

**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

はしがき

2016年にパリ協定が発効し、脱炭素化の世界的な機運が高まる中、今後、需要拡大が見込まれる国際海運分野でも、更なる温室効果ガス(GHG)の排出削減が喫緊の課題となっている。2018年4月には、国際海事機関(IMO)において、国際海運分野からのGHG排出量を2050年に半減させ、今世紀中早期にゼロとすることを目指す「GHG削減戦略」が採択された。目下、IMOにおいては、同戦略に基づき、上記目標実現のための各種対策に関する交渉が行われている。

また、IMOでは、GHG削減戦略の改定を2023年までに行うこととしている。2018年の戦略採択以来、気候変動対策への世界的な関心は増大の一途であり、国際海運においてもGHGの排出削減により一層取り組むことが求められている。2021年10月、日本政府及び日本の海運業界は2050年までに国際海運からのGHG排出ネットゼロを目指すことを発表した。このような政府レベルまたは業界レベルでのGHG排出削減に向けたイニシアティブは世界中で広がりを見せている。

世界有数の海運・造船大国である我が国として、海上貿易や海事産業の持続的な発展を図りつつ、地球温暖化に対処するための国際的な取組に積極的に貢献すべく、2018年に産学官公の連携による「国際海運GHGゼロエミッションプロジェクト」を設立した。本プロジェクトは、一般財団法人日本船舶技術研究協会の主催、国土交通省の共催により、日本財団の支援を受けて活動している。

本報告書は、本プロジェクトが2021年度に実施した事業について、その成果をとりまとめたものである。

<国際海運GHGゼロエミッションプロジェクト 参加機関・団体等>



国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト

<プロジェクト メンバー>

坂下 広朗	国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト プロジェクト・マネージャー 一般財団法人 日本海事協会 業務執行理事 会長
斎藤 英明	国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト 副プロジェクト・マネージャー 日本小型船舶検査機構 理事 国際海事機関(IMO) 海洋環境保護委員会(MEPC)議長/国土交通省参与
高木 健	国立大学法人 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 海洋技術環境学専攻 海洋技術政策学分野 教授
岡田 啓	学校法人 東京都市大学 環境学部 環境経営システム学科 准教授
北原 辰巳	国立大学法人 九州大学 大学院 工学研究院 機械工学部門 准教授
高崎 講二	国立大学法人 九州大学 名誉教授
畔津 昭彦	学校法人 東海大学 工学部機械工学科 特任教授
森本 清二郎	公益財団法人 日本海事センター 企画研究部 主任研究員
平田 宏一	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 GHG 削減プロジェクトチーム チーム長
菅 勇人	一般財団法人 日本海事協会 技術本部 執行役員 技術本部長
松本 俊之	一般財団法人 次世代環境船舶開発センター 業務執行理事
森 有司	独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 共有船舶建造支援部長
谷岡 弘茂	川崎汽船株式会社 環境推進グループ 理事・グループ長
大藪 弘彦	株式会社商船三井 理事
高橋 正裕	日本郵船株式会社 環境グループ長
脇山 典広	川崎重工業株式会社 エネルギーソリューション&マリンカンパニー 船舶海洋ディビジョン 技術総括部 液化水素運搬開発部 基幹職
石黒 剛	ジャパン マリンユナイテッド株式会社 設計本部 技監
雲石 隆司	三菱造船株式会社 マリンエンジニアリングセンター 船舶技術部 環境技術担当部長
真島 篤	住友重機械マリンエンジニアリング株式会社 取締役 営業開発本部長
池田 修一	浅川造船株式会社 設計部 船体課 計画係 係長
永澤 秀明	株式会社IHI原動機 技術センター技術企画部長
島田 一孝	株式会社三井 E&S マシナリー ディーゼル事業部 設計部 部長補佐

主催:一般財団法人 日本船舶技術研究協会

共催:国土交通省

支援:日本財団

本プロジェクトにおいては、ステアリンググループの下に、「船舶設計」及び「船舶運航」に関するタスクフォースを設置し、関係業界・機関等から 50 名以上の参画を得て、本事業を推進してきた。

目次

第1章	はじめに	1
1.1節	背景	1
1.2節	事業の目的	1
1.3節	事業の概要	2
第2章	国際海運からのGHG削減について	3
2.1節	IMO GHG削減戦略の掲げる目標	3
2.2節	2050年ネットゼロをめぐる動き	4
第3章	2030年までの平均燃費40%以上改善の達成のための対策	7
3.1節	新造船の設計効率改善（EEDI規制）	7
3.2節	既存船の燃費改善	7
第4章	ゼロエミッション燃料供給の動向	8
4.1節	GHG排出ネットゼロを達成するための将来予想	8
4.2節	国内の代替燃料供給の見通し	11
4.3節	船用向けの代替燃料製造プロジェクトの動向	13
第5章	ゼロエミッション船の技術開発課題・動向の整理	14
5.1節	ゼロエミッション船の技術開発課題	14
5.2節	ゼロエミッション船の技術開発動向	15
5.3節	燃料以外の主なCO ₂ 削減技術	21
5.4節	国内外の技術開発動向の整理表	23
第6章	GHG排出削減シミュレーション	25
6.1節	シミュレーションに関する議論の進め方	25
6.2節	使用データ	26
6.3節	共通設定	30
6.4節	シナリオ毎の差異	34
6.5節	結果と考察	34
第7章	制度面等の環境整備	41
7.1節	IMOにおける中長期対策	41
7.2節	IMOにおいて導入すべき経済的手法（MBM）のコンセプト	42
7.3節	規制的手法	45
7.4節	ライフサイクルでのGHG排出削減	46
7.5節	船舶の安全及び船員に関する規則	46
第8章	おわりに	48
付録1	TRL	49

第1章 はじめに

1.1 節 背景

国際海運から排出される温室効果ガス(GHG)について、2020年の国際海事機関(IMO)の調査によれば、2018年時点における国際海運全体からのCO₂排出量は約9.2億トンであり、世界全体のCO₂排出量の約2.5%を占める。世界経済の成長を背景に、海上輸送需要は今後も増大すると予測される。

世界全体の地球温暖化対策については、国連気候変動枠組条約(UNFCCC)の下で議論されているが、国境を越えて活動する国際海運及び国際航空セクターからのGHG排出対策については、船舶(又は航空機)の船籍国や運航国による区分けが難しく、UNFCCCにおける国別の削減対策には馴染まないため、京都議定書では、国連の専門機関であるIMO及び国際民間航空機関(ICAO)を通じた活動により、それぞれのGHG排出の抑制又は削減を追求することとされている。

IMOにおいては、2018年4月に「GHG削減戦略」が採択された。同戦略においては、2008年を基準年として、①2030年までに国際海運全体の燃費効率(輸送量あたりのGHG排出量)を40%以上改善すること、②2050年までにGHG国際海運からの総排出量を50%以上削減すること、及び③今世紀中なるべく早期にGHG排出ゼロを目指すことが目標として掲げられている。

このような背景の下、我が国では、2018年に、産学官公の連携による「国際海運GHGゼロエミッションプロジェクト」(以下、「本プロジェクト」)を設立し、2020年に「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、主に以下について取りまとめている。

- ・GHG削減戦略に掲げられた2030年目標(平均燃費40%改善)を達成するために必要となる規制方策
- ・2050年目標(総排出量50%削減)を達成するための燃料構成シナリオ
- ・2050年以降の目標を達成するために必要となる研究開発と実用化に関するロードマップ
- ・ゼロエミッション／超低炭素船のコンセプト設計

GHG削減戦略は2023年に改定することとなっているが、2018年の戦略採択以来、気候変動対策への世界的な関心は増大の一途であり、国際海運においてもGHGの排出削減により一層取り組むことが求められている。第77回海洋環境保護委員会(MEPC 77)では、改定する戦略では、現行の目標よりもさらに野心的な目標を設定することが合意された。我が国においては、2021年10月に日本政府及び海運業界が2050年までに国際海運からのGHG排出ネットゼロを目指すことを発表したところであるが、このような政府レベルまたは業界レベルでのGHG排出削減に向けたイニシアティブは世界中で広がりを見せている。

世界有数の海運・造船大国である我が国としては、IMOにおける国際枠組み作りと技術開発との両面で、国際海運からのGHG排出削減を牽引し、国際海運2050年GHG排出ネットゼロの実現に積極的に貢献していくことが重要である。

1.2 節 事業の目的

上記の背景を踏まえ、本報告書においては、ゼロエミッション燃料の普及予測に関する最新情報の収集・整理、ゼロエミッション船の実現に向けた国内外の技術開発動向と課題の整理を行うとともに、様々なシナリオに基づくGHG排出削減シミュレーションを実施し、これらを踏まえ2050年ネットゼロ達成に向けてどのよう

な対策(環境整備)が必要となるかを整理した。

今回の検討作業を通じて得られた知見等を踏まえ、今後、IMO における、GHG 削減戦略の改定や、中長期対策の議論に臨むこととする。

1.3 節 事業の概要

本報告書では、以下の構成で、本事業の成果を取りまとめている。

- (1) 国際海運からの GHG 削減について(第 2 章)
- (2) 2030 年までの平均燃費 40%以上改善の達成のための対策(第 3 章)
- (3) ゼロエミッション燃料供給の動向(第 4 章)
- (4) ゼロエミッション船の技術開発課題・動向の整理(第 5 章)
- (5) GHG 排出削減シミュレーション(第 6 章)
- (6) 制度面等の環境整備(第 7 章)

第2章 国際海運からのGHG削減について

2.1節 IMO GHG削減戦略の掲げる目標

2018年4月、IMO第72回海洋環境保護委員会(MEPC 72)において、GHG削減戦略が採択された。その概要は図2.1-1のとおり。同戦略においては、国際海運からのGHG排出ゼロ実現に向けて、以下の数値目標を掲げている¹。

- 2030年までに、国際海運全体の燃費効率(輸送量あたりのCO₂排出量)を40%以上改善する(対2008年比)。
- 2050年までに、国際海運からのGHG総排出量を50%以上削減する(対2008年比)。
- 今世紀中なるべく早期に、国際海運からのGHG排出ゼロを目指す。

また、同戦略の中では、上記の目標を達成するためのGHG削減対策の候補を挙げている。それらの対策は、以下の3つに分類されている。

- 短期対策:2023年までに合意。(例:現存船に対する燃費性能規制)
- 中期対策:2023年から2030年までの間に合意。(例:経済的手法(MBM)の導入)
- 長期対策:2030年以降に合意。(例:ゼロ炭素燃料の導入促進)

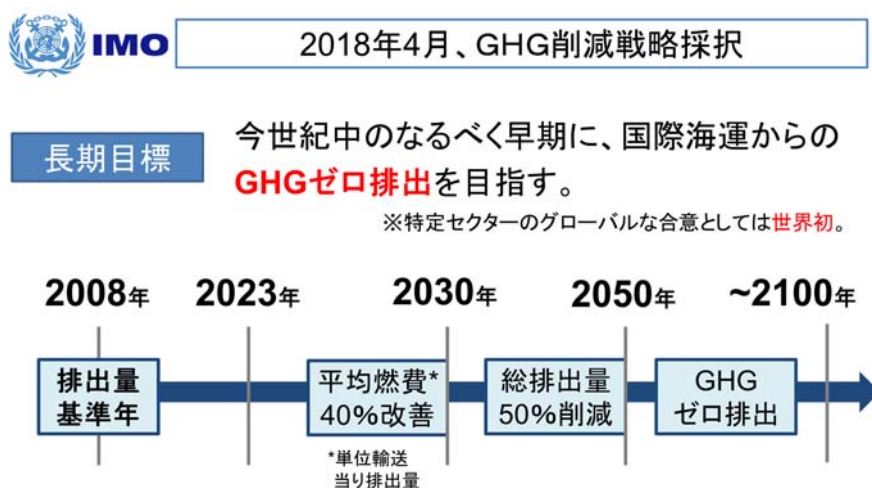


図 2.1-1 GHG削減戦略の概要

GHG削減戦略は2023年春に改定することとされており、改定に向けた議論が2021年11月に開催された第77回海洋環境保護委員会(MEPC77)において開始され、審議の結果、同戦略の改定に当たっては、現行の目標よりも野心的な目標を設定することで合意された。今後、2023年7月に開催予定のMEPC80での改定案合意を目指して、議論が重ねられる予定である²。

¹ International Maritime Organization [IMO]. (2018). Adoption of the initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships and existing IMO activity related to reducing GHG emissions in the shipping sector. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf

² IMO. (2021). MEPC 77/16, Report of the Marine Environmental Protection Committee on its seventy-seventh session.

2.2 節 2050 年ネットゼロをめぐる動き

2018 年の戦略採択以来、気候変動対策への世界的な関心は増大の一途であり、国際海運においても GHG の排出削減により一層取り組むことが求められている。世界各国では、政府や業界団体や個別の民間企業が、さらに野心的な目標として、2050 年までのカーボンニュートラルや GHG 排出ネットゼロの達成を目標として掲げ始めている。その大きな要因の一つとして、気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) が 2018 年 10 月に取りまとめた「1.5°C 特別報告書」の存在がある。同報告書の中では、次のようなことが言及されている³。

- 現在の進行速度では、地球温暖化は 2030～2050 年に 1.5°C に達する。
- 地球温暖化を 1.5°C に抑制することは不可能ではない。しかし、社会のあらゆる側面において前例のない移行が必要である。
- CO₂ 排出量が 2030 年までに 45% 削減され、2050 年頃にはネットゼロに達する必要がある。

UNFCCC 第 24 回締約国会議 (COP24: 2018 年 12 月 2～15 日、ポーランド・カトヴィツェ) においては、締約国に対し、UNFCCC 補助機関下のすべての議題において、同報告書に含まれる情報を活用するよう要請することを含む決定文書が採択されており⁴、各国が 2050 年ネットゼロを強く意識することとなった背景になったと考えられる。

各国の具体的な動きとしては、2021 年 4 月に、同年就任した米国のバイデン大統領が気候サミットを開催し、このサイドイベントにおいて、ケリー米国気候担当大統領特使から、「国際海運が 2050 年までにゼロエミッションを実現できるよう、各国と連携し、IMO において野心的な削減目標とその実現のための対策作りに取り組む」旨が表明された⁵。我が国においては、2020 年に菅総理 (当時) が、国内の全産業を対象として、2050 年カーボンニュートラルを目標として掲げており、2021 年 10 月 26 日には、斉藤国土交通大臣から「我が国は、2050 年までに、国際海運からの温室効果ガス (GHG) の排出を全体としてゼロ (2050 年カーボンニュートラル) を目指す」旨発表を行った。また、同日に日本船主協会も「2050 年 GHG ネットゼロへ挑戦すること」を表明している⁶。なお、MEPC77 においては、我が国を始めとする多くの国 (英、米、欧、島しょ国 等) が「2050 年までに GHG 排出を (全体として) ゼロ」を新たな目標として掲げるべきであると主張した。

2050 年のネットゼロを実現するにあたっては、GHG を排出しないゼロエミッション船の普及促進が不可欠であるところ、ゼロエミッション船が運航される航路 (「グリーン海運回廊 (Green Shipping Corridor)」などと呼ばれる) の開設を目指す動きとして、2021 年の UNFCCC 第 26 回締約国会議 (COP26: 2021 年 10 月 31～11 月 12 日、英国・グラスゴー) において、英国運輸省の主導でクライドバンク宣言が発表され、我が国を含む 22 カ国が署名国として参画している⁷。

³ IPCC. (2018). Global warming of 1.5°C.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf

⁴ United Nations. (2018). Report of the Conference of the Parties to its twenty-fourth session, held in Katowice from 2 to 15 December 2018.

<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/10a1.pdf>

⁵ Volcovici, V. (2021, April 21). U.S. to join effort to curb climate-warming emissions from shipping. Reuters. <https://www.reuters.com/business/environment/us-join-global-effort-decarbonize-shipping-industry-kerry-2021-04-20/>

⁶ The Japanese Shipowners' Association. (2021). Japanese Shipping Industry Announces “Challenge of 2050 Net Zero GHG.”

https://www.jsanet.or.jp/e/pressrelease_e/2021/pdf/20211026e.pdf

⁷ GOV.UK. (2021b). COP 26: Clydebank Declaration for green shipping corridors.

<参考:クライドバンク宣言への署名国>

オーストラリア、ベルギー、カナダ、チリ、コスタリカ、デンマーク、フィジー、フィンランド、フランス、ドイツ、アイルランド、イタリア、日本、マーシャル諸島、モロッコ、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、スペイン、スウェーデン、英国、米国

また、2021年9月24日、日本・米国・オーストラリア・インドによる4カ国「クアッド(QUAD)」の首脳会合が開催され、共同声明には海運と港湾運営の脱炭素化を進めることが盛り込まれた。共同声明の別添(ファクトシート)では、クアッド4カ国がグリーンな港湾インフラ整備とクリーンな船舶燃料の利用を独自に大規模に進める立場にあるとし、「クアッド海運タスクフォース」を立ち上げ、海運のバリューチェーンをグリーン化して脱炭素化するためのネットワークの形成と、クアッドとして2030年までに2~3件の低排出・ゼロ排出海運回廊の確立を目指すことが明記されている⁸。

上記のほか、我が国が加盟していない国際枠組として、ミッション・イノベーション(ゼロ排出海運ミッション)がある。ミッション・イノベーションとは、2016年に米仏主導により設立された様々な分野における国際連携を促す枠組みであり、2022年3月現在、「ゼロ排出海運ミッション」を含む13分野が協力の対象となっている。「ゼロ排出海運ミッション」は、デンマーク、ノルウェー、米国が主導し、その他、英国・韓国など10ヶ国と2団体が加盟している。「ゼロ排出海運ミッション」では、2030年までにグリーン水素、グリーンアンモニア、グリーンメタノール、先進バイオ燃料など、ライフサイクル全体でゼロ排出の燃料で航行できる船舶が、世界の外航海運の少なくとも5%(燃料消費量ベース)を占めるようにすることや、主要な外航海運航路上記燃料を主として使用する船舶を少なくとも200隻とすることが目標として掲げられており、非常に野心的なものとなっている。また、COP26(2021年11月)において、デンマーク首相が「2050年までのゼロエミッション海運宣言」を発表しており、同宣言には英国・米国等の14カ国が署名している。同宣言の署名国は、2050年までに国際海運からのゼロ排出を達成するために、IMOの2050年のGHG削減目標を野心的なものに改め、その達成の道筋として2040年及び2030年の目標が採択されるよう、IMOの国際交渉において行動するとともに、国際協力を強化していくことが求められる。

民間レベルにおいても、様々な動きがあり、例えば、Global Maritime Forumが主催するGetting to zero Coalitionには世界的なエネルギー開発、資源開発、穀物取引等の大手荷主なども含まれる230の企業や組織からなるメンバーが参加し⁹、各国政府に対して、

- 2050年までに国際海運の脱炭素化実現に取り組むこと、
- ゼロエミッション海運を実現するためのプロジェクトを支援すること、
- 2030年までにゼロエミッション船がデフォルトの選択肢となるよう政策措置を講じること

などを要請する“Call to Action for Shipping Decarbonization”を2021年9月に発表した¹⁰。なお、Getting to

<https://www.gov.uk/government/publications/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors/cop-26-clydebank-declaration-for-green-shipping-corridors>

⁸ 外務省プレスリリースによる。

https://www.mofa.go.jp/mofaj/fp/nsp/page4_005424.html

⁹ Getting to Zero Coalition. (2021). Ambition Statement.

http://www.globalmaritimeforum.org/content/2019/09/Getting-to-Zero-Coalition_Ambition-statement_230919.pdf

¹⁰ Global Maritime Forum. (2021). Call to Action for Shipping Decarbonization.

