

1. 海運環境政策

- 1) 「国際海運の温室効果ガス削減対策と代替燃料に関する動向」
(情報機構発行『カーボンニュートラル燃料最新動向～水素・アンモニア・e-fuel・バイオ燃料～』に所収 2022 年 7 月)
主任研究員 森本 清二郎
研究員 坂本 尚繁

- 2) 「Offshore Wind Power and Ocean Shipping—Growing Business Potential and Effects on Safe Operation—」
(The Mariners' Digest Vol.67 2022 年 10 月)
研究員 坂本 尚繁

- 3) 「国際油濁補償の仕組みと最近の動向」
(日本海事新聞 2022 年 12 月)
上席研究員 中村 秀之

- 4) 「洋上風力発電に関する国内外の航行安全確保の取組について」
(日本海事新聞 2023 年 3 月)
研究員 坂本 尚繁

- 5) 「洋上風力発電と海運」
(日本船長協会誌「船長」140 号)
研究員 坂本 尚繁

国際海運の温室効果ガス削減対策と代替燃料に関する動向

主任研究員 森本 清二郎
研究員 坂本 尚繁

はじめに

船舶による海上輸送は重量ベースで日本の輸出入の99.6%、トンキロベースで国内貨物輸送の約4割を占めるなど¹⁾、海運は経済活動を支える重要な役割を担っている。通常、船舶はディーゼルエンジン（主機関と発電用補機）で推進力と船内電力を得ており、重油や軽油など化石燃料を使用する。船舶からの温室効果ガス（GHG）排出削減には、抵抗の少ない船型への改良や省エネ機器搭載などエネルギー効率改善技術が必要となるが、脱炭素化の実現にはカーボンフリー燃料やカーボンニュートラル燃料（以下「カーボンニュートラル燃料」）など代替燃料への転換も必要となる。特に大量の燃料を消費する大型船が多い国際海運において、いかに燃料転換を図るかが問題となる。そこで、本項では国際海運におけるGHG削減対策と代替燃料に関する動向を概説し、カーボンニュートラル燃料に対する海運業界の期待と展望について考察する。

1. 国際海運の温室効果ガス削減対策に関する動向

1.1 国際海運の温室効果ガス排出量

世界で1,000総トン以上の大きさの商船は2021年1月時点で約5万4千隻あり²⁾、原油や液化天然ガス（LNG）、鉄鉱石、自動車、機械製品など様々な貨物を輸送している。世界の海上貿易は世界経済と連動する形で拡大しており、これに伴い国際海運のGHG排出量も増加している。国際海運の二酸化炭素（CO₂）排出量は約7億トンで世界全体の約2%を占め、同じ運輸部門の中では道路輸送の約60億トンより少ないが、国際航空より若干多く、国別ではドイツ一国分に匹敵する（図1及び図2参照）。今後も貿易拡大による排出増加が見込まれる中、いかに経済活動を支えるサプライチェーンとしての役割を維持しつつ、脱炭素化を図るかが課題となる。

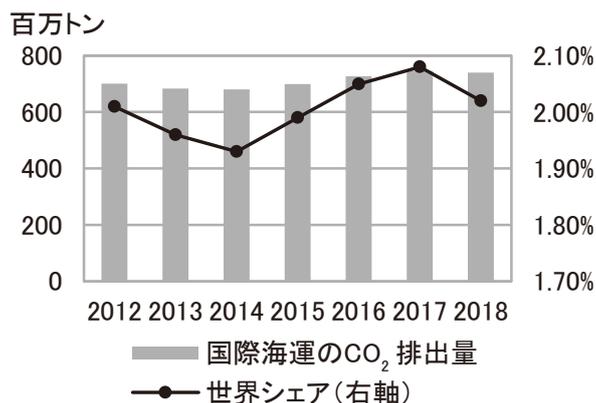


図1 国際海運のCO₂ 排出量³⁾

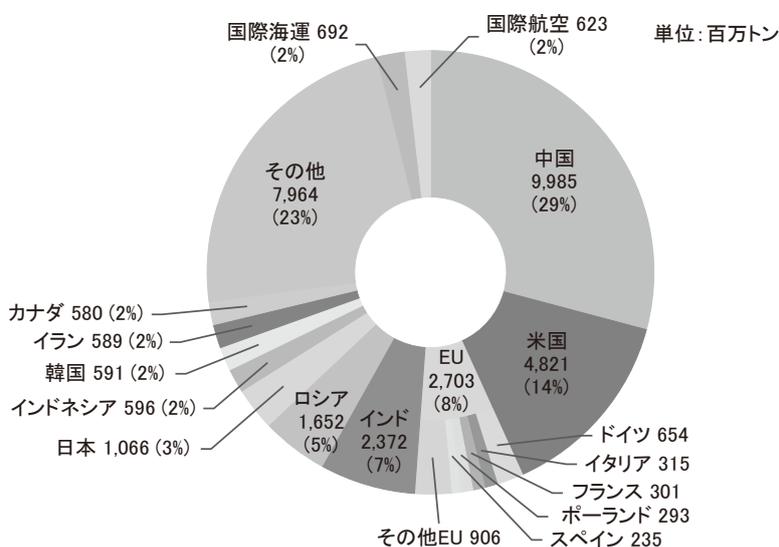


図2 主要国と国際運輸のCO₂ 排出量(2019年)⁴⁾

1.2 国際海運の温室効果ガス削減対策

国際海運では海外での船舶登録や用船契約に基づく船舶の貸し借りが行われ、実質船主や運航者の所在国が旗国と異なるケースが多いため、船舶からのGHG排出量を特定の国に帰属させることが難しい。このため、国連の専門機関である国際海事機関(IMO)で国際基準を策定し、当該基準を船籍に関わらず一律に適用する形で対策が実施されている。

最初のGHG削減対策は2013年に開始した新造船の設計燃費(EEDI)規制である。パリ協定発効の2018年には、IMOで船舶からのGHG削減に向けた戦

略文書が採択されており、2008年比で2030年に輸送単位当たりCO₂排出量（CO₂原単位）を40%削減、2050年にGHG排出量を50%削減し、出来る限り早期にGHG排出量をゼロとする目標が合意されている。⁵⁾ 2021年には既存船の設計燃費（EEXI）規制等が合意されており、その後も、目標見直しを含む戦略の改定や脱炭素化に向けた更なる対策の検討が行われている。

以下に国際海運において導入又は合意済みの対策と検討中の対策を概説する。

1.2.1 導入又は合意済みの対策

EEDI規制は、新造船（2013年以降に建造契約が結ばれた400総トン以上の外航船）を対象に、「輸送トンマイル当たりCO₂排出量（CO₂-g/tonne mile）」を単位とするエネルギー効率設計指標（EEDI:Energy Efficiency Design Index）を使って一定の規制値遵守を義務付けるものである。規制値は船種及びサイズ毎に設定され、これを段階的に強化することで、新たに建造される船舶の燃費性能の改善が図られている。

2021年にはEEDI規制の対象を既存船（2013年より前に建造された外航船）に拡大する既存船エネルギー効率指標（EEXI:Energy Efficiency Existing Ship Index）規制と、5,000総トン以上の外航船を対象とする炭素効率指標（CII: Carbon Intensity Indicator）格付け制度（CII Rating）が合意されており、いずれも2023年に開始予定である。EEDIとEEXIは船舶の燃費性能を表す指標であるのに対して、CIIは運航後の燃費実績を表す指標であるため、CII Ratingでは実燃費の改善果が期待される。

1.2.2 検討中の対策

IMOでは脱炭素化に必要な代替燃料の導入に向けて、各燃料のライフサイクルGHG排出量を評価するためのLCA（Life Cycle Assessment）ガイドラインや燃料のライフサイクル排出効率規制、経済的手法（MBM: Market Based Measures）などの対策が検討されている。LCAガイドラインは、燃料の消費段階（Tank-to-Wake）だけでなく、上流の生産から供給に至る段階（Well-to-Tank）を含め、ライフサイクル（Well-to-Wake）で生じたGHG排出量を「熱量単位当たりCO₂換算排出量（g-CO₂eq/megajoule）」で表されるライフサイクル排出効率で評価する手法を定めたものである。IMOでは、同ガイドラ

インのほか、再生可能エネルギー由来のグリーン燃料など環境負荷の小さい代替燃料の普及を促すためのライフサイクル排出効率規制や、GHG削減に向けた経済的インセンティブを付与するための炭素課金や排出量取引制度などMBMの検討が行われている。

なお、欧州連合(EU)ではEU寄港船舶を対象にEU排出量取引制度(EU ETS)とEU独自のライフサイクル排出効率規制(FuelEU Maritime)を適用する法案パッケージ(Fit for 55)が検討されており⁶⁾、IMOでの議論と併行して地域規制の検討が行われている。

2. 国際海運の代替燃料に関する動向

2.1 代替燃料のオプション

国際海運の脱炭素化には代替エネルギーの利用(風力推進や蓄電池による再生可能エネルギー由来の電力の利用など)や代替燃料への転換、船上で排出されるCO₂の回収・貯留(CCS: carbon capture and storage)技術の利用などが有効とされ、既にLNGや液化石油ガス(LPG)、メタノールなどの低炭素燃料やバイオ燃料の利用は一部で進められているが、最初のGHG削減対策は2013年に開始した新造船の設計燃費(EEDI)規制である。依然として大部分は化石燃料に依存している。今後はアンモニアや水素、合成燃料なカーボンニュートラル燃料の導入・普及を図る必要があるが、それぞれ以下のような利点と課題が指摘されている(表1参照)。

表1 各カーボンニュートラル燃料の利点と課題^{7, 8)}

	利点	課題
アンモニア	・ Tank-to-Wake 排出量はゼロ。	・ 毒性・腐食性への対応。 ・ 亜酸化窒素(N ₂ O)の削減対策。
水素	・ Tank-to-Wake 排出量はゼロ。	・ 貯蔵時のスペース効率改善、水素脆性への対応。 ・ エンジンによっては燃焼制御や供給装置の技術開発。
合成メタン	・ 既存のエンジンで利用可能。 ・ カーボンニュートラルとなり得る。	・ 未燃メタンが漏洩(メタンスリップ)する。 ・ Tank-to-Wake 排出量をゼロ扱いとする考え方の確立。
合成メタノール	・ 既存のエンジンで利用可能。 ・ カーボンニュートラルとなり得る。	・ Tank-to-Wake 排出量をゼロ扱いとする考え方の確立。
バイオ燃料	・ 既存のエンジンで利用可能。 ・ カーボンニュートラルとなり得る。	・ 他産業の動向により供給量・コスト面で制約が生じ得る。 ・ Tank-to-Wake 排出量をゼロ扱いとする考え方の確立。

アンモニアと水素は、Tank-to-Wake排出量はゼロとなるが、直接燃焼できるエンジンは存在せず、技術開発が必要となる。特にアンモニアは毒性・腐食性に対応した安全対策や温室効果の高い亜酸化窒素(N₂O)の削減対策、水素は貯蔵時のスペース効率改善、水素脆性への対応、エンジンによっては異常燃焼の制御や高圧燃料供給装置の技術開発などが課題とされる。

合成燃料とバイオ燃料は既存のエンジンで利用できるメリットはあるが、いずれも Tank-to-Wake排出量をゼロ扱いとする考え方を確立する必要がある。また、バイオ燃料は今後、需要増加が見込まれる航空や発電など他産業の動向によっては供給量やコスト面で制約が生じる可能性がある。

2.2 代替燃料の導入に関する動向

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)によれば、パリ協定の1.5°C目標達成には 2050年頃までにGHGネットゼロを実現する必要がある、我が国を含む主要国及び国際海運団体は2050年GHGネットゼロを目指すことを表明している。⁹⁻¹¹⁾

国際エネルギー機関(IEA)の2050年ネットゼロ排出シナリオ(NZE: Net Zero Emissions by 2050 Scenario)によれば、海運分野ではアンモニア、水素、バイオ燃料、合成燃料などへの転換が必要であり(図3参照)、我が国を含む主要国においては、これら代替燃料の導入に取り組む方針を掲げると共に、新技術の開発・実証事業が進められている。

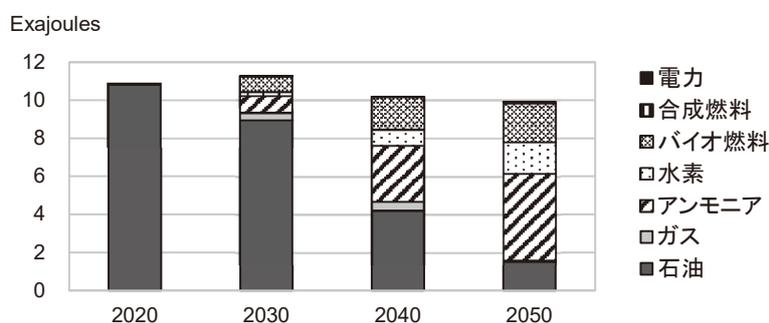


図3 IEA NZEに基づく海運分野のエネルギー需要¹²⁾

2. 2. 1 代替燃料の導入に向けた方針

世界有数の海運・造船国である我が国は、脱炭素化を競争力強化の機会と捉え、代替燃料の導入に積極的に取り組む方針である。日本政府は2020年3月に産業界及び関係機関との連携の下、国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップを策定し、今後必要となる技術開発に取り組むと共に、2028年までにゼロエミッション船の商業運航を目指すこととしている¹³⁾。2020年10月の「2050年カーボンニュートラル宣言」に伴い策定されたグリーン成長戦略では、船舶産業を成長が期待される14の重要分野の一つと位置づけ、水素やアンモニアなどを燃料とするゼロエミッション船の開発・実証に取り組み、2028年よりも前倒しで商業運航を目指す方針を掲げる。¹⁴⁾世界的に見ても2050年ネットゼロ実現に向けて代替燃料の導入・普及を目指す動きは広がっており、世界150社以上が参加する企業連合Getting to Zero Coalition (GTZ) では2030年までにゼロエミッション船の商業運航を目指す方針である。2021年にはデンマーク、米国及びノルウェーが主導し、GTZの事務局を担うGlobal Maritime Forumも参加する官民プラットフォームZero Emission Shipping Missionが発足しており、今後、ゼロエミッション船が運航するグリーン海運回廊 (Green Shipping Corridor) を開設し、2030年までにWell-to-Wake排出量がゼロとなるカーボンニュートラル燃料のシェアを5%に拡大し、ゼロエミッション船を200隻に増やすこととしている¹⁵⁾。グリーン海運回廊の開設を目指す「クライドバンク宣言」には我が国を含む24カ国が署名しており¹⁶⁾、豪州・日本間の鉱石船航路、アジア・欧州間のコンテナ船航路を対象としたフィージビリティ調査が行われている¹⁷⁾。

2. 2. 2 代替燃料の導入に向けた開発・実証事業

国際海運では大手企業を中心に、低炭素燃料やバイオ燃料の導入、そして、中長期的なソリューションとされるアンモニアや水素等の導入に向けた開発・実証事業が進められている。我が国では日本郵船、商船三井及び川崎汽船の海運大手を中心にLNG燃料船の導入やバイオ燃料の試用に取り組むほか、関係企業が共同で水素エンジンと燃料貯蔵・供給システムの

開発¹⁸⁾、アンモニア燃料エンジンと船舶の開発¹⁹⁾、アンモニア燃料船の開発と供給拠点を含むサプライチェーン構築²⁰⁾に向けて取り組んでいる。また、再生可能エネルギー由来の水素とCO₂を合成するメタネーション技術で生成した合成メタンの活用に向けた検討²¹⁾やメタンスリップ削減技術の開発²²⁾、風力推進や船上CCSの活用²³⁾に向けた実証事業も実施されている。

海外でも船用エンジン大手によるアンモニアや水素に対応したエンジン等の開発²⁴⁾、²⁵⁾や海運大手を中心とする低炭素燃料やバイオ燃料の利用、合成燃料やバイオ燃料の生産拡大に向けたエネルギー企業との協業²⁶⁾、²⁷⁾などが進められている。

これら国内外の事業では、海運・造船・船用・エネルギーなど燃料リユースチェーン上にある企業が連携して取り組むケースが多く、時間軸としては2020年代半ば頃にアンモニアや水素を直接燃焼するエンジン等の開発及び市場投入が期待される。また、我が国においては新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のグリーン・イノベーション基金、欧州ではEUの研究・イノベーション助成プログラムHorizon Europeなど、公的支援を受けているものも多い。

Global Maritime Forumによれば、2022年3月時点でゼロエミッション燃料に対応した船用機器や燃料生産・供給施設の開発・実証事業は世界で203件あり、地域別では欧州が114件、アジアが60件(この内、日本が29件)と多い²⁸⁾。燃料・エネルギー別で見ると、大型船ではアンモニアと水素、小型船では水素と電力(蓄電池)に対応した事業が多く、推進システム別で見ると、大型船では内燃機関と二元燃料エンジン、小型船では水素燃料電池と水素内燃機関に対応した事業が多い。荷主等の需要サイドが関与する事業は限定的であるが、先進国を中心にサプライチェーン排出量(Scope3)の削減に向けてGHG排出量の少ない船舶による輸送サービスへのニーズも高まっている。上述のグリーン海運回廊を開設する動き等と併せて考えるのであれば、燃料転換は世界全体で画一的に進むのではなく、地域的に濃淡のある形で、また、船型や航路など条件に応じて適切な燃料・技術が選択される形で、進展していくものと考えられる。

