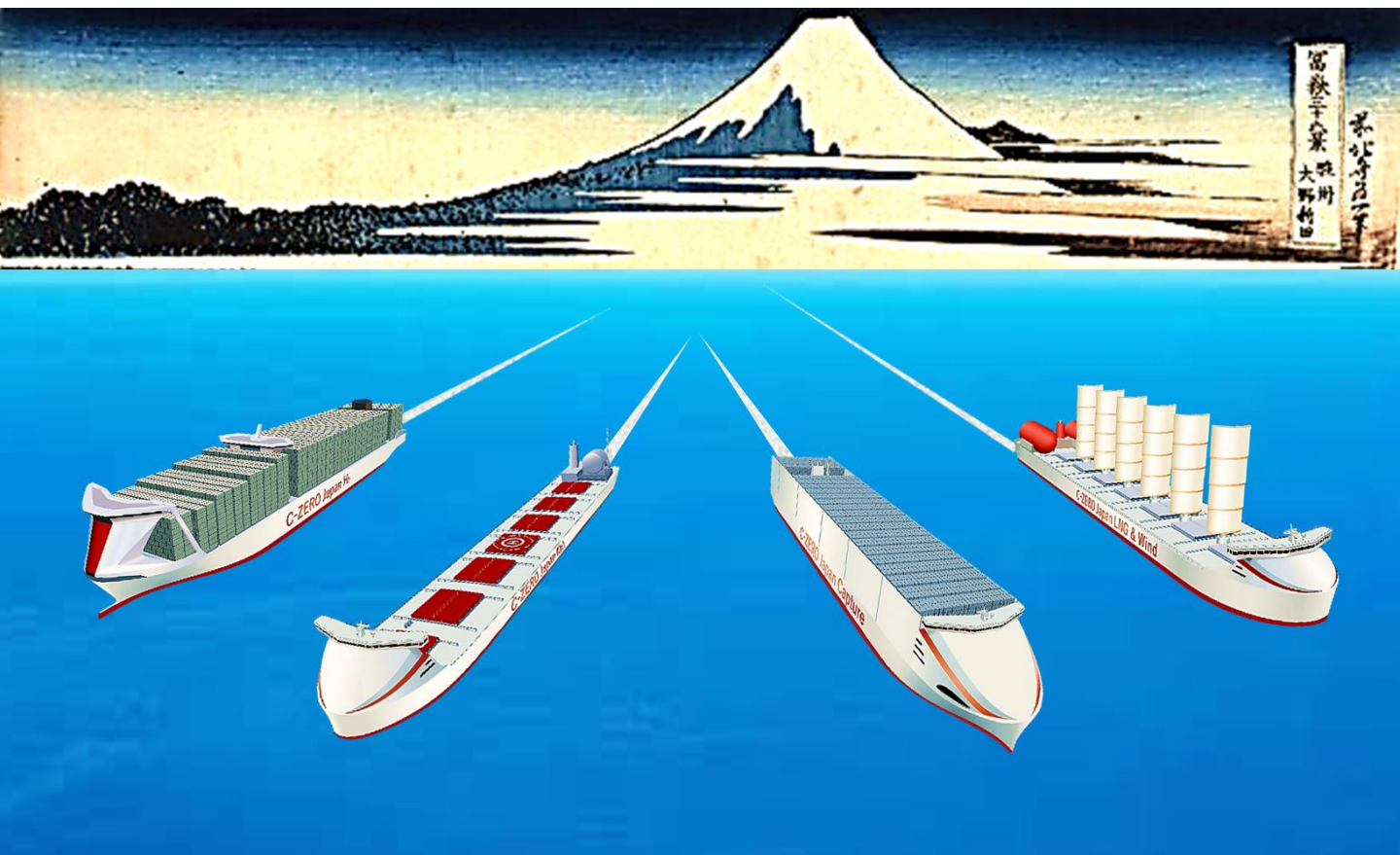




国際海運のゼロエミッションに向けた ロードマップ (概要版)



2020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、2023年までの合意を目指した短期対策等の交渉が行われている。

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2019年度に実施した、「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」の作成事業について、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

<ステアリンググループ 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 副会長
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
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
谷澤 克治	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 研究統括監
松本 俊之	一般財団法人 日本海事協会 執行役員 技術研究所長
麻岡 秀行	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
岩佐 久美子	川崎汽船株式会社 環境推進グループ長
大藪 弘彦	株式会社商船三井 理事 技術部担当 執行役員補佐
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 船舶カンパニー 技術本部付 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 開発部 技監・環境技術担当部長
浅海 友弘	浅川造船株式会社 常務取締役 設計本部長
永澤 秀明	株式会社IHI原動機 技術センター技術開発部長
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

<関係者>

畔津 昭彦	日本船舶技術研究協会・省エネ性能向上技術基準検討プロジェクト プロジェクトマネージャー 学校法人 東海大学 工学部 機械工学科 教授
高崎 講二	日本船舶技術研究協会・大気汚染防止基準整備プロジェクト プロジェクトマネージャー 国立大学法人 九州大学 名誉教授

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」、「船舶運航」及び「代替燃料」に関する3つの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	...1
第 2 章	IMO GHG 削減戦略とその目標達成に向けた基本的な考え方	...2
2.1 節	IMO GHG 削減戦略の数値目標	...2
2.2 節	2030 年目標達成についての基本的な考え方	...2
2.3 節	2050 年目標達成についての基本的な考え方	...3
2.4 節	今世紀中の GHG 排出ゼロ達成についての基本的な考え方	...3
第 3 章	2030 年目標達成のための方策	...4
3.1 節	新造船の設計効率改善(EEDI 規制)	...4
3.2 節	現存船の運航効率改善	...4
3.2.1	現存船対策の必要性	...4
3.2.2	現存船に対する燃費性能規制の概要	...4
3.2.3	EEXI 規制の導入による運航効率改善効果の試算	...5
3.3 節	更なる運航改善に向けて	...5
第 4 章	2050 年目標達成のための削減シナリオ	...6
4.1 節	2050 年目標達成のための削減シナリオ作成の概略	...6
4.2 節	国際海運における海上荷動き量及び必要な GHG 削減幅の推計	...6
4.2.1	国際海運における海上荷動き量の推計	...6
4.2.2	従来の技術及び燃料が使用され続けた場合における将来の GHG 排出量(BAU 排出量)の推計	...8
4.2.3	2050 年目標を達成するために必要となる GHG 削減量及び船舶の炭素密度の改善率	...9
4.3 節	2050 年目標を達成するために必要な国際海運の燃料構成シナリオ	...10
4.3.1	今後活用の拡大する可能性のある燃料等の実現可能性等の検討	...10
4.3.2	IMO・GHG 削減戦略の数値目標に合致する燃料・技術の活用シナリオの検討	...13
4.4 節	ゼロエミッション／超低炭素船のコンセプト設計	...18
4.4.1	2028～2030 年に投入を想定するゼロエミッション／超低炭素船	...18
4.4.2	2050 年頃のゼロエミッション船のイメージ	...18
第 5 章	2050 年以降の目標達成のためのロードマップ	...19
5.1 節	ロードマップ検討の概略	...19
5.2 節	新たな燃料及び技術の導入のための研究開発等	...19
5.2.1	研究開発体制強化	...20
5.2.2	研究開発及び実用化	...20
5.3 節	新たな燃料及び技術の導入のための制度面の環境整備	...21
5.3.1	GHG 削減戦略、短期対策及び中長期対策	...21
5.3.2	既存の MARPOL 条約関連規制の改正	...22
5.3.3	船舶の安全及び船員に関する規則	...22
5.3.4	その他	...22
第 6 章	おわりに	...24
付録	コンセプト船の検討	...25

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、2014年の国際海事機関(IMO)の調査によれば、2012年時点における国際海運全体からのCO₂排出量は約8億トンであり、世界全体のCO₂排出量の約2.2%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、国連の専門機関であるIMO及び国際民間航空機関(ICAO)にそれぞれ検討が委ねられている。

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CO₂排出量)を40%以上改善すること、②2050年までに国際海運からのGHG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数値目標として掲げられている。

国際海運分野においては、GHG削減戦略策定以前から、船舶のエネルギー効率設計指標(EEDI)を導入し、段階的に規制値を強化する等、船舶から排出されるGHGを削減する取組が行われている。しかし、同戦略の数値目標、特に2050年以降の目標の達成のためには、従来の取組を継続するだけでなく、化石燃料を中心とする従来の燃料から、低・脱炭素燃料への切替えを進める等、従来と異なる様態・規模で取組を加速することが必要と考えられる。

世界有数の海運・造船大国である我が国としては、このような変化を機会と捉え、国際競争力強化に資する形で、世界をリードして船舶からのGHG削減の取組を進めていくことが重要である。

このような背景の下、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」)を設立した。

1.2 節 事業の目的

上記の背景を踏まえ、本事業においては、GHG削減戦略に掲げられた国際海運からのGHG削減目標を達成するために国際海運に導入すべきGHG削減対策を明らかにし、また、それらの対策を実現するために必要となる技術開発及び環境整備等の内容・時期をロードマップとして取りまとめ、今後の我が国海事産業としてのGHG削減の具体的な取組を決定・実施するための検討材料を提供することを目的として、調査研究を行った。

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)IMO GHG削減戦略とその目標達成に向けた基本的な考え方の整理(第2章)
- (2)2030年目標達成のための方策の検討(第3章)
- (3)2050年以降の目標達成のための削減シナリオの検討(第4章)
- (4)2050年以降の目標達成のための削減シナリオ実現に向けたロードマップの作成(第5章)

第2章 IMO GHG 削減戦略とその目標達成に向けた基本的な考え方

2.1 節 IMO GHG 削減戦略の数値目標

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。

- 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:低炭素燃料の導入、市場メカニズム(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)

現在、IMOにおいては、本戦略に基づき、2030年目標の達成を目指した短期対策等の審議が行われており、我が国からも積極的に提案を行い、議論を主導している(詳細後述)。

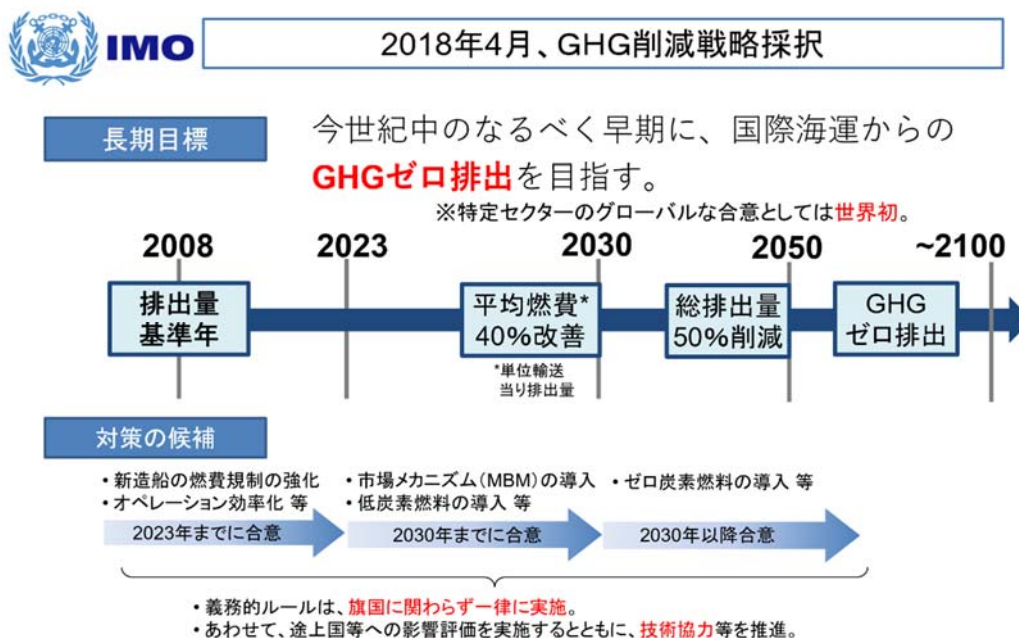


図 2.1-1 IMO・GHG 削減戦略の概要

2.2 節 2030年目標達成についての基本的な考え方

海洋汚染防止条約(MARPOL 条約)の下で実施中の新造船に対する燃費性能規制(EEDI:Energy Efficiency Design Index)及び2018年5月に開催されたMEPC74から我が国が提案している既存船に対する燃費性能規制(EEXI:Energy Efficiency Existing Ship Index)を組み合わせる場合における、2030年

時点での国際海運全体の GHG 排出量を試算した結果、GHG 削減戦略に掲げられた 2030 年目標は達成可能と見込まれている。

2.3 節 2050 年目標達成についての基本的な考え方

EEDI 及び EEXI 規制による、船舶の設計・運航効率の改善のみによって 2050 年目標を達成することは極めて困難であり、当該目標達成のためには、80～90%以上の GHG 削減効果を有する代替燃料・技術を 2030 年頃から投入していく必要がある。第 4 章において詳述のとおり、本事業においては、2050 年目標達成のための削減シナリオ及び当該シナリオを実現するためのロードマップを検討した。

2.4 節 今世紀中の GHG 排出ゼロ達成についての基本的な考え方

GHG 削減戦略において、国際海運からの GHG 排出ゼロを達成する具体的な目標年は記述されていないが、今世紀中なるべく早期に国際海運として GHG 排出量ゼロを達成することを掲げており、そのためには、GHG 排出ゼロの燃料を使用する、又は排ガス中の全ての GHG を船上 CO₂ 回収技術等を用いて回収することが必要となる。

これを踏まえ、2050 目標達成のためのシナリオ達成のための代替燃料・技術としても、将来において国際海運のゼロエミッション実現を可能とするものを選択する必要がある。