Zero Coalition には、日本からも海運会社、商社、日本海事協会等が参画している。

また、2021 年 10 月には、米アマゾン・ドット・コム、スウェーデンの家具世界最大手イケア、英ユニリーバ、仏タイヤ大手ミシュラン等 9 社が、Cargo Owners for Zero Emission Vessels (coZEV)という組織を立ち上げ、2040 年までに主要荷主による国際海上輸送の脱炭素化を目指すとともに、パリ協定の目標達成のために 2050 年までの GHG 排出ネットゼロを目指すことを発表しており、水素やアンモニアなどの脱炭素燃料を使う船舶だけを商品の輸送に使うことを表明している¹¹。

海運会社も続々と GHG 排出ネットゼロを打ち出している。国際海運会議所(ICS:International Chamber of Shipping)は、2021 年 10 月に、2050 年までに国際海運における CO2 排出ネットゼロを達成することを海運業界として支持することを表明している¹²。世界最大手の海運会社であるマースクは、2040 年に GHG 排出ネットゼロを達成するという目標を 2022 年 1 月に公表している¹³。我が国の代表的な海運会社である商船三井、日本郵船、川崎汽船も、2050 年までの GHG 排出ネットゼロ目標を、それぞれ 2021 年 6 月、9 月、11 月に発表している¹⁴¹⁵¹⁶。

<https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/09/Call-to-Action-for-Shipping-Decarbonization.pdf>

¹¹ Cargo Owners for Zero Emission Vessels [coZEV]. (2021). Leading Cargo Owners Stand Together for Maritime Decarbonization.

https://www.cozev.org/img/FINAL-coZEV-2040-Ambition-Statement_2021-10-18-144834_uorz.pdf

¹² ICS. (2021). MEPC 77/7/22, Comments on a proposed draft MEPC resolution on zero emission shipping by 2050, and revision of the IMO GHG Strategy.

¹³ Maersk. (2021). A.P. Moller - Maersk accelerates Net Zero emission targets to 2040 and sets milestone 2030 targets. <https://www.maersk.com/news/articles/2022/01/12/apmm-accelerates-net-zero-emission-targets-to-2040-and-sets-milestone-2030-targets>

¹⁴ Mitsui O.S.S. Lines. (2021). - Aiming at Net Zero GHG Emissions by 2050 - Introducing 'MOL Group Environmental Vision 2.1'. <https://www.mol.co.jp/en/pr/2021/21052.html>

¹⁵ NYK Line. (2021). NYK Announces Target of Net-Zero Emissions by 2050 for Oceangoing Businesses. https://www.nyk.com/english/news/2021/20210930_03.html

¹⁶ Kawasaki Kisen Kaisha, Ltd. (2021). The Challenge of Achieving Net-Zero GHG Emissions. https://www.kline.co.jp/en/news/ir/auto_20211102423677/pdfFile.pdf

第3章 2030年までの平均燃費40%以上改善の達成のための対策

3.1節 新造船の設計効率改善(EEDI規制)

EEDI規制は、新造船を統一の燃費指標¹⁷で評価し、一定値以下とすることを義務づけるものである。2011年7月にMARPOL条約附属書VIの改正が採択され、2013年から規制が開始されている。EEDIの規制値は船種毎に設定されており、その規制値は表3.1-1のとおり、基本的に5年ごとに10%ずつ強化されることが条約で規定されている。

表 3.1-1 EEDI規制 MARPOL条約上の各フェーズ開始年・規制値

	開始年 (建造契約ベース)	EEDI 規制値
フェーズ0	2013～	1999～2008 建造船平均以上
フェーズ1	2015～	フェーズ0より10%強化
フェーズ2	2020～	フェーズ0より20%強化
フェーズ3	2022 / 2025～	フェーズ0より30～50%強化 (船種・サイズ別に設定)

3.2節 既存船の燃費改善

GHG削減戦略に盛り込まれた2030年に関する目標(2030年までに平均燃費を40%以上改善(2008年比))の達成に向けて、EEDI規制の対象外となる既存船(2013年以前に建造契約された船舶)に対して、燃費改善のための対策を講じることが必要である。

このため、既存船の燃費性能規制(EEXI規制¹⁸)及び燃費実績の格付け(CII格付け¹⁹)を導入するためのMARPOL条約附属書VIの改正案が2021年6月に採択され、2023年1月から導入される予定である(図3.2-1)。

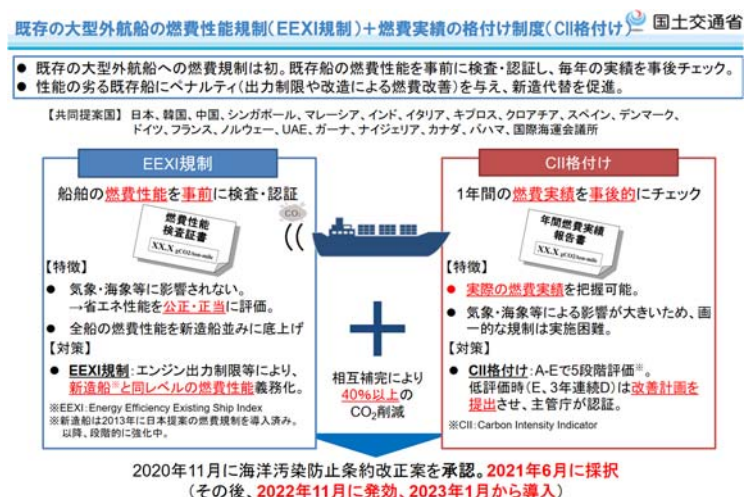


図 3.2-1 既存船の燃費改善対策(EEXI 規制及び CII 格付け)

¹⁷ EEDI : Energy Efficiency Design Index

¹⁸ EEXI : Energy Efficiency Existing Ship Index

¹⁹ CII : Carbon Intensity Indicator

第4章 ゼロエミッション燃料供給の動向

4.1 節 GHG 排出ネットゼロを達成するための将来予想

IEA は、2021 年 5 月に「Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector²⁰」を発行し、2050 年に世界全体が GHG 排出ネットゼロを達成するための将来予想 (NZE シナリオ) を示した。

IEA NZE シナリオにおける一次エネルギー供給の見通しは図 4.1-1 のとおり。現在に比べ化石燃料の割合は低下する一方、2050 年時点で再生可能エネルギーが全エネルギーの 3 分の 2 を占めるとされており、現在のエネルギー構成から大きく変化することが予想されている。

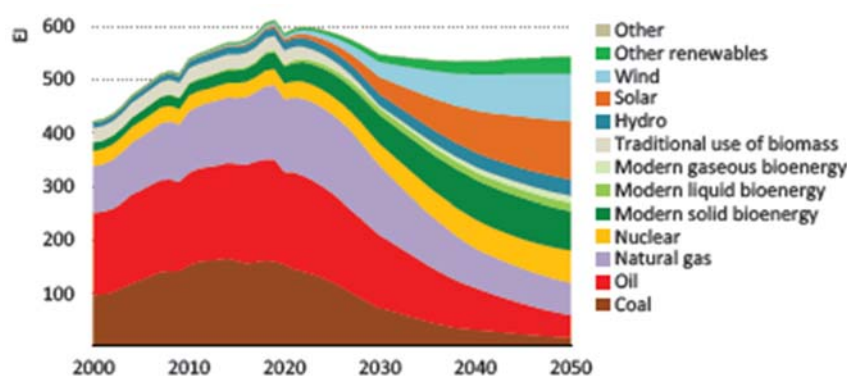


図 4.1-1 IEA NZE シナリオにおける一次エネルギー供給の見通し

IEA NZE シナリオからもわかるように、2050 年に向けて拡大が予測される再生可能エネルギーにより生産される電力、その電力から生成される気体水素を利用したゼロエミッション燃料がどのように各分野へ展開されていくかが重要となる。船用向けに活用が拡大する可能性のある代替燃料としては図 4.1-2 に示す燃料が考えられる。

²⁰ International Energy Agency (2021), Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector

	ゼロエミッション燃料		カーボンニュートラル燃料		
	水素 (LH2)	アンモニア	カーボンリサイクル(CR)合成メタン	CR合成メタノール	バイオディーゼル (FAME)
低位発熱量 (GJ/t)	120.0	18.8	50.0	19.9	37.1
液体密度 (t/m ³)	0.0708	0.7	0.422	0.79	0.885
CO2換算係数 (CO2-t/燃料-t)	0	0	(0*)	1.375	0
熱量当たり体積比 (VLSFO比、@液化状態)	4.42	2.86	1.78	2.39	1.14
熱量当たりCO2排出量 (CO2-g/G)	0	0	(0*)	(0*)	0
副生GHG及び温暖化係数 (IPCC AR5より)		N2O 温暖化係数：265	メタン (スリップ) 温暖化係数：28		
沸点 (°C)	-253	-33	-161	65	345~354
船上での貯蔵方法 (液体状態)	真空防熱タンク	TypeC (低温 or 加圧) 独立方形タンク/メンブレン	TypeC (低温 or 加圧) 独立方形タンク/メンブレン	常温常圧 船体付きタンク	常温常圧 船体付きタンク
船上貯蔵時の性状 (液体状態)	abt.-250°C, 0.5MPa	-30~-10°C, 0.07~0.5MPa	-160~-140°C, 0.07~0.5MPa	常温、 常圧	常温、 常圧
発火点 (°C)	560	630	537	440	256~266
低速船用エンジンサイクル	ディーゼル/オットー	ディーゼル/オットー	ディーゼル/オットー	ディーゼル/オットー	ディーゼル
パイロット燃料	要	要	要	要	FOとブレンド

*原料となるCO2の排出が陸上でカウント済みである場合、もしくは大気からの直接回収 (DAC) である場合

図 4.1-2 代替燃料のオプション

IEA NZE シナリオにおいては、各産業セクターでのエネルギー消費の見通しも示されており、海運セクターについては、図 4.1-3 のとおり、水素、アンモニア、バイオ燃料が主体であり、また、エネルギー密度と量、大型エンジンの開発スケジュール等からアンモニア及びバイオ燃料が有力視されると分析されている。なお、同図のとおり、海運セクターにおいては、2050年時点で化石燃料の使用が一部残り、これに伴い 122 Mt CO₂ の CO₂ が排出されると予測されている。IEA NZE シナリオでは、この CO₂ 排出は BECCS (bioenergy with carbon capture and storage) 及び DACCS (direct air capture with carbon capture and storage) により相殺されることが想定されている。

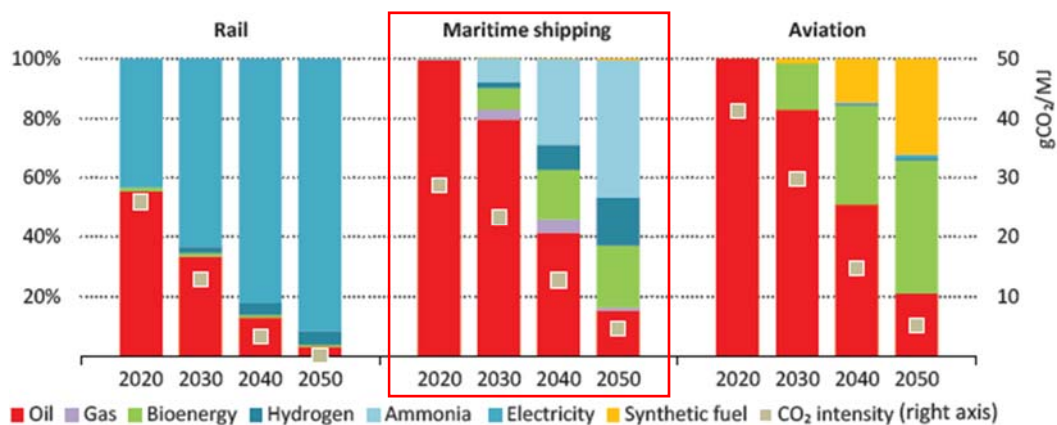


図 4.1-3 IEA NZE シナリオにおける運輸部門のエネルギー消費(中央が海運)

なお、IEA によると、2050 年に世界全体が GHG 排出ネットゼロを達成するためのゼロエミッション燃料に関するコストや需要量は、以下表 4.1-1 のとおり。

表 4.1-1 IEA によるゼロエミッション燃料に関する目標^{21,22}

		2030目標 (技術開発)	2030目標 (コスト・供給量)	2050目標 (コスト・供給量)
水素 気体水素としての供給量であり、アンモニア及び合成燃料の原料としての水素製造量は除外	Green	【水電解装置の効率改善・設備費削減】 アルカリ型： 効率 63~70→65~71% 設備コスト 500~1400→400~850\$/kW PEM型： 効率 56~60→63~68% 設備コスト 1100~1800→650~1500\$/kW	【コスト】 2.6USD/kg 【供給量】 5400万t(≒6.5EJ)	【コスト】 2.1USD/kg 【供給量】 1.8億t(≒22EJ)
	Blue-	-	【コスト】 1.4USD/kg 【供給量】 4600万t(≒5.5EJ)	【コスト】 1.4USD/kg 【供給量】 1.1億t(≒13EJ)
アンモニア 燃料に限らず原料アンモニアも含む	-	-	【供給量】 2.5億t-NH3(≒4.7EJ) 内訳 船用：3300万t(≒0.62EJ) 航空：0t 発電：3600万t(≒0.68EJ) その他産業(燃料)：0t その他産業(原料)：2.0億t(≒3.8EJ)	【供給量】 6.1億t-NH3(≒13EJ) 内訳 船用：2.5億t(≒4.7EJ) 航空：0t 発電：9000万t(≒1.7EJ) その他産業(燃料)：4000万t(≒0.75EJ) その他産業(原料)：2.2億t(≒4.1EJ)
合成燃料 メタン、メタノール、合成ジェット燃料等含む	-	-	【供給量】 500万t-H ₂ 換算(≒0.6EJ) 内訳 船用：1万t(≒0.001EJ) 航空：150万t(≒0.18EJ) その他産業：350万t(≒0.42EJ)	【供給量】 1億t-H ₂ 換算(≒12EJ) 内訳 船用：45万t(≒0.05EJ) 航空：3800万t(≒4.56EJ) その他産業：6100万t(≒7.32EJ)
バイオ燃料 液体燃料・気体燃料含む	-	-	【供給量】 18EJ 内訳 船用：0.82EJ 航空：2.1EJ その他産業：15EJ	【供給量】 28EJ 内訳 船用：2.1EJ 航空：6.3EJ その他産業：20EJ

4.2 節 国内の代替燃料供給の見通し

日本政府は、2021年6月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を公表し、2050年カーボンニュートラル実現に向けた今後の取り組み方針を示すとともに、各分野の重点技術等について2050年までの工程表を示した。

当該工程表では、①政府が創設した基金と、民間の研究開発投資によって進めていく「研究開発フェーズ」、②民間投資の誘発を前提とした官民協調投資によって進めていく「実証フェーズ」、③公共調達、規制・標準

²¹ 以下を参考に事務局作成

IEA Net Zero by 2050 A roadmap for the Global Energy Sector

IEA Global Hydrogen Review 2021

²² 2050年の世界船舶燃料消費量（エネルギー換算）は9.9EJ。このうち、1.5EJは重油使用が残ると予想

化等の制度整備による需要拡大と、これに伴う量産化によるコスト低減を図っていく「導入拡大フェーズ」、④ 規制・標準等の制度を前提に、公的な支援が無くとも自立的に商用化が進む「自立商用フェーズ」を意識した上で、具体策が提示されている。表 4.2-1 に、グリーン成長戦略等に基づき代替燃料の供給関連の工程表を整理した。

表 4.2-1 グリーン成長戦略における代替燃料の供給関連工程表²³

	開発・実証					導入拡大・コスト低減		自立商用
	2021	2022	2023	2024	2025	～2030	～2040	～2050
水素	製造：水電解装置の効率改善・設備コスト削減 アルカリ型：効率 4.5→4.3kWh/Nm ³ -H ₂ 設備コスト 7.8→5.2万円/kW PEM型：効率 4.9→4.5kWh/Nm ³ -H ₂ 設備コスト 11.7→6.5万円/kW					★目標(2030) コスト：30円/Nrli 導入量：300万t/年（うちグリーン水素42万以上供給）		★目標(2050) コスト：20円/Nrli以下 （=現在のLNGの熱量当たり価格相当） 供給量：2000万t/年
	液化：液化効率 13.6→6.0kWh/kg-H ₂					引用元：C)		導入支援
	輸送・貯蔵：液化水素貯蔵タンクの大型化 数千m ³ →5万m ³					引用元：C)		インフラ整備等による拡大
	臨海部や地域における水素利活用実証					引用元：A)		
燃料アンモニア	供給：拡大に向けた調査・実証 引用元：A)		金融支援等によるNH ₃ 製造設備の整備・供給			★目標(2030) コスト：10円台後半/Nrli-H ₂ 国内導入量：300万t/年		★目標(2050) 国内導入量：3000万t/年 日本がコントロールできる世界需要量：1億t/年
	製造①：HB法の効率化 その1 常温常圧に近い条件で稼働する新触媒の開発により、HB法のシステム全体のコストを15%削減					引用元：B)		商用的拡大
	製造②：HB法の効率化 その2 製造プラントのモジュール化技術や着床式洋上生産の技術の開発					引用元：E)		アジアでの展開
	製造③：原料水素製造の効率化 天然ガス改質時に高温酸素を利用することで省スペース化・低コスト化を実現する製造技術の開発					引用元：E)		
	製造④：革新的製造技術 その1 グリーンアンモニア電解合成法（水と窒素を原料とし、電解反応を活用して常温常圧で製造する方法）の開発・実証					引用元：B),E)		
	製造⑤：革新的製造技術 その2 製造部門でのCO ₂ 排出を高効率に抑制する革新的システム等の技術の開発（エネルギー効率を高めつつ、アンモニア生成時等に発生したCO ₂ の効率的な分離・回収を目指す）					引用元：E)		
	輸送・貯蔵：タンク大型化、海上タンクの整備等					引用元：A),E)		商用的拡大
	港湾：技術基準の見直し等の検討					引用元：A)		港湾施設整備
合成メタン	製造①：Sabatier反応によるメタネーション 商用化に向けた大幅なスケール拡大（8→1万～6万N/h） CO ₂ 回収、水素製造を含めたサプライチェーン全体のm ³ 大規模実証					★目標(2030) 既存インフラに1%注入		★目標(2050) コスト：現在のLNG価格と同水準（40～50円/Nrli） 供給量：2500万t/年
	製造②：革新的メタネーション技術の開発 新たな基礎技術（共電解、PEM連携等）の開発・実証					引用元：B),D)		更なるコスト低減による導入拡大
	国内外サプライチェーン構築： 液化基地、LNG船、受入基地、パイプライン等の既存インフラにおける合成メタンの併用等					引用元：D)		商用的拡大
CO₂分離回収(DAC)	大気からのCO ₂ 直接回収(DAC)技術の研究開発・実証（エネルギー効率向上、コスト低減）					引用元：A)		★目標(2050) コスト：2千円台/CO ₂ t （=現在の1/10以下） 更なる低コスト化・補助金等による導入拡大
バイオ燃料 ※ジェット燃料	製造：各種バイオ燃料製造技術における効率化 【ガス化Fischer-Tropsch合成】バイオ原料の均質化処理技術の開発を継続 【ATJ(Alcohol to Jet)】高温状態の触媒反応の制御技術開発を継続 【微細藻類】生産性向上・品質改良の技術開発を継続					★目標(2030) コスト：100円台/L （=既製品と同等）		導入拡大

