

令和5年度海運CO2排出削減のための
燃料転換に関する調査研究(共同研究)

報告書

令和6年4月



一般財団法人 運輸総合研究所

目次

1章 調査研究概要	7
1-1. 研究の目的	7
1-2. 検討方法	7
2章 GFS規制の在り方について	8
2-1. IMOにおける検討状況について	8
2-2. その他の国際的あるいは地域規制について	9
2-2-1. 国際航空の動向	9
2-2-2. 欧州の地域規制	9
2-3. GFS規制の在り方に関する考察	10
3章 シナリオシミュレーションの設定	13
3-1. シミュレーションの構成（計算の流れ）	14
3-2. 計算条件	15
3-2-1. 対象船種の選定	15
3-2-2. 船舶データ	15
3-2-3. 船齢・残存（解撤）シナリオ	15
3-2-4. 輸送エネルギー効率の設定	16
3-2-5. 輸送需要の設定	16
3-2-6. 国際海運が達成すべき仮のGFSラインの設定	17
3-2-7. 燃料シナリオ	17
3-2-7. 燃料コスト	19
3-2-8. 各燃料の炭素強度	21
4章 シミュレーション結果	23
4-1. IMOの削減目標の達成度合い	23
4-2. 個別結果の比較	23
4-3. 参考試算① ～FuelEU Maritimeベースの試算～	28
4-4. 参考試算② ～WtTがゼロにならないケースの試算～	30
4-5. 参考試算③ ～早期解撤の考慮～	32
4-6. 参考試算④ ～対応限界の試算～	34
4-7. シミュレーション結果からの考察	35
5章 地域性の検討	36
5-1. 主要バンカリング港における検討状況	36
5-2. 各地における代替燃料の生産動向	37
5-2-1. バイオディーゼル	38

5-2-2. バイオメタノール.....	38
5-2-3. e-メタノール.....	39
5-2-4. 再エネ由来水素.....	39
5-2-5. CCUSを伴う水素.....	40
5-2-6. 再エネ由来水素によるアンモニア.....	41
5-2-7. CCUSを伴うアンモニア.....	42
5-3. 地域性を踏まえた考察.....	43
6章 提言.....	44

附属書1	シミュレーション結果① (24 シナリオ+FuelEU Maritime)
附属書2	シミュレーション結果② (APS シナリオ)
附属書3	シミュレーションの詳細設定
附属書4	燃料シナリオの詳細設定

はじめに

IMO では、「IMO-GHG 削減戦略」の下、2050 年までに国際海運からの GHG 総排出量を半減させることを目標に、船舶のエネルギー効率の改善を中心に取り組んできた。

近年、我が国及び欧米をはじめとして世界の主要国が 2050 年までにカーボンニュートラルを宣言し、カーボンニュートラルへの動きが加速する中、IMO においても、2023 年 7 月の MEPC80 において、「IMO-GHG 削減戦略」を改訂し、2050 年頃までに国際海運からの GHG 総排出量をネットゼロとすることなどを盛り込んだ「2023 IMO GHG 削減戦略」が全会一致で策定された。この中で、規制を含む技術的手法と経済的手法を組み合わせる戦略の達成を図ることが明記されており、中期対策の一つとして、欧州が提案した、船舶の燃料における GHG 強度（単位エネルギー当たりの GHG 排出量）をライフサイクルベースで評価し、その上限を設けることにより、低・ゼロ燃料への転換を促進し、IMO の削減目標の達成を目指すとする新たな規制案（GHG Fuel Standard： GFS 規制案）が 2027 年の導入を目標に議論されている。

本提案は 2050 年頃の国際海運からの GHG 排出ネットゼロの実現に向けた重要かつ効果的な施策と考えられるが、同時に、世界の海運や経済社会活動にも大きな影響を与えうるものであり、合理的で実現可能な制度の構築とともに、関係業界の幅広い連携による中長期的な取組が求められると思料され、そのためには、燃料調達や規制適合船隊整備の実現可能性と、これを踏まえた海運および経済社会への影響等について検証し、カーボンニュートラルに向けた円滑な燃料転換のあり方と具体的な取組方策についての検討が必要である。

当研究所では、海運分野における CO2 排出削減に関する国際的な動きの中での燃料転換の必要性を見据え、2020 年より、「海運分野における CO2 排出削減促進に関する調査検討委員会」を立ち上げ、今後利用が期待されるゼロ炭素燃料等のサプライチェーン及びライフサイクルでの CO2 排出量の評価手法（LCA）等について調査検討を行ってきた。

今般の IMO の GHG 削減目標の改訂や GFS にかかる議論を踏まえ、委員会の名称は「海運 CO2 排出削減のための燃料転換に関する調査検討委員会」と改め、円滑な燃料転換の実現に向けた規制的手法の検討を調査研究の主眼とし、これまでの調査研究による LCA に関する知見の活用、シミュレーションによる定量的な影響評価なども行いながら、合理的で実現可能な規制案に関する調査研究を進め、IMO における議論と我が国及び世界の CO2 排出削減への貢献を目指している。

本報告書は、2 カ年の調査研究について、「海運 CO2 排出削減のための燃料転換に関する調査検討委員会」における検討委員からのご意見・議論を踏まえて成果をまとめたものである。

本調査研究成果については当研究所が主催するシンポジウム等を通じ世に広く周知することで、IMO における国際的な議論や IMO が今後導入する GFS 規制への円滑な対応のための我が国における準備に貢献する必要があるが、本報告書のとりまとめを一つの契機として、検討委員会の河野座長をはじめ委員の方々の多大なるご助言・ご協力に改めて深く感謝の意を表す次第である。

令和 6 年 4 月

一般財団法人 運輸総合研究所
会長 宿利 正史

海運 CO2 排出削減のための燃料転換に関する調査検討委員会
委員名簿

2023年11月現在

委員(座長)	河野真理子	早稲田大学法学学術院教授
委員	高崎 講二	九州大学名誉教授
委員	稗方 和夫	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
委員	大坪新一郎	一般財団法人運輸総合研究所特任研究員
委員	柴田 善朗	一般財団法人日本エネルギー経済研究所 クリーンエネルギー担任補佐 兼 次世代エネルギーシステムグループマネージャー
委員	内藤 勝也	一般財団法人日本海事協会ゼロエミトランジションセンターセンター長
委員	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特別研究主幹、GHG削減プロジェクトチーム環境・動力系動力システム研究グループグループ長
委員	本郷 尚	株式会社三井物産戦略研究所国際情報部シニア研究フェロー
委員	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
委員	岩佐久美子	川崎汽船株式会社経営企画グループ担当部長
委員	上田 直樹	三菱造船株式会社常務執行役員
委員	阪口 克典	ジャパンマリユナイテッド株式会社 設計本部 主幹
委員	高橋 正裕	日本郵船株式会社執行役員(担当:技術本部統轄グループ担当補佐:脱炭素グループ)
委員	米原 章浩	株式会社商船三井環境・サステナビリティ戦略部環境戦略チームチームリーダー
委員	安達 知彦	経済産業省 資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部 水素・燃料電池戦略室 室長
委員	今井 新	国土交通省 海事局 海洋・環境政策課課長
委員	久田 成昭	国土交通省 港湾局 産業港湾課課長
委員	宿利 正史	一般財団法人運輸総合研究所会長
委員	佐藤 善信	一般財団法人運輸総合研究所理事長
委員	屋井 鉄雄	一般財団法人運輸総合研究所所長
委員	奥田 哲也	一般財団法人運輸総合研究所専務理事、ワシントン国際問題研究所長、アセアン・インド地域事務所長
委員	藤崎 耕一	一般財団法人運輸総合研究所主席研究員、研究統括
オブザーバー	志水 栄一	一般社団法人日本造船工業会 技術・労務部長

1 章 調査研究概要

1-1. 研究の目的

GHG 削減は国際社会において世界共通の重要な喫緊の課題の一つであり、多くの分野で 2050 年のネットゼロを目指す方針が打ち出されている。国際海運は全体の排出量の 2%程度を占めており、その削減に尽力することが求められている。

IMO では 2023 年 7 月に開催された MEPC80 において、2050 年頃に WtW ベースでネットゼロを目指すこと等を盛り込んだ 2023GHG 削減戦略が全会一致で採択された。改訂戦略で示された目標達成のための中期対策として、規制的手法及び経済的手法が各国から提案されており、各国提案を基に議論が進められている。このうち規制的手法としては、現在船舶で使用される燃料中の GHG 強度を段階的に厳しくする GFS 規制の導入について議論されている。

運輸総合研究所においては、IMO で 2023GHG 削減戦略が採択される以前より、国際的な議論の動向を踏まえ、国際海運において、2050 年にネットゼロを実現するために必要となるゼロエミッション燃料やゼロエミッション船の建造量などについて明らかにすることを目的に、輸送需要や燃料供給量など複数のケースでシミュレーション研究を行ってきた。

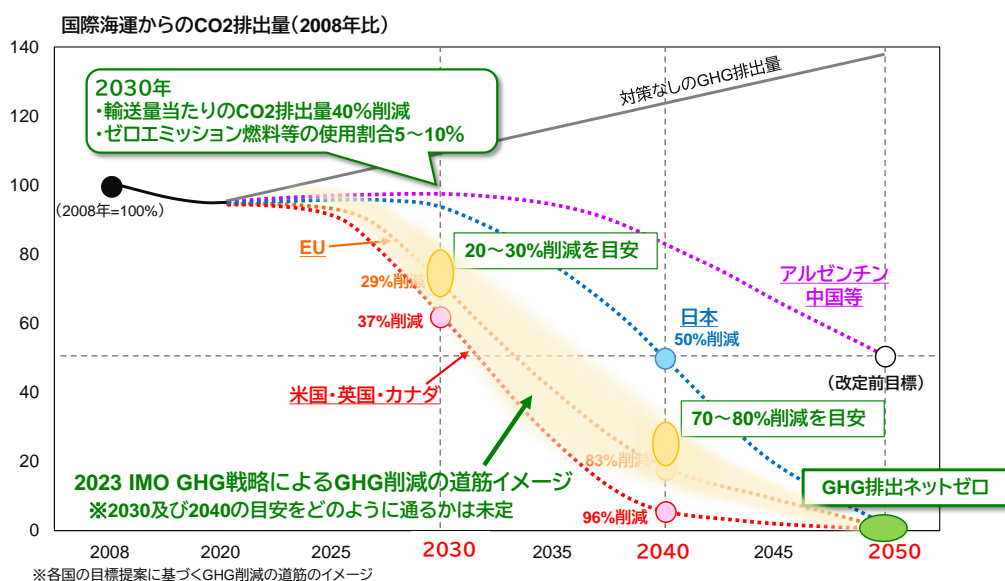


図 1. 2023 IMO GHG 削減戦略と各国提案の概要

1-2. 検討方法

2023 IMO GHG 削減戦略が定める Levels of ambition と Indicative check points はいずれも達成すべき目標である。しかし、Levels of ambition が定める 5~10% のゼロエミ燃料・技術の利用、輸送あたりの CO2 排出量の 2030 年に 2008 年比

40%改善と、2030年のIndicative check pointsの削減量は必ずしも一致するとは限らない。具体的には、5~10%のゼロエミ燃料・技術の利用、炭素強度 2030年に2008年比40%改善を達成したとしても、総排出量は輸送需要によって変化するため、輸送需要が著しく増加した場合にはIndicative check pointsの削減量は達成できないというケースがあり得る。このようにIMO GHG削減戦略が定める目標だけではどのような削減経路をたどるのか、何が必要になるのかすぐさま理解することは困難である。

このため本研究では、複数のシナリオを用いたシナリオシミュレーションを用いて、新燃料船の導入、使用燃料の推移を視覚化し、IMO GHG削減改訂戦略の達成に必要な条件について考察を行った。具体的なシナリオとして、仮のGFS規制値ライン、柔軟性措置の有無、将来的な輸送需要量、今後船舶での利用が想定される各種新燃料の入手性等のシナリオを国際機関等の公表情報等も踏まえ複数作成し、これらを組み合わせたシナリオシミュレーションを行った。

これら複数のシミュレーション計算により、2023IMO GHG削減戦略の各目標達成に必要な条件を算出するとともに、GFS規制の在り方や今後の対応について考察し提言にまとめた。

2章 GFS規制の在り方について

本章では、GFS規制の在り方について、IMOでの議論状況や国際航空での脱炭素に向けた規制の動向、欧州での先行事例を調査し検討を行った。机上検討を行ったものであり、IMOにおける特定の提案の支持や議論の方向性を決めつけるものではないことに留意されたい。また、シミュレーションの結果を踏まえた考察については4章以降に記載している。

2-1. IMOにおける検討状況について

2023 IMO GHG削減戦略が第80回環境保護委員会(MEPC)にて策定された際、同戦略を達成するための中長期対策として技術的手法(規制)と経済的手法を組み合わせることが盛り込まれた。また、中期対策について2027年の導入を目指すことが合わせて明記され、このスケジュール感に合わせ、MEPCやその下に設置されたGHG中間作業部会(ISWG-GHG)で導入に向けた議論がなされている。なお、この中で中長期対策の導入による国際海運や各国経済への影響について、包括的影響評価が並行して行われており、また、ベースとなる各種燃料の

GHG 強度について、WtT 及び TtW に分けて整理した LCA ガイドラインが策定され、順次改訂されている。

2-2. その他の国際的あるいは地域規制について

GFS 規制の在り方について考察するにあたり、国際航空及び欧州で先行する地域規制について調査した。

2-2-1. 国際航空の動向

国際航空では国際民間航空機関（ICAO）の主導の下、国際海運と同様に 2050 年にカーボンニュートラルを目指すことが打ち出されており、それに先立ち 2035 年までの Carbon Neutral Growth（CNG）のための手段の一つとして CORSIA 制度が 2021 年から導入されている。CORSIA 制度では 3 つのフェーズが設けられており、参加がボランティアであるパイロットフェーズ（2021～2023 年）、第 1 フェーズ（2024～2026 年）では、各航空運航者の排出量に応じたオフセット義務量の割当を行い、ICAO が認めるカーボンクレジットを購入することになる。第 2 フェーズ（2027 年～2035 年）からは一部の免除対象国を除いてすべての ICAO 加盟国の参加が義務付けられ、航空運航会社各社の CO2 排出量の伸び率を反映した割当に移行していくことが予定されている。

この中で、各航空運航者の排出量を削減する有効な手段の 1 つとして、GHG 排出を削減できる持続可能な航空燃料（Sustainably Aviation Fuel：SAF）の使用がある。このため、CORSIA 制度の運用に必要な CORSIA 対象燃料（SAF）や CORSIA 適用排出ユニットの認証制度が整備されている。他方、SAF については原料の調達量に懸念があり、加えて認証制度が厳格であることから認証にコストと時間がかかることもあって、CORSIA 対象燃料の供給不足を不安視する声がある。

2-2-2. 欧州の地域規制

欧州では、独自の地域規制として、GHG 排出量に応じてカーボンクレジットの購入を求める EU-ETS の仕組みの対象範囲を運輸部門にも拡大するとともに、航空及び海運において、GHG 削減を義務化する規制として ReFuel EU Aviation、FuelEU Maritime をそれぞれ導入している。

ReFuel EU Aviation は、SAF の導入義務に関する規則で 2025 年から開始される。航空燃料供給者や域内空港に対して SAF の提供を義務付けるとともに、航空

会社に対して域内航空での給油を義務付けることで SAF の利用を促進させる仕組みとなっている。

FuelEU Maritime は、MEPC で議論されている GFS 規制と同様、ライフサイクル (WtW) で船舶燃料中の GHG 強度を段階的に低減させることを義務付けるもので、2025 年から開始される。会社に責任を持たせつつ管理は船舶毎に行う仕組みになっており、規制値未達成の場合に罰金を支払うことで運航を認める仕組みや、ある船舶の余剰達成分を別の船舶の未達成分で相殺することを認めるプーリング、同一船舶で余剰達成分を翌年に繰り越すバンキング、逆に前借するボローイングなどの柔軟性措置が規定されている。

