

欧州洋上風力発電の現況

LEAD THE VALUE

2018年11月

株式会社 三井住友銀行

コーポレート・アドバイザー本部 企業調査部

- 本資料は、情報提供を目的に作成されたものであり、何らかの取引を誘引することを目的としたものではありません。
- 本資料は、作成日時点で弊行が一般に信頼できると思われる資料に基づいて作成されたものですが、情報の正確性・完全性を弊行で保証する性格のものではありません。また、本資料の情報の内容は、経済情勢等の変化により変更されることがありますので、ご了承ください。
- ご利用に際しては、お客さまご自身の判断にてお取扱いくださいますようお願い致します。本資料の一部または全部を、電子的または機械的手段を問わず、無断での複製または転送等することを禁じております。



三井住友銀行

1. 欧州洋上風力発電の市場動向	2
2. 洋上風力拡大の背景	6
3. 洋上風力における課題	11
4. 日本企業のビジネスチャンス	14
ご参考資料	19

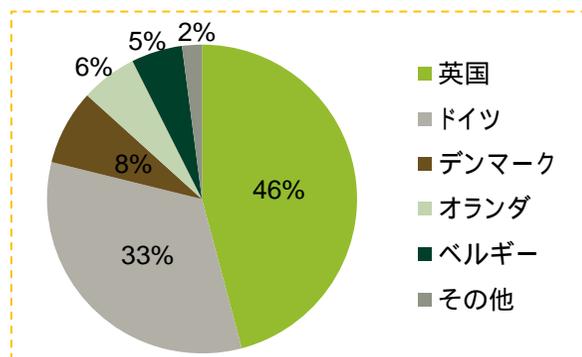
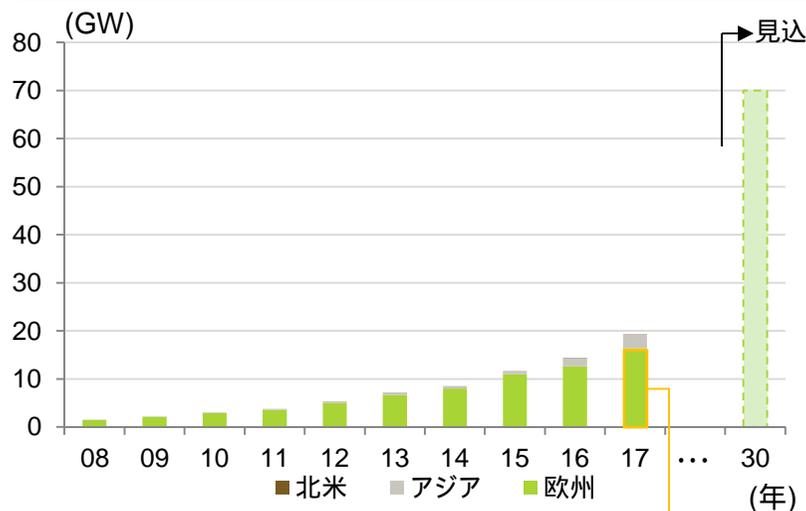
1. 欧州洋上風力発電の市場動向

1. 欧州洋上風力発電の市場動向 (1) 発電容量

世界の洋上風力発電における発電容量は17年末時点で19GWと前年末比+34%増加、ここ10年で10倍超と急速な成長が続いており、特に英国を中心とした欧州が牽引役となる格好(17年末シェア85%)で、2030年には70GW超に拡大する見通しです。

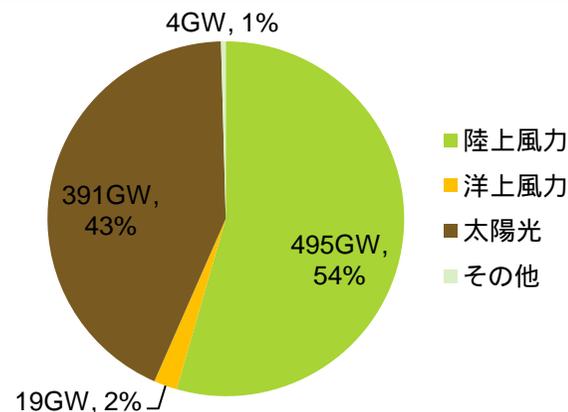
また水力を除く再生可能エネルギー(以下、再エネ)全体に対し、17年末で10%を占める洋上風力への投資額の比率は今後増加していくことが見込まれ、足元で2%に止まる発電容量の比率も高まっていくとみられています。

洋上風力の発電容量推移



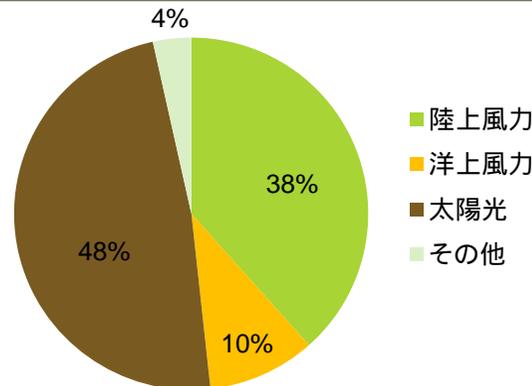
(出所)国際再生可能エネルギー機関(IRENA)資料より弊社作成

再エネの電源別構成 (発電容量ベース) (17年)



(出所)国際再生可能エネルギー機関(IRENA)資料より弊社作成

再エネの投資額 (17年、計2,161億USドル)



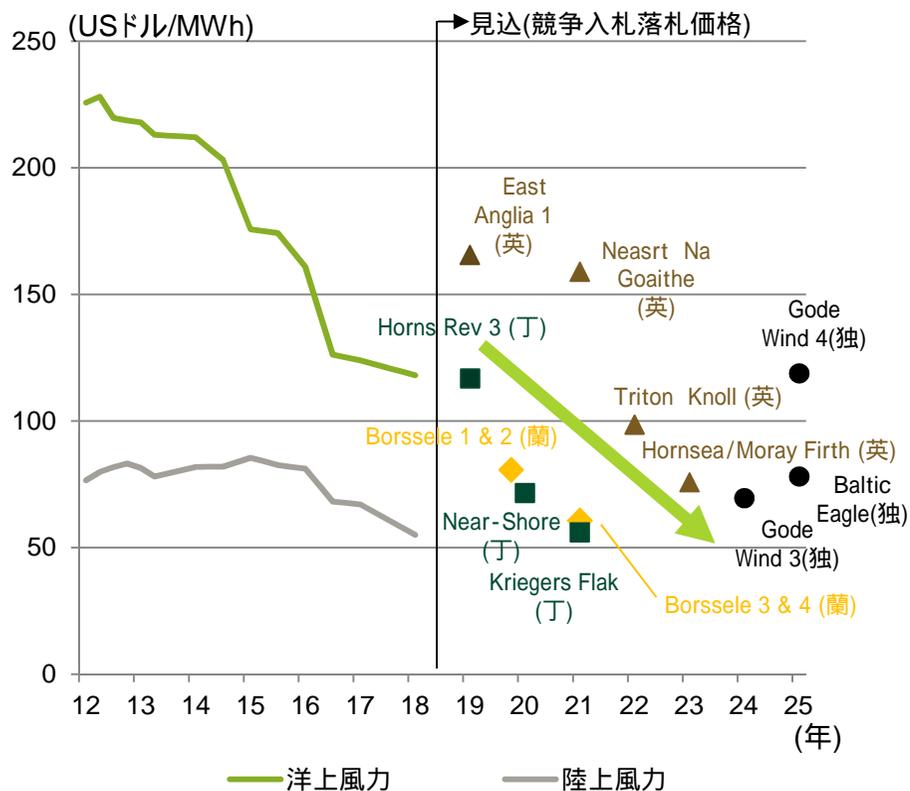
(出所)国連環境計画資料より弊社作成

1. 欧州洋上風力発電の市場動向 (2) 発電コストの推移

洋上風力の発電コスト(注)は着実に低下を続けています。足元で実施された新規プロジェクトに係る競争入札では一段のコスト低減を踏まえた売電価格低下がみられており、他の電源と比べたコスト競争力も高まりつつあります。

