

ClassNK 代替燃料インサイト

渡辺 博之*

1. はじめに

2023年7月、国際海運において新たなGHG排出削減目標が掲げられた。「2050年頃までにGHG排出ネットゼロ」である。これは、将来的に国際海運全体で代替燃料が必要とされることが決まった、国際海運にとっての言わばターニングポイントである。今後、国際海運は2050年に向けて大規模な燃料転換の時代を迎えることになる。

一方で、船舶で利用可能な代替燃料は多岐にわたる。多岐にわたるが故に、船舶の種類やサイズ、航路などに応じてどの燃料をどのタイミングで導入していくかが今後の海運ビジネスを左右することになる。導入検討のためには、代替燃料に関する技術的事項だけでなく、燃料の調達可能性やコスト見通しなどを含む代替燃料全体の動向把握が欠かせない。

本会は、そのような燃料選択のサポートを目的として、「ClassNK 代替燃料インサイト」を発行している。本インサイトでは、代替燃料を導入する上で最低限押さえておかなければならないポイントを「規制を理解する」「トレンドを知る」「代替燃料を理解する」「コストを把握する」の4つのステップに分けて紹介している。本稿は、「ClassNK 代替燃料インサイト」の内容理解を助けることを目的として、その概要を解説するものである。

2. 規制を理解する

2.1 GHG排出のコスト化

なぜ代替燃料を導入する必要があるのか。それは、船舶からのGHG排出がコストとなる時代がまもなく到来するためである。国際海運からのGHG排出に影響を及ぼす2つの規制主体である国際海事機関（IMO）および欧州連合（EU）は、GHG排出削減目標としてそれぞれ「2050年頃までにGHG排出ネットゼロ」、「2050年までにGHG排出ネットゼロ」を掲げている。EUの目標は海運に限ったものではなく、あくまでEU全体の目標ではあるが、脱炭素経済の実現を強力に推進するEUの政策は国際海運の動向にも影響を及ぼしている。そして、これらのGHG排出削減目標、すなわちGHG排出ネットゼロを国際海運において実現するためには、船舶の燃費改善だけでなく、従来燃料油よりもGHG排出の少ない、いわゆる「代替燃料」の利用が不可欠となる。一方で、代替燃料の価格は従来燃料油の価格よりも総じて高く、両者の価格差が埋まらない限りは代替燃料の利用は進まない。そこで、IMOやEUは、代替燃料の利用を促進する規制、言い換えると、従来燃料油の需要を減退させるような規制を導入することになる。いわゆるカーボンプライシングであり、GHG排出のコスト化である。IMOとEUの規制導入のスケジュールは図1の通りである。IMOは2027年の規制導入を目指しており（中期対策）、EUは2024年にすでにそのような規制を導入し（海運EU-ETS）、2025年には新たな規制を導入する（FuelEU Maritime）。この通り、GHG排出のコスト化は待ったなしの状況である。

* 企画本部 グリーントランスフォーメーションセンター



図1 GHG関連規制の導入スケジュール

2.2 IMO 中期対策

IMOのGHG排出削減目標には、2050年という一つの大きな時間的制約に加えて、2030年および2040年という時間軸がある。IMOはGHG排出削減を実現するための規制をこの時間軸に基づいて導入する。2030年という「短期的な」スパンでのGHG排出削減を目指して導入されてきたこれまでの規制は「短期対策」と呼ばれている。短期対策では主に船舶の燃費改善に焦点が当てられていた。一方で、2040年という「中期的な」スパンでのGHG排出削減を目指して今後導入される規制は「中期対策」と呼ばれている。中期対策では、上述の通り、代替燃料の利用促進に焦点が当てられている。

代替燃料の利用を促進する規制の手法、すなわち、GHG排出のコスト化という市場メカニズムに基づいて従来燃料油からの転換を図る規制の手法には主に2つの手法がある。1つ目の手法は、GHG排出に対する単純な課金である（課金制度）。課金制度においては課金によるコストは燃料種類を問わずGHG排出量に応じて等しく発生することになるため、課金制度はゼロエミッション燃料以外の全ての燃料がそのコスト負担の対象となり得る点に特徴がある。一方で、2つ目の手法は、燃料のエネルギー当たりのGHG排出量、すなわち燃料のGHG強度を規制する手法である（燃料のGHG強度規制）。なぜエネルギー当たりなのかと言うと、船舶を1マイル動かすために必要となる燃料の量（重量ton）は燃料種類によって異なるが、その際に取り出されたエネルギー量は全ての燃料において等しい。従って、「燃料の燃焼によってエネルギーを取り出した際に一体どの程度のGHGが排出されたのか」を示す指標を用いることで、各燃料のGHG排出量を等しく比較することが可能となるのである。GHG強度の単位としては $\text{gCO}_2\text{eq}/\text{MJ}$ などがある。 CO_2eq とは CO_2 相当を意味しており（eqはequivalentの略である）、これは、温室効果がそれぞれ異なるGHGである二酸化炭素（ CO_2 ）、メタン（ CH_4 ）、亜酸化窒素（ N_2O ）などの排出量を全て CO_2 に換算して計上していることを表している。もちろん、 CO_2 のみを計上する場合でも便宜的に CO_2eq が使用されることもある。MJはエネルギーの単位であり、megajoule（メガジュール）の略である（メガは100万）。規制の話に戻ると、GHG強度に対する規制とは、GHG強度に一定の閾値を設けることで閾値を上回るGHG強度である燃料の使用を制限しようというものである。もちろん、閾値を上回る燃料の使用を完全に禁止するという運用も可能ではあるが、現実的には、閾値を上回る燃料の使用に対して罰金の支払いを求めることでその燃料の継続使用を認めるという運用がなされることになる。このような運用の場合、GHG強度規制とは、実質的には閾値を上回る過度なGHG排出に対する課金制度とも言える。なお、閾値の設定によっては、GHG強度の低い特定の燃料を使用した場合には罰金を回避することが可能となるため、燃料のGHG強度規制はゼロエミッション燃料だけでなく低排出燃料にとっても規制上の競争力がある点に特徴がある。閾値をいつの時点でどの程度の水準に設定するのかによって各燃料のGHG排出コストの大小が決定されるため、そこが政策的な論点となる。

IMOでは、2027年以降の導入に向けて、上述の2つの手法を軸に中期対策の内容についての議論が進められている。議論の争点は、規制の手法の選択および規制によりIMOに集まることになる課金収入・罰金収入の用途である。なお、課金収入・罰金収入の用途の候補としては、高コストである代替燃料を使用した船舶への燃料費の還付や途上国への支援などが挙げられている。

