

GHG 削減に向けた船用代替燃料の検討動向 — 欧州での分析事例を参考に —

掲載誌・掲載年月：日本海事新聞 201808

日本海事センター 企画研究部

主任研究員 森本 清二郎

専門調査員 坂本 尚繁

【本稿のポイント】

- 長期的な GHG 削減目標の達成には非化石燃料の導入が不可欠
- 代替燃料の評価においては技術・環境・経済など総合的な観点が重要
- 燃料の生産から使用までのライフサイクル性能の評価基準策定が課題

1. はじめに

本年 4 月に国際海事機関 (IMO) 海洋環境保護委員会 (MEPC) で採択された温室効果ガス (GHG) 削減戦略では、国際海運全体で輸送単位当たり二酸化炭素 (CO₂) 排出量を 2030 年に 08 年比 40%減、GHG 総排出量を 50 年に 08 年比 50%減とし、さらにパリ協定に沿って今世紀中に排出ゼロを目指すとの目標が盛り込まれた。

これらの目標達成は容易ではなく、特に貿易拡大による輸送需要の増加が見込まれる中、GHG 排出量を 50 年に 50%減とし、今世紀中にゼロとするためには、エネルギー効率改善技術による対応のみでは不十分と考えられる。実際、GHG 削減戦略では「技術革新及び代替燃料・代替エネルギーの導入が目標達成に不可欠」である点が明らかにされており、CO₂ を含む GHG の大幅削減に向けた代替燃料・代替エネルギー（以下「代替燃料」）の導入が今後、中長期的な課題になると考えられる。

そこで、本稿では代替燃料の基本的なオプションを見た上で、欧州の調査機関などによる分析事例を参考に代替燃料の検討状況を概観し、今後の課題について考察する。

2. 代替燃料のオプション

国際海運で使用される燃料の大部分は重油であるが（図 1 参照）、今後は硫黄酸化物 (SO_x) 排出規制や更なる GHG 削減を見据えた代替燃料への転換が想定される。ここではノルウェー・ドイツ船級協会 (DNV-GL) のレポート (3. (1) ①参照) を参考に、以下 5 つの代替燃料について概観する (表参照)。なお、代替燃料の CO₂ 排出量は、使用時 (TTP: tank to propeller) の排出量のみならず、燃料の採掘・製造から使用に至るまで (WTP: well to propeller) の排出量を含むライフサイクルの視点が考慮されている点に留意されたい。

(1) 液化天然ガス (LNG)

メタンを主成分とする LNG は化石燃料の中で最も環境に優しく、ディーゼル機関で燃焼した場合、船用重油と比べて CO₂ は TTP で最大 26%減、SO_x はゼロ、窒素酸化物 (NO_x) は 30%減でエンジン

タイプによっては3次規制にも対応できる。未燃焼メタンの漏出（メタンスリップ）により GHG 削減効果が弱まるとの懸念もあるが、漏出が低減されるエンジンもあるとされる。

LNG 燃料は、専用のエンジンや高圧タンクなど対応するシステムの導入に一定の追加資本費が発生するが、原料である LNG の価格は他の代替燃料と比べて競争力があるとされ、100 隻以上の船に導入されている。燃料供給インフラは依然限定的だが、17 年に欧州で複数の燃料供給船が投入されるなど急速に状況は改善されつつある。

(2) 液化石油ガス (LPG)

LPG はプロパン・ブタンを主成分とし、製油所や油田・ガス田の副生ガスなどから生産される。ディーゼル機関で燃焼した場合、船用重油と比べて CO₂ は TTP で 16%減、SO_x はゼロ、NO_x は 10-20%減とされる。

LPG 燃料は取扱いが容易で追加資本費が LNG 燃料システムの約半分で済む反面、原料価格（米国産 LPG 価格）は LNG と比べて割高とされる。供給インフラは、既存のターミナルや貯蔵施設を活用すれば整備は比較的容易とされる。LPG 燃料船は 16 年から本格的な開発検討が進められており、19-20 年頃には第一船が導入される見込みである。

(3) メタノール

メタノールは、天然ガスや石炭、再生可能エネルギー（以下「再エネ」）などから生産可能で、ディーゼル機関で燃焼した場合、船用重油と比べて CO₂ は TTP で 10%減、SO_x はゼロ、NO_x は 30%減とされる。WTP の CO₂ 排出量は製法（原料）によって変わり、天然ガスを原料とした場合は船用重油とほぼ同じであるが、再エネの合成で製造した場合は大幅に削減できる。

