

# IMO GHG削減中期対策を踏まえたコストシミュレーション

企画本部 グリーントランスフォーメーションセンター

## 1. はじめに

現在、国際海運は国際海事機関（IMO）や欧州連合（EU）が主導する温室効果ガス（GHG）排出削減規制の強化という、極めて大きな転換点に直面している。これらの規制は単に国際的な環境目標を達成するための枠組みにとどまらず、海運会社の経営戦略や船舶のライフサイクル全体に直接的な影響を及ぼす要素となっている。船舶が使用する燃料の選択や運航コスト、さらには新造船の導入や改造のための投資判断基準がこれら規制の動向に大きく左右されることになる。現在IMOで議論が進められているGHG削減に向けた中期対策案（以下、「中期対策」という）では、燃料のGHG強度を段階的に削減することが義務付けられる。

この中期対策については、2025年10月に開催された臨時MEPC（MEPC/ES.2）において、加盟国間の意見の隔たりを理由に採択に関する審議が1年間延期され、合意には至らなかったものの、IMOが示す脱炭素化の方向性自体は維持されており、今後も国際的な枠組みのもとで燃料転換を含む包括的なGHG削減対策が求められることに変わりはない。このため、今後はこれまでの効率改善を中心とした対策のみでは規制対応が難しくなり、燃料そのものの転換など中長期的な準備が必要となってくる。

このような背景のもと、今後の海運業界では、燃料の選択と規制対応コストを総合的に考慮した経済的評価が不可欠となる。この新たな枠組みのもとで、燃料転換が経済性に与える影響を事前に把握することは、今後の戦略立案において極めて重要となる。

本稿では、IMOで検討されている中期対策について、本会のコストシミュレーションツールを用い、主として規制コストの影響を評価し、戦略的判断の基礎となる考え方を示す。なお、今後のIMOの議論の進展によっては、コストへの影響度合いが大きく変化する可能性がある。本稿で示す試算結果は、現時点で入手可能な情報に基づき、本会が設定した前提条件により算出したものであり、燃料価格や供給量、GHG強度などの前提条件が変われば試算結果も変動し得る。したがって、本稿は本会のシミュレーションツールを用いたシナリオ分析の一例として参照されたい。

## 2. 規制コストの算定

IMOの中期対策は、燃料転換を促すだけでなく、燃料の製造段階から使用までを含めたライフサイクル全体の排出量を考慮する点に特徴がある。従来のように燃焼段階のみを対象とするのではなく、燃料の製造・輸送・貯蔵・使用を通じた実質的な排出削減を目指すものであり、船上の効率改善にとどまらず燃料サプライチェーン全体の脱炭素化を促す包括的な枠組みといえる。したがって、中期対策における規制コストを正しく理解するためには、この新たな評価の枠組みである「Well-to-Wake (WtW)」の考え方を把握することが重要である。以下では、その具体的な評価範囲と算定方法について述べる。

### (1) Well-to-Wake排出量の考え方

従来のIMOのCO<sub>2</sub>排出削減規制では、主として船上燃焼に伴う直接排出「Tank-to-Wake (TtW)」のみを対象としてきた。しかし、IMOの中期対策では、燃料の製造段階（Well）から燃焼段階（Wake）までの全工程におけるGHG排出量を統合的に評価する。このため、たとえ燃焼時にGHGを排出しない燃料であっても、製造過程で原料を含む化石エネルギーを用いていれば依然として高い排出量を有することになる。一方、再生可能エネルギー由来の電力とDAC（直接空気回収）などで回収されたCO<sub>2</sub>を利用して製造されたe-fuelのような燃料は、ライフサイクル全体での排出量を大幅に低減できる。このように、燃料の「製造経路」が規制コストに直結する点が中期対策の大きな特徴である。

