



自然エネルギー財団

JAPAN RENEWABLE ENERGY FOUNDATION

資料 3

2030年におけるエネルギー目標量のあり方 風力発電

公益財団法人 自然エネルギー財団

2021年3月15日

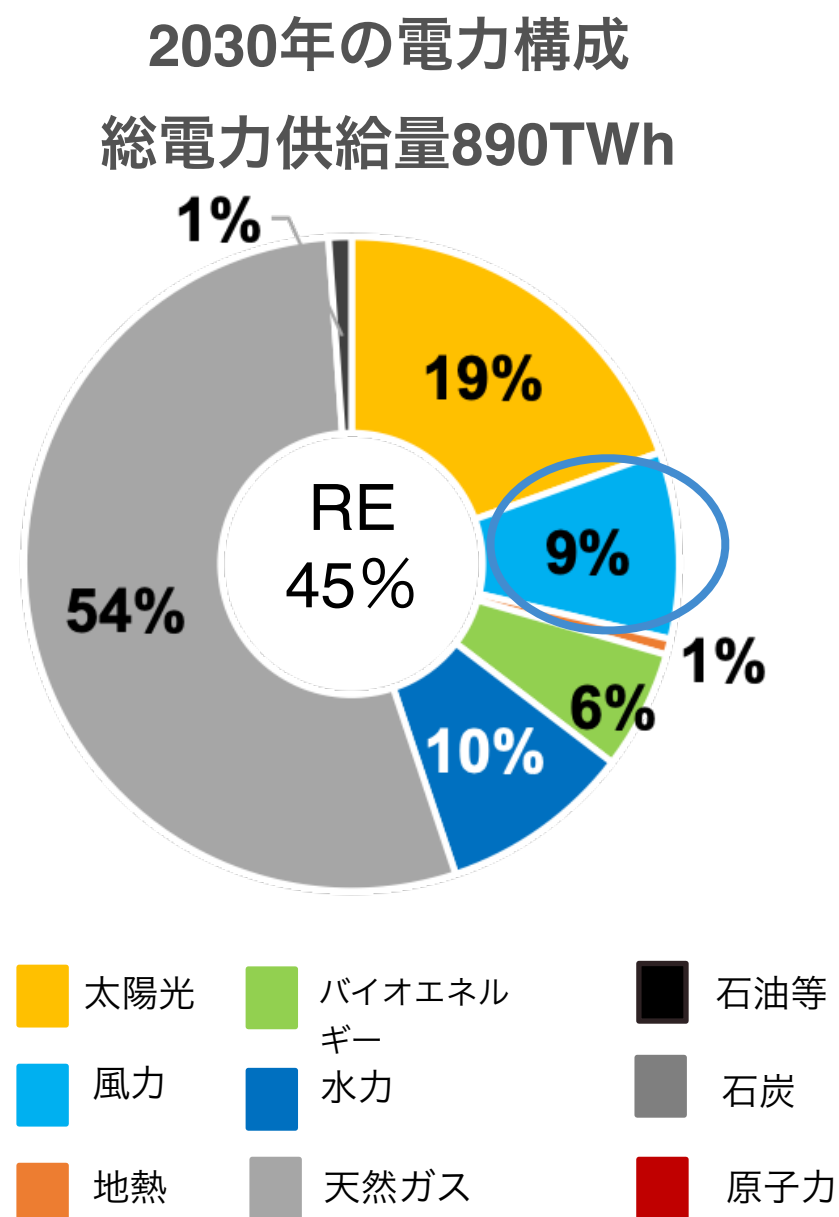
2030年の風力発電導入可能性（まとめ）

	陸上	洋上
導入容量	現状政策：16.6GW 転換促進：19.2GW	現状政策：6.8GW 転換促進：10.1GW
導入ペースやリードタイムの考え方	現状政策：環境アセスメント手続中の案件のうち、準備書段階100%、方法書段階90%が2030年度までに運転開始。系統連系の接続契約申込済のものに相当。 転換促進：系統運用の合理化と計画済の地域間連系線の建設が行われ、接続検討申込段階のものも2030年度までに運転開始。環境アセスメント手続中の案件のうち、配慮書段階のもの40%相当が2030年度までに運転開始。	
発電電力量	現状政策：450億kWh 転換促進：520億kWh	現状政策：190億kWh 転換促進：290億kWh
設備利用率等の前提条件	系統エリア別の風況データ等を考慮 4MWクラス・ハブ高さ90m、低風速仕様	系統エリア別の風況データ等を考慮 10MWクラス・ハブ高さ140m、低風速仕様
導入容量を実現可能とする方策、根拠	現状政策：接続済・接続契約申込済の案件の合計容量で実現確度高いもの 転換促進：系統運用の合理化、買取制度の継続的運用、毎年1GW以上の入札枠の設定	現状政策：接続済・接続契約申込済の案件の合計容量で実現確度高いもの 転換促進：国の主体的な系統接続枠確保、ゾーニングや促進区域の指定等による事業者負担・リスクの軽減
導入に要するコスト（単価の見通し、根拠）	2030年度：7.4円/kWh(財団推計) ※参考値：BNEF(2019)：6.0円/kWh	2030年度：5.6円/kWh (BNEF, 2019, New Energy Outlookにおける日本の見通しを適用)注1
系統制約（出力変動、地理的偏在性等）の考え方	系統制約：既存および計画済の地域間連系線を考慮 出力変動：広域分散の風力と太陽光発電所による平滑化効果、グリッドコードによる周波数制御を適用 地理的偏在：一般送配電エリアの接続済＋接続申込＋接続検討情報およびエリアの最大需要を考慮。	

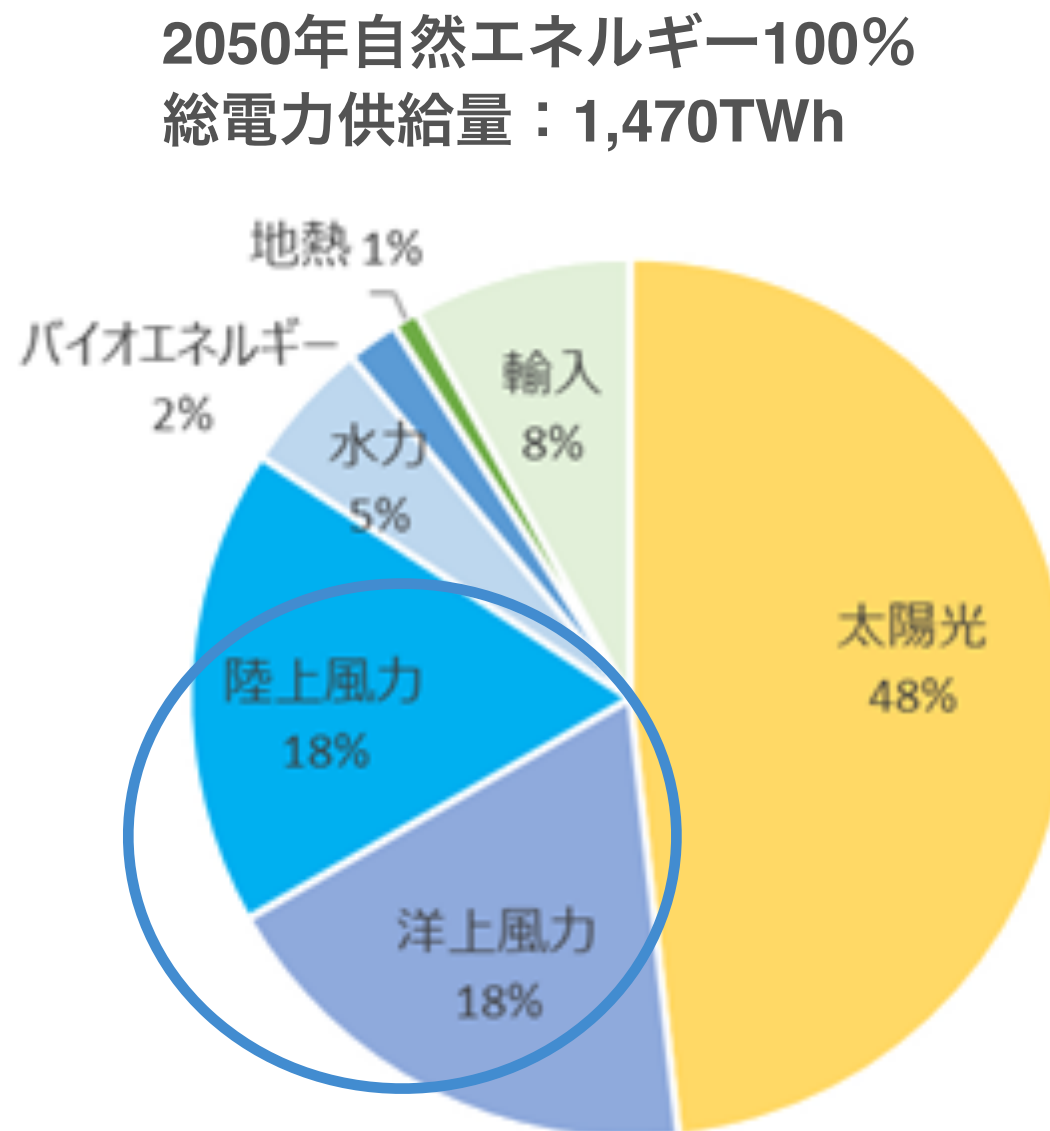
注1：洋上風力発電の発電コストが仮に2030年度8円/kWhにとどまったとしても、再エネ特措法の買取費用額に与える影響は200億円に満たない増加になると推計される。

2030年に向けた自然エネルギー導入目標量の考え方

2030年は**通過点**である。2050年脱炭素を実現するためには、2030年時点で、自然エネルギーの飛躍的な拡大と持続可能な「エネルギーミックス」への転換がなされなくてはならない。



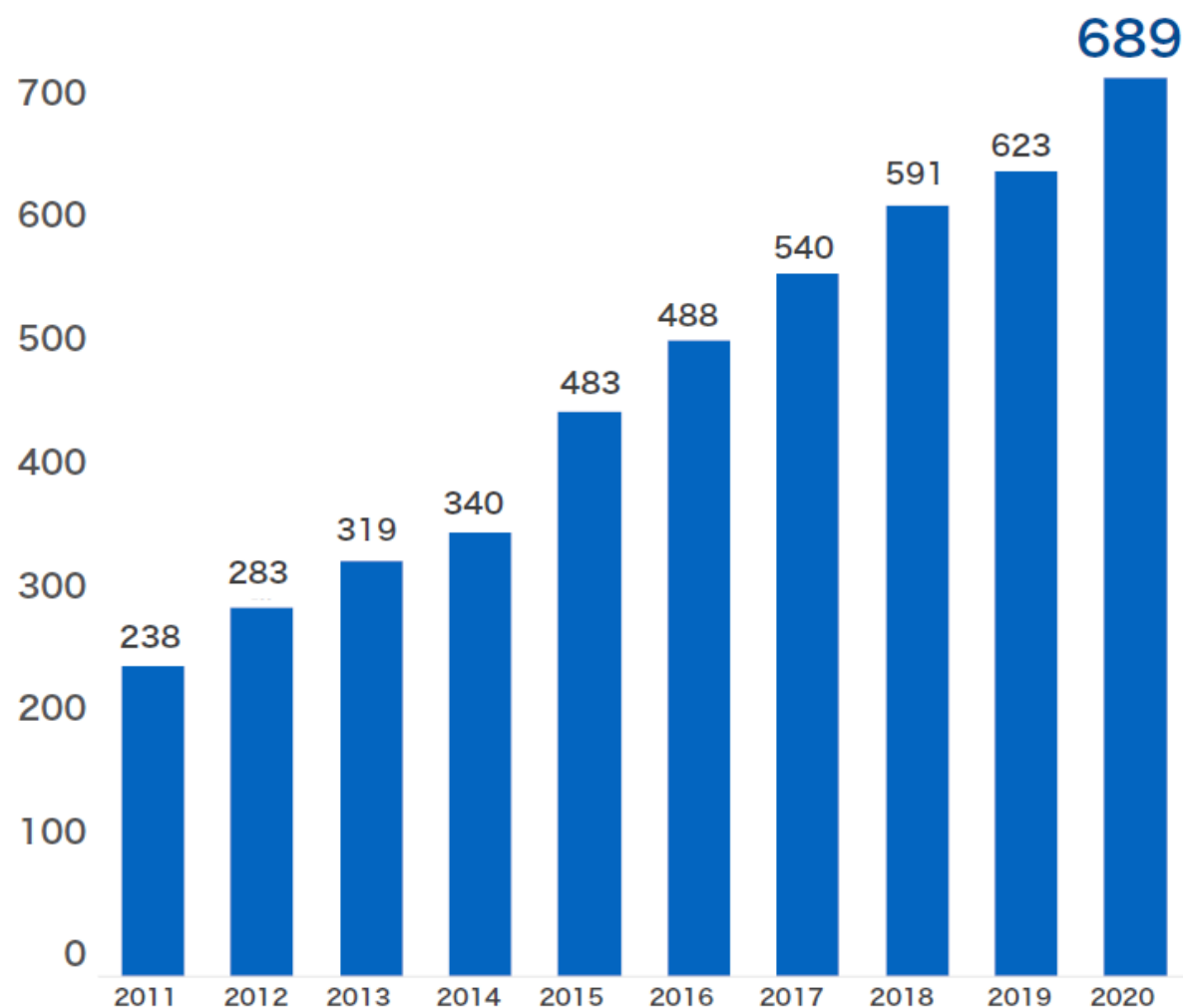
出典) 自然エネルギー財団 (2020)



出典) 自然エネルギー財団 (2021)

- ・ 風力発電は堅調に拡大
- ・ すでに競争力を持つ電源だったが、この10年でさらにコストが4割低下
- ・ 近年では、洋上風力という新しいプレーヤーが市場を拡大

世界の風力発電の累積導入量・GW



出典) GWEC (2019) 、2020年はIEA速報値

世界の風力発電の加重平均発電コスト

(左：陸上, 右：洋上)



