

風力発電

失敗と成功から学んだこと ～地元との共生～

2017年3月23日

東京大学 生産技術研究所
エネルギー工学連携研究センター
齊藤 哲夫





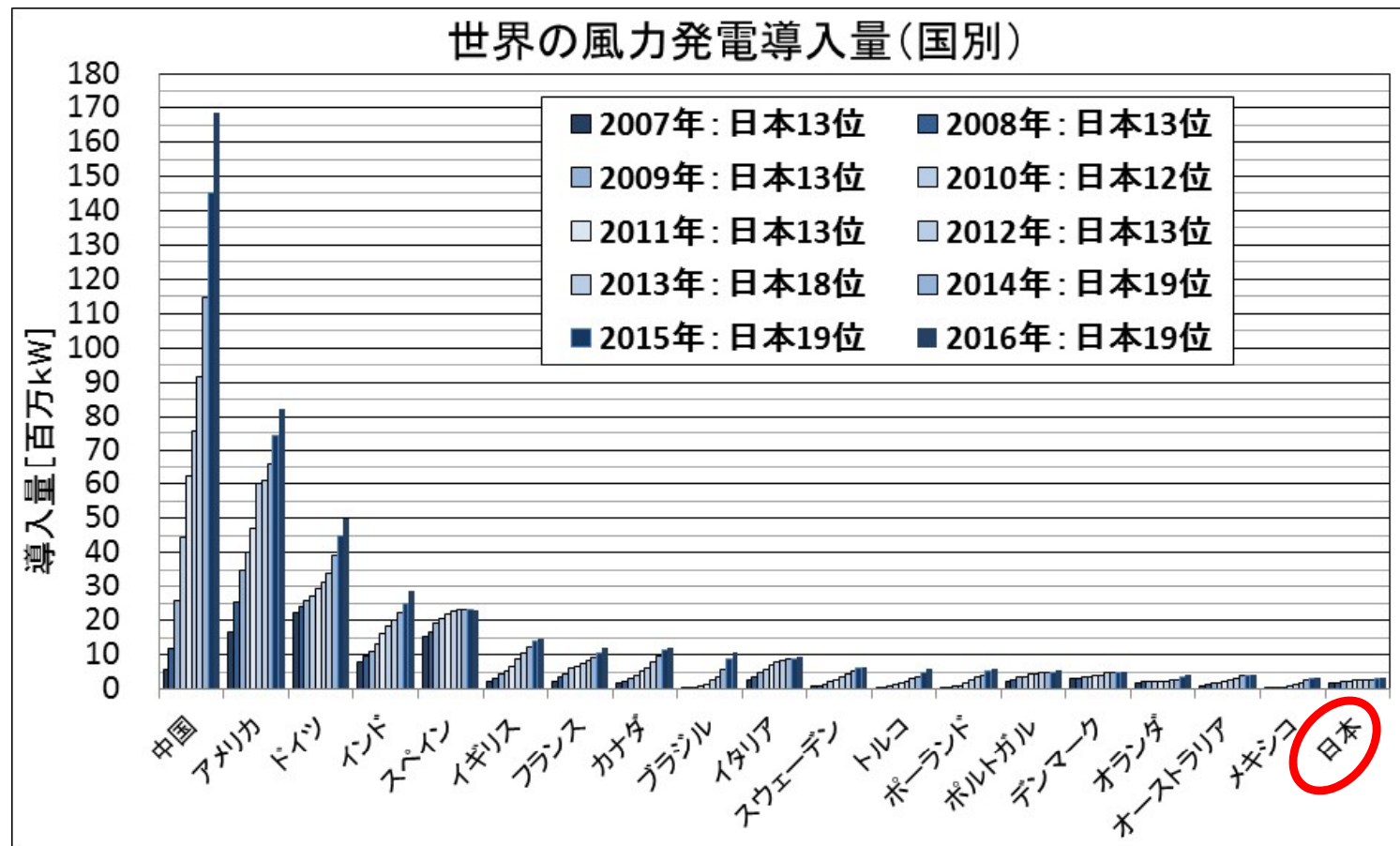
本日の説明内容

- ☆ 風力発電の基礎情報
- ☆ 失敗と成功から学んだこと
(よく質問されたこと)
- ☆ まとめ



世界の風力導入量は、どのくらい？

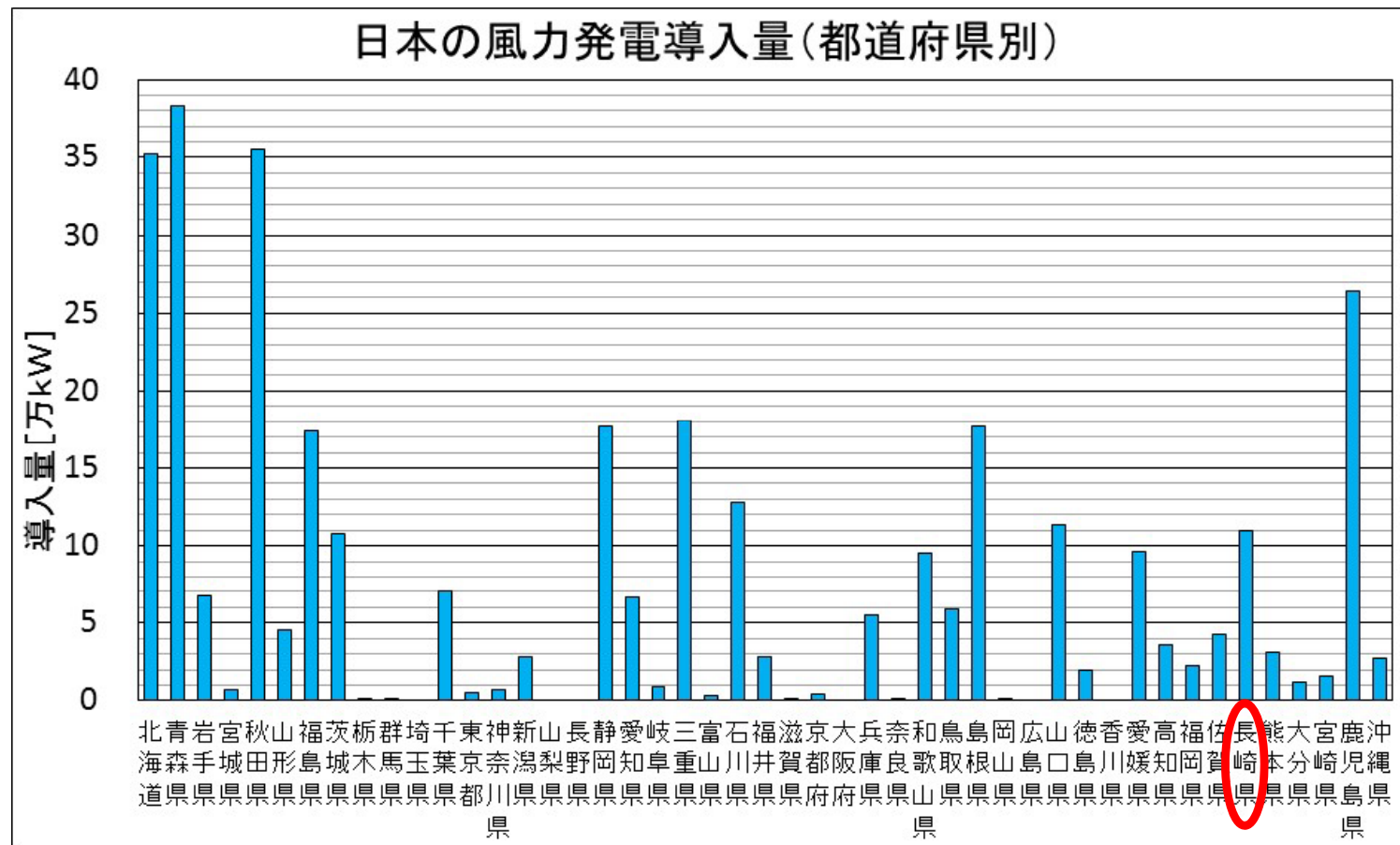
- 2016年末で、486.7 [百万kW] です。 (日本の全発電設備容量の約2.4倍)
 - 2008年に、アメリカがドイツを抜いて世界1位
 - 2010年に、中国がアメリカを抜いて世界1位
 - 日本は、2004年に世界8位でしたが、現在は世界19位





日本の風力導入量は、どのくらい？

- 2016年度末の推定値は、337.8万kW（約3.4百万kW）です。
 - 青森県が 1位で、38.3万kW
 - 長崎県が11位で、10.9万kW
 - 東北電力管内が1位で89.3万kW、九州電力管内が2位で49.7万kW