²³以下を参考に事務局作成

- A) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和3年6月18日）
- B) グリーンイノベーション基金公募等情報
- C) 水素ロードマップ（経産省、令和2年6月8日）
- D) 「トランジションファイナンス」に関するガス分野における技術ロードマップ（経産省、令和4年2月）
- E) 燃料アンモニア導入官民協議会中間取りまとめ（経産省、令和3年2月8日）
- F) NEDO 技術戦略研究センターレポート次世代バイオ燃料（バイオジェット燃料）分野の技術戦略策定に向けて

4.3 節 船用向けの代替燃料製造プロジェクトの動向

表 4.3-1 に船用向けの代替燃料製造プロジェクトの動向を示す。水素由来のゼロカーボン燃料(水素及びアンモニア)に関するプロジェクトに加え、カーボンニュートラル燃料に関する取り組み²⁴も海事分野で進められている。

表 4.3-1 船用向けの代替燃料の製造プロジェクト動向²⁵

No.	燃料種類	生産国	生産開始年	年間生産量(t-H ₂)	プロジェクト概要
1	水素	Belgium	2022	11,000	Green-水素の生成設備の整備。
2	水素/アンモニア	Australia	2023	10,500	太陽光発電施設を建設し、生成されたグリーン水素をアンモニア生産工場へ供給。
3	水素/アンモニア	Norway	2023	800	グリーン水素を製造し、肥料の生産や燃料アンモニアに利用する。
4	水素	Denmark	2023	不明	洋上風力を用いて再生可能な水素を製造する。
5	水素	Norway	2023	不明	Green-水素の生成設備の整備。
6	水素/アンモニア	Netherlands	2024	不明	100MWの水電解設備及びGreen-アンモニアプラントの整備。
7	メタノール	Belgium	2024	不明	Green-水素からメタノールを生成するプラントの整備。
8	水素	Germany	2025	5,000	30MWの電解設備の整備。
9	水素	Netherlands	2025	86,000	ロッテルダム工業地域において、ブルー水素の大規模生産を実現する。
10	水素	Netherlands	2040	800,000	北海において、10ギガワットの風力エネルギーによりグリーン水素を製造する。
11	水素/アンモニア	Finland	不明	不明	洋上風力発電を用いて水素・アンモニアをオフショアで生産する施設を建設する。
12	水素	Germany	不明	不明	ハンブルク港において、風力発電で稼働する世界最大の水素電解プラントを建設する。
13	水素	Oman	不明	不明	太陽光発電からの水素生成のための設備の開発。
14	水素/アンモニア/メタノール	Oman	不明	40,000	ドクム(オマーン)において、グリーン水素の製造プラントを建設する。
15	メタノール	Norway	不明	不明	再生可能エネルギーと廃CO ₂ ガスからメタノールを製造する施設を建設する。
16	水素/メタノール	Denmark	不明	不明	水素とe-fuelの生産施設を建設する。
17	メタノール	Belgium	不明	不明	アントワープにおいて、CO ₂ と水素からメタノールを生成する工場を建設する。
18	メタン	Japan	不明	不明	CO ₂ からメタンを生成し、船舶燃料に利用する。
19	メタノール	Sweden	不明	不明	CO ₂ を回収・リサイクルしてe-メタノール燃料を生成する施設を建設する。
20	水素	Germany	不明	不明	2030年までに700メガワットの水素製造プラントを建設する。

²⁴ CCR 研究会 (表 4.3-1 中 No.18 のプロジェクト) 等

<https://ccr-tech.org/>

²⁵ Getting to Zero Coalition, Mapping of Zero Emission Pilots and Demonstration Projects から事務局作成
<https://www.globalmaritimeforum.org/news/new-mapping-of-zero-emission-pilots-and-demonstration-projects-shows-an-increasing-focus-on-hydrogen-based-fuels>

第5章 ゼロエミッション船の技術開発課題・動向の整理

5.1 節 ゼロエミッション船の技術開発課題

国際海運のゼロエミッションに向けて、ゼロエミッション船の導入及び普及が必要である。

ゼロエミッション船では、既存の船舶燃料である重油ではなく、水素やアンモニアなどの新燃料を使用することになるため、機関・船上貯蔵・補機・艙装品・バンカリングなどの観点から技術開発課題が存在する。

本プロジェクトでは、ゼロエミッション船について、現状考えられる技術開発課題等を整理した(表 5.1-1)。

表 5.1-1 ゼロエミッション船の技術開発課題

		想定される船上利用	機関	船上貯蔵	補機・艙装品等	バンカリング	その他の技術開発課題	技術開発以外の課題
水素燃料船	直接燃焼	● 主機・補機	<ul style="list-style-type: none"> ディーゼルサイクル: 高圧燃料供給装置(直噴の場合は30MPa程度) アウトーサイクル: 異常燃焼(ノッキング・失火・過早着火)の制御技術 港湾内・狭水道における安全操船に資する、エンジン負荷変動への追従性確保・安定燃焼のための燃料油の使用量(混燃割合)の検討 	● 貯蔵時のスペース効率	● 低温及び水素脆性に対して強い艙装品	● 水素バンカリングの安全性		<ul style="list-style-type: none"> 燃料供給体制の構築 船舶及びバンカリングに関する安全基準の整備 船員の能力要件の策定と国際基準化 船員の確保・育成 造船・船用における技術人材の育成
	燃料電池	<ul style="list-style-type: none"> ● 大型船: 補機 ● 中小型船: 主機・補機 	● 陸用と同じく高効率な(60%程度)SOFC(固体酸化物形燃料電池)の開発(500~1000℃での発電に対応した熱変化に強い断熱素材)					
アンモニア燃料船	直接燃焼	● 主機・補機	<ul style="list-style-type: none"> 未燃アンモニアの対応やパイロット燃料の低減技術 N₂Oの詳細な実態把握(発生メカニズムの解明及び発生量の把握)及び削減対策(触媒による後処理等) 港湾内・狭水道における安全操船に資する、エンジン負荷変動への追従性確保・安定燃焼のための燃料油の使用量(混燃割合)の検討 		<ul style="list-style-type: none"> ● アンモニア又はアンモニア改質水素を利用した船内電源・蒸気供給システム ● 腐食・漏洩に対応した艙装品 	● アンモニアバンカリングの安全性	<ul style="list-style-type: none"> ● 腐食・漏洩対策(検知センサー等も含む) ● アンモニアガス処理技術(バージガス、漏洩ガス、BOG) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃料供給体制の構築 ● 船舶及びバンカリングに関する安全基準の整備 ● 船員の能力要件の策定と国際基準化 ● 船員の確保・育成 ● 造船・船用における技術人材の育成 ● 環境影響評価
	燃料電池(アンモニア改質又は直接利用)	<ul style="list-style-type: none"> ● 大型船: 補機 ● 中小型船: 主機・補機 	● 陸用と同じく高効率な(60%程度)SOFC(固体酸化物形燃料電池)の開発(500~1000℃での発電に対応した熱変化に強い断熱素材)					

表 5.1-1(続き) ゼロエミッション船の技術開発課題

	想定される船上利用	燃焼	船上貯蔵	補機・精装 品等	パンカリング	その他の 技術開発課題	技術開発課題 以外の課題
メタン(バイオ・合成)燃料船	● LNG 燃料船と同じ	● LNG 燃料船の技術を転用可能。 ● メタンスリップ対策(特に小・中出力の 4 ストロークエンジン。エンジン改良やメタン酸化触媒等の検討が進捗中)				● メタンリーク(低圧のコンプレッサーや FGSS からの排出、ガスフリー時の排出)の量の把握と対策。	● IMO において、燃料の船上排出がゼロ扱いとなる考え方の確立 ● 燃料供給体制の構築
ディーゼルオイル(バイオ・合成)燃料船	● 低硫黄重油への混合又は専焼(主機・補機)	● FAME:NOx 増加の抑制 ● FAME:NOx 規制への適合確保	● FAME: バイオディーゼルオイルに対する腐食対策 ● FAME: 船内貯蔵時の変質対策			● 混合する際のスラッジの抑制	
メタノール(バイオ・合成)燃料船	● 主機・補機	● 技術的には確立					
レトロフィット技術(LNG 燃料船等から代替燃料船にレトロフィットする)を活用する船舶	● 主機・補機 ● (直接燃焼、燃料電池)	● 一部換装で新燃料を燃焼できる機関	● 兼用タンク、材料選定	● 一部換装又は兼用可能な補機・精装品・計装機器類	● 兼用又は改造可能なパンカリング船	● 改造工事負荷の最小化	

5.2 節 ゼロエミッション船の技術開発動向

5.2.1 我が国の取組(グリーンイノベーション基金)

我が国は、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)に造成された「グリーンイノベーション基金」を活用して、ゼロエミッション船の世界に先駆けた実用化に向けた「次世代船舶の開発」プロジェクトを進めている。

2021年10月、「次世代船舶の開発」プロジェクトについて、4つのテーマ及び実施者を決定した。その詳細は以下のとおり(表 5.2.1-1 並びに図 5.2.1-1 から図 5.2.1-4)。

表 5.2.1-1 グリーンイノベーション基金で採択されたプロジェクト

テーマ名称	実施者
船用水素エンジン及び MHFS※の開発 ※MHFS: 船用水素燃料タンク及び燃料供給システム	川崎重工業株式会社 ヤンマーパワーテクノロジー株式会社 株式会社ジャパンエンジンコーポレーション
アンモニア燃料国産エンジン搭載船舶の開発	日本郵船株式会社 日本シッパード株式会社 株式会社ジャパンエンジンコーポレーション 株式会社 IHI 原動機
アンモニア燃料船開発と社会実装の一体型プロジェクト	伊藤忠商事株式会社 日本シッパード株式会社 株式会社三井 E&S マシナリー 川崎汽船株式会社 NS ユナイテッド海運株式会社
触媒とエンジン改良による LNG 燃料船からのメタンスリップ削減技術の開発	日立造船株式会社 ヤンマーパワーテクノロジー株式会社 株式会社商船三井

次世代船舶の開発

船用水素エンジン及びMHFSの開発

MHFS: Marine Hydrogen Fuel System 船用水素燃料タンクおよび燃料供給システム

事業の目的・概要

- 船舶から排出される温室効果ガスを削減するために、**コンソーシアム3社が出力範囲と用途の異なる船用水素エンジンを並行して開発**する。開発したエンジンにより実船実証運航を行い、機能および信頼性を確認し、社会実装につなげる。
- 船用水素燃料タンクおよび燃料供給システムを新開発**する。陸上試験を経て、補機用の中高速4ストロークエンジン、推進用の低速2ストロークエンジンの実証運航に適用し、機能および信頼性を確認し、社会実装につなげる。

実施体制

※太字: 幹事企業

- 川崎重工業株式会社**、ヤンマーパワーテクノロジー株式会社、株式会社ジャパンエンジンコーポレーション
- 川崎重工業株式会社**

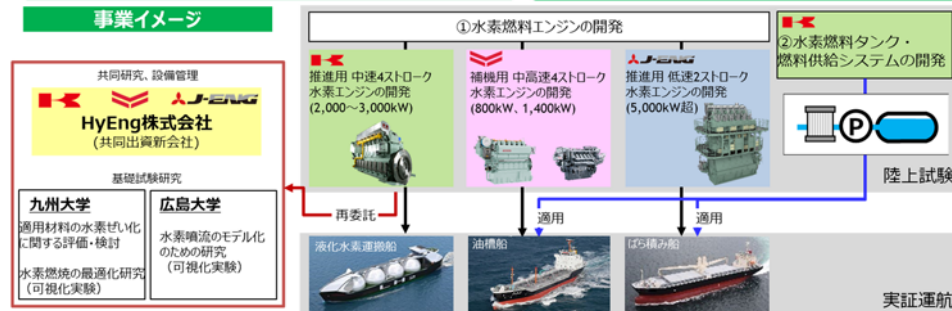
事業規模等

- 事業規模 (①+②) : 約219億円
- 支援規模 (①+②) * : 約210億円
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートでの事業進捗などに応じて変更の可能性あり。
- 補助率など
①: 9/10 → 2/3、②: 9/10 → 2/3 (インセンティブ率は10%)

事業期間

- ①、② 2021年度～2030年度(10年間)

事業イメージ



出典: 川崎重工業㈱, ヤンマーパワーテクノロジー㈱, ㈱ジャパンエンジンコーポレーション

図 5.2.1-1 グリーンイノベーション基金で採択されたプロジェクト

(船用水素エンジン及び MHFS の開発)

アンモニア燃料国産エンジン搭載船舶の開発

事業の目的・概要

- 海上輸送のゼロエミッション化推進・次世代船舶分野における日本海事クラスターの競争力維持・向上を目的として、アンモニア燃料国産エンジンを搭載するアンモニア燃料船舶の研究開発を行う。
 - アンモニア燃料タグボート（内航船）の開発・運航
 国産4ストローク主機の開発、安全性・実用性に配慮したアンモニア燃料船舶の設計、アンモニア燃料船に係る運航・メンテナンス手法の確立などに取り組み、2024年の竣工を目指す。
 - アンモニア燃料アンモニア輸送船（外航船）の開発・運航
 国産2ストローク主機および国産4ストローク補機の開発、外航船の船型主要目の開発とアンモニア燃料・荷役配管システムおよびオペレーションシステムの開発、アンモニア毒性に対する船内安全システムの確立、アンモニア燃料船に係る運航・メンテナンス手法の確立などに取り組み、2026年の竣工を目指す。

実施体制 ※太字: 幹事企業

- 日本郵船株式会社、株式会社IHI原動機
- 日本郵船株式会社、株式会社ジャパンエンジンコーポレーション、株式会社IHI原動機、日本シッパード株式会社（一般財団法人日本海事協会 *NEDO助成先対象外）

事業規模等

- 事業規模：約123億円
- 支援規模*：約84億円
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートでの事業進捗などに応じて変更の可能性あり。
- 補助率など：2/3→1/2（インセンティブ率は10%）

事業期間

2021～2027年度（7年間）

事業イメージ

<アンモニア燃料エンジン開発>

用途	種類	ボア径 (mm)	出力 (kW)
① 主機	4ストローク	280	約1,600
② 主機	2ストローク	500	約8,000
補機	4ストローク	200 250	約1,300

<アンモニア燃料船舶の開発・運航の流れ>

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

図 5.2.1-2 グリーンイノベーション基金で採択されたプロジェクト
(アンモニア燃料国産エンジン搭載船舶の開発)

アンモニア燃料船開発と社会実装の一体型プロジェクト

事業の目的・概要

- 2028年までの出来るだけ早期にアンモニア燃料船を日本主導で社会実装し、日本の海事産業がゼロエミ船分野で長期に渡り優位性を維持出来る形を目指し、他国に先駆けて推進システム・船体開発および保有・運航を行う。
- 早期の社会実装実現のためにアンモニア燃料船の「開発」、「保有・運航」、「燃料生産」、「燃料供給拠点整備」の全域をカバーする「統合型プロジェクト」の一環として本事業を推進する。

実施体制 ※太字: 幹事企業

伊藤忠商事株式会社、川崎汽船株式会社、NSユナイテッド海運株式会社、日本シッパード株式会社、株式会社三井E&Sマシナリー

事業規模等

- 事業規模：約30億円
- 支援規模*：約20億円
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートでの事業進捗などに応じて変更の可能性あり。
- 補助率など：2/3 → 1/2（インセンティブ率は10%）

事業期間

2021年度～2027年度(7年間)

事業イメージ

アンモニア燃料船開発・統合型プロジェクト

出典：伊藤忠商事㈱、川崎汽船㈱、NSユナイテッド海運㈱、日本シッパード㈱、㈱三井E&Sマシナリー

図 5.2.1-3 グリーンイノベーション基金で採択されたプロジェクト
(アンモニア燃料開発と社会実装の一体型プロジェクト)

触媒とエンジン改良によるLNG燃料船からのメタンスリップ削減技術の開発

事業の目的・概要 <ul style="list-style-type: none"> □ 海運業界の温室効果ガス削減に貢献するために、2026年までにLNG燃料船のメタンスリップ削減率70%以上を達成し、重油からLNGへの燃料転換による温室効果ガス削減効果を引き上げる。 □ そのためにエンジン実稼働条件下で高いメタンスリップ削減性能を有する触媒の開発とエンジン出口からのメタンスリップ削減および触媒のメタンスリップ削減性能を高める燃焼方式を軸とした新たなエンジンシステムを開発する。 □ その後、開発した触媒とエンジンを組み合わせたメタンスリップ削減技術を実船搭載し運用手法を確立する。 	
実施体制 ※太字: 幹事企業 <ul style="list-style-type: none"> □ 日立造船株式会社 □ ヤンマーパワーテクノロジー株式会社 □ 株式会社商船三井 	事業規模等 <ul style="list-style-type: none"> □ 事業規模 : 約11億円 □ 支援規模* : 約6億円 *インセンティブ額を含む。今後ステージゲートでの事業進捗などに応じて変更の可能性あり。 □ 補助率など : 1/2 → 1/3 (インセンティブ率は10%)
事業期間 2021年度～2026年度(6年間)	
事業イメージ	
【拡大が予想されるLNG燃料船】 	【LNG燃料船へのメタンスリップ削減技術の導入】
【実船実証】 <p>株式会社名村造船所で建造し、株式会社商船三井が運航する大型石炭専用船にて実船実証を実施する。</p>	