おわりに

国際海運におけるGHG排出ネットゼロの実現に向けた取組みは進展しており、我が国も海運大手を中心にカーボンニュートラル燃料の導入・普及に向けた開発・実証事業に着手している。このように、中長期的なリユースとしてのカーボンニュートラル燃料に対する期待は高いといえるが、一方で、船舶への供給や船上での取り扱いなど安全面(安全基準の策定、船員の教育等)、燃料価格や船舶の建造・改造などコスト面、そして、燃料供給体制の面で課題がある。とりわけ、カーボンニュートラル燃料のコスト低減には燃料生産・供給体制の構築とグリーン燃料の原料となる再生可能エネルギー由来の水素の普及が不可欠であり、エネルギー産業など他分野での取組み進展が前提となる。我が国でも業界横断的な取組みを更に推し進めるべく関係者間の連携を促すことが重要となる。

参考文献

- 1) 日本海事広報協会『日本の海運 SHIPPING NOW 2021-2022』 pp.13, 16. Available at: <<https://www.jsanet.or.jp/data/shipping.html>>(最終アクセス日 2022年5月24日)
- 2) UNCTAD, *Review of Maritime Transport 2021*, p.35. Available at: <<https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2021>>(最終アクセス日 2022年5月24日)
- 3) IMO, *Fourth IMO GHG Study 2020*, 2021. Available at: <<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>>(最終アクセス日 2022年5月24日)
- 4) IEA, *Greenhouse Gas Emissions from Energy*, 2021.
- 5) IMO ホームページ <<https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/06GHGinitialstrategy.aspx>>(最終アクセス日 2022年5月24日)
- 6) 欧州委員会ホームページ <https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector_en>(最終アクセス日 2022年5月25日)
- 7) 国際海運ゼロエミッションプロジェクト『国際海運の 2050 年カーボンニュートラルに向けて』 2022年. Available at: <<https://www.jstra.jp/information/2022/05/2050.html>>(最終アクセス日 2022年5月24日)
- 8) Global Maritime Forum ホームページ <<https://www.globalmaritimeforum.org/news/future-biofuels-for-shipping>>(最終アクセス日 2022年5月24日)

- 9) 国土交通省ホームページ <https://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000216.html> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 10) 日本船主協会ホームページ <<https://www.jsanet.or.jp/GHG/index.html>> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 11) International Chamber of Shipping ホームページ <<https://www.ics-shipping.org/press-release/shipping-industry-sets-out-bold-plan-to-global-regulator-to-deliver-net-zero-by-2050/>> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 12) IEA, *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*, 2021. Available at: <<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 13) 国土交通省ホームページ <https://www.mlit.go.jp/maritime/GHG_roadmap.html> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 14) 経済産業省ホームページ <<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html>> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 15) Mission Innovation ホームページ <<http://mission-innovation.net/missions/shipping/>> (最終アクセス日 2022年5月25日)
- 16) 英国政府ホームページ <<https://www.gov.uk/government/publications/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors>> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 17) Getting to Zero Coalition, *The Next Wave: Green Corridors*, 2021. Available at: <<https://www.globalmaritimeforum.org/publications/the-next-wave-green-corridors>> (最終アクセス日 2022年5月25日)
- 18) 川崎重工ホームページ <https://www.khi.co.jp/pressrelease/news_210427-2_1.pdf> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 19) 日本郵船ホームページ <https://www.nyk.com/news/2021/20211026_03.html> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 20) 伊藤忠商事ホームページ <<https://www.itochu.co.jp/ja/news/press/2021/211026.html>> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 21) 商船三井ホームページ <<https://www.mol.co.jp/pr/2020/20040.html>> (最終アクセス日 2022年5月24日)
- 22) 日立造船ホームページ <<https://www.hitachizosen.co.jp/newsroom/news/release/assets/pdf/dd11e506d75415a38ba31ff45c2da94e.pdf>> (最終アクセス日 2022年5月25日)

- 23) 川崎汽船ホームページ <<https://www.kline.co.jp/ja/news/csr/csr7469520701057026010/main/0/link/210805JA.pdf>> (最終アクセス日 2022 年 5 月 25 日)
- 24) MAN 社ホームページ <<https://www.man-es.com/discover/two-stroke-ammonia-engine>> (最終アクセス日 2022 年 5 月 24 日)
- 25) バルチラ社ホームページ <<https://www.wartsila.com/media/news/05-04-2022-wartsila-coordinates-eu-funded-project-to-accelerate-ammonia-engine-development-3079950>> (最終アクセス日 2022 年 5 月 24 日)
- 26) マースクライン社ホームページ <<https://www.maersk.com/news/articles/2022/03/10/maersk-engages-in-strategic-partnerships-to-scale-green-methanol-production>> (最終アクセス日 2022 年 5 月 24 日)
- 27) エンジー社ホームページ <<https://www.engie.com/en/journalists/press-releases/cma-cgm-and-engie-a-strategic-and-industrial-partnership-to-decarbonize-shipping>> (最終アクセス日 2022 年 5 月 24 日)
- 28) Kilemo, H., Montgomery, R., Leitão, A. M., *Mapping of Zero Emission Pilots and Demonstration Projects Third Edition*, 2022. Available at: <<https://www.globalmaritimeforum.org/publications/mapping-of-zero-emission-pilots-and-demonstration-projects>> (最終アクセス日 2022 年 5 月 25 日)

Offshore Wind Power and Ocean Shipping
— Growing Business Potential and Effects on Safe Operation —

研究員 坂本 尚繁

1. What is offshore wind power?

Wind power uses the force of the wind to turn a wind turbine and convert that motion into electricity. Unlike solar power, wind power can be generated day and night. It is also considered a clean renewable energy source that does not emit greenhouse gases (GHGs) such as carbon dioxide (CO₂) because it harnesses natural energy. Offshore wind power is the installation of wind turbines offshore instead of on land. Offshore installation can provide more stable power compared to onshore installation because winds are strong and relatively stable (42% capacity factor for offshore wind, compared to 25% capacity factor for onshore wind, in Europe in 2020). Moreover, there are fewer regulations regarding transportation and offshore installation, so wind turbines can be made larger and installed in larger quantities, and costs can be reduced accordingly. It is estimated that a large-scale offshore wind farm with more than 100 wind turbines would generate the equivalent of one nuclear power plant (1 GW).

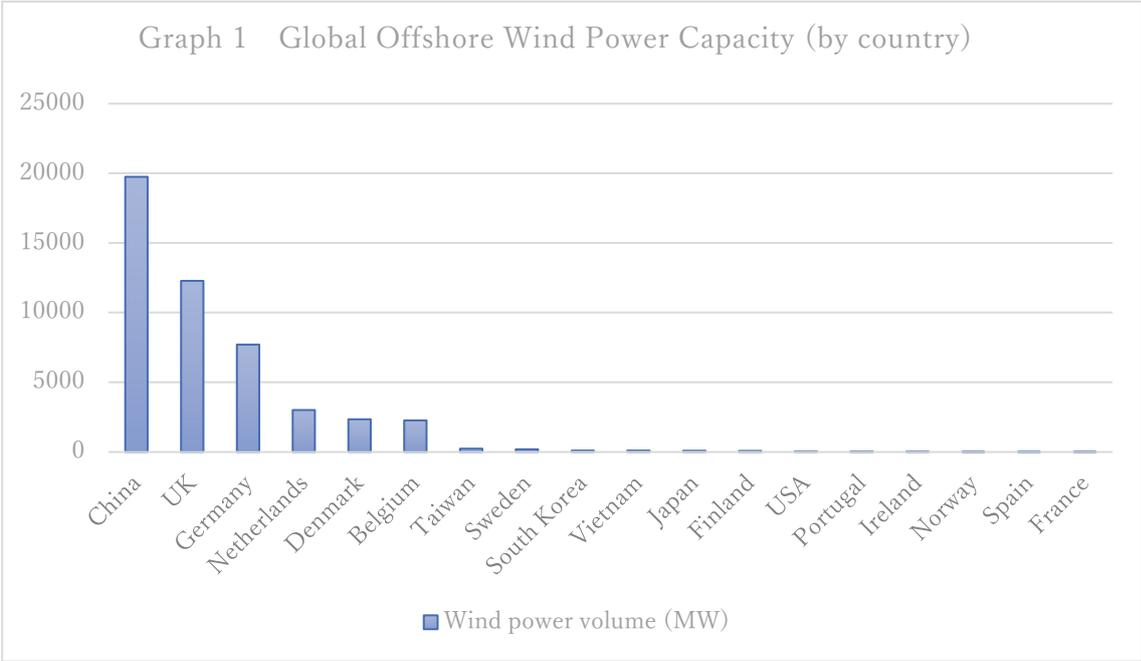
In recent years, many countries around the world have pledged to achieve carbon neutrality (virtually zero greenhouse gas (GHG) emissions) by 2050 and are expanding the introduction of renewable energy under the Paris Agreement, which calls on countries to reduce GHG emissions to curb climate change. In this context, offshore wind power is also drawing increasing attention. According to the International Energy Agency's scenario toward virtually zero GHG emissions, renewable energy sources will account for about 90% of the world's electricity generation in 2050, and wind power will account for 35%. Offshore wind power is expected to play a significant role in realizing a future decarbonized society.

2. Status of offshore wind power around the world

Currently, wind power accounts for only about 6% of the world's total electricity generation, and offshore wind power accounts for only 10% of that. However, the global installed capacity of offshore wind power has increased more than tenfold from 2.9 GW in 2010 to 35 GW in 2020, and further expansion is expected in the future.

Looking at the amount of installed offshore wind power capacity around the world, China surpassed the U.K. as the world's No.1 in terms of installed capacity

by country in 2021. In addition, the North Sea coastal countries in Europe (the U.K., Germany, the Netherlands, Denmark, Belgium, etc.), which have been ahead of the curve for more than a decade, continue to account for more than half of the global total (see the Graph 1 below).



(Source) World Forum Offshore Wind, Global Offshore Wind Report 2021

The North Sea is an ideal site for offshore wind power, with its favorable wind conditions and shallow seabed topography. Furthermore, North Sea coastal countries have accumulated a considerable amount of experience in the offshore industry through the development of the North Sea oil fields over the years. In 2022, Germany, the Netherlands, Denmark, and Belgium signed a cooperation agreement aiming to expand offshore wind power generation capacity by 10 times the current level (150 GW) by 2050. In 2020, the European Commission also set an EU-wide target to increase offshore wind power generation to 300 GW by 2050. The trend toward expansion of offshore wind power in Europe is expected to continually grow.

On the other hand, Japan currently accounts for only 0.18% of the world's installed offshore wind power capacity. But under a new law taking effect in April 2019, the “Act on Promoting the Utilization of Sea Areas for the Development of Marine Renewable Energy Power Generation Facilities,” and the 2050 carbon neutrality target and offshore wind power introduction target (10 GW by 2030 and

30-45 GW by 2040) set by the cabinet of then-Prime Minister Yoshihide Suga in 2020, projects to install offshore wind power farms are underway in some regions in Japan, too. Power generation companies were selected in December 2021 for Promotion Zones such as the two areas off Akita Prefecture and the one off Choshi City, Chiba Prefecture. In the ports of Akita and Noshiro, where projects are progressing ahead of others, installation work for offshore wind turbines is already underway using wind turbine installation vessels (WTIV). Preparations for the installation of offshore wind farms, such as surveys of ocean areas and the establishment of cooperative relationships with local communities, are underway for other sea areas, and the number of offshore wind power turbines installed in Japan is expected to increase in the future.

3 . Offshore wind power and ocean shipping industry

1) Contribution of ocean shipping to facility installation, etc.

In offshore wind power, where power generation facilities are installed offshore, ships are required in various phases, including preliminary sea surveys, transport of components, installation of offshore wind turbines, laying of transmission cables, monitoring of work, maintenance during project operation, and removal after the project ends. As a result, offshore wind power generation is seen as a new business opportunity for maritime industries such as ocean shipping and shipbuilding, and various projects using ships are in progress.

A variety of special-purpose ships, in addition to tugboats, barges, and so on maintained for offshore work are used in the installation and maintenance of offshore wind turbines. Typical special-purpose ships include the following.

Chart 1 Main ships involved in installation and maintenance of offshore wind turbines

Wind turbine installation vessel (WTIV)	During installation work, the barge (platform) is jacked up from the sea surface to a height beyond the reach of waves by means of legs that can be raised and lowered, and the offshore wind turbine and its foundation are installed.
Platform supply vessel (PSV)	Deliver supplies and other items to offshore facilities.
Anchor handling tug supply vessel	Tows and moors floating facilities.

(AHTSV)	
Cable-laying vessel	Lays power transmission cables.
Crew transfer vessel (CTV)	Transports offshore personnel, supplies, equipment, etc. to the offshore wind turbine during periodic maintenance after operation begins.
Service operation vessel (SOV)	Provides accommodations for personnel who stay at sea for extended periods to work on maintenance and repairs.

Other ships involved in offshore wind power include geological survey ships and heavy lift vessels. In the North Sea coastal areas of Europe, many of these special-purpose ships are already in operation and working on offshore wind power projects in line with the wider adoption of offshore wind power. The Japanese maritime industry is also in the process of entering the special-purpose ship business.

And in the shipbuilding industry, the manufacture of foundation structures for floating offshore wind turbines is also considered a new business opportunity.

2) Effects on safety of navigation of ships and mitigation measures

On the other hand, offshore wind power is the possible impact on the safety of ships that have traditionally used to navigate in the waters surrounding offshore wind farms, because turbines for wind power are installed offshore. Such ships include merchant ships, fishing boats, pleasure boats, etc. In offshore wind power generation projects, it is also important to ensure the safety of navigation of these ships in the vicinity of the wind farm. In Europe, which has taken the lead in the introduction of offshore wind power, they have already accumulated experience in the area of safe navigation measures. Following is a case study from the U.K. that illustrates actions to ensure the safe navigation of ships involved in offshore wind power.

In the U.K., laws and regulations impose various requirements on offshore wind farm operators to ensure safe navigation. Therefore, as a general rule, wind farms installed in U.K. waters are subject to the safety measures described below. Ships are required to take their own safety measures on this basis.

In the U.K., the law has two key points: Projects that interfere with the use of recognized sea lanes essential to international navigation are not permitted; and

consultation with interested parties and others is required prior to applying for a permit. Proposed projects that do not meet these two requirements will not be approved by the authorities.

Furthermore, detailed marine guidance notes (MGN) established by the U.K. Maritime and Coastguard Agency (MCA) serve as the substantive criteria for operators' applications for offshore wind power projects. The MCA also makes tentative decisions on compliance with criteria and advises on plans. Below is a brief overview of the MCA's guidelines (MGN654 is the latest version, revised in 2021).

In the U.K., at the planning stage of a wind farm project, a fact-finding survey of the sea area is conducted, taking into account various factors, such as the use of the planned sea area for navigation, fishing, recreation, etc., the approach to ports, the proximity to other offshore wind farms, in addition to the laying of submarine cables. The survey requires Automatic Identification System (AIS) data as well as radar and visual data, so it also takes into account smaller ships without AIS.

Based on the results of this survey a Navigational Risk Assessment (NRA) is conducted. The risk assessment takes into account the installation plan of the offshore wind farm (including the safety distance between the wind farm and the shipping routes), weather and sea conditions, navigability in and out of the wind farm area, effects on emergency measures, effects on hydrographics, communications, radar systems, etc., and effects on ships and seafarers due to the occurrence of blind spots. A simulation analysis will also be conducted. Risks arising from changes or detours of conventional shipping routes (including the use of large ship routes by smaller ships) due to the installation of the wind farm will also be assessed. The location of individual wind turbines within the wind farm area will be determined by taking into account the fact that ships will be navigating between offshore wind turbines.