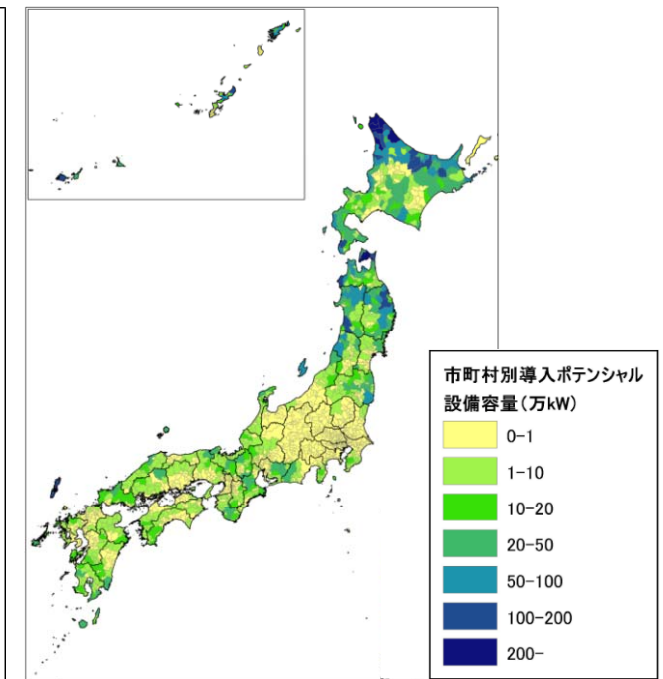
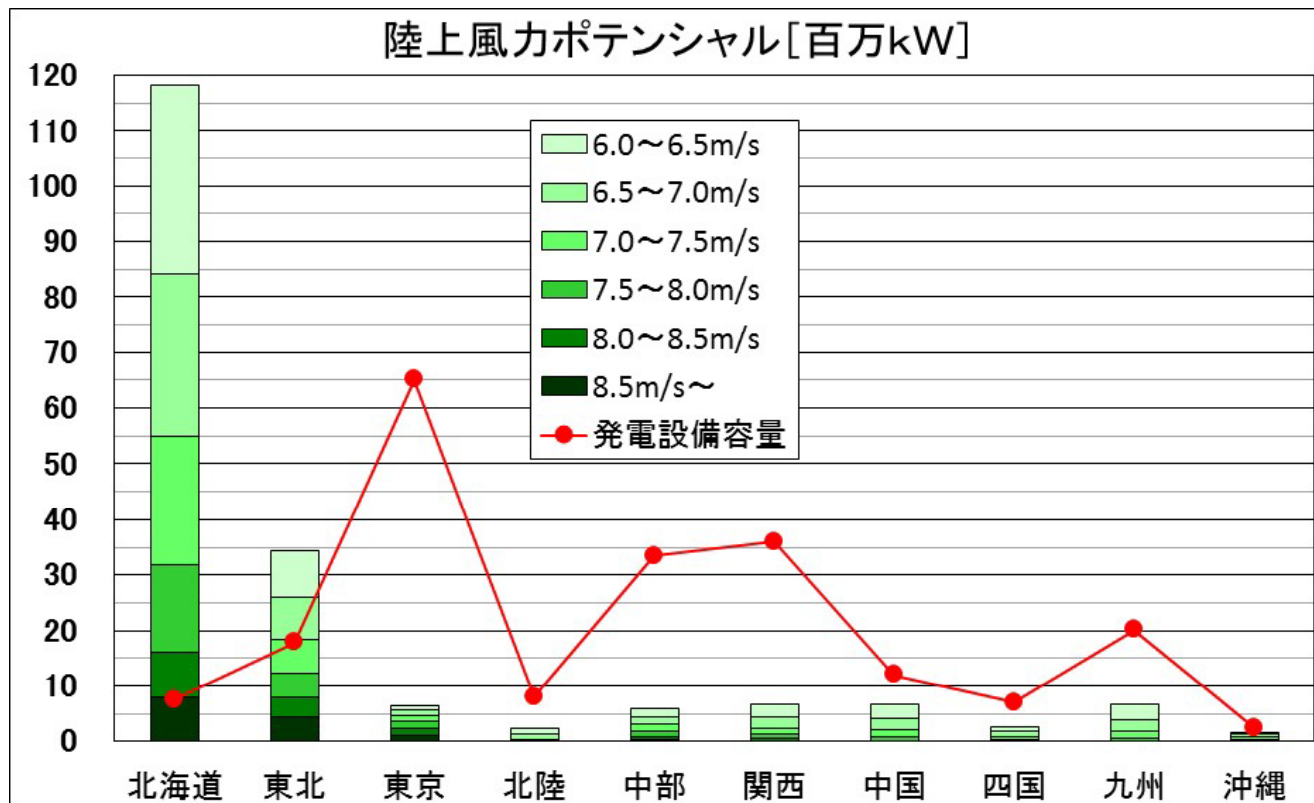




日本には、風力の適地が無いの？

- 陸上風力の建設適地は充分にあります、その殆ど全てが北海道、東北、九州に集中しています。（余裕を見て、1万kW/km²で算出）
 - 事業性を考慮して80m 高さで平均風速6.0m/s以上の賦存量から、社会的制約条件を考慮した「ポテンシャル*」は、以下の通りです。
 - 各電力会社の設備容量を考慮しない場合：191.6百万kW
 - 各電力会社の設備容量を上限とした場合：64.3百万kW

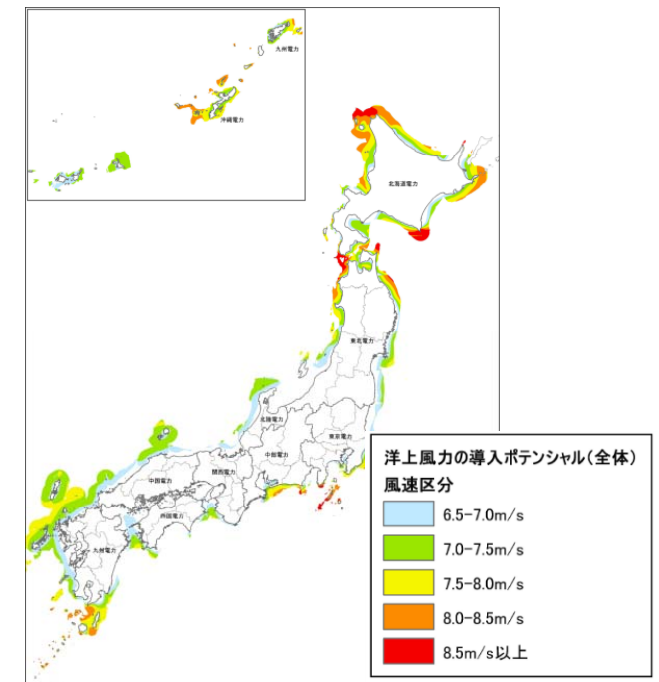
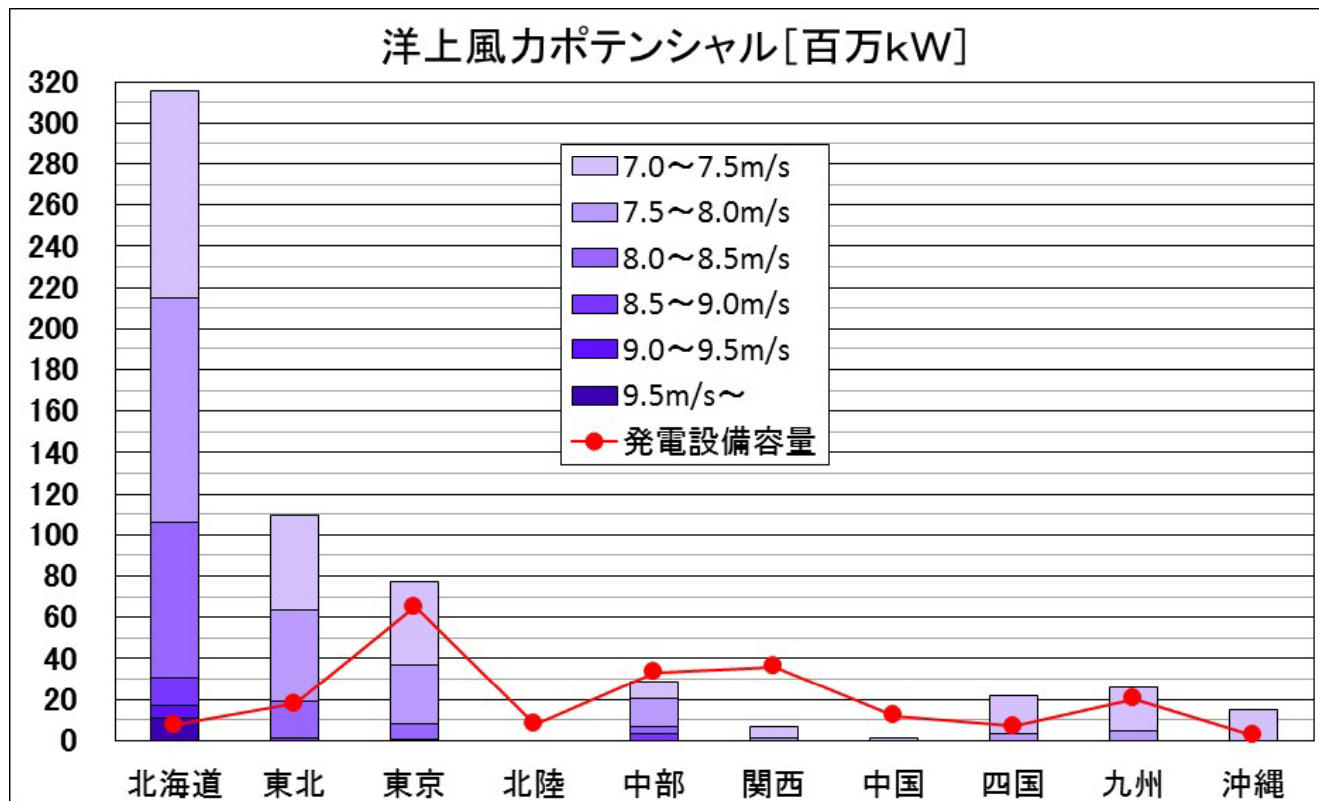
日本の全発電設備容量
=209.3百万kW