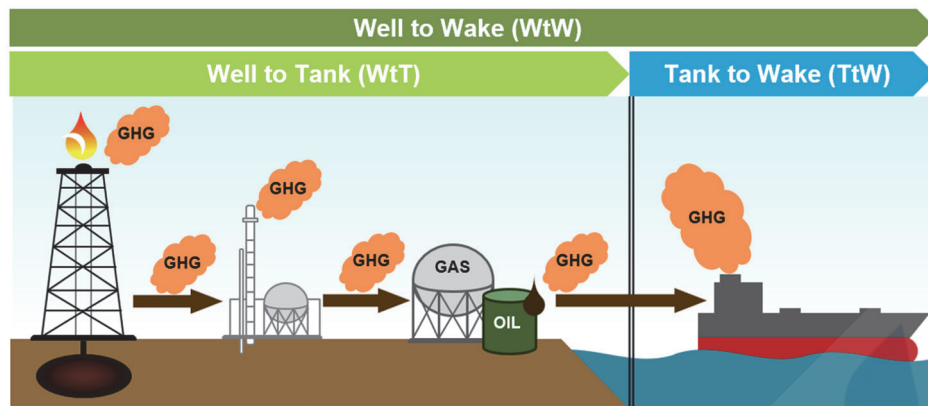


図1 船用燃料のライフサイクルにおけるGHG排出のイメージ

## (2) GHG強度の算定

燃料の環境性能を表す代表的な指標が「GHG強度」であり、これは燃料のエネルギー当たりのライフサイクルGHG排出量として定義される。図2は、単一の燃料を使用する場合のGHG強度の考え方を示したものであり、燃料のGHG強度はその燃料の「排出係数」と「発熱量」によって計算することができる。



図2 GHG強度の計算

実際の運航においては、単一の燃料のみを使用するとは限らず、複数の燃料を併用するケースも想定される。この場合、燃料ごとに異なるGHG強度を適切に評価するためには、各燃料の使用割合、すなわちエネルギー消費量に応じて平均値を算出する必要がある。例えば、図3に示すように重油（HFO）とバイオ燃料（B100）をそれぞれ同量使用した場合を考える。HFOのGHG強度を95.48、B100のGHG強度を22.12とする場合、両者のエネルギー消費量で加重平均することにより、全体の平均GHG強度は約60.22となる。

このため、主燃料として重油を用いながらも、一部に低炭素燃料（B30、B100、e-fuelなど）を導入することで、全体のGHG強度を目標値以下に抑えることが可能である。この低炭素燃料の部分的導入によるアプローチは、燃料供給の不確実性や価格変動に対応しやすく、現実的で中期的な選択肢として注目される。

## GHG強度：複数の燃料を使用した場合

- 各燃料の使用割合（エネルギー消費量）に応じてGHG強度平均値を算出する

Heavy Fuel Oil バイオディーゼル（100%）

例：「HFO」と「B100」を1tonずつ使用した場合

$$\begin{array}{c}
 \text{Well-to-Wake (WtW) GHG排出量} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 \text{HFO WtW GHG強度} & \times & \text{HFO エネルギー消費量} & + \\
 \hline
 95.48 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ} & & 40,200 \text{ MJ} & \\
 \hline
 \end{array}
 +
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 \text{B100 WtW GHG強度} & \times & \text{B100 エネルギー消費量} & \\
 \hline
 22.12 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ}^* & & 37,200 \text{ MJ} & \\
 \hline
 \end{array}
 = 60.22 \text{ gCO}_2\text{eq/MJ} \\
 \hline
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 \text{HFO エネルギー消費量} & + & \text{B100 エネルギー消費量} & \\
 \hline
 40,200 \text{ MJ} & & 37,200 \text{ MJ} & \\
 \hline
 \end{array} \\
 \text{エネルギー消費量}
 \end{array}$$

\*B100のGHG強度はNK仮定値

図3 複数の燃料を使用した場合のGHG強度の計算

### (3) 各燃料のGHG強度

IMOが策定したLCAガイドラインでは、合計128種類の燃料供給経路（fuel pathways）が定義されており、それぞれについてGHG強度のデフォルト値が算出可能となる。もっとも、現時点では多くの燃料についてデフォルト値がまだ確定していない状況にある。図4は、あくまで参考値として主要な燃料のWell-to-WakeベースのGHG強度の目安を示している。この図に示すように、各燃料のGHG強度には大きな差がある。例えば、重油（LSHFO）は約95gCO<sub>2</sub>eq/MJ、LNG（燃焼方式：Diesel slow）は約77gCO<sub>2</sub>eq/MJ、バイオ燃料B30では約76gCO<sub>2</sub>eq/MJ、B100では約22gCO<sub>2</sub>eq/MJ、さらにe-メタノールやe-アンモニアは10～13gCO<sub>2</sub>eq/MJ程度まで低い値となることが想定される。一方で、化石由来のグレーメタノールは約103gCO<sub>2</sub>eq/MJと重油よりも高い。このように、同じ燃料であっても、製造過程で用いられるエネルギー源や原料の由来によって、Well-to-WakeベースでのGHG強度は大きく異なる。

