



洋上風力発電の動向と課題

(一財)電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部

田村 英寿

第65回 電力土木講習会

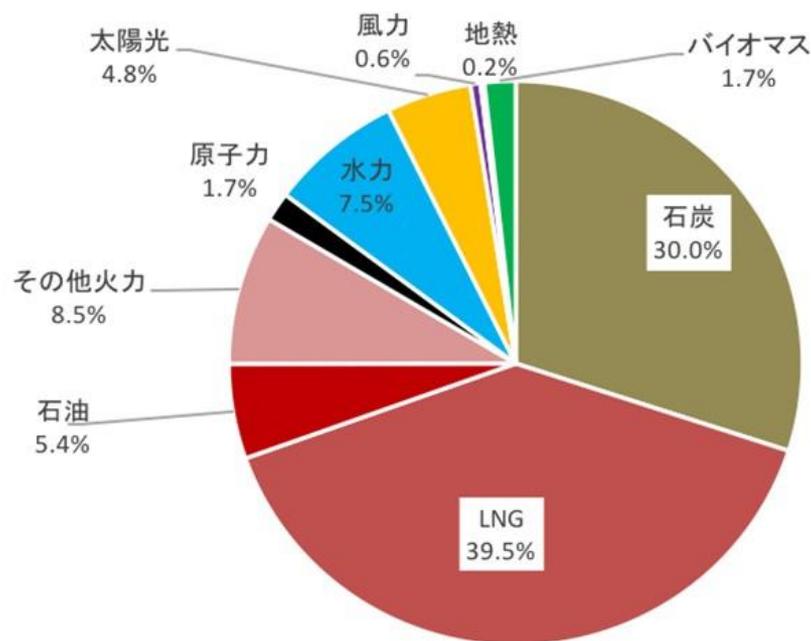
 電力中央研究所

本日の講演のトピックス

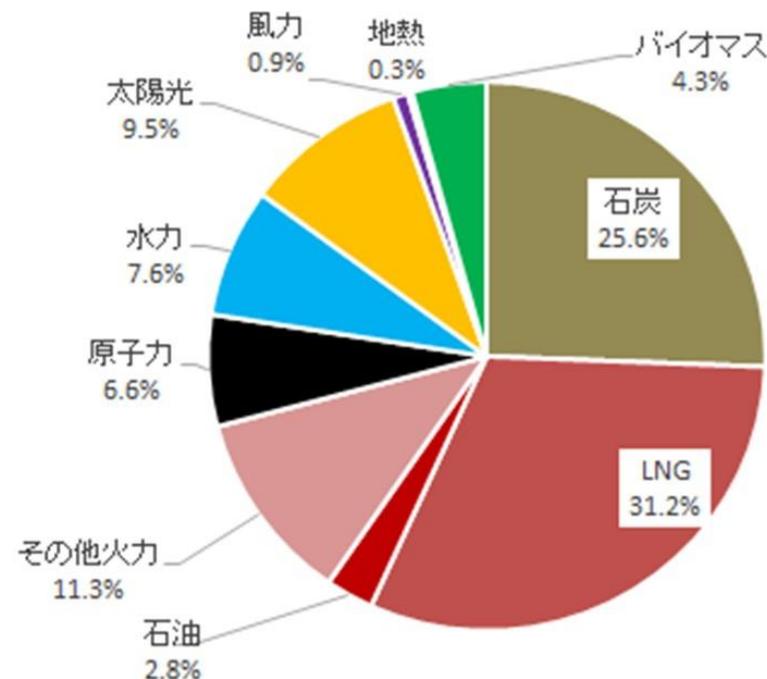
- ◆ 日本や世界における導入状況
- ◆ 風力発電や洋上風力発電の特徴
- ◆ 洋上風力発電に関連する国内の動向
- ◆ 洋上風力発電の課題と技術開発

日本国内の電源構成

最近5年間で太陽光発電の普及が進んでいるが、風力は大きく伸びていない。



2016年度



2021年度

日本国内の電源構成（年間発電量）

【図の出展】 <2016年度の図> 環境エネルギー政策研究所：自然エネルギー白書2017

<2021年度の図> 環境エネルギー政策研究所：国内の2021年度の自然エネルギー電力の割合と導入状況（速報）

世界と日本の電源構成

日本の再エネ発電の比率は世界全体と較べて低くないが、主に太陽光発電。

世界全体（2021年）

日本（2021年）

電源の種類		年間発電量 [TWh]		構成比率 [%]		年間発電量 [TWh]		構成比率 [%]			
石油		720.3		2.5		31.3		3.1			
天然ガス		6518.5		22.9		326.1		32.0			
石炭		10244.0		36.0		301.9		29.6			
原子力		2800.3		9.8		61.2		6.0			
再エネ（水力）		4273.8		15.0		77.6		7.6			
再エネ （水力以外）	風力	3657.2	1861.9	12.8	6.5	130.3	8.2	12.8	0.8		
	太陽光		1032.5				3.6			86.3	8.5
	その他		762.8				2.7			35.8	3.5
その他		252.2		0.9		91.3		9.0			
合計		28466.3		100		1019.7		100			

【数値の出展】 bp : Statistical Review of World Energy 2022 71st edition, 2022

欧州と日本の電源構成

日本の再生エネルギーの比率は欧州全体の半分程度。風力比率は15分の1以下。

欧州全体（2021年）

日本（2021年）

電源の種類		年間発電量 [TWh]		構成比率 [%]		年間発電量 [TWh]		構成比率 [%]			
石油		47.9		1.2		31.3		3.1			
天然ガス		799.3		19.8		326.1		32.0			
石炭		632.0		15.7		301.9		29.6			
原子力		882.8		21.9		61.2		6.0			
再生エネルギー（水力）		649.7		16.1		77.6		7.6			
再生エネルギー （水力以外）	風力	946.5	503.0	23.5	12.5	130.3	8.2	12.8	0.8		
	太陽光		195.6				4.9			86.3	8.5
	その他		247.9				6.1			35.8	3.5
その他		74.2		1.8		91.3		9.0			
合計		4032.5		100		1019.7		100			

【数値の出展】 bp : Statistical Review of World Energy 2022 71st edition, 2022

風力発電と太陽光発電の導入の推移

数年前までは太陽光よりも風力の方が設備容量は多かったが、太陽光の伸びが大きい。

風力発電の累積導入量（発電設備容量）

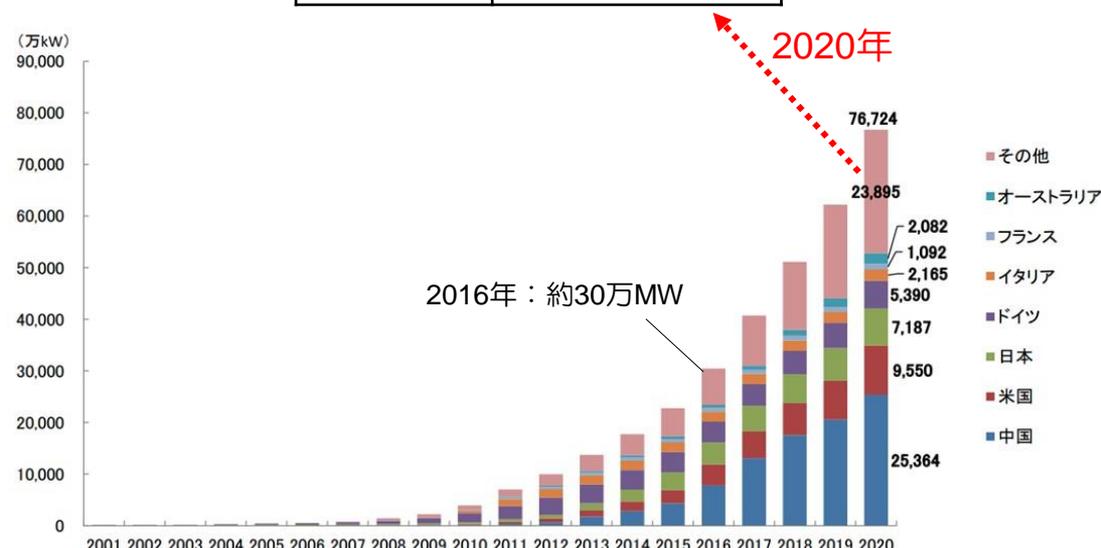
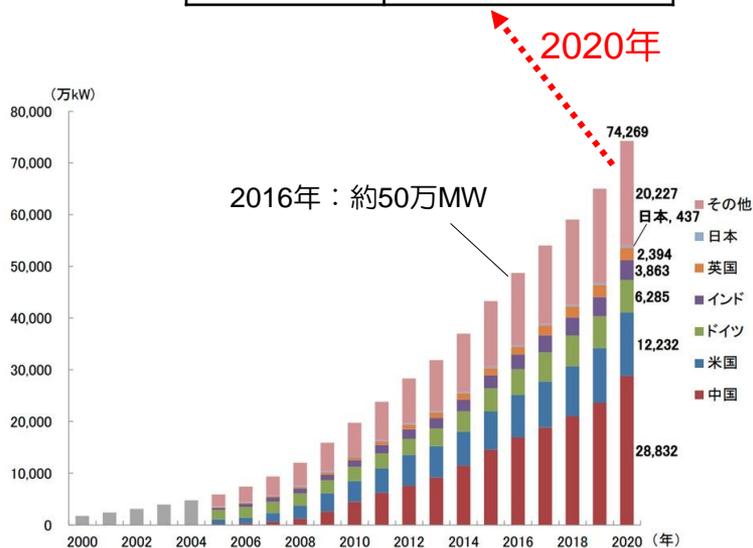
世界全体	74,269 万kW
日本	437 万kW

