

海運の脱炭素化 – 米国から見た新興代替燃料

こちらは、英文記事「[Decarbonization of shipping – emerging alternative fuels from a US perspective](#)」
(2022年2月17日付)の和訳です。

昨年は、新型コロナウイルスの感染拡大による船員や滞船への影響が報道を賑わせましたが、気候変動が今世紀最大の問題となっている中、海運業界紙で最も大きく取り上げられてきたのは脱炭素化に関する問題です。[米国環境保護庁 \(EPA\)](#)によると、世界における温室効果ガス (GHG) 排出量の約14%は輸送 (自動車、鉄道、航空機、船舶) によるものです。海運だけで世界全体の輸送量 (物量ベース) の80%近くを占め、そのGHG排出量は全体の2~3%にのぼると見られることから、業界では脱炭素化が大きな注目の的となっています。



これを受けて、国際海事機関 (IMO) は、海運によるGHG総排出量を2050年までに2008年比で50%削減、炭素集約度を2030年までに最低40%、2050年までに70%削減するという意欲的な目標を掲げています。業界でも[Getting to Zero Coalition](#)などの取り組みを始め、2030年までにゼロエミッション船による運航を商業ベースで実現することを目指しています。また、昨年開催された国連気候変動枠組条約第26回締約国会議 (COP26) で、いわゆる「グリーン海運回廊」の開設を目指した[クライドバンク宣言](#)が署名されたほか、[世界海運評議会](#)も海運の脱炭素化に向けた重要な道筋として、燃料供給源の開発を検討しています。

ただ、このような意欲的な目標を掲げてはいても、脱炭素化の特効薬があるわけではありません。[可能なアプローチ](#)は存在しないのです。そのためさまざまな検討が必要になり、政府は、どれを主要な解決策に据えるかの判断をおそらく民間任せにしてしまうでしょう。そうすると、業界ステークホルダーは、最適な代替燃料に関する見通しを全体的に欠いたまま、今後建造する船舶への投資判断を綱渡りで行うことになってしまいます。

実際、海運業界での脱炭素化の問題は、国家、各企業の経営陣、貸付機関、推進プラントの設計者など、業界の隅々にまで広がっています。脱炭素化を進めるには、基本的に船舶の動力・推進力の発生方法を大幅に変えなければなりません。低エミッション船やゼロエミッション船の燃料や動力源は、1種類になるとは限らず、複数の選択肢を組み合わせることも必要になるでしょう。革新的なソリューションを法的要件に合致したものするには、まず候補となるソリューションのメリットとデメリットの両方を把握した上で、代替燃料に関する複雑な法規制の迷路を解いていくところから始めなければなりません。以下では、現在、重油燃料の有力な代替候補とされている燃料について考察します。

液化天然ガス (LNG)

LNGは、特に外航船を中心に代替燃料市場で最大のシェアを誇っていることで広く知られており、既に約20年間、燃料として使用されてきました。天然ガスを超低温で液化したものをタンカーで輸送しています。硫黄分がゼロで、IMOが2020年に発効した硫黄分上限規制にも適合するため、代替

燃料の最有力と考えられています。CO₂の排出量が留出燃料や低硫黄重油（VLSFO）と比べて約20%少ないのも特徴です。船級協会の [DNVは、2050年までに船舶燃料の40%以上がLNGになると予測しています](#)。そのため、LNGは他の代替燃料への「橋渡し燃料（bridge fuel）」の筆頭として広く認識されています。実際、稼働中または発注済みのLNG燃料船は2021年6月時点で500隻を超えており（LNG運搬船は除く）、既に世界の船舶の一部を占めていると見られます。

ただ、船舶燃料としてLNGを使用することにデメリットがないわけではありません。LNGは引火しやすいため、危険が生じやすいのです。この問題は、かつてLNGの輸入施設を初めて設置する際に大きな議論を呼びました。また、こうした議論は、連邦政府がボストンなどの地域にLNG基地の誘致をしきりに促した際に州政府との間での司法論争も生んでいます。しかも、2001年9月11日の事故を受けて公共の安全への懸念が強まり、LNG施設には一層厳しい目が注がれるようになりました。こうしたことを背景に米国コーストガード（USCG）は、米国向けのLNG船とその積荷について、出港地から米国到着までの[保安・安全を強化する予防策を講じました](#)。「イエメンからマサチューセッツ州ボストンまでの液化天然ガス（LNG）輸送で、リスク軽減のための重層的なアプローチを講じ、計画から調整、実行の段階まで十分な注意を払い、船舶の安全・保安を確保」したのはその一例です。LNG施設をめぐる連邦政府と州政府の争いを解決に導くため、2005年エネルギー政策法（EPA Act 2005）では、LNGターミナルの建設、拡張、安全、操業の独占監督権限を連邦エネルギー規制委員会（FERC）に付与しています。

