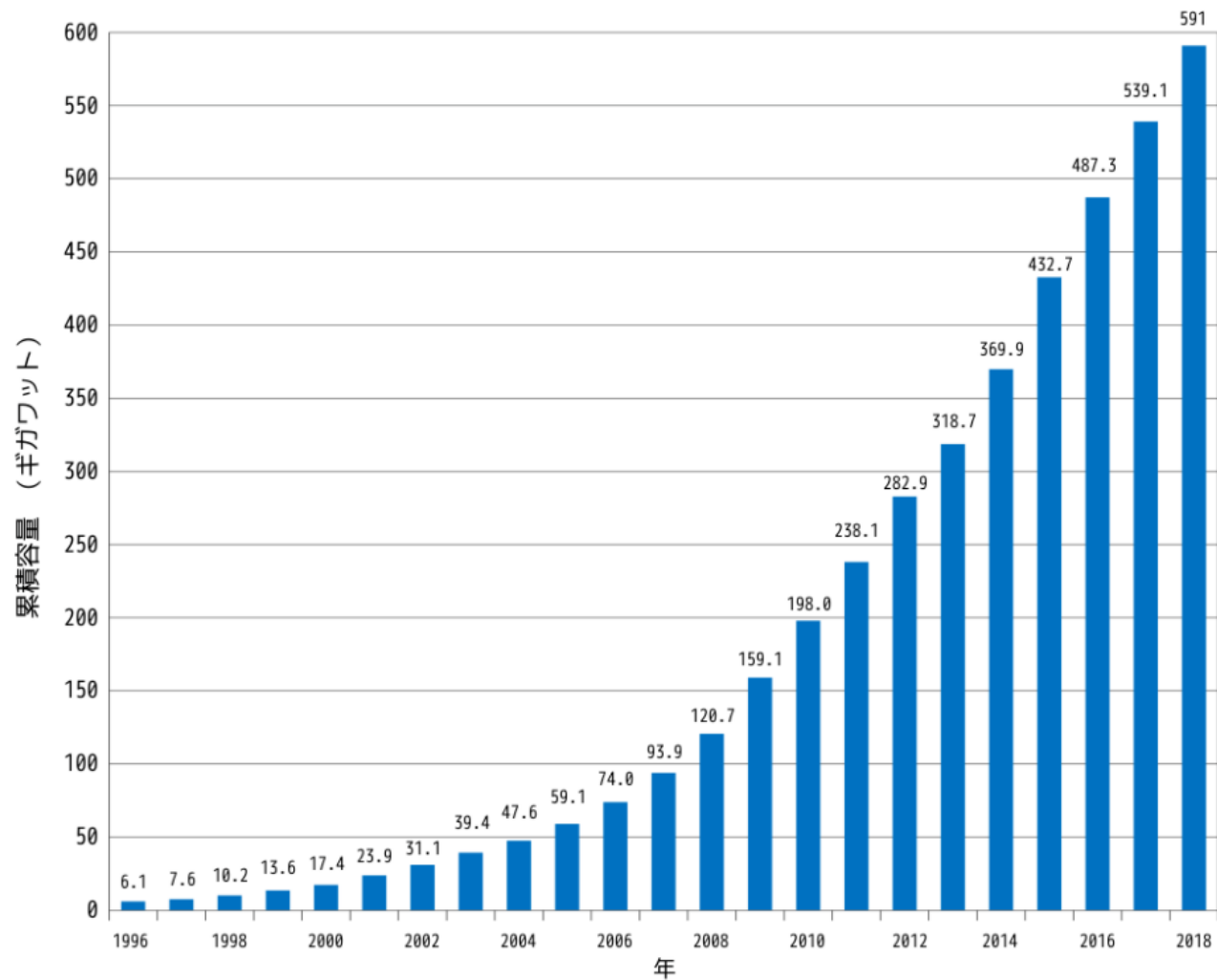
カリフォルニア モハベ砂漠の風力発電
総台数4,000台 65万kW
(H12年7月3日撮影)





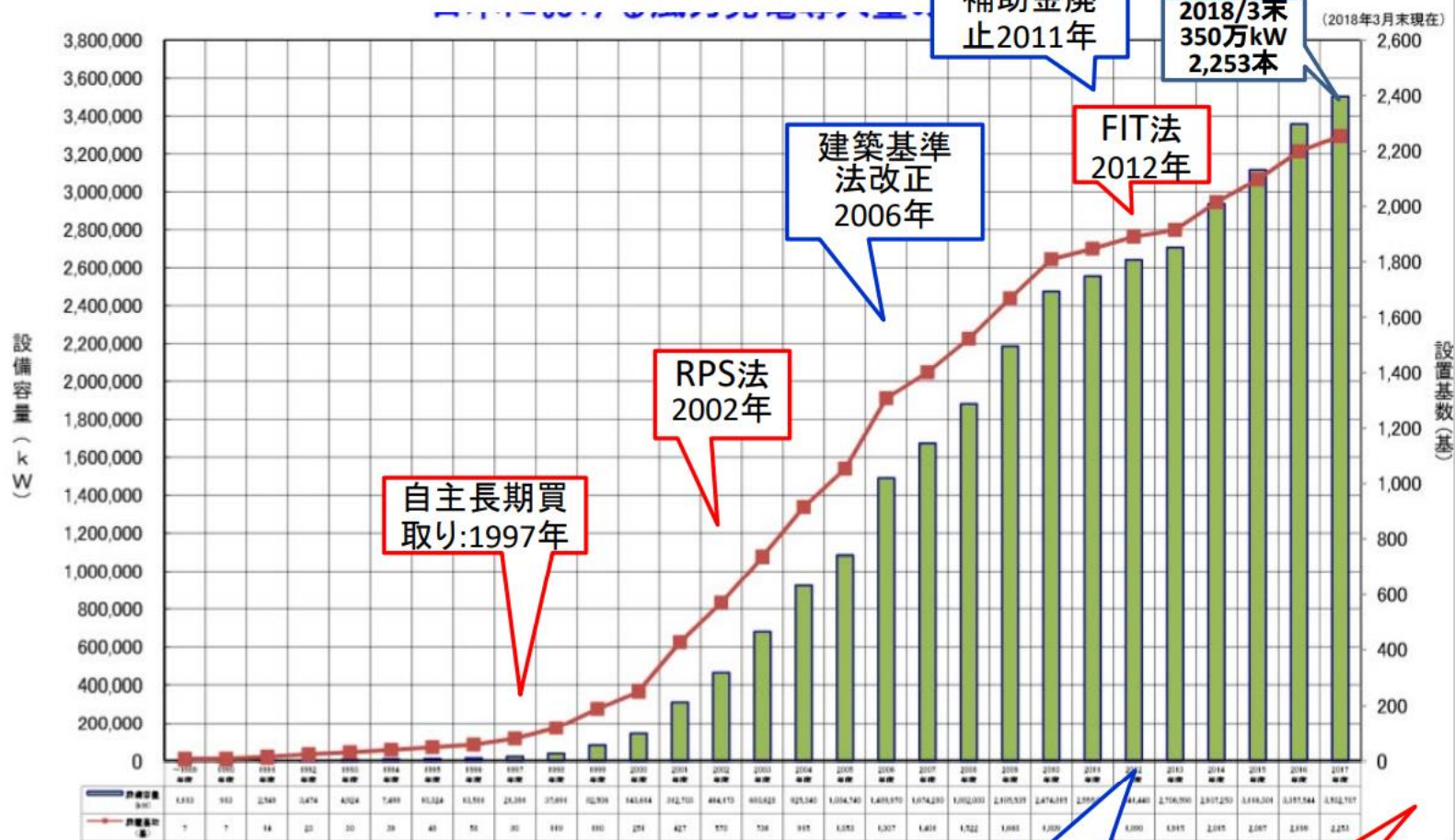
ドイツの洋上風力発電
(バッテンフォール、北海)

世界の風力発電の累計導入量（データ：GWEC）



日本における風力発電導入量の推移

2020/3末
411万kW



(出所) NEDO作成図に加筆

環境アセス法対象
2012年

FIT適用
2022年

日本における風力発電事業の光と影 普及しなかった理由と主力電源実現への要件

JWPA報道懇話会勉強会用資料

2020年9月24日

エネルギー戦略研究所(株) 取締役研究所長

京都大学大学院経済学研究科特任教授

山家公雄

http://jwpa.jp/pdf/20200924_HikaritoKage_Yamaka.pdf

以下の資料は、一部簡略化など修正しています。

日本の風力発電の現状

- 潜在量は大きい
 - 17億kW: 陸上2.7、洋上13.8 (2011年環境省調査)
 - 洋上552GW: 着床式128、浮体式424 (2020年JWPA)
 - IEAは洋上の潜在量を評価 (IEA Offshore Wind Outlook2019)
- しかし、稼働量は少ない、目標値も小さい
 - 日本は410万kW (2020/3) で 0.2% 、 欧州は15%
 - 目標値は1000万kW (2030年) 1.7%、欧州は再エネで60%以上
- 風車メーカー撤退、国内サプライチェーン縮小
 - 漸く上昇トレンドへ
 - 太陽光発電の普及は停滞
 - 空き容量問題前進、
 - 洋上風力発電に関する新法、旧電力会社も参入
- Offshore Wind Outlook 2019