2-3. GFS 規制の在り方に関する考察

前項までに述べた IMO における GFS 規制案と国際航空及び EU における地域規制をまとめ比較したものを表 1 に示す。

表 1. 各制度案等の比較

	GFS規制案 (中国提案)	Fuel EU Maritime	CORSIA (国際航空)	ReFuelEU Aviation
規制対象	船舶	会社(船舶もあり)	会社	会社(エアライン及び燃料供給事業者)
規制達成期間	1年(毎年)	1年(毎年)	3年(2024~35)	1年(毎年)
モニタリングプランの作成・承認	既存制度の活用(IMO DCS)	あり(認定法人が承認)	あり(各国当局が承認)	—
報告書事前検証	検証機関の記載はあれど規定なし(IMO DCS準拠?)	なし(提出先の認定法人が検証)	ISO取得した法人に依頼可能	規定なし
排出量等計算主体	当局	認定法人	当局	当局
燃料の認証	未整備	未整備	認証機関が認証	不明
GHG強度ベース	TtW	WtW	WtW	WtW
柔軟性措置の有無	あり(WtWベース)	あり	余剰分の取扱いなし	あり
余剰分の有償取引	規定なし	あり	なし	規定なし
燃料規制不適合時の措置	罰金	罰金	クレジットオフセット	改善命令 or 罰則
他セクターとの取引	なし	なし	あり(未整理)	なし
取引状況の管理・監視(承認を含む)	各国当局	検証者(データベース上で管理)	適格排出単位保持者(適格性審査において管理状態も含め審査)	—

GFS 規制がどのような枠組みとなるかは今後の IMO MEPC での議論によることであるが、この比較から見えてきたいくつかの論点について以下考察した。

●規制値について

GFS 規制の役割について、大本となった欧州提案では、①IMO GHG 削減戦略の確実な達成や②新燃料の需要保証による移行投資促進が挙げられている。②に鑑みれば、燃料供給側に長期の需要を示すためにはあらかじめ長期的に規制値を定めておく必要があると考えられる。①については、この後の章で述べるシミュレーション結果を踏まえて 6 章にて別途考察する。

●規制のチェック期間及び制度の定期的見直しの有無

関連して、規制の順守状況をどの期間でチェックするか、規制値を含めた制度の定期的な見直しを設けるかという論点も派生すると考えられる。1 点目の規制の順守状況をどの期間でチェックするかという点においては、これまでの船舶の世界における各種規制等を考慮するに、1 年という期間でチェックしていくことが妥当と考えられる。他方、CORSLIA 制度では 3 年を 1 つの期間と設定している例もあるところ、必ずしも 1 年に限られるものではなく、規制対応の見通しも踏まえながら設定することが望ましいかもしれない。

2 点目の定期的な見直しについては、過去一定期間での見直しを盛り込んだことで、見直しを行うかの判断が下されるまでの間、規制対応が進まなかったという事例があり注意が必要である。他方、脱炭素化に関する技術開発の加速やイノベーションの発生が今後予想される場所、そのような状況の変化を制度の枠組みに取り込んでいくことは重要となる。このように相反する効果が考えられるところ、一概に設けるか否か判断しづらいところはあるが、例えば、一定期間での見直しは設けつつも、見直しを行う内容を限定する（規制値は緩和する修正は行わない、技術的な改正に限る、など）ことが一案として考えられる。

●規制の適用対象者

従来の IMO 規制では一般的に船舶が規制対象となっているが、CORSLIA や FuelEU Maritime では会社を対象としており、規制対象についても論点になりうる。法体系上の観点からは、船舶であれ会社であれ規制の対象として規定することは可能と考えられる。他方、ここで船舶は同型船であっても性能や仕様が異なることが一般的であり、航空機や自動車と異なり型式という考え方が当てはまらないため、個別船舶レベルでの状況を把握することが肝要となる。

このため、会社規制とした場合でも個別船舶レベルで排出状況を管理・把握する規定は必要になると考えられる中、会社と船舶で求められる役割が異なると考

えられる。考え方の一つとして、役割に応じて規定ぶりを変えるやり方があり得ると考える。

ただし、会社を規定するにあたり、FuelEU Maritime では船主または ISM コード上の船舶の管理者という定義を置いているが、規制の狙いである燃料の調達に商慣習として船主または ISM コード上の船舶の管理者が行うとは限らない。会社を主体に規定する際には、この点についても整理が必要になると考えられる。なお、IMO では 2027 年に GFS 規制を含む中期対策の導入を予定しているところ、条約に規定すべき項目と内容の選定についてはスケジュール感との兼ね合いにも注意が必要である。

●柔軟性措置について

柔軟性措置として IMO での提案や FuelEU Maritime の制度によれば、①プーリング、②バンキング、③ボローイング、④罰金による免除が考えられる。柔軟性措置の効果についてはシミュレーション結果を踏まえて後述するとし、ここでは制度上の留意点について考察する。

①については、他社（の保有する船舶）への譲渡を可能とする仕組みであるが、船腹を多く抱える会社は利用しやすい反面、船腹の少ない会社にとっては利用しづらい制度であり不公平が生じる可能性があることに留意が必要である。また、船舶間でのやりとりとなるため、二重取引がないかを含めやりとりの状況をしっかり把握、監視する仕組みが必要であり、これに官民双方で相当程度の負担が生じることにも留意が必要と考える。

②について、不確実な事象により規制の順守ができなかった際の備えとなるため、先んじて燃料転換による脱炭素に取り組むインセンティブになると考えられる。一方で、貯めた余剰達成分によって後年取組みを行わなくする（貯めた分を取り崩す）ことも考えられ、この場合後年は脱炭素化が停滞することにつながりかねないため、貯めた余剰達成分をどのくらい先の将来まで適用可能とするか留意が必要と考える。

③について、②と同様不確実性により規制遵守ができなかった場合の救済措置となる可能性がある。他方で、脱炭素化の先送りにもなるため、仮に導入するにしても一定の利用制限が必要になると考えられる。

④について、③と同様救済措置という側面があり、また船舶の運航を止めないことで結果的に経済活動を阻害しない効果が考えられる。他方で、安易に罰金対応に流れた場合、運賃が上昇するのみで脱炭素化は進まないという状況を生み出しかねない。経済活動を止めないという点でこのような救済措置は必要と考える

が、罰金の金額を相当程度高くするなど安易に罰金対応に流れないように配慮が必要と考える。合わせて集めた罰金の用途についても大きな課題となると考えられる。

●燃料の認証

他制度との比較においても燃料の認証は重要な要素である。WtW（ライフサイクル）を考慮することは2023 IMO GHG 削減戦略の中で明記されており、燃料の認証においても考慮する必要がある。

他方、ライフサイクルでの評価には、燃料の生産から貯蔵、供給に至るまでの各経路及び各プロセスでのGHG排出状況を把握すること、回収炭素分や輸送プロセスでの排出分のカウントの帰属整理、バンカリング直前の貯留タンク内での混合状況の把握及びGHG強度の計算、船上での燃料消費量とGHG強度の把握が必要になると考えられる。これらを各燃料別に個別に確認、評価、認証を行うには、多大な労力と時間を要することは想像に難くない。また、確認に必要な内容の多くが海運ではない陸上での話（WtT部分）であり、これを海事を担うIMOの所掌範囲で扱うには更に困難と考えられる。なお、CORISIA制度ではある程度厳密に評価・認証する仕組みを導入しているが、認証に時間を要し、認証済みのSAFの供給量に懸念を示す声があることにも留意が必要である。

このため、認証においては、WtT、TtWともに最悪値でのデフォルト値を設定し、デフォルト値と乖離するものは別途認証可能な仕組みを導入することが妥当であると考えられる。また、認証にあっては、他制度の仕組みにも鑑み、海運の燃料を認証する専門機関を認定する仕組みを採用することが望ましいと考える。

3章 シナリオシミュレーションの設定

運輸総合研究所では、前章まで述べたような国際的な動向を踏まえ、国際海運において、2050年にネットゼロを実現するために必要となるゼロエミッション燃料やゼロエミッション船の建造量などについて明らかにすることを目的に、輸送需要や燃料供給量など複数のケースでシミュレーション研究を行った。

3-1. シミュレーションの構成（計算の流れ）

シミュレーションツールは、国際海運の達成すべき GFS 規制値案を含め 8つのパラメーターを変更可能なシナリオ（入力値）として、将来的な燃料構成（燃料の必要量、船隊構成、運航コスト等）及び GHG 排出量を予測・見える化するシミュレーションツールを開発した。下図に計算フローを示す。

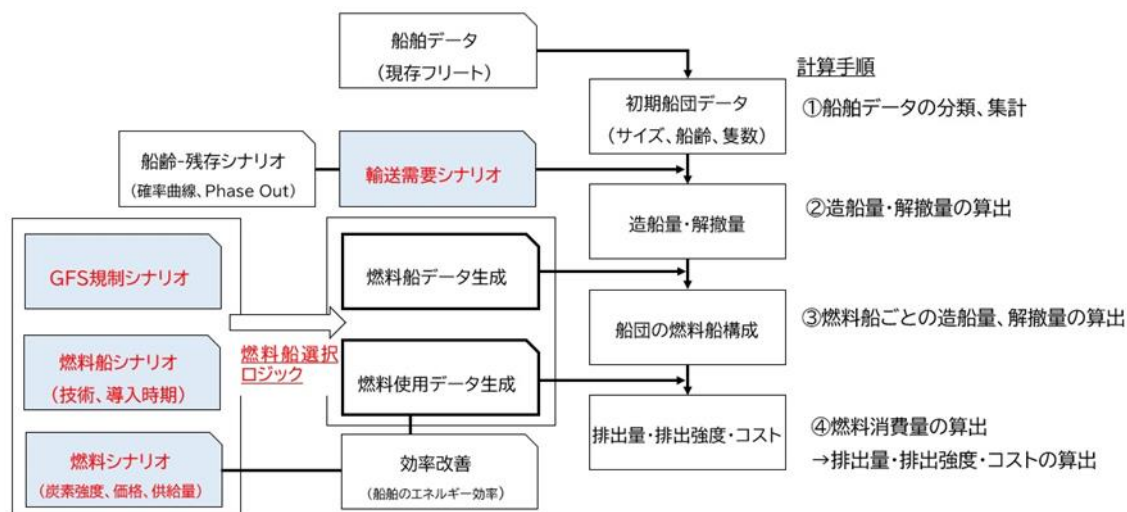


図2 シミュレーションツールの計算フロー

図2のとおり、現存のフリート構成を表す船舶データにより初期船団データが決定され（計算手順①）、船齢と解撤率の関係を定義する船齢-残存シナリオと、輸送需要の将来予測を表す輸送需要シナリオにより、毎年の造船量と解撤量が算出されることとなる（計算手順②）。

更に、国際海運の GFS 規制値ライン、GFS 規制シナリオ（柔軟性措置の有無）、燃料船の導入開始時期や船価を設定した燃料船シナリオ、及び、燃料の WtW 排出強度やコスト、供給量を設定した燃料シナリオを基に、計算手順②で算出された造船量の部分について、GFS 規制に適合するためにどのような種類の燃料船及び使用燃料が導入されるのか、選択される燃料船の種類や使用燃料の種類を決定する選択ロジックを介して、燃料船データ・燃料使用データが生成され、それにより船団の燃料船構成が決まることとなる（計算手順③）。

また、船団の燃料船構成が決まることにより、その年に消費した燃料の GHG 排出量や平均排出強度、総コスト（燃料コスト及び船価）が算出されることとなる（計算手順④）。

3-2. 計算条件

シミュレーションでは、ベースとなる船舶データをはじめ、GFS 規制値の仮設ラインのシナリオなど複数の設定あるいはシナリオを置いてシミュレーションを行った。ここでは、各設定について概説する。

3-2-1. 対象船種の選定

5,000GT 以上の船舶のうち、全体の輸送量の多くを占める、コンテナ船、タンカー、バルクキャリア、PCTC を対象とした。新造船で導入される船舶については、これらの船種で、重油船、水素専焼船、LNG DF 船、メタノール DF 船、アンモニア DF 船のいずれかが選択される設定を置いている。

3-2-2. 船舶データ

船舶データについては、IHS Sea-web より 5,000GT 以上のコンテナ船、タンカー、バルクキャリア、PCTC を抽出し、初期船団として設定した。

3-2-3. 船齢 - 残存 (解撤) シナリオ

船齢 - 残存シナリオでは、船齢に応じて何%の船舶が解撤されずに残存するかを表す残存率が定義されている。本調査研究においては、IHS Sea-web の船舶データから対象船種のデータを抽出し、曲線フィッティングを行うことでデータを作成した。シミュレーション上では、この残存率に従って代替が行われることとしており、早期解撤は想定していない。

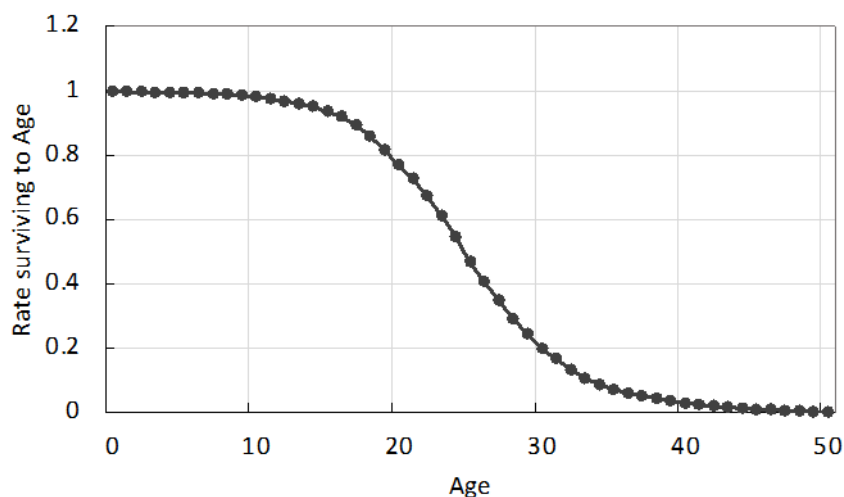


図3 船齢-残存率分布

3-2-4. 輸送エネルギー効率の設定

輸送エネルギー効率は、IMOにおいて2030年までに2008年比で40%の効率改善を行うことが目標として掲げられている。また、船舶の輸送エネルギー効率については、IMO DCSにおいてデータが収集されているところ、このデータをベースに目標が達成されると仮定した。これにより、Levels of ambitionのうち、2030年には輸送あたりのCO₂排出強度2008年比40%削減は達成されることとなる。また、2030年以降2050年に向けては、更なる効率改善が進むものと仮定し、2050年には2008年比で50%の効率改善が図られると仮定した。

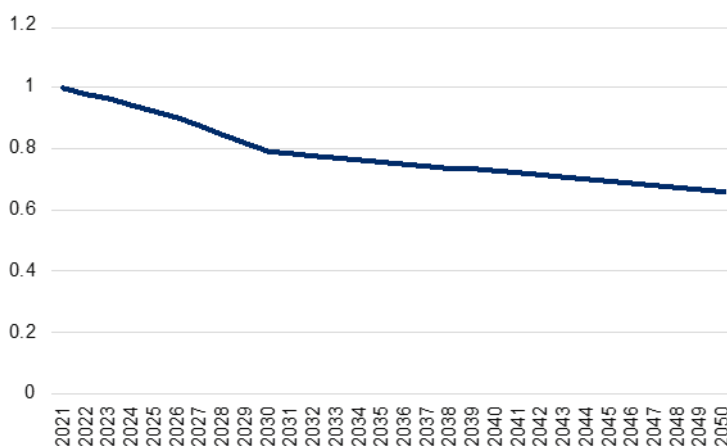


図4 輸送効率の改善

3-2-5. 輸送需要の設定

国際海運からのGHG排出量は、輸送需要の大きさによっても大きく変動する。ここでは、IMO GHG 4th Studyより、最小輸送需要であるOECD_RCP2.6Gとこれと同じく2度目標を前提としているSSP2_RCP2.6Lを大きいシナリオとして採用した。

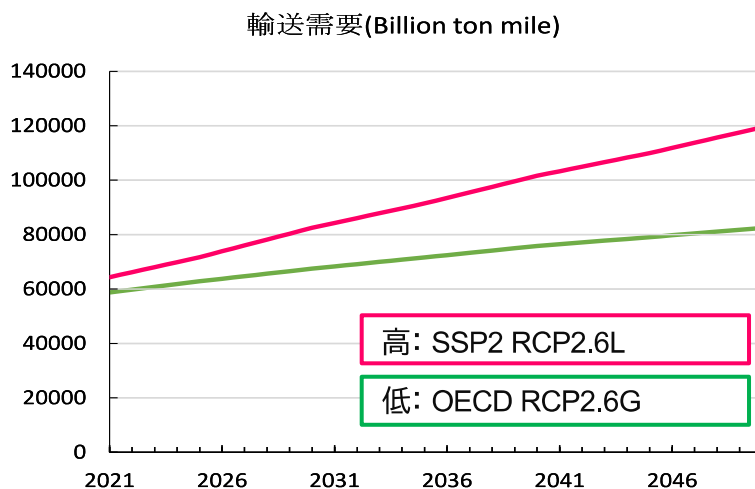


図5 輸送需要シナリオ

3-2-6. 国際海運が達成すべき仮の GFS ラインの設定

国際海運の GFS ラインは、今後 IMO において審議され決定されることになるが、2023IMO GHG 削減戦略で示された Levels of ambition と Indicative check points を経済的手法と合わせ達成することを念頭に検討される。現状では、経済的手法の内容が決まっていなかったためその削減効果を見積もることはできない状況にあり、同様に具体的な GFS の規制値がどの程度に設定されるかも不透明である。そのため、本研究では、2030 年に排出量 20%削減、2040 年に排出量 70%削減し、2050 年に排出量ゼロとなるラインと、2030 年に排出量 30%削減、2040 年に排出量 80%削減し、2050 年に排出量ゼロとなるラインの 2 つを仮の GFS ラインとして設定した。

