

サステナブル海運燃料の新たな可能性 —トウモロコシ由来エタノールが拓く海運脱炭素化の未来— 米国サステナブル海運燃料(SMF)

はじめに

海運は世界物流の約80~90%を担う一方、世界全体の温室効果ガス(GHG)排出量の約3%を占める。国際海事機関(IMO)は2050年頃までのネットゼロ排出を目標としており、海運業界では代替燃料への転換が加速している。その中で米国では、トウモロコシ由来バイオエタノールを海運燃料として活用する取り組みが急速に進みつつある。2026年5月から6月にかけて実施された米国サステナブル海運燃料(SMF)視察では、政府機関、研究機関、業界団体、エタノール製造企業、エンジンメーカー、船級協会、農業関係者を訪問し、海運脱炭素化の最前線を調査した。本稿では、その視察を通じて見えてきたエタノール利用の可能性と、日本への示唆について報告する。



安全性とハンドリングが証明済
エタノールは世界中で輸送セクターによって商業規模で安全に取り扱われている。

エタノールはメタノールより毒性が低く、IGFコードで互換性があると認められている

既存の案先生プロトコルとインフラを、最小限のアップグレードで採用可能

IGFコード (International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels) は、LNGやLPG、メタノール、エタノールなどのガスや低引火点燃料を船舶の燃料として使用する際の安全性を確保するための国際基準



エンジン適合性
エタノールは圧縮点火デュアル燃料エンジンで、メタノールと同様に利用される。

Everlence, WinGD, MAN ES, WärtsiläといったOEMがトライアルを通じてエタノールのパフォーマンスを検証済み

メタノールとの混合利用の可能性があり、船主はメタノール利用のインフラの安全性プロファイルを改善することにより利用可能



ライフサイクルGHG
エタノールは、間接土地利用変化ペナルティが課さんされなければ、今後のIMOライフサイクル閾値に適合する。

米国産トウモロコシエタノールはArgonne GREET モデルで~35-36 gCO₂e/MJ (well-to-wake)を満たしている

CCSや操業効率化によって、さらに炭素軽減が期待されている

図1 エタノール燃料のサステナブル海運燃料としての特質



写真1 アメリカ穀物バイオプロダクツ協会にて説明を受ける海運燃料視察団

1.海運脱炭素化と燃料転換の潮流

海運は世界経済を支える重要なインフラであり、国際貿易量の大部分を担っている。しかしその一方で、船舶燃料の燃焼によって排出されるCO₂は世界全体の約3%を占めるとされ、国際社会における脱炭素化の重要課題の一つとなっている。

国際海事機関(IMO)は2023年にGHG削減戦略を改訂し、「2050年頃までのネットゼロ排出」という長期目標を採択した。これに伴い、各国や海運業界では船舶燃料の脱炭素化に向けた取り組みが急速に進んでいる。

自動車分野では電動化への取り組みが進みつつあるが、海運分野では事情が異なる。大型船舶は数週間から数か月にわたり航海を続けるため、現在の蓄電池技術では必要なエネルギー密度を確保できない。そのため、液体燃料または気体燃料を活用した低炭素化が現実的な選択肢となる。

現在、海運業界ではLNG、メタノール、アンモニア、水素、バイオ燃料、e-fuelなど複数の候補燃料が検討されている。しかし、いずれも決定打とはなっておらず、供給量、価格、インフラ、安全性、環境性能などの面で課題を抱えている。

米国の関係者は一様に「テクノロジー中立」の考え方を強調していて、特定の燃料を優遇するのではなく、ライフサイクル全体でどれだけGHGを削減できるかを基準に評価すべきという考え方である。

その中で、既に世界規模で流通し、大規模な供給能力を有するエタノールは、海運脱炭素化に向けた有力な選択肢として注目されている。

2. エタノール産業の新市場としてのSMF

米国のエタノール産業は長年にわたり自動車燃料市場を支えてきた。現在、米国には約200のエタノール工場が存在し、年間約171億ガロン(約6,600万kL)の生産をしている。

しかし、自動車の燃費向上やEVの普及により、従来のガソリン市場だけでは大幅な需要拡大が見込みにくくなっている。そこで業界が期待を寄せているのが、SAF(持続可能航空燃料)とSMF(持続可能海運燃料)である。

米国のエタノール業界団体であるRenewable Fuels Association(RFA)やGrowth Energyによれば、米国には依然として大きな供給余力が存在する。特に海運燃料市場は年間約3億トン規模と巨大であり、その一部がエタノールへ転換されるだけでも大きな需要創出につながる。