全世界の約 0.6 %

太陽光発電の累積導入量（発電設備容量）

世界全体	76,724 万kW
日本	7,187 万kW

全世界の約 9 %



世界の風力および太陽光発電の導入状況（累積導入量の推移）

【図の出展】 資源エネルギー庁：エネルギー白書2022、2022年

風力と太陽光の設備利用率の比較

風力発電の方が設備利用率は高い。日本の風力の設備利用率は全世界よりも低い。

経済産業省やNEDOによる設備利用率の指標（目安）は、現在、太陽光発電は13%、風力発電は陸上で20%、洋上で30%。

風力発電 (2020年)

	発電量 TWh	発電設備容量 万kW	設備利用率 %
世界全体	1596.4	74,269	24.5
日本	7.8	437	20.3

太陽光発電 (2020年)

	発電量 TWh	発電設備容量 万kW	設備利用率 %
世界全体	846.2	76,724	12.6
日本	75.1	7,187	11.9

設備利用率 [%] = 年間発電量 [kWh] / (年間時間数 (365×24) × 発電設備容量 [kW]) × 100 [%]

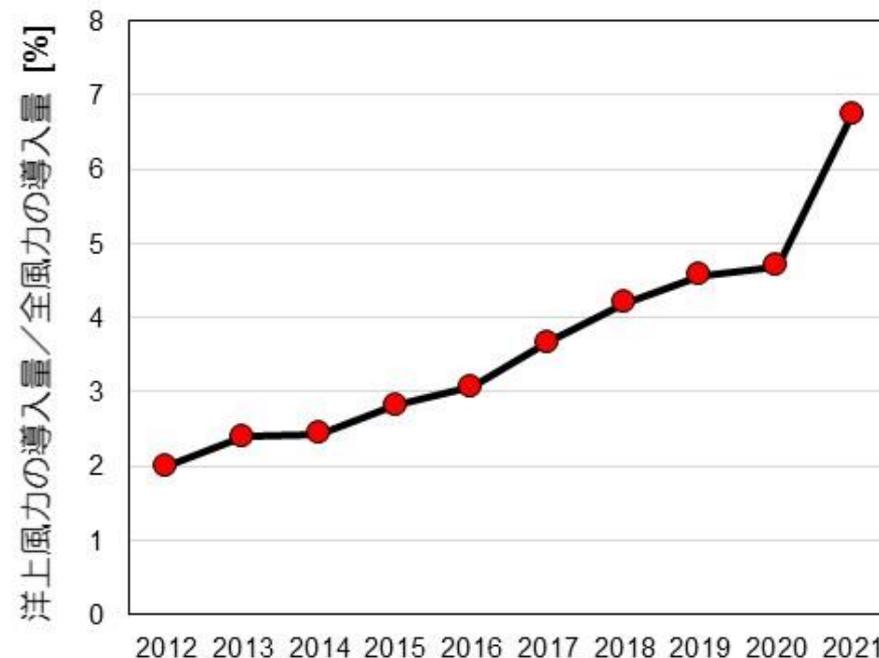
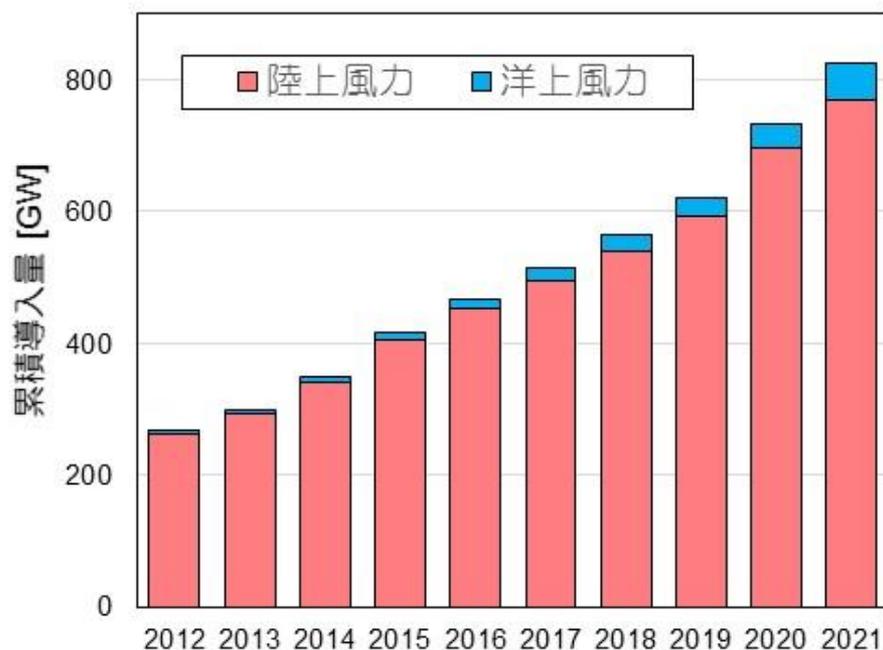
(参考) 稼働率 [%] = 年間稼働時間 / 年間総時間数 (365×24) × 100 [%]

【数値の出展】 < 発電設備容量 > 資源エネルギー庁：エネルギー白書2022、2022

< 発電量 > bp：Statistical Review of World Energy 2022 71st edition, 2022

風力発電のうちの洋上風力の比率

世界全体では陸上風力の方がまだ多いが、洋上風力の比率が年々高くなっている。



世界全体の風力の累積導入量（2012～2021年）

全風力のうちの洋上風力の比率

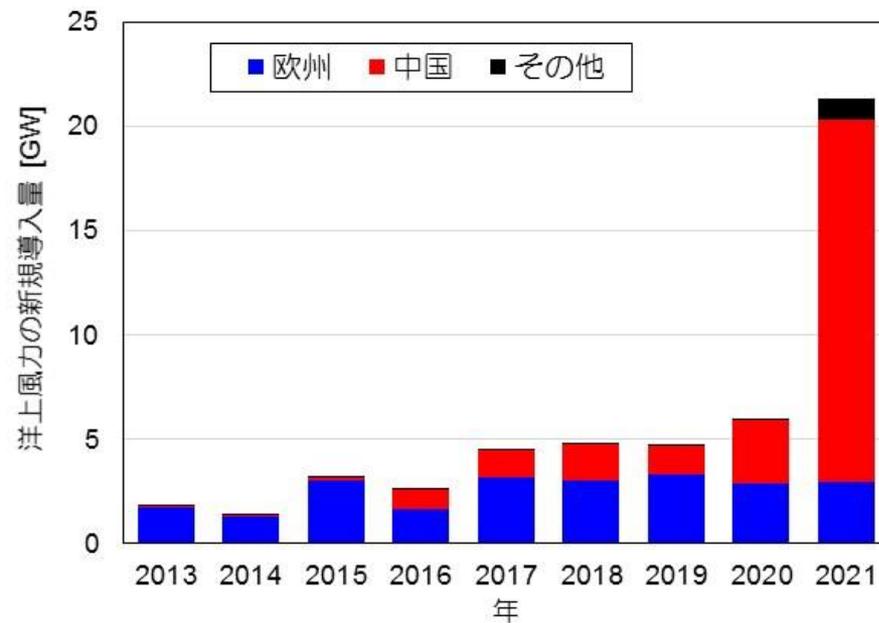
【図の出展】IRENA : Renewable Energy Capacity Statistics 2022 の数値をもとに作成

洋上風力の導入量

- 2021年の中国の伸びが特に大きく、2021年の世界全体の新規導入量のうちの80%以上が中国。中国の2021年の新規導入量は前年2020年の5倍以上で、英国を抜いて世界一の導入量となった。
- 欧州の2021年の新規導入量のうち約80%が英国。



年毎の累積導入量



各年の新規導入量

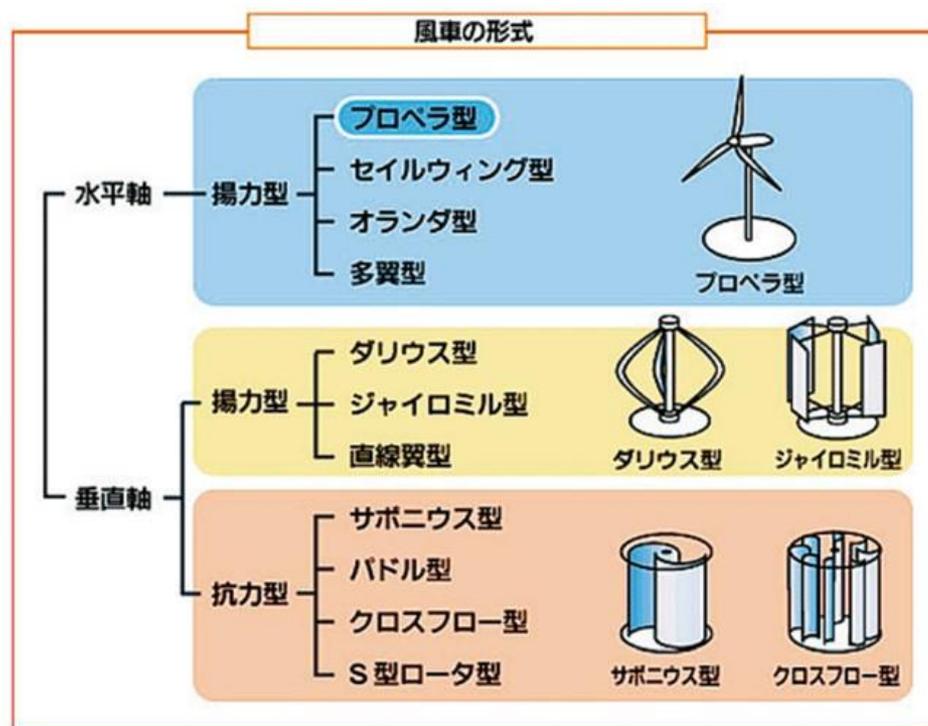
【図の出展】 IRENA : Renewable Energy Capacity Statistics 2022 の数値をもとに作成