風力が増えなかった理由

- 欧州に比べて風況に劣る
 - 既存事業者は再エネに否定的:風力は警戒された
- 政策支援が弱い
 - 再エネ低評価、温暖化対策本気度低い
- RPS:普及させない制度、FITとアセス
 - 節目々で規制強化
- 緩慢な規制緩和
 - 特に農地:農山漁村再エネ法の限界、林地:緑の回廊
- 金融機関の慎重姿勢 疑似プロジェクト・ファイナンス
- 業界の課題
 - ベンチャー、電力の子会社、デベロッパーとメーカーの混成

2020/7梶山経産大臣発言の意味と意義

- 非効率石炭Fade-Out
 - 非効率石炭の容量は4割程度 30年比率は普遍との見方も
 - 政策支援は必要か 非効率は競争力がないこと 産炭地問題はない
 - 政策を変えるとのアナウンス
- 先着優先ルール見直し
 - 再エネが不利にならない メリットオーダー方式へ 再エネは市場で 優先
 - オープンアクセス 発電の自由化
- 洋上風力官民協議会
 - 経産省と国交省港湾局 関連業界
 - エネルギー政策と産業政策融合の復活
 - 洋上の数値目標、インフラ整備に言及
- ⇒本格的再エネ導入への期待

意欲的で明確な中長期導入目標の設定

○2030年: 洋上風力10GW

- ・中間点として目標を設定
- ・投資判断に最低限必要な市場規模
(1GW程度×10年間)

○2040年: 洋上風力30～45GW

- ・産業界が投資回収見通し可能な市場規模
(年間当り2～4GW程度)
- ・世界各国と肩を並べる競争環境を醸成できる
市場規模

○2050年: 洋上風力90GW

(+陸上40GW=130GW)

- ・政府目標: GHG排出量80%削減に相応しい
目標値
- ・2050年推定需要電力量に対して風力より
30%以上を供給

(日本風力) 現状 : 導入400万kW 0.6%

2030年目標: 1000万kW 1.7%

上記目標 : 4%(30年) 10%(40年)

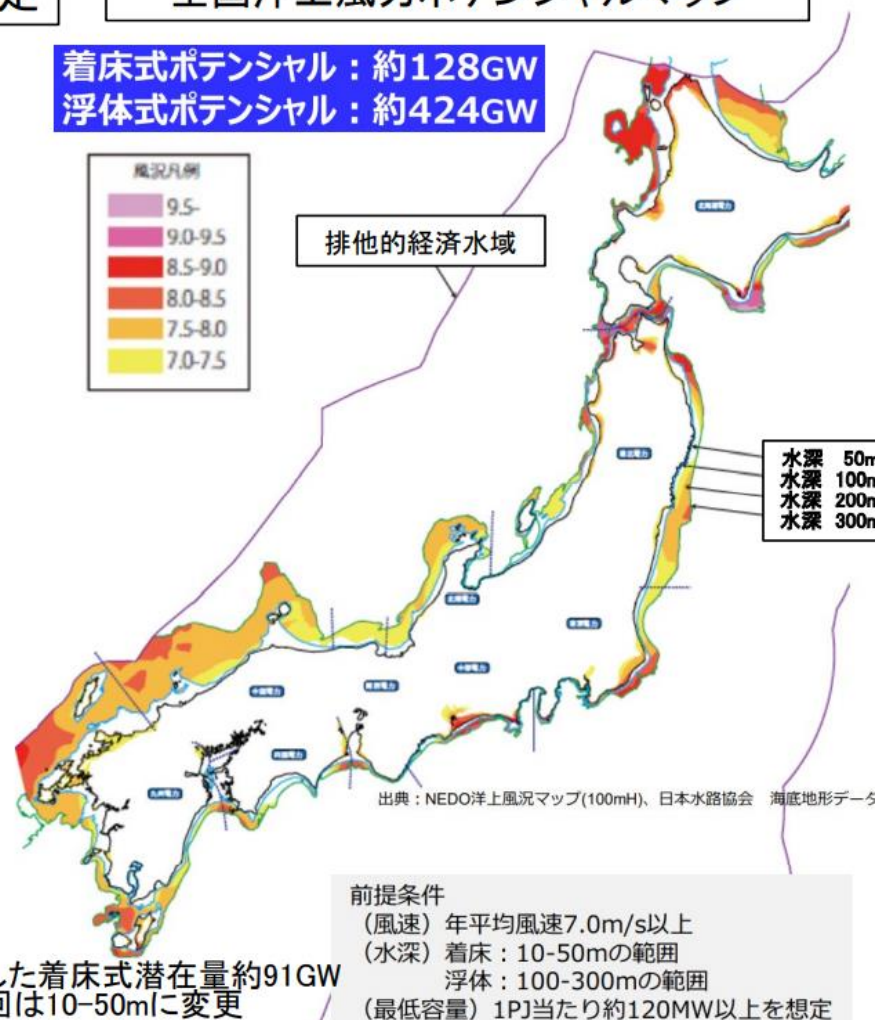
(欧州) 現状 15% 50%(50年 業界)

業界洋上目標: 30GW(現) 450GW(30年 50年)

(注) JWPAが2/28/2018に公表した着床式潜在量約91GW
は水深10-40mの範囲。今回は10-50mに変更

全国洋上風力ポテンシャルマップ

着床式ポテンシャル: 約128GW
浮体式ポテンシャル: 約424GW



(出所) JWPA資料を加工(第1回洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会 7/17/2020)

