



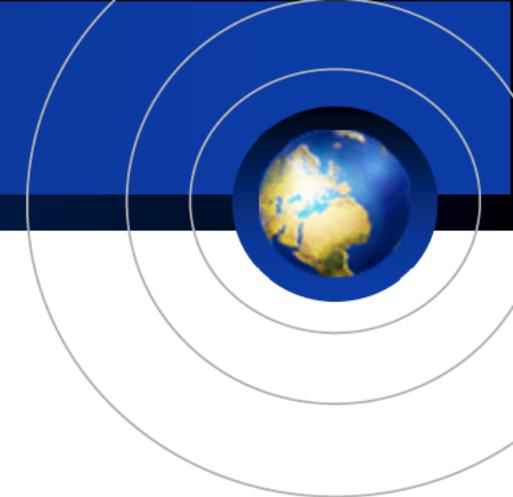
風力発電設備の廃棄・リサイクルについて



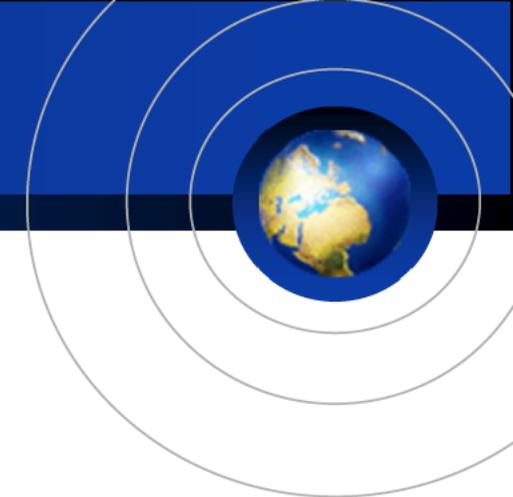
2023年7月18日

一般社団法人 日本風力発電協会

<http://jwpa.jp>

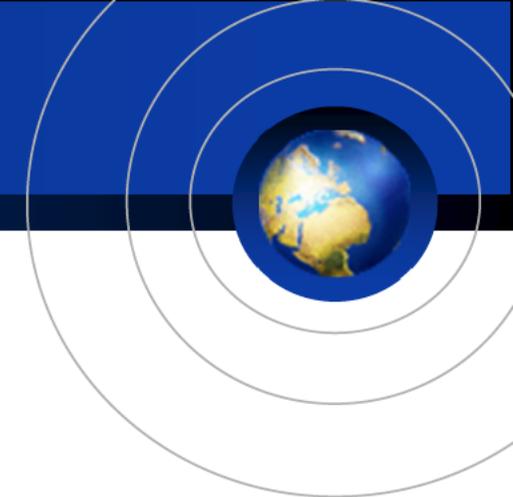


- JWPAの概要
- 風力発電の導入状況と今後の撤去数の見込み
- 風力発電設備の構造・原材料・撤去方法
- 風力発電事業者の取り組み
- 欧州の取り組み・動向
- 今後の取り組み



- JWPAの概要
- 風力発電の導入状況と今後の撤去数の見込み
- 風力発電設備の構造・原材料・撤去方法
- 風力発電事業者の取り組み
- 欧州の取り組み・動向
- 今後の取り組み

JWPAの概要



- 沿革
 - 2001年12月17日:任意団体設立
 - 2005年 7月 4日:有限責任中間法人設立
 - 2009年 5月27日:一般社団法人へ移行
 - 2010年 4月 1日:風力発電事業者懇話会と合併

- 会員構成
 - 風力発電に係る全ての業種**541法人・団体**(2023年7月1日現在)
 - 正会員:317 / 賛助会員:203 / 自治体会員:21
 - 風力発電事業者、風車メーカー、風車代理店、風車構成部品メーカー、土木建築、電気工事、輸送建設、メンテナンス、コンサルタント、ファイナンサー、保険、風力発電立地自治体(都道府県・市町村、公営企業)など
 - 国内風力発電設備容量の**約90%以上**をJWPA会員がカバー

- ミッション・ビジョン・バリュー
 - <ミッション>
風力発電の普及・拡大を通じて、人々に安心して安定した暮らしを届け、持続可能な社会の実現を目指す。
 - <ビジョン>
脱炭素社会の実現に向け各界の知識、経験、総意を結集して、風力発電の最大限の導入、運用をリードする。風力発電を経済的に自立した主力電源にするとともに、国際的にも競争力のある風力発電産業を構築することを目指す。
2030年に向けて
 - 洋上風力 10GW、陸上風力 26GWの達成
 - 全国規模での系統一体運用の実現
 - 洋上風力関連産業の基盤形成
 - <バリュー>
脱炭素社会の実現に向け各界の知識、経験、総意を結集して、風力発電の最大限の導入、運用をリードする。風力発電を経済的に自立した主力電源にするとともに、国際的にも競争力のある風力発電産業を構築することを目指す。

JWPA環境・社会行動指針



- JWPA環境・社会行動指針を2023年4月に公表(弊協会HPで閲覧可能)。
- 本指針の中では、弊協会に所属するすべての会員が遵守すべき行動規範の理念を記載し、“循環型社会の実現”として、以下を記載。

<循環型社会の実現>

➤ 廃棄物抑制

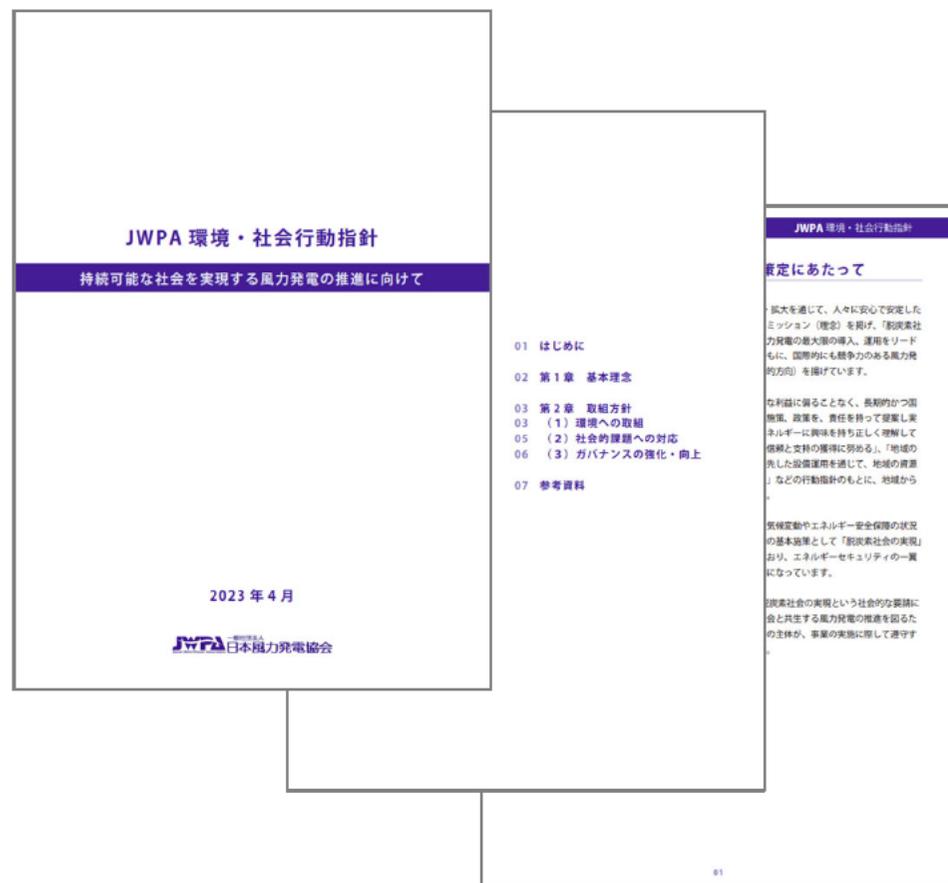
廃棄物の排出が少ない事業計画の策定や製品の選択等、**廃棄物の発生抑制に努めます。**