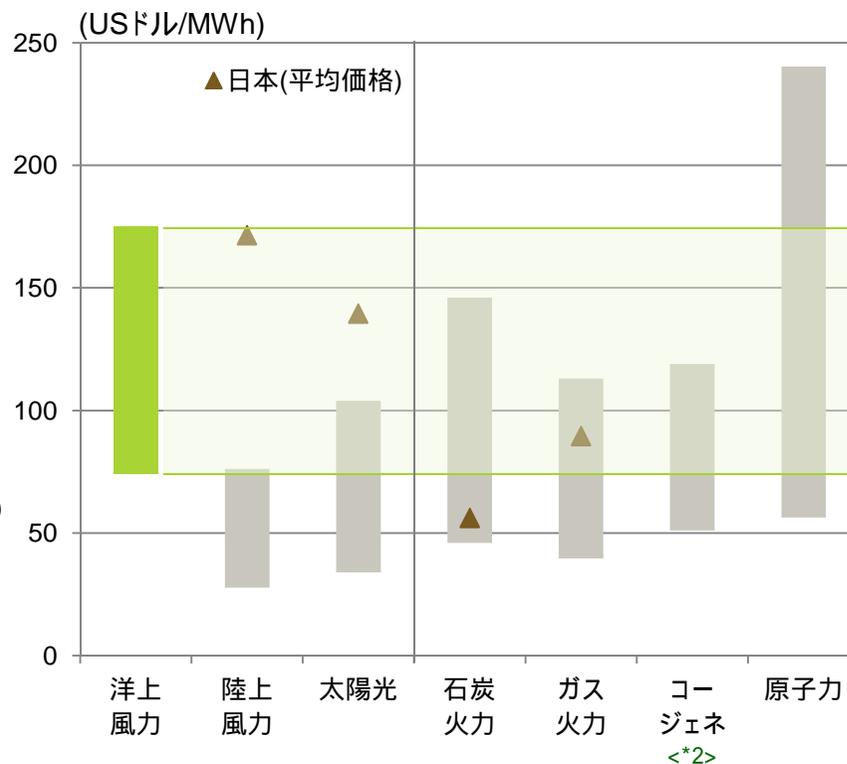
(注) 均等化発電原価(LCOE:Levelized Cost of Electricity)ベースのコスト。プロジェクト期間における建設や運営・メンテナンス等に係るコストの総計を現在価値に割引き、総発電量で割った1MWh当りのコストとして算出。

洋上風力における発電コスト推移(見込は売電価格)



(出所)Bloomberg New Energy Financeより弊社作成

発電コストの比較 <*1>



<*1>米国、中国、ドイツ、英国、インド、オーストラリアにおける発電コスト帯を記載

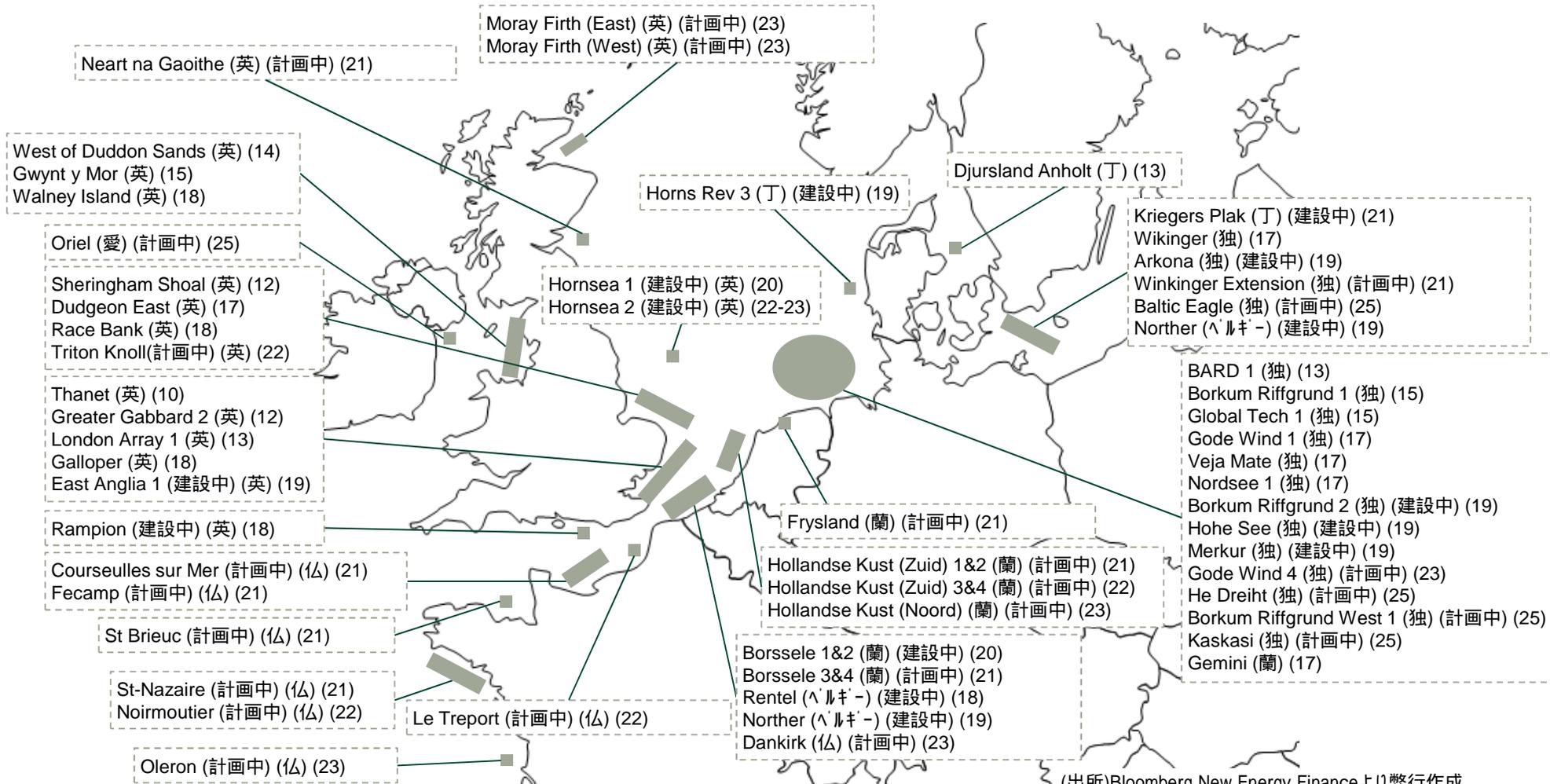
<*2>発電時に発生する廃熱も電力と共に供給するシステム

(出所)Bloomberg New Energy Finance「1H 2018 LCOE Update - Global」より弊社作成

1. 欧州洋上風力発電の市場動向 (ご参考) 主なプロジェクト一覧

(ご参考) 欧州の主要洋上風力発電プロジェクト一覧 (発電容量300MW以上/稼動予定年判明分)

