日本における浮体式洋上風力導入の課題と展望

一般財団法人　日本エネルギー経済研究所

執筆者：　中村　博子、闞　思超、永田　敬博、柴田　善朗

*インターネットリソースは，別途注記したものを除き，すべて 2024 年 2 月 28 日に 最終閲覧した。

日本における浮体式洋上風力導入の課題と展望

エグゼクティブ・サマリー

国際再生可能エネルギー機関(IRENA)や世界風力エネルギー協会（GWEC）[1]は、パリ協定の 1.5℃目標を達成するためには、2030 年までに世界で 500GW の洋上風力発電設備が必要になると指摘している。これは、2022 年に世界で導入された洋上風力発電の累積設備容量（63.2GW）の約 8 倍に相当する。

日本は、「グリーン成長戦略」において 2040 年までに 30～45GW の洋上風力発電の導入を目指すことを宣言している。しかし、目標達成には、開発に必要なリードタイムを考慮しても、プロジェクトの承認プロセスを加速させ、開発対象の海域を拡大する必要がある。

日本は領土が狭隘で、着床式洋上風力発電に適した水深 50～60m までの海域も限られているが、領海と排他的経済水域（EEZ）を合わせた海域の面積が世界第 6 位の海洋大国である。EEZ は水深が深く、浮体を係留により位置保持する浮体式洋上風力の技術が必要となるが、これは日本にとって大きな期待が持てる技術である。

政府は、洋上風力を開発できる海域を排他的経済水域（EEZ） に拡大するべく、長期にわたる議論の結果、「再エネ海域利用法」の改正案をまとめ、洋上風力の普及に向けて取り組み強化が図られることになった。EEZ にウィンドファームを建設するという政府による意思表示は、日本における市場の形成に決定的な意味合いを持つ。

EEZ における洋上風力発電の開発を加速させる

国連海洋法条約は、沿岸国が EEZ において天然資源の探査、開発、保存、管理、及び風力発電や潮力発電のようなその他の経済活動に対して主権的権利を行使できることを認めている。欧州では、ドイツや英国をはじめとする各国が既に、洋上風力発電用の水域をも指定する海洋空間計画(MSP)を策定しており、EEZ をも対象とした MSP も少なくない。また、EEZ において複数のウィンドファームの開発が進められており、運転開始しているものもある。

EEZ では、すべての国が航行及び上空飛行の自由、海底ケーブル及びパイプラインを敷設する権利を享受しているため、近隣国が EEZ でのウィンドファーム建設を発表または着工していることに鑑み、日本も EEZ におけるプロジェクト形成を急ぐ必要がある。政府が EEZ 内にウィンドファームを建設する意思を表明する手段として、科学的データに基づき、ステークホルダーの参画の下で海洋空間計画を策定することは有効である。一方で、MSP 策定は時間を要することから、政府は、洋上風力発電の導入目標を達成するための具体的なロードマップを公表し、早期のプロジェクト開発を促進することも重要である。

早期にステークホルダーを特定し調整を進める

EEZ 内にウィンドファームを建設したり、その周辺に安全水域を設定したりする際には、漁業関係者を含む多様なステークホルダーの理解を得ることが重要である。日本の EEZ における漁業は、都道府県知事の許可によって沖合などで操業する「沖合漁業」や農林水産大臣の許可によって複数県や外国に出漁する「遠洋漁業」である。対象海域で操業する関係者は多くの場合、民間企業であり、沿岸海域で行われる漁業権

[1] IRENA and GWEC (2023), *Enabling frameworks for offshore wind scaleup: Innovations in permitting*, International Renewable Energy Agency, https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Sep/IRENA_GWEC_Enabling_frameworks_offshore_wind_2023.pdf

漁業に比べて特定が難しい。さらに、それらの企業は当該海域に近い沿岸地域に本拠地があるとも限らず、地元の関係者の利害やビジョンを共有できないことも少なくない。

事業者は、ウィンドファームの建設中や操業中に、風力タービンの周囲に安全地帯を設けることができ、漁船などの進入については、国によって対応が異なる。また、通航が許可されたとしても、漁法によっては操業が困難になる場合がある。海域によって漁獲対象の魚種や漁法が異なるほか、漁船の大きさや操業水域の範囲も異なるため、漁業に与える影響を予測することも難しい。

浮体式洋上風力発電プロジェクトの早期実現の必要性

浮体式洋上風力発電は、欧州などでは既に商用化段階に入っている。しかし、陸上風力や着床式洋上風力に比べて導入実績が少なく、技術面のみならず、関連インフラや設置に係るエンジニアリング、コストなどの課題が存在する。

浮体式洋上風力発電はまだ開発段階にある技術が多い。実証事業は技術の確立に向けて必要であるが、グリーンイノベーション基金フェーズ 2（浮体式実証）含め、現在日本で進められている浮体式洋上風力の実証事業は小規模であり、300～500MW 以上のプロジェクトを中心に開発する国外風力タービンブレードメーカーにとっては魅力的な案件形成にはつながらない。浮体式洋上風力の進展を日本で図っていくためには、技術実証と同時に、既に確立されている技術をベースにした大規模の商用化段階のプロジェクトを立ち上げることで、日本が巨大で魅力的な市場を有することを国外の風力タービンブレードメーカーに向けて明確に示すことが肝要である。実際、国外では浮体式洋上風力は technology-push の段階を終え、既に market-pull の段階に入っていると言われている。

産業政策として洋上風力発電の国内サプライチェーンの構築

ロシアによるウクライナ侵攻を契機に、改めてエネルギーおよび経済の安全保障の重要性が認識されている。製品の特定国への過度な依存は、サプライチェーン遮断時の安定供給に対するリスクが懸念される。また、特定の風力タービンメーカーやメンテナンス会社に依存している場合は、サイバー攻撃による遠隔監視システムの停止やそれによる大規模停電が起こるリスクがある。他国の風力タービンメーカーによって遠隔管理される場合は、戦争などの有事の際には、同国で管理されている風力タービンが運転を停止され、復旧が困難な大規模停電につながるリスクがある。したがって、エネルギーおよび経済安全保障の観点から、サプライチェーンの大部分を自国で賄えるようにし、国内製造や保守管理に不可欠な人材育成・確保やインフラ整備も重要である。

そのためには、政府が浮体式洋上風力を進める意思表示を、海外の関係者だけでなく、国内企業に対しても行い、国内の市場関係者の質と量の層を厚くしていく必要がある。政府が産業政策として浮体式洋上風力を推進していく決意であることについて、国内企業が確信を持てることが重要である。制度的には、国内製造・国内調達を促すために、日本国内での工場やサプライチェーンの構築に対してより強力なインセンティブを提供することが求められる。

浮体式洋上風力のサプライチェーンは調査・設計、港湾の整備、風力タービン・浮体構造物・周辺設備の製造、機材の船での搬送、洋上プラットフォームの建設、送電線（海底ケーブル）の敷設を含む組立・設置、運転・管理、撤去など、多岐にわたる。日本は、欧州各国の強みであるオフショア石油・天然ガス開発の経験はなく、大型風力タービンメーカーもないため、現在は、風力タービンは海外メーカーに頼らざるを得ないが、サプライチェーン上の個別の要素技術を有する企業は数多く存在する。造船業や海底ケーブル技術、炭素繊維プラスチック（CFRP）、海洋土木工事業など、日本が優位性を有する技術を活用することで、浮体式洋上風力発電のサプライチェーン構築を主導できる可能性がある。

これらの要素技術については、現在の技術の改良とコスト低減を進めていくと共に、機材の製造や運搬における土地制約などの日本固有の事情から生じる課題を解決できるような新たな技術も模索することが重要である。新しい発想で技術開発を進めるスタートアップの育成も重要である。

リサイクルやリユースの取り組みの強化も重要である。浮体式洋上風力発電設備のすべての構成要素が再生または再利用できるわけではなく、サプライチェーン上の全ての課題を解決できるわけではない。しかし、たとえば発電機に使われるネオジム磁石の国内でのリサイクルは、製品内の物質として国内の財となっているレアアースの国外流出を防止することができるほか、輸入削減にもつながる。技術開発、経済的支援策や規制のみならず、リサイクルを中心とした静脈産業が国内産業の振興や経済発展に裨益する絵姿を描くことも大事である。

洋上風力を活用した新しいエネルギーシステムの可能性

浮体式洋上風力の国内サプライチェーンの構築のみならず、エネルギーシステムの最適化には、政府の戦略的計画と、地方自治体の強力な支援と調整が必要となる。

ウィンドファームの系統接続は、洋上風力発電の導入拡大において重要な課題である。電力広域的運営推進機関（OCCTO）が策定した、系統のマスタープランは、将来の洋上風力の導入見込みも考慮されたものとなっている。しかし、長期的には、今後開発されるすべての洋上風力発電プロジェクトが接続するには系統容量が足りないだろう。そのため、洋上風力由来の電力を水素に変換することは、洋上風力を最大限活用、エネルギーシステムを最適化するためのソリューションのひとつになりうる。

欧州、特に英国やドイツなどの北海沿岸各国では、洋上風力による水素製造の研究や実証事業が既に行われている。洋上風力をエネルギーシステムに統合するためには、洋上及び陸上の送電線や水素パイプラインなどの水素輸送手段の構築が重要である。日本政府は、国内の水素・アンモニアの需要拡大を促進するため、複数の水素・アンモニア拠点を構築しようとしており、水素・アンモニアの輸送インフラは、拠点整備の重要な要素である。このような水素・アンモニア拠点のインフラを利用することによって得られる相乗効果は、洋上風力と陸上のエネルギーシステムを繋ぐシステム設計において考慮されるべきであり、全体的なインフラコストの削減に寄与しうる。

洋上風力由来の電力を遠隔地に運ぶためのインフラ構築に制約がある場合には、エネルギー需要を洋上風力ポテンシャルが大きい地域に移転することも、長期的に洋上風力のエネルギーシステムへの統合を検討する上でのソリューションになりうる。洋上風力のサプライチェーン上の産業だけでなく、洋上風力資源が豊富な沿岸地域は、データセンター（クリーン電力とグリーン水素の需要）、製鉄プロセス（グリーン水素の大規模需要）など、クリーンエネルギーの潜在的なオフテーカーにとって魅力的となる可能性も考えられる。クリーンエネルギーの需要家にとって魅力的な水準まで洋上風力による発電コストが下がれば、地域の産業育成を促進し、産業の海外移転を防ぐこともできるだろう。

参加型の意思決定プロセスの導入

EEZ における洋上風力プロジェクトを選定するために、再エネ海域利用法の改正案では、2 段階方式の制度を導入する。第1段階では、事業者は実施計画の仮許可を受けた後、地元の漁業関係者などのステークホルダーとの調整を開始する。協議の際は、明らかに利害を有する関係者のみならず、地域コミュニティ、二国間漁業協定の当事者などをも含む広範なステークホルダーと行うべきである。また、公正なプロセスを保証する枠組みも必要である。

今日、政府は、地元の利益団体の代表などが参加する協議会での議論に基づき、洋上風力発電のための「促進区域」「有望な区域」「準備区域」を指定している。地域経済への貢献などが評価基準に含まれるため、個別交渉は事業者が行うことが多い。しかし、EEZ 内ではステークホルダーの特定が難しく、交渉はより困難になる可能性が高い。

幅広いステークホルダーの参画は、個々のプロジェクト、そして長期的な海洋空間計画に対する当事者意識を醸成する上でも重要である。オランダの MSP 策定過程では、ステークホルダー集団のトップレベルだけでなく、あらゆるレベルでのステークホルダー対話を実施することの重要性が示された。

日本には、多くの国で義務付けられている参加型の意思決定プロセスが存在しない。科学的な情報提供に支えられたオープンな議論は、様々な関係者がより受け入れやすい結果をもたらす。MSP の策定には、漁業関係者、広範な沿岸域の地域住民や企業を含む幅広いステークホルダーとの協議と合意が必要であり、欧州の多くの国ではステークホルダー参加の下で MSP を策定している。EEZ のようにステークホルダーが多い海域利用に合意するためには、日本でも、参加型の意思決定プロセスを開発することが有効である。また、このような意思決定プロセスは、多岐にわたる省庁間の話題をカバーできる内閣府あるいは新設の専門政府機関が中心になって進めることが期待される。

目次

1　洋上風力発電の政策動向 1

1.1　洋上風力発電の動向と政府目標 1
1.2　日本の洋上風力発電政策 3
1.3　浮体式洋上風力発電の開発 5

2　洋上風力発電の大規模導入の技術的課題とソリューション 8

2.1　洋上風力の技術的課題 8
2.1.1　浮体構造物と風力タービン 8
2.1.2　係留 11
2.1.3　送電線 11
2.1.4　新興テクノロジー 12
2.2　産業戦略としての位置付け 13
2.3　小結 13

3　サプライチェーンの課題とソリューション 14

3.1　セキュリティの問題 14
3.2　素材とリサイクル 15
3.2.1　タービンブレード 15
3.2.2　タワー 16
3.2.3　希少金属 16
3.2.4　風力タービンのリサイクルとリユースにおける課題 17
3.3　インフラの課題 17
3.4　運転管理 18
3.5　小結 19

4　排他的経済水域における洋上風力発電をめぐる議論 20

4.1　国際法の遵守 20
4.1.1　EEZ 内で発電する権利 20
4.1.2　送電の権利 21
4.1.3　安全水域の設定 21
4.1.4　漁業権との競合 22
4.2　日本政府における議論 23
4.3　風力発電と他セクターとの競合 24
4.3.1　漁業との競合の可能性 24
4.3.2　安全保障上の利益などとの衝突 24
4.3.3　他国での取り組み 25
4.4　海洋空間計画 26
4.4.1　英国 27
4.4.2　ドイツ 27

4.4.3　オランダ 27
4.5　海洋政策の意思決定への市民参加 27
4.5.1　英国 28
4.5.2　ドイツ 28
4.5.3　オランダ 29
4.6　小結 30

5　地域産業ハブの開発 31

5.1　洋上風力の系統接続 31
5.2　他のエネルギーキャリアに変換しての利用 32
5.3　インフラ整備 34
5.3.1　洋上の送電及び配送インフラ 34
5.3.2　陸上の送電及び輸送インフラ 35
5.4　地域水素ハブとの相乗効果 36
5.5　エネルギー需要地の移転 36
5.6　小結 38

6　結論と提言 39

1　洋上風力発電の政策動向

1.1　洋上風力発電の動向と政府目標

洋上風力発電は、再生可能エネルギー（以下「再エネ」）の世界シェアを拡大する上で大きな可能性を有する。ESMAP（2019）[2] 、IEA（2019）[3] によると、技術的な洋上風力の導入ポテンシャルは、世界全体でそれぞれ 71,000GW 以上、120,000GW 以上である。IRENA and GWEC（2023）[4]は、パリ協定の 1.5℃目標を達成するためには、2030 年までに世界で 500GW の洋上風力発電設備が必要になると指摘している。これは、2022 年に世界で導入された洋上風力発電の累積設備容量（63.2GW[5]）の約 8 倍に相当する。2050 年に必要とされる設備容量はほぼ 40 倍の 2,465GW となる。

2022 年には、中国が洋上風力発電の総設備容量のほぼ半分を占め、これは欧州全体の総設備容量とほぼ同じであった。欧州では、英国のシェアが最大で、ドイツ、オランダがこれに続いた。日本の 2022 年の設置容量は 61MW であった。（図 1-1）。

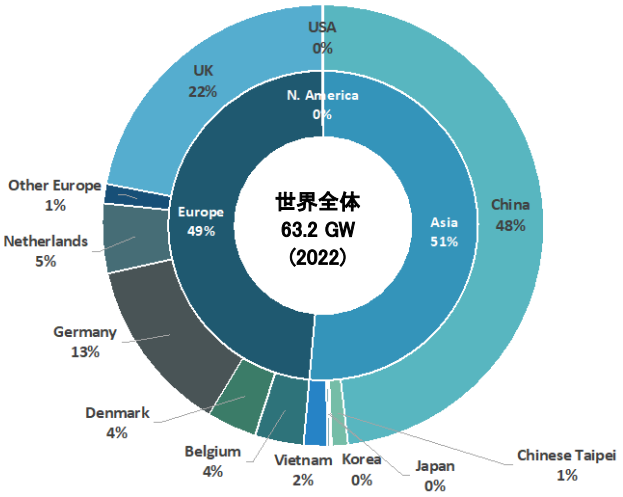


図 1-1 世界の洋上風力発電の累積設備容量のシェア（2022 年）

出所：IRENA Renewable capacity statistics 2023

[2] ESMAP (2021), *Energy Sector Management Assistance Program Annual Report 2021*, International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, https://documents1.worldbank.org/curated/en/615511640189474271/pdf/Energy-Sector-Management-Assistance-Program-ESMAP-Annual-Report-2021.pdf

[3] IEA (2019), *Offshore Wind Outlook 2019: World Energy Outlook Special Report*, https://iea.blob.core.windows.net/assets/495ab264-4ddf-4b68-b9c0-514295ff40a7/Offshore_Wind_Outlook_2019.pdf

[4] IRENA and GWEC (2023), *Enabling frameworks for offshore wind scaleup: Innovations in Permitting*, International Renewable Energy Agency, https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Sep/IRENA_GWEC_Enabling_frameworks_offshore_wind_2023.pdf

[5] IRENA (2023), *Renewable capacity statistics 2023*, https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf

2021 年 6 月、政府は「グリーン成長戦略」[6]において、洋上風力発電を今後の成長が期待される 14 の重点産業分野のひとつに位置づけ、「第 1 次洋上風力産業ビジョン」[7] に基づき、2030 年までに 10GW、2040 年までに浮体式洋上風力を含めて 30～45GW の洋上風力発電を導入する目標を掲げた。これは、年間約 1GW の洋上風力発電の促進区域を 10 年間指定し続けることで達成される（1.2 参照）。

領海と排他的経済水域(EEZ)の面積を合わせた、海岸線から 200 海里の水域の面積が世界第 6 位であることを考慮すると(第 4 章参照)、日本の導入目標は、アジアの近隣国や洋上風力の導入を進める他の世界各国と比べても控えめな目標になっている（表 1-1)。IEA は、日本の洋上風力発電の技術的なポテンシャルの合計は 9,000TWh/年以上を超えると推定している [8]。2022 年の電力需要が約 870TWh であったことを踏まえると、日本は洋上風力発電で需要の 9 倍の電力を発電することができる。

表 1-1 洋上風力発電導入に関する政府目標の比較

地域/国	目標		政策名*4	発表年
	洋上風力	内、浮体式		
日本	2030 年：10GW 2040 年：30-45GW		グリーン成長戦略	2021
韓国	2034 年：20.1GW*1		第 5 次新・再生可能エネルギー基本計画	2020
台湾	2040 年：40-55GW		2050 年ネットゼロ排出ロードマップ	2022
ベトナム	2030 年：6GW 2050 年：70-91.5GW		第 8 次電源開発計画（PDP8）	2023
欧州連合	2030 年：111GW*2 2050 年：317GW		Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Delivering on the EU Offshore Renewable Energy Ambitions	2023
デンマーク	2030 年：14GW 2050 年：35GW		Wind Pledges – European Wind Power Action THE DECLARATION OF ENERGY MINISTERS on The North Sea as a Green Power Plant of Europe	2023 2022
ドイツ	2030 年：30GW 2035 年:40GW 2045 年：70GW		Wind Energy at Sea Act (WindSeeG)	2022
オランダ	2031: 21W 2040 年：50GW 2050 年：70GW		Wind Pledges – European Wind Power Action	2023
英国	2030 年：50GW	2030 年：5GW	British Energy Security Strategy	2022
アイルランド	2030 年：7GW 2040 年：15-20GW 2050 年：37GW	2030 年：2GW*3	Offshore Energy Programme	2023
ノルウェー	2040 年: 30GW		政府プレスリリース	2022
米国	2030 年：30GW	2035:15GW	政府プレスリリース	2021, 2022

出所：各種資料を基に筆者作成

注
*1: 風力発電の導入目標と洋上風力発電のシェアを基に計算。

[6] 内閣官房ほか(2021)「グリーン成長戦略」
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf
[7] 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会(2020),「洋上風力産業ビジョン(第1次)」
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/yojo_furyoku/pdf/002_02_02_01.pdf
[8] IEA (2019), op. cit.