第3章 2030年目標達成のための方策

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¹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 の規制値は先進国、途上国の別なく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 現存船の運航効率改善

3.2.1 現存船対策の必要性

2013年からEEDI規制が導入されたものの、EEDI規制の対象外となる現存船については、何らGHG排出に対する規制は設けられておらず、大出力のエンジンを搭載している場合は運航速度選択の自由度が高い。一方で、EEDI規制の対象となっている新造船については、燃費性能の向上を目的として低出力のエンジンを搭載した結果、高速航行ができず、現存船と比較して運航速度の自由度が相対的に小さくなっている。

このような状況では、新造船への代替インセンティブが低下し、燃費性能の悪い現存船が長期にわたり市場に残存する可能性が高く、結果として、海運全体のGHG排出削減が停滞する恐れがある。

上記の課題を踏まえ、現存船に対して燃費性能を改善させる枠組みが必要不可欠であるとの認識に基づき、省エネ・燃費性能が良い船舶を差別化することを念頭に、燃費性能の悪い現存船に対して燃費効率改善を促すような制度的枠組みが必要であるとの結論に至った。

3.2.2 現存船に対する燃費性能規制の概要

本プロジェクトにおいて、現存船の燃費性能を改善させるための国際的な制度的枠組みを検討した結果、現存船に対する燃費性能(EEXI: Energy Efficiency Existing Ship index)規制案を取りまとめた²。これは、図 3.2.2-1 に記載する枠組みの下、現存船に一定のハード面の燃費性能を達成することを義務化するものである。

¹ EEDI : Energy Efficiency Design Index。1 トンの貨物を 1 マイル輸送する際の CO2 排出量。

² 2019 年 4 月の IMO 海洋環境保護委員会に提案済み。

EEXI 規制は、既存船の燃費性能を EEDI に準じた統一の燃費指標で算出し、その結果が一定の基準値以下となることを義務づけるものであり、検査や証書による認証等の制度の大枠は EEDI 規制を踏襲したものととなっている。EEXI 規制において、基準値を満たしていない既存船は、エンジンの出力制限や省エネ改造、新造船への代替等の対策を実施することにより、基準値を満足する必要がある。

EEXI 規制では、既に基準値をクリアしている燃費性能の高い既存船については、追加的な対応は必要とされない一方で、基準値を達成できていない既存船は、現在の燃費性能が悪いほど基準の達成に向けて燃費改善の努力を行う必要がある。EEXI 規制は、このような枠組みにより、各船舶の省エネ・燃費改善に向けた取り組みを適正に評価している。

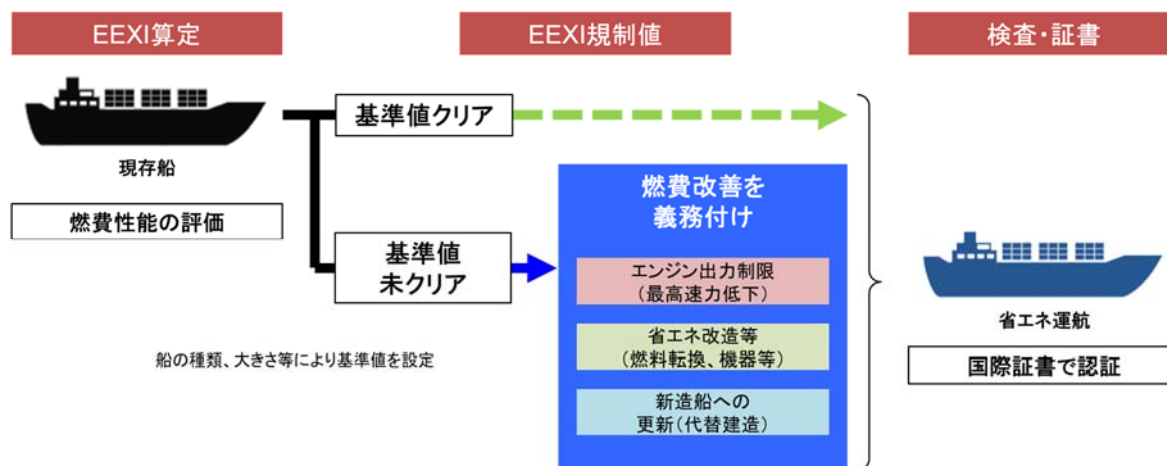


図 3.2.2-1 EEXI 規制の枠組みの概要

3.2.3 EEXI 規制の導入による運航効率改善効果の試算

EEXI 規制を導入した場合、2030 年時点で期待される運航効率の改善効果を試算した結果、EEXI 規制として、既存船に対し、2022 年契約船に適用される新造船の EEDI 規制と同じレベル (EEDI フェーズ 2 又は 3 に相当) の規制を適用した場合、国際海運全体で 40% の効率改善を達成することが確認できた。これは、EEDI 規制及び EEXI 規制の組み合わせによって、IMO の 2030 年目標が達成可能であることを意味する。

3.3 節 更なる運航改善に向けて

EEXI 規制は、義務的規制として全ての船舶に対して一定値以上の燃費性能の達成を求めることにより、海運全体の燃費性能を底上げする枠組みである。一方で、EEXI 規制のみでは、義務的要件以上の燃費性能の改善に対してのインセンティブは働かないことから、燃費改善にインセンティブを与えるような枠組みを規制のパッケージとすることで、海運全体の GHG 排出削減を更に加速することが可能となる。このため、我が国としても、EEXI 規制に加えてインセンティブ制度を国際ルールとして策定すべく取り組んでいく必要がある。

第4章 2050年目標達成のための削減シナリオ

4.1節 2050年目標達成のための削減シナリオ作成の概略

削減シナリオ作成のためのためのプロセスは、下記のように整理できる。

- (1) 国際海運における2050年までのGHG排出量(BAU排出量³)の推計
- (2) 2050年目標達成のために最低限必要なGHG削減量及び炭素密度(単位輸送量当たりのCO₂排出量)の改善幅の算定
- (3) 各種代替燃料・技術の分析結果等に基づく2050年目標達成に向けた削減シナリオの作成

4.2節 国際海運における海上荷動き量及び必要なGHG削減幅の推計

4.2.1 国際海運における海上荷動き量の推計

国際海運における2050年までのCO₂排出量(BAU排出量)を予測するため、海上荷動き量の推計を行った。推計は、①海上荷動き量をGDP、人口、エネルギー消費量等の社会経済指標で表現するモデルの作成、②2050年までの品目別海上荷動き量(トン)の推計、③2050年までの品目別海上荷動き量(トンマイル)の推計、④2050年までの船種・船型別海上荷動き量(トンマイル)の推定という手順により実施した。

4.2.1.1 海上荷動き量と社会経済指標の回帰式の作成

品目別海上荷動き量トンが、GDP、人口及びエネルギー消費量等に対して強い相関があるとの仮定の下、回帰モデルを作成した。モデルを決定するため、品目別海上荷動き量の実績値は、Clarksonの提供するデータを使用し、原油、石油製品、原料炭、燃料炭、鉄鉱石、ボーキサイト/アルミナ、穀物、マイナーバルク、コンテナ、その他乾貨物、LPG、LNG、ケミカル、自動車、冷凍貨物、クルーズ旅客を対象として検討を行った。GDPの実績値はOECDの公表データ、人口の実績値は国連の公表データ、エネルギー消費量の実績値は国際エネルギー機関(IEA)の公表データを使用した。

4.2.1.2 2050年までの品目別海上荷動き量(トン)の推計

2050年までの海上荷動き量(トン)は、回帰モデルに、将来のGDP、人口及びエネルギー消費量を入力することで推計した。GDPは、2050年までのOECDの想定値を使用した。人口及びエネルギー消費量は、IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)の代表的濃度経路(Representative Concentration Pathways, RCP)及び社会経済シナリオ(Shared Socioeconomic Pathways, SSP)に基づいている。本プロジェクトでは、表4.2.1-1に示すRCP4.5、RCP2.6、RCP1.9のシナリオに基づく2030年、2040年、2050年の人口とエネルギー消費量の想定値を使用した。表4.2.1-2は、2008年の海上荷動き量合計(約86億トン)に対する2050年までの海上荷動き量推計値の比を示している。2050年の海上荷動き量は、OECD、RCP4.5では2008年比で2倍弱となり、温度上昇の抑制が強いOECD、RCP1.9では2008年比で1.5倍程度との推計結果となった。

³ 国際海運からのGHG排出削減対策無しの場合の排出量。2008年以降、CO₂排出削減対策が行われず、海上輸送形態(船速、船型分布等)、設計技術、燃料等が維持され、平均燃費に変化がないと仮定した場合の、将来におけるCO₂排出量をBAU(Business As Usual)排出量と定義。

表 4.2.1-1:本調査対象の代表的濃度経路(RCP)

RCP 4.5 (中位安定化シナリオ)	今世紀末までに放射強制力 4.5W/m ² に安定化。 将来における温度上昇を約 2.5°C以下に抑える可能性が高い。
RCP 2.6 (低位安定化シナリオ)	放射強制力がピークアウトし、今世紀末頃には 2.6W/ m ² に低下。 将来における温度上昇を約 1.6°C以下に抑える可能性が高い。
RCP 1.9	今世紀末までに放射強制力 1.9W/ m ² に安定化。 ピーク時の温度上昇を 1.5°C以下に抑える可能性が高い。 (IPCC の 1.5°C特別報告書(2018)で使用)

表 4.2.1-2: 2050 年までの海上荷動き量(トン)の推計結果(対 2008 年比、旅客数を除く)

シナリオ	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
OECD, RCP4.5	1.44	1.65	1.82	1.91
OECD, RCP2.6	1.42	1.56	1.57	1.66
OECD, RCP1.9	1.39	1.36	1.40	1.47

4.2.1.3 2050 年までの品目別海上荷動き量トンマイルの推計

品目別海上荷動き量(トン)の推計値に対して、平均輸送距離(マイル)を掛け合わせることで、海上荷動き量(トンマイル)の推計を行った。平均輸送距離(マイル)は、Clarkson の公表データを用いた。

4.2.1.4 2050 年までの船種・船型別海上荷動き量(トンマイル)の推計

品目別の海上荷動き量(トンマイル)と、それを輸送する船種・船型別船舶の対応関係を設定し、船種船型別の海上荷動き量(トンマイル)の推計を行った。この推計は、3rd IMO GHG Study⁴における船種船型区分及び 2008 年における船舶の活動状況に基づいて行った。図 4.2.1-1 は、OECD, RCP4.5 シナリオにおける船種別トンマイル推計値である。全船種の合計としては、2008 年の海上荷動き量合計(約 41 兆トンマイル)に比べ、2050 年は約 2 倍に増加するという推計結果となった。表 4.2.1-3 は、主要船種である Oil tanker、Bulkер、Container の船型別荷動き量(トンマイル)の推計値を示している。

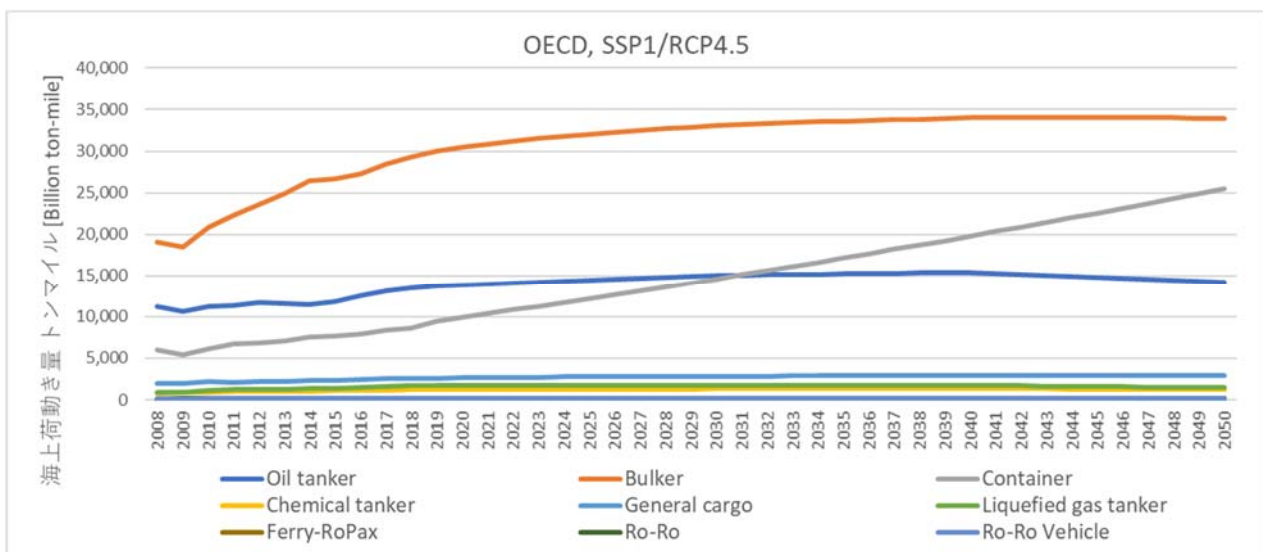


図 4.2.1-1: 2050 年までの船種別トンマイル推計 (OECD, RCP4.5 シナリオ)

