



船舶のカーボンニュートラルを巡る現状について（第2版）

～基礎的内容（2024年3月現在）～



目次

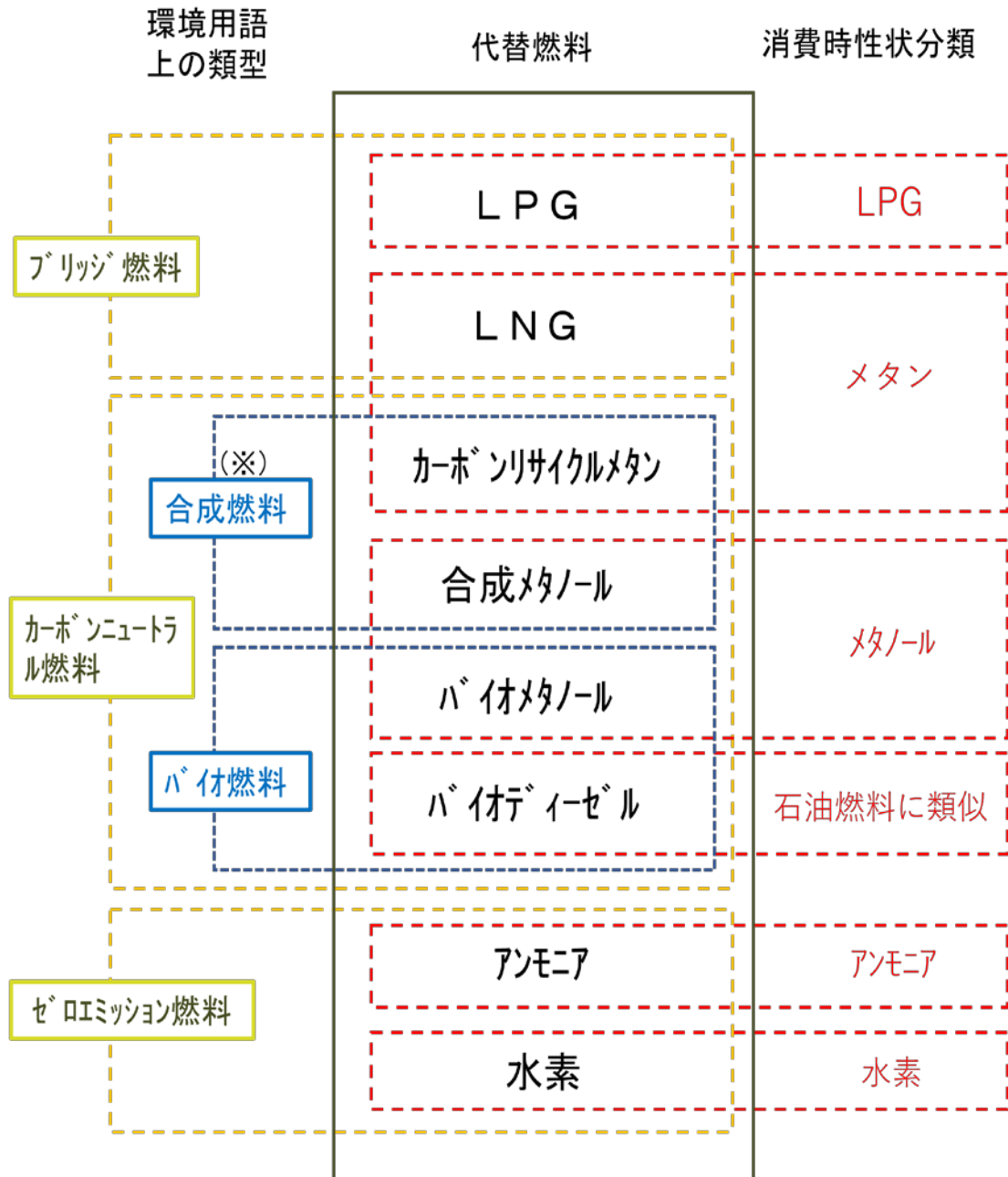
| | |
|-----------------------------------|----|
| 〈本誌で使用する略語・頻出環境関係用語〉 | 1 |
| 〈本誌で取り上げる代替燃料の環境用語上の類型〉 | 2 |
| はじめに | 3 |
| 1 GHG 削減目標の世界の枠組み | 4 |
| 2 削減目標を巡る国内の動き | 5 |
| (1) 国際海運の 2050 年 GHG ネットゼロへの挑戦 | 5 |
| (2) 内航カーボンニュートラルの推進 | 6 |
| 3 GHG 排出削減の技術 | 10 |
| 4 代替燃料 | 14 |
| (1) カーボンニュートラル燃料・ゼロエミッション燃料の種類 | 16 |
| ① バイオ燃料 | 16 |
| ② カーボンリサイクルメタン | 16 |
| ③ バイオメタノール・合成メタノール | 17 |
| ④ アンモニア燃料 | 17 |
| ⑤ 水素燃料 | 17 |
| (2) 温室効果ガスの削減効果等 | 18 |
| 5 国内におけるカーボンニュートラル推進の取組事例 | 21 |
| (1) LNG 燃料フェリー | 21 |
| (2) 電気推進船 (EV 船：バッテリー船) タンカー「あさひ」 | 22 |
| (3) バイオ燃料を使用した実船試験 | 23 |
| 6 今後の展望 | 23 |
| おわりに | 24 |
| 〈参考文献等〉 | 26 |

〈本誌で使用する略語・頻出環境関係用語〉

| | |
|-----------------|--|
| BOG | Boil Off Gas の略。「ボイルオフガス」：LNG などの低温液体を輸送・貯蔵する場合に、貯蔵タンク外部からの自然入熱などにより気化するガスのこと。 |
| CCC | Carriage of Cargoes and Containers の略。「(IMO) 貨物輸送小委員会」 |
| CCS | Carbon dioxide Capture and Storage の略。「二酸化炭素の回収・貯留」 |
| CII | Carbon Intensity Indicator の略。「燃費実績格付け制度」：既存船の年間の燃費実績を確認し、その結果に応じて格付けを行う制度。 |
| COP | Conference of the Parties の略。「(気候変動枠組) 条約締約国会議」 |
| EEDI | Energy Efficiency Design Index の略。「エネルギー効率設計指標」：新造船の設計・建造段階における単位輸送量(トン・マイル)当たりの二酸化炭素排出量を制限するエネルギー効率指標のこと。 |
| EEXI | Energy Efficiency Existing Ship Index の略。「既存船のエネルギー効率指標」：既存船における単位輸送量(トン・マイル)当たりの二酸化炭素排出量を制限するエネルギー効率指標のこと。 |
| FAME | Fatty Acid Methyl Ester の略。「脂肪酸メチルエステル」：植物油脂とメタノールを反応させて生成されるバイオ燃料(バイオディーゼル)。 |
| FC | Fuel Cell の略。「燃料電池」 |
| GHG | Greenhouse Gas の略。「温室効果ガス」：大気圏で、地表から放射された赤外線の一部を吸収して温室効果をもたらす二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素などの気体のこと。 |
| HVO | Hydrotreated Vegetable Oil の略。「水素化処理植物油」：植物油脂を水素化処理したバイオ燃料(バイオディーゼル)。 |
| IMO | International Maritime Organization の略。「国際海事機関」 |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change の略。「気候変動に関する政府間パネル」 |
| MEPC | Maritime Environment Protection Committee の略。「(IMO) 海洋環境保護委員会」 |
| MSC | Maritime Safety Committee の略。「(IMO) 海上安全委員会」 |
| SVO | Straight Vegetable Oil の略。「粗バイオ燃料」：抽出した純植物油であるバイオ燃料(バイオディーゼル)。 |
| UNFCCC | United Nations Framework Convention on Climate Change の略。「気候変動に関する国際連合枠組条約」 |
| アンモニアスリップ | 排気ガスにアンモニアが残存し、外気に排出される現象のこと。アンモニアは温室効果ガスではないが、臭気と毒性がある。 |
| カーボンニュートラル | 温室効果ガスの排出がトータルに見てゼロであること。例えば、バイオ燃料は燃焼すると二酸化炭素を排出するが、燃料の原料となる植物がその成長過程で光合成によって大気中の二酸化炭素を吸収しているため温室効果ガスである二酸化炭素の排出が実質ゼロとみなされ「カーボンニュートラル」燃料と呼ばれる。ネットゼロも同じ意味である。 |
| カーボンリサイクルメタン(※) | 回収された二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素を反応させて生成されるメタン。合成メタン(※)とも呼ばれる。 |
| グリーン・ブルー・グレー燃料 | グリーン燃料：再生可能エネルギー由来の水素を使って生成される燃料。 ブルー燃料：化石燃料を分解する過程で生じる二酸化炭素を回収して作られる水素を使って生成される燃料。 グレー燃料：化石燃料を分解する過程で生じる二酸化炭素を回収せずに作られる水素を使って生成される燃料。ブラウン燃料とも呼ばれる。 |
| 合成メタノール(※) | 回収された二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素を反応させて生成されるメタノール。カーボンリサイクルメタノール、e-メタノールとも呼ばれる。 |
| ゼロエミッション | 温室効果ガスを排出しないこと。例えば、水素燃料とアンモニア燃料は燃焼時に温室効果ガスである二酸化炭素を発生しないことから「ゼロエミッション」燃料と呼ばれる。 |
| バイオディーゼル | ディーゼルエンジン用のバイオ燃料をいう。菜種油、大豆油、ヒマワリ油、廃食用油などから作られ、これらの油を燃料として使いやすいたちに化学反応させたもの。SVO、FAME、HVO の3種類の使用が試みられている。 |
| バイオメタノール | 木材・草木などの植物由来の原料をガス化・蒸留して生成されるメタノール。 |
| メタンスリップ | LNG 燃料中のメタンの一部が燃焼せずにメタンとして大気に排気される現象のこと。メタンは二酸化炭素の28倍の温室効果がある。 |

※) 本誌における「合成燃料」とは、回収された二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素を利用し、かつ、カーボンニュートラルと認められることを前提としたものを指す。

〈本誌で取り上げる代替燃料の環境用語上の類型〉



※) 本誌における「合成燃料」とは、回収された二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素を利用し、かつ、カーボンニュートラルと認められることを前提としたものを指す。

はじめに

気候変動は全人類が直面している問題となっている。温室効果ガス（GHG）の削減は世界的な動きであり、我が国も 2050 年に実質的なカーボンニュートラルを目指すことを宣言している。GHG の削減はすべての業界を通じて取り組む課題であり、海運業界でもその削減の取組みが進められているところである。

船舶からの GHG 排出削減のため、様々な技術の開発が進められている。これまでに船舶燃料としての使用実績がない水素燃料やアンモニア燃料といった二酸化炭素を全く発生しない代替燃料の実用化に向けた技術の開発や制度づくりといった取組みも行われているが、それらに関する情報は分野ごとに専門的で難しいものとなる向きがあることも否定できない。

本誌は、海運の現場に関わる運航者や船舶所有者、船員などの皆様のうち、これまでに船舶からの GHG 排出削減に関する動きにあまり馴染みのなかった方を主な対象に、船舶からの GHG 排出削減に向けた取組み、関連する技術及び代替燃料の概要等について、基礎的内容を取りまとめた。初版の発刊から 1 年余が経過し、その間に行われた国際海事機関（IMO）の GHG 削減戦略の改訂等の変化にあわせた修正を加え、令和 6 年 3 月時点での内容に更新した。第 2 版も初版と同様に公益社団法人日本海難防止協会のホームページ（ <https://www.nikkaibo.or.jp> ）でご覧いただけるようにしている。