出典：日立造船㈱、ヤンマーパワーテクノロジー㈱、商船三井、㈱名村造船所

図 5.2.1-4 グリーンイノベーション基金で採択されたプロジェクト
(触媒とエンジン改良によるLNG燃料船からのメタンスリップ削減技術の開発)

5.2.2 国内外の動向

以下に、ゼロエミッション船に関する国内外の技術開発動向を整理した。

5.2.2.1 水素燃料船

水素燃焼に関する技術開発：

水素燃料船の導入に向けて、エンジンの開発が進められている。エンジン開発に当たっては、オートサイクルの場合は異常燃焼(ノッキング・失火・過早着火)の制御、ディーゼルサイクルの場合は高圧燃料供給装置の開発が課題となっている。

国内外のエンジンメーカーによる水素エンジンの開発状況は図 5.2.2-1 のとおり。大出力の2ストローク水素エンジンの開発を発表しているのは、先述のグリーンイノベーション基金の支援対象事業者である国内エンジンメーカー1社(J-ENG)のみである。一方で、小・中出力の4ストローク水素エンジンは多くのエンジンメーカーによって開発が進められている。

	出力 (kW)	エンジンメーカー	開発目標年	備考
2スト	5000kW以上	J-ENG	2026年度*	GI基金
4スト	1000kW～ 2670kW	ABC、CMB	2020年	混燃(水素75%)
4スト	645kW	MAN	2021年	混燃(水素25%) 2020年代末に専焼エンジンを開発予定
4スト	776kW～ 2535kW	Rolls Roys, mtu	2023年	
4スト	不明	バルチラ	2025年	
4スト	2000kW～ 3000kW	川崎重工	2026年度*	GI基金
4スト	800kW	ヤンマー	2026年度*	GI基金(出力1400kWエンジンも順次開発)

※ 開発目標年は船舶搭載前の陸上試験完了を示す。

図 5.2.2-1 国内外における水素エンジンの開発動向

その他の技術開発:

水素は液化状態で熱量当たりの体積が C 重油の約 4.5 倍あり、タンク容積が嵩張ることから貯蔵時の容積効率を考慮した水素タンクの開発が必要であり、グリーンイノベーション基金でも開発が進められている。

また、低温及び水素脆性に対して強い艀装品の開発や、安全性を考慮したバンカリング技術の開発も必要であり、今後、これらの開発も進められなければならない。

5.2.2.2 アンモニア燃料船

アンモニア燃焼に関する技術開発:

アンモニア燃料船の導入に向けて、エンジンの開発が進められている。エンジン開発に当たっては、未燃アンモニアの処理やパイロット燃料低減技術の開発が課題となっている。また、アンモニアの燃焼に当たっては、CO₂ の約 300 倍の温室効果を持つ N₂O の排出が従来の重油燃焼と比べ多くなるため、詳細な実態把握(発生メカニズムの解明及び発生量の把握)や排出削減技術の開発(触媒による後処理等)の検討も重要である。

国内外のエンジンメーカーによるアンモニアエンジンの開発状況は図 5.2.2-2 のとおり。2025 年頃の開発完了を目指し、開発が進められている。

	出力(kW)	エンジンメーカー	開発目標年	備考
2スト	不明	MAN	2024年	4ストも開発予定 (目標年等は不明)
2スト	8000kW	J-ENG	2025年度央	GI基金
2スト	5000kW以上	WinGD	2025年	
4スト	不明	バルチラ	2023年	
4スト	1600kW	IHI原動機	2023年度	GI基金 主機用(内航船)
4スト	1300kW	IHI原動機	2025年度	GI基金 補機用

図 5.2.2-2 国内外におけるアンモニアエンジンの開発動向

また、N₂O の排出削減対策については、国内メーカー1 社(日立造船)によって、N₂O 分解触媒の開発が進められているところ。

その他の技術開発:

アンモニアは腐食性があり、また、強い毒性があるため、本特性を考慮した艀装品の開発が必要である。また、漏洩したアンモニアの処理技術の開発、安全性を考慮したバンカリング技術の開発が必要であり、今後、これらの開発も進められなければならない。

5.2.2.3 燃料電池船

燃料電池船に関しては、図 5.2.2-3 のとおり、既に国内外で実証プロジェクトが進められている。

船種	船社	燃料電池の種類	実証運航目標年
実験船(12人)	戸田建設、長崎総合科学大学、NK	PEFC(30kW×2)、バッテリー(132kW)、モーター(220kW×2)を併用	2015年
旅客船(75人) Sea Change	SWITCH Maritime	不明(360kW) バッテリー(100kWh)を併用	2022年 All American Marine シップヤードで海上試 運転中
Ro-Ro旅客船 Topeka	Wilhelmsen	PEFC(3MW) バッテリー(1000kW)を併用	2024年
大型フェリー	KNUNDE HANSEN	PEFC	2027年

図 5.2.2-3 国内外における燃料電池船の実証プロジェクト

なお、アンモニア燃料電池船に関しては、国内における動きはないが、欧州において、LNG 燃料船「Viking Energy」に 2MW のアンモニア燃料電池を搭載するプロジェクトが進められており、2024 年の試験運航を計画している²⁶。

²⁶ <https://shipfc.eu/about/>

5.2.2.4 その他の船舶

メタン(バイオ・合成)燃料船:

既に実用化されている LNG の技術を使用でき、LNG 燃料船や燃料供給インフラもそのまま転用することができる。ただし、燃焼に当たって、CO₂ の約 30 倍の温室効果を持つ未燃の CH₄ が漏洩(メタンスリップ)する問題や、コンプレッサー等からの漏洩(メタンリーク)の問題が懸念されており、これらの把握及び対策が必要である。

メタンスリップ排出削減に向けて、グリーンイノベーション基金の対象事業として、日立造船及びヤンマーはメタン酸化触媒の開発とエンジン改良との組合せによるメタンスリップ削減技術の開発を進めているところ。2024 年度末に陸上試験を完了した後、商船三井と実船実証に移行し、2026 年度の PJ 完了を目指すこととなっている。

ディーゼルオイル(バイオ・合成)燃料船:

既存の重油炊き船にそのまま使用することができるという利点があるが、バイオディーゼルオイルの中で、特に FAME(脂肪酸メチルエステル、Fatty Acid Methyl Ester)に関しては、以下の課題があることに留意する必要がある。

1. NO_x 増加の抑制
2. NO_x 規制への適合確保
3. 腐食対策
4. 船内貯蔵時の変質対策
5. 他燃料と混合する場合のスラッジの抑制(※ 本問題は HVO にも共通する課題)

レトロフィット技術を活用してゼロエミッション船となるケース(例:LNG 燃料船からアンモニア燃料船):

ゼロエミッション船への移行としては、従来燃料を使用する船舶を改造する(レトロフィット)ことにより、ゼロエミッション化を実現する手段が考えられる。その場合、レトロフィットに要する費用や期間を最小化する観点から、一部換装で新燃料を燃焼できる機関や、一部換装又は兼用可能な補機等の開発などが必要と考えられる。

5.3 節 燃料以外の主な CO₂ 削減技術

5.1 節及び 5.2 節は、代替燃料にフォーカスした内容であるところ、本節では、燃料以外の主な CO₂ 排出削減技術として、風力推進、バッテリー推進及び船上 CO₂ 回収などの特徴を、表 5.3-1 のとおりまとめた。

表 5.3-1 燃料以外の主な CO2 削減技術

	効率改善ポテンシャル	長所	短所
風力推進	自然条件等による	● CO2 排出ゼロ	● 現時点では規模的に主たる推進エネルギーとならないが、寄与率を高めることは可能
太陽電池	自然条件等による	● CO2 排出ゼロ	● 規模的に主たる推進エネルギーとならない
空気潤滑	2~6%程度改善	● 既存技術で実施可能	● 効果は船体形状、喫水及び気象海象により異なる
低摩擦塗料	2~5%程度改善	● 既存技術で実施可能	● 効果は船体形状及び船速により異なる
省エネダクト	2~5%程度改善	● 既存技術で実施可能	● 効果は船体形状及び船尾形状により異なる
船首形状変更	2~5%程度改善	● 既存技術で実施可能	● 効果は船体形状及び船首形状により異なる
廃熱回収発電装置	1~5%程度改善	● 既存技術で実施可能	
バッテリー推進	活用程度・活用方法による	● 船上排ガス全てゼロ ● 一部小型船の主推進機関として、一部大型船の推進補助機関として実績あり	● 重量及び体積エネルギー密度が低い ● 高圧充電インフラ未整備 ● (通常の燃料補給よりも)長い補給所要時間 ● 大型外航船を想定した場合、電池搭載による大幅な重量増加が見込まれる
船上 CO2 回収	排ガス中の CO2 を 85%~95%以上回収可能(理論値)	● (理論上)燃料油を問わない ● (理論上)削減率大 ● デモプラントによる船上試験が実施されている	● 燃料種によっては排ガスの前処理が必要(脱硝、脱硫等) ● 回収後の CO2 体積・重量大 ● 三重点近傍での CO2 の貯蔵 ● 回収率向上が必要 ● 陸上 CO2 受入れ施設の整備、地層への封入・固定を行う事業者の存在が必要 ● 地層内固定のキャパシティも要考慮 (IEA によれば、2050 年時点、地層内固定の需要 1.9Gt に対して、固定可能量 0.9Gt)

なお、上記の内、船上 CO2 回収に関して、三菱造船、川崎汽船及び日本海事協会は、洋上用 CO2 回収装置の検証プロジェクト“CC-Ocean(Carbon Capture on the Ocean project)”を進めており、2021 年 8 月から、石炭運搬船に CO2 回収小型デモプラントを搭載し、高純度(99.9%以上)な CO2 回収に成功している。また、海外においても検討が進められており、同様のプロジェクトのフィージビリティスタディがオランダとドイツの企業ら²⁷や石油会社ら²⁸によって行われている。

²⁷ <https://www.conoship.com/wp-content/uploads/2020/06/200513-CO2ASTS-Public-Concise-Report.pdf>

²⁸ https://www.ogci.com/wp-content/uploads/2021/11/OGCI_STENA_MCC_November_2021.pdf



図 5.3-1 三菱造船、川崎汽船、日本海事協会によるプロジェクト：
本船に搭載完了した CO2 回収装置の様子

5.4 節 国内外の技術開発動向の整理表

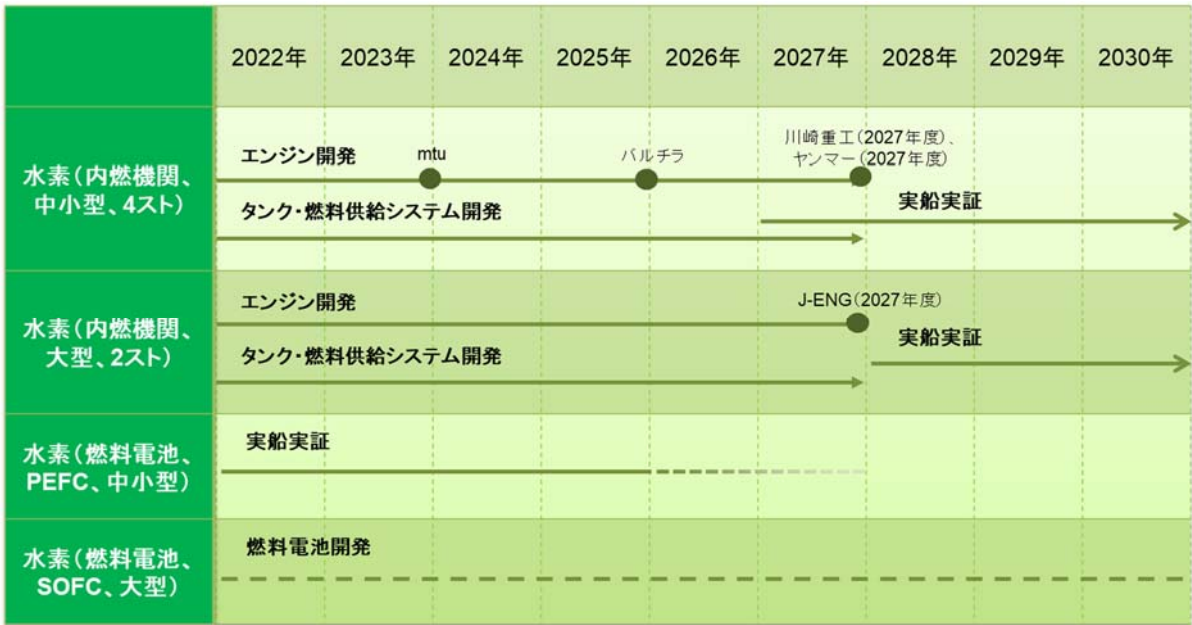
国内外の技術開発動向を表 5.4-1 のとおり整理した。

2020 年に取りまとめた「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」では、2028 年～2030 年の期間をゼロエミッション船投入開始時期としているが、グリーンイノベーション基金では、水素燃料船については 2030 年までの実証運航完了、アンモニア燃料船については 2028 年までのできるだけ早期の商業運航実現に向けて、現在、技術開発が進められている。

また、報道等によれば、国内企業で、アンモニア燃料船を 2025 年中に竣工させる計画も公表²⁹されるなど、よりゼロエミッション化を加速する動きも見られる。

²⁹ <https://www.sumitomocorp.com/ja/jp/news/release/2021/group/15330>

表 5.4-1 国内外の技術開発動向の整理表



第6章 GHG 排出削減シミュレーション

6.1 節 シミュレーションに関する議論の進め方

本節では、国際海運における 2050 年の GHG 排出量ネットゼロを実現するためにはどのような制度面の環境整備が必要となるのかを検討するにあたり、仮定の異なる複数の GHG 削減シナリオを設定し、2050 年までにどのように GHG 削減が進むのかシミュレーションを行い、結果の比較・検討を行った。シミュレーションは、代表的な船種について行うこととし、船種の選定にあたっては、2020 年時点で世界の船腹量(載貨重量トンベース)の 84.77%を占める³⁰、3 大船種であるばら積貨物船、タンカー、コンテナ船に加えて、邦船社が運航する代表的な船種である自動車運搬船(PCC: Pure Car Carrier)の 4 種類を設定した。

具体的には、各船種につき図 6.1-1 に示す仮定の下で 6 つの削減シナリオを設定し、2050 年までに GHG 排出量がどのように変化するのか計算を行った。

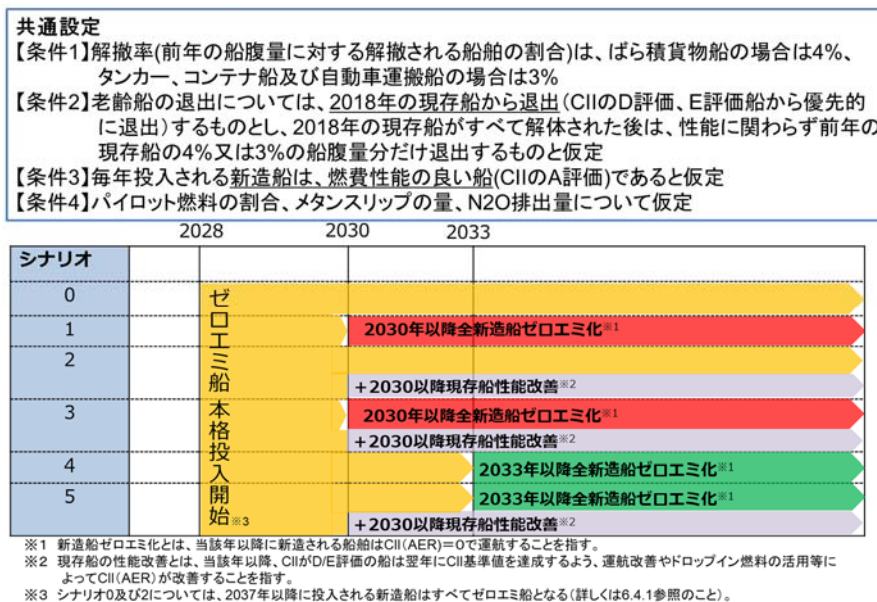


図 6.1-1 シミュレーションに共通する条件設定とシミュレーションごとの差異

シミュレーションに共通する条件設定として、解撤率、老齢船の退出に関する仮定、新造船の性能に関する仮定、及び将来技術に関して4つの仮定を置いた。シナリオごとの違いとしては、新造船が全船ゼロエミッション船(年間のトンマイルあたり CO2 排出量(Annual Efficiency Ratio:AER)の値が0で航行する船舶)となる年(2030年及び2033年)と、2030年以降に現存船が性能改善を行うか否かという2点がある。これらの仮定や前提条件については、6.3にて詳述する。

図 6.1-2 に、本シミュレーションの実施の流れを示す。

³⁰ United Nations Conference on Trade and Development. (2021). Review of maritime transport 2021. https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2021_en_0.pdf