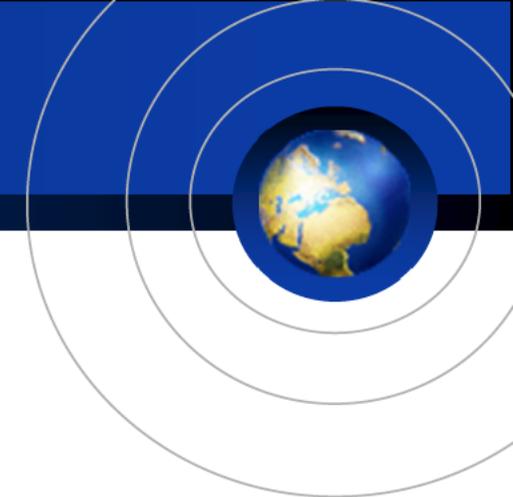
➤ リユース・リサイクル

再利用可能な原材料を選択するとともに、工事に使用した資材や使用後の風力発電設備等について**再利用・再生利用に努めます。**

➤ 老朽化発電設備への対応

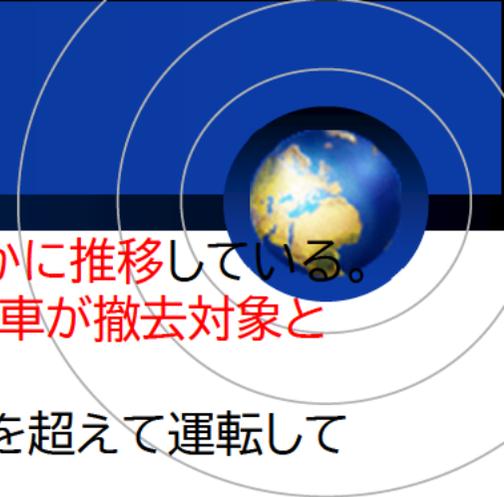
長期に稼働して老朽化した風力発電設備は、リプレイスにより発電効率の向上と環境負荷の抑制等に努めるとともに、**撤去する場合には、適切な処理を進めます。**



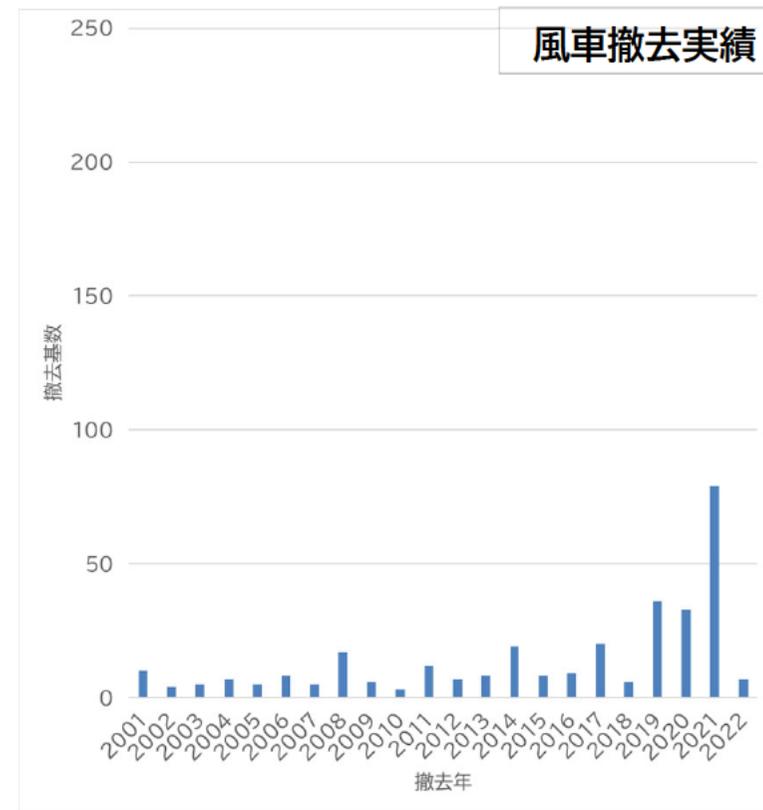
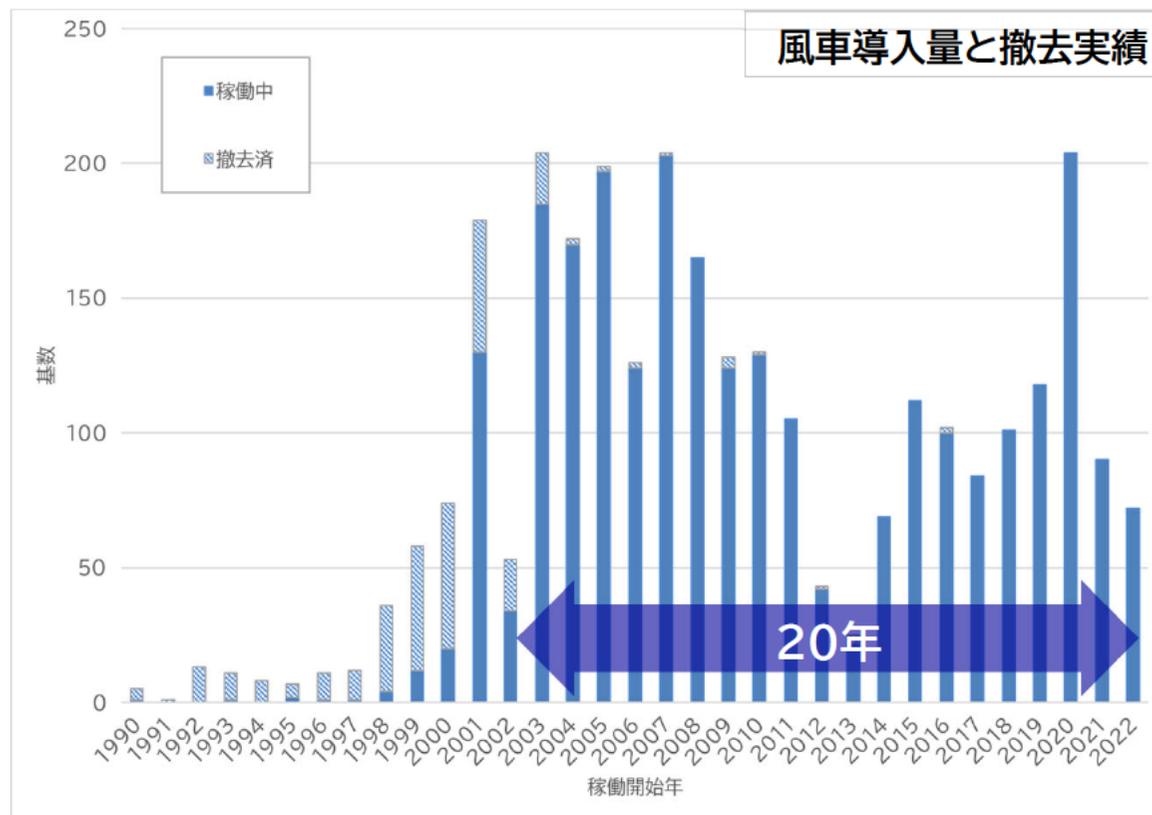


