

## 第2項 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

(公財) 日本海事センター 森本清二郎 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<sup>1)</sup>、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ルギー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<sup>2)</sup>、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(CO<sub>2</sub>)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。

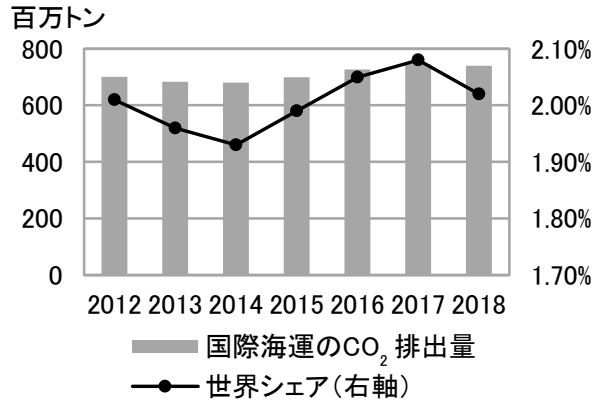


図1 国際海運のCO<sub>2</sub>排出量<sup>3)</sup>

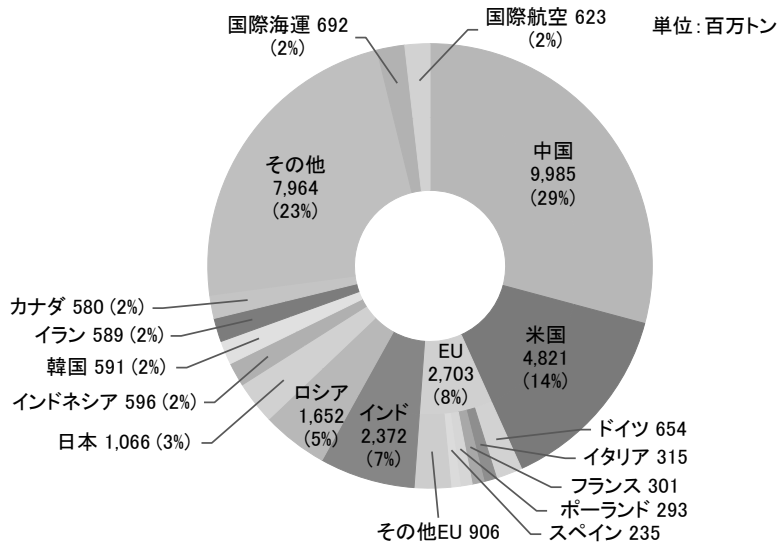


図2 主要国と国際運輸のCO<sub>2</sub>排出量 (2019年)<sup>4)</sup>

## 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。パリ協定発効後の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CO<sub>2</sub>排出量(CO<sub>2</sub>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<sup>5)</sup>。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CO<sub>2</sub>排出量(CO<sub>2</sub>-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では実燃費の改善効果が期待される。

### 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CO<sub>2</sub>換算排出量(g-CO<sub>2</sub>eq/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<sup>6)</sup>、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CO<sub>2</sub>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、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、合成燃料など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<sup>7, 8)</sup>

	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 <sub>2</sub> 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(N<sub>2</sub>O)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り、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とあり、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<sup>9-11)</sup>。

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。

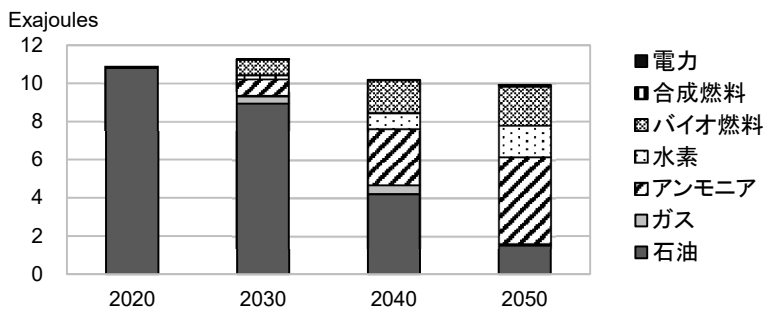


図 3 IEA NZE に基づく海運分野のエネルギー需要<sup>12)</sup>

### 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<sup>13)</sup>。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<sup>14)</sup>。

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<sup>15)</sup>。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<sup>16)</sup>、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<sup>17)</sup>。

## 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<sup>18)</sup>、アンモニア燃料エンジンと船舶の開発<sup>19)</sup>、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<sup>20)</sup>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 CO<sub>2</sub> 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<sup>21)</sup> やメタンスリップ削減技術の開発<sup>22)</sup>、風力推進や船上 CCS の活用<sup>23)</sup> 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<sup>24, 25)</sup> 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<sup>26, 27)</sup> 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バリュー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<sup>28)</sup>。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 (Scope 3) 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、中長期的なソリューション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](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](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](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](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](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)