

国際海運におけるGHG削減の取組と 次世代燃料への転換

2024年10月10日
(公財)日本海事センター企画研究部
主任研究員 森本清二郎

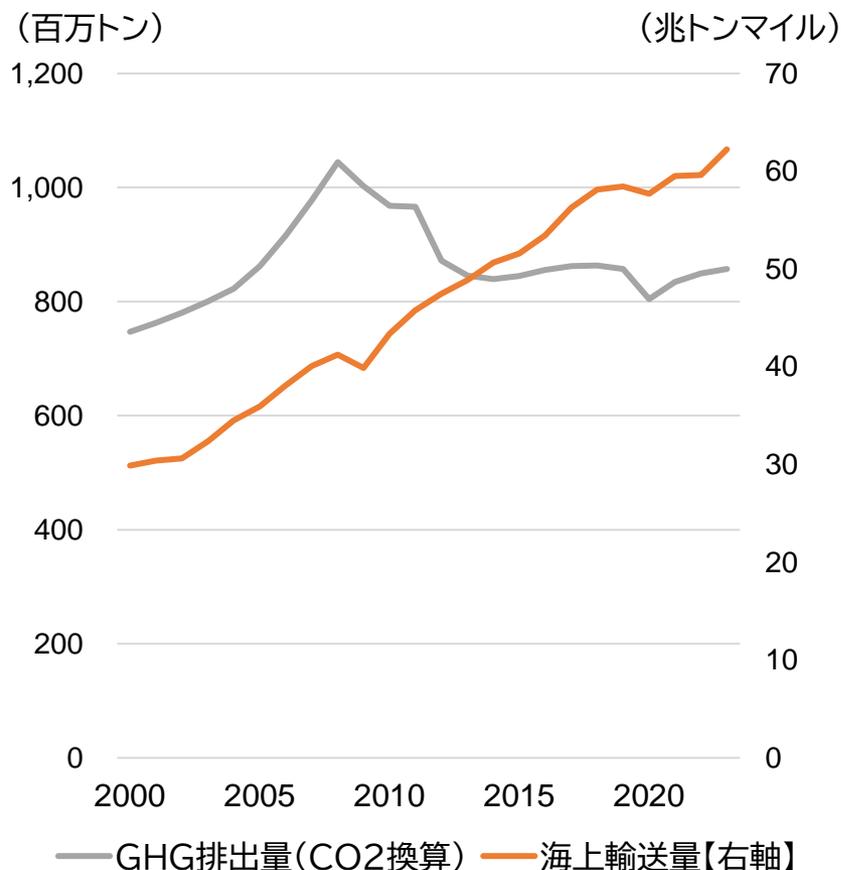
目次

1. 国際海事機関(IMO)のGHG削減対策
 - 国際海運のGHG排出量と既存の対策
 - IMO GHG削減戦略
 - GHG強度規制とGHGプライシング
 - Well-to-wake(ライフサイクル排出量)の評価
2. EUにおける海運分野のGHG削減対策
 - 海運EU ETSとFuelEU Maritime
 - EUにおけるバイオ燃料の基準
 - EUにおけるグリーン燃料の基準
 - EUによるGHG削減対策の影響
3. 次世代燃料への転換
 - 国際海運の燃料消費量
 - 欧州のe-fuelプロジェクト
4. まとめ