ドイツの 原子力発電

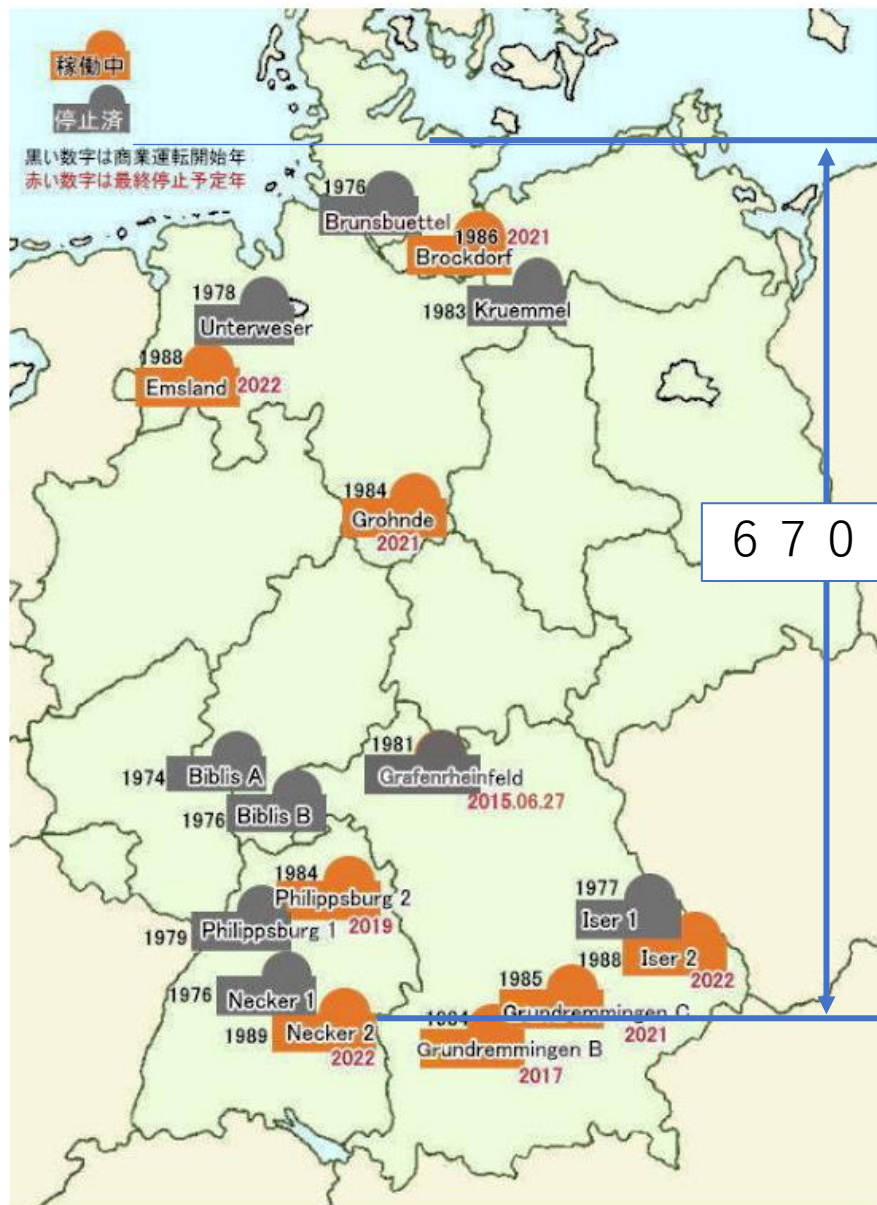
赤色は稼働中

交流送電は、
長距離送電が苦手

直流送電は、
中距離送電に有利
コスト高

(2) 原子力発電所分布図

ドイツの原子力発電所はすべて内陸部の川沿いに立地している。



北部はバルト海
風力発電基地

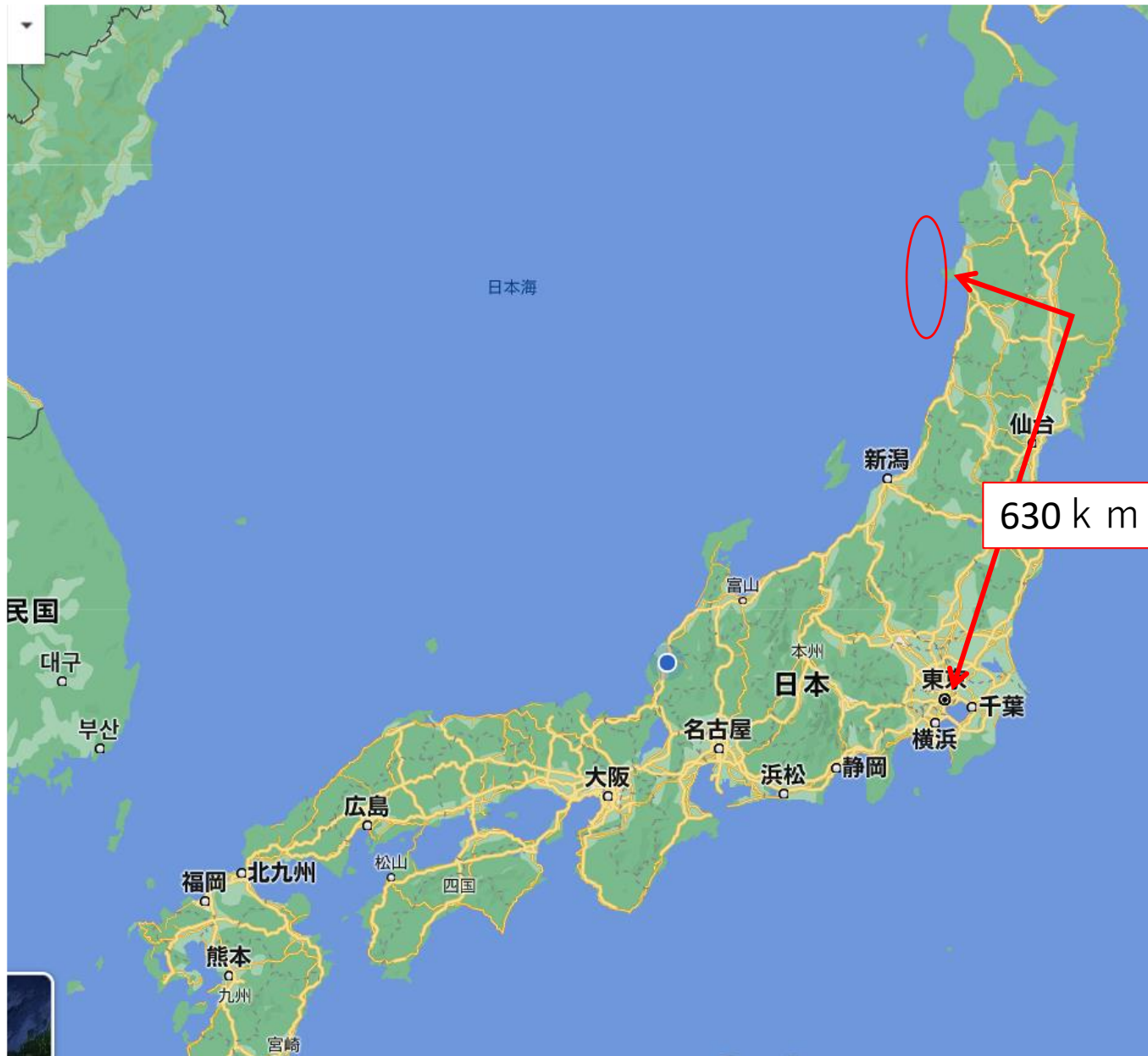
長距離送電がネック

南部に工業地帯

問題点

洋上風力発電基地から
首都圏までの距離が
遠い。

送電線が足りない。

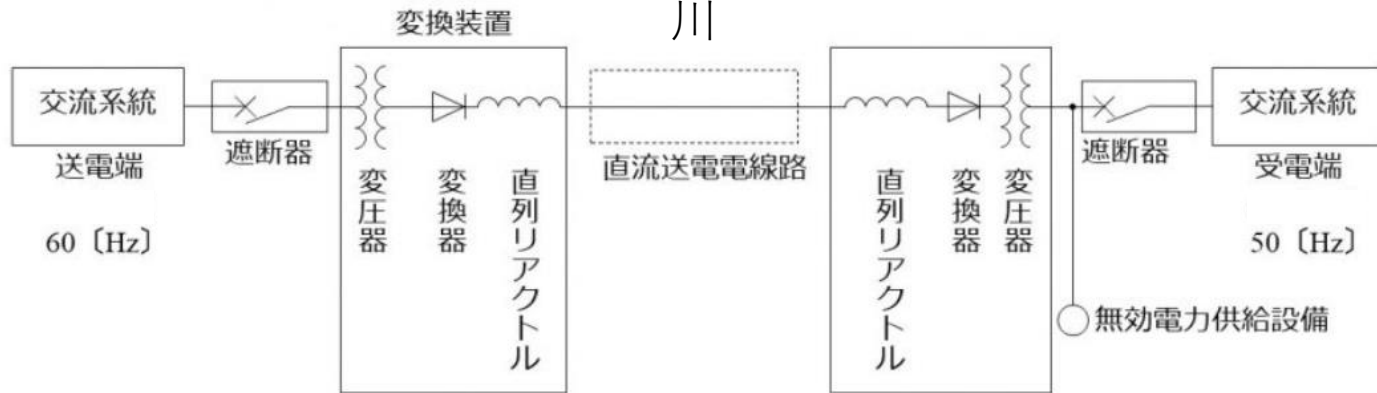


直流送電の採用例

中部以西

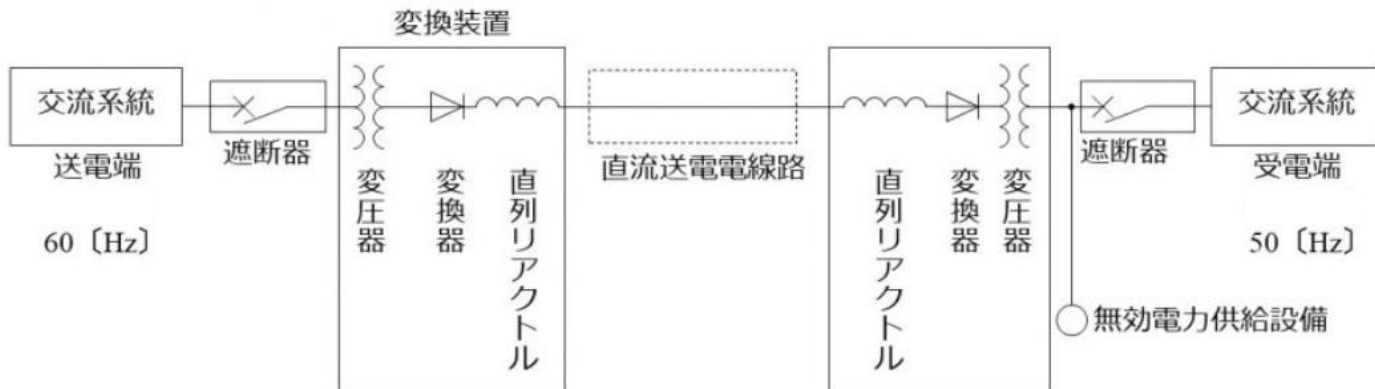
富士川

関東以北



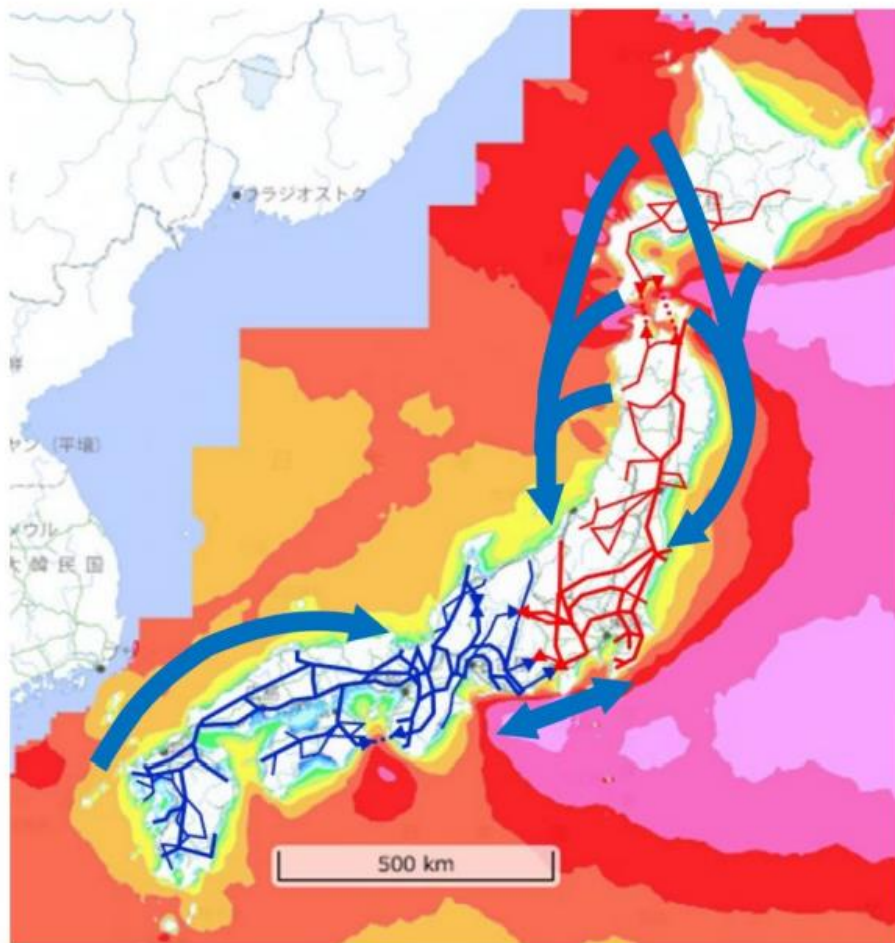
首都圏

秋田、青森地方



ジャパン・スーパーグリッドのイメージ

大型電源 = 広域消費



ダム



原子力



洋上風力



- 海底ケーブルによる短納期での整備
- 直流送電でロス少なく長距離に最適
- 全国大で系統の一体運用を可能に

※ NEDO洋上風況マップ (http://app10.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/index.html) に主要電力系統 (275kV以上) 概略図を重ねた