LNGの船舶燃料としての使用可否を判断するにあたり、米国の既存の規則では、LNG運搬船で使用するボイルオフガスを除いて、商用船での天然ガス燃料機関の設計・設置について具体的な内容を定めていません。そこでUSCGは、ガス又は低引火点燃料を使用する船舶の安全に関する国際規則（IGFコード）で定められた基準を用いて、従来の燃料と同等のコンプライアンスを確保しています。IGFコードは、天然ガス燃料船の設計に関する国際的な規則を定めたもので、2017年1月1日から強制化されました。対象となるのは、海上における人命の安全のための国際条約（SOLAS）の対象船舶のうち、天然ガスや引火点摂氏60°C未満の燃料を使用する船舶です。

その後、コーストガードの設計・技術規格局（CG-ENG）からも「Equivalency Determination – Design Criteria for Natural Gas Fuel Systems（同等性の判断 – 天然ガス燃料機関の設計基準）」と題したポリシーレターが発行されています。これは、既存の規則が従来の燃料機関に要求しているのと少なくとも同等の安全性を備えた天然ガス燃料機関の設計基準を定めたものです。現行の国内規則で対象となっている燃料機関の代わりにガスなどの低引火点燃料を使用する船舶の基準として、IGFコードを採用しています。LNGを船舶燃料として使用するにはこうした安全性に関する懸念がつきものです。これ以外にも、供給体制確保のための必要な補油施設の整備や、LNG燃料船のジョーンズ法適用船舶への拡大といった課題もありますが、これに対する業界の対策は依然として道半ばです。

水素と燃料電池

船舶燃料として水素を活用する動きも進んでおり、推進者は水素が脱炭素化に欠かせない要素になると唱えています。圧縮または液化した水素燃料は燃焼時にCO₂やGHGを一切排出せず、無毒・無色・無臭です。ただ、燃焼範囲が非常に広く、引火点が低いエネルギーでもあります。また、自然界には存在せず、生成過程で大量のエネルギーが必要になります。現在は石炭や天然ガスから生成しているケースがほとんどですが、以下のような複数の生成方法を理解しておくことが重要です。

- **グレー水素とブラウン水素**：グレー水素は比較的安価ですが、天然ガス由来で、生成時のエネルギー源に化石燃料を使用するのが一般的です。天然ガスを蒸気メタン改質することで生成します。ブラウン水素は、石炭を気化して生成した水素のことをいいます。
- **ブルー水素**：ブルー水素は天然ガスや石炭などの化石燃料から生成したもので、基本的に生

成過程はグレー水素と同じですが、生成中に排出される CO2 のほとんどが回収されるため、大気中に放出されることがありません。

- **グリーン水素**：グリーン水素は、再生可能エネルギーから生成されたクリーンエネルギー由来の水素で、水電解などによって生成することができます。クリーンではありますが、コストがかかるとされています。

LNG と同様、船舶燃料としての水素や、船舶推進用燃料電池の使用、水素の補給など、水素燃料船の設計、運航について具体的に取り上げた連邦規則は存在しません。水素は、連邦規則集 (49CFR) の危険物規則に従ってコンテナ輸送することはできますが、現状は[ばら積み輸送をするには非常に危険な貨物](#)として指定されています。

IMO は水素を船舶燃料として使用するための国際的な要件を定めておらず、IGF コードと「Interim Recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk (液化水素のばら積み輸送に関する暫定推奨事項)」が、低引火点燃料の使用に伴うリスクに対処するための代替設計やリスク評価方法の指針となっています。IGF コードやその他の代替設計アプローチで最も重視しているのは、新しい設備や技術でも他の低引火点ガスと同等の安全性を確保することです。そういった意味で、[MSC.1/Circ.1455「Guideline for Approval of Alternatives and Equivalents \(代替性と同等性承認のためのガイドライン\)」](#)は、関係者にとって有益な内容と言えるでしょう。また USCG も、積荷・燃料としての水素の評価を担っています。特に力を入れているのがリスク評価で、設備の安全性がしっかり確保されており、従来の燃料設備やガス使用と少なくとも同等の安全性を示せるかを検証しています。