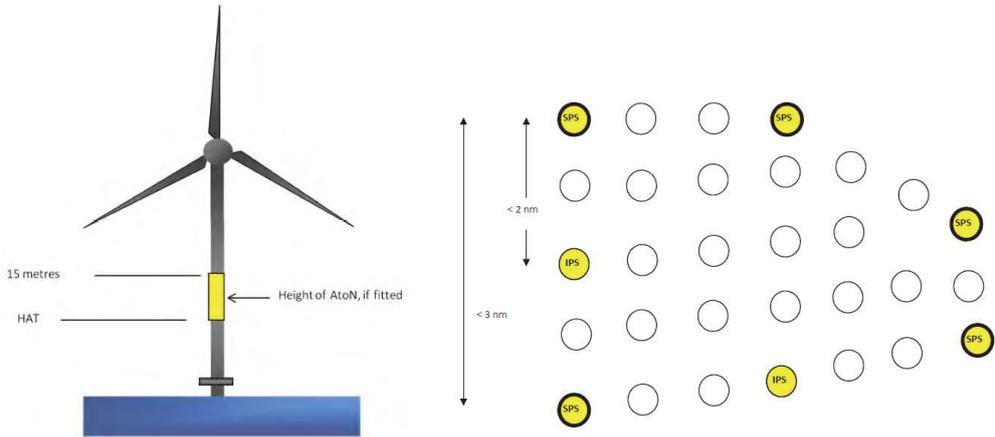
When the installation of an offshore wind farm begins, the following measures are required as needed. Safety information will be disseminated and ships navigating in the vicinity will be notified. Aids to Navigation will be placed and ships' routing measures will be implemented in the installation area. Guard vessels will be deployed to the installation area for monitoring. Emergency responses, as needed will be conducted in accordance with the Emergency Response Co-operation Plan (ERCoP) prepared in advance. A safety zone is established in the waters surrounding the wind turbine installation site, based on a decision by the Secretary of State for Business, Energy and Industrial Strategy

based on the application of the project operator. Under the U.K. law, a safety zone is a certain area around a facility offshore (spaced 500 meters around the facility during installation and 50 meters around the wind turbine when in operation) that is off limits to entry, and is established for both territorial waters and exclusive economic zones.

After construction of the wind farm, the location data of the farm is submitted to the United Kingdom Hydrographic Office (UKHO) and is reflected on nautical charts. Submarine cables are also included on charts, but some of them may be omitted depending on the scale of the chart.

Installed offshore wind turbines require measures to make them more visible to ships. Based on the guidelines of the International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) mentioned in the MCA guidelines, 15 meters from the highest water surface on the tower of the wind turbine will be painted yellow. Significant Peripheral Structures (SPS), such as the outer corners of the wind farm area, will be marked with flashing yellow lights with a range of at least 5 nautical miles. In addition, fog signals and radar reflectors may be installed as required by sea conditions. Each turbine will be marked with an alphanumeric plate that will be visible at 150 meters at night by illumination.

Fig.1 Identification measures for offshore wind farms based on IALA guidelines



(Source) IALA Recommendation O-139

While taking into account the above safety measures on the operator's side, the ship side should also take the following safety measures stipulated in the MCA guidelines (MGN372) for ships and seafarers.

Ships shall thoroughly check the marking, navigational aids, and charts of

offshore wind turbines in advance when navigating around offshore wind turbines. Also, they shall thoroughly review the safety information that is issued. During actual navigation, they shall comply with the rules of the COLREG (Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea), such as appropriate watchkeeping. In particular, a risk assessment must be conducted beforehand when navigating in the vicinity of offshore wind turbines. The following points shall be considered in the risk assessment.

Chart 2 Factors to Consider in Navigational Risk Assessment

Spacing	Turbines within a wind farm are generally spaced 500 meters or more apart depending on the size of the turbine.
Depth of water	The majority of wind turbines now operating or planned are located in relatively shallow water. However, it is expected that new generations of wind farm will be constructed in deeper water, where navigable channels in the vicinity may restrict larger vessels to a particular route passing close to a wind farm boundary.
Seabed changes	Wind farm structures could, over time, affect the depth of water in their vicinity.
Tidal streams	Wind farm structures may obstruct tidal streams locally, creating eddies nearby.
Small craft	Vessels involved in turbine maintenance and safety duties may be encountered within or around a wind farm. Fishing vessels may also be operating in the area. Mariners should be alert to the likely presence of such vessels and be aware that the structures may occasionally obscure them. This is particularly relevant at night.
Shore marks	In coastal areas shore marks may also become obscured by wind farm structures. The ship’s position should be checked by other means when a wind farm obscures coastal marks.
Transformer stations	In or adjacent to larger wind farms offshore electrical transformer-stations may be present. Submarine cables link turbines to this substation from where the generated power is exported to the shore. Whether all submarine cables are charted depends upon the scale of the chart; in some cases only the export cable may be shown.

(Source) The chart is provided based on MCA, MGN 372 (M+F).

The MCA guidelines also call attention to the potential effects of offshore wind turbines on communications equipment and navigation systems, based on experimental results. According to past experiments conducted by MCA, there was minimal impact on marine VHF band, Global Positioning System (GPS), Automatic Identification System (AIS), and cellular phones. However, microwave systems such as Ultra High Frequency (UHF) were affected to some degree

shielding, depending on their location of the wind turbine. Offshore wind turbines were clearly displayed on radar, but false images also occurred, caused by multiple reflections and sidelobes when approaching close to the wind turbines within about 1.5 nautical miles. Therefore, if a ship is approaching a wind turbine, its radar may be affected commensurately as it gets closer. In this case, ships must carefully comply with the rules regarding safe speed and watchkeeping stipulated in the COLREG. In watchkeeping, ships must also take into account information from non-radar sources such as voice signals, Vessel Traffic Service (VTS), and AIS.

In addition, the guidelines caution that the effects resulting from the rotation of wind turbines (rotor effects) can change the wind flow and affect ships.

The above is an overview of actions in the U.K. In Japan, measures will also be taken to ensure the safe navigation of ships around offshore wind farms to minimize the risk of collisions.

First, in Japan, one of requirements to designate promotion zones under the Act on Promoting the Utilization of Sea Areas for the Development of Marine Renewable Energy Power Generation Facilities stipulates, “without hindering the use, preservation, and management of waterways and ports within the relevant zones and its neighboring areas.” Promotion zones are designated to maintain a safety distance from waters frequently transited by large ships and to ensure that these ships encounter no interference when calling in and out of ports surrounding the wind farm. In addition, interested parties (including ocean shipping companies and fishery operators), who may be affected by the installation of the wind farm, shall participate in a pre-consultation council. In addition, the enforcement regulations of the act stipulate these standards for offshore wind turbines: Take measures to improve their visibility from ships and ensure that they do not interfere with ship navigation.

Moreover, the project operators shall take the following measures based on the various guidelines, descriptions of standards, etc. established by the administrative agency with jurisdiction.

Chart 3 Measures to Ensure Safe Navigation in Japan (Examples)

Preliminary survey on sea area utilization (including radar, AIS data analysis, interviews, etc.)
Maintain a certain safety distance from port facilities and shipping routes
Survey the effects of offshore wind turbines on the visibility of seafarers and on the

radar and other equipment of ships
Survey the effects on marine traffic (simulation and other methods will also be used)
Consider other utilization of the surrounding waters
Installation of navigational aids and marking to increase visibility of offshore wind turbines
Secure a minimum distance of 22 meters between the lowest edge of the wind turbine blades and the highest water surface
Need to inform, warn, monitor, etc. in advance of installation work
Develop emergency response plans for the project operators and authorities

(Note) Includes measures at each stage of planning, construction, and post-installation.

(Source) The chart is provided based on the Act on Promoting the Utilization of Sea Areas for the Development of Marine Renewable Energy Power Generation Facilities, and various guidelines and descriptions of standards from the Ministry of Economy, Trade and Industry and the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, etc.

Therefore, even in Japan, offshore wind farms will in general be appropriately located and installed by avoiding major routes for large ships, based on consultation with interested parties, and upon a multifaceted study of the navigational risks to ships, including the effects on seafarers' visibility and radar, associated with the installation of offshore wind turbines. In each actual sea area, based on such basic frameworks, case-by-case measures (e.g., use of fog signals, installation of the required number of light signs, consideration of establishing a corridor in the waters within the wind farm, etc.) will be taken, while sharing Information and maintaining close communication on trends and natural conditions in each sea area (whether ships navigate at night, main routes of fishing ships, locations of fixed nets, and the occurrence of fog, etc.)

In Japan, ships are also required to comply with rules on safe navigation. Ships at sea shall follow the Act on Preventing Collisions at Sea and comply with safety rules, including safe speed and watchkeeping. Japan currently has no guidelines specifically for ships navigating around offshore wind turbines, but it is recognized that measures are needed, for example, to ensure sufficient distance from offshore wind turbines and implement safe navigation based on the effect of turbines on the visibility of seafarers and on radar. Meanwhile, in Japan, similar to the U.K., measures are exemplified based on the IALA guidelines as measures to enhance the visibility of offshore wind turbines (e.g., marking them yellow 15 meters from the highest water surface, placing navigational aids with a luminous range of more

than 5 nautical miles away from the offshore wind farm at the corners of the perimeter, selectively installing navigational aids with a luminous range of 2 nautical miles or more, and so on).

4. Conclusion

Offshore wind power, which being more widely adopted in Europe, East Asia, and other parts of the world with the goal of decarbonization, represents a new business opportunity for the maritime industry, because wind turbines are installed on the ocean, and may have some effect on ships that have traditionally navigated the sea areas around offshore wind farms. Both operators and ships also need to implement measures that sufficiently address the safe navigation of ships.

国際油濁補償の仕組みと最近の動向

上席研究員 中村 秀之

我が国を含む主要7か国（G7）及び欧州連合（EU）等は、12月2日、ロシア産原油の輸入価格を1バレル=60ドルの上限価格設定に合意した（12月5日より施行）。この措置は12月5日以降上限以上の価格で購入されたロシア産原油の第三国への海上輸送を禁止するとともに、関連する技術支援、仲介サービス、資金提供をも禁止した。これにより、上限価格以上の価格で購入された原油の海上輸送への保険の提供ができなくなる。

一方、ロシア産原油の輸送ルートの一つ黒海に面するトルコが、原油タンカーに対し保険加入の有無を確認し始め、ボスポラス／ダーダネルス海峡周辺に滞船が生じていると報じられた（9日付け本紙。なお15日付け本紙にて、解消に向かっている旨報道。）。

本稿では、この機会に、国際油濁補償基金を含む、国際油濁補償の仕組みを説明しつつ、背景事情の一つである付保義務の重要性について再確認しておくこととしたい。

1. 国際油濁補償体制

国際油濁補償体制は、1992年民事責任条約の下での船舶所有者（この場合は、登録船主）の賠償と1992年基金条約の下での国際油濁補償基金（IOPC Funds）の補償の組み合わせにより、原油等の持続性油を輸送するタンカー等の事故による油濁損害の被害者に対して、迅速かつ十分な補償を行う国際的な体制である。この体制は、1967年のトリークャニオン号の事故を受けて、1969年に民事責任条約が、1971年に基金条約が採択され、構築されたが、現在では、それぞれの条約が1992年に採択されたそれぞれの議定書によって改正されている。なお、1971年基金条約は2002年5月に失効し、2014年12月に解散している。

(1) 国際油濁補償体制が対象とする損害

対象損害は、民事責任条約も基金条約も同じで、①主に原油タンカーから流出した原油、重油等の持続性油（燃料タンクからの流出も対象）による汚染損害、②環境の回復のための合理的措置の費用（環境損害）及び③防止措置の費用及び防止措置によって生ずる損失又は損害である。実際に、賠償・補償の対象となるのは、財産の損害、清掃費用、防止措置費用、漁業・養殖業／観光業の経済的損失などである。

対象となる損害は発生場所によっても限定される。対象となるのは、条約当事国の領域（領土、内水及び領海）、条約当事国の排他的経済水域で発生した損害であるが、防止措置については、領域及び排他的経済水域で発生する損害を防止するものであれば、いかなる場所でもとられたものでも対象となる。

(表 1：損害発生の場合と賠償・補償の対象)

		防止措置の費用 以外の損害	防止措置の費用
当事国の 領海・領域	当事国船舶	○	○
	非当事国船舶	○	○
当事国の EEZ	当事国船舶	○	○
	非当事国船舶	○	○
公海及び 非当事国の EEZ	当事国船舶	×	△
	非当事国船舶	×	△
非当事国の 領海・領域	当事国船舶	×	△
	非当事国船舶	×	△

○：対象となる／△：当事国の領海、領域、EEZ に生じる損害を防止するための措置のみ対象となる

(2) 民事責任条約の仕組み

民事責任条約は、船舶の所有者として登録されている者（登録船主）を責任主体として、責任を集中させる（所有者の被用者、乗組員、傭船者等への賠償請求を不可とする。）とともに、責任の性質を厳格責任（一部の免責を認める無過失責任）としている。また、登録船主には、責任制限を認め、責任制限額は船舶のトン数に応じて決まる。制限額の最高額は 14 万総トン以上の船舶の 8,977 万 SDR（特別引出権）（約 162 億円）に設定されている。ただし、登録船主は、意図的に、又は無謀にかつ損害の生ずるおそれがあることを認識して行った自己の行為によって生じた損害については責任を制限することはできない。2,000 トンを超えるばら積みの油を輸送する船舶の登録船主は、責任制限額に当たる額の保険等の金銭上の保証を維持しなければならない（付保義務）。通常、この保険は国際グループに所属する P&I クラブにより提供されている。付保対象の船舶は、条約当事国の当局発行の付保証明書を船内に備え置かなければならない。通常、条約当事国は P&I クラブの発行するブルーカードに基づき証明書を発行しているようである。条約当事国は証明書の発行されていない船舶の航行を許可してはならない。なお、被害者は、保険者等の金銭上の保証提供者に直接請求を行うことができる（Pay to be paid の原則の例外）。

1992 年民事責任条約の当事国は 2022 年 10 月時点で 146 か国となっている。

(3) 基金条約

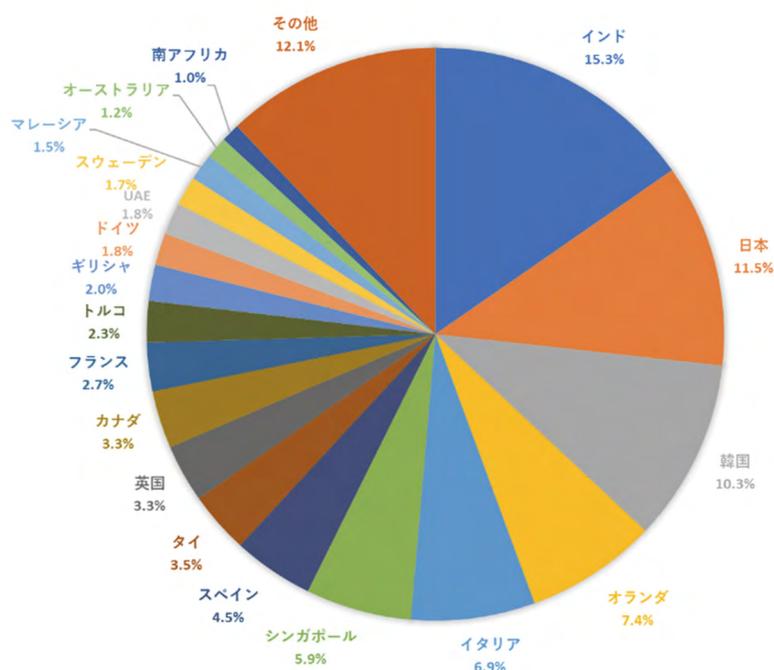
基金条約により設立された 1992 年基金は被害者が民事責任条約に基づく登録船主の賠償によって十分救済されない場合に補償を行う。基金が補償を行うのは損害が登録船主の責任制限額を上回る場合 (①) だけではなく、②登録船主が免責された場合、

③登録船主（及び保険者等）が賠償義務を履行できない場合も基金が補償を行う。なお、油を輸送する船舶からの流出による損害だが流出源である船舶が特定できない場合についても基金が補償することになっている（④）。

基金は、基本的に、あらかじめ拠出され、プールされた資金の運用益で補償するわけではなく、運営費や補償の支払いに必要な額をその都度拠出者に請求する。拠出者は、海上輸送された原油及び重油（拠出油）を当事国の港等で 15 万トン以上受け取った者（油受取人）で、当事国は油受取人とその受取量を毎年基金事務局に報告する。拠出者は、基金の総必要額を受取量に応じて案分した負担額を毎年基金に直接支払う。

基金の補償限度額は 2 億 300 万 SDR（約 365 億円）だが、これは民事責任条約上登録船主（またはその保険者等）が負担した額も合わせた金額であり、登録船主（またはその保険者等）が適切に賠償すれば、その分基金の負担は減少する。

なお、1992 年基金条約の当事国は 2022 年 10 月時点で 120 か国。我が国の石油業界（油受取人）の負担割合は約 11.5%で、我が国は 15.3%のインドに次ぐ第二の拠出国となっている。我が国は 2015 年まで受取量でトップであったが、2016 年の受取量でインドに抜かれ、以後インドが最大拠出国となっている。



< 図 1 : 1992 年基金条約当事国からの拠出金の割合 >
 (出典) 国際油濁補償基金 2021 年年次報告書

(表 2 : 1992 年基金の拠出金の分担割合)

インド	15.3%
日本	11.5%
韓国	10.3%
オランダ	7.4%
イタリア	6.9%
シンガポール	5.9%
スペイン	4.5%
タイ	3.5%
英国	3.3%
カナダ	3.3%
フランス	2.7%
トルコ	2.3%
ギリシャ	2.0%
ドイツ	1.8%
UAE	1.8%
スウェーデン	1.7%
マレーシア	1.5%
オーストラリア	1.2%
南アフリカ	1.0%
その他	12.1%