2.3 欧州地域規制

EUでは、IMOに先行して、代替燃料の利用を促進する規制の導入が開始されている。2024年には、EUですでに実施されている排出量取引制度（EU-ETS）が海運セクターへ拡大された（海運EU-ETS）。排出量取引制度とは、あらかじめ設定された排出枠に対する実際の排出量の過不足を取引する制度であるが、海運EU-ETS

の大きな特徴は、そのあらかじめ設定された排出枠がないということである。すなわち、海運EU-ETSでは、対象となる実際の排出量がそのまま排出枠の不足と見なされる。この点で、海運EU-ETSは実質的にはGHG排出に対する課金制度と言える。そして、海運EU-ETSに続いて2025年からの導入が決定している新たな規制がFuelEU Maritimeである。FuelEU Maritimeは上述のGHG強度規制であり、GHG強度の閾値を上回る燃料の使用に対して罰金を科す内容となっている。

海運EU-ETSおよびFuelEU Maritimeは、あくまでEUの地域規制でありながらも、規制の対象をEUの内航船に限定せず、EUの港湾に出入港する船舶を規制の対象としている点に特徴があり、国際海運に影響を及ぼそうとするEUの意図が透けて見える政策となっている。EU関連航海に従事する船舶においては、これらのEUの規制の内容を正確に理解した上で燃料選択を行うことが戦略上重要となる。本会では、EUの規制の概要や規制対応のための必要な準備・手順の解説等をQ&A方式でまとめたFAQを発行しているため、ぜひ参照してほしい。

2.4 GHG排出コストの増加

ここまで、IMOとEUの新たな規制の大枠について解説したが、それでは、これらのGHG排出規制によるコスト負担はどの程度が想定されるのか。図2は、燃料消費量が多いとされるコンテナ船の中でも特に14,000TEUのコンテナ船を例に、規制コスト負担の増加イメージを示したものである。なお、IMOの中期対策の内容は未確定であるため、ここではFuelEU Maritimeと同様の内容の規制が中期対策で採用された場合を想定している。もちろん、IMOの規制はEU関連航海だけでなく、全航海からのGHG排出が対象となるため、そのコスト負担はEU関連規制によるコスト負担と比較して大きなものとなる。参考として、従来燃料油の価格をUSD522.6/ton（USD13.0/GJ）と想定した上で14,000TEUのコンテナ船の平均的な年間燃料消費量（23,000ton）を基に算出した燃料コストを掲載しているが、ご覧の通り、IMOの中期対策の内容次第では、規制コストは燃料コストをはるかに上回る水準に達する可能性がある。IMOやEUによる新たなGHG排出規制は代替燃料の利用促進すなわち従来燃料油からの転換を図ることがその目的であるため、規制コストの水準が「価格の高い代替燃料」と「価格の低い従来燃料油」の価格差を埋めるような水準に設定されるのは当然と言えば当然である。

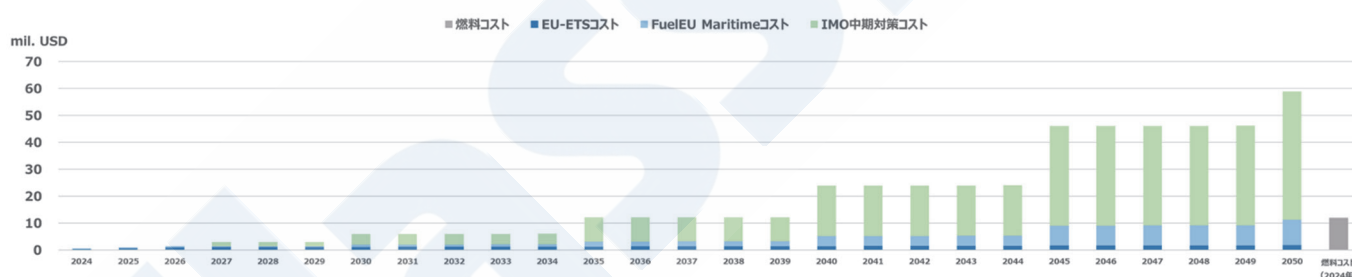


図2 GHG排出コストの増加イメージ

3. トレンドを知る

3.1 代替燃料船の採用動向

GHG排出規制を理解した次のステップは、代替燃料のトレンドを把握することである。代替燃料の需要サイドの動向は燃料供給サイドの動向に影響を与え、両者の動向は代替燃料の調達可能性や調達価格に影響を与える。

将来の規制対応を見据えて、国際海運では代替燃料を使用可能な船舶（以下、代替燃料船）の採用が徐々に拡大している。本節以降では、代替燃料船の採用動向について紹介する。なお、紹介する内容はいずれも2024年6月末時点での情報に基づくものである。船舶の集計対象は、IMOやEUの今後のGHG排出規制で対象船となる総トン数5,000トン以上の船舶を対象としている。総トン数5,000トン以上に限定することで、規制対象船の動向を正確に把握し、規制がこれらの対象船に及ぼす影響を正確に把握しようという意図がある。また、代替燃料船の集計結果には、将来的に代替燃料を使用するための設計もしくは部分的な設備の搭載を実施済の船舶である、いわゆる代替燃料Ready船は含めていない。代替燃料Ready船には、代替燃料を使用するための設計のみを実施済の船舶から部分的な設備の搭載を実施済の船舶まで、実に様々な船舶が混在している。これらの船舶の将来の代替燃料船への転換可能性を正確に把握するのは困難なため、代替燃料船のトレンドを見誤らないためにも、代替燃料Ready船は集計結果には含めていない。さらに、代替燃料船の一つであるLNG燃料船の

集計結果には、LNG運搬船を含めていない。これは、LNG運搬船ではその貨物であるLNGを燃料として使用することが一般的となっており、代替燃料化が十分に進展しているためである。LNG運搬船を集計対象からあえて除外することで、LNG運搬船以外の船舶における代替燃料の採用動向の把握に努めている。

3.2 代替燃料船の竣工状況・就航状況

本節では、代替燃料船のこれまでの竣工状況および就航状況について紹介する。代替燃料船の竣工は2021年より急速に増加しており（図3）、2021年の竣工隻数62隻に対して、2023年には167隻の竣工があった。燃料別に見ると、過半数はLNG燃料船である。LNG燃料は、インフラ整備や燃料の調達可能性、調達価格などの観点で他の代替燃料よりも優位に立っている。一方で、2024年以降に竣工予定の船舶ではメタノール燃料船も一定のシェアを占めている。コンテナ船社によるメタノール燃料船の発注を契機として、常温常圧で液体であることにより船舶での取り扱いが比較的容易なメタノール燃料に注目が集まっている。なお、造船所の船台がほぼ確定している2026年竣工予定までの代替燃料船を集計すると、2026年時点では1,250隻の代替燃料船が就航している見込みである（図4）。