*2: 洋上再生可能エネルギーの目標で、海洋エネルギーを含む。
*3: グリーン水素製造専用の洋上再生可能エネルギー。
*4: 各国の政策の参照元は下記の通り。
韓国: MOTIE (December 29, 2020, press release), “Fifth Basic Plan for New and Renewable Energy”, https://www.motie.go.kr/kor/article/ATCL3f49a5a8c/163676/
台湾: Climate Change Administration (2022), “Phased Goals and Actions Toward Net-Zero Transition”, https://www.english-climatetalks.tw/_files/ugd/5e0d7e_5813cf454e2f48ba88b6b5823c8ac60e.pdf
ベトナム: Government of Vietnam (2023), “National Electricity Development Plan For 2021-2030 (Eight National Power Development Plan”, https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Thuong-mai/Quyet-dinh-500-QD-TTg-2023-Quy-hoach-phat-trien-dien-luc-quoc-gia-2021-2030-tam-nhin-2050-566461.aspx
欧州連合: European Commission (2023), “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Delivering on The EU Offshore Renewable Energy Ambitions”, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023DC0668&qid=1702455230867;
デンマーク: European Commission (2023), “Wind Pledges – European Wind Power Action”, https://energy.ec.europa.eu/document/download/ff9911eb-4f53-497b-a6a6-84a64feeea60_en;
“THE DECLARATION OF ENERGY MINISTERS on The North Sea as the Green Power Plant of Europe”(May 2022), https://kefm.dk/Media/637884570050166016/Declaration%20of%20Energy%20Ministers%20(002).pdf
ドイツ：BMJ (German Federal Ministry of Justice) (2023), “Offshore Wind Energy Act (WindSeeG)”, https://www.gesetze-im-internet.de/windseeg/WindSeeG.pdf
オランダ: European Commission (2023), *op. cit.*
英国: GOV.UK (2022), “British Energy Security Strategy”, https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy/british-energy-security-strategy
アイルランド: Government of Ireland (2023), “Accelerating Ireland’s Offshore Energy Programme Policy Statement on the Framework for Phase Two Offshore Wind”, https://assets.gov.ie/249823/bbd8b13c-73cd-46d4-9902-533fbf03d7fe.pdf
ノルウェー: Government.no (May 11, 2022, press release), “Ambitious offshore wind initiative,” https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/ambitious-offshore-wind-power-initiative/id2912297/
米国: 2030 年目標について、: The White House (March 20, 2021, press release) “FACT SHEET: Biden Administration Jumpstarts Offshore Wind Energy Projects to Create Jobs”, https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/03/29/fact-sheet-biden-administration-jumpstarts-offshore-wind-energy-projects-to-create-jobs/; 2035 年浮体式洋上風力発電の目標について：The White House (September 15, 2022, press release), “FACT SHEET: Biden-Harris Administration Announces New Actions to Expand U.S. Offshore Wind Energy”, https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/09/15/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-new-actions-to-expand-u-s-offshore-wind-energy/

1.2 日本の洋上風力発電政策

日本では 2018 年に「海洋再生可能エネルギー発電設備等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）」[9]が制定され、事業者が洋上風力発電のために海域を最長 30 年間占有できるようになった。同法はまた、海運や漁業などの海域の先行利用者との協議会を通じた地域調整の枠組みを定めている。

再エネ海域利用法では、洋上風力発電の適地について、その調整段階に応じて、「一定の準備段階に進んでいる区域（準備区域）」「有望な区域」「海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域（促進区域）」を定めている [10]。「準備区域」は、利害関係者との調整に着手しているなど、洋上風力発電事業を事業化する地元の意欲に基づいて指定される。これらの地域は、系統確保やステークホルダーの特定、協議会設置の準備など促進区域指定ガイドラインに規定されている一定の要件を満たす場合、「有望な区域」に昇格する。関係者間で合意に至れば、当該地域は「促進区域」に指定され、一般競争入札が行われる。入札は、

[9] 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（平成 30 年法律第 89 号）, https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=430AC0000000089
[10] 2023 年 10 月現在、10 件の「促進区域」、9 件の「有望な区域」、8 件の「準備区域」が指定されている。

「価格点（120 点満点）」と「事業実現性評価点（120 点満点）」の合計で最高点だった事業者が落札者となるように設計されている。

これまでに促進区域の事業者選定の入札は 2 回実施された。第1ラウンドでは、2021 年 5 月に長崎県五島市沖の海域の事業者が決定し、2021 年 12 月、秋田県と千葉県の 3 つの促進区域で合計 1.67GW のプロジェクトの入札結果が発表された。第 1 ラウンドでは 1 つの事業者を中心とするコンソーシアムが全 3 海域を落札したため、第 2 ラウンドではルールが改正され、秋田県、新潟県、長崎県の 3 つの促進区域の事業者が選定された。新ルールでは、早期の運転開始が高く評価されたほか、1 つのコンソーシアムが 1 回の入札で落札できる上限が 1GW に設定された。

また、グリーン成長戦略では、着床式洋上風力の発電コストを 2030～2035 年に 8～9 円/kWh とすることを目指す。表 1-2 で示すように、着床式では、この水準を下回る提案をした事業者が落札している[11]。

表 1-2 第1・2 ラウンドの入札結果

ラウンド	海域	落札者	出力（MW）	供給価格（円/kWh）	運転開始	価格点	事業実現性評価点
1	秋田県能代市、三種町及び男鹿市沖	三菱商事エナジーソリューションズ、三菱商事、シーテッ ク	480	13.26	2028 年 12 月	120	88
	秋田県由利本荘市沖	三菱商事エナジーソリューションズ、三菱商事、ウェンティ・ジャパン、シーテック	820	11.99	2030 年 12 月	120	82
	千葉県銚子市沖	三菱商事エナジーソリューションズ、三菱商事、シーテック	390	16.49	2028 年 9 月	120	91
2	秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖	JERA、電源開発、伊藤忠、東北電力	315	3	2028 年 6 月	120	120
	新潟県村上市・胎内市沖	三井物産、RWE Renewables Japan、大阪ガス	684	3	2029 年 6 月	120	120
	長崎県西海市江島沖	住友商事、東京電力リニューアブルパワー	420	22.18	2029 年 8 月	120	101

（出所）資源エネルギー庁（2024 年 1 月）[12]を基に筆者作成

また、経済産業省と国土交通省は、より迅速かつ効率的に調査を実施するため、案件形成の初期段階から政府や自治体が関与する「セントラル方式」の確立に向けた制度設計を進めている。セントラル方式では、ステークホルダーの理解が得られていることが前提に、洋上風力発電の基本設計に必要な風況や海底特性などの調査を独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が実施する。

さらに、浮体式洋上風力発電システム全体として関連要素技術を統合した浮体式実証実証試験を実施するため、グリーン・イノベーション基金のフェーズ 2 に最大 850 億円が投入される。これらの実証試験には、それぞれ 10～90MW の 4 つのエリアが選ばれている。

[11] ただし、実際の供給価格は電力購入契約（PPA）によって決定される。
[12] 資源エネルギー庁（2024 年 1 月),「風力発電について」（第 92 回調達価格等算定委員会 資料1）, https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/092_01_00.pdf

1.3　浮体式洋上風力発電の開発

海底に固定する従来型の着床式洋上風力タービンの設置に適するのは、水深 50～60m までとされている。しかし、世界の洋上風力発電ポテンシャルの 80%は水深 60m より深い海域 [13]に分布しており、そこでは浮体構造物の技術が必要とされる。英国をはじめとする欧州各国が、これまで浮体式洋上開発を牽引してきた（図 1-2）。

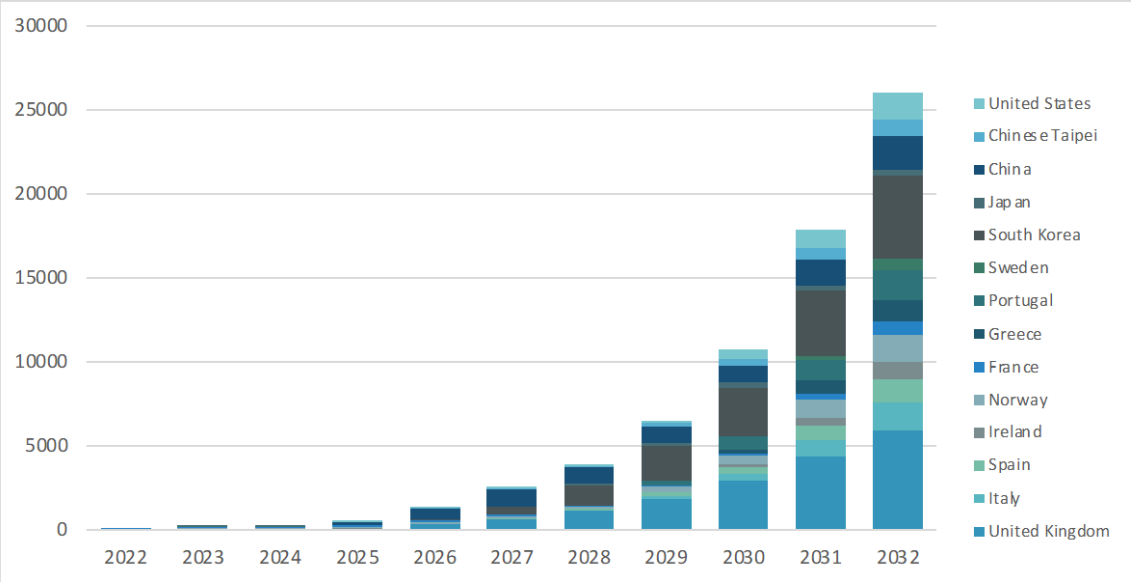


図 1-2 浮体式洋上風力発電の累積導入量の見通し

出所：GWEC（2023）p.107 を基に著者作成

注：2023 年以降の数字は、新たに設置されると予想される浮体式風力発電に基づいている。

日本の洋上風力発電の技術的ポテンシャルの分布域は、海岸線から 10km 以内の水域であっても水深が深くなっている [14]。したがって、そのポテンシャルのほとんどは、浮体構造物の技術を適用しないと活用できず、その技術開発とコスト低減が急務である。しかし、洋上風力発電の政府目標には、浮体式洋上風力の数値目標は明示されていない。グリーンイノベーション基金のフェーズ 2 では実証区域の候補が選ばれているが、各区域に設置できるのは 10～90MW に過ぎず、これはタービン 6 基未満に相当する [15]。

[13] GWEC (2023), *Global Offshore Wind Report*, https://gwec.net/wp-content/uploads/2023/08/GWEC-Global-Offshore-Wind-Report-2023.pdf

[14] 長井浩，池ヶ谷辰哉，伊藤正治，中尾徹 (2010),「わが国沿岸海域における洋上風力発電の期待可採量」『風力エネルギー』Vol.34, No.1, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwea/34/1/34_103/_pdf

[15]経済産業省（2023 年 10 月 3 日プレスリリース),「再エネ海域利用法に基づく促進区域の指定、セントラル方式による調査対象区域及び GI 基金（浮体式実証）の候補区域について」, https://www.meti.go.jp/press/2023/10/20231003002/20231003002.html

洋上風力が開発可能な海域を排他的経済水域（EEZ）[16]に拡大するべく、再エネ海域利用法の改正案が国会に提出される見込みである[17]。この改正案は、2024 年 1 月の政府審議会[18]での議論を踏まえ、EEZ における洋上風力発電プロジェクトの選定に、英国、米国、オーストラリアで実施されているような 2 段階方式の制度を導入するものである。

提案されているスキームでは、事業者候補は、漁業や防衛レーダー、主要航路を考慮した上で政府が指定する募集区域の中からサイトを選定し、区域図案や発電設備の設置計画案を添えて政府に申請する。仮許可を付与された事業者は、当該海域の詳細な調査を行い、漁業者やその他の先行利用者を含むステークホルダーとの調整を開始することができる。調整後の設置計画と区域図を政府に提出し、審査を経て、評価基準を満たした開発業者に発電設備の設置許可が行われる。（図 1-3）

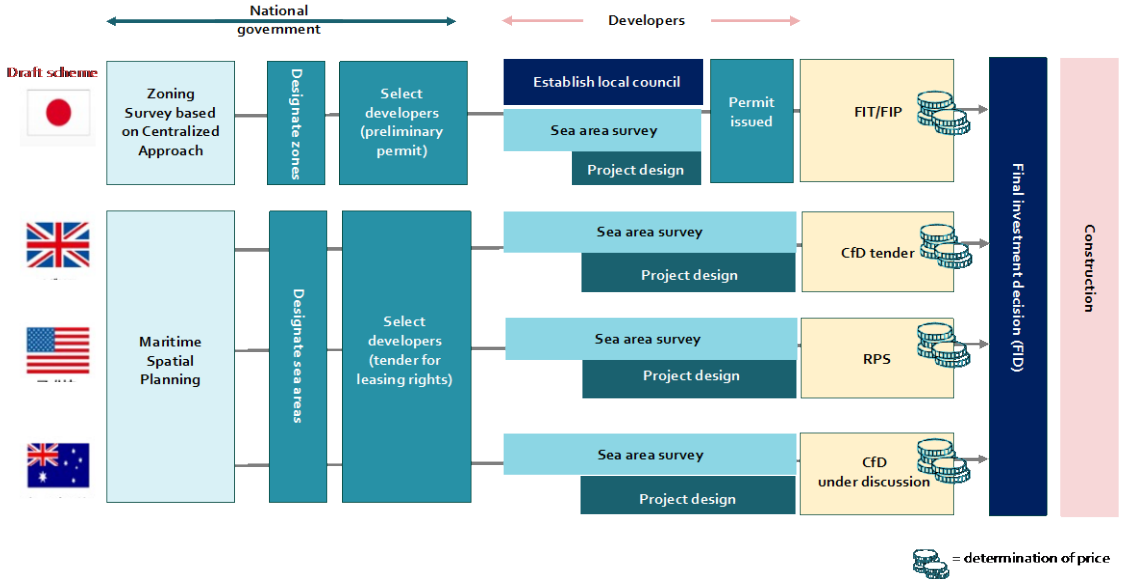


図 1-3 EEZ におけるプロジェクト選定の 2 段階方式

出所：第 22 回洋上風力発電推進ワーキンググループ合同会議資料を基に作成

英国、ノルウェー、ドイツ、オランダ、デンマークなどの欧州各国では、既に EEZ 内での洋上風力発電プロジェクトが進められており、その一部は稼働している。

洋上風力発電のポテンシャルの 3 分の 2 が着床式基礎に適さない海域に存在する米国では、Floating Offshore Wind Shot において、大水深での浮体式洋上風力発電のコストを 2035 年までに 70%以上削減し、45USD/MWh とすることを目指す。[19]

---

[16] 排他的経済水域（EEZ）とは、沿岸国が生物及び非生物資源を管轄する、国の領海の基線から 200 海里を超えない範囲で設定される水域。（4 章参照）

[17] 2024 年 2 月 9～22 日の期間、政府のポータルサイト(https://public-comment.e-gov.go.jp/servlet/Public)でパブリックコメントが募集された。

[18] 第 22 回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー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洋上風力促進ワーキンググループ 交通政策審議会港湾分科会環境部会洋上風力促進小委員会 合同会議（2024 年 1 月 26 日）, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/yojo_furyoku/022.html

[19] 米 DOE ウェブサイト "Floating Offshore Wind Shot: Unlocking Power of Floating Offshore Wind Energy", https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/floating-offshore-wind-shot-fact-sheet.pdf

アジアでは、中国が EEZ において複数の着床式洋上風力発電プロジェクトを建設中である。韓国も EEZ 内で複数のプロジェクトを計画しており、その多くが浮体式洋上風力発電技術を利用するプロジェクトである。2023 年 4 月には、蔚山商工会議所（UCCI）と 5 つの浮体式洋上風力発電コンソーシアムを会員とする蔚山浮体式洋上風力発電協会が発足し、蔚山に洋上風力発電のエコシステムが構築された [20]。台湾では領海外でのウィンドファームの建設を認める方向で、「再生可能エネルギー開発法」を改正する動きがある [21]。

[20] Korea Floating Wind (April 5, 2023, press release), “Ulsan Floating Offshore Wind Association officially launched with KF Wind,” https://koreafloatingwind.kr/ulsan-floating-offshore-wind-association-officially-launched-with-kf-wind-3333

[21] Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs (July 12, 2023),“The Draft Amendment to Renewable Energy Development Act Passes Third Legislative Reading, Adding Regulations on “Solar Panel Installation on Buildings” and the “Chapter for Geothermal Energy”, https://www.moea.gov.tw/MNS/english/news/News.aspx?kind=6&menu_id=176&news_id=110545

2　洋上風力発電の大規模導入の技術的課題とソリューション

日本は国土が狭隘で、山岳部の割合が大きいため、陸上でのウィンドファームの設置は制約があるが、海に囲まれているため、洋上風力は大規模展開が期待できる。特に、日本の領海と排他的経済水域（EEZ）を合わせた面積は世界で6番目に大きく、EEZ を含めると、日本の洋上風力のポテンシャルが 500～900GW に達するという調査結果もある [22,23]。ただし、海岸線から 10km 以内の水域であっても日本の領海は着床式洋上風力発電が適する水深 50～60m を超えているところが多く [24]、EEZ はさらに深くなるため、浮体を係留により位置保持する浮体式洋上風力の技術を適用せざるを得ない。

浮体式洋上風力発電は、欧州などでは既に商用化段階に入っているが、陸上風力や着床式洋上風力に比べて導入実績が少なく、技術面のみならず、関連インフラや設置に係るエンジニアリング、コストなどの課題が存在する。本章では浮体式洋上風力の技術動向や導入の障壁などを概説し、大量導入に向けたソリューションを検討する。

2.1　洋上風力の技術的課題

浮体式ウィンドファームは、風力タービン、浮体構造物、係留索・アンカー、電力ケーブル、変電所などで構成される。以下では主要な構成要素について、課題や期待されるソリューションを整理する。

2.1.1　浮体構造物と風力タービン

現在主流となっている浮体式洋上風力は、浮体構造物に水平軸型風力タービンが搭載される構造である。浮体式の風力タービンには波浪動揺を踏まえた設計が求められるが、陸上風力や着床式洋上風力で広く実績があることから、水平軸型風力タービンが採用される場合が多い。浮体構造物に関しては、バージ（barge）、セミサブ（semi-submersible）、スパー(spar)、TLP（tension leg platform)などの種類がある。表 2-1 に浮体構造物について、種類別に特徴とメリット・デメリットなどを整理する。

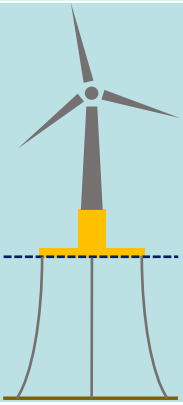
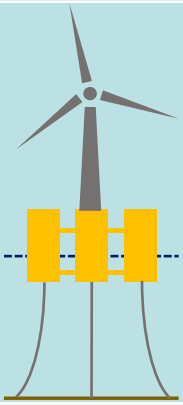
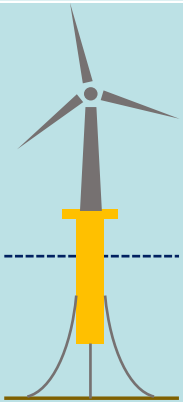
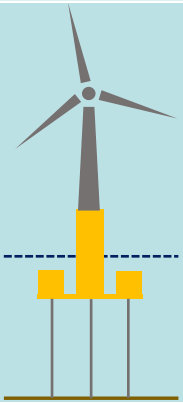
---

