

国際海運ゼロエミ化への 新しい取り組み方 (CO2削減に向けた海事分野の取組と課題)

「みんなで実現する船のCO₂削減」

基調講演

2022年5月20日

大和裕幸

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 理事長

横国大客員教授、東大名誉教授

国際海運ゼロエミ化 —社会的責任を負う総合産業の新パラダイム

- (1) 技術、(2) 燃料サプライチェーン、(3) GHG規制、が不確定
- (1) ~ (3) を関係するステークホルダーで決めてしまえば、船の設計はでき、具体的な環境性能とコストを求められる
- 環境性能とコストを求めるための シミュレーター
- ステークホルダー間の合意による実行解策定のための コミュニケーションプラットフォーム
- ステークホルダーとして、荷主、船主、船社、造船所、船用・機関、燃料供給者、港湾管理者、規制当局、金融が必要
- 金融についてはSDGとESGの考え方を整理
- 未来を予測するシミュレーターと合意形成のためのコミュニケーションプラットフォームによる新しいパラダイム

国際海運ゼロエミッション化と未確定な技術・インフラ・規制

IMOの道筋 2008年に比して・・・

～2030年：40%以上の燃費性能の向上

～2050年：国際海運からの排出総量50%以上の削減

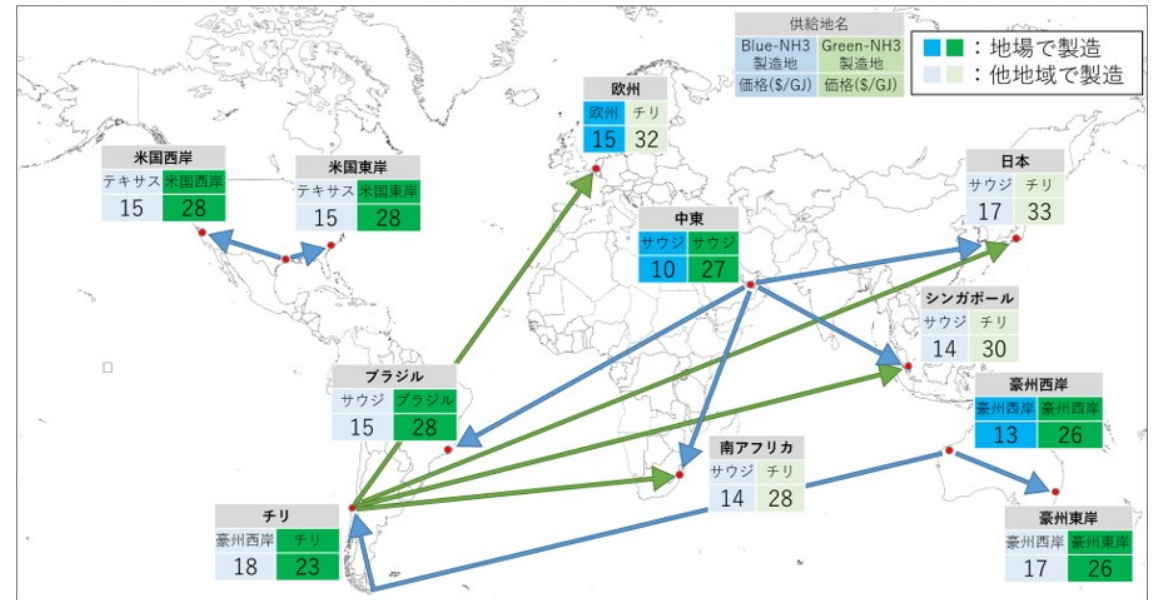
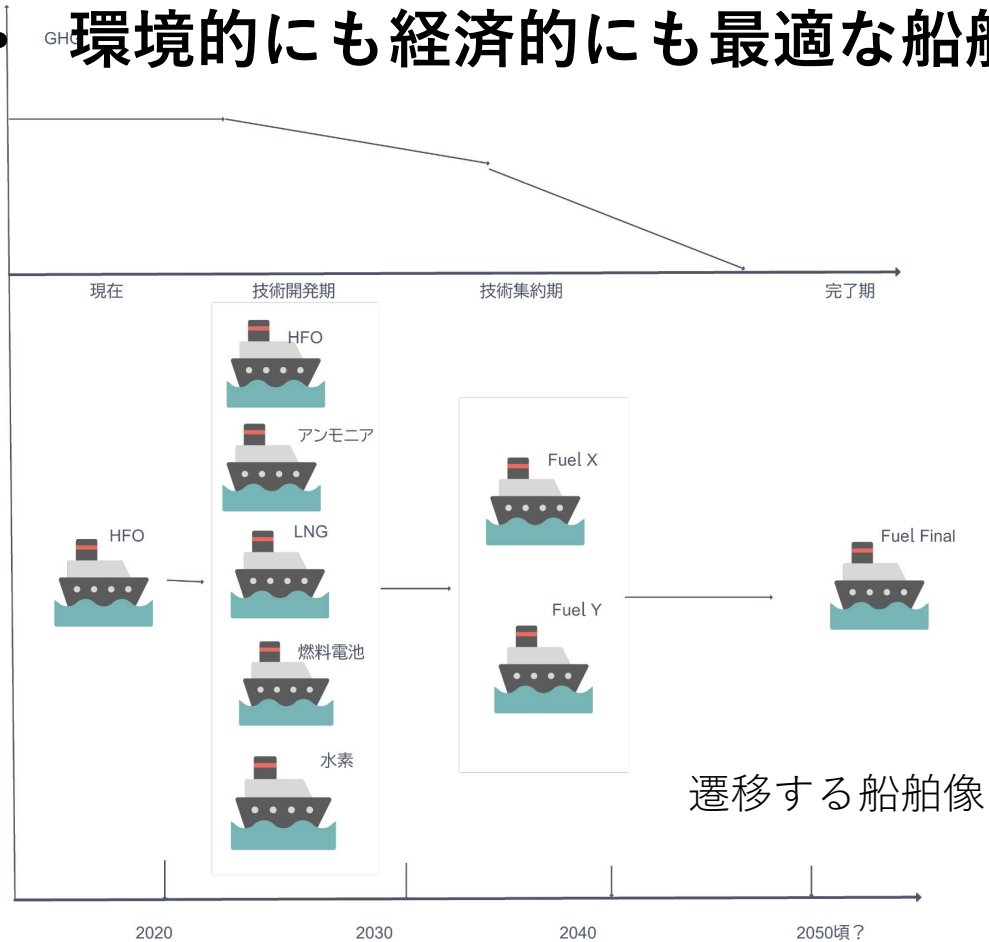
～2100年：なるべく早い時期に排出量ゼロを達成→2050年までにネットゼロ

未確定な技術とインフラの状況

1. **機関・燃料技術**：LNG、アンモニア、水素、CCS、FC いずれも技術的に未完成
2. **燃料インフラの整備**：燃料転換に伴う燃料価格と港湾バンカーインフラの整備
3. **規制**：炭素課金などの制度が未定

技術・インフラ・規制の進展の中で遷移する船舶

- ゼロエミに至るまでどのような船をいつ投入すればよいか
- 環境的にも経済的にも最適な船舶の設計



GSC調査資料より

国際海運ゼロエミ化の捉え方

未確定な技術とインフラの状況→何を作るべきか決まらない
しかし、

1. **機関・燃料技術**→どの燃料を使うかを決めれば設計はできる
 2. **インフラの整備**→燃料供給会社の意向次第
 3. **規制**→無茶な制度としないように当局にお願いする
- 造船、海運、荷主、燃料、金融などのステークホルダー全体で解決すべき問題
 - コストと環境負荷に関する数値データに基づくステークホルダーの協調が必要
 - そのためのシステムが望まれる

国際海運に係わるステークホルダーと合意形成

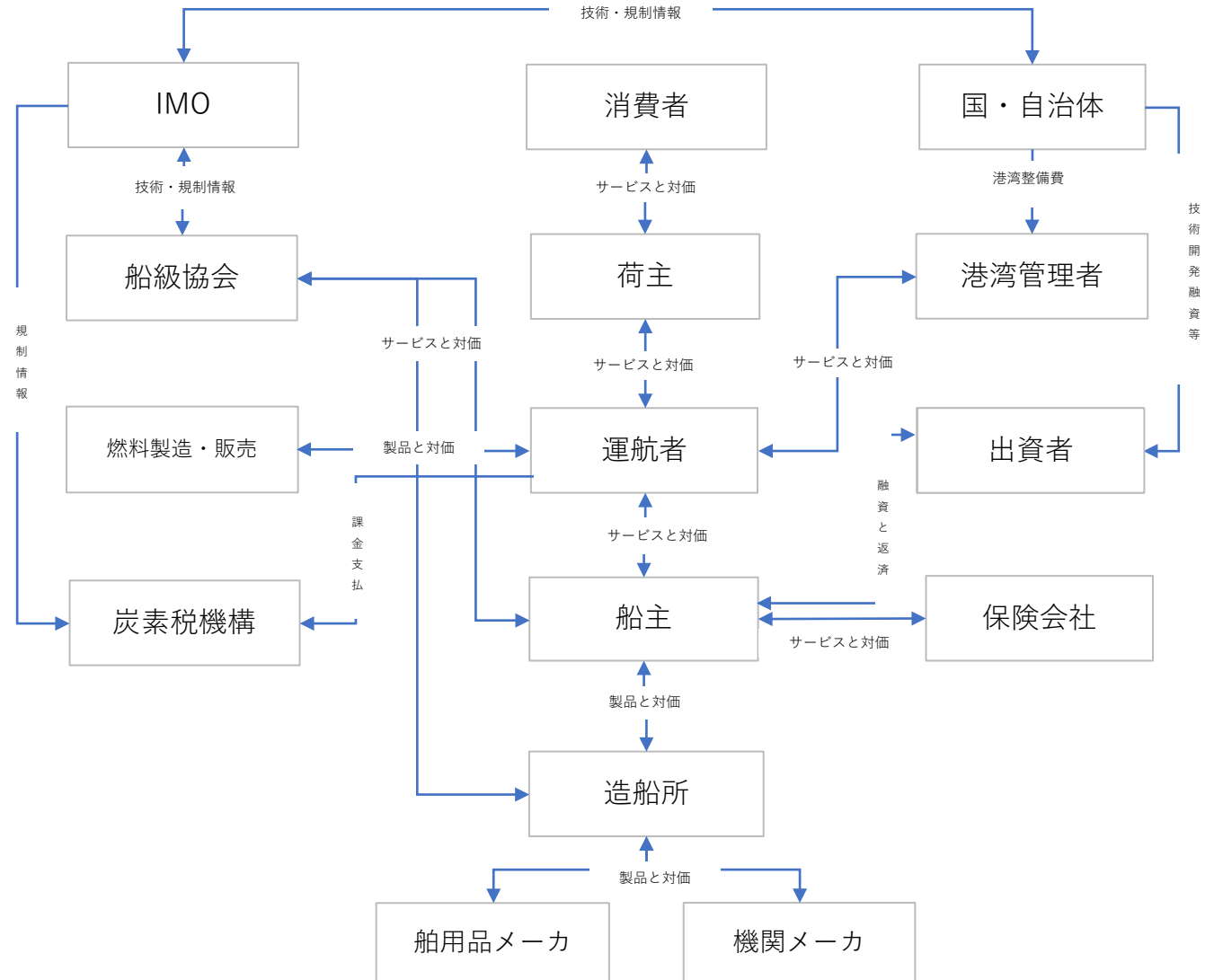
国際海運ゼロエミ化はみんな
で解決する社会的問題



ステークホルダー間の合意
形成の手法が必要



合意形成のための予測資料
が必要



講演内容について

- 一般財団法人 次世代環境船舶開発センターでは、2021年度に国際海運ゼロエミ化への「最適解」を求めるために「ソリューション評価システム研究会」を設置して検討した。
- 全世界トレンドの検討
 - 世界中のバルクキャリア10000隻余についてシミュレータを構築して、ゼロエミ化への道筋を検討した。
- 特定航路ゼロエミプロジェクトの検討
 - 日本西豪州間の鉄鉱石輸送船について課題を設定しプロジェクト計画手法について検討した。
- プロジェクト計画を行うプラットフォームを構築
 - 船舶設計から金融におけるESG手法までの実例を示した。
- 国際海運ゼロエミ化ビジネスのためのオープンイノベーション型モデルと
そのためのシステムについて示し、提案したい。