プロジェクト名 (状況) (稼動年または稼動予定年)



(出所) Bloomberg New Energy Financeより弊社作成

2. 洋上風力拡大の背景

2. 洋上風力拡大の背景 (1) 基礎条件

欧州では、市場統合への取組みやエネルギー安全保障に対する危機感・環境意識の高さを背景に、再エネ拡大施策や電力自由化が推進されてきた経緯があります。

洋上風力の設置に適した水深の浅い近海を有する地理的な優位性を持つ上、上記政策によってもたらされた充実したインフラや、元々集積していた石油・ガス開発に係る洋上プラント関連産業の存在等によって、洋上風力発電拡大の基礎条件が整う格好となりました。

欧州における洋上風力発電拡大の基礎条件

政策	成熟した再エネ拡大施策	<ul style="list-style-type: none"> ✓ エネルギー安全保障(エネルギー自給率引上げ)に対する欧州各国の危機意識 ✓ 酸性雨等環境汚染の経験を背景とした市民レベルを含めた環境意識の高さ
	充実した送配電網等	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 世界に先駆けて導入してきた再エネ固定価格買取制度や電力小売自由化、発送電分離、送電系統制御等制度設計・運用におけるノウハウの蓄積
インフラ	風力発電機器メーカーの集積	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 再エネ拡大施策に基づいて陸上風力発電が伸長、風力発電機器関連メーカーが欧州で集積・成長し、機器製造技術やコスト競争力も向上
	洋上プラント関連産業の存在	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 北海油田の存在等から域内に洋上プラントサプライヤーや建設事業者が集積
地理	安価な設置に適した地形	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水深が15～30m程度の広大な浅瀬を有する北海や遠浅の沿岸部の存在

洋上風力拡大に向けた基礎条件が整う

(ご参考)欧州における再エネ施策を巡る動き

	主な動き
1970～80年代	<p>オイルショック(73・79年)を受けたエネルギー安全保障(エネルギー自給率引上げ)に対する関心の高まり</p> <p>北欧や西独等での酸性雨被害深刻化に伴う環境保護意識の高まり(73年EC<欧州共同体>環境行動計画策定/79年長距離越境大気汚染条約<ウィーン条約>締結)</p>
1992	国連で温室効果ガス削減に向けた気候変動枠組条約採択
1993	EU条約(マーストリヒト条約)で環境保護政策を共同活動に規定
1997	<p>気候変動枠組条約締結国会議で温室効果ガス削減目標を定めた京都議定書採択</p> <p>市場統合の一環として電力市場自由化を目的としたEU電力指令発効</p>
2000	欧州委員会がエネルギー需給抑制や再エネ促進等を定めたグリーンペーパーを発表
2009	EUが再エネ利用促進指令で2020年迄にエネルギー消費の20%を再エネで賄う目標等を設定
2014	2030年の同再エネ比率目標を27%に設定

再エネ固定価格買取制度等導入

競争入札制度導入

(出所)弊行作成

(出所)弊行作成

2. 洋上風力拡大の背景 (2) 高まる優位性

洋上風力は、陸上風力と比べれば依然コスト面で劣るものの、設備利用率(注)が高く発電の安定性に優れ、広大な設置空間の確保が可能な上、景観・騒音問題も軽微であるなど利点は多くみられます。

また近年はタービンの大型化等テクノロジーの進歩に伴い、発電コストの低下が見込まれています。

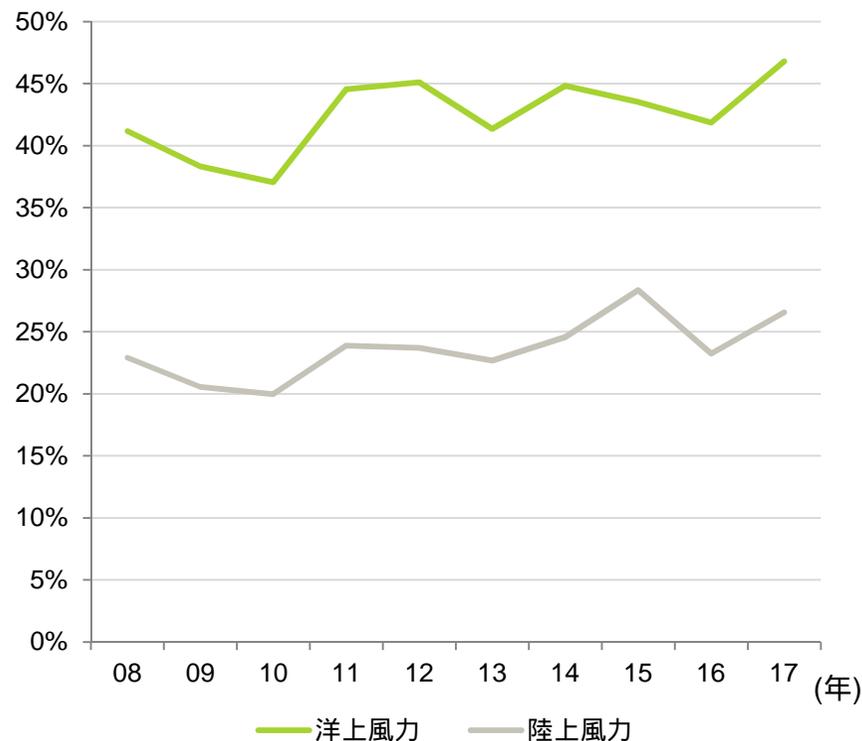
(注) 設備利用率 = 年間発電量 ÷ (発電容量 × 24時間 × 年間日数)

高まる洋上風力の優位性

発電の安定性	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 海洋上は乱気流が少なく陸上対比風の予測が容易で風速も速い ✓ 風の方向に合わせたブレードの向きの変更回数も少なく効率が高い
巨大な設置空間	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 土地等の制約が陸上対比少なく、広大な設置空間の確保が可能
軽微な景観・騒音問題	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 周辺に住宅がないため、騒音や景観に対する補償が基本的に不要
+	
テクノロジーの進歩	<ul style="list-style-type: none"> タービン大型化 ✓ 現在の発電容量7~9MWから10MW超に向けて大型化が進展
	<ul style="list-style-type: none"> 機器寿命予測改善 ✓ 多数のセンサー設置と解析手法改良により、適切なタイミングでの部品交換が可能に
	<ul style="list-style-type: none"> 故障時の稼働効率改善 ✓ 故障部位のみ稼働停止し、全体交換をせず継続運転が可能に<*>
	50~60m超の水深でも使用可能な浮体式の開発進展

発電コスト低下

設備利用率の比較(デンマークの事例)



<*> Performance Redundancy (稼働の拡張性能)

(出所)弊社作成

(出所)デンマークエネルギー・電力・気候省資料より弊社作成

2. 洋上風力拡大の背景 (3) 競争入札による価格低下

欧州各国では、競争入札の導入により価格競争が促される格好で、落札価格の低下が続いています。

但し、稼動開始まで余裕のあるプロジェクトでは、大型タービン(発電容量13～15MW)の導入や、高水準の市場価格維持が前提となっているとみられる点には留意が必要です。