[22] 自然エネルギー財団（2023），「[分析レポート]日本の洋上風力発電ポテンシャル領海と排他的経済水域」，https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/REI_Analysis_JapanOSWPotential.pdf

[23] 株式会社エックス都市研究所、アジア航測株式会社（2020）「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」，環境省，https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/report/r01.html

[24] 長井浩他(2010)，*op. cit.*

表 2-1 主な浮体構造物の技術的特徴の整理

	バージ	セミサブ	スパー	TLP
特徴	主に底面が平らな箱舟に風力タービンを設置したもの。通常、カテナリー（懸垂線）係留されており、水面との接触面が増すことで安定度を高める構造。	バージ型の改良形で、浮体を所定の喫水まで沈めて半潜水状態にする形式。	円筒ブイ型の浮体構造物を垂直方向に延長することによってその大部分を没水させる形式。重心を下げることによって浮体を安定させる。	強制的に半潜水させた浮体構造物と海底を緊張係留ラインで結び、強制浮力によって生じる緊張力を利用して係留される形式。
メリット	シンプルな構造のため、大量生産に向く。	浅い海域にも設置可能なため、適地が多い。	シンプルな構造のため製造しやすく、コスト削減が期待できる。	設置がコンパクトで、係留に要する海底面積は小さい。
デメリット	揺れが大きい。	構造が複雑。	浅い海域での設置が難しい。タービンの拡大に伴いより長い構造物が必要になり、製造、運搬、設置が困難になる。喫水が深いためメンテが難しい。	係留などのコストが高い。
適用海域	比較的揺れやすい形式であり、静穏な海域での設置に適する。	浮体の大部分を没水させ波の影響を受けにくくしているため、沖合での設置に適する。	水面貫通部分が小さいため、波浪条件の激しい沖合に設置するのに適する。	軟粘土質の海底には向かない。
適用可能な水深	50-100m	50-100m	100m 超	100m 超
主な導入事例（日本）[1)]	北九州市沖	福島浮体式洋上ウィンドファーム実証事業	崎山沖 2MW 浮体式洋上風力発電所	低コスト化技術検証事業
主な導入事例（海外）[2)]	EolMed（フランス）	Valorous(英国) EFGL（フランス）	Hywind Tampen（ノルウェー） Hywind Scotland（スコットランド）	Provence Grand Large（フランス）
国内の開発事業者	日立造船	日立造船、ジャパンマリンユナイテッド、東京ガス	戸田建設、東電 RP	三井海洋開発
構図				

出所：NEDO(2018)[25]、Zhao (2021)[26]、各社資料に基づき筆者作成

注

*1 各社資料は下記の通り：

北九州沖：NEDO (2018 年 8 月 10 日プレスリリース),「日本初のバージ型浮体式洋上風力発電システム実証機が完成」, https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101008.html

福島浮体式洋上ウィンドファーム：福島洋上風力コンソーシアムウェブサイト http://www.fukushima-forward.jp/

[25] NEDO (2018),「浮体式洋上風力発電技術ガイドブック」、https://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku_guidebook.html

[26] Jian Zhao (2021), “Commercialization of floating offshore wind power speeds up in Europe: expectations are also high in Japan, which aspires to deploy up to 45 GW of offshore wind power by 2040” (Mitsui & Co. Global Strategic Studies Institute Monthly Report), https://www.mitsui.com/mgssi/en/report/detail/_icsFiles/afieldfile/2021/08/18/2107t_zhao_e.pdf

崎山沖 2MW 浮体式洋上風力発電所: 戸田建設株式会社ウェブサイト「崎山沖 2MW 浮体式洋上風力発電所」, https://www.toda.co.jp/business/ecology/special/pdf/sakiyama2mw_j.pdf
低コスト化技術検証事業: 三井海洋開発株式会社（2022 年 1 月 21 日プレスリリース),「TLP 方式による浮体式洋上風力発電低コスト化技術検証事業の採択について」, https://www.modec.com/jp/news/2022/20220121_pr_TLP_OffshoreWindTurbines.html

*2 各社資料は下記の通り。
EolMed: EOLMED ウェブサイト, “EOLMED Floating wind energy in Western France”, https://eolmed.qair.energy/en/
Valorous: Blue Gem Wind ウェブサイト,“Valorous: An early commercial project in the Celtic Sea”, https://www.bluegemwind.com/our-projects/valorous/
EFGL: EFGL ウェブサイト “The PPI Float” https://info-efgl.fr/le-projet/le-flotteur-ppi-eiffage/
Hywind Tampen: Equinor ウェブサイト “Hywind Tampen”, https://www.equinor.com/energy/hywind-tampen
Hywind Scotland: Equinor ウェブサイト “Hywind Scotland”, https://www.equinor.com/energy/hywind-scotland
Provence Grand Large: Prysmian Group (n.d.) “Provence Grand Large”, *Insight*, https://www.prysmiangroup.com/en/insight/projects/provence-grand-large

浮体式洋上風力の開発は、英国などで活発に進められてきた。水深、海底の形状、環境条件、漁業などの社会的条件、地震や津波の有無など、海域による違いを考慮して最適な浮体構造物の種類を決めていく必要がある。

陸上、洋上全体の風力タービンの 2021 年の市場シェアは Vestas（ノルウェー、17.7%）、Goldwind（中国、11.8%）、Siemens Gamesa（スペイン、9.7%）、Envision（中国、8.6%）、GE Renewable Energy（米国、8.5%）の上位 5 社で世界市場の半分強を占めた [27]。このように、風力タービンを供給できるメーカーは限定されていることもあり、洋上風力の建設においては、風力タービンと浮体構造物を個別に手掛ける場合が多い。例えば、2017 年に世界初の浮体式洋上風力の商用運転を開始したスコットランド沖合の Hywind Scotland 浮体式洋上風力サイトでは、主たる運営主体は Equinor 社（当時の Statoil）であるが、風力タービンの供給は Siemens Gamesa 社が行い、基礎、タワー、係留システムのエンジニアリングおよび調達支援は Aibel 社が、浮体構造物製作は Navantia-Windar 社が手掛けている [28]。

現在、日本には、大型風力タービンメーカーがないため、日本で洋上風力の開発を行うには、風力タービンは海外メーカーに頼らざるを得ない。風力タービンは国際競争が激しく、今後の国内産業の育成が厳しいとしても、浮体構造物に関しては、造船竣工量が世界 3 位の日本には造船技術の基盤があり、品質管理も優れているため [29]、この分野に特化した国内企業を育てることで、国内外の市場にビジネスを展開していくという戦略が考えられる。ただし、浮体構造物の分野においても、例えば、Gazelle Wind Power 社 [30]は風や波の影響による風力タービンの揺れを最小化する動的係留システムを備えた浮体構造物の開発を進めるなど、国外では新たな技術開発が進められており、今後、競争が激しくなることが予想される。

[27] GWEC (2022), “Global Wind Development Market Supply Side Data 2021”, https://gwec.net/wind-turbine-suppliers-see-record-year-for-deliveries-despite-supply-chain-and-market-pressures/

[28] 日本貿易振興機構（ジェトロ）調査部・ロンドン事務所（2023 年 6 月),「英国における洋上風力サプライチェーン動向に関する調査　～第 1 部 総論：サプライチェーン～」, https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/01/80a7a99f692a5876/20230010_02.pdf)

[29] 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2021 年 4 月 1 日),「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」, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/yojo_furyoku/dl/roadmap/roadmap20210401.pdf

[30] Gazelle Wind Power ウェブサイト, https://gazellewindpower.com/what-we-do/technology/

2.1.2　係留

係留については、現在、鉄製アンカーチェーンが主流である。しかし、EEZ を含む日本の周辺海域では水深が深いため、係留索の重量が非常に大きくなり、製造や運搬が課題になる。この課題に対応するために、合成繊維索の可能性も検討されている [31]。合成繊維索は軽量でかつリール状態（巻き状態）で保管可能なことから、作業船の小型化、荷役スペースの縮小化を図ることができる。合成繊維は材料によって耐水性、伸び、強度などの特性が異なり、利用状況に応じた選定が必要になる。なお、英国の浮体式洋上風力の係留索として日本メーカーの合成繊維が採用される事例も見られるほか [32]、国内では秋田沖で鋼製チェーンと合成繊維ロープを併用した「ハイブリッド係留」の試験に取り組んでいる [33]。

浮体式洋上風力発電では、深海における海底への係留コストも大きくなる。そのため、素材の開発だけでなく、係留システムの工夫も検討されている。複数の研究 [34,35]で、係留索やアンカーを複数の風力タービンで共有する共有係留システムの導入によって、必要な部品の数を減らすだけでなく設置コストを節約できるため、係留コストの低減につながると結論づけている。Equinor 社の Hywind Tampen(ノルウェー)では、アンカーを共有するデザインが採用されており、11 基の風力タービンの係留に 19 個のアンカーを用いるが、5 基の風力タービンに 15 個のアンカーを用いる従来型設計の Hywind Scotland に比べても大きく削減されている。

2.1.3　送電線

浮体式洋上風力では、着床式の場合に比べ離岸距離が長くなることから、送電方法も課題となる。交流（AC）ケーブルの場合は距離による送電ロスが大きく、230kV クラスでは 30～50 ㎞までの送電距離が限界と言われている。直流（DC）ケーブルにすると、長距離でもロスが少なくケーブルの太さも AC の場合に比べて細くできる一方で、変電所が大型化し高コストになるというデメリットがある。

浮体式洋上風力の送電線の大きな技術的課題は、大水深での敷設と動揺への対応である。従来の海底電力ケーブルの実績に基づくと水深 300m 程度までは問題ないとされており、現在、より大水深となる浮体式向けに 1,500m 級の深海に敷設可能なケーブルの開発 [36]、波浪動揺や潮流による動的挙動への耐性を有するダイナミックケーブルの開発が進められている [37]。また、製造性、コスト、施工性の改善などの取組みも見られる [38]。

---

[31] 中條俊樹(2021),「浮体式洋上風力発電の合成繊維索を用いた係留系の設計について」（海上・港湾・航空技術研究所　研究発表会）, https://www.mpat.go.jp/pdf/202112_2.pdf

[32] Wind Journal (2023 年 3 月 6 日),「世界初！ TLP 方式の浮体式洋上風力発電に合成繊維製ケーブル採用。軽量化でコスト低減」, https://windjournal.jp/115617/

[33] ジャパンマリンユナイテッド株式会社（2022 年 8 月 30 日プレスリリース),「GI 基金事業「セミサブ型浮体・ハイブリッド係留システムに係る技術開発及び施工技術開発」に係るハイブリッド係留の実海域試験の実施について」, https://www.jmuc.co.jp/news/assets/windfarm_scalemodel_20220830.pdf

[34] Hang Xu et al (2024), "Shared mooring systems for offshore floating wind farms: A review," *Energy Reviews* Volume 3, Issue 1, March 2024, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772970223000500

[35] NREL (2022), "Shared Mooring Systems for Deep-Water Floating Wind Farms: Final Report" prepared for National Offshore Wind Research and Development Consortium, https://nationaloffshorewind.org/wp-content/uploads/142869_Final-Report.pdf

[36] 桑原諒介他(2022),「海底電力ケーブルシステムの技術動向と開発課題および取り組み～ SDGs 達成への貢献～」『古河電工時報』第 141 号, 2022 年 4 月, https://www.furukawa.co.jp/rd/review/fj141/fj141_08.pdf

[37] 谷之木良太他 (2017),「浮体式洋上風力発電用ダイナミックケーブル」『SEI テクニカルレビュー』第 190 号, 2017 年 1 月, https://sei.co.jp/technology/tr/bn190/pdf/190-09.pdf

[38] 伊田維斗他 (2022),「洋上風力発電向け非遮水海底ケーブルの水トリー特性」『住友電工テクニカルレビュー』第 200 号, 2022 年 1 月, https://sumitomoelectric.com/jp/sites/japan/files/2022-01/download_documents/J200-07.pdf

直流海底ケーブルについては、日本企業[39]が独自の材料開発を行っており、この分野における日本の優位性が期待できる。

2.1.4　新興テクノロジー

様々な技術的な課題を克服するため、スタートアップ企業を中心に新しいタイプの風力発電の開発が見られる。

陸上風力では、チャレナジー(日本)が風向きに依存せず強風にも強い垂直軸型で、縦型に配置した円筒を自転させることで発生するマグナス力[40]を活用した「垂直軸型マグナス式風力発電機」[41]を、Vortex Bladeless 社（スペイン）[42]が「渦励振」[43]を利用したブレードのない風力発電の開発を進め、実用化に成功している。

浮体式洋上風力の分野でも World Wide Wind 社（ノルウェー）[44]やアルバトロス・テクノロジー（日本）[45]などのスタートアップ企業が垂直軸型の浮体式洋上風力タービンの開発を行っている。両者ともに、構造がシンプルであり、据え付けのための専用船が不要で、洋上設置が容易といった特長を有する。

World Wide Wind 社の「2 重反転垂直軸型タービン（Counter-Rotating Vertical Axis Turbine, CRVT）」は、柱の上部と下部に付いたタービンがそれぞれ逆方向に回ることで、出力が増加する。また、風力タービン後流の乱流（ウェイク）の発生抑制効果によって下流に位置する他の風力タービンへの影響を軽減できる。そのため、タービン同士の距離は半分まで近づけられるため、同じ面積の中により多くのタービンを配置できる。

アルバトロス・テクノロジーの「浮遊軸型風車(Floating Axis Wind Turbine, FAWT)」は、ブレードが同一断面形状で長さ方向に分割製造が可能なため、自動化した連続製造プロセスによる大量生産の可能性がある。また、大規模な製造工場が不要で輸送容易という利点もあることから、土地・道路の制約によって製造ヤードの確保や輸送が困難な日本でも、国内での製造・輸送を行うことができる。また、同社は 2023 年 5 月に J パワー、東電 HD、中部電力、川崎汽船と共同研究契約を締結しており、日本政策投資銀行は、設置時のコスト低減、風力タービンの国内製造、ブレード材料などの国内調達を予定していることを評価し、2023 年に 12 月に出資している[46]。

これらの技術はまだ技術開発段階にあり[47]、実証を通じて大型化・商用化に向けた多様な課題の解決が求められる。一方、2009 年に創立された浮体式洋上風力に特化した HexiconPower 社[48]は、TwinHub(英国)[49]などのプロジェクトを、独自の TwinWind という、2 基の風力タービンを乗せられる浮体構造物で勝ち取

---

[39] 住友電工株式会社ウェブサイト「直流海底ケーブル」, https://sumitomoelectric.com/jp/products/submarine-cable)

[40] 「マグナス力」とは、回転しながら進む物体にその進行方向に対して垂直の力（揚力）が働く現象。

[41] 株式会社チャレナジーウェブサイト「垂直軸型マグナス式風力発電機」, https://challenergy.com/en/product/

[42] Vortex Bladeless ウェブサイト, https://vortexbladeless.com/

[43] 「渦励振」とは風を受けた円筒の振動によって発生する現象で、各物体が持つ固有振動数と、風が円柱などに当たって発生する空気の渦の周波数が一致した場合に、共振を引き起こし振幅が増大する現象。

[44] World Wide Wind ウェブサイト, https://worldwidewind.no/pages/technology

[45] 株式会社アルバトロス・テクノロージーウェブサイト, https://www.albatross-technology.com/

[46] 日本政策投資銀行 (2023 年 12 月 6 日プレスリリース),「(株)アルバトロス・テクノロジーに対する出資について
－浮体式洋上風車の新たな選択肢となる「浮遊軸型風車」開発を支援－」,
https://www.dbj.jp/topics/dbj_news/2023/html/20231206_204574.html

[47] これらの浮体式洋上風力は小型であり、タワーは鉄製でなくアルミニウム、浮体構造物は木材を利用する概念もある。アルミニウムは強度の問題はあるが鉄よりもリサイクルしやすい。木材は国産材を使うことで、国内サプライチェーンの構築に寄与できる可能性がある（3 章参照）。

[48] Hexicon Power ウェブサイト, https://hexiconpower.com

[49] TwinHub ウェブサイト, https://www.twinhub.co.uk

るなど [50]、新興企業によるプロジェクト参入も見られる。新技術に対しても、失敗を恐れない迅速な取り組みや、それらを支える基盤を整備していくことが重要だろう。

2.2　産業戦略としての位置付け

2.1.1 で示した通り、浮体式洋上風力の開発においては、陸上風力や着床式洋上風力に比べ、浮体構造物や係留索など、より多くの構成要素があり、非常に多くのステークホールダーの関与が必要になる。これらに関連する企業は国内に数多く存在する。陸上風力や着床式洋上風力と共通の要素の関連産業には、タービンブレードの炭素繊維プラスチック（CFRP）製造業者、発電機メーカー、鋼製タワー向けの鉄鋼業などがある。浮体構造物では造船業や建設業、係留索では鉄鋼業や合成繊維などの化学品製造業、海底ケーブルでは電線製造業、組み立て・設置では造船業、建設業、海洋土木工事業などが日本の強みである。

現在、日本には大型風力タービンメーカーがないものの、それ以外の業種を基盤として、浮体式洋上風力を核とした産業振興の可能性はある。また、2.1.4 で示した通り、新しい発想で技術開発を進めるスタートアップも少なくない。風車メーカーが存在しないオランダ、スペイン、台湾においては、洋上風力の基地港湾整備、周辺産業の育成や振興などを通じて、自国の洋上風力の推進と併せて世界市場シェアの獲得を目指すなどの戦略を打ち立てている事例 [51]があり、今後、日本が浮体式洋上風力を進めるにあたっての参考となるだろう。

日本政府も「GX 実現に向けた専門家ワーキンググループ」[52]において、今後の方向性として「浮体式に特化した導入目標の策定により、事業者の予見性を確保し国内外の投資を促進」を掲げているが、浮体式洋上風力を核とした具体的な産業戦略を描くことが求められる。

2.3　小結

国土は狭いが経済主権が及ぶ海域の面積が広い日本にとって浮体式洋上風力は魅力的な再エネ電源である。浮体式洋上風力は着床式に比べて、開発段階の技術も多く、日本が得意とする造船技術などの応用や海底ケーブル技術などを適用して、日本が主体となってサプライチェーンを構築できる可能性がある。しかし、機運を掴むことが重要である。

実証事業は技術の確立に向けて必要であるが、グリーンイノベーション基金フェーズ 2（浮体式実証）[53]含め、現在進められている浮体式洋上風力の実証事業は小規模であり、300～500MW 以上のプロジェクトを中心に開発する国外風力タービンブレードメーカーにとっては魅力的な案件形成にはつながらない [54]。浮体式洋上風力の進展を日本で図っていくためには、技術実証と同時に、既に確立されている技術をベースにした大規模実プロジェクトを立ち上げることで、日本が巨大で魅力的な市場を有することを国外の風力タービンブレードメーカーに向けて明確に示すことが肝要である。実際、国外では浮体式洋上風力は technology-push の段階を終え、既に market-pull の段階に入っていると言われている。ただし、国外メーカ

---

[50] Searade Maritime News（July 8, 2022）, “Hexicon wins 15-year package for Celtic Sea floating wind project”, https://www.seatrade-maritime.com/offshore/hexicon-wins-15-year-package-celtic-sea-floating-wind-project）

[51] 永田哲朗 (2019),「風車メーカーが無い国の戦略」, 京都大学大学院 経済学研究科 再生可能エネルギー経済講座 No.139, https://www.econ.kyoto-u.ac.jp/renewable_energy/stage2/contents/column0139.html