出典) IRENA (2020), Renewable Power Generation Costs in 2019

【導入実績】 助成制度や法制度の改定など、変わる政策に伴い、市場が影響を受けてきた

2000年：電力会社による長期購入メニュー

2003年：RPS法施行

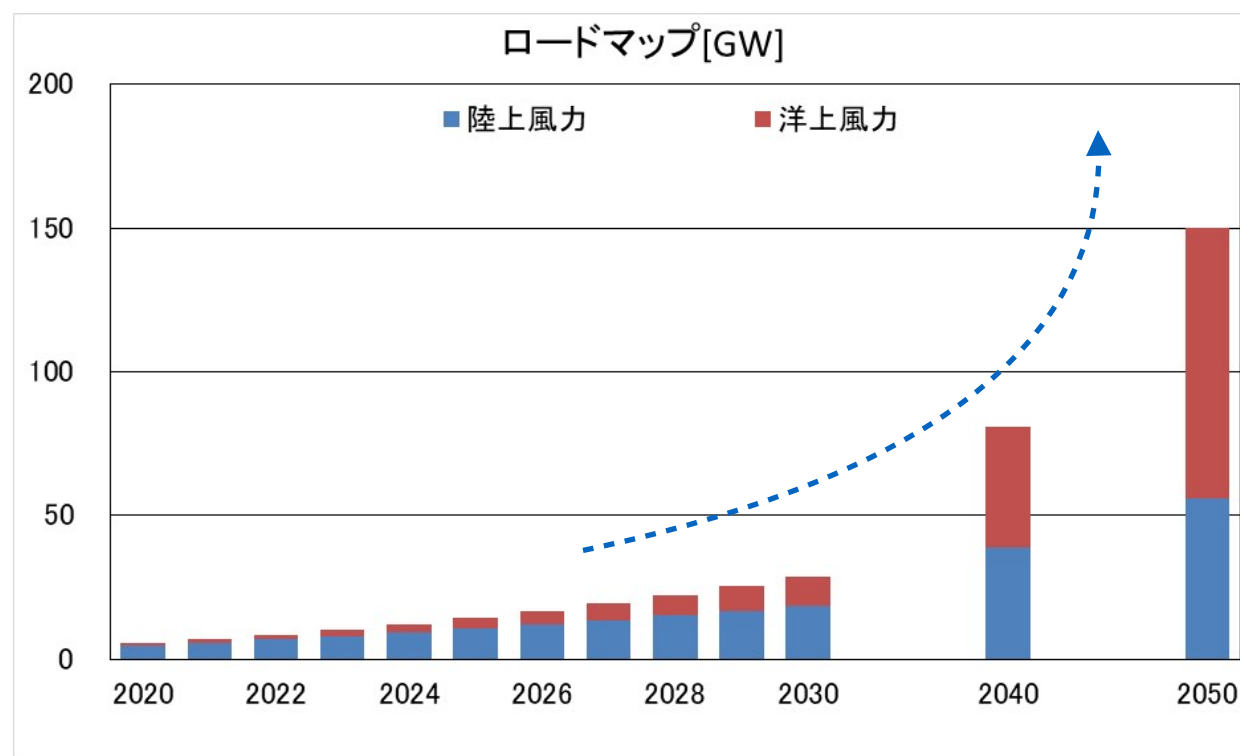
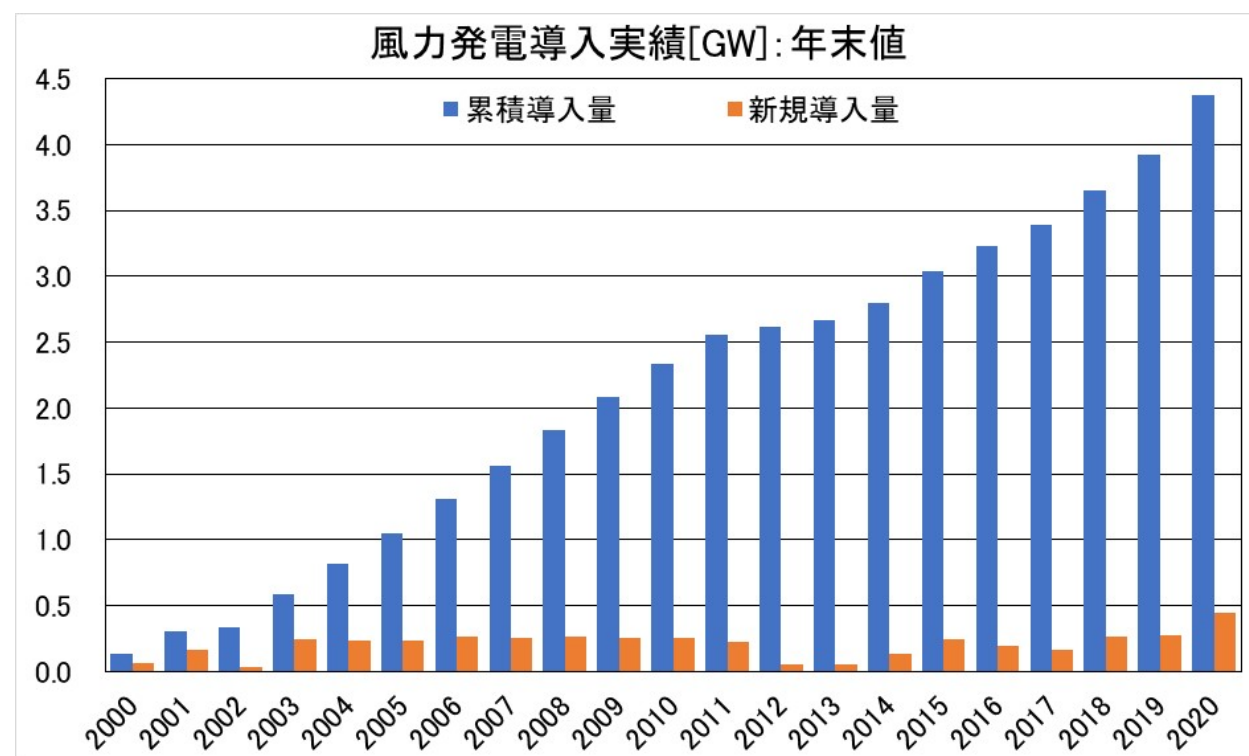
2007年：改正建築基準法施行

2009年：地域新エネルギー等導入促進事業、新エネルギー等事業者支援対策事業終了

2012年：FIT法施行（7月）、環境影響評価法施行（11月）

【ロードマップ】

- ・ 2030年までは環境影響評価実施状況がベースとなり、2030年以降はポテンシャルがベースとなる
- ・ 陸上風力開発を継続し、着床式開発を加速化、2030年以降は浮体式開発を加速化



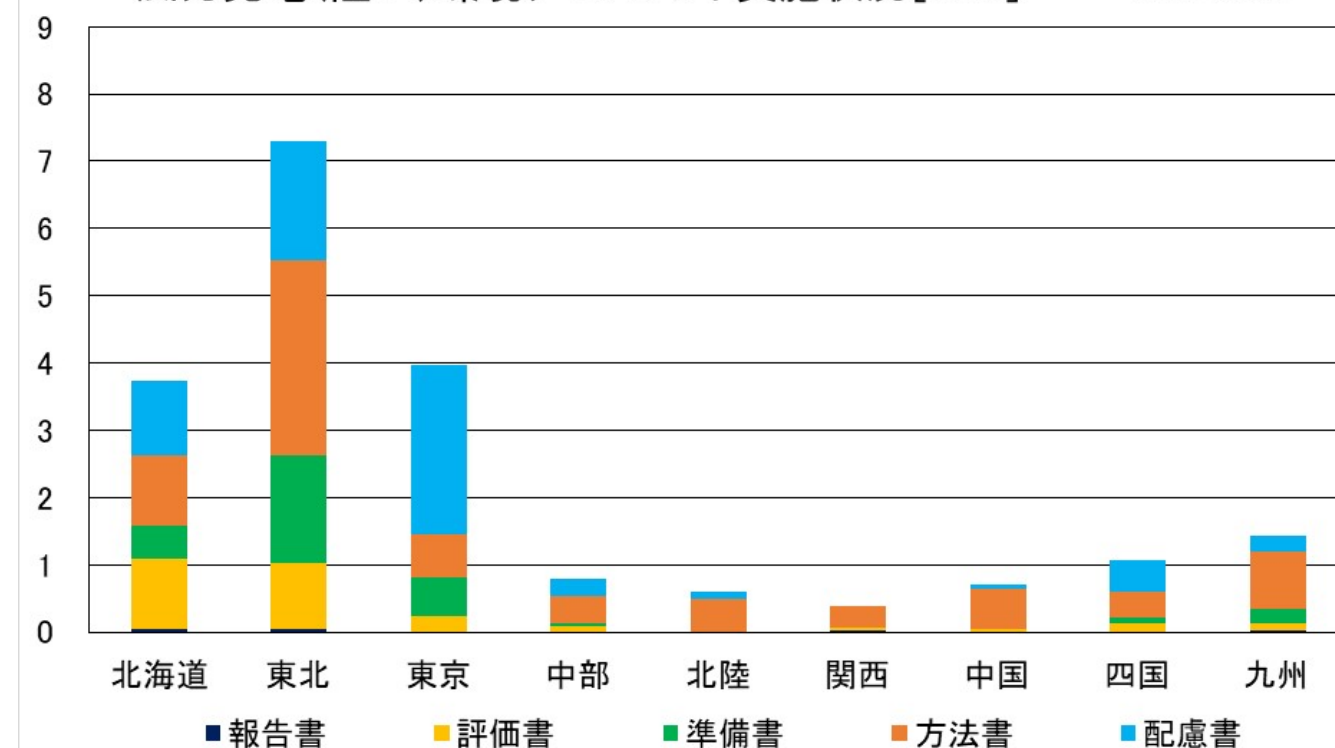
出典) 日本風力発電協会HP、NEDO 風力発電導入実績（2017年度まで）

2030年：陸上風力19.2GW、洋上風力10.1GW

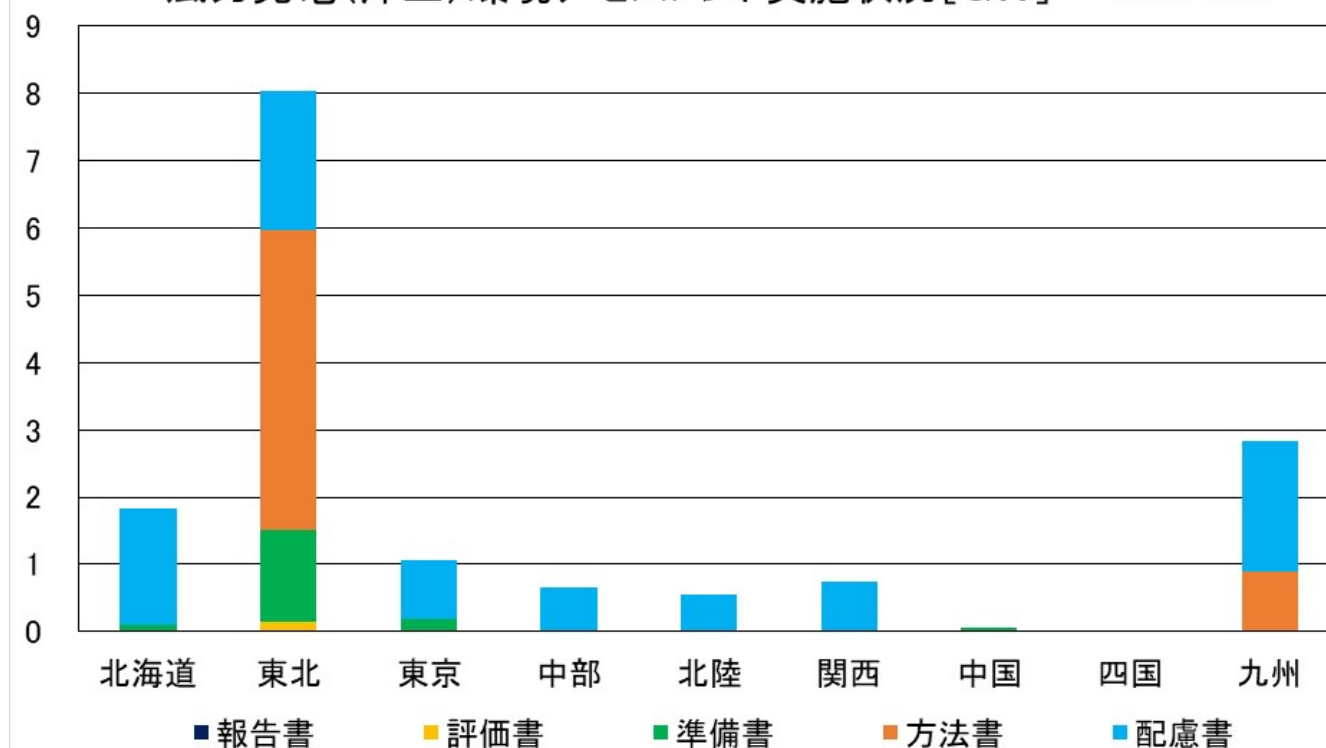
- ・火力を含めた系統混雑処理などの系統運用の合理化、すでに計画中の送電線の必要な増強が行われ、速やかな接続が可能になることを想定する。現状政策ケースに加えて、配慮書段階のものは、2030年度までに40%が運転開始するものとみなした。
- ・系統連系については、エリアにより違いはあるものの、2020年11月時点で全国の接続済みおよび接続契約申込済みの合計設備容量は、29.9GWである。

※現状政策ケースでは、環境影響評価手続の準備書段階以降のものは全て2030年度までに運転開始するとし、方法書段階のものは90%が2030年度までに運転開始するとした。他方で、配慮書段階のものは、計画初期段階のものが多いこともあり、保守的にみて2030年度までの運転開始はゼロとみなした。（陸上風力16.6GW、洋上風力6.8GW）

風力発電(陸上)環境アセスメント実施状況[GW] 2020年3月



風力発電(洋上)環境アセスメント実施状況[GW] 2020年3月

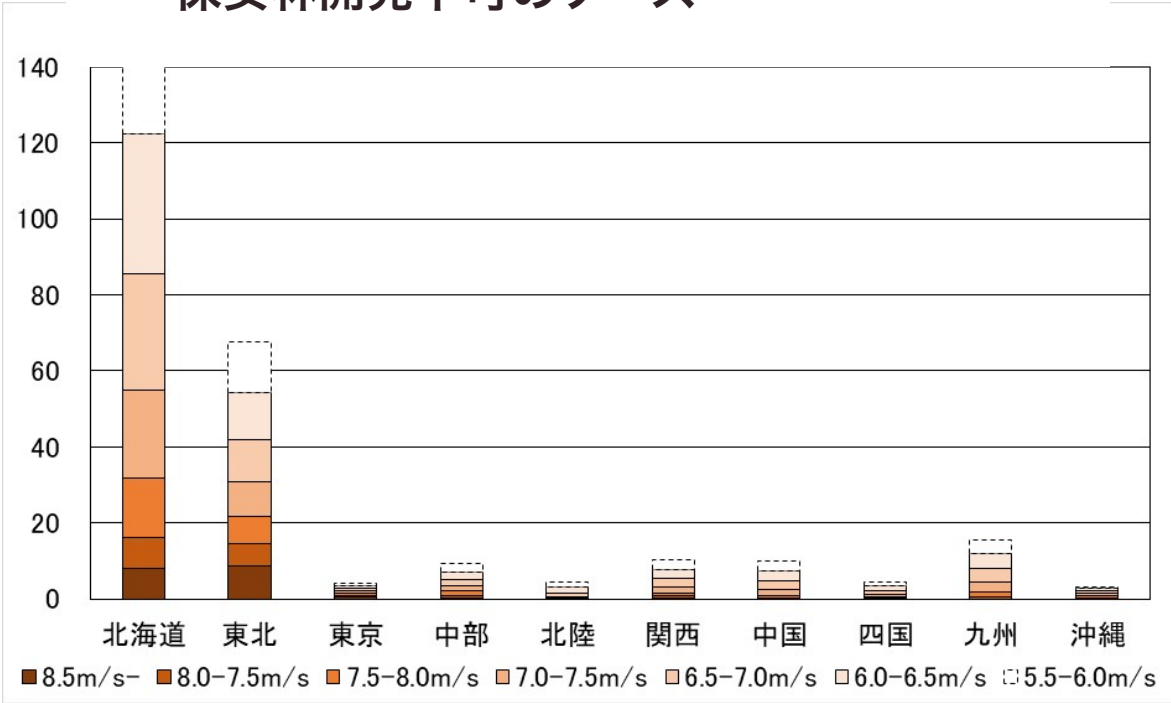


(参考一1) 導入量の可能性：土地等の制約

2030年度の導入可能性は、既に開発に着手された環境影響評価手続案件から想定、土地等の制約は算出条件に含まれている。2030年以降、2050年に向けて導入を加速するためには、地域間連系線・地内送電線の新增設、森林などのポテンシャルの活用や、保安林の規制緩和、再エネ海域利用法による促進区域指定等を急速に進める必要がある。