メタノール燃料は取扱いが容易で追加資本費は LNG 燃料システムの約 3 分の 1 で済むが、価格は LNG や LPG と比べて割高とされる。メタノール燃料船は依然少数だが、15 年から徐々に導入が進められている。なお、メタノールは燃料電池の燃料としても使用できる。

(4) バイオ燃料

バイオ燃料は再生可能な生物由来の有機性資源（バイオマス）から生産され、原料である作物が成長過程で CO₂ を吸収するため、燃焼しても大気中の CO₂ は増えない（カーボンニュートラル）と見なされる。WTP の CO₂ 排出量は、作物への施肥量や精製時のエネルギー消費量など製法によって変わり、船用重油と比べて最大 80-90%の削減が可能とされる。

船用燃料としてはバイオディーゼル（水素化植物油（HVO）や脂肪酸メチルエステル（FAME）など）と液化バイオガス（LBG）が有望とされ、HVO は従来のエンジン、LBG は LNG 燃料用エンジンで使用可能とされる。

穀物など可食部由来のバイオ燃料は食料需要と競合するため、藻類や廃食用油など非可食部由来の次世代バイオ燃料が必要となるが、同燃料は化石燃料より高価になると見込まれる。

(5) 水素

水素は天然ガスの改質や水の電気分解などの方法で生産可能であり、燃料電池で使用すれば CO₂、NO_x 及び SO_x は発生しない（内燃機関の場合、NO_x 以外は発生しない）。再エネ由来の電気分解や CO₂ 回収貯留（CCS）技術を併用した天然ガス由来であれば、WTP の CO₂ 排出量は大幅に削減できる。

水素は超高圧・極低温で貯蔵するため取扱いが難しく、エネルギー密度が低いとため貯蔵容量は大きくなり、資本費が嵩む。このため、エネルギー密度が高いアンモニアを水素キャリアとする研究も進められている。

水素の生産費用は天然ガスや電気の価格に左右され、再エネ由来の電源で生産した水素は、現状では船用重油より大幅に高価になることが見込まれる。17 年にはベルギーで世界初の水素燃料船（内燃機関方式）が導入されている。

3. 代替燃料の検討状況

(1) 各種レポートの概要

①18 年 6 月公表の DNV-GL レポート（Assessment of selected alternative fuels and technologies）

本レポートは GHG 対策や大気汚染対策として必要となる投資判断の参考とすべく複数の代替燃料及び推進技術を比較評価したものであり、結論として LNG、LPG、メタノール、バイオ燃料及び水素が代替燃料として最も有望であるとしている。

また、LNG は化石燃料の中で最も TTP の CO₂ 排出量が少なく、関連する国際規則（IGF コード）も策定済みで、供給能力という点でも大幅な需要増に対応可能な選択肢となるが、脱炭素化（排出ゼロ）を目指す上では不十分となる点を指摘している。さらに、50 年目標の達成に向けて燃料電池、風力補助及び蓄電池という推進技術の利用が有効となり得る点、脱炭素化には再エネ由来の燃料が不可欠となるが、同燃料は課税や補助金なしに従来型の化石燃料と価格面で競争するのは困難である点を指摘している。

②18 年 5 月公表の英国船級協会（LR）及び UMAS^{（注1）} レポート（Zero Emission Vessels, what needs to be done?）

本レポートはマースクラインやバルチラなどが参画するサステイナブル・ SHIPPING ・イニシアチブ（SSI）の委託で作成されたものであり、30 年以降のゼロ排出船導入に向けて 3 つの推進技術（水素燃料電池、電気推進、バイオ燃料）を比較検討している。

経済性の観点からは、追加資本費が少ないバイオ燃料が最も有利とされるが、入手可能性と持続可

能性（食料需要と競合しない次世代バイオ燃料を十分確保できるか）という問題がある点、電気推進は（本レポートで分析対象とした大洋航行船では）最も不利で蓄電池の性能・費用面で大幅な改善が必要となる点、水素燃料電池は船上での水素貯蔵と燃料電池に係る費用が膨らむものの、技術革新によって許容可能なレベルにまで下げられる余地がある点を指摘している。なお、いずれの技術も現時点では化石燃料を使用した従来の推進技術と比べて経済性は低いため、ゼロ排出船の導入・普及には政策的な誘導を要するとしている。