本日の講演のトピックス

- ◆ 日本や世界における導入状況
- ◆ 風力発電や洋上風力発電の特徴
- ◆ 洋上風力発電に関連する国内の動向
- ◆ 洋上風力発電の課題と技術開発

風力発電について

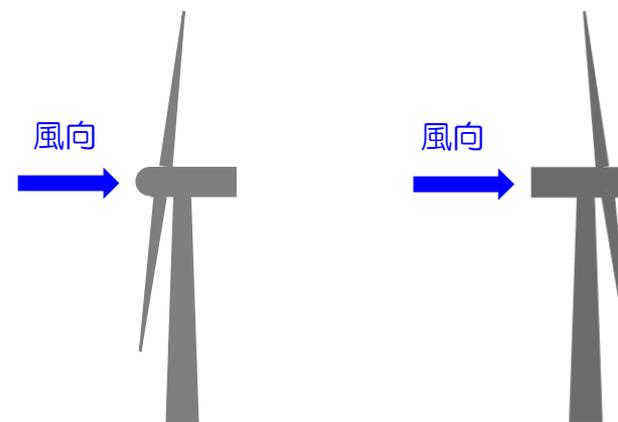
- 風の中で風車を回転させて、発電機によって回転運動を電気に変換する発電方式。
- 大型の風車ではプロペラ型が主流となっているが、他にも様々な形式の風車があり、発電効率や風向への依存性などの特徴の違いがある。



風車の型式

アップウィンド方式
(ロータがタワーの風上側)

ダウンウィンド方式
(ロータがタワーの風下側)



プロペラ型の2つの方式

【図の出展】 NEDO : NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第2版 —再生可能エネルギー普及拡大にむけて克服すべき課題と処方箋—、2014年

風力発電のメリットとデメリット

メリット

- ◆ 燃料が不要であるため、燃料調達のリスクや資源枯渇の心配がない。
- ◆ 発電時にCO₂を排出しないという点で環境負荷が小さい。
- ◆ 自然エネルギー発電の中では発電効率が高い（ただし水力よりは低い）。
- ◆ 太陽光発電と違って夜間も発電が可能である（デメリットの側面もある）。

デメリット

- ◆ 発電出力が時間的に変動し、不安定である。また、台風時など風が強すぎても発電ができない。
- ◆ 風況や周辺への環境影響（騒音、景観、シャドーフリッカー^(*)、バードストライクなど）の制約により適地が限られる。

(*) ブレードの影が回転して地上部に明暗が生じる現象。

洋上風力の特徴（陸上風力との比較）

メリット

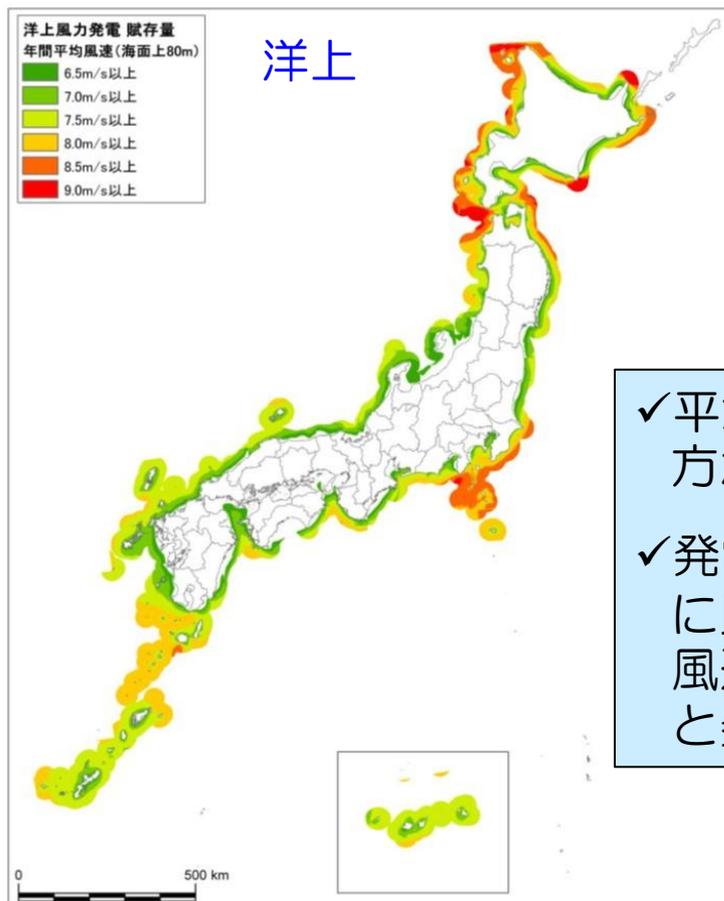
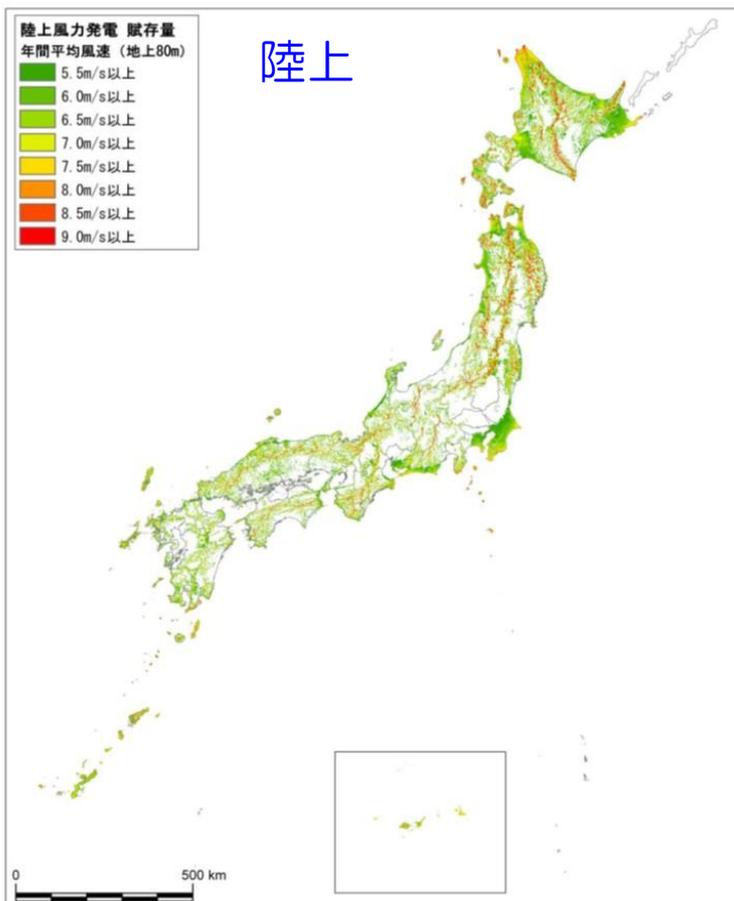
- ◆ 一般的には風況が良い（平均風速が大きい、十分な風速の時間が長い）。
- ◆ 風車の大型化や大規模化（多数の風車によるウィンドファーム化）が行いやすい。
- ◆ 発電損失や損傷・劣化の原因となる風の乱れ（短時間変動）が少ない。
- ◆ 日本の場合、設置可能な場所が広い（周囲が全て海）。

デメリット

- ◆ 初期費用が高い（設置工事のほか事前調査の費用も高額）。
- ◆ 稼働後の維持管理が大変（海上アクセス・洋上作業・曳航（浮体式の場合））。
- ◆ 風車の稼働率が低下するリスクが高い（復旧作業に時間がかかる。荒天時が長引くと現地作業が出来ず停止時間が長期化する）。
- ◆ 陸上まで送電するための設備が必要（海底送電ケーブル、洋上変電設備）。
- ◆ 漁業や海運業など先行利用者との合意形成が必要。

洋上風力の特徴(風況)

風力発電の賦存量 (※ 同じ風速の色が左図と右図で異なることに注意)