日本には、風力の適地が無いの？

- 洋上風力の建設適地は充分にあります、その殆ど全てが北海道、東北、九州に集中しています。（余裕を見て、1万kW/km²で算出）
 - 事業性を考慮して80m 高さで平均風速7.0m/s以上の賦存量から、社会的制約条件を考慮した「ポテンシャル*」は、以下の通りです。
 - 各電力会社の設備容量を考慮しない場合：602.5百万kW
 - 各電力会社の設備容量を上限とした場合：116.5百万kW





どのくらいの土地が、必要なの？

- 2,000kWの風車（羽根の直径80m）を1台建設する場合は、据付時の専有面積として約1 ha（100m×100m）の土地が必要となります。
- 複数台の風車を建設する場合のエリア面積は、風車と風車との間隔を空ける必要がありますので、配列数により変わります。

■ 据付時の専有面積は、風車数に比例（約1ha×n基）

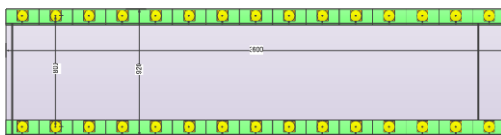
山形県庄内町

■ エリア面積は、主風向に対する配列数で変化

- $2,000\text{kW} \times 30\text{基} \times 1\text{列} \div 86\text{ha}$ （ $\div 7.0\text{万kW/km}^2$ ）

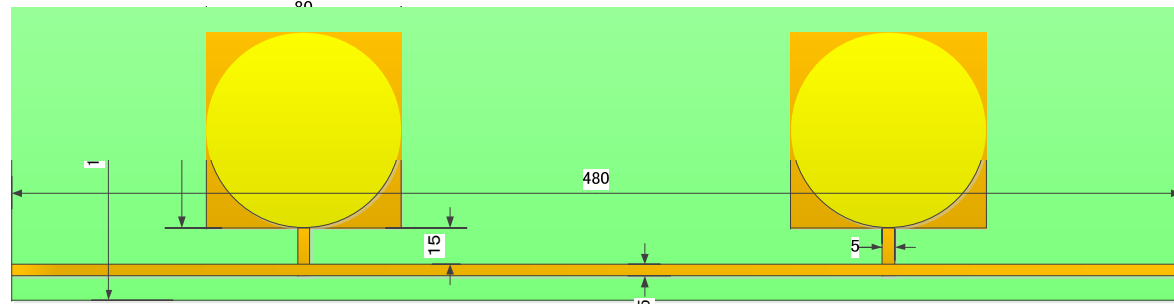


- $2,000\text{kW} \times 15\text{基} \times 2\text{列} \div 360\text{ha}$ （ $\div 1.7\text{万kW/km}^2$ ）



風車設置位置以外は、
他用途に使用可能

- $2,000\text{kW} \times 10\text{基} \times 3\text{列} \div 410\text{ha}$ （ $\div 1.5\text{万kW/km}^2$ ）

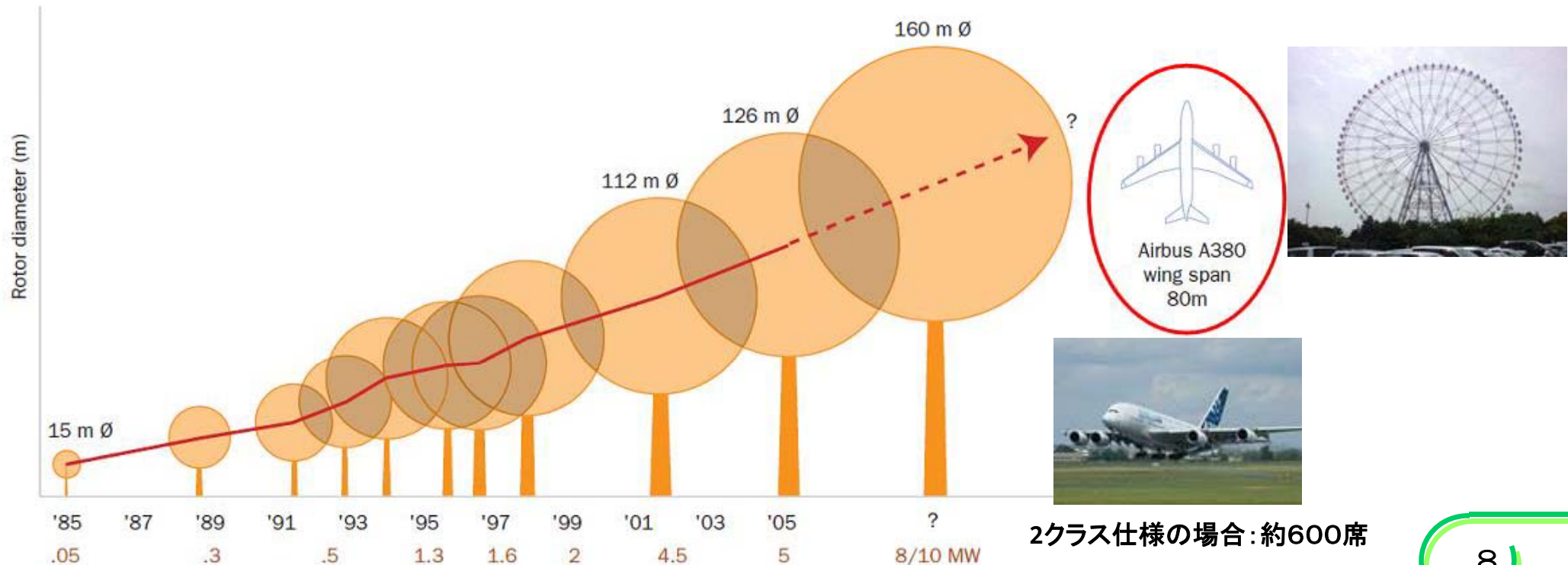


設置拡大図



どのくらいの大きさなの？

- 陸上風力の主流は、2,000kW～3,000kWですので、羽根の直径は、80～90mとなります。（最頂部は120～130m）
- 洋上風力の主流は、3,000kW～5,000kWですので、羽根の直径は、90～130mとなります。（最頂部は130～190m）
 - 参考：エアバスA380は、主翼の長さが 80m（2,000kW風車相当）
葛西臨海公園の観覧車は、直径が112m（4,500kW風車相当）



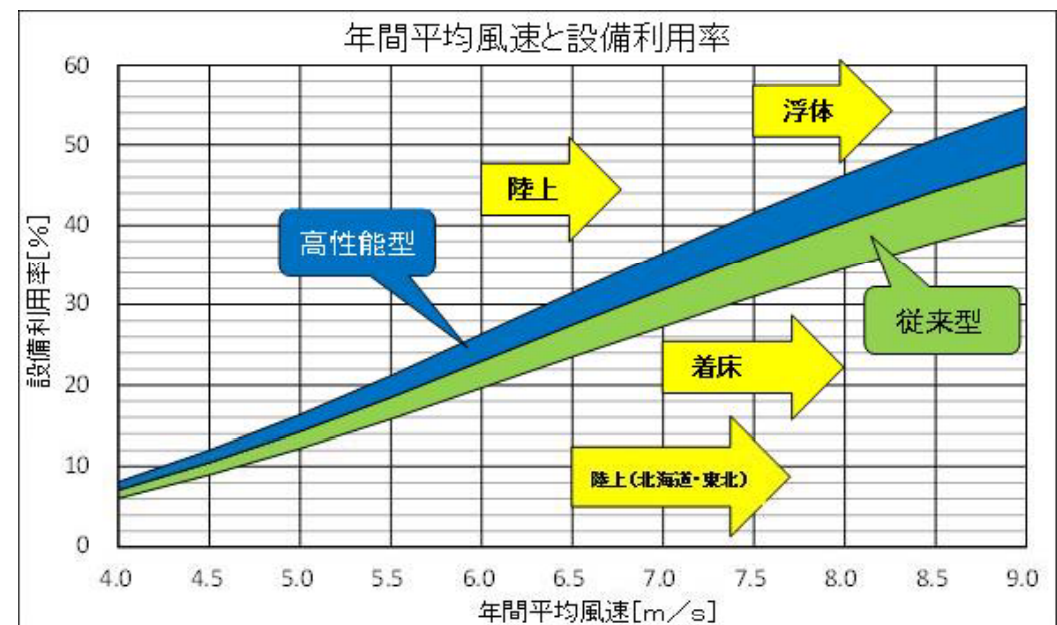


どのくらい発電するの？

- 理論出力は、風速の3乗に比例しますので、風速により変わります。
 - 発電開始の風速は、約3m/s (≒10km/h)
 - 定格出力時の風速は、約13m/s～16m/s (≒50km/h)
 - カットアウト風速は、10分平均風速で25m/s (≒90km/h)