[52] 内閣官房 GX 実行推進室(2023),「分野別投資戦略等について⑤」,GX 実現に向けた専門家ワーキンググループ第 5 回会合（2023 年 12 月 7 日開催）配布資料, https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_jikkou_kaigi/senmonka_wg/dai5/siryou.pdf

[53] 経済産業省(2023 年 10 月 3 日プレスリリース), *op. cit.*

[54] 国内の風力発電関連事業者へのヒアリングに基づく。プロジェクトの規模に関わらず、調査や設計に係るエンジニアリングコストや人員は変わらないため、小規模のプロジェクトはコスト効率が悪く受注されにくい。

ーを主体とした実プロジェクトの開発と並行して、そこで得られる知見も踏まえ、国内関連産業を育成し、国内製造・サプライチェーンの構築を目指す必要がある。この点については、次章で議論する。

3　サプライチェーンの課題とソリューション

3.1　セキュリティの問題

ロシアによるウクライナ侵攻を契機に、改めてエネルギー・経済の安全保障の重要性が認識されている。現行の世界の風力タービンの生産シェアでは中国が全世界の半分以上を占めており [55]、経済性重視で洋上風力の開発を進める場合は、安価な中国製の風力発電が選択されやすい。しかしながら、製品の特定国への過度な依存は、サプライチェーン遮断時の安定供給に対するリスクが懸念される。

安全保障上の課題は他にもある。太陽光発電については、パネル製造業者以外の第三者がメンテナンスを行うことができるが、風力発電は風力タービンメーカーにメンテナンスやその他のサービスを依存していることが多い [56]。特定の風力タービンメーカーやメンテナンス会社に依存している場合は、サイバー攻撃による遠隔監視システムの停止やそれによる大規模停電が起こるリスクがある [57]。また、他国の風力タービンメーカーによって遠隔管理される場合は、戦争などの有事の際には、同国で管理されている風力タービンが運転を停止され、復旧が困難な大規模停電につながるリスクがある。特に、大規模洋上ウィンドファームの場合の影響は重大になると考えられ、運転管理を他国に託すことのリスクの大きさを重要視すべきである。その他に、国外メーカーに風力タービンの設置を依頼すると、日本の海底地形調査の機会を与えてしまう可能性もあり、防衛上の問題を引き起こすことも懸念される。

洋上風力の導入に当たっては、経済性が重要なファクターではあるものの、上述の課題を踏まえると、エネルギー・経済の安全保障の視点も忘れてはならない。全て国産品から構成されるサプライチェーンの構築は現状では難しいが、安全保障の課題に対応するために、可能な限り国産比率を増加することが求められる。米国は中国の太陽光発電の輸入制限をかけ、「インフレ抑制法（Inflation Reduction Act，IRA）の税制優遇措置によって内製化の促進を図る [58]。日本においては、洋上風力産業界が 2040 年までに 60％の国内調達比率を目指しており [59]、着床式洋上風力の基礎やナセル、更には建設や運転管理に必要な船舶の建造も進められている [60]。日本政府も、GX サプライチェーン構築支援事業 [61]を通じて国内製造サプライチェーンの構築を目指す。

---

[55] GWEC (2022) *op.cit.*

[56] 戸田邦彦・宝川祥子 (2021),「日本における洋上風力発電事業～欧州との違いを踏まえた留意点～」『損保ジャパン RM レポート 221』(2021 年 11 月 22 日), https://image.sompo-rc.co.jp/reports/r221.pdf

[57] 例えば欧州では、大手風力タービンメーカーEnercon 社や Nordex 社、メンテナンス会社 Deutsche Windtechnik AG 社などがサイバー攻撃を受けている。(WSJ Pro (April 25, 2022),"European Wind-Energy Sector Hit in Wave of Hacks", https://www.wsj.com/articles/european-wind-energy-sector-hit-in-wave-of-hacks-11650879000)

[58] JETRO（2023 年 4 月 3 日),「中国製品に対する輸入規制が向かい風に　米国太陽光発電需給逼迫（後編）」『JETRO 地域・分析レポート』, https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/2023/f21b8789fbc9baa0.html

[59] 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会（2020）, *op.cit.*

[60] 資源エネルギー庁（2023 年 9 月 8 日),「再生可能エネルギーに関する次世代技術について」, 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 54 回）資料1, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/054_01_00.pdf

[61] 経済産業省（2023 年 9 月 4 日),「GX サプライチェーン構築支援事業」(令和 6 年度経済産業省概算要求の PR 資料一覧:GX 支援対策費), https://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2024/pr/gx/keisan_gx_01.pdf

国内製造に不可欠な人材の育成・確保も重要である。日本では、洋上風力関連のエンジニアや専門作業員の育成に向けたカリキュラム作成やトレーニング施設整備に対する支援も実施している [62]。現在エンジニアは着床式に集中していることから、今後は浮体式の人材育成も求められる。このような人材育成事業は、今後の脱炭素に向けて衰退の可能性の高い既存他産業からのリスキリングにも貢献する。

日本においても、このように国内製造サプライチェーンの構築に向けた個別の支援が進められていることは評価できる。一方で、たとえ国内製が国外製より高コストだとしても、国内生産による国内関連産業の振興を通じた日本の経済への裨益、つまり雇用の創出や経済成長への貢献も同時に考えていくべきである。また、世界的な洋上風力の需要増に伴う供給不足の影響も抑えることができる。この点で、日本政府としては、エネルギー政策として洋上風力のコスト削減のみを目指すのではなく、経済・産業政策の重要な柱として洋上風力を位置付け、具体的な産業戦略を策定すべきである。

3.2　素材とリサイクル

国産品比重の増加や国内サプライチェーンの強化に向けては、廃棄部品・部材のリサイクル・リユースも重要な要素となる。従前から、太陽光発電や風力発電の将来的な大量廃棄問題は懸念されており、産業廃棄物の適正処分の観点からリサイクル・リユースの必要性については指摘されている [63,64]。国内でのリサイクル・リユースを強化したサプライチェーンは、産業廃棄物負荷の軽減を通じた循環型経済の発展や持続可能性の向上だけでなく、安全保障にも貢献できる。特に、希土類を含む重要鉱物・重要材料の国外流出を防ぐことができれば、安定供給に資する。以下では、風力発電の主要部品のリサイクル・リユース技術の現状や課題、今後の展望について述べる。

3.2.1　タービンブレード

タービンブレードはこれまで、ガラス繊維強化プラスチック（Glass Fiber Reinforced Plastics, GFRP）が使われてきたが、ブレードの大型化に伴い、風によるたわみによってブレードがタワーに衝突し破損する危険性を避けるために、現在は、剛性の高い炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP）が主流となっている [65]。CFRP は航空機、自動車、産業機器、日用品でも多用されており、使用後は、多くは産業廃棄物として埋め立て処分されているが、日本ではリサイクルに関する取り組みも見られる [66,67,68]。CFRP のリサイクル方法は多様であるが、主に、熱分解や化学分解によって樹脂を取り除き炭素繊維のみを回収する。その前工程で CFRP を切断するため元の長さには戻せないことや、リサイクル CFRP は未使用材と比較して力学特性のバラツキが大きいことから、元の用途に再利用することは難しい。したがって、現在は、リサイクル CFRP はコンクリート補強材若しくは射出成形品やプレス成型品に利用されている状況である。

---

[62]資源エネルギー庁（2023 年 9 月 8 日）, *op.cit.*

[63] MRI(2015),「平成 26 年度使用済再生可能エネルギー設備のリサイクル等促進実証調査委託業務　報告書」（平成 26 年度環境省委託業務）, https://www.env.go.jp/content/900535821.pdf)

[64] 資源エネルギー庁（2018 年 7 月 24 日）,「2040 年、太陽光パネルのゴミが大量に出てくる？再エネの廃棄物問題」, https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/taiyoukouhaiki.html

[65] なお、CFRP はタービンブレードの桁材に使われているが、ブレード表面には GFRP も使われている。

[66] 加茂徹（2018）,「炭素繊維強化プラスチック(CFRP) のリサイクルの現状と課題」『廃棄物資源循環学会誌』 Vol. 29, No. 2, pp. 133-141, https://www.jstage.jst.go.jp/article/mcwmr/29/2/29_133/_pdf)

[67] 航空機国際共同開発促進基金(2022),「リサイクル炭素繊維のリユース技術」,（(公財）航空機国際共同開発促進基金【解説概要 2022-4】), http://www.iadf.or.jp/document/pdf/2022-4.pdf

[68] 東レ株式会社ウェブサイト「リサイクル」, https://www.cf-composites.toray/ja/aboutus/sustainability/recycling.html

国外では、急速に普及拡大している風力発電の今後のリプレースによる廃棄物排出対策として、風力タービンブレードのリサイクルに特化した動きが数多く見られる [69]。例えば、GE Renewable Energy 社は Veolia North America 社と提携し、リサイクル処理したブレードをセメント製造に活用する [70]。Vestas 社も、CFRP ではないが、これまで再利用が困難とされていたブレード材料に利用されているエポキシ樹脂を原料と同等の品質に化学分解する方法を確立させ、“blade to blade”リサイクルへの道筋を立てた [71]。デンマークでは、風力産業やリサイクル企業などが合同で、操業期間を終えて廃止された風力タービンブレードの再利用を目的に、Decom Blades 共同事業体 [72]を設立している。

材料によっては”blade to blade”のリサイクルは現状では難しいものの、このように、技術開発を含め多様な取り組みが強化されており、今後のリサイクル関連動向は注視すべきである。

3.2.2　タワー

タワーは鋼鉄製なので、使用後はスクラップとして電炉へ投入して新たな製品を製造することはできるが、塗料などの不純物の問題によって、洋上風力タワーに要求される品質水準を満たす製品への生まれ変わりは困難と言われている。一方、近年、電炉においても高級鋼を製造する取り組み [73,74]が見られ、将来的な技術開発によって品質を確保できれば、洋上風力タワーへの再利用の可能性も出てくる。そうなれば、洋上風力基地を核とした鉄鋼の地域内循環が形成されることになり、材料の安定供給・安全保障の強化に貢献できる。

3.2.3　希少金属

風力発電の発電機には永久磁石としてネオジム磁石が用いられていることが多い。希少金属であるネオジム及びネオジム磁石の生産は中国への依存度が非常に高い。経済産業省「永久磁石に係る安定供給確保を図るための取組方針」[75]では、ネオジム磁石の日本国内製造設備増強やリサイクル設備増強などが挙げられている。製造については、2030 年時点に見込まれる国内需要量を満たすための生産能力の確保、リサイクルにおいては、2030 年までにリサイクル能力を 2020 年比で倍増、という目標が掲げられている。また、ネオジム代替磁石やネオジム使用量を半減させることが可能なネオジム磁石開発を今後 5 年程度で行うことも目標としている。

希少金属の回収技術の開発も進められている。日本ではアイ‘エムセップが、溶融塩電解によるネオジム磁石からの希土類金属の選択的回収プロセス [76]によって、従来の 1000℃以上の高温前処理や酸・アルカリ

---

[69] Wind Europe (February 12, 2020), “Circular Economy: Blade recycling is a top priority for the wind industry”, https://windeurope.org/newsroom/news/blade-recycling-a-top-priority-for-the-wind-industry/)

[70] GE (December 8, 2020, press release), “GE Renewable Energy Announces US Blade Recycling Contract with Veolia”, https://www.ge.com/news/press-releases/ge-renewable-energy-announces-us-blade-recycling-contract-with-veolia)

[71] Vestas (February 8, 2023, press release), “Vestas unveils circularity solution to end landfill for turbine blades”, https://www.vestas.com/en/media/company-news/2023/vestas-unveils-circularity-solution-to-end-landfill-for-c3710818)

[72] DecomBlades ウェブサイト, https://decomblades.dk/

[73] 電気新聞（2019 年 10 月 4 日),「電炉の技術革新でCO2フリー化が視野に入った製鉄業。実現すれば再エネの大型調整力にも」（脱炭素社会実現の鍵を握る産業の電化　第 2 回), https://www.denkishimbun.com/sp/45183)

[74] 産業新聞（2022 年 5 月 30 日),「JFEスチール、電炉で高級鋼　仙台に設備投資、量産体制」, https://www.japanmetal.com/news-t20220530118316.html

[75] 経済産業省（2023 年1月 19 日),「永久磁石に係る安定供給確保を図るための取組方針」, https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic_security/magnet/magnet_hoshin.pdf

[76] アイ‘エムセップ株式会社ウェブサイト,「レアメタル・レアアース リサイクル」 http://www.imsep.co.jp/recycle_rare_earth_element/

の大量消費を回避する技術を有する。シーエムシー技術開発もネオジム磁石スクラップからネオジムとジスプロシウムの回収・分離精製技術を有する[77]。また、鈴木商会も NEDO の国際実証事業の枠組みで、タイにおいて、AI による画像解析により使用済みモーターを分類し、最適なプロセスによってネオジムなどの希少金属を回収し再利用可能な品位に再生することを目指す[78]。

3.2.4　風力タービンのリサイクルとリユースにおける課題

上述の通り、風力発電の構成要素のリサイクルの技術開発は進められているが、現状では構成要素を、再度風力発電用途に利用する“風力発電 to 風力発電”のリサイクルは困難である。しかしながら、今後の技術開発によってはその可能性は高まるかもしれない。また、たとえ“風力発電 to 風力発電”のリサイクルが困難だとしても、他の用途向けにリサイクルを行うことは、マクロ的な視点で安全保障に貢献する。特に、浮体式洋上風力は、陸上風力や着床式洋上風力と比べて、浮体構造物や係留策など、利用する材料が多く、将来的な浮体式洋上風力の大規模導入を踏まえて、各要素のリサイクルの可能性を追求していくことは大事である。

リサイクルを促進させるためには、リサイクルの容易さを踏まえた環境配慮設計の導入や、洋上風力発電プロジェクトの事業者選定における評価ポイントにリサイクルの取り組みを含めたりすることなども、制度面の検討課題であろう。また、リサイクルの視点から見ると、浮体式洋上風力の構造変化が必要になるかもしれない。製造、利用、廃棄、運搬、リサイクルという流れを国内に構築することを目的とすると、現在の主流である風力タービンの大型化のみを目指すのではなく、小型化・分割製造（2.1.4 参照）をベースとした大量生産やリサイクル可能性を追求した方向性が日本にとってのソリューションになる可能性も否定できない。

リサイクルを、経済安全保障と併せて、日本の産業や経済への貢献の機会と捉えることも大事である。そのためには、動脈産業のみならず、リサイクルをベースとした静脈産業による産業振興政策の具体的な戦略を立案することが求められる。例えば、ネオジム磁石については、経済性の観点から、使用済みの発電機やモーターをタイに輸出してリサイクルが行われているが、これを国内で循環させる仕組みを構築することで、国内産業の育成を目指す戦略も求められる。

3.3　インフラの課題

浮体式洋上風力開発に必要なインフラとして、まず、海洋プラットフォームが挙げられる。欧米石油メジャーは、これまでの石油・天然ガス田の洋上での掘削において得られた海洋プラットフォーム関連技術やノウハウを浮体式洋上風力や変電所の開発に活かすことができる。更には、新たな浮体式洋上風力プラットフォームの開発の動きも見られる[79]。日本は海洋プラットフォーム関連技術に欠如しているが、造船技術やエンジニアリング技術などプラットフォーム技術の基盤となる技術は有しているので、これらを活用してこの分野で技術力を早急に高めていく必要があろう。

浮体式洋上風力建設のための自己昇降式作業台船（Self Elevating Platform（SEP）船）については、国外の船を使う場合には傭船の需給バランスの問題があり、安定的な確保が困難になる。したがって、国産を進

---

[77] シーエムシー技術開発株式会社ウェブサイト, http://www.cmctd.co.jp/

[78] 鉄鋼新聞（2023 年 11 月 6 日）,「北海道の金属リサイクル業大手・鈴木商会／ネオジウム回収の技術開発に着手／AI利用で合理的製造プロセス確立へ／NEDOの国際実証事業に採択」, https://news.yahoo.co.jp/articles/88e2fbaea06964a5064d1a0e91c5f2689accf4a0

[79] 例えば、Gazelle Wind Power 社（先述）と道路輸送可能な浮体式ドライドックを開発する Tugdock 社は、大幅なコスト削減と大量生産に向けてモジュール式洋上風力組立システムの共同開発に関する覚書を締結した。（Gazelle Wind Power（December 21, 2023, press release）, “Gazelle Wind Power And Tugdock Work Together to Reduce Cost of Floating Offshore Wind Platform”, https://gazellewindpower.com/2023/12/gazelle-wind-power-and-tugdock-work-together-to-reduce-cost-of-floating-offshore-wind-platform/）

めることが肝要であり、清水建設とジャパンマリンユナイテッドにより世界最大級の SEP 船の製造が行われたことは意義が大きい[80]。

洋上風力の基地港湾の整備に関しては、国外ではバルト海の洋上風力発電の拠点としてデンマークのエスビアウ港などが有名である。エスビアウ港では洋上風力の建設・運転・保守などにおいて産業誘致を行い約 8000 人の雇用を創出しており、地域活性化に貢献していると言われている[81]。スコットランドにおいても、政府による委託調査で立地条件やコストなどに基づき 5 港を洋上風力の基地港湾として有望視しており、Port of Inverness and Cromarty Firth[82]を浮体式洋上風力発電施設に注力する Green Freeport[83]に指定している[84]。

米 NREL の調査でも、2030 年に 30GW の洋上風力を導入する目標の達成に必要な年間 4～6GW のプロジェクトを供給できる国内サプライチェーンの重要性に注目し、現在計画されている米国の洋上風力発電プロジェクトの半分は、港湾と船舶のインフラが限られているため、2030 年以降に遅れるリスクがあるとしている[85]。

日本では、輸入クリーン水素・アンモニアの受け入れを通じて港湾や近隣地域の脱炭素化を図るカーボンニュートラルポート（CNP）の整備計画が全国で進められている。一方、洋上風力を促進するために指定されている「再エネ海域利用法に基づく促進区域」内にある CNP 計画港湾には、改正港湾法の下で基地港湾に指定されている港湾であっても、洋上風力関連の具体的なインフラ計画が公表されていない。また、今後の基地港湾の指定については洋上風力発電の案件形成の状況などを踏まえ、指定済みの基地港湾を最大限活用しつつ、基地港湾の指定の必要性が高まった段階で指定の判断を行うとされているが、港湾整備には 5 年かかると指摘されており、洋上風力プロジェクトのタイムラインに遅れることが懸念される。CNP 整備計画と洋上風力基地港湾整備計画を連携させることで、新たなエネルギー・産業インフラ構築の効率化について具体的に検討する価値はある。この点については、5 章で議論する。

3.4　運転管理

着床式洋上風力のサプライチェーン全体のコストのうち、運転・管理費が 30～40％占めると言われている[86]。当然のことながら運転・管理費の削減が求められるが、同時に、国内事業者が運転・管理を実施することができれば、国内産業振興に貢献する。日本政府は、3.1 で示した通り、洋上風力の建設やメンテナンスを行う専門作業員の育成を支援しており、補助事業において、例えば日本郵船は、メンテナンスを担う作業員輸送船（crew transport vessel, CTV）などの営業体制強化や人材育成のため、専門作業員向けの教育プロ

[80] 清水建設株式会社（2022 年 10 月 6 日），「世界最大級の SEP 船「BLUE WIND」が完成」，https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2022/2022046.html

[81] 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会（2020），*op. cit.*

[82] Inverness and Cromarty Firth Green Freeport ウェブサイト，https://greenfreeport.scot/about/