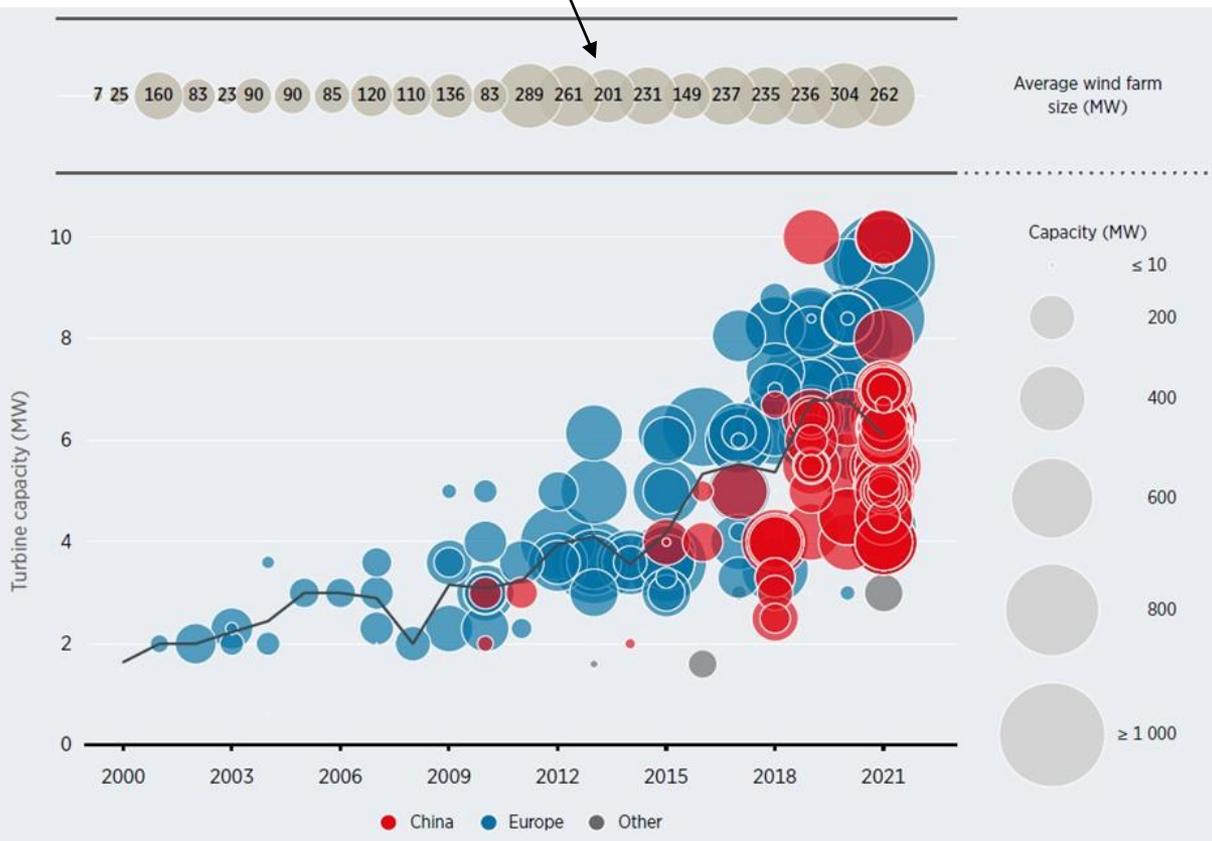


- ✓ 平均風速は洋上の方が大きい。
- ✓ 発電量は風速の3乗に比例するため、風速が20%大きいと発電量は約1.7倍。

【図の出展】 資源エネルギー庁：平成 22 年度新エネルギー等導入促進基礎調査事業（風力エネルギーの導入可能性に関する調査）、2011年

洋上風力の特徴（大型化と大規模化）

ウィンドファームの平均規模 [MW]



2000～2021年の洋上風力発電機の出力（○は全世界の各事業、黒線は加重平均）

【図の出展】 IRENA : Renewable Power Generation Costs in 2021

＜風車の大型化＞

- ✓ 発電量はロータ径の2乗に比例する。
- ✓ 上空のより強い風を利用することができる。
- ✓ 大型化によって発電コストが低下するケースが多いため風車の大型化が進んでいる。
- ✓ 大型化によってナセルへのロータ取付けなどの費用が大幅に上昇することから、大型化に即した新しい技術の必要性も指摘されている。

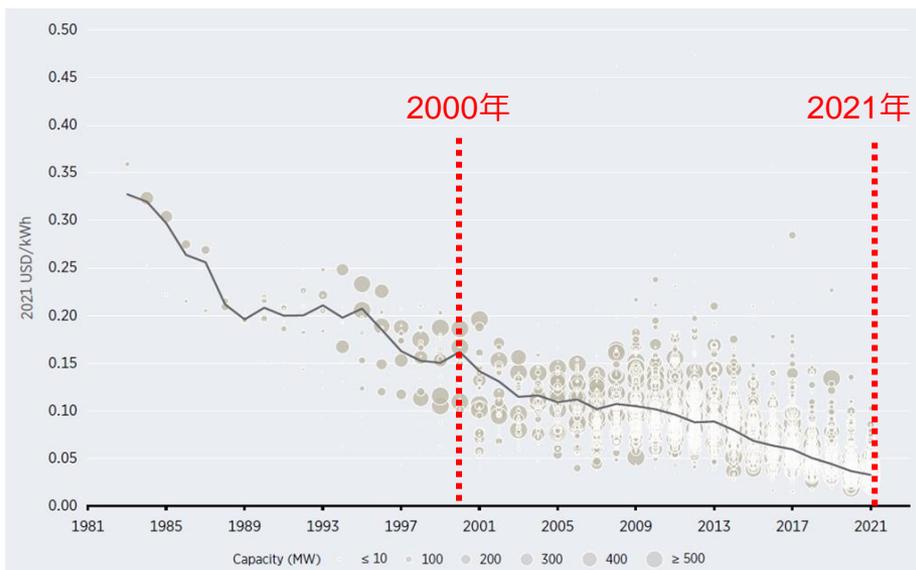
＜ウィンドファームの大規模化＞

- ✓ 発電量あたりの海底ケーブルや変電施設、運転監視施設などの費用を抑えることができる。
- ✓ 広い範囲で発電することで、風の変動による発電出力変動の平滑化も期待される。

陸上風力と洋上風力のコスト比較

➤ 欧州では2010年頃から洋上風力の建設が進み、コスト低減も進んでいる。

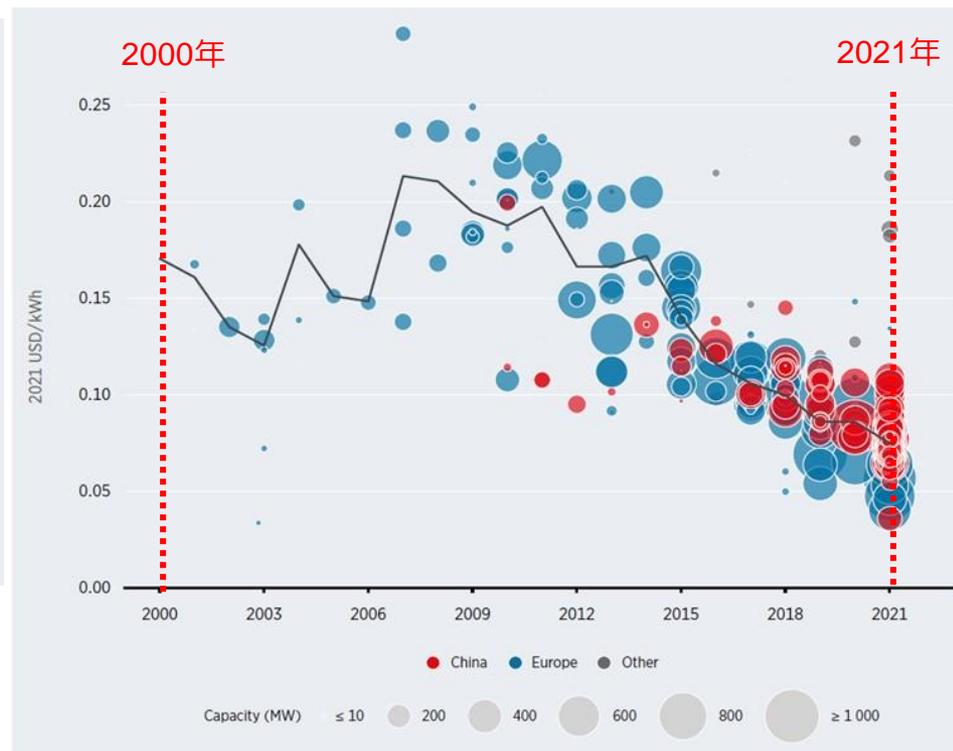
(○は全世界の各事業で黒線は加重平均したもの)



陸上風力のLCOE (1981~2021年)

最近は

- ✓ 陸上風力：平均で0.05 US\$ / kWh 以下
- ✓ 洋上風力：0.05~0.1 US\$ / kWh 程度



洋上風力のLCOEおよびオークション／電力購入契約価格 (2024年までに契約が見込まれる事業が対象)

【図の出展】 IRENA : Renewable Power Generation Costs in 2021

着床式と浮体式

着床式（水深0～50m）

浮体式（水深50～200m）



- 洋上風力発電には様々な設置方式があるが、大きく分けて、海底に固定する「着床式」と海に浮かべて係留する「浮体式」の2つの方式がある。
- 日本周辺は遠浅ではない海域が多いため、**導入量拡大のためには浮体式が重要。**