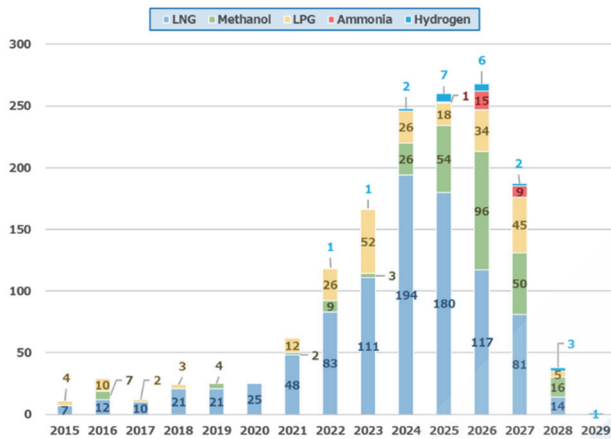


図3 代替燃料船の竣工隻数の推移

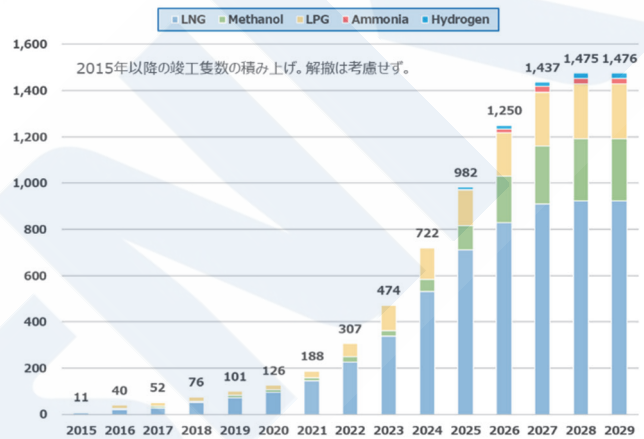


図4 代替燃料船の就航隻数の推移

3.3 代替燃料船の普及割合

継続的に増加している代替燃料船であるが、国際海運全体に占めるその普及割合はどの程度であるのか。図5は、代替燃料船の普及割合について、就航船全体に占める割合と発注残全体に占める割合をそれぞれ示している。就航船に占める代替燃料船の割合は隻数ベースで1.7%であり、発注残に占める代替燃料船の割合は隻数ベースで21.5%である。このように、代替燃料船の普及は現時点では限定的であるものの、IMOやEUによるGHG排出のコスト化を伴う新たなGHG排出規制が今後本格化すれば、従来燃料油の継続使用による規制コスト負担の増加や船舶自体の座礁資産化を回避するためにも、代替燃料船の採用が急速に拡大するものと考えられる。

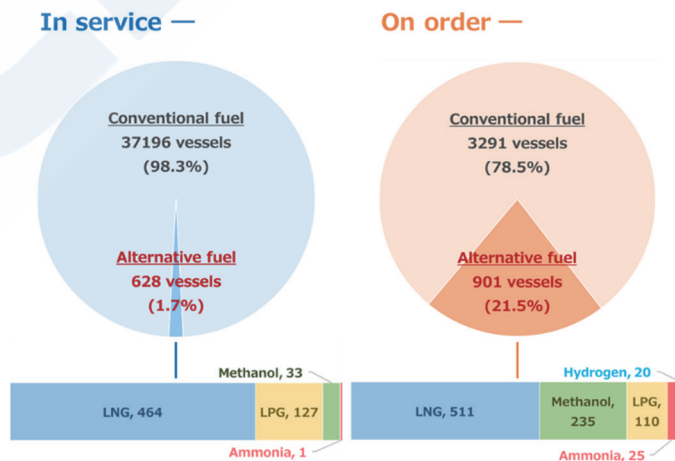


図5 代替燃料船の普及割合

3.4 代替燃料船の就航状況・発注状況（船舶の種類別）

代替燃料のトレンドを把握する上では、船舶の種類別のトレンドを把握することもまた重要である。トレンドの逆を行く燃料船の選択は、ハイリスク・ハイリターンな投資となり得る。船舶の種類別のトレンドを見てみると、LPG運搬船を除く全ての船舶でLNG燃料船が最も多く就航している（図6）。なお、LPG運搬船では、LPG燃料主機関の登場以降、LPG燃料船の採用が拡大している。また、プロダクト/ケミカルタンカーでは、メタノール燃料船の就航も一定数見られる。これは、プロダクト/ケミカルタンカーのカテゴリーには化学品としてのメタノールを運搬するメタノール運搬船が含まれているためである。メタノール運搬船の一部はメタノールを燃料として使用可能なメタノール燃料主機関を搭載していることから、メタノール燃料船である。一方で、代替燃料船の発注については、代替燃料船の就航状況と比較すると、コンテナ船を中心にばら積み貨物船や自動車運搬船においてもメタノール燃料船の発注が拡大している（図7）。また、一部の船舶ではアンモニア燃料船の発注も見られる。

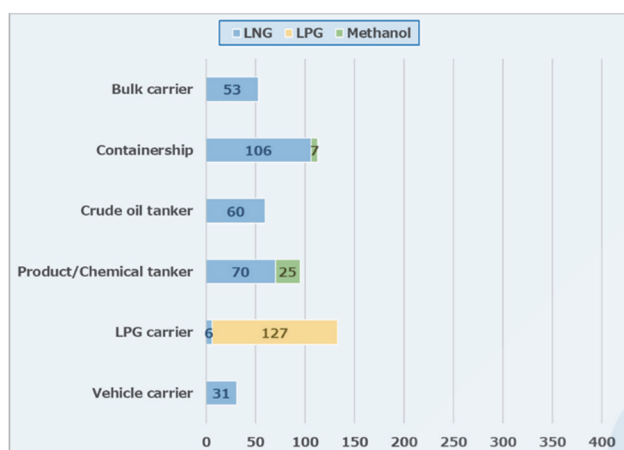


図6 代替燃料船の就航状況（船舶の種類別）

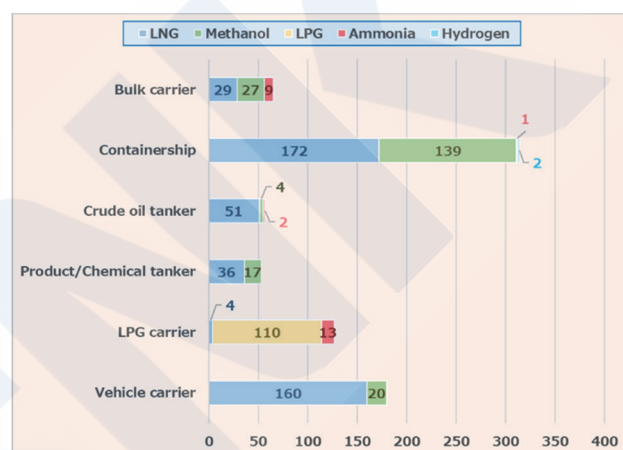


図7 代替燃料船の発注状況（船舶の種類別）

4. 代替燃料を理解する

4.1 燃料の物性

代替燃料のトレンドを把握した次のステップは、代替燃料自体について理解することである。燃料としての化学的な特徴はもちろんのこと、規制における排出係数の違いやコスト、燃料の需給動向などを理解して初めて、適切な燃料選択が可能となる。本節では、各燃料の物性について紹介する。表1は、各燃料の物性を一覧にまとめたものである。