⁴ IMO, 3rd IMO GHG Study, 2014

表 4.2.1-3: 主要船種の船型別トンマイルの推計結果 シナリオ OECD, RCP4.5

船種	船型	2008年	2020年	2030年	2040年	2050年
Oil tanker	-4,999 dwt	127	161	176	181	166
	5k-9,999 dwt	72	91	99	102	93
	10k-19,999 dwt	76	96	105	108	99
	20k-59,999 dwt	1,082	1,368	1,497	1,542	1,409
	60k-79,999 dwt	940	1,188	1,300	1,339	1,224
	80k-119,999 dwt	3,219	4,070	4,453	4,588	4,191
	120k-199,999 dwt	1,391	1,664	1,805	1,845	1,727
	200k+ dwt	4,312	5,157	5,596	5,720	5,353
Bulkier	-9,999 dwt	131	198	218	225	226
	10k-34,999 dwt	3,516	5,309	5,825	6,008	6,038
	35k-59,999 dwt	6,402	9,667	10,607	10,940	10,994
	60k-99,999 dwt	4,150	6,935	7,543	7,863	7,805
	100k-199,999 dwt	3,893	6,681	7,078	7,148	7,108
	200k+ dwt	985	1,690	1,791	1,808	1,798
Container	-999 teu	228	379	556	754	973
	1k-1,999 teu	659	1,095	1,609	2,180	2,813
	2k-2,999 teu	724	1,203	1,767	2,395	3,090
	3k-4,999 teu	1,781	2,958	4,346	5,890	7,599
	5k-7,999 teu	1,644	2,731	4,012	5,438	7,016
	8k-11,999 teu	892	1,481	2,176	2,949	3,805
	12k-14,499 teu	54	90	133	180	232

単位: Billion ton-mile

4.2.2 従来の技術及び燃料が使用され続けた場合における将来の GHG 排出量(BAU 排出量)の推計

4.2.1 で算出された 2020 年から 2050 年までの船種・船型別の海上荷動き量(トンマイル)に、2008 年における船種別のトンマイルあたり CO₂ 排出量を乗じることにより、BAU 排出量を算出した。既述のとおり、本報告において、BAU 排出量とは「2008 年以降、CO₂ 排出削減対策が行われず、海上輸送形態(船速、船型分布等)、設計技術、燃料等が維持され、平均燃費に変化がないと仮定した場合の、将来における CO₂ 排出量」である。GHG 削減戦略における 2030 年及び 2050 年目標が 2008 年を基準年としていることを踏まえ、このような定義とした。2008 年におけるトンマイル当たりの CO₂ 排出量は、3rd IMO GHG Study の結果及び Clarkson の海上動き量実績値に基づいて算出した。BAU 排出量の計算結果は以下のとおり。

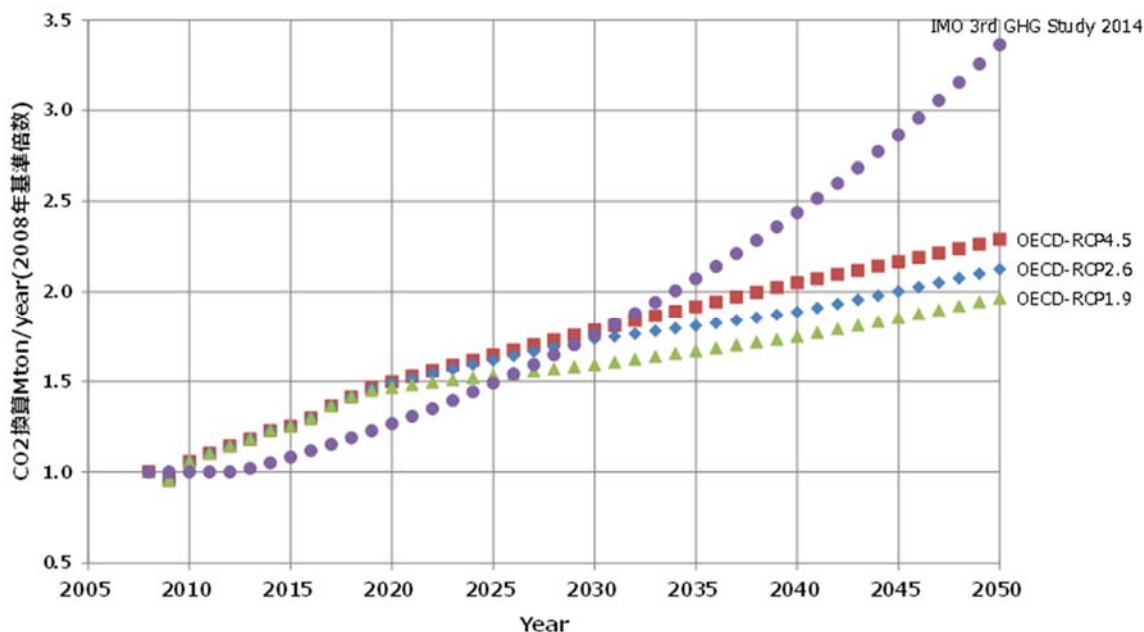


図 4.2.2-1 経済成長予測及び気候変動予測シナリオ別の国際海運からの GHG 排出量
(2008 年排出量を 1 とする index 表示)

4.2.3 2050 年目標を達成するために必要となる GHG 削減量及び船舶の炭素密度の改善率

4.2.2 で算出された 3 つの将来ケースのうち、最も排出量の大きい OECD-RCP4.5 ケースにおける BAU 排出量から、2050 年目標を達成するために必要となる GHG 削減量及び船舶の炭素密度の改善率を計算した。必要となる GHG 削減努力を過小評価することとならないよう、最も排出量の大きいケースを採用した。CO₂を対象とする計算結果は表 4.2.3-1 のとおり。CO₂削減必要量は、BAU 排出量と 2008 年実績の 50% (すわなち 460.5 百万トン/年)との差分である。日本の陸上セクターにおける 2018 年度の総 CO₂ 排出量が 1,139 百万トンと報告⁵されており、2050 年に外航海運に求められる CO₂ 削減量はこれを上回るようになる。

表 4.2.3-1: 2050 年目標を達成するために必要となる GHG 削減量及び船舶の炭素密度の改善率⁶

	BAU 排出量 (Mton- CO ₂)	削減必要量 (△Mton- CO ₂)	2050 年目標達成に必要な 効率改善率(対 2008 年比)
2050 年	2,108.3	1,647.8	78.2%

⁵ 環境省, 2018 年度 (平成 30 年度) の温室効果ガス排出量 (速報値) について,
<http://www.env.go.jp/press/107410.html>.

⁶ 「総 CO₂ 排出量/総海上輸送量」として計算を行ったもの。

4.3 節 2050 年の目標値を達成するために必要な国際海運の燃料構成シナリオ

4.3.1 今後活用の拡大する可能性のある燃料等の実現可能性等の検討

今後国際海運において活用の拡大する可能性のある代替燃料・GHG 削減技術について、開発状況を調査し、実現可能性を検討した。

4.3.1.1 代替燃料・CO₂ 削減技術の実現可能性

2050 年の目標値を達成するために活用される可能性のある代替燃料として、水素、アンモニア、LNG、合成燃料、バイオ燃料等が挙げられる。それぞれの代替燃料の主な物性と利点・課題をまとめたものは表 4.3.1-1 のとおり。また、代替燃料以外の主な GHG 削減技術としては、風力推進、バッテリー推進及び船上 CO₂ 回収等が挙げられる。これらの特徴をまとめたものは表 4.3.1-2 のとおり。

表 4.3.1-1 代替燃料の主な物性と利点・課題

	熱量あたり CO ₂ 排出 量※1	熱量あたり 燃料体積 ※1	利点	課題
水素(H ₂) (燃料電池含 む)	0	4.46	・船上 CO ₂ 排出ゼロ ・小型の水素燃料混焼船・燃料電池船は実績 あり ・陸上ボイラー・ガスタービンの実績あり	・燃料体積が C 重油の2倍を超える ・貯蔵安定性の技術課題(液体時-253℃) ・供給インフラ未整備 ・バンカリング技術未成熟 ・燃焼制御等の技術課題
アンモニア	0 N ₂ O 未考 慮	2.72	・船上 CO ₂ 排出ゼロ ・ガスタービン燃焼の実績あり	・燃料体積が C 重油の2倍を超える ・NO _x 発生 ・N ₂ O 発生(温室効果は CO ₂ の約 300 倍 と言われている) ・毒性あり ・専焼での燃焼性、大出力化等の技術課題
LNG	0.74 メタンスリッ プ未考慮	1.65	・実用化済 ・(水素等に比べ)エネルギー体積密度が高 い ・合成/バイオメタン用にインフラ転用可能 ・現行 IGF コードで規則整備済	・CO ₂ 削減効果限定的 ・メタンスリッ プ ・化石燃料使用に対する国際的な逆風の 可能性
メタン (CH ₄)	0.71 [0 ^{※2}] メタンスリッ プ未考慮	1.80	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボ ンニュートラル扱い ・実用化済の LNG と技術的に同等に使用可 能 ・LNG のインフラ転用可能	・現在 IPCC ガイドラインにおいて、カーボ ンリサイクルメタンをカーボンニュートラルと する明示的な記載は無い
バイオディー ゼル	[0]	(~1.2)	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボ ンニュートラル扱い ・陸上において混焼は商業レベル	・貯蔵安定性の技術課題 ・他セクター消費のため、海運への供給不 足の可能性
メタノール (CH ₃ OH)	0.90 [0 ^{※2}]	2.39	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボ ンニュートラル扱い ・メタノール燃料船は建造実績あり ・取扱い容易	・現在 IPCC ガイドラインにおいて、カーボ ンリサイクルメタンをカーボンニュートラルと する明示的な記載は無い ・燃料体積が C 重油の2倍を超える ・着火性、大出力化の技術課題
エタノール (C ₂ H ₅ OH)	0.93 [0 ^{※2}]	1.79	・バイオは IPCC ガイドラインにおいてカーボ ンニュートラル扱い ・バイオエタノールの生産は商業レベル ・取扱い容易	・現在 IPCC ガイドラインにおいて、カーボ ンリサイクルメタンをカーボンニュートラルと する明示的な記載は無い ・着火性、大出力化の技術課題

※1 熱量あたりの CO₂ 排出量及び燃料体積(液化時)は、低位発熱量 40.4 MJ/kg、CO₂ 排出係数 Cf=3.114 t-CO₂/t-Fuel、比重 0.94 の船用重油(C 重油)を基準としている。熱量あたりの CO₂ 排出量は IPCC ガイドライン及び IMO の EEDI 計算ガイドライン⁷の低位発熱量を基に算出している。

※2 カーボンリサイクル燃料(CO₂ を分離・回収して再利用する技術によって人工的に製造される燃料)やバイオ燃料の場合 0 となる。

※3 各燃料を使用する際、設計上必要となるスペースについては燃料体積以外の要素も考慮する必要がある。

⁷ 2018 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY (MEPC.308(73))

表 4.3.1-2 各種 CO₂ 削減技術の特徴

	効率改善 ポテンシャル	利点	課題
風力推進	活用程度による	・ 船上排ガス全てゼロ	・ 規模的に主たる推進エネルギーとならない
太陽電池	活用程度による	・ 船上排ガス全てゼロ	・ 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	・ 効果は船体形状や運航状況により異なる。
低摩擦塗料	2～5%程度改善	・ 既存技術で実施可能	・ 効果は船体形状や運航状況により異なる。
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・船尾形状や運航状況により異なる。
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・船首形状や運航状況により異なる。
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
船上 CO ₂ 回収	排ガス中の CO ₂ を 85%以上回収	・ (理論上) 燃料油を問わない ・ (理論上) 削減率大	・ 船上搭載実績なし ・ 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 CO ₂ 体積・重量大

4.3.1.2 有望な技術・代替燃料オプションの洗い出し

4.2 節の検討により、GHG 削減戦略の 2050 年目標達成のためには、2050 年時点で、国際海運の平均効率(トンマイル当たり排出量)を、対 2008 年比で約 80%以上改善する必要があることが確認された。これは、外航船の寿命を 20 年とする単純なケースを想定した場合、2030 年頃から、80%以上の効率改善を実現する船舶の投入を開始する必要があることを意味する。外航船の寿命がより長いとすれば、2030 年時点では、90%以上の効率改善を実現する船舶の投入開始を目指すべきであり、また、我が国が世界をリードしてゼロエミッション船の導入を進める観点から、投入開始時期を 2030 年より早めることも目指すべきである。

加えて、2050 年目標達成に向けて採用する対策は、今世紀中の GHG 排出ゼロの達成へと繋がるものがある必要がある。

以上を踏まえて、下記条件の下で、代替燃料及び技術オプションの絞り込みを行うとともに、中長期目標達成に向けた GHG 削減シナリオを検討した。

<オプション絞り込みの条件>

- ・ 2028 年までに、対 2008 年比で 90%程度以上の効率改善の達成が期待できるものであること。
- ・ 長期的には、国際海運のゼロエミッション実現を可能とするものであること。

表 4.3.1-3 は、本プロジェクトにおける検討をもとに、オプション洗い出しの結果をまとめたものである。同表において、緑色で示したオプションは 2028 年までに実用化可能と考えられるもの、黄色で示したオプションは技術開発課題が比較的小さく 2028 年までに実用化の可能性があると考えられるものを示している。

上述の条件を満たすオプションとしては、水素燃料船(液化水素、直接燃焼)、アンモニア燃料船(直接燃焼)、カーボンリサイクルメタン燃料船(合成燃料)及び船上 CO₂ 回収設備を持つ比較的大型の船舶が挙げられる。ここで、カーボンリサイクルメタンとは、回収 CO₂ 及び水素から製造されるメタンを指す。

液体水素及びアンモニア燃料は、専焼の場合はいずれも GHG 排出ゼロであり、既述のとおりそれぞれに技術課題はあるが、今後、内燃機関等の開発の加速が見込まれることから、これらの燃料を使用する船舶が 2028 年までに投入が可能になると考えられる。表 4.3.1-1 に示すとおり、水素とアンモニアにはそれぞれ異なる利点と課題があり、現時点でいずれが優位であるか断定することは困難である。