左からモノパイル式、4足ジャケット式、ねじれたジャケット式、半潜水式、緊張係留式、スパー式

【図の出展】 NREL : 2014-2015 Offshore Wind Technologies Market Report, 2015

浮体式の特徴（着床式との比較）

メリット

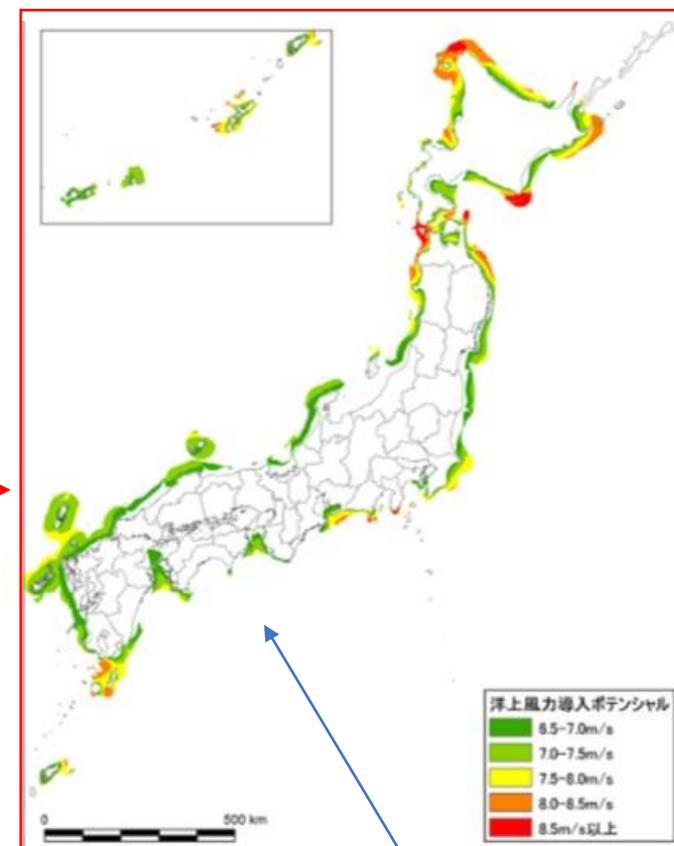
- ◆ 海底工事が極めて少ない。
- ◆ 地震・津波・高波の影響を受けにくい。
- ◆ 沖合であれば一般的には風況が良い。
- ◆ 事業を大規模化しやすい。
- ◆ 日本の場合、比較的沿岸に近い海域にも設置可能な場合が多い（遠浅でないため）。

デメリット

- ◆ 浮体式は海外でも実績がまだ少ないため、技術的に不確定な要素が多い。
- ◆ 工事時の海上アクセス距離が長くなることが多い。
- ◆ 海底ケーブル長が長くなることが多い。

国内の再エネ導入ポテンシャル推定例

エネルギー種	設備容量 (万kW)	発電量 (億kWh/年)
太陽光（住宅用等）	21,269	2,231
太陽光（公共系等）	14,689	1,537
風力（陸上）	28,576	6,932
風力（洋上）	141,276	（未推計）
中小水力（河川部）	901	513
中小水力（農業用水路）	30	（未推計）
地熱（熱水資源開発）	785~1,407	（未推計）
地熱（温泉発電）	72	（未推計）



開発不可条件：風速区分6.5m/s未満、水深200m以上、離岸距離30km以上、国定・国立公園

※ 前提条件（考慮する要因や閾値）によって数字が大きく変わること

【数値と図の出展】環境省：平成29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・公開に関する委託業務報告書、2019

国内の再エネ導入ポテンシャル推定例

エネルギー種	設備容量 (万kW)	発電量 (億kWh/年)
太陽光（住宅用等）	21,269	2,231
太陽光（公共系等）	14,689	1,537
風力（陸上）	28,576	6,932
風力（洋上）	141,276	（未推計）
中小水力（河川部）	901	513
中小水力（農業用水路）	30	（未推計）
地熱（熱水資源開発）	785~1,407	（未推計）
地熱（温泉発電）	72	（未推計）

「浮体式」に適した海域の方がポテンシャルは高い。

着床式（水深 0~50m）
→ 33,151 万kW

浮体式（水深 50m以上）
→ 108,125 万kW

※ 環境省による再エネポテンシャル調査の「経済的に実現可能なシナリオ」では、陸上273GW、洋上141GW。

開発不可条件：風速区分6.5m/s未満、水深200m以上、離岸距離30km以上、国定・国立公園

※ 前提条件（考慮する要因や閾値）によって数字が大きく変わること

【数値と図の出展】環境省：平成29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・公開に関する委託業務報告書、2019

国内の着床式のポテンシャル推定事例

以下のうち、(1)が前ページの結果

出展	条件	ポテンシャル
(1) 環境省 (2019年)	風速区分6.5m/s以上、水深200m未満、離岸距離30km未満、国定・国立公園以外、水深0～50m	33,151 万kW
(2) JWPA (2018年)	年間平均風速7m/s以上、20km ² 以上のまとまった面積を確保できる、5MW級風車の設置、水深10～40m → 10万kW以上の発電所を設置できる場所の条件	9,100 万kW
(3) NEDO (2011年)	年平均風速6.5m/s以上、特別保護地区/第1種特別地域を除く、区画漁業権区域を除く、送電線からの距離40km未満、離岸距離30km未満、水深0～50m等	21,313 万kW

【数値と図の出展】

- (1) 環境省：平成29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・公開に関する委託業務報告書（2019年1月）
- (2) 日本風力エネルギー協会「洋上風力発電の導入推進に向けて」2018年2月22日改訂
- (3) NEDO：平成23年度 成果報告書 風力等自然エネルギー技術研究開発 洋上風力発電等技術研究開発 浮体式洋上風力発電に係る基礎調査（2011年12月）

本日の講演のトピックス

- ◆ 日本や世界における導入状況
- ◆ 風力発電や洋上風力発電の特徴
- ◆ 洋上風力発電に関連する国内の動向
- ◆ 洋上風力発電の課題と技術開発

最近数年の国内動向

- ◆ 2018年 7月 第5次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2019年 4月 一般海域の長期占有を可能とする法律（再エネ海域利用法）の施行
- ◆ 2019年12月 長崎県五島市沖が促進区域に指定
- ◆ 2020年 2月 港湾法の一部を改正する法律の施行
- ◆ 2020年 7月 「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」の設立
- ◆ 2020年 7月 秋田と銚子の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2021年 6月 長崎県五島市沖の事業者が決定
- ◆ 2021年 6月 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の策定
- ◆ 2021年 9月 秋田県八峰町及び能代市沖が促進区域に指定
- ◆ 2021年10月 第6次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2021年12月 秋田と銚子の3海域の事業者が決定
- ◆ 2022年 9月 秋田・新潟・長崎の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2022年10月 「一般海域における占用公募制度の運用指針」の改訂

最近数年の国内動向

- ◆ 2018年 7月 **第5次エネルギー基本計画が閣議決定**
- ◆ 2019年 4月 一般海域の長期占有を可能とする法律（再エネ海域利用法）の施行
- ◆ 2019年12月 長崎県五島市沖が促進区域に指定
- ◆ 2020年 2月 港湾法の一部を改正する法律の施行
- ◆ 2020年 7月 「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」の設立
- ◆ 2020年 7月 秋田と銚子の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2021年 6月 長崎県五島市沖の事業者が決定
- ◆ 2021年 6月 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の策定
- ◆ 2021年 9月 秋田県八峰町及び能代市沖が促進区域に指定
- ◆ 2021年10月 **第6次エネルギー基本計画が閣議決定**
- ◆ 2021年12月 秋田と銚子の3海域の事業者が決定
- ◆ 2022年 9月 秋田・新潟・長崎の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2022年10月 「一般海域における占用公募制度の運用指針」の改訂

エネルギー基本計画と洋上風力

第5次エネルギー基本計画（2018年7月閣議決定）

第2章 2030年に向けた基本的な方針と政策対応／第2節 2030年に向けた政策対応／3. 再生可能エネルギーの主力電源化に向けた取組／②風力

- ✓ 海外では発電コストが大きく低減する中で、我が国の発電コストは依然高く、FIT制度における中長期的な価格目標（浮体式洋上風力発電を除く風力発電の発電コストの水準が、2030年までに8~9円/kWhとなることを目指す等）の実現を目指して、機器費・工事費・系統接続費等の大幅なコスト低減を図っていく必要がある。
- ✓ 洋上風力については、世界的にはコストの低減と導入拡大が急速に進んでいる。陸上風力の導入可能な適地が限定的な我が国において、洋上風力発電の導入拡大は不可欠である。欧州では、海域利用のルール整備とともに入札制度を導入することにより、この数年間で急速なコスト低減が進んでいる。欧州の洋上風力発電に関する取組も参考にしつつ、地域との共生を図る海域利用のルール整備や系統制約、基地港湾への対応、関連手続きの迅速化と価格入札も組み合わせた洋上風力発電の導入促進策を講じていく。また、着床式洋上風力の低コスト化に向けた実証や開発支援を行うとともに、浮体式洋上風力についても、技術の開発や実証を通じた安全性・信頼性・経済性の評価を行う。