- JWPAの概要
- 風力発電の導入状況と今後の撤去数の見込み
- 風力発電設備の構造・原材料・撤去方法
- 風力発電事業者の取り組み
- 欧州の取り組み・動向
- 今後の取り組み

風力発電の新規導入量・撤去実績の推移

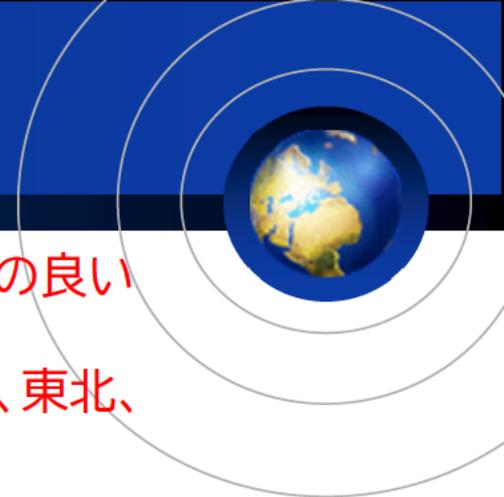


- FITが導入された後に爆発的に導入された太陽光と比較すると、風力は緩やかに推移している。
- 風車の設計耐用年数は20年のため、現時点から20年以上前に設置された風車が撤去対象となることから、新規導入時期から廃棄予定時期を推測することが可能。
- ただし、必ずしも20年で撤去することを定められているわけではなく、20年を超えて運転している風車も存在する。
- 2003年ごろから新設風車は100～200基で推移しており、今後は年間で100～200基の撤去が想定される。



風力発電の新規導入量(単年毎)の推移と撤去状況／撤去実績

風力発電ポテンシャルマップ



- 日本の風力発電のポテンシャルは、陸上においても、洋上においても、**風況の良い地域は、全国均一にあるわけではなく、偏在している。**
- 陸上風力では**北海道、東北**のポテンシャルが大きく、洋上風力では、**北海道、東北、九州**のポテンシャルが大きい。

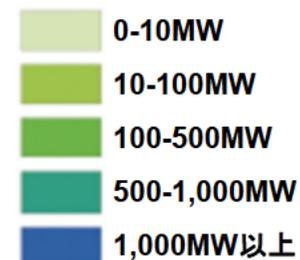


市町村別陸上風力
ポテンシャル

洋上風力
ポテンシャル

設置容量

年平均風速(地上高140m)



陸上: 変換平均風速6.0m/s以上、
社会的制約条件を考慮

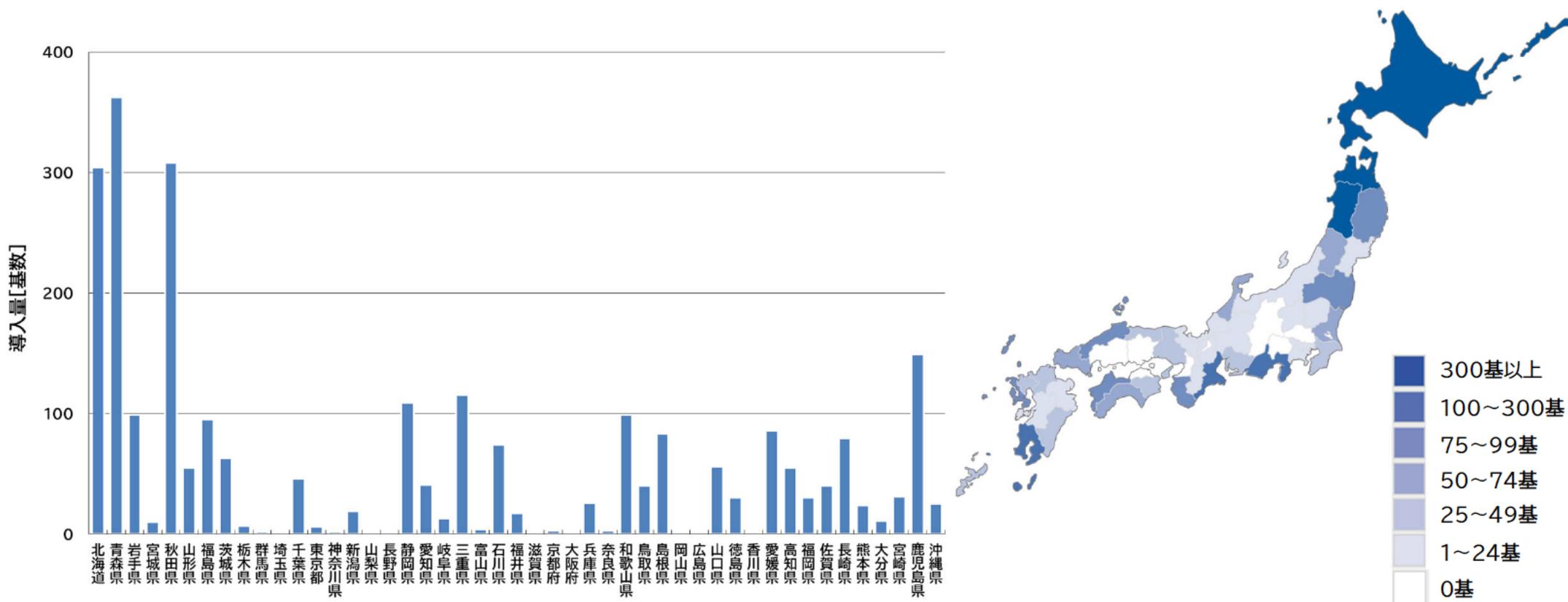
洋上: 離岸距離30km未満、水深200m未満
社会的制約条件を考慮、諸島を除く