全世界トレンドの検討

世界のバルクキャリア10000隻余りについて、

- 燃料が重油からLNG、そしてアンモニアへと2種類の船舶で遷移する場合
- 重油からAR-LNG燃料船（アンモニアレディLNG焚き船）へと1回の遷移で済む場合

とを比較して、新しいコンセプトの船舶の導入でどのようにトレンドが変化するかを検討した。

シミュレーションを行い評価する。

出典

和中真之介¹、稗方和夫²、大和裕幸³：国際海運ゼロエミッション達成のための環境・技術・経済のシミュレータによる評価、第13回日本海洋政策学会学術講演会、2021年12月3日

¹海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所、²東京大学大学院新領域創成科学研究科、³東京大学名誉教授 大和裕幸

シミュレータ：SDモデル

$$V_i = V_{i-1} + B_{i-1} - S_{i-1}$$

V_i : i 年の船腹量 = i 年の船腹需要

→ 需要予測からバラスト航海比率で必要船腹量を求める。

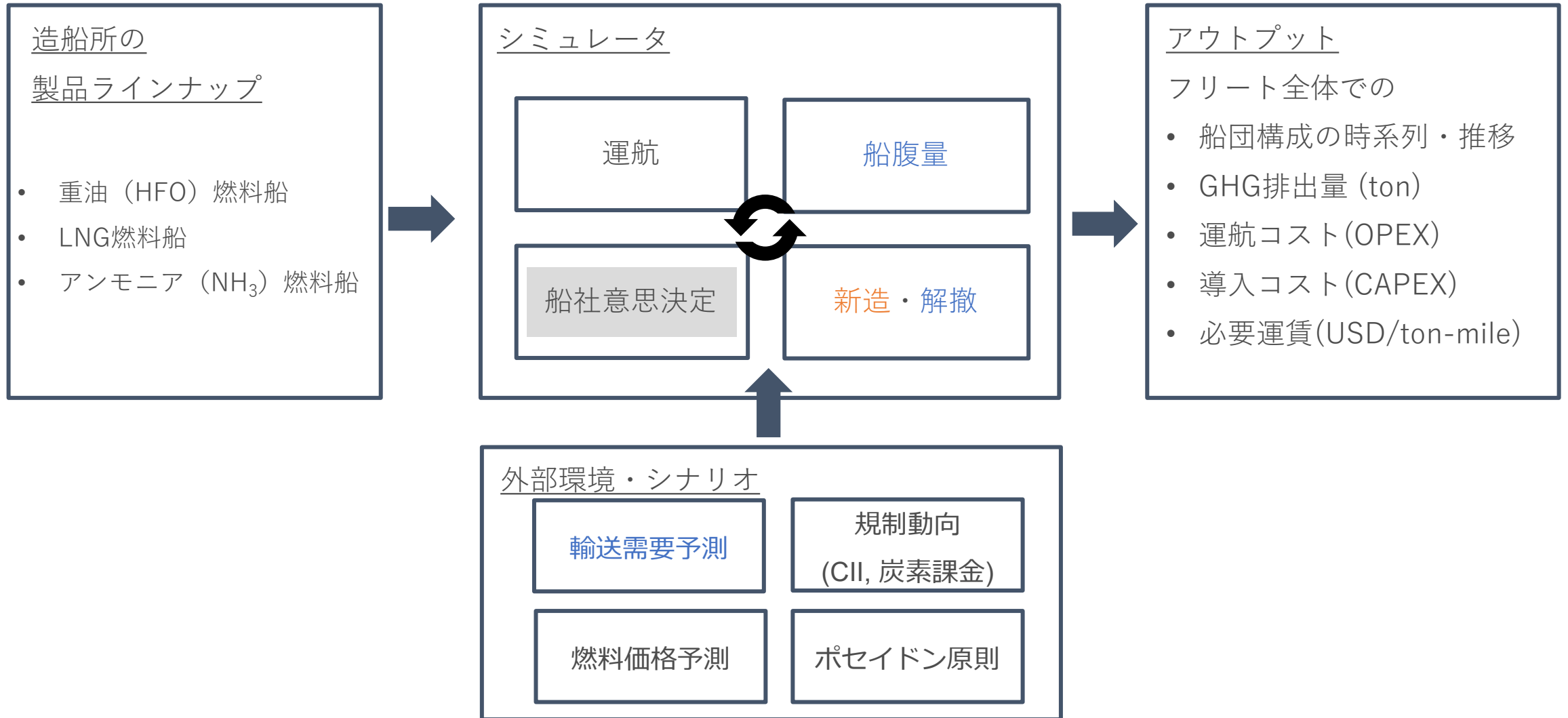
B_i : i 年の新造船腹量

→ 各サイズへの分配は過去5年間の船腹量比率による。

S_i : i 年の解撤量

→ 「CIIによる解撤」、「実績データによる解撤」、「船齢による解撤」

シミュレータ：アーキテクチャ

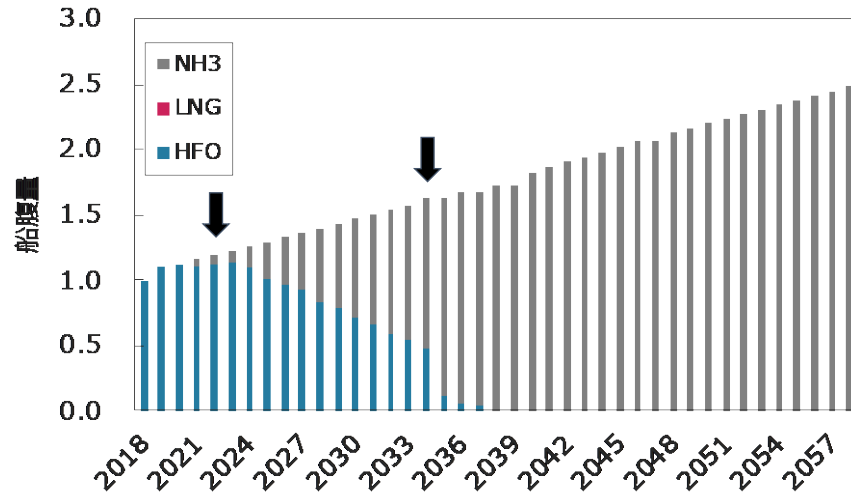


例題：世界のバルクキャリア10279隻のゼロエミ化

| | |
|-------------|-----------------------|
| LNG燃料船がない場合 | 重油燃料船→アンモニア燃料船 |
| LNG燃料船がある場合 | 重油燃料船→LNG燃料船→アンモニア燃料船 |

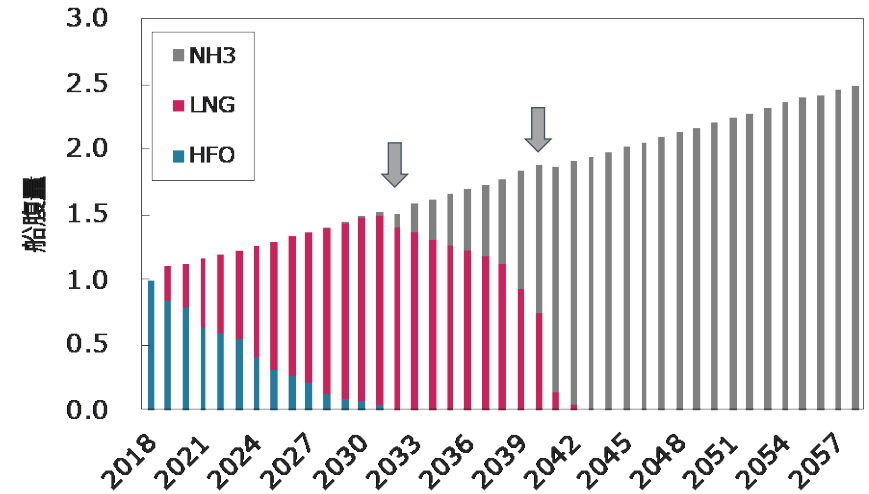
- 船腹量、コスト、環境負荷等の比較を通じて最適な戦略を考える。
- 炭素課金の影響も検討する。

例題：船腹量と船団構成の推移



■ LNG燃料船がない場合

- 重油燃料船の使用期間が長い
- アンモニア燃料船の導入時期が早まる
→インフラ整備の時期が早くなる



■ LNG燃料船がある場合

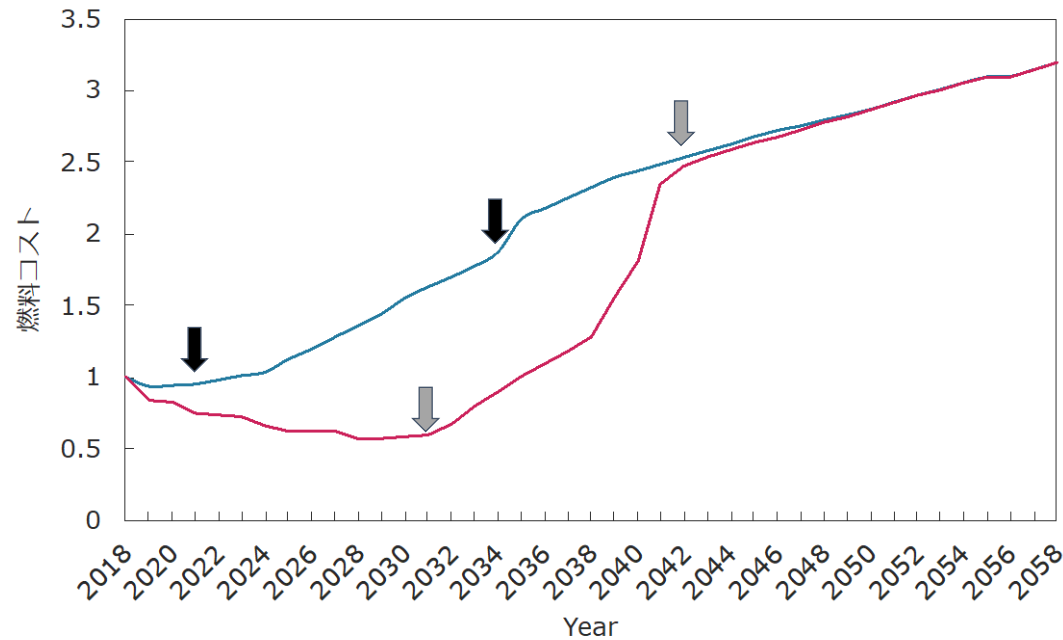
- 2040年頃の建造需要が過多
→国際海運の破綻？
→どのような投資をするか
- 2042年にゼロエミによる差別化は終わり
りコスト競争の時代になる