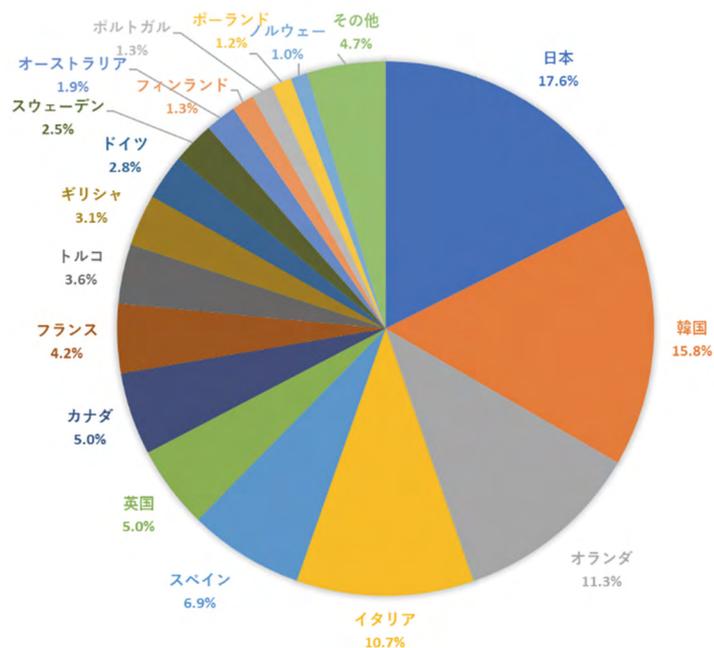
(出典) 国際油濁補償基金 2021 年年次報告書

(4) 追加基金

1999 年にエリカ (Erika) 号の事故が起き、基金条約で創設された 1992 年基金でも十分な補償が行えないことが明らかになり、さらに 2002 年にプレスティージュ (Prestige) 号の事故が起きると、1992 年基金に上乘せする基金を創設する 2003 年追加基金議定書が採択され (2005 年発効)、追加基金が創設された。追加基金は、1992 年民事責任条約／基金条約に基づく補償によっても十分な補償が得られない場合に、追加的な補償を行う。追加基金の補償限度額は 7 億 5,000 万 SDR (約 1,350 億円)。基金への拠出は、1992 年基金と同様、当事国所在の油受取人が油受取量に応じて支払う。ただし、エリカ号、プレスティージュ号の事故を契機として、タンカーのダブル・ハル化やオイル・メジャーの検船などが行われるようになり、追加基金が補償を支払う事故は起きていない。大規模なタンカー事故としては韓国のヘーベイ・スピリット

(Hebei Spirit) 号の事故 (2007 年) があるが、韓国は当時追加基金議定書の当事国となっていなかった。

追加基金議定書の当事国は 2022 年 10 月時点で 32 か国となっている。我が国の石油業界 (油受取人) の負担割合は 17.6%で、我が国は最大拠出国である。



< 図 2 : 追加基金議定書当事国からの拠出金の割合 >

(出典) 国際油濁補償基金 2021 年年次報告書

(表 3 : 追加基金議定書当事国からの拠出金の分担割合)

日本	17.6%
韓国	15.8%
オランダ	11.3%
イタリア	10.7%
スペイン	6.9%
英国	5.0%
カナダ	5.0%
フランス	4.2%
トルコ	3.6%
ギリシャ	3.1%
ドイツ	2.8%
スウェーデン	2.5%

オーストラリア	1.9%
フィンランド	1.3%
ポルトガル	1.3%
ポーランド	1.2%
ノルウェー	1.0%
その他	4.7%

(出典) 国際油濁補償基金 2021 年年次報告書

(5)STOPIA2006／TOPIA2006 のアレンジ

追加基金設立時、石油業界の側に自らの負担が大きくなったことへの不公平感があり、海運業界にはより大きな負担が求められた。国際グループ所属の 13 の P&I クラブは世界の外航船舶の船舶トン数の約 90%に P&I 保険を提供しているが、国際油濁補償基金と国際グループの間の覚書 (MoU) に基づき、これらの P&I クラブは小型タンカー等 (2 万 9,548 総トン以下) の油濁損害について登録船主の責任制限限度額と 2,000 万 SDR (約 36 億円) の差額を 1992 年基金に支払う (STOPIA2006)。また、同覚書に基づき、国際グループ所属の P&I クラブは、追加基金が補償を行う場合に、その支払額の 50%相当額を同基金に対して支払う (TOPIA2006)。

2. 付保の重要性

油を輸送する船舶については、基本的に民事責任条約において付保義務が課され、付保の証明書がなければ航行できない。1992 年基金条約の当事国で油濁損害が発生した場合で、事故船が十分な保険に加入していないときには、1992 年基金は登録船主が支払えない賠償請求に対して補償を支払う必要がある。この補償は我が国の石油業界を含めた各国の油受取人により負担されることになる。

今年 3 月の IMO 法律委員会では、ロシア産原油の輸送に関連して、各国は回章状 3464 号に基づき、保険等の有効性を証明する証書の発給に当たり、保険提供者に十分な資力があることを確認するよう注意喚起がなされた。また今年 10 月の国際油濁補償基金会合では、国際グループ所属の P&I クラブは EU 理事会が採択した制裁の第 6 パッケージによりロシア産原油を輸送するタンカーに保険を提供できない旨報告している。

3. 最近の動向

国際的な安全規制にも大きなインパクトを与えたエリカ号、プレスティージ号の事故だが、前者は 2015 年に請求処理を終了しており、後者についても基金にとっては求償訴訟が残るのみである。その後の大規模なタンカー事故であるヘーベイ・スピリット号の事故では、少額の請求が大量に出されたり、小規模事業者や個人から適切な

証拠書類を伴わない請求が多く出されたりするなど、これまでにない対応が求められたが、この事故の処理も今年終了した。

以下では、最近の動向として、現在扱っている事故をいくつか取り上げておきたい。

(1) Agia Zoni II

同船は、持続性油を積み込んだギリシャ籍のプロダクト・タンカー（1,597 総トン）で、2017 年 9 月 9 日にバンカー供給のためにピレウス港に停泊していたが、船員 11 人のうち船長を含む 9 人が食事のために下船。9 月 10 日 2 時ごろ船長が戻ろうとしたところ船員から同船が傾いているとの報せを受けた。船長らはランチボートで同船に向かったが同船はすぐに沈没。残っていた船員 2 人はランチボートに救助された。

同船は 500 万ユーロの定額保険に加入していたが、この保険は油濁損害だけでなく、すべての法的責任をカバーするもので、民事責任条約上の責任限度額（約 550 万ユーロ）をカバーできていない。同船は、故意に沈められたのではないか、また、清掃業者が補償を得るために意図的に油汚染を拡大させたのではないかといった疑いが持たれており、依然刑事捜査が進められている。

(2) Bow Jubail

同船はノルウェー籍のケミカル・タンカー（23,196 総トン）で、2018 年 6 月 23 日にロッテルダム港で燃料の重油を流出させた。同船は元々持続性油の輸送船であったが、船主によれば、同船は MARPOL 条約に従ってタンクを洗浄し、追加的に「商業的洗浄」も行っており、ケミカル・タンカーとしてバラスト航行中であった。本件は、船主が船内に油が残っていないことを証明できれば責任限度額がより低額なバンカー条約が適用され、基金からの補償はない。一方、証明できなければ 1992 年民事責任条約／基金条約が適用となる。本件は事実をめぐる争いではあるが、判決によっては一度でも持続性油を積んだ船舶はタンクをどれだけ洗浄しても民事責任条約／基金条約が適用されることになりかねない。現在、最高裁判所の判決を待っている。

(3) イスラエルの事故

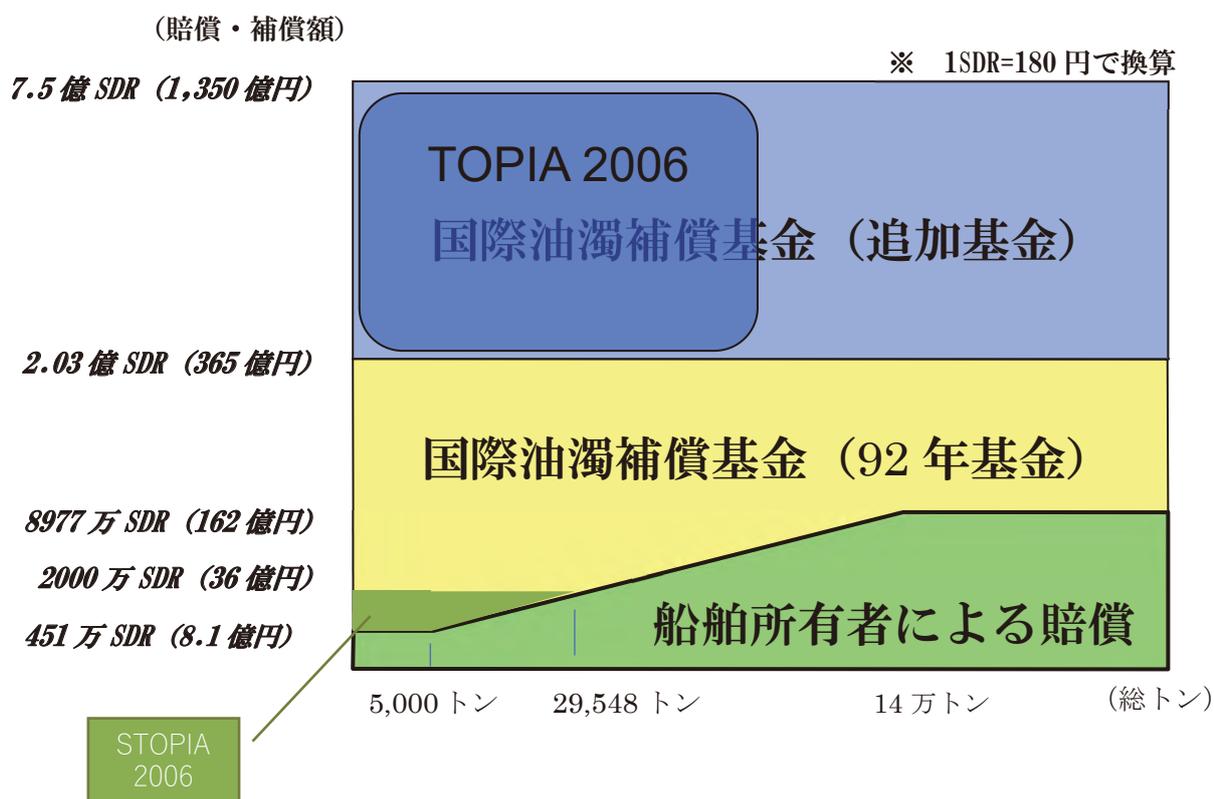
2021 年 2 月 19 日、イスラエルから海岸線にタールボールが打ち上げられているとの通報がなされた。イスラエルでは当初他の国による意図的な油流出との見方もあり、そのような報道も見られた。イスラエルは流出原因の特定に努め、一時疑わしい船舶を特定したが確定的な証拠はなく、漂着した油の分析では原油タンカーのカーゴタンク洗浄に由来する油である可能性が高いとされた。本件は、結局船舶は特定できないが、船舶のカーゴタンクから流出した油であるとして、いわゆる「ミステリー・スピル」として処理され、1992 年基金の補償手続が開始されている。

なお、ロシアに対する制裁に関連して、カナダ等は AIS を切った状態での船舶間の貨物油の積替え事例が増えていることに懸念を表明したが、このような積替えにより

原因者不明の油汚染が基金条約当事国に生じた場合、基金が補償を行う可能性が高く、その補償は我が国の石油業界を含めた各国の油受取人により負担されることになる。

4. おわりに

大型タンカーの事故の処理はほぼ終わってはいるものの、原油、重油等を輸送する小型・中型船舶による油汚染事故は引き続き発生している。小型・中型船舶による油の輸送でも、その運航に際しては適切な注意を払い、事故を防止していく必要がある。また、国際油濁補償体制では、付保義務とその履行が重要な機能を担っているが、ロシア制裁との関連で付保が不十分な老朽船による脱法行為も生じているようであり、船舶による油濁事故のリスクが高まっている。



<図 3 : 国際油濁補償体制概念図>

(筆者作成)

洋上風力発電に関する国内外の航行安全確保の取組について

研究員 坂本 尚繁

ポイント

- ・英国では海事沿岸警備庁による指針を踏まえ海域の実情に応じた安全評価が有効に機能
- ・日本でも協議会等を通じた安全確保等の取組みが進捗
- ・日本では洋上風力設置海域の拡大を踏まえ更なる航行安全確保の取組みの進展に期待

1. はじめに

温暖化を含む気候変動の抑制のため温室効果ガス削減を世界各国に求めるパリ協定のもと、近年、多くの国が 2050 年までのカーボンニュートラル（GHG 排出量実質ゼロ）の実現を表明し、再生可能エネルギーの導入を拡大している。その中で洋上風力発電への注目も高まっており、欧州ではコストの低減等に伴って（落札額が 10 円/kWh を切る事例や補助金なしの事例も出現）洋上風力発電の導入拡大が今後も続くことが見込まれるなど、今後の脱炭素社会の実現に向けた洋上風力発電の役割は大きいと考えられる。

一方、洋上風力発電では発電用の風車を洋上に設置することから、商船、漁船、プレジャーボートなど洋上風力発電所海域周辺を従来から利用する船舶が何らかの影響を受ける可能性があり、洋上風力発電事業を計画・実施する際には、発電所海域周辺でのこれら一般船舶の航行安全の確保が重要となる。本稿では洋上風力発電につき 20 年の経験を蓄積する英国の航行安全確保に関する取組みとともに、日本における同種の取組みについて紹介を行いたい。

2. 英国・日本における船舶の航行安全対策

英国では、洋上風力発電の事業者に対し、まず法律により航行安全確保のための要件が課される。「エネルギー法（2004 年）」は、国際航行に不可欠な航路の使用を妨げる事業は不許可ということ、「計画法（2008 年）」は、許可申請の前に利害関係者等と協議することを要求しており、これら 2 点の要件を満たさない事業計画は、当局の許可を得られない。

日本でも 2019 年の「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（以下、再エネ海域利用法）」が、周辺の航路・港湾の利用や保全、管理に支障を及ぼさないこと、利害関係者が同法の定める協議会に参加することを、洋上風力発電事業を行う促進区域の指定の要件として規定している。なお再エネ海域利用法は、日本の一般海域における占用公募制度を定める法律であるが、日本では「港

湾法」の下で、再エネ海域利用法の対象となる一般海域に先んじて、港湾区域を対象とする洋上風力発電導入のための占用公募制度が 2016 年に整備されている。後述するように、港湾と一般海域では航行安全確保措置についても一部相違が存在している。

これら法律が定める基本的な要件のもと、両国いずれにおいても船舶の航行安全を確保するための更なる取組みが、発電事業者および船舶に求められる。

英国では海事沿岸警備庁（MCA: Maritime and Coastguard Agency）により制定される詳細な指針（MGN: Marine Guidance Note）が、事業者が洋上風力の計画申請を行う際および船舶が洋上風車周辺を航行する際の実質的な基準として機能している。MCA は指針の策定・改正に加え、洋上風力計画のプロセスにおいて航行安全ほか各種の影響評価や安全水域の設定などにつき開発事業者と協議を行うとともに、許可当局を含む他の政府部門に助言も行っており、指針は官民との協議におけるベースとしても機能している。MCA の指針は実質的な基準ではあるが、法的な意味での画一的な基準ではない。指針は、英国の経験や慣行を反映してアップデートを重ねた詳細なものであるが、計画の最終的な評価はケースバイケースで行われるため、設置海域・計画ごとの多種多様な状況や気象海象・海底地形など個々の事情への対応が可能となる。なお MCA 指針の具体的な内容は、以前に本紙で一度紹介を行っているが（本紙 2020 年 5 月 29 日寄稿記事）、その後 MCA による指針の改訂が行われているため（事業者側：2021 年改訂（MGN654）、船舶側：2022 年改訂（MGN 372 Amendment 1））、本稿で改めて紹介したい。

日本では、再エネ海域利用法等のもと所管省庁が定める各種ガイドライン・基準解説等の中で、洋上風力に係る船舶の航行安全を確保するための各種取組みが求められている。

①海域利用実態調査

発電事業者は洋上風力発電の事業を計画する際、洋上風車の設置予定海域における船舶通航など海域利用の実態を調査する必要がある。英国で発電所の設置を計画する事業者は、計画海域の通航や漁業・レジャー等の利用状況、港湾へのアプローチ、他の洋上風力発電所との位置関係、さらに海底ケーブルの敷設状況など様々な要素を考慮する海域利用状況の実態調査を行う。この調査は AIS データのほか、レーダーや目視によるデータも必要とされるため、AIS を搭載していない小型船も考慮される。

日本でも事業者は海域利用の実態について、AIS データ・聞き取りなどを含む調査を行い、船舶交通や漁業等の水域利用の実態、AIS 非搭載船の状況、港湾施設の配置、港湾利用の変化に伴う将来的な船舶交通の状況変化の推定などを考慮するとされる。（「港湾における洋上風力発電施設等の技術ガイドライン【案】」）