この設定が意味することは、GFS の規制値を意図するものではなく、シミュレーションにより示されるものが、Indicative checkpoints を含む 2023 IMO GHG 削減戦略の目標を達成するための燃料転換の変遷や達成の可能性を示唆することとなる。輸送需要と輸送エネルギー効率の設定、仮の GFS ラインを踏まえた仮の GHG 削減ラインについて下記図に示す。

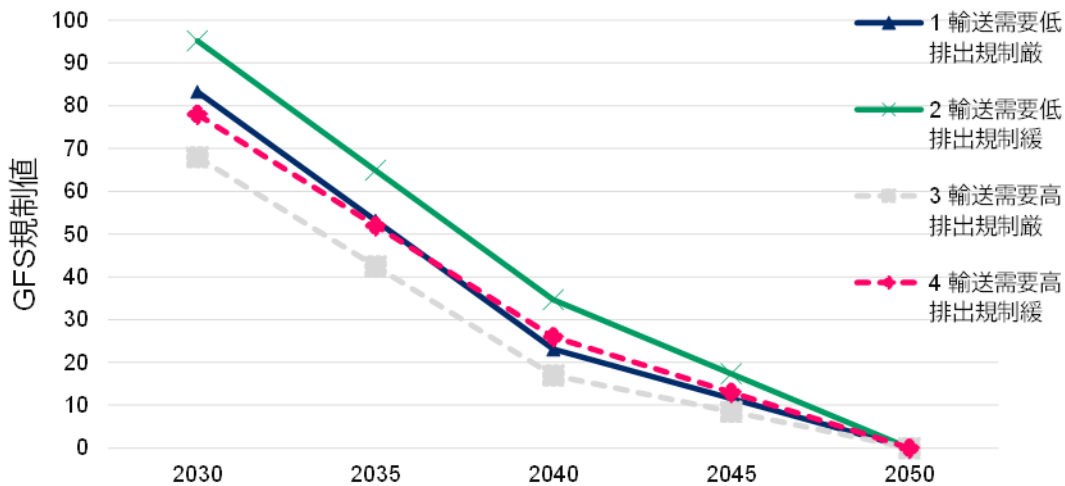


図6 仮の国際海運 GFS ライン (LSFO=100)

3-2-7. 燃料シナリオ

船舶で使用が見込まれる燃料種について、利用可能量、コスト、CI 値それぞれの観点から燃料種別に設定した。

利用可能量については、バイオ系燃料およびバイオマス由来の CO₂ を使用する

代替燃料を対象として、利用可能量の上限を設定した。具体的には、以下の燃料について利用可能量のシナリオを設定している。

- ・ バイオ HFO (バイオディーゼル)
- ・ バイオメタン
- ・ バイオメタノール
- ・ 合成メタン
- ・ 合成メタノール

各燃料の利用可能量について、代替燃料は陸上など海運以外での需要もあることから、海運以外のセクターとの競合が考えられる。一方で、現状海運では原油から精製される各種製品のうち残渣に近い C 重油を主な燃料として使用しており、他の製品に比べれば安価であることから、他のセクターに比べ代替燃料の購買力は弱いと想定した。その想定の下、まず、全セクター向けに供給される燃料を全体の利用可能量として設定し、そこから工業や民生、航空、自動車といった海運以外のセクターにおける当該燃料の需要量を試算し、これを全体の利用可能量から差し引くことにより、最終的に残った利用可能量が海運セクターで利用可能な上限量となることを基本的なシナリオとした。

その上で、バイオ系燃料の全体の利用可能量については、原料となる炭素の回収に限りがあることから、文献値を元に以下の異なる 3 つのシナリオを将来の世界観として設定している。

バイオ高位：世に存在するバイオマス資源 (200 EJ) を最大限調達・利用しようとする世界 (World Bioenergy Association より)

バイオ中位：IEA NZE シナリオに沿って必要なバイオマスを使用・調達する世界

バイオ低位：IEA NZE シナリオよりも少なくバイオマスを利用する (ネットゼロ達成は水素・アンモニアに頼る) 世界 (WEF シナリオベース)

これら 3 シナリオをベースとしたバイオ系燃料の全体及び海運での利用可能量について下図に示す。

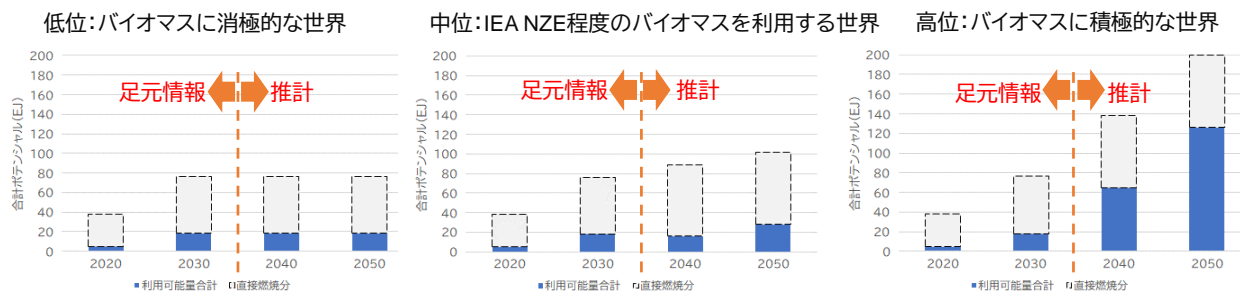


図7 バイオ燃料のシナリオ別原料利用可能合計量

他方、アンモニアや水素などの合成燃料については、将来の再生可能エネルギー供給量により利用可能量が変化し、また、今後の投資によって変動すると考えられる中制約が設けにくいこと、シミュレーション上、IMO の目標達成にバイオ燃料の利用可能量で足りない部分を合成燃料で補うことで必要な条件を見える形にするため、本研究では利用可能量に制限を設けないことにした。

3-2-7. 燃料コスト

コストについて、弊所「海運分野における CO2 排出削減促進に関する調査検討(2020-2021 年度)の成果をベースに以下の算定条件を設定し、燃料種別に推計した。

- カーボンニュートラルな原料炭素を含めて原料入手性に制限が無く、原料価格や再生可能電力価格が NZE に基づき将来大きく減少するというシナリオに基づく。
- 製造・供給プロセスについて、豪州で代替燃料を生成・貯蔵し日本へ輸送、国内貯蔵・二次輸送され各船舶へバンカリングされる仮定を置いた。
- 全てのプロセスで使用される電力は再生可能電力(一部 Grid 電源)と仮定。Renewable 燃料においては熱供給も同様に再生可能電力由来とした。一方、化石燃料由来の燃料生成における反応に必要な熱供給は天然ガス(または褐炭)の CCS 付きでの燃焼による。
- 再生可能電力の価格(USD/kWh)は、IEA 予測に基づき漸減するとした。
- 将来における技術革新により製造工程において CAPEX、OPEX 共に効率改善が見込まれるとした。
- 原料バイオマスのコストは、IRENA の Global supply curve for primary biomass, 2030 を参考に、原料別に最大 5 段階を設定した。

計算結果を下図に示す。

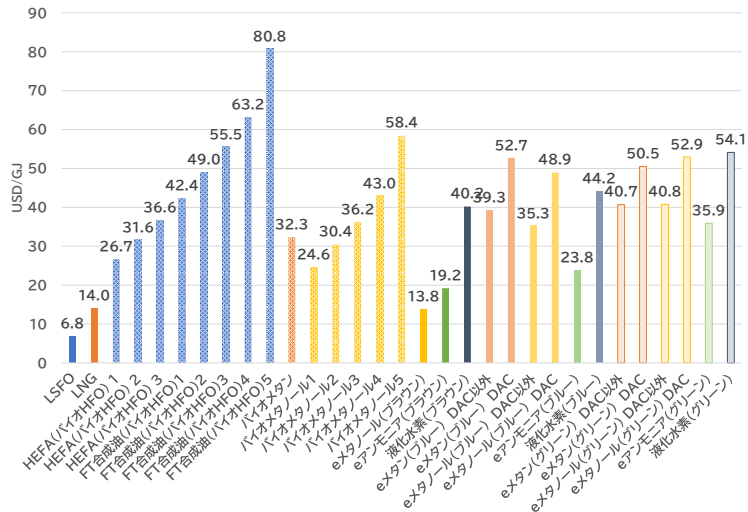


図 8 - 1 燃料コスト比較 (2030年)

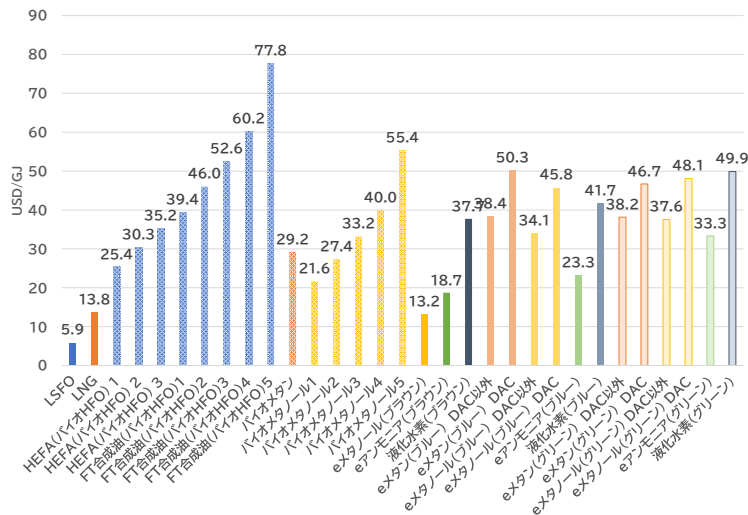


図 8 - 2 燃料コスト比較 (2040年)

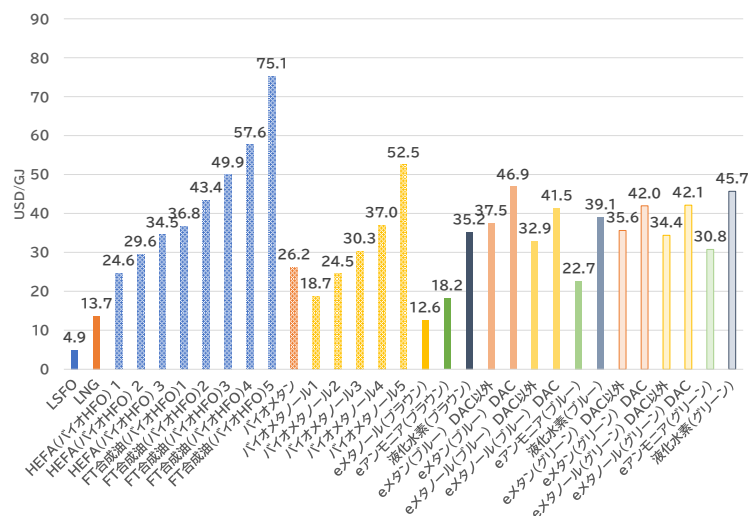


図 8 - 3 燃料コスト比較 (2050年)

3-2-8. 各燃料の炭素強度

各燃料の炭素強度（CI 値）についても、コスト試算と同様に「海運分野における CO2 排出削減促進に関する調査検討（2020-2021 年度）」の検討成果を活用し、生産からタンクまでの WtT（Well to Tank）と船舶での使用分 TtW（Tank to Wake）に分けて設定した。WtT の考え方は以下の設定により算出している。

- ・ 生産、輸送プロセスに基づき、燃料生産時のエネルギーフロー、マテリアルフローに基づき算出。
- ・ IEA の NZE シナリオに基づき、系統電力の CO2 排出原単位は 2040 年にゼロとなると設定。
- ・ バイオ系燃料の原料生成において、土地利用改変による排出量（dLUC, iLUC とともに）は考慮していない。
- ・ バイオ燃料の WtT 排出量は、精製時などの電力使用および原料収集のためにコンバインや輸送機関などで用いられる化石燃料に限定されるが、これらの燃料も 2050 年時点では全て再エネ由来電力化されていると設定。
- ・ 上記の通り、燃料生産に係るエネルギーがゼロ排出化されるシナリオのため、いずれのグリーン系、バイオ系燃料も、2050 年へ向かってカーボンニュートラル化が可能となる設定。

TtW については、IMO にて検討されている GHG 排出量評価ガイドライン（LCA ガイドライン）では、カーボンニュートラルな炭素を原料とした合成メタノールや合成メタン、バイオ燃料について、TtW の CO2 排出量をゼロとみなすことが可能なカーボンソースファクターという概念の導入が検討されていることから、バイオ燃料の TtW の CO2 排出量はゼロとした。なお、回収 CO2 の排出量は一次利用時にカウント済と仮定している。

各燃料種で WtT 及び TtW を推計し合計することで WtW での CI 値を算出しており、試算結果は下図に示すとおりである。

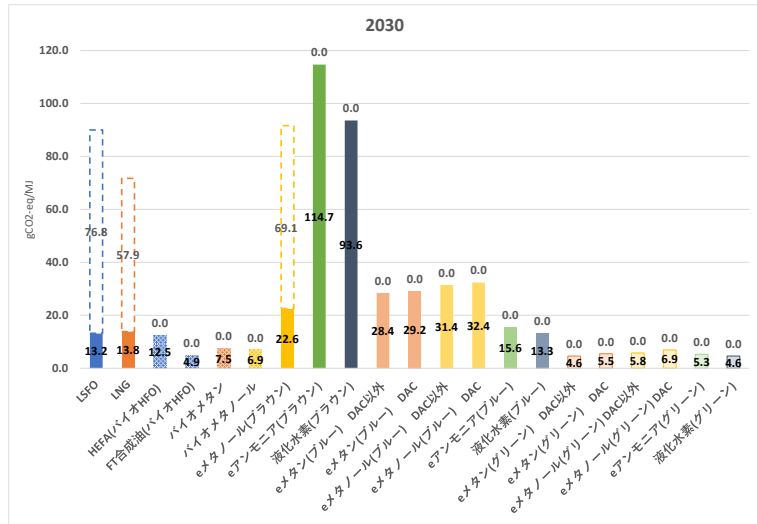


図9-1 WtW GHG 強度 (2030年) ※実線部分は WtT、破線部分は TtW を意味する

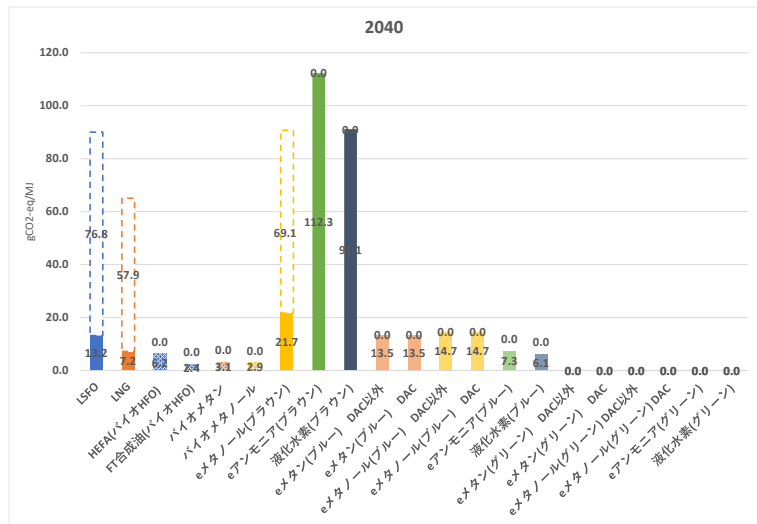


図9-2 WtW GHG 強度 (2040年) ※実線部分は WtT、破線部分は TtW を意味する

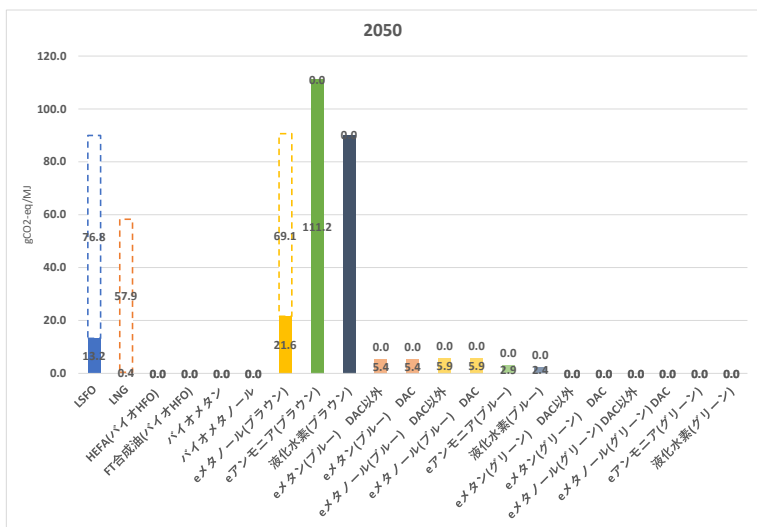


図9-3 WtW GHG 強度 (2050年) ※実線部分は WtT、破線部分は TtW を意味する

4章. シミュレーション結果

4-1. IMO の削減目標の達成度合い

仮の GFS 規制値ラインを2つ、輸送需要量を2つ、燃料の入手性シナリオ3つの組み合わせによる計12ケースをベースに、柔軟性措置の有無を加えた総計24ケースのシミュレーション結果を行った。計算結果をまとめたものを表2、表3に示す。