※グラフの縦軸は、初期の船腹量を1として表示

例題：燃料コスト（排出総量）

赤: LNG燃料船あり

青: LNG燃料船なし

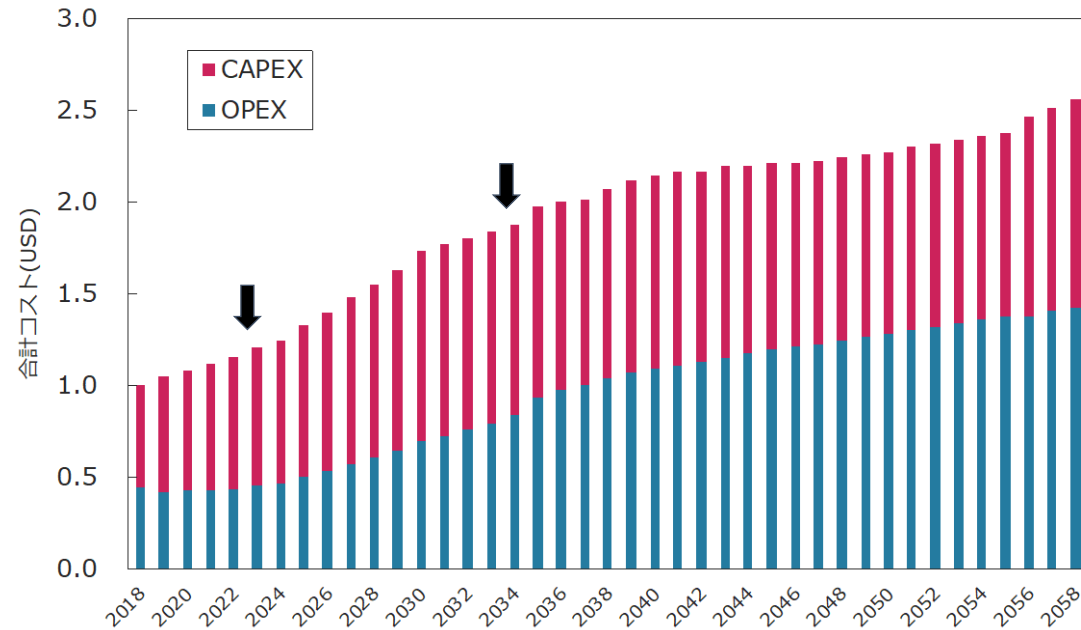


- LNG燃料船がない場合、ある場合に比べてコスト増
→燃料価格に依存するので、バンカー価格などに注意
→バンカー拠点整備が課題

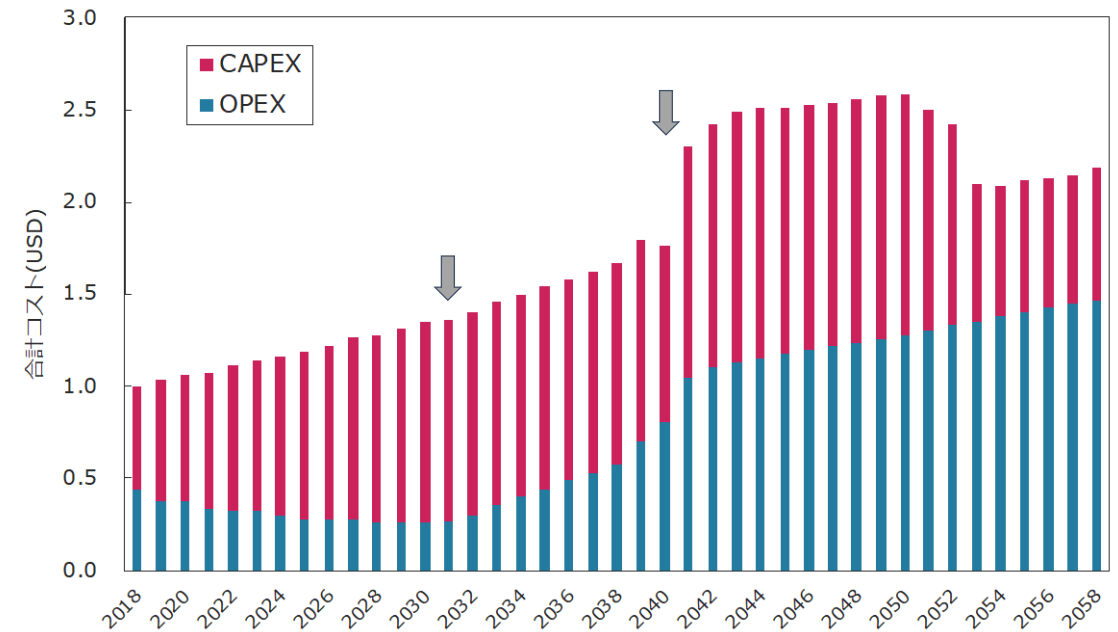
※グラフの縦軸は、初期の燃料コストを1として表示

例題：コストの比較

■ LNG燃料船がない場合



■ LNG燃料船がある場合

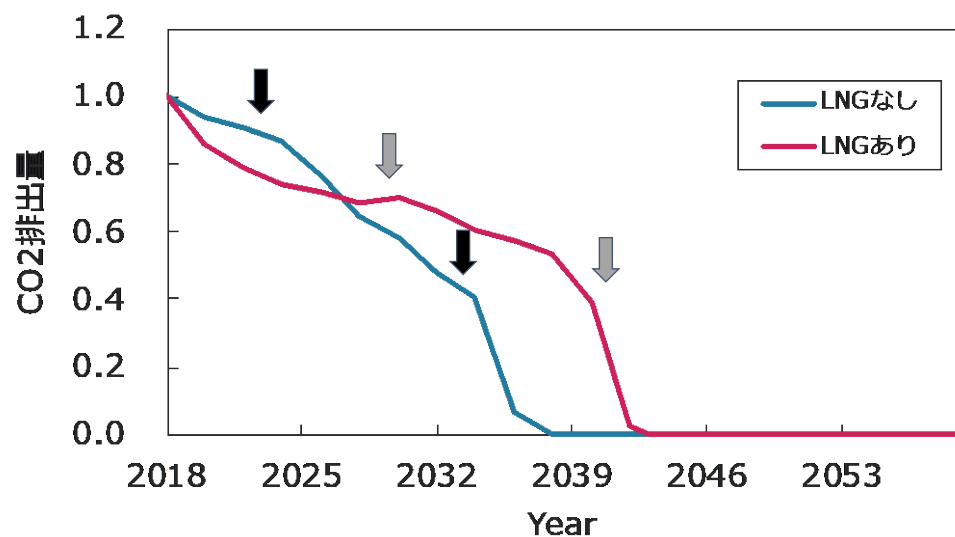


■ OPEXは燃料費のみ

- LNG燃料船を使用するとOPEXは節約できるが、リプレイス量が増えるため、2040年からCAPEXは増加

※グラフの縦軸は、初期の合計コスト(CAPEX+OPEX)を1として表示

例題：CO₂排出量の比較



- LNG燃料船がある場合には初期にはCO₂排出量が少なくなるが、その後逆転される。
- LNG燃料船がないほうがゼロ・エミッションは早く達成される。
- CO₂排出量とコストとの関係で吟味が必要。
- 炭素課金がいつから始まるかの分析必要。

※グラフの縦軸は、初期のCO₂排出量を1として表示

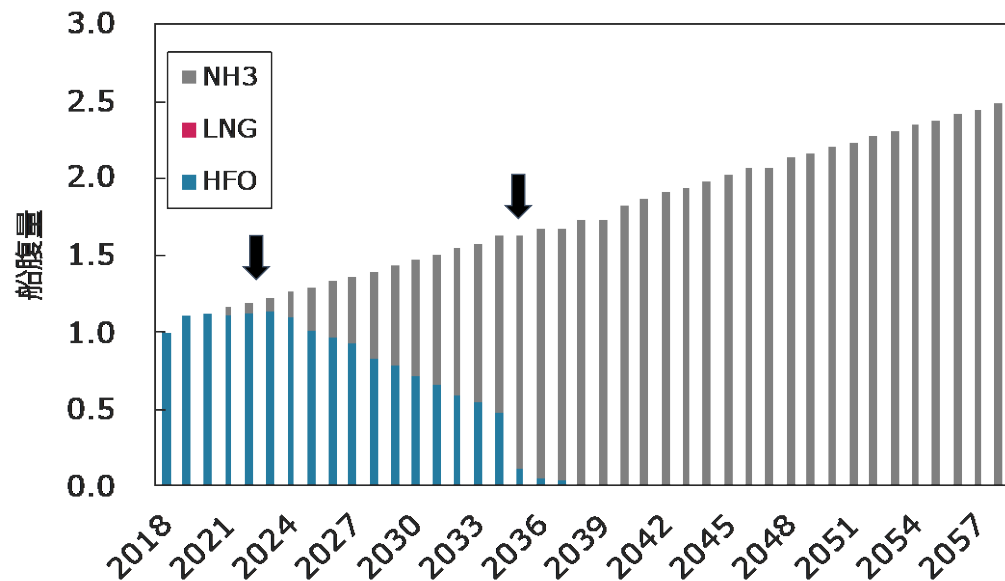
例題：環境規制の影響

- 炭素課金がない場合と、2030年から炭素課金が導入された場合の比較
- 炭素課金がある場合

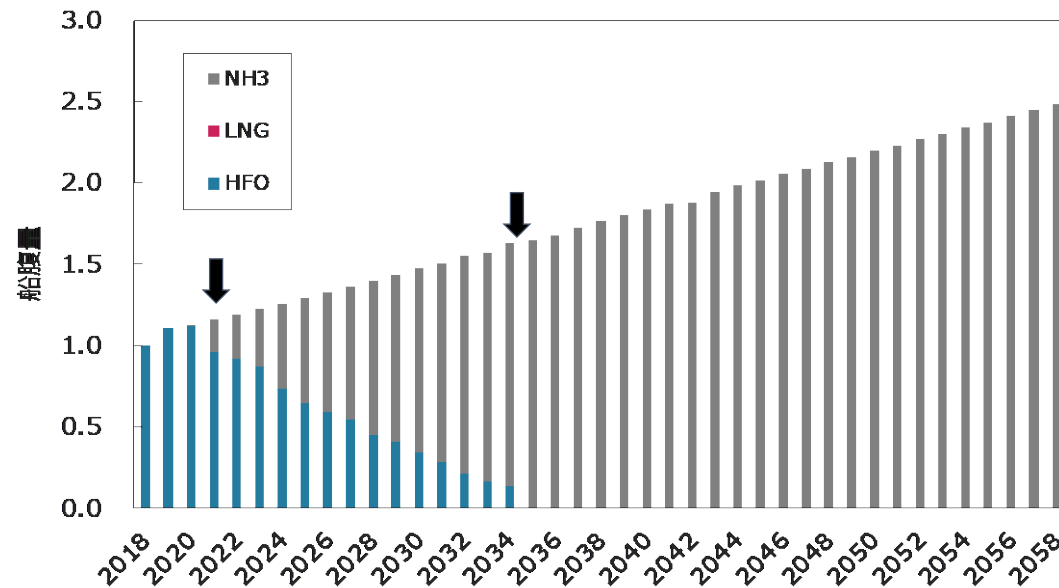
| 時期（年） | 炭素課金（USD/CO ₂ -ton） |
|-----------|--------------------------------|
| 2018-2029 | なし |
| 2030- | 250 |

例題：環境規制の影響(LNG燃料船がない場合)

炭素課金がない場合



炭素課金がある場合

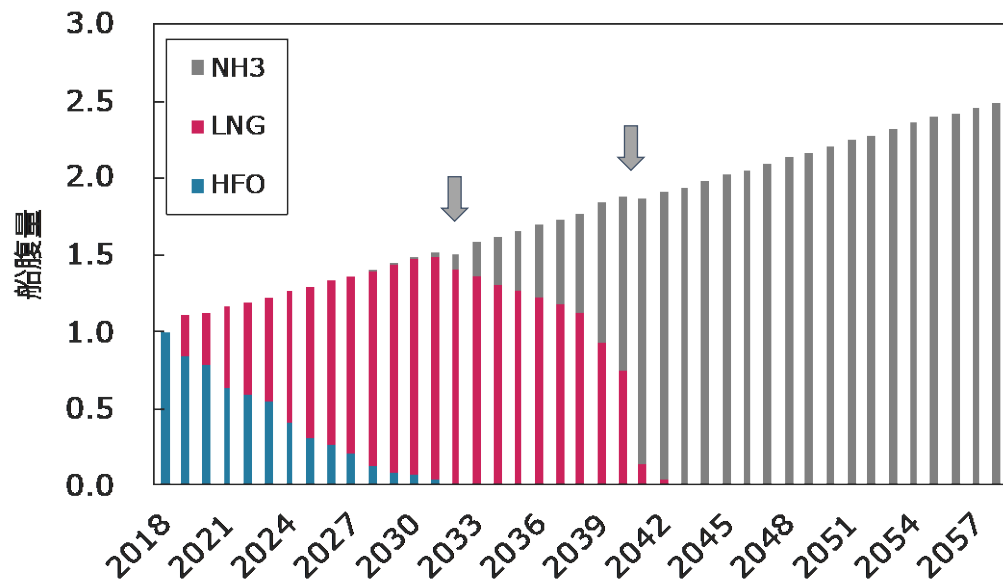


CII評価による強制解撤の影響が大きく、重油(HFO)燃料船が解撤されるタイミングは変わらない

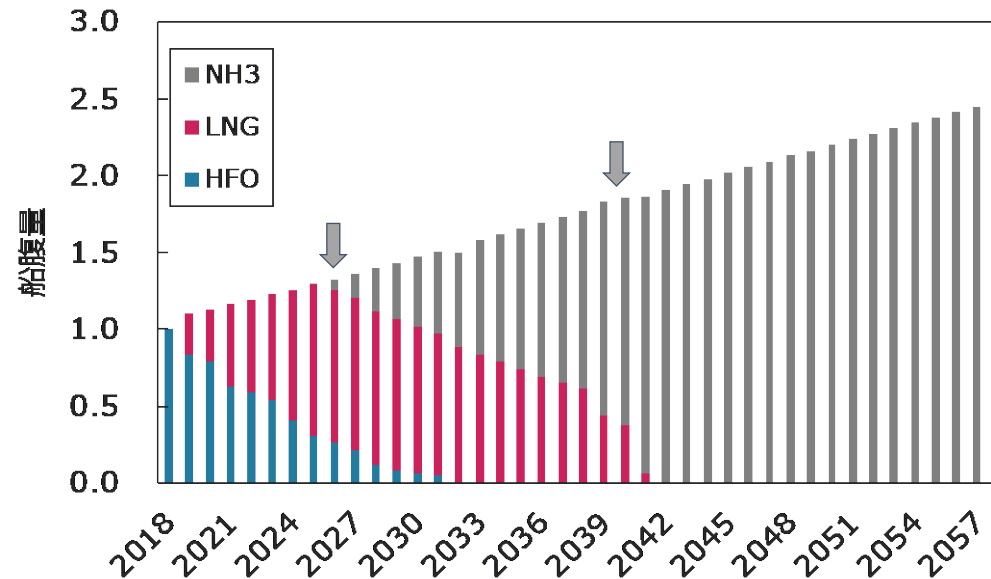
一方で、炭素課金によってアンモニア燃料と重油の価格差が縮まるため、アンモニア燃料船導入量が増加する