梶山大臣:「また、(本日発言があった)直流送電や港湾についても今後議論が必要」

洋上風力発電の国内外の最新動向と 日本の探るべき方向性

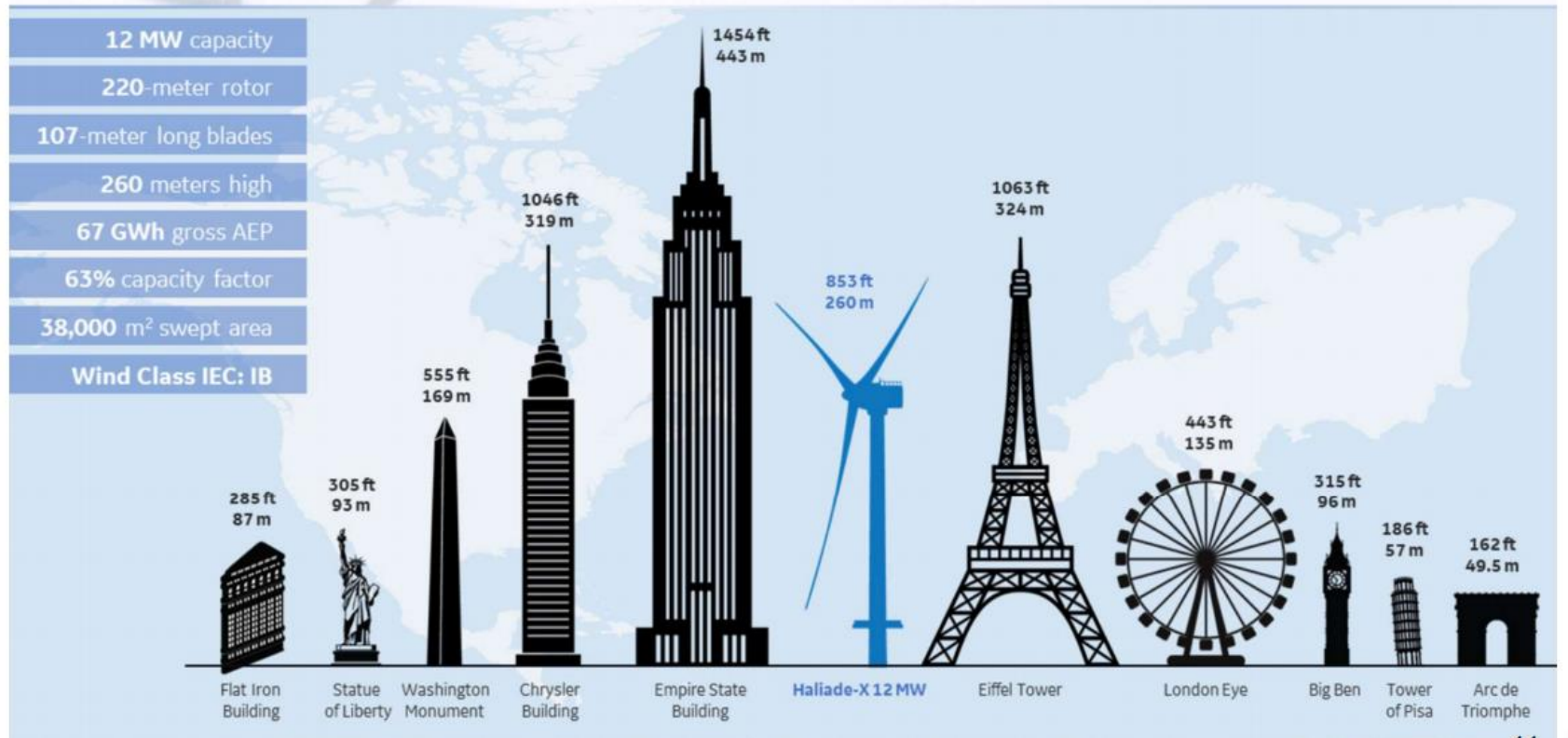
京都大学特任教授・東京大学名誉教授
荒川 忠一

1. 風力エネルギーの最新事情
2. 着底（着床）式洋上風力プロジェクト
3. 浮体式洋上風力プロジェクト
4. 日本の探るべき方向性
5. 結語

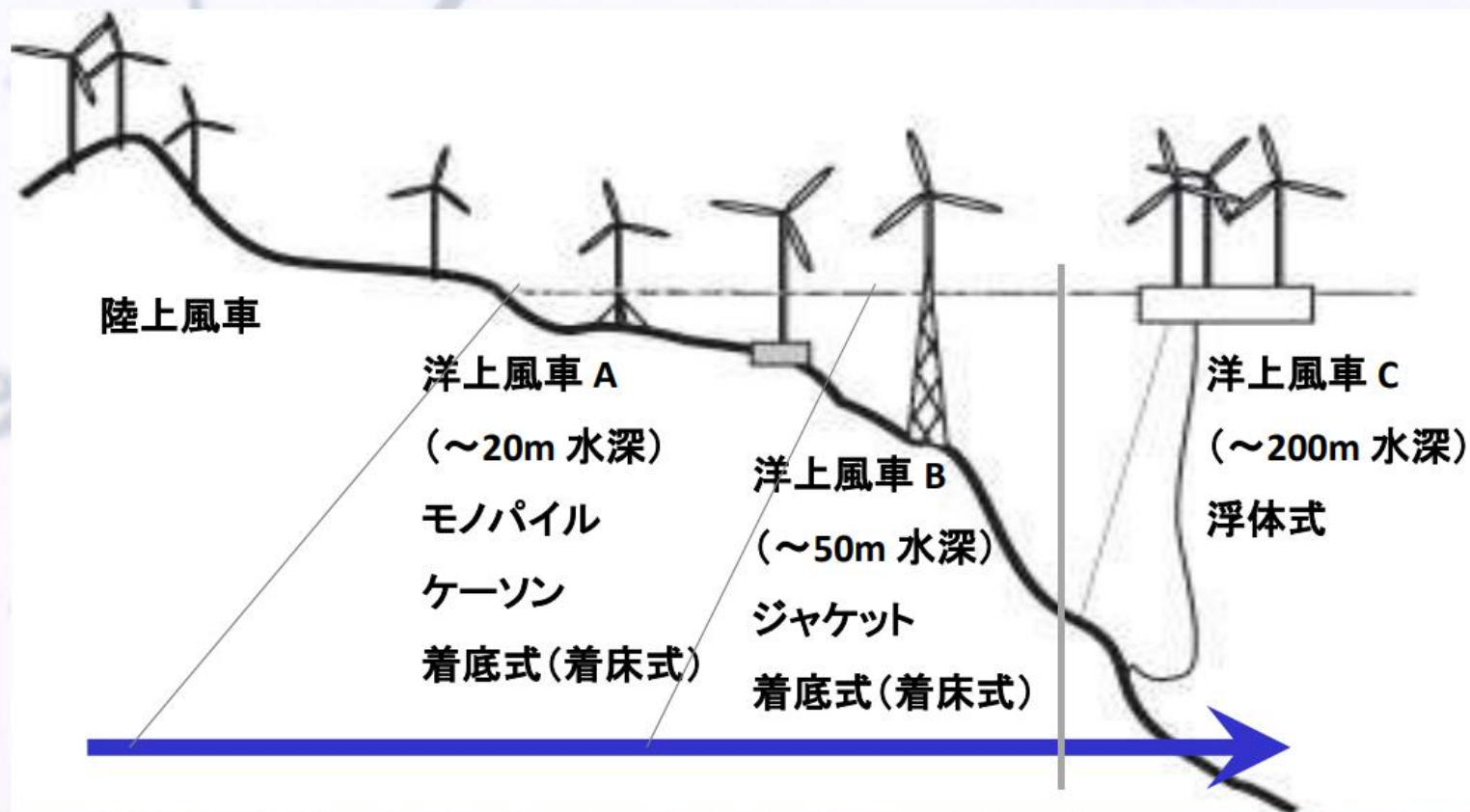
http://www.econ.kyoto-u.ac.jp/renewable_energy/wp-content/uploads/2019/01/20181206-1-doc.pdf#search='%E6%9C%80%E6%96%B0%E3%81%AE%E6%B4%8B%E4%B8%8A%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB'

風車の大型化

大型化→風車中心の位置が高い→風が強い→風速の3乗に比例する出力が大→発電単価が小さい



洋上風車の概念図



現在の商業運転

最先端の洋上風車

海外の浮体式洋上風車(1)