環境面ではいずれも燃料の採掘・製造過程など上流で発生する排出量をゼロに抑えることは可能だが、製法によっては（例えば化石燃料由来の水素を使用する場合など）削減効果が得られなくなる点を指摘している。

（注1）UMAS（University Maritime Advisory Services）は、ロンドン大学を構成するカレッジの一つであるユニバーシティ・カレッジ・ロンドン（UCL）エネルギー研究所の研究者らを中心メンバーとする海事系コンサル。

③18年6月公表のUMASレポート（LNG as a marine fuel in the EU）

本レポートはトランスポート・アンド・エンヴァイロメント（Transport & Environment）^{（注2）}の委託で作成されたものであり、GHG削減戦略に照らした船用LNG燃料の潜在的需要と、欧州で必要となる供給インフラ投資について分析している。

結論として、IMOの50年目標の実現にはLNG燃料への転換のみでは不十分であり、30年から非化石燃料（水素、アンモニア、蓄電池、バイオ燃料）への転換が必要となる点、LNG燃料は今後10年間の需要が極めて不透明で、20年以降のSO_x規制への対策となり得るが、その役割は過渡的なものである点を指摘している。また、非化石燃料への移行が不可避となる可能性が高いことから、LNG燃料供給インフラに過剰な投資を行えば、投資回収が困難となるリスクが存在する点を指摘している。

（注2）持続可能な運輸セクターの発展に向けた政策提言を行う欧州系シンクタンクで欧州委員会や欧州気候基金などが出資する。

④18年2月公表のLR及びUMASレポート（Zero-Emission Vessels 2030. How do we get there?）

本レポートは、LRが実施する海運の低炭素化に向けた調査事業の一環として作成されたものであり、30年以降のゼロ排出船導入に向けて、3つの燃料・エネルギーキャリア（蓄電池、合成燃料、バイオ燃料）と3つの推進技術（燃料電池、内燃機関、電気モーター）を組み合わせた7つのオプション（電気推進、ハイブリッド水素、水素燃料電池、水素+内燃機関、アンモニア燃料電池、アンモニア+内燃機関、バイオ燃料）を比較検討している。

経済性の観点では②のレポートと同様、バイオ燃料は最も有力だが入手可能性と持続可能性の問題がある点、蓄電池は（近距離船はともかく）大洋航行船では競争力がない点、合成燃料（水素又はア

ンモニア)はこれらの中間にある点を指摘している。さらに本レポートでは、合成燃料の推進技術として内燃機関の方が燃料電池より経済性は高い点、水素とアンモニアでは後者の方が経済性は高いと考えられるものの、製法や貯蔵方法などによって変わり得る点を指摘している。

(2) 総括

これらを踏まえると、以下の点を指摘することができる。まず、20年のSO_x規制強化や30年のCO₂効率改善目標などを見据えた当面のオプションとしてはLNG、LPG、メタノールなどが選択肢となるが、長期的なGHG削減目標の達成には非化石燃料(水素やアンモニアなどの合成燃料、蓄電池、バイオ燃料)の導入が不可欠との認識があるといえる。特にLNGは短期的に最も有望な選択肢であり、30年目標の実現に向けて導入・普及が不可欠と考えられる一方、長期的に見ればLNGのみで対応することは困難となる可能性があり、50年目標の実現に向けて一層の対応策を併行的に検討することが重要といえる。

次に、これら非化石燃料はいずれも現時点で商用化には至っておらず、更なる検討と技術革新が必要な状況であることが伺える。特に技術的及び経済的な観点を考慮しつつ、如何に有効な製法や貯蔵方法、推進技術を特定し、開発を進めるのか、また、環境面では使用時の削減効果のみならず、如何に上流部門を含むライフサイクル全体での環境影響を評価するのか、さらには新技術の普及を促すために如何なる政策手段を講じるのかなど、様々な検討事項が想定される。

4. 今後の課題

今後、IMOではGHG削減戦略に基づき、30年目標の達成に向けたエネルギー効率改善策や長期目標の達成に向けた代替燃料の導入・普及策の検討が予想される。これらの対策は、日本の海事産業及び関係する産業にも多大な影響を及ぼし得ることから、我が国としては、EU独自の研究・開発プログラム「Horizon 2020」などの下で検討を進める欧州など主要国の動向を注視すると共に(日本船用工業会と日本船舶技術研究協会は18年3月に欧州の動向に関する調査報告書を2点公表済み)、各産業の競争力を維持・強化できるよう検討を進めることが重要となる。