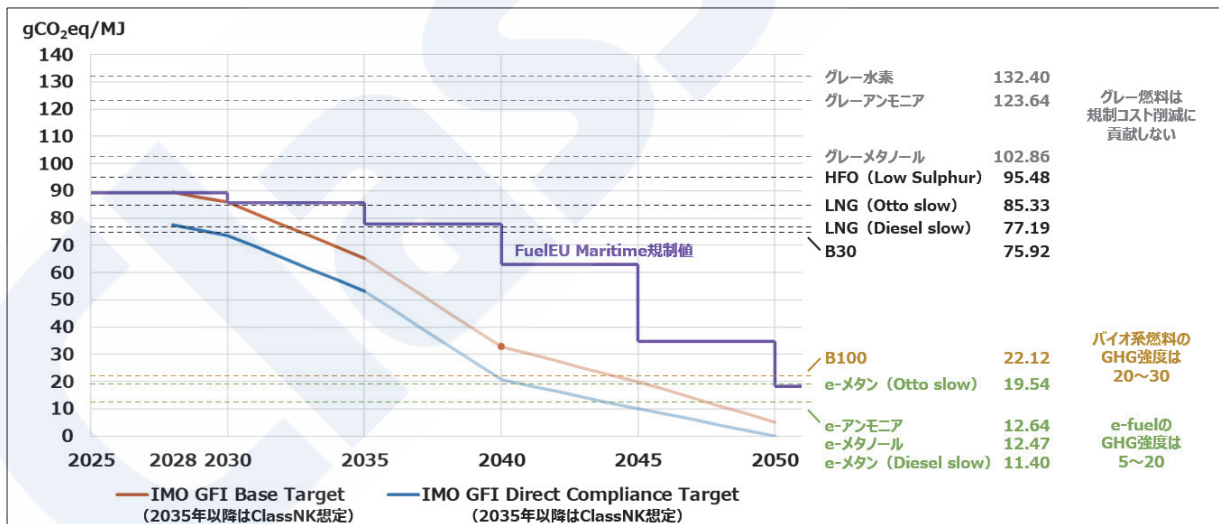


図4 各燃料のWell-to-Wake GHG強度の目安と規制値

### (4) 規制コスト構造と最適化

IMO中期対策の中核をなすのが拠出金制度である。これは、船舶の実績GHG強度が上限値を上回った場合に、その差分に応じて拠出金を支払う仕組みであり、拠出金額は図5のように計算される。2030年までの拠出金単価は、ダイレクト・コンプライアンス・ターゲット超過分（Tier 1）に対して100USD/t-CO<sub>2</sub>eq、ベース・ターゲット超過分（Tier 2）に対して380USD/t-CO<sub>2</sub>eqが提案されている。