ノルウェー Hywind 挑戦的な浮体式洋上風車(2009年)
水深 200m (120 – 700m) , 100mの浮体構造, 2.3 MW風車



Statoil社協力

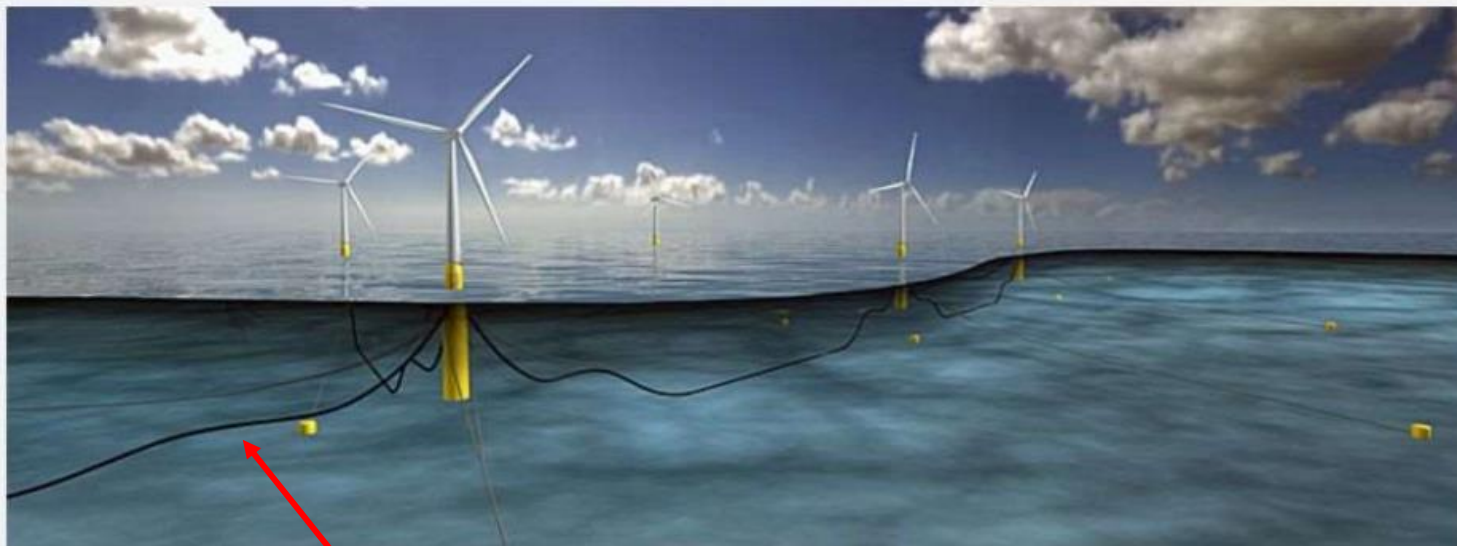
Photo: Øyvind Hagen / Statoil

Hywind つづき (2017年運開)

Hywind Scotland Pilot Park

Source: STATOIL Website

Statoil plan to build the first floating wind farm off the Scottish coast. The park will be located near Buchan Deep, approx. 25-30 km off the coast of Peterhead in Aberdeenshire.



海底に電力ケーブルが張られている

政府の2030年電力のベストミックス

風力：1.7%
あまりに小さい
目標値！

電力需要

徹底した省エネ
1,961億kWh程度
(対策前比▲17%)

経済成長
1.7%/年



2013年度
(実績)

2030年度

電源構成

(総発電電力量)
10,650億kWh程度

再エネ22~24%程度

原子力22~20%程度

LNG27%程度

石炭26%程度

石油3%程度

2030年度

地熱 1.0~1.1%程度

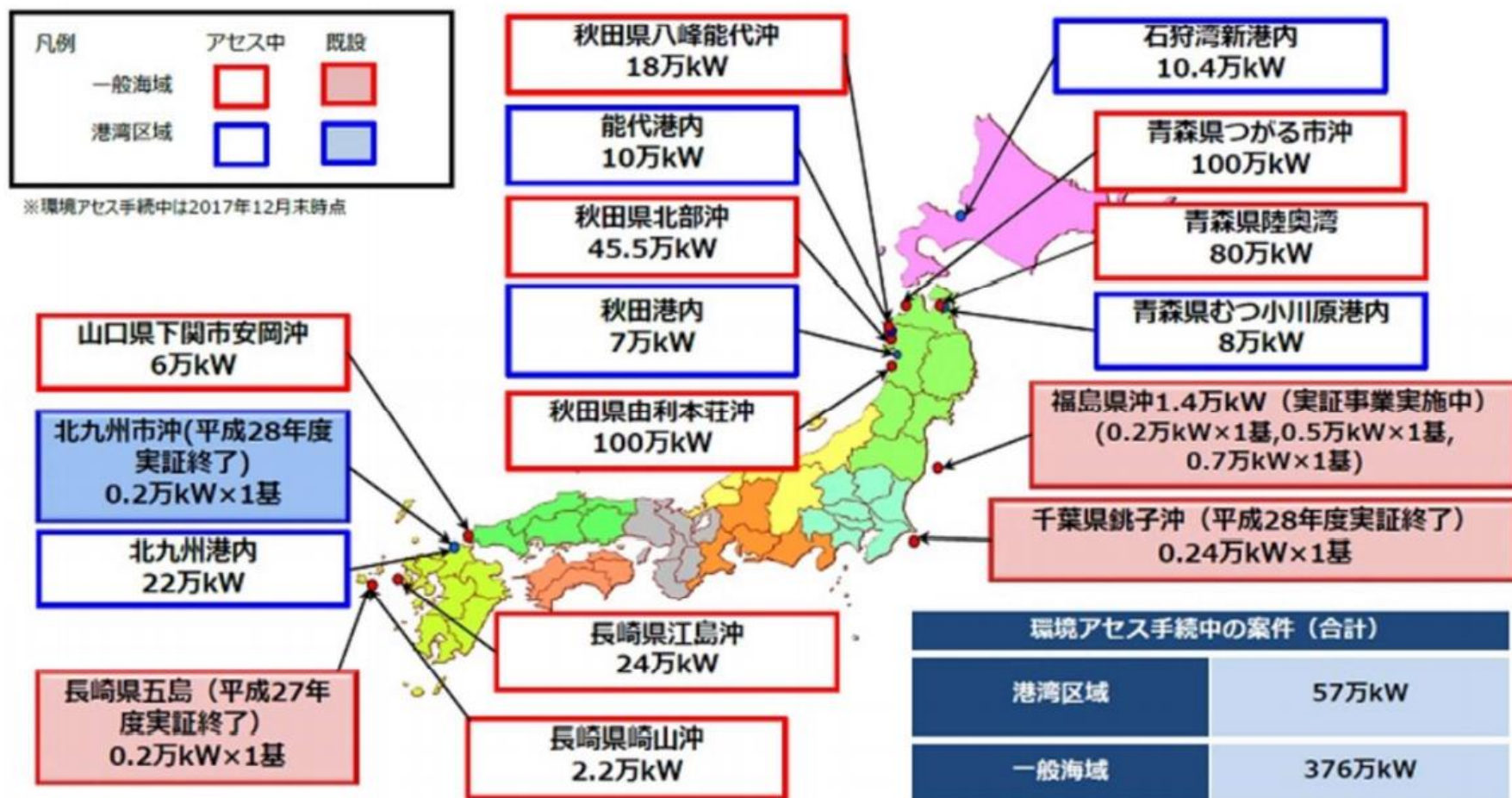
バイオマス 3.7~4.6%程度

風力 1.7%程度

太陽光 7.0%程度

水力 8.8~9.2%程度

国内の洋上ウィンドファームの計画



洋上風力の導入状況と計画
(出所: 資源エネルギー庁)

政府への提言

- 規模感のある風力エネルギーの目標量
 - 2030年 風力で10%の電力を賄う (1.7%)
 - 陸上風力30GW, 洋上風力20GW (10GW)
 - 再生可能エネルギーで30% (20%)
- 電力系統の整備、新設
 - 再生可能エネルギー導入のため陸上系統の整備
 - 北本連系、日本海沿岸の海底ケーブルの増設・新設
 - 利用料金による回収(高速道路と同じシステム)
- 港湾地域に続き、一般海域における洋上風力発電のルール作り、その普及