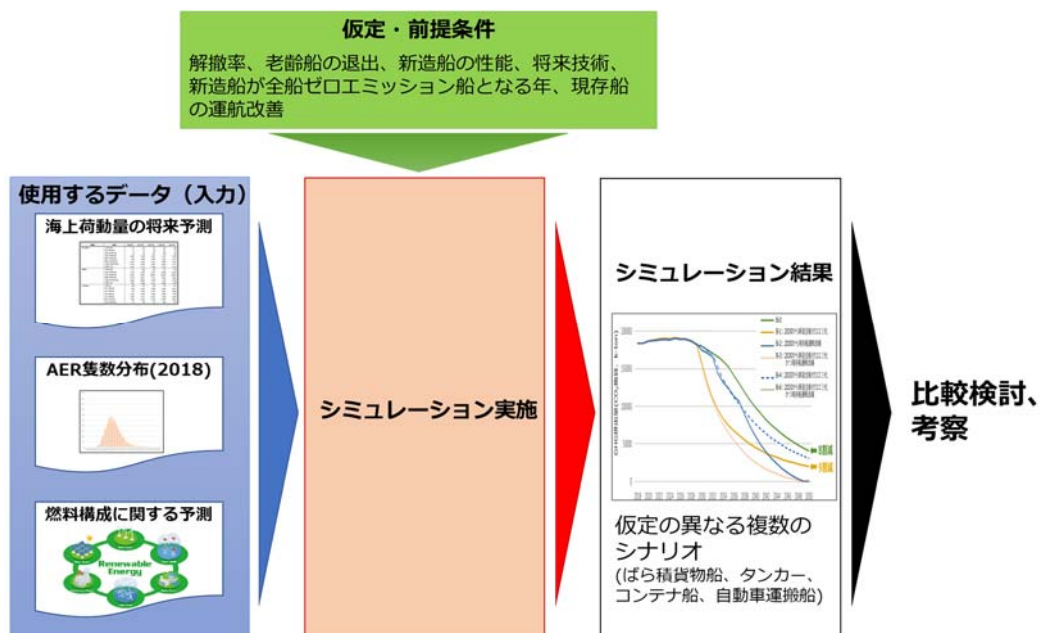


図 6.1-2 シミュレーション実施の流れ

6.2 節 使用データ

6.2.1 海上荷動き量の将来予測

海上荷動き量の将来予測は、IMO 4th GHG Study³¹に示される社会経済シナリオ毎の海上荷動き量(トンマイル)から、代表的濃度経路(Representative Concentration Pathways, RCP)は RCP2.6 を、及び社会経済シナリオ(Shared Socioeconomic Pathways, SSP)は SSP2(ただし、一部 GDP 予測については OECD シナリオ)を選択した。

各船種の海上荷動き量の将来予測を図 6.2.1-1 から図 6.2.1-4 に示す。なお、自動車運搬船については IMO 4th GHG Study ではそれ単独の将来予測は示されておらず、「その他乾貨物船(一般貨物船、RORO 船、自動車運搬船)」の中に包含されている。このため、2018 年の自動車運搬船の海上荷動き量の実績値に基づき、IMO 4th GHG Study で推計された 2018 年のその他乾貨物船の海上荷動き量に占める自動車運搬船の海上荷動き量の割合が将来に渡って維持されると仮定し、2019 年以降の自動車運搬船の海上荷動き量を推計した。

³¹ IMO, 4th IMO GHG Study, 2020

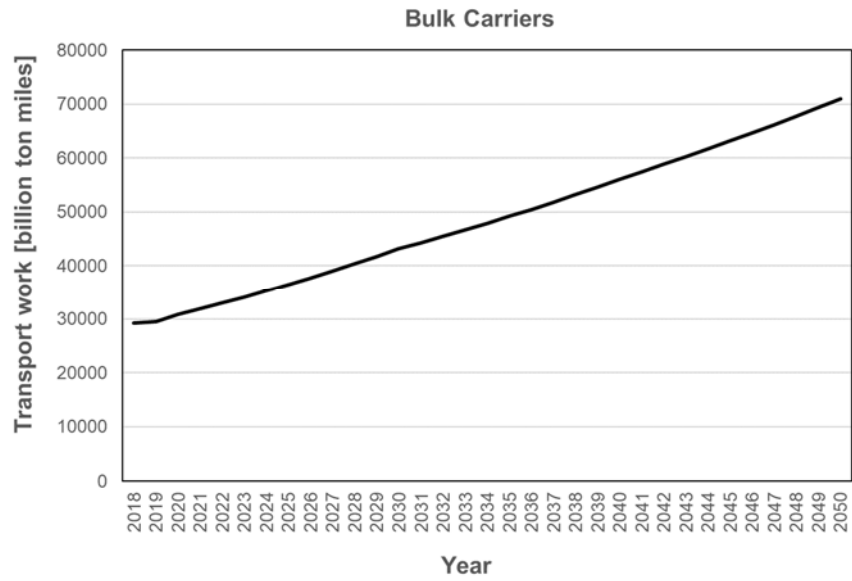


図 6.2.1-1 ばら積貨物船の海上荷動き量予測

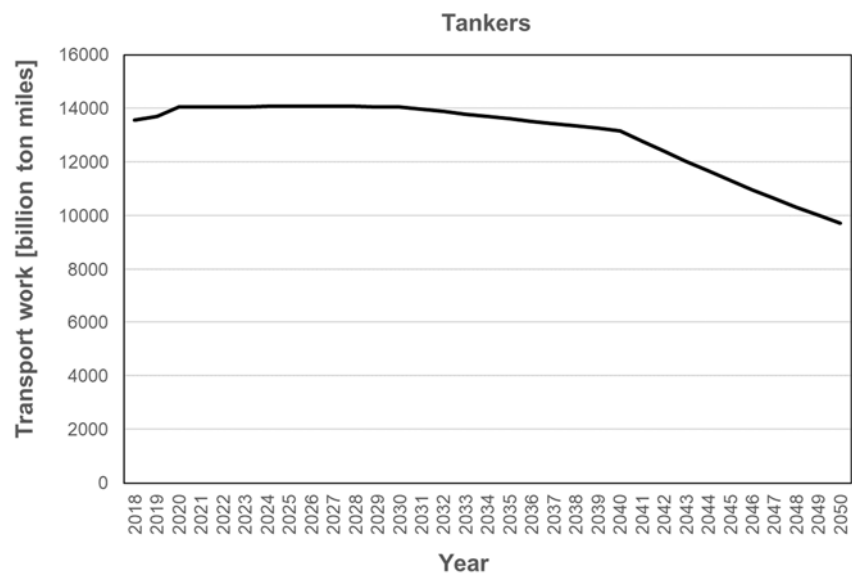


図 6.2.1-2 タンカーの海上荷動き量予測

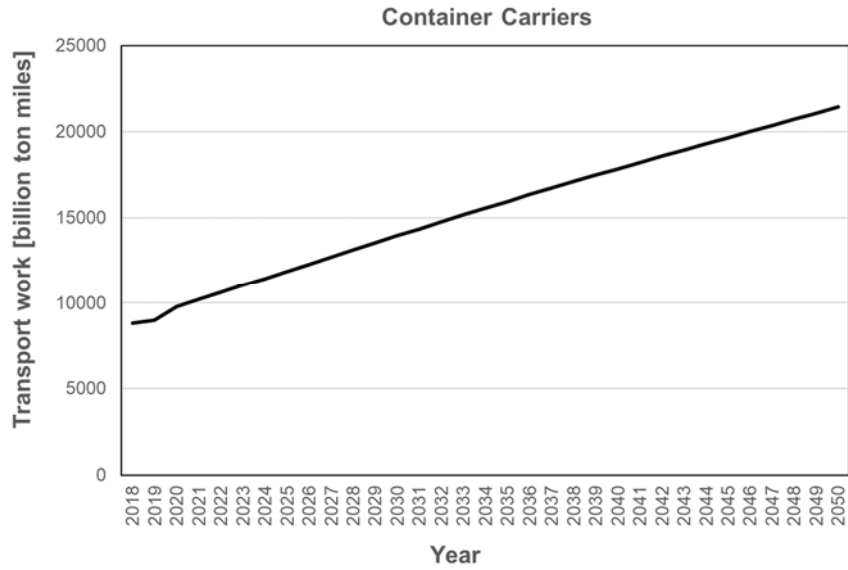


図 6.2.1-3 コンテナ船の海上荷動き量予測

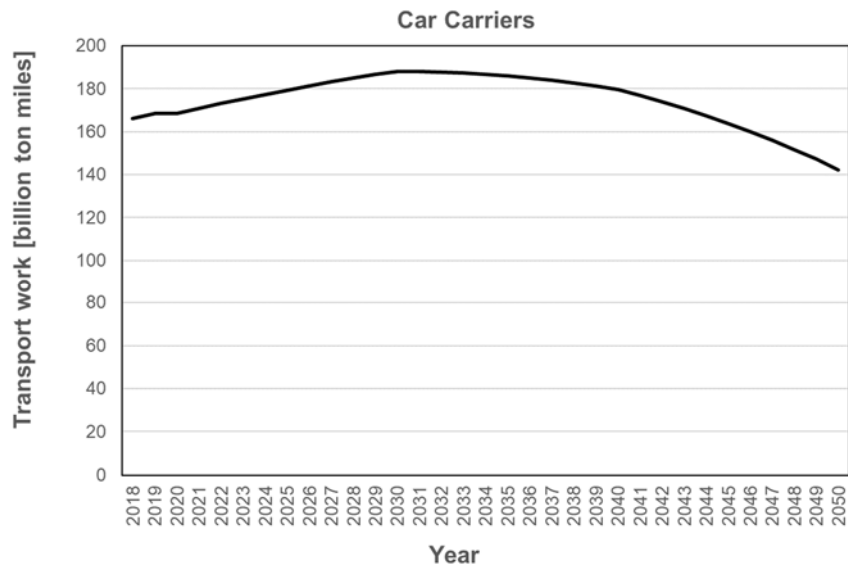


図 6.2.1-4 自動車運搬船の海上荷動き量予測

6.2.2 2018 年における世界のフリートの AER 分布

本シミュレーションでは、2018 年における世界のフリートの AER 分布を初期値として使用した。下図に、2018 年における世界のフリートの AER 分布を示す。横軸は単位輸送量(トンマイル)あたりの年間 CO2 排出量を表し、中央値を 1 として船舶の大きさ(載貨重量トン数)に対する無次元化を行っている。

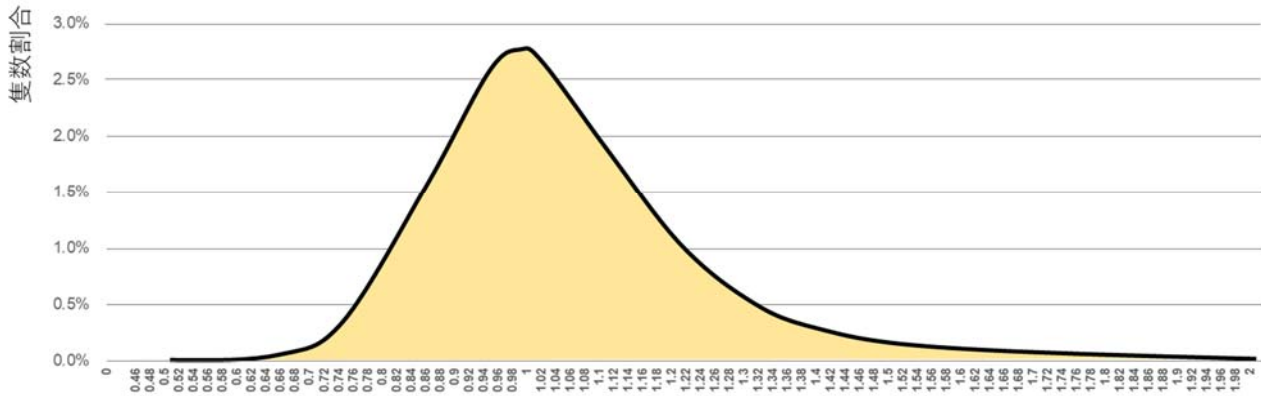


図 6.2.2-1 2018 年における世界のフリートの AER 分布(ばら積貨物船)

本シミュレーションでは、上記の分布に対して、後述の仮定を置くことによりフリートの分布を変化させることにより、2050 年までの GHG 排出量の推移を予測した。

6.2.3 燃料構成

ゼロエミッション船の燃料内訳については、IEA NZE レポートにおいて予想している海運セクターのアンモニア、水素、バイオディーゼル/バイオメタン、その他エネルギー(電気及び合成燃料)のエネルギー消費量構成比率を用いて推計した。具体的には、ゼロエミッション船として就航する新造船の燃料消費内訳として、IEA NZE レポートにおける海運セクターでの非化石燃料に占めるアンモニア、水素とバイオ、その他燃料(電力、合成燃料の合計)の比率を使用することとした。アンモニアが、ゼロエミッション船で使用される燃料のうち、2030 年において 45.8%、2040 年において 53.3%、2050 年において 54.9%を占め、表 6.3.4-3 に示した係数に基づき N₂O が排出されると仮定した。なお、アンモニア以外のゼロエミッション燃料を使用する場合、CH₄ 及び N₂O は排出されないと仮定した。IEA の燃料構成の予測は、10 年ごととなっているため、その間の年における燃料構成比率については、直線補間を行うことにより算出している。

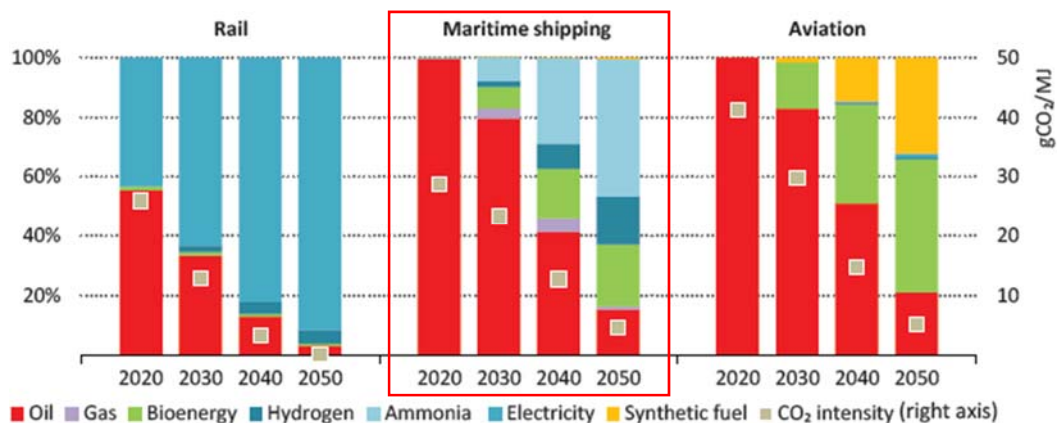


図 6.2.3-1 IEA NZE シナリオにおける運輸部門のエネルギー消費(中央が海運)

6.3 節 共通設定

6.3.1 解撤率に関する仮定

新造船の投入と老齢船の退出のスピード、つまり代替建造のスピード(解撤率)については、表 6.3.1-1 に示す IHS Markit の船舶データをもとに計算した解撤率(前年の船腹量(DWT)に対する解撤された船舶の船腹量の割合)を用いた。

表 6.3.1-1 ばら積貨物船、タンカー、コンテナ船及び自動車運搬船の解撤率(%)の推移(2008~2020)
(赤字で示す数字は各船種における解撤率の最大値)

船種	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ばら積貨物船	1.3	3.3	0.9	3.9	4.6	2.4	1.6	3.2	3.4	1.2	0.5	0.9	1.5
タンカー	1.3	2.3	3.2	1.7	2.8	1.9	1.2	0.5	0.3	1.7	3.3	0.6	0.3
コンテナ船	1.0	2.3	0.7	0.5	2.2	2.6	2.1	0.8	3.2	2.1	0.4	1.0	0.9
全船種	1.3	2.7	2.0	2.5	3.3	2.3	1.6	1.8	2.2	1.5	1.5	0.9	1.1

具体的には、それぞれの船種について、過去最高の解撤率を誇った年の小数点以下を切り捨てることにより、解撤率を設定した。過去最大の年間解撤率を利用した理由としては、現存化石燃料船から新造ゼロエミッション船への代替建造を促すことにより早期に GHG 排出量をゼロへと近づける観点から、より高い解撤が見込まれると想定したためである。全体船腹量の太宗を占めるばら積貨物船、タンカー、コンテナ船については個別に解撤率を試算し(括弧内は平均解撤船齢)、ばら積貨物船については 4%(25 年)、タンカー、コンテナ船及び自動車運搬船については 3%(33 年)として設定した。なお、自動車運搬船については、対象となる隻数が少ないためか解撤率のばらつきが大きく、したがって全船種の集計結果を基に設定することとした。

6.3.2 老齢船の退出に関する仮定

一般に、建造後に一定以上の期間利用された船舶は、老朽化や陳腐化のため経済的合理性を失い、解撤されることとなる。解撤には船齢が関係するため、シミュレーションにおいても一定以上の船齢を超えた船舶が解撤に回されると仮定することが最も自然であるが、シミュレーションの初期値として用いた IMO の燃料消費実績報告制度に基づく 2018 年における世界のフリートの AER 分布(6.2.2 参照)には船齢の情報が含まれておらず、そのような仮定を置くことができない。このため、2018 年の分布においては、環境性能が悪いほど老齢であると仮定し、環境性能が悪い船舶(老齢船)から解撤されるという条件で計算を行った。

世界のフリートの AER 分布の中で船舶の性能の優劣を議論するには、CII(Carbon Intensity Indicator)を利用するのが便利である。CII は、2018 年の世界のフリートの AER 分布において、中央値に基準値(required annual operational CII)が与えられ、基準値の前後 15%に所在する船舶には C 評価が与えられる。C 評価より性能の良い(トンマイル当たり CO2 排出量が小さい)20%の領域に分布する船舶には B 評価が与えられ、C 評価よりも性能の悪い(トンマイル当たり CO2 排出量大きい)20%の領域に分布する船舶には D 評価が与えられる。そして、性能が最も良い上位 15%に分布する船舶には A 評価が与えられ、性能が最も悪い 15%に分布する船舶には E 評価が与えられる(図 6.3.2-1 参照)。

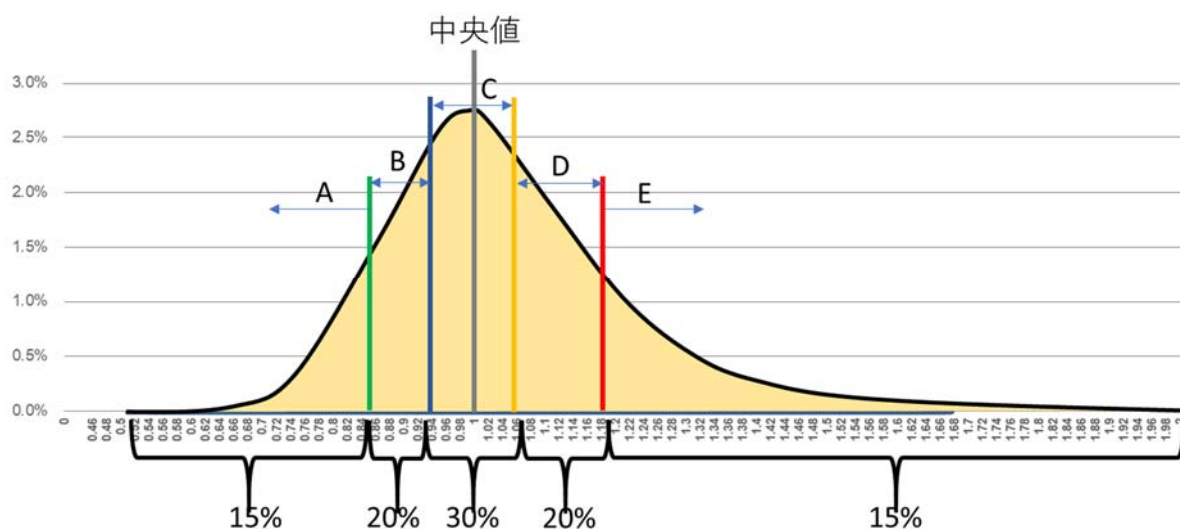


図 6.3.2-1 2018 年における世界のフリートの AER 分布(ばら積貨物船)

基準値及び各閾値については、2023 年以降、2026 年まで毎年 2% ずつ性能の良い方向へ改善していくことが、CII 基準線ガイドライン (MEPC.338(76)) に規定されている³²。ここで、2027 年以降の改善幅については決定していないが、2027 年以降は 2049 年に基準値及び閾値がゼロとなるように一様に減少していくものと仮定する(図 6.3.2-2 参照)。

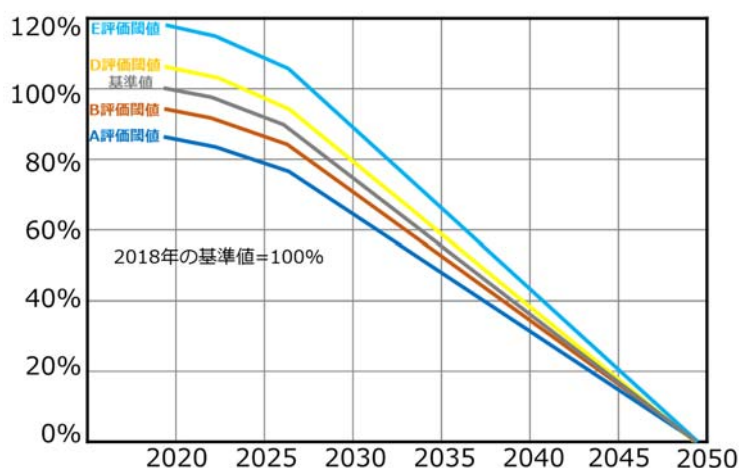


図 6.3.2-2 CII 基準値及び閾値の減少

以上の CII に関する想定の下で、毎年解撤される船舶の内訳として、次の仮定を置くこととした。

①2018 年における現存船の退出

³² IMO. (2021). MEPC 76/15/Add.2, 2021 Guidelines on the operational carbon intensity reduction factors relative to reference lines (CII reduction factors guidelines, G3).