水素は、先に述べた安全性の問題以外にも普及を阻む問題を抱えています。現時点で、水素は遠洋航海には適していません。エネルギー密度が他の従来の船舶燃料の半分程度だからです。エネルギー密度が低いと貯蔵に関する問題が生じ、対応できる航海の幅にも影響が出てきてしまいます。船舶のスペースが限られているとこの問題はさらに深刻になるため、燃料タンクの大型化によって貨物の輸送スペースが小さくなってしまうような場合などは、燃料の供給体制が重要なポイントとなってきます。水素を船舶燃料として普及させるには供給網が必要となりますが、米国で運航している水素燃料船がわずか 1 隻ということもあり、その整備は進んでいません。また、液化水素の供給設備は、LNG の供給設備と比べて資本コストがかかることも考えられます。もっとも、最近のレポートを見ると、代替燃料の価格が依然不透明な中、水素燃料がガスやバイオ燃料より安価になる可能性もあるとのことですが、価格設定やスケールメリットを確立するには、業界全体からのさらなるニーズが必要となります。

メタノールとバイオメタン

他の代替燃料と同様、船舶燃料としてのメタノールについて規定した具体的な規則はありません。そのため、新たな燃料として従来の燃料と同等の安全性を確保できるかを評価することになるでしょう。メタノールは現在、天然ガスから生成されています。大気圧下では液体となる物質で、他の代替燃料と比べると、温度の面から貯蔵や取扱がはるかに簡単です。ただし、生成中や燃焼中にメタンを排出するため、ネットゼロエネルギーとは言えないかもしれません。また、CO2 の排出量についても、従来の船舶燃料と比べてそこまで多く減らせるわけではありません。ただ、バイオマス由来のものであれば、最大 50%削減可能とされています。グリーンメタノールを活用したコンテナ船も登場してきてはいますが、バイオメタンのスケラビリティも普及の障壁となっています。

バイオ燃料とバイオディーゼル

バイオ燃料は代替燃料の選択肢として検討が進められており、少量ではありますが既に船舶燃料として混合利用されています。再生可能で CO2 の排出が少ないのが特徴です。米国では、「バイオマ

ス」とは「農作物、農業廃棄物・残渣、木材、木くず・廃材、家畜排泄物、食品廃棄物、水生植物など、基本的に再生可能な有機性の物質」のことを指します（42 U.S.C. § 8802(2)(a)）。また、「バイオマス燃料」とは「バイオマスを転換して作られた気体、液体、または固体状の燃料」のことを指します（42 U.S.C. § 8802(3)）。バイオ燃料は、従来の石油由来の船舶燃料と混合することも、また、コーンエタノールや砂糖などさまざまな原料からそれぞれの製法で製造して、代替燃料としてそのまま利用することもできます。

バイオ燃料の普及を阻む大きな障壁となっているのは、環境面、経済面、技術面の問題です。これが環境に優しい燃料となるには、持続可能な原料を供給源にしなければなりません。ほかにも、スケラビリティや市場での競争力の問題や、一部のバイオ燃料では長期的な保管に関する問題もあります。

[EPA Act 2005](#) と 2007 年エネルギー自給・安全保障法（EISA）で定めたバイオ燃料開発を土台に、米エネルギー省（DOE）は近年になって、（数ある輸送手段の中でも）船舶の動力にバイオ燃料を使用することに大きな関心を持つようになり、2021 年 4 月には、輸送時の CO2 排出削減を目的に、[バイオ燃料の研究に 6,140 万ドルを拠出することを発表](#)しています。

アンモニア

CO2 を一切排出しない燃料としてもう 1 つ検討されているのが、アンモニアです。水素と同様、現在、アンモニアはほとんどが天然ガスから生成されています。燃料電池のエネルギー源として使用することも、また、内燃機関の燃料源の一部として使うことも可能です。とりわけ、グリーンアンモニアは、「油田から航跡まで（well-to-wake）」と「タンクから航跡まで（tank-to-wake）」の両方でゼロエミッション輸送を実現する二重の可能性を秘めています。ただ、生産のスケラビリティや供給力の問題が依然として普及の障壁となっているほか、新たなエンジンの技術設計、安全性、サプライチェーンに関する懸念も立ちはだかっています。さらに、毒性燃料を使用することになるため、規制や技術上の障壁もあります。