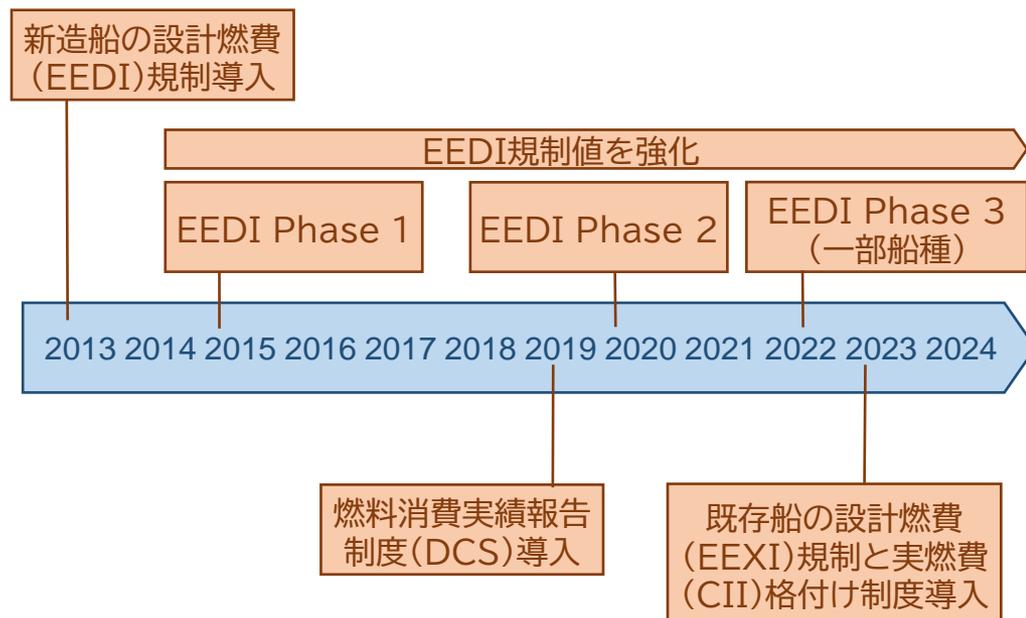
国際海運のGHG排出量と既存の対策

- 国際海運の温室効果ガス(GHG)排出量は年間約8億トンであり、世界のGHG排出量の約2%を占める。
- 国際海事機関(IMO)では、2013年より燃費効率の改善に向けた規制を導入。今後、世界経済の発展による海上輸送量の増加が見込まれるため、更なるGHG削減対策が必要。

国際海運のGHG排出量



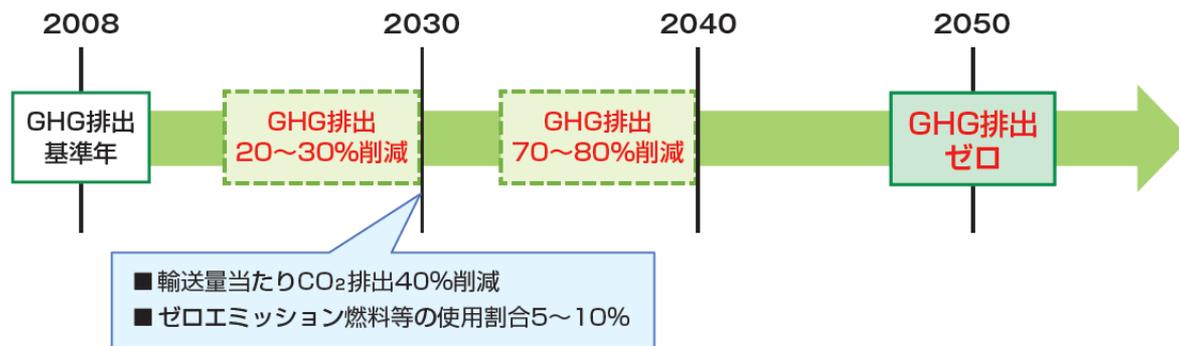
国際海運のGHG削減対策(既存の対策)



IMO GHG削減戦略

- IMO GHG削減戦略では、2030年までにゼロエミッション燃料等によるエネルギーシェアを5-10%とし、GHG排出量を削減目安に沿って2050年頃までにネットゼロとする削減目標を設定。
- 更なるGHG削減対策(中期対策)では、well-to-wake(ライフサイクル排出量)を考慮する必要あり。

国際海運のGHG削減目標

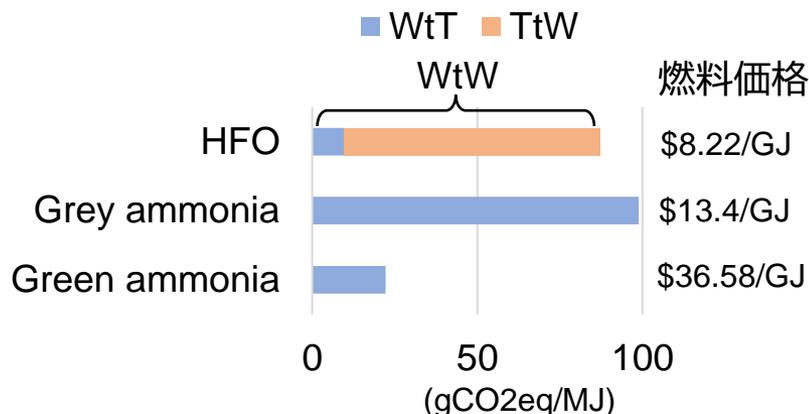


(備考)ゼロエミッション燃料等は「GHG排出がゼロ又はニアゼロの技術、燃料及びエネルギー源」を指す。
(出典)国土交通省海事局(『Shipping Now 2023-2024』より転載)