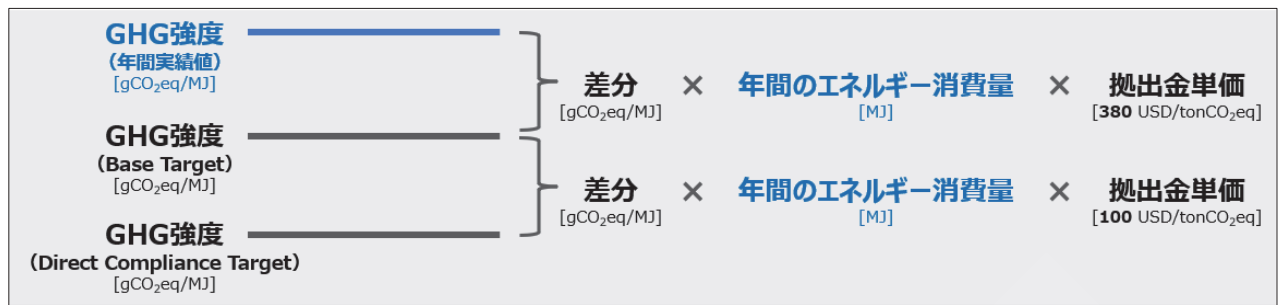


図5 排出金の計算方法

この制度のもとで、自主的な取組みにより排出金の負担を低減できる要素は、主として次の二点である。

- (a) GHG強度の年間実績値の低減（低炭素燃料の使用）
- (b) 年間のエネルギー消費量の削減（燃費改善）

このように、今後はこれらの最適化がコストの抑制と競争力確保の鍵となる。規制への対応策として、低炭素燃料の導入が注目されているが、実際に船舶が取り得る手段には一定の制約がある。このため、燃料転換だけでなく、船舶の運航効率やエネルギー利用効率の向上、すなわち「燃費改善」もこれまで以上に重要な要素となる。

### 3. 中期対策のコストインパクト

本章では中期対策によって発生するコストがどの程度になるかを把握するため、代表的な64,000DWTのばら積み貨物船を想定し、将来にわたって従来燃料の使用を継続する場合に想定されるコストの推移を試算した。当該試算における前提条件（全て2050年まで一定）は以下のとおりである。

- ・ 年間の燃料消費量：HFO5,000 ton
- ・ 燃料価格：500USD/ton
- ・ 排出金：(Tier 1) 100USD/tonCO<sub>2</sub>eq, (Tier 2) 380USD/tonCO<sub>2</sub>eq
- ・ 想定期間：2025～2050年

図6に示すとおり、燃料価格を一定と仮定した場合、2025年時点の年間コストはおよそ250万USD規模となる。一方、IMO中期対策の段階的強化により、規制コストが年々増加し、2030年代前半には燃料費を上回る水準に達する。特にベース・ターゲット超過分（Tier 2）の排出金の影響は大きく、2035年時点で2025年比+102%、2040年には+202%、最終的に2050年には+280%に達すると試算される。すなわち、重油を使い続ける場合、規制コストが船舶の運航費全体を大きく押し上げ、燃料費構造を根本的に変える可能性がある。この結果は、IMOの中期対策が低炭素燃料への移行を促すための強力な価格シグナルとして機能することを示している。燃料転換を行わない限り、GHG排出量に比例した規制コストの増大により、既存の燃料経済性の優位性は急速に失われる。特に、燃料費と中期対策の排出金の合計が運航コストの大半を占めるバルカーやタンカー等のセグメントでは、船主・運航者の収益構造に直接的な影響を与える。結果として、代替燃料導入、燃費改善対策、排出金の支払いや還付金の有無などを含むコスト管理戦略の再構築が不可欠となる。

また、図7に示すように、規制コストは、燃料消費量に概ね比例して増加する傾向がある。2028年時点の試算では、燃料を重油のまま使用し続けた場合、大型コンテナ船やVLOC（Very Large Ore Carrier）など燃料消費量の多い船舶ほど負担が大きく、最大で年間1,500万USDを超える水準に達する。一方、燃料消費量の少ない中小型船（例：ハンディサイズバルカーや小型コンテナ船）では、規制コストの絶対額は比較的限定的であるが、運航採算上は依然として無視できない水準となる。

このことから、中期対策コストの影響は船種やサイズによって異なるものの、燃費性能や運航効率の改善が全ての船舶で共通の課題であることが分かる。特に燃料消費量の多い船舶については、代替燃料の導入や運航の最適化といった優先的な対応策の検討が急務となる。