➤ 設備利用率が30%とは、例えば10万kWのウインドファームの場合、3万kWを1年間発電し続けたことに相当します。

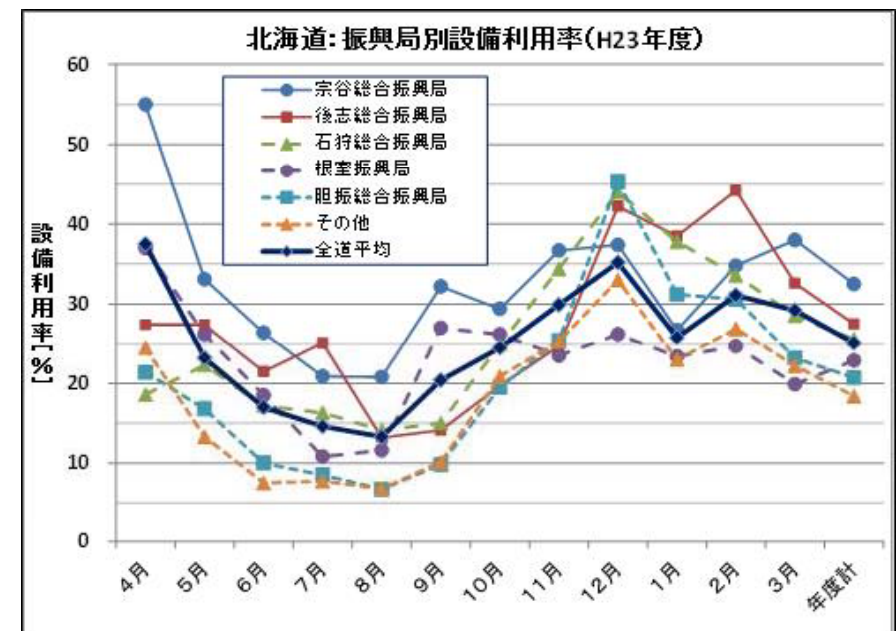
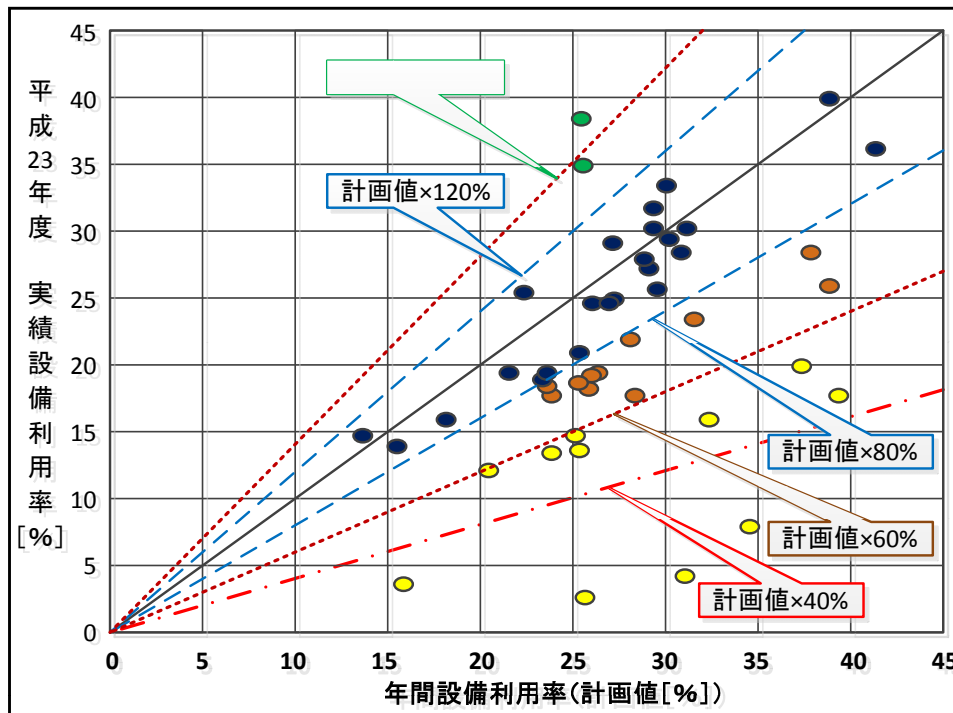
風速階級	10m高さ相当の風速[m/s]	陸上の状態
0	0.0～0.3	静穏、煙はまっすぐに昇る。
1	0.3～1.6	煙がなびくが、風見鳥には感じない。
2	1.6～3.4	顔に風を感じ、木の葉が動く。
3	3.4～5.5	木の葉や 細かい小枝が絶えず動く。
4	5.5～8.0	砂埃が立ち、紙片が舞い上がる。
5	8.0～10.8	葉のある木がゆれ始める。
6	10.8～13.9	大枝が動き、電線が鳴る。傘がさし難い。
7	13.9～17.2	樹木全体がゆれ、風に向かって歩きにくい。
8	17.2～20.8	小枝が折れ、風に向かっては歩けない。
9	20.8～24.5	煙突が折れ、カワラが剥がれる。
10	24.5～28.5	陸地内部では珍しい。樹木が根こそぎとられ、人家也大損害が起きる。
11	28.5～32.7	めったに起こらない。広い範囲の破壊を伴う。
12	32.7以上	—





設備利用率は、どのくらい？

- 北海道の場合、平成23年度は24.7%でした。
 - 計画値を下回った発電所は、計画通りの風況が得られなかった事に加えて、故障や補修・メンテナンスに要する停止時間が多かった。
 - 風況精査の緻密化と、メンテナンスや補修体制の整備・拡充などにより、より設備利用率の向上が図れる。



年平均設備利用率＝24.7%



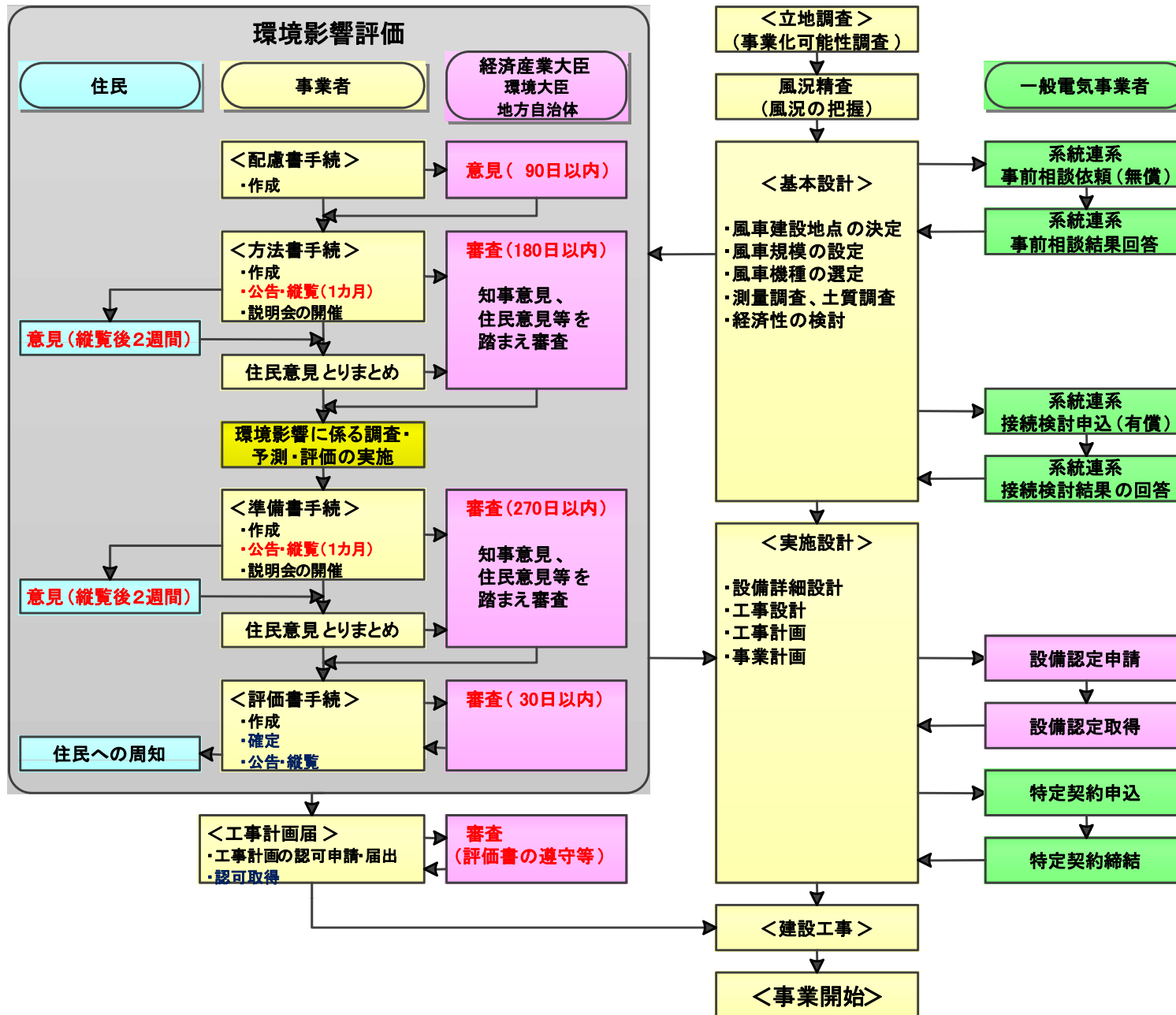
価格は、どのくらいなの？

- 2万kWのウィンドファーム建設の場合、50～60億円です。
 - 道路や送電線の建設費用やウィンドファームの規模により異なります。
- 風力発電設備の平均的な価格構成は、風車本体が約2/3です。
- 地元への発注は、おおよそ以下のとおりです。
 - 道路・基礎・建設工事費の約1/3は地元発注（コンクリートなど）
 - 系統連系設備の約1/3は地元発注（電柱など）
 - 建設工事に係わる作業員の殆どは、地元発注
 - 2万kWウィンドファームの場合の経済効果：25万円/kWと設定
 - 道路・基礎・建設工事関連(15%)： $50\text{億円} \times 0.15 \times 1/3 = 2.50\text{億円}$
 - 系統連系設備関連(14%)： $50\text{億円} \times 0.14 \times 1/3 = 2.33\text{億円}$
 - その他： $50\text{億円} \times 0.01 \times 1/3 = 0.16\text{億円}$
 - ⇒合計：約5億円
 - 2万kWウィンドファームの場合の雇用効果
 - 道路・基礎・建設工事関連の作業員：40人、6ヶ月＝7,200人日
 - 系統連系設備関連の作業員：40人、4ヶ月＝4,800人日
 - その他：20人、6か月＝3,600人日
 - ⇒合計：100人、15,600人日＝520人月