出典: 風力発電ポテンシャルマップ

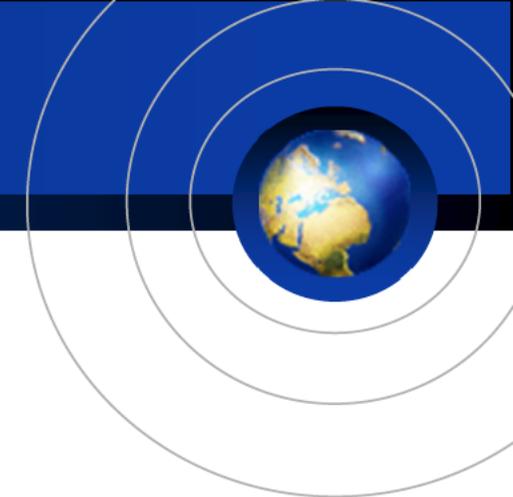
都道府県別の風力発電導入基数



- 風車の設置エリアは、全国一様ではなく、北海道、東北地方など風況の良いエリアに偏在している。
- 今後の導入においても、新規・リプレースともに風況が良い地域に設置されていく。

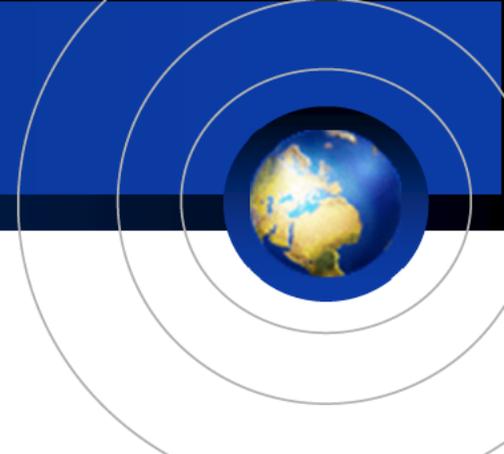


都道府県別の陸上・洋上風力発電設置基数(2022年12月末時点)



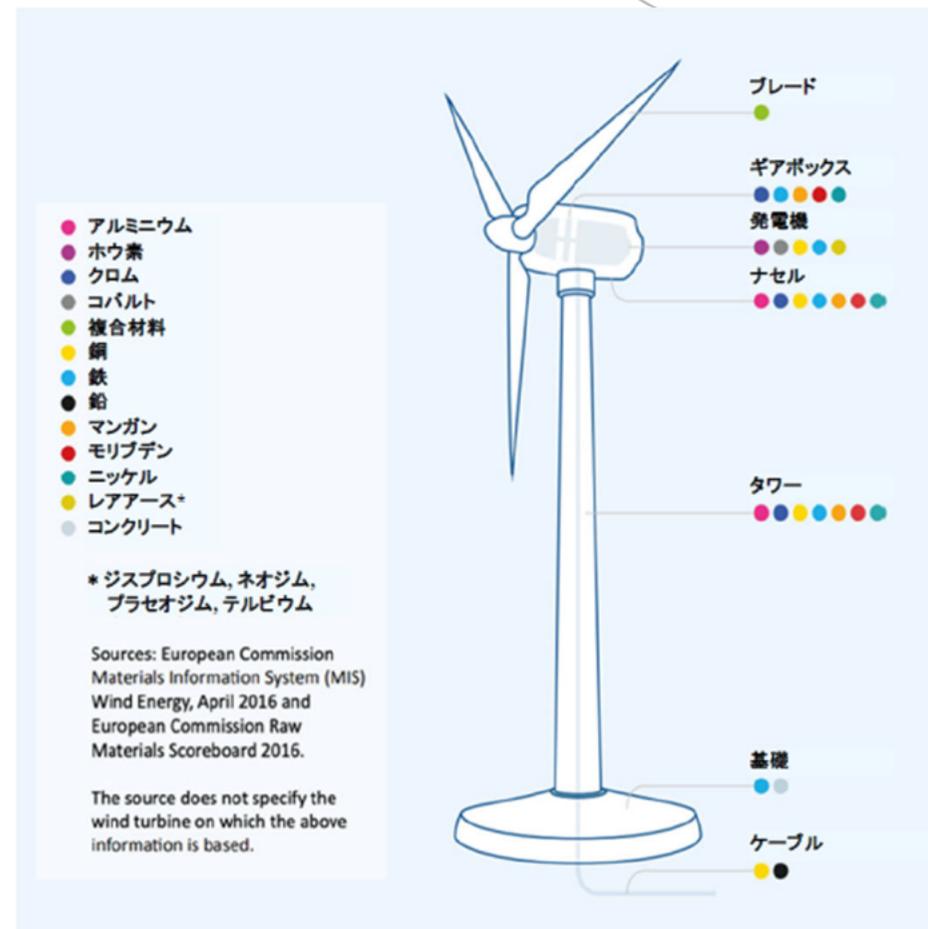
- JWPAの概要
- 風力発電の導入状況と今後の撤去数の見込み
- **風力発電設備の構造・原材料・撤去方法**
- 風力発電事業者の取り組み
- 欧州の取り組み・動向
- 今後の取り組み

風力発電設備の主な原材料



- 風車部品・重量などは2MW級風車を参考に記載するが、機種や出力によって異なる。
- 発電機(PMSG)は原材料にレアアース(ネオジム他)も含まれている。

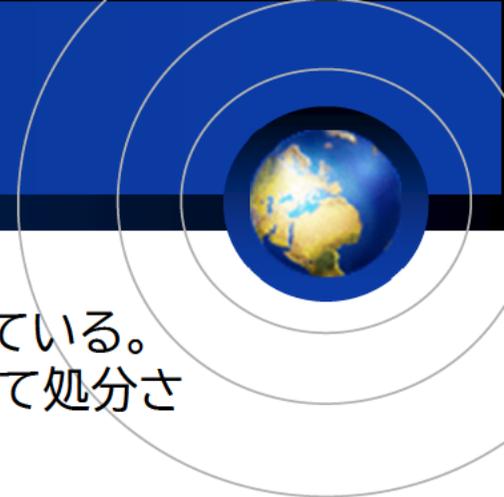
風車部品	原材料											部品重量 (2MW級参考)		
	アルミニウム	ホウ素	クロム	コバルト	複合材料	銅	鉄	鉛	マンガン	モリブデン	ニッケル		レアアース	コンクリート
ブレード					●									6~11トン
ギアボックス		●	●			●	●			●				ナセルに含む
発電機		●		●		●	●					●		ナセルに含む
ナセル	●		●		●	●	●		●	●	●			61~108トン
タワー	●		●			●	●		●	●	●			100~234トン
基礎							●						●	1,000トン
ケーブル						●	●							—