本誌を読んだ方が、船舶からの GHG 排出削減に関する現状について理解を深めていただき、海運の現場が、船舶からの GHG 排出削減の流れに混乱なく順応していただくことに、少しでもお役に立てればと願うものである。

本誌の POINT

- 国際海運での GHG 排出削減は国際海事機関（IMO）で議論され、IMO で設定されていた削減目標が 2023 年 7 月に改訂された。内航海運での GHG の排出は各国別の排出量に計上され、我が国では、政府の「地球温暖化対策計画」で削減目標が設定されている。
- 我が国においては、国際海運と内航海運のそれぞれの特性をも踏まえた上で、GHG 排出削減のための技術開発や制度づくりなどのハード・ソフト両面にわたる各種の取組みが推進されている。
- GHG 排出削減を推進していくための様々な技術は、LNG 燃料船の就航等、一部は社会実装の段階にあるものもあるが、引き続き、研究・開発が進められている。
- これまでに船舶燃料としての使用実績がないアンモニア燃料等を導入するための技術をはじめ、研究・開発が進められている様々な技術が、今後、実証実験を経て社会実装に移っていくこととなる。

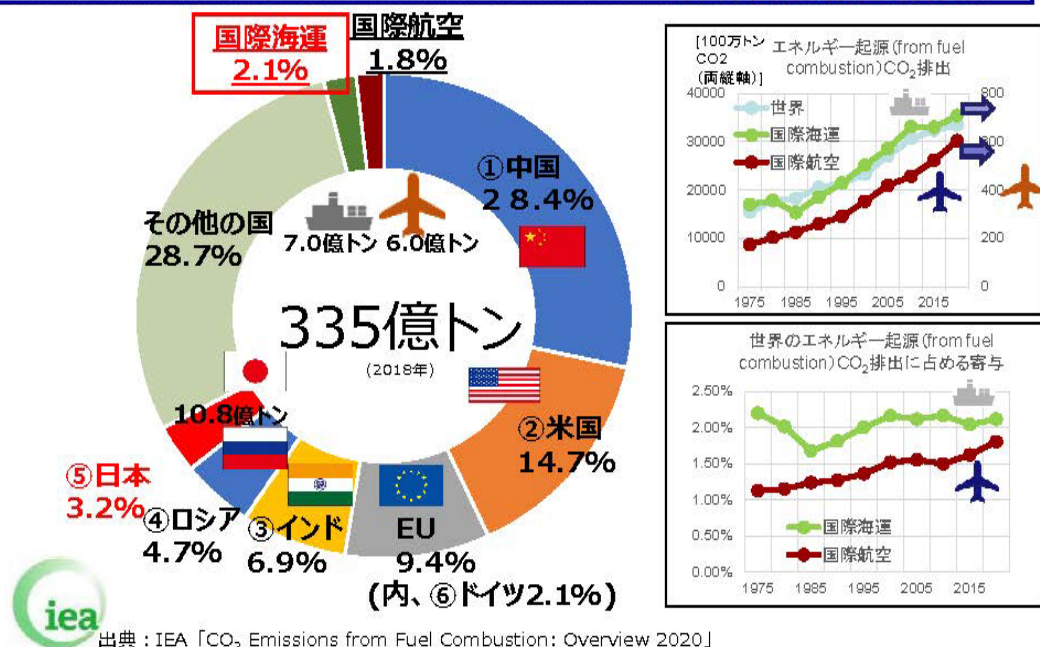
1 GHG 削減目標の世界の枠組み

国際的な温室効果ガス（GHG）削減の議論は、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の下で行われている。UNFCCC の下、2015 年の第 21 回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において、2020 年以降の地球温暖化対策の国際的な枠組みとしてパリ協定が採択され、2016 年 11 月に発効した。パリ協定では、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をすること等を世界共通の目的に掲げるとともに、各国に GHG の排出削減・抑制目標を 5 年毎に更新し提出する義務を課している。内航海運に関する GHG の排出は、この UNFCCC のパリ協定における枠組みの各国別排出量に計上され、各国ごとに目標が検討されている。

これに対して、国際海運では、船籍国、運航者や荷主の国籍等の関係が複雑で関係国が多岐にわたり、UNFCCC の国別削減対策の枠組みに馴染まないため、1997 年京都で開催された第 3 回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP3）において採択された京都議定書で国際海事機関（IMO）に検討が委ねられることとなった。

国際海運からの二酸化炭素（CO₂）の排出は、2018 年現在で、世界全体の約 2.1%を占め、この量はドイツ一国の CO₂ 排出量に匹敵する。何も対策を取らない場合、2050 年までに約 7.0%まで増加すると言われている（【図 1】参照）¹⁾。

- 国際海運からのCO₂排出は、世界全体の約2.1%(ドイツ一国分に匹敵)
- 世界経済の成長につれて海上輸送も伸びるため、何も対策を取らない場合、**2050年までに約7.0%まで増加**



【図 1】 国際海運からの CO₂ 排出量

このような状況をも踏まえ、IMO では 2018 年に GHG 削減戦略を策定し、「① 2030

年までに単位輸送量あたりの CO₂ 排出量 40%以上削減（2008 年比）」「② 2050 年までに GHG 排出量 50%以上削減（2008 年比）」「③ 今世紀中なるべく早期に GHG 排出ゼロ」という目標を設定した。

この GHG 削減戦略は、5 年ごとに見直しが行われることとなっており、2023 年 7 月、〈表 1〉に示すとおり改訂された。

〈表 1〉 2023 IMO GHG 削減戦略（要点）

| 期 限 | 達 成 目 標 | GHG 排出ゼロ達成のための削減目安 |
|---------|---|--------------------------|
| 2030 年 | ゼロエミッション燃料等使用割合 5~10% 単位輸送量あたり CO ₂ 排出 40%削減（2008 年比） | GHG 排出 20~30%削減（2008 年比） |
| 2040 年 | —— | GHG 排出 70~80%削減（2008 年比） |
| 2050 年頃 | GHG 排出ゼロ（ネットゼロ） | —— |

国際海運における船舶からの GHG 削減対策として、2013 年から新造船の燃費性能が規制（EEDI 規制）されてきたが、EEDI 規制の対象とならない既存船に対する燃費改善対策として、2021 年、IMO において、既存船の燃費規制（EEXI 規制）と燃費実績の格付け制度（CII 評価）の導入のための海洋汚染防止条約（MARPOL 条約）の改正案が採択され、2023 年 1 月 1 日から適用が開始された。

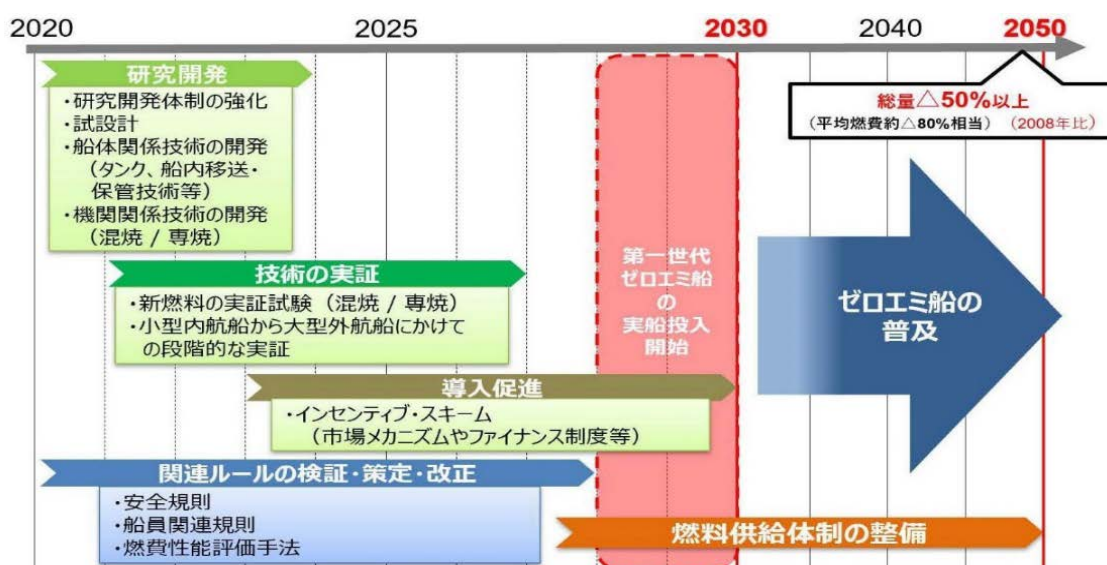
2 削減目標を巡る国内の動き

(1) 国際海運の 2050 年 GHG ネットゼロへの挑戦

脱炭素化に向けた動きが世界的に勢いを増すなか、2020 年 10 月、内閣総理大臣が所信表明演説で、「2050 年カーボンニュートラル」の実現を目指すことを表明した。そして、2021 年 10 月、日本船主協会は、日本の海運業界として「2050 年 GHG ネットゼロへ挑戦する」ことを表明²⁾するとともに、国土交通省も、「日本は、国際海事機関（IMO）に、2050 年カーボンニュートラルの目標を提案する。」旨発表した³⁾。そして、2021 年には、我が国は米国、英国等と共同で、IMO の GHG 削減戦略について、2050 年までに GHG 排出を全体としてゼロとすること（2050 年カーボンニュートラル）を新たな目標とすることを提案し、2023 年 7 月 IMO において、2050 年頃までに GHG 排出ゼロ（ネットゼロ）とすることなどを目標とする削減戦略の改訂版が採択されるなど、GHG 排出削減に向けたイニシアティブが強まっている。

我が国の国際海運においては、すでに LNG 燃料船の就航が拡大しているほか、硬翼帆式推進装置を搭載した大型ばら積み船が就航するなど、GHG ネットゼロに向けた取組みが進められている。国際海運のカーボンニュートラルを実現していくためには、既存の重油からゼロエミッション燃料である水素、アンモニア等への燃料転換が不可欠であり、2018 年に産学官公の連携により設立された「国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト」において、2020 年 3 月、排出削減に向けたシナリオとして「LNG→カーボンリサイクルメタン移行」、「水素・アンモニア燃料拡大」の二つが示されるとともに、ゼロエミッシ

ヨン船（2008年比で90～100%の効率改善を達成する船舶）の実現に向けたロードマップが示されている。ここでは2028～2030年の期間がゼロエミッション船の投入開始時期とされ、それに向けて研究開発、技術の実証等が順次進められるとともに、ゼロエミッション船の建造・運航に関連する制度の整備も進められている。2030年以降は、ゼロエミッション船の普及の段階となることが想定されるが、これに対する陸上における代替燃料の供給体制の整備も重要である。（【図2参照】）⁴⁾



出典：国土交通省資料「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」より
【図2】ゼロエミッション船の実現に向けたロードマップの概略