どのくらいの期間が必要なの？

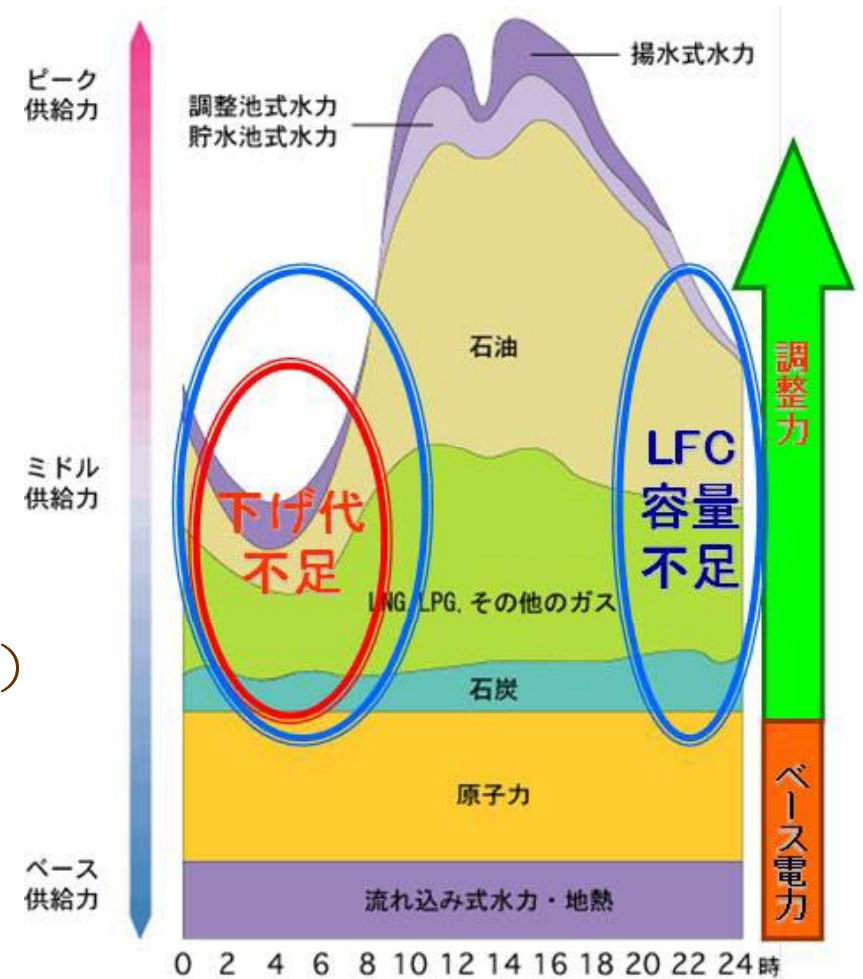


- 立地調査から事業開始まで 5～10年です。
- 環境影響評価法対象事業
 - 手続き期間：
90日+480日
=1年7ヶ月
- 環境影響評価に要する期間短縮策実施中
- 電力会社の系統連系制約



電力品質を悪くするの？

- 【風力発電と需要電力との合計変動電力】が、電力会社の発電設備による調整力を上回ると、周波数変動を生じます。
 - 夜間から朝にかけて、需要電力が低下しますので、火力発電所などによる調整力も低下します。
 - 短周期変動対応調整力不足（LFC容量不足）
 - 深夜帯は、複数の火力発電所などを停止しますので、調整力は更に低下します。
 - 長周期変動対応力調整力不足・最低運転出力による制約（下げ代不足）
 - 対策としては、以下が挙げられます。
 - 気象予測による発電予測の活用
 - 電力系統の広域運用
 - 風力発電機制御機能の有効活用

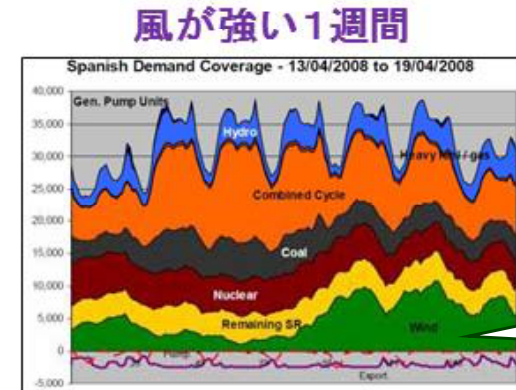
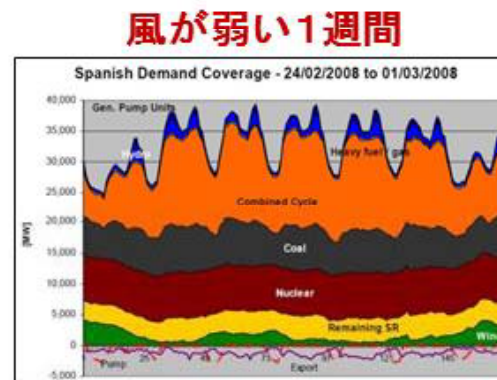
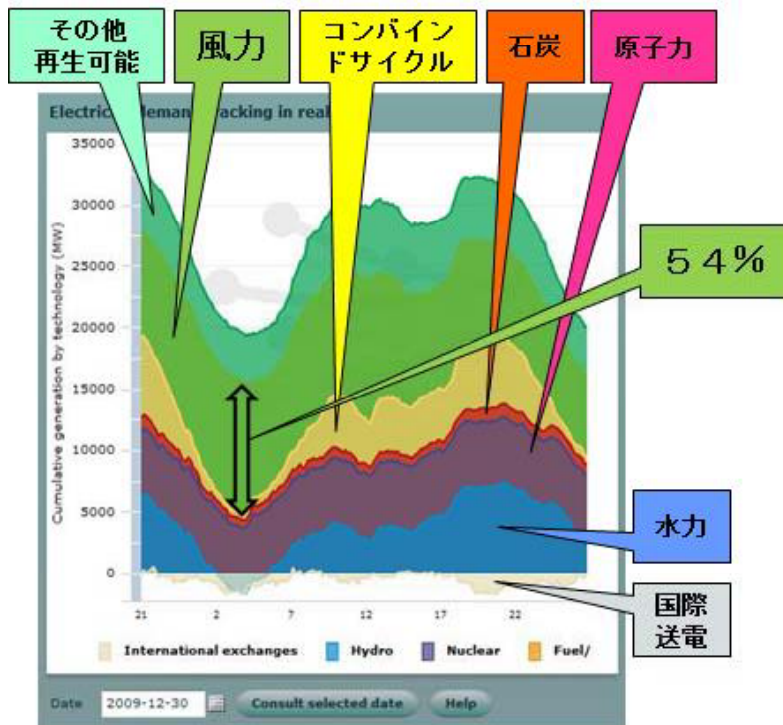