風力発電機の典型的な設備構成と主な原材料

出典:平成26年3月 使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する調査結果(環境省、経産省)、Decommissioning of Onshore Wind Turbine(Wind Europe)、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説第13章参考資料(重量関係)を参考にJWPAにて作成

風車の解体手順(例)



- 風車の解体は、基本的に**建設工程と逆の手順**となる。
- 解体後は、それぞれ、材料に応じて**産廃**もしくは**リサイクル**の処理がなされている。
- **ブレードは無償**もしくは**費用を払って処分**しており、**大半が産業廃棄物**として処分されていると考えられる。



(ローターの取外し)



(ローター・ナセルの解体)



(ナセルの取外し)



(タワーの解体・運搬)

図 3-20 風車の解体事例

出所) Green-Ener-Tech Denmark ウェブページ

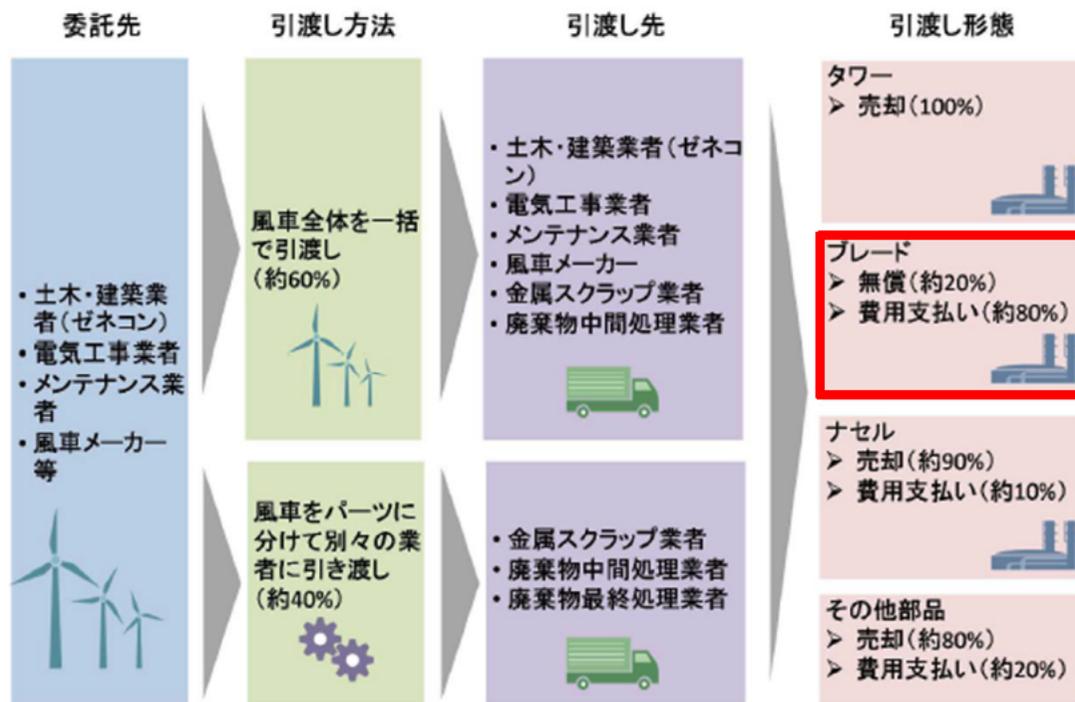


図 3-31 風車の撤去・引渡しフロー

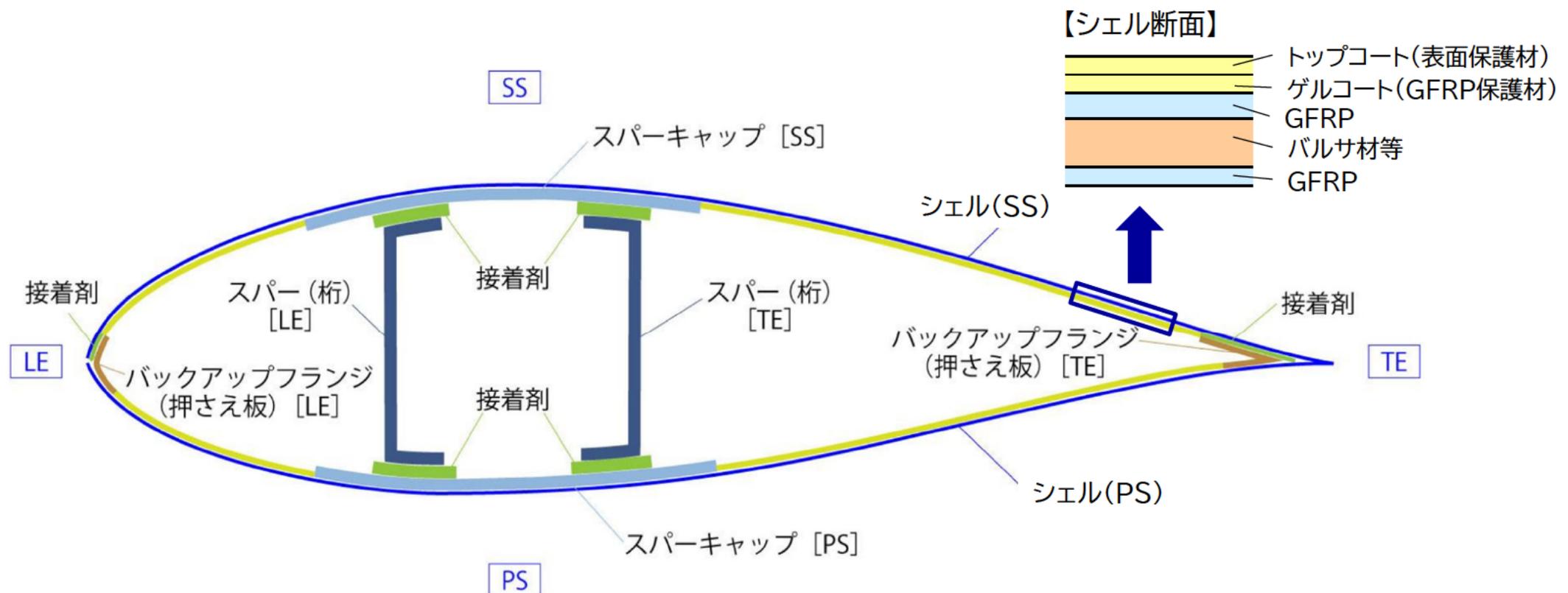
風車の解体事例／風車撤去・引渡しフロー

出典:平成26年3月 使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する調査結果(環境省、経産省)