政府の目標値

風力発電機と発電特性

風の強さ

レベル2：軽風 風速は毎秒1.6～3.3メートルで、顔に風を感じるようになり、木の葉がそよぐ。風見も動き始め、海上は一面にさざ波が現われる。

レベル3：軟風 風速は毎秒3.4～5.4メートルで、木の葉や細い小枝が絶えず動く。海上は波頭が砕け始め、泡は硝子のように見える。白波が現われる。

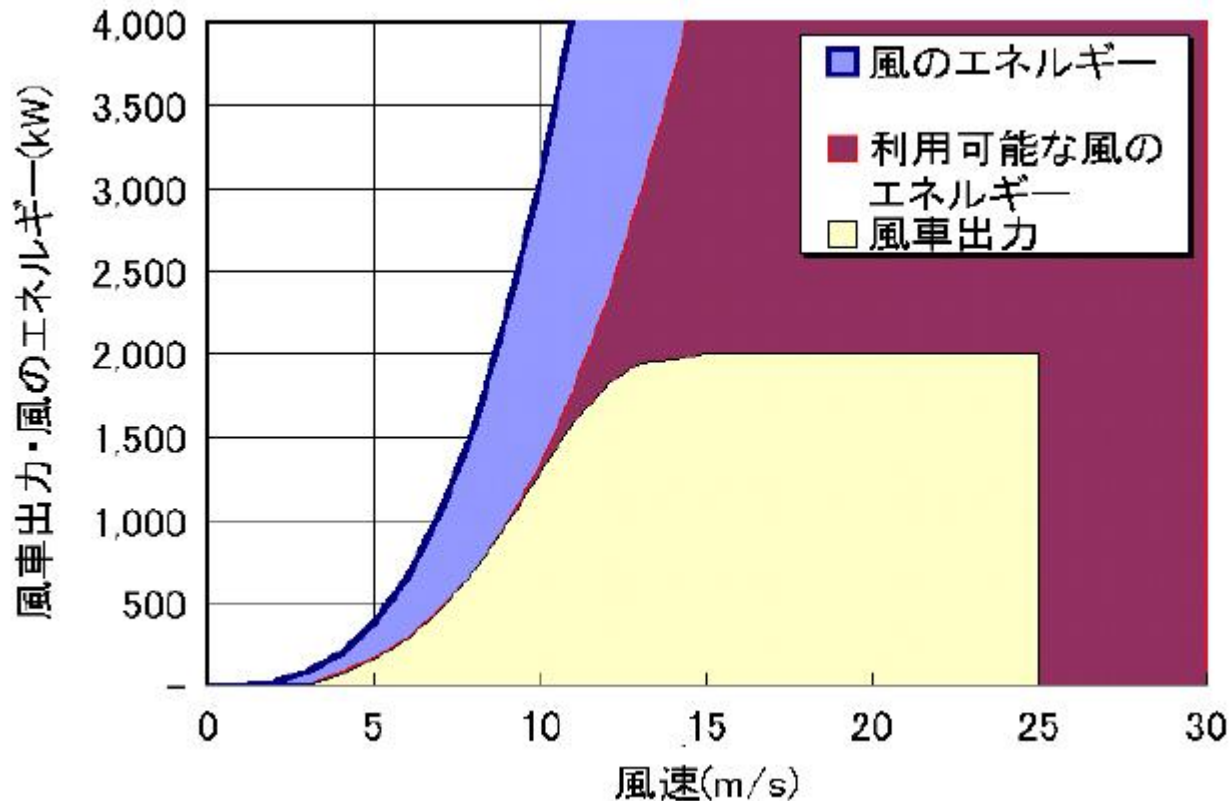
レベル4：和風 風速は毎秒5.5～7.9メートルで、小枝が動く。道路からは砂塵が立ち、紙片が舞い、海上には白波がかなり多く見える。

レベル5：疾風 風速は毎秒8.0～10.7メートルで、葉の茂った樹木が揺れ動き、池や沼の水面にも波頭が立つ。海上は白波がたくさん現われ、しぶきが立ち始める。

レベル6：勇風 風速は毎秒10.8～13.8メートルで、大枝が動き電線が唸り始める。雨が降っていても、傘をさすのは困雑。海上は波の大きいものが出来始め、波頭は砕けて白く泡立つ。

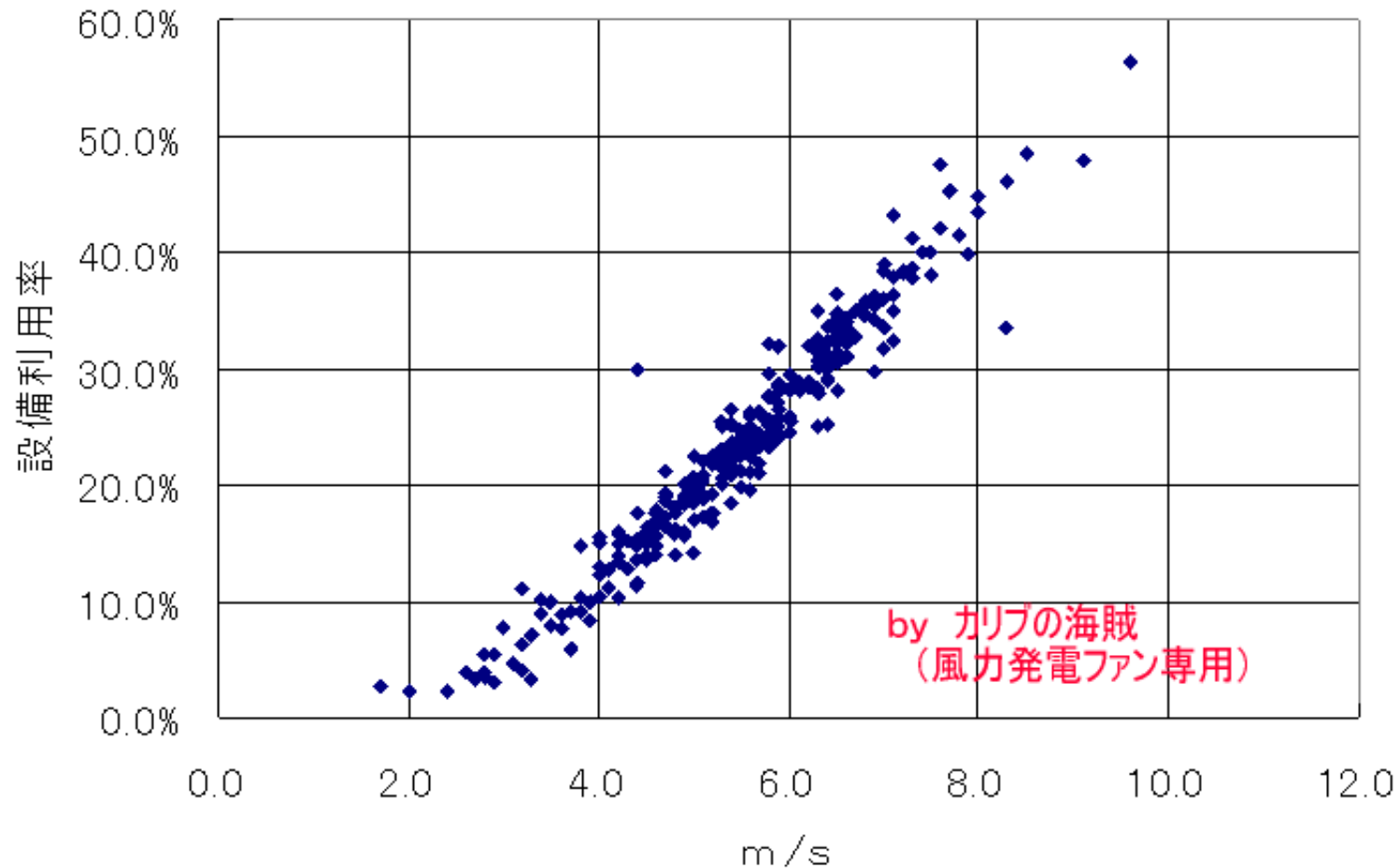
レベル7：強風 風速は毎秒13.9～17.1メートルで、樹木全体が揺れ、風に向かって歩きにくくなる。海上は大波が立ち、波頭は砕けて海面は白い泡に覆われる。

風のエネルギーと風車が利用できる範囲の例

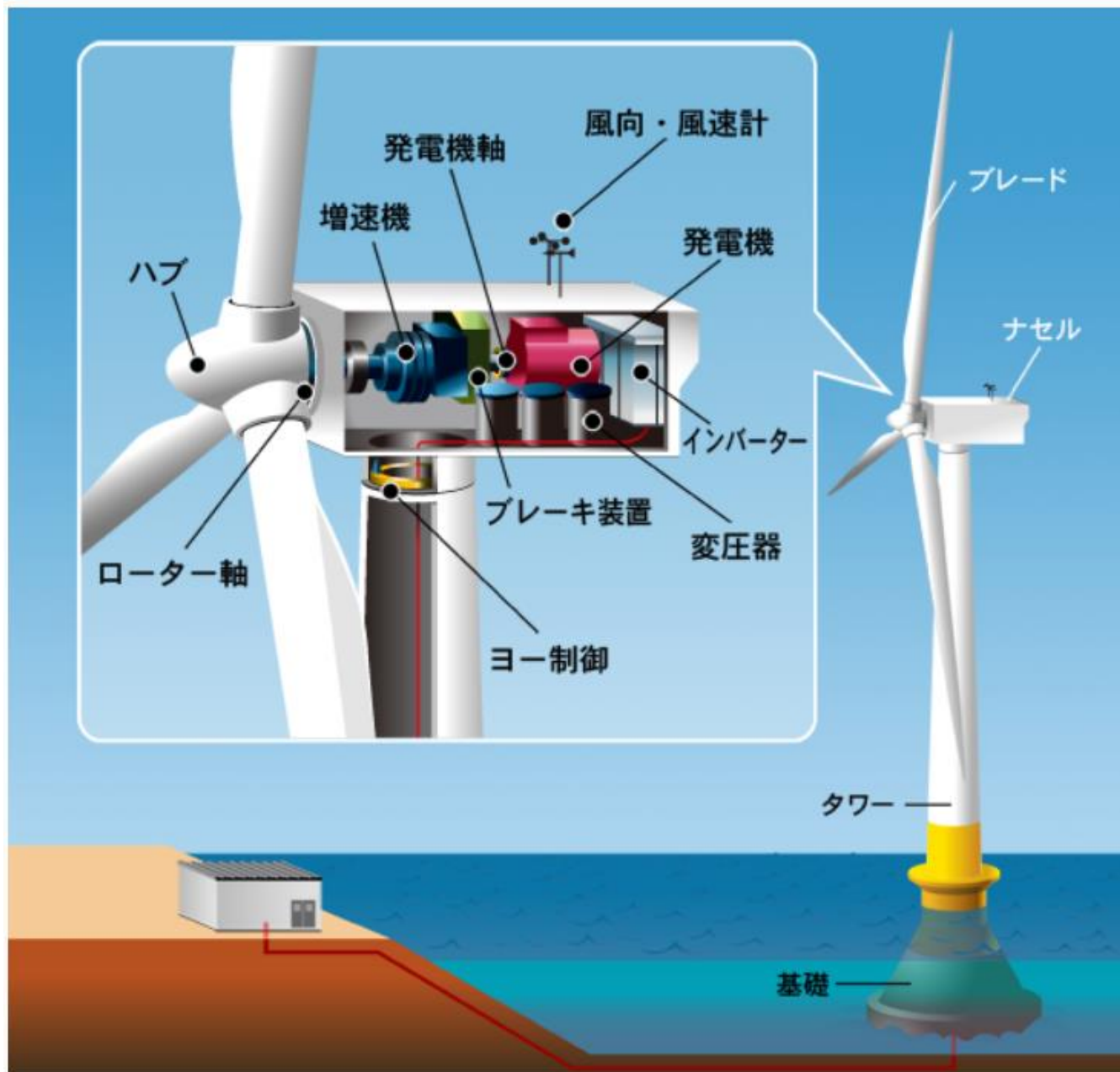


風速12m/sで最大出力を設計するのが普通

風速と設備利用率(試算)