- ・年間平均風速6.0m/s以上のポテンシャル：222.9GW（保安林を含む場合：359.5GW）
- ・年間平均風速6.5m/s以上のポテンシャル：159.2GW（保安林を含む場合：263.9GW）
- ・年間平均風速7.0m/s以上のポテンシャル：104.6GW（保安林を含む場合：178.1GW）

陸上風力導入ポテンシャル・GW
保安林開発不可のケース



出典) 環境省「令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書」2020年3月

区分	項目	ポテンシャル算出時の開発不可条件
自然条件	風速区分	年間平均風速5.5m/s未満
	標高	1,200m以上
	最大傾斜角	20度以上
	地上開度	75度未満
社会条件：法規制等	法規制区分（自然的条件）	1) 国立・国定公園（特別保護地区、第1種特別地域） 2) 都道府県立自然公園（第1種特別地域） 3) 原生自然環境保全地域 4) 自然環境保全地域 5) 鳥獣保護区のうち特別保護地区（国・都道府県指定） 6) 世界自然遺産地域 7) 保安林
	法規制区分（社会条件）	1) 航空法による制限（制限表面）
社会条件：土地利用等	都市計画区分	準工業地域、工業地域、工業専用地域を除く市街化地域
	土地利用区分	田、建物用地、幹線交通用地、その他の用地、河川地域及び湖沼、海水域、ゴルフ場（その他農用地、保安林を除く森林、荒地、海浜がポテンシャル算出の対象区分）
	住宅からの距離	500m未満

（参考-2） 導入量の可能性：洋上風力ポテンシャル



自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

「洋上風力産業ビジョン（第1次）」：2030年10GW、2040年30～45GWの目標提示

【着床式洋上風力のポテンシャル】

年間平均風速7.0m/s以上のポテンシャル：241.6GW

年間平均風速7.5m/s以上のポテンシャル：156.1GW

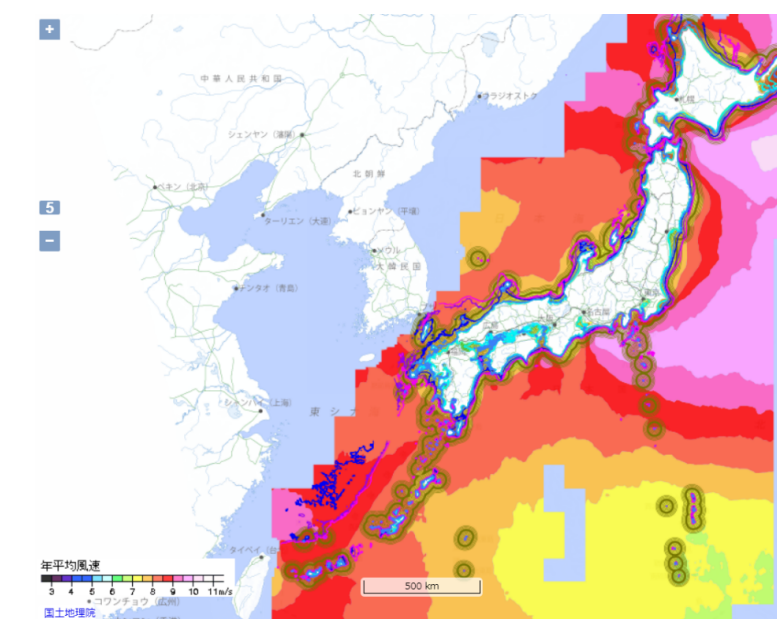
年間平均風速8.0m/s以上のポテンシャル：74.6GW

【浮体式洋上風力のポテンシャル】

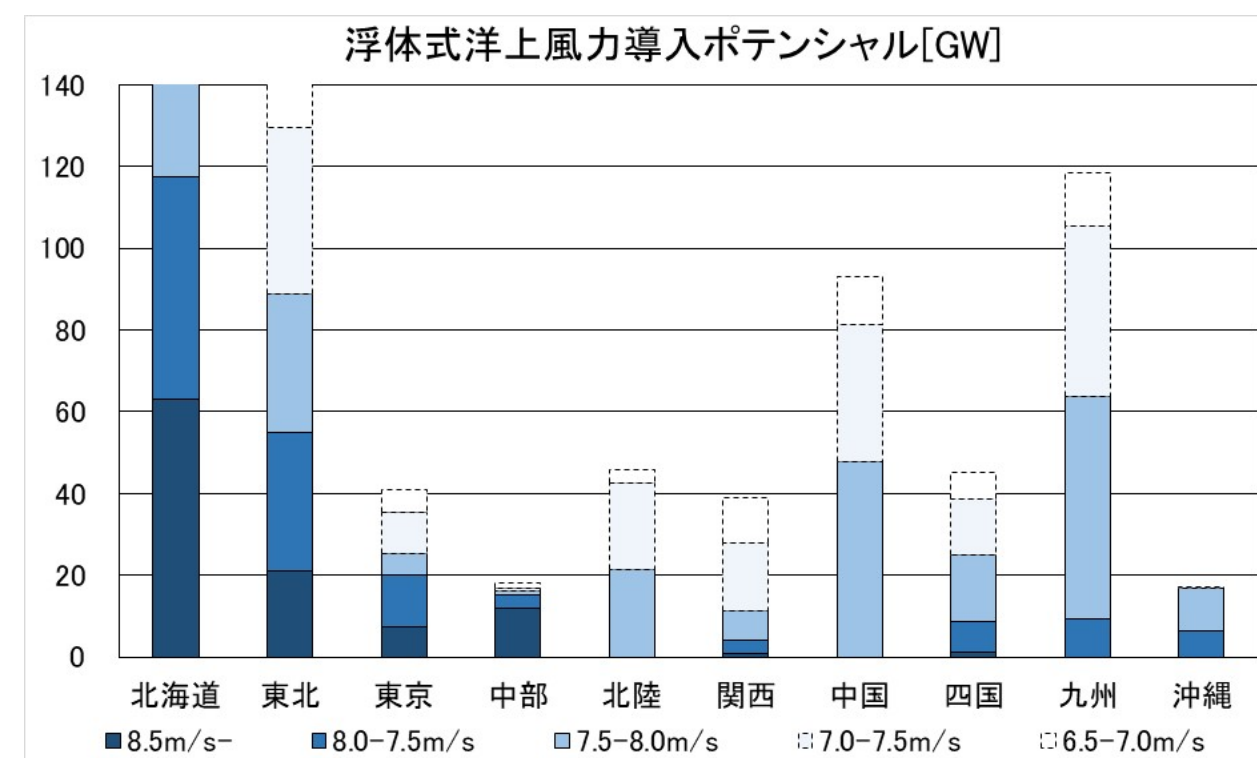
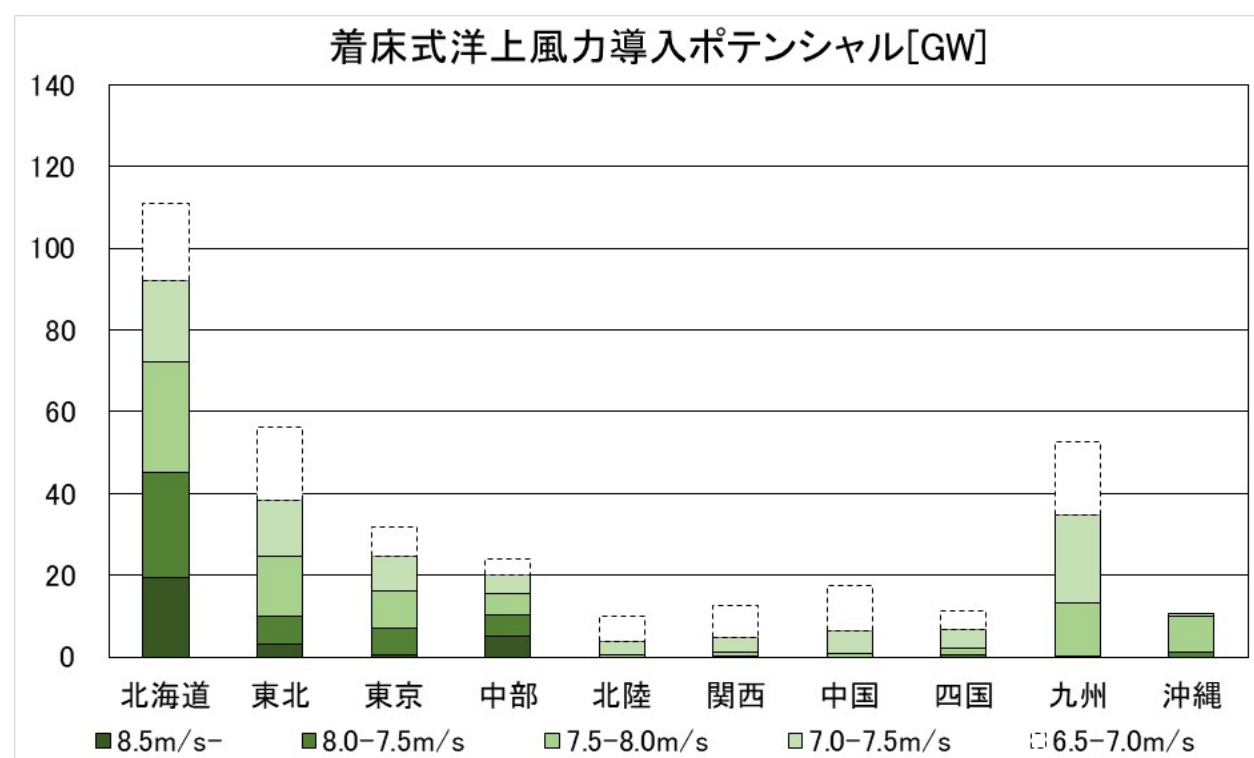
年間平均風速7.5m/s以上のポテンシャル：473.6GW

年間平均風速8.0m/s以上のポテンシャル：236.1GW

年間平均風速8.5m/s以上のポテンシャル：105.2GW



出典）自然エネルギー財団「洋上風力が日本を支える」（2020年12月）



出典）洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会 2020年12月15日

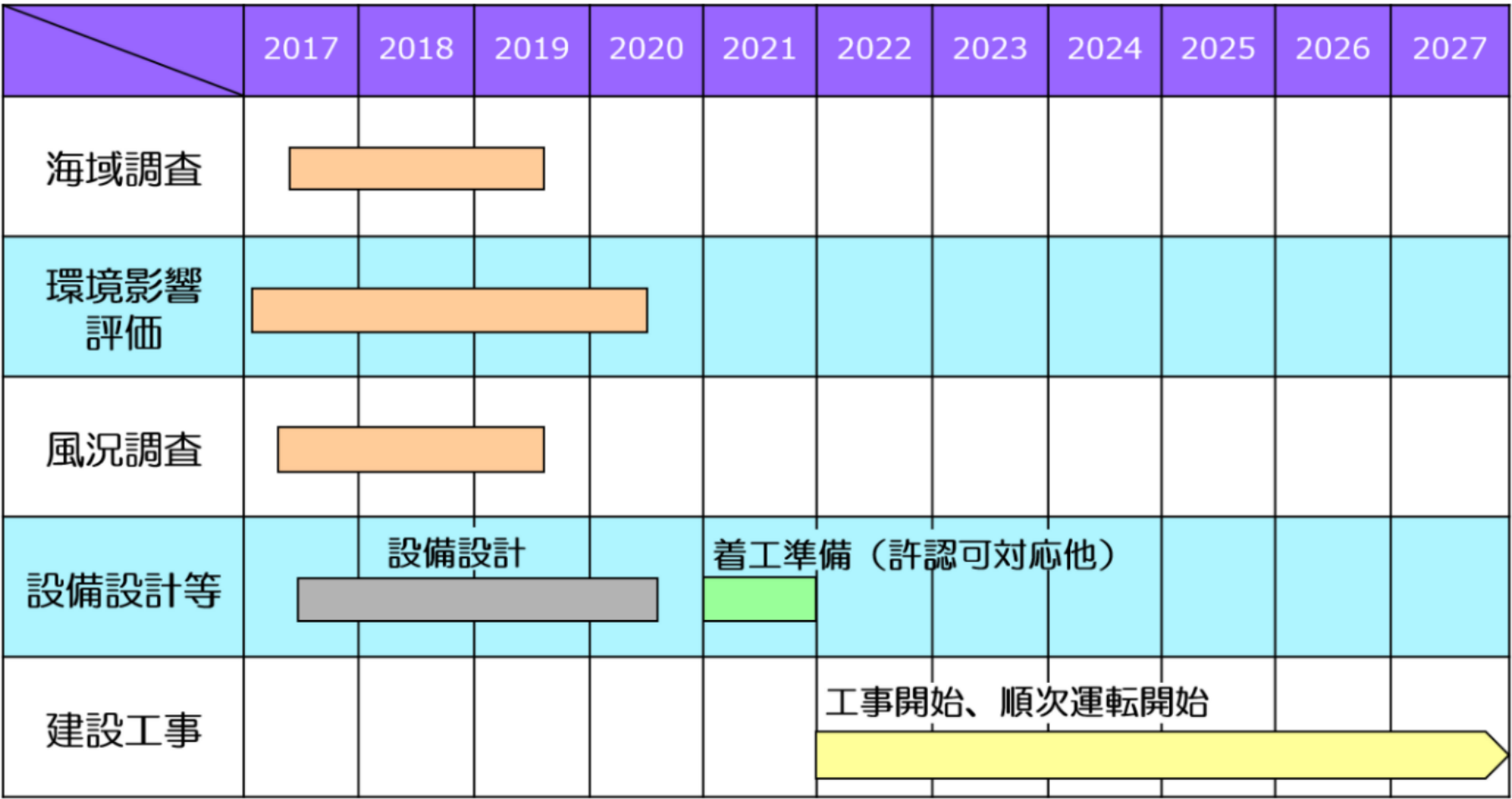
【陸上風力】

- ・ 環境影響評価手続き書類に運転開始予定が記載されている計画は、これに基づいた
- ・ 計画から運転開始までは、8～10年であるが、方法書段階にあるものは6年と想定した