[83] 雇用創出、脱炭素化とネットゼロ経済へ公正な移行、グローバルな貿易と投資のハブ機能、革新的な環境の育成を図り、立地した企業は税制やその他の優遇措置の恩恵が受けられる港湾を含む広範囲に及ぶ経済特区。2024 年 1 月現在 2 港が指定されている。

[84] Ironside Farrar (2021), “Port Enhancements for Offshore Wind: An Assessment of Current and Future Marshalling and Assembly Capacity in Scottish ports”, Scottish Enterprise, Highlands & Islands Enterprise, Crown Estate Scotland, https://www.evaluationsonline.org.uk/evaluations/Documents.do?action=download&id=987&ui=basic

[85] NREL (2023), *A Supply Chain Road Map for Offshore Wind Energy in the United States*, https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/84710.pdf

[86] 中條俊樹 (2021), *op.cit.*

グラムを実施したり、訓練設備の整備を行ったりしている [87]。また、多くの民間企業が洋上風力の運転・管理サービスに取り組む動きが見られる [88,89,90]。

なお、地域経済への貢献という観点からは、洋上風力事業関係者の海上移動のために地元漁業者を雇用するアイデアや [91]、CTV の国内造船を積極的に発注し、洋上風力関連で国内造船業と舶用工業の活性化を狙う動きも見られる [92]。

3.5　小結

浮体式洋上風力のサプライチェーンは調査・設計、港湾の整備、風車・浮体構造物・周辺設備の製造、機材の船での搬送、洋上プラットフォームの建設、送電線（海底ケーブル）の敷設を含む組立・設置、運転・管理、撤去など、多岐にわたる。日本は、欧州各国が強みとするオフショア石油・天然ガス開発の経験はなく、風力ブレードの生産については世界に後れを取っているが、サプライチェーン上の個別の要素技術を有する企業は数多く存在する。これらの要素技術については、現在の技術の改良とコストダウンを進めていくと共に、機材の製造や運搬における土地制約などの日本固有の事情から生じる課題を解決できるような新たな技術も模索しつつ、サプライチェーンの大部分を自国で賄えるようにすることが、経済・エネルギー安全保障の観点から肝要である。制度的には、国内製造・国内調達を促すために、日本国内での工場やサプライチェーンの構築に対してより強力なインセンティブを提供することが求められる。

リサイクルやリユースについては、これらによってサプライチェーン上の全ての課題を解決できるわけではないものの、経済安全保障の観点からは、取り組みの強化が必須となる。技術開発、経済的支援策や規制のみならず、リサイクルを中心とした静脈産業が国内産業振興・経済への裨益となる絵姿を描くことも大事であろう。

今後、日本において浮体式洋上風力の開発を進め、その中で国内プレーヤーの関与の割合を高めるためには、2 章でも示したように、日本の浮体式洋上風力市場が魅力的であるということを、国外企業向けのみならず、国内企業にもより強力に示さなければならない。そのためには、政府が産業振興策の大きな柱として浮体式洋上風力を確実に推進するという明確な意思表示が必要であろう。日本の浮体式洋上風力市場が巨大で魅力的であることを示す一例として、EEZ（排他的経済水域）への拡大が期待されている。次章では、EEZ における浮体式洋上風力開発の課題について整理し、提言を行う。

---

[87] 資源エネルギー庁（2023 年 9 月 8 日），*op.cit.*

[88] JFE エンジニアリング株式会社ウェブサイト「O＆M（運転・維持管理）サービス」, https://www.jfe-eng.co.jp/products/life/owp03.html)

[89] 日鉄エンジニアリング株式会社（2023 年 1 月 18 日プレスリリース),「深田サルベージ建設との洋上風力発電施設向け O&M サービス実施体制の構築について」, https://www.eng.nipponsteel.com/news/2023/20230118.html

[90] 三菱HCキャピタル株式会社、ホライズン・オーシャン・マネジメント株式会社（2023 年 9 月 8 日プレスリリース),「国内洋上風力発電事業における O&M(保守・点検・修繕)業務の安定化・効率化に向けて三菱HCキャピタルとホライズン・オーシャン・マネジメントが業務提携に合意」, https://www.mitsubishi-hc-capital.com/investors/library/pressrelease/pdf/2023090801.pdf

[91] 資源エネルギー庁（2022),「洋上風力発電による地域・漁業振興策事例集」、第 2 回秋田県男鹿市、潟上市及び秋田市沖における協議会（2022 年 5 月 10 日開催)資料 https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/yojo_furyoku/dl/kyougi/akita_oga/02_docs06.pdf

[92] 日本郵船株式会社（2024 年 2 月 20 日プレスリリース),「洋上風力発電向け作業員輸送船を国内造船所に初発注　持続可能エネルギー普及と造船業界活性化に貢献」, https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000085.000120868.html

4　排他的経済水域における洋上風力発電をめぐる議論

2040 年までに 30～45GW の洋上風力発電を導入するという目標の達成には、開発に必要なリードタイムを考慮しても、プロジェクトの承認プロセスを加速させ、開発対象の海域を拡大する必要がある。日本の領海は、着床式洋上風力発電に適する海域が限られていることから、政府は洋上風力発電の開発を排他的経済水域（EEZ）に拡大することを検討し始めた。

表 4-1 領海と排他的経済水域（EEZ）の面積

	領海＋EEZ（百万 km²）	国土面積に対する割合	総面積（百万 km²）
米国	7.62	80%	9.63
オーストラリア	7.01	90%	7.69
インドネシア	5.41	290%	1.90
ニュージーランド	4.83	1790%	0.27
カナダ	4.70	50%	9.98
日本	4.47	1180%	0.38

出所：経済産業省（2023）[93]

EEZ における洋上風力発電は、陸上風力発電や太陽光発電のような変動エネに比べ、NIMBY（not-in-my-backyard）[94]問題にさらされることは少ないが、漁業や国家安全保障のような他セクターとの対立を伴う可能性があり、後述するように国際法の遵守を考慮する必要もある。

4.1　国際法の遵守

4.1.1　EEZ 内で発電する権利

洋上風力発電は、国連海洋法条約（United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS）第 56 条 1 項（a）の「排他的経済水域における経済的な目的で行われる探査及び開発のためのその他の活動（海水、海流及び風からのエネルギーの生産など）」に含まれる。沿岸国は、それらの活動に対する主権的権利を有する。沿岸国はまた、EEZ 内において、第 56 条に規定された目的及びその他の経済目的のために、人工島、施設及び構造物の建設、操業及び使用を許可あるいは規制する排他的権利を有する [95]。従って沿岸国は、浮体式風力発電設備が、第 60 条が規定する「施設及び構造物」に該当する場合には、その風力発電設備に対する排他的権利を有する。

国連海洋法条約は、浮体式洋上風力発電設備の法的地位を明確に定めていない。着床式洋上風力発電が人工的な「施設」であることは疑いもないが、海底に係留または繋がれた浮体式構造物の上に設置される浮体式洋上風力発電設備は、その可動性から「船舶」と解釈することもできる。実際、ノルウェーでは、船舶以外の浮体式装置の登録を認めている国もあり [96]、研究用浮体式風力タービン Unitech Zephyros は、ノ

[93] 経済産業省（2023），「再生可能エネルギーの次世代技術について」（第 57 回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（2023 年 12 月 5 日開催）資料 1），https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/057_01_00.pdf

[94] 公共のために必要な事業であることは理解しているが、自分の居住地域内で行なわれることは反対という姿勢。

[95] 国連海洋法条約第 60 条(1)(a)-(b)

[96] 海事法第 33 条で、船舶以外の浮体構造物にノルウェ船籍の登録を行うことが認められている。(Peter Aall Simonsen & Sveinung Rostad (June 15, 2020), "What security options are available for lenders to offshore wind projects?" *Lexology*, https://www.lexology.com/commentary/energy-natural-resources/norway/advokatfirmaet-simonsen-vogt-wiig-as/what-security-options-are-available-for-lenders-to-offshore-wind-projects#Floating)

ルウェー船籍（Norway Ordinary Ship Register, NOR）を有する最初の例である[97]。日本の国内法（電気事業法、1964 年法律第 170 号）でも、浮体式洋上風力発電設備は船舶安全法（昭和 8 年法律第 11 号）の規制を受ける「特殊船」に該当する。風力発電設備が「船舶」とみなされた場合、その管轄権は旗国に帰属することになる。沿岸国が旗国でない場合、国家安全保障上の脅威となる可能性がある。

4.1.2　送電の権利

国連海洋法条約は、沿岸国が「その領土若しくは領海に入る海底電線若しくは海底パイプラインに関する条件を定める権利又は大陸棚の探査、その資源の開発若しくは沿岸国が管轄権を有する人工島、施設及び構築物の運用に関連して建設され若しくは利用される海底電線及び海底パイプラインに対する管轄権」を有すること確認している（第 79 条（4））。しかし、「すべての国は、大陸棚に海底電線及び海底パイプラインを敷設する権利を有する」（第 79 条（1））ため、他国が運営する送電線やパイプラインが既に自国の EEZ 内に存在する場合、沿岸国が送電線やパイプラインを敷設しようとする場合に障壁になる可能性がある。このような場合、沿岸国は「既に海底に敷設されている電線又はパイプラインに妥当な考慮を払わなければならない。特に、既設の電線又はパイプラインを修理する可能性は、害してはならない」（第 79 条（5））。

その海域を沿岸国による資源開発や環境保全のために指定するような海洋空間計画(Maritime Spatial Plan, MSP)が沿岸国によって策定されていれば、他国との競合は避けうる。ほとんどのウィンドファームが EEZ に設置されるドイツは、EEZ を含む MSP を策定している[98]。2009 年に策定され、2021 年に改訂された「ドイツの北海 EEZ における海洋空間計画」は、EEZ 内で発電された電力を領海境界上の適切な地点まで確実に輸送するものである。MSP ではケーブル回廊が割り当てられているが、EEZ 内で発電された電力を輸送するための海底ケーブルが既存ケーブルと並行に設置できない場合は、可能な限り最短ルートで通航上の優先海域を通ることができる。ドイツの海洋空間計画では、一つのケーブルが衝突を生む可能性はほとんどないものの、現在計画されている洋上風力発電の拡大により、海底ケーブルの数が増加すれば、規制の必要が出てくることを示唆している。

4.1.3　安全水域の設定

国連海洋法条約は、海洋環境の利用者と施設の安全を確保するため、沿岸国が海洋施設の周囲 500m を超えない安全水域を設定できることを規定している。これは、建設段階において最も重要なことである点について、各国間で見解が一致している。

ドイツの洋上風力発電法（WindSEEG 2017）[99]では、EEZ 内の施設周辺に安全地帯を設定することが規定されている（第 53 条）。ドイツ最大の洋上風力発電プロジェクトである Borkum Riffgrund 3 に設定された安全水域は、ウィンドファームの外周から 500m 圏が指定されている点が特徴的である。タービン群の外周から安全水域を設定し、ウィンドファーム全域について他の船舶の進入を禁ずることが認められるかどうかは、今後議論の対象となる可能性がある。

---

[97] Siren Skalstad Ellensen, Alexander Severence, Andreas Helle (March 28, 2023) , “Security when financing offshore wind projects in Norway” *DLA Piper*, https://norway.dlapiper.com/en/news/security-when-financing-offshore-wind-projects-norway-0

[98] BSH (German Federal Maritime and Hydrographic Agency) (2009), “Spatial Plan for the German Exclusive Economic Zone in the North Sea – Text section (unofficial translation)”, https://www.bsh.de/EN/TOPICS/Offshore/Maritime_spatial_planning/Maritime_Spatial_Plans_2009/_Anlagen/Downloads/Raumordungsplan_Textteil_Nordsee.pdf?__blob=publicationFile&v=5

[99] BMJ (German Federal Maritime and Hydrographic Agency), “Offshore Wind Energy Act（WindSEEG 2017）”, http://www.gesetze-im-internet.de/windseeg/#download=1

表 4-2 に、安全地域に関する各国の例を示す。（表中のすべてのウィンドファームが EEZ 内に位置するわけではないことに留意されたい。）

表 4-2 安全水域の設置例

プロジェクト名	Hywind	Dogger Bank A	Borssele	Borkum Riffgrund3	Vineyard Wind
国名	スコットランド	英国	オランダ	ドイツ	米国
基礎の種類	浮体式	着床式	着床式/浮体式	着床式	着床式
総容量	30MW	1.2GW	1.5GW	913MW	800MW
タービン 1 基当たりの定格出力	6MW	13 MW	8-9.5 MW	11MW	13MW
海岸線からの距離	22km	131km	24km	70km	15km
水深	95-120 m	18-63 m	16-38 m	28-34 m	37-49 m
安全水域	タービン設置水域と輸出の両方について工事を行う水域から 500 m 以内 [100]	ウィンドファームの構造物やその基礎の工事中に、その周囲 500 m を安全水域とし、当該水域は建設現場とともに移動する。 部分的に完成しているか建設済みだが、未稼働の風力発電設備の周囲 50m を安全水域とする。 風力発電の構造物周辺で実施されるすべての「主要なメンテナンス」の周囲 500m を安全水域とする。（主要なメンテナンス船の存在によって示される。）[101]	タービンポールまで 50m、変電所まで 500m、ウィンドファームの周囲 500m を安全水域とする。船舶によるウィンドファームの中の通航は禁止。（ただし、全長 45m 以下の船舶は通航路のみ通航可能。 [102]	ウィンドファームの周囲 500m を外縁から測定。 国際海運において重要な航路の通航は、安全水域の影響を受けない。[103]	設置場所の中心点から 500 m の水域を工事期間中に一時的に安全水域に設定。[104]

出所：各種資料を基に著者作成

4.1.4　漁業権との競合

国連海洋法条約は、漁業資源の調査と開発、保全と管理を目的とする沿岸国の主権的権利を認めている。したがって、EEZ 内に建設されるウィンドファームは、漁業に関する二国間協定がない限り、他国の漁業などとの競合が問題になることはないが、国内関係者との調整は複雑になる可能性が高い（4.3 を参照）。

[100] Statoil (2015), “Hywind Scotland Pilot Park Project Environmental Statement”, https://marine.gov.scot/sites/default/files/hywind.pdf

[101] BEIS (May 24, 2022), “Safety Zone Application – Dogger Bank A Offshore Wind Farm Decision Letter”, https://assets.publishing.service.gov.uk/media/62ac59008fa8f5356fade931/dogger-bank-a-safety-zone-application-decision-letter-24052022.pdf

[102] Noordzeeloket, “Code of conduct for safe passage through the Borssele Wind Farm Pass”, https://www.noordzeeloket.nl

[103] BSH (2023), “Notices to Mariners：Official Maritime Publication”, Volume 154, https://www2.bsh.de/daten/NFS/NfS2023/nfs-heft08-2023.pdf

[104] Coast Guard (2023), “Safety Zone; Vineyard Wind 1 Wind Farm Project Area, Outer Continental Shelf, Lease OCS-A 0501, Offshore Massachusetts, Atlantic Ocean” (Temporary final rule), https://www.federalregister.gov/documents/2023/06/30/2023-14073/safety-zone-vineyard-wind-1-wind-farm-project-area-outer-continental-shelf-lease-ocs-a-0501-offshore

4.2　日本政府における議論

政府は、日本の排他的経済水域（EEZ）内に洋上風力発電設備の設置を可能にする法律の改正案を取りまとめており、国会への提出を目指す。内閣府は 2023 年 1 月、EEZ 内での洋上風力発電の実施に向けて、国連海洋法条約上の定義や国内法との整合性など、6 つの主な論点について、有識者グループによる報告書を取りまとめた[105]。主な論点を表 4-3 にまとめる。

表 4-3 内閣府ワーキンググループの主な結論

論点	国連海洋法条約関連条文 *1	関連国内法	主な結論
洋上風力発電設備の国際法上の法的地位	§56，§60，§91，§92	船舶法； 電気事業法	船舶法（明治 39 年法律第 46 号）は、洋上風力発電設備を「船舶」と定義していないことから、経済目的のために所定の区域に設置された洋上風力発電設備は、国連海洋法条約上の「施設及び構造物」とみなされるべきである。
主権的権利と管轄権の範囲	§56，§60	排他的経済水域及び大陸棚に関する法律	必要な手続きが国内法で規定されている場合、沿岸国は、EEZ における主権的権利及び管轄権を行使する一環として、探査・開発活動及び建設・運用・解体段階における洋上のウィンドファームの占有について、許可、監督、報告の収集、立入検査を実施ことができる。
安全水域の設定	§60 (4)-(7)	海洋構造物等に係る安全水域の設定等に関する法律	EEZ 内の洋上ウィンドファームの周囲には、ウィンドファームの外縁から 500 メートルを超えない範囲において、「海洋構造物等に係る安全水域の設定に関する法律」に基づき、安全水域を設定することができる。安全地帯の範囲については、十分な通告がなされなければならない。
他国の権利の妥当な考慮：航行の自由、海底電線・海底パイプライン敷設の自由	§56，§58，§60，§79	-	航行の自由：ウィンドファームの位置と安全水域の範囲を設定時に通知し、さらに海図にその位置をマッピングすることで、合理的な配慮がなされていると言える。 海底電線や海底パイプラインの敷設の自由：摩耗を防ぐため、ケーブル間に一定の距離を保つなどの措置を講じることが適切。
環境影響評価	§1，§192，§194，§204，§205，§206	電気事業法； 環境影響評価法	環境影響評価は、国際社会における議論や諸外国の国内実施状況を踏まえ、「排他的経済水域及び大陸棚に関する法律」に基づいて必要な国内措置を講じ、国内法令を適用して実施されるべきである。なお、電気事業法では都道府県が環境影響評価の責任を負うことになっているが、EEZ を管轄する都道府県は存在しないため、新たな規制を検討する必要がある。
関係国への事前通告・公表の要否	N.A.	N.A.	政府は、諸外国の慣行を踏まえつつ、事前通告の要否やその範囲を適切に判断すべきである。

出所：内閣府（2023 年）をもとに筆者作成

注：
*1 各条文の見出しは以下の通り：第1条：用語及び適用範囲、第 56 条：排他的経済水域における沿岸国の権利、管轄権及び義務;：第 58 条：排他的経済水域における他の国の権利及び義務、第 60 条：排他的経済水域における人工島、施設及び構築物、第 79 条：大陸棚における海底電線及び海底パイプライン；第 90 条：航行権、第 192 条：一般的義務、第 194 条：汚染の防止及び軽減並びに管理の措置第 194 条：海洋環境の汚染を防止し、減少させ、及び管理するための措置；第 204 条：汚染の危険性又は影響の監視第 204 条：汚染のリスクまたは影響の監視、第 205 条：報告書の公表第 206 条：報告書の公表第 206 条：活動の潜在的影響の評価

105 内閣府（2023），『「排他的経済水域(EEZ)における洋上風力発電の 実施に係る国際法上の諸課題に関する検討会」 取りまとめ』, https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/pdf/torimatome.pdf

また、環境省は中央環境審議会において、EEZ における風力発電の環境影響評価制度の検討を開始した。

4.3　風力発電と他セクターとの競合

4.3.1　漁業との競合の可能性

日本の EEZ では、都道府県知事の許可によって沖合などで操業する「沖合漁業」や農林水産大臣の許可によって複数県や外国に出漁する「遠洋漁業」が行われる（表 4-4）。日本の EEZ における外国船舶による漁業は、「排他的経済水域における漁業等に関する主権的権利の行使に関する法律」で規制されている。韓国及び中国は二国間漁業協定によって、漁業の目的で日本の EEZ に入ることが認められている。