(2) 内航カーボンニュートラルの推進

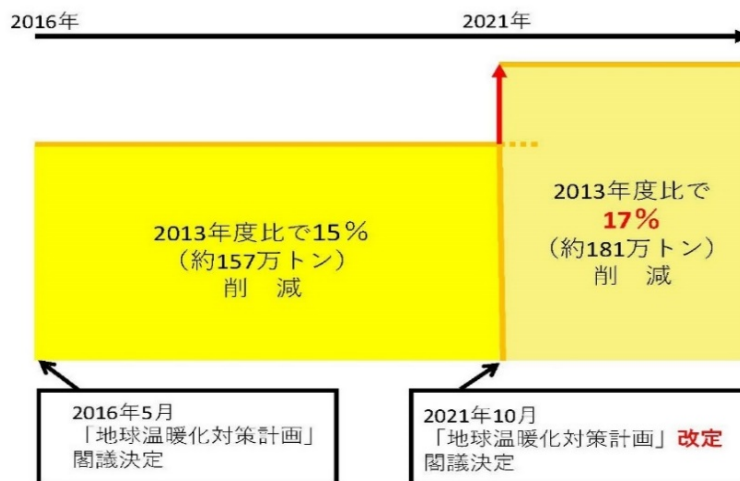
2015年の第21回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において採択されたパリ協定を踏まえ、2016年5月に、地球温暖化対策計画が閣議決定された。ここでは、運輸部門全体として2030年度に2013年度比27%の二酸化炭素（CO₂）排出削減の目標が設定されたことを受け、内航海運として2030年度で2013年度（約1,083万トン）比15%（約157万トン）のCO₂排出削減の目標が設定されていた。

2020年10月の内閣総理大臣所信表明演説で「2050年カーボンニュートラル」の実現を目指すことが表明され、あらゆる分野で、これまで以上にCO₂削減に向けた取組みを強化、加速する必要性が高まっていることなどを受け、2021年4月、国土交通省に「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」が設置された。その後、2021年末、そのとりまとめが公表された⁵⁾。

2021年10月、地球温暖化対策計画が改訂され、運輸部門全体で2030年度のCO₂排出削減目標が2013年度比で46%削減に引き上げられたことを受け、内航海運のCO₂削減目標も2030年度で2013年度（約1,083万トン）比17%（約181万トン）の削減に引き上げられている。（【図3】参照）

内航海運の省エネ・省CO₂に向けた取組みについては、これまでも造船所や船用メーカ

ーが独自に省エネ船型や高効率エンジンなどの省エネ・省 CO₂ 設備や船舶を開発し、それらを事業者が導入するとともに、省エネ・省 CO₂ に資する運航を行い、また、国土交通省により、関係省庁とも連携して、事業者の取組みを促す様々な施策が実施されるなどした結果、2013 年度から 2019 年度までで約 45 万トンの CO₂ 排出削減を達成してきたが、さらなる排出削減に向けての取組みが必要となっている。「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」のとりまとめでは、地球温暖化対策計画



【図3】内航海運の2030 年度における CO₂ 排出削減目標の推移

に掲げられた 2030 年度の CO₂ 排出削減目標の達成と我が国の 2050 年カーボンニュートラルへの貢献の二つを達成するため、「船舶におけるさらなる省エネの追求」と「内航海運への代替燃料の活用等に向けた先進的な取組みの支援」を二つの柱として取り組んでいくことが重要であるとして、取り組むべき施策の方向性がまとめられており、これに基づき、内航海運の低・脱炭素化に向けた取組みが進められている。

① 2030 年度目標達成のための船舶におけるさらなる省エネの追求

「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」のとりまとめにおいて、2030 年度の CO₂ 排出削減目標達成のための当面の CO₂ 排出削減対策として、新造船における「連携型省エネ船」の開発・普及、既存船におけるバイオ燃料の活用及び運航効率の一層の改善並びに省エネ・省 CO₂ の「見える化」の推進が掲げられている。

「連携型省エネ船」とは、船のハードによる省エネと、荷主等との連携や、陸上・港湾における新たなハードとソフトの技術や手法とを組み合わせ、さらなる省エネ・省 CO₂ を実現する内航船である。具体的には省エネに最適な標準船型の開発やエンジンの一層の効率化など、現在の省エネ技術をさらに高度化することに加え、エンジンや発電機の一部をバッテリーなどに変更するハイブリッド推進化による燃料消費量の削減、自動運航・遠隔制御技術や共通デジタルプラットフォームなどを活用した運航支援設備の導入による運航の最適化、集中荷役遠隔システム等の導入による荷役や離着岸時間の短縮や船員の作業低減、自動離着岸設備などの荷役・離着岸設備の自動化・電動化、陸電受電設備や大容量蓄電池などによる停泊中の発電機の停止など、荷主、陸上、港湾における取組み等と連携した新たな技術・手法を組み合わせるさらなる省エネ・省 CO₂ の実現を目指すものである。

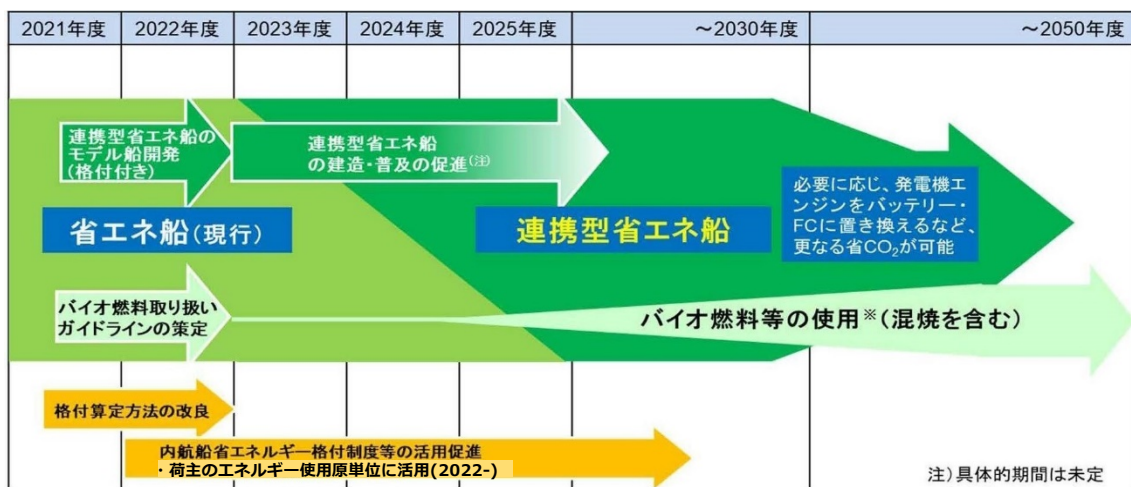
国土交通省では、事業者が連携型省エネ船を導入しやすくなることを目的に、連携型省

エネ船のモデル船を開発することとしており、連携型省エネ船のコンセプトの検討と代表的なモデル船の開発を行うため、2022年6月、「連携型省エネ船開発・普及に向けた検討会」を立ち上げた。2023年7月、一般貨物船、タンカー、749GTセメント船、5,000GTセメント船、RORO船、長距離フェリー、中小型旅客船を対象船種とした連携型省エネ船のコンセプトがとりまとめられ公表された⁶⁾。2023年度以降に建造・導入が図られることを念頭に、連携型省エネ船の開発・普及に向けた取組みが続けられている。

一方で、現在使用しているディーゼル機関をそのまま又は小規模な改造により使用できることから、バイオ燃料が既存船からのCO₂排出削減に向けた取組みのひとつとして期待されている。国土交通省では、2022年7月「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン策定検討会」を立ち上げ、安全かつ円滑にバイオ燃料を取り扱うことを可能とするガイドラインの策定に向けた検討が行われ、2023年3月「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン」が公表された⁷⁾。

また、既存船の省エネ・省CO₂対策として、運航効率の一層の改善を目指すことが欠かせない要素である。このため、輸送の需要に対する効率的な配船や気象・海象の影響による遅延等の航海情報を配船計画にフィードバックしてフリート全体で配船や航海計画を最適化するための共通デジタルプラットフォームの導入、荷役・離着岸設備の電動化・自動化による荷役・離着岸時間の短縮等、運航効率の一層の改善の取組みが進められている。

これらの2030年度目標達成のためにさらなる省エネ追求の取組みを行っていく上で、荷主・オペレーター・船主・造船所等の関係者の連携を進めることが重要である。これらの関係者が自社の省エネ・省CO₂の取組みを対外的にアピールできる手段として活用できるよう、内航船の省エネ・省CO₂の効果を「見える化」し、評価する「内航船省エネルギー格付制度」の運用が行われており、2023年12月末までに170隻に格付が付与された。国土交通省では本制度の一層の普及に取り組むなど、内航船に対して省エネ・省CO₂効果の「見える化」の取組みが推進されている。（【図4】参照⁵⁾）



※供給量や経済合理性等の条件も使用拡大に大きく影響

出典：国土交通省資料「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会とりまとめ」より

【図4】連携型省エネ船等のロードマップ

② 2050年に向けた代替燃料の活用等先進的な取組みへの支援

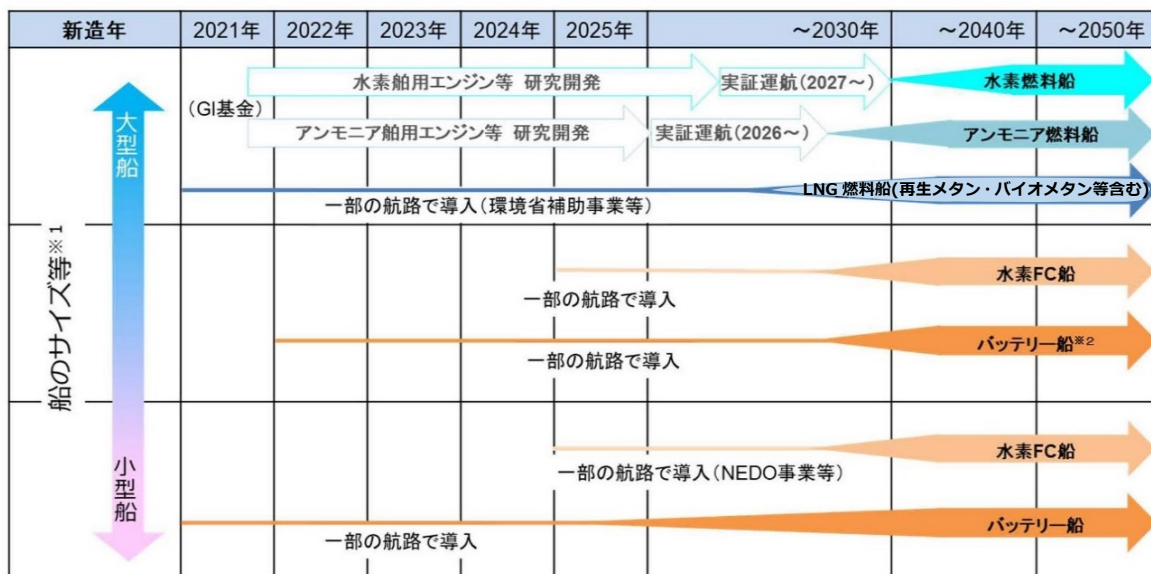
地球温暖化対策計画に掲げられた2030年度のCO₂排出削減目標の達成のため、当面の取組みとして「連携型省エネ船」の開発・普及等の船舶におけるさらなる省エネの追求が重要であるが、それと同時に、我が国の2050年カーボンニュートラルへの貢献に向けて、代替燃料の活用等に向けた先進的な取組みについての支援を行っていく必要もある。