風力や太陽光は、発電出力予測が可能な変動電源です。



風力先進国は、どうしているの？

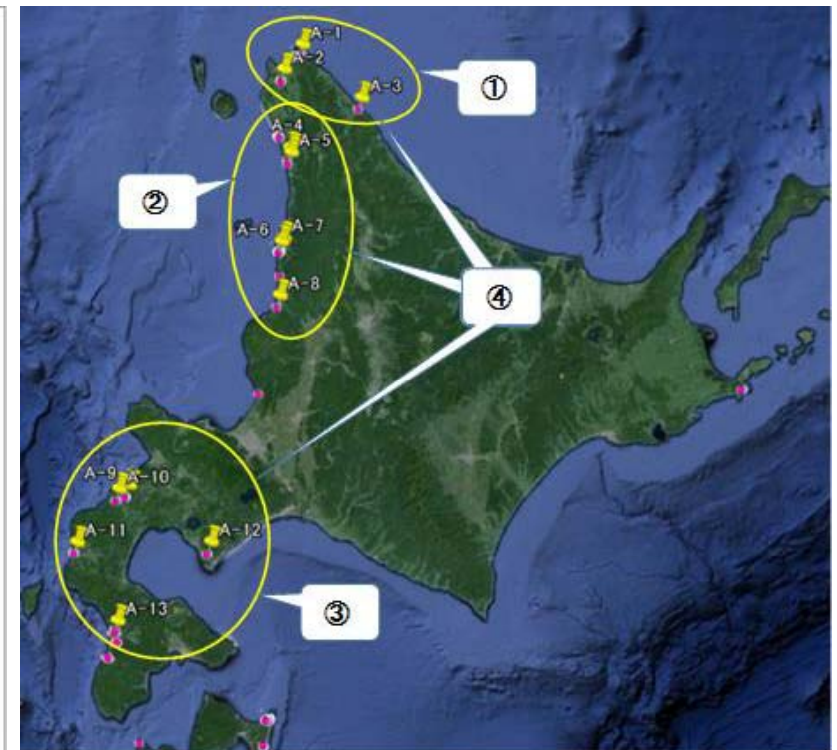
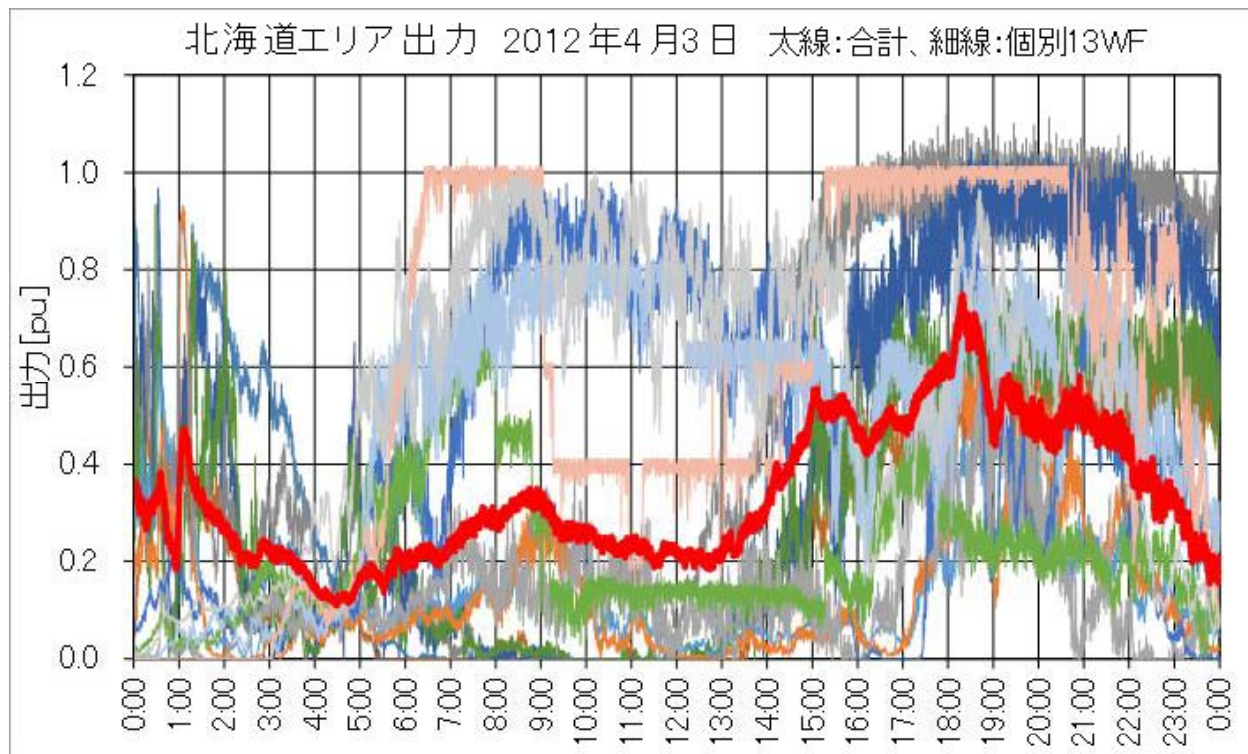
- 気象予測による発電予測の活用と、広域運用を行っています。
 - 需要電力量[kWh]に対する、風力発電による供給比
 - デンマーク≒42%、ポルトガル≒23%、アイルランド≒23%、
日本≒0.6%（出典：IEA Wind 2015 Annual Report）
 - スペインの事例（出典：Spain Renewable Energy Forum Tokyo）
 - 再生可能エネルギー監視・制御センタと、中央給電センタとを一体運営
 - ▶ 風力の発電予測結果（24時間先まで）を、電力系統運用に活用
 - ▶ 極まれに、風力発電の発電出力抑制を実施





どのくらい出力が変動するの？

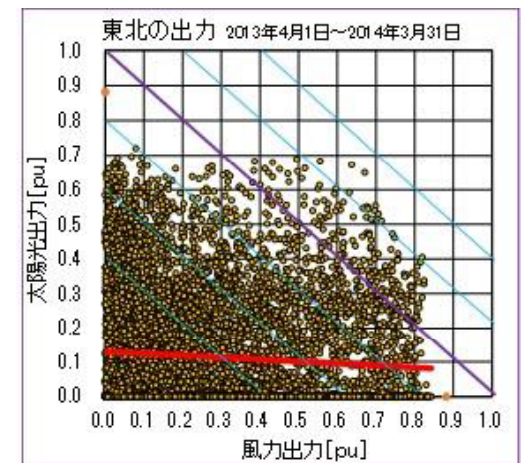
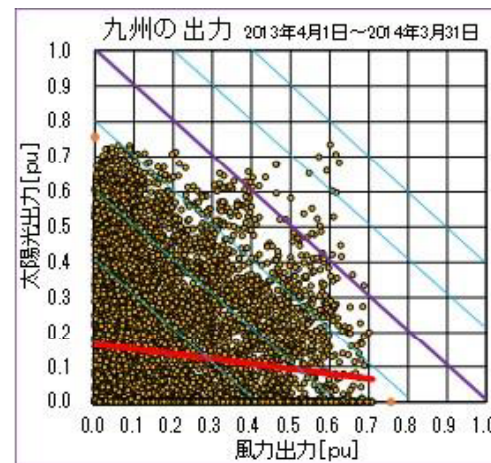
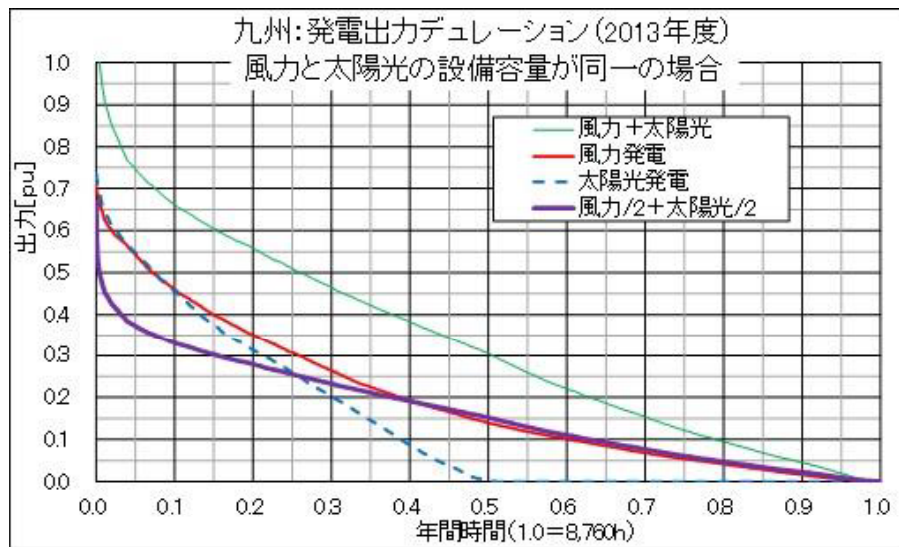
- ウィンドファーム(WF)単独では、20分間に100%変動する場合もありますが、多数のWF出力を合計すると、短周期および長周期の変動は、低減されます。(多数になるほど、広域に分散配置されるほど)
 - 多数の分散配置により、平滑化効果が生じます。
 - 同一時刻で、日本全国が強風の日はありません。





風力と太陽光は、どちらが良いの？

- 互いを補う特性がありますので、再エネの両横綱といえます。
 - 低気圧：風が強い、日射が弱い、雨が多い
 - 高気圧：風が弱い、日射が強い、雨が少ない

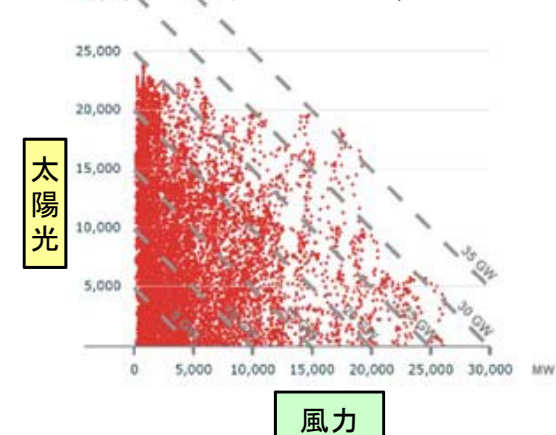


ドイツの実測事例 (2013年) *1

風力設備容量 = 32,510MW

太陽光設備容量 = 35,650MW

九州 2013年度	最大出力値	0.5pu以上の 発生時間	0.4pu以上の 発生時間	0.2pu以上の 発生時間	最小出力値
風力発電	0.7093pu	641h	1,314h	3,392h	0.0004pu
太陽光発電	0.7349pu	647h	1,156h	2,646h	0.0000pu
両者の合計 (同一日時)	0.6682pu	36h	279h	3,309h	0.0002pu