例題：環境規制の影響(LNG燃料船がある場合)

炭素課金がない場合



炭素課金がある場合



- 現在でもLNG燃料船が大量に建造され、2025年頃からアンモニア燃料機関が使われ、アンモニア燃料もどこでも得られる、という仮定での計算
- 炭素課金によってアンモニア燃料とLNG燃料の価格差のメリットが減少し、アンモニア燃料船導入のタイミングが早まり、結果としてアンモニア燃料船の導入量が増加する
- CII評価による強制解撤の影響が大きいため、重油(HFO)、LNG燃料船が解撤されるタイミングは変わらない

例題からわかること

- ① LNG燃料船が導入されない場合には、2023年までは重油のみが使われるが、そこからアンモニアへの転換が始まる。LNG燃料船が導入される場合には、2019年からLNGへの切り替えがおこり、2030年頃からアンモニア燃料船に変わっていく。
 - ② アンモニア供給インフラの整備はLNG燃料船がない場合はすぐに開始しなくてはならない。
 - ③ コストはLNG燃料船を入れたほうが低い。
 - ④ 二酸化炭素排出量は、LNG燃料船を使わない方がアンモニアへの転換が早く進むために少ない。
 - ⑤ 炭素課金の導入はLNG燃料船がないときは効果はなく、あるときはアンモニアへの転換が早まり総排出量も削減され有効。
- これらシミュレーション結果から、ステークホルダーに技術的、環境的、経済的評価のためのデータを示すことが出来る

結論と今後

- 仮定のもとでのトレンド分析であるが、数値的な評価ができる。
- 造船業、燃料供給業などの将来をみることができる
- 造船・海運ばかりでなく、荷主、金融、燃料などの各業界や政府などの観点からの検討が必要
- 規制の検討、造船産業政策などへの検討に使える

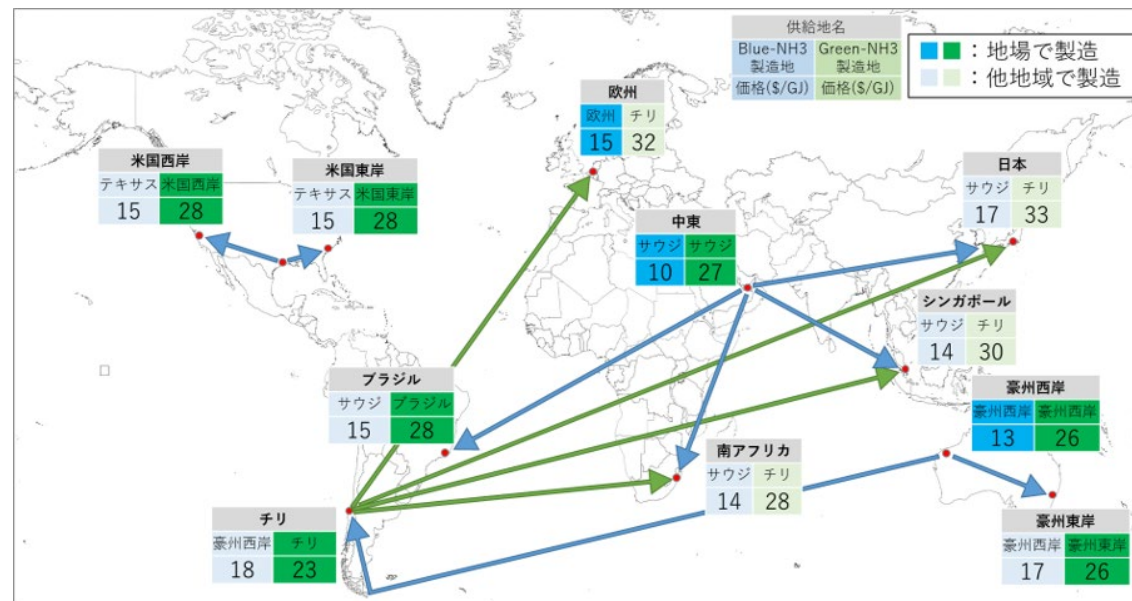
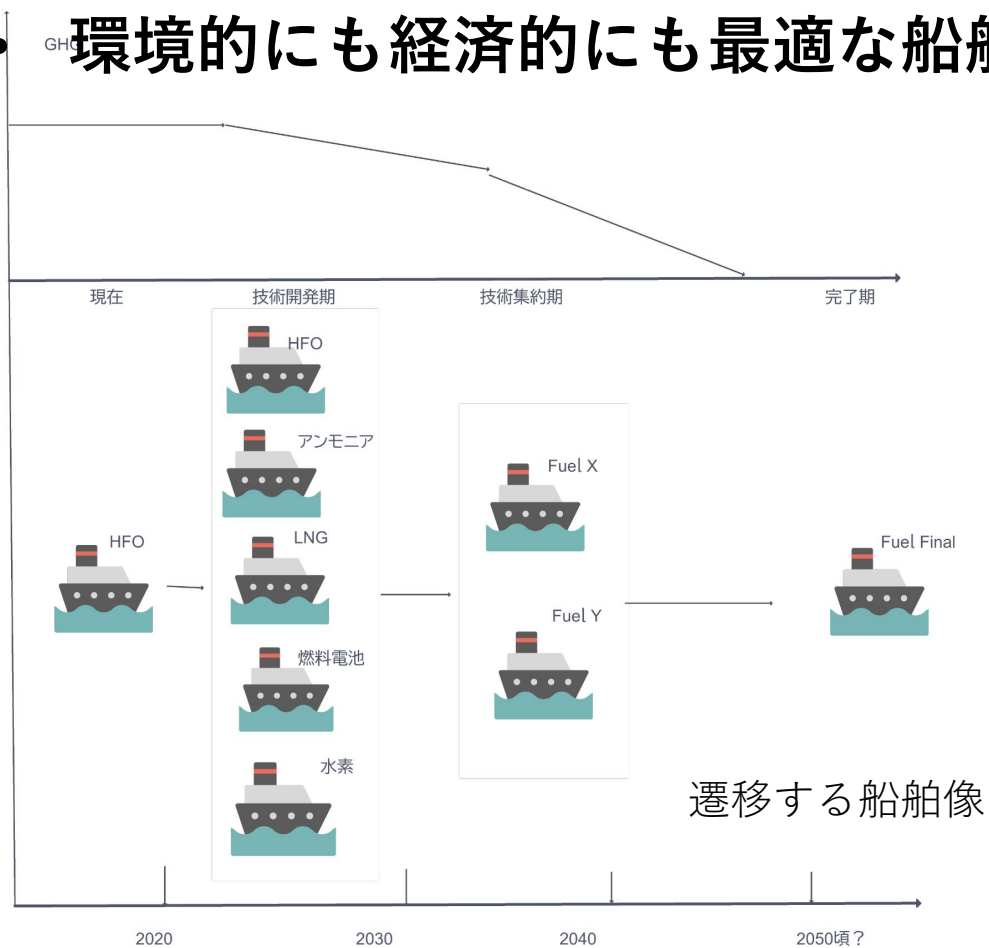
特定航路プロジェクトの評価

— 「合意」による実ビジネスのシミュレーション

- 日本－西豪州間の鉄鉱石輸送航路のゼロエミ化
- 「合意」によるビジネスソリューションのための方法論
 - ステークホルダー図とデザインスパイラルの仮定
- システム
 - シミュレーターによる将来予想とそれに対するステークホルダー間のコミュニケーションをサポートするシステムを結合して構成
- 以下の計算結果は、研究会メンバーの和中 真之介（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）による

技術・インフラ・規制の進展の中で遷移する船舶

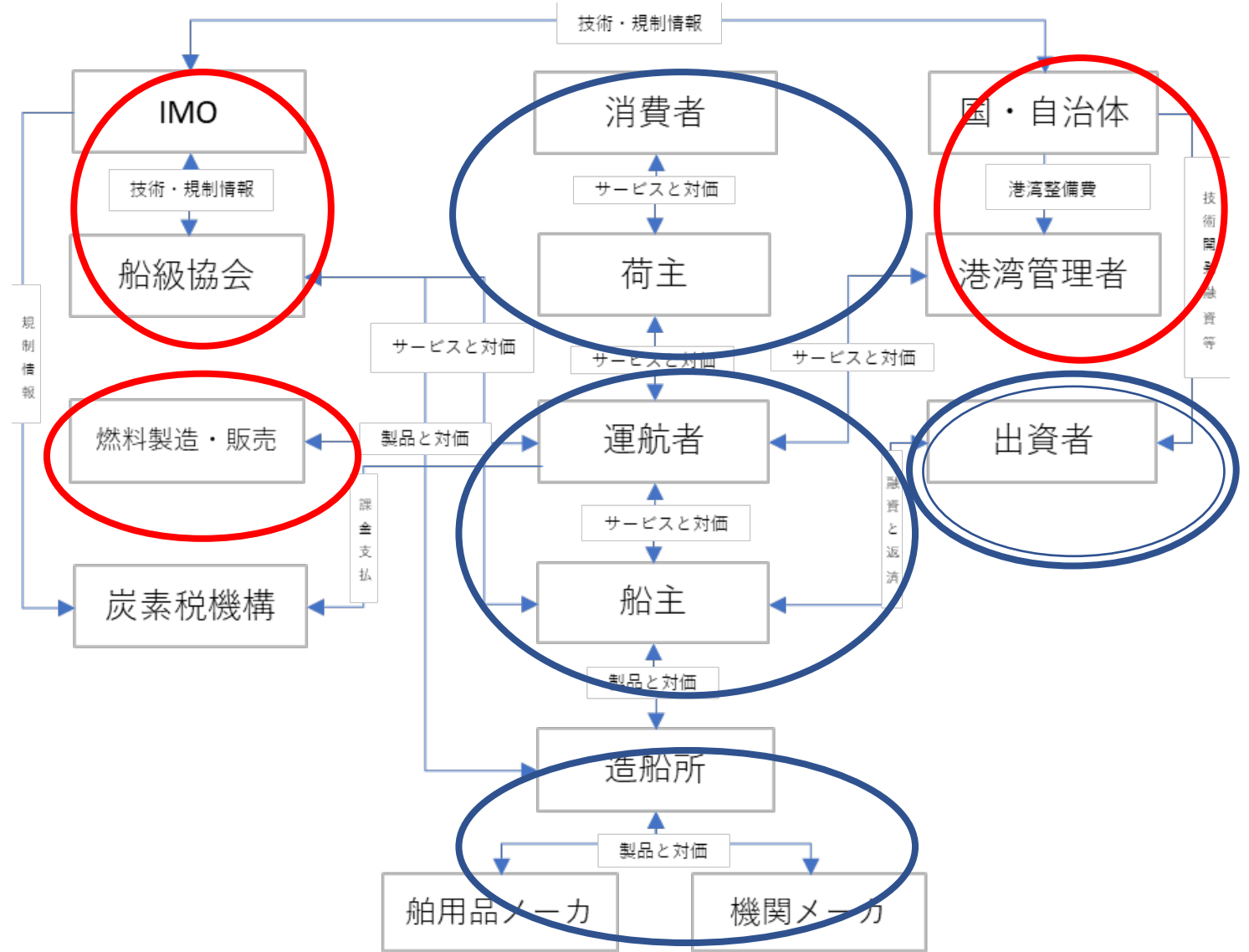
- ゼロエミに至るまでどのような船をいつ投入すればよいか
- 環境的にも経済的にも最適な船舶の設計