このため、「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」のとりまとめでは、2050年に向けた先進的な取組みの支援として、LNG燃料船、水素FC（燃料電池）船、バッテリー船等の実証・導入支援、水素燃料船・アンモニア燃料船等に関する技術開発支援及びガス燃料船の安全ガイドライン策定などの環境整備が掲げられている。

LNG燃料船、水素FC（燃料電池）船、バッテリー船等の低・脱炭素化船については、内航船においても意欲的な事業者によって実証的導入が始まっている。後述の「5 国内におけるカーボンニュートラル推進の取組事例」（P.21）でも紹介するように、すでに就航し活躍している船舶もある。国土交通省では、関係省庁とも連携して、これらの低・脱炭素化船の建造を支援する事業を行っており、2030年度以降、技術の成熟やコストダウン、燃料供給インフラの整備等が進むことにより、導入の拡大が想定されるところである。

水素燃料船やアンモニア燃料船は、2020年代後半以降から外航船を中心に順次導入されることが想定されるが、一部の大型内航船においても利用が可能と考えられている。これらの次世代船舶のエンジン、燃料タンク・燃料供給システム等の開発・実証を着実に実施していくため、グリーンイノベーション基金事業「次世代船舶の開発」プロジェクトの活用等の支援が行われている。

また、ガス燃料船の普及のための環境整備として、水素FC（燃料電池）船に関して、安全を確保しつつ設計の自由度を向上させるなどの改訂が燃料電池船安全ガイドラインに加えられるなど、ガス燃料船の安全ガイドラインの整備も推進されている。（【図5】参照⁵⁾）



※1：船種、航路等により適用可能性は大きく異なる

※2：航路が比較的短距離の場合に適用可能

出典：国土交通省資料「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会とりまとめ」より

【図5】代替燃料の活用等、先進的技術の適用可能性

3 GHG 排出削減の技術

2030 年及び 2050 年の温室効果ガス（GHG）削減目標達成のため、従来の石油に代わる燃料（代替燃料）の使用や、バッテリー推進、風力の利用など、様々な技術の開発が進められており、例えば、社会実装が進む LNG 燃料船に、船長、機関長、機関士等、燃料取扱業務の管理者として乗り組む船員には危険物等取扱責任者（低引火点燃料）の資格の取得が求められるなど、GHG 削減の技術等に関する知識・技能を持つ必要が増している。

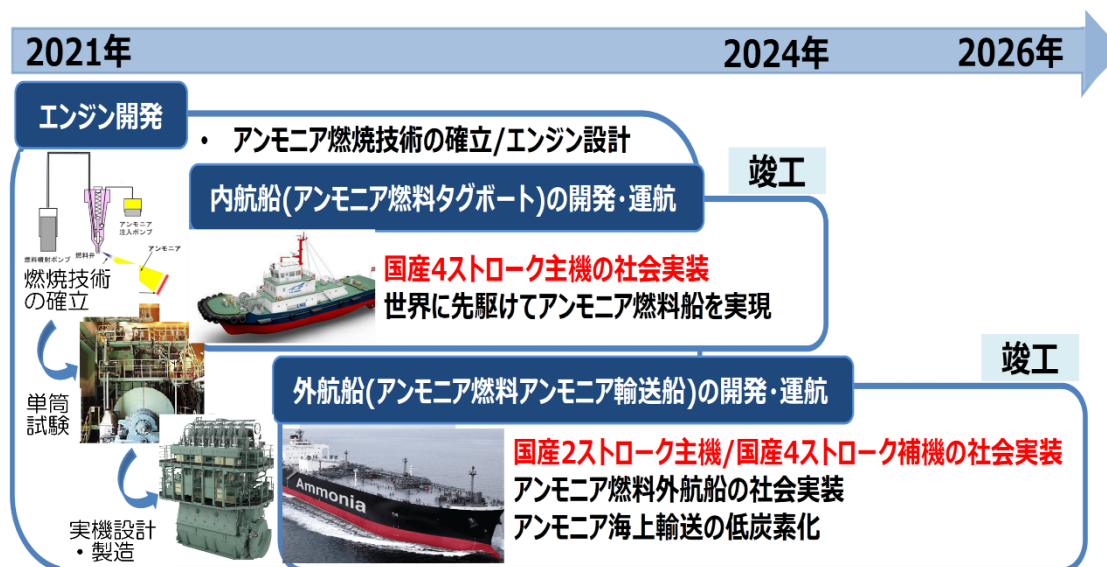
主な技術開発の GHG 削減効果や開発の状況等の特徴について、以下の〈表 2-①～③〉及び〈表 3〉に、代替燃料の使用等船舶の動力源に関する技術と代替燃料以外の技術に分け、主だったものをまとめた。

〈表 2-①〉船舶の動力源に関する GHG 削減技術の特徴（その 1）

| | LNG 燃料船 | LPG 燃料船 | バイオ燃料船 (バイオディーゼル) |
|--------|--|--|--|
| 削減効果 | ○ 従来の石油燃料に比べて約 25% ⁸⁾ の二酸化炭素削減効果がある。 | ○ 従来の石油燃料に比べて 16% ⁹⁾ 前後の二酸化炭素削減効果がある。 | ○ 運航時、二酸化炭素を発生するが、燃料の原料となる植物がその成長過程で二酸化炭素を吸収しているのでカーボンニュートラルとみなされる。 |
| 開発状況等 | ○ タグボートや大型船にすでに導入されている。 ○ メタンスリップ（LNG 燃料中のメタンの一部が燃焼せずにメタンとして大気に排気される現象。メタンは二酸化炭素の 28 倍の温室効果がある。）の削減技術の開発も進められている。 ○ 一部の地域で、バンカリング船が導入され実際のバンカリングが始まっている。 | ○ LPG 運搬船として導入されているほか、国内造船所が日本海事協会から LPG 燃料推進の大型ばら積み貨物船の設計基本承認を取得 ¹⁰⁾ するなど、一般商船への導入が進む可能性もある。 | ○ タグボート、観光船などの小型船をはじめ大型船でも試験航行が行われている。 ○ ディーゼル機関をはじめとする既存の設備を使用できる。 |
| 課題、その他 | ○ 石油燃料とは異なるバンカリング技術や燃料供給システムの運用が存在するため、取扱者の教育が必要である。 ○ GHG ゼロエミッション化へのつなぎとして利用拡大が予想される。 ○ 将来、カーボンリサイクルメタン（回収された二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素を反応させて合成されるメタン）の利用に移行していく可能性がある。 ○ LNG 燃料の供給体制が広がりがつつある。 | ○ 石油燃料とは異なるバンカリング技術や燃料供給システムの運用が存在するため、取扱者の教育が必要である。 ○ GHG ゼロエミッション化へのつなぎとしての利用拡大の可能性はある。 | ○ 船舶燃料としての安定供給（品質、量等）の確保が課題の一つ。 |

〈表 2-②〉船舶の動力源に関する GHG 削減技術の特徴（その 2）

| | メタノール燃料船 | アンモニア燃料船 |
|--------|---|--|
| 削減効果 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 従来のメタノール燃料は、石油燃料に比べて 10%⁹⁾前後の二酸化炭素削減効果がある。 ○ バイオメタノールは、運航時、二酸化炭素を発生するが、燃料の原料となる植物が、その成長過程で二酸化炭素を吸収しているためカーボンニュートラルとみなされる。 ○ 合成メタノール（回収された二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素を合成させて生成されるメタノール）は、船上において、エンジンの燃焼時に排出される二酸化炭素は、回収された二酸化炭素を由来とするため、燃料として再利用され追加的に新たな二酸化炭素が排出されるわけではない。 | <ul style="list-style-type: none"> ○ アンモニア燃料そのものは燃焼させても二酸化炭素を発生しない。 |
| 開発状況等 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 従来のメタノールの燃料としての使用は、メタノール運搬船に導入されている。 ○ 海外の大手海運会社がバイオメタノール燃料・合成メタノール燃料の使用を前提に大型コンテナ船の建造を大量発注している¹¹⁾。 | <ul style="list-style-type: none"> ○ アンモニア燃焼エンジンを含めて国内外のメーカーが開発中で、タグボートやアンモニア燃料焚きのアンモニア輸送船の設計が進められるなどしている。（【図 6】参照）¹²⁾ |
| 課題、その他 | <ul style="list-style-type: none"> ○ バイオメタノール燃料船・合成メタノール燃料船の普及のためには、バイオメタノール・合成メタノールの大幅な生産・供給体制の増強が必要である。 | <ul style="list-style-type: none"> ○ アンモニアの燃焼によって発生する亜酸化窒素（N_2O:二酸化炭素の 265 倍の温室効果がある。）への対策が必要である。 ○ バンカリング技術の開発が必要である。 ○ アンモニアは臭気と毒性があり適切な取扱いを要する。 ○ 石油燃焼とは異なるバンカリング技術や燃料供給システムの運用が存在するため、取扱者の教育が必要である。 |



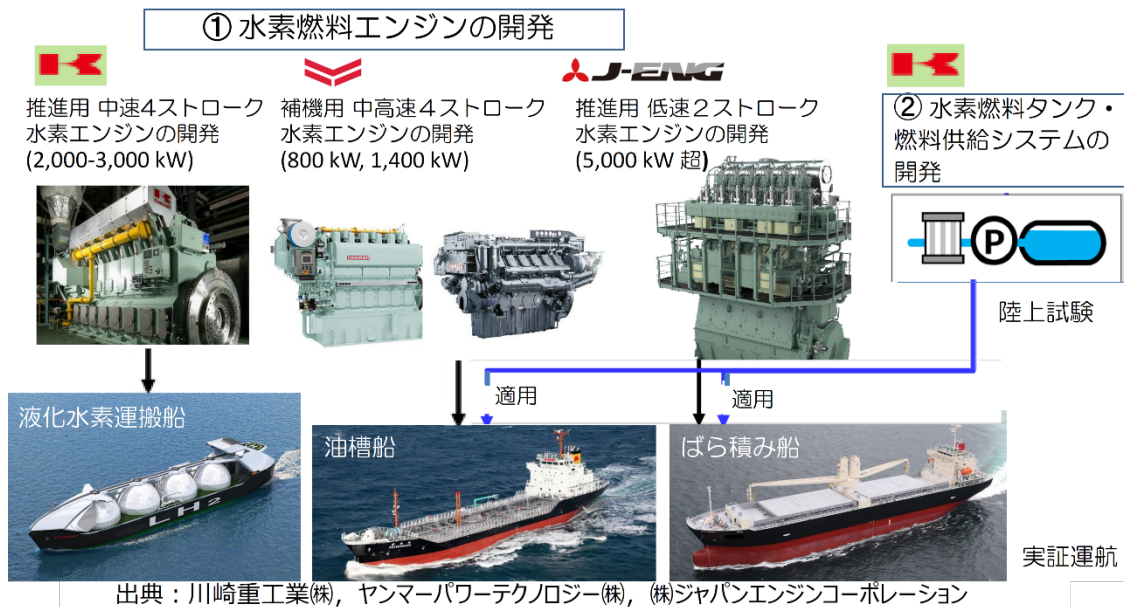
出典：日本郵船(株)、(株)ジャパンエンジンコーポレーション、(株)IHI原動機、日本シッパード(株)