表 4.3.1-3 中長期目標の達成に向けた代替燃料及び技術オプションの検討

	内航船 想定航続距離 200 mile (例: 東京-苫小牧)	外航 短距離 想定航続距離 1,000 mile (例: 日本-中国)	外航 中距離 想定航続距離 3,000 mile (例: 日本-シンガポール)	外航 長距離 想定航続距離 5,000mile (例: 日本-LA/LB)
バッテリー推進船	ポッド推進等を想定。 200 mile 程度は可能。	電池のエネルギー密度が低いため困難。		
水素燃料船 (液化水素、直接燃焼)	燃料供給装置の技術開発が必要。 国内で内燃機関の技術開発機運あり。 短い航続距離であれば可能。	貯蔵時のスペース効率が課題。		
水素燃料船 (液化、燃料電池)	気化器の技術開発が必要。 燃料電池単独では、負荷追従性および始動性に劣る。 小容量バッテリーとの組合せの可能性。 大型船の場合、大出力モーターの開発が必要。			
水素燃料船 (水素キャリア、直接燃焼及び燃料電池)	水素燃料船の「液化、直接燃焼」及び「液化、燃料電池」に準じる。 分離機の技術開発は難易度高い。 分離機のスペースも必要(敢えてキャリアを使用する必要性は低い)。 大型船の燃料電池の場合、大出力モーターの開発が必要。			
アンモニア燃料船 (直接燃焼)	燃焼性の課題。 N ₂ Oの実態把握(及び削減対策)が必要。		海外ライセンサーにおいて2サイクル機関の技術開発機運あり。	
アンモニア燃料船 (燃料電池)	直接燃焼に比べ開発が未成熟。			
カーボンリサイクルメタン燃料船	LNG燃料船の技術やインフラをそのまま転用可能。 当該燃料がカーボンニュートラルであるとの評価が与えられることが前提。 メタンスリップ対策が必要。			
船上CO ₂ 回収	CO ₂ の貯蔵スペース効率(小型船は特に困難)。 回収率向上。 陸上CO ₂ 受入れ施設整備が必要。	CO ₂ の貯蔵スペース効率。 回収率向上。 陸上CO ₂ 受入れ施設整備が必要。		

※1 本表には、燃料の供給可能性・供給規模に関する考察は含まれない。

※2 水素・アンモニアを燃料に使用する場合、安全上の措置や船員教育が必要となる。

※3 キャリアとは、水素を輸送・貯蔵する担体。ここでは、液体水素とアンモニアを除いた、水素吸蔵合金や有機ハイドライド等を想定。

カーボンリサイクルメタン燃料船について、LNGの主成分(約9割)はメタンであることから、カーボンリサイクル燃料として製造されるメタンは、既に実用化されているLNGの技術を使用でき、LNG燃料船や燃料供給のインフラ設備もそのまま転用できる。ただし、回収されたCO₂を原料として製造されるカーボンリサイクルメタンがカーボンニュートラルであるとの評価がなされることが前提となるほか、メタンスリップ対策が必要である点に留意を要する。

船上CO₂回収は、CO₂貯蔵スペースが必要となるため、小型船への適用は困難であるが、陸上において実用化済の技術であり、外航船への適用は可能と考えられる。ただし、上述の3種類の代替燃料と異なり、GHGを100%削減できるものではないため、90%以上の効率改善達成のためにはCO₂回収率の向上が必要であること、また、CO₂の陸上受入れ施設の整備が必要である点に留意を要する。

燃料電池については、大型船への対応への課題が大きいことから、2028年までに主推進動力源として実用化される期待度は相対的に低いと評価した。また、液体水素やアンモニア以外の水素キャリアについては、体積効率や分離機の技術開発課題を踏まえると、現時点ではあえてこれらを使用する必要性は低いと考えられる。

代替燃料の利用技術は現在活発な研究開発が進められている段階であり、現時点では、ここに挙げた代

替燃料・技術オプション間の優位性や導入割合を正確に推定することは難しい。今後、各機器の開発動向やコストを含めたエネルギー供給動向を見つつ、より詳細な検討が必要となる。

4.3.2 IMO・GHG 削減戦略の数値目標に合致する燃料・技術の活用シナリオの検討

4.3.1.2において、2028年までに、対2008年比で90%程度以上の効率改善を達成する実船の投入が期待できる代替燃料・技術のオプションとして、水素燃料、アンモニア燃料、カーボンリサイクルメタン燃料及び船上CO₂回収が洗い出された。これらのオプションを活用しながら、GHG削減戦略の2050年目標を達成するシナリオを検討した。

まず、上記の代替燃料・技術オプションの投入が期待できるのは2028年以降であることから、当面の間、国際海運のGHG削減を進めるために選択し得る現実的な選択肢は、既に実用化されているLNG燃料である。したがって、あらゆる削減シナリオにおいて、LNG燃料が普及拡大する傾向は共通するものと考えられる。この傾向を土台としつつ、将来的な国際海運における燃料転換の主な可能性として2通りが考えられる。一つ目は、普及の進んだLNG燃料のインフラを転用する形で、バイオメタン及びカーボンリサイクルメタン燃料の使用が拡大する可能性、二つ目は、LNG燃料と別途、燃焼時にCO₂を一切発生しない水素燃料若しくはアンモニア燃料又はその両方の使用が拡大する可能性である。そこで、以下の2つのパターンに分けて、削減シナリオを検討した。

- LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ
- 水素・アンモニア燃料拡大シナリオ

4.3.1の検討結果に基づき、上記2通りの削減シナリオにおいては、船舶の使用燃料等の変化に関する想定を図4.3.2-1のとおりとしている。特に、4.3.1.2において検討のとおり、水素燃料、アンモニア燃料、船上CO₂回収技術は、2028年から導入が開始されることを想定した。また、石油系燃料油(重油等)を使用する船舶の建造は、LNG燃料船の普及に伴って徐々に減少し、2035年以降はゼロとなることを想定した。

図4.3.2-1に示す条件の下で、2050年目標の達成を可能とするような、2050年時点での各種代替燃料・技術の普及状況を検討した。その結果は図4.3.2-2のとおり。

まず、上記2通りのシナリオのいずれにおいても、省エネ・運航効率化は、2030年に短期目標である40%改善を達成し、その後、2050年までに更に5%の改善が進むこと、また、国際海運全体の約2%が風力推進・バッテリー推進を採用することを想定している。

LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオにおいては、LNG燃料船が普及し、同燃料の供給インフラも拡大する一方、水素・アンモニア燃料のインフラ整備は大幅には進まないことを想定している。この場合、2050年に国際海運で消費されるエネルギーの約75%がLNG燃料又はカーボンリサイクルメタン若しくはバイオメタン燃料、約10%が水素又はアンモニア燃料により賄われ、LNG燃料船の約20%が船上CO₂回収を導入することで、2050年目標の達成が可能となる。

水素・アンモニア燃料拡大シナリオにおいては、水素燃料若しくはアンモニア燃料又はその両方について、船舶の技術開発及び燃料供給が拡大することを想定している。ただし、これらの燃料は2028年頃から新造船の投入が開始される前提であるため、LNG燃料の普及もある程度進むと想定することがより現実的と考えられる。2050年に国際海運で消費されるエネルギーの約45%が水素又はアンモニア燃料、約30%がLNG燃料、約7%がカーボンリサイクルメタン又はバイオメタン燃料で賄われ、国際海運全体の約5%が船上CO₂回収を導入することで、2050年目標の達成が可能となる。

図 4.3.2-1 削減シナリオにおける船舶の使用燃料等の変化に関する想定

LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ	水素・アンモニア燃料拡大シナリオ
<p>省エネ技術・運航効率化</p> <ul style="list-style-type: none"> 2030年に国際海運全体の平均燃費40%改善を想定。 2050年に国際海運全体の平均燃費45%改善を想定(2030年から+5%の改善)。 	
<p>石油系燃料油の使用</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年までに陸上において燃料としての原油需給が減少し、これに伴って船用重油の供給が減少すると想定。 石油系燃料油を使用する船舶の建造が減少し、2035年以降は全ての新造船がLNGその他の代替燃料を使用すると想定。 	
<p>LNG燃料</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年時点で、国際海運の消費エネルギーの約35%がLNGで賄われると想定。 	<p>LNG燃料</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年時点で、国際海運で消費されるエネルギー約30%がLNGで賄われると想定。
<p>カーボンリサイクルメタン・バイオメタン</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年時点で、国際海運の消費エネルギーの約40%がカーボンリサイクル/バイオメタンで賄われると想定。 	<p>カーボンリサイクルメタン・バイオメタン</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年時点で、国際海運の消費エネルギーの約7%がカーボンリサイクル/バイオメタンで賄われると想定。
<p>水素・アンモニア</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年時点で、国際海運の消費エネルギーの約10%が水素又はアンモニアで賄われると想定。 	<p>水素・アンモニア</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年時点で、国際海運の消費エネルギーの約45%が水素又はアンモニアで賄われると想定。
<p>船上CO₂回収</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年時点でLNG燃料を使用する船舶の約20%が導入することを想定。 	<p>船上CO₂回収</p> <ul style="list-style-type: none"> 2050年時点で、国際海運全体の約5%が導入すると想定。
<p>風力推進・バッテリー</p> <ul style="list-style-type: none"> 風力推進、バッテリーともに、2050年時点で、国際海運全体の約2%が導入すると想定。 	

図 4.3.2-2 2つの削減シナリオにおける2050年の想定

以下では、2通りの削減シナリオにおける、GHG削減の推移及び国際海運のエネルギー消費に占める各種代替燃料等の割合を示す。

4.3.2.1 LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ

LNG燃料及びカーボンリサイクルメタン燃料を中心的に活用するシナリオにおける、GHG排出量・削減量の推移及びエネルギー消費に占める各燃料等の割合はそれぞれ図4.3.2-3及び図4.3.2-4のとおり。

図4.3.2-3において、グラフ上端の点線はBAU排出量を、下端の実線は2050年以降の目標を達成する排出量推移を示す。両者の差分が各種の代替燃料・技術によるGHG削減を意味する。本削減シナリオにおいては、省エネ技術及び運航効率化による改善を除くと、カーボンリサイクルメタン燃料がGHG削減に最も大きく貢献する。図4.3.2-3において、カーボンリサイクルメタン燃料とバイオ燃料は、いずれもカーボンフリー燃料であることから、同一カテゴリとして扱っている。バイオ燃料は他セクターにおける消費動向の影響を受ける等の不確実性のため、現時点で両者の内数を定量的に推定することは困難である。

LNG燃料は、GHG削減削減量(図4.3.2-3)における割合は大きくないが、国際海運のエネルギー消費(図4.3.2-4)に占める割合は大きい。これは、表4.3.1-1に示したとおり、LNGの熱量あたりCO₂排出量が対C重油比で0.74であることに起因する。このように、LNG燃料自体のGHG削減効果は限定的であるが、当該燃料の普及が、2025年以降のカーボンリサイクルメタン及びバイオメタン燃料導入の土台となる点が重要な意味を持つ。

本シナリオは、カーボンリサイクルメタン燃料の供給が十分になされること、また、当該燃料がIMO等においてカーボンフリー燃料として認められことを前提としている点に留意する必要がある。

4.3.2.2 水素・アンモニア燃料拡大シナリオ

水素及びアンモニア燃料を中心的に活用するシナリオにおける、GHG排出量・削減量の推移及びエネルギー消費に占める各燃料等の割合はそれぞれ図4.3.2-5及び図4.3.2-6のとおり。本削減シナリオにおいては、省エネ技術及び運航効率化による改善を除くと、水素又はアンモニア燃料がGHG削減に最も大きく貢献する。4.3.1.2で述べたとおり、水素とアンモニアにはそれぞれ異なる利点と課題があり、現時点でいずれが優位であるか断定することは困難である。また、LNG・カーボンリサイクルメタン燃料を中心的に活用するシナリオだけでなく、本シナリオにおいても、LNG燃料の使用は拡大すると想定している。

本シナリオは、水素又はアンモニア燃料が十分に供給されることを前提としている点に留意が必要である。

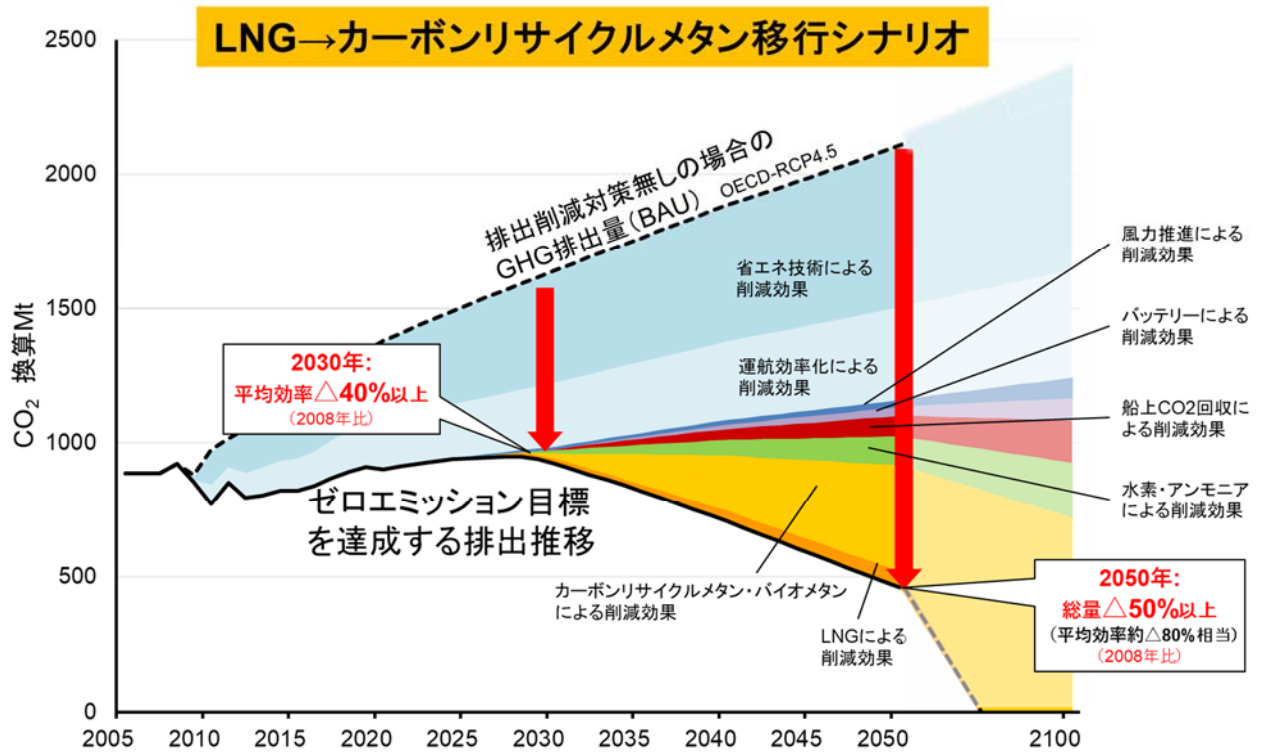


図 4.3.2-3 GHG 排出量・削減量の推移 (LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ)