表2 柔軟性措置がない場合の計算結果

	輸送需要 低	輸送需要 高
燃料高位	目安 厳: ▲ (2027 - 2038年)	目安 厳: ▲ (2027 - 2039年)
	目安 緩: ○ (2032 - 2036年)	目安 緩: ▲ (2027 - 2038年)
燃料中位	目安 厳: × (2027 - 2050年)	目安 厳: × (2027 - 2050年)
	目安 緩: × (2027 - 2050年)	目安 緩: × (2027 - 2050年)
燃料低位	目安 厳: × (2027 - 2050年)	目安 厳: × (2027 - 2050年)
	目安 緩: × (2027 - 2050年)	目安 緩: × (2027 - 2050年)

表3 柔軟性措置ありの計算結果

	輸送需要 低	輸送需要 高
燃料高位	目安 厳: ○ (未達成期間なし)	目安 厳: ○ (2027 2029 - 2032年)
	目安 緩: ○ (未達成期間なし)	目安 緩: ○ (2027年)
燃料中位	目安 厳: △ (2027 2031 - 2050年)	目安 厳: × (2027 - 2050年)
	目安 緩: △ (2027 2034 - 2050年)	目安 緩: △ (2027 2031 - 2050年)
燃料低位	目安 厳: △ (2027 2031 - 2050年)	目安 厳: × (2027 - 2050年)
	目安 緩: △ (2027 2034 - 2050年)	目安 緩: △ (2027 2031 - 2050年)

(注1)○:2030及び2040ともにクリア、△:2030のみクリア、▲:2040のみクリア、×:2030、2040ともに未達成

(注2)()内は仮定の規制値ラインに対する未達成期間を表す

シミュレーションの結果、輸送需要が小さい場合、Levels of ambition が定める5~10%のゼロエミ燃料・技術や Indicative checkpoints が達成可能な削減パスウェイの実現が厳しいながらも可能であることが分かった。

一方、輸送需要が大きく、バイオ燃料の供給が十分でない場合には、Levels of ambition を達成したとしても、Indicative checkpoints を満足する削減パスウェイを達成することは困難な可能性が高いことも分かった。

4-2. 個別結果の比較

3章にて述べたとおり、本シミュレーションでは海運全体での WtW での排出量、燃料消費量、導入船の種類が算出される。ここでは、代表的な例として Levels of ambition 及び Indicative checkpoints の達成が比較的容易なケース

と厳しいケースを取り上げ、それぞれの計算結果を以下の図10～13に示す。全ケースの計算結果については、附属書1を参照されたい。

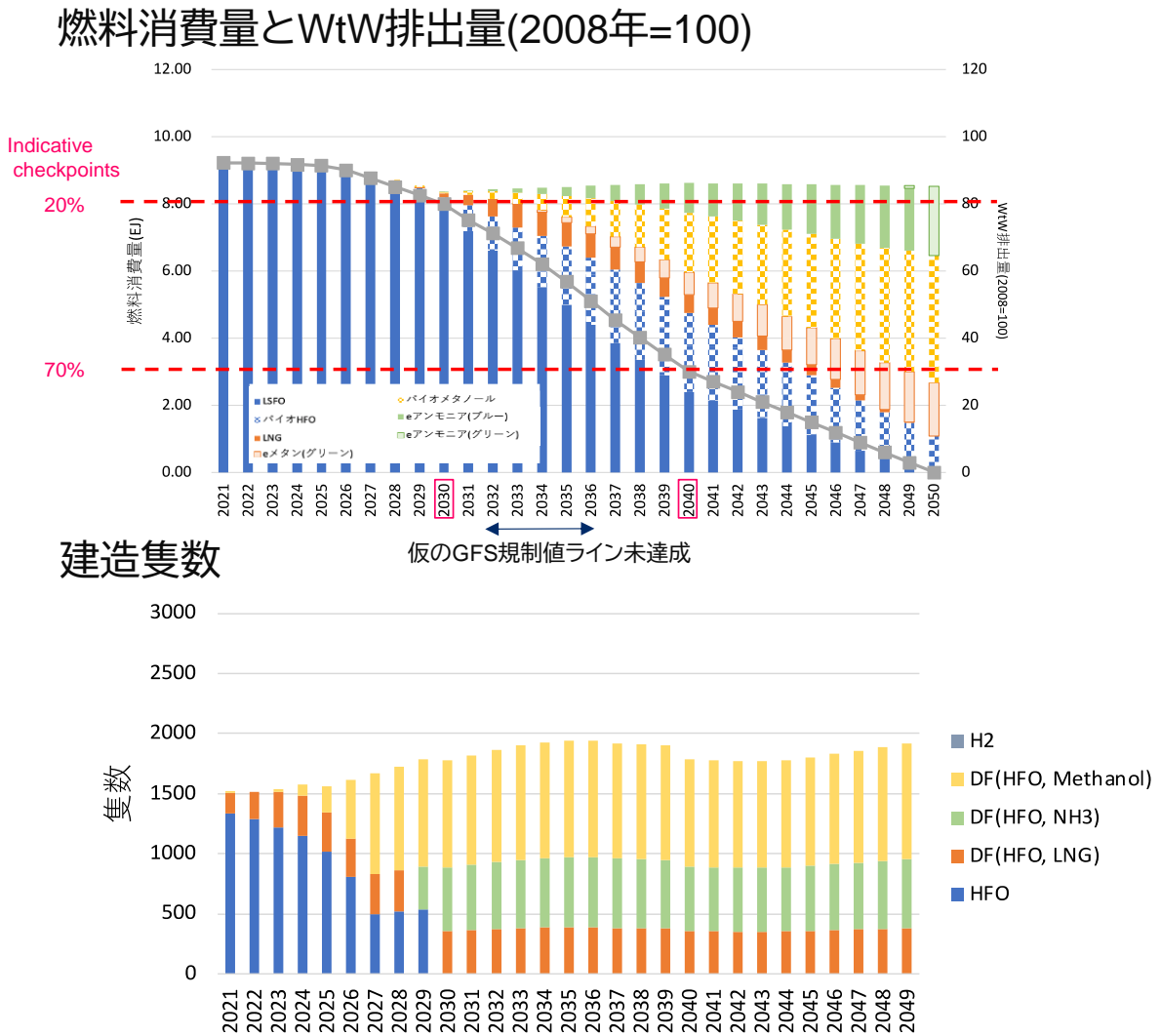
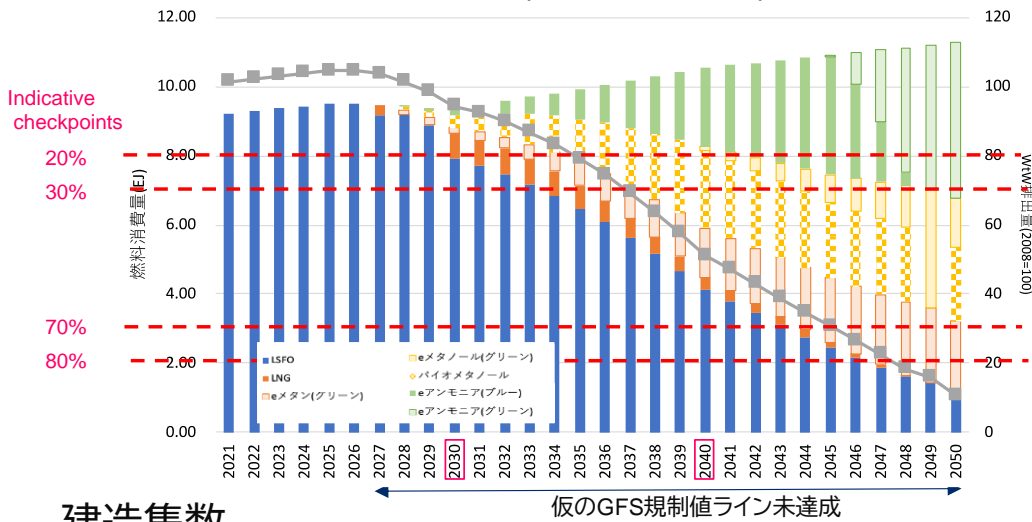


図10 柔軟性措置なし、輸送需要低、目安緩、バイオ燃料高位
(柔軟性措置なしの最も楽観的なケース)

燃料消費量とWtW排出量(2008年=100)



建造隻数

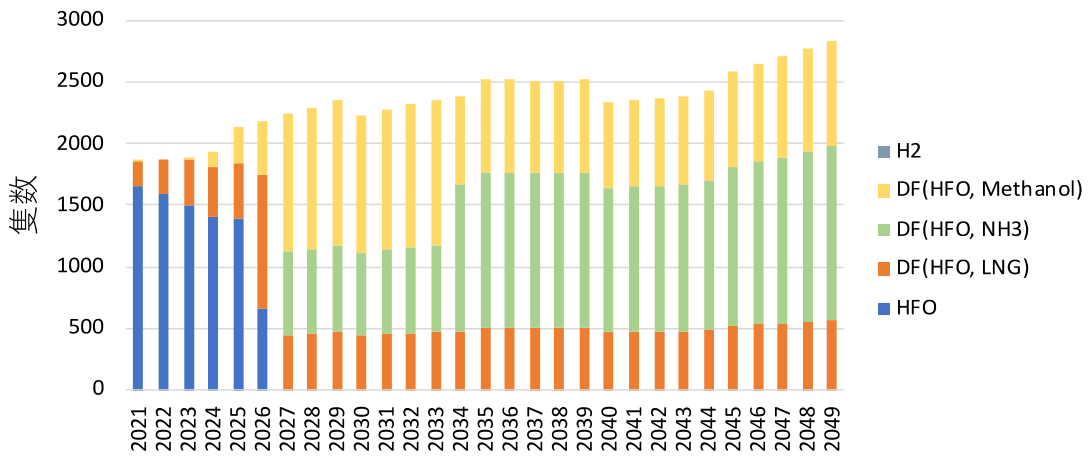
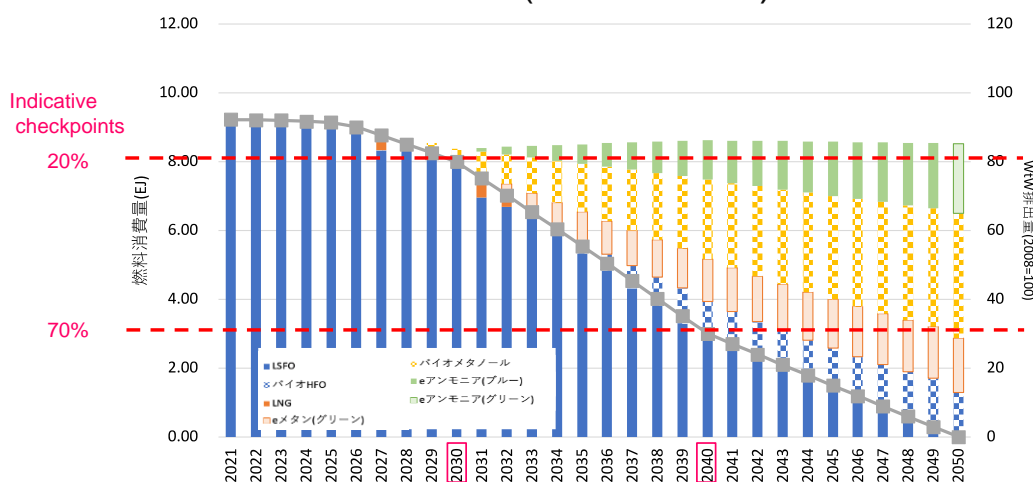


図 11 柔軟性措置なし、輸送需要高、目安厳、バイオ燃料低位
(柔軟性措置なしの最も厳しいケース)

燃料消費量とWtW排出量(2008年=100)



建造隻数

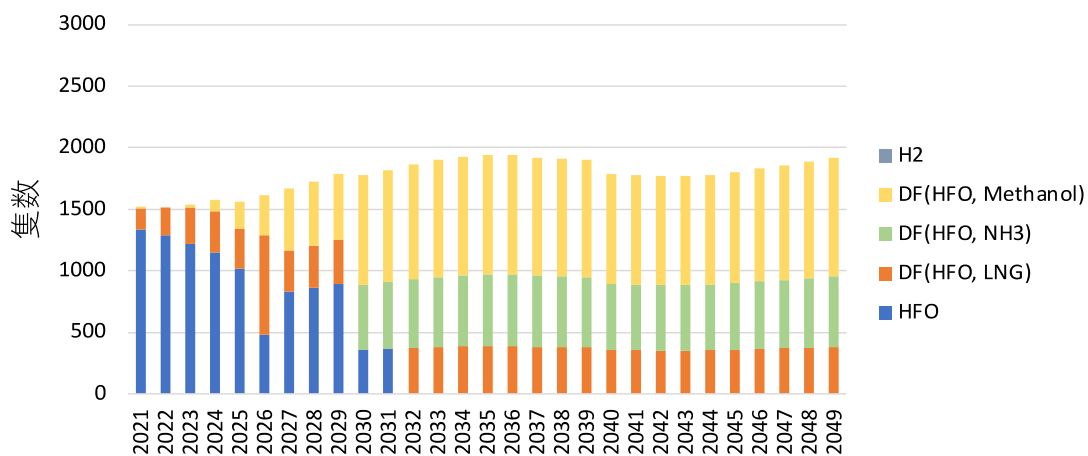
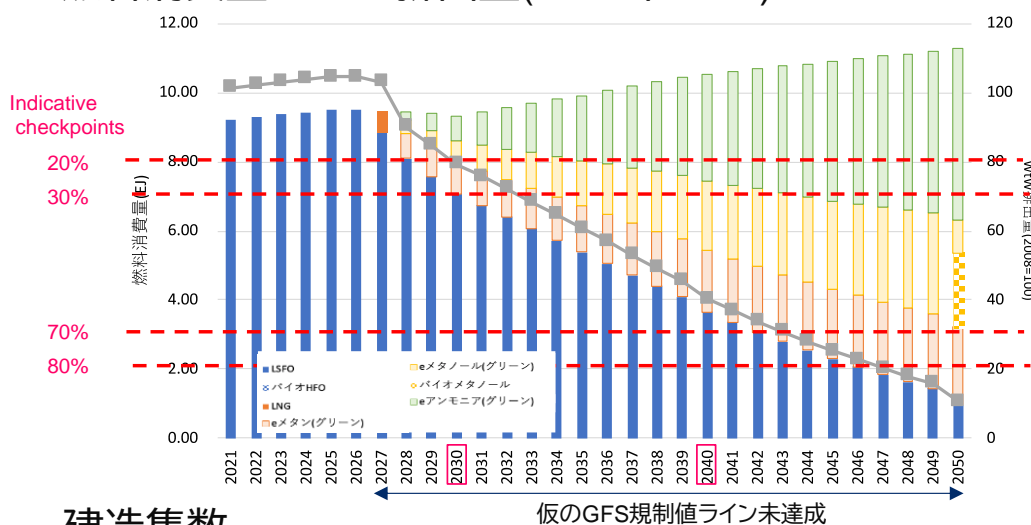