第6次エネルギー基本計画（2021年10月閣議決定）

5. 2050年を見据えた2030年に向けた政策対応／（5）再生可能エネルギーの主力電源への取組／④電源別の特徴を踏まえた取組／(b)風力

- ✓ 気象・海象が似ており、市場拡大が見込まれるアジア展開を目指すことが重要である。そこで、競争力強化に向けて必要となる要素技術を特定するため2021年4月に策定した「洋上風力の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップ」に基づき、着床式・浮体式それぞれの国内外の動向、日本の特性や強み等を踏まえた次世代の技術開発に取り組む。特に、サプライチェーン構築に不可欠な風車や中長期的に拡大の見込まれる浮体式等については、要素技術開発を加速化し、長期間にわたる技術開発・実証等を一気通貫で支援する取組等を行う。
- ✓ また、政府間の協力関係の構築と国内外の企業の連携を促し、海外での洋上風力事業への参画等を検討する日本企業をF S や実証、ファイナンスで支援しつつ、浮体式の安全評価手法の国際標準化等を進める。

エネルギー需給見通し

経済産業省「長期エネルギー需給見通し」
(2015年)による2030年度の電源構成

第6次エネルギー基本計画(新計画)目標
需給両面における様々な課題の克服を野心的に想定した場合
に、どのようなエネルギー需給の見通しとなるかを示すもの。

(2019年 ⇒ 旧ミックス)

2030年度ミックス
(野心的な見通し)

省エネ	(1,655万kl ⇒ 5,030万kl)	6,200万kl
最終エネルギー消費(省エネ前)	(35,000万kl ⇒ 37,700万kl)	35,000万kl
電源構成	再エネ (18% ⇒ 22~24%)	36~38%*
発電電力量: 10,650億kWh ⇒ 約9,340 億kWh程度	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光 6.7% ⇒ 7.0% 風力 0.7% ⇒ 1.7% 地熱 0.3% ⇒ 1.0~1.1% 水力 7.8% ⇒ 8.8~9.2% バイオマス 2.6% ⇒ 3.7~4.6% 	<p>※現在取り組んでいる再生可能エネルギーの研究開発の 成果の活用・実装が進んだ場合には、38%以上の高み を目指す。</p> <ul style="list-style-type: none"> 1% 20~22% 20% 19% 2%
	<ul style="list-style-type: none"> 水素・アンモニア (0% ⇒ 0%) 原子力 (6% ⇒ 20~22%) LNG (37% ⇒ 27%) 石炭 (32% ⇒ 26%) 石油等 (7% ⇒ 3%) 	<p>(再エネの内訳)</p> <ul style="list-style-type: none"> 太陽光 14~16% 風力 5% 地熱 1% 水力 11% バイオマス 5%
(+ 非エネルギー起源ガス・吸収源)		
温室効果ガス削減割合	(14% ⇒ 26%)	46% 更に50%の高みを目指す
		陸上 : 17.9 GW 洋上 : 5.7 GW

【表の引用元】資源エネルギー庁：エネルギー基本計画の概要、2021年10月

【数字(右下のGW)の出展】資源エネルギー庁：今後の再生可能エネルギー政策について(総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/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(第40回)の資料1)、2022年4月

最近数年の国内動向

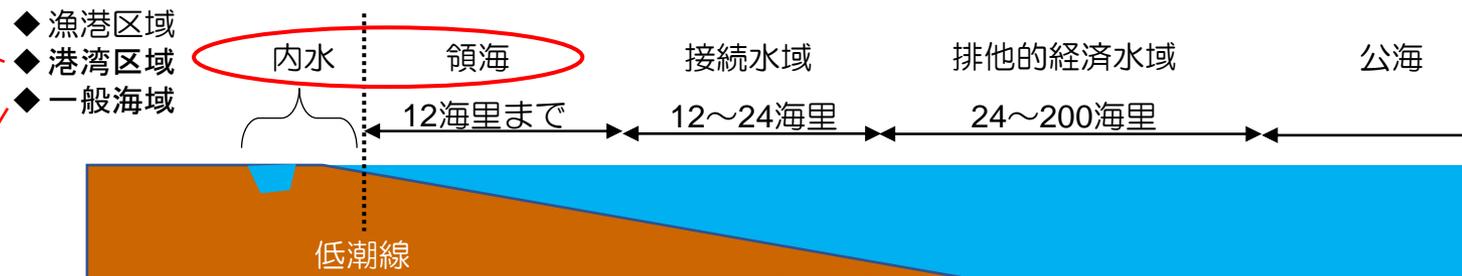
- ◆ 2018年 7月 第5次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2019年 4月 一般海域の長期占有を可能とする法律（再エネ海域利用法）の施行
- ◆ 2019年12月 長崎県五島市沖が促進区域に指定
- ◆ 2020年 2月 港湾法の一部を改正する法律の施行
- ◆ 2020年 7月 「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」の設立
- ◆ 2020年 7月 秋田と銚子の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2021年 6月 長崎県五島市沖の事業者が決定
- ◆ 2021年 6月 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の策定
- ◆ 2021年 9月 秋田県八峰町及び能代市沖が促進区域に指定
- ◆ 2021年10月 第6次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2021年12月 秋田と銚子の3海域の事業者が決定
- ◆ 2022年 9月 秋田・新潟・長崎の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2022年10月 「一般海域における占用公募制度の運用指針」の改訂

再エネ海域利用法

- 海域の占用に関する統一的なルールがない。
- 先行利用者との調整の枠組みが存在しない。

2016年の港湾法改正により長期の占用を確保するための制度が整備

上記の時点で海域の占用に関する統一ルールなし



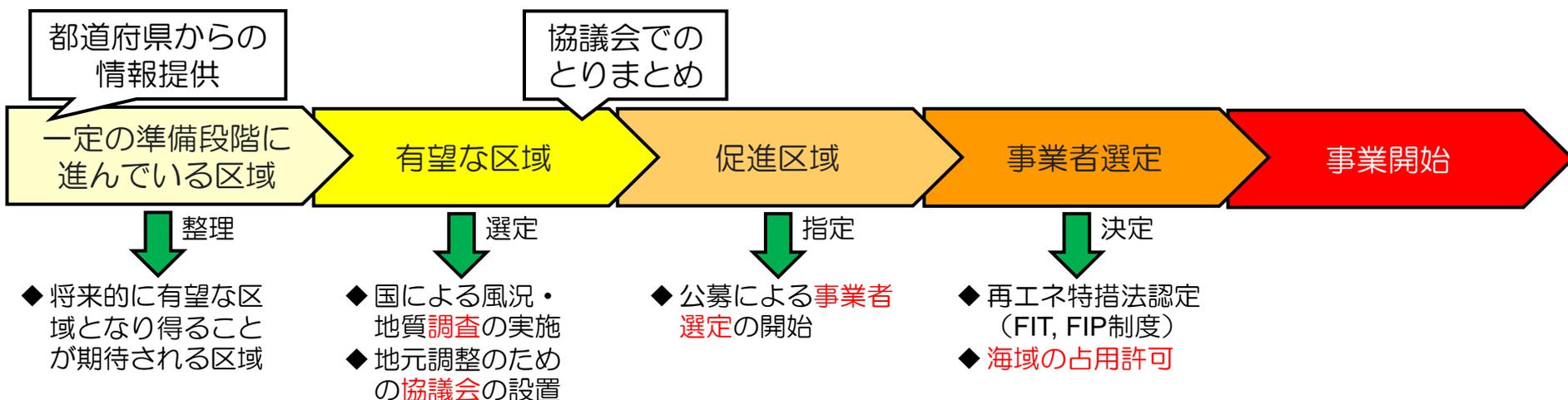
「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」(再エネ海域利用法) が2019年4月に施行

長期にわたり海域を占用する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を促進するため、基本方針の策定、促進区域の指定、当該区域内の海域の占用 等に係る計画の認定制度を創設する。

政府による

- ◆ 協議会の設置
- ◆ 促進区域の指定と公募占用指針の策定
- ◆ 公募の実施と事業者の選定
- ◆ 公募占用計画（事業者が作成）に基づく最大30年間の占用許可

整理・選定・指定された海域(1)



促進区域に既に指定された海域 (2022年10月時点)

海域名	2019年 7月30日	2019年 12月27日	2020年 7月3日	2020年 7月21日	2021年 6月11日	2021年 9月13日	2021年 12月24日	2022年 9月30日
長崎県五島市沖 (浮体)	○	◎			★			
秋田県能代市・三種町・男鹿市沖	○			◎			★	
秋田県由利本荘市沖 (北側・南側)	○			◎			★	
千葉県銚子市沖	○			◎			★	
秋田県八峰町及び能代市沖	△		○			◎		
秋田県男鹿市、潟上市及び秋田市沖	△					○		◎
新潟県村上市及び胎内市沖	△					○		◎
長崎県西海市江島沖	△		○					◎

【海域の情報】 経済産業省のニュースリリース等を基に作成

整理・選定・指定された海域(2)



促進区域にまだ指定されていない海域（2022年10月時点）

海域名	2019年 7月30日	2019年 12月27日	2020年 7月3日	2020年 7月21日	2021年 6月11日	2021年 9月13日	2021年 12月24日	2022年 9月30日
山形県遊佐町沖			△			○		
千葉県いすみ市沖						○		
青森県沖日本海側（北側）	△			○				
青森県沖日本海側（南側）	△			○				
千葉県九十九里沖（九十九里町、山武市及び横芝光町沖）								○
青森県陸奥湾	△							
北海道岩宇及び南後志地区沖			△					
北海道檜山沖			△					
北海道石狩市沖						△		
北海道島牧沖						△		
北海道松前沖						△		
岩手県久慈市沖（浮体）						△		
福井県あわら市沖						△		
福岡県響灘沖						△		
佐賀県唐津市沖						△		
富山県東部沖(入善町及び朝日町沖)								△