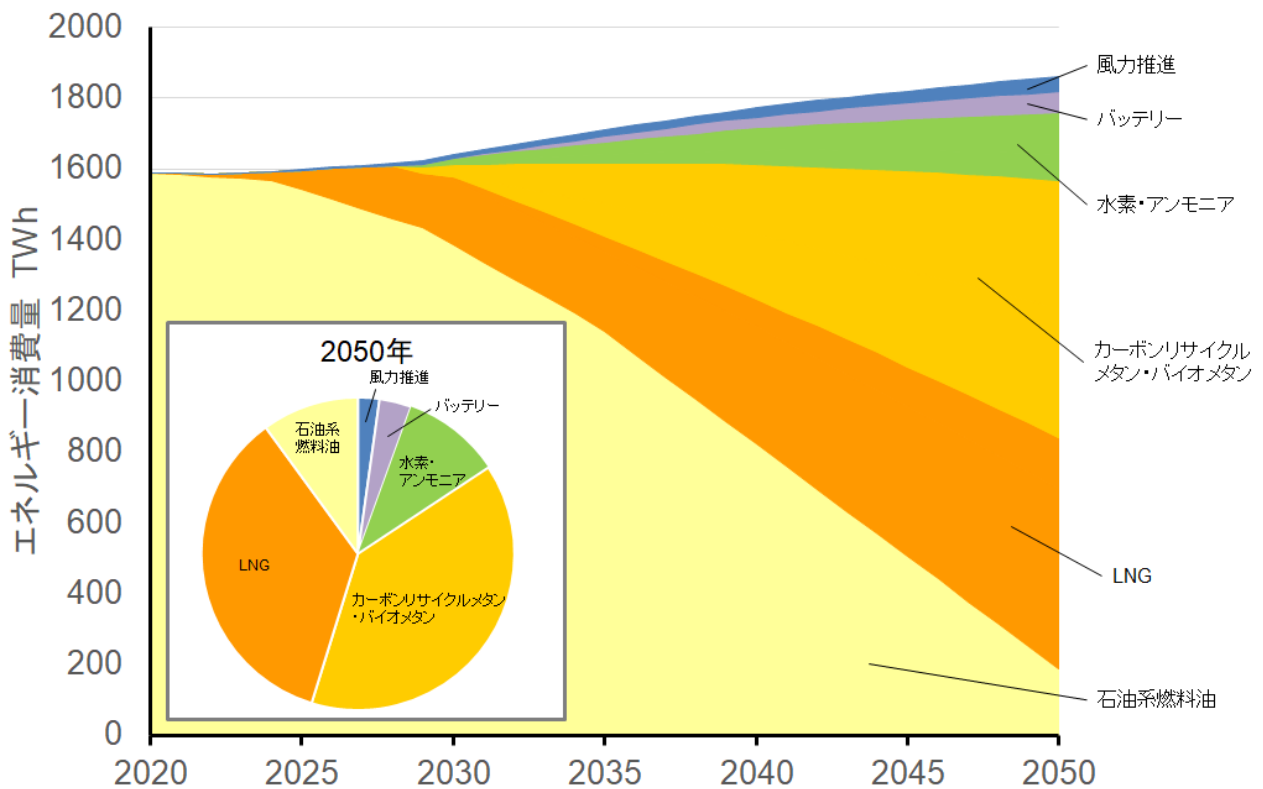


図 4.3.2-4 エネルギー消費に占める各燃料等の割合 (LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ)

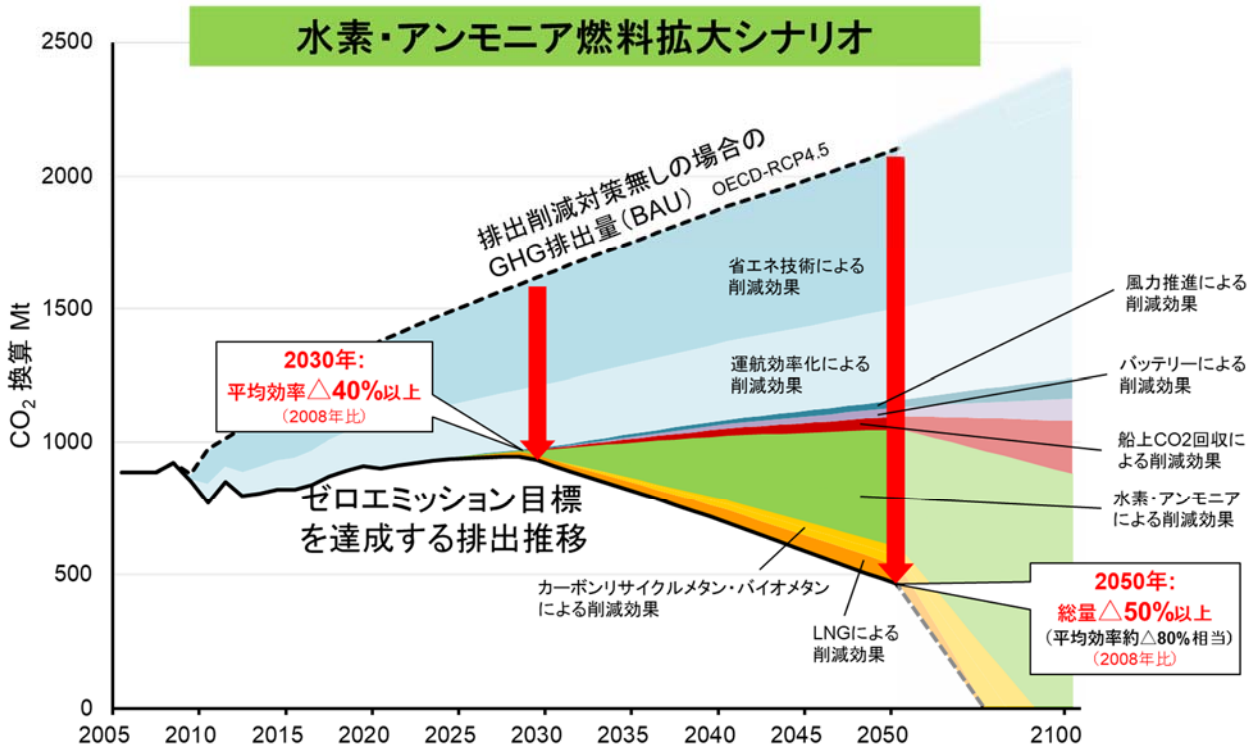


図 4.3.2-5 GHG 排出量・削減量の推移(水素・アンモニア燃料拡大シナリオ)

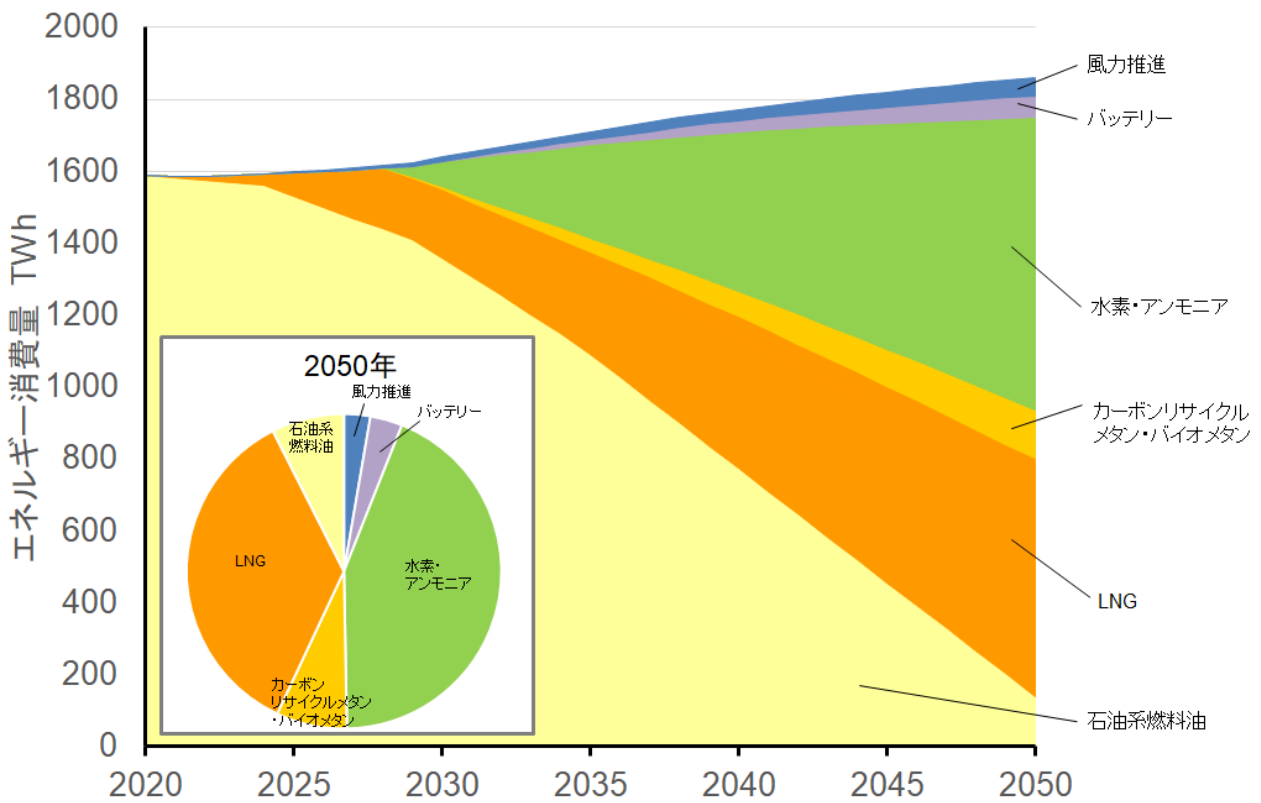


図 4.3.2-6 エネルギー消費に占める各燃料等の割合(水素・アンモニア燃料拡大シナリオ)

4.4 節 ゼロエミッション／超低炭素船のコンセプト設計

4.4.1 2028～2030 年に投入を想定するゼロエミッション／超低炭素船

2028～2030 年までに投入が開始されることを想定したゼロエミッション／超低炭素船として、以下についてコンセプト設計を行った。

- ①水素燃料船
- ②アンモニア燃料船
- ③船上 CO₂ 回収システム搭載船
- ④低速 LNG 燃料船

各コンセプト船の概要は付録のとおり。上記①～④のそれぞれについて、20,000TEU 級コンテナ船又は 80,000DWT 級バルクキャリアを想定したコンセプト設計を通じて 2028～2030 年の実船投入の可能性を検討するとともに、技術的な課題等の洗い出しを行った。各コンセプト船の概要は付録にとりまとめた。

4.4.2 2050 年頃のゼロエミッション船のイメージ

上記で検討した 4 種類のコンセプト船について、更なる将来の姿として、2050 年頃におけるイメージを図 4.4.2-1 のとおり作成した。



図 4.4.2-1: 2050 年における各コンセプト船のイメージ

第5章 2050年以降の目標達成のためのロードマップ

5.1 節 ロードマップ検討の概略

第4章において、GHG削減戦略の2050年目標を達成するためには、2050年までに対2008年比で約80%の効率改善が必要となることを確認し、それを達成し得る代替燃料・技術の活用シナリオとして、「LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ」及び「水素・アンモニア燃料拡大シナリオ」を示した。以上を踏まえ、これら2つのシナリオを実現させるためのロードマップとして、産学官公が取り組む必要があると考えられる各種の取組・対策の内容及び時期を検討した。

ロードマップの概略は図5.1-1のとおり。2050年目標達成に向けて、2028～2030年の期間を、「対2008年比で90～100%の効率改善を達成する船舶（以下、「ゼロエミッション船）」の投入開始時期としている。この目標年に向けて、研究開発、技術の実証及び導入促進を順次進めるとともに、ゼロエミッション船の建造・運航のための環境整備として、関連ルールの検証・策定・改正も並行して進めることが必要となる。2030年以降は、ゼロエミッション船の普及フェーズとなることを想定するが、代替燃料の普及促進のためには、陸上における燃料供給体制の整備が重要となる。