表1 燃料の物性一覧

燃料種類	HFO	LNG (メタン)	LPG		メタノール	アンモニア	水素
			プロパン	ブタン			
TtW CO ₂ 排出量 【HFO = 1】	1	0.73	0.85	0.86	0.90	0	0
TtW GHG排出量 【HFO = 1】	1	0.82	0.85	0.86	0.92	0.04	0.01
同量のエネルギーを得るのに必要な 燃料ton 【HFO = 1】	1	0.84	0.87	0.88	2.02	2.16	0.34
液体時 燃料タンク容量 【HFO = 1】	1	1.89	1.69	1.41	2.47	3.07	4.63
燃焼性（爆発下限界）	0.7 vol%	5.0 vol%	2.1 vol%	1.8 vol%	6.0 vol%	15.0 vol%	4.0 vol%
毒性（TLV-TWA*）	-	-	-		200 ppm	25 ppm	-
低温・極低温（沸点）	- (Liquid at normal temp.)	-161℃	-42℃	-0.5℃	- (Liquid at normal temp.)	-33℃	-253℃

表1におけるCO₂排出量およびGHG排出量は、EUのFuelEU Maritime規則に記載の排出係数を基に算出したものである。TtWはTank-to-Wakeの略であり、燃料の船上での使用時（燃焼時）の排出を意味する。CO₂排出量に関して、LNG（メタン）やLPG、メタノールのCO₂削減効果は限定的である一方、CO₂の元となる炭素（C）を含まないアンモニア（NH₃）および水素（H₂）についてはCO₂の大幅な削減が期待できる。GHG排出量については、LNG（メタン）のGHG削減効果がCO₂削減効果と比較してより限定的となる。これは、LNG（メタン）の燃焼時において、CO₂の約30倍の温室効果があるとされるメタンの未燃排出（メタンスリップ）の存在が規制において認識されているためである。

重量当たりのエネルギー密度の違いにより、一部の代替燃料の必要量（ton）は従来燃料油と比較して増加する（従来燃料油は表1ではHFOとして掲載）。従来燃料油と同じエネルギーを得るためには、メタノールは従来燃料油比で2.02倍、アンモニアは同2.16倍の量（ton）の燃料が必要となる。従って、例えば燃料価格の比較時には各燃料のton当たりで単純比較してはならないことに注意が必要である。

体積当たりのエネルギー密度の違いにより、各代替燃料の燃料タンク容量は従来燃料油と比較して大きくなる。従来燃料油と同じエネルギーを得るためには、LNGは従来燃料油比で1.89倍、メタノールは同2.47倍、アンモニアは同3.07倍、水素は同4.63倍の大きさの燃料タンク容量が必要となる。設計次第ではあるが、燃料タンク容量の増加は貨物スペースの縮小に繋がる可能性があり、逆に燃料タンク容量の維持・縮小は補油回数（代替燃料の補給回数）の増加に繋がる可能性がある。

燃焼性に関しては特にアンモニアに特徴があり、アンモニアは15.0vol%以上の濃度で大気中に存在しない限り爆発には至らないという、他の代替燃料と比較して爆発しにくい性質を持つ。

毒性に関して、メタノールおよびアンモニアには毒性がある。特にアンモニアは、比較的低い濃度でも繰り返し曝露された場合には健康上の悪影響を被るとされ、極めて強い毒性がある点が懸念されている。

4.2 代替燃料の排出係数

代替燃料の導入検討に際しては、各代替燃料の排出係数を正確に把握する必要がある。排出係数はGHG排出コストに直結する。排出係数は規制毎に異なる可能性があり、留意が必要である。図8は、EUのFuelEU Maritime規則に記載の排出係数を基に算出した、各燃料のエネルギー当たりの排出量を示したものである。上述の通り、各燃料のGHG排出量を等しく比較するためには、重量ton当たりではなくエネルギー当たりの排出量で比較する必要がある。

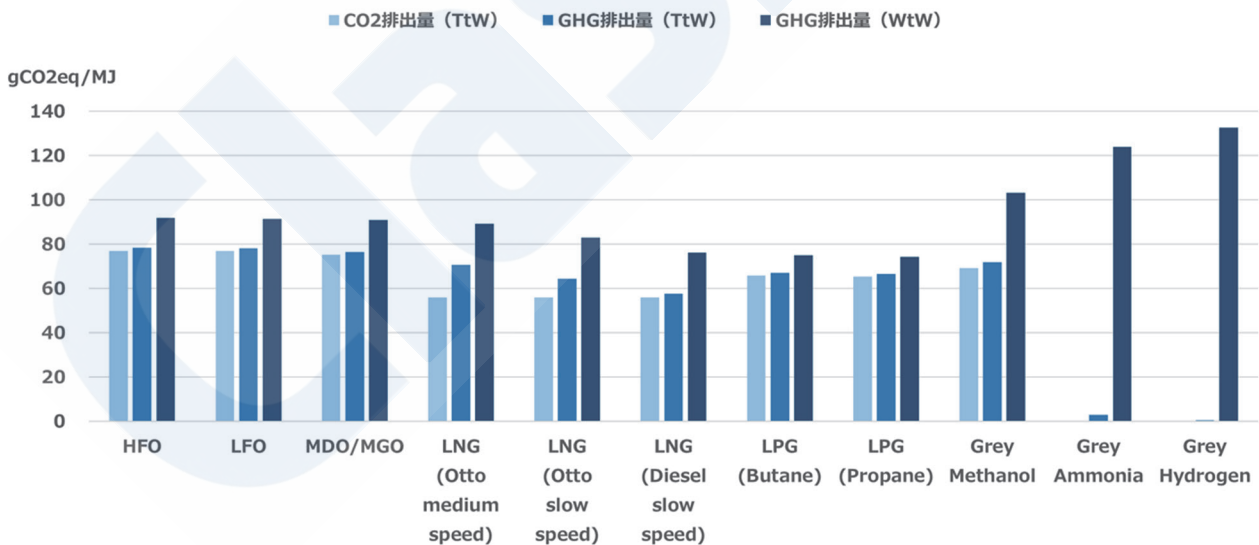


図8 燃料のエネルギー当たりの排出量

TtWはTank-to-Wakeの略であり、燃料の船上での使用時（燃焼時）の排出を意味する。WtWはWell-to-Wakeの略であり、燃料の製造から船上での使用（燃焼）までのライフサイクル全体での排出を意味する。GHG排出コストを把握するためには、各規制における排出係数の違いに加えて、各規制が対象とする排出の範囲を認識することが重要である。例えば、海運EU-ETSはTtWにおけるCO₂排出、2026年以降はTtWにおけるGHG排出を対象としており、FuelEU MaritimeはWtWにおけるGHG排出を対象としている。IMOの中期