出典：国土交通省 HP「国際海運の 2050 年カーボンニュートラル達成に向けて」
(2022 年 3 月国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト) より

【図 6】アンモニア燃料船の開発・運航の流れ

〈表 2-③〉 船舶の動力源に関する GHG 削減技術の特徴（その 3）

| | 水素燃料船 | 水素燃料電池船 | 電気推進船 (EV 船：バッテリー船) |
|--------|---|---|---|
| 削減効果 | ○ 水素燃料そのものは温室効果ガスを発生しない。 | ○ 温室効果ガスを発生しない。 | ○ 温室効果ガスを発生しない。 |
| 開発状況等 | ○ 水素焚エンジンを含めて国内外のメーカーが開発に取り組んでいる。（【図 7】参照） ¹²⁾ ○ 国内で小型外航液化水素運搬船と水素荷役施設のパイロットプラントが建造されサプライチェーン構築のための実証試験が行われている。 | ○ 小型の観光船、プレジャーボートなど中小型船の開発・実証試験が行われている。 （なお、海外ではアンモニア燃料電池船の開発が行われている国もある。） | ○ リチウムイオン電池を利用した中型内航タンカー、小型フェリーなど中小型船ですでに導入されている |
| 課題、その他 | ○ 水素は熱量当たりの体積がかさばり（液化状態で石油の約 4.5 倍）、容積効率に優れるタンクの開発が必要である。自然気化ガス（BOG）対策も必要である。 ○ バンカリング技術の開発が必要である。 ○ 石油焚船とは異なるバンカリング技術や燃料供給システムの運用が存在するため、取扱者の教育が必要である。 | ○ 燃料タンクや出力の制約から短距離・中小型船での利用に適する。 ○ 低振動・低騒音である。 | ○ バッテリー容量の制約から中短距離・中小型船での利用に適する。 ○ 低振動・低騒音である。 |



出典：国土交通省 HP「国際海運の 2050 年カーボンニュートラル達成に向けて」（2022 年 3 月国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト）より引用（一部編集）

【図 7】 船用水素エンジン及び船用水素燃料タンク・燃料供給システムの開発

〈表3〉代替燃料以外のGHG削減技術の特徴

| | |
|------------------------------------|---|
| 風力推進 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 既存燃料船での硬翼帆やカイトを利用した推進力に寄与する技術の開発が進められている。（【図8】参照） ○ 寄与の程度は自然条件による。 |
| 船上CO ₂ 回収装置 （【図9】参照） | <ul style="list-style-type: none"> ○ 排ガス中の二酸化炭素を8割が回収可能である。 ○ 船上での試験が行われている。 ○ 回収装置の小型化、回収後の二酸化炭素の受入体制の構築が必要である等の課題がある。 |
| 省エネ技術 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 空気潤滑（送風機によって船底に微細な気泡の層を作って船体抵抗を軽減する技術）、船首尾形状変更、プロペラ付加物（二重反転プロペラ、プロペラボスのフィン付キャップ等）、舵付加物（舵へのフィンの装着等）、排熱回収発電装置、防汚塗料、停泊中の陸上電源の活用などの省エネ技術を導入し、一層の効率改善が進められている。 |

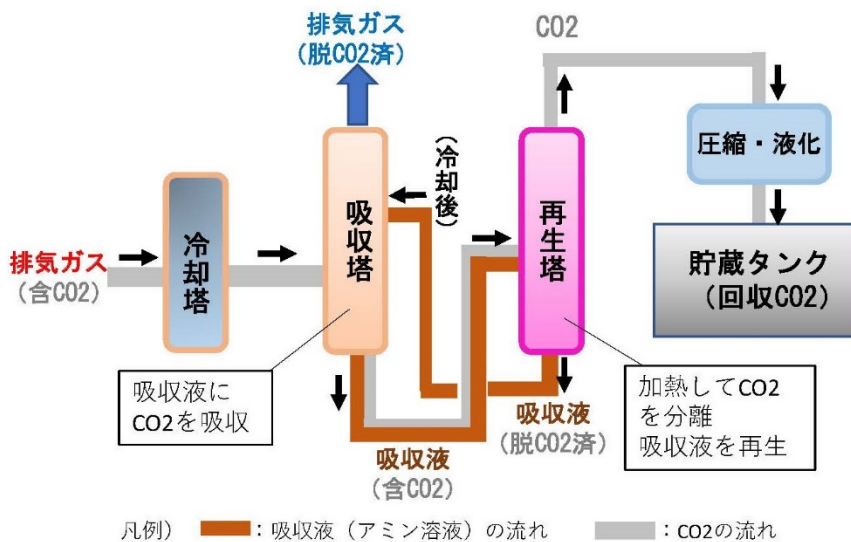


出典：（株）商船三井・東北電力（株）提供
硬翼帆推進装置搭載船「松風丸」



出典：川崎汽船（株）提供
自動カイトシステム搭載船イメージ図

【図8】風力推進装置搭載船



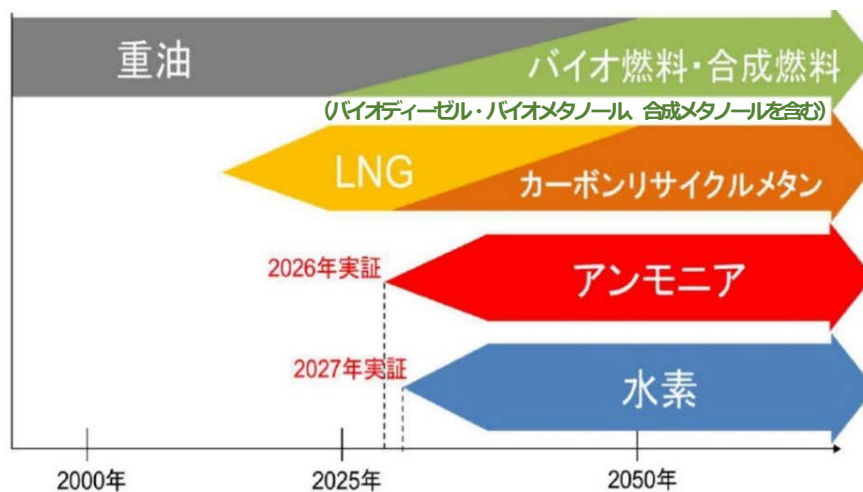
【図9】CO₂回収装置のしくみ（アミン吸収法：概念図）

4 代替燃料

国際海運におけるカーボンニュートラルを実現していくため、省エネ技術の追求とともに、既存の石油燃料から、低カーボン燃料として使用が進む LNG、カーボンニュートラル燃料として実証段階にあるバイオ燃料、カーボンニュートラルな燃料であると認められる可能性もあるカーボンリサイクルメタンや合成メタノール、さらにはゼロエミッション燃料といった代替燃料への転換が予想される。

ゼロエミッションであるアンモニア燃料船については 2026 年から、水素燃料船については 2027 年からの実証運航開始に向け、技術や制度などの開発・検討といった取組みが行われている。

国際海運での船用燃料の転換のイメージは【図 10】¹³⁾のとおりである。



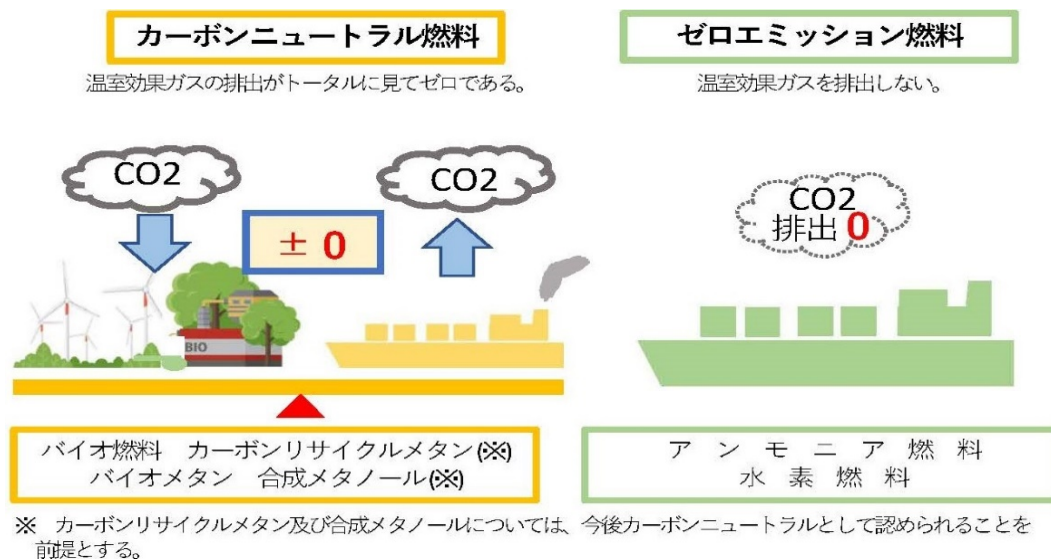
出典：国土交通省資料「国際海運 2050 年カーボンニュートラルに向けた取組」より引用
(一部編集)

【図 10】 船用燃料転換の模式図

代替燃料のうち、LNG は、将来、カーボンリサイクルメタン、さらには、ゼロエミッション燃料に移行していくことが予想される。また、LPG もゼロエミッション燃料へのつなぎの役割を担う可能性があり、これらはブリッジ燃料と呼ばれることもある。これに対して、バイオ燃料であるバイオディーゼルやバイオメタノールは原料である植物が大気中の二酸化炭素を吸収して生育するため、燃焼させて二酸化炭素を排出しても、トータルで見ると温室効果ガスの排出がゼロとみなされ、カーボンニュートラル燃料と呼ばれる。また、回収された二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素から生成されるカーボンリサイクルメタンと合成メタノールは、今後カーボンニュートラルな燃料として認められる可能性もある。水素燃料とアンモニア燃料は燃焼時に温室効果ガスである二酸化炭素を発生しないことから、ゼロエミッション燃料と呼ばれる（【図 11】参照）。

船舶燃料として活用されていく可能性のあるカーボンニュートラル燃料及びゼロエミッ

シオン燃料を〈表 4〉に示す。



【図 11】カーボンニュートラル燃料とゼロエミッション燃料の概念図

〈表 4〉船舶燃料として活用される可能性のあるカーボンニュートラル燃料及びゼロエミッション燃料

| | バイオ燃料(バイオディーゼル) | カーボンリサイクルメタン | バイオメタノール・合成メタノール | アンモニア | 水素 |
|-------------|-----------------|---------------------|------------------|------------------------|------------------|
| 分類 | カーボンニュートラル燃料 | カーボンニュートラル燃料 | カーボンニュートラル燃料 | ゼロエミッション燃料 | ゼロエミッション燃料 |
| 二酸化炭素の排出 | ゼロとみなされる | ゼロとみなされる(※) | ゼロとみなされる(※) | ゼロ | ゼロ |
| 温室効果ガスの副生物 | なし | メタン(二酸化炭素の28倍の温室効果) | なし | 亜酸化窒素(二酸化炭素の265倍の温室効果) | なし |
| 貯蔵形態(液化状態) | 常温・常圧 | 極低温又は加圧(沸点約-162℃) | 常温・常圧 | 低温又は加圧(沸点-33℃) | 極低温又は加圧(沸点-253℃) |
| 適合機関 | 既存石油焚船の機関 | 既存LNG船の機関 | 既存メタノール船の機関 | 開発中 | 開発中 |
| 船上貯蔵・供給システム | 既存石油焚船のシステム | 既存LNG船のシステム | 既存メタノール船のシステム | 開発中 | 開発中 |
| バンカリング技術 | 既存石油焚船のものが利用可能 | 既存LNG船のものが利用可能 | 既存メタノール船のものが利用可能 | 開発中 | 開発中 |
| バンカリング設備 | 要充実 | 既存LNG船のものが利用可能 | 要整備 | 開発中 | 開発中 |