また、エタノールの強みは供給量だけではない。既に世界規模で流通しており、生産・輸送・貯蔵インフラが整備されていることも大きな利点である。新しい燃料の多くは供給網の構築が課題となるが、エタノールはその点で優位性を持つ。

さらに、米国では自動車燃料向けに長年培われた品質管理や規格が存在しており、海運燃料として利用する際にも活

燃料	貯蔵設備	加圧/冷却	急性毒性	炎の可視性	物質の複雑性	港湾での準備	船員トレーニングの必要性
エタノール	常温	不要	低い	可視	低度	必要度高	低い
バイオディーゼル(Biodiesel)(HVO/FAME)	常温	不要	低い	不可視	低度	必要度高	低い
メタノール	常温	不要	中程度(毒性)	ほぼ不可視	低度-中度	中度-高	中程度
LNG	冷却タンク(-162°C)	要	低い	可視	高度(真空保護)	低度-中度	高い
水素	冷却または加圧(350-700 bar)	要	低い	不可視、高い可燃性	非常に高度	必要度低	非常に高い
アンモニア	常温	不要	高い(毒性、腐食性)	炎なし	高度(隔離が必要)	低い	高い

表1 サステナブル海運燃料の特性の比較

用できる。こうした既存インフラの存在は、エタノールの商業化を後押しする重要な要素となっている。

3. IMO・EU・米国で進む制度設計

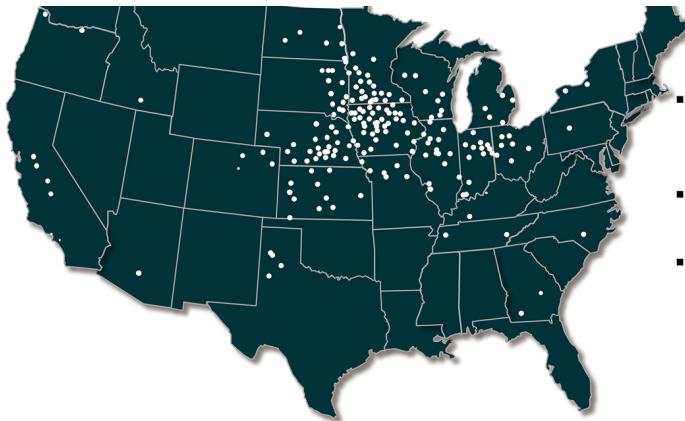
海運燃料市場の将来を左右するのは技術だけではない。制度設計が極めて重要な役割を果たしている。

現在IMOでは、ネットゼロフレームワークの議論が進められている。これまでの船舶効率改善に加え、燃料そのもののライフサイクル排出量を評価する制度の導入が検討されている。

一方、欧州ではFuelEU MaritimeおよびEU ETSが既に導入されている。FuelEU Maritimeは燃料のGHGsスコア低減を求める制度であり、EU ETSは排出量取引制度として海運業界にも適用されている。

しかし、米国業界関係者からは、欧州制度に対する懸念も多く聞かれた。特にトウモロコシ由来バイオ燃料に対する評価については、実際の環境性能ではなく原料カテゴリーによって制約を受けているとの指摘がある。

Marine Innovation Coalition(MIC)や政策関係者は、「どの燃料を使うかではなく、どれだけGHGを削減できるかで評価すべき」と主張している。今後、国際制度がどのような評価手法を採用するかによって、エタノールを含む低炭素燃料の市場性は大きく変わる可能性がある。



© 2025 Renewable Fuels Association. All Rights Reserved. Installed plant locations as of March 2024