表 4-4 日本の漁業許可制度

	沿岸漁業	沖合漁業	遠洋漁業
海域	沿岸海域	陸地から 200 海里（約 370km）以内	200 海里～公海
対象種	アジ、サバ、タコ、イカ、エビ、コンブなど。	サバ、イワシ、サンマ、エビ、カニなど。	マグロ、カツオ、イカ、タラなど。
漁法	ローカル・メソッドの多様性 （定置網漁、小型底引き網漁、流し網漁、刺し網漁、釣り漁など）	沖合底引き網漁、大・中型流し網漁、近海カツオ一本釣り漁など。	マグロ延縄漁、底引き網漁、カツオ一本釣り漁など。
日数	主に日帰り	1 日～1 ヶ月	50 日～1 年
特徴	日本の漁業従事者の 8 割以上が従事。	20～200 トンの船舶を使用 日本の漁獲量の半分以上を占める。	20～30 名
許認可	漁業権に基づく漁業 （知事は、漁業協同組合、個人または法人に対し、沿岸漁業または養殖業を行う排他的権利を与える）	主に知事許可漁業 （都道府県知事は、都道府県沖の近海における漁業を許可する）	主に大臣許可漁業 （複数の県にまたがる漁業または海外海域で行われる漁業）

出所：各種資料を基に筆者作成

EEZ 内にウィンドファームを建設したり、その周辺に安全水域を設定したりする際には、多様なステークホルダーの理解を得ることが重要である。日本では、漁業セクターが最も重要なステークホルダーに含まれるが、対象海域で操業する関係者は多くの場合、民間企業であり、沿岸海域で漁業権に基づいて行われる漁業権漁業に比べて特定が難しい。さらに、それらの企業は当該海域に近い沿岸域に本拠地があるとも限らず、地元の関係者の利害やビジョンを共有できないことも少なくない。

大臣許可漁業は操業海域が広域にわたるため漁船が操業する位置の特定が困難であるが、航行データを記録する装置の漁船への搭載と常時稼働が義務付けられているため、漁船から航行データを取得することが可能である。一方、知事許可漁業は、操業水域はそれほど広くないが、そのような装置を装備していない漁船が多く、位置の特定が難しい。

4.3.2　安全保障上の利益などとの衝突

風力タービンは、大きなタワーや動くブレードが電波を遮蔽または反射しうるため、レーダーに干渉しうる。これは気象観測・予報・警報、目標捕捉システム、航空管制に影響を与える可能性があり、風力タービンを設置する際には十分な考慮と調整が必要である。このような影響を軽減する方法について、研究が進められている。

日本の EEZ の大部分は、韓国と中国の国家安全保障上重要な海域に隣接しており、ウィンドファームが設置可能な地域は限定的になる可能性もある。

4.3.3　他国での取り組み

全ての国おいて、国家安全保障や軍事利用は、他の利用よりも優先される国益であるが、漁業に対する考え方は国によって異なる（表 4-5）。

表 4-5 ウィンドファームの水域内での漁業に関するルール

	スコットランド	英国	オランダ	ドイツ	アメリカ
漁業に関するルール	既存の漁場は可能な限り維持される。プロジェクトの稼働前と 20 年間の操業期間は、タービンと係留システムが占有する 7.5km^2 の範囲においては漁業が禁止される。	漁業が優先される。	漁業はすべての水域で操業できるが、国益が優先される。	漁業への干渉は可能な限り回避する。	ウィンドファーム内での漁業は制限されていない。
主な商業漁業の例	タービン設置水域：ノルウェーロブスター、イカ、ホタテ貝浚渫 輸出ケーブル回廊：ホタテ貝浚渫、カニ・ロブスター（巻き網）、サバ（一本釣り）。	2002～2011 年に目撃された漁船の 93%は、英国船籍、デンマーク船籍、オランダ船籍の漁船で、多様な漁業を営んでいた。[106]	小型船漁、エビ漁、刺網漁など	タラ、ヒラメ、セイス、北海カニなどを漁獲。	ロブスター、カニ、ブラックシーバスなどを漁獲。

出所：各種資料を基に筆者作成

Dogger Bank Wind Farm(英国)では、毎週、操業の告知など、ウェブサイト [107]を通じて海域の利用者に情報提供を行っている。英国ではウィンドファーム内での漁業は制限されていないにも関わらず、調査の結果、洋上ウィンドファームの水域内の漁業活動が従来から変化していることがわかった。その主な理由は、漁業関係者がケーブルなどの海底の障害物に漁具が巻き込まれることを恐れているため、操業を控えているからである。一方、ケーブルが敷設されていない回廊で底引き網漁を操業する例も報告されており [108]、洋上ウィンドファームと漁業の共存の成功事例を発信することによって、漁業者の理解を得ることもできるだろう。

オランダの海洋空間計画 North Sea Programme 2022-2027[109]の空間開発戦略図には、漁業に関する情報が含まれていない。同国では、原則としては安全水域などの制限措置がある場合を除き、北海におけるオラ

[106] Brown & May Marine (2014), “Environmental Statement Chapter 15 Appendix A Commercial Fisheries Technical Report” https://doggerbank.com/wp-content/uploads/2021/11/ES-Chapter-15-Appendix-A-Commercial-Fisheries-Technical-Report_Part1.pdf

[107] Dogger Bank Wind Farm ウェブサイト, “Mariners and fisheries,” https://doggerbank.com/mariners-fisheries/

[108] Gray, M., Stromberg, PL., Rodmell, D. (2016),“Changes to fishing practices around the UK as a result of the development of offshore windfarms - Phase I (Revised)”, Crown Estate, https://www.thecrownestate.co.uk/media/2600/final-published-ow-fishing-revised-aug-2016-clean.pdf

[109] Government of the Netherlands (2022), *North Sea Programme 2022-2027,* https://www.noordzeeloket.nl/publish/pages/201299/north-sea-programme-2022-2027.pdf

ンダの領海のすべての海域の漁業資源にアクセスできるからである。オランダの MSP は、限られた海域の共同利用を目指しており、海洋保護区やウィンドファームの拡大により、底引き網漁を含む一部の漁法が操業可能な水域は減少し続けることが指摘されている。また、養殖や受動的な漁業への移行など、持続可能な漁法への移行も国益として挙げられている。しかし、ウィンドファームの水域内で受動的な漁業が営める空間は限られているため、登録制で漁場が割り当てられている。

Salerno et al (2019)[110]は、イギリスやオランダなどの国々での経験から、洋上ウィンドファーム内での壺網などの定置型漁具を使用する漁法はウィンドファームの影響を大きく受けることなく、商業漁業が継続可能であることが証明されているものの、この経験を以って洋上ウィンドファームが他海域の漁業に与える影響を予測することは難しいと指摘する。これは、表 4-5 にも示されるように、海域によって漁獲対象の魚種や漁法が異なるほか、漁船の大きさと操業水域の地理的広がりによるものである。

風力タービンの配置は、その水域で営まれる漁業の種類に応じて変えることができるが、ウィンドファームのコスト効率を損なう可能性があり、事業開発者と漁業者の対立につながりうる。その一例として、2021 年に米海洋エネルギー管理局（BOEM）が、マサチューセッツ州沖で開発中の Vineyard Wind で、0.9 nm 間隔でタービンを配置する当初計画を変更し、62 基のタービンを 1 海里（nm）間隔で配置する格子状のレイアウトを許可する決定を下したことが挙げられる。漁業者は安全性の確保と特定の漁具の使用を目的に 4 nm 幅の通航路の設置を提唱していたが、通航路の設置による船舶交通の混雑や発電効率の低下などが指摘された [111]。このプロジェクトは、BOEM が地元漁民や海洋哺乳類への潜在的影響が適切に評価しなかったとして、4 件の訴訟を提起されている [112] 。

魚種や漁法、食生活、漁業への経済的依存度の違いなど、様々な要因から、各国が漁業に対して共通のアプローチをとることは難しく、各国の状況に応じた対応を検討しなければならない。次節で述べるように、広範なステークホルダーの参加の下で、限られた海洋空間を共同利用する方法を模索することが極めて重要である。

4.4　海洋空間計画

海洋空間計画（MSP）は、開発と環境保護のバランスをとりながら、海域利用の割り当てを行う公的なプロセスで、海洋資源を効率的かつ安全で持続可能な方法で合理的に利用することについて、多様なステークホルダーが十分な情報に基づき協調的に意思決定を行う。

英国 [113]やスコットランド [114]は 10 年以上前から海洋空間計画を策定しており、EEZ に及ぶ海域における商業漁業を含む海域の多目的利用など、海洋環境に影響を与える意思決定の枠組みを提供している。欧州では、海洋空間計画に関する EU 指令（2014/89/EU）によって、2021 年までにすべての EU 沿岸国に海洋空間計画計画を策定することが義務付けられている。ドイツとオランダの海洋空間計画は EEZ を含んでおり、EEZ で既に多くのプロジェクトが進められているこれらの国の例は、日本も参考にできるだろう。

---

[110] Jennifer Salerno, A. Krieger, M. Smead, L. Veas (2019), Supporting National Environmental Policy Act Documentation for Offshore Wind Energy Development Related to Navigation, Washington (DC): U.S. Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management. OCS Study BOEM 2019-011, 89p, https://www.boem.gov/sites/default/files/environmental-stewardship/Environmental-Studies/Renewable-Energy/BOEM-2019-011.pdf

[111] National Fisherman (May 18, 2021), “Vineyard Wind decision shows questions remain of economic, environmental impact”, https://www.nationalfisherman.com/northeast/vineyard-wind-decision-shows-questions-remain-of-economic-environmental-impact

[112] Kaitlyn Vu (2023) “Turbines in Trouble：The Controversy Behind Vineyard Wind & Offshore Wind in Massachusetts” https://harvardpolitics.com/turbines-in-trouble/

[113] UK Parliament (2011), The UK Marine Policy Statement

[114] Scottish Government, (2015), Scotland’s National Marine Plan (Edinburgh)

4.4.1　英国

「海洋及び沿岸アクセス法」(Marine and Coastal Access Act, 2009)によって英国の海域の空間計画 が導入され、領海と英国に隣接する沖合、すなわち英国の EEZ が含まれる。英国は、「漁業境界法（Fishery Limits Act, 1976）」によって漁業水域を 200 海里(nm)までの漁場を特定している。

また、英国はエネルギー法 (Energy Act, 2004 年)において、英国領海の超える水域を「再生可能エネルギー水域（REZ）」に指定し、海水や風力に由来するエネルギー生産について権利行使できるようにした。英国政府は、REZ 内の水域についてもウィンドファームの開発事業者に対してライセンスを付与することができる。REZ の範囲や機能は EEZ に類し、英国の刑法と民法も REZ に適用される。

4.4.2　ドイツ

ドイツは 2009 年に「ドイツのバルト海と北海における排他的経済水域（EEZ）の空間計画」(Spatial Plan for the German Exclusive Economic Zone in the North Sea and Baltic Sea, 2021 年改正）を策定した。その法的根拠である「連邦空間計画法」(Raumordnungsgesetz, ROG; 1965 年、最終改正は 2018 年)の対象範囲は、2004 年に EEZ に拡張された。新計画は、海運、洋上風力、ケーブル、パイプライン、原料採取、漁業、研究調査、防衛など、EEZ における様々な活動を調整するものであり、用途毎に海域を確保することで紛争を最小限に抑えることができる。

「2021 年海洋空間計画」において洋上風力発電の優先水域や専用水域に指定された水域やサイトは、合計 43GW の洋上風力タービンを収容することができると言われており、2035 年に 40GW に達するという目標に十分に対応している [115]。2021 年 12 月現在、ドイツは EEZ 内で 27 件のウィンドファームを稼働中、建設中、または準備中であり、合計約 887 万 kW の発電容量となる。これらのウインドファームのうち 20 件は、海洋空間計画の「優先水域」に設置されている。風力の優先水域では、風力の利用が他のすべての空間利用に優先される。計画段階で漁業と防衛に関する利害が考慮されることになっており、共同利用によって利益バランスを図ることも検討される。

4.4.3　オランダ

オランダは 2009 年に、最初の海洋空間計画である「北海政策文書」(North Sea Policy Document）を採択した。「北海プログラム 2022-2027」 (North Sea Programme 2022-2027) はオランダの第 3 次 MSP で、オランダの領海と EEZ を対象とする。北海の空間開発において適切な社会的均衡が実現されることを目指し、生態系の強化、持続可能な食料供給への移行、持続可能なエネルギー供給への移行、海上輸送、持続可能なブルーエコノミーなどの方針が示されている。「北海プログラム 2022-2027」では、新たに洋上風力発電水域を指定するとともに、2030 年以降に風力発電を検討する「調査水域」が指定されており、合わせて 34GW の風力発電に相当する。

4.5　海洋政策の意思決定への市民参加

多くのヨーロッパ諸国では、オープンな議論を通じて国民の理解を得るために、幅広い市民参加に基づいて政策を策定することが一般的になりつつあり、MSP も例外ではない。上述の MSP はいずれも、参加型プロセスを経て策定されている。海外の多くの参加型プロセスでは、広範なステークホルダーの参加を得ることによって、幅広いコンセンサスに基づく意思決定に成功している。

---

[115] BSH(2023), “Maritime spatial-relevant developments in the German Exclusive Economic Zone in the North Sea and the Baltic Sea: Annual Report 2021”, https://www.bsh.de/EN/TOPICS/Offshore/Maritime_spatial_planning/_Anlagen/Downloads/Jahresbericht_AWZ_2021_EN.pdf

日本では、政府による洋上風力の「有望な区域」の指定を受けて、関係者間の協議や現地調整を行うための協議会が設置されるが、ヨーロッパの慣行ほど多様なステークホルダーが参加するオープンなプロセスではない。ここでは、海洋空間計画の策定に向けて実施された市民参加の例を概観し、日本への示唆を考察する。

4.5.1　英国

英国では、12 段階のプロセスに沿って海洋計画は策定され、各ステップにおいてステークホルダーが関与する(図 4-1).

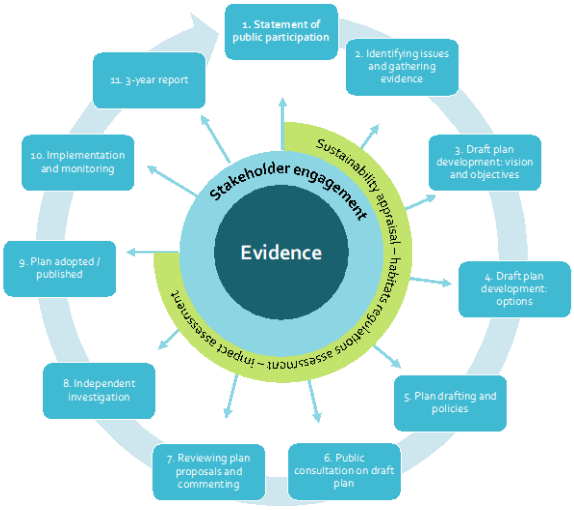


図 4-1 英国の海洋計画策定プロセス

出所：GOV.UK ウェブサイトより著者作成 [116]

「海洋及び沿岸アクセス法」では、海洋計画区域ごとに「市民参加表明書（Statement of Public Participation, SPP）」の提出が義務付けられている。これは、海洋計画策定プロセスの透明性を確保し、利害関係者がどのような形で参加し、海洋計画の策定に影響を与えることができるかを示す。SPP のドラフトは、パブリックコンサルテーションを経て国務長官に提出される。長官の承認を得て公表されると、当該海洋計画の対象水域について正式に海洋計画策定プロセスが開始される。会議、ワークショップ、コンサルテーションのイベント、ステークホルダー会合、デジタルツール（ソーシャルメディア、ウェビナー、ウェブサイト、動画やアニメーション、ブログなど）、直接アクセス（面談、電子メール、ニュースレター、アンケートなど）など、様々な手段が駆使される。参画するステークホルダーには、多種多様な利益団体だけでなく、国境を接する国や行政区、沿岸域の様々な協定の関係者、プロジェクトパートナー、地域社会、一般市民、省庁、地方自治体、業界団体、非政府組織などが含まれる。

4.5.2　ドイツ

ドイツの「2021 年海洋空間計画」は、土地利用計画法（ROG）第 9 条 1 項に基づいて広範なステークホルダーの参画の下、改訂プロセスを経て発効した。最初に各公的機関から、EEZ 内で実施する予定の計画や措置、実施済みの取り組み、それらの実施スケジュールに関する情報の提供を受けた。その後、BSH（ドイツ

[116] Marine Management Organization (June 11, 2014), “Guidance: Marine planning and development” https://www.gov.uk/guidance/marine-plans-development#agree-how-and-when-interested-people-will-be-involved

連邦海運水路庁）が、海運、自然保護、漁業、水中文化遺産、防衛、原料採取に関する様々なテーマ別ワークショップや専門家協議を実施した後、国内及び国際的なコンサルテーションが行われた。（図 4-2）

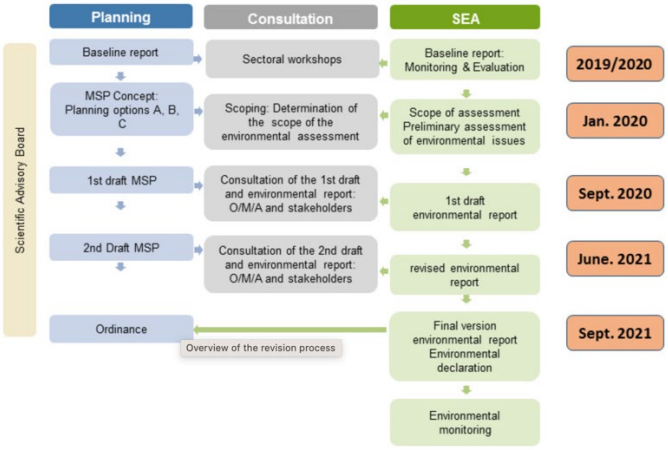


図 4-2 海洋空間計画の改訂プロセス

出典 BSH ウェブサイト [117]

4.5.3　オランダ

オランダの海洋空間計画「北海協定」（North Sea Agreement）は、複数の市民団体が、長期的な風力資源の開発に関する将来展望を示しつつ、2030 年までの期間を対象に、オランダ政府とステークホルダーとの間で協定集を締結することを政府に要請した結果、策定された。自然環境諮問委員会（Physical Environment Consultative Council, OFL）によって North Sea Consultation（NZO）が設立され、2020 年 6 月に一連の協定が締結された。同文書には、水域の指定と保護、風力発電水域の指定、ウィンドファームの配置と共同利用、追加的な自然保護区、海洋自然保護区における漁業、施設や構造物、石油・ガス生産などに関する協定が含まれる。NZO はすべてのステークホルダーの意見の考慮に努めたが、最終的に Dutch Fishermen's Association と生産者団体 VissNed は署名しなかった。「北海協定」に基づき、NZO は 2021 年にステークホルダーを会員とする常設の協議体として発足し、未署名の団体の席も確保されている。

Hatenboer, et. al (2023)[118]は、それぞれの利益がどのように代表されたかについて、漁業セクター内部で、漁業団体間で対立が生じたため、北海協定に署名できなかったことを指摘している。容認できる禁漁区の数や Fleet Transition Fund[119]についても意見が大きく分かれた。業界を代表するトップ層が協定に前向きであっても、それが必ずしも加盟組織の過半数の支持を得ているとは限らず、その実態は外からはわかりにくい。これは、ハイレベルで協議が行われることの多い日本でも直面する可能性がある課題である。

---

[117] BSH ウェブサイト, "Maritime Spatial Plan 2021", https://www.bsh.de/EN/TOPICS/Offshore/Maritime_spatial_planning/Maritime_Spatial_Plan_2021/maritime-spatial-plan-2021_node.html

[118] C. Hatenboer, C. van den Berg, R. Holzhacker (2023) "The Dutch fisheries sector and the North Sea Accord: Unpacking stakeholder participation in multi-levelled marine governance" *Marine Policy* Vol. 147, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X22004110