競争入札の状況

	入札時期	稼動時期	プロジェクト名	発電容量 (MW)	落札価格<*> (USD/MWh)	落札者
英国	15/2	2019	East Anglia 1	714	165.43	Iberdrola
	"	2021	Neart na Gaoithe	450	158.80	Mainstream
	17/9	"	Triton Knoll 1 ~ 3	860	98.51	RWE, Statkraft
	"	2022	Moray Firth 1 ~ 3	950	75.77	EDP, Engie
	"	2023	Hornsea 2 (I ~ III)	1,368	"	Ørsted
ドイツ	17/4	2025	He Dreiht	900	市場価格	EnBW
	"	2024	OWP West	240	"	Ørsted
	"	"	Borkum Riffgrund West 2	240	"	"
	"	"	Gode Wind 3	110	69.42	"
	18/4	2025	Gode Wind 4	132	118.76	"
	"	"	Borkum Riffgrund West 1	420	市場価格	"
	"	"	Baltic Eagle	476	78.05	Iberdrola
	"	"	KNK Wind	247	n/a	"
デンマーク	09/4	2013	Anholt	400	178.35	Ørsted
	15/2	2019	Horns Rev 3	406	116.73	Vattenfall
	16/9	2020	Vesterhav Nord & Syd	350	72.58	"
	16/11	2021	Kriegers Flak	600	56.74	"
	オランダ	16/6	2020	Borssele 1 & 2	700	80.67
16/12		2021	Borssele 3 & 4	700	60.55	三菱商事他
18/5		2022	Hollandse Kust (Zuid) 1 & 2	700	市場価格	Vattenfall

大型タービン導入、
(発電容量13～15MW)
高水準の市場価格維持が前提

<*>市場価格: 補助金ゼロ

(出所) Bloomberg New Energy Financeより弊社作成

2. 洋上風力拡大の背景 (4) 浮体式洋上風力への期待と課題

更なる洋上風力拡大に向け、広大な建設余地のある沖合での開発が可能な浮体式洋上風力への期待が高まっており、開発も進展をみせています。

一方で沿岸からの距離が遠く、電力ケーブルの損傷リスクが高まるほか、依然としてコストは割高である等課題も多く、更なる技術革新やコスト効率の改善が必要と指摘されています。

浮体式洋上風力の拡大期待と課題

高まる
期待

- ✓ 広大な建設余地を残す沖合での開発が可能
- ✓ 近年の浮体式洋上風力の開発進展
 - 大規模洋上風力ファーム(英国「Hywind Scotland」、発電容量30MW)の稼動開始、等

課題

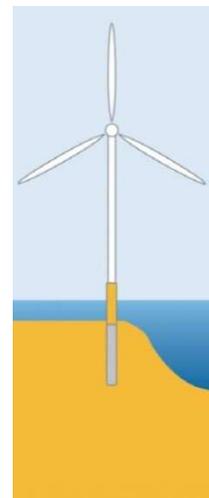
- ✓ 沿岸からの距離に起因する高い電力ケーブル損傷リスク
- ✓ 多額の設置費用から発電コストは依然高額(モノパイル式の2倍超)

技術革新・コスト効率改善が必要

(出所)弊行作成

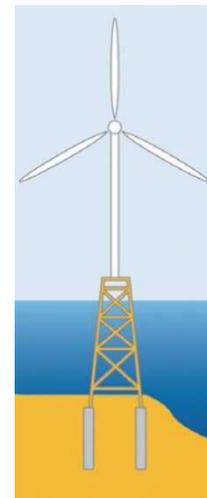
洋上風力における基礎構造の変遷

<モノパイル式>



水深: 30m未満
特徴: 1本杭を打設して基礎を構築。欧州洋上風力の大半がこのタイプ

<ジャケッ式>



水深: 30 ~ 50m
特徴: 基礎にモノパイル式よりも頑丈で構造が複雑な鋼管トラス構造を使用

<浮体式>



水深: 50m超
特徴: 風車の下に設置した縦長の大型ブイ等の構造物を海底に係留

(出所)EWEA資料より弊行作成

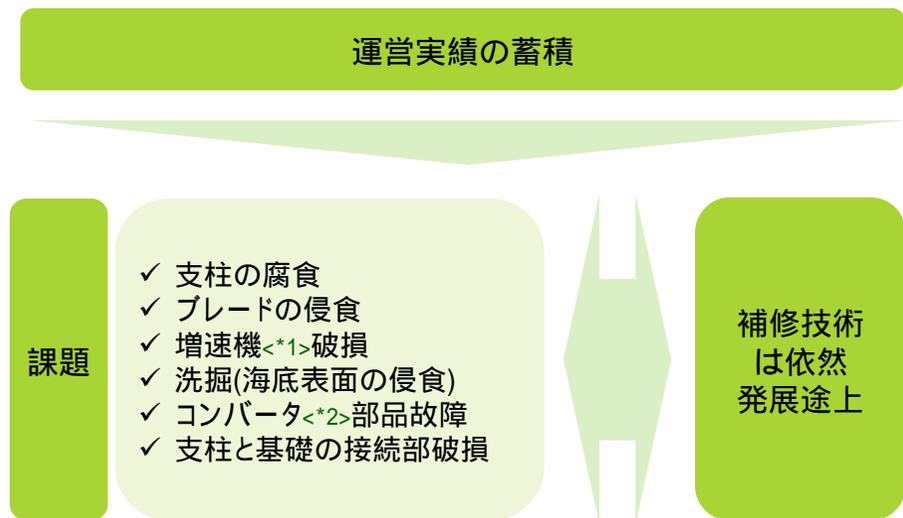
3. 洋上風力における課題

3. 洋上風力における課題 (1) 設備運営・建設技術・競争入札

洋上風力は黎明期を脱し、運営実績が着実に蓄積されていますが、稼動を通じて技術面での課題にも直面している一方で、補修技術の改善は依然発展途上とみられており、課題の完全な解決は現段階では見通し難い状況となっています。

またテクノロジーが進歩する一方、作業台船大型化や建設作業高度化に伴い、建設事業者不足等が懸念されるほか、競争入札拡大は一段の価格低下・収入変動リスク増大に繋がり、プロジェクトの財務余力縮小を招く等、発電事業者ではかかる課題に対処していく必要性が高まっています。

設備運営における技術面での課題



<*1>ギアボックスとも呼ばれ、ブレードからの回転をタービン(発電機)に必要な回転数まで歯車(ギア)を用いて増速させる装置
 <*2>発電された交流の電気を送電のため直流に変換する装置

(出所)弊行作成

建設技術及び競争入札拡大における課題



(出所)弊行作成

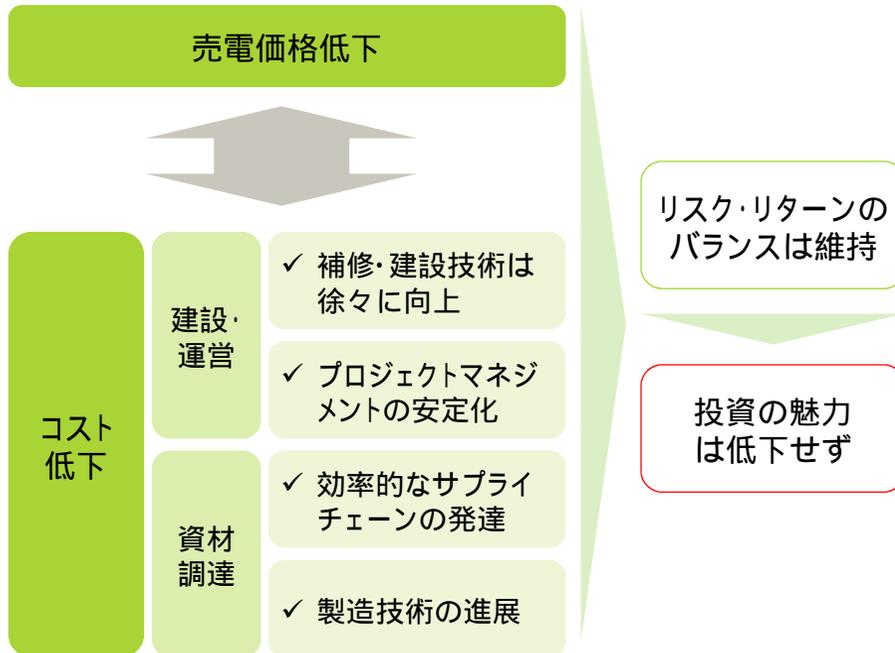
3. 洋上風力における課題 (2) 収益性に対する見方及び価格低下・変動への対応