対策における排出のスコープについてはWtWにおけるGHG排出となる可能性が高いものの、現時点では未確定であり、規制において使用する排出係数についてもIMOでの議論が続いている。排出のスコープによって各燃料の規制上の有利・不利は大きく異なるため、代替燃料船の発注検討時には、このような排出係数の違いも考慮しながら、どの燃料をどのタイミングで導入するのかを慎重に検討する必要がある。

4.3 代替燃料のコスト

代替燃料の導入検討に際しては、各代替燃料のコストについて理解することが欠かせない。図9は、2030年時点での各代替燃料のコスト見込みをその製造経路と共に示したものである。なお、最終的な調達価格については実際の需給に応じて変動することに留意が必要である。

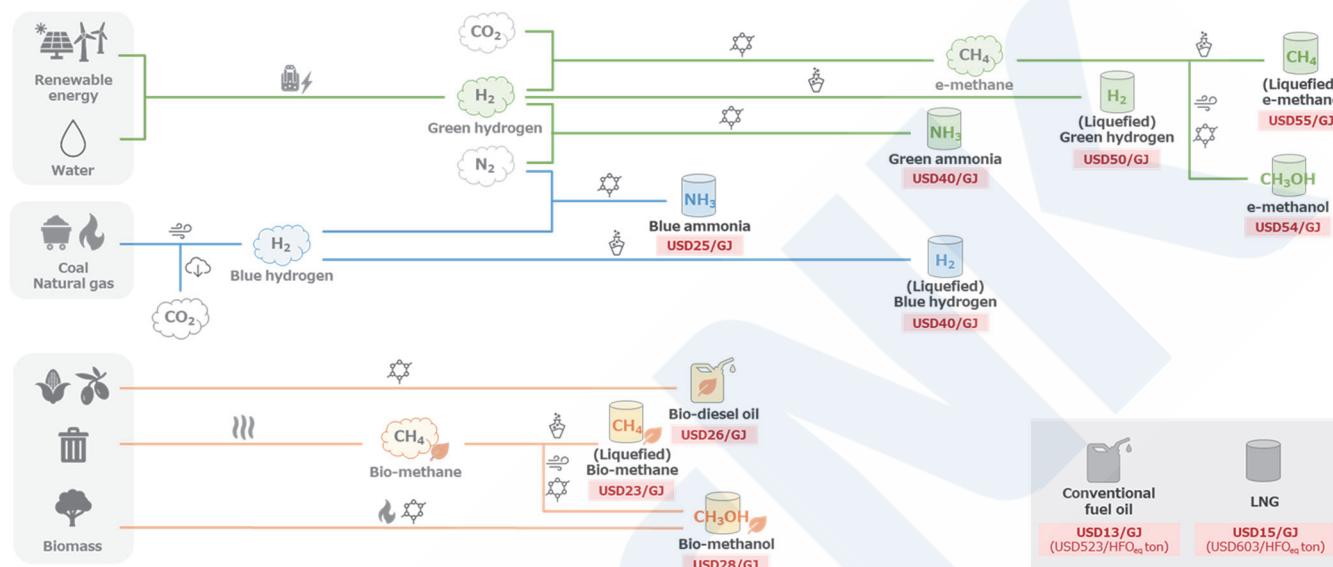


図9 代替燃料の製造経路・コスト

国際海運において利用が想定される代替燃料は、二種類以上の元素からできている化合物である（水素を除く）。従って、各代替燃料は基本的には各元素を合成して製造される。炭素を含まないアンモニア（ NH_3 ）や水素（ H_2 ）は燃焼しても CO_2 を排出しないことから、ゼロエミッション燃料とされている。一方で、炭素原子を含むメタン（ CH_4 ）やメタノール（ CH_3OH ）などについては燃焼時には CO_2 を排出する。従って、これらの燃料については、「動植物（バイオマス）によって」もしくは「人工的に（大気直接回収によって）」 CO_2 を含め基となる炭素を回収して製造された場合に限り、大気中の CO_2 収支がゼロとなり、カーボンニュートラル燃料と見なされる。すなわち、炭素を循環させる必要がある。

代替燃料は、燃料の製造方法によって3つに大別される。1つ目は、再生可能エネルギー由来の電気を用いて水から取り出されたグリーン水素から製造される、いわゆるe-fuelである。e-fuelはelectrofuelの略である。2つ目は、化石燃料から取り出されたグレー水素から製造され、かつ、製造時に排出された CO_2 を回収・貯留した、いわゆるブルー燃料である。3つ目は、動植物（バイオマス）から取り出された炭素や水素から製造された、いわゆるバイオマス由来の燃料である。

代替燃料のコストは、水素や炭素を取り出す際のコストによって左右される。水素については、水から再生可能エネルギー由来の電気を用いて取り出す方が化石燃料から取り出すよりもコストは高い。炭素については、大気直接回収によって取り出す方がバイオマスから取り出すよりもコストは高い。結果として、グリーン水素から製造されるe-fuelが最もコストが高く、ブルー燃料やバイオマス由来の燃料のコストは相対的に低い。なお、バイオマスはその供給量自体に資源的な制約があるため、その調達可能性については留意する必要がある。

4.4 代替燃料の需要

本節では、代替燃料の需要について紹介する。代替燃料の需要サイドの動向は燃料供給サイドの動向に影響を与え、両者の動向は代替燃料の調達可能性や調達価格に影響を与える。

4.4.1 国際海運における燃料消費量

代替燃料の需要見通しを理解するためには、現在の国際海運における燃料消費量を理解することがその第一歩となる。国際海運における燃料消費量について、IMOでは燃料消費量実績の報告制度が2019年より開始され

ている。本制度の対象となる国際航海に従事する総トン数5,000トン以上の船舶は、燃料消費量等のデータを収集し、報告することが義務付けられている。IMOから公表されるこれらのデータの統計値を基に本会が集計したところ、国際海運における燃料消費量（2023年）は合計で2.16億ton（Heavy Fuel Oil換算）であった（表2）。2050年GHG排出ネットゼロを目指す上では、将来的にはこの2.16億ton分のエネルギーを代替燃料等で賄う必要がある。今後の海上輸送量の増加やエネルギー効率の改善による増減はもちろんあるものの、例えば、この2.16億tonを全量メタノールに転換する場合には4.4億tonのメタノールが必要となり、全量アンモニアに転換する場合には4.7億tonのアンモニアが必要となる。