【洋上風力】

- ・ 環境影響評価手続き書類に運転開始予定が記載されている計画は、これに基づいた
- ・ 計画から運転開始までは、10～15年であるが、方法書段階にあるものは8年と想定した

参考例) 響灘洋上風力発電施設の概略工程



出典：ひびきウインドエナジー株式会社HP

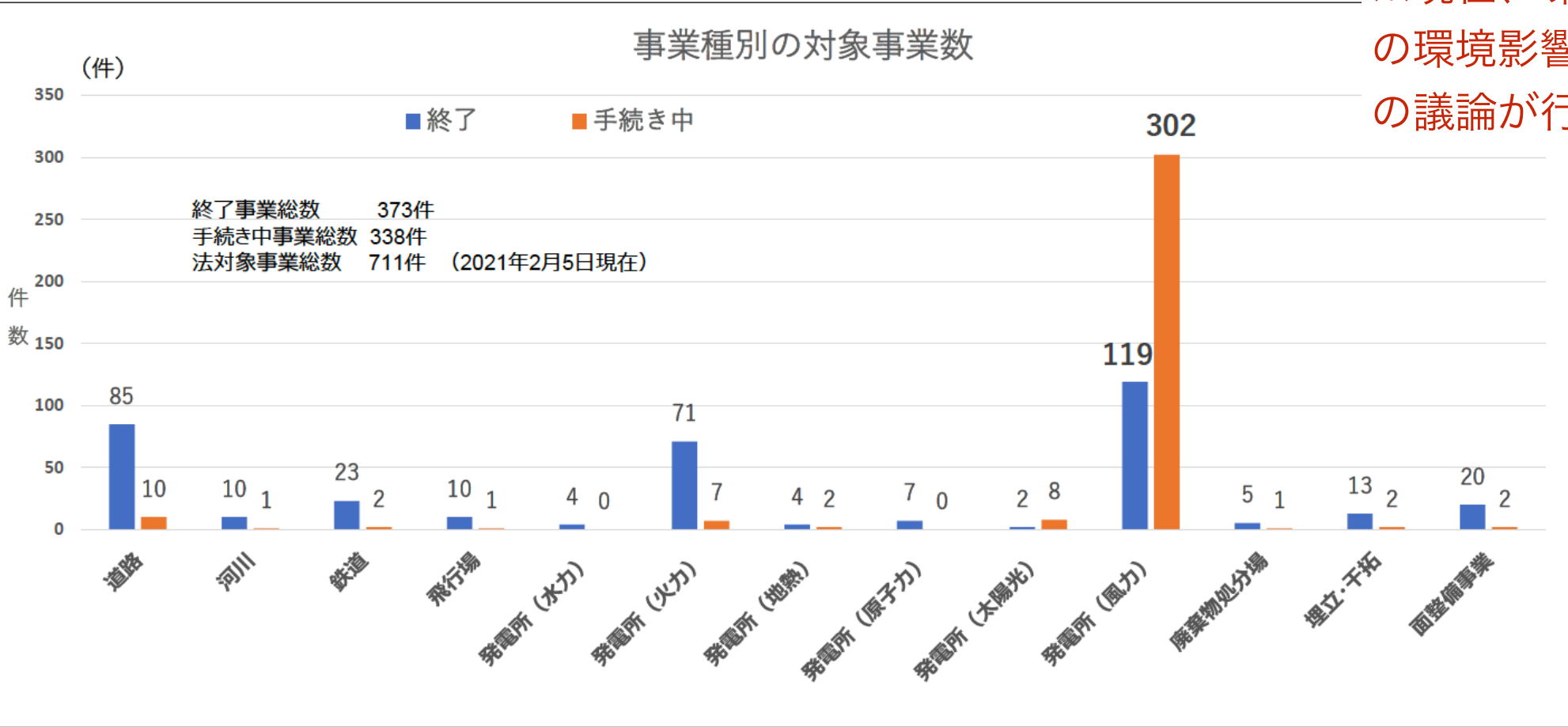
【陸上風力】

- ・ 風車大型化等による案件規模の拡大に伴い98%以上の案件が環境影響評価手続の対象に
- ・ 4～5年程度の期間と数億円の費用が必要
- ・ 手続の合理化・迅速化、環境影響評価情報の共有・公開が急務

【洋上風力】

- ・ 各事業者による手続の重複、共有情報の少なさが手続に要する期間と費用の増大を招く
- ・ 国が主導する環境影響評価手続が必要

環境影響評価法の対象事業種別の手続実施状況



※現在、環境省において風力発電の環境影響評価のあり方についての議論が行われているところ。

出典：環境省「第3回再生可能エネルギーの適正な導入に向けた環境影響評価のあり方に関する検討会」
(2021年3月11日) 資料1

※環境影響評価支援ネットワークの環境影響評価事例の条件検索による(2021年2月5日閲覧)
※終了は、環境影響評価書手続終了(報告書提出を含む)、事業廃止、第2種事業で環境影響評価を行わなかったものを含む

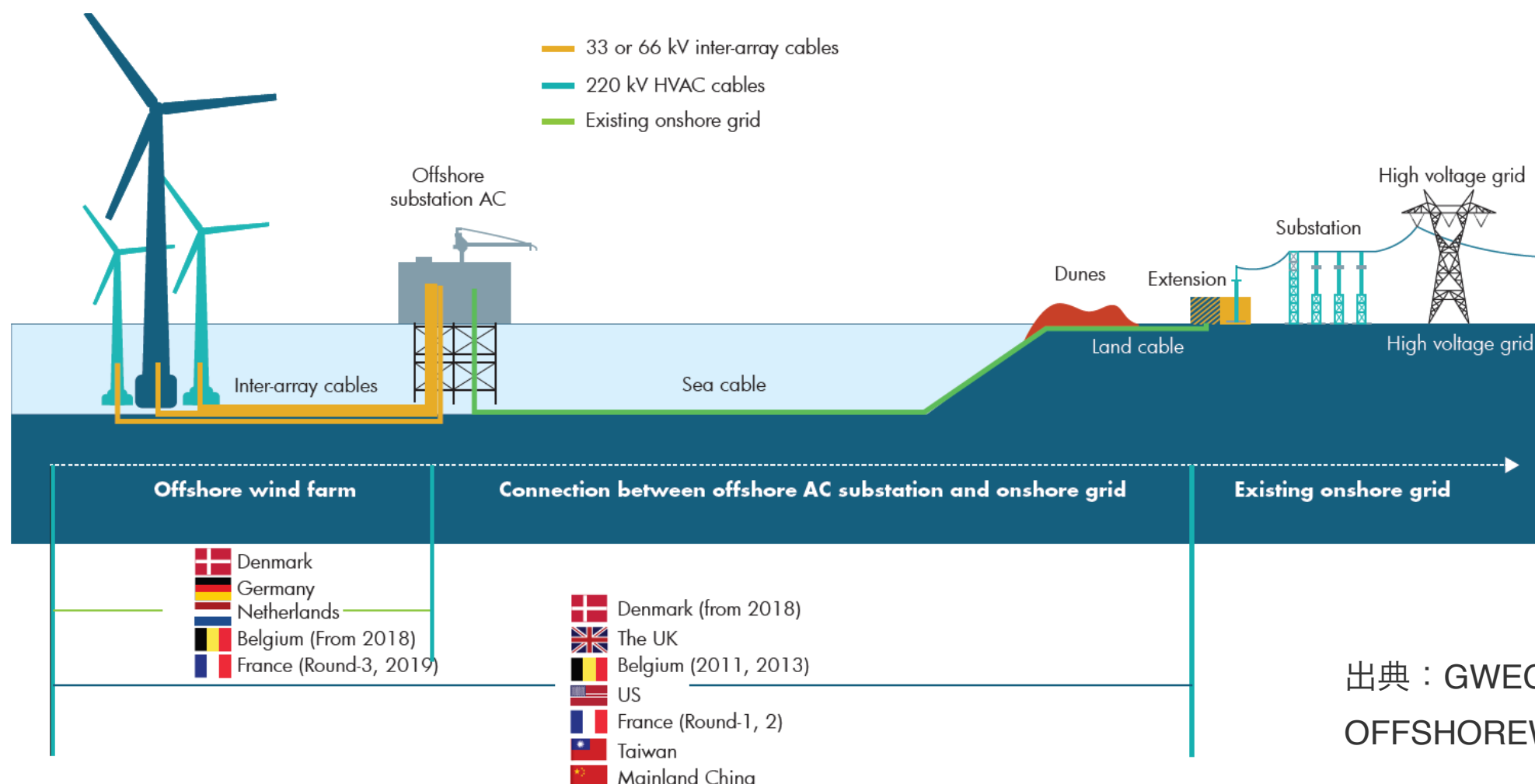
【陸上風力】

- ・買取制度の継続的運用、あるいは毎年1GW 以上の入札枠を設定
- ・1時間毎更新の出力と需要予測に基づく、系統運用の高度化
- ・コネクト＆マネージ、火力を含めた系統混雑処理などの系統運用の合理化、計画済の送電線の増強
- ・想定環境影響評価の実施状況やリードタイムから実現確度の高いもの

【洋上風力】

- ・陸上風力の項に加えて、国の主体的な系統接続枠の確保、ゾーニングや促進区域の指定等
- ・海外の事業者負担送電線は、洋上変電所または陸上変電所以降（海中電源線のみ事業者）

欧州における洋上風力の送電線建設区分（事業者とTSOの責任の区分）



出典：GWEC GLOBAL
OFFSHOREWIND REPORT 2020

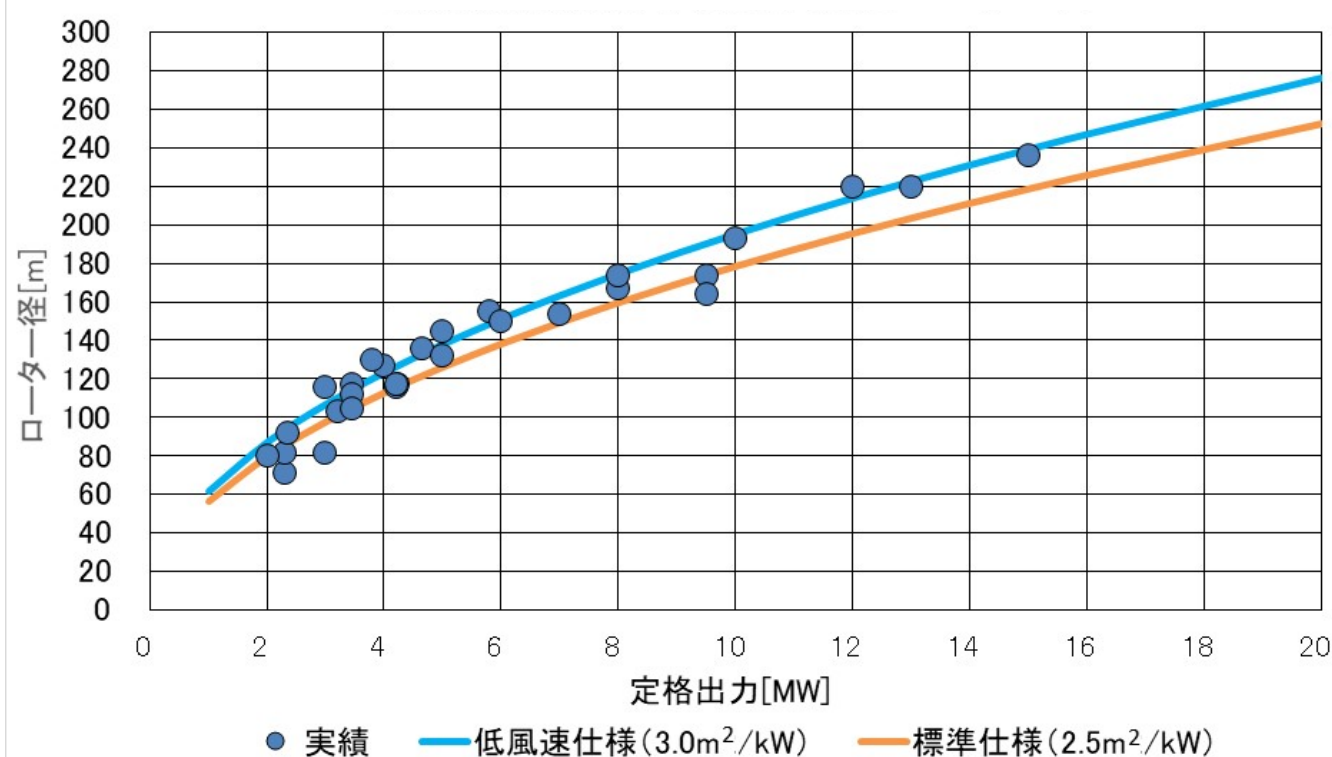
【陸上風力】

- ・ 系統エリア別の風況およびポテンシャルデータを活用し、地域による風況の違いを考慮
- ・ 4MWクラスでハブ高さ90mを想定し、風況データから低風速仕様のパワーカーブをもとに算出