欧州洋上風力発電は、競争入札拡大等に伴う売電価格低下に直面する一方で、過去と比べれば課題は改善に向かいコストは低下し、リスクとリターンのバランスは維持していることから、投資の魅力は落ちていないとの見方が一般的とされています。

これに加え、価格低下・変動リスクの増加に対しても、コーポレートPPA等の対応策が検討されています。

収益性に対する見方

価格低下・変動への対応



検討されている対応策	内容	課題
コーポレートPPA<*>	✓ 環境意識の高い企業等に長期固定価格で売電し、収入を安定化	販売先の確保
プロジェクトポートフォリオ構築によるリスク分散	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 他の再エネ電源を含めた複数のプロジェクトに投資 ✓ 新興国を含めた複数の地域に投資(地理的分散) 	大規模な投資/緻密なポートフォリオ管理
その他手法	✓ 保険の活用等	高額な保険料(収益性低下)

<*>電力購入契約 (Power Purchase Agreement)

(出所)弊行作成

(出所)弊行作成

4. 日本企業のビジネスチャンス

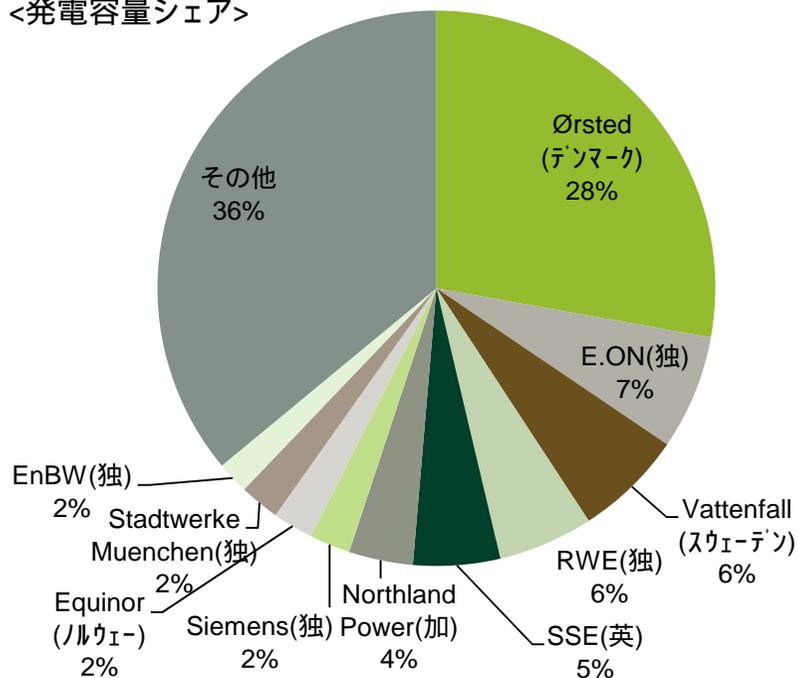
4. 日本企業のビジネスチャンス (1) 事業者の動向

欧州洋上風力の事業者の動向をみれば、ファンド等の参入も増加しているものの、依然として欧州電力大手を主体とした上位5社で発電容量全体の約5割を占めています。

一方で、日本企業の参画は総合商社等一部がプロジェクトに出資を行うに止まっているものの、新たな収益機会の捕捉や将来的な日本国内での洋上風力事業拡大を見据えた動き等から、今後のシェア拡大が期待される状況です。

事業者の構成 (17年迄ファイナンス完了分)

<発電容量シェア>



(出所) Bloomberg New Energy Financeより弊社作成

日本企業の参入状況

プロジェクト名	国名	容量 (MW)	企業名(出資比率)	稼動年
Gunfleet Sands	英国	172	丸紅(24.95%) 日本政策投資銀行(24.95%)	2010
Northwind	ベルギー	216	住友商事(30%)	2014
Luchterduinen	オランダ	130	三菱商事(50%)	2015
Westermost Rough	英国	210	丸紅 (25% 0%<18/3月>)	2015
Butendiek	ドイツ	288	伊藤忠商事(22.5%)	2015
Nobelwind 2	ベルギー	165	住友商事(39%)	2017
Galloper	英国	336	住友商事(12.5%)	2018
Race Bank	英国	573	住友商事(12.5%)	2018
Norther	ベルギー	370	三菱商事(25%)	2019
Northwester 2	ベルギー	224	住友商事(30%)	2020
Borssele 3&4	オランダ	700	三菱商事(30%)	2021
Triton Knoll	英国	860	電源開発(J-Power) (25%) 関西電力(16%)	2021
Moray East	英国	950	三菱商事(33%)	2023

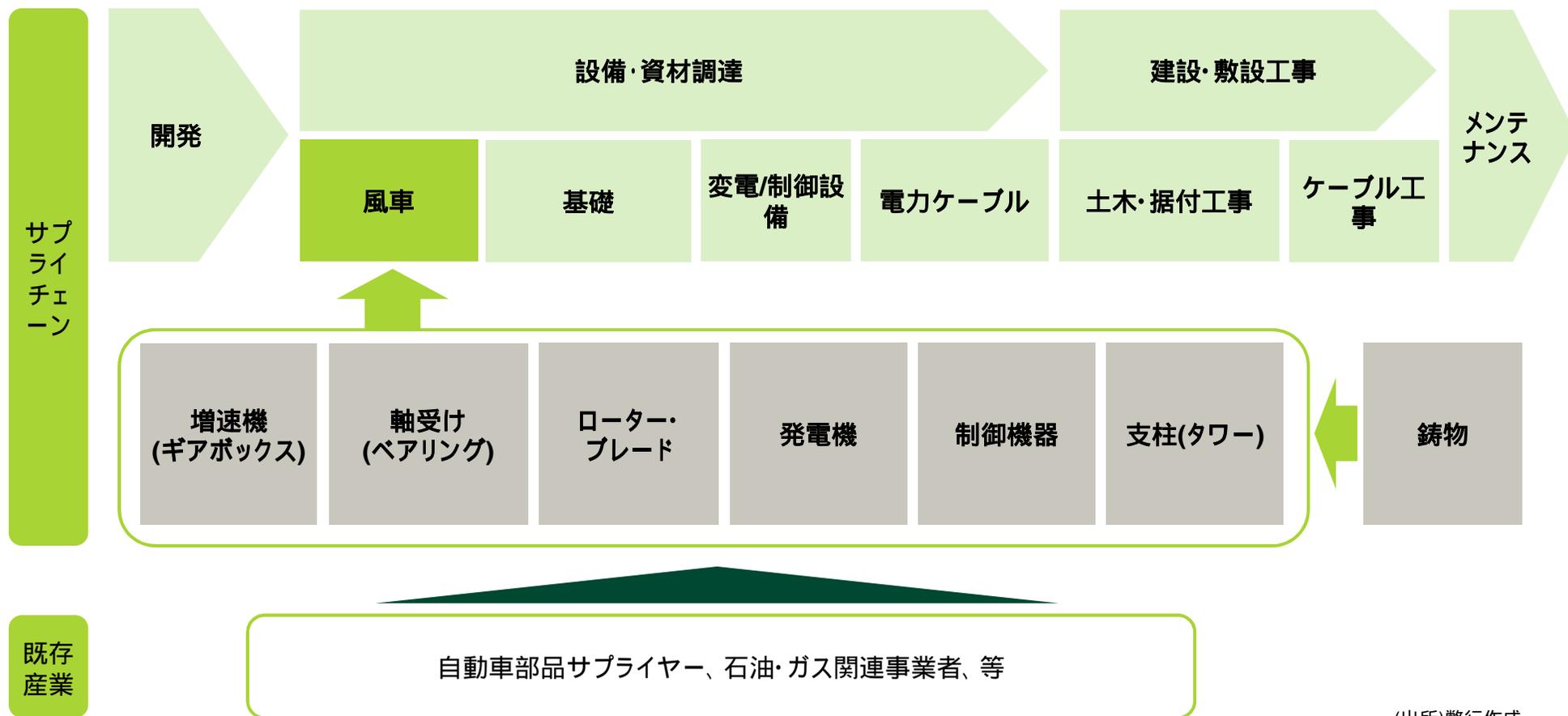
(出所) Bloomberg New Energy Finance、各社プレスリリースより弊社作成