表2 国際海運における燃料消費量（単位：ton）

	Heavy Fuel Oil (HFO)	Light Fuel Oil (LFO)	Diesel/Gas Oil (MDO/MGO)	LNG	LPG (Propane)	LPG (Butane)	Methanol	Ethanol	Other	Total (HFO換算)
2021年 (28,171隻) (12.5億GT)	109,169,447	64,479,128	25,732,999	12,623,121	34,973	2,028	13,031	4,849	170,501	217,710,495
2022年 (28,834隻) (12.9億GT)	116,576,283	57,077,835	28,285,802	10,950,408	88,774	16,673	35,523	10,890	226,739	218,339,992
2023年 (28,620隻) (13.0億GT)	130,441,745	40,416,174	26,600,016	12,890,011	192,405	49,887	93,876	4,137	428,263	215,833,384

4.4.2 代替燃料の需要見通し

前項の通り、今後国際海運で必要となる代替燃料の量は膨大であるが、現実的には、代替燃料の需要増加のペースに合わせて供給も徐々に拡大することになる。その代替燃料の需要増加のペースについて、代替燃料船の発注残を基に推計した今後の見通しは図10の通りである。なお、ここではLNG運搬船によるLNG燃料の需要も含まれている。また、2024年以降に竣工する代替燃料船（二元燃料船）については代替燃料のみを使用するものと想定し、代替燃料の使用に伴うパイロット燃料（従来燃料油）の使用は想定していない。すなわち、ここでの需要見通しは国際海運における代替燃料の最大需要見通しとなる。実際の代替燃料の使用量は代替燃料と従来燃料油の価格差等を考慮しながら調整されることになる。

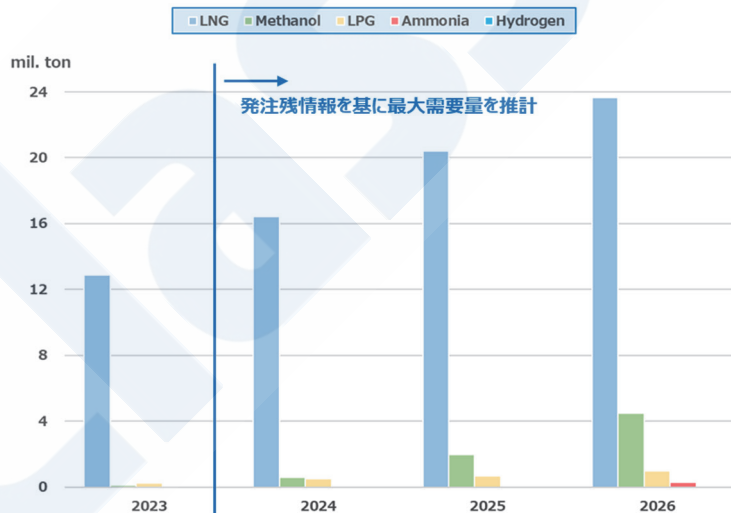


図10 代替燃料の最大需要見通し

LNG燃料については、LNG燃料船の大量竣工により2026年時点で最大で2,400万tonの需要が見込まれている。メタノール燃料については、コンテナ船を中心にメタノール燃料船の竣工が相次ぐ結果、2026年時点で最大で450万tonの需要が見込まれている。LPG燃料については、利用を想定する船舶の種類が現時点でLPG運搬船のみのため、2026年時点で想定される最大需要は100万tonに留まる。アンモニア燃料および水素燃料については、現時点で想定される需要は限定的ではあるが、アンモニア燃料船および水素燃料船の開発完了に伴い、今後の需要拡大が期待される。

4.5 代替燃料の供給

国際海運からのGHG排出削減には代替燃料の安定的な供給が不可欠である。本節では、グリーン水素、グ

リーンアンモニア，グリーンメタノール，およびグリーンメタンに焦点を当てて，2023年10月時点で公表されている世界の製造プロジェクト情報²⁾を基に集計した今後の各燃料の製造能力の見込みについて紹介する。なお，グリーン水素は，再生可能エネルギー由来の電気で水を電気分解することで製造され，製造から船上での使用（燃焼）までのライフサイクル全体でのGHG排出の極めて少ない燃料である。グリーン水素から製造されるグリーンアンモニア，グリーンメタノール，およびグリーンメタンについても同様に，ライフサイクル全体でのGHG排出は極めて少ないもしくはカーボンニュートラルとされる。IMOおよびEUの今後の規制において，このようなグリーン水素由来の燃料は規制コスト競争力があり，今後の需要増加が見込まれている。なお，今回集計した製造プロジェクトにおける燃料の供給先は海運セクターに限定されたものではないため，国際海運への供給見込みについては不透明であることを先に断っておく。

4.5.1 グリーン水素の製造能力見込み

グリーン水素の製造能力見込みは，公表されているプロジェクトのうち稼働開始年の最も遅いプロジェクトまで含まれる2040年時点で，合計で年産約4,900万tonである（図11）。なお，プロジェクトの大半は現時点でConcept段階あるいはFeasibility study段階にあるため，プロジェクトの実現可能性は不透明である。2040年時点での国・地域別でのグリーン水素の製造能力見込みは図12の通りである。欧州の他，再生可能エネルギーが豊富でグリーン水素の製造適地とされている南米や豪州でも一定数のプロジェクトが計画されている。

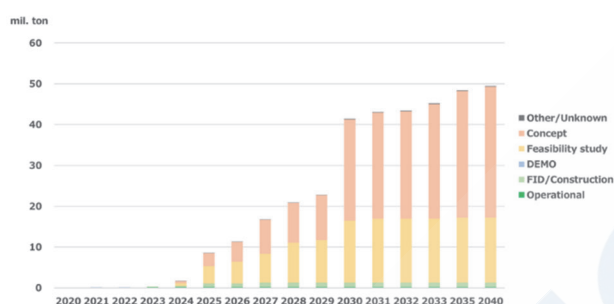


図11 グリーン水素の製造能力（年別）

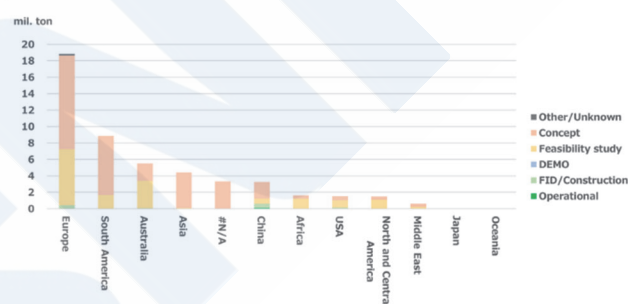


図12 グリーン水素の製造能力（国・地域別）

4.5.2 グリーンアンモニアの製造能力見込み

グリーンアンモニアの製造能力見込みは，公表されているプロジェクトのうち稼働開始年の最も遅いプロジェクトまで含まれる2043年時点で，合計で年産約2.2億tonである（図13）。石炭火力発電における石炭の代替燃料や水素キャリアとしての役割が期待されるアンモニアは比較的多くの需要が見込まれており，それに伴って多くの製造プロジェクトが立ち上がっている。なお，プロジェクトの大半は現時点でConcept段階あるいはFeasibility study段階にあるため，プロジェクトの実現可能性は不透明である。2043年時点での国・地域別でのグリーンアンモニアの製造能力見込みは図14の通りである。プロジェクトの多くは豪州やアフリカなどに所在している。