図 12 柔軟性措置あり、輸送需要低、目安緩、バイオ燃料高位
(柔軟性措置ありの最も楽観的なケース)

燃料消費量とWtW排出量(2008年=100)



建造隻数

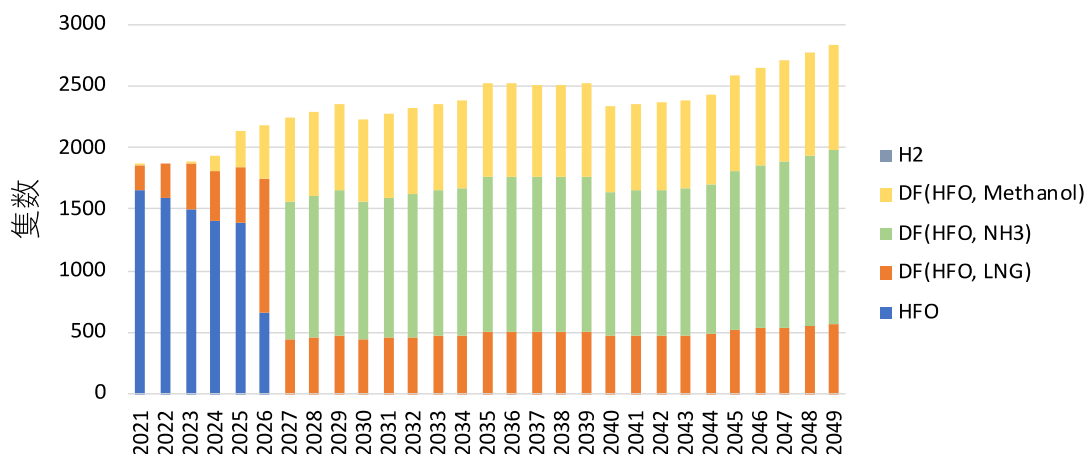


図 13 柔軟性措置あり、輸送需要高、目安厳、バイオ燃料低位
(柔軟性措置ありの最も厳しいケース)

これらの個別ケースのシミュレーション結果を比較したところ、以下のようなことが明らかとなった。

●新燃料船の導入量

輸送需要の変化、GFS 規制値ラインの変化、代替燃料の供給状況等によって、優位となる燃料船に違いが生じることが分かった。ただし、早ければ規制が導入される直後の 2028 年以降、遅くとも 2032 年以降に竣工される船舶はすべて DF 船にする必要があるという結果となった。

●代替燃料の必要量

本シミュレーションでは、現存する重油燃料船の早期解撤は想定していない。この前提での話ではあるが、現存する重油燃料船の規制対応のために2030年にバイオディーゼル油が0.4EJ～2.3EJ（約1000万～6500万トン）が必須となる結果となった。ISTA Mielke社「Oil World」によれば、世界のバイオディーゼル生産量は2021年約4900万トン、2022年約5200万トン、2023年5600万トンである。

他方、合成燃料を含む水素系燃料も必須となる結果となった。柔軟性措置がある場合、2030年時点で0.4EJ～2.3EJの新燃料が必要となる結果となった。これは、必要エネルギー量をメタノールに換算した場合、そのメタノールの生産に必要な水素量は400万トン～2300万トンとなる。参考であるが、経済産業省が発表している日本国内の2030年の水素導入目標量は300万トンである。

●柔軟性措置の効果

24ケースのシミュレーションを行った中で、柔軟性措置があるほうがIMOの目標達成の可能性が大きく高まることが分かった。また、IMOの目標達成ができていないケースで目標達成を図るには、シナリオ以上にバイオディーゼルの自力で確保するか、船齢に関わらず早期に代替建造あるいはレトロフィットするか、船上での炭素回収システム（CCS：Carbon Capture System）を導入する必要がある。他方、バイオディーゼルの確保には、そもそも供給量に制限がある中で他分野との取り合いの問題があり、船上CCSは技術開発と船上CCSでGHG排出ゼロあるいはニアゼロと見なす仕組みづくりが必要であるため、すぐには使えない可能性が高いという問題がある。このため、柔軟性措置が導入されなければ、2030年頃に現存船の大幅な解撤あるいはレトロフィットが必要となる可能性があることが分かった。

4-3. 参考試算① ～FuelEU Maritime ベースの試算～

4-2. で述べたとおり、早期解撤がない状態で2023 IMO GHG 削減戦略の目標ベースにGFS規制値ラインを設定した場合、規制を達成することは非常に困難が伴う結果が得られた。他方、2-2-2. で述べたとおり、欧州ではFuelEU Maritimeという、GFS規制と同様燃料中のGHG強度を段階的に規制する制度導入が決定されている。この中で設定されている規制値を参考に、4-2. で示したケースでのシナリオシミュレーションを実施した。

試算結果を表4、表5に、代表的なものを図14、図15に示す。柔軟性措置がない場合でもバイオ燃料高位シナリオでは輸送需要が高くとも規制値を2050

年まで達成可能であり、柔軟性措置があれば、2040年代前半まで規制達成の可能性が高まる結果となった。

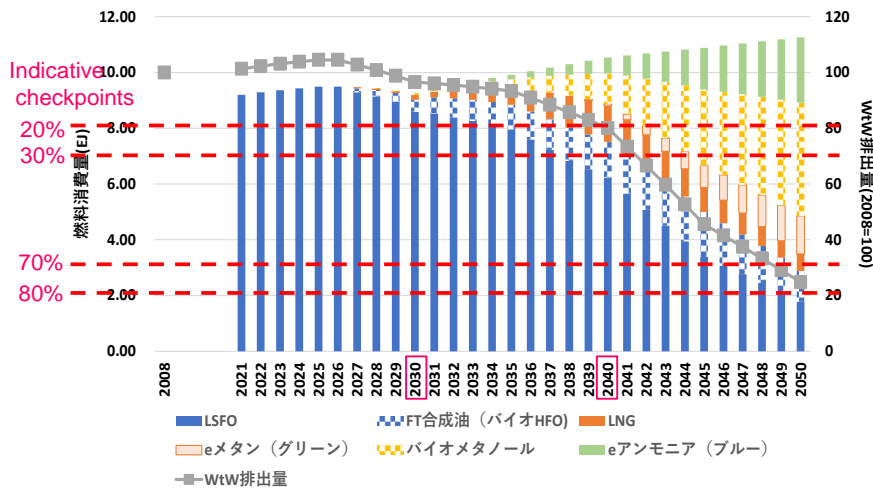
表4 柔軟性措置がない計算結果 (FuelEU Maritime)

	輸送需要 低	輸送需要 高
バイオ燃料高位	FuelEU: ○	FuelEU: ○
バイオ燃料中位	FuelEU: × (2027 - 2050年)	FuelEU: × (2027 - 2050年)
バイオ燃料低位	FuelEU: × (2027 - 2050年)	FuelEU: × (2027 - 2050年)

表5 柔軟性措置ありの計算結果 (FuelEU Maritime)

	輸送需要 低	輸送需要 高
バイオ燃料高位	FuelEU: ○	FuelEU: ○
バイオ燃料中位	FuelEU: × (2027, 2044 - 2050年)	FuelEU: × (2027, 2044 - 2050年)
バイオ燃料低位	FuelEU: × (2027, 2044 - 2050年)	FuelEU: × (2027, 2044 - 2050年)

燃料消費量とWtW排出量(2008年=100)



建造隻数

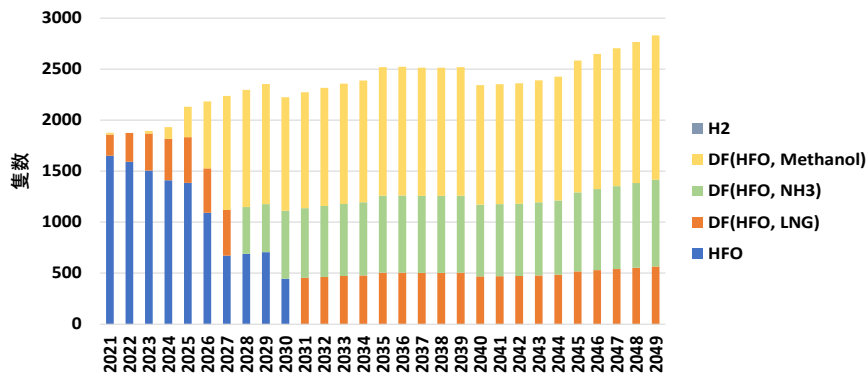
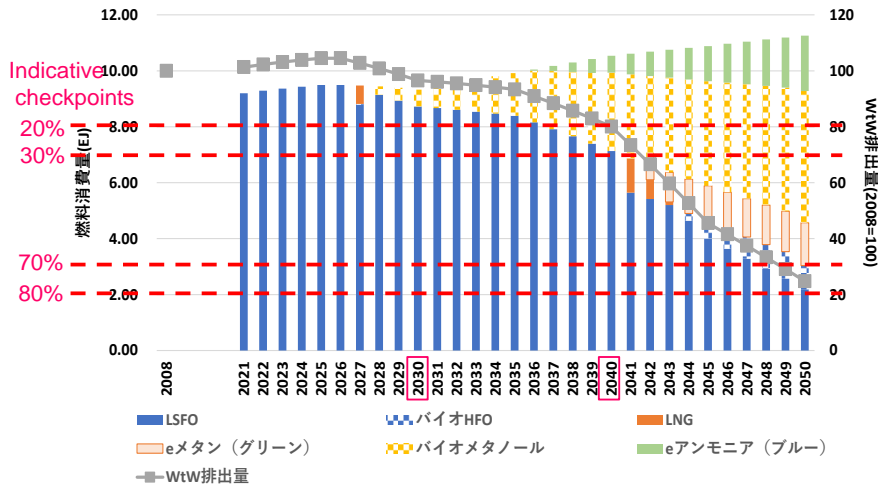


図14 柔軟性措置なし、輸送需要高、バイオ燃料高位

燃料消費量とWtW排出量(2008年=100)



建造隻数

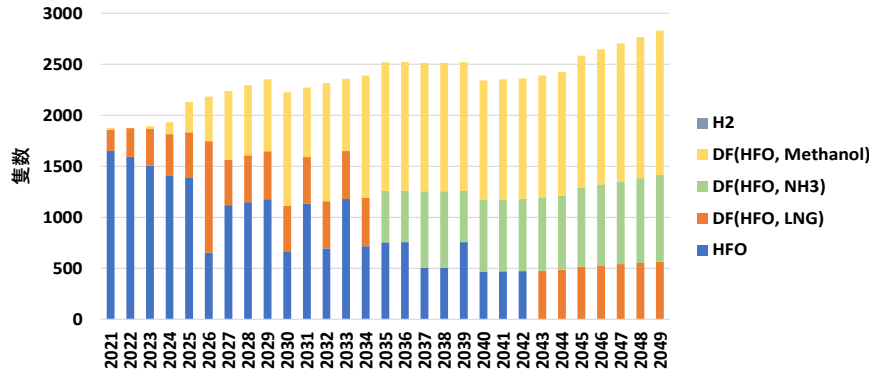


図 15 柔軟性措置あり、輸送需要高、バイオ燃料高位

4-4. 参考試算② ～WtT がゼロにならないケースの試算～

3-2-8. で述べたとおり、WtT の GHG 強度は IEA NZE シナリオをベースに電力の GHG 強度が段階的に下がり、2040 年にはゼロとなることを前提として試算している。ここで、IEA NZE シナリオは理想的なシナリオであるため、そのとおりに世の中が進まないことも想定されることから、各国政府が発表している NDC 等の政策・誓約がすべて期限どおりに完全に達成されることを仮定した APS シナリオをベースに、欧州の REDIII RFNBO で定める GHG 強度 7 割減を踏まえた程度に GHG 強度が低下することを想定して試算を行った。GHG 強度の変化を図 16、計算例を図 17 に示す。

試算の結果、IEA NZE シナリオベースに比べ 2040 年代後半に仮の GFS ラインを満たせなくなる結果が生じたが、2040 年以前の計算結果に大きな変化は生じなかった。

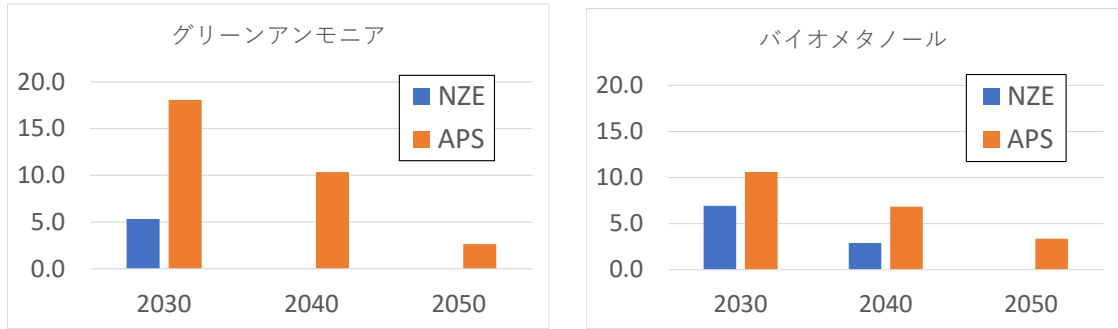
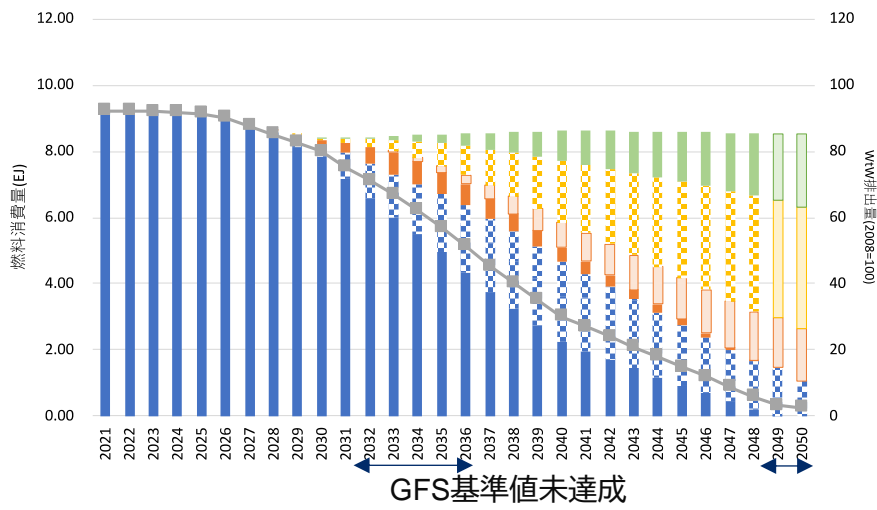


図 16 CI 値(gCO₂-eq/MJ)の変化 (アンモニア、バイオメタノール)

燃料消費量とWtW排出量(2008=100)



建造隻数の推移

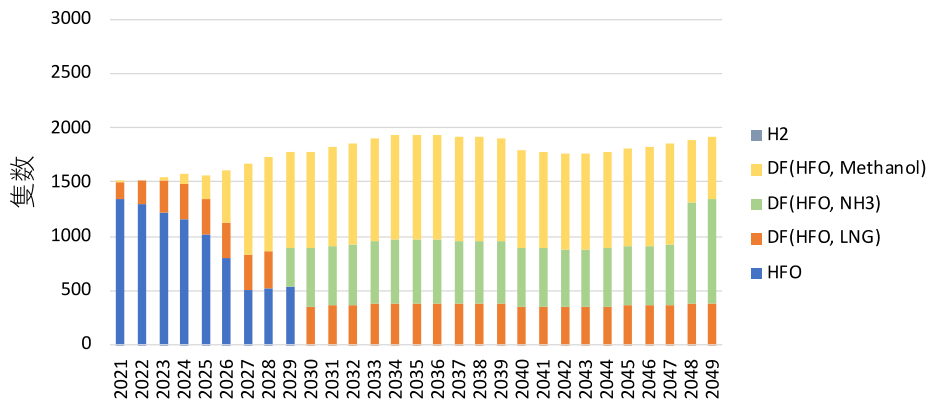
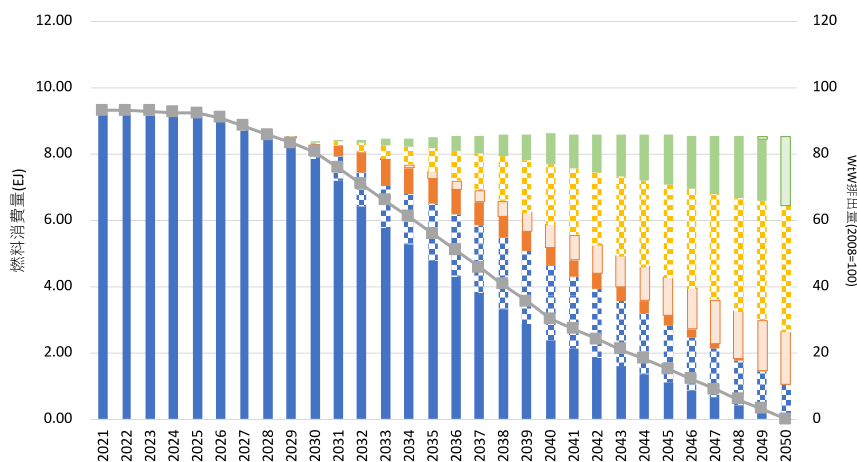