4. 日本企業のビジネスチャンス (2) サプライチェーン

欧州での洋上風力のサプライチェーンは、石油・ガスや自動車等元々欧州に集積していた技術・産業が活かされる形で構築されているのが特徴となっており、欧州企業が大半を占めています。

例えば、基礎部分のサプライヤーや工事事業者には、石油・ガス関連で同事業を展開する事業者が多く、人材の融通も可能となっているほか、風車部品のサプライヤーには自動車部品メーカーが多くみられます。

欧州洋上風力におけるサプライチェーン(イメージ)



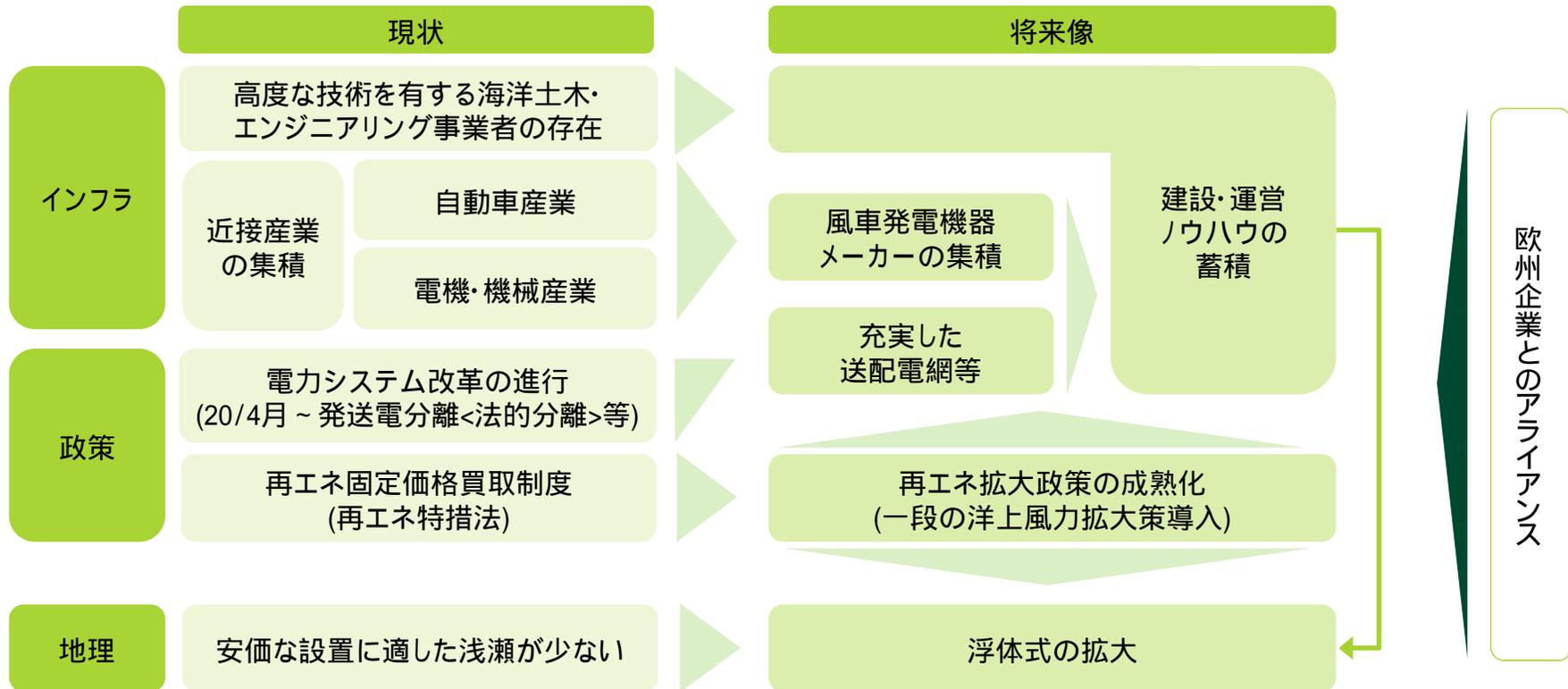
(出所)弊行作成

4. 日本企業のビジネスチャンス (3) 日本市場の現状と将来像

洋上風力を巡る日本国内の現状をみれば、高度な技術を有する海洋土木・エンジニアリング事業者を抱えるほか、自動車等近接産業の集積がみられる一方で、電力システム改革や再エネ導入施策は途上にある上、日本近海は安価な設置に適した浅瀬が少ない状況にあります。

従って、電力システム改革の進展や再エネ拡大施策の充実とともに、日本企業にとっては、建設・技術や運営ノウハウの蓄積と将来的に期待される浮体式の実用化に向けて、既にノウハウの蓄積が進む欧州企業と共同で事業展開を行うことも一案と考えられます。