GSC調査資料より

ステークホルダー全員で合意する

- 国際海運に関わるステークホルダーは多岐に亘る
- 全てのステークホルダーの利害を考慮した設計が必要
- 情報分析・予測をベースにコミュニケーションにより、各ステークホルダー間のコンセンサスを得る。これが実行解になる。

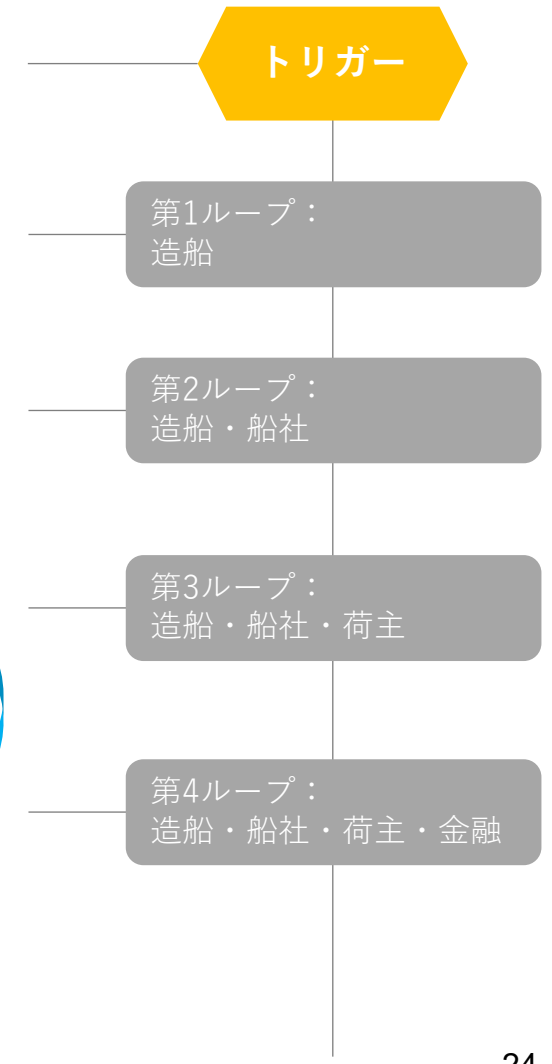
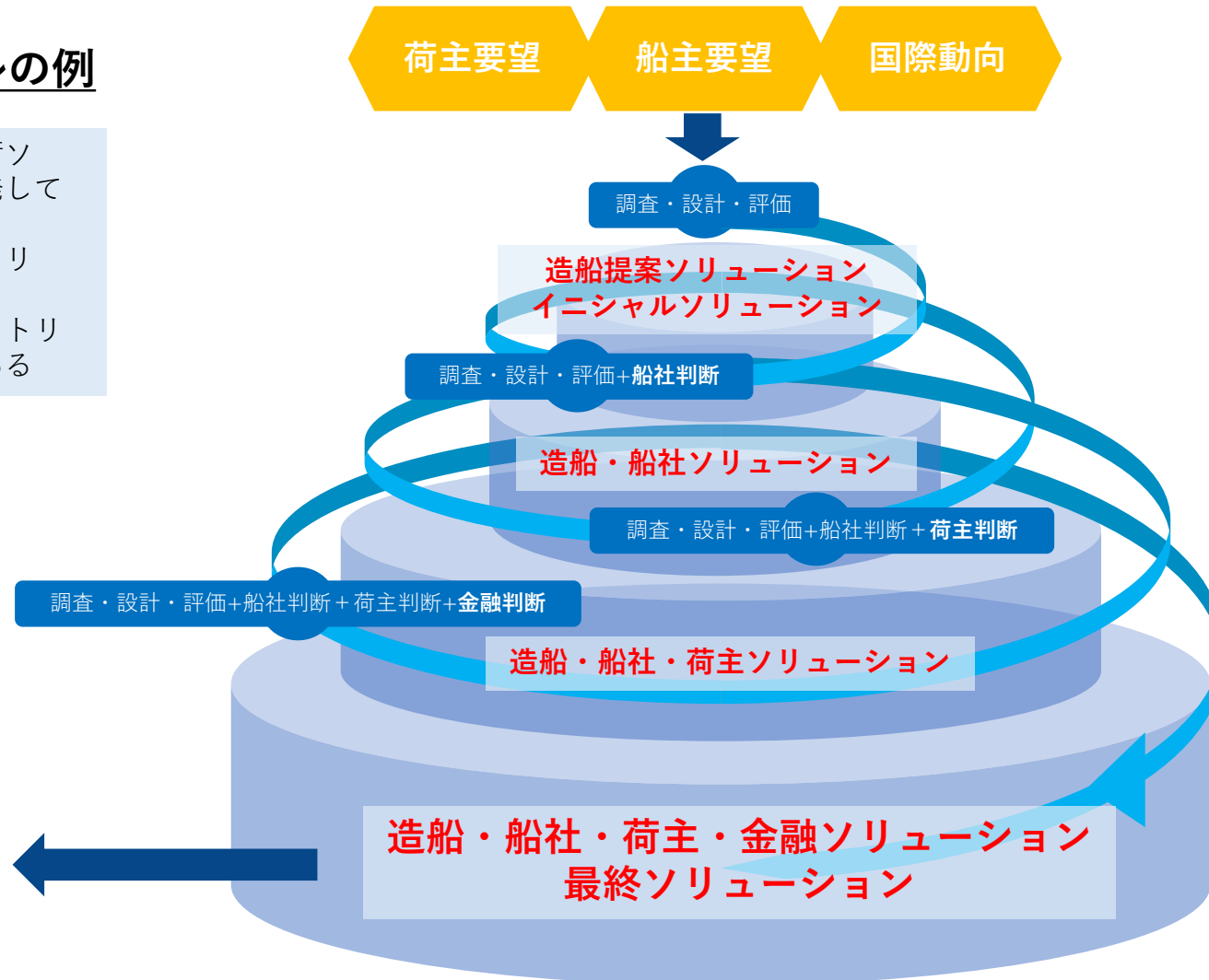


デザインスパイラル→ステークホルダー合意解の達成

デザインスパイラルの例

- 造船所が中心となって技術ソリューションを企画・開発していく場合のスパイラル
- ステークホルダーごとにトリガーは異なる
- 荷主圧力、造船技術など、トリガーのためのトリガーもある

国
 港湾設置者
 燃料製造供給社
 IMO
 船級協会



特定航路モデル シナリオ全体概要

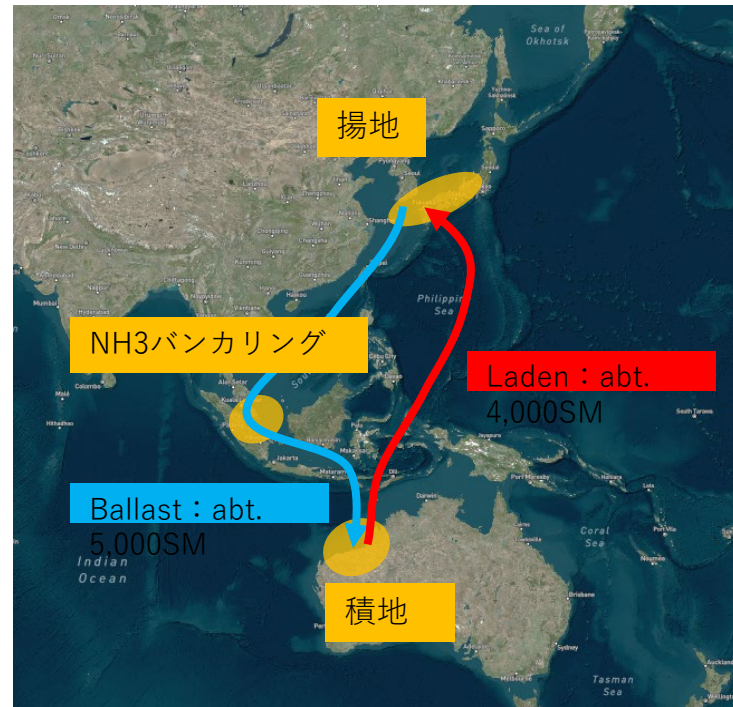
| 項目 | 内容 |
|---------------|---|
| 対象船 | 20万DWT級ケープサイズBC (19万DWT~21万DWT) |
| 航路/貨物 | 西豪州-日本 / 鉄鉱石 |
| 積地 | Port Hedland |
| 揚地 | 日本 |
| 初期船団 | 建造年ごとの性能差を考慮して設定 |
| 輸送需要 | 輸送需要：3,500万トン/年、 需要の変化：将来に亘り増減なし |
| 初期船団の隻数 | 23隻 |
| アンモニア燃料技術普及時期 | 2025年以降 |
| 給油地/インフラ整備時期 | 揚地/揚地近郊：極東、中間地点：シンガポール ※積地でのバンカリングは考慮しない |

航路・運航パターン

HFO・LNG(2020年～)



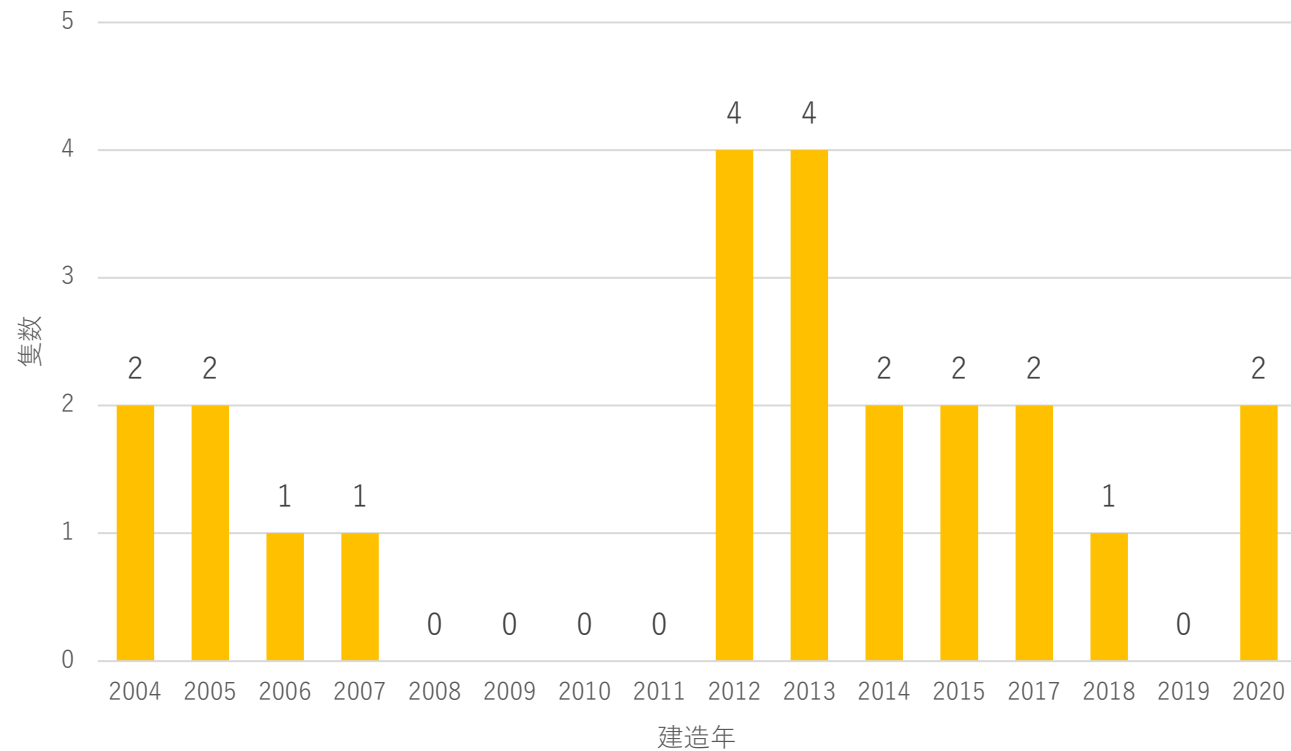
HFO・LNG・NH3 (2025～2035年)