図2 エタノール業界の概観

- 199工場が24州に立地(主に中西部)
- 年間185億ガロンの生産能力
- 年間171億ガロンを生産

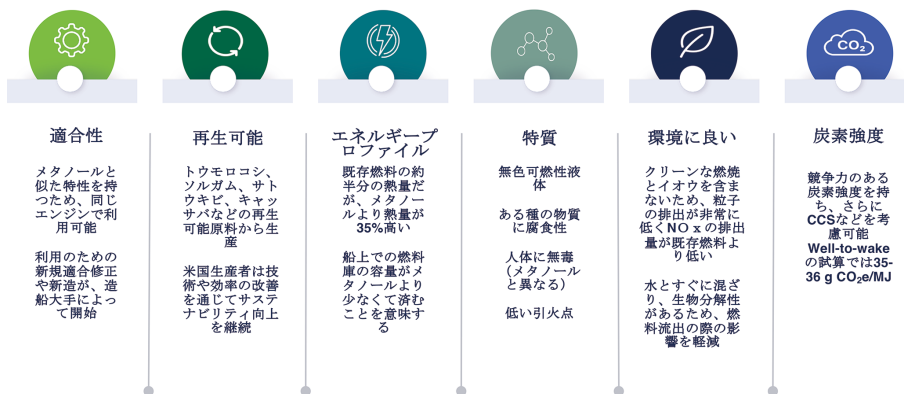


図3 エタノール燃料の特質

4. GREETモデルとCI評価

GHG削減度を測る手段として、Argonne National Laboratoryが開発したGREET(Greenhouse Gases, Regulated Emissions and Energy Use in Technologies)は、原料生産から燃料利用までを

対象としたライフサイクル評価モデルであり、現在の米国低炭素燃料政策の基盤となっていて、EPAの再生可能燃料基準(RFS)、カリフォルニア州LCFS、航空燃料支援制度など、多くの制度がGREETを活用している。

海運向けにはMarine GREETが開発されており、39種類の燃料パスウェイと70種類以上の船舶モデルが整理されている。重油、LNG、メタノール、アンモニア、エタノールなどを比較し、Well-to-WakeベースでGHG削減効果を評価できる。

研究者らによれば、今後の海運業界では燃料の種類そのものよりもCI(Carbon Intensity)値が重要になる。同じエタノールであっても、農業生産方法や工場のエネルギー源によって環境性能は大きく異なるためである。

また、近年は再生農業やCCSの導入によってエタノールのCI値が継続的に改善しており、従来の評価を大きく上回る環境性能が実現されつつある。

Argonne National Laboratoryの研究者は、「今後は燃料種ではなくCI値競争になる」と強調していた。この考え方は海運だけでなく、航空や陸上輸送を含めた低炭素燃料市場全体に共通する潮流と言える。

5. MaerskとEVERLLENCEが描くエタノール燃料船の未来

一方で海運業界は既にエタノール利用を「将来の可能性」ではなく、「実装可能な選択肢」として捉え始めている。

世界最大級の海運会社Maerskは、2040年ネットゼロを目標に掲げ、メタノール燃料船の導入を積極的に進めている。これまで代替燃料の議論ではアンモニアや水素が注目を集めることが多かったが、現実には供給量やコスト、インフラ整備の課題が大きい。そのため海運業界では、移行期に利用可能な低炭素燃料への関心が高まっている。

EVERLLENCE(IHMAN Energy Solutions)は、世界最大級の船舶エンジンメーカーであり、世界の大型商船の約半数に同社技術が採用されている。同社によれば、現在のメタノール対応デュアルフューエルエンジンは比較的小規模な改修でエタノールにも対応可能である。実際に日本のKanadevia(旧日立造船)で実施された試験では、メタノールとほぼ同等の性能が確認されており、技術面での障壁は極めて低いことが示されている。

エタノールは重油と比較するとエネルギー密度が低く、同じ航続距離を確保するためには燃料タンク容量を増やす必要がある。しかし、供給量や価格競争力を考慮すると、移行期の現実的な選択肢として十分な可能性を持つ。

EVERLLENCEでは、2050年には船舶燃料の約20%をメタノール・エタノール系燃料が占める可能性があると予測していた。これは単なる技術的可能性ではなく、供給体制や規制動向を踏まえた現実的なシナリオとして提示されたものである。

6. ABSが考える安全性と船級認証

新たな燃料を海運業界へ導入する際、技術と同じくらい重要なのが安全性である。世界有数の船級協会であるABS(American Bureau of Shipping)は、代替燃料船の認証

制度や安全基準の策定に関わっている。

ABSによれば、エタノールは既に広く流通している工業用液体であり、その物性やリスクは十分に理解されている。そのため適切な設備と運用手順を整備すれば、安全に船舶燃料として利用することが可能である。

一方で、重油とは異なる特性も持つ。引火点が低く、蒸気が可燃性を持つため、二重配管、ガス検知器、換気設備、蒸気回収設備、緊急遮断装置などの導入が必要となる。また、火災対策としてアルコール耐性泡消火設備も重要となる。

ABSの担当者は、こうした課題はLNGやメタノール船でも経験してきたものであり、技術的には十分対応可能であると説明していた。

今後の課題は、国際基準の整備と実運航データの蓄積である。海運業界は安全性を最優先する産業であり、エタノール燃料船の普及には国際船級協会連合による認証制度が重要な役割を果たすことになる。