②航行安全リスク評価

海域利用実態調査の結果を踏まえ、事業者は船舶の航行安全リスクの評価を行う。英国では、洋上風力発電所の設置計画・気象海象・発電所海域内外での航行可能性・緊急対策への影響・通信およびレーダーシステム等への影響を考慮し、シミュレーション分析も含めてリスクを評価する。発電所の設置に伴って船舶が従来の航路を変更・迂回することから生じるリスクの評価も行う。

英国では洋上風力発電所と船舶の航路との離隔距離は、MCA 指針に示されるテンプレートを用いて検討される。その概略を言えば、0.5 海里以下の距離では設置不可、3.5 海里以上は十分に安全とされ、その間の距離では、テンプレートに挙げられる様々な潜在的リスクを考慮して、許容範囲の判断がなされる。テンプレートは規範的なものではなく、実際の計画の際には気象・海象の影響、小型船を含む船舶の航行密度、海底ケーブルの存在、レーダー干渉、海域に特有の事情など様々な要素も踏まえて、個別具体的に判断が行われる。

日本でも事業者は、発電所の設置が船舶交通に及ぼす影響を検討する。具体的な留意事項としては、洋上風力発電所の位置や配置と運用体制、発電所と航路との離隔距離、発電設備の存在が船舶のレーダー等機器および船員の視覚へ与える影響、シミュレーション分析などがあげられる。（「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」(以下、技術基準の統一的解説))

船舶の航路等と発電所の離隔距離については、港湾内では洋上風車等の破壊モードを考慮した倒壊影響距離を確保することとされる。一般海域では船舶の航路から一定の離隔距離を確保する必要があるとされる。（技術基準の統一的解説）一般海域における離隔距離について具体的な目安を定めた文書は、現在のところ日本では作成されていない。

③洋上風車の配置計画

英国では日本と同様に洋上風車間の航行が可能とされており、発電所海域内での個々の風車の設置位置は、船舶の航行への影響を考慮して決定される。風車は船舶が航行しやすいように、原則、格子状に列に並べて配置される。洋上風車間の距離は、緊急時におけるヘリコプターの飛行も考慮して決定される。風車が船舶の視界を遮ったり、海岸線などを覆い隠したりしないよう、できるだけ配慮がなされる。最高水面と風車の羽の一番下との間の安全距離は、最低 22 メートルが確保される。大規模な発電所海域の内部に航行用の通航路を設置する際は、通航船舶が事前に計画した航路から 20 度以上の偏差を生じて航行する可能性も含めて検討を行う。

日本では、洋上風力発電所の規模や配置につき、当該海域の自然条件のほかに、港湾およびその周辺海域の利用状況や、船舶の航路筋、海底ケーブル・パイプラインの敷設状況などの社会的条件を総合的に考慮し、他の海域の利用を阻害することのないよう発電設備の配置や規模を適切に判断することとされる。（技術基準の統一的解説）

④安全対策・緊急対策

英国では発電所の設置工事が開始される際、それぞれ必要に応じて以下の措置が取られる。安全情報が周知され、付近を航行する船舶へ通告が行われる。航路標識が配置され、工事海域での航路指定措置が実施される。建設海域に警備用の船が配備され、モニタリングが行われる。緊急事態が発生した際には、予め作成される緊急時対応協力計画に基づいて対応がなされる。風車設置個所の周囲を進入禁止とする安全水域が設定される（設置工事時は設置個所の周囲 500 メートル、稼働時には風車の周囲 50 メートル）。英国法で安全水域は、領海・排他的経済水域いずれにおいても設定可能である。

設置された洋上風車には、国際航路標識協会のガイドラインを踏まえ、船舶からの視認性を高める措置が施される。海域の状況に即した必要に応じ、霧中信号や、レーダー反射器が設置される場合もある。また英国水路局に発電所の位置データが提出され、海図に反映される。海底ケーブルも記載されるが、海図の縮尺によっては一部省かれる場合もある。

日本でも洋上風力発電所の設置工事を行う際には、事前調査、モニタリング、海域利用者や周辺住民への事前説明・周知、航路標識の設置などの安全対策を行う。（「洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針」）港則法が適用される港の中では、必要な場合、港長の権限により、船舶交通の制限や航行禁止を含む安全確保措置が取られる可能性がある。他方、港湾や海上交通安全法が適用される東京湾・伊勢湾・瀬戸内海を除く一般海域では、当局・権限者による航行の規制等を行う法的枠組みは、現在のところ設定されていない。

発電所の完成後は英国同様に、国際航路標識協会のガイドラインを参考に洋上風車の視認性を高める措置を取る。（「洋上風力発電設備の維持管理に関する統一的解説」）さらに海図等への反映のため、位置情報の提供を行う。

⑤船舶側に要求される取組み

以上の事業者側の安全対策を踏まえ、洋上風車周辺を航行する船舶も安全対策を行う。英国では MCA の船舶向け指針に基づき、船舶は洋上風車周辺を航行する際に予め洋上風車の塗装や航路標識、レーダー反射器等、音響信号、係留ブイ、海図、安全情報などの確認を行う。実際の航行の際には、適切な見張りを行うなど、船舶に課されている海上衝突予防の規則を遵守する。また洋上風車の付近を航行する際には、風車の間隔・水深・海底の変化・潮流・他の船舶・海岸の目印・変電所、浮体式風車が移動しうる範囲について考慮する。風車の回転から生じる効果についても、風の流れを変え船舶に影響を及ぼす可能性があることから注意を払う。

日本でも船舶は、国際的な海上衝突予防規則を踏まえた海上衝突予防法を遵守する

必要がある。

3. まとめ・展望

洋上風力に係る船舶の航行安全確保につき、英国では長年の経験に基づく詳細で具体的な安全対策の枠組みを示す指針を活用している。指針は最終的にケースバイケースで判断されるが、発電事業計画を準備・検討する際のベースとして、洋上風力の効率的な導入に貢献していると考えられる。一方、日本においても各種法令やガイドライン等の文書が横断的に、大枠として英国に近い一般的な枠組を設定している（下表参照）。

表 英国・日本の航行安全確保の取組み（まとめ）

航行安全確保の枠組み	英国	日本
大型船の主要航路を避ける必要	○	○
利害関係者との事前協議	○	○
海域利用状況の事前調査や航行リスクの分析評価を踏まえた建設計画の作成	○	○
船舶の航路と洋上風車の離隔距離の具体的指針	○	△ ^(注)
洋上風車による船舶のレーダー等機器や船員の視覚などへの影響を検討する必要	○	○
航路標識の設置や洋上風車の視認性を高める塗装等の必要、発電所の海図への反映	○	○
設置工事の際の事前の周知・注意喚起等の必要	○	○
事業者と当局の緊急時対応計画の作成	○	○
領海内の発電所設置海域での安全水域の設定ルール	○	×
船側における基本的な航行安全ルールの順守	○	○
洋上風車設置海域での航行安全に関するガイドライン等文書の作成	○	×

（当方調査による整理）

（注）洋上風車と港湾施設等との離隔距離につき具体的な基準を設定。

一般海域については一定の離隔距離を確保する必要のみ規定。

もともと日本においては今後、洋上風力設置海域の拡大を踏まえ、一般海域における船舶の航路と洋上風車の離隔距離の具体的な目安や、一般海域における安全確保措置の一つとして発電所設置海域での安全水域制度の活用、洋上風車設置海域での航行安全に関するガイドラインやベストプラクティスの整理・共有、あるいは海域ごとの動向・自然条件（船舶の夜間航行の有無や漁船のメインルート・定置網の設置地点、濃霧発生頻度など）を踏まえた個別具体的な措置（霧中信号等の活用や必要な数の灯火標識の設置、発電所海域内の通航路の設置の検討）など、航行安全確保に係る更

なる取組みの進展が、洋上風力発電の迅速・効率的な導入拡大に資すると期待される。

加えて、日本においては再エネ海域利用法のもとで利害関係者を含む協議会の制度が定められているが、漁業関係者や海運（海域を通過通航するのみの船舶を含む）など海域の先行利用者を十分にカバーした事前のコミュニケーションが、発電事業の計画において重要となると考えられる。

洋上風力発電と海運

研究員 坂本 尚繁

1. 洋上風力発電とは

風力発電は、風の力を利用して風車を回して電気に変換する発電方法で、風車で生産される発電量は風速の3乗かつローター径の2乗に比例する。風力発電は太陽光発電と異なって昼夜を問わない発電が可能であり、また自然のエネルギーを活用することから、CO₂などの温室効果ガス（GHG: greenhouse gas）を発生しないクリーンな再生可能エネルギーとされる。

発電用の風車を陸地ではなく洋上に設置するのが洋上風力発電である。洋上での風車の設置は、陸上に比べて、比較的安定して強い風が吹くため、安定した電力供給が可能となる（2020年の欧州の陸上風力の設備利用率25%に対し、洋上風力は42%）¹。さらに洋上では輸送や設置に関する規制が少ないため、風車の大型化や大量設置が可能であり、それに伴ってコストの削減も可能となる²。たとえば10MW級の洋上風車の場合、ブレード1枚の長さは約80～95m（風車の直径は164～193m）、タワーの全長は約90m、基礎を含めた重量は約2,100tとなる³。こうした大型風車を100基以上設置する大規模な洋上風力発電所の発電容量（最大出力）は、原発1基分に相当するとされる（例えば10MW風車×100基＝1GW）。日本で洋上風力発電は、「第6次エネルギー基本計画（2021年）」の中で、「大量導入やコスト低減が可能であるとともに、経済波及効果が期待されることから、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた切り札」とされている。

洋上風車はその基礎構造から着床式と浮体式（およびセイリング式）に大別される。着床式は水深50-60mより浅い海域で用いられ、風車を海底に設置した支持構造物（基礎）に固定する方式である。代表的な基礎の形式として、モノパイル式、ジャケット式および重力式が挙げられる⁴。モノパイル式および重力式は水深30m以下の

¹ WindEurope, *Wind energy in Europe – 2020 Statistics and the outlook for 2021-2025*, 2021, p.19.

² なお洋上風力発電導入の初期段階にある現在の日本における買取価格（2022年度）は、陸上風力発電が16円/kWh（2022年度入札における上限価格）、着床式洋上風力発電（再エネ海域利用法適用外）が29円/kWh、事業用の太陽光発電（50kW以上250kW未満）が10円/kWhである。資源エネルギー庁「国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案（2022年10月）」。https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/078_01_00.pdf

³ 国土交通省港湾局「2050年カーボンニュートラル実現のための基地港湾のあり方検討会～基地港湾の配置及び規模～」2022年、p.10。<<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001467102.pdf>>

⁴ モノパイル式は1本の太い杭を海底の岩盤に打ち込む方式、ジャケット式はモノパイル式より

海域、ジャケット式は水深 30-60m の海域への設置が妥当とされる⁵。浮体式は海中に浮かべた浮体式構造物に風車を設置して海底に係留する方式であり⁶、水深 50m～200m の海域に設置される。

洋上風力発電所は発電機である洋上風車のほか、洋上変電所、海底ケーブル（インターレイケーブル・エクスポートケーブル）、および陸上変電所などの設備から構成される。洋上風力発電所を設置する際に調査を要する自然条件としては、最も重要な基本的条件である風況のほか、風車の運転に支障を及ぼす可能性のある台風や落雷等の気象条件、また風車の建設、維持管理等に係る海象条件（海底地形・水深、底質、海潮流、波浪および海氷）、および海生生物などが挙げられる⁷。洋上風力発電所は自然条件のほか、他の海域利用者（航路・漁業・軍事・その他沖合インフラ）などの社会条件も踏まえて設計される。設置される洋上風車のスペックは、設置地点の風況に合わせてサイズやブレードのバランスが最適となるよう検討される。

設置が完了し稼働を始めた洋上風力発電所は、継続的なメンテナンスを要する⁸。洋上風力発電の運転・保守費用はライフサイクルコストの 20-30%を占める。メンテナンスの手法につき、現在は修理メンテナンスより、オンライン状態監視技術等も用いた予防メンテナンスが主流である。事故の未然防止・早期補修を行うことで、メンテナンスコストの低減や停止時間の削減による発電電力量の最大化を図り、安全で費用対効果の高い施設の運転を確保することとなる⁹。洋上風力発電所のメンテナンスは1つのビジネス領域となっている。また洋上風力発電所には他のあらゆるインフラと同様に一定の寿命があり、洋上風力発電所の寿命は、設備の老朽化などにより約 20 年とされる。洋上風力発電の一般的な事業計画・期間は、事業者選定後の環境アセスメ

細い複数の杭を海底の岩盤に打ち込んでトラス構造を固定する方式、重力式は海底面に重力式基礎を置く方式である。詳しくは、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) 『着床式洋上風力発電導入ガイドブック (最終版)』 2019 年、p.193 以下など参照。

⁵ NEDO 『前掲書』 pp.15-16。

⁶ 浮体式洋上風車の基礎構造物の製造は、造船業においては新たな商機と考えられる。ジャパンマリンユナイテッド等の浮体式洋上風力発電の量産化及び低コスト化プロジェクトは、後述するグリーンイノベーション基金事業の「洋上風力発電の低コスト化プロジェクト」に採択されている。<https://www.jmuc.co.jp/press/docs/windfarm_GI_20220121.pdf> 同プロジェクトの一環として、秋田県の秋田市・潟上市沖で、浮体式洋上風力発電設備のハイブリッド係留に関する実海域試験が実施される。<https://www.jmuc.co.jp/press/docs/windfarm_scalemodel_20220830.pdf>

⁷ NEDO 『前掲書』、pp.82-100。

⁸ 洋上風力発電所のメンテナンスおよび設置工事には専門的な訓練を受けた人員が必要となる。長崎県では、長崎海洋産業クラスター形成推進協議会が日本財団の支援を受けて、マースクトレーニングと協力して GWO (Global Wind Organisation) 訓練施設の設定に取り組む。<<https://www.maersktraining.com/maersk-training-first-to-provide-support-to-namicpa-establishing-a-state-of-the-art-gwo-training-center-in-nagasaki-japan-funded-by-the-nippon-foundation/>>

⁹ NEDO 『前掲書』 pp.256-259。

ント（4～5年）、発注・建設（2～3年）、稼働（20年）、撤去（2年）で、合計約30年間とされる。

洋上風力発電は太陽光発電と異なって昼夜を問わない発電が可能であるが、電力系統の制約や電力需給バランスの確保の必要などから、水素生産や蓄電池の活用も安定的な電力供給に有用とされる¹⁰。

2. 洋上風力発電に関する海外の状況・動向

近年、世界では気候変動抑制のため温室効果ガス削減を各国に求めるパリ協定のもと、多くの国が2050年までのカーボンニュートラル（GHG排出量実質ゼロ）の実現を表明して、再生可能エネルギーの導入を拡大している。その中で洋上風力発電への注目度も高まっており、国際エネルギー機関（IEA: International Energy Agency）によるGHG排出実質ゼロに向けたシナリオによれば、2050年の世界の総発電容量のうち、再生可能エネルギーが約80%を占め、風力発電は25%を占めるとされる¹¹。洋上風力発電が、今後の脱炭素社会の実現に向けて果たすべき役割は大きいと考えられる。

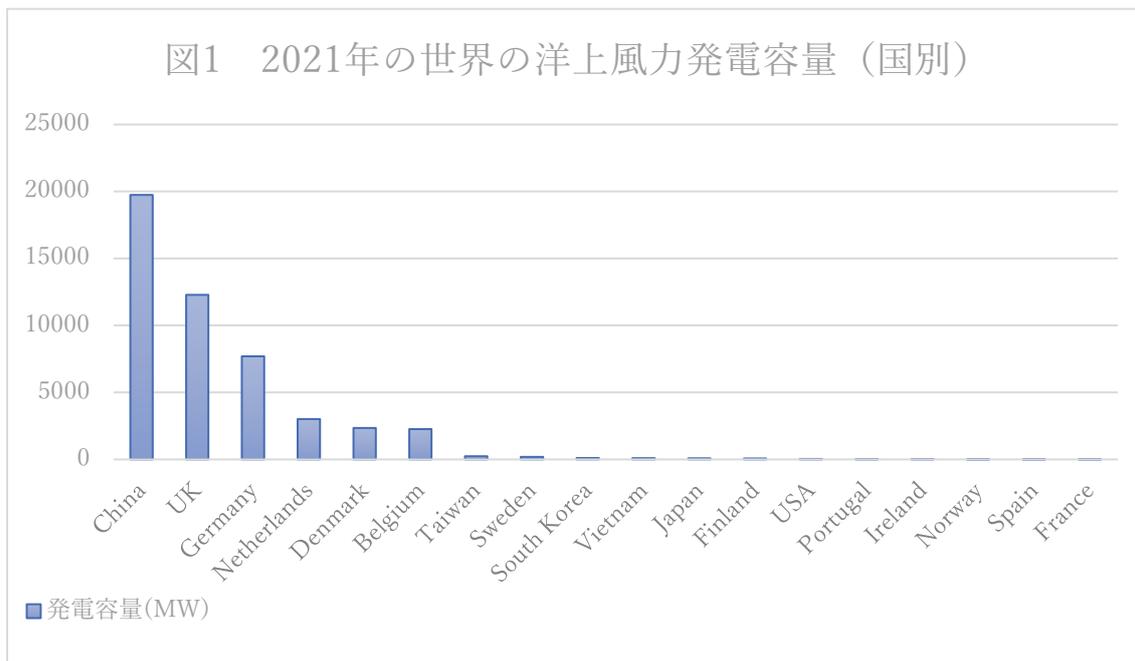
現在、風力発電が全世界の再生エネルギー由来の総発電容量に占める割合は26.9%程度だが、洋上風力発電の場合、全体の1.8%程度を占めるに過ぎない¹²。しかし世界の洋上風力の導入量（導入発電容量）は2012年の5.3GWから2021年の55.6GWへと10倍以上に増加しており¹³、今後も更なる拡大が見込まれる。世界各国の洋上風力発電の導入量について見ると、2021年に中国が国別の導入量で英国を抜いて世界1位に達した。また、10年以上前から先行して洋上風力の導入を進めていた欧州の北海沿岸諸国（英国、ドイツ、オランダ、デンマーク、ベルギー等）の導入量は、引き続き全世界の半分以上の割合を占めている（図1参照）。

¹⁰ 国内でもそうした取組み、検討事例がみられる。一例として、パワーエックスによる電気運搬船の計画や、石狩湾新港における洋上風力発電の余剰電力を用いた水素製造の検討など。<https://power-x.jp/ja/power_transfer_vessel.html> <<https://www.nedo.go.jp/content/100950488.pdf>>

¹¹ IEA, *Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector*, 2021, p.198. なお発電量では、再生可能エネルギーが約88%を占め、風力発電は35%を占めるとされる。

¹² IRENA, *RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2022* より計算。

¹³ Ibid, p.19.