日本国内関連産業の現状と将来像



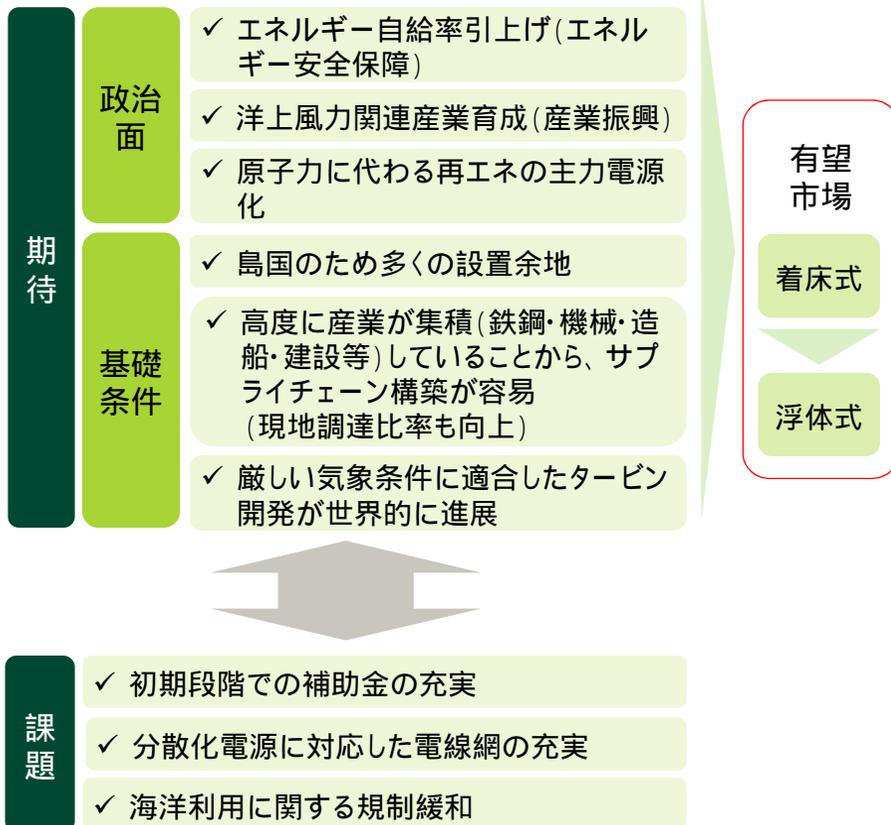
(出所)弊行作成

4. 日本企業のビジネスチャンス (ご参考) 欧州企業からみた日本市場

日本市場は、欧州企業からみても、政治的に洋上風力を拡大させるインセンティブが強く、基礎条件も整っており、今後拡大が見込める有望な市場と捉えられています。かかる中、欧州企業は、日本企業との提携も視野に欧州における固定式(モノパイル式・ジャケット式)での経験を横展開しつつ、将来的な浮体式拡大も見据えて日本での事業を展開していくとみられています。

欧州企業の日本市場に対する見方

(ご参考) 日欧間の動き (18年)



公表時期	日本側	欧州側	内容
18/3	三菱商事	Moray East (西EDPR)	洋上風力発電所の株式33.4%を取得
18/8	電源開発(J-Power) 関西電力	Triton Knoll (独Innogy)	洋上風力発電所の株式41%を取得
18/8	住友商事	Northwester2 (ベルギー-Parkwind)	洋上風力発電所の株式30%を取得
18/8	出光興産	ルウエ-Equinor	油田設備向け浮体式洋上風力の検討
18/9	電源開発(J-Power)	仏Engie	浮体式研究に向けた提携

(出所)弊行作成

(出所)各社プレスリリースより弊行作成

ご参考資料

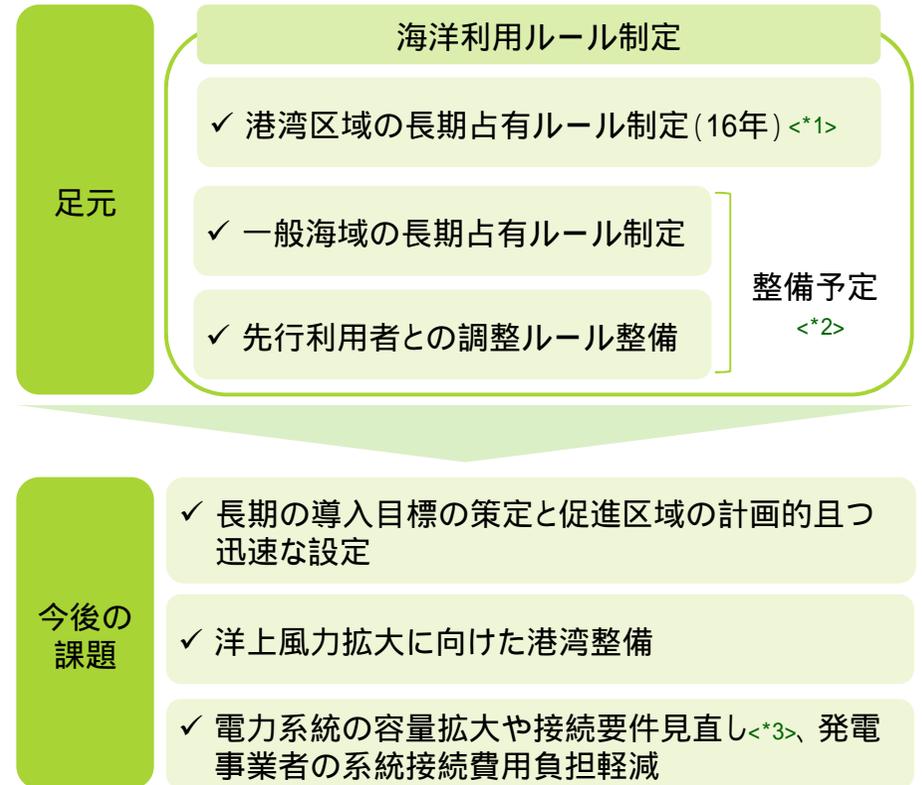
ご参考資料: 日本市場における課題及び政策動向

日本市場における課題

	項目	課題
政策	目標設定	✓ 拡大目標が不明瞭でサプライチェーンへの投資が進まず
	海域の利用	✓ 漁業者等先行利用者との調整ルール未整備
インフラ	電力系統	✓ 容量不足 ✓ 重い発電事業者の接続費用負担
	港湾面	✓ 建設作業に適した港湾の不足
	建設面	✓ 作業船不足(カボタージュ規制) <*>

<*>国内で運用する船舶を自国船籍に限定する規則のこと。日本国内では洋上風力設置の作業船が不足しているため、外国船籍の作業船利用が必要となるが、当該規則が外国船利用の足かせとなっている。

政策動向



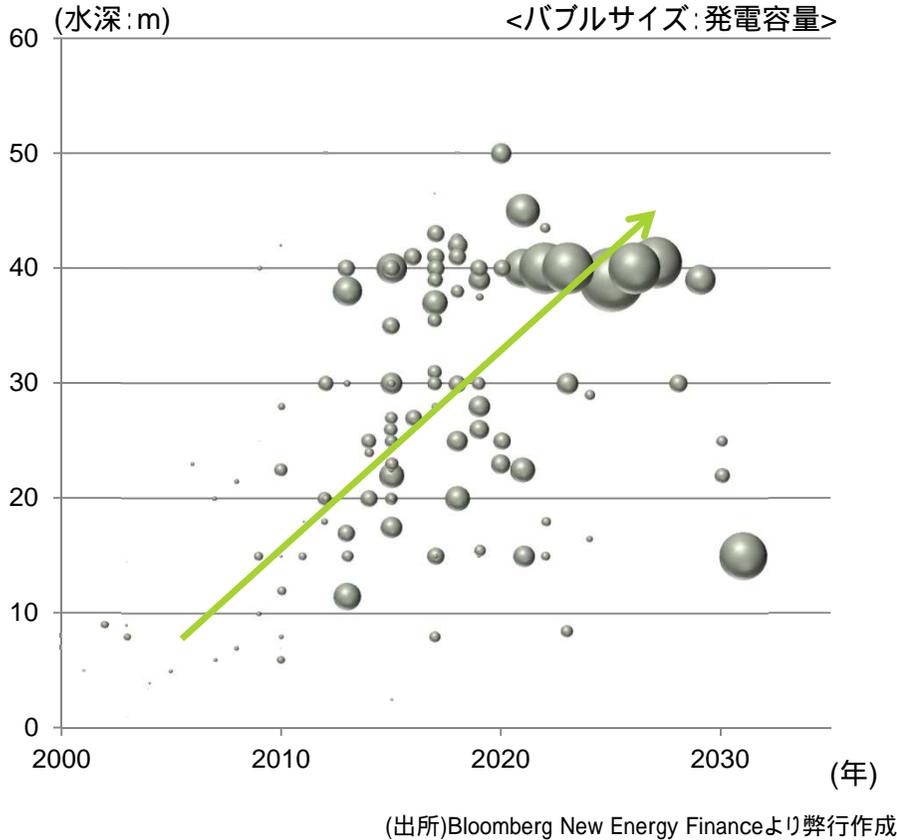
<*>1>沿岸に近い港湾区域における最長20年の長期占有ルールとその公募手続きを制定。
 <*>2>国会で審議予定の「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律案」では、領海の大半を占める一般海域における最長30年の長期占有ルールが定められ、法案成立後には先行利用者との調整ルールが整備される予定。
 <*>3>系統容量増強前でも新規接続を認め、送電容量が過剰となった場合には出力制御を行う「コネクト&マネージ」の導入等。