Well-to-wake(ライフサイクル排出量)



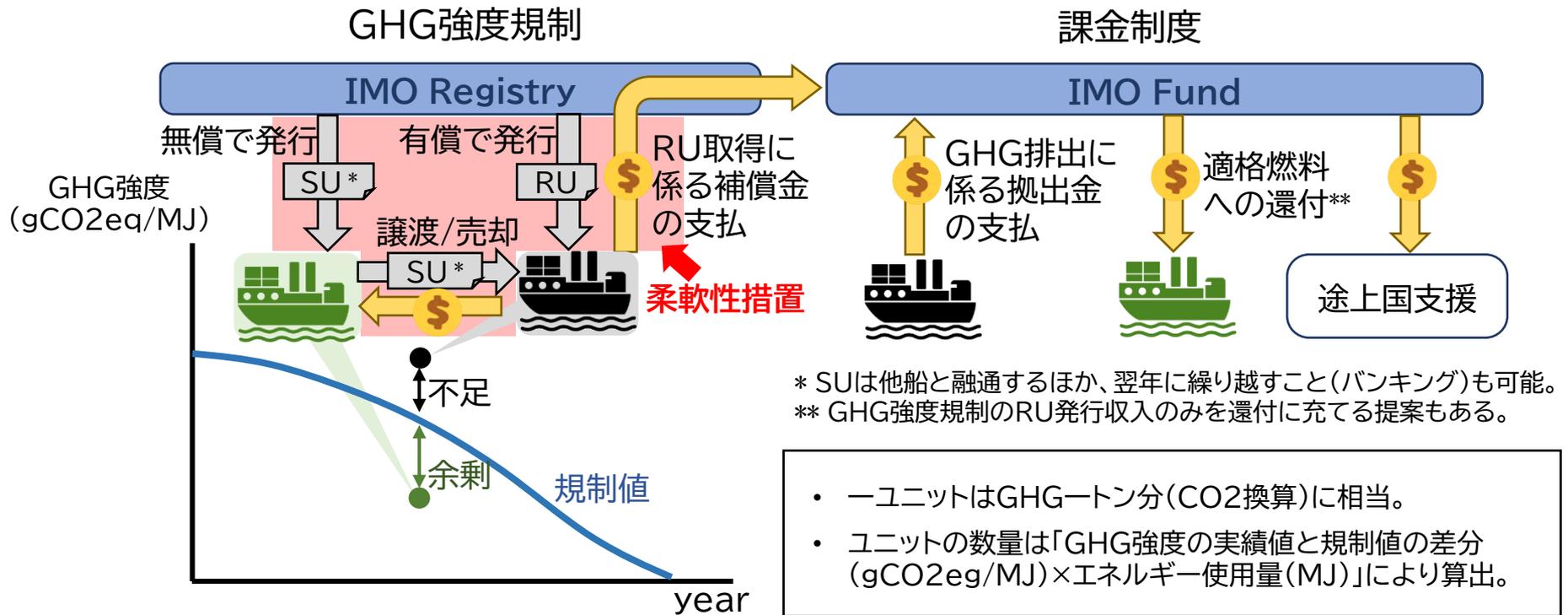
重油とアンモニアのWtWと価格の例



(出典)Ricardo, *Technological, Operational and Energy Pathways for Maritime Transport to Reduce Emissions Towards 2050*, 2022.4

GHG強度規制とGHGプライシング

- IMOでは、GHG強度規制とGHGプライシングから成る中期対策を2025年中に合意すべく検討中。
- GHG強度規制は、船舶のGHG強度(エネルギー単位当たりGHG排出量)を規制するもの。同規制に適合する手段として柔軟性措置(IMOが発行するユニットの活用)が提案されている。
- 課金制度は、GHG排出量に応じて拠出金の支払いを義務付けるもの。課金収入を適格燃料への還付や途上国支援に活用する提案がなされている。
- 日本は欧州諸国と共に、ゼロエミッション燃料船の普及に向けた課金・還付制度と、柔軟性措置のあるGHG強度規制を提案。IMOでは、GHG強度規制を軸に検討が進められている。