図 17 APS シナリオでの計算例
(柔軟性措置なしの最も楽観的なケース)

4-5. 参考試算③ ～早期解撤の考慮～

4-2. で述べたシミュレーションは早期解撤を想定していないため、特に柔軟性措置がなく、バイオディーゼルが入手できないケースにおいては、現存船が仮の GFS 規制値ラインを達成できない結果となっている。そこで、仮の GFS 規制値ラインが達成できない場合に、なるべく解撤が少なくなるようシミュレーションのロジックを一部変更し、柔軟性措置がない場合で、最も楽観的なケースを計算してみた。結果を図 18 に示す。

燃料消費量とWtW排出量(2008年=100)



建造隻数

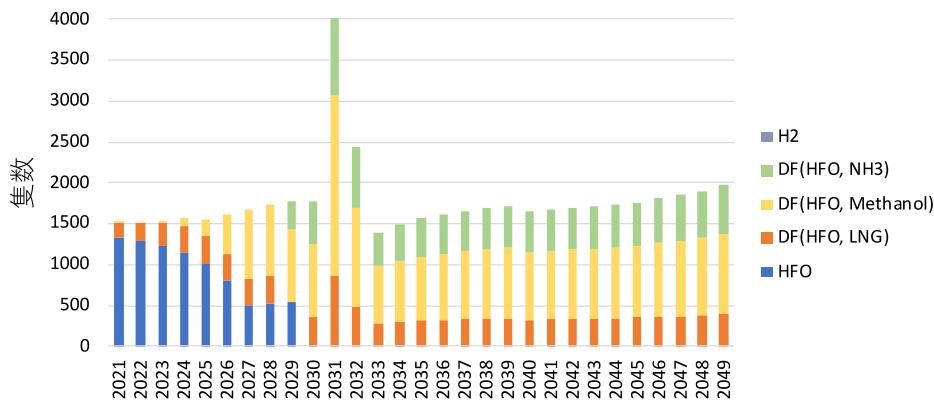


図 18 早期解撤ありでの試算結果（柔軟性措置なし、最も楽観的なケース）

図 10 と図 18 を比較すると、仮の GFS 規制ラインの未達が解消された一方で、2032 年頃に極端な新造船導入量が発生している。そこで仮の GFS 規制値ラインを図 19 のとおり修正し、再計算してみた結果を図 20 に示す。仮の GFS 規制値ラインを修正した結果、仮の GFS 規制ラインの未達を解消しつつ、早期解撤による極端な新造船建造を解消することができた。

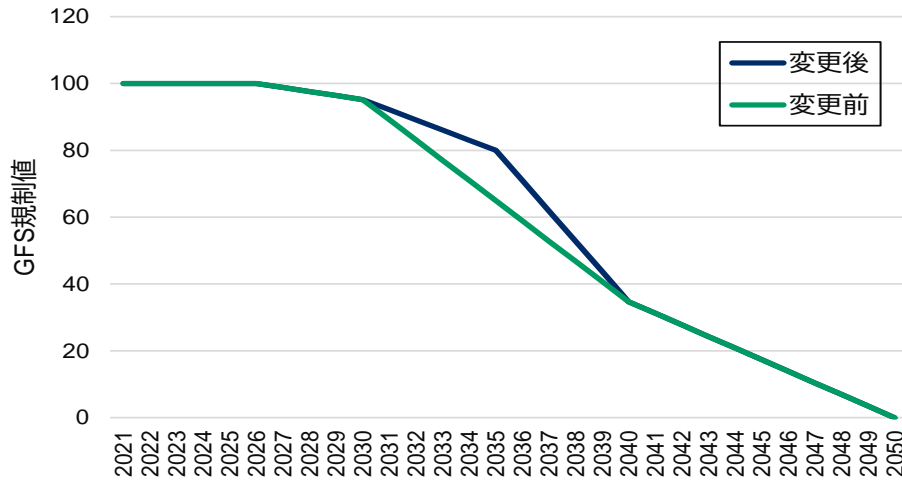
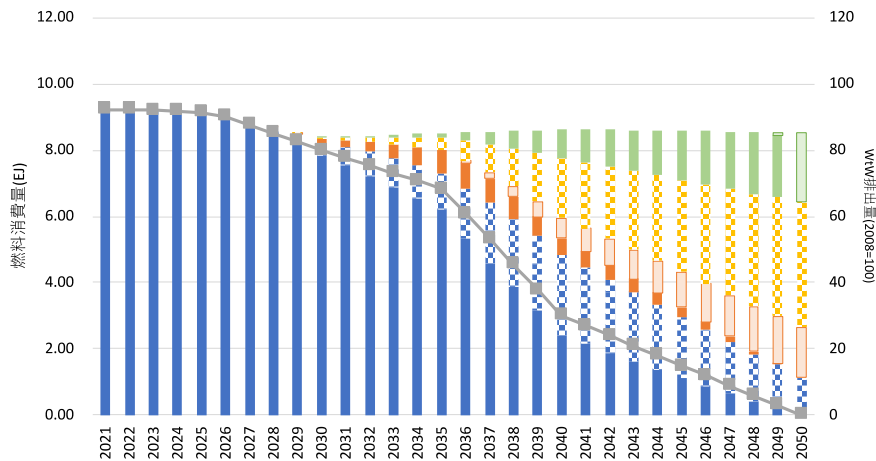


図 19 変更前後での仮の GFS ラインの比較 (LSFO=100)

燃料消費量とWtW排出量(2008年=100)



建造隻数

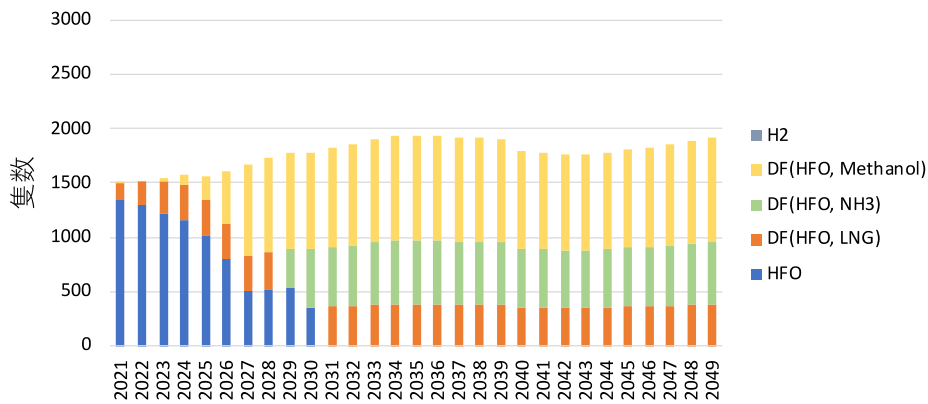


図 20 仮の GFS 規制ライン変更後の試算結果

4-6. 参考試算④ ～対応限界の試算～

4-2. で述べたとおり、GFS 規制を規定する GHG 強度値の Pathway によっては、規制遵守が不可能になりかねないことが分かる。そこで、4-2. の計算で用いた条件の下、輸送需要高、バイオ燃料低位、柔軟性措置があるケースを対象に、できる限り GHG 削減が可能な GFS 規制の GHG 強度値の Pathway を探索した。検討のプロセスは以下の通り。

- ① IMO 目標、FuelEU Maritime の GHG 強度値 Pathway を含む 4 種類の Pathway を用意する
- ② それぞれをシミュレーションに入力し、2030 年と 2040 年における Pathway の達成可否を出力する
- ③ 2040 年まで Pathway の達成可能かつできる限り低い GHG 強度値を結びそこまでの Pathway とする
- ④ そこから 2050 年の GHG 強度値を 0, 5, 10, 15, 20 に設定した Pathway を作成し、実現可能かつ最も GHG が削減できる Pathway を探索する
入力された GHG 強度値 Pathway の候補を表 6 に示す。

表 6 候補となった GHG 強度値

Year	2030	2040	2050
GFS 規制値 candidates (gCO ₂ eq/MJ LSFO=100)	94	69	20
	90	58.25	15
	86	47.5	10
	82	36.25	5
	78	26	0

発見された GHG 強度の Pathway を図 21 に示す。参考として IMO の GHG 削減戦略と FuelEU Maritime の GHG 強度値 Pathway を示した。探索の結果、2030 年までは IMO の削減中間目安を遵守し、その後 FuelEU Maritime と IMO 目標の間を通過し、最終的に GHG 強度を 80%削減する Pathway が発見された。この結果は、輸送需要が高くなり、バイオ燃料の利用可能性が低くなった場合、GFS 規制だけでは IMO の Indicative checkpoints を達成することが難しいことを意味する。提案されたパスウェイを適用した場合、IMO の indicative checkpoints を達成するためには、2008 年の排出量に対し、2040 年に 26%、2050 年に 25%の削減が GFS 規制以外の規制、技術によって実現される必要がある。

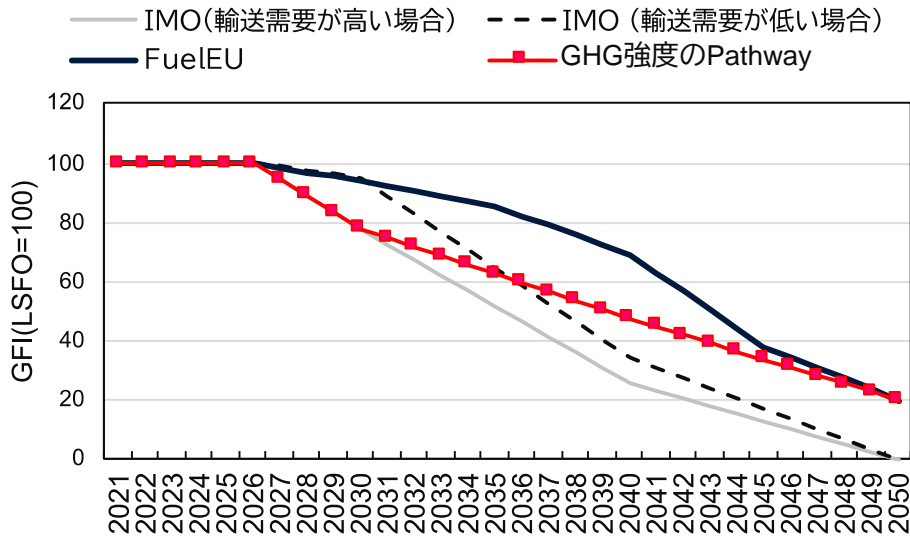


図 21 発見された GHG 強度 Pathway

4-7. シミュレーション結果からの考察

ここまでのシミュレーション結果から、2023 IMO GHG 削減戦略を GFS 規制で達成しようとする場合、以下のことが言えると考えられる。

- ・早ければ 2028 年以降、遅くとも 2032 年以降に竣工される船舶はすべてゼロエミッション船 (DF 船) にする必要がある
- ・早期解撤を行わない場合、2030 年にバイオディーゼルがシナリオに応じて約 1000 万~6500 万トン必要になる可能性があり、2021 年時点ではあるが、世界中で生産されるバイオディーゼルの大部分あるいはすべてを国際海運に回すことを意味する
- ・加えて、柔軟性措置がある場合、2030 年時点で、0.4~2.3EJ の水素系燃料が必要となる。これをメタノールに換算し、そのメタノール製造に必要なクリーンな水素量から計算される必要電力は少なくとも 200TW h に相当 (Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023 によれば、2022 年の世界の再生可能エネルギー生産量は 4200TW h) し、これは 20MW の風車に換算すると約 2900 基を新たに設置することを意味する (2050 年時で同様の試算をすると 2050 年までに約 7 万基の新設が必要になる)
- ・上記を行ったとしても IMO の目標達成は輸送需要や燃料供給の状況によっては極めて厳しい。GFS 規制値は、2023 IMO GHG 削減戦略が示す最低限の削減目標の達成を視野に入れつつ、今後の海上輸送需要や代替燃料の入手可能性や経済活動への影響も考慮の上、柔軟性措置の罰金への過度な依存を生まないよう配慮した適度な規制値を設定すべき

- ・その上で、目標達成に足りない想定される部分は、規制以外の措置（経済的手法、CO2回収等）によって賄う必要がある

5章. 地域性の検討

代替燃料の生産は世界各地で行われているが、風力や太陽光パネルによる再生可能エネルギーの生産量は地域特性に左右され、また、開発途上でもあることから世界各地における代替燃料の入手性にはばらつきが生じることが懸念される。前章までの検討は国際海運全体での話であり地域性を考慮していないため、本章では主だったバンカリング拠点と各種燃料の地域的入手性について検討を行った。

5-1. 主要バンカリング港における検討状況

主だったバンカリング拠点における代替燃料供給の検討状況について調査した。船舶燃料セクターの動向に焦点を当てた舟山国際会議において Zhoushan Bonded Ship Fuel Association が発表した2020年の世界のバンカリング供給港トップ10に加え、米国と日本での主要20港に挙げられる港のうち新燃料のバンカリングがあるものについて、代替燃料の供給状況・供給検討状況、供給状況ないしは供給計画を表7に整理した。

表7 主要港湾における新燃料のバンカリング検討状況

取引量ランキング上位10港	○バンカリング可能、△準備中、▲検討中、-検討未確認					
	バイオディーゼル燃料	メタノール	水素	アンモニア	LNG	
シンガポール	○供給実績あり	○2023年7月に初のbunkering	-	▲慎重に検討中	○供給実績あり	
ロッテルダム(オランダ)	○世界最大のbunkering拠点	○船間のbunkeringの実績	△小規模bunkering拠点整備中	△2024年にパイロット試験予定	○供給実績あり	
フジャイラ(UAE)	-	▲検討中だが2023年時点供給なし	▲検討中だが2023年時点供給なし	▲検討中だが2023年時点供給なし	▲検討中だが2023年時点供給なし	
香港	○2023年7月にbunkering実施	▲2023年12月発表の戦略に検討を位置付	▲2023年12月発表の戦略に検討を位置付	▲2023年12月発表の戦略に検討を位置付	▲2023年12月発表の戦略に検討を位置付	
パナマ	-	-	-	-	△2024年開始	
舟山(中国)	-	-	-	-	○供給実績あり	
釜山(韓国)	-	-	-	-	○供給実績あり	
ジブラルタル	-	-	-	-	○供給実績あり	
アントワープ(ベルギー)	-	○供給実績あり	-	-	○供給実績あり	
ヒューストン(米国)	-	○2020年にbunkering実績	-	Mabanaft, Hapag-LloydがアンモニアバンカリングのMOU締結	-	
ニューヨーク(米国)	-	-	-	-	▲2019年にF/S実施の検討を発表	
LA/ロングビーチ(米国)	△燃料貯蔵タンクのHVO対応転換を計画	-	▲水素利用促進に向けた加州パートナーシップARCHESに加盟	-	○2022年にbunkering実績	
東京(東京・横浜・川崎・千葉港)	-	▲CNポート構想で言及	▲CNポート構想で言及	▲CNポート構想で言及	△2024年にLNGバンカリング船稼働	

また、国際海運からのGHG削減にあたり、官民それぞれのレベルにおいて、港間でグリーンコリドーを締結し、両港間の航行における脱炭素化を進めようと

している。図 22 に Global Maritime Forum が Annual Progress Report on Green Shipping Corridors (2023 版) で公表しているものを記載する。