【洋上風力】

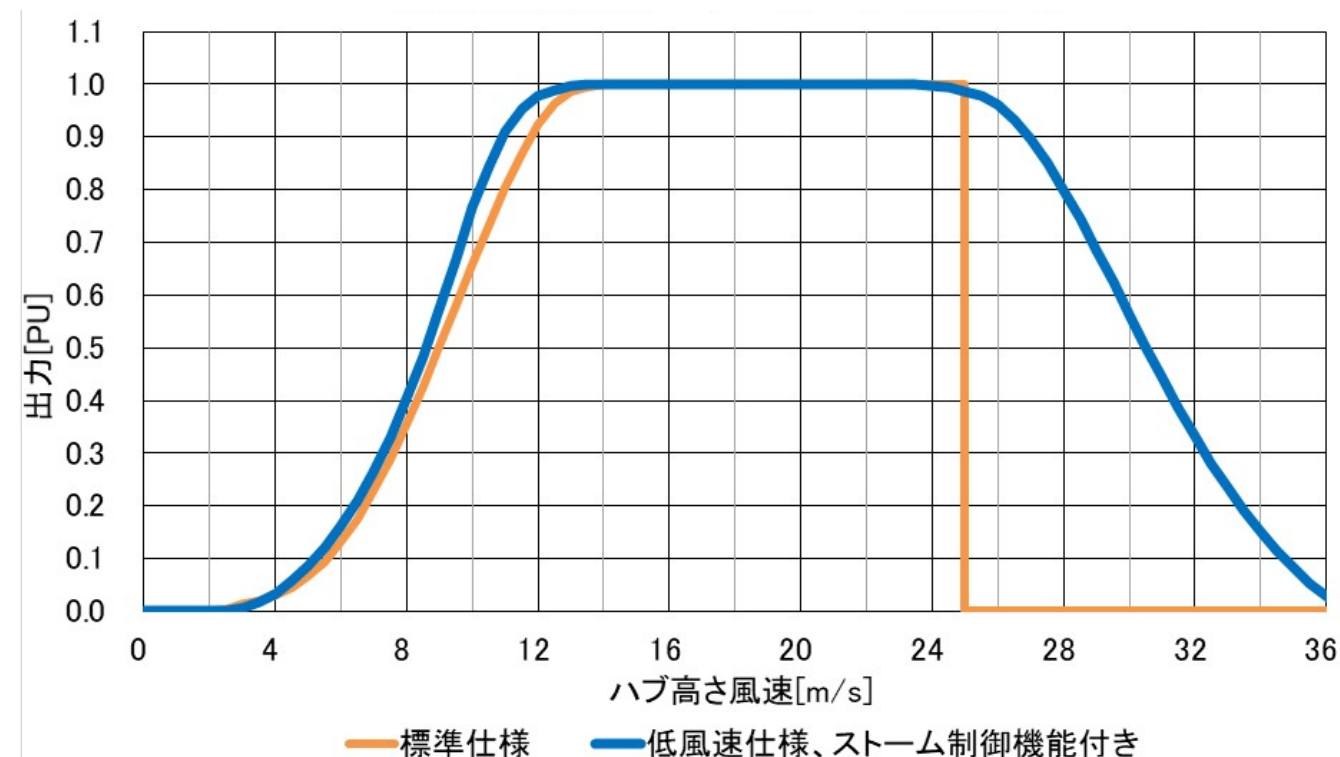
- ・ 系統エリア別の風況およびポテンシャルデータを活用し、地域による風況の違いを考慮
- ・ 10MWクラスでハブ高さ140mを想定し風況データから低風速仕様のパワーカーブをもとに算出
- ・ 現時点での最大機種は15MWでローター径236m、国内外で建設中は10～12MWが主流

風車の定格出力とローター径



出典) 各社製品実績から財団作成
ハブ高さは、ローター径/2 + 30～40m

低風速仕様のパワーカーブ (例)

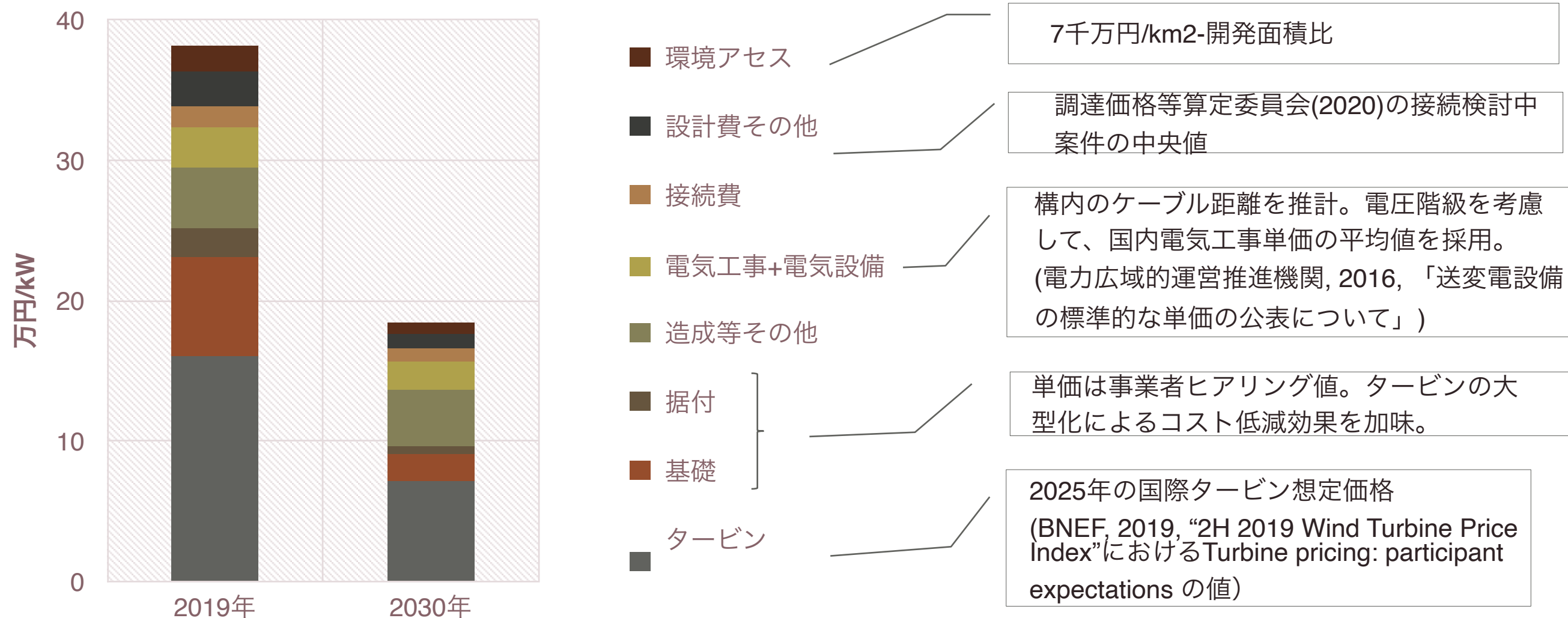


出典) 各社パワーカーブより、財団作成

【計算手法】：費用項目積み上げ＋技術効果想定（国内最新機種を想定）

- ・タービン価格：国際価格
- ・その他費用：現在の国内費用を統計および事業者ヒアリングから得て、技術効果を見込んで推計
- ・発電量：最新機種のパワーカーブを用いて計算

2030年の資本費の想定内訳

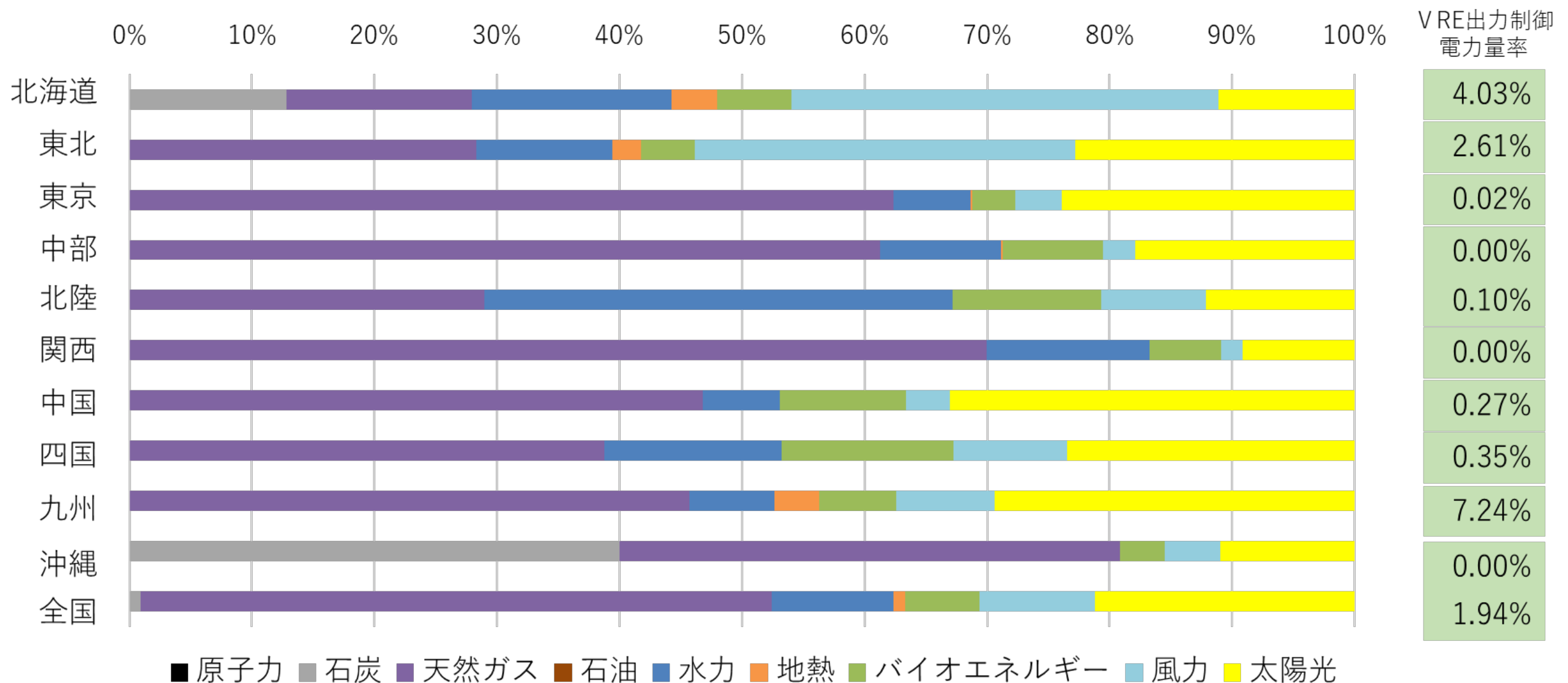


注) 2019年の値は調達価格等算定委員会(2021)
「令和3年度以降の調達価格等に関する意見（案）」

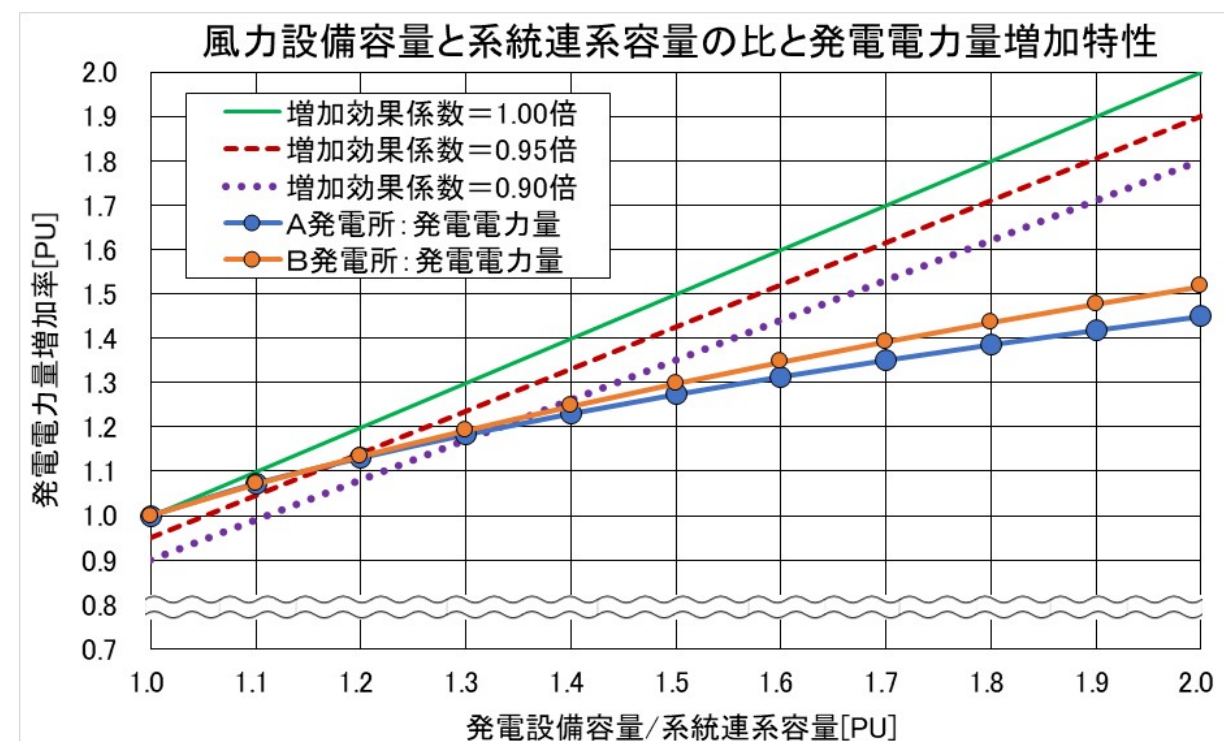
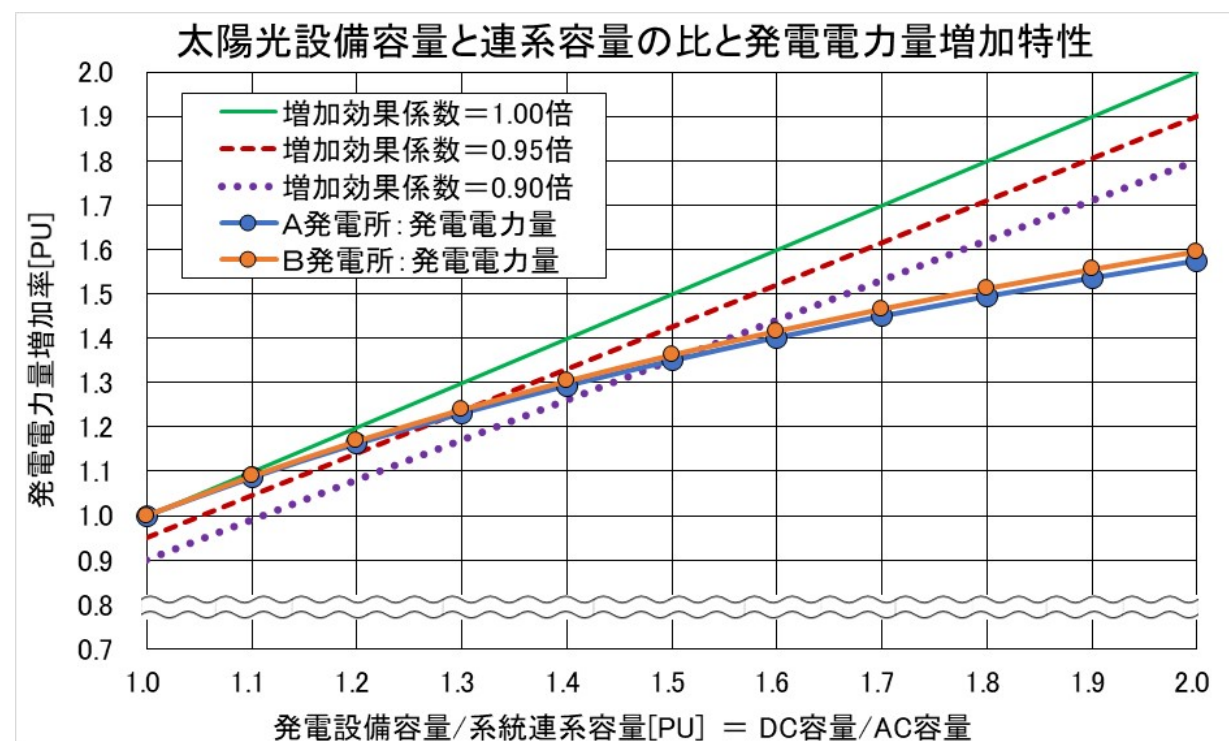
系統制約の考え方についてー 1 (地理的分布)