2018 年において現存していた船舶から優先的に解撤されるものとする。解撤される船舶の具体的な選定にあたっては、前年の船腹量の 4%又は 3%が退出され、その内訳は各年における CII の D 評価船から 4 割、E 評価船から 6 割が退出する。

②2019 年以降に建造される船舶の退出

2018 年における現存船がすべて解撤された後、2019 年以降に建造された船舶の解撤が始まる。解撤される船舶の選定にあたっては、前年の現存船の 4%又は 3%の船腹量分だけ退出し、解撤される船舶は性能に依存しない(全 CII 値において 4%又は 3%ずつ等しく解撤される)ものとする。

6.3.3 新造船の性能に関する仮定

新造船については、最新の省エネ技術が採用可能なことを考えると、定性的に性能が良く、毎年改善していくものであるものと想定できる。この想定の下で、毎年投入される新造船の性能の下限は、CII における A 評価の閾値であるものとし、分布の形状(確率密度関数)については、2018 年の A 評価の分布を保ったままであるとする。ただし、本シミュレーションにおいては、新造船の建造量は、毎年の解撤量に輸送需要量の増減に伴う船腹の増減分を加味したものとする。毎年の CII の基準値及び閾値の改善に伴い、投入される新造船の性能の下限も毎年改善されることとなる。改善率については 2026 年までは毎年 2%、それ以降は毎年 3.3%とする。

次に、投入される新造船の性能限界について考える。IMO の 4th GHG study によるとゼロエミッション燃料を使用しない場合に最大 55~60%程度の GHG 削減が可能と試算されるため、既存の化石燃料船の燃費性能の限界値は、図 6.2.2-1 の無次元化された値で言えば 0.45(LNG 燃料船に限る)とし、化石燃料船の新造船の値がこの 0.45 を下回らないことと仮定した。一方で、シミュレーションにおいては A 評価の閾値が毎年改善するため、ある年以降は、投入される新造船の性能分布が 0.45 を下回ることになる。この場合、分布のうち 0.45 を下回った領域の船舶については、ゼロエミッション船(AER=0。つまり、(年間の)CO₂ 排出量ゼロで運航される船舶)が建造されるものと仮定する(図 6.3.3-1 参照)。

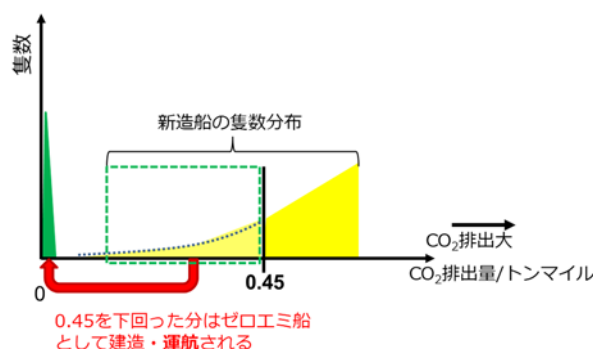


図 6.3.3-1 新造船としてのゼロエミッション船の投入

なお、ゼロエミッション船の就航開始は 2028 年以降とし、2027 年以前に新造船の性能分布の一部が 0.45 を下回る場合も生じる場合は、0.45 を下回った分の船舶の AER 値については、すべて燃費性能が 0.45 である LNG 燃料船が建造されるものとする。

6.3.4 将来技術に関する仮定

代替燃料を船舶燃料として利用するにあたっては、様々な技術的な課題があるが、中でも GHG 排出量に影響する要素としては、パイロット燃料、メタンスリップ(メタンを燃料とする船舶の場合)、N₂O 排出(アンモニア燃料船の場合)が挙げられる。より現実的なシミュレーションとするため、本シミュレーションにおいてもこれらの要素を考慮することとし、2030年、2040年及び2050年におけるパイロット燃料、メタンスリップ及びN₂O 排出量について、表 6.3.4-1~6.3.4-3 に示す仮定を置くこととした。

パイロット燃料に関しては、燃料が LNG 及びアンモニアの場合について設定することとした。表中の各年の間の年については、線形補完を行うことにより値を設定している。なお、表 6.3.4-1 中の単位は熱量ベース%である。

表 6.3.4-1 パイロット燃料に関する仮定

	LNG	アンモニア
2030	5%	5%
2040	3%	3%
2050	0%	0%

メタンスリップに関しては、LNG 燃料船の場合に設定することとした。表中の各年の間の年については、線形補完を行うことにより値を設定している。単位については、メタンを 1[g]燃焼した際に大気中に放出される未燃メタンの量[g]である。

表 6.3.4-2 メタンスリップに関する仮定*

2030	0.004 g/g-fuel (2.3 g-CO ₂ eq/MJ)
2040	0.002 g/g-fuel (1.2 g-CO ₂ eq/MJ)
2050	0.0006 g/g-fuel (0.35 g-CO ₂ eq/MJ)

*CO₂ 換算のための GWP100 は IPCC AR5 の値を用いた。

N₂O 排出量については、アンモニア燃料船の場合に設定することとした。表中の各年の間の年については、線形補完を行うことにより値を設定している。単位については、アンモニアを 1[g]燃焼した際に大気中に放出される N₂O の量[g]である(CO₂ 換算値も記載)。なお、ボイラーについては、LNG 燃料船におけるメタンスリップおよびアンモニア燃料船における N₂O の発生はないものとした。また、各船舶の主機、補機及びボイラーの燃料使用量は IMO 4th GHG Study の調査結果の 2018 年の実績に基づき設定し、同割合は 2050 年まで変化しないものと仮定した。

表 6.3.4-3 N₂O 排出量に関する仮定

2030	0.0005 g/g-fuel (8.0 g-CO ₂ eq/MJ)
2040	0.00025 g/g-fuel (4.0 g-CO ₂ eq/MJ)
2050	0.000025 g/g-fuel (0.04 g-CO ₂ eq/MJ)

*CO₂ 換算のための GWP100 は IPCC AR5 の値を用いた。

6.4 節 シナリオ毎の差異

6.4.1 新造船の全船がゼロエミッション船となる年

新造船が全船ゼロエミッション船となる年はシナリオごとに異なる。シナリオ 1 及び 3 では 2030 年以降に投入される新造船、シナリオ 4 及び 5 では 2033 年移行に投入される新造船については、すべてゼロエミッション船が建造されるものとし、6.3.3 記載の新造船の性能に関する仮定は適用しないものとする。なお、シナリオ 0 及び 2 については、6.3.3 で述べた新造船の性能下限が 2037 年に 0.45 を下回るため、2037 年以降に投入される新造船は、すべてゼロエミッション船となる。

6.4.2 現存船の性能改善有無

シナリオ 2, 3, 5 では、追加の設定として、2030 年以降に現存する化石燃料船が性能改善を行うという仮定をおく。具体的には、前年に CII 基準線を上回る CO₂ 排出を行った船舶は、ドロップイン燃料の活用等により翌年に当該基準線まで性能改善を行うものと想定する(図 6.4.2-1)。なお、性能改善の方法としては、レディ船として航行していた船舶がゼロエミッション燃料の利用を拡大すること、レトロフィットによりデュアルフューエル化を行いゼロエミッション燃料による航行を行うこと、レトロフィットを行うことなく化石燃料と同じ組成を持つカーボンニュートラル燃料等(例えば、重油からバイオディーゼル油、LNG から液化合成メタン)を利用して航行すること等が考えられる。

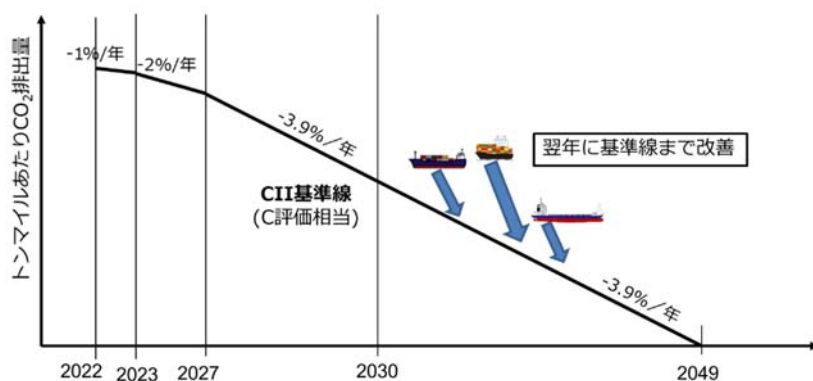


図 6.4.2-1 現存船の性能改善

6.5 節 結果と考察

6.5.1 ばら積貨物船

ばら積貨物船について、シナリオごとに GHG 排出量の推移、ゼロエミッション船の年間建造量、2040 年と 2050 年の GHG 排出削減量(2018 年比)を以下(図 6.5.1-1 及び図 6.5.1-2 並びに表 6.5.1-1)に示す。

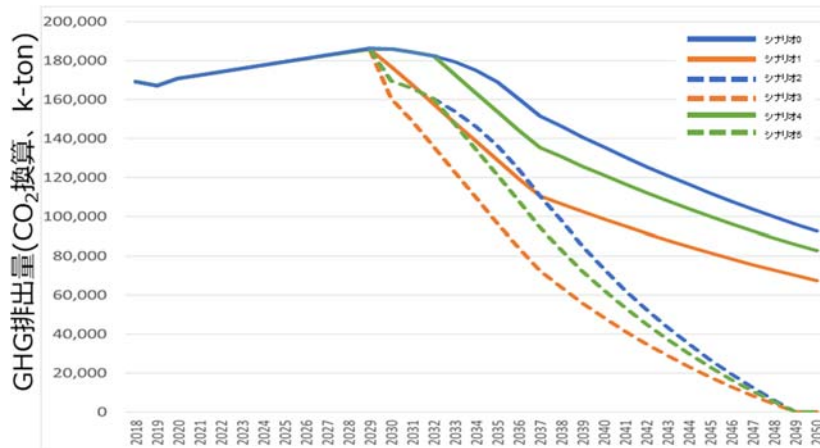


図 6.5.1-1 ばら積貨物船の GHG 排出量の推移

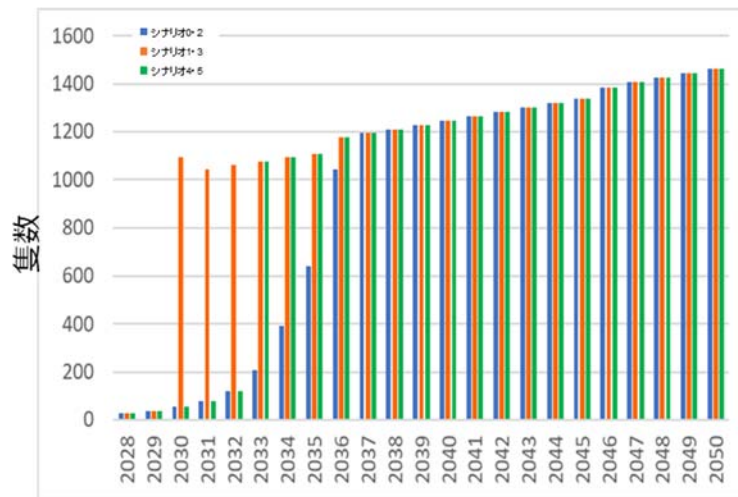


図 6.5.1-2 ゼロエミッション船年間建造量(ばら積貨物船)

表 6.5.1-1 ばら積貨物船の GHG 排出削減量(2018 年比)

シナリオ	シナリオ 0 からの変更点	削減率% (2040 年)	削減率% (2050 年)
0		19.5	44.7
1	2030 年から新造全船ゼロエミッション化	41.6	60.2
2	2030 年から現存船性能改善	56.6	99.9
3	2030 から新造全船ゼロエミッション化かつ 2030 から現存船性能改善	71.3	99.9
4	2033 から新造全船ゼロエミッション化	28.4	51.5
5	2033 から新造全船ゼロエミッション化かつ 2030 から現存船性能改善	63.0	99.9

6.5.2 タンカー

タンカーについて、シナリオごとに GHG 排出量の推移、ゼロエミッション船の年間建造量、2040 年と 2050 年の GHG 排出削減量(2018 年比)を以下(図 6.5.2-1 及び図 6.5.2-2 並びに表 6.5.2-1)に示す。

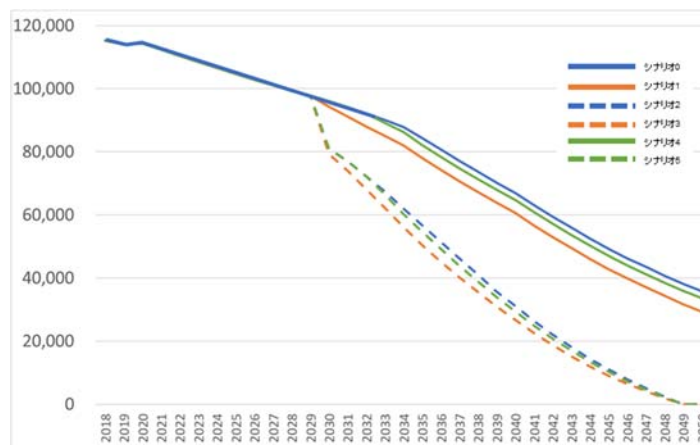


図 6.5.2-1 タンカーの GHG 排出量の推移

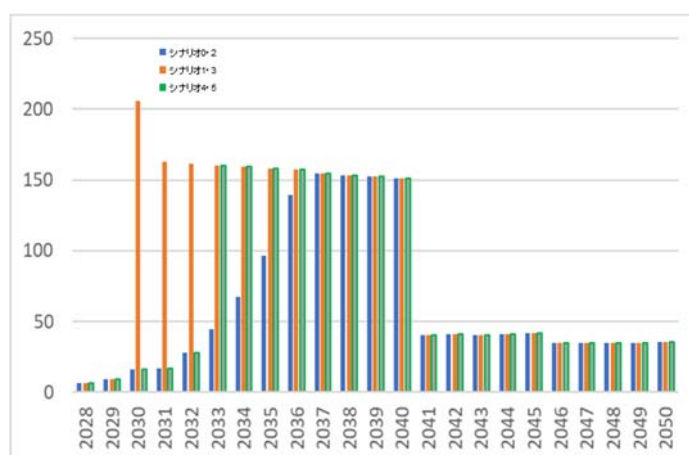


図 6.5.2-2 ゼロエミッション船年間建造量(タンカー)

表 6.5.2-1 タンカーの GHG 排出削減量(2018 年比)

シナリオ	シナリオ 0 からの変更点	削減率% (2040 年)	削減率% (2050 年)
0		42.0	69.0
1	2030 年から新造全船ゼロエミッション化	47.6	74.5
2	2030 年から現存船性能改善	73.1	99.9
3	2030 から新造全船ゼロエミッション化かつ 2030 から現存船性能改善	76.9	99.9
4	2033 から新造全船ゼロエミッション化	44.0	70.9
5	2033 から新造全船ゼロエミッション化かつ 2030 から現存船性能改善	74.6	99.9

6.5.3 コンテナ船

コンテナ船について、シナリオごとに GHG 排出量の推移、ゼロエミッション船の年間建造量、2040 年と 2050 年の GHG 排出削減量(2018 年比)を以下(図 6.5.3-1 及び図 6.5.3-2 並びに表 6.5.3-1)に示す。

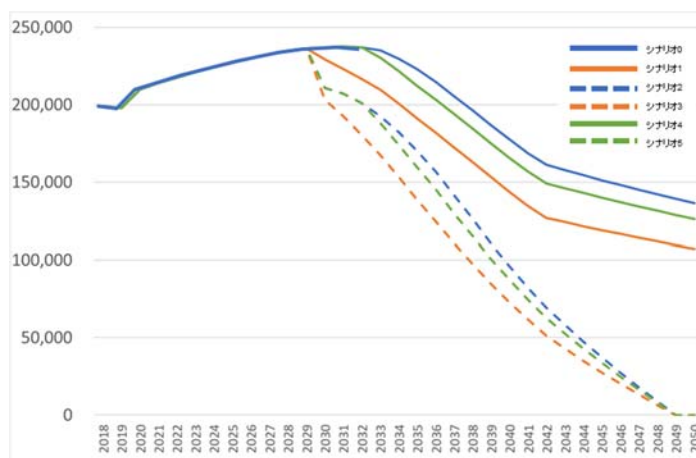


図 6.5.3-1 コンテナ船の GHG 排出量の推移

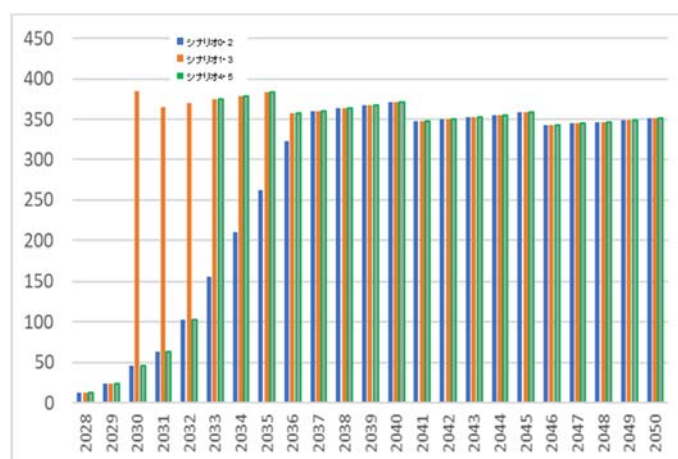


図 6.5.3-2 ゼロエミッション船年間建造量(コンテナ船)