(出典) World Forum Offshore Wind, Global Offshore Wind Report 2021

北海は風況が良く、遠浅の海底地形が広がる洋上風力発電の適地であり、さらに北海沿岸諸国は、長年の北海油田の開発を通じ、オフショア産業の経験を豊富に蓄積している。欧州における洋上風車の供給はシーメンス・ガメサ社（ドイツ・スペイン）とヴェスタス社（デンマーク）の2社で92%を占めるほか、欧州の洋上風力の導入容量の17%をオーステッド社（デンマーク）、10%をRWE Renewables社（ドイツ）が占めるなど、欧州の一部大手企業が大きく先行している¹⁴。欧州では近年、洋上風力の落札額が10円/kWhを切る事例や補助金なしでの事例も出現しており、今後も風車の大型化等を通じて、コスト低減の進展が予想されている。導入量についても、2022年にはドイツ・オランダ・デンマーク・ベルギーが、2050年までに洋上風力発電の発電容量を現在の10倍（150GW）に拡大することを目指す協力協定を締結したほか、2020年には欧州委員会もEU全体で2050年までに洋上風力発電を300GWに拡大する目標を設定しており、欧州での洋上風力発電の拡大傾向は今後も続くことが予想される。

英国は2021年に中国に抜かれたものの、2021年までに世界第2位となる12.3GWの洋上風力発電を導入しており、2022年には世界最大となるホーンシー2洋上風力発電所（1.3GW、英国東岸89km）の稼働が開始、またドッガーバンク洋上風力発電所（3.6GW、英国東岸130km）の建設が開始されるなど、引き続き洋上風力発電の

¹⁴ WindEurope, *Offshore Wind in Europe Key trends and statistics 2020*, pp.24, 26.

導入拡大を進めている。英国周辺の海底は遠浅で、これまで設置された風車は主に着床式が中心だが、英国政府が 2022 年に 40GW から 50GW に強化した 2030 年までの導入拡大目標のうち 5GW は浮体式とされるなど、今後は英国でも浮体式の導入拡大が見込まれる。英国政府は洋上風力発電の計画承認に要する期間をこれまでの最大 4 年から 1 年に短縮することを検討するとの表明も行っている¹⁵。英国では 2003 年に完成したノースホイル洋上風力発電所以来、洋上風力発電に関する経験を豊富に蓄積しており、洋上風力発電に関する法政策についても官民の経験を踏まえたアップデートを適宜実施しているが、2022 年には洋上風力発電の人員の海上輸送に関する規制を従来の 12 名から緩和した（総員で 60 名）¹⁶。

一方、日本の近隣国である台湾は 2021 年までに世界第 7 位（アジア圏では第 2 位）となる 237MW の洋上風力発電を導入している。台湾ではコロナ禍の影響でここ数年洋上風力発電の設置工事に遅延が生じていたが、2022 年には工事が遅延していた大彰化発電所（計 900MW）や雲林発電所（640MW）などの大規模発電所の設置工事が進展している。台湾では従来、風況がよく遠浅の海底が広がる台湾海峡側の領海に着床式の洋上風力発電所を設置してきたが（図 2 参照。計画中・工事中含む）、台湾初の浮体式となる海碩洋上風力発電所（1.5GW）の計画が¹⁷、環境影響評価の予備審査に合格したとの報道もなされている。台湾政府は 2025 年までに 5.6GW の洋上風力発電を導入し、2026 年から 2035 年まで毎年 1.5GW ずつ新規導入を行う目標を設定しているほか¹⁸、洋上風力発電を「示範（モデル）」「潜力（ポテンシャル）」「區塊（ブロック）」の 3 段階で導入する開発戦略を策定しており¹⁹、2021 年にはブロックフェイズの詳細を公表している²⁰。第 2 段階にあたるポテンシャルフェイズ以降では、発電事業者に洋上風力発電産業の台湾国産化への協力が要求されることとなり、ヴェスタス社など欧州大手は台湾に工場の建設を行っている。こうした国産化の対象分野は、漸次拡大する予定とされる（現在はタワー、基礎構造等）。

¹⁵ *British Energy Security Strategy*, 2022, p.17.

¹⁶ “The High Speed Offshore Service Craft Code (HSOSC)”. <<https://www.gov.uk/government/publications/the-high-speed-offshore-service-craft-code-hsosc/the-high-speed-offshore-service-craft-code-hsosc>>

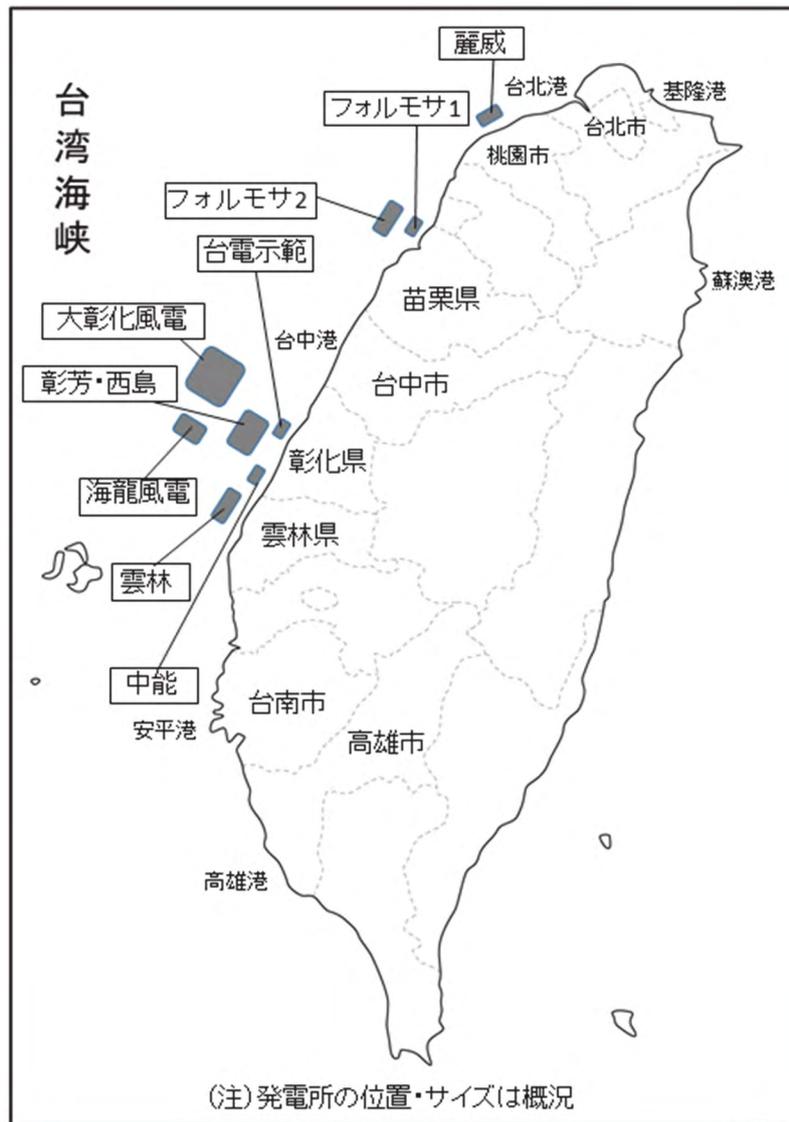
¹⁷ 海碩洋上風力発電所は、台湾北西部苗栗県の沖合（台湾海峡側）約 18～20 キロ、水深 65～80 メートルに設置される計画である。同計画における浮体式の活用には、政府の国産化要求等を踏まえ、台湾の洋上風力産業育成を推進する意図があるとされる。<<https://www.formosa4windpower.com/portfolio/formosa5/>>

¹⁸ 台湾政府ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.ey.gov.tw/state/91C411B70DBB2F40/1ae5f2fb-a913-4406-a0e8-62846b7e0924>>

¹⁹ 台湾政府ウェブサイトにて閲覧可。<https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/wHandMenuFile.ashx?file_id=4107>

²⁰ 「離岸風力発電區塊開発場址容量分配作業要点」。<https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=16588>

図2 台湾の洋上風力発電所（一部）



3. 洋上風力発電に関する日本の状況・動向

現在のところ日本の洋上風力発電導入量は、全世界の洋上風力発電導入量の 0.18% を占めるに過ぎない。しかし、「第 6 次エネルギー基本計画」で「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた切り札」と位置付けられる洋上風力発電の導入拡大に向け、2019 年 4 月より施行された「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律（再エネ海域利用法）」や、2020 年に政府が掲げた 2050 年カーボンニュートラル目標および洋上風力発電導入目標（2030 年までに 10GW、2040 年までに 30～45GW）など、洋上風力の導入拡大に関連する法政策の整備が日本でも進められている。再エネ海域利用法は、漁業者や海運など海域の先行利用者との調整

の枠組みを含む一般海域における占用公募制度を定める法律であり、国が洋上風力発電事業を実施可能な促進区域を指定し、公募を行って事業者を選定、30年間の長期占用を可能とする²¹。

2050年カーボンニュートラル目標を達成するために作成された「グリーン成長戦略」（2021年）の中で洋上風力（および太陽光・地熱）は、14の重点分野の1つと位置付けられている。洋上風力発電設備（1基当たり定格出力9MW以上を満たすもの）の主要専用部品（ナセル、発電機、増速機、軸受、タワー、基礎）は投資促進税制（最大10%税額控除又は50%特別償却）による支援を受けられるとされる。また同戦略の下で、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）に2兆円の「グリーンイノベーション基金」が設けられており、同基金のプロジェクトの1つとして洋上風力発電の低コスト化が挙げられている。洋上風力発電低コスト化プロジェクトの研究開発項目としては、①次世代風車技術開発事業、②浮体式基礎製造・設置低コスト化技術開発事業、③洋上風力関連電気システム技術開発事業、④洋上風力運転保守高度化事業の4つの要素技術開発が行われる計画であり、また第2段階として、要素技術の開発を踏まえた浮体式洋上風力の実証事業が行われる予定である²²。

また、再エネ海域利用法を通じた洋上風力発電の導入拡大と、これに必要な関連産業の競争力強化と国内産業集積およびインフラ環境整備等を官民一体で進め、相互の好循環を実現していくために2020年に設立された「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」は、同年に「洋上風力産業ビジョン（第1次）」を策定した²³。同ビジョンが掲げる洋上風力の産業競争力強化に向けた基本戦略では、①魅力的な国内市場の創出、②投資促進・サプライチェーン形成、③アジア展開も見据えた次世代技術開発・国際連携のステップを踏むとされる。さらに同協議会とNEDOは2021年に「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」を公表している。同ロードマップでは日本において技術成熟度が比較的高い調査開発分野や、着床式基礎の製造・設置に関する技術の開発を短期集中的に実施して早期の低コスト化を目指す一方で（2025年前後を目標）、技術成熟度が比較的低いもののサプライチェーン構築に不可欠な洋上風車や、中・長期的に拡大が見込まれる浮体式等についての要素技術の開発を、2030年前後を目標に加速化していくとされている。

²¹ 毎年度、国が有望な区域と一定の準備段階に進んでいる区域を指定・整理し、公表する。利害関係者を含む協議会における同意を経て、経済産業大臣・国土交通大臣により促進区域の指定がなされる。その後両大臣により事業者の公募がなされる。

²² 経済産業省およびNEDOウェブサイトにて閲覧可。<https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/gifund/index.html> <https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101505.html>

²³ 同ビジョンに記載された産業界設定の目標は、①国内調達比率を2040年までに60%、②着床式の発電コストを2030～2035年までに8～9円/kWhである。

洋上風力発電に関する主要な法律としては、再エネ海域利用法のほか、「電気事業法」、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（再エネ特措法）」、「港湾法」、「環境影響評価法」などが挙げられる²⁴。再エネ特措法は固定価格買取制度（FIT 制度）を基礎づけており、再エネ海域利用法の適用外での着床式洋上風力発電は、2023 年度より固定価格から入札制へ移行する²⁵。港湾法の下では、再エネ海域利用法の対象となる一般海域に先んじて、港湾区域を対象とする洋上風力発電導入のための占用公募制度が 2016 年に整備されたほか、2020 年に洋上風力発電の基地港湾における埠頭貸付制度も創設されている。

港湾は、電力系統が充実し、洋上風力発電施設の建設や維持管理に利用される港湾インフラが近接するとともに、海域の管理や利用調整の仕組みが最も整備された空間であることから、洋上風力発電の導入の適地として有望視され、港湾法の改正を経て、30 年間の長期占用が可能な占用公募制度が成立するに至った²⁶。さらに発電所を海に設置する洋上風力発電では、洋上風力発電設備の設置及び維持管理を行う拠点となる港湾（基地港湾）の整備が重要となることから、港湾法の改正により、国が基地港湾を指定し²⁷、基地港湾の埠頭を長期・安定的に貸し付けることが可能となった。埠頭における複数の発電事業者の利用も調整される。

こうした法政策のもと、日本でも洋上風力発電所設置の取組みが、各地で進められており（表 1 参照）、秋田県沖 2 海域や千葉県銚子市沖などの促進区域では 2021 年に発電事業者が決定されたほか、先行して事業が進展している秋田港・能代港や石狩湾での洋上風力発電事業では、既に洋上風車設置船を用いて洋上風車の設置工事が進められている。洋上風力発電の基地港湾には、現在までに秋田港、能代港、鹿島港、北九州港の 4 港が指定されている。その他の海域でも、それぞれの状況に応じて、海域調査や地元との協力関係の構築など洋上風力発電所設置のための準備が進行して

²⁴ 泉水健宏「洋上風力発電の現状と課題 — インフラ整備等を中心とした状況—」『立法と調査』No. 440、2021 年、p.123。

²⁵ 経済産業省ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.meti.go.jp/press/2021/03/20220325006/20220325006.html>>

²⁶ 港湾区域における洋上風力発電の主な導入計画としては、石狩湾新港内（北海道）、むつ小川原港内（青森県）、秋田港内・能代港内（秋田県）、鹿島港内（茨城県）、北九州港内（福岡県）の 6 港が挙げられる。

²⁷ 洋上風車の部品は近年の大型化傾向もあって極めて長大で重量があり、洋上風力発電の基地港湾では発電設備の部品を扱うことができる地耐力と、岸壁・埠頭における広大なスペースが必要とされる。港湾での作業には資材等の保管のほか洋上風車部品の事前組立も含まれる。設置船等の作業船が港湾内で作業をする際は、海底部分にも十分な地耐力が必要とされる。「港湾法施行規則」は基地港湾の指定の要件として、①係留施設及び荷さばき施設につき物資の組立て及び保管に対して必要な面積及び地盤の強度、②安全な荷役を行うのに必要な係留施設の構造の安定を課している。また、洋上風力発電の基地港湾としての将来の利用の見通し・見込みを勧告する。

おり、今後日本においても洋上風力発電導入量の増加が見込まれる。

表1 日本における促進区域、有望な区域等の指定・整理状況（2022年9月30日）

促進区域 ²⁸	長崎県五島市沖 ²⁹ 、秋田県能代市・三種町・男鹿市沖、秋田県由利本荘市沖、千葉県銚子市沖、秋田県八峰町・能代市沖、長崎県西海市江島沖、秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖、新潟県村上市・胎内市沖
有望区域	青森県沖日本海（北側）、青森県沖日本海（南側）、山形県遊佐町沖、千葉県いすみ市沖、千葉県九十九里沖
一定の準備段階に進んでいる区域	北海道檜山沖、北海道岩宇・南後志地区沖、北海道島牧沖、北海道松前沖、北海道石狩市沖、青森県陸奥湾、岩手県久慈市沖、福井県あわら市沖、福岡県響灘沖、佐賀県唐津市沖、富山県東部沖