- ・ 広域需給モデルを用いた分析：地理的分布は現状の接続 (検討含) 容量の分布比率を反映。
- ・ 現状の地域連系線の増強計画の範囲で需給バランスは維持可能であり、（太陽光＋風力の）出力制御の電力量率は全国で**1.94%**であった。

系統エリア別電源構成（送電端）と出力制御電力量率



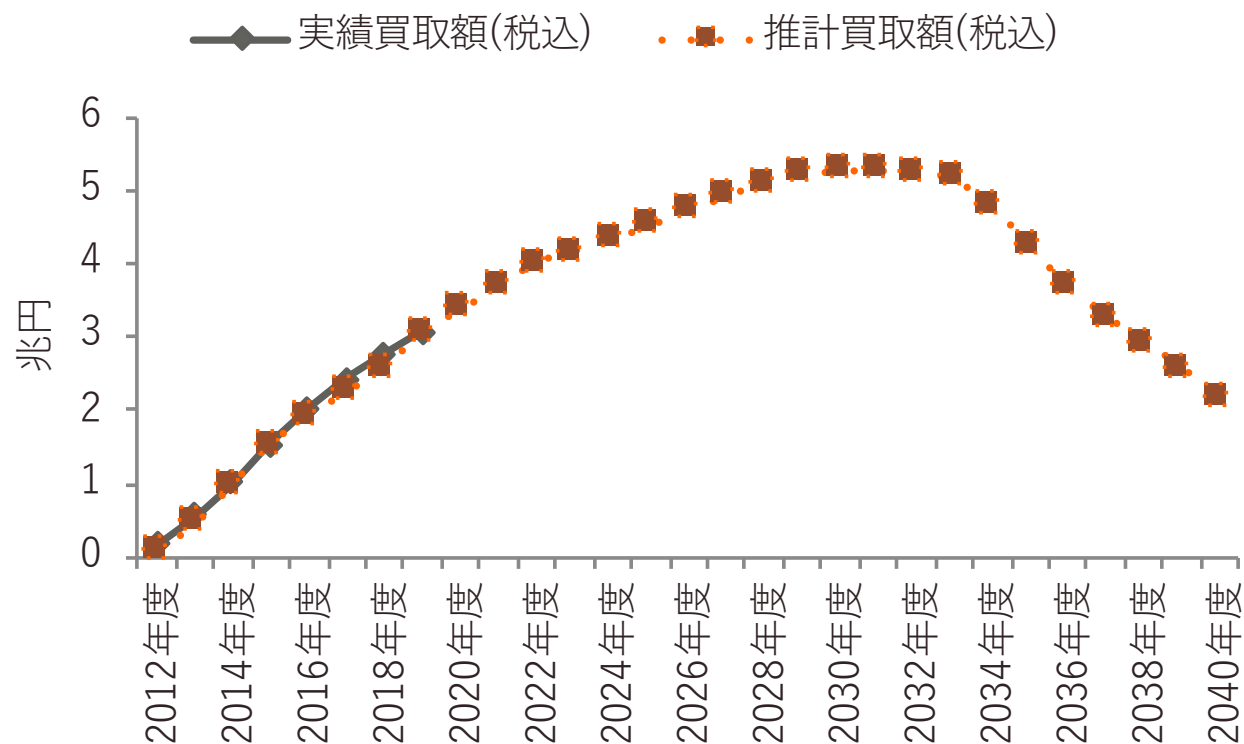
- ・2030年までは現在の送電容量で45%の自然エネルギーを導入可能。一方で、2050年に向け、同時並行的にマスタープランによるプッシュ型の基幹送電線などの建設を準備する必要。
- ・短周期出力変動率は、発電機数・発電所数が増加するに従い低減される。（平滑化効果）
- ・長周期出力は、1時間更新の出力予測システムにより予測が可能。（運用高度化・広域運用）
- ・風力と太陽光の出力は季節性などから、発電電力量を平準化する。（補完効果・無相関）
- ・周波数変動は、総需要と総発電出力との差により生じる。再エネ設備が有する周波数制御機能などの活用により、周波数と電圧の安定化に寄与する。（グリッドコード）
- ・風力と太陽光は、定格出力運転時間率が少ないので、若干の出力抑制率を許容することにより、連系容量以上の設備容量設置により、発電電力量の増加が可能となる。（過積載効果）
- ・太陽光は、パネル価格の低下に伴い、過積載率1.3～1.5の適用事例が多く、更に増加の傾向である
- ・風力は、連系容量の制約、風況や定期点検などの停止を考慮した場合など少ない事例がある



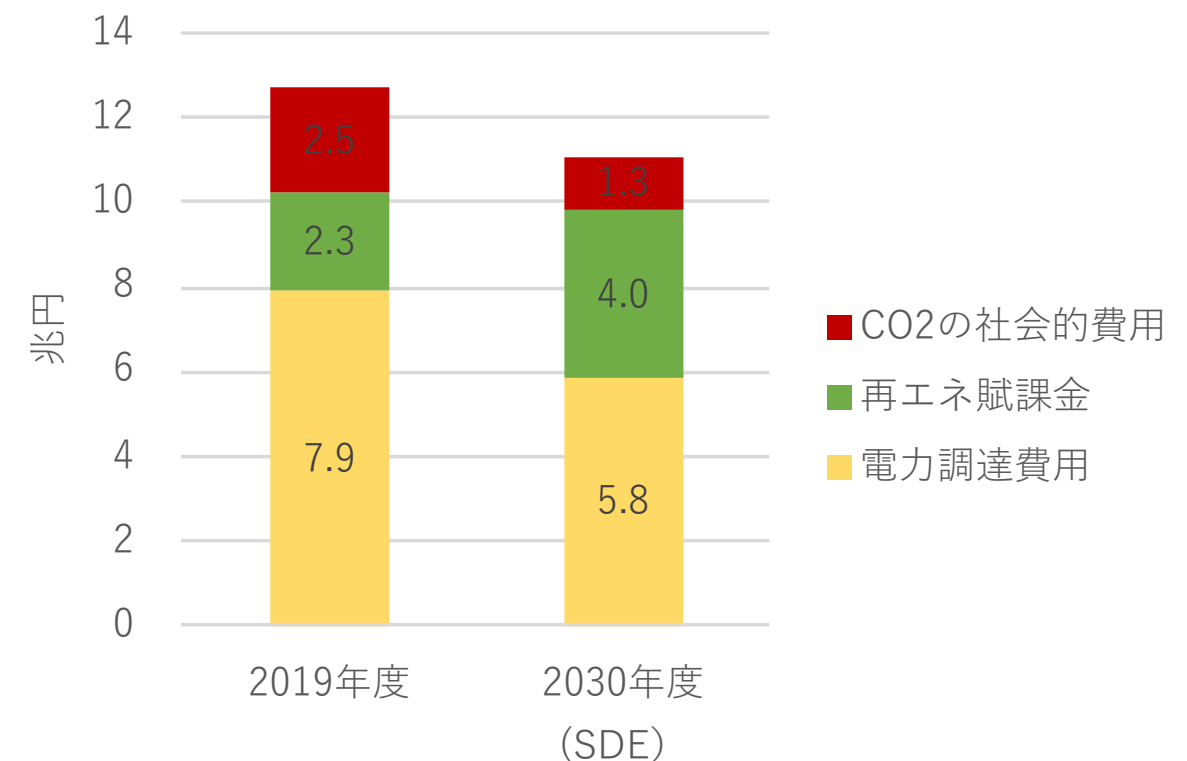
【転換促進ケース】

- ・再エネ特措法にもとづく買取費用額は、2030年度に4.8兆円（税込：5.3兆円）。ただし、買取費用は2030年代中頃から急速に減少する。
- ・2030年度の電力調達費用を推計：広域需給モデルを用い、エリア別卸電力価格を計算したところ、5.8兆円となり、2019年度より大幅に低下。再エネ賦課金と合わせても2019年度の費用よりも若干安い。さらにCO₂の社会的費用を含めると大幅なコスト低減。

再エネ特措法：買取費用実績と推計



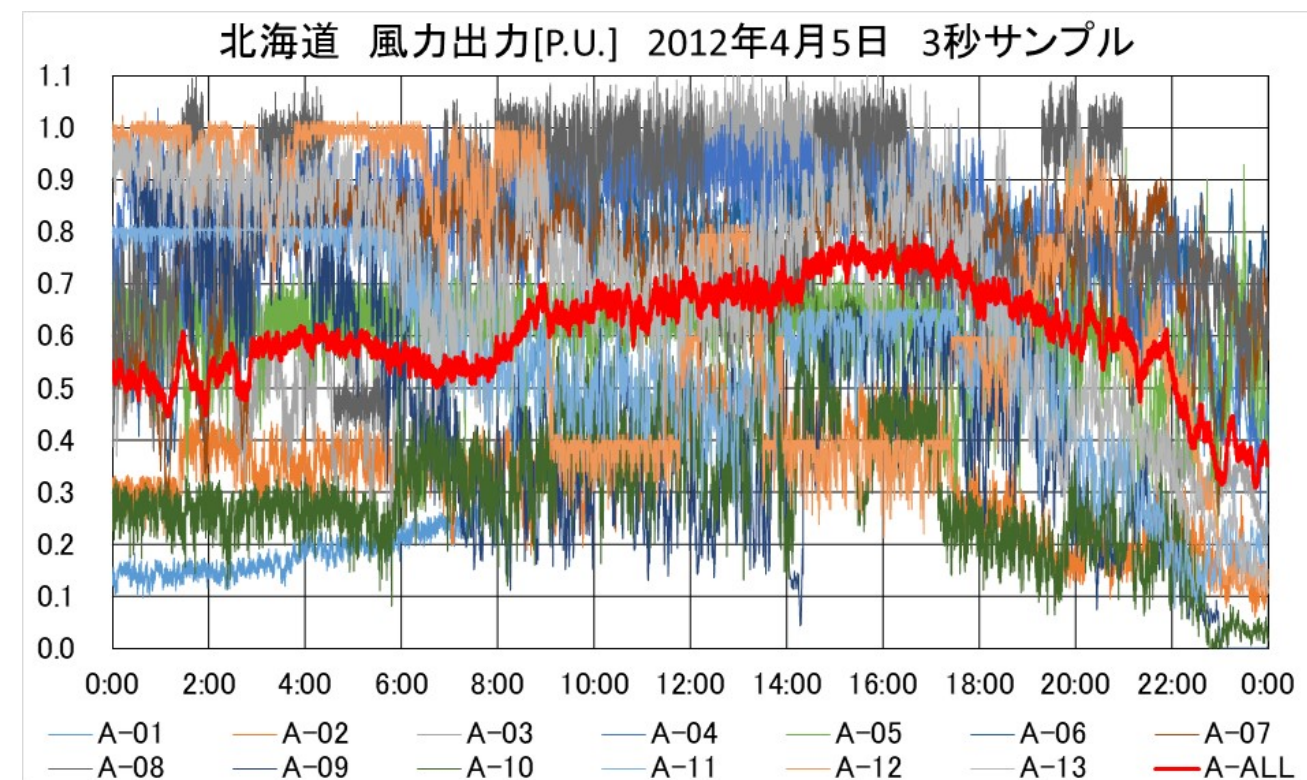
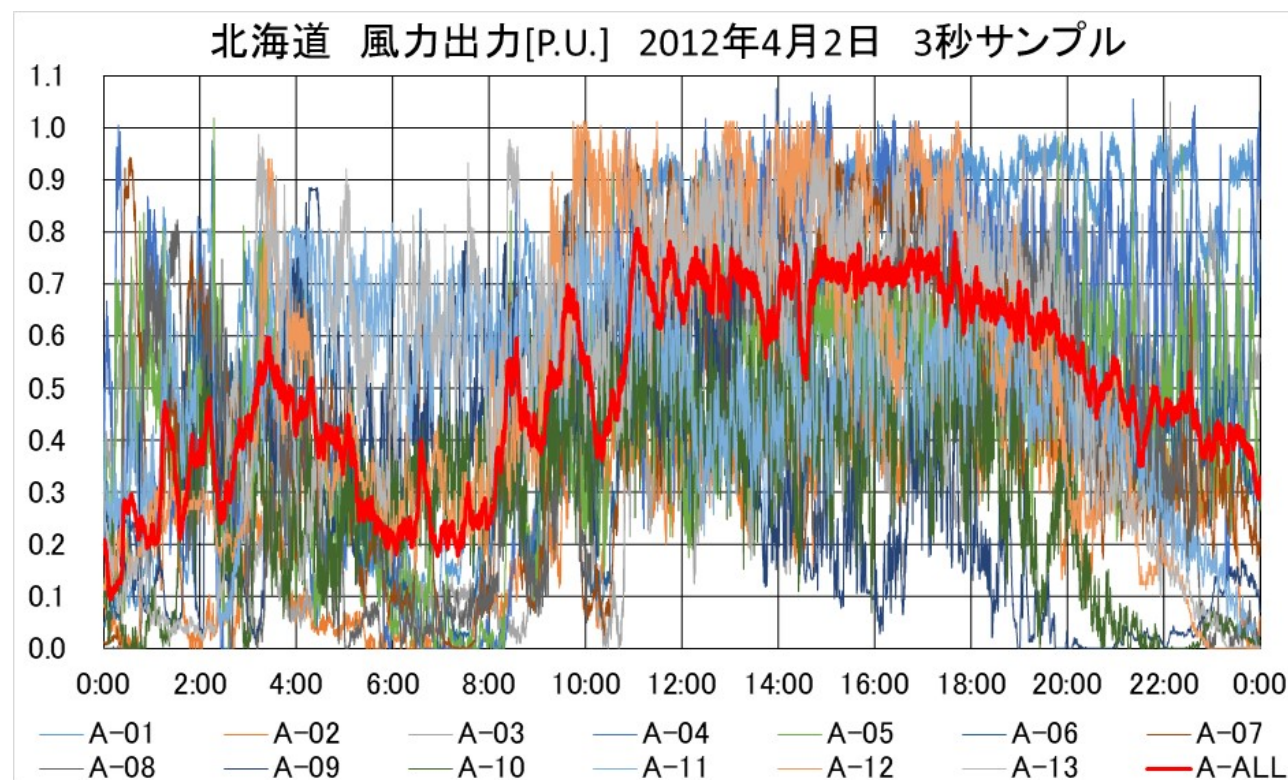
2019年度と30年度の電力コストの比較