※ カーボンリサイクルメタン及び合成メタノールについては、今後カーボンニュートラルとして認められることを前提とする。

(1) カーボンニュートラル燃料・ゼロエミッション燃料の種類

船舶燃料として活用される可能性のあるカーボンニュートラル燃料としてバイオ燃料及びバイオメタノール、今後カーボンニュートラルな燃料として認められる可能性のあるカーボンリサイクルメタン及び合成メタノール、また、ゼロエミッション燃料としてアンモニア及び水素が挙げられる。各燃料の概要は以下のとおりである。

① バイオ燃料

バイオ燃料は、原料である植物が大気中の二酸化炭素を吸収して生育するため、燃焼させて二酸化炭素を排出しても、トータルで見ると温室効果ガスの排出がゼロとみなされる。

ディーゼルエンジン用のバイオ燃料を、一般に、バイオディーゼルと言う。ディーゼルエンジン用のバイオ燃料としては、抽出した純植物油である粗バイオ燃料（SVO）、植物油とメタノールを反応させて生成される脂肪酸メチルエステル（FAME）、植物油を水素化処理した水素化植物油（HVO）の3種類の使用が試みられている。タグボート、観光船などの小型船をはじめ大型船でも試験航行が行われているほか、2023年4月、国内でも Ship-to-Ship 方式でのバンカリング（【図 12】参照）¹³⁾による商用化ベースでの供給も一部で開始された¹⁴⁾。

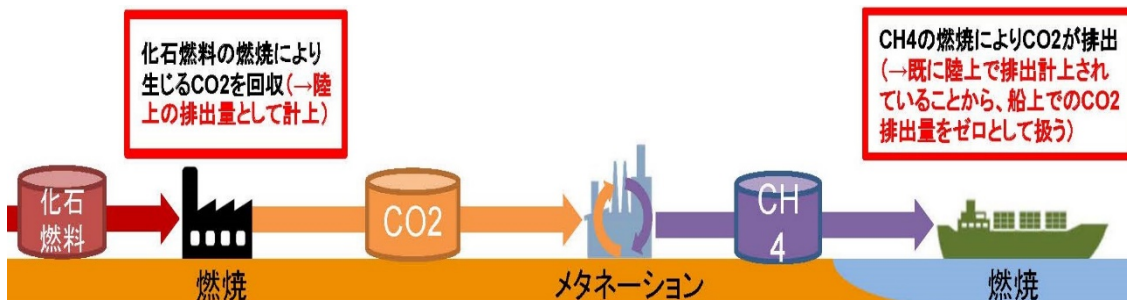


出典：国土交通省資料「国際海運 2050 年カーボンニュートラルに向けた取組」より引用（一部編集）

【図 12】船舶への燃料供給（バンカリング）の形態

② カーボンリサイクルメタン

カーボンリサイクルメタンは、回収された二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素を反応させて生成（メタネーション）されるメタンで、今後カーボンニュートラルな燃料として認められる可能性もある。既存の LNG 燃料船での利用が可能である。二酸化炭素の分離回収やメタネーション技術の開発・実証のほか、船上での二酸化炭素の排出をゼロとして扱うことの検討（【図 13】参照）¹³⁾が進められるなどしている。



出典：国土交通省 HP「国際海運の 2050 年カーボンニュートラル達成に向けた取組」より引用

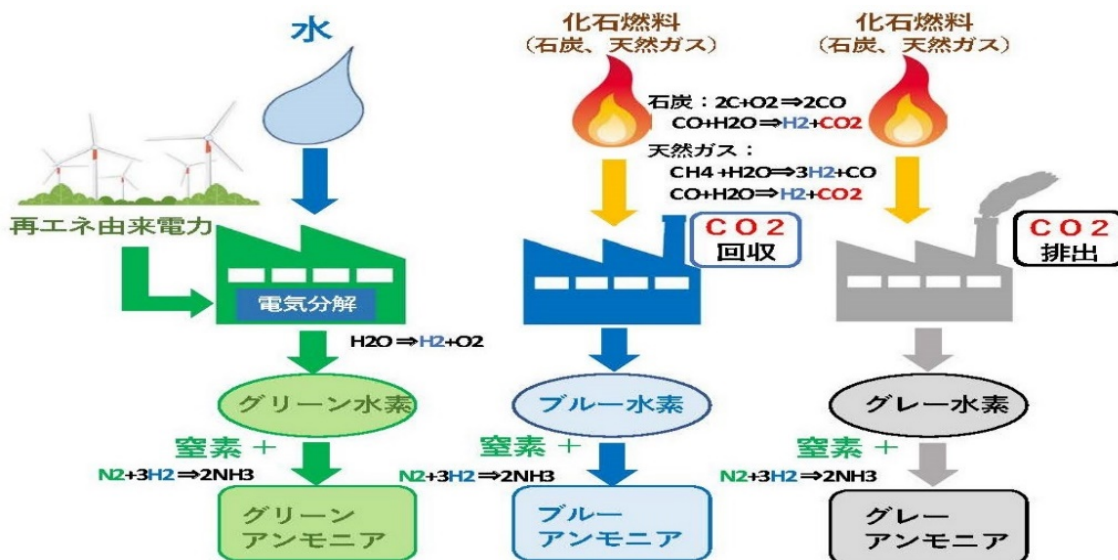
【図 13】船上での CO₂ 排出をゼロとして扱うことの検討参考図（一部編集）

③ バイオメタノール・合成メタノール

従来のメタノール燃料を燃焼させた際の二酸化炭素の削減効果は石油燃料に比べて10%前後の削減に過ぎないが、バイオメタノールは、原料である植物が大気中の二酸化炭素を吸収して生育するため、燃焼させて二酸化炭素を排出しても、トータルで見ると温室効果ガスの排出がゼロとみなされる。また、回収された二酸化炭素と再生可能エネルギー由来の水素から生成される合成メタノールも、今後カーボンニュートラルな燃料と認められる可能性もある。海外の大手海運会社がバイオメタノール燃料と合成メタノール燃料の使用を前提にした大型コンテナ船の建造を大量発注¹¹⁾したことがきっかけとなっている。

④ アンモニア燃料

アンモニアには、水を再生利用可能エネルギー由来の電力で電気分解して生成された水素（グリーン水素）と空気から分離された窒素を合成して生産されるグリーンアンモニア、化石燃料を分解する生成過程で生じる二酸化炭素を回収して作られる水素（ブルー水素）と空気から分離された窒素を合成して生産されるブルーアンモニア、化石燃料を分解する生成過程で生じる二酸化炭素を回収せずに作られる水素（グレー水素）と窒素を合成して生産されるグレーアンモニアがある（【図 14】参照）。アンモニアは、現在、肥料や工業用で多く利用されているが、生産過程で二酸化炭素を排出するグレーアンモニアが主流である。将来的にブルーアンモニア、グリーンアンモニアへ移行させることが必要である。温室効果ガス排出の削減効果の高いアンモニア燃料を活用していくため、適合するエンジン等の設備やバンカリング技術などについて研究・開発が進められるとともに、必要な制度やインフラの整備などが進められていくこととなる。



【図14】「グリーン」アンモニア（水素）・「ブルー」アンモニア（水素）・「グレー」アンモニア（水素）

⑤ 水素燃料

水素には、水を再生利用可能エネルギー由来の電力で電気分解して生産されるグリーン水素、化石燃料を分解する生成過程で生じる二酸化炭素を回収して生産されるブルー水素、

化石燃料を分解する生成過程で生じる二酸化炭素を回収せずに生産されるグレー水素がある（【図 14】参照）。温室効果ガス排出の削減効果の高い水素燃料を活用していくため、適合するエンジン等の設備やバンカリング技術などについて研究・開発が進められるとともに、必要な制度やインフラの整備などが進められていくこととなる。

(2) 温室効果ガスの削減効果等

カーボンニュートラル燃料であるバイオ燃料及びバイオメタノール、今後カーボンニュートラル燃料と認められる可能性もあるカーボンリサイクルメタン及び合成メタノール、ゼロエミッション燃料であるアンモニア及び水素の各燃料について、「温室効果ガスの削減効果」、「サプライチェーンの状況」及び「物性」に関する特徴を〈表 5〉〈表 6〉及び〈表 7〉に示す。

〈表 5〉「温室効果ガスの削減効果」に関する各燃料の特徴

| | |
|---------------------|--|
| バイオ燃料 (バイオディーゼル) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 原料である植物が大気中の二酸化炭素を吸収して生育するため、燃焼させて二酸化炭素を排出しても、トータルで見ると温室効果ガスの排出がゼロとみなされることから、IPCC ガイドライン（気候変動に関する政府間パネル国別温室効果インベントリガイドライン）ではカーボンニュートラル扱いである。 ○ 国際海事機関（IMO）においては、ライフサイクルにおけるバイオ燃料の二酸化炭素削減効果の評価手順を開発中であり、今後の動向を注視する必要がある。 |
| カーボンリサイクルメタン | <ul style="list-style-type: none"> ○ 船上において、エンジンの燃焼時に排出される二酸化炭素は、回収された二酸化炭素を由来とするため、燃料として再利用され追加的に新たな二酸化炭素が排出されるわけではない。 ○ 現在のところ、温室効果ガス排出量を推計する方法をまとめた IPCC ガイドラインに明示はないが、カーボンニュートラルと認められる可能性がある。 ○ メタンスリップ（燃料のメタンの一部が燃焼せずに大気に排気される現象。メタンは二酸化炭素の 28 倍の温室効果がある。）の監視・低減対策が必要である。 |
| バイオメタノール・合成メタノール | <ul style="list-style-type: none"> ○ バイオメタノールは、原料である植物が大気中の二酸化炭素を吸収して生育するため、燃焼させて二酸化炭素を排出しても、トータルで見ると温室効果ガスの排出がゼロとみなされることから、IPCC ガイドラインではカーボンニュートラル扱いである。 ○ 合成メタノールの場合は、船上において、エンジンの燃焼時に排出される二酸化炭素は、回収された二酸化炭素を由来とするため、燃料として再利用され追加的に新たな二酸化炭素が排出されるわけではない。 ○ 合成メタノールは、現在のところ、温室効果ガス排出量を推計する方法をまとめた IPCC ガイドラインに明示はないが、カーボンニュートラルと認められる可能性がある。 |
| アンモニア | <ul style="list-style-type: none"> ○ グリーンアンモニアは、生産から消費までのライフサイクルを通して二酸化炭素を発生しない。 ○ 生産過程で二酸化炭素の回収・貯留（CCS）が行われたブルーアンモニアは実質的に温室効果ガスの排出が極小となる。 ○ 燃焼によって発生する亜酸化窒素（N₂O：二酸化炭素の 265 倍の温室効果がある。）の監視・低減対策が必要である。 |
| 水素 | <ul style="list-style-type: none"> ○ グリーン水素は、生産から消費までのライフサイクルを通して二酸化炭素等の温室効果ガスを発生しない。 ○ 生産過程で二酸化炭素の回収・貯留（CCS）が行われたブルー水素は実質的に温室効果ガスの発生は極小となる。 ○ 水素は、アンモニアやカーボンリサイクルメタンなど他のゼロエミッション燃料やカーボンニュートラル燃料の代替燃料の製造に利用できる。 |