HFO・LNG(2020年～)/NH3(2035年～)



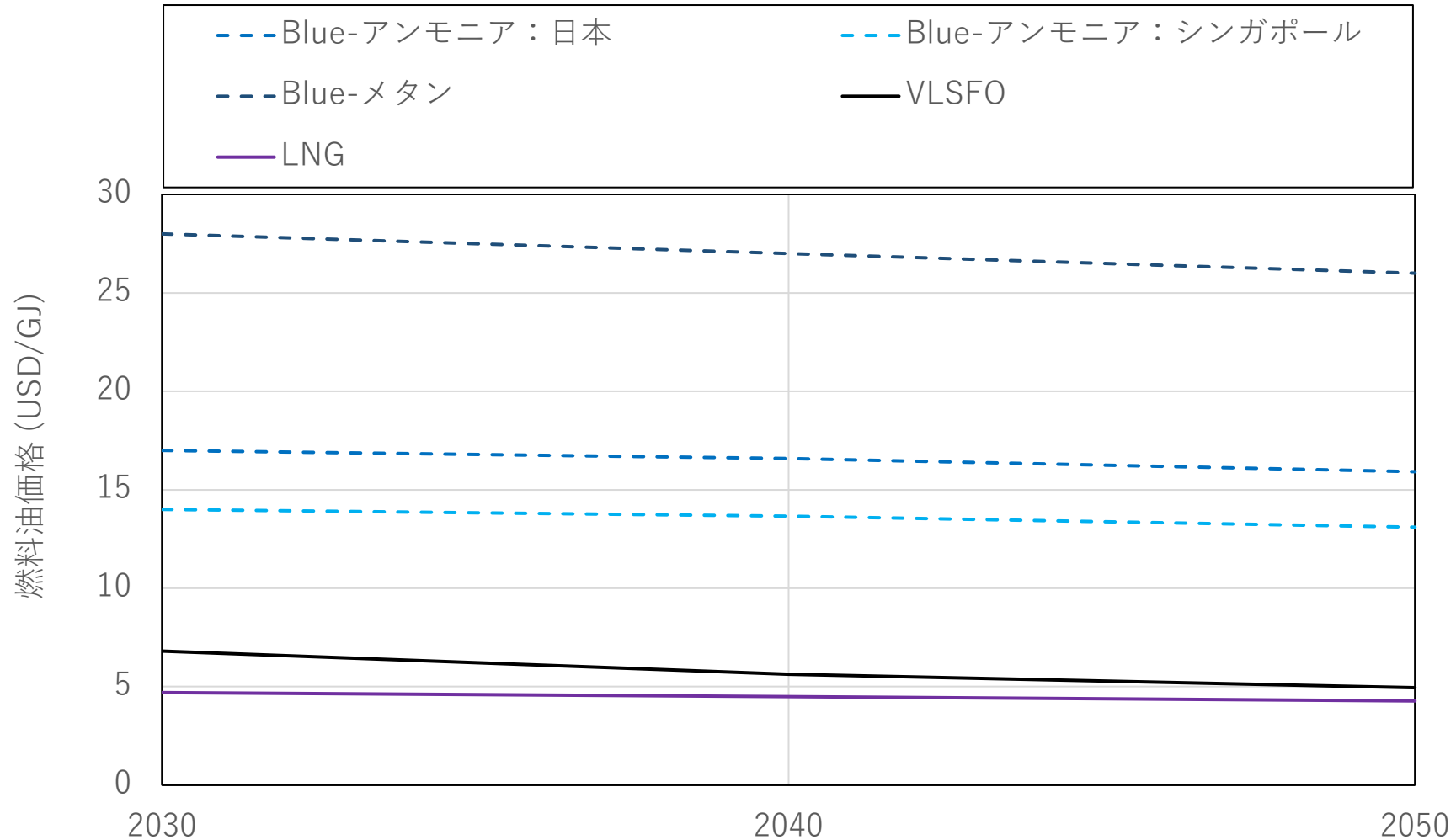
初期船団の設定 - 建造年分布



初期船団の燃費性能推定方針

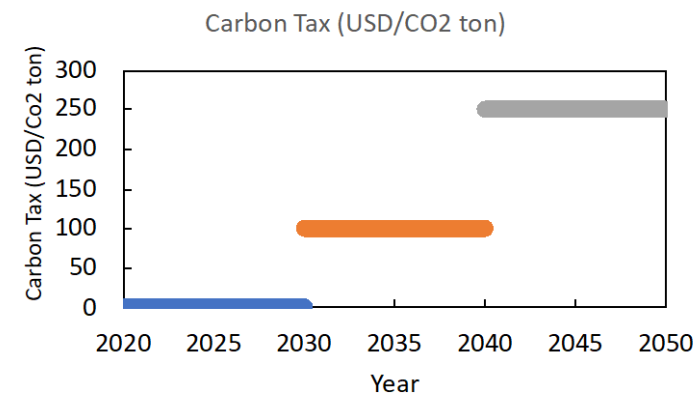
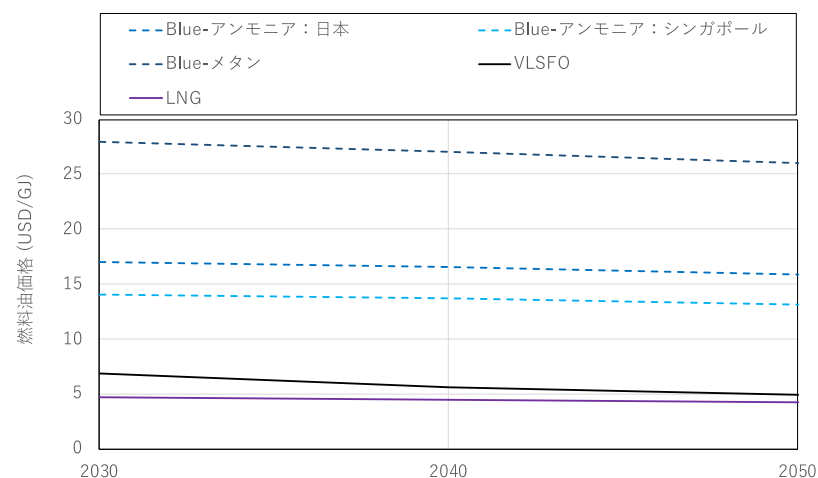
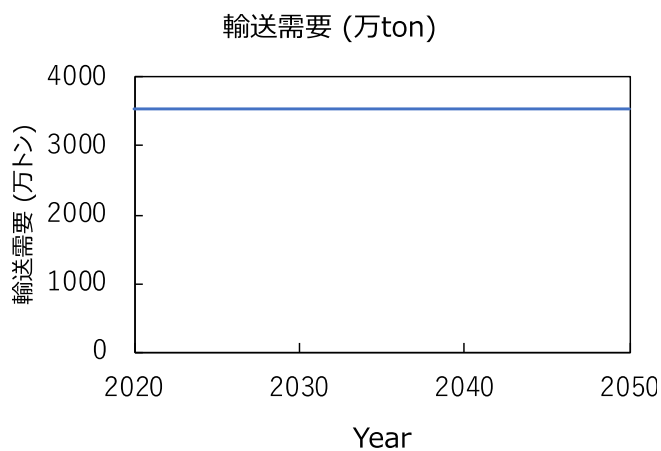
- EEDI適用船：規制を満足するよう馬力性能を推定、当該年の竣工実績を考慮
- EEDI非適用船：当該年の竣工実績より馬力性能を推定

燃料油価格の設定（GSCによる調査）



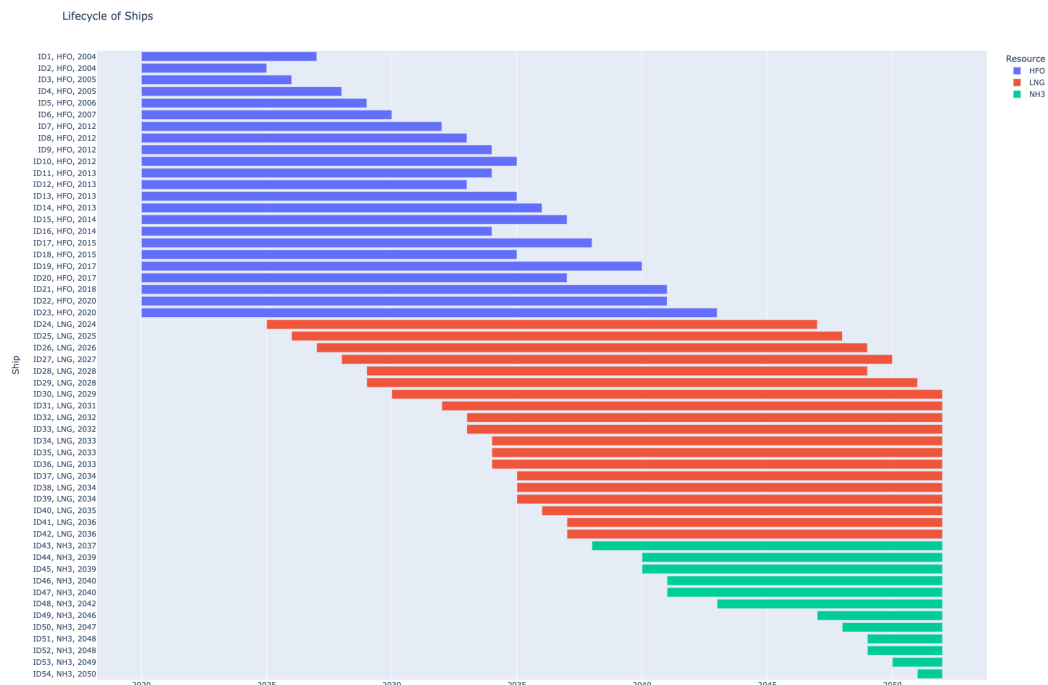
計算条件

1. 規制: CIIによる減速
2. 解撤: 船齢による解撤
3. 輸送需要: 一定
4. 燃料価格: GSC
5. 炭素課金: 100 (USD/CO2-ton), 250(USD/CO2-ton)

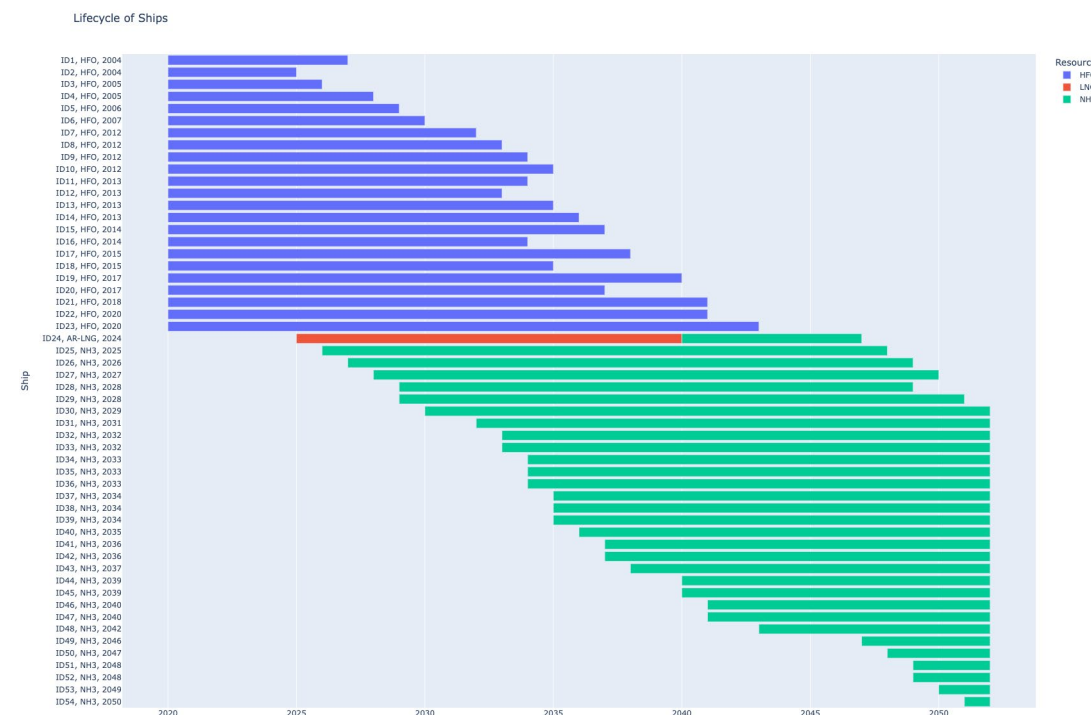


船団のガントチャート (計算改訂)