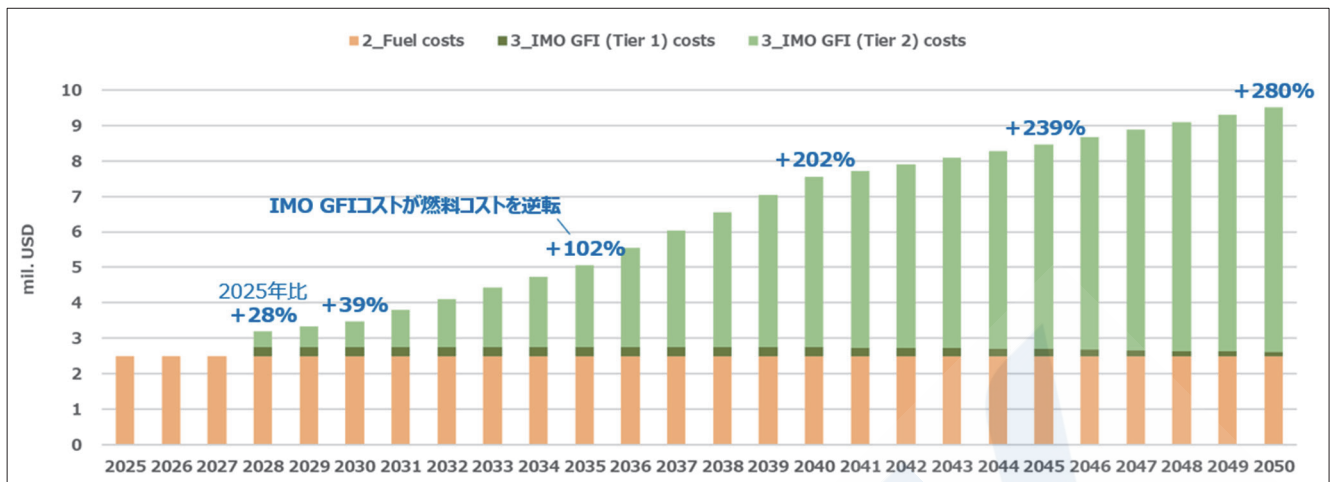


図6 重油の使用を継続した場合のコスト

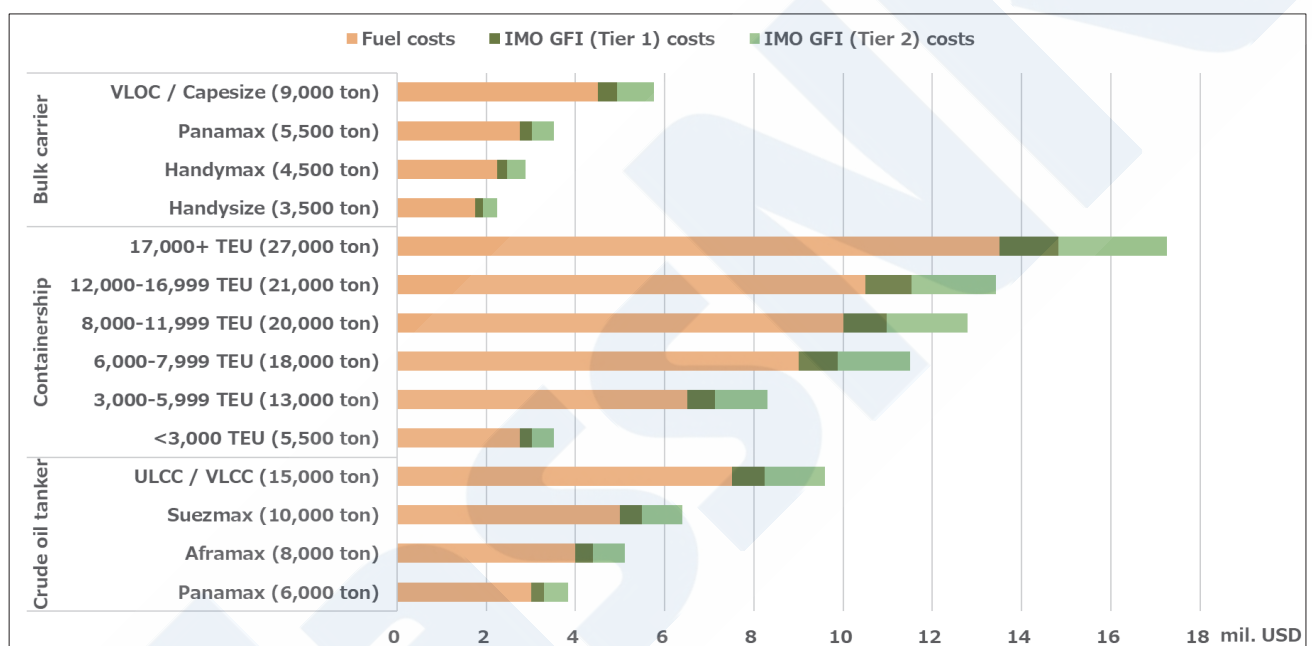


図7 2028年時点での船種／サイズ別のコスト

#### 4. コスト削減に向けた対策

本章では、規制コストの削減を目的とした各種対策について、その考え方や効果を具体的な事例に基づき検討する。IMO中期対策では、燃料のGHG強度に応じた拠出金負担が新たなコスト要素として加わるため、運航効率の改善や低炭素燃料の導入など、経済性と環境性を両立する取組みが一層重要となる。本章では、燃費改善、減速運航、および燃料併用を代表例として取り上げ、それぞれの対策が運航コスト構造に与える影響についてケーススタディを通じて明らかにする。

##### 4.1 燃費改善

中期対策においてコスト上昇を抑制する上で、まず取り組むべきは燃費改善である。燃料転換や代替燃料船への改造などと比較して、燃費改善は初期投資を抑えつつ即効性のある削減効果を発揮できる。本ケースでは、年間の燃料消費量5,000ton (HFO)の船舶を対象とし、燃費を5%改善して年間消費量4,750tonとした場合の影響を試算した。その結果を図8に示す。燃費を5%改善することにより、燃料使用量の減少に伴って燃料費が直接的に低減するほか、GHG排出量に比例して課される規制コストも同時に削減される。すなわち、燃費改善は燃料費の削減効果と規制対応効果を同時に得られる点で、極めて費用対効果の高い対策である。2040年までの13年間の累計でみると、燃費5%改善によって得られる削減効果は以下のとおりである。

- ・ 燃料費削減額： 約1,625,000USD
- ・ 規制コスト削減額： 約1,617,042USD

これらを合計すると、2040年までに約324万USDのコスト削減が見込まれる。すなわち、燃費改善による効果は、燃料費削減分とほぼ同額の規制コスト削減をもたらすことが確認できる。