表 6.5.3-1 コンテナ船の GHG 排出削減量(2018 年比)

シナリオ	シナリオ 0 からの変更点	削減率% (2040 年)	削減率% (2050 年)
0		10.9	31.5
1	2030 年から新造全船ゼロエミッション化	27.9	46.1
2	2030 年から現存船性能改善	52.0	99.9
3	2030 から新造全船ゼロエミッション化かつ 2030 から現存船性能改善	63.5	99.9
4	2033 から新造全船ゼロエミッション化	16.8	36.6
5	2033 から新造全船ゼロエミッション化かつ 2030 から現存船性能改善	56.3	99.9

6.5.4 自動車運搬船

自動車運搬船について、シナリオごとに GHG 排出量の推移、ゼロエミッション船の年間建造量、2040 年と 2050 年の GHG 排出削減量(2018 年比)を以下(図 6.5.4-1 及び図 6.5.4-2 並びに表 6.5.4-1)に示す。

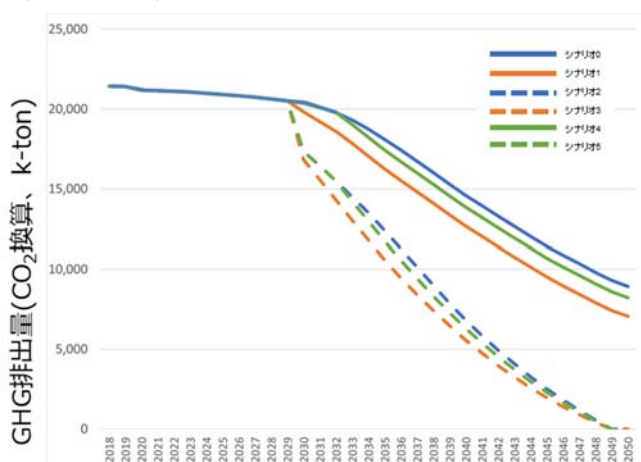


図 6.5.4-1 自動車運搬船の GHG 排出量の推移

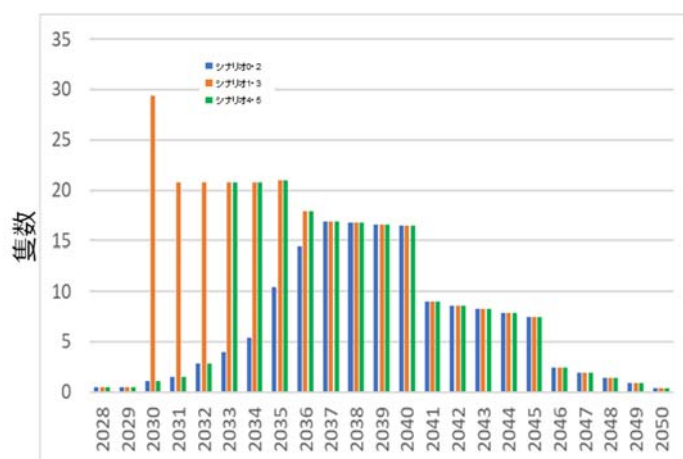


図 6.5.4-2 ゼロエミッション船年間建造量(自動車運搬船)

表 6.5.4-1 自動車運搬船の GHG 排出削減量(2018 年比)

シナリオ	シナリオ 0 からの変更点	削減率% (2040 年)	削減率% (2050 年)
0		32.0	58.3
1	2030 年から新造全船ゼロエミッション化	49.0	67.0
2	2030 年から現存船性能改善	68.3	99.9
3	2030 から新造全船ゼロエミッション化かつ 2030 から現存船性能改善	74.1	99.9
4	2033 から新造全船ゼロエミッション化	35.4	61.6
5	2033 から新造全船ゼロエミッション化かつ 2030 から現存船性能改善	70.7	99.9

6.5.5 考察

表 6.5.5-1 は、船種ごとにシナリオ 1(2030 年以降に新造船のゼロエミッション化を強制的に進める)とシナリオ 4(2033 年以降に新造船のゼロエミッション化を強制的に進める)における 2050 年の GHG 削減率と化石燃料船の残存隻数を示したものである。

表 6.5.5-1 船種別のシナリオ 1、4 の GHG 削減率(2050 年)

船種	シナリオ	削減率%(2050)	化石燃料船の残存隻数 (フリートに占める隻数割合)
ばら積貨物船	1	60.2	5,957 隻(22%)
	4	51.1	7,697 隻(31%)
タンカー	1	74.5	2,594 隻(54%)
	4	70.9	3,062 隻(64%)
コンテナ船	1	46.1	3,191 隻(34%)
	4	36.6	3,902 隻(41%)
自動車運搬船	1	67.0	305 隻(54%)
	4	61.6	369 隻(65%)

これを見ると、新造船のゼロエミッション化を強制的に進めるだけでは、2050 年の GHG 排出量はゼロとはならないことが分かる。これは、化石燃料船が一定程度残存するためであり、GHG 削減率は 2018 年比で 3～7 割減程度に留まる。

一方で、現存船の性能改善を加えたシナリオ(2、3 及び 5)を見ると、GHG 削減率はすべて 99.9%となっていることが分かる(次表 6.5.5-2 参照)。

表 6.5.5-2 船種別のシナリオ 2、3、5 の GHG 削減率(2050 年)

船種	シナリオ	削減率%(2040)	削減率%(2050)
ばら積貨物船	2	56.6	99.9
	3	71.3	99.9
	5	63.0	99.9
タンカー	2	73.1	99.9
	3	76.9	99.9
	5	74.6	99.9
コンテナ船	2	52.0	99.9
	3	63.5	99.9
	5	56.3	99.9
自動車運搬船	2	68.3	99.9
	3	74.1	99.9
	5	70.7	99.9

これは、現存船の性能改善方法として、前年に CII 基準線を上回る CO2 排出を行った現存船が、ドロップイン燃料の活用等により翌年に当該基準線まで性能改善を行うものと想定しており、CII 基準線が 2049 年に 0 となるため、すべての現存船の AER の値が 2049 年時点でゼロとなるためである。なお、パイロット燃料とメタンスリップの影響により、GHG 削減率は 100%とはならない。

以上の結果より、2050 年排出量ゼロを達成するためには、既存船の排出削減対策を確実に進めるための枠組みが必要であると考えられる。

第7章 制度面等の環境整備

前節までのゼロエミッション船実現に関する技術開発課題の整理及び複数のシナリオによる 2050 年までの GHG 排出量の削減シミュレーションを踏まえ、「2050 年 GHG 排出量ネットゼロ」を実現するために必要となる制度面等の環境整備について、特に IMO において今後検討が本格化する中長期対策を中心に整理した。

7.1 節 IMO における中長期対策

IMO が 2018 年に採択した GHG 削減戦略では、GHG 削減目標とともに、目標を達成するための短期・中期・長期の対策候補が列記されており、中期及び長期の対策候補は以下のとおりである。

・中期対策(2023 年から 2030 年の間に最終化・合意される対策)の候補

- | |
|--|
| 1. 低・脱炭素代替燃料の効果的な導入のためのプログラム |
| 2. 新造船及び既存船の運航上のエネルギー効率対策 |
| 3. GHG 排出削減のインセンティブとなる、経済的手法(MBM)を含む新たな／革新的な排出削減メカニズム |
| 4. ITCP(Integrated Technical Co-operation Programme)の下での技術協力及び能力開発活動のさらなる継続・強化 |
| 5. ベストプラクティスに関する情報交換を通じて、対策の実施に関する教訓を集約し、共有するためのフィードバックメカニズムの開発 |

・長期対策(2030 年以降に最終化・合意される対策)の候補

- | |
|--|
| 1. 海運セクターが今世紀後半に脱炭素化を評価・検討できるよう、脱炭素燃料又は非化石燃料の開発・供給を追求すること。 |
| 2. 他の新たな／革新的な排出削減メカニズムの一般的な採用を奨励し、促進すること。 |

2021 年6月に開催された第 76 回海洋環境保護委員会では、中長期対策を検討する上での作業計画(ワークプラン)が承認された。当該ワークプランでは、以下の3つのフェーズに従って検討を進めることとしている。

フェーズ1(2021 年~2022 年)	各国が対策案を検討し、IMO へ提出。IMO は各国提案の比較、初期検討。
フェーズ2(2022 年~2023 年)	更に検討を進めるべき提案の選別・優先順位付け。
フェーズ3(2023 年~)	優先順位付けした提案について検討を進め、制度案として具体化。

中長期対策を検討する上では、まず、国際海運が 2050 年までに GHG 排出ネットゼロを実現するために、化石燃料船からゼロエミッション船への移行を確実にかつ効果的に実現するための、中長期対策の全体像から整理することが有効であると考えられる。

先に述べたように、現在、ゼロエミッション船に関する技術は開発途上にあり、ゼロエミッション燃料についても、十分な量の供給体制(サプライチェーン)がすでに整っているわけではない。国際海運のゼロエミッション化の推進に関して、我が国をはじめ世界的に政府レベルおよび民間レベルでの様々なイニシアティブが立ち上がっていることにも鑑みれば、2020 年代の後半(2028 年頃)には、ゼロエミッション船の商業運航が開始されることが期待されるが、その時点においては、ゼロエミッション船の技術・燃料は、既存の化石燃料船に比べ高コストであることが予想される。

ゼロエミッション船の技術・燃料に係るコストを低減するためには、当該技術・燃料が普及し需要・供給が増大するとともに、運用実績の蓄積等により技術成熟度が向上することが必要であるが、そのためには、ゼロエミッション化への移行の初期段階、つまり、ゼロエミッション船の市場導入の初期段階において、先行してゼロエミッション船を導入しようとする事業者(以下、first movers という。)を適切に支援し、化石燃料船を運航する事業者との間に競争上の不利益を生じさせないことにより、first movers の出現と拡大を支援するための対策を導入することが最も効果的であると考えられる。このような対策は、後述する経済的手法(MBM)を導入することにより実現可能である。

さらにゼロエミッション船への移行が進み、技術が成熟するとともに、世界的に十分な量の燃料供給体制が整った段階では、2050 年までに GHG 排出ネットゼロという目標を達成するために、規制的手法を導入することにより、ゼロエミッション船への移行をより強力に(強制的に)図ることが必要となると考えられる。

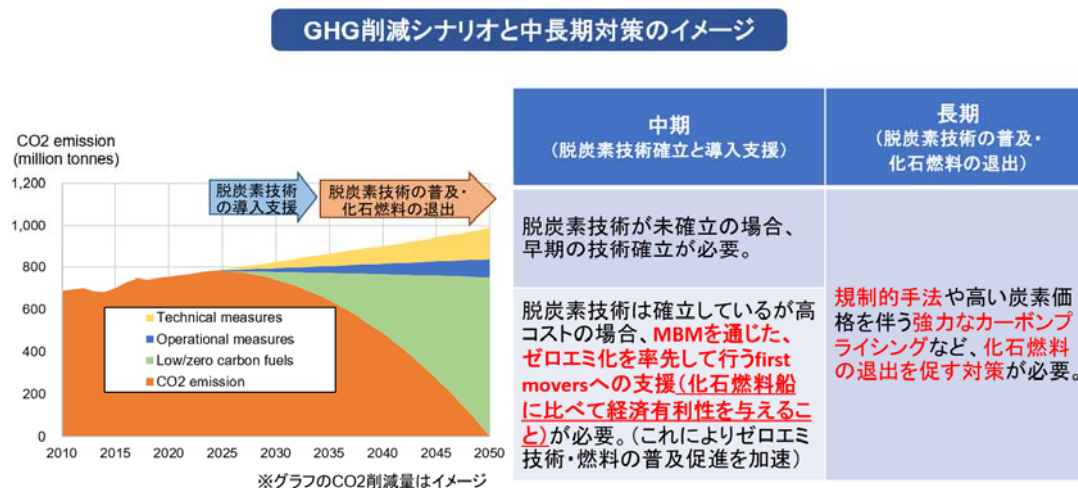


図 7.1-1 GHG 削減シナリオと中長期対策のイメージ

7.2 節 IMO において導入すべき経済的手法(MBM)のコンセプト

地球温暖化問題に対する社会的要請の高まりなどを受け、カーボンプライシング等を導入することにより市場メカニズムを活用して効果的な GHG 排出削減を実現しようとする取り組みはすでに世界中でみられる。代表的なコンセプトとしては、以下の2つが挙げられる。

- ① 炭素課金制度：単位燃料使用量（または単位 GHG 排出量）に対して一定額を課す制度。炭素価格（課金額）は制度上あらかじめ決定され、排出削減量は制度下での課金を賦課された主体の行動に依存する。
- ② 排出量取引制度（ETS）：排出量の上限（排出枠）を設定し、排出枠の割り当て及び事業者間での排出枠の超過分と余剰分の取引が行われる仕組み。炭素価格は排出枠の需要と供給によって市場により決定され、排出削減量は排出枠の設定に依存する。

両制度ともに長所・短所が存在するが、炭素課金制度は炭素価格に予見可能性があるという長所があるが、削減目標を達成する確実性は排出量取引制度が優れるとされる（ただし、炭素課金制度でも課金額の調整により確実性を高めることは可能。）。また、気候変動にみられるようなストックに起因する外部不経済が不確実を持つとき、経済理論上、炭素課金制度は排出量取引制度よりも社会への損失は小さいとされる³³。

国際海運セクターにおける経済的手法（MBM）の導入を検討する場合、排出量取引制度では、炭素価格が変動し事業者におけるコストの予見可能性が低くなることで、ゼロエミッション船への移行に向けた投資判断がより困難になるという問題がある。この点は、国際海運会議所（ICS：International Chamber of Shipping）も指摘³⁴している。したがって、IMO において導入する経済的手法（MBM：Market Based Measures）についても、制度上炭素価格をあらかじめ決定する手法（価格アプローチ）をとるべきである。

なお、IMO での議論においては、すでにノルウェーが排出量取引制度の導入を提案³⁵している。当該提案においては、炭素課金制度に対して、当該制度による排出削減量が確定的ではないことが指摘されているとともに、IMO が炭素価格を決定することについて、課税主権に抵触する可能性があることを指摘しており、MBM の早期国際合意を目指すうえで、当該主張には留意する必要がある。

また、経済的手法の導入により発生する収入については、先述のとおり、ゼロエミッション船への移行の初期段階においては、経済的手法（MBM）を通じて、first movers に対して経済的インセンティブを与えることが効果的であると考えられる。なお、収入の一部により、発展途上国（特に、小島嶼開発途上国（SIDS：Small Island Developing States）及び後発開発途上国（LDC：Least Developed Country））における海運のゼロエミッション化を支援するために、燃料供給インフラ整備（キャパビル含む）等を実施することも考えられるが、必要な資金や使途及び運用方法等については詳細な議論が必要である。

以上を踏まえ、中長期対策検討のためのワークプランに従い、フェーズ1において我が国が提案する経済的手法として、以下の2つのコンセプトを提示することとする。

① 課金・還付（feebate）制度

化石燃料船への課金（fee）と、ゼロエミッション船への還付（rebate）を組み合わせた制度。

ゼロエミッション船に対して、化石燃料船とのコスト差（燃料価格や船価等の違い）を踏まえ、十分な経済的インセンティブが確保されるレベルの還付を行い、それに必要な収入を確保するための課金を化石燃料船に対して課すもの。

課金額及び還付額は、燃料の価格・普及率等に関する将来予測に基づき決定され、IMO において

³³ 栗山浩一・馬奈木俊介(2020)「政策手段の選択」『環境経済学をつかむ』第4版（109～117ページ）

³⁴ Comments on proposal for a cap-and-trade system, as opposed to a carbon levy (MEPC77/7/23)

³⁵ Regulatory mechanisms for the effective uptake of sustainable low-carbon and zero-carbon fuels and meeting the ambitions for GHG emission reductions (MEPC77/7/16)

定期的にレビューすることとする。

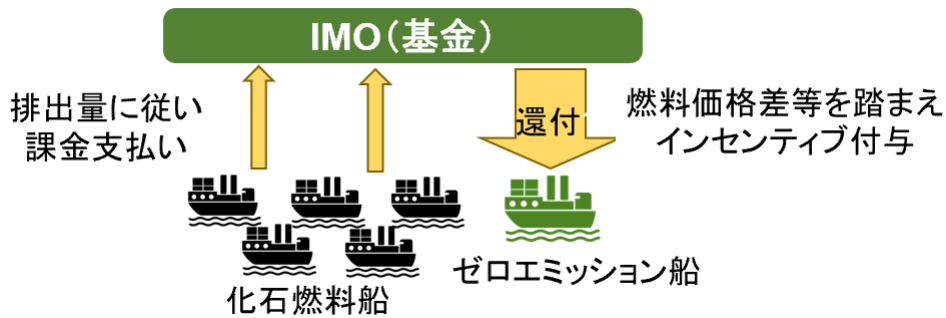


図 7.2-1 課金・還付 (feebate) 制度のイメージ

② 排出枠の固定額での有償割当制度

課金・還付 (feebate) 制度では、排出量取引制度と比べ、制度と排出削減目標が直接リンクしておらず、制度導入による削減効果に不確実性があるという側面がある。

したがって、①の代替案として、制度上あらかじめ炭素価格を設定するアプローチを堅持しつつ、削減目標ともリンクした制度として考えられるのが、排出枠の固定額の有償割当制度である。

当該制度では、個船に対して、ベンチマーク(トンマイル当たりの CO2 排出量)と輸送活動量(トンマイル)の積により算定される排出枠を IMO が固定額で有償割当する。なお、排出枠の余剰分・不足分については船舶間での取引が認められる。