7. Marquis EnergyとCCS戦略

イリノイ州のMarquis Energyは、米国を代表するエタノールメーカーの一つである。Marquis Energy社の特徴は、単にエタノールを製造するだけでなく、CCS(Carbon Capture and Storage)を組み合わせた低炭素化戦略を推進していることである。

エタノール発酵工程では高濃度のCO₂が発生する。このCO₂を回収し、地下深部の地層へ圧入することで、ライフサイクル全体のGHG排出量を大幅に削減できる。

CCS設備では、圧縮設備やモニタリングシステムの整備が進められており、将来的には現在よりさらに低いCI値のエタノール供給が可能になる見込みであった。また、ISCC認証や再生農業との連携も進めている。

これまでエタノール産業は「再生可能燃料産業」として語られることが多かったが、このように現在は「低炭素価値産業」へと進化しつつある。



写真2 Marquis社のエタノール工場

8. 再生農業とIndigo Ag

実は農業と海運燃料は直接結び付いている。米国中西部の農場では、不耕起栽培、カバー作物(冬の農作物が生育

しない時期に農地を覆う被覆作物)、精密施肥などの再生農業が普及しつつある。

これらの取り組みは土壌保全や水質改善だけでなく、エタノールのCI値改善にも直結する。Indigo Agでは、農家の炭素削減量を定量化し、カーボクレジットとして取引する仕組みを構築している。

従来、燃料の環境性能は工場で決まると考えられていた。しかし現在では、農場段階から環境価値が形成される時代へ移行しつつある。米国のトウモロコシ生産農場では、精密農業技術による肥料削減や収量向上が進んでおり、環境性と収益性の両立が実現されていた。再生農業は単なる環境対策ではなく、海運燃料の競争力を支える基盤技術として位置付けられているのである。



写真3 カバークロップとして生育しているライムギ(イリノイ州の農場)



写真4 作付け後6週間のトウモロコシ(イリノイ州の農場にて)

9. 物流インフラと世界市場への展開

低炭素燃料の普及には、生産だけでなく物流インフラも重要である。ADVARIOやEco-Energyといったエタノール関連企業によれば、エタノール輸出について、米国では鉄道、内陸水路、パイプライン、港湾施設が高度に整備されており、大量輸送が可能となっている。また、既存の燃料ターミナルや貯蔵設備を活用できることから、海運燃料向け供給網の整備も比較的容易である。

代替燃料の多くは生産技術が確立していても物流面が課題となる。しかしエタノールは既存インフラを活用できるため、

商業化へのハードルが低い。

この点は海運燃料として大きな強みである。

10. 日本への示唆

米国での海運燃料へのエタノール利用に向けた取り組みから、日本の海運・エネルギー政策に対する重要な示唆が得られる。

第一に、エタノールは既存技術を活用しながら導入できる現実的な低炭素燃料であること。

第二に、今後の競争力は燃料種ではなく、ライフサイクル全体で評価されるCI値によって決まること。

第三に、燃料供給、港湾インフラ、船舶、認証制度を一体的に整備する必要があることである。

日本ではアンモニアやe-fuelへの期待が高いが、それらが本格普及するまでには時間を要する。一方でエタノールは既に大規模供給が可能であり、移行期の現実的な選択肢となり得る。

また、日本は世界有数の海運国であり、造船、船用エンジン、物流分野で高い技術力を有している。今後の国際競争力を維持するためには、多様な低炭素燃料を柔軟に活用する戦略が求められる。

おわりに

米国ではエタノールを単なる自動車燃料ではなく、SAFやSMFを含む次世代低炭素燃料として位置付ける戦略が進められている。

その競争力の源泉は、豊富な供給能力だけではない。再生農業、CCS、GREETによるライフサイクル評価、国際認証制度、物流インフラなど、サプライチェーン全体を通じた低炭素化への取り組みにある。

海運脱炭素化の実現には多様な燃料が必要となる。その中でトウモロコシ由来エタノールは、技術的実現性、供給安定性、経済性、環境性能を兼ね備えた有力な選択肢として存在感を高めており、日本にとってもエタノールの利用についての重要な示唆を与えている。

ネットワークに関するご意見、
ご感想をお寄せ下さい。



アメリカ穀物バイオプロダクツ協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号
第3虎の門電気ビル11階

Tel: 03-6206-1041 Fax: 03-6205-4960

E-mail: Japan@grains.org

本部ホームページ (英語) :<https://www.grains.org>
日本事務所ホームページ (日本語) :<https://grainsjp.org/>