（出典）資源エネルギー庁「洋上風力政策について（2022年10月6日）」

他方、日本では洋上風力発電の導入拡大に向け様々な課題も指摘されているが、同時に課題解決のための取組みもそれぞれ以下のように進められている。

①「洋上風力産業ビジョン（第1次）」に示されるように日本の洋上風力の導入は北海道・東北・九州地方への偏りが予想されるどころ、これら適地から電力の大需要地（関東・関西・中部地方など）へ運ぶ送電網が必要となるが、電力広域的運営推進機関の下では広域連系系統のマスタープランについて³⁰、経済産業省の下では長距離海底直流送電の整備について³¹、検討が進められている。

②海底地形が急峻な日本において有望とされる浮体式は、着床式と比べてコストが高価となることが課題とされるが、「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」では³²、技術成熟度が比較的低いもののサプライチェーン構築に不可欠な風車や、中・長期的に拡大の見込まれる浮体式等についての要素技術（浮体基礎の最適化、係留システムの最適化、浮体の量産化、ハイブリッド係留システム等）の開発を加速化して、風車・浮体・ケーブル等の一体設計を行った実海域での実証を2025

²⁸ 秋田県八峰町・能代市沖、長崎県西海市江島沖、秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖、新潟県村上市・胎内市沖につき、2022年内に事業者の公募開始の予定。

²⁹ 戸田建設は2022年に五島市沖の洋上風力発電事業における浮体式洋上風車の組立作業を開始している。<https://www.toda.co.jp/news/2022/20221007_003122.html>

³⁰ 電力広域的運営推進機関ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.occto.or.jp/iinkai/masutapan/index.html>>

³¹ 経済産業省ウェブサイトにて閲覧可。<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/chokyorikaitei/index.html>

³² 洋上風力の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップについては、p.7参照。

年前後に行うことにより、商用化に繋げるとしている。

③環境影響評価法は一定以上の規模の発電事業（洋上風力発電を含む）に環境影響評価の実施を求めているが、環境影響評価には一般的に4～5年を要することから、産業界より風力発電事業における環境影響評価手続の迅速化が求められているところ（「洋上風力産業ビジョン（第1次）」）、「第6次エネルギー基本計画」では、地域の環境特性を踏まえた、効果的・効率的なアセスメントに係る制度的対応のあり方を検討するとしている。

④洋上風力発電の導入拡大のためには、事業案件形成の加速化・効率化が必要とされることから、経済産業省・国土交通省の下で、初期段階から政府や自治体が関与して、より迅速・効率的に風況等の調査・適時の系統確保等を行う日本版セントラル方式の確立に向けた、実証事業が実施されることとなった³³。

⑤日本の洋上風力発電の一層の導入拡大には、今後発電所の設置対象海域（現在は領海まで）の拡大が必要となる可能性も考えられるが、政府は2022年より排他的経済水域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を開始している³⁴。

⑥基地港湾の不足が洋上風力発電所設置のボトルネックとなる可能性も懸念されることから、「2050年カーボンニュートラル実現のための基地港湾のあり方に関する検討会」により、基地港湾の配置・規模、および基地港湾を活用した地域振興について検討がなされ、今後必要となる基地港湾の数、地域間の最適配置、スペック（地耐力、面積）、浮体式に対応した場合の基地港湾の最適なスペック、基地港湾を補完する港湾のスペックなどが計算された³⁵。また国内外の地域振興モデル（O&M（: Operation & Maintenance）拠点、作業船基地、生産拠点、人材育成・研究開発拠点、観光資源としての活用、水素等の活用も含む再エネ拠点、建設支援型）、港湾管理者や自治体が果たした役割（インフラ整備（用地の確保含む）、財政支援、マッチング支援など）、人材育成（スキル取得、技術者育成、将来の担い手確保）、地域振興の効果に関する事例が紹介されている³⁶。

4. 洋上風力発電と海運

³³ 経済産業省ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210730004/20210730004.html>>

³⁴ 内閣府ウェブサイトにて閲覧可。<https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/yojo_kentoukai.html>

³⁵ 国土交通省ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001467102.pdf>>

³⁶ 国土交通省ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001467103.pdf>>

(1) 設備の設置等への海運の寄与

国内外で洋上風力発電の導入拡大が進められるところ、洋上に発電設備を設置する洋上風力発電では、事前の海域調査、部品の輸送、洋上風車の設置、海底ケーブルの敷設、工事の監視、稼働後のメンテナンス、事業終了後の撤去など、様々な局面で船舶が必要とされることから、洋上風力発電の導入拡大には十分な数の船舶の存在・確保が不可欠である³⁷。洋上風力発電は、海運業界にとっても新たな商機と捉えられており、船舶を用いる様々な取り組みが進められている³⁸。

洋上風力発電所の設置・保守管理に関わる作業では、タグボートやバージなどの船舶に加え、オフショア作業用に整備された様々な特殊船が用いられる³⁹。代表的な特殊船として、表2のものが挙げられる。

表2 洋上風車の設置・保守管理に関わる主な特殊船

洋上風車設置船 (SEP 船 : Self Elevating Platform vessel) ⁴⁰		設置工事の際に、昇降可能な脚により、台船を海面上から波浪の届かない高さまでジャッキアップさせて、洋上風車やその基礎の設置作業を行う。大型クレーンを装備する。
アンカーハンドリング船 (AHTSV: anchor handling tug supply vessel)		浮体設備の曳航・係留ほか、大型被曳航船の曳航、物資の補給等を行う。
ケーブル敷設船		海底ケーブル等の敷設を行う。
作業員輸送船 (CTV: crew transfer vessel)		稼働後の定期メンテナンスの際に、洋上風車まで作業員や物資・備品等の輸送を行う。厳しい気象海象条件下でも安全に作業

³⁷ 欧州では洋上風車の大型化に伴って、大型風車に対応可能な設置船が不足し、洋上風力導入拡大のボトルネックとなりうるという指摘がある。<<https://www.offshorewind.biz/2022/02/02/bottlenecks-loom-unless-installation-vessels-keep-pace-with-super-sized-wind-turbines-report/>> <<https://renewablesnow.com/news/offshore-wind-could-see-crunch-of-installation-vessels-from-2024-772255/>> など。

³⁸ 森隆行「洋上風力発電事業での海運」『内航海運新聞』2022年11月28日など参照。

³⁹ Jochem Tacx, *Building an Offshore Wind Farm: Operational Guide*, 2019, 一般財団法人日本船舶技術研究協会『我が国における洋上風車設置船・作業船の在り方について 基礎検討調査報告書』2013年など参照。<https://www.jstra.jp/member/PDF/yojofusha_hokokusho_201306.pdf>

⁴⁰ 海外では WTIV : wind turbine installation vessel と呼ばれる。

		員を洋上風車へ移乗させる設備が必要。
サービス専用船(SOV: service operation vessel)		宿泊設備を持ち、一定期間洋上に滞在してメンテナンス作業に従事する。沿岸から離れた沖合の洋上風力発電所の場合、効率化のため重要となる。

これら特殊船では自動船位保持機能（DPS：Dynamic Positioning System）が装備される場合が少なくない。

この他に洋上風力発電に関与する船舶としては、地質調査船や気象・海象観測船、重量物運搬船などが挙げられる。またタグボートや漁船が設置工事中の海域を監視・警戒するための監視・警戒船として用いられる場合がある。

欧州の北海沿岸地域をはじめ世界では洋上風力発電の導入拡大に伴って、既に多数の特殊船が整備されており、洋上風力発電事業に従事している⁴¹。2022年には、海運大手の A.P. モラー・マースク社傘下のマースク・サプライ・サービス社が、洋上風車設置船を初めて新造することを表明した⁴²。台湾では、ばら積み貨物大手の裕民航運がワールドマリンオフショア社（デンマーク）と合弁会社を設立し、台中港へのCTV配備を進めている⁴³。日本でも現在、国内海運会社および建設会社が、こうした特殊船の整備・事業への参入を進めているところである。日本郵船グループは、保有するCTVをCTV運航会社ノーザン・オフショア・グループ（スウェーデン）の子会社に裸貸船するとともに同社へ海技者を派遣、また秋田曳船など日本各地の曳船会社と連携してCTV運航体制を構築するほか、ヴァン・オード社（オランダ）とSEP船の共同保有・運航について協力する⁴⁴。商船三井グループは、台湾の大統海運と設立した合弁会社を通じてSOVを大彰化洋上風力発電所の運転・保守支援業務に従事させるほか、秋田港・能代港洋上風力発電基礎の据付に従事したSEP船を保有・運航する

⁴¹ オフショア船市場に関するデータベースを運営する英国 4C Offshore のウェブサイトの記述によれば、オフショア作業船として 385 隻、作業員の輸送船として 713 隻が数えられるという。<<https://www.4coffshore.com/>>

⁴² マースク・サプライ・サービス社ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.maersksupplyservice.com/2022/03/29/maersk-supply-service-to-construct-pioneering-wind-installation-vessel/>>

⁴³ 裕民航運ウェブサイトにて閲覧可。<https://www.uming.com.tw/news/News_detail.aspx?ID=PRE0040>

⁴⁴ 日本郵船ウェブサイトにて閲覧可。<https://www.nyk.com/esg/nyk/_icsFiles/afieldfile/2022/08/19/2022_nykreport_07.pdf> <https://www.nyk.com/news/2020/20200116_01.html> 裸貸船されるCTV「Energizer」は全長39メートルで、作業員定員24名。<<https://n-o-s.eu/the-fleet/m-v-energizer/>> このほか日本郵船は、秋田県に洋上風力発電にかかわる専門的な人材育成を行う総合訓練センターの設置を行う。<https://www.nyk.com/news/2022/20220930_01.html>

Seajacks 社（英国）に出資しており、またケーブル敷設船を保有する KDDI 子会社の国際ケーブルシップと協力して洋上風力を中心とする新規海底電力ケーブル敷設需要に対する事業化を検討している⁴⁵。川崎汽船グループは、保有するオフショア支援船を五洋建設の保有する SEP 船の曳船として投入するほか、五洋建設と洋上風力の建設・保守分野における船舶の管理（運航、保守、船員）等につき協業を進める⁴⁶。五洋建設は、上記大型クレーン搭載 SEP 船に加え⁴⁷、DEME 社（ベルギー）と合弁会社を設立して DEME 社が保有する SEP 船の大規模改造・日本籍化を進める⁴⁸。鹿島建設は、五洋建設・寄神建設と共に新造 SEP 船を共同保有する⁴⁹。清水建設は、世界最大級の搭載能力及びクレーン性能を備えた自航式 SEP 船を完成させ、同船の運航管理を深田サルベージに委託する⁵⁰。CTV 事業に取り組む東京汽船は、従来から保有する CTV に加え新たに CTV4 隻の運航を開始し、計 6 隻の体制で CTV を運航す

⁴⁵ 商船三井ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.mol.co.jp/services/windpower/>>
<<https://www.mol.co.jp/pr/2021/img/21084.pdf>> 台湾に投入される SOV「TSS PIONEER」は全長 85.4 メートルで、最大乗船人員約 90 名。<<https://www.mol.co.jp/pr/2022/img/22031.pdf>>
このほか商船三井は、特殊船の DPS 要員（DP オペレーター）の訓練シミュレーターを保有し、同シミュレーターを活用した訓練を開講している。
<<https://www.mol.co.jp/pr/2022/22071.html>> また、Flotation Energy 社（英国）と日本における浮体式洋上風力発電事業の開発について協業を行う。
<<https://www.mol.co.jp/pr/2021/img/21111.pdf>> 加えて東邦ガス・北陸電力とともに台湾のフォルモサ 1 洋上風力発電所の発電事業に参画している。

<<https://www.mol.co.jp/pr/2022/img/22028.pdf>>
⁴⁶ 川崎汽船ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.kline.co.jp/ja/news/carbon-neutral/carbon-neutral-6863828355874774824/main/0/link/220825JA.pdf>> オフショア支援船「かいこう」は全長 56 メートルで 6,000 馬力。<<https://klinewind.jp/fleet/>> このほか川崎汽船傘下のケイライン・ウインド・サービスは、ジャパンマリユナイテッド等と共に浮体式洋上風力発電の量産化及び低コスト化プロジェクトに取り組んでいる（脚注 6 参照）。<https://klinewind.jp/pdf/press_release_20220121.pdf>

⁴⁷ SEP 船「CP-8001」は最大吊能力 800t のクレーンを搭載している。<https://www.penta-ocean.co.jp/business/project/pj_story/2019/29.html>

⁴⁸ 五洋建設ウェブサイトにて閲覧可。搭載クレーンは 1,600t 吊となる計画。<<https://www.penta-ocean.co.jp/news/2021/211102.html>> このほか五洋建設は、北海道室蘭市に洋上風力発電設備の部材等を製造する工場を建設した。<<https://www.penta-ocean.co.jp/news/2022/pdf/20221006-1.pdf>>

⁴⁹ 鹿島建設ウェブサイトにて閲覧可。搭載クレーンは 1,600t 吊。<<https://www.kajima.co.jp/news/press/202201/pdf/5c1-j.pdf>> このほか鹿島建設は、秋田港・能代港洋上風力発電所の設置工事に従事した。<<https://www.kajima.co.jp/news/press/202211/22c1-j.htm>> また、秋田県 2 海域および千葉県銚子沖の促進区域における洋上風力発電所の設置工事にヴァン・オード社（オランダ）と共同参画する。<<https://www.kajima.co.jp/news/press/202202/24c1-j.htm>>

⁵⁰ SEP 船「BLUE WIND」は全長 142m で、クレーンの最大揚重能力は 2,500t。同船は石狩湾新港における洋上風力発電所の設置工事に投入される予定。<<https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2022/2022046.html>>

る⁵¹。

(2) 船舶の航行安全への影響と対策

他方、洋上風力発電では発電用の風車を洋上に設置することから、洋上風力発電所海域周辺を従来利用していた船舶が何らかの影響を受ける可能性がある。そうした船舶としては、商船をはじめ漁船、プレジャーボート等が挙げられる。洋上風力発電事業では、発電所海域周辺でのこれら一般船舶の航行安全の確保も重要となる。洋上風力発電の導入で先行する欧州などでは、船舶の航行安全対策についても既に経験が蓄積しているが、以下では英国と台湾および日本の事例を取り上げて、洋上風力発電にかかる船舶の航行安全の確保の取組みについて紹介したい。

①英国における航行安全確保の取組み

まず英国では、法令等により、洋上風力発電の事業者に対し、航行安全確保のための様々な要件が課される。そのため英国の海域に設置される発電所は原則的に、以下で紹介する安全対策が一通り施されたものとなる。船舶の側は、それを踏まえた上で、自らも安全対策を取ることとなる。

英国ではまず「エネルギー法」が、国際航行に不可欠な航路の使用を妨げる事業は不許可ということ、および「計画法」が、許可申請の前に利害関係者等と協議をすることの要件を課している⁵²。これら2点の要件を満たさない事業計画は、当局の許可を得られない。

さらに英国では、海事沿岸警備庁（MCA: Maritime and Coastguard Agency）により制定される詳細な指針（MGN: marine guidance note）が、事業者が洋上風力の計画申請を行う際の実質的な基準として機能している。MCA は基準への適合性についての暫定的な判断や、計画への助言も行う。以下では、MCA の指針（2021年改訂の最新版はMGN654）⁵³の内容を紹介したい。

英国では発電所の計画の段階で、計画海域の通航や漁業・レジャー等の利用状況、港湾へのアプローチ、他の洋上風力発電所との位置関係（近接性）、さらに海底ケーブル

⁵¹ 東京汽船は秋田港・能代港における洋上風力発電所の設置工事等にCTVの運航を行っている。投入された「JCAT TWO」は全長26m。<<http://www.tokyokisen.co.jp/company/news/2021/202103.html>>

⁵² エネルギー法は再生可能エネルギーの振興や、原子力廃止措置機関の設立等を定めた法律で、2004年に制定された。<<https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2004/20/contents>> また計画法は大規模インフラプロジェクトの許認可手続き・調整枠組み等を定める法律で、2008年に制定された。<<https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/29/contents>>

⁵³ 英国政府ウェブサイトにて閲覧可。<https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/980898/MGN_654_-_FINAL.pdf>

ルの敷設状況などの様々な要素を考慮する海域利用実態調査が行われる。この調査は AIS データのほか、レーダーや目視によるデータも必要とされるため、AIS を搭載していない小型船も考慮される。

この調査結果を踏まえて航行のリスク評価が行われる。リスク評価では、洋上風力発電所の設置計画・気象海象・発電所海域内外での航行可能性・緊急対策への影響・水路学・通信およびレーダーシステム等への影響が考慮され、シミュレーション分析も行われる。発電所の設置に伴う従来の航路の変更や迂回（小型船による大型船航路の使用を含む）から生じるリスクも評価される。