〈表6〉「サプライチェーンの状況」に関する各燃料の特徴

| | |
|-----------------------------|---|
| <p>バイオ燃料 (バイオディーゼル)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 原料となる植物には穀物類など食糧や飼料と競合するものもある。また、航空、自動車、事業用等様々な業種との競合もある。微細藻類、廃食油等を原料とする第二世代と呼ばれるバイオディーゼルの安定供給が必要である。 ○ バンカリングのインフラ及び技術は既存の石油焚船のものが利用できる。国内でも Ship-to-Ship 方式でのバンカリング（【図 12】参照）¹³⁾による供給が一部で開始された¹⁴⁾。 ○ 石油燃料よりも高価である。 |
| <p>カーボンリサイクルメタン</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ LNG のサプライチェーンを利用可能である。 ○ バンカリングのインフラ及び技術も LNG 燃料船のものを利用できる。 ○ 工場等からの二酸化炭素の分離・回収や、大規模なメタネーション技術の開発・実証が進められている。 ○ LNG よりも高価である。 |
| <p>バイオメタノール・合成メタノール</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 船舶燃料として安定した供給量を確保するためには、大幅な生産・供給体制の増強が必要である。 ○ 海外の大手海運会社がバイオメタノール・合成メタノール供給企業との協力関係の強化を図っている。¹⁵⁾ |
| <p>アンモニア</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ アンモニアは肥料の原料等としてすでに各国で生産されており運搬や貯蔵などの技術はできているが、船舶燃料として利用するためのインフラの整備が必要である。 ○ 船舶燃料としてのバンカリングの設備及び技術の整備が必要である。現在、我が国の企業も参画して、海外で Ship-to-Ship 方式でのバンカリング（【図 12】参照）¹³⁾を含む船舶向け燃料としてのサプライチェーンの研究が進められている¹⁶⁾。 ○ 液化水素に比べ安価である。 |
| <p>水素</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 水素は様々なエネルギー源から製造され、将来、様々な国から調達されて安定したサプライチェーン構築の可能性はある。 ○ バンカリングのインフラ及び技術の整備が必要である。国内で小型外航液化水素運搬船と水素荷役施設のパイロットプラントが建造され実証実験が行われている¹⁷⁾。 ○ 液化する場合、アンモニアに比べて生産コストが高い。 |

〈表 7〉「物性」に関する各燃料の特徴

| | |
|-----------------------------|--|
| <p>バイオ燃料 (バイオディーゼル)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 既存の石油焚エンジンに利用が可能である。 ○ FAME 使用時の窒素参加物 (NOx) 値は、石油燃料に比べて 10~20%増加する傾向がある。ただし、2022 年 6 月の第 78 回海洋環境保護委員会 (MEPC78) において、承認済の原動機取扱手引書での NOx 基幹部品、設定・運転値に変更がない場合、混合比率に関係なく、海洋汚染防止条約附属書 VI に定める「NOx 規制値を超えないこと」の要件は課されないなどの統一解釈が採択された。 ○ 特に FAME は時間経過による影響が起こりやすく、補油後早期に使い切る必要がある。 ○ 次のような特徴があり、温度管理、タンク内水分除去、配管等の点検・洗浄、酸化防止剤の使用等取扱いに注意が必要である。 <ul style="list-style-type: none"> * 原料の植物油脂に混入する微生物がタンク内の遊離水分中で増殖しやすい。 * 軽油に比較して低温流動性が低くなる特徴がある。 * 溶解性が強いいため、燃料切り替え時に配管等の堆積物が剥離しやすい。 * 保管が長くなるほど酸化劣化により有機酸やスラッジが生成されやすい。 ○ ゴムへの浸食性があり部材の耐油性に考慮する必要がある。¹⁸⁾ |
| <p>カーボンダイオキサイド</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 基本的な性質は LNG とほぼ同等であり既存 LNG 燃料船で利用可能である。液化状態での低温 (沸点約-162℃) 対策等も LNG 燃料船で確立されている。 |
| <p>バイオメタノール・合成メタノール</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 水素ほどではないが熱量当たりの体積がかさばり (重油の約 2.4 倍)、より大きな搭載スペースを確保するか、容積効率の優れたタンク等施設の対策が必要となる可能性がある。 ○ 常温・常圧で液体状態であり、LNG、アンモニア、水素に比べて貯蔵・管理がしやすい。 ○ 着火しやすいため火気の隔離措置が必要である。 ○ 毒性があり適切な取扱いが必要である。 |
| <p>アンモニア</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 水素ほどではないが熱量当たりの体積がかさばり (重油の約 2.7 倍)、より大きな搭載スペースを確保するか、容積効率の優れたタンク等施設の対策が必要となる可能性がある。 ○ 液化温度がさほど低くない (沸点-33℃) ため、液化しやすく貯蔵・管理がしやすい。 ○ 着火温度が高いうえ、難燃性であるため燃焼効率を向上させる技術が必要である。 ○ 金属への腐食性があり対策が必要である。 ○ 臭気と毒性があり適切な取扱いが必要である。 ○ アンモニアスリップ (排気ガスにアンモニアが残存し、外気に排出される現象のこと。) の監視・低減対策が必要である。 |
| <p>水素</p> | <ul style="list-style-type: none"> ○ 熱量当たりの体積がかさばり (重油の約 4.5 倍)、より大きな搭載スペースを確保するか、容積効率の優れたタンク等施設の対策が必要となる。 ○ 常温との温度差が大き (沸点-253℃)、気化しやすいため貯蔵システム等に高度な断熱が必要となる。 ○ 液化水素周囲の空気が液化し滴下するので貯蔵・供給システムの対策が必要である。また、供給ライン中の氷の発生を防止するための適切な取扱いが必要である。 ○ 分子量が小さく、低粘度なため透過性が強い。配管の接合部等貯蔵・供給システムの漏洩対策が必要となる。 ○ 燃焼速度が速いので機関の開発に当たって高度な燃焼制御技術が必要である。 ○ 着火しやすいため静電気を含む火気の隔離措置や十分な換気が必要である。 ○ 火炎は無色で肉眼ではほとんど見えないことから、火炎検知の対策が必要である。 ○ 耐水素脆性に優れた金属材料を使用する必要がある。 |

5 国内におけるカーボンニュートラル推進の取組事例

我が国では、2050年カーボンニュートラルに向けて、あらゆる分野において、これまで以上に省エネ・省CO₂に向けた取組みの強化が進められており、海運業界においても、すでに様々な取組みが行われている。それらの取組みのうち、すでに社会実装段階にある、または実証段階にあるカーボンニュートラル推進の取組事例の一部を紹介する。

(1) LNG燃料フェリー

2023年1月、国内初のLNG燃料フェリーが就航した。株式会社商船三井が、2019年三菱造船株式会社に発注し、建造されてきた2隻のうちの1隻で、株式会社商船三井さんふらわあが運航する大阪～別府航路に就航した。

同船は、国内フェリー初となるLNGとA重油それぞれを燃料として使用できる高性能デュアルフューエルエンジンを搭載し、二酸化炭素の排出量が約25%削減され、硫黄酸化物(SO_x)の排出はゼロ、窒素酸化物(NO_x)の排出も約80%削減されて優れた環境性能を有している。長さ199.9m、幅28.0m、総トン数1万7,114トン、航行速力22.5ノット、最大旅客定員数716人で、13mトラック約137台及び乗用車約100台の積載能力がある。大阪～別府航路で1997年から運航されてきた従来船に比べて、車両区画のトラック積載数を大幅に増やし(従来船は13m型トラック92台。)、ドライバーズルームの拡充を図るなど、モーダルシフト(トラックで行われている貨物輸送を、環境負荷の小さい船舶や鉄道の利用へと転換すること。)にも対応している。

この取組みは、「大阪～別府航路就航フェリーによる省エネ実証事業」として、国土交通省及び経済産業省が行う、2019年度「内航船の総合的な運航効率化措置実証事業」にも採択されている。



出典：(株)商船三井さんふらわあ 提供
就航を間近に大阪港に入港するLNG燃料フェリー「さんふらわあくれない」(2022年12月)

株式会社商船三井のフェリー事業では、さらに2隻の最新鋭のLNG燃料フェリーの建造を内海造船株式会社に発注している。LNG燃料に加え、ISHIN船型と呼ばれる船首部が丸みを帯びた流線形の形状として、船首・船側方向からの風圧を低減して風の流れをスムーズにするとともに斜め向かい風から受ける揚力を推進力として利用する船型や、STEP

と呼ばれる、船首喫水上部に左右一組の矩形型の小型構造物を取り付けて、航行する船舶の船首部の波を船体から剥離させることで船首部に当たる波の抵抗を低減し、船速の低下を抑え燃費を向上させる省エネ装置を採用するなどしている。従来船に比べ二酸化炭素の排出量を約 35%抑えることが可能とされている。2025 年の竣工が予定されており、株式会社商船三井さんふらわあが運航する大洗～苫小牧航路に就航する予定である。¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾

(2) 電気推進船 (EV 船 : バッテリー船) タンカー「あさひ」

2022 年 3 月、世界初となるバッテリー電気推進タンカー「あさひ」が就役した。「あさひ」は、株式会社 e5 ラボが企画した大容量リチウムイオン電池を動力源とする電気推進タンカーで、旭タンカー株式会社が興亜産業株式会社に建造を発注していた。長さ 62.0m、幅 10.3m、総トン数 492 トン、航行速力約 10 ノット、積載貨物の重油のタンク容量は 1,277m³で、給電ステーションのある川崎港を拠点に東京湾内で外航船に燃料補給を行うバンカリング船として活躍している。

川崎重工業株式会社が開発した内航船用大容量バッテリー推進システムを採用し、船内には大容量リチウムイオン電池（容量 3,480kWh）を搭載してバッテリーから供給される電力で推進装置であるアジマススラスタ及びサイドスラスタを駆動させるほか、甲板機器や船内電源といった船の運用に必要な全ての電力をバッテリーで賄うことができ、二酸化炭素を排出しないゼロエミッションな運用を実現している。



出典：旭タンカー（株）提供
竣工した電気推進タンカー「あさひ」（2022 年 3 月）

このような環境負荷の低減に加えて、「あさひ」では、従来のディーゼル船にあった騒音や振動等が低減されることで乗組員の労働環境が改善されているほか、ブリッジ内の機器類を集約し 1 人でも操船作業が可能な配置としたインテグレートブリッジシステムの導入、防爆タブレットを使用した遠隔操作が可能な自動荷役システムの搭載、乗組員同士のコミュニケーションの活発化を促進する居室配置や内装等居住区の環境整備といった優れた取組みが行われており、「乗組員の労働環境に配慮した次世代内航電気推進タンカー船「あさひ」就航」として国土交通省が行う 2022 年度の「船員安全・労働環境取組大賞（トリプルエス大賞）」の特別賞を受賞している。