*1: 出典 Fraunhofer : Electricity production from solar and wind in Germany in 2013

<https://www.ise.fraunhofer.de/en/downloads-englisch/pdf-files-englisch/news/electricity-production-from-solar-and-wind-in-germany-in-2013.pdf>



雷は、大丈夫なの？

- 大きなエネルギー量の雷を、数多く受けると焼損することがあります。
 - 日本の冬季雷は、夏季雷の数倍～数十倍のエネルギー
 - 地域にマッチした、耐雷クラスの風車を選定
 - 受雷を検知した場合は、風車を停止して点検が必要





台風は、大丈夫なの？

- 風車の耐風速以上の風を長時間受けると、倒壊やブレードが破損することがあります。
 - 10分平均風速が25m/s以上の場合には、風車を自動停止します。
 - 地域にマッチした、耐風速クラスの風車を選定
⇒風力発電設備支持構造物設計指針（土木学会）などを参照
 - 2003年に宮古島で台風により風車被害がありました。が、風車機種などを変更した結果、2014年の台風では風車被害がありませんでした。
 - 強い台風 : 最大風速32.7~43.7m/s
 - 非常に強い台風 : 最大風速43.7m/s~54.0m/s
 - 猛烈な台風 : 最大風速54.0m/s以上





健康に悪いの？

- 2010年7月に、オーストラリア政府国立保健医療研究協議会が、最新の文献に基づく評価結果を公表しました。
 - 風力発電所には直接の病理学的影響はなく，人体に影響を及ぼす可能性は，既存の開発ガイドラインにしたがうことによって最小化することができる。
- 日本では、環境省にて調査・研究が行われました。
 - 風力発電施設から発生する騒音・低周波音の調査（平成21年度）
 - 風力発電施設に係る騒音・低周波音の実態把握調査（平成22年度）
 - 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究（平成22～24年度）
- 誤解のストーリー（レベルの考慮が必用）
 - 一部の方が思い込んでいる
 - 低周波音は危険だ → 風車は低周波音を発生する → 風車は危険だ
 - 殆ど全ての方は思わない（この差は？）
 - 電磁波は危険だ → 携帯電話は電磁波を発生する → 携帯電話は危険だ
- 環境アセス法に基づく、事前・事後の測定と住民への説明、必要に応じて対策の実施（距離・視認性・その他）

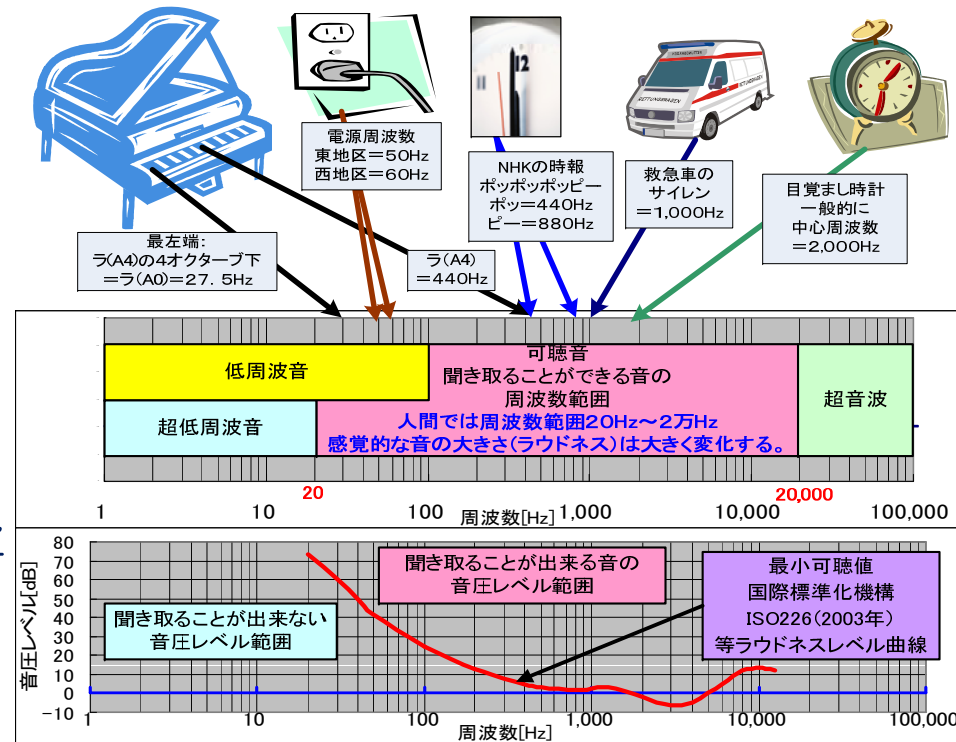


騒音と低周波音は違うの？

- 人が不快に感じる音を「騒音」と言います。
- 日本では、周波数100Hz以下の音を「低周波音」と言います。
- 周波数20Hz以下の空気振動を「超低周波音」と言います。
 - 音は「大気の微小な圧力の変化が音速で伝わる」物理現象です。
 - 一般的に人が聞き取ることが可能な音の範囲は、20～20,000Hzですが、周波数が低いほど強い（大きい）音が必要となります。

● 身近な音の周波数

- ピアノの最左端＝ラ（A0）は、27.5Hzで低周波音
- 電源周波数は、50Hzまたは60Hzで低周波音
- NHKの時報は、440Hzと880Hz（ポッ・ポッ・ポッ・ピー）
- 救急車のサイレンは1,000Hz（人が聞き取りやすい周波数）
- 目覚まし時計は、一般的に中心周波数が2,000Hz





景観を悪くするの？

- 風車が見える事と景観が悪くなる事とは、必ずしも一致しません
が、景観に対する配慮の必要性が高まっています。
 - 風通しの良い場所に建設するため、様々な地点から見えます。
 - 大型化に伴い遠くから見えますが、ゆっくりとした回転になっています。
 - 300kWクラスの風車最頂部 ÷ 50m 30~40rpm (2~1秒/回転)
 - 600kWクラスの風車最頂部 ÷ 70m 15~30rpm (4~2秒/回転)
 - 2,000kWクラスの風車最頂部 ÷ 120m 10~20rpm (6~3秒/回転)
 - 圧迫感を与えない距離は、仰角を $20\sim 15^\circ$ とすると以下となります。
 - 2,000kWクラス風車の場合： $120\text{m}/\tan(20\sim 15) \div 330\text{m}\sim 450\text{m}$
 - 人の視力で認識できる距離は、仰角を 1° とすると以下となります。
 - 2,000kWクラス風車の場合： $120\text{m}/\tan(1) \div 6,900\text{m}$
- 景観への影響が危惧された場合は、フォトモンタージュなどを
作成し、地域住民への説明を実施します。





バードストライクは？

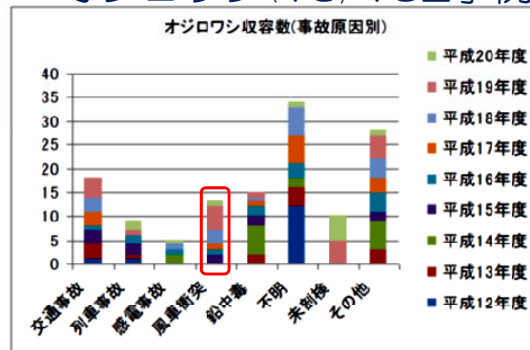
- 事例は少ないのですが、人工構造物である風車は、バードストライクの原因の一つとなります。

■ アメリカにおける推定衝突数 (Erickson et al 2001,2002 [羽/年/全米])

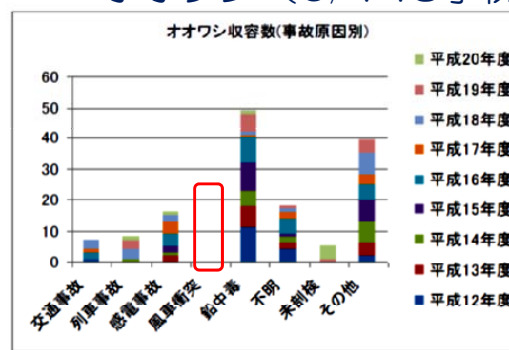
- 風力発電 10,000～ 40,000
- 通信用鉄塔 4,000,000～ 50,000,000
- 送電線 10,000～174,000,000
- 車両 60,000,000～ 80,000,000
- 建物や窓 98,000,000～980,000,000

■ 環境省釧路事務所データ

オジロワシ(13/132事例)

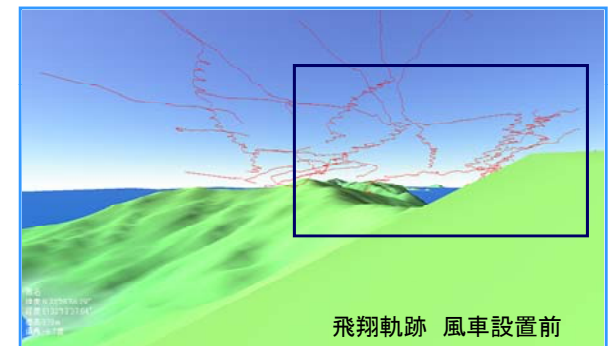


オオワシ (0/145事例)