■ 出典) 自然エネルギー財団 (2021) 「2030年における電力需給」

(参考-5) 系統制約：出力変動ー1

- ・ 風力発電設備単機は、定格風速の場合、起動後1分程度で出力を100%に達する能力がある。
- ・ 風速変動に伴う出力変動は、同一発電所内の複数機、更には同一エリア内に広域分散された複数の発電所による平滑化効果により、出力変動率は低減する。
- ・ 発電設備容量の増加、広域分散、可変速度機の適用率増加などにより平滑化効果は大きくなる。
- ・ 出力変動抑制制御なしの場合（単純合計）の短周期出力変動率（99.9%値）＊
北海道：2012年度8.7%（195MW）、2017年度6.9%（258MW）
東北：2012年度4.8%（442MW）、2017年度4.3%（442MW）
東京：（2012年度はデータなし）、2017年度4.8%（240MW）



出典) 日本風力発電協会 活動成果報告会資料 2014年5月

＊ NEDO 電力系統出力変動対応技術研究開発事業 報告書 2019年3月

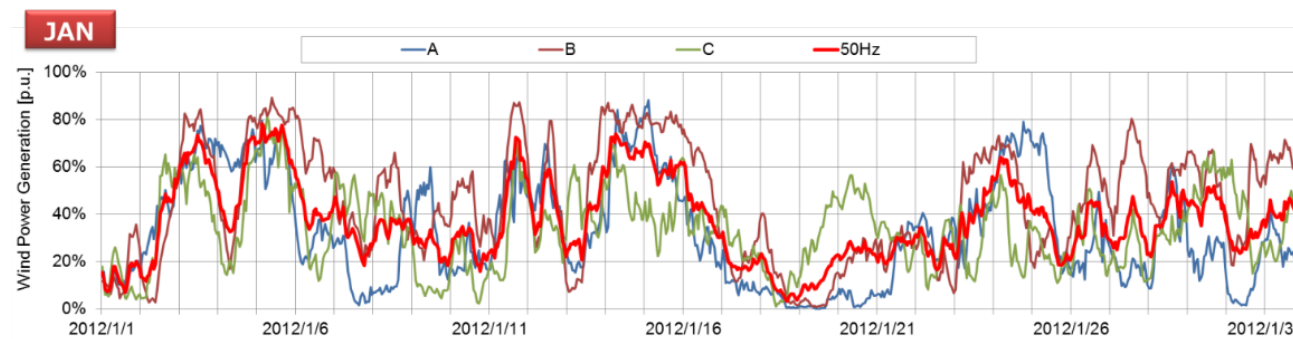
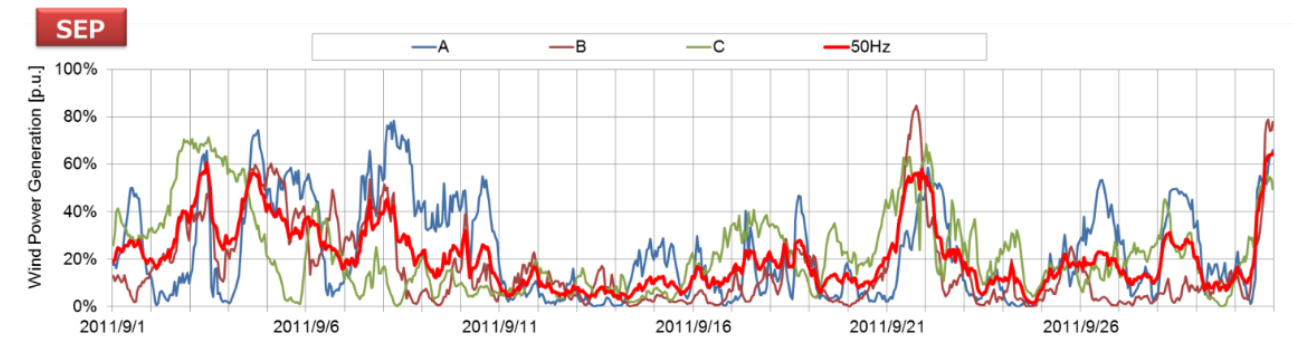
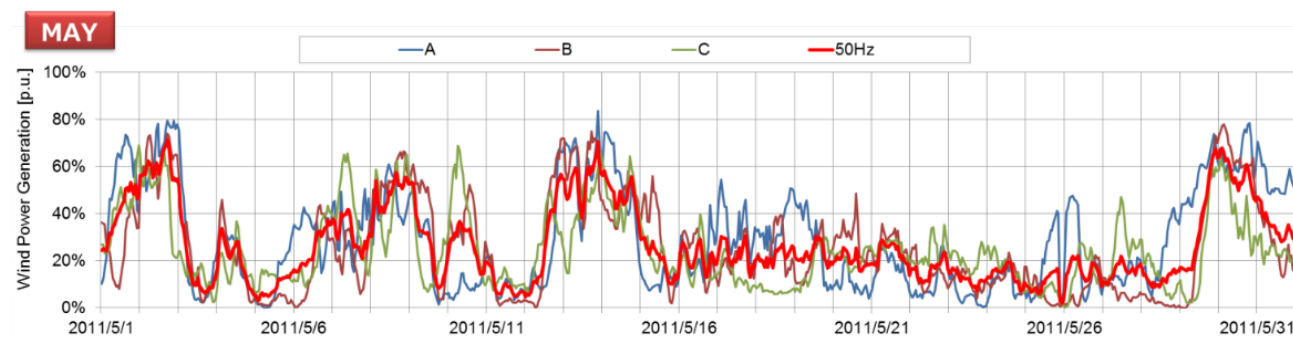
(参考-6) 系統制約：出力変動-2



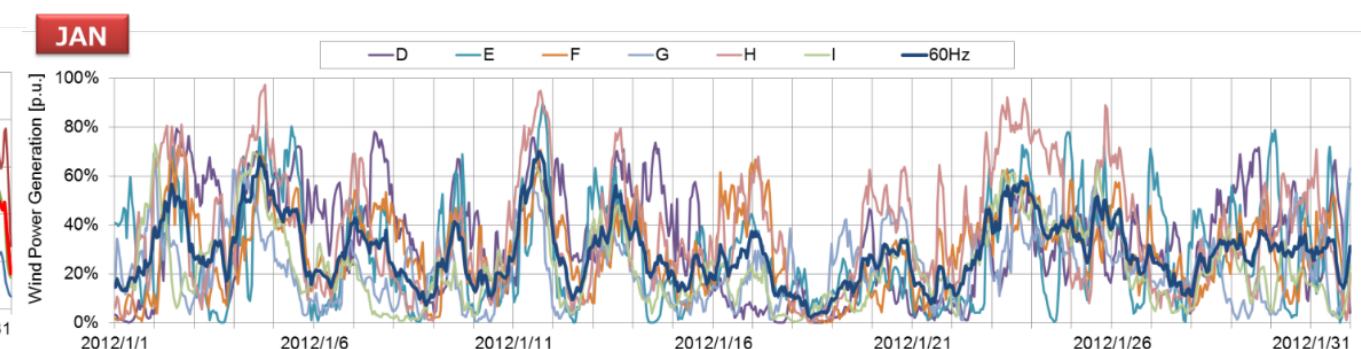
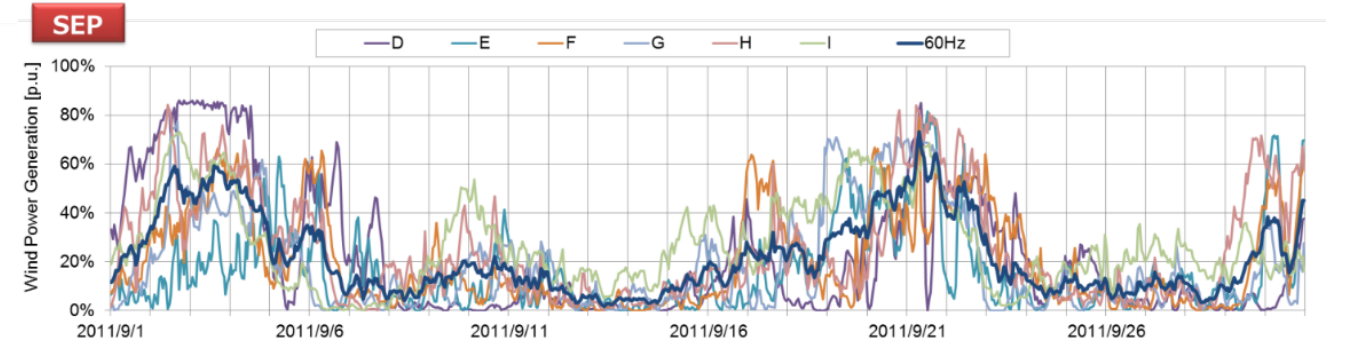
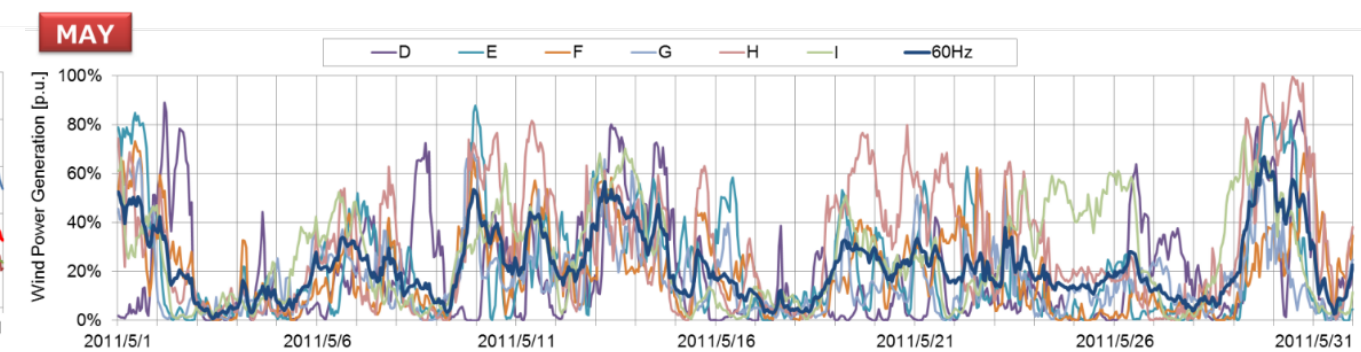
風力発電出力は、低気圧帯などの移動に伴い風速の変化により出力が変化する。

日本は、西風が主流であり、好風況エリアは移動するので、複数エリアの合計値は平滑化される。

50Hz系 3 エリアの個別出力と合計出力



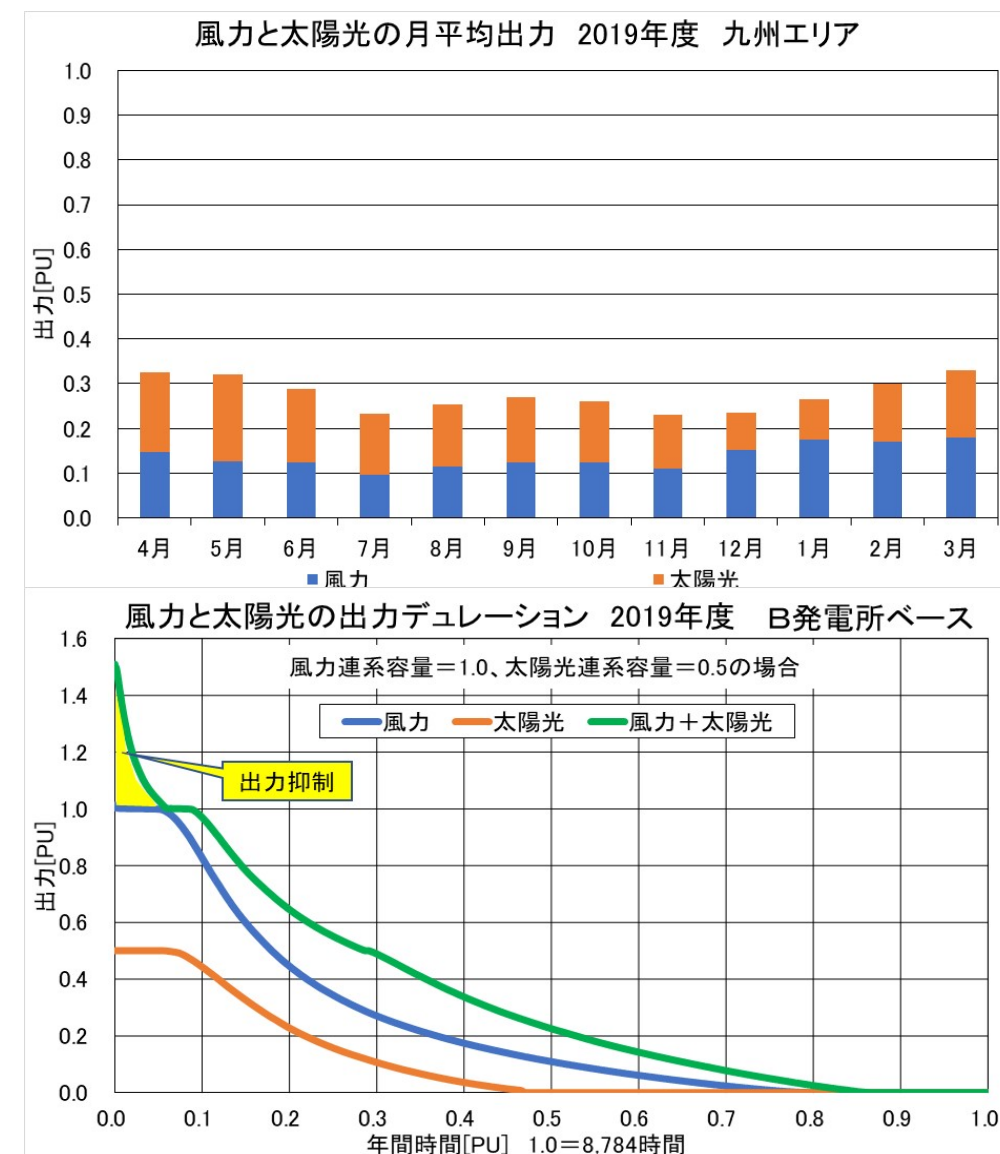
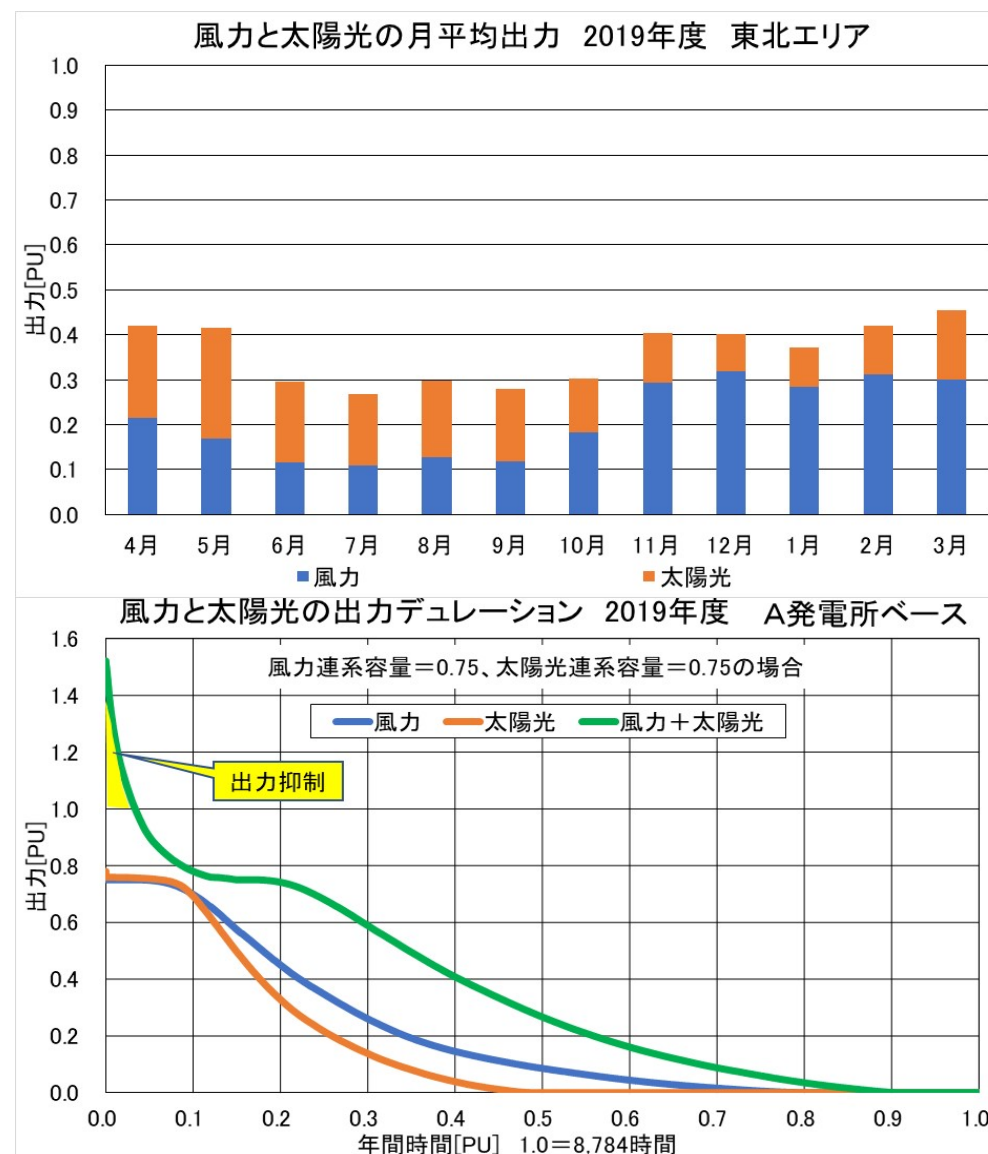
60Hz系 6 エリアの個別出力と合計出力