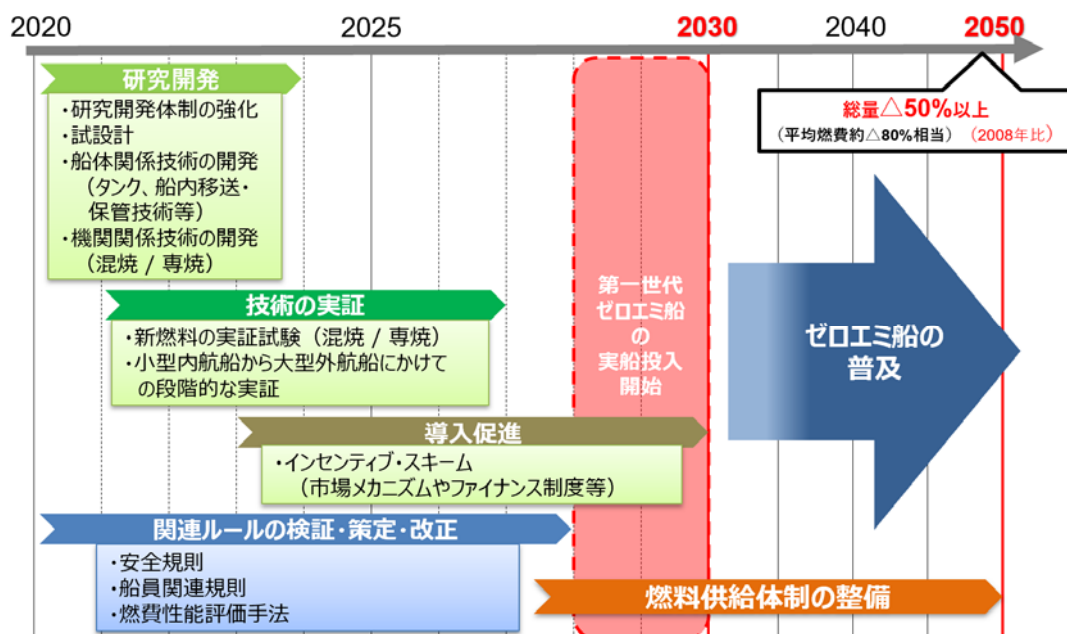


図 5.1-1 ロードマップの概略

5.2 節 新たな燃料及び技術の導入のための研究開発等

ゼロエミッション船の導入に向けて必要になると考えられる研究開発関連の取組・対策の検討結果を示したものが図5.2-1である。研究開発及び実用化の取組に加え、それを実施する体制の強化についても検討した。

5.2.1 研究開発体制強化

ゼロエミッション船の実現に向けた新燃料・技術の研究開発を行うにあたり、それらを実施する体制次第で、研究開発の費用対効果及び成果は異なると考えられ、研究開発体制を強化することが望ましい。その例としては、人的・資金的資源の効率的活用のための、複数の企業による共同研究開発、設計の連携体制の構築及び合併会社の設立等による集約化が挙げられる。

このほか、研究開発(R&D: Research and Development)を促進するための国際的なスキームの創設も考えられる。ゼロエミッション船の導入・普及のための研究開発には、大規模な投資が必要となることから、その資金を確保するための国際的な枠組みを設けることが望ましい。例えば、各船舶の船主が、年間の燃料消費量に応じた金額を拠出し、集まった資金により基金を設立し、国際的に選定された研究開発プロジェクトへ資金を投入する仕組みである。燃料油 1トンあたり約 2ドルを拠出すれば、年間 5 億ドル規模の R&D 資金を確保することが可能となる。我が国は、海事産業の主要国として、このような国際的なスキームの早期創設・運用開始、活用に向け積極的に取り組むべきである。

5.2.2 研究開発及び実用化

水素燃料、アンモニア燃料、LNG／カーボンリサイクルメタン／バイオメタン燃料、風力推進、船上 CO₂ 回収、超低速・肥大設計及びバッテリー推進に関して、2028～2030 年の実船投入開始を想定する場合に必要なと考えられる取組・時期を検討した。

代替燃料のうち、水素燃料若しくはアンモニア燃料、又はその両方の導入を目指す場合、2024 年までを目途にエンジン等の開発を進めるとともに、2026 年までに混焼や小型内航船への搭載等から順次実船による実証を行い、その後は導入促進策により、2028 年に向けて実船投入を促していくことが必要と考えられる。

LNG／カーボンリサイクルメタン／バイオメタン燃料の普及拡大を図る場合は、早期にメタンスリップ対策を確立することが重要となる。

風力推進については、既に、海運企業・造船企業等により様々なシステムの開発が進められていることから、今後は、実船による実証及び導入促進策が必要と考えられる。

船上 CO₂ 回収については、陸上で既に実用化された技術であるが、船舶での使用のためには、船上搭載用のシステム開発及び実証が必要と考えられる。

超低速・肥大船については、試設計により開発課題を洗い出すとともに、同設計特有の技術的課題を解決することが必要と考えられる。特に、操縦性の面で従来と異なる設計が必要になることが想定される。

バッテリー推進については、国内の小型内航船において実用化した例があり、既に実証の段階にあると言える。ただし、4.3 節の検討のとおり、現在のバッテリーのエネルギー密度では、比較的大型の外航船への適用は困難と考えられる。

また、水素燃料、アンモニア燃料、船上 CO₂ 回収の普及は、燃料供給又は回収した CO₂ の払い出しのための陸上インフラの整備状況に大きく影響される点に留意が必要である。

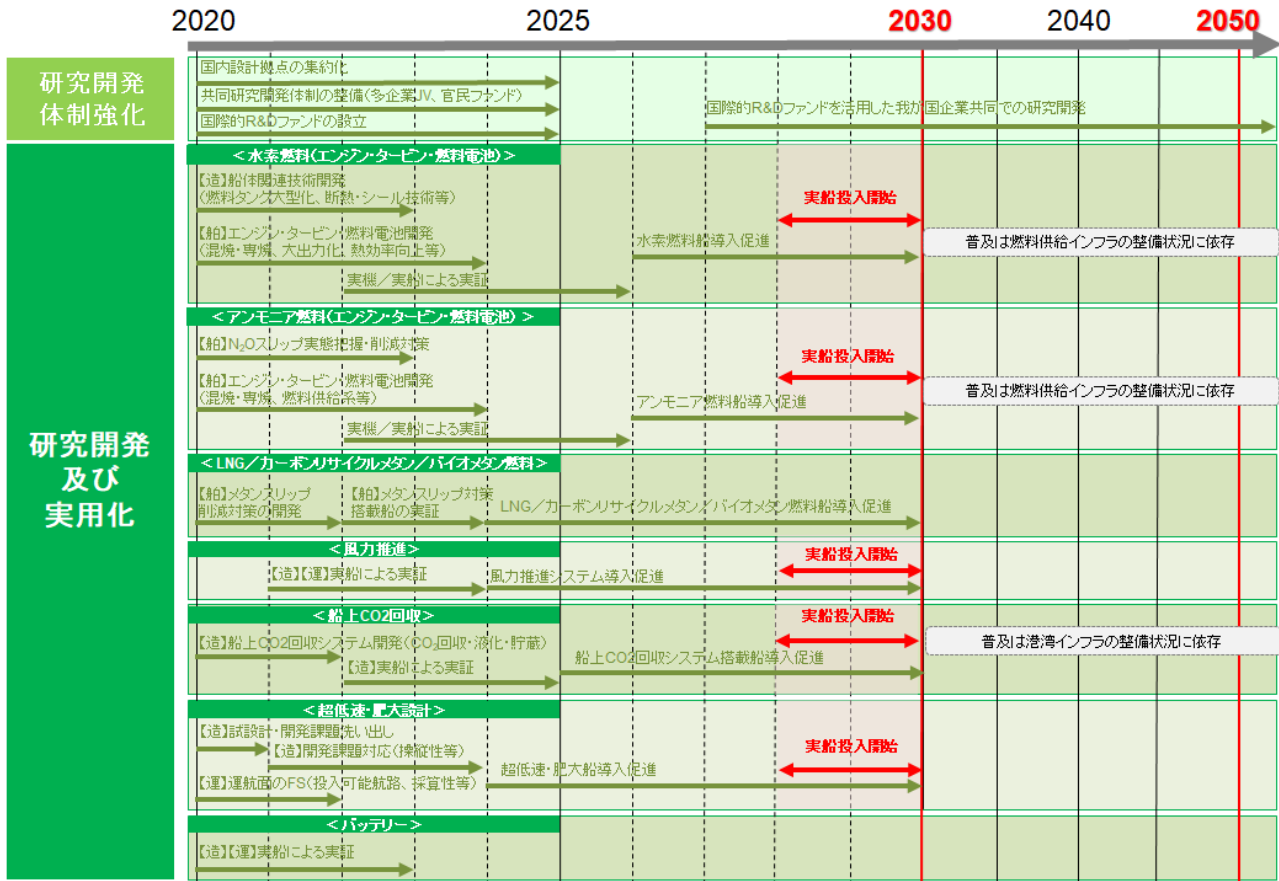


図 5.2-1 研究開発及び実用化に関するロードマップ

5.3 節 新たな燃料及び技術の導入のための制度面の環境整備

ゼロエミッション船の導入に向けて必要になると考えられる制度面の環境整備に関する取組・対策の検討結果を示したものが図 5.3-1 である。主に、IMO における関連規則の検証・策定・改正について検討を行った。

5.3.1 GHG 削減戦略、短期対策及び中長期対策

GHG 削減戦略は、2023 年に改正することを視野に、IMO においてレビューを行うことが合意されているほか、その後も、5 年おきにレビューを行うことが想定されている。同戦略は、国際海運からの GHG 排出削減の基本的な方向性を定めるものであるため、我が国として、レビューにおいて中心的な役割を担うべく対応する必要がある。

短期対策については、2.1 節及び 3.2 節にて既述のとおり、2023 年までの合意を目指し、対策の具体的な内容について IMO で議論が行われており、我が国から現存船に対する燃費性能規制(EEXI)を提案し、その実現に努めている。EEXI 規制が採択された場合、その発効後には、現存船のリプレースや燃料転換を促進する観点から、当該規制の段階的強化も検討し得る。このほか、実燃費を可視化するための格付け制度の導入等も考えられる。

中長期対策について、現在、IMO においては、燃料のライフサイクル炭素密度ガイドラインの策定について議論が行われている。また、今後は、経済的なインセンティブに基づき GHG の削減を促進する市場メカニ

ズム(MBM)を策定する可能性もある。MBMの主な類型としては、船用燃料に対する課金や、排出権取引が考えられる。このほか、カーボンリサイクル燃料やバイオ燃料を使用した場合のGHG排出量・削減量及びその越境時の扱いを定める観点から、IPCCガイドラインの改正も検討が必要となる可能性がある。

5.3.2 既存のMARPOL条約関連規制の改正

既存のGHG削減対策であるEEDI規制については、MARPOL条約においてフェーズ3(2022/2025年から実施)までが規定されているが、代替燃料等の導入を見据えたフェーズ4(2030年頃から実施)以降の規制の可能性についても検討をしていく必要がある。その中では、水素・アンモニア等の新たな代替燃料及び風力推進・船上CO₂回収等の新技術をEEDIのスキームに取り入れること等が必要となり得る。

このほか、各種の代替燃料・技術の導入環境を整える観点から、水素エンジン等の認証スキームの整備も必要となり得る。

MARPOL条約においては、技術研究を目的とする船舶に対して規制の適用免除を可能とする規定(附属書VI第3.2規則)があるが、各種の研究開発促進のため、当該規定を拡充・緩和することが考えられる。

5.3.3 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・技術の研究開発動向に応じ、現行規則の検証・改正又は新規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、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⁸)により、LNG燃料船についての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⁹)により、現時点ではアンモニア燃料の使用を認めないこととされている。したがって、水素燃料及びアンモニア燃料を導入するに当たっては、安全性を確保しつつ、それらを使用できるようにするための規則の改正等が必要となる。このほか、風力推進システムや船上CO₂回収装置を船上に搭載する際の安全基準の整備が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、新たに船員技能に関する基準の整備の必要性を検討すべきである。