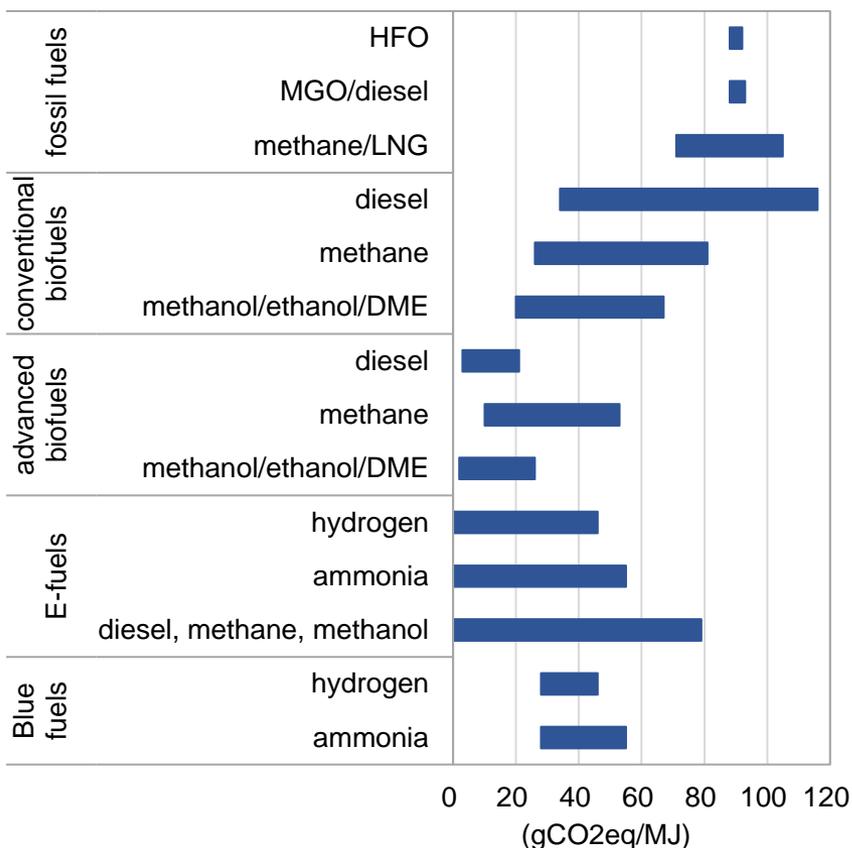
(備考)RU: Remedial Unit、SU: Surplus Unit

- 一ユニットはGHG一トン分(CO₂換算)に相当。
- ユニットの数量は「GHG強度の実績値と規制値の差分 (gCO₂eq/MJ) × エネルギー使用量(MJ)」により算出。

Well-to-wake(ライフサイクル排出量)の評価

- バイオ燃料や水素由来の合成燃料(e-fuel, blue fuels)のWtWは原料や生産工程によって変わるため、燃料の持続可能性やWtWを统一的に評価する手法が必要。
- IMOではWtWの評価方法や燃料ライフサイクルラベル(FLL)の様式等を定めたLCAガイドラインを策定。評価方法の改善や持続可能性基準・認証ガイダンスの策定など、更なる改善に向けて検討中。

燃料のWtW



(出典)Ricardo & DNV, *Study on the Readiness and Availability of Low- and Zero-Carbon Ship Technology and Marine Fuels*, 2023.

LCAガイドラインの目次

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Part I: General | 1 Introduction |
| | 2 Scope |
| Part II: Methodology | 3 General Approach |
| | 4 Well-to-Tank (WtT) |
| | 5 Tank-to-Wake (TtW) |
| | 6 Well-to-Wake (WtW) |
| | 7 Sustainability |
| | 8 Fuel Lifecycle Label (FLL) |
| Part III: Default Emission Factors and Actual Values | 9 Default Emission Factors |
| | 10 Actual Emission Factors |
| Part IV: Verification and Certification | 11 Elements Subject to Verification/Certification |
| | 12 Identification of Certification Schemes/Standards |
| Part V: Review | 13 Continuous Review Process |
| Appendix 1 Fuel List with Fuel Pathway Code | |
| Appendix 2 Initial Default Emission Factors per Fuel Pathway Code | |
| Appendix 3 Abbreviations and Glossary | |
| Appendix 4 Template for Well-to-Tank Default Emission Factor Submission | |
| Appendix 5 Template for Tank-to-Wake Default Emission Factor Submission | |

(出典)Resolution MEPC.391(81) 2024 Guidelines on Life Cycle GHG Intensity of Marine Fuels (2024 LCA Guidelines)