洋上風力発電所と船舶の航路との離隔距離は、表 3 に示されるテンプレートをを用いて検討される。

表 3 英国における洋上風力発電所と航路との距離に関するテンプレート

風車設置海域と航路の距離	考慮すべき要素	リスク	風車設置の許容性
<0.5nm (<926m)	・X バンドレーダーへの干渉 ・陸上レーダーに複数のエコーを生成する可能性	非常に高い	許容されない
0.5nm ~ 1nm (926m ~ 1852m)	・船舶の行動範囲(船舶サイズ・操縦性)	高い	・リスクが ALARP レベルの場合は許容される
1nm ~ 2nm (1852m ~ 3704m)	・IMO の航路指定措置との最小距離 ・S バンドレーダーへの干渉 ・自動衝突予防援助装置等への影響	中程度	・(ALARP レベルの場合)追加のリスク評価とリスク緩和策の提示が必要
2nm ~ 3.5nm (3704m ~ 6482m)	・IMO の航路指定措置との推奨距離 ・国際海上衝突予防規則 (COLREG) の遵守	低い	※ALARP は”As Low As Reasonably Practicable” (合理的に達成可能なできるだけ低い)の略。
>3.5nm (>6482m)	・航路の反対側の風車との最小隔離距離	低い	・広く許容される
>5nm (>9260m)	・分離通行帯の出入り口からの最小距離	非常に低い	

(出典) MCA, MGN 654 (M+F)

概略を言えば、0.5 海里以下の距離では設置不可、3.5 海里以上は十分に安全とされ、その間の距離では、様々な潜在的リスクを考慮して、許容範囲が判断される。表はあくまで一つのテンプレートであり、実際の計画の際には気象・海象の影響、小型船を含む船舶の航行密度、海底ケーブルの存在、レーダー干渉、海域に特有の事情など様々な要素も踏まえて、ケースバイケースで判断が行われる。

大規模な発電所海域の内部に、航行用の通航路が設置される場合には、通航船舶が計画航路から 20 度以上の偏差が生じる可能性も考慮して、通航路の幅が検討される。

洋上風車の設置により生じる可能性のある衛星システム・AIS 等通信システムに対する電波障害や、レーダーの反射・死角の発生等による船舶・船員への影響などについても、検討が行われる。

発電所海域内での個々の風車の設置位置は、英国では洋上風車間の航行が可能とされていることから、船舶の航行への影響を考慮して決定される。風車は船舶が航行しやすいように、原則、格子状に列に並べて配置される。洋上風車間の距離は、緊急時におけるヘリコプターの飛行も考慮して決定される。さらに風車が船舶の視界を遮ったり、海岸線などを覆い隠したりしないよう、できるだけ配慮がなされる。最高水面と風車の羽の一番下との間の安全距離は、最低 22 メートルが確保される。

発電所の設置工事が開始される際には、必要に応じて以下の措置が取られる。安全情報が周知され、付近を航行する船舶へ通告が行われる。航路標識が配置され、工事海域での航路指定措置が実施される。建設海域に警備用の船が配備され、モニタリングが行われる。緊急事態が発生した際には、予め作成される緊急時対応協力計画に基づいて対応がなされる。事業者の申請に基づく所管大臣（ビジネス・エネルギー・産業戦略省大臣）の決定により、風車設置個所の周囲に安全水域が設定される。英国法で安全水域は、海上の施設等の周囲一定範囲（設置時は設置個所の周囲 500 メートル、稼働時には風車の周囲 50 メートル）を進入禁止とする措置であり、領海、排他的経済水域いずれにおいても設定される。

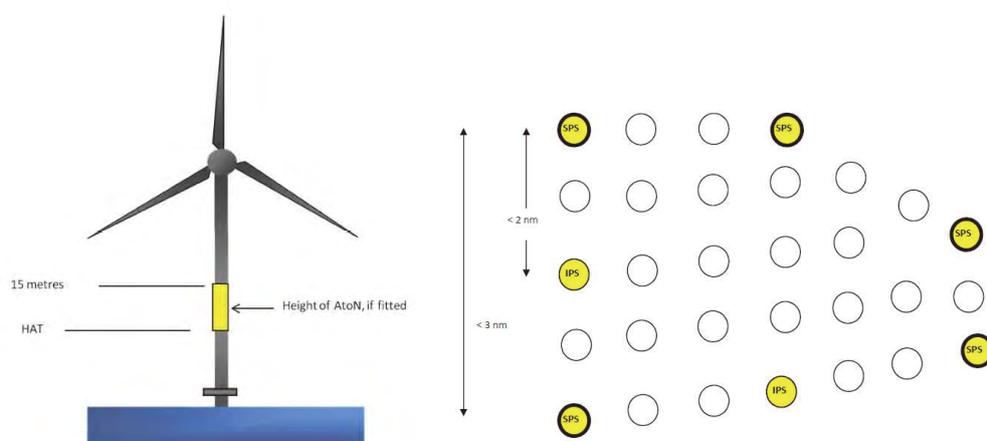
発電所の建設後には、英国水路局に発電所の位置データが提出され、海図に反映される。海底ケーブルも記載されるが、海図の縮尺によっては一部省かれる場合もある。

設置された洋上風車には、船舶からの視認性を高める措置が施される。MCA の指針の中で言及されている国際航路標識協会（IALA : International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities）のガイドラインを踏まえた場合（図 3 参照）⁵⁴、風車のタワーのうち最高水面（HAT: Highest Astronomical Tide）から 15 メートルが、黄色に塗装される。発電所海域の外周の隅などの SPS

⁵⁴ IALA ウェブサイトにて閲覧可。<https://vasab.org/wp-content/uploads/2018/06/2013_IALA_Marking-of-Man-Made-Offshore-Structures.pdf>

(Significant Peripheral Structure) には、5 海里以上の光達距離を有する航路標識が設置される。SPS 以外に選択された地点の IPS (Intermediate Peripheral Structures) には、2 海里以上の光達距離を有する航路標識が設置される。加えて海域の状況に即した必要に応じ、霧中信号や、レーダー反射器が設置される場合もある。個々のタービンには、照明により夜間でも 150 メートルの範囲で確認可能な、英数字のプレートが付される。

図3 IALA ガイドラインに基づく洋上風力発電所の識別措置



(出典) IALA Recommendation O-139

以上の事業者側の安全対策を踏まえつつ、船舶側も、船舶・船員を対象とする MCA 指針 (2022 年改訂の最新版は MGN 372 Amendment 1) ⁵⁵に定められた以下の安全対策を行う。

船舶は、洋上風車周辺を航行する際に、予め洋上風車の塗装や航路標識、レーダー反射器等、音響信号、係留ブイ、海図などの確認を行う。また、周知される安全情報を確認する。実際の航行の際には、適切な見張りを行うなど船舶の衝突防止に関する COLREG 条約 (Convention On the International Regulations for Preventing Collisions at Sea) のルールを遵守する。特に洋上風車の付近を航行する際には予めリスク評価を行う。リスク評価では、表 4 に示される点について考慮する。

表 4 航行リスク評価において考慮すべき要素

風車の間隔	風車のサイズにもよるが、500m 以上の間隔が空いている。
水深	現時点で稼働している大部分の発電所は 60m 未満の水深に立地するが、今

⁵⁵ 英国政府ウェブサイトにて閲覧可。<https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1115722/MGN372_Amendment_1.pdf>

	後、100m を越える水深の海域に浮体式の発電所が設置される可能性がある。
海底の変化	風車等が付近の海底の洗堀や堆積物に影響を与える可能性がある。
潮流	風車等が局所的に潮流を妨害し、近くに渦を発生させる可能性がある。
船舶	タービンの保守・安全に従事する船舶や、操業する漁船と遭遇する可能性があり、警戒が必要。風車の影や夜間は特に注意を要する。
海岸の目印	風車の存在により海岸の目印が不明瞭となる場合があり、船の位置を他の手段で確認する必要が生じ得る。
変電所	発電所エリアの内外には変電所も設置される。変電所と陸上を繋ぐケーブルにも注意が必要。
移動の程度	浮体式風車など浮体構造物は気象条件や機器の種類に応じて一定程度移動するので考慮が必要。

(出典) MCA, MGN 372 Amendment 1 (M+F) を基に作成。

また MCA の指針は、洋上風車が通信機器や航行システムへ影響を与える可能性について、実験結果を踏まえた注意を喚起している。MCA が過去に行った実験によれば、国際 VHF・GPS・AIS・携帯電話等への影響は最小限であった。ただし UHF 等のマイクロ波システムは、風車との位置関係次第では、遮蔽による影響を一部受けた。レーダーについては、洋上風車はレーダー上に明確に表示されるが、風車まで約 1.5 海里以内の近距離に近づくと、多重反射やサイドローブによる偽像も生じたという。したがって、船舶が風車至近への接近を行う場合、風車に近づくにつれて相応の影響を受ける可能性が生じる。その際船舶は、COLREG 条約に定められた安全速度や見張りに関するルールを、慎重に遵守する必要がある。見張りに際しては、音響信号や VTS・AIS システムなどレーダー以外からの情報も考慮する必要がある。

加えて風車の回転から生じる効果についても、風の流れを変え船舶に影響を及ぼす可能性があるとして、注意喚起がなされている。

②台湾における航行安全確保の取組み

台湾ではまず洋上風力発電の事業申請の際に、発電事業者は、所管官庁（交通部）が発行する船舶安全意見書を添付する必要がある⁵⁶。船舶安全意見書の発行申請には、事業者は交通部に船舶安全評価報告を提出する必要がある、船舶安全評価報告には表 5 の内容が含まれる⁵⁷。

表 5 台湾において航行安全評価報告に含むべき要素

	・風力発電所の位置	・発電所設置後の航路標識等の
--	-----------	----------------

⁵⁶ 「洋上風力発電計画区域申請ガイドライン」に基づく。<https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=2870>

⁵⁷ 交通部航港局ウェブサイトにて閲覧可。<<https://www.motcmpb.gov.tw/QuestionAndAnswer?SiteId=1&NodeId=10097&BaseCategoryId=300>>

航行安全評価報告 に含むべき要素	・海底ケーブルの経路	配置計画
	・風車等の数、設置間隔	・緊急時対応計画
	・周辺海域の航路	・モニタリング計画
	・周辺の港湾等との位置関係	・航行実態調査とリスク分析

これにより、海域の実態調査とリスク分析のほか、風車の配置計画や航路標識の配置計画、緊急時の対応計画など、船舶の航行安全に関する様々な計画状況が、審査を受けることとなる。

また、2018年に改正された「航路標識条例」では、洋上風車等の設置の際には、周囲に安全水域を指定し、航路標識を設置して、航行および施設の安全を確保する適切な措置を講じることが規定されている⁵⁸。さらに交通部は2019年に、洋上風車設置海域における航行安全規範を制定しており、表6の安全対策を規定している⁵⁹。

表6 台湾の洋上風車設置海域における安全対策

事業者側に求められる安全対策	船舶側に用いられる安全対策
<ul style="list-style-type: none"> ・関係者(漁業関係者含む)への情報周知(工事着工1ヶ月前まで) ・発電所の位置データの当局への提出 ・作業船の航海計画の提出(2週間前まで) ・航路標識の設置 ・作業動向をVTSへ逐次報告 ・警備船での現場海域での安全喚起 ・モニタリング 	<ul style="list-style-type: none"> ・AIS・VHF無線の装備・活用 ・本安全規範で指定された航路での航行 ・航行安全法規の遵守 ・航海計画の慎重な検討(発電所海域周辺以外の航路の検討を含む)

加えて台湾では、洋上風力発電との関係から、船舶の航行安全確保のため、台湾海峡の兩岸直航航道(大陸との横断航路)の修正を行うとともに⁶⁰、洋上風力発電所が多数設置される予定となっている彰化県沖における航行可能水域の指定などの措置も行っている⁶¹。

⁵⁸ 台湾政府ウェブサイトにて閲覧可。< <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=K0070030>>

⁵⁹ 台湾政府ウェブサイトにて閲覧可。< <https://motclaw.motc.gov.tw/webMotcLaw2018/Home/NewsDetail?LawID=H0175000&lawType=2>>

⁶⁰ 台湾政府ウェブサイトにて閲覧可。<https://www.twtpo.org.tw/news_show.aspx?category_id=160&cat_id=161&id=3244>

⁶¹ 台湾政府ウェブサイトにて閲覧可。<<https://transport-curation.nat.gov.tw/portAuthority/vts.html>>

③日本における航行安全確保の取組み

以上が英国および台湾における取組みの概要であるが、日本でも洋上風力発電所海域の周辺で先行利用者の海難リスクが高まらないよう、以下のような船舶の航行安全確保の取組みがなされる。

まず日本でも再エネ海域利用法の促進区域の指定の要件の1つとして、促進区域及びその周辺における航路及び港湾の利用、保全及び管理に支障を及ぼさないことが定められている。促進区域は、大型船が頻繁に通航する海域との離隔距離を確保し、周辺港湾への大型船の出入港にも支障を及ぼさないように、指定がなされる（「海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域指定ガイドライン」）。さらに再エネ海域利用法に基づき、発電所の設置により影響を受ける可能性がある利害関係者（海運事業者や漁業者を含む）は、事前の協議会に参加する。また洋上風車など海洋再生可能エネルギー発電設備の基準として、船舶からの視認性を向上させ、船舶の航行に支障を及ぼさないための措置を講じることが規定されている（「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律施行規則」）。

さらに所管省庁が定める各種ガイドライン・基準解説等を踏まえ、事業者は概略表7の取組みを行う。

表7 日本における航行安全確保の取組み（例）

海域利用状況の事前調査(レーダー、AIS データ解析、聞き取り調査等を含む)
海域の交通への影響の検討(シミュレーション等も活用)
周辺海域のその他の利用を考慮
港湾施設等や船舶の航路から一定の離隔距離を確保
洋上風車による船員の視覚や船舶のレーダー等機器への影響の検討
航路標識の設置や洋上風車の視認性を高める塗装等の必要
風車の羽の最下端と最高水面の間の距離として最低 22 メートルを確保
設置工事の際の事前の周知・注意喚起・モニタリング等の必要
事業者と当局の緊急時対応計画の作成

(注) 計画・工事・設置後の各段階の取組みを含む。

(出典) 再エネ海域利用法および経済産業省・国土交通省の各種ガイドライン・基準解説等より作成⁶²。

62 「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」 <<https://www.mlit.go.jp/common/001339422.pdf>> 「洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針」 <https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/yojo_furyoku/pdf/20200327_03.pdf> 「洋上風力発電設備の維持管理に関する統一的解説」 <<https://www.mlit.go.jp/common/001335973.pdf>> 「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施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な

したがって日本においても洋上風力発電所は、基本的に大型船の主要な航路を避け、利害関係者との協議に基づき、洋上風車の設置に伴う船員の視覚やレーダーへの影響をはじめとする船舶への航行リスクを多角的に検討した上で、適切に配置・設置されることとなる。実際の各海域ではこうした基本的な枠組みを基に、海域ごとの動向および自然条件（船舶の夜間航行の有無や漁船のメインルート・定置網の設置地点、霧の発生の多寡など）についての情報共有・コミュニケーションを行いつつ、ケースバイケースの取組み（霧中信号の活用や必要な数の灯火標識の設置、発電所海域内の通航路の設置の検討など）が、それぞれ行われると思われる。

また日本においても船舶は、航行安全に関するルールを遵守する必要がある。海洋上の船舶は海上衝突予防法に従って、安全速度や見張りをはじめとする安全ルールを遵守する。日本では現在のところ、洋上風車周辺を航行する船舶を特に想定したガイドラインは制定されていないが、洋上風車との十分な距離の確保や、洋上風車による船員の視覚やレーダーへの影響を踏まえた安全な航行の実施等の取組みが必要となると考えられる。なお日本においても洋上風車の視認性を高める措置として、英国と同様にIALAのガイドラインに基づく措置が例示されている（最高水面から15メートルを黄色に塗装、発電所外周の隅等に光達距離5海里以上の灯火を有する航路標識を設置、外周の隅以外にも選択的に光達距離2海里以上の灯火を有する航路標識を設置など）。

5. おわりに

気候変動の抑制を目的とする脱炭素化のため、欧州や東アジアなど世界各地で洋上風力発電の導入が進んでおり、日本でも導入拡大のため関連する法政策の整備や技術開発、実際の発電所の設置工事など様々な取組みが進展している。洋上風力発電は、洋上に風車を設置することから、海運業において新たな商機となるとともに、日本での洋上風力発電の安定的な導入拡大のためには、洋上風力発電所の設置およびメンテナンスの需要を満たすための各種特殊船の確保が必要となる。また洋上への風力発電所の設置は、従来から発電所周辺海域を利用していた船舶に一定の影響を及ぼす可能性もあり、発電事業者・船舶いずれの側においても、船舶の航行の安全を確保する取組みの実施が必要となる。日本においても海外の事例を参考に、効率的かつ安全確保に資する取組みの検討が一層進むことが期待される。

方針」<https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/pdf/yojo3/yojo3_houshin.pdf>「港湾における洋上風力発電施設等の技術ガイドライン【案】」<<https://www.mlit.go.jp/common/001084179.pdf>>など。