5.3.4 その他

代替燃料に関連する技術開発の動向や、それらの燃料の供給状況に応じて、船用燃料油の現行規格(ISO 8217)の改正又は新たな規格の策定が必要となると考えられる。

⁸ IMO, International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels

⁹ IMO, The International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk

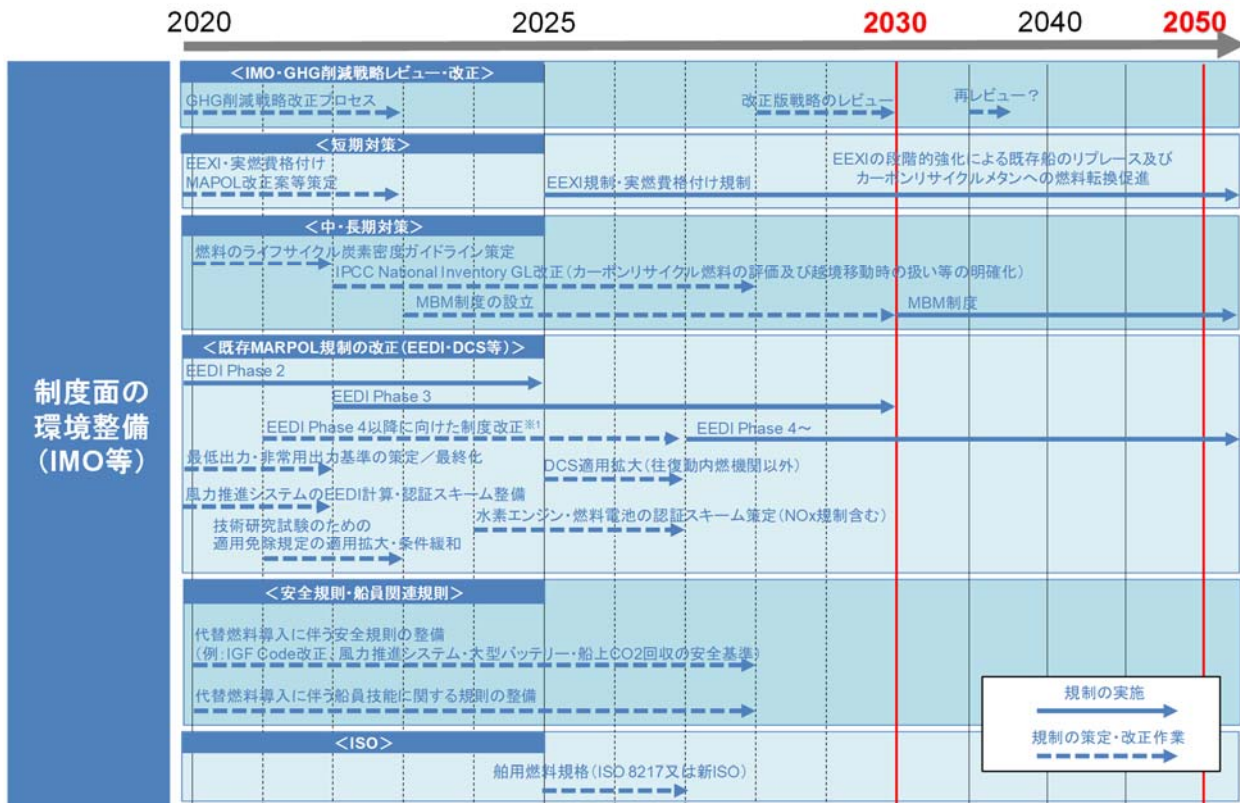


図 5.3-1 制度面の環境整備に関するロードマップ

第6章 おわりに

国際海運の GHG 排出ゼロに向けた今後の動向は、技術開発課題、燃料供給サイド、コスト等の不確定要素が複合的に絡むものであり、断定的な将来予測を行うことは困難である。その中で、本事業においては、現時点で入手可能な情報に基づき、GHG 削減戦略に掲げられた国際海運からの GHG 削減目標を達成するために国際海運に導入すべき GHG 削減対策を分析・検討し、それらの対策を実現するために必要となる技術開発及び環境整備等の内容・時期をロードマップとして提示した。

今後は、陸上及び国際海運分野の動向に応じて、GHG 削減シナリオの見直しや、ロードマップに掲げた対策の絞り込みを随時行っていくとともに、ゼロエミ船の建造・運航をビジネスとして成立させることを視野に、本ロードマップの実施に向けた方策、役割、体制及び資金面の仕組み等について、更に検討を掘り下げていくことが望まれる。

付録:コンセプト船の検討

1 水素燃料船

80,000DWT 級バルクキャリア及び 20,000TEU 級コンテナ船の 2 船型を対象として、液体水素燃料船のコンセプト設計を行った。

液化水素の補給地は世界 5 か所(欧州、中東、豪州、日本、南米)を仮定し、80,000DWT 級バルクキャリアの航続距離は 7,000NM、20,000TEU 級コンテナ船の航続距離は 11,500NM(片道分)と設定した。主機関としては、二元燃料式のレシプロエンジンを想定した。対象船の側面図及び平面図を図 付録-1 及び図 付録-3 に、主要目を表 付録-1 及び表 付録-2 に示す。

また、本コンセプトの実用化に向けて、エンジン及び燃料供給システム、タンクの大型化、防熱システム、水素漏洩対策、燃料補給に関する技術的課題を洗い出した。

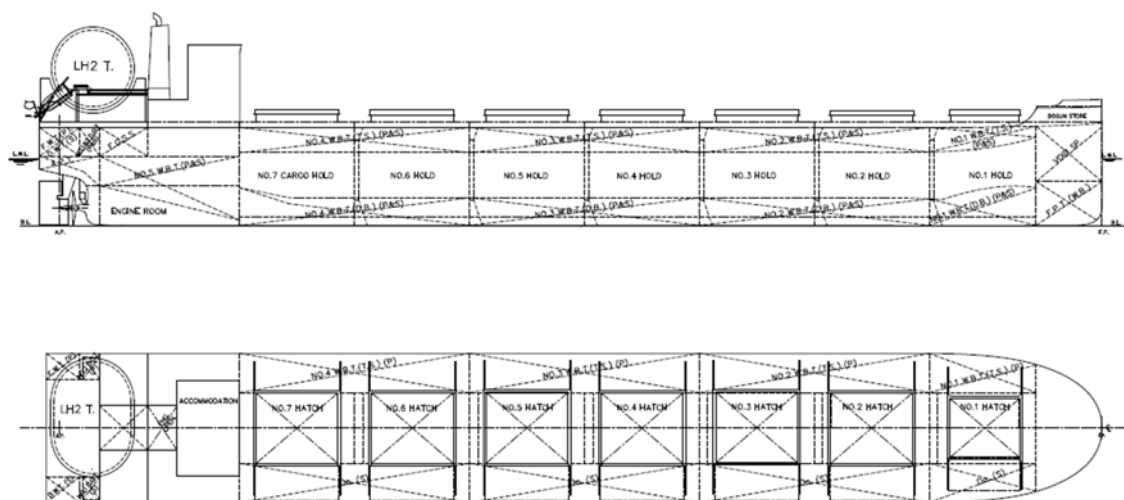


図 付録-1 : 80,000DWT 級バルクキャリアの側面図及び平面図(水素燃料船)

表 付録-1: 80,000DWT 級バルクキャリアの主要目(水素燃料船)

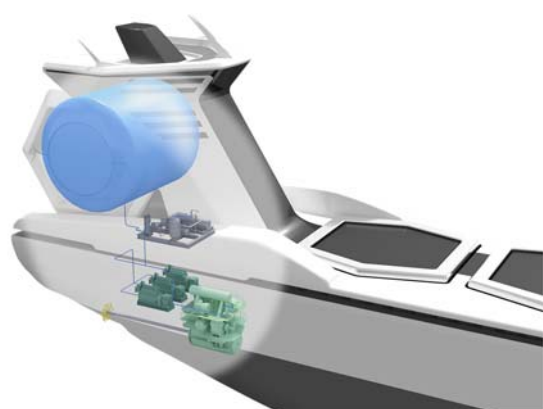


図 付録-2: 80,000DWT 級バルクキャリアの水素燃料関連機器配置イメージ

全長	228.9 m
船長	226.00 m
全幅	32.24 m
深さ	21.20 m
喫水	
計画喫水	12.20 m
夏季満載喫水	14.50 m
載貨重量	
計画喫水	63,500 ton
夏季満載喫水	80,000 ton
液化水素タンク	4,000 m ³
計画速力	14.0 knots
航続距離	7,000 NM
主機	1 台
最大出力	8,000kW x 84 rpm
常用出力	6,800kW x 80 rpm
発電機	3 台
	1,000 kW

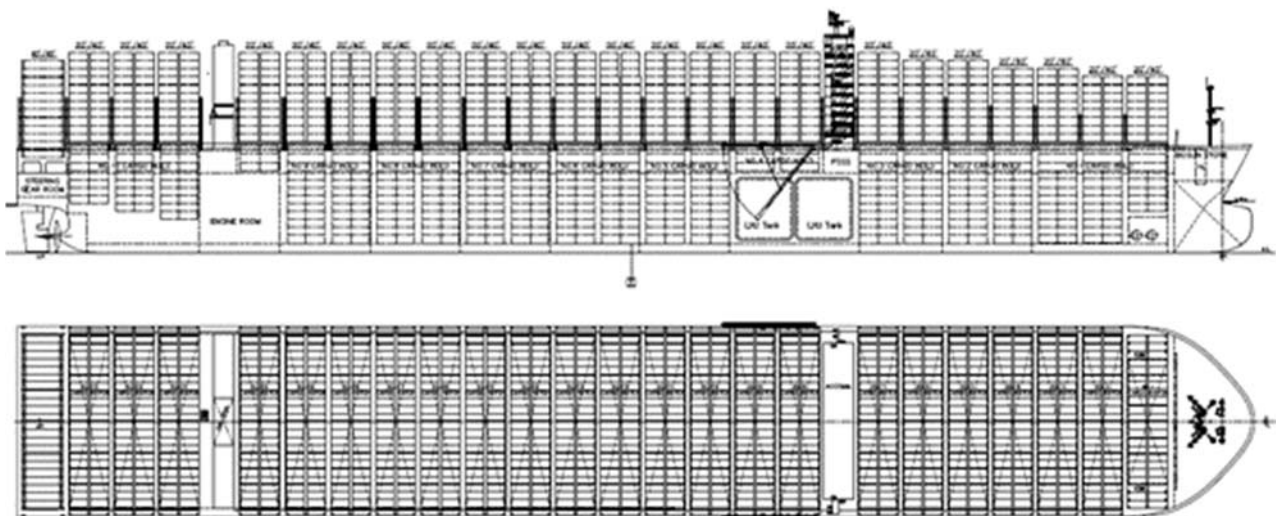


図 付録-3 : 20,000TEU 級コンテナ船の側面図及び平面図(水素燃料船)

表 付録-2: 20,000TEU 級コンテナ船の
主要目(水素燃料船)

全長	399.90 m
船長	383.00 m
全幅	61.50 m
深さ	33.00 m
喫水	
計画喫水	14.50 m
夏季満載喫水	16.50 m
液化水素タンク	30,000 m ³
コンテナ個数	21,000 TEU
冷凍コンテナプラグ	1,100 TEU
計画速力	22.5 knots
航続距離	11,500 NM
主機	1 台
最大出力	60,000 kW x 80 rpm
常用出力	54,000 kW x 77 rpm
発電機	3 台
	5,000 kW

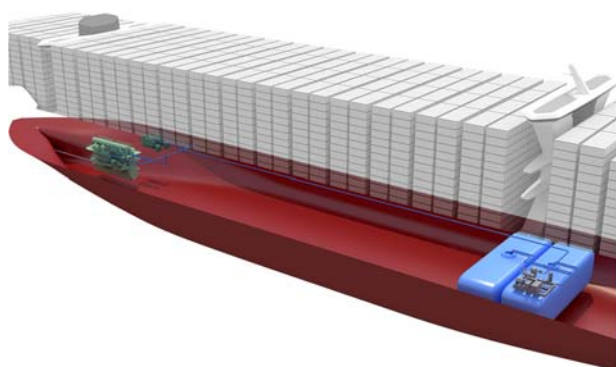


図 付録-4: 20,000TEU 級コンテナ船の水素燃料
関連機器配置イメージ

2 アンモニア燃料船

80,000DWT 級バルクキャリアを対象として、アンモニア燃料船のコンセプト設計を行った。

航路としては日本～豪州航路を想定した。主機関は、メタノールや LPG 等で実績のある液体燃料を噴射する機構を有する二元燃料レシプロエンジンを想定し、アンモニア燃料は難燃性であることから、着火を安定させるためのパイロット燃料噴射弁を有する機関とした。パイロット燃料を加味した上で、従来の同型船に比べ 91.9%の CO₂ 削減効果を見込む。対象船の側面図及び平面図を図 付録-5 に、主要目を表 付録-3 に示す。

また、本コンセプトの実用化に向けて、アンモニアの毒性等に関するリスク評価、アンモニアの漏洩リスク管理及び非常時の大気への放出、NO_x 及び N₂O 等に関する技術的課題を洗い出した。

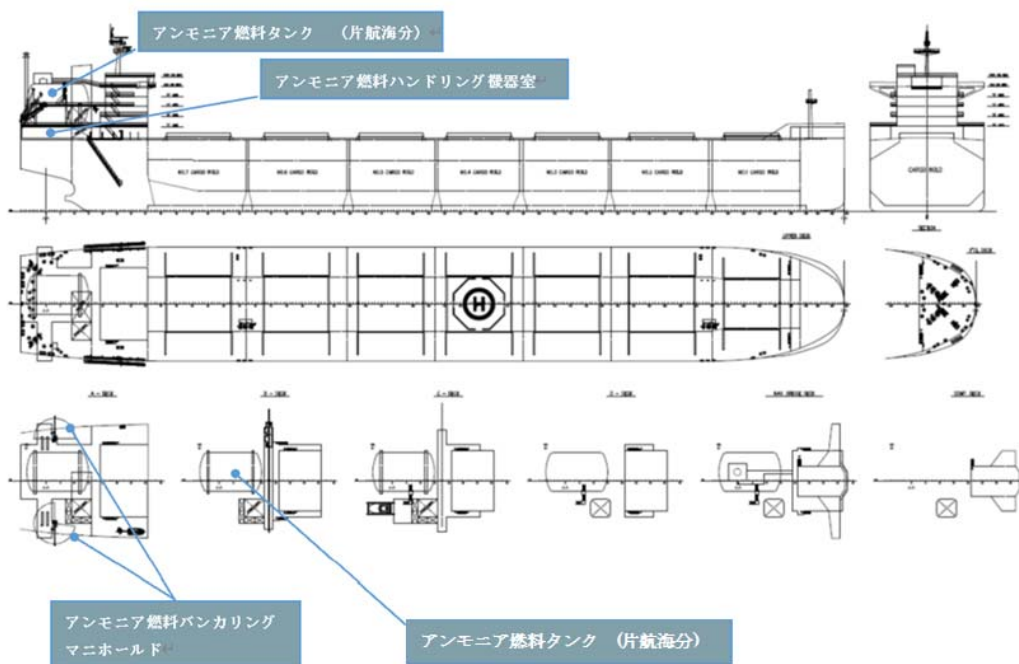


図 付録-5: 80,000DWT 級バルクキャリアの側面図及び平面図(アンモニア燃料船)