[119] 持続可能な漁法や漁船への移行、隻数の削減、廃船した場合の他業種への転職支援などが盛り込まれた政策パッケージの予算

4.6　小結

国連海洋法条約は、沿岸国が天然資源の探査、開発、保存、管理、及び風力発電や潮力発電のようなその他の経済活動に対して主権的権利を行使できることを認めており、ドイツや英国をはじめとする多くの国が既に、洋上風力発電用に指定された水域を含む MSP を策定している。すべての国が EEZ 内での航行及び上空飛行の自由、海底ケーブル及びパイプラインを敷設する権利を享受しているため、日本が EEZ 内にウィンドファームを建設する意思を表明することが重要で、科学的データに基づき、ステークホルダーの参画の下で海洋空間計画を策定することは有効な手段となる。一方で、MSP 策定は時間を要することから、政府は、洋上風力発電の導入目標を達成するための具体的なロードマップを公表し、早期のプロジェクト開発の促進することも不可欠であろう。

日本の漁業者だけでなく、二国間漁業協定の当事国も含めた利害関係者との交渉も速やかに開始すべきである。現行制度では、地元のステークホルダー（多くの場合、利益団体の代表者）との協議状況などによって、洋上風力発電のための「促進区域」「有望な区域」「準備区域」を指定している。地域経済への貢献などが評価基準に含まれるため、個別交渉は事業者が行うことが多い。しかし、EEZ 内ではステークホルダーの特定が難しく、交渉はより困難になる可能性が高い。

このような計画の設計に幅広いステークホルダーが参加することは、計画そのものだけでなく、個々のプロジェクトに対する当事者意識を醸成する上でも重要である。上記のオランダで得られた教訓は、ステークホルダー集団内で意見の対立が存在する場合に直面する課題の一例である。ステークホルダー集団のトップレベルだけでなく、あらゆるレベルでのステークホルダー対話を確保することの重要性が示された。

日本には、多くの国で義務付けられている参加型の意思決定プロセスが存在しない。科学的な情報提供に支えられたオープンな議論は、様々な関係者がより受け入れやすい結果をもたらす。MSP の策定には、漁業関係者、広範な沿岸域の地域住民や企業を含む幅広いステークホルダーとの協議と合意が必要である。日本でも、参加型の意思決定プロセスを開発することが急務である。また、このような意思決定プロセスは、多岐にわたる省庁間の話題をカバーできる内閣府あるいは新設の専門政府機関が中心となることが期待される。

5　地域産業ハブの開発

5.1　洋上風力の系統接続

ウィンドファームの系統接続は、洋上風力発電の導入拡大において重要な課題のひとつである。日本では、新規の再エネ発電所が接続できる系統の空き容量がますます限られてきている。東京電力管内を除くすべての地域で、再エネの出力抑制が行われている。短期的には、洋上風力発電の開発を促進するために、新しい洋上風力発電プロジェクトは、いわゆる「系統確保スキーム」の下で系統に接続することができるが、スキームの詳細設計は現在議論中である [120]。系統確保スキームでは、事業者はノンファーム型接続を前提に、新規の洋上風力発電プロジェクトを系統に接続することができる。ノンファーム型接続適用電源は、系統の混雑時には無補償で出力制御が行われることを条件に、系統に空き容量がない場合も系統に接続することができる。ノンファーム型接続適用電源が出力制御を受ける頻度や量は予測が困難であるため、ノンファーム型接続適用電源のバンカビリティを損なう可能性がある。送電容量確保の順番を接続契約申込み順とする「先着優先ルール」から発電所の炭素原単位と発電コストに基づくルールに変更することで、洋上風力発電だけでなく、すべての新規再エネ電源のバンカビリティ改善に資する。

長期的には、系統容量の拡大、特に地域間連系線の増強が必要である。電力広域的運営推進機関（OCCTO）は、将来の系統のマスタープランを発表した [121]。マスタープランの策定にあたっては、将来の洋上風力の導入見込みも考慮されている。しかし、現在建設中または計画中の将来の地域間連系線は 10GW 程度で(Error! Reference source not found.)、長期的には今後開発されるすべての洋上風力発電プロジェクトが接続するには不十分だろう。地域間連系線の増強に加え、洋上風力資源を、水素など形を変えて輸送したり、エネルギー需要を洋上風力のポテンシャルが豊富な場所に移転したりすることも、系統容量の制約に対する解決策となりうる。

[120] 資源エネルギー庁・国土交通省港湾局（2023 年 6 月）「「系統確保スキーム」の見直しについて」、第 19 回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー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洋上風力促進ワーキンググループ 交通政策審議会港湾分科会環境部会洋上風力促進小委員会 合同会議（2024 年 6 月 16 日開催）、資料 1
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/yojo_furyoku/pdf/019_01_00.pdf

[121] 電力広域的運営推進機関 (2023 年 3 月)，「広域系統長期方針(広域連系系統のマスタープラン)」，
https://www.occto.or.jp/kouikikeitou/chokihoushin/files/chokihoushin_23_01_01.pdf

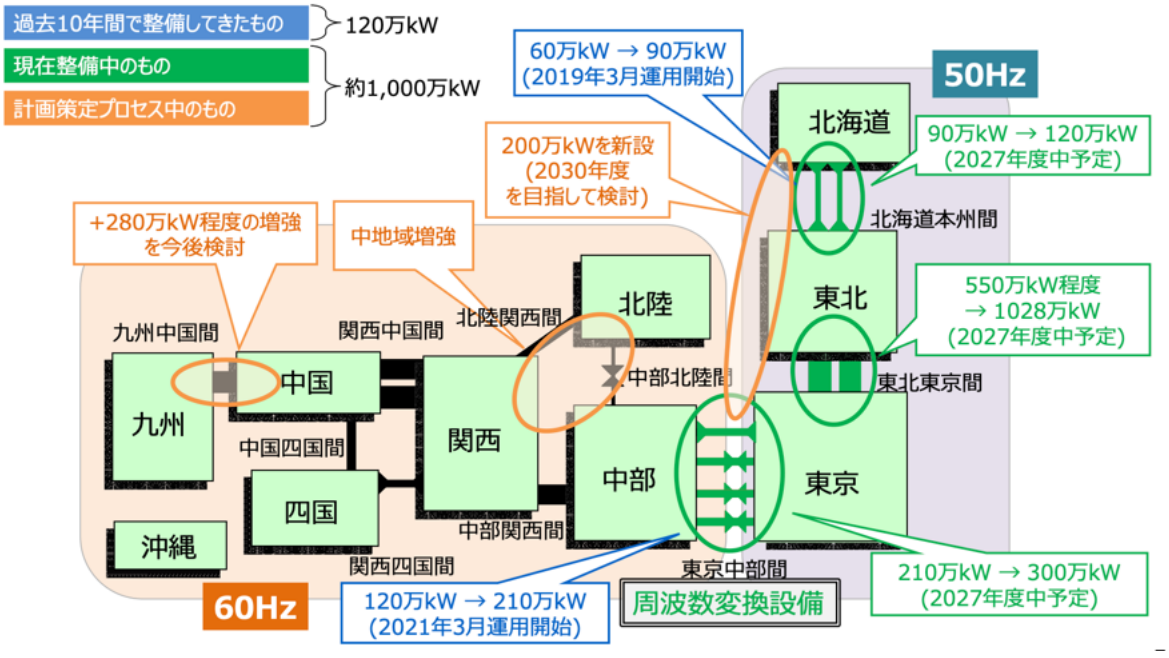


図 5-1 将来の送電網増強計画

出所：経済産業省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 49 回会合（資料 3）[122]

5.2 他のエネルギーキャリアに変換しての利用

洋上風力のポテンシャルと系統の制約を勘案すると、洋上風力のエネルギーを最大限に利用するための方法として、水素などのエネルギーキャリアに形を変えて利用することが挙げられる。将来、洋上風力の発電コストが十分に下がれば、沿岸部でのグリーン水素製造に洋上風力由来の電力を利用することによって送配電コストを回避することができ、系統電力を利用するよりも経済的である。また、洋上風力の発電コストが低ければ、地域で製造した洋上風力由来のグリーン水素は、水素キャリアの変換・再変換コスト、水素の長距離輸送とそれに伴う貯蔵コストを伴わないため、輸入グリーン水素に対して競争力を持つことができるかもしれない。ただし、洋上の水素製造サイトから沿岸部へのパイプライン輸送は、水素の供給コストに追加される。

洋上風力由来の電力を利用した水素製造は、洋上風力の開発が先行している欧州を中心に推進されている。例えば、ドイツの Westküste 100[123]プロジェクトでは、洋上風力と太陽光発電由来の電力を利用してグリーン水素を製造し、近隣のセメント工場から回収した CO_2 を利用してグリーン水素から合成燃料を製造している。同プロジェクトでは、沿岸部への送電線が既に敷設されている既存のウィンドファームでグリーン水素を製造し、沿岸部にある水素製造施設で水素を製造する。

水素製造に特化した洋上風力プロジェクトも開発されている。例えば、英国では、Deepwater Offshore Local Production of Hydrogen (DOLPHYN)プロジェクトでは、専用の浮体式洋上風力による水素製造を計画している。同プロジェクトでは、浮体式洋上風力と水電解システムの設計についていくつかのパターンが検討された。コスト分析の結果、水素の総供給コスト（含、製造コストと沿岸部への輸送コスト）が最も低い、セ

[122] 経済産業省（2023 年 2 月），「電力ネットワークの次世代化」（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 49 回会合　資料 3），https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/049_03_00.pdf

[123] Westküste 100 ウェブサイト，https://www.westkueste100.de/

ミサブ式の浮体構造物と沿岸部への水素輸送パイプラインの組み合わせ（図 5-2「ケース 1」）が採用された。この場合、水素製造設備（淡水化設備及び水電解装置）は、各浮体構造物に搭載される。[124]

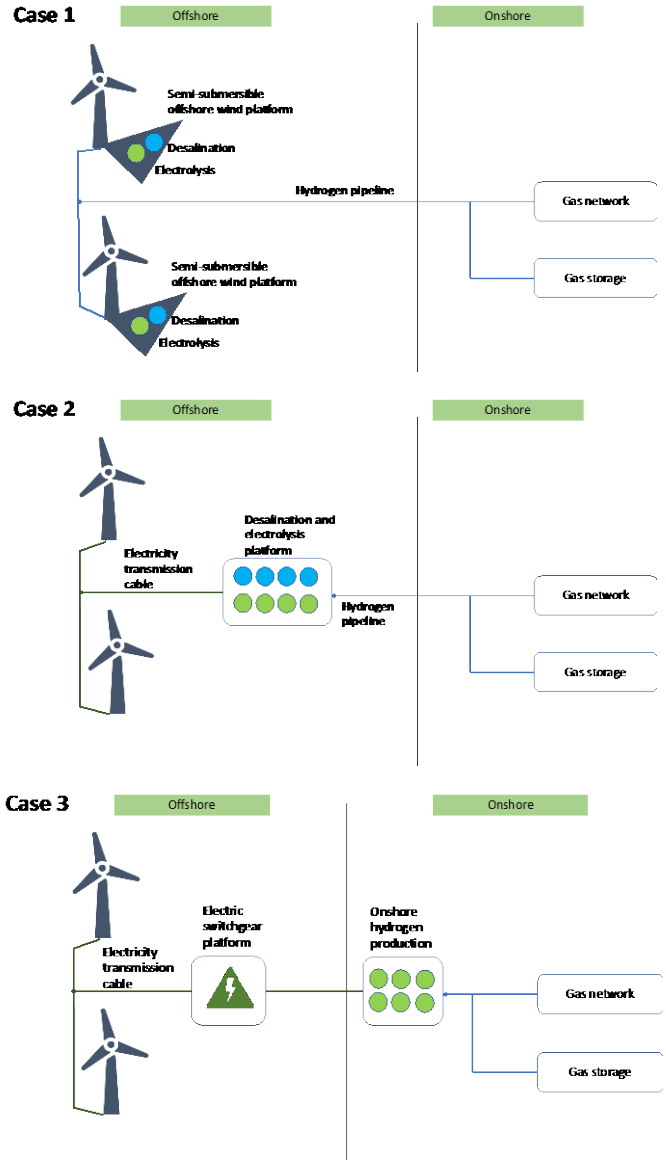


図 5-2 DOLPHYN プロジェクトで検討されたシステム設計

出所：ERM（2019 年）を基に筆者作成

また、北海周辺各国では、民間企業によって、北海地域において洋上風力発電と水素製造を組み合わせた North Sea Wind Power Hub（NSWPH）などの計画も進められている。NSWPH プロジェクトは、北海に複数の洋上風力供給ハブを建設し、同地域の各国に電力と水素の両方を供給することを目的としている。NSWPH コンソーシアムには、Gasunie 社、Energinet 社、TenneT 社などの電力会社が参加している。コンソーシアムでは、洋上風力をエネルギーシステムに統合し、最も効率的に電力と水素を供給するための最適なシステム設計を検討している。検討の結果、洋上風力由来の電力をすべて洋上水素製造に充てたり、電力を全量陸上の系統に送電したりするよりも、グリッド統合型 PtG（Power to Gas）システムのようなハイブリッ

[124] ERM (2019), *Dolphyn Hydrogen Phase-1 Final Report* (Submitted to Department for Business, Energy & Industrial Strategy, United Kingdom), https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5e4ab9be40f0b677c1344ec8/Phase_1_-_ERM_-_Dolphyn.pdf

ド型システムで水素などを製造する方が、洋上風力のエネルギーを最大限に活用できることがわかった [125]。グリッド統合型ハイブリッド PtG システムでは、陸上の系統に送電し、系統で吸収しきれなかった余剰電力を洋上水素製造に使用する。水素は水素パイプラインを通じて沿岸域に輸送される。

5.3 インフラ整備

洋上風力由来の電力や水素を需要家に届けるためには、送電線と水素輸送手段が重要である。送電・輸送インフラは、洋上風力由来のエネルギーを洋上施設から陸上へ輸送するための洋上の送電・輸送インフラと、陸上の送電・輸送ネットワークから成る。

5.3.1 洋上の送電及び配送インフラ

海底ケーブルや石油・ガスパイプラインの技術は成熟しており、既に多くのプロジェクトで使用されている。海底送電ケーブルの多くは欧州にあるが、北米やアジアでもいくつかのプロジェクトが実施されている(表 5-1).現行プロジェクトでは、海底送電ケーブルの深さは最大 1,600m にも及ぶ。

海底水素パイプラインはまだ存在しないが、陸上水素パイプラインの技術は、石油・ガスの海底パイプラインの経験を海底水素パイプラインに活かすことができる。現在、石油・ガスの海底パイプラインは、主に米国メキシコ湾、西アフリカ、ブラジル、北欧に敷設されている。Mark J. Kaiser & Siddhartha Narra (2019)[126] によると、米国メキシコ湾地域は石油ガス業界で最も進んでいる地域の一つで、約 21,872 マイル（35,200km）の稼働中の石油・ガスパイプラインのうち約 9,462 マイル（15,228km）が 400 フィート（122m）以上の水中にある。ガスパイプラインの中には、水深 2,000m を超えるものもある [127] 。

[125] NSWPH (2022), “Grid-integrated Offshore Power-to-Gas Discussion Paper #1”, https://northseawindpowerhub.eu/knowledge/nswph-discussion-paper-on-grid-integrated-offshore-power-to-gas s

[126] Mark J. Kaiser & Siddhartha Narra (2019), “U.S. Gulf of Mexico pipeline activity statistics, trends and correlations”, *Ships and Offshore Structures*, 14:1, 1-22, https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17445302.2018.1472517

[127] TechnipFMC (August 23, 2013, press release), “Technip to lay the world’s deepest gas pipeline, for Shell in the Gulf of Mexico”, https://www.technipfmc.com/en/investors/archives/technip/press-releases/technip-to-lay-the-world-s-deepest-gas-pipeline-for-shell-in-the-gulf-of-mexico/

表 5-1 海底送電ケーブルの導入例

送電ケーブル	電圧	全長	最大水深	稼働年
NorNed （ノルウェー-オランダ）	±450kV (DC)	580km	410m *1	2008
ノ NordLink （ノルウェー-ドイツ）	±525kV（DC）	623km *2	410m	2021
SA.PE.I （イタリア本土-サルディニア）	±500kV (DC)	435km	1,640m	-
ELMED （イタリア-チュニジア）	500kV (DC)	220km *3	800m	2028 年までに完成予定 *4
北本連系設備 （北海道-本州）	±250kV (DC)	167km （海底ケーブル：42km）	300m	直近のケーブル拡張：2014 年
Maritime Link （カナダ）	±200kV (DC)	170km	470m	2017

出所: Jan-Erik Skog et al.[128], T&D World (2008)[129], Magnus Callavik and Ola Hansson (2015)[130], KfW[131], Terna Diving Energy[132] , ELMEDProject[133] , J-Power (2021)[134] , Nexans (2018)[135] , 日立エネルギー[136]

注
*1：浅い水域（50m 以下）にケーブル 420km、水深 410m 以下の水域にケーブル 160km
*2：海底ケーブル 516km
*3：海底ケーブル 200km
*4：2023 年より調達フェーズ。2023 年に世界銀行によるチュニジアへの融資が承認され、EU の補助金も調印された。

5.3.2　陸上の送電及び輸送インフラ

クリーンな電力や水素を需要家に届けるためには、陸上の送電・輸送インフラも重要である。前述の通り、日本は既に長期的な系統の増強に向けたマスタープランを策定しており、将来的な洋上風力による電力供給も考慮されている。水素供給インフラについては、欧州では既に欧州全域をカバーする水素パイプライン網の整備計画があり、その大部分は天然ガスパイプラインを再利用する予定である。一方、日本にはまだそのような計画はなく、現在、主な水素供給手段は、高圧水素ガストレーラーと液化水素タンクローリーである。これらの手段は、市場拡大の初期段階において、水素補給ステーションのような消費量の少ない分散型の水素需要家への輸送に有効である。しかし、大規模需要家への輸送には、水素を大量に運べるパイプライ

[128] Jan-Erik Skog, Kees Koreman, Bo Pääjärvi, & Thomas Andersröd (2006), “The Norned HVDC cable link-A power transmission highway between Norway and The Netherlands,” ENERGEX 2006, https://library.e.abb.com/public/f3a6c2afe601d185c125718e002e3823/THE%20NORNED%20HVDC%20CABLE%20LINK.pdf

[129] T&D World (May 9, 2008), “NorNed, the Longest Electricity Cable in the World, is Operational”, https://www.tdworld.com/overhead-transmission/article/20956052/norned-the-longest-electricity-cable-in-the-world-is-operational

[130] Magnus Callavik and Ola Hansson (2015), “NORDLINK Pioneering VSC-HVDC interconnector between Norway and Germany”, https://library.e.abb.com/public/aaa99cf7067cd258c1257e0d002c9a7b/Nordlink%20White%20Paper%20from%20ABB.pdf

[131] KfW website, “Green electricity from Norway”, https://www.kfw.de/stories/environment/renewable-energy/nordlink/

[132] Terna Diving Energy website, “SA.PE.I”, https://www.terna.it/en/projects/sapei

[133] ELMEDProject website, https://elmedproject.com/#:~:text=The%20power%20line%20will%20run,along%20the%20Strait%20of%20Sicily

[134] J-Power 送変電 (2021),「長距離海底直流送電の整備に向けた検討会　国内の海底直流送電による地域間連系」（第 1 回長距離海底直流送電の整備に向けた検討会　資料 6）https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/chokyori_kaitei/pdf/001_06_00.pdf

[135] Nexans (February 18, 2018, press release), “Nexans Delivered North America’s Longest Submarine Cable to Provide Cleaner Energy to Eastern Canada”, https://www.nexans.com/en/newsroom/news/details/2018/01/Nexans-Delivered-North-America-Longest-Submarine-Cable-to-Provide-Cleaner-Energy-to-Eastern-Canada.html