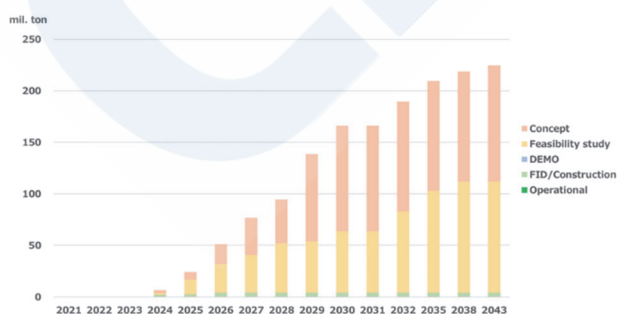


図13 グリーンアンモニアの製造能力（年別）

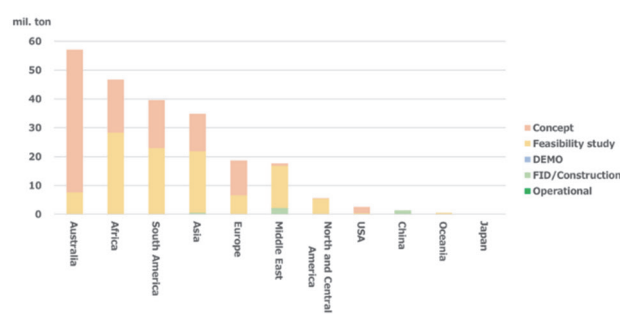


図14 グリーンアンモニアの製造能力（国・地域別）

4.5.3 グリーンメタノールの製造能力見込み

グリーンメタノールの製造能力見込みは，公表されているプロジェクトのうち稼働開始年の最も遅いプロジェクトまで含まれる2030年時点で，合計で年産約500万tonである（図15）。なお，プロジェクトの大半は現

時点でConcept段階あるいはFeasibility study段階にあるため、プロジェクトの実現可能性は不透明である。2030年時点での国・地域別でのグリーンメタノールの製造能力見込みは図16の通りである。プロジェクトの多くは欧州や米国に所在している。

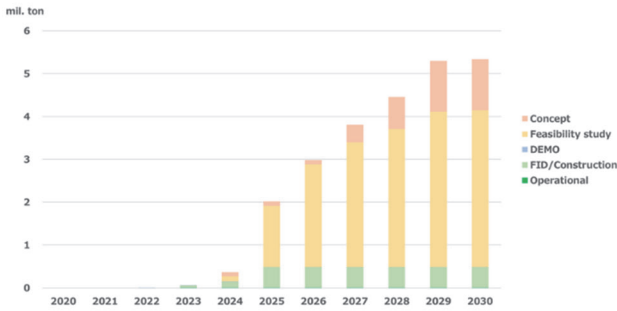


図15 グリーンメタノールの製造能力（年別）

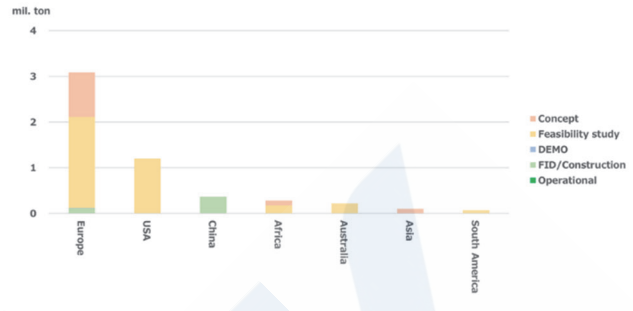


図16 グリーンメタノールの製造能力（国・地域別）

4.5.4 グリーンメタンの製造能力見込み

グリーンメタンの製造能力見込みは、公表されているプロジェクトのうち稼働開始年の最も遅いプロジェクトまで含まれる2030年時点で、合計で年産約90万トンである（図17）。なお、プロジェクトの大半は現時点でConcept段階あるいはFeasibility study段階にあるため、プロジェクトの実現可能性は不透明である。2030年時点での国・地域別でのグリーンメタンの製造能力見込みは図18の通りである。プロジェクトの多くは欧州や米国に所在している。

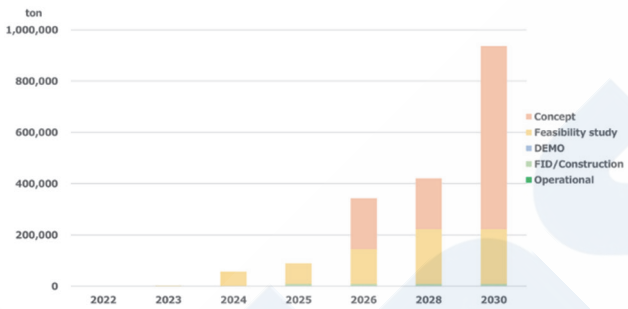


図17 グリーンメタンの製造能力（年別）

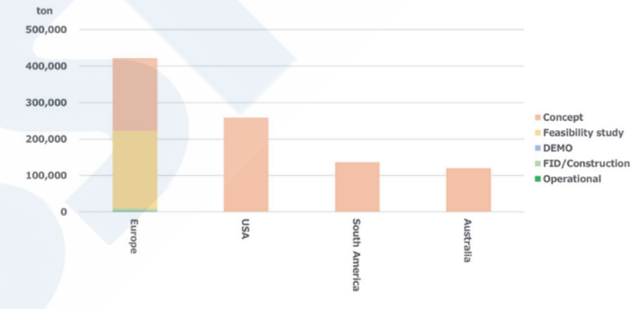


図18 グリーンメタンの製造能力（国・地域別）

5. コストを把握する

5.1 コストシミュレーション

最後のステップは、代替燃料導入に際してのトータルコストを把握することである。船舶に関するコストは様々あるが、中でも特に代替燃料の導入によって影響を受けるコストは「建造コスト」「燃料コスト」「規制コスト」である。今後の規制コストを構成するのは、上述の通り、EUの海運EU-ETSおよびFuelEU Maritime, そしてIMOの中期対策である。