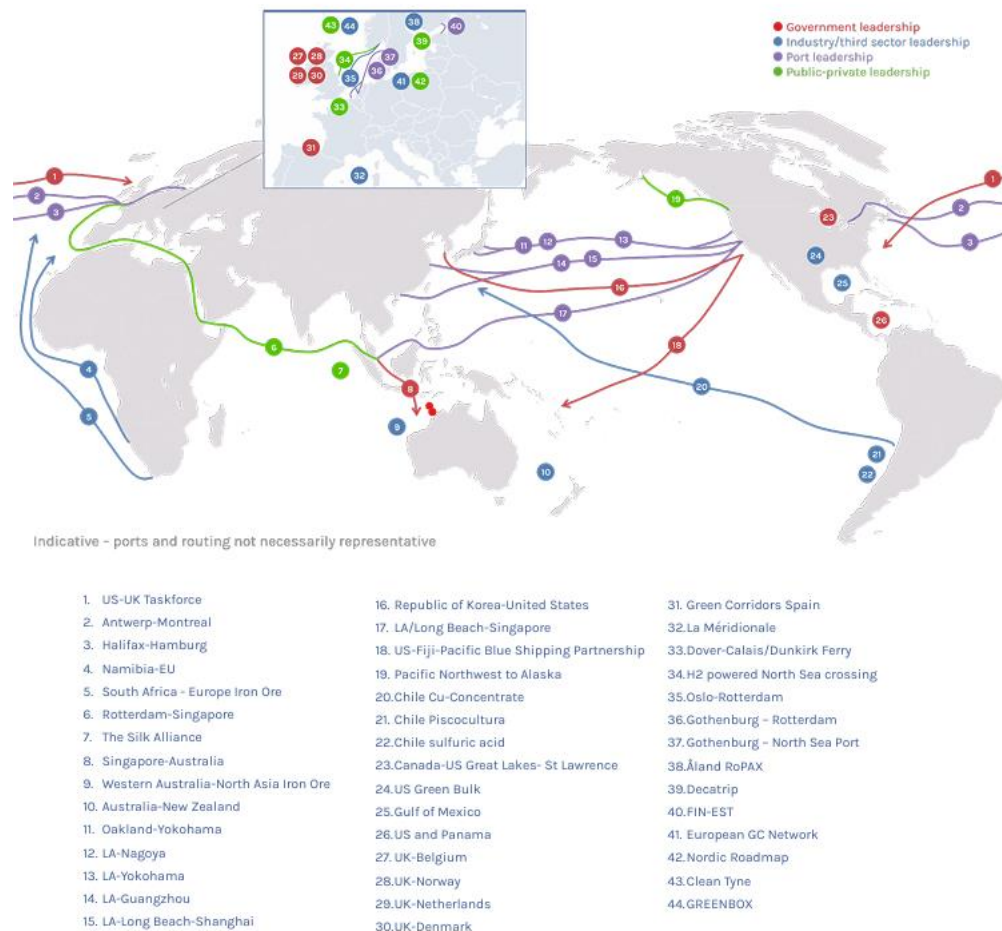


図 22 グリーンコリドーの設定状況
出典) Annual Progress Report on Green Shipping Corridors 2023

これらの調査の結果、主要なバンカリング港では、LNG やバイオディーゼル、メタノールの供給が既に実施あるいは実施に向けた準備段階にあるところが多く、水素やアンモニアについても少なくとも検討が行われていることが確認できた。

5-2. 各地における代替燃料の生産動向

シミュレーションで用いた各種燃料の供給あるいは生産動向について各種文献等を調査し以下のとおりまとめた。図中には参考までに 5-1, で取り上げた港湾をプロットしている。

5-2-1. バイオディーゼル

米国 DOE 資料によると、バイオディーゼル系燃料の 2021 年時点の生産量の分布は次図のとおり。欧州やアジアの主要港ではバンカリングの実績があるが、多くは陸上輸送用の燃料として利用されている。また、主産農産物を由来とする燃料も多く存在すると見られ、CI 値等に対する留意が必要と考えられる。

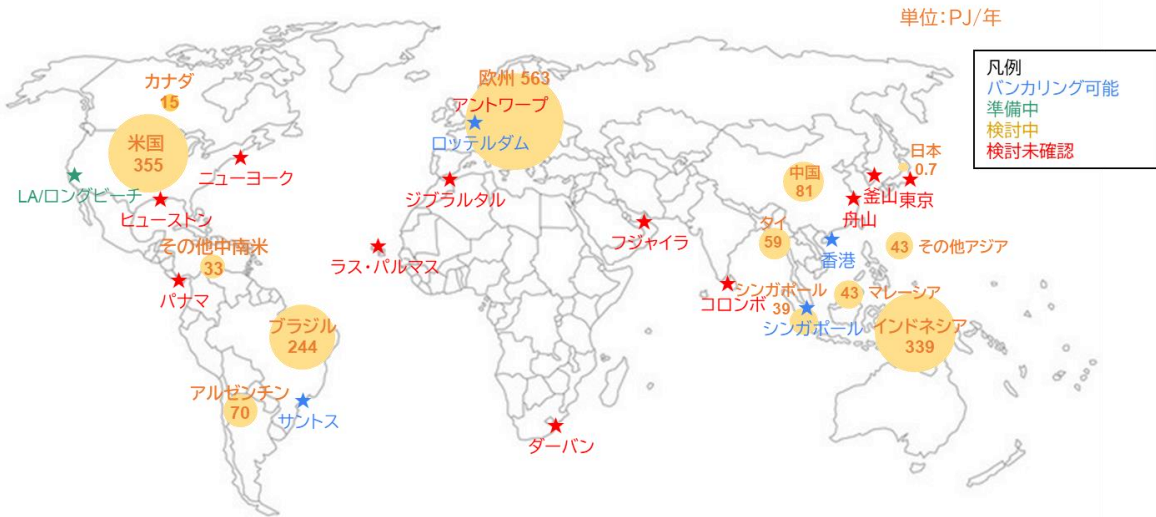


図 23 バイオディーゼル系燃料の生産量分布

出典) U.S. Energy Information Administration International Biodiesel production capacity and production より作成

5-2-2. バイオメタノール

Methanol Institute 資料によるとバイオメタノールの供給プロジェクト (2027 年頃までの供給計画を含む) の分布は次図のとおり。現状のバイオメタノールの供給プロジェクトは北米、EU、アジアが中心。欧州のバンカリングの拠点であるロッテルダムにおいて船間の bunkering の実施実績がある。



図 24 バイオメタノール製造プロジェクト計画の分布

出所) Methanol Institute (Current and Upcoming Renewable Methanol Projects across Countries) より作成

5-2-3. e-メタノール

Methanol Institute 資料に基づく e-メタノールの供給プロジェクト（2027 年頃までの供給計画を含む）の分布は次図のとおり。欧州や北米、中国で供給が期待されるが供給量は十分とは言えない。加えて、再生可能エネルギーの豊富な南米、南アフリカ、豪州において計画が多く存在するが、主要なバンカリング拠点とは離れている。

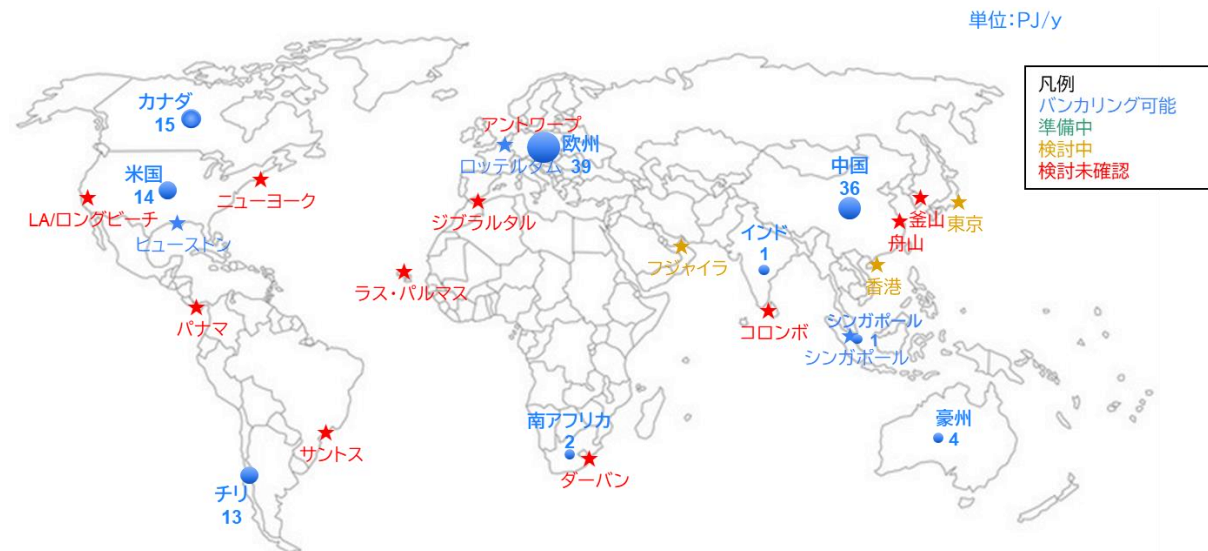


図 25 e-メタノール製造プロジェクト計画の分布

出所) Methanol Institute (Current and Upcoming Renewable Methanol Projects across Countries) より作成

5-2-4. 再エネ由来水素

IEA 資料によると、気候変動の緩和やエネルギー用途を目的とした再エネ由来水素製造プロジェクトの生産能力の分布は次図のとおり。図 26 は運転開始済み、投資最終決定 (FID) 済、及び実現可能性調査 (F/S) 済みのプロジェクトを含み、図 27 はこれらのうち運転開始済み及び FID 済プロジェクトのみを含む。なお、IEA データベース上、最終製品が水素とされているプロジェクトを集計したものであり、最終製品が水素派生物 (アンモニア、メタノール等) のプロジェクトは含んでいない (以下同じ)。

プロジェクトの検討は欧州や豪州に多く、また世界的に広く見受けられるが、FID 以上の実プロジェクトレベルは中国が先行している程度であり、多くが調査検討段階であることが分かる。



図 26 再エネ由来水素製造プロジェクト（運転開始済、FID 済、F/S 済）の分布

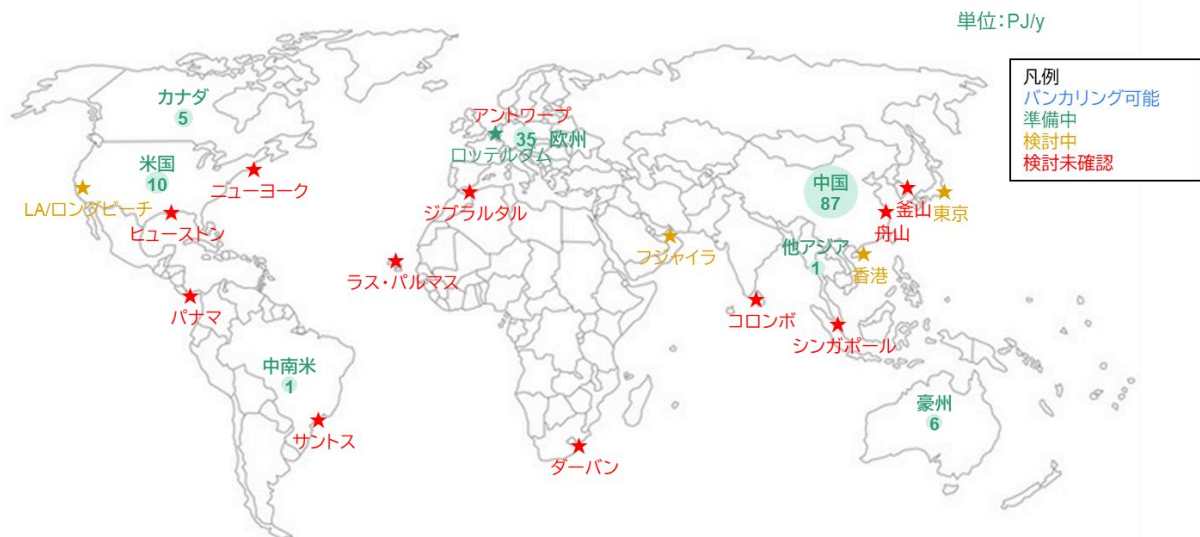


図 27 再エネ由来水素製造プロジェクト（運転開始済、FID 済）の分布

5-2-5. CCUS を伴う水素

再エネ由来水素と同様、IEA 資料によると CCUS を伴う水素製造プロジェクトの生産能力の分布は次図のとおり。図 28 は運転開始済み、投資最終決定 (FID) 済、及び実現可能性調査 (F/S) 済みのプロジェクトを含み、図 29 はこれらのうち 運転開始済み及び FID 済プロジェクトのみを含む。

CCUS を伴う水素製造については、北米や欧州で実プロジェクトが進んでおり、アジア地域や大洋州でもプロジェクトが検討されているが、南米やアフリカにはデータが存在しない。

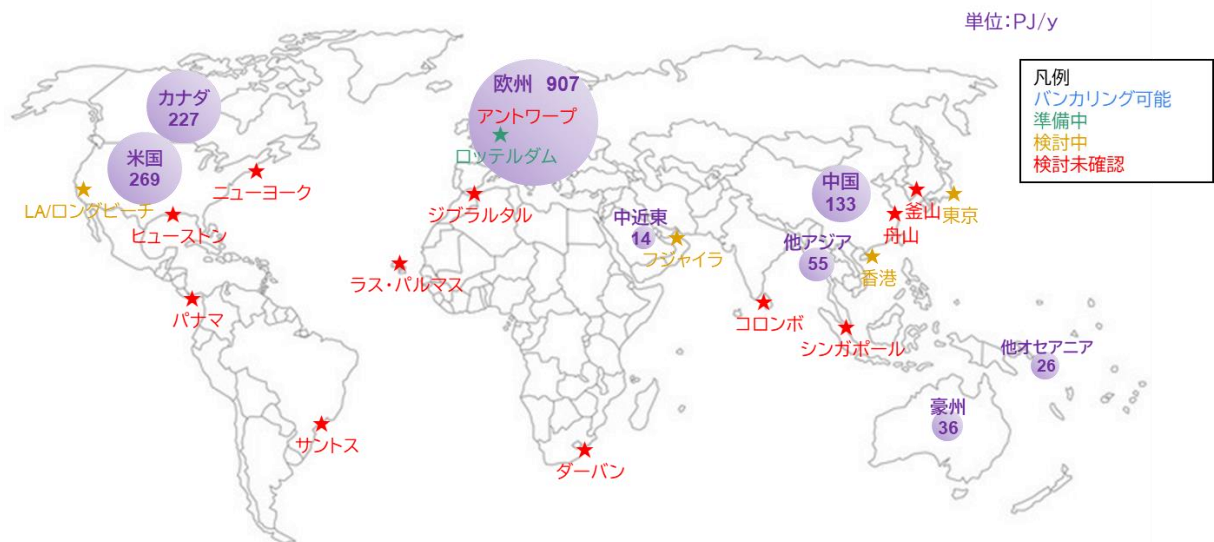


図 28 CCUS を伴う水素製造プロジェクト（運転開始済、FID 済、F/S 済）の分布

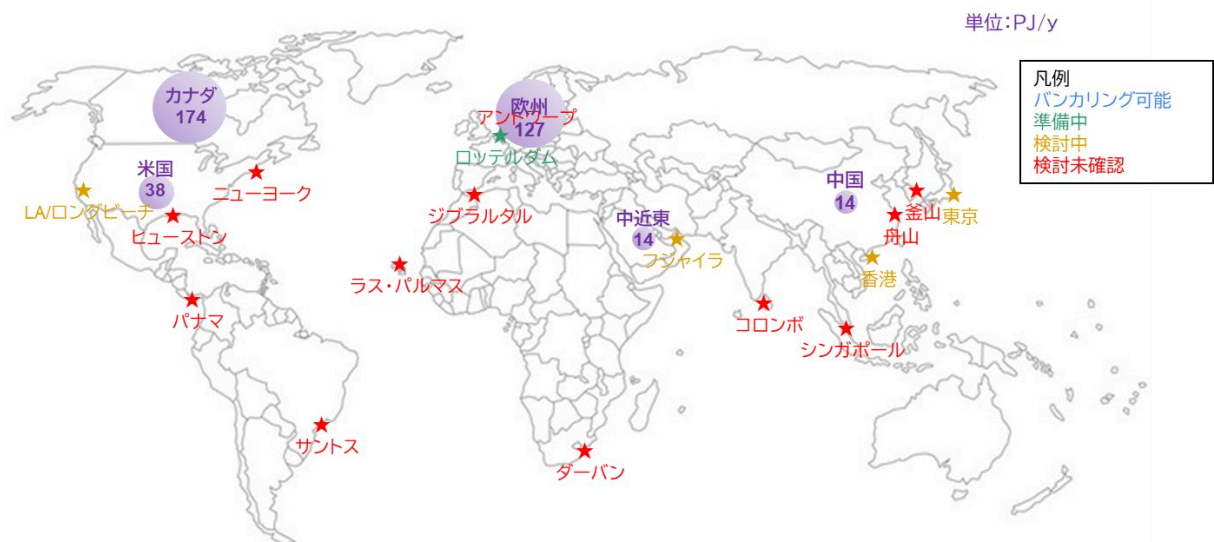


図 29 CCUS を伴う水素製造プロジェクト（運転開始済、FID 済）の分布

5-2-6. 再エネ由来水素によるアンモニア

IEA 資料によると、再エネ由来水素によるアンモニアの製造プロジェクトの生産能力の分布は次図のとおり。図 30 は運転開始済み、投資最終決定 (FID) 済、及び実現可能性調査 (F/S) 済みのプロジェクトを含み、図 31 はこれらのうち運転開始済み及び FID 済プロジェクトのみを含む。