建造量平準化 (コスト重視)



建造量平準化 (環境重視)



青：HFO、赤：LNG、緑：アンモニア、赤→緑はAR-LNG船による切り替え

コスト(OPEX, CAPEX, Retrofit, Carbon tax) (計算改訂)

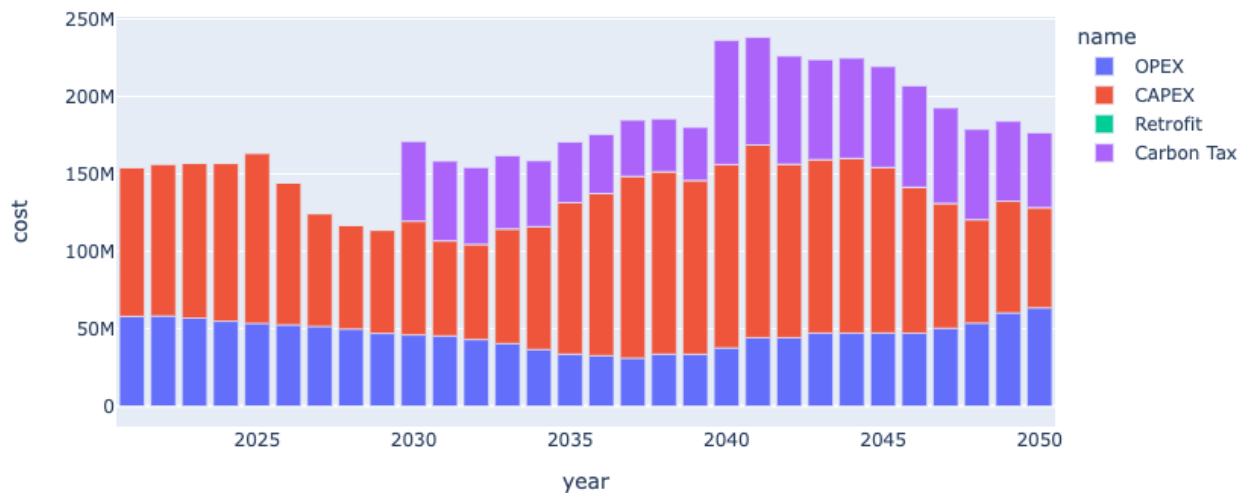
建造量平準化 (コスト重視)

合計: 5293 (M USD)

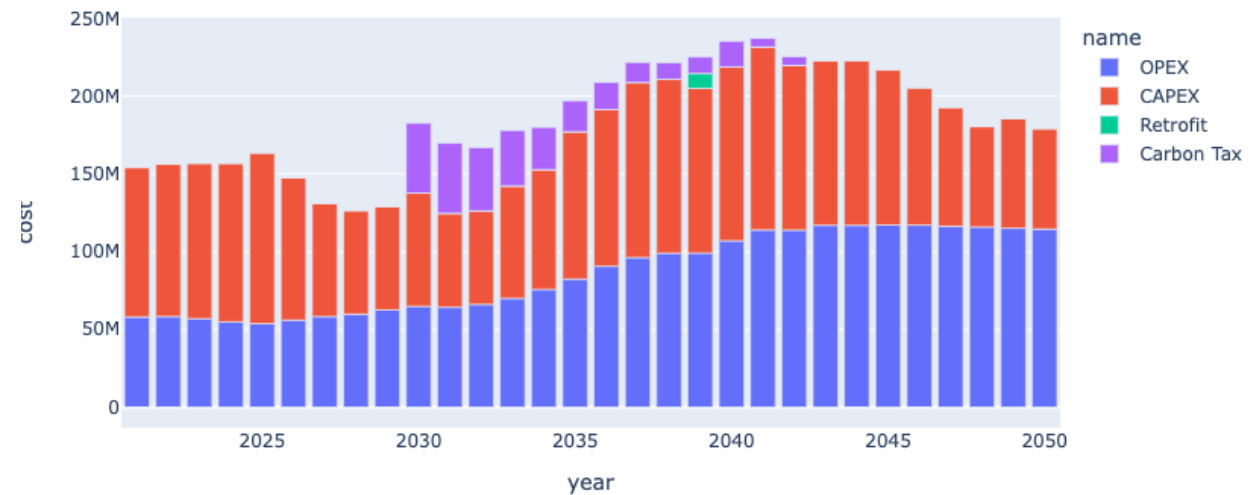
建造量平準化 (環境重視)

合計: 5576 (M USD)

Cost (OPEX, CAPEX, etc.) Total: 5293 (M USD)



Cost (OPEX, CAPEX, etc.) Total: 5576 (M USD)

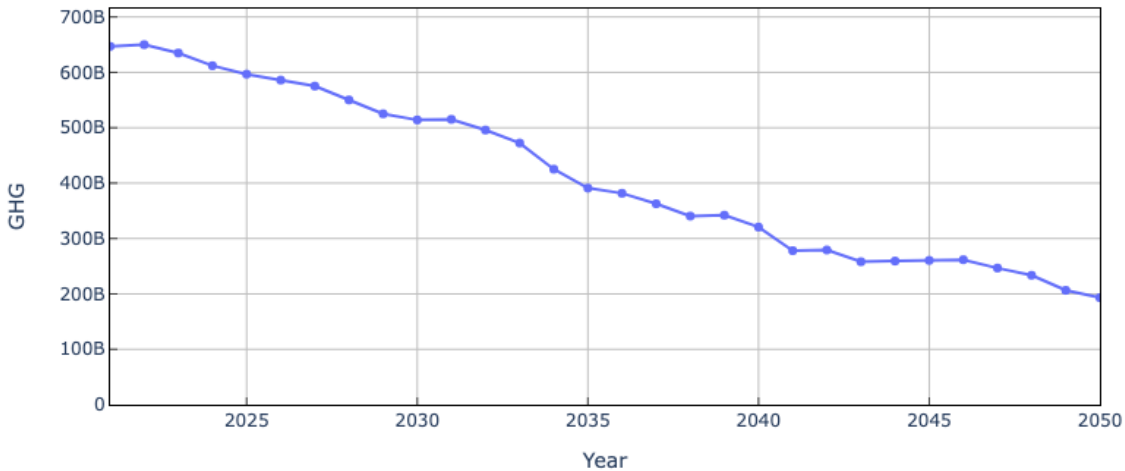


CO₂排出量 (計算改訂)

建造量平準化 (コスト重視)

12.42 (M ton)

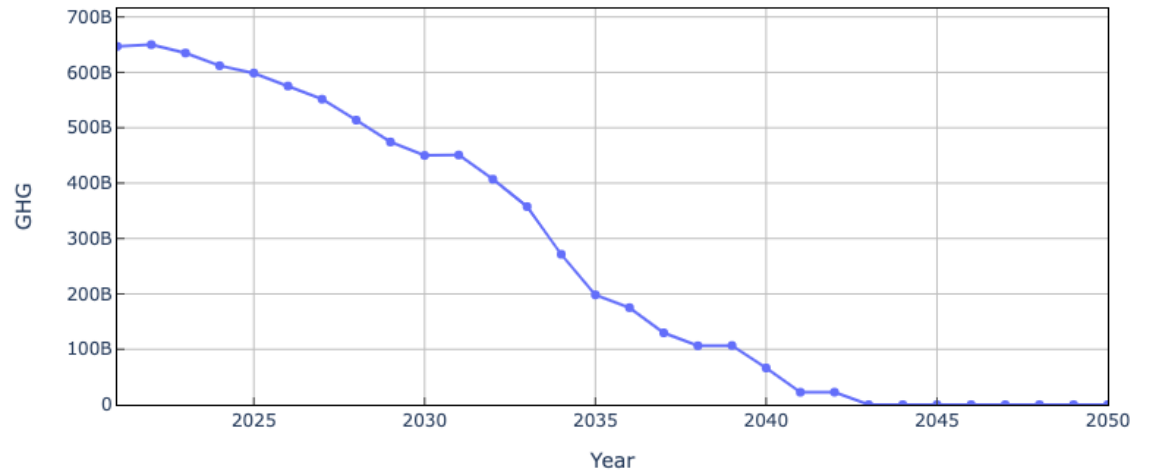
Amount of GHG emission Total: 12.42 (Mton)



建造量平準化 (環境重視)

8.02 (M ton)

Amount of GHG emission Total: 8.02 (Mton)



コスト重視型では、2050年にゼロエミッションを達成しない
→炭素課金で追加のコストを支払いながらCO₂を排出している

環境重視型では、2030年より全ての船舶をアンモニア燃料船として建造するため、2040年には
全ての船舶をゼロエミッション船としてトランジション可能

特定航路プロジェクトのまとめ

- 特定航路プロジェクトは、船団に関するシミュレーションが可能で、それに基づくコミュニケーションを行うことができる
- 環境負荷とコストの関係、あるいは環境重視型、コスト重視型などのステークホルダーの意向を反映させることができる

全世界トレンドと特定航路プロジェクト

- インフラ整備がポイントになる
 - 全世界モデルと全く違う答え
 - 特定航路プロジェクトではインフラを一か所だけ整備すればよい
 - 船主選好が船主意思決定モデルと異なっている
- 必要な船が異なる
 - 全世界トレンドと特定航路プロジェクトでは異なる結果
 - 全世界トレンドは特定航路プロジェクトの総和であるはず

国際海運ゼロエミ化のためのESG融資

- コストと環境負荷のバランスの中で社会に受け入れられる解に融資がなされる。
- ESG基準などが用いられる。
- これに対応したソリューションを提示し、金融界から融資投資を受けることが最後のゴール→ソリューションの社会受容性

船舶融資の原則

| 内部要因 | S (強み) | W (弱み) |
|------|---|---|
| | ① 海事クラスターからの信頼 ② 競争力ある金融機関との関係 ③ 経営者の経験と資質 ④ 風通しのよい家族経営文化 ⑤ 信頼に足るトラックレコード ⑥ 安定した船舶管理能力 ⑦ 後継者の存在と経営の持続性 | ① 不明確なビジョン ② 不十分な経営環境分析 ③ 不明確な経営戦略 ④ 不十分なブランド力 ⑤ 不十分な資金調達力 ⑥ 不十分な情報ソース ⑦ 不明確な事業承継計画 |
| 外部要因 | O (機会) | T (脅威) |
| | ① オペレーターのオフバランiesz継続 ② 業界再編の可能性 ③ 船舶管理能力による差別化戦略 ④ 為替市場 (円安期待) ⑤ 船価回復期待 ⑥ 国際税制 (配当益金不算入税制など) ⑦ 協力的な金融機関の存在と支援 | ① オペレーターによる選別 ② 金融機関による選別 ③ 業界再編の可能性 ④ オペレーターの経営悪化 ⑤ 他国に劣化する法人税制 ⑥ 船舶管理にかかる高度化要求 ⑦ 金融リスク (金利・為替) ⑧ 5大海上リスク (SSBC) ⑨ 諸リスク (含む海賊) の現出 |

図 4-2 SWOT 分析 (例)