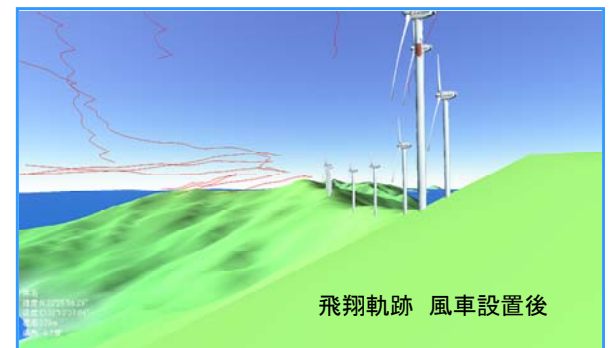
- 「鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き（環境省平成23年1月）」等に基づき事前・事後調査を行い、バードストライクの発生率低下に努めます。

飛行ルート的事前調査



飛行軌跡 風車設置前

飛行ルート的事後調査



飛行軌跡 風車設置後



地方自治体の成功事例は？

● 北海道苫前町ー 1

- 苫前夕陽ヶ丘風力発電所（苫前町） 1998年 2,200 kW
- 苫前グリーンヒルウィンドパーク（民間） 1999年 20,000 kW
- 苫前ウィンビラ発電所（民間） 2000年 30,600 kW
- 総発電出力 52,800 kW
- 年間発生電力量 約1億 kWh
- CO2削減量 約7万トン





地方自治体の成功事例は？

- 北海道苫前町ー 2
 - どうして苫前町に大規模な風力発電ができたの？

風があること



広い土地があること



道路があること



自治体・住民の協力が得られること

送電線があること





地方自治体の成功事例は？

● 北海道 寿都町（町営）

■ 寿都発電所（1992年、2001年廃止）	82.5 kW
■ 寿都温泉風力発電所（1999年）	230 kW
■ 寿の都風力発電所（2003年）	1,800 kW
■ 風太風力発電所（2007年）	9,950 kW
■ 風太風力第2発電所（2012年）	4,600 kW
■ 総発電出力	16,580 kW

寿都温泉ゆべつのゆ風力発電所

風太風力発電所

寿の都風力発電所



風力発電への取り組み方針

- 風を生かしたまちづくりの展開
- 一人一人の地球にやさしい暮らしの展開
- エネルギー資源の有効利用の展開



磯焼け対策：

藻揚造成技術の実証実験



森林保全活動

(植林・植樹活動)

環境維持活動

<街づくり>

寿都診療所運営資金

医学部進学の特典

通学費補助

(運行バス会社への補助)

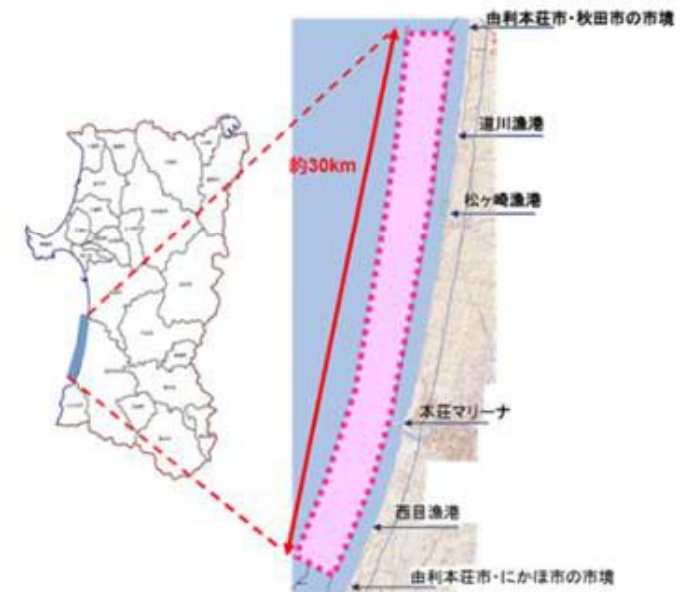
街灯電気代補助



地元主導の事例は？

● 秋田県

- 風の王国プロジェクト（2008年から秋田市民が活動開始）
- 県有地、港湾エリアでの風力公募（地元企業を優先）（2005年～）
- 洋上風力 56万kW計画 事業者が自治体へ協力要請（2017年3月3日）

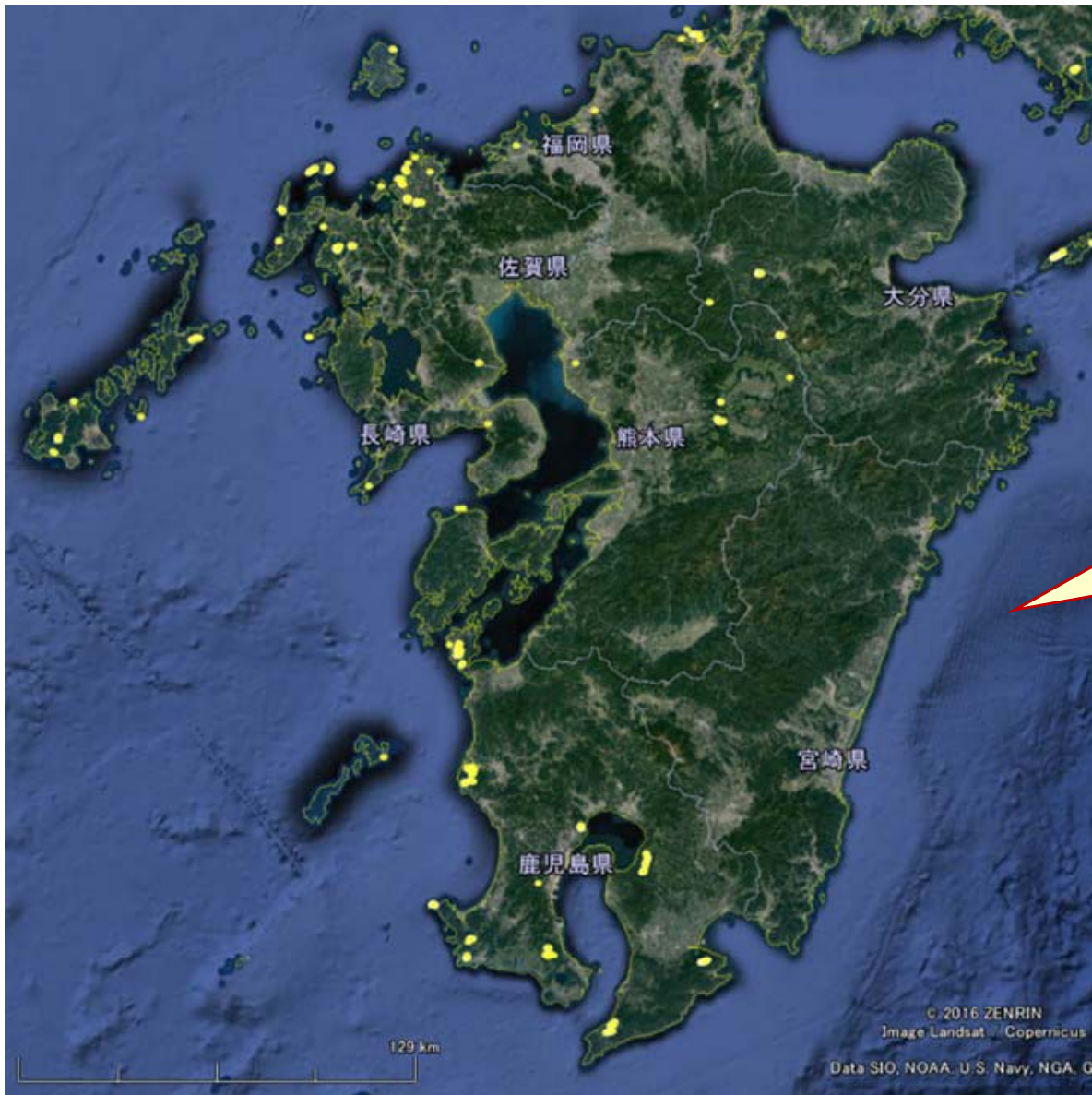


プロジェクト
構想



九州の風力は、どこにあるの？

- 他の電力供給エリアの場合に比して、広く分散しています。



黄色の点が、風車1基
繋がって見える場所は、
多数の風車
(ウインドファーム)



私たちも参加できるの？

- 地域・市民でつくる市民風車や、自治体主導の例があります。
 - ハマウイング（横浜港）：市民公募債3億円＋企業の協賛
 - 市民風車：全国で17ヶ所



まとめ

- 地域・市民に愛される風力発電所へ
 - 計画段階から地元への説明、協力を仰ぐ
 - 環境影響アセスメントの実施（事前調査と事後フォロー）
- 地域の気象条件などにマッチした風車の選定
 - 耐雷対策
 - 最大風速、風の乱れ
- 定期点検の実施
 - 風力発電システムの定期検査が義務化されます。（2017年度から）





地元との共生





ご清聴、ありがとうございました。

ナセルからの脱出訓練
(ドイツにて)



この人達は、
私ではありません。