風車が回っていても、風が弱いと発電量は少ない。



<https://www.nedo.go.jp/fuusha/kouzou.html>



日本の風力発電の現状から見る再生可能エネルギーの課題 — 再生可能エネルギーの「主力電源化」に向けて —

安藤 利昭

中村 直貴

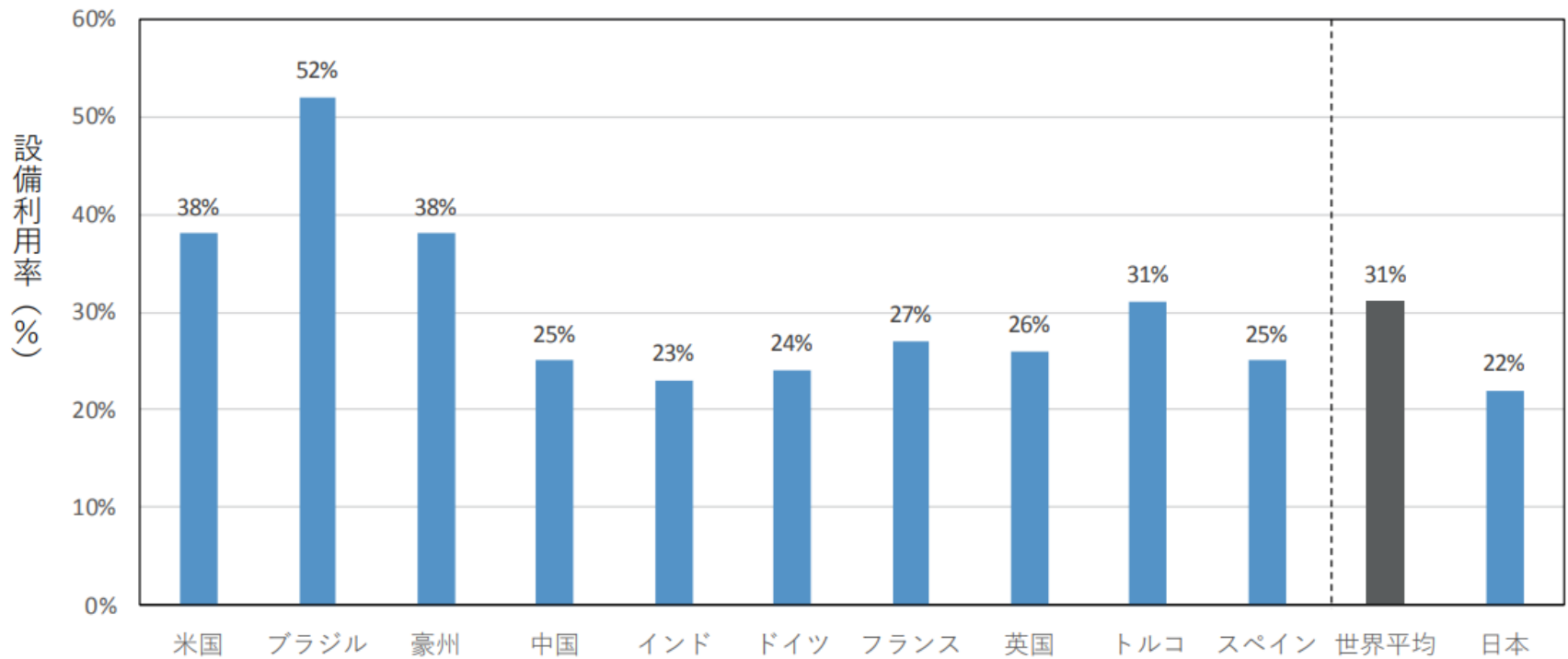
(経済産業委員会調査室)

- https://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/chousa/rippou_u_chousa/backnumber/2018pdf/20181203063.pdf

2018 年7月に閣議決定された第五次「エネルギー基本計画」

- 2030 年度の電源構成比率の水準を示した「長期エネルギー需給見通し」の確実な実現を目指すことや、再生可能エネルギーの「主力電源化」に向けて取り組むこと等が明記された。
- ただ、再エネによる電源には、太陽光・風力・水力等の多様で、再エネを「主力電源化」することを目標に据えたものの、どの電源を目指すのかという将来像は明らかではない。
- 世界的には、主力は風力発電であり、太陽光発電がそれに続いている。一方、日本では、太陽光発電に極めて偏った状況となっている。
- 2018 年3月時点における主な再エネの導入量とエネルギーミックスで想定する導入量とを比較すると、中小水力が約 87%、太陽光が約 70%、バイオマスが約 54%、地熱が約37%、風力が約 35%となっており、世界の状況とは裏腹に風力発電の導入が進んでいない状況にある。
- その理由は、風力発電の導入に当たっては、地元との調整や環境アセスメントのほか立地のための各種規制等への対応が必要で、導入に時間がかかるためとされる。
- しかし、日本の風力発電のポテンシャル自体は極めて高いと評価されていたこと、また、近年、世界的に風力発電のコスト低減が急速に進んでいることを考慮すると、風力発電の導入促進を図ることは、大きな課題となっている。
- 特に大きなポテンシャルがあるとされる洋上風力発電の導入促進を図るため、2016 年に港湾法が改正され、第 197 回国会（臨時会）において、「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案」が提出されている。

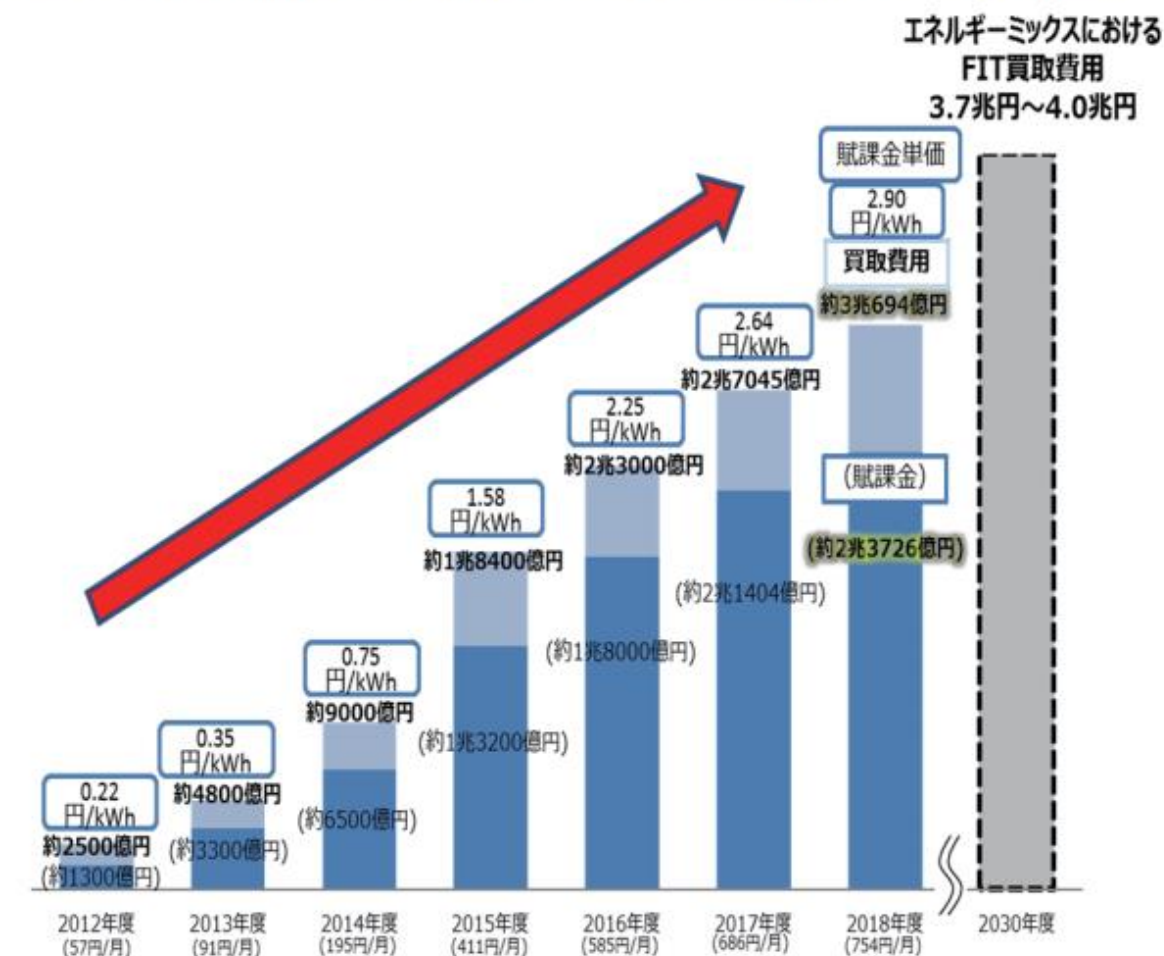
図表 3 国内及び海外の設備利用率比較



(出所) N E D O 『TSC Foresight』 Vol. 27



図表 1 固定価格買取制度導入後の賦課金等の推移



標準家庭月額負担額

(出所)「再生可能エネルギーの大量導入時代における 政策課題と次世代電力ネットワークの在り方」
(第1回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 配布資料)