図 付録-6: アンモニア燃料関連機器配置イメージ

表 付録-3: 80,000DWT 級バルクキャリアの主要目(アンモニア燃料船)

全長	233.00 m
船長	225.5 m
全幅	32.26 m
深さ	20.10 m
喫水	
計画喫水	12.20 m
夏季満載喫水	14.45 m
載貨重量	81,000 ton
アンモニアタンク	1,550 m ³
計画速力	14.2 knots
主機	1 台
最大出力	9,660 kW
常用出力	7,052 kW
発電機	3 台
	600 kW

3 船上 CO₂ 回収システム搭載船

20,000TEU 級コンテナ船を対象として、船上 CO₂ 回収船のコンセプト設計を行った。

航路としては極東～欧州航路を想定した。主機関は、メタノール燃料の二元燃料レシプロエンジンに加え、液体アミン吸収法による船上 CO₂ 回収システム及び回収 CO₂ の貯蔵用タンクの搭載を想定した。本コンセプト設計における回収・液化装置全体として、CO₂ 回収率 85.7%を見込むが、将来的には回収システムの性能向上により 90%以上の回収率が実現することが期待される。対象船の側面図及び平面図を図 付録-7 に、主要目を表 付録-4 に示す。

また、本コンセプトの実用化に向けて、CO₂ 回収装置の回収率向上、液化装置の動力削減等の技術的課題を洗い出した。

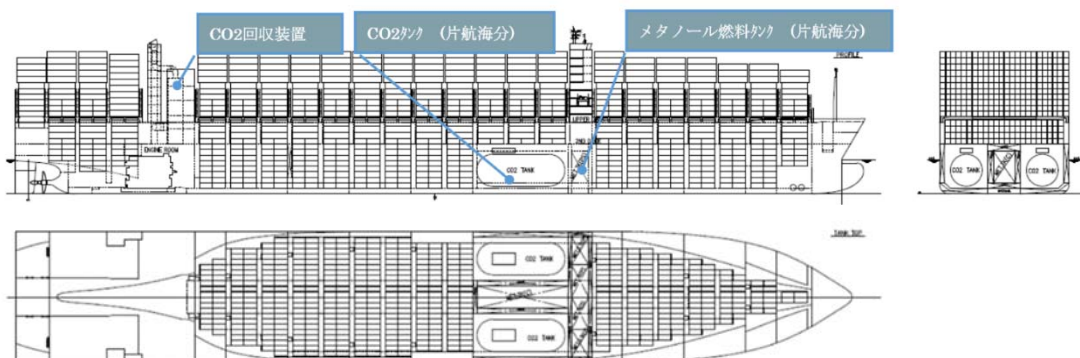


図 付録-7: 20,000TEU 級コンテナ船の側面図及び平面図(船上 CO₂ 回収船)



図 付録-8: CO₂ 回収装置及び CO₂ 液化装置の配置イメージ

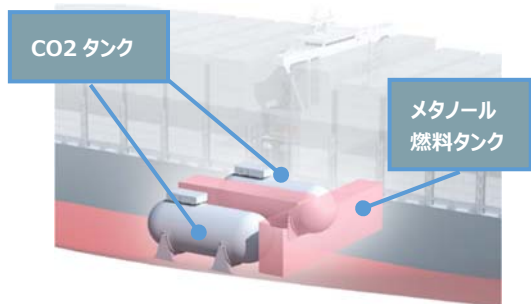


図 付録-9: CO₂ タンク及びメタノール燃料タンクの配置イメージ

表 付録-4: 20,000TEU 級コンテナ船の主要目 (船上 CO₂ 回収船)

全長	399.90 m
船長	383.00 m
全幅	61.00 m
深さ	33.50 m
喫水	
計画喫水	14.50 m
夏季満載喫水	16.00 m
コンテナ個数	21,300 TEU
メタノールタンク	13,200 m ³
CO ₂ タンク	6,400 m ³ x 2 sets
コンテナ搭載数影響	-1,820 TEU
計画速力	21.8 knots
主機	1 台
最大出力	55,000 kW
常用出力	49,500 kW
発電機	5 台
	6,870 kW

4 低速 LNG 燃料船

80,000DWT 船型をベースとするバルクキャリア及び 20,000TEU 級のコンテナ船を対象として、LNG 燃料等の既存技術の組合せによって対 2008 年比で 80%以上の効率改善を達成する船舶のコンセプト設計を行った。

それぞれの対象船について、従来船型をベースに、船型改良、減速・大型化、電気推進を前提としたハイブリッド型二重反転プロペラの搭載、LNG 燃料の適用及び革新的省エネ技術(風力推進システム及び空気潤滑システム)の適用を想定した。IMO の EEDI 計算ガイドラインに基づく試算によると、いずれの対象船においても、ベースの船型から Attained EEDI が 86%改善する結果となった。対象船の側面図及び平面図を図 付録-10 及び図 付録-11 に、主要目を表 付録-5 及び表 付録-6 に示す。

また、本コンセプトは、目下導入が可能と考えられる技術の組合せであるため、技術的な課題は大きくないと考えられる一方で、実用化のための環境整備として、IMO の関連規則・ガイドラインの見直し等が必要になることを確認した。

表 付録-5: 80,000DWT 級バルクキャリアの主要目(低速 LNG 燃料船)

全長	229.00 m
船長	225.00 m
全幅	42.00 m
深さ	20.60 m
喫水	
計画喫水	12.20 m
夏季満載喫水	14.45 m
載貨重量	102,000 ton
LNG タンク	3,800 m ³
計画速力	11.5 knots
推進モーター	2 台
定格出力	1,750kW

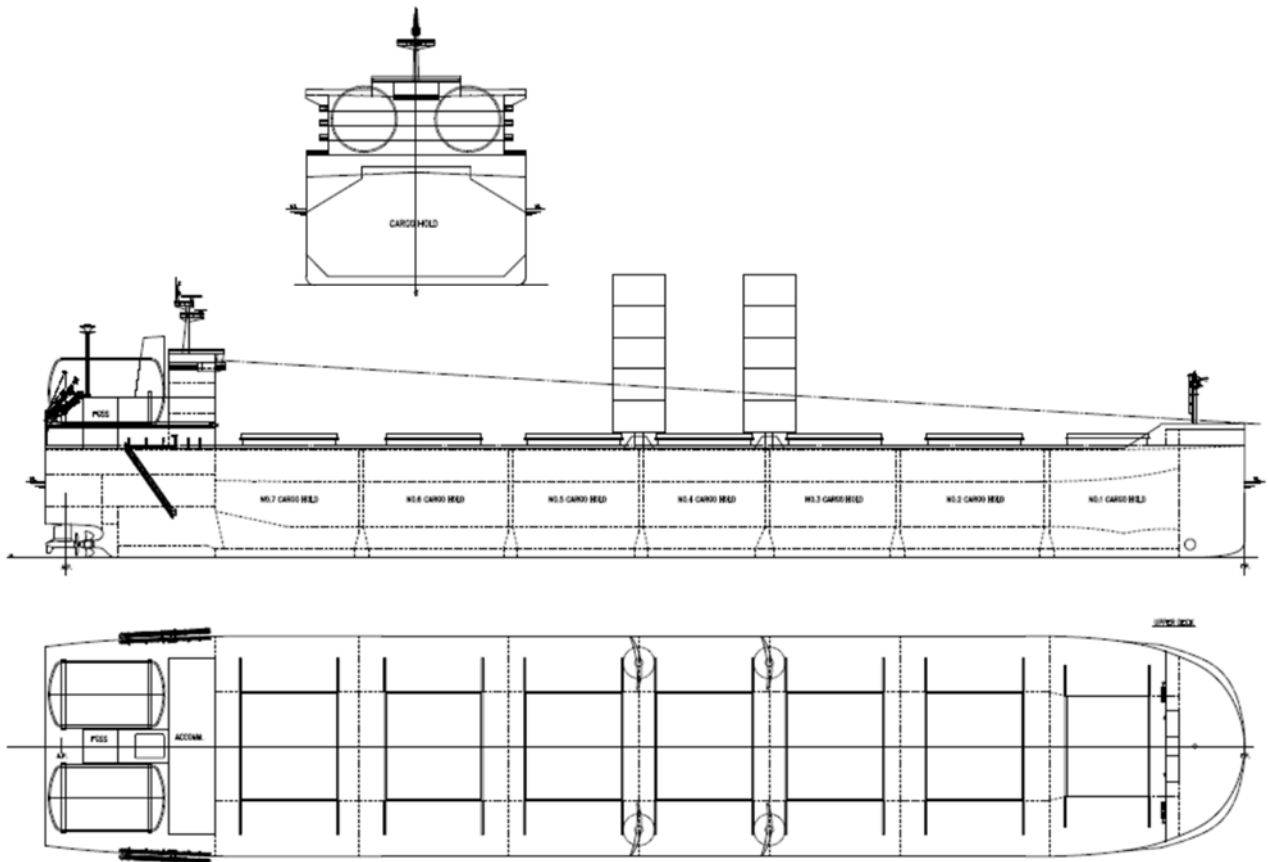


図 付録-10 : 80,000DWT 級バルクキャリアの側面図及び平面図(低速 LNG 燃料船)

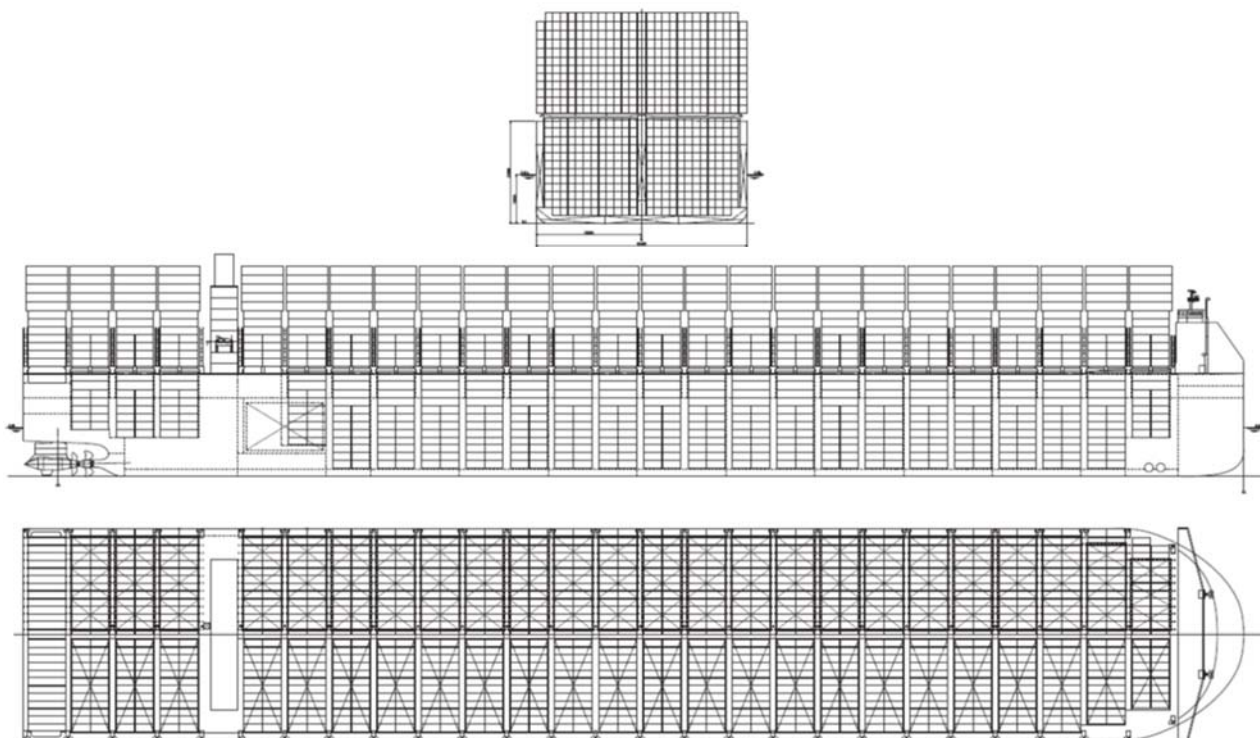


図 付録-11: 20,000TEU 級コンテナ船の側面図及び平面図(低速 LNG 燃料船)

表 付録-6: 20,000TEU 級コンテナ船の
主要目(低速 LNG 燃料船)

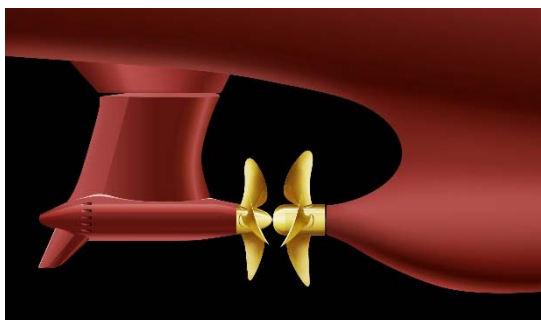


図 付録-12: ハイブリッド型二重反転プロペラシステム

全長	400.00 m
船長	387.00 m
全幅	69.20 m
深さ	33.20 m
喫水	
計画喫水	13.00 m
夏季満載喫水	16.00 m
コンテナ個数	27,000 TEU
LNG タンク	11,000 m ³
計画速力	15.2 knots
推進モーター	2 台
定格出力	5,500 kW