[136] Hitachi Energy website, “Maritime Link”, https://www.hitachienergy.com/about-us/customer-success-stories/maritime-link

ンがより効率的である。長期的には水素市場の発展に伴い、水素需要の大きい地域には水素パイプライン・ネットワーク構築の検討価値はある。

5.4　地域水素ハブとの相乗効果

国内の水素・アンモニア市場の創出・拡大に向けて、日本政府は国内に複数の水素・アンモニア拠点を建設することを検討している。拠点整備費用の一部は政府が支援する。拠点の建設地の選定にあたっては、水素・アンモニアの潜在的需要が評価基準のひとつとなる。水素・アンモニア拠点には、水素・アンモニア発電所、製油所、大規模な産業用需要家など、水素・アンモニアの大規模需要家が複数存在することが想定される。このような拠点には、水素輸送のための水素パイプラインや、水素・アンモニア輸入設備を備えた港が必要である。将来的には、洋上風力による水素製造拠点が水素・アンモニア拠点への水素供給拠点となるよう有機的に計画することができれば、その相乗効果によって、インフラ整備の総コストを削減することができる（図　5-3）。

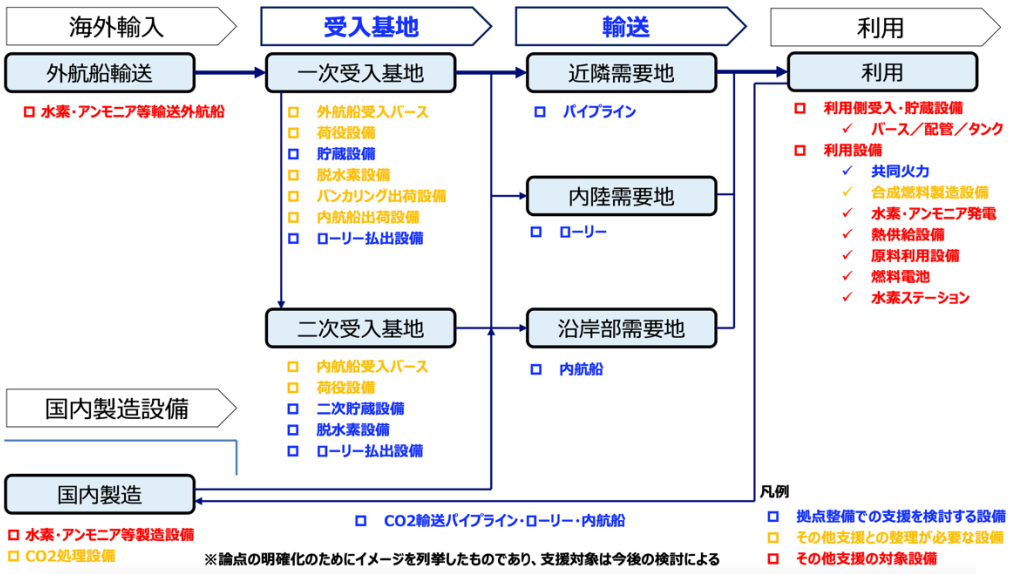


図　5-3 日本で議論されている水素・アンモニア拠点への洋上風力の統合イメージ

出所：資源エネルギー庁「水素政策小委員会/アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会合同会議　中間整理(案)」より著者作成 [137]

5.5　エネルギー需要地の移転

長期的には、洋上風力のポテンシャルを最大限に活用するために、エネルギー供給面だけでなく、需要面での対策も検討する必要がある。グリーン製品の需要拡大や、製品のカーボンフットプリントに関する規制の厳格化などに伴い、低コストのクリーンエネルギーのニーズが産業界で高まっている。長期的に洋上風力発電の発電コストが低減された場合でも、送電コスト、水素への変化の場合は水素の輸送コストを加味する必要があり、エネルギーの輸送距離を短くすることが理想的である。北海道など洋上風力ポテンシャルの大

[137]　資源エネルギー庁（2023 年 12 月），「水素政策小委員会/アンモニア等脱炭素燃料　政策小委員会　合同会議　中間整理(案)」(総合資源エネルギー調査会　第 7 回　省エネルギー・新エネルギー分科会　水素政策小委員会/資源・燃料分科会　アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会　合同会議（2022 年 12 月 13 日開催）資料 2)
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/007_02_00.pdf

きい地域にエネルギー需要家を移し、地域のエネルギー需要を拡大させることによって、遠隔地への送電線や水素パイプラインのような新たなエネルギーインフラに対する投資を回避し、エネルギー需給システムの最適化を図ることも検討課題であろう。

洋上風力ポテンシャルが大きい地域における潜在的なエネルギー需要家には、風力タービン製造、機器の供給、組み立て、リサイクルなど、洋上風力のサプライチェーンに関連する産業が含まれる。さらに、大量の電力を消費するデータセンターや、高温度帯の熱を大量に消費する製鉄所など、低コストのクリーン電力やクリーン水素を大量に必要とする産業も、地域の新たなエネルギー需要を生み出す可能性がある。

デジタル化のさらなる進展に伴い、データセンターは主要な電力消費者のひとつになるだろう。データセンターを所有する大手 IT 企業は、再エネを中心としたクリーンなエネルギー源からの電力調達に切り替えている。データセンターには無停電電源装置（UPS）が必要なため、停電に備えてバックアップ電源が必要である。Microsoft 社は、データセンターのバックアップ電源として水素燃料電池を使用する実証を行っている[138]。将来的に、洋上風力発電システムは、クリーン電力とバックアップ発電機用のクリーン燃料（グリーン水素）の両方をデータセンターに供給することができる。

鉄鋼業は、いわゆる Hard-to-Abate（電化による脱炭素化が難しい）部門のひとつである。脱炭素ソリューションのひとつに、還元剤や高温度帯の熱の燃料として水素を使用する直接還元鉄（DRI）が挙げられる。DRI プロセスで 1 トンの粗鋼を生産するには、45～55kg の水素が必要であり[139]、年間 400 万トンの粗鋼を生産する典型的な製鉄所の場合、年間の水素需要量は 18 万～22 万トンとなる。IEA（2019）[140]によると、10GW の洋上風力によって年間約 100 万トンの水素を生産できるから、年間 400 万トンの粗鋼生産の製鉄所にグリーン水素を供給するには、1.8～2.2GW の洋上風力が必要となる。洋上のウィンドファームから、電炉を使用する鉄鋼メーカーにも電力を供給することができる。電炉は、陸上・洋上問わず、風力発電設備から回収された鉄スクラップを処理することができ、地域における資源循環にも寄与する。

データセンターや産業用大規模需要家は、電力や水素を地域の洋上風力発電事業者から直接調達することができる。実際、洋上風力入札のラウンド 2（2023 年 12 月）では、フィード・イン・プレミアム（Feed-in-Premium, FIP）制度が採用されているが[141]、洋上風力発電事業者は需要家との電力購入契約（PPA）を選択している。

産業やエネルギーシステム全体の脱炭素化に向かう中、低コストで豊富なクリーンエネルギー資源を有する地域は産業界にとって魅力的な事業地となりうる。長期的には日本でも、洋上風力発電のコストが大幅に削減されれば、洋上風力発電のポテンシャルは大きいが系統容量が限られている地域に、既存のエネルギー需要を移転させたり、新たな産業用エネルギー需要を創出したりすることは、より効率的なエネルギー利用をもたらすソリューションとなりうる。労働者とその家族を伴う産業移転は、地域経済の活性化にもつながる。エネルギー需要の移転は、長期的かつ多様な観点が求められるが、エネルギー転換の黎明期である今、エネルギー、地域経済、産業のあり方について総合的ビジョンから議論すべきテーマであろう。

---

[138] Microsoft (July 28, 2022, press release), “Hydrogen fuel cells could provide emission free backup power at datacenters, Microsoft says”, https://news.microsoft.com/source/features/sustainability/hydrogen-fuel-cells-could-provide-emission-free-backup-power-at-datacenters-microsoft-says/

[139] Hydrogen Europe (2020), *Green Hydrogen Investment and Support Report*, p. 19 https://h2fcp.org/system/files/cafcp_members/2%20Hydrogen-Europe_Green-Hydrogen-Recovery-Report_final.pdf, (cited from Hybrit, Fossil free Steel, summary of findings from HYBRIT pre-feasibility study 2016-2017 Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking, Valentin Vogl, Max Åhman, Lars J. *Nilsson Journal of Cleaner Production* 203 (2018) 736-745)

[140] IEA (2019), “Offshore Wind Outlook 2019”, page 56, https://iea.blob.core.windows.net/assets/495ab264-4ddf-4b68-b9c0-514295ff40a7/Offshore_Wind_Outlook_2019.pdf

[141] 資源エネルギー庁（2023 年 11 月）,「再エネ海域利用法に基づく公募占用指針について」（第 89 回調達価格等算定委員会（2023 年 11 月 14 日開催）資料1), https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/089_01_00.pdf

5.6　小結

ウィンドファームの系統接続は、洋上風力発電の導入拡大において重要な課題のひとつである。電力広域的運営推進機関（OCCTO）が策定した系統のマスタープランは、将来の洋上風力の導入見込みも考慮されたものとなっている。しかし、長期的には、今後開発されるすべての洋上風力発電プロジェクトが接続するには系統容量が足りないだろう。そのため、洋上風力由来の電力を水素に変換することは、洋上風力を最大限活用し、エネルギーシステムを最適化するためのソリューションのひとつである。

欧州、特に英国やドイツなどの北海沿岸各国では、洋上風力による水素製造の研究や実証事業が既に行われている。洋上風力をエネルギーシステムに統合するためには、洋上及び陸上の送電線や、水素パイプラインなどのインフラを含めた水素の輸送手段が重要である。日本政府は、国内の水素・アンモニアの需要拡大を促進するため、複数の水素・アンモニア拠点を構築しようとしており、水素・アンモニアの輸送インフラは、拠点整備の重要な要素である。このような水素・アンモニア拠点のインフラを利用することに得られる相乗効果は、洋上風力と陸上のエネルギーシステムを繋ぐシステム設計において考慮されるべきであり、全体的なインフラコストの削減に寄与しうる。

エネルギー需要を洋上風力ポテンシャルが大きい地域に移転することも、長期的に、洋上風力のエネルギーシステムへの統合を最適化するソリューションになりうる。洋上風力のサプライチェーン上の産業だけでなく、洋上風力資源が豊富な沿岸地域は、データセンター（クリーン電力とグリーン水素の需要）、DRI プロセス（グリーン水素の大規模需要）など、クリーンエネルギーの潜在的なオフテーカーにとって魅力的となるだろう。洋上風力由来の電力を遠隔地に運ぶためのインフラに制約がある中で、洋上風力のポテンシャルが大きい沿岸地域にエネルギー需要を移転することで、新たなインフラへの大規模な投資を回避することができる。これにより、地域の産業育成を促進し、産業の海外移転を防ぐこともできるだろう。

このようなエネルギー需要の移転の前提条件として、クリーンエネルギーの需要家にとって魅力的な水準に洋上風力による発電コストが下がる必要がある。エネルギー移転の実現には、国の戦略的計画と、地方自治体の強力な支援と調整が必要である。

6　結論と提言

日本は領土が狭隘で、着床式洋上風力発電に適した浅い海域も限られているが、領海と排他的経済水域(EEZ)を合わせた海域の面積が世界第 6 位の海洋大国である。EEZ は水深が深く、大水深に適する浮体式洋上風力は日本にとって大きな期待が持てる技術である。

政府は、洋上風力を開発できる海域を排他的経済水域（EEZ） に拡大するべく、長期にわたる議論の結果、「再エネ海域利用法」の改正案をまとめ、洋上風力の普及に向けて取り組み強化が図られることになった。EEZ にウィンドファームを建設するという政府による意思表示は、日本における市場の形成に決定的な意味合いを持つ。

EEZ における洋上風力発電の開発を加速させる。

国連海洋法条約は、沿岸国が EEZ において天然資源の探査、開発、保存、管理、及び風力発電や潮力発電のようなその他の経済活動に対して主権的権利を行使できることを認めている。欧州では、ドイツや英国をはじめとする多くの国が既に、洋上風力発電用の水域をも指定する海洋空間計画(MSP)を策定している。EEZ をも対象とした MSP も少なくない。また、EEZ において複数のウィンドファームの開発や運転が進められている。

EEZ では、すべての国が航行及び上空飛行の自由、海底ケーブル及びパイプラインを敷設する権利を享受しているため、近隣国が EEZ でのウィンドファームの建設を発表または着工していることに鑑み、日本も EEZ におけるプロジェクト形成を急ぐ必要がある。政府が EEZ 内にウィンドファームを建設する意思を表明することが重要になるが、科学的データに基づき、ステークホルダーの参画の下で MSP を策定することは有効な手段となる。一方で、MSP 策定は時間を要することから、政府は、洋上風力発電の導入目標を達成するための具体的なロードマップを公表し、早期のプロジェクト開発の促進することも不可欠であろう。

浮体式洋上風力発電プロジェクトの早期実現を促進する。

洋上風力発電は、着床式洋上風力発電に比べ、まだ開発段階にある技術が多い。造船や海底ケーブル技術など、日本が得意とする技術を活用することで、浮体式洋上風力発電のサプライチェーン構築を主導できる可能性がある。

実証事業は技術の確立に向けて必要であるが、グリーンイノベーション基金フェーズ 2（浮体式実証） 含め、現在進められている浮体式洋上風力の実証事業は小規模であり、300～500MW 以上のプロジェクトを中心に開発する国外風力タービンブレードメーカーにとっては魅力的な案件形成にはつながらない。浮体式洋上風力の進展を日本で図っていくためには、技術実証と同時に、既に確立されている技術をベースにした大規模実プロジェクトを立ち上げることで、日本が巨大で魅力的な市場を有することを国外の風力タービンブレードメーカーに向けて明確に示すことが肝要である。実際、国外では浮体式洋上風力は technology-push の段階を終え、既に market-pull の段階に入っていると言われている。

日本の産業政策として洋上風力発電の国内サプライチェーンを構築する。

日本政府は、浮体式洋上風力を進める意思表示を、海外の関係者だけでなく、国内企業に対しても行い、国内の市場関係者を増やしていく必要がある。政府が産業政策として浮体式洋上風力を推進していく決意であることについて、国内企業が確信を持てることが重要である。

浮体式洋上風力のサプライチェーンは調査・設計、港湾の整備、風車・浮体構造物・周辺設備の製造、機材の船での搬送、洋上プラットフォームの建設、送電線（海底ケーブル）の敷設を含む組立・設置、運転・管

理、撤去など、多岐にわたる。日本は、欧州各国が強みとするオフショア石油・天然ガス開発の経験はなく、風力ブレードの生産については世界に後れを取っているが、サプライチェーン上の個別の要素技術を有する企業は数多く存在する。

これらの要素技術については、現在の技術の改良とコストダウンを進めていくと共に、機材の製造や運搬における土地制約などの日本固有の事情から生じる課題を解決できるような新たな技術も模索しつつ、サプライチェーンの大部分を自国で賄えるようにすることが、経済・エネルギー安全保障の観点から肝要である。制度的には、国内製造・国内調達を促すために、日本国内での工場やサプライチェーンの構築に対してより強力なインセンティブを提供することが求められる。

リサイクルやリユースの取り組み強化も重要である。浮体式洋上風力発電設備のすべての構成要素が再生また再利用できるわけではなく、サプライチェーン上の全ての課題を解決できるわけではない。しかし、資源の国外流出を防止することができるほか、輸入削減につながる。技術開発、経済的支援策や規制のみならず、リサイクルを中心とした静脈産業が国内産業の振興や経済発展に裨益する絵姿を描くことも大事である。

洋上風力を活用した新しいエネルギーシステムを構築する

浮体式洋上風力の国内サプライチェーンの構築のみならず、エネルギーシステムの最適化には、国の戦略的計画と、地方自治体の強力な支援と調整が必要である。

ウィンドファームの系統接続は、洋上風力発電の導入拡大において重要な課題のひとつである。電力広域的運営推進機関（OCCTO）が策定した、将来の系統のマスタープランは、将来の洋上風力の導入見込みも考慮されたものとなっている。しかし、長期的には、今後開発されるすべての洋上風力発電プロジェクトが接続するには系統容量が足りないだろう。そのため、洋上風力由来の電力を水素に変換することは、洋上風力を最大限活用し、エネルギーシステムを最適化するためのソリューションのひとつである。

欧州、特に英国やドイツなどの北海沿岸各国では、洋上風力による水素製造の研究や実証事業が既に行われている。洋上風力をエネルギーシステムに統合するためには、洋上及び陸上の送電線や、水素パイプラインなどのインフラを含めた水素の輸送手段が重要である。日本政府は、国内の水素・アンモニアの需要拡大を促進するため、複数の水素・アンモニア拠点を構築しようとしており、水素・アンモニアの輸送インフラは、拠点整備の重要な要素である。このような水素・アンモニア拠点のインフラを利用することに得られる相乗効果は、洋上風力と陸上のエネルギーシステムを繋ぐシステム設計において考慮されるべきであり、全体的なインフラコストの削減に寄与しうる。

エネルギー需要を洋上風力ポテンシャルが大きい地域に移転することも、長期的に、洋上風力のエネルギーシステムへの統合を最適化するソリューションになりうる。洋上風力のサプライチェーン上の産業だけでなく、洋上風力資源が豊富な沿岸地域は、データセンター（クリーン電力とグリーン水素の需要）、DRI プロセス（グリーン水素の大規模需要）など、クリーンエネルギーの潜在的なオフテーカーにとって魅力的となるだろう。洋上風力由来の電力を遠隔地に運ぶためのインフラに制約がある中で、洋上風力のポテンシャルが大きい沿岸地域にエネルギー需要を移転することで、新たなインフラへの大規模な投資を回避することができる。クリーンエネルギーの需要家にとって魅力的な水準まで洋上風力による発電コストが下がれば、地域の産業育成を促進し、産業の海外移転を防ぐこともできるだろう。

参加型の意思決定プロセスを構築する

EEZ における洋上風力プロジェクトを選定するために、「再エネ海域利用法」の改正案では、2 段階方式の制度を導入する。第1段階では、事業者は実施計画の仮許可を受けた後、地元の漁業関係者などのステークホルダーとの調整を開始する。協議の際は、明らかに利害を有する関係者のみならず、地域コミュニティ、二国間漁業協定の当事者などをも含む広範なステークホルダーと行うべきである。また、公正なプロセスを保証する枠組みも必要である。

政府は、地元の利益団体の代表などが参加する協議会での議論に基づき、洋上風力発電のための「促進区域」「有望な区域」「準備区域」を指定している。地域経済への貢献などが評価基準に含まれるため、個別交渉は事業者が行うことが多い。しかし、EEZ 内ではステークホルダーの特定が難しく、交渉はより困難になる可能性が高い。

幅広いステークホルダーの参画は、個々のプロジェクト、そして長期的な MSP に対する当事者意識を醸成する上でも重要である。上記のオランダで得られた教訓は、ステークホルダー集団内で意見の対立が存在する場合に直面する課題の一例であるステークホルダー集団のトップレベルだけでなく、あらゆるレベルでのステークホルダー対話を確保することの重要性が示された。

日本には、多くの国で義務付けられている参加型の意思決定プロセスが存在しない。科学的な情報提供に支えられたオープンな議論は、様々な関係者がより受け入れやすい結果をもたらす。MSP の策定には、漁業関係者、広範な沿岸域の地域住民や企業を含む幅広いステークホルダーとの協議と合意が必要である。日本でも、参加型の意思決定プロセスを開発することが急務である。また、このような意思決定プロセスは、多岐にわたる省庁間の話題をカバーできる内閣府あるいは新設の専門政府機関が中心になって進めることが期待される。

お問い合わせ: report@tky.ieej.or.jp