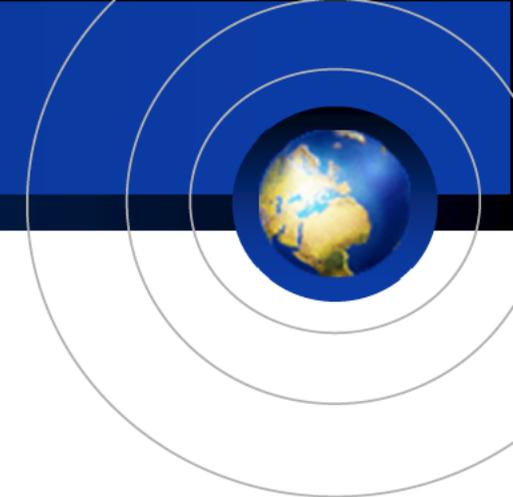
(参考)風車ブレード構造



- 風車ブレードのシェル部分は、主にバルサ材とGFRP(ガラス繊維強化プラスチック)またはCFRP(炭素繊維強化プラスチック)などの樹脂で固めた複合材料である。
- GFRP、CFRPは、リユース・リサイクルが困難な点が課題であり、具体的には、樹脂と繊維の分離が難しいこと、樹脂成分を燃焼または溶解させて、分離しても、繊維の方向が多様であるため、個々の繊維に戻すことが困難であること、分離後は繊維長が短くなって強度が低下するため、再利用先が限定されること等が挙げられる。

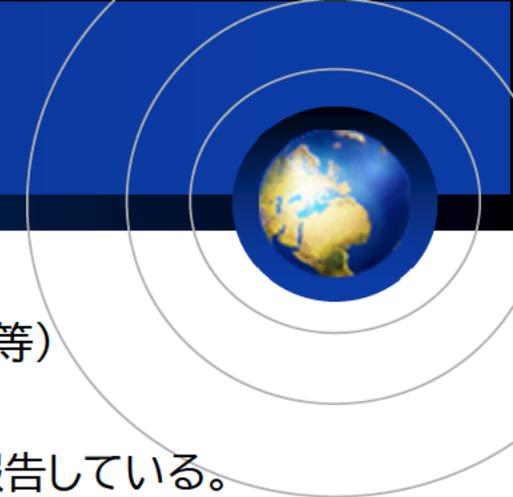


出典 JEAG 5005-2017, 第23回新エネルギー発電設備事故対応・構造強度WG資料から引用



- JWPAの概要
- 風力発電の導入状況と今後の撤去数の見込み
- 風力発電設備の構造・原材料・撤去方法
- **風力発電事業者の取り組み**
- 欧州の取り組み・動向
- 今後の取り組み

風力発電事業者の取り組み



- 撤去費用の積立について
 - ✓ 各社積立を実施している。(事業費に見込んで積立、資産除去債務として処理等)
- 風力発電所の管理・メンテナンスについて
 - ✓ 電気事業法に基づき定期安全管理審査／定期事業者検査を定期的にも実施・報告している。

(参考)事業計画策定ガイドライン(風力発電)より抜粋

- ① 廃棄等費用(発電事業が終了した時点で必要となる、風力発電設備の解体・撤去及びそれに伴い発生する廃棄物の処理に係る費用)の総額を算定した上で、事業計画を策定すること。〔再エネ特措法施行規則第5条第1項第8号〕
- ② 廃棄等費用については、排出事業者等の見積りに基づいて算定するように努めること。
- ③ 計画的な積立て等により、事業終了後の廃棄等費用の適切な確保に努めること。

【解説】

①②について、再エネ特措法に基づく調達価格/基準価格の算定に当たって、廃棄等費用が考慮されているため、撤去及び処分に際して必要な費用は調達期間/交付期間を通じて確保できるものと考えられる。なお、廃棄等費用の見積り取得が困難である場合には、調達価格/基準価格の算定において想定している資本費の5%以上が一つの目安となる。

③について、事業終了時に廃棄等費用を確実に確保するためには、その負担を分散させるために、継続的に積み立てることが望ましい。なお、廃棄等費用の積立てに際しては、資産除去債務に該当し、会計上の費用算入が認められる場合があるため、公認会計士等へ相談することが有益である。

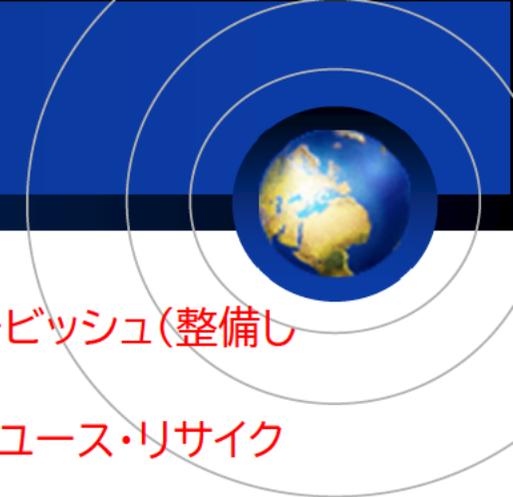
なお、再エネ海域利用法に基づき事業を実施する場合は、同法に基づく公募占用指針等に記載された撤去に係る事項に従うこと。

(参考)定期安全管理審査／定期事業者検査(概要)

電気事業法に基づき、各事業者は、定期安全管理審査(3年毎)、定期事業者検査(部品毎に半年・1年・3年程度の周期)を実施し、第三者機関を経由して経産省／産業保安監督部に報告している。

対象の発電設備は、発電出力:500kW以上としているので、中・大型機の風力発電所は概ね対象となることから、基本的に操業管理者が不在となる(管理されないまま放置される)ことはない。

風力発電事業者の取り組み

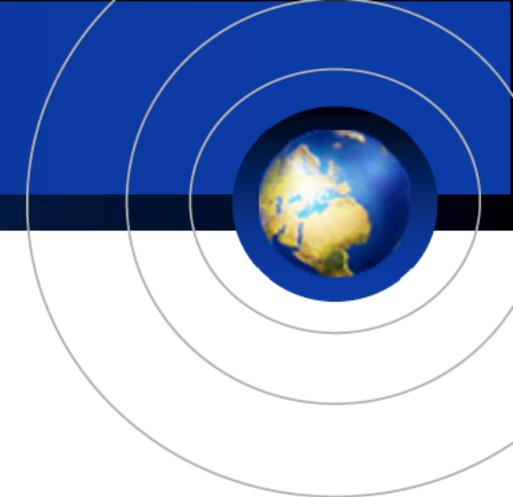


■ 各製品の廃棄・リサイクルについて

- ✓ 同一事業者内で同型機器を使用している場合は、増速機・発電機等をリファービッシュ(整備して新品に近い状態に戻すこと)して予備品化することも検討。
- ✓ ブレード(GFRP、CFRP)：現時点では裁断して産廃処理が主流なるも、リユース・リサイクルも進められている(以下に記載)。
- ✓ タワー：裁断して有価物(鉄くず)としてリサイクル。
- ✓ ナセル内機器：抜油等の必要な作業をしたのち、可能なものは有価物(鉄くず)としてリサイクル。その他は産廃処理。
- ✓ ケーブル：銅部分については有価物処理。その他は産廃処理。
- ✓ 基礎：コンクリートは破碎して砕石利用。