(出所)弊行作成

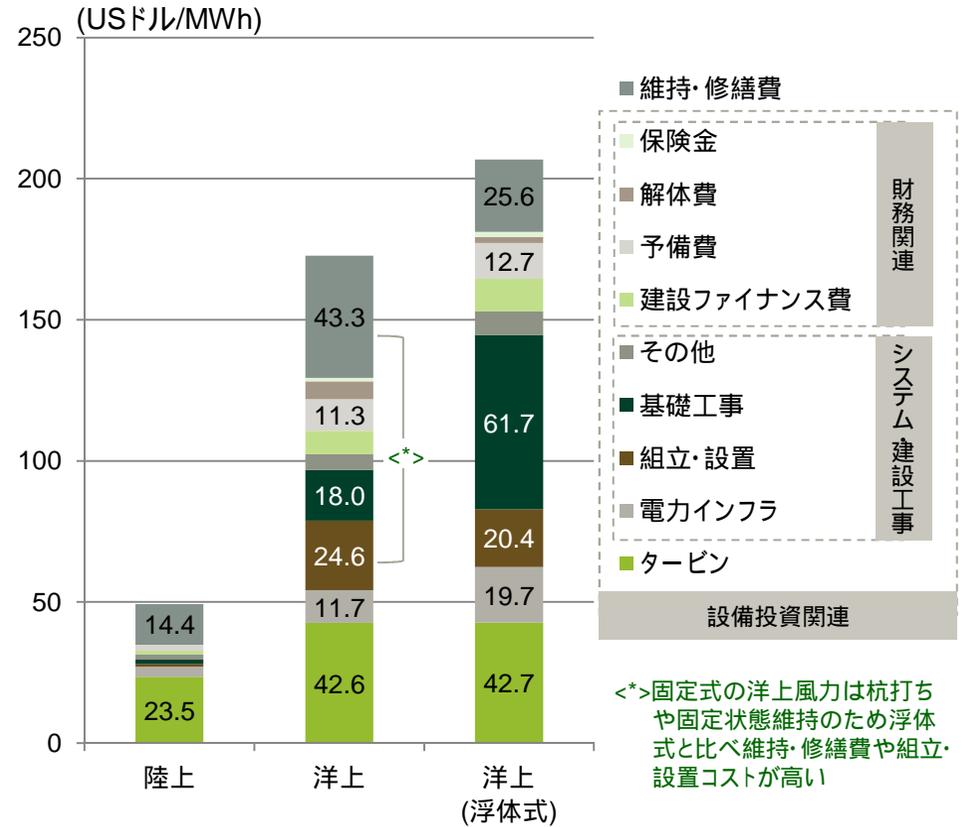
(出所)資源エネルギー庁資料を基に弊行作成

ご参考資料: 発電プロジェクトの動向・発電コスト内訳

欧州洋上風力発電プロジェクトの動向: 水深と規模の推移



風力発電コスト内訳(イメージ)



(出所) 米国立再生可能エネルギー研究所資料より弊社作成

各国の補助金制度概要

	入札制度	補助金の仕組み	概要	系統接続負担
英国	導入済	差額決済契約制度 (CfD: Contract for Difference)	予め定めた行使価格(Strike Price)と、毎時の卸市場価格から算出される参照価格(Reference Price: 以下、市場価格)との差額が、政府と発電事業者間で授受され、実質的な固定価格買取制度として機能。入札では行使価格を応札	<*1> あり
ドイツ	導入中 <*2>	CfD類似	市場価格(月次ベース)が応札価格を下回った場合に、発電事業者が差額を受領	なし
デンマーク	導入済	CfD類似	英国制度と同様。ただし補助部分は発電量5万全負荷時間<*3>分が上限	なし
オランダ	導入済	CfD類似 (制度名: SDE+)	市場価格(年次ベースを調整)が応札価格を下回った場合に、発電事業者が差額を受領。ただし差額(補助金)に上限あり	なし
ベルギー	導入検討中	CfD類似	政府の保証価格と市場価格との差額が発電量に応じて発行されるグリーン証明書<*4>の売却によって補填される仕組み	なし

<*1>発電事業者が電力系統(電力網)に接続する際の変電所や電力ケーブルの整備負担 (但し、発送電分離規制のため、一定期間保有後に送電業者に売却)

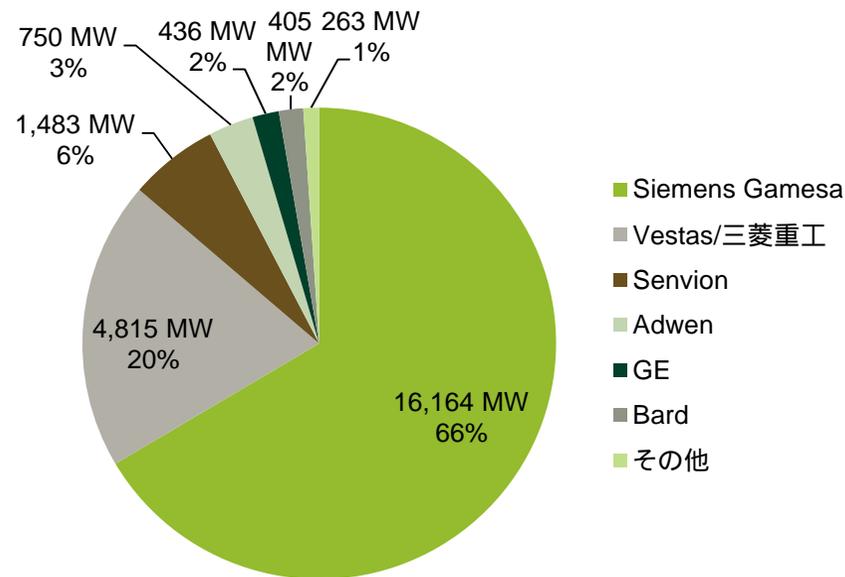
<*2>固定価格買取制度から移行中

<*3>全負荷時間(Full Load Hours)とは、フルパワー時をベースにした運転時間数。尚、1年は8,760時間

<*4>再エネ以外の電力事業者が証明書の購入義務を負う(比例配分)

(出所) Bloomberg New Energy Finance、各国政府資料より弊社作成

風車メーカー発電容量シェア (18/4月迄ファイナンス完了分)



(出所) Bloomberg New Energy Financeより弊社作成