2023 年 4 月には、井村造船株式会社において建造された 2 番船「あかり」が就役し、

「あさひ」とともに、川崎港を拠点としてバンカリング船として活躍している。²²⁾²³⁾²⁴⁾

(3) バイオ燃料を使用した実船試験

トヨフジ海運株式会社の自動車運搬船「とよふじ丸」（長さ 165m、幅 27.6m、総トン数 12,687 トン、速力約 21.0 ノット）において、2022 年 8 月 7 日から 9 月 3 日の間、中部～四国・九州及び東北・関東の港間で、バイオ燃料を使用した実船試験が行われた。国土交通省による内航カーボンニュートラルの推進に向けた調査の一環として行われたもので、低硫黄 C 重油とバイオ燃料（バイオディーゼル）の配合燃料を使用して、バイオ燃料の混燃を行う場合の燃焼性、混合安定性、部品腐食などの技術的課題の有無の把握を目的として実施された。²⁵⁾



出典：トヨフジ海運（株）提供

バイオ燃料は、現在使用しているディーゼル機関をそのまま又は小規模な改造を行うことで使用でき、二酸化炭素排出削減を図ることができることから、2021 年末に公表された「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」のとりまとめにおいて、既存船

バイオ燃料を使用した実船試験が行われた「とよふじ丸」

における省二酸化炭素対策の

ひとつとして「バイオ燃料の活用促進」が掲げられており、国土交通省では、2022 年 7 月「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン策定検討会」を立ち上げ、安全かつ円滑にバイオ燃料を取り扱うことを可能とするガイドラインの策定に向けた検討が行われた。

「とよふじ丸」での実船試験の結果は 2023 年 5 月に公表された「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン」の策定に活用された。

6 今後の展望

国際海運におけるカーボンニュートラル実現のためには、省エネ技術による一層の効率改善に加えて、カーボンニュートラルと認められることを前提にカーボンリサイクルメタンへの移行や、水素、アンモニアといったゼロエミッション燃料への転換が必要であり、カーボンリサイクルメタンに関する二酸化炭素の分離回収やメタネーション技術の開発が進められているほか、2026 年のアンモニア燃料船、2027 年の水素燃料船の実証運航を目指した技術開発が進められている。

技術の社会実装を進めていくためには安全対策も不可欠であるが、これまで、アンモニ

アンモニア燃料船・水素燃料船について、国際的に統一された基準はなかった。このため、国際海事機関（IMO）では、2022年9月の第8回貨物運送小委員会（CCC8）からアンモニア燃料船と水素燃料船の安全ガイドライン策定に向けた作業が開始され、2024年中の最終化に向けて検討が進められている。国内においても、国土交通省が、2024年1月、アンモニア燃料船への安全かつ円滑なバンカリングの実施に向けて必要な設備や条件の検討を行うため、「アンモニア燃料船への安全かつ円滑なバンカリングの実施に向けた検討委員会」を立ち上げ、2024年度中にガイドラインとして取りまとめが予定されている²⁶⁾。また、アンモニア燃料船・水素燃料船の運航を担う船員の能力確保も重要である。今後、国際基準の策定を含めて船員の能力要件や適切な教育訓練の在り方が検討されていくことになる予想される。

内航海運においても、高効率な船型や機関を採用した省エネ船等による環境負荷軽減に加えて、荷役や離着岸の効率化、陸電の利用など、荷主、陸上、港湾における取組等と連携した新たな技術・手法を組み合わせた連携型省エネ船の開発・普及や、既存船におけるバイオ燃料の利用、運航効率の一層の改善といった2030年度目標達成のためのさらなる省エネの追求が進むとともに、我が国の2050年カーボンニュートラルへの貢献に向けて、2030年度以降、技術の成熟やコストダウン、燃料供給インフラの整備等の条件が整った一部航路で、LNG燃料船、バッテリー船、水素FC（燃料電池）船等の低・脱炭素化船の導入が進むと予想される。また、将来、2020年代後半以降から外航船を中心に順次導入されることが想定されるアンモニア燃料船や水素燃料船は一部の内航船での利用の可能性もある。

おわりに

船舶からの温室効果ガス（GHG）排出の削減をめぐることは、これまでに船舶燃料としての使用実績がないアンモニア燃料や水素燃料の導入をはじめとして様々な技術の研究開発が進められている。それらは、今後、実証実験を経て社会実装に移っていくことになる。その際に欠くことのできないことのひとつは海運の現場に関わる運航者や船舶所有者、船員などの皆様に新しい技術等に対する理解を深めていただき、船舶からのGHG排出削減の流れに、混乱なく、順応していただくことである。低温や極低温で又は加圧して貯蔵するLNGや水素、アンモニアなどの燃料を取り扱うには、既存の石油燃料船とは異なる機器やプラント操作が存在するため新たな技能を習得するための訓練が必要となるなど、GHG削減の技術等に関する知識・技能を持つ必要が増している。このため、本誌は、海運現場に関わる皆様のうち、これまでに船舶からのGHG排出削減の動きにあまり馴染みのなかった方を主な対象として基礎的な内容を取りまとめ、2023年3月に初版を発刊した。

船舶からのGHG排出削減の技術等は日進月歩で変化しており、本誌のさらなる更新版

を作成した場合も、日本海難防止協会のホームページ（ <https://www.nikkaibo.or.jp> ）に掲載することとしている。

本誌の初版は、公益財団法人 日本海事センターからの補助の下、学識経験者、専門家、関係官庁のご指導を仰ぎながら作成した。作成に携わった関係者に改めて心からの謝意を表す次第である。第2版は初版を基に、初版の取りまとめから2024年3月までの船舶からのGHG排出削減に関する動きを踏まえて更新を行った。初版と同様、少しでも、海運の現場を担う皆様のお役に立つことを祈念するものである。

公益社団法人 日本海難防止協会



<https://www.nikkaibo.or.jp>

〈参考文献等〉

- 1) 国土交通省海事局、「内航海運の CO2 排出量の現状及び取り巻く環境等について」
(2022.4.12)、
<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001402855.pdf>
- 2) 日本船主協会 HP、「「2050 年 GHG ネットゼロへの挑戦」を表明 ～池田会長記者会見を開催～」(2021.10.26)、
<https://www.jsanet.or.jp/GHG/img/files/GHG-comment.pdf>
- 3) 国土交通省報道発表資料、「国際海運 2050 年カーボンニュートラルを目指し、IMO に提案します」(2021.10.26)、
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001428814.pdf>
- 4) 国際海運ゼロエミッションプロジェクト、「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」(2020.3)、
<https://www.mlit.go.jp/common/001386774.pdf>
- 5) 国土交通省海事局、「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」とりまとめ
(2021.3)、
<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001447040.pdf>
- 6) 国土交通省報道発表資料、「「連携型省エネ船開発・普及に向けた検討会」のとりまとめの公表」(2023.3.30)、
https://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000269.html
- 7) 船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン策定検討会・国土交通省海事局、「船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン」(2023.3)、
<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001597439.pdf>
- 8) 宇井岳夫、「ガス燃料船とガス燃料供給船の実現への課題」(日本マリンエンジニアリング学会誌 第 49 巻 第 1 号 2014)
- 9) 日本海事センター企画研究部 主任研究員 森本 清二郎 専門調査員 坂本 尚繁、「GHG 削減に向けた船用代替燃料の検討動向 - 欧州での分析事例を参考に -」(日本海事新聞 2018.8)、
<https://www.jpmac.or.jp/img/research/pdf/E201810.pdf>
- 10) 今治造船(株) HP、「ケープサイズバルカーLPG 燃料船設計基本承認 AiP の取得について」(2020.4.24)、
<https://www.imazo.co.jp/news/200424/>
- 11) マースク社報道発表、「A.P.Moller - Maersk continues green transformation with six additional large container vessels」(2022.10.5)、
<https://www.maersk.com/news/articles/2022/10/05/maersk-continues-green-transformation>

- 12) 国際海運 GHG 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達成に向けて」（2022.3）、
<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001484435.pdf>
- 13) 国土交通省海事局、「国際海運 2050 年カーボンニュートラルに向けた取組」（2022.4.19）、
<https://www.mlit.go.jp/common/001480247.pdf>
- 14) 豊田通商（株）報道発表、「国内初、商用化ベースでの継続的な船舶向けバイオ燃料の供給開始について」（2023.5.10）、
https://www.toyota-tsusho.com/press/detail/230510_006234.html
- 15) マースク社報道発表、「A.P.Moller - Maersk engages in strategic partnerships across the globe to scale green methanol production by 2050」（2022.10.5）
<https://www.maersk.com/news/articles/2022/03/10/maersk-engages-in-strategic-partnerships-to-scale-green-methanol-production>
- 16) 川崎汽船（株）ニュースレター、「シンガポールにおける船舶向けアンモニア燃料供給の実現に向けた共同研究に参加」（2022.4.6）、
https://www.kline.co.jp/ja/news/Liquefied_gas/Liquefied_gas-9046011377926934397/main/0/link/220406JA.pdf
- 17) 川崎重工業（株）HP、「Kawasaki Hydrogen Road」、
<https://www.khi.co.jp/hydrogen/>
- 18) 日本海事協会 HP、「バイオ燃料」、
https://www.classnk.or.jp/hp/ja/info_service/bio/
- 19) (株) 商船三井報道発表、「日本初の LNG 燃料フェリー「さんふらわあ くれない」の命名・進水式を実施」（2022.3.3）、
<https://www.mol.co.jp/pr/2022/22026.html>
- 20) (株) 商船三井報道発表、「最新鋭 LNG 燃料フェリー 2 隻の建造を決定」（2022.2.17）、
<https://www.mol.co.jp/pr/2022/22022.html>
- 21) (株) 商船三井さんふらわあ報道発表、「日本初の LNG 燃料フェリー「さんふらわあ くれない」が大阪～別府航路に就航しました。」（2023.1.16）、
<https://www.ferry-sunflower.co.jp/news/article/press230113hp.html>
- 22) 旭タンカー（株）報道発表、「次世代内航電気推進タンカー船「あさひ」竣工について」（2022.3.30）、
<https://www.asahi-tanker.com/news-release/2022/647/>
- 23) 旭タンカー（株）報道発表、「EV タンカー「あさひ」2020 年度船員安全・労働環境取組大賞（トリプルエス大賞）「特別賞」受賞」（2022.9.15）、
<https://www.asahi-tanker.com/news-release/2022/910/>

- 24) (株) 商船三井・旭タンカー (株) 報道発表、「世界初ピュアバッテリー電気推進タンカー 2 隻目「あかり」が初めての燃料供給を実施」(2023.4.19)、
<https://www.asahi-tanker.com/news-release/2023/1717/>
- 25) トヨフジ海運 (株) 報道発表、「バイオディーゼル燃料による試験運航を実施」(2022.9.12)、
https://www.toyofuji.co.jp/wp-content/uploads/2022/09/【展開版】ニュースリリース_トヨフジ海運バイオディーゼル燃料による試験運航を実施.pdf
- 26) 国土交通省報道発表資料、「アンモニアバンカリングガイドライン検討委員会の開催について」(2024.1.25)、
https://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000302.html