(参考-7) 系統制約：風力と太陽光の出力特性



- ・ 低気圧帯の場合は風が強く曇りまたは雨、高気圧帯の場合は風が弱く晴れが多い
- ・ 日本海側では、日本海の上を越えてくる北西の季節風により、冬に雪や雨が多い
- ・ 太平洋側では、太平洋から吹き込む南東の季節風により、夏に雨が多い
- ・ 風力と太陽光の補完特性から、若干の出力抑制電力量率を許容することで、連系容量の1.5倍の設備容量を連系可能（コネクト＆マネージの検討に際しても、この特性を考慮する必要がある）



(参考-8) 系統制約：周波数変動



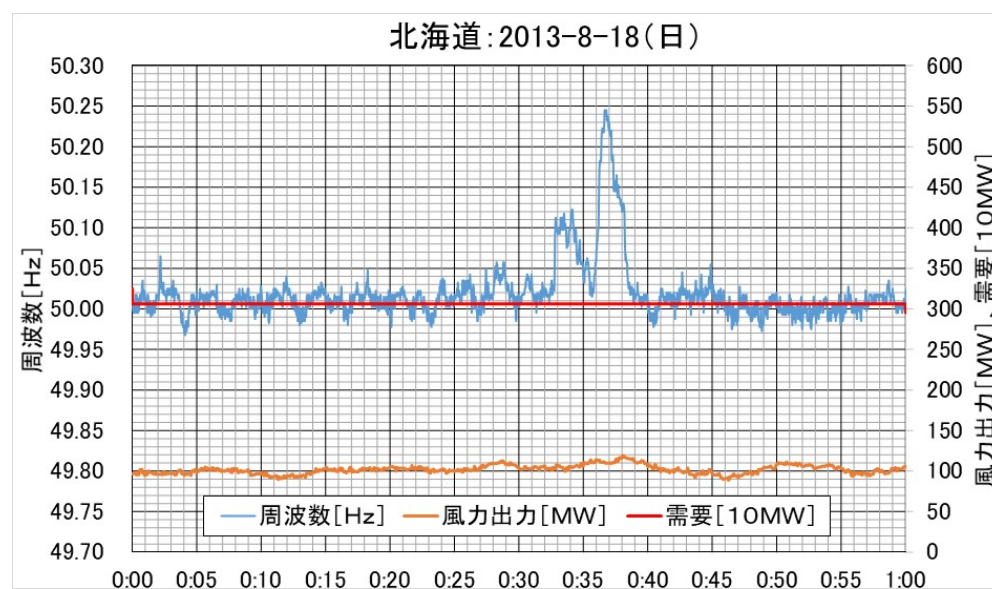
自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

周波数変動は、総需要と総発電電力との差により生じる。

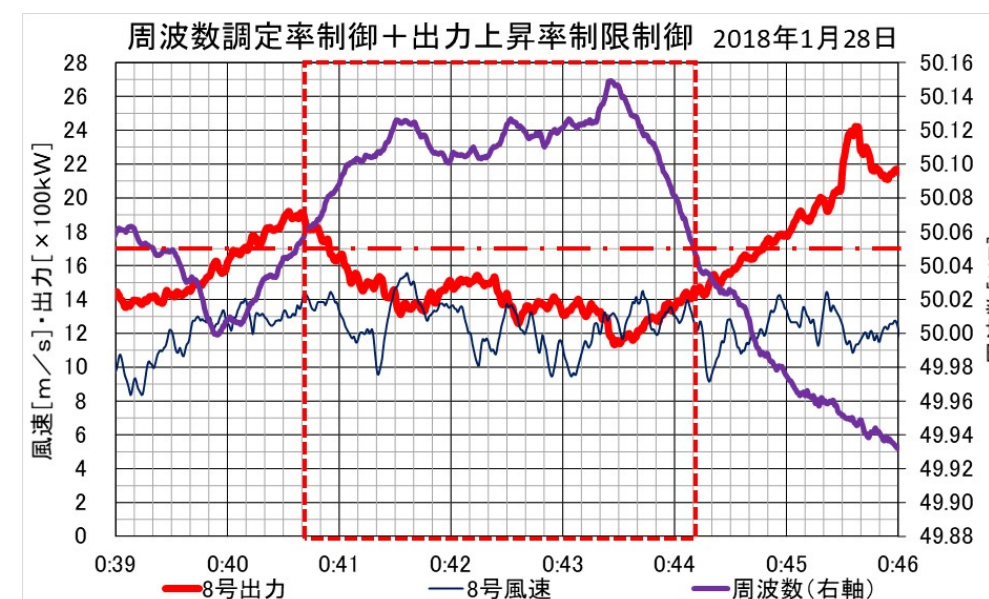
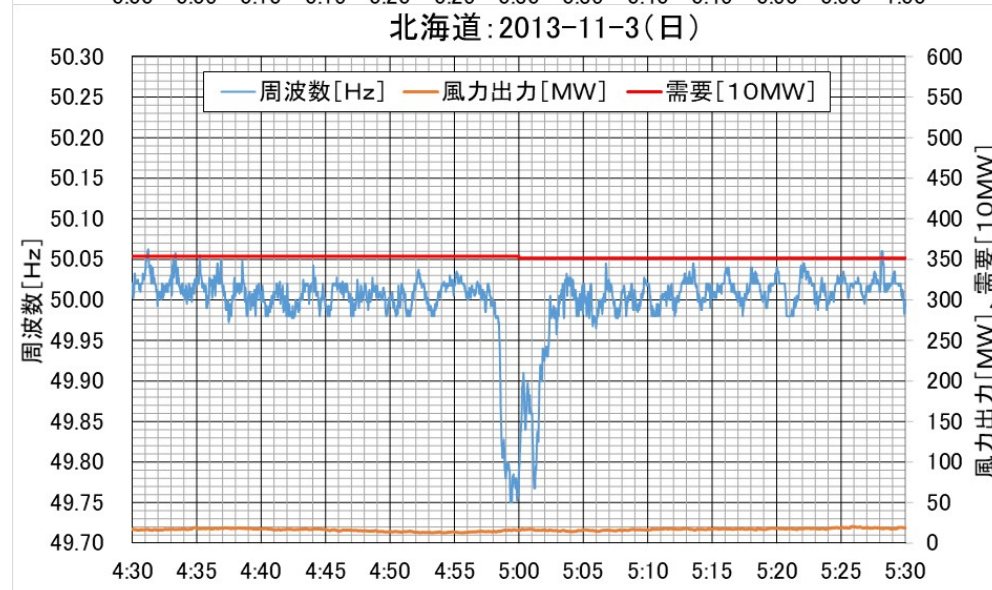
- ・ 朝と夕方の需要増、昼1時間の需要変化、気温変化による需要増減、発電設備切り替えなど
- ・ 風力発電や太陽光発電の出力変動（風況変化：カットアウト・カットイン、日射変化：雲の通過）

風力や太陽光発電は、周波数制御機能を含めて一般発電設備と同等以上の制御機能を有しており、周波数・電圧の安定供給に寄与する。（グリッドコード：欧州では2010年代初期からに適用中）

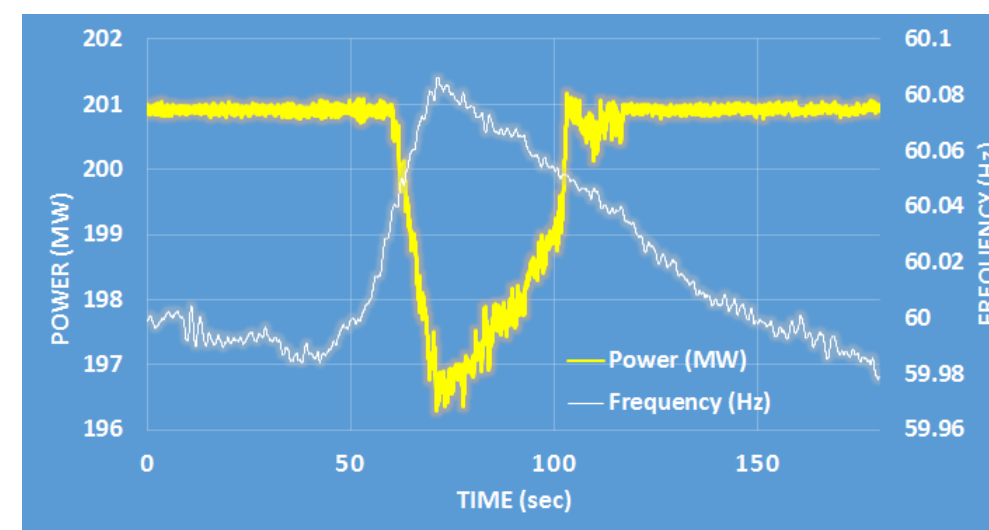
周波数の
変動様相
(例)



周波数の
変動様相
(例)



風力の
周波数制御
(例)



太陽光の
周波数制御
(例)

■ 再生可能エネルギー等に関する規制等の総点検タスクフォースでの議論（第3回、2021年1月8日）

- 北海道電力の系統連系技術要件が、それぞれの発電所ごとに蓄電池を併設するというリクワイアメントが問題になっている。非常に不合理なリクワイアメントであり、是非即時廃止していただきたい。
- 百歩譲って蓄電池が必要だとしたときに、系統運用者として十分な柔軟性を用意できていないのであるから、系統運用者の費用負担で系統側に設置するのはどうか。
- 基本的には新北本連系線ができたことによって、短周期の変動対策が連系線である程度担保できるという形で、状況が変わっていると思う。実際、広域機関からも調整力のエリア、調達のためのマージンを設定すると、電力取引上の経済的損失が発生する一方で、当該のスキームを導入すれば、北海道エリアと比較して、まさに豊富な他エリアの調整力の有効活用、サイト蓄電池の容量を低減することができるとして、北海道エリアへ風力導入を拡大するメリットがあるといった結論が昨年、2018年3月にOCCTOから出ていると理解している。こちらの検討は資源エネルギー庁に投げられていると理解しているが、現在どうなっているか。

■ 電力・ガス基本政策小委員会系統ワーキンググループでの議論（第29回、2021年2月25日）

- 資料5のP4のタスクフォースからの意見について、短周期の変動対策として、連系線活用やマージン設定と、系統用蓄電池を置くことのどちらが良いかという議論は既にしたのか。発電事業者オンサイトと系統用蓄電池という議論はしたと思うが、大林構成員に対する回答となる議論は既にされたのか。この視点は重要であり、蓄電池はまだ高いため、どこかで議論することがあっても良いと思う。
- 一般論として、タスクフォースから言われている蓄電池に関して、発電サイト、あるいは発電機につけるのをビジネスモデルとしてやるのは良いが、そうしないと接続できないとか、それを推奨することは非効率的ではないか、というのは素朴な疑問として当然あると思う。個々の発電機のために蓄電池を使うのではなく、系統側の調整のために蓄電池を使うのが自然で効率的ではないかと思う。ただし、それを誰が持つのかは別の問題で、系統側が持つのか事業者側が持っているものを調整力として調達するのかということはあるが、系統側で蓄電池を使うのが自然だという発想は、もっともな議論だと思う。この点は頭に入れて議論していく必要があるかと思う。