いくつかの条件を乗り越えて代替燃料の座を競っている物質は多数ありますが、その中でもアンモニアはカーボンニュートラル燃料の最有望株であると、DNV は先頃発表した「[Maritime Forecast to 2050 Energy Transition Outlook 2021（エネルギー移行の展望 2021 – 2050 年までの海運業界予測）](#)」の中で予測しています。ただし、アンモニアが将来的に実用可能な燃料となるためには、[CO2 の排出を減らした製法で製造しなければなりません](#)。

バッテリー／電気

バッテリーや燃料電池を使った電気システムとハイブリッドシステムもゼロエミッション燃料の候補として残っています。完全電動運航は依然として開発の初期段階にあり、現在の技術の限界からすれば、バッテリー駆動による運航が適しているのはおそらく短距離航海や国内フェリーくらいでしょう。一方で、ハイブリッド船の実現に向けたさまざまな取り組みも進んでいます。これが実現すれば、船はリチウムイオンバッテリーによる電気推進モーターを動力とし、船内のディーゼル発電機や陸上電源から充電が可能になります。

バッテリー技術の登場を受けて、CG-ENG は、検査対象となった米国籍船でもリチウムイオンバッテリーやその他の新たな貯蔵エネルギー技術への関心が高まってきたため、「CG-ENG-Policy Letter No. 02-19: Design Guidance For Lithium-Ion Battery Installations Onboard Commercial Vessels（CG-ENG ポリシーレター No. 02-19：商船用リチウムイオンバッテリー設備の設計ガイダンス）」を発表しました。これには、安全性に関してリチウムイオン技術特有の問題があったことも背景にあります。

た。このレターは、リチウムイオンバッテリーを使用した商船の設計指針を既存の規制枠組みの中で定めた文書と言えます。また、エネルギー省でも電気駆動の乗物に対して優先的に財政支援をしており、この中に船舶も含まれるものと思われます。

まとめ

今後の鍵を握る IMO での国際的な取り決めの進展状況に注目が集まる中、米国での脱炭素化の取り組みは未曾有の速さで進んでおり、かつてないほど複雑になり、コストも上がってきています。脱炭素化の課題に対応するべく、政府は、再生可能エネルギー拠点やグリーン海運回廊（ゼロエミッション船で主要ハブ港間を結ぶ航路）など、代替燃料の普及を支援するための方法を模索していますが、今後も一番の焦点となるのは業界内の連携です。先頃成立した[インフラ投資・雇用法（Infrastructure Investment and Jobs Act）](#)も、代替燃料を今後普及させられるか否かの指針となります。ただ、業界は気候変動戦略の詳細なロードマップが出てくるのを今も待っており、複数ある代替燃料候補のうちどれが「勝者」として台頭してくるのかははっきりしない状態です。そのため、それぞれの代替燃料が共存し、いずれも米国内の規則を直接当てはめられないままとなっています。

脱炭素化の取り組みを実現するのであれば、とにかく時間との戦いになります。そのため、特定の代替燃料の第一人者としての地位確立を目指す企業は、ベンチャーキャピタル投資や重要研究開発基金をいつでも受け入れられるようにし、代替燃料の実証実験を展開していける態勢を整えておくでしょう。これらはいずれも、技術を成熟させ、コストを削減していく方法を見つける上で今も欠かせない対策です。研究開発への資金援助は活発になってきていますが、米国でこの最大のシェアを握っているのは非従来型の海事機関です。そのため、タイミングよく適切なチャンスをもものにできれば、将来成功する可能性は十分にあります。

著者紹介：Sean Pribyl 氏は Holland & Knight LLP 法律事務所ワシントン DC 支店の主任弁護士。海事法、国際貿易、再生可能エネルギーの案件を中心に扱う。ジョージタウン法科大学国際経済法研究所フェロー（2021～2022 年）。

本情報は一般的な情報提供のみを目的としています。発行時において提供する情報の正確性および品質の保証には細心の注意を払っていますが、Gard は本情報に依拠することによって生じるいかなる種類の損失または損害に対して一切の責任を負いません。

本情報は日本のメンバー、クライアントおよびその他の利害関係者に対するサービスの一環として、ガードジャパン株式会社により英文から和文に翻訳されております。翻訳の正確性については十分な注意をしておりますが、翻訳された和文は参考上のものであり、すべての点において原文である英文の完全な翻訳であることを証するものではありません。したがって、ガードジャパン株式会社は、原文との内容の不一致については、一切責任を負いません。翻訳文についてご不明な点などありましたらガードジャパン株式会社までご連絡ください。