(参考)ブレードの廃棄・リユース・リサイクル技術について

- ✓ ブレード本体を裁断して埋立処分(GFRP・CFRP)
- ✓ 別用途にリユース(GFRP・CFRP)(P21参照)
- ✓ 産業廃棄物として焼却・燃焼(サーマルリサイクル)(GFRP) ⇒ 残留物(埋立)
- ✓ 共焼却・セメントとしてリサイクル(GFRP)
 - セメント製造工程のセメントキルン(焼成窯)にてセメント原料と共焼却
 - ⇒ 樹脂は燃料として燃焼(サーマルリサイクル)
 - ⇒ ガラス繊維(SiO₂)がセメント原料になる(ケミカルリサイクル)
 - ※ 既に運用されているセメント再資源化プロセスに投入することで可能
 - ※ コンクリート素材として塩素含有量に留意が必要であり、ウレタン樹脂等が使用されているブレードの場合は、素材としての大量利用は難しい場合がある。(塩素含有量が多いコンクリートは、経年的に鉄筋の劣化等が発生しやすくなるため)
- ✓ 分離回収技術(カーボンと樹脂を分離)(ケミカルリサイクル)(CFRP)
 - ⇒ カーボン繊維を回収
 - ⇒ 新たにCFRPを製造(部品、建築資材、アウトドア製品など)
- ✓ 骨材として再利用



- JWPAの概要
- 風力発電の導入状況と今後の撤去数の見込み
- 風力発電設備の構造・原材料・撤去方法
- 風力発電事業者の取り組み
- **欧州の取り組み・動向**
- 今後の取り組み

欧州の取り組み・動向

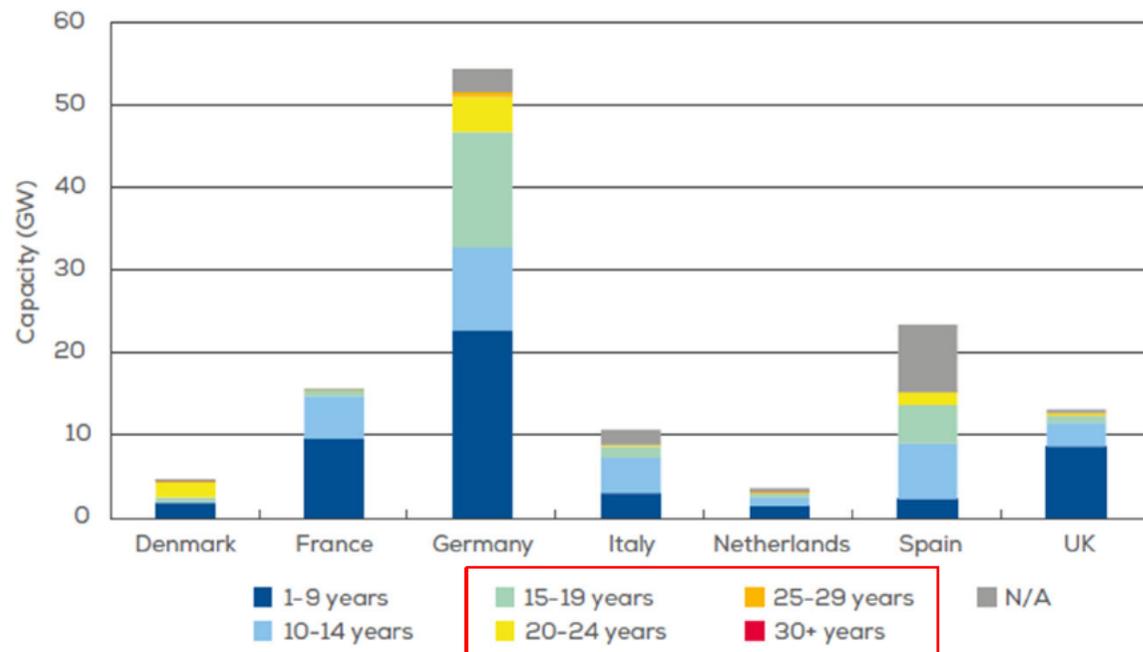


■ 欧州の状況

- ✓ 2020年時点において、**34,000基の風車が15年以上経過**しており、発電容量としては、約36GWである。このうち、約9GWは建設から20～24年、約1GWは25年以上経過している。日本国内では、15年以上経過している風車は2022年末時点で1,085基(約1.39GW)で、欧州の約30分の1)である。
- ✓ 今後、**欧州では陸上風力発電の廃止に関する大きな市場が想定**される。一方で、風車の廃止に関する国際基準は存在していない。

FIGURE 2

Age distribution of the onshore wind fleet in Europe in GWs



出典:Wind Europe

Source: WindEurope

欧州の取り組み・動向



■ 欧州の取り組み

- ✓ 欧州においても、ブレードのリサイクルは課題として認識されており、Wind Europe（欧州の風力発電協会）は、**廃止された風力発電機のブレードの再利用・リサイクル**に積極的に取り組んでいる。
 - **廃止のガイドラインを作成するためのタスクフォース**を立ち上げ、検討を進めている。
 - また、**風車ブレードの埋め立てによる廃棄を2025年までに禁止**することを提唱している。
- ✓ ブレードの複合材料は、風車のタービンだけでなく、航空・自動車・海上輸送・建築など様々な分野で用いられており、ブレードのリサイクル技術は、**他業界においても有用なソリューション**と位置付けられている。



Decommissioning of Onshore Wind Turbines

Industry Guidance Document

Wind
EUROPE

欧州における産学の分野横断的な取り組み



■ DecomBlades

- ✓ 風車ブレードの持続可能なソリューションの商業化に向け、業界全体のリサイクルインフラの基礎を形成する取り組み。
- ✓ 大手風車メーカー(VESTAS、SGRE、LM Wind Power)、Orsted、リサイクル・廃棄産業、DTU等の大学を含む10社・団体により構成されるコンソーシアム。
- ✓ デンマークイノベーション基金による産学官共同出資事業。

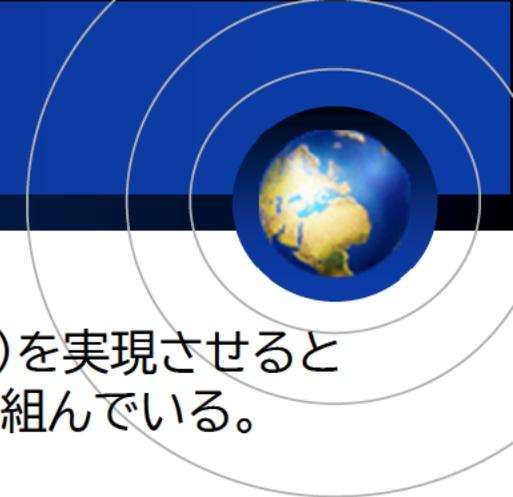
■ CETEC (Circular Economy for Thermosets Epoxy Composites)