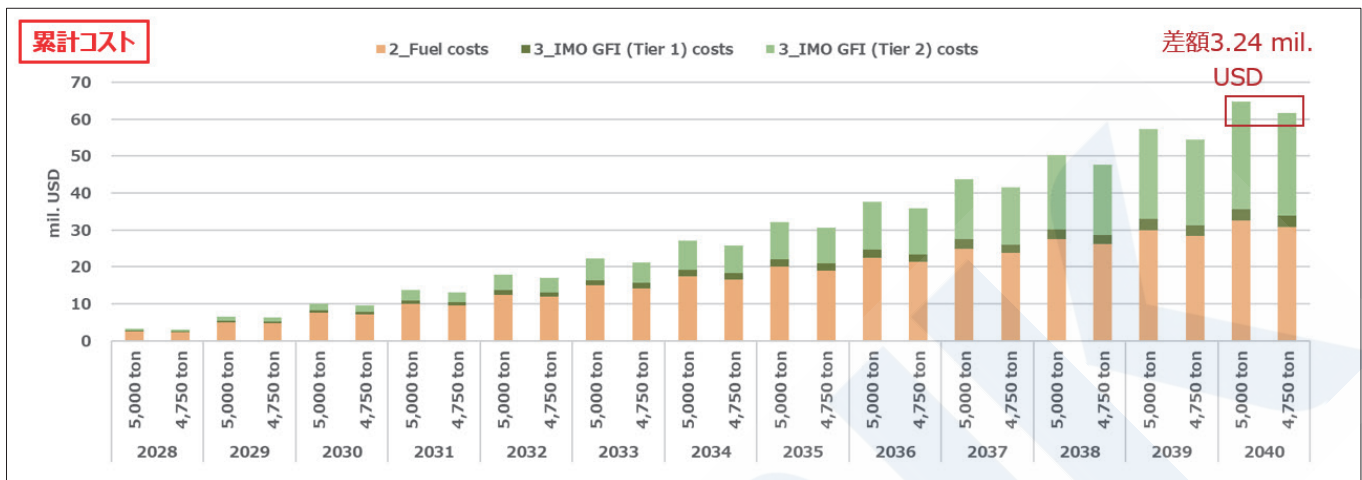


図8 燃費改善によるコスト削減効果

#### 4.2 減速運航

燃費改善の具体的な取組みとして、即時に実施可能である減速運航について検討する。船速を低下させることで燃料消費量を抑制できるとともに、GHG排出量および規制コストの低減にも寄与する点から、短期的又は中期的な対応策として有効かつ実用的な手段として注目される。

本ケースでは、フリート全体（ばら積み貨物船10隻）を対象に、2028年から2035年までの8年間、11.5knotからの減速運航を実施した場合の効果を比較した。ここでは燃料価格を500USD/tonとし、航行日数および消費燃料量の差を考慮して試算を行った。10.45knotに減速運航した場合、フリート全体の燃料コストおよび規制コストは最も低減する結果となった。

- ・ 通常運航（11.5knot × 10隻）： 8年間合計コスト＝約7.04億USD
- ・ 減速運航（10.45knot × 11隻）： 8年間合計コスト＝約6.75億USD

減速により運航効率が低下するため、同一期間において同等の輸送量を維持するためには1隻の追加投入が必要となるが、ここではフリート全体の船価も加味されており、上述のとおり総コストで約2,900万USDの削減効果が確認された。すなわち、燃料消費削減による経済的・環境的効果が、一定の運航効率の低下を上回る結果である。



図9 フリート全体の減速運転によるコスト削減

### 4.3 燃料の併用

IMO中期対策のもとでは、燃料のライフサイクルGHG強度が規制対象となり、重油などのGHG強度の高い燃料を使用し続ける場合、燃料価格に加えて規制コストが累積的に増大する。一方で、GHG強度の低い燃料を部分的に併用することで、排出コストを抑制しつつ、全体の運航コストを最適化することが可能である。本ケースでは、年間の燃料消費量5,000ton・HFOの船舶を想定し、IMOのベース・ターゲットを達成するように、重油（HFO）に対してバイオディーゼル（B30）を段階的に混合・併用した場合のコスト推移を試算した。前提条件は以下のとおりとした。

- ・ 年間燃料消費量：5,000ton
- ・ 燃料価格：HFO = 500USD/ton, B30 = 746.7USD/ton
- ・ 想定期間：2028～2040年

2028年時点ではB30の混合比30%から開始し、以降段階的に比率を増加させ、2033年以降にはB30を主体とする構成とした。図10の試算結果は、低炭素燃料の導入が単なる環境対応策にとどまらず、中長期的には経済的合理性を持つ選択肢であることを示している。とりわけ、バイオディーゼルなど既存インフラを活用できる燃料は、重油との併用によりスムーズな移行が可能であり、規制対応コストの抑制に寄与する。また、バイオ燃料価格が今後低下するような場合には、重油単独での運航よりも明確なコスト削減効果を発揮する可能性がある。したがって、燃料の併用は中期対策のもとで現実的かつ実効性の高い移行ステップとして位置付けられる。