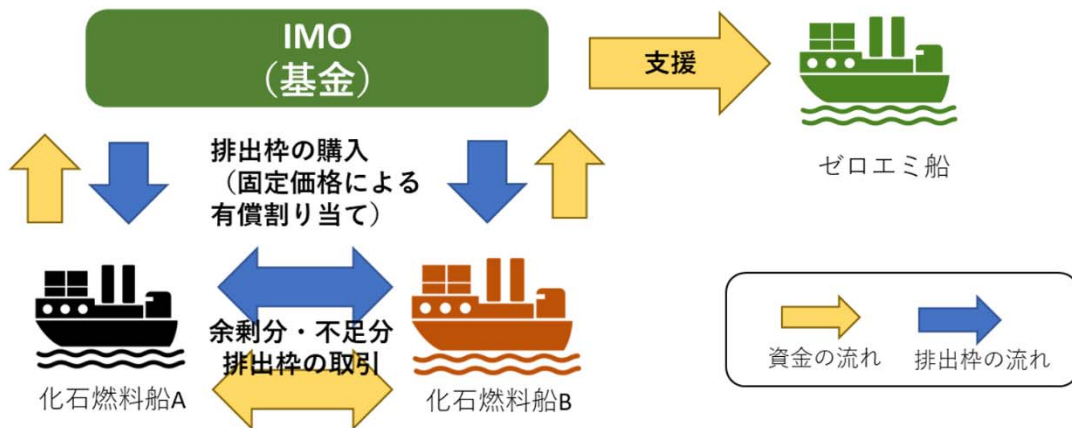


図 7.2-2 排出枠の固定額での有償割り当て制度のイメージ

当該制度では、炭素価格の予見可能性を高めるため、オークションによる排出枠の割り当ては行わず、IMO が割り当てる排出枠の価格を固定(あらかじめ設定)することができる。また、ベンチマークを基準とするため、海上荷動き量の増大に伴って船舶の活動需要が増大した場合でも、国際海運の活動が本制度によって制限されることはない。排出枠の固定価格は、feebate 制度と同様に、燃料価格・普及率等の将来予測に基づき、ゼロエミッション船に対して十分な経済的インセンティブが付与される還付額の確保に必要な金額を推計した上で設定される。

ベンチマークは適切な船種・サイズ毎に設定され、順次強化することによって、国際海運からの排出量の着実な削減を誘導することができる。

ただし、本制度は課金・還付制度に比べ、ベンチマークの設定や排出枠の取引ルールを整備など、制度設計が複雑なものとなることに留意が必要である。

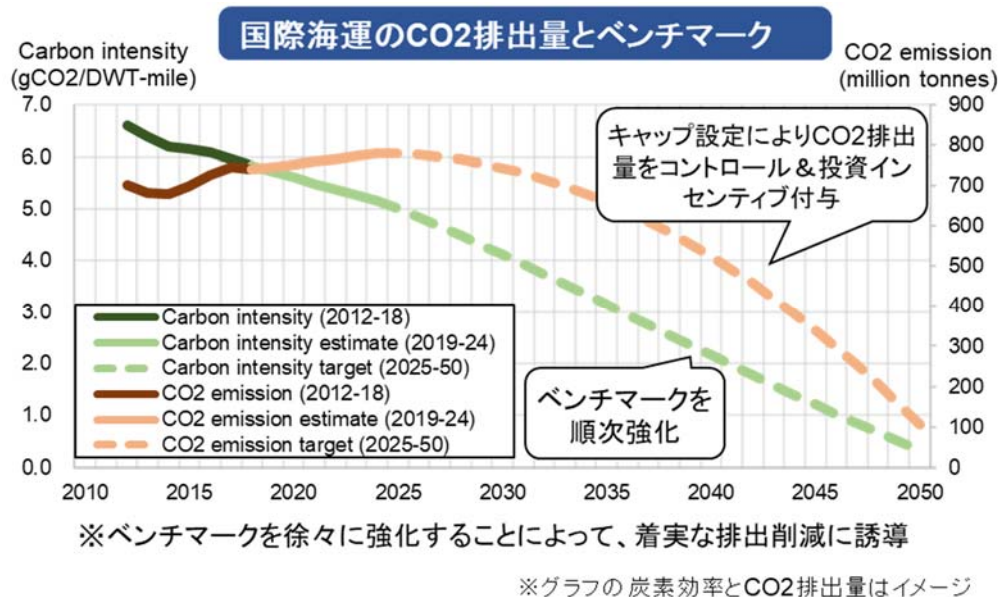


図 7.2-3 ベンチマークによる排出削減誘導のイメージ

7.3 節 規制的手法

7.1 で概説したとおり、経済的手法(MBM)を通じて first movers の出現・拡大を支援することによってゼロエミッション船の技術・燃料が十分に普及し、一定のコスト低減を実現した段階以降は、2050 年までの GHG 排出ネットゼロの達成に向けて、いかに確実に化石燃料船からゼロエミッション船への移行を実現するかが重要となる。そのような局面においては、規制的手法により、強力的に(強制的に)ゼロエミッション船への移行を図っていく必要があると考えられる。

具体的には、まずは、ある一定年以降の新造船に対して、ゼロエミッションでの運航を義務付ける規制を導入することが考えられる。しかし、第 6 章のシミュレーション結果が示すように、新造船に対するゼロエミッション運航の義務付けだけでは、2050 年時点で一定数以上の化石燃料船が残存することが予想されるため、ネットゼロの達成は難しい。したがって、新造船に対する規制に加えて、後年には、さらに既存船に対しても、ドロップイン燃料の利用等によるゼロエミッションでの運航を義務付ける規制を導入することが必要となると考えられる。以上の論考を踏まえ、中長期対策の全体像を図 7.3-1 に示す。

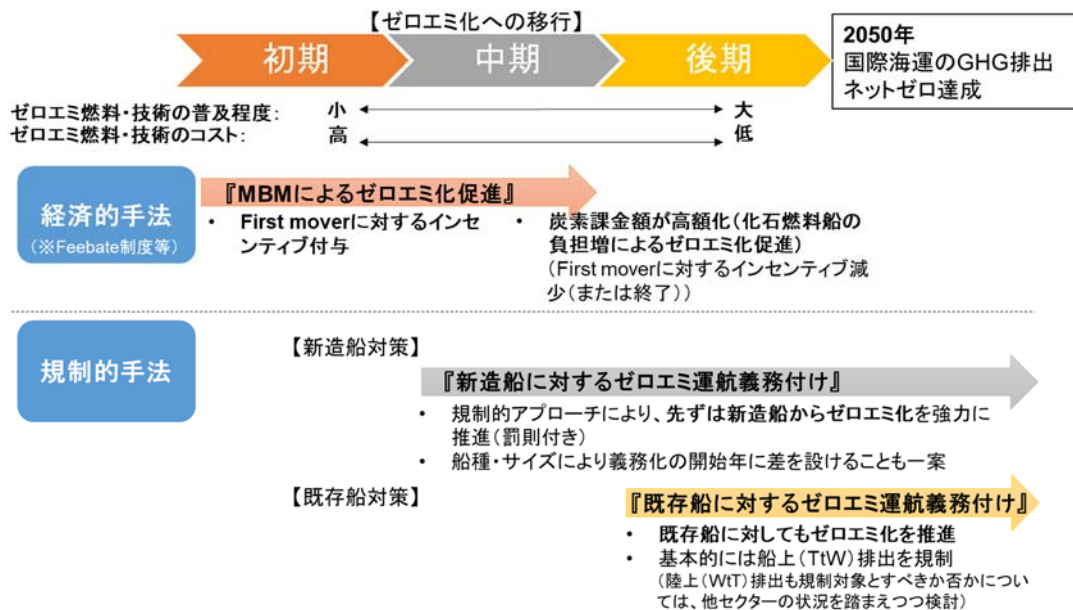


図 7.3-1 中長期対策の全体像

7.4 節 ライフサイクルでの GHG 排出削減

地球温暖化は世界共通の課題であり、海運セクターが使用する燃料について、その船上での燃焼時のみならず、製造等の過程においても GHG が排出されていることは意識しなければならない。現在 IMO では、船舶燃料のライフサイクル GHG 排出量を評価するためのガイドライン(LCA ガイドライン)作りが日本等の主導により進められている。LCA ガイドラインの主要コンセプトは以下のとおり。

- ① 燃料の製造時等に生じる陸上排出と、船上排出をそれぞれ評価すること
- ② GHG 排出量の評価は、IPCC ガイドライン³⁶との整合性を保つこと。例えば化石燃料の使用に伴って排出される CO₂ を回収し原料として製造されるカーボンリサイクル燃料については、回収した CO₂ は陸上の排出量として計上され、船上での CO₂ 排出量はゼロとして扱う。
- ③ 使用する燃料の製造過程等に応じて、GHG 排出量を個別に計算する手法に加えて、燃料の種類毎に簡易的に用いることが出来るデフォルト値も定めておくこと

LCA ガイドラインの中でも、陸上排出の評価手法については、デフォルト値の設定も含め、今後専門家による議論が必要であり、完成までに一定の期間が必要となると思われる。他方で、船上排出に関する評価手法が確立すれば、代替燃料を使用した場合の GHG 排出量が明確になり、当該手法が燃費実績(CII)格付けなどに採用されることによって、代替燃料の使用促進が期待される。さらに、陸上排出についても評価手法が確立し把握できるようになると、ライフサイクル全体の GHG 排出削減を意識させるとともに、燃料供給側における GHG 排出削減の取組が促進されることも期待される。

7.5 節 船舶の安全及び船員に関する規則

代替燃料の導入に当たっては、船舶の安全及び船員に関する規則について、各種の代替燃料・技術の研

³⁶ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

究開発動向に応じ、現行規則の検証・改正又は新規則の策定が必要となるものがある。

船舶の安全に関する例として、現在、IMO においては、LNG 燃料船については、ガス又は他の低引火点燃料を使用する船舶の安全に関する国際規則(IGF コード)により安全基準が定められているが、水素やアンモニアについては詳細な安全基準が定められていない。また、液化ガスのばら積み運送のための船舶の構造及び設備に関する国際規則(IGC コード)により、現時点ではアンモニアを貨物として運びつつ、船舶の燃料として使用することが認められていない。したがって、水素燃料船及びアンモニア燃料船の導入・普及促進に当たっては、技術開発状況を踏まえつつ、これら規則の整理と安全基準の策定を進めることが急務である。このほか、風力推進システムや船上 CO2 回収・貯蔵装置を船上に搭載する際の安全基準の整備についても必要となると考えられる。

水素燃料やアンモニア燃料等の代替燃料や、船上 CO2 回収等の新たなシステムを船舶に導入するに当たっては、それらの船舶の運航を担う船員の能力要件を検討し、その国際基準化を進めるべきである。

第8章 おわりに

国際海運のゼロエミッションに向けた今後の動向は、燃料供給サイド、技術開発課題、コスト等の不確定要素があり、断定的な将来予測を行うことは困難である。今後も継続的に動向の把握に努める。

本報告書は、現時点で入手可能な情報に基づいており、2050年までに国際海運からのGHG排出ネットゼロを達成するために導入すべきGHG削減対策の分析・検討を踏まえ、必要となるゼロエミッション船技術開発及び制度面の環境整備等の内容・時期を提示した。

2050年のGHG排出ネットゼロの達成に向けて、引き続きゼロエミッション燃料の供給見通し及びゼロエミッション船の開発動向等に関する情報の把握・整理を随時行い、以下についてさらなる検討を進めていく必要がある。

- ・ゼロエミッション燃料の船舶分野への供給及び価格の見通し
- ・ゼロエミッション船の早期導入に向けた技術開発課題及び成熟度の整理
- ・IMOにおける議論の進捗を踏まえた中長期対策の在り方

付録1 TRL

海上技術安全研究所は、ゼロエミッション船に関する技術開発課題・対策・TRL(技術成熟度レベル)を下表のとおり整理した。なお、以下のTRLは簡易的な調査による暫定値である。

(a) 水素全般(船体)

課題No.	分類	課題・項目	対策	TRL	開発状況	
1	水素全般(船体)	水素毒性	適切な材料選定	4	エンジン構造部材などの特殊環境下での特性が不明	
2		安全対策(火災等)	緊急時の燃料遮断、二重管によるガス漏れ対応など	5	IGFコードがベースとなり得る	
3				火災検知器(水素火災)	6	陸上分野においては実用済み
4				消火設備	6	
5		BOG処理	GCU	5		
6				3		
7				3		
8		ハンガリング時の安全対策	緊急遮断弁	再液化装置	2	
9				3	水素運搬船の技術あり	
10				船船用水素カップリング	2	
11				船陸間データ通信装置	4	FCVでは使用されている
12				3		
13		液化水素タンク	高性能断熱技術による省設置スペース化	3		
14		高圧水素ガスタンク	スロッシング対応技術	大容量化	3	基準整備が必要
15				タンク付属機器の船用化(管継手、バルブなど)	4	
16				MCH利用技術	2	水素キャリア(運搬)の技術あり
17		その他の水素貯蔵技術	極低温燃料移送ポンプ	3	特殊分野(宇宙)の技術あり	
18		燃料供給設備	気化器	4		

(b) 水素関連

課題No.	分類	課題・項目	対策	TRL	開発状況	
19	水素エンジン	安定燃焼・高効率化	直噴技術	3		
20			高圧水素コンプレッサ	3		
21			点火・着火制御技術	2	様々な技術があり得る	
22			燃焼抑制技術(EGR、水噴射など)	2	様々な技術があり得る	
23			緊急時の安全対策	バックファイア防止対策、爆燃爆発防止対策など	4	
24	水素燃料電池	耐久性(PEFC)	材料開発(膜技術など)	4		
25			運用の適切化(バッテリーとの併用など)	6	小型船舶で実証済み	
26		耐久性(SOFC)	材料開発(膜技術、耐熱材料など)	2		
27			運用方法の最適化(温度変動の低減)	2		
28		設置スペース	燃料電池の高エネルギー密度化	燃料電池システムのユニット化	4	
29				4		
30	電気機器(電力変換装置など)の小型化			4		

(c) アンモニア全般(船体)

課題No.	分類	課題・項目	対策	TRL	開発状況	
31	アンモニア全般(船体)	材料腐食	適切な材料選定(燃料系統)	6		
32			電気系統の銅腐食対応のための適切な保護	4		
33		毒性対応(対人)	微量ガス漏れ防止技術	5		
34				適切な機関室設計(例:区画の無人化)	3	
35				適切なガス検知器の整備	4	
36				適切な保護員の整備	6	
37		安全対策(火災等)	消火設備	6		
38				適切な避難体制	3	
39				アンモニア漏洩ガスのスクラバ処理	3	
40		BOG処理	GCU	2		
41				2		
42				再処理装置	3	
43		ハンガリング時の安全対策	緊急遮断弁	6	アンモニア運搬船の技術の応用が可能	
44				船船用カップリング	4	アンモニア運搬船の技術の応用が可能
45		貯蔵タンク	適切な材料選定	6	アンモニア運搬船の技術の応用が可能	
46				安全設計	6	アンモニア運搬船の技術の応用が可能
47		燃料供給設備	気化器	6		

(d) アンモニア関連

機種No.	分類	課題・項目	対策	TRL	開発状況
48	アンモニアエンジン	石油系バイオ燃料によるGHG排出	アンモニア燃料改質（水素）	4	
49			バイオ燃料利用	3	
50			着火支援装置（スパークプラグなど）	2	様々な技術があり得る
51			触媒	4	
52		N2O排出	燃焼の最適化	2	様々な技術があり得る
53			N2Oの高温燃焼	2	
54			ゼオライトによるN2O吸収	2	
55			燃焼の最適化	2	様々な技術があり得る
56		スリップアンモニア	SCR	4	
57			スクラバ技術の利用	3	
58			直噴技術	4	
59		安定燃焼・高効率化	点火・着火制御技術	3	様々な技術があり得る
60			予混合エンジンの燃料噴射技術	4	様々な技術があり得る
61			直接アンモニア利用	4	
62	アンモニア燃料電池	船用システム開発	アンモニア改質（水素）	4	
63		設置スペース	電気機器（電力変換装置など）の小型化	4	
64			断熱材の高性能化	3	

(e) その他の代替燃料利用技術①

機種No.	分類	課題・項目	対策	TRL	開発状況
65	ガスエンジン (カーボンフリーメタン)	メタンスリップ	メタン酸化触媒	4	
66			燃焼技術の最適化	4	様々な技術があり得る
67			水素による燃焼促進	3	
68			ガスエンジンシステム用EGR（冷却+排ガス再循環など）	4	
69			運用の最適化（例：蓄電池とのハイブリッド化）	3	
70		高効率化	燃焼技術の最適化	3	様々な技術があり得る
71		安全対策	緊急時の燃料遮断、二重管によるガス漏れ対応など	9	LNGエンジンで実用済み
72	船上CO2回収	吸収液（アミン）の性能保持	吸収液の開発	7	
73		設備の省スペース化	機器の最適設計技術	5	
74		CO2船内貯蔵タンク	小型・軽量化	4	
75		CO2回収率向上	機器の最適設計技術	4	
76			吸収液の開発	4	
77		船内CO2処理	CO2分離装置の最適化（熱マネジメントなど）	3	
78		CO2液化装置	7		
79		船舶用CO2分離膜の開発	4		
80	メタノールエンジン	高効率化	燃焼の最適化	4	
81		燃料漏洩防止	安全設計	9	実用済み
82		NOx排出増加	燃焼改善	3	
83			SCR	6	
84		燃料への水添加	8	実用済み	

(e) その他の代替燃料利用技術②

機種No.	分類	課題・項目	対策	TRL	開発状況
85	バイオ燃料エンジン	多様なバイオ燃料への対応	適切な基準策定（燃料性状）	4	
86			適切な船内貯蔵設備	2	
87		燃料の劣化	燃料性状の管理	2	
88			適切な材料選定	4	
89		燃料性状改善	1		
90	NOx排出増加	燃焼改善	燃焼改善	3	
91			SCR	6	
92		エマルジョン燃料（水添加）	エマルジョン燃料（水添加）	6	
93			バッテリーの高エネルギー密度化	4	
94	バッテリー推進	設置スペース	船舶用大容量電池セル	2	
95			直流高電圧化	4	
96			船舶用インバータ	7	電気推進船の技術の応用が可能
97		小型永久磁石モータ	5		
98		安全性確保	船舶用BMS（バッテリーマネージメントシステム）	6	既存技術の応用が可能
99	長寿命化		長寿命電池開発	4	
100			電力マネジメント	5	様々な技術があり得る

執筆担当

国土交通省海事局 海洋・環境政策課
一般財団法人 日本船舶技術研究協会

協力

一般財団法人 次世代環境船舶開発センター(第4章及び第6章)
国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所(第5章)