【情報源】 経済産業省のニュースリリース等を基に作成

最近数年の国内動向

- ◆ 2018年 7月 第5次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2019年 4月 一般海域の長期占有を可能とする法律（再エネ海域利用法）の施行
- ◆ 2019年12月 長崎県五島市沖が促進区域に指定
- ◆ 2020年 2月 港湾法の一部を改正する法律の施行
- ◆ 2020年 7月 「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」の設立
- ◆ 2020年 7月 秋田と銚子の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2021年 6月 長崎県五島市沖の事業者が決定
- ◆ 2021年 6月 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の策定
- ◆ 2021年 9月 秋田県八峰町及び能代市沖が促進区域に指定
- ◆ 2021年10月 第6次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2021年12月 秋田と銚子の3海域の事業者が決定
- ◆ 2022年 9月 秋田・新潟・長崎の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2022年10月 「一般海域における占用公募制度の運用指針」の改訂

運用指針の改訂について

2021年12月に行われた事業者選定の結果を受け、事業者選定のルールを見直す動きとなった。

<主な改訂点>

- ✓ 事業者の選定における評価の配点の変更（事業の実現性と早期の運転開始を重視）。
- ✓ 公募参加者一者あたりの落札規模の制限。

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
（再エネ海域利用法）（2018年12月公布）
（一般海域の占用に関するルール及び先行利用者との調整の枠組み）

一般海域における占用公募制度の運用指針
（2019年6月策定 → 2022年10月改訂）
占用公募制度の具体的な運用方針を記載したガイドライン

公募占用指針
促進区域の発電事業者を公募により選定するため海域毎に定めるもの

最近数年の国内動向

- ◆ 2018年 7月 第5次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2019年 4月 一般海域の長期占有を可能とする法律（再エネ海域利用法）の施行
- ◆ 2019年12月 長崎県五島市沖が促進区域に指定
- ◆ 2020年 2月 港湾法の一部を改正する法律の施行
- ◆ 2020年 7月 「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」の設立
- ◆ 2020年 7月 秋田と銚子の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2021年 6月 長崎県五島市沖の事業者が決定
- ◆ 2021年 6月 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の策定
- ◆ 2021年 9月 秋田県八峰町及び能代市沖が促進区域に指定
- ◆ 2021年10月 第6次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2021年12月 秋田と銚子の3海域の事業者が決定
- ◆ 2022年 9月 秋田・新潟・長崎の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2022年10月 「一般海域における占用公募制度の運用指針」の改訂

官民協議会（事務局は経産省と国交省）

趣旨（第1回官民協議会の資料より抜粋）

洋上風力発電は、再生可能エネルギーの中でも、大量導入が可能であり、また、コスト低減による国民負担の低減効果や経済波及効果が大きく、再生可能エネルギーの主力電源化に向けて不可欠な電源である。洋上風力の導入拡大を目的として2019年4月に施行された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（以下「再エネ海域利用法」という。）に基づき、着実にプロセスが進んでいる中、**洋上風力を主力電源としていくためには、産業の競争力を強化し、コストの低減をしっかりと進めることが重要**である。再エネ海域利用法を通じた洋上風力発電の導入拡大と、これに必要となる関連産業の競争力強化と国内産業集積及びインフラ環境整備等を、**官民が一体となる形で進め、相互の「好循環」を実現**していくため、「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」を設立する。

洋上風力産業ビジョン（第1次）（2020年12月に取りまとめ）の3つの目標

＜政府による導入目標＞

- ✓ 年間100万kW程度の区域指定を10年継続し、2030年までに1,000万kW、2040年までに浮体式も含む3,000万kW～4,500万kWの案件を形成する。

＜産業界が設定した目標＞

- ✓ 着床式の発電コストを、2030～2035年までに8～9円/kWhにする。
- ✓ ライフタイム全体での国内調達比率を2040年までに60%にする。

（参考）枠内の「2030年までに1,000万kWの案件を形成」について、第6次エネルギー基本計画（2021年10月閣議決定）における2030年時点の導入目標は5.7GW（570万kW）となっている。

欧州と日本の洋上風力導入目標

欧州以外では明確な目標値を掲げている国は少ない。

国名など\目標年	2027	2030	2035	2040	2045	2050
EU		≥60				≥300
英国		50				
ドイツ		30	40		≥70	
オランダ		22.2				
デンマーク		12.9				
ベルギー		5.7				
フランス			18			40
ポーランド	10.9 *					
ノルウェー				30		
アイルランド		5				30
スペイン		3				
欧州4か国 **		≥65				≥150
日本		5.7		30~45		

5.7GW（第6次エネルギー基本計画）
10GWの案件形成（官民協議会）

浮体式も含む30~45GW
の案件形成（官民協議会）

➤日本の導入目標は、洋上風力の導入が既に進んでいる欧州各国と較べても低くはない。

➤ただし、国別の電力消費量（または総発電量）の違いを勘案した洋上風力の占有比率も重要（日本の年間電力消費量はドイツの1.8倍、英国の3.1倍）

単位：GW

* 準備中・建設中の案件も含まれる

** エスビエル宣言による合同目標（ドイツ・デンマーク・ベルギー・オランダ）

【表の数値の出展（日本以外）】 GWEC：Global Offshore Wind Report 2022, 2022

最近数年の国内動向

- ◆ 2018年 7月 第5次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2019年 4月 一般海域の長期占有を可能とする法律（再エネ海域利用法）の施行
- ◆ 2019年12月 長崎県五島市沖が促進区域に指定
- ◆ 2020年 2月 **港湾法の一部を改正する法律の施行**
- ◆ 2020年 7月 「洋上風車の産業競争力強化に向けた官民協議会」の設立
- ◆ 2020年 7月 秋田と岩手県沖の海域が促進区域に指定
- ◆ 2021年 6月 長崎県沖の事業者が決定
- ◆ 2021年 港湾区域では2016年度の港湾法改正により長期の占有を確保するための制度が整備されている（占有期間20年以内）。
- ◆ 2021年 ↓ 2020年に行われた改正
- ◆ 2021年 ✓ 洋上風車の建設時に基地港の埠頭を長期借用できるようになった。
- ◆ 2022年 ✓ 港湾海域の占有期間が、従来の20年から一般海域と同じ30年に拡大された。
- ◆ 2022年

最近数年の国内動向

- ◆ 2018年 7月 「グリーン成長戦略において実行計画を策定した重点14分野」のうちの一つに「洋上風力」が位置付けられた。
- ◆ 2019年 4月 （本文から抜粋「洋上風力発電は、大量導入やコスト低減が可能であるとともに、経済波及効果が期待されることから、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた切り札である。」）
- ◆ 2019年12月
- ◆ 2020年 2月
- ◆ 2020年 7月
- ◆ 2020年 7月 グリーンイノベーション基金事業「洋上風力発電の低コスト化」が2022年1月に開始された。
- ◆ 2021年 6月 長崎県五島沖の事業者が決定
- ◆ 2021年 6月 **2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の策定**
- ◆ 2021年 9月 秋田県八峰町及び能代市沖が促進区域に指定
- ◆ 2021年10月 第6次エネルギー基本計画が閣議決定
- ◆ 2021年12月 秋田と銚子の3海域の事業者が決定
- ◆ 2022年 9月 秋田・新潟・長崎の3海域が促進区域に指定
- ◆ 2022年10月 「一般海域における占用公募制度の運用指針」の改訂

技術開発ロードマップとGI基金事業

技術開発ロードマップ（～2030年）

- 技術成熟度が比較的高い調査開発・着床式基礎製造・設置の技術開発は短期集中的に実施し、早期の低コスト化を目指す。
- 技術成熟度が比較的低いが、サプライチェーン構築に不可欠な風車や、中・長期的に拡大の見込まれる浮体式等についての要素技術開発を加速化。風車・浮体・ケーブル等の一体設計を行った実海域での実証を2025年前後に行うことにより、商用化に繋げる。

区分	分野	短期（2025年前後を目標）	中・長期（2030年前後を目標）
共通	①調査開発 (風況観測・配置最適化等)	日本の気象・海象に対応した風況観測手法やウェイク及び発電量予測モデルの高度化等で発電量予測を高度化する。	
	②風車 (風車設計・ブレード・ナセル部品・タワー等)	グローバルメーカーと協働しつつ、日本・アジア市場向けの洋上風車要素技術（風車仕様最適化、浮体搭載風車の最適設計、次世代風車要素技術開発、低風速域向けブレード等）を開発し、設備利用率の向上及び風車の高品質大量生産技術の確立によりコストを低減する。	
着床	③着床式基礎製造 (モノパイル・ジャケット等)	欧州で確立した基礎構造を、日本・アジアの地質・気候・施工環境等に最適化し、信頼性と低コスト化を実現する。（複雑な地質・厳しい気象海象条件に対応した基礎構造、タワー・基礎接合技術の高度化、基礎構造用鋼材の高強度化、低コスト施工技術の開発、洗掘防止工の高度化等）	
	④着床式設置 (輸送・施工等)		
浮体	⑤浮体式基礎製造 (浮体・係留索・アンカー等)	浮体基礎の最適化、係留システムの最適化、浮体の量産化、ハイブリッド係留システム等の要素技術開発を進め、風車・ケーブル等との一体設計を行う。	
	⑥浮体式設置 (輸送・施工等)	設置についても低コスト施工技術の開発等により低コスト化を図る。	
共通	⑦電気システム (海底ケーブル、洋上変電所等)	日本の技術の強みを活かした高電圧送電ケーブルや、浮体式で必要となる高電圧ダイナミックケーブル、浮体式洋上変電所、次世代洋上直流送電技術等の開発によりコストを低減する。	
	⑧運転保守 (O&M)	コストの35%程度を占めるメンテナンスを運転保守及び修理技術の開発、デジタル技術による予防保全・メンテナンス高度化、監視及び点検技術の高度化、落雷故障自動判別システムの開発等によりコストを低減する。	