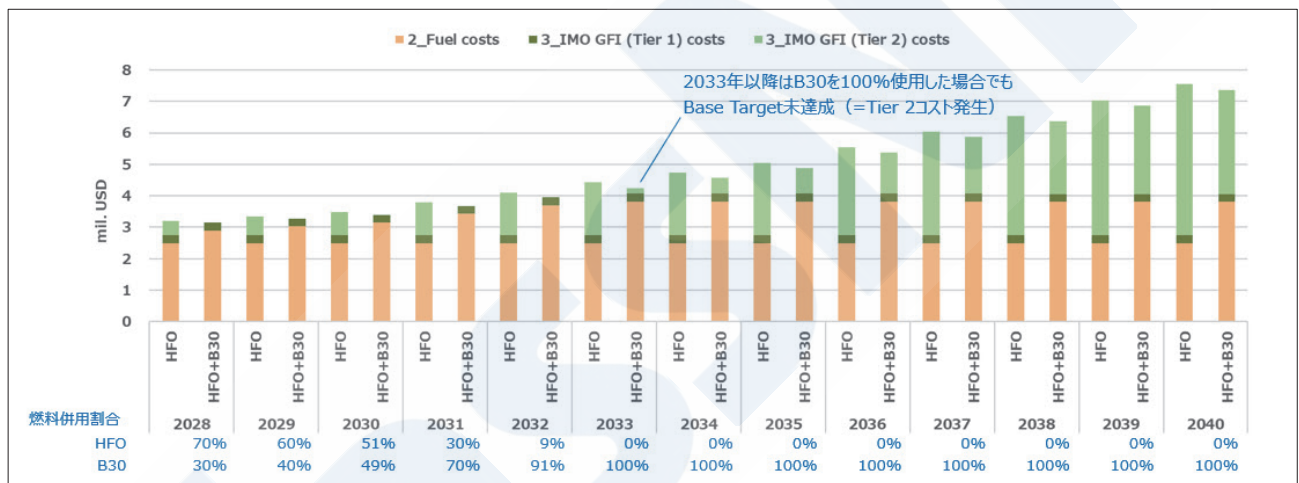


図10 燃料の併用によるコスト削減（毎年のベース・ターゲットを達成するように燃料を併用）

## 5. 本会のサービス

IMO中期対策やEU-ETS, FuelEU MaritimeといったGHG排出削減規制へ適切に対応するためには、これらの規制に伴うコストの把握だけでなく、燃料転換に伴う建造コストや燃料コストの変化も考慮した包括的なコストシミュレーションが不可欠である。本会では、こうした複雑化するコスト評価を顧客に代わって実施するため、「ClassNK フリート コスト シミュレーション」サービスを提供している。本サービスでは、将来的な燃料転換によるコスト変動を算出できる計算ツール“ClassNK Fleet Cost Calculator”に加え、フリート全体のコスト見通しをグラフや表で分かりやすく提示する試算レポートを提供する。計算ツールは、IMO中期対策やEU-ETS, FuelEU Maritimeといった規制対応コストのみならず、船舶の建造費や燃料費を含む包括的な試算に対応しており、将来のフリート戦略立案に幅広く活用できる。さらに、燃料価格、リプレース時期、燃費改善率、排出係数など、利用者のニーズに応じて前提条件を柔軟に設定することが可能である。燃料転換を考慮したシミュレーションや計算支援を通じて、企業が実効性の高い脱炭素戦略を策定し、将来の投資判断に資するよう支援している。



図11 ClassNK Fleet Cost Calculatorの画面イメージ

## 6. まとめ

IMO中期対策の導入により、燃料の選択や燃費性能が船舶の資産価値や投資判断に直接影響を及ぼす可能性がある。今後は「どの燃料を使用できるか」や「燃費性能の優劣」といった要素が、船舶の市場価値を左右することが想定される。投資判断においても、企業が明確な脱炭素戦略を有しているかどうかが評価対象となり、その結果が船価や資金調達条件に反映される可能性がある。

一方、運航面では配船計画やコスト管理がこれまで以上に複雑化し、最適運航や燃料調達、バンカリング戦略の有無が収益性に直結するようになる。トータルコストを抑制するためには、関係者を含めたサプライチェーン全体での協調的な対応が求められる。

今後の準備としては、まずは規制の動向を継続的に注視することが重要である。また、従来燃料船と代替燃料船の採算性、さらには用船料や運賃への影響を見据えたシミュレーションを実施し、関係者間で将来像の共通認識を形成しておくことが求められる。これらの取組みが中期対策の導入後における円滑な移行と競争力維持に寄与すると考えられる。

本会は、今後も最新の国際動向を踏まえた情報発信やコストシミュレーションサービスなどを通じて関係者の実務的な対応を支援していくとともに、海運業界全体の脱炭素化推進を後押ししていく。

## 参考文献

- 1) 2024 Guidelines on life cycle GHG intensity of marine fuels (2024 LCA Guidelines)  
(Resolution MEPC.391(81))