- ✓ 老朽化した風車ブレードなどの熱硬化性エポキシ複合材料(既設風車に用いられている素材)のリサイクル技術の開発。
- ✓ Vestas、Olin(樹脂メーカー)、デンマーク工科大学(DTU)、オーフス大学が共同で立ち上げ。
- ✓ デンマークイノベーション基金が一部支援する産学連携プロジェクト。

■ ZEBRA (Zero Waste Blade Research)

- ✓ 熱可塑性材をベースにした100%リサイクル可能な風車ブレードの設計・製造を行い、技術的、経済的、環境的な実証を行う(2022年にプロトタイプを製造)。
- ✓ LM Wind Power、Arkema(樹脂メーカー)、CANOE(リサイクル技術)、Engie(発電所オペレータ)、Owens Corning(ガラス繊維・複合材料)、SUEZ(リサイクル技術)が参画。
- ✓ フランスの研究センターIRT Jules Verneが支援・推進するパートナーシップ。

各風車メーカーの取り組み



■ VESTAS社

- ✓ 2040年までに廃棄物ゼロの風車(zero-waste wind turbines)を実現させるという野心的な目標を掲げており、風車のリサイクル技術の開発に取り組んでいる。
- ✓ 「DecomBlades」と「CETEC」に参画。

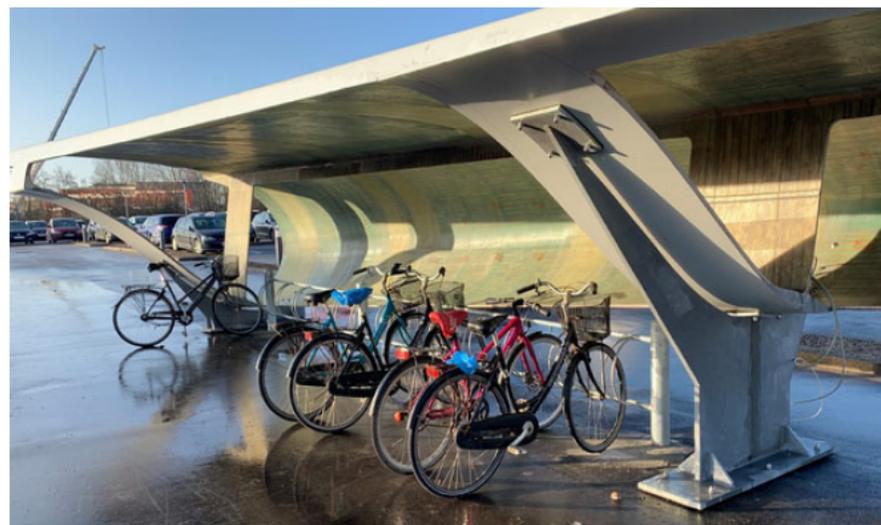
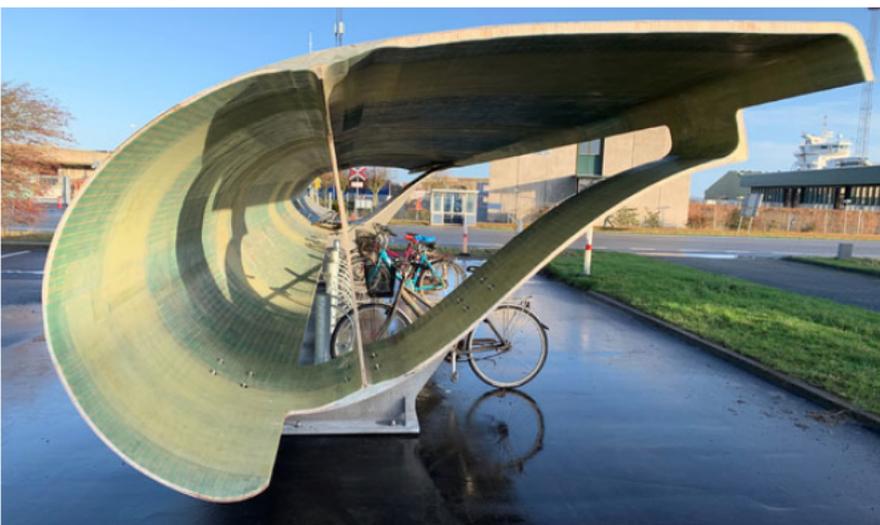
■ SGRE社

- ✓ 2040年までに完全にリサイクル可能な風車の提供を目標としている。
- ✓ リサイクル可能な「Recyclable Blade」を2021年に開発し、2022年にリリース(実プロジェクトに納入)。
- ✓ この技術により材料を他の業界でリサイクルして再利用することが可能になる。
- ✓ 「DecomBlades」に参画。

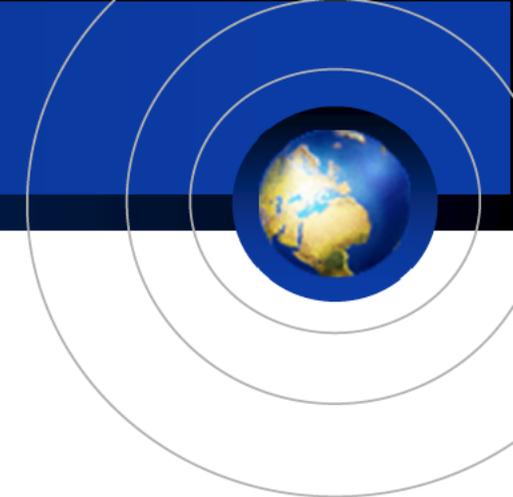
■ GE社／LM Wind Power社

- ✓ 2030年までにZero Waste Bladeを生産することをコミット。
- ✓ LM Wind Powerはリサイクル可能なブレードの技術開発を進めており、「DecomBlades」に参画し、産学横断で「ZEBRA PJ」を立ち上げ。
- ✓ ZEBRA PJで、100%リサイクル可能なブレードとして2022年にプロトタイプを製造。

(参考)ブレードのリユース事例



出典:Wikado Playground is Built From Recycled Wind Turbine Blades in The Netherlands(INHABITAT)(上段2つ)、
Re-Wind/Port of Aalborg(Baltic Transport Journal)(下段2つ)



- JWPAの概要
- 風力発電の導入状況と今後の撤去数の見込み
- 風力発電設備の構造・原材料・撤去方法
- 風力発電事業者の取り組み
- 欧州の取り組み・動向
- 今後の取り組み

今後の取り組み



欧州などの海外の知見(制度設計、新技術など)を収集するとともに、産学官が連携して、**廃棄・リサイクル産業と分野横断的な取組みを進め、風力発電のリユース・リサイクルに関する国内体制を構築する必要がある。**

その手始めとして以下のような対応を進める。

- ✓ 適切な運用の促進(教育と意識啓発)
JWPA環境・社会行動指針で示す理念に基づき、風車の運用と撤去・廃棄に関し、各事業者**に適切な運用を促していく**
- ✓ データ収集と共有
国内風車の**撤去とリサイクル関連のデータの収集と共有**