赤枠の4項目が
グリーン
イノベーション
基金事業の対象

【図の出展】洋上風力の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップ、第3回 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会作業部会資料、2021年4月（※ 一部加筆）

本日の講演のトピックス

- ◆ 日本や世界における導入状況
- ◆ 風力発電や洋上風力発電の特徴
- ◆ 洋上風力発電に関連する国内の動向
- ◆ 洋上風力発電の課題と技術開発

洋上風力の課題（主に技術的なもの）

- 設置場所が洋上であるため、事前の調査、設置工事、運開後の点検や部品交換などに多額の費用がかかる。
 - ⇒ 遠隔観測や遠隔監視等の技術の活用による低コスト化に加えて、認証基準や法令の見直しなど制度面の整備も重要。
- 海上工事や維持管理の作業可否が天候の影響を受けやすい。
 - ⇒ 作業の空振りや見逃しによる費用のロスを低減させるため、気象・海象を高い精度で予測する技術が重要。
 - ⇒ 故障時の風車停止時間を短くする（風車の稼働率を高くする）ため、早い段階で劣化や故障を察知する計測等の技術も重要。
- 先行利用者（漁業・海運業など）との合意形成が必要。
 - ⇒ モニタリング・評価手法の確立が必要。また、マイナス面の影響の評価だけでなく、風車の設置場所が漁礁となるなどプラス面の評価も重要。

洋上風力の課題（主に技術的なもの）

- ▶ 洋上風力では多数の風車によるウィンドファーム（WF）が形成されるケースが多いため、風上側の風車の影響を受けた風（後流）がWF全体の発電出力や個々の風車へ作用する荷重に影響を及ぼす。
 - ⇒ 計画時における最適な風車配置の検討が必要。
 - ⇒ 運転時の風速・風向に応じたWF内の個々の風車を動的に制御する技術^(*)も有用。また、数分以内の短い時間先の風速や風向の変化を高い精度で予測する技術も必要。

- (*) 本来は、風車の発電出力が最大となるようナセルの向きと風向が平行になるように制御するが、以下の目的のために個々の風車を意図的に平行ではない角度に制御する技術。
 - WF全体の発電出力を最大化する。
 - WF全体の発電出力の急変を緩和する。
 - 個々の風車の部材の破損や疲労を回避する。

発電方式（着床式・浮体式）別の課題

着床式

- 先行している欧州が日本よりも10年程度進んでいるため、まずは欧州で培われた知見を活用することが重要。
- 一方で、欧州とは異なる日本固有の事情を考慮した技術開発が必要。



- ✓ 地理条件：陸域地形・海底地形が急峻な地域が多いなど
- ✓ 自然条件：台風、冬季雷、地震、津波、海流、黄砂など
- ✓ 環境条件：希少野生生物の保護、生物の付着・蛸集など
- ✓ 社会事情：漁業との協調・共生、地域振興、拠点港整備など
- ✓ 系統事情：送電設備、出力変動対策（蓄電等）など

浮体式

- 欧州でも本格的な商用化がようやく始まりつつあるという段階であるため技術的な課題はまだ多い。制度や技術基準の面でも不十分な個所が多い。
- 日本は世界的にみても浮体式の実証事例が多いため、これらの経験・知見を活かした国内での技術開発は有望であると思われる。

世界の浮体式洋上風力プロジェクト

導入されている浮体式洋上風力発電プロジェクトの概要（2019年1月時点）

	Hywind	WindFloat ※事業終了	環境省浮体式洋上風力発電実証事業	福島沖での浮体式洋上風力発電システム実証研究事業	Hywind pilot park	FloatGen	次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究（バージ型）
事業規模	2.3MW	2.0MW	2.0MW	14.0MW	30MW	2.0MW	3.0MW
実施海域	ノルウェー	ポルトガル	日本	日本	英国	フランス	日本
稼働開始年	2009年	2011年	2013年	2013年 2015年 2016年	2017年	2018年	2018年 (設置年)
設置基数	1基	1基	1基	3基	5基	1基	1基
浮体形状	Spar	Semi-Sub	Spar	Semi-Sub Semi-Sub Spar	Spar	Pontoon	Pontoon
水深	220m	40-50m	100m	120m	95-120m	33m	50m
離岸距離	10km	5km	1km	20km	25km	20km	15km
風力発電設備メーカー	Siemens 2.3MW	Vestas 2.0MW	日立製作所 2.0MW	日立製作所 2.0MW 三菱重工業 7.0MW 日立製作所 5.0MW	Siemens 6MW	Vestas 2.0MW	Aerodyn 3.0MW
係留索数	3本	4本	3本	6本 8本 6本	3本	6本	9本

- 浮体式に関しては、日本でも多くの実証試験が行われており、一部は商用運転もされている。浮体の形状も多様である（スパー・セミサブ・アドバンストスパー・バージ）。
- さらに長崎県五島市沖では16.8MW（8基）の事業の設置工事が2024年1月の運転開始に向けて進められている。

【表の出展】浮体式洋上風力発電導入マニュアル、福島洋上風力コンソーシアム、2019年3月（※一部加筆）

国際的な技術開発の取組みの例

IEA Wind (IEA Wind Technology Collaboration Programme)
 (国際エネルギー機関風力技術協カプログラム)

- 風力新技術の研究開発における効率的な国際協力の推進
- 高品質な風力情報の収集と風力技術・政策・普及の分析等
 - ⇒ 各国の風力関連施策、研究開発プログラム策定に対する支援
- 2021年12月時点で17Taskが実施中。うち、日本は青字の8Taskに参加。また、最近承認された新規TaskのうちTask44への参加を手続き中。
- Task40 (ダウンウィンド風車) は日本が提案したTask。
- Task11で検討中の案件や新Taskから最近の技術課題の把握が可能。

Task11	基礎技術交換	Task37	風力発電システムの全体設計
Task19	寒冷気候における風力発電	Task39	低騒音風車
Task25	風力大量導入時の電力システムの設計と運用	Task40	ダウンウィンド風車
Task26	風力発電のコスト	Task41	分散型風力
Task28	風力発電事業の社会受容性	Task42	寿命延長
Task29	風洞実験計測データ解析と風車空力モデルの改良	Task43	デジタル化セッション
Task30	洋上風車動的解析コード比較・検証	<以下、最近新規実施が承認された新Task>	
Task31	ウインドファーム流れモデルのベンチマーク	Task44	風力発電所のフロー制御 (手続き中)
Task32	風計測ライダの風力発電への導入	Task45	ブレードリサイクル
Task34	風力発電における環境影響の低減策	Task46	リーディングエッジ浸食
Task36	風力発電予測		

IEA Wind と国際規格 (IEC) との関係

IEA Wind はIECとは独立した組織であるが、IEA WindのTask11（基礎技術交換）で策定される推奨基準（Recommended Practice）が風力発電に係るIEC 61400シリーズの原案となるケースが多く、風力技術の国際標準化に対して大きな貢献を果たしている。

最近策定・改訂された Recommended Practice の例

- 寒冷地の風力発電プロジェクト（2017改訂）
- O&M最適化の為にウィンドファームデータ収集及び信頼性評価（2017）
- 浮体式ライダーシステム（2017）
- 風力発電の系統連系に関する調査（2018改訂）
- 高乱流サイトにおける小形風車のマイクロサイティング（2018）
- 再生可能エネルギー発電電力量予報（2019）



まとめ

◆ 日本や世界における導入状況

- 日本では太陽光発電の普及が先行しているが、世界的には風力発電の普及が進んでおり、風力全体に占める洋上風力の比率が年々高くなっている。
- 国のエネルギー需給見通しで風力の比率が前回（2015年策定）から大幅増。

◆ 風力発電や洋上風力発電の特徴

- 陸上風力と較べるとコストはまだ高いが、「風況がよい」「大規模化や風車の大型化がしやすい」といった点でコスト面の優位性が高い。
- 周辺海域が遠浅でない日本では、浮体式の導入拡大が必要。

◆ 洋上風力に係る国内の動向

- エネルギー基本計画で必要性が明示されたことに加え、一般海域の占有に関する法整備、官民協議会による導入目標の設定などによって計画案件が増加。

◆ 洋上風力に係る課題と技術開発

- 浮体式は技術的な課題がまだ多い。着床式は先行している欧州等の知見を活用しながら国内固有の課題に対応する技術が必要。
- 最新技術や規格への反映に関しては、IEA Windのような国際的な取組みに注視。