再エネ由来の水素と同様、世界各地でプロジェクトが検討されているが、FID 以上の実プロジェクトレベルは少なく、多くが検討段階である。

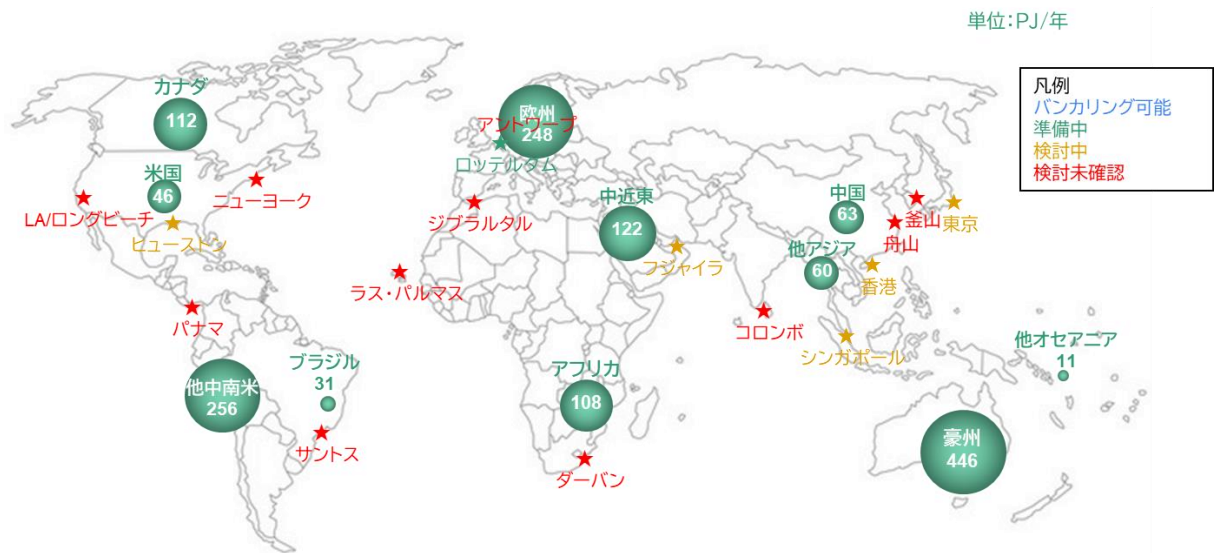


図 30 再エネ水素由来アンモニア製造プロジェクト（運転開始済、FID 済、F/S 済）の分布

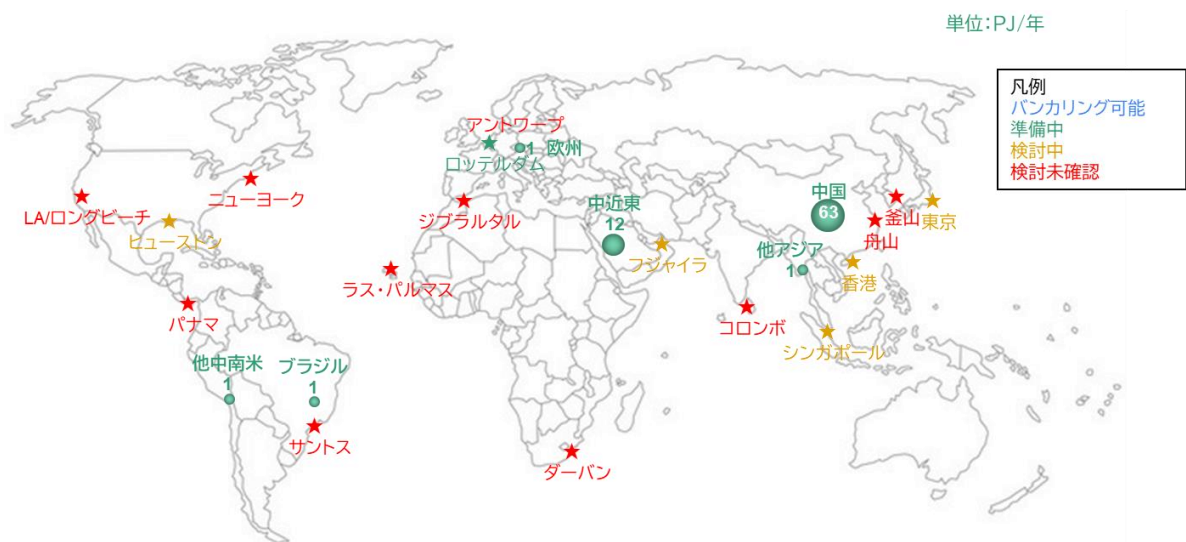


図 31 再エネ水素由来アンモニア製造プロジェクト（運転開始済、FID 済）の分布

5-2-7. CCUS を伴うアンモニア

IEA 資料によると、CCUS を伴うアンモニアの製造プロジェクトの生産能力の分布は次図のとおり。図 32 は運転開始済み、投資最終決定 (FID) 済、及び実現可能性調査 (F/S) 済みのプロジェクトを含み、図 33 はこれらのうち運転開始済み及び FID 済プロジェクトのみを含む。

米国で主に製造されており欧州、アジア、オセアニアで計画があるものの、再エネ由来水素によるアンモニアに比べると少ない。

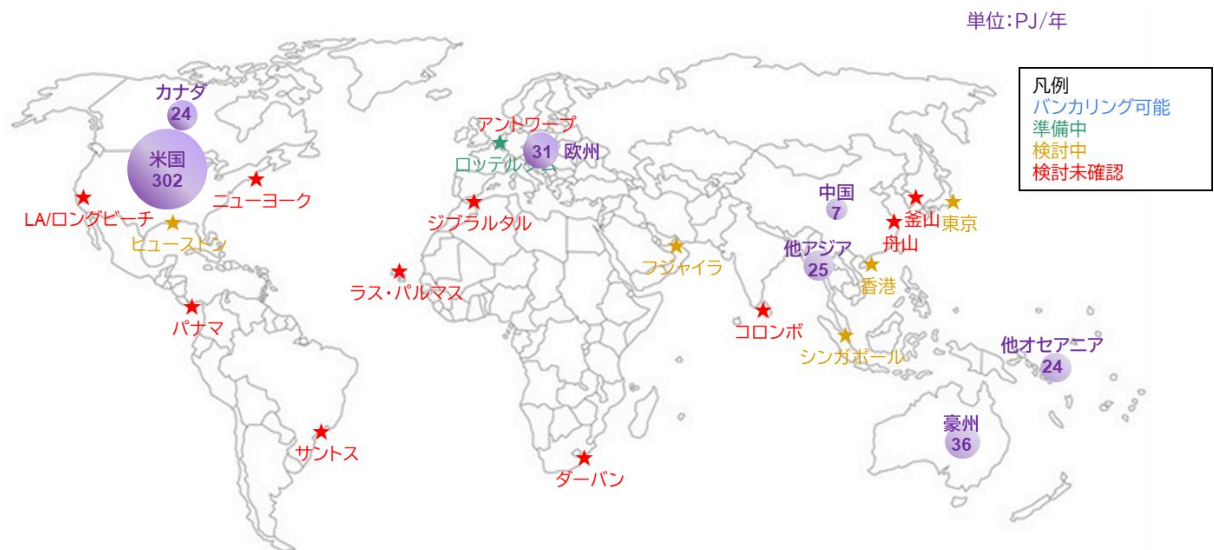


図 32 CCUS を伴うアンモニア製造プロジェクト（運転開始済、FID 済、F/S 済）の分布

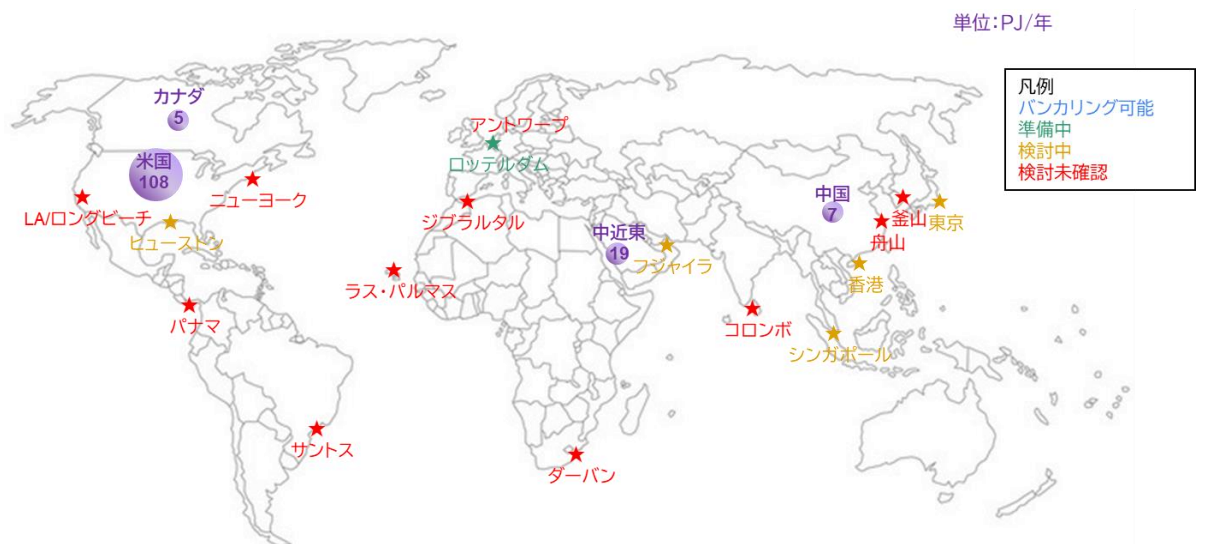


図 33 CCUS を伴うアンモニア製造プロジェクト（運転開始済、FID 済）の分布

5-3. 地域性を踏まえた考察

世界的なバンカリング主要港における検討状況を調査した結果、バンカリング上位港では各種燃料の供給が検討あるいは実施されていることが確認できた。他方、供給量については、海運分野に限らないが各燃料種のプロジェクト分布の合計値は 2.7EJ (F/S 含まず) ~7.7EJ (F/S 含む) 程度である。シミュレーションで導き出された新燃料(LNG を除く)量の合計は、2030 年：0.4~1.3EJ、2050 年：8.5~11.3EJ 程度と試算されており、2030 年をカバー可能ではあるが、その多くが他産業で消費される可能性があり注意が必要である。

また、日本におけるバンカリングも重要である。石油連盟によれば2016年度の外航船向け船舶用燃料（軽油、A重油、C重油）の供給量は8724 kℓであり、エネルギー換算すると約0.2EJとなる。IMOの削減目標達成のためにはこのエネルギー量に相当する新燃料を供給できる体制を国内でも整備する必要があり、国際的な動向に鑑みれば、そのための準備を急ぐ必要がある。

船舶の建造、港湾・燃料供給にかかるインフラ整備には多大な投資が必要となる。一方で、シミュレーション結果からも現状では代替燃料が1つに集約される可能性は少ないと考えられ、加えて、各分野が相互に影響しあう関係にあるため、どのように対応すれば良いのか個別には判断しづらい状況にあると推察される。また、扱う燃料に応じた船員等の育成や保税などソフトインフラ面での整備などやるべきことは多岐にわたると考えられる。これら各分野の対応にあっては、民間企業では対応しがたいところもあるため、政府も積極的に支援する必要があると考える。具体的には、GX移行債の活用や政府間協議を通じたグリーンコリドーの設置や拡張、海外からの燃料調達を視野に欧米はもちろん、東南アジア・豪州・インドまで視野に入れた国際協力など考えられる。いずれにせよ、まずは各分野が足並みを揃えて取り組むことが肝要であり、そのための需給双方、官民双方の関係者が集う場を設置し、方向性をすり合わせた上で各自の役割を整理することが重要と考える。この検討にあっては、多大な投資を誰がどのように負担するかに目が行きがちになると予想されるが、脱炭素化への対応は将来的な各産業の国際競争力に資する点にも留意が必要である。

なお、本研究は国際海運を対象としているため、ここまでその観点から考察を述べてきたが、燃料の需要をはじめ脱炭素化は海運に限らず他分野にも共通する課題であり、ひいては国民全体の理解を得る必要もあるため、他分野含めた全体で検討するほうが効果的かもしれない。この点、政府が掲げる関連の戦略等に海運の位置づけを明示することも重要と考える。

6章 提言

本調査研究では、2023 IMO GHG 削減戦略で定められた Indicative checkpoints を含む目標達成のために必要となる代替燃料やゼロエミッション船の建造量などについて明らかにすることを目的にシナリオシミュレーションを行った。また、IMOにおける議論の状況を含めた国際的な動向やシナリオシミュレーションの結果を踏まえ、GFS規制の在り方や日本における対応策について検討を行った。

シナリオシミュレーション及び世界的な各燃料の生産状況に関する調査の結果、早期解撤あるいはレトロフィットを行わない前提においても、GFS 規制でもって 2023 IMO GHG 削減戦略の目標を達成するシナリオは見つかったが、2030 年頃以降の新造船はすべてゼロエミッション船にする、燃料生産のため 2030 年までに 20MW の風車を 2900 基、2050 年には 7 万基に相当する再生可能エネルギーの生産インフラを整備するなど、各分野で早期かつ多大な努力を要することが分かった。また、その達成状況は海運でコントロールができない輸送需要や燃料の供給状況によって左右され、規制値の設定によっては極端な早期解撤が生じる可能性があること、柔軟性措置があれば目標達成の可能性が高まることなども分かった。加えて、燃料の供給については、主要港湾における検討は進んでいると考えられる一方で、現状での各燃料の生産・供給量は計画レベルであっても十分ではない可能性がある。他方、このような国際海運からの脱炭素に向けた国際的な動向を踏まえ、国内でもこれに対応していく必要がある。

これまでで得られたシミュレーション結果及び考察を踏まえ、以下提言する。

●GFS 規制の在り方

- ・ GFS 規制値は、2023 IMO GHG 削減戦略で定める Levels of Ambition 及び Indicative Checkpoints が示す最低限の削減目標の達成を視野に入れつつ、今後の海上輸送需要や代替燃料の入手可能性や経済活動への影響も考慮の上、柔軟性措置の罰金への過度な依存を生まないように配慮した適度な規制値を設定すべきではないか。
- ・ その上で、IMO の目標達成に足りない想定される部分は経済的手法や CO2 回収技術の開発・普及など他の措置で賄うべきではないか。
- ・ 柔軟性措置は、国際海運からの脱炭素化が十分に進むよう、GFS 規制値の設定やその仕組みに注意しつつ、基本的に導入すべきではないか。

●GFS 規制の導入に向けた国内対応

- ・ 下記について官民双方の関係者が方向性を一にするため、対応の方向性等を協議するための場の設定が急務ではないか。
- ・ 2030 年頃には全船ゼロエミッション船の導入が可能となるよう我が国海事産業（海運・造船・船用等）の体制整備が必要ではないか。
- ・ 将来的に国内で約 0.4EJ（内航及び外航向け）相当の新燃料バンカリングが必要となる可能性も念頭に、GFS 規制の導入スケジュールに合わせ、必要な燃料の供給

体制（燃料の生産あるいは輸入、供給ネットワーク、港湾整備等）の整備が必要ではないか。

- ・ 必要な新燃料の確保は、海運に限った話ではないため、他のセクターの需要と連携し供給とのバランスを検討すべきではないか。
- ・ 合わせて、検討にあっては各産業の国際競争力強化を視野にいれるとともに、特に燃料供給については、国内生産体制の整備・強化と並行し、海外からの安定した輸入のための国際連携も含めた検討も重要ではないか。
- ・ 政府は脱炭素化に関する各戦略等に海運からの脱炭素化を位置づけるとともに、各体制整備に必要な支援を適時打ち出すことが必要ではないか。