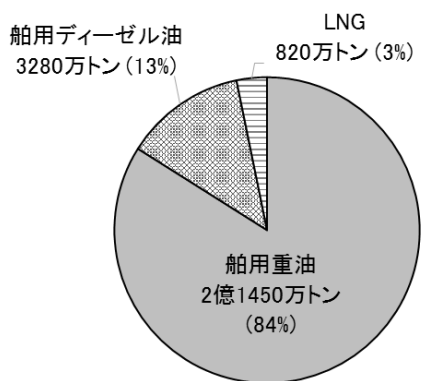
特に国内での開発・導入を図る上では、上述のように、燃料の特性や推進技術との相性などの技術面、資本費や燃料価格などの経済面、ライフサイクル性能を含む環境面など、総合的な観点での評価検討が重要になると考えられる(図2参照)。また、国際的な導入・普及策の検討に際しては、燃料のライフサイクル全体での評価基準策定が重要な課題になる可能性があることから、水素の製造など上流部門であるエネルギー・化学産業などを含めた検討が必要になると考えられる。

【表】 船用代替燃料のオプション

		LNG	LPG	メタノール	バイオ燃料	水素
環境効果 (船用重油比)	CO ₂ (TTP)	最大約 26%減 (メタンスリップの懸念あり)	約 16%減	約 10%減	ゼロ (カーボンニュートラル)	ゼロ
	CO ₂ (WTP)	約 20%減	約 17%減	製法による(再エネ由来であれば大幅減)		
	SO _x	ゼロ又はほぼゼロ				
	NO _x	推進技術による				
		ディーゼル機関で約 30%減	ディーゼル機関で約 10-20%減	ディーゼル機関で約 30%減	ディーゼル機関での削減効果なし	ディーゼル機関で約 30%減
燃料価格(原料のエネルギー単価)		代替燃料の中で最も競争力あり	LNG より高価だが軽油より安価	LNG・LPG より高価だが軽油より安価	次世代バイオ燃料は化石燃料より高価	-
供給インフラ		限定的だが急速に整備が進展中	既存のターミナル・貯蔵施設での整備は比較的容易	一部で整備	一部で整備	未整備

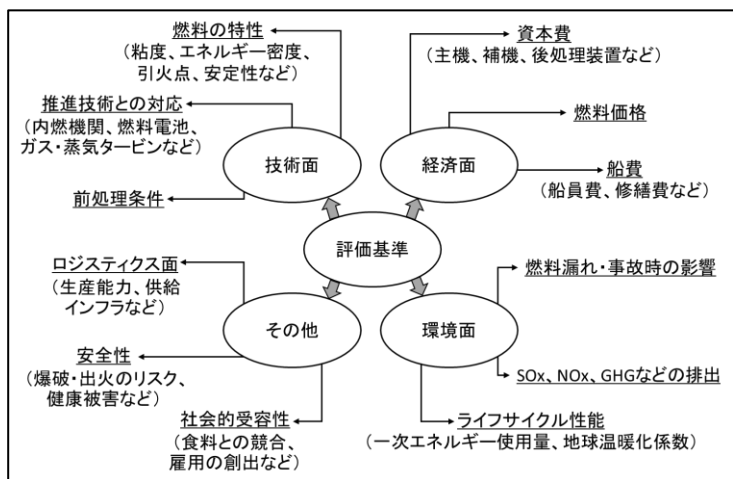
(注1) TTP (tank to propeller)は燃料使用時のみ、WTP (well to propeller)は燃料の採掘・製造から使用に至るまでの CO2 排出量。
 (注2) 本表は DNV-GL による評価内容を整理したものであり、詳細については出典に記載のレポートを参照されたい。
 (出典) DNV-GL, Assessment of selected alternative fuels and technologies, 2018 を基に作成

【図 1】 国際海運の燃料消費量 (2012 年)



(出典) Third IMO GHG Study 2014 を基に作成

【図 2】 船用代替燃料の評価基準



(出典) S. Brynolf, Environmental assessment of present and future marine fuels, 2014 を基に作成