代替燃料の導入によって、建造コストおよび燃料コストは増加する一方、規制コストは減少する。代替燃料の導入に際しては、ステークホルダー間でこれらのコスト構造の変化を十分に議論・共有した上で、従来燃料油からの転換のタイミングを図っていく必要がある。

5.2 コストシミュレーションの実施例

本会は、燃料選択のサポートを目的として、従来燃料船から代替燃料船へ転換する場合のコストシミュレーションを実施している。本節では、コストシミュレーションの一例として、64,000DWTのばら積み貨物船において「従来燃料船を採用した場合」と「アンモニア燃料船を採用した場合」のシミュレーション結果を紹介する。

図19は、「従来燃料船を採用した場合」（左側の縦棒グラフ）と「アンモニア燃料船を採用した場合」（右側の縦棒グラフ）の各年のトータルコストの比較結果を示したものである。なお、ここでのコストは「建造コスト」

「燃料コスト」「規制コスト」のみとしている。規制コストに関して、IMOの中期対策の内容は未確定であるため、ここではFuelEU Maritimeと同様の内容の規制が中期対策で採用された場合を想定している。船舶の竣工は2031年、寿命は2050年までの20年間と想定しており、建造コストはその20年間で按分する。燃料価格について、従来燃料船についてはHeavy Fuel Oil (HFO)のみを使用することを想定し、その価格は20年間にわたりUSD522.6/ton (USD13.0/GJ) で一定としている。一方で、アンモニア燃料船については二元燃料船としてHFOおよびe-ammoniaを使用可能とし、e-ammoniaの価格は2030年のUSD723.8/ton (USD38.9/GJ) から2050年のUSD366.2/ton (USD19.7/GJ) に向かって直線的に減少することを前提としている。すなわち、アンモニア燃料船については、「HFOの使用による規制コスト（継続的に増加）」と「e-ammoniaの使用による燃料コスト（継続的に減少）」の大小を考慮しながら、毎年のトータルコストが最小となるように燃料を選択することになる。以上のような前提を置いた場合、図19が示す通り、アンモニア燃料船においては2039年まではHFOの使用を継続した方が毎年のトータルコストが削減される。すなわち、価格の高いe-ammoniaを使用するよりも、規制コストを負担してでもHFOを使用した方が良いということである。そして、2040年からは、燃料コストが十分に下がったe-ammoniaを選択した方がHFOを選択するよりも毎年のトータルコストが削減される。

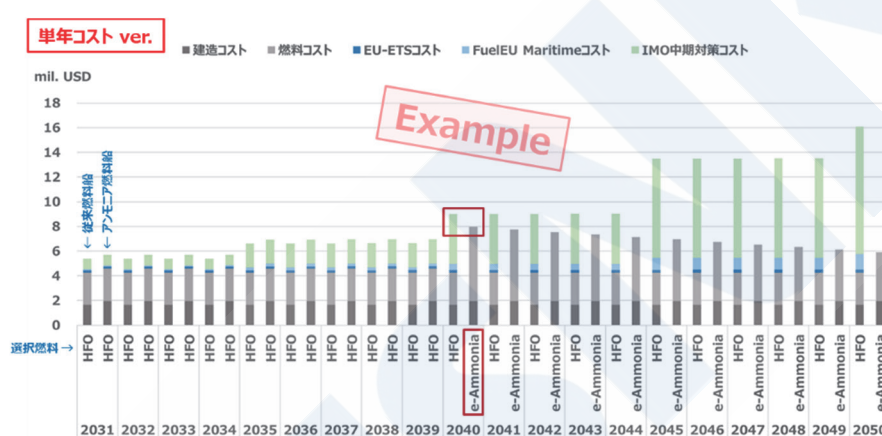


図19 コストシミュレーション結果（単年コスト）

図20は、上述のシミュレーション結果に関して、各年のトータルコストを2050年まで累積させて表したものである。累積コストで表した場合には、従来燃料船の採用による累積コストとアンモニア燃料船の採用による累積コストがいつの時点で逆転するのか、そのタイミングを把握することが可能となる。もちろん、生涯のトータルコストの差額も把握可能であり、この例では、従来燃料船を採用した場合とアンモニア燃料船を採用した場合との間で、20年間で約50 million USDのコスト差が付くということが分かる。これは、このサイズのばら積み貨物船を更にもう1隻購入してもお釣りが得られる程のコスト差である。IMOの中期対策の内容や様々な前提条件の設定次第ではあるが、このシミュレーション結果は、今後の規制コスト負担がいかに重たいものとなり得るのかを示す一例と言える。

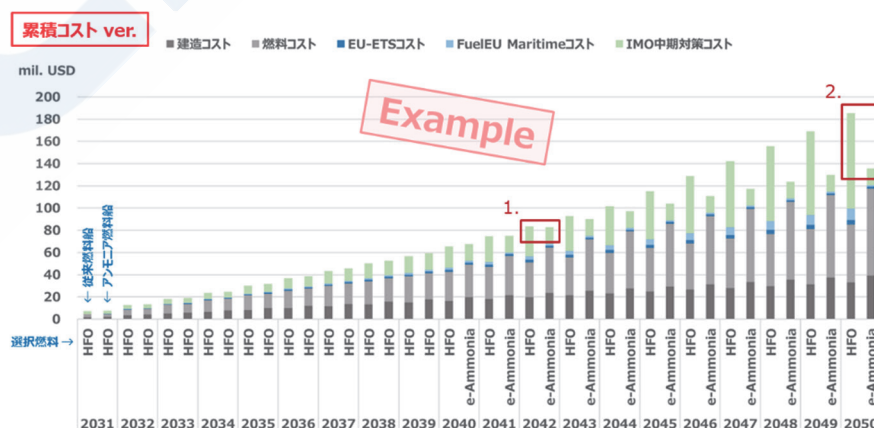


図20 コストシミュレーション結果（累積コスト）

6. まとめ

本稿では、本会が発行している「ClassNK 代替燃料インサイト」の内容理解を助けることを目的として、IMOおよびEUにおける今後の規制対応においてその利用拡大が不可欠となる代替燃料の動向について紹介した。現状では、国際海運における代替燃料の需要量に対して想定される供給量は大きく不足している。代替燃料の生産をより一層拡大するためには、明確な需要シグナルを供給サイドへ送ることが欠かせない。そのためには、規制を通じた代替燃料の利用促進はもちろんのこと、海運セクターに限らず様々なステークホルダーが連携しての需要創出も求められることになる。本稿が海運業界における代替燃料の利用拡大へ向けた取り組み検討の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) Report of fuel oil consumption data submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database in GISIS (Reporting year: 2023)
- 2) IEA (2023), Hydrogen Production Projects Database