風力発電の特長

- 陸上と洋上で発電が可能なエネルギー源
- 経済性を確保できる可能性のあるエネルギー源
 - 大規模に発電できれば発電コストが火力並みであることから、経済性も確保できる可能性がある。
- 変換効率が良い
 - 風車の高さやブレード(羽根)によって異なるものの、風力エネルギーを高効率で電気エネルギーに変換可能。
- 夜間も稼働
 - 太陽光発電と異なり、風さえあれば夜間でも発電可能。
- https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/wind/index.html

課題

- 世界では風力発電の発電コストは急速に低下しているが、日本の発電コストは高止まっている。
- 系統制約、環境アセスメントの迅速化、地元調整等の開発段階での高い調整コストなども課題。

● ケーススタディ2 ウィンド・パワーかみす洋上風力発電所



ウィンド・パワーかみす洋上風力発電所は、2010年6月に運転を始めた洋上風力発電所である。第1、第2の洋上風力発電所があり、合計の発電出力は3万キロワットである。護岸から40～50mの水域に、陸上から風車を建設するという方法により建設コストの低減を実現した。岸から風車までは管理橋が架けられており、陸上と同様にメンテナンスを行うことができる。（そのため、固定価格買取制度（FIT制度）による調達価格は陸上風力の価格が適用されている。）

出典：株式会社 ウィンド・パワー・グループ

空から見た風力発電



- https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/wind/index.html

失敗で100億吹っ飛ぶ洋上風力発電に、電力・ゼネコン・商社が前のめりな理由

ダイヤモンド編集部 堀内 亮：記者

特集 15兆円の洋上風力バブル

2019.12.19 5:50  有料会員限定

 いいね!

 シェ

 Tweet

2

B!





A

A



Photo:LonelySnailDesign/gettyimages、Illustration by Saekichi Kojima

今、日本の洋上風力発電事業はバブルの様相

- 海外で洋上風力発電プロジェクトに携わった経験を持つある商社関係者は「洋上風力発電を甘く見過ぎている。痛い目に遭う企業が続出する」と警鐘を鳴らす。
- ノウハウを持たずに洋上風力発電プロジェクトへむやみに資金をつぎ込もうとしているプレイヤーが多い。
- シェール革命で大やけどを負った背景にも、経験不足による甘さがあった。新規ビジネスにリスクは付きものだが、巨額の投資を伴う洋上風力発電のリスクは大きい。
- トランプのババ抜きのように、リスクが顕在化して“ババ”を引くのは誰なのか。

英国の洋上風力発電



英イングランドのレッドカー沖に設置された発電用の風車——英政府は発電容量が最大180万キロワットに達する「世界最大」の洋上風力発電所をイングランド沖に建設する計画を承認した（2016年6月27日撮影、資料写真）。(c)AFP/Scott Heppell

日本で思うように洋上風力発電が普及しない理由

- 浅瀬の狭い日本では設置場所が難しい。
- 景観や漁業への影響に配慮して沖合へ遠ざかるほど、海底に基礎を築いて支柱を立てる着床式ではコストが膨らむ。
- また、地震や台風の多い日本では供給の安定性にも懸念がある。
- 浮体式洋上風力発電は福島などで実証研究が続けられ、長崎県の五島列島では今年4月から営業運転に入って離島1700世帯分の供給が見込まれる。
- 洋上風力発電大国を目指せるかどうかのカギは、強力な蓄電池システムに貯蔵して需要のピーク時や天候変動による供給の穴埋め用の電力を担保する技術である。

9月24日に矢野経済研究所が洋上風力発電 市場の調査レポート

- これによれば、20年度中に洋上風力発電の建設工事等の新設に係る業務が開始される見通しであり、その市場規模は20億円程度になるものと予測されている。
- 陸上風力発電については適地がほぼ無くなってきていると言われており、1計画で原発1基分に相当する大規模な再生可能エネルギー発電所である洋上風力発電に期待が集まっている。

洋上風力発電に対する懸念

- 野鳥への悪影響、景観、騒音等の環境問題により、ドイツでは陸上の風力発電建設が殆ど止まってしまった。
- 政府は洋上風力に舵を切っているが、コスト増加は免れない。また洋上風力の環境影響についての研究も進むので、洋上であれば環境問題から解放されるという訳でもない。
- 再生可能エネルギーであっても、原子力・火力・水力などの既存の発電と全く同様に、規模が拡大するにつれて環境問題が生じ、対策費用が嵩むようになり、最悪の場合は建設が禁止される。
- このような現象は専門的には「ネガティブラーニング(負の学習)」と呼ぶ。風力発電は環境コストの増加に耐えられるだろうか。

ドイツの風力発電はどうなるのか

- ドイツは風力発電先進国であったが、ここに来て異変が生じている。
- 今年2019年の1月から6月までの間、僅か35基しか陸上に建設されなかったのだ。因みに国の目標達成のためには2030年までにあと1400基を建設する必要があるとされている。
- 異変の最大の理由は、生態系影響、景観、騒音等の環境問題だ。特に最近では、羽根に当たり野鳥が多く死んでいることが重大な問題とされている。
- 理由は他にも、風力発電支援制度の変更、送電線建設の遅れなどもある。
- しかし、森林や野生生物についての環境保護規制が「風力発電計画にとっての絶対的な障害である」と風力発電事業者が述べるに至っている。

風力発電は、環境にやさしいか？

- 風力発電の場合、同じだけのエネルギーを生産するために必要な面積は火力発電や原子力発電よりもはるかに大きいから、自然生態系への介入の度合いもそれに比例して増える、という側面がある。
- 風力発電が拡大してきたことで、かかる環境影響が顕在化してきた。
- どのようなエネルギー生産技術でも、それがスケールアップして、多くのエネルギーを生産するようになった時には、環境問題が顕在化する。
- 風力発電は、はじめは小さな風車が2, 4あるに過ぎず、牧歌的な雰囲気があった。しかしそれは、ごく僅かの電力しか生まないときに限られるものであった。
-

洋上風力発電がブームになっている理由

- いまドイツでは洋上風力がブームになっているが、これはじつは陸上での行き詰まりの反映でもある。
- 洋上に行くと、陸上に比べてかなりコストは割高になる。一定のコストダウンは期待されるけれども、基礎工事などの土木工事費用が大きいというコスト構造であるために、大幅なコストダウンには限界があると思われる。
- また、同じ洋上であっても、環境問題への配慮によって、陸から更に遠く、更に深い場所への立地が求められる、という傾向があり、これは継続的なコストアップ要因になる。浮体式の洋上風力では更にコストが高くなる。

欧州の洋上風力発電は大丈夫か？

- それに、洋上風力も、今後環境問題によって建設が進まなくなる可能性がある。
- 浅い海は、魚も多く、それを餌とする鳥も多い、豊かな生態系である。
- まだ研究が進んでいないから生態系への影響が解っていないだけで、今後、急速に研究が進むにつれて、そう遠くない将来に環境問題が重要視されることは十分に予想される。
- 風力発電は、今後どうなるのだろうか？
- ドイツでこれだけ環境問題がこじれてしまうと、陸上で復権することは難しく思える。
- 洋上も同様になる可能性がある。
- 欧州では今後、風力発電は殆ど進まなくなるのかもしれない。

鳥取市の風力発電巡り摩擦、「ルール作りが必要」

- 鳥取市の山間部で、大規模な風力発電の建設計画が進んでいる。脱炭素社会の実現に向け関心の高まる再生可能エネルギーだが、現場では建設を巡って地元住民との摩擦が生じている。事業者、地元双方の理解を形成する仕組み作りが求められている。
- 事業を進めるのは、アジア太平洋地域で、太陽光発電や風力発電の再生可能エネルギー事業を展開するヴィーナ・エナジー(本社・シンガポール)のグループ会社「日本風力エネルギー」(同・東京)。
- 同社によると、計画は鳥取市の内陸の山間部約4千ヘクタールに、高さ150メートル、3枚ブレードで回転直径が130メートルの風力発電機(1基あたりの出力4500キロワット)を28基程度設置する。国内で稼働する陸上風力発電としては最大級となる見込み。2023年に着工、26年に運転を開始する予定。
- これに対し、建設地周辺の明治や東郷、西郷など各地区の住民らはグループを結成し、反対活動が続ける。騒音・低周波音による健康被害の懸念に加え、大規模開発による土砂災害へのリスクなどを挙げる。

まとめ

- 政府は、洋上風力発電を、再生エネルギー発電のエースにしようとしている。
- 海外では、洋上風力発電は、実際に行われている。
- 海上では、風が強い。住民の生活環境への悪影響は少ない。太陽電池発電より、発電電力が大きい。
- 日本は、海外に比べ海が深く、風力の強い地域が、電力の消費力遠い。
- 東北から首都圏への送電網は弱い。
- 増強するとすれば直流送電が有利だが、コストが高い。
- 自然に左右される不安定な電力。
- 主力発電にするのは、簡単ではない。