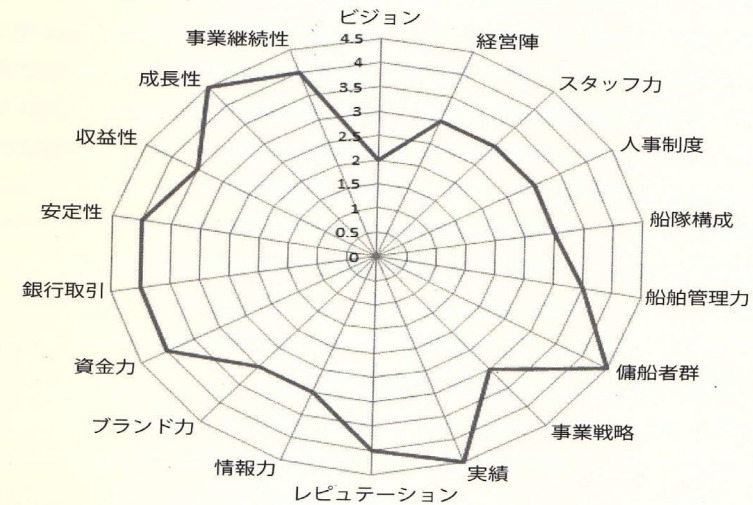


図 4-3 船主採点表 (例)

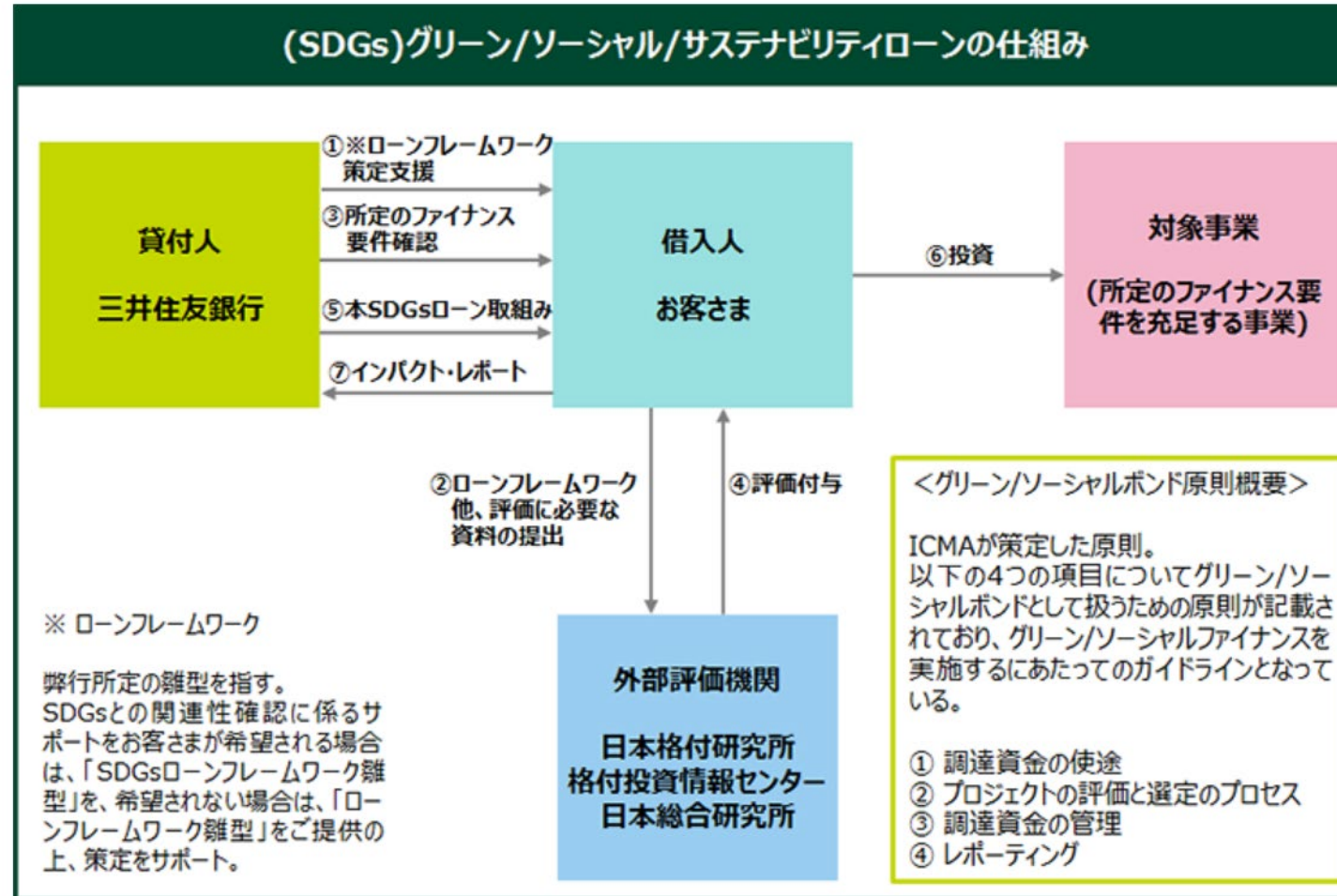
木原知己：船舶金融論【2訂版】137ページ
より

融資・投資の新しい考え方：SDG'sとESG

- SDG'sは目標設定
- ESG投資
 - 非財務情報－環境・社会・企業統治
 - 環境
 - GHG排出削減量・コスト・工事環境負荷・廃棄物削減
 - 社会
 - ステークホルダー管理/連帯性/統御・製造者管理・安全性/実行可能性
 - 企業統治
 - 企業環境戦略・内部統制システム・長期サステナビリティ戦略・取締役会・

具体例 グリーン/ソーシャル/サステナビリティローンの仕組み

スキーム図



日鮮海運様のスクラバー導入資金

News Release



株式会社 日本格付研究所
Japan Credit Rating Agency, Ltd.

19-D-0283
2019年6月26日

———JCR グリーンローン評価 by Japan Credit Rating Agency, Ltd.———

株式会社日本格付研究所（JCR）は、以下のとおりグリーンローン評価の結果を公表します。

日鮮海運株式会社の長期借入金に Green 1を付与

評価対象 : 日鮮海運による下記借入金
分類 : 長期借入金（コミット型タームローン）
借入先 : 株式会社三井住友銀行をアレンジャーとするシンジケート団
借入額 : 28億円
借入契約日 : 2019年6月26日
返済期限 : コミット期間1年+個別貸出後最大9年
※スクラバー搭載対象船の船齢により返済期限（期間）が異なる。
返済方法 : 個別の残存法定耐用年数以内での均等弁済（最長9年均等弁済）
資金使途 : 設備投資（環境配慮設備（スクラバー）の設置）

<グリーンローン評価結果>

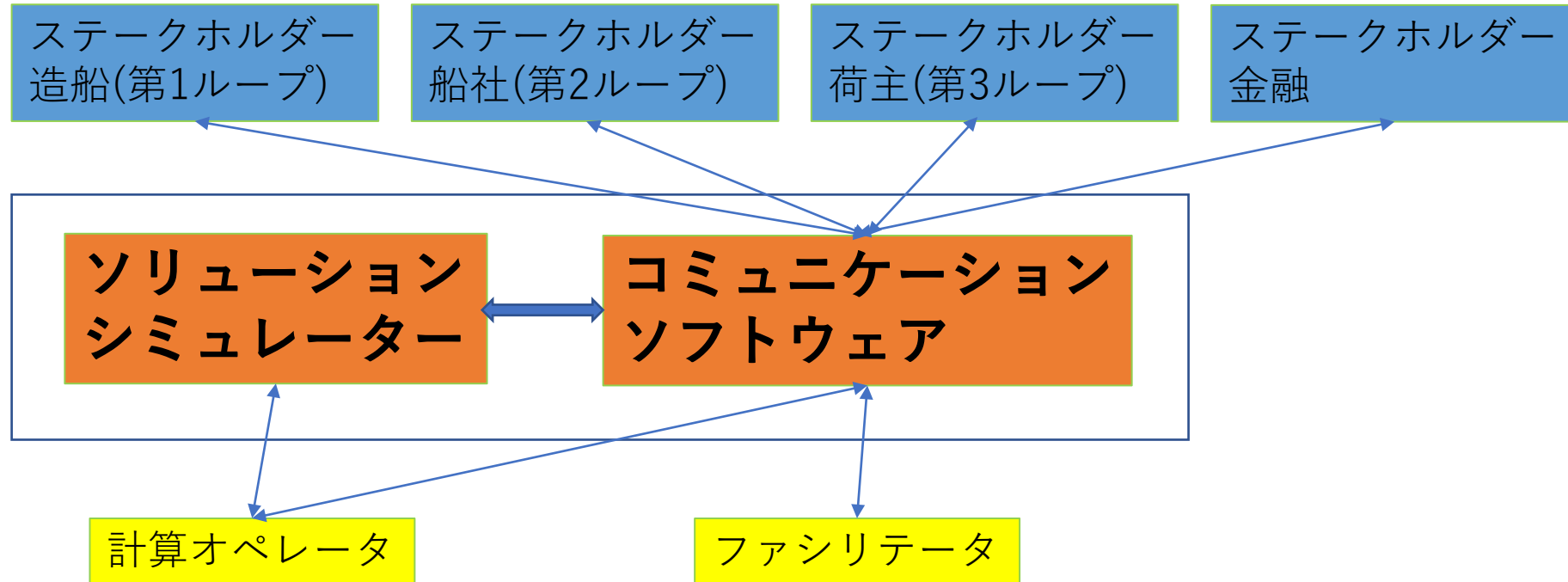
| 総合評価 | Green 1 |
|---------------|---------|
| グリーン性評価（資金使途） | g1 |
| 管理・運営・透明性評価 | m1 |

ステークホルダーの合意達成のための ソリューション評価システムの試作

- ループを回してコミュニケーションを進めるのにファシリテータを想定する必要がある
- 各ループでワークショップを行い、説明した後、期日までにコメントを集めて、ファシリテータが整理
- ループに応じてステークホルダーが変わっていく

- 多分野協調のためのプロジェクトマネジメントソフトウェアを「Notion」をベースに試作
- 将来のクラウドでの運用を想定

システムのアーキテクチャ



コミュニケーションプラットフォーム 解説動画



次世代環境船舶開発センター

ソリューション評価システム

ーデータに基づくESG戦略ソリューションの実現

- シミュレーションデータで具体的なコストと環境負荷が計算できる
- 長期的な展望・ビジョンが示せる
- ステークホルダーの範囲やその役割・責任も明確
- ソリューションの評価が融資可能性評価資料になる
- 標準的なESGデータモデル構築になる

まとめ

- 国際海運ゼロエミ化に含まれる技術・燃料インフラ・規制の未決定要素はステークホルダー全員で合意して決定、そのうえでソリューションを求め実行する
- ファシリテーターは国際海運ゼロエミ化のインテグレーター
- 社会的責任は、SDG + ESG指向で社会に発信し、資金を調達する
- そのためのプラットフォームソフトウェアを試作した。
- 社会的責任を果たす総合産業の新パラダイム探究

提案 = みんなで実現する船のCO₂削減

- **ゼロエミ化を契機として造船ビジネスをオープンイノベーション型・ステークホルダー合意形成型に転換**
 - **不透明なビジネス環境のなかで社会的責任を果たす総合産業のパラダイム**
- **具体的行動**
 - **世界に先駆けて具体的なゼロエミ航路の実装を行う**
 - **世界に向けて国際海運ゼロエミッション化を数量的に示す**
 - **環境規制にも国際海運ビジネス側から意見表明する**

これらは個人の意見でGSCなどの公式見解ではありません。

謝辞

- 講演の機会をいただきました運輸総合研究所に御礼申し上げます。
- 一般財団法人 次世代環境船舶開発センター様には研究会を設置され、多大のご支援をいただきました。
- 本研究会の委員として、一部の方はさらに幹事としてご参加くださった皆様には多くの貴重な知見をいただきました。
- 東京大学 稗方和夫教授にはシステムオブシステムズの基礎や進め方全般についてご指導いただきました。
- 海上技術安全研究所 和中真之介博士には、シミュレーション計算をすべてやっていただきました。
- 藤田尚毅氏ほか三菱総合研究所の皆様はプロジェクトの進行にご尽力をいただきました。
- 古賀ソフトウェアの藤田芳寛氏、斉藤卓弥氏にはソフト開発についてご尽力いただきました。