海運EU ETSとFuelEU Maritime

- EUでは2024年から海運EU ETS、2025年からFuelEU Maritime(柔軟性措置のあるWtWベースのGHG強度規制)を導入。EU発着船を保有・運航する日本の事業者にも影響。
- FuelEU Maritimeでは、EU指令に従って認証されたバイオ燃料(食料・飼料由来のものを除く)やグリーン燃料(RFNBO・RCF)などを利用する場合、認証された値を使用することが可能。認証されていない場合、同種の化石燃料のデフォルト値のうち最も高い値を使用。

(備考)RFNBO: renewable fuels of non-biological origin、RCF: recycled carbon fuels

| | 海運EU ETS(2024年～) | FuelEU Maritime(2025年～) |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 規制内容 | <ul style="list-style-type: none"> 船舶の年間GHG排出量(2024-2025年はCO2排出量)に相当する排出枠を購入・償却する(海運分野の排出枠は全てオークションによる有償割当)。 | <ul style="list-style-type: none"> 船舶の年間GHG強度を規制値以下にする。 規制適合のための柔軟性措置として、余剰分の翌年への繰り越し、不足分の翌年からの前借り、過不足分の船舶間での融通(プーリング)が認められる。 2030年以降、コンテナ船・旅客船はEU域内指定港に停泊する際、陸電使用を義務付けられる。 |
| 規制対象 | <ul style="list-style-type: none"> EU域内での航海・停泊時の排出量の100% EU域内外を結ぶ航海による排出量の50% 2024年は上記排出量の40%、2025年は同70%に限定して償却義務が発生。 | <ul style="list-style-type: none"> EU域内での航海・停泊時の消費エネルギーの100% EU域内外を結ぶ航海による消費エネルギーの50% |
| 収入の使途 | <ul style="list-style-type: none"> オークション収入はInnovation Fundによる低炭素技術の実証支援等に活用。 | <ul style="list-style-type: none"> 罰金収入は海運の再生可能燃料や低炭素燃料の導入支援に活用。 |

EUにおけるバイオ燃料の基準

- EU再生可能エネルギー指令(EU REDII)に基づくバイオ燃料(バイオガスを含む)のGHG削減基準は、化石燃料比でGHG削減率65%以上(32.9gCO₂eq/MJ以下)。
- 農地由来の廃棄物・残渣、農業バイオマスと森林バイオマスは、持続可能性基準に適合する必要あり。これらの基準は、土地利用変化によるGHG排出量の増加と生物多様性の劣化を防ぐことが目的。
- EUは、土地利用変化リスクの高い資源作物由来のバイオ燃料よりも、廃食油や動物油脂由来のバイオ燃料など先進バイオ燃料の普及を目指す方針。

バイオ燃料の持続可能性基準

| 原料 | 持続可能性基準 |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 農業・水産業・林業由来の残渣を除く廃棄物・残渣 | - |
| 農地由来の廃棄物・残渣 | 土壌の品質・炭素への影響を監視又は管理する計画があり、同影響を監視・管理する方法を報告している。 |
| 農業バイオマス(一部の森林バイオマス) | 生物多様性の高い土地(原生林、老齢林など)、炭素蓄積量の多い土地(湿地など)、泥炭地(一定の例外を除く)に由来しない。 |
| 森林バイオマス | 非持続的な生産リスクを最小化する基準及び土地利用セクターのGHG削減基準に適合している(土壌の品質と生物多様性を考慮した伐採方法が確保されている、炭素蓄積レベルが維持されているなど)。 |

(出典)EU REDII第29条

先進バイオ燃料の原料

| | |
|--------|--------------------------------|
| Part A | a. 藻類 |
| | b. 都市ごみのバイオマス分(家庭リサイクルごみを除く) |
| | c. 家庭ごみのバイオ廃棄物 |
| | d. 産業廃棄物のバイオマス分(食用・飼料用に適さないもの) |
| | e. 藁 |
| | f. 家畜糞尿・下水汚泥 |
| | g. パーム油工場排水・パーム空果房 |
| | h. トール油ピッチ |
| | i. 粗グリセリン |
| | j. バガス |
| Part B | k. ブドウ搾りかす・酒粕 |
| | l. ナッツ殻 |
| | m. 穀類等の殻 |
| | n. とうもろこしの穂軸 |
| | o. 林業廃材中のバイオマス分 |
| | p. その他非食用のセルロース系原料 |
| | q. リグノセルロース計原料(製材用・ベニア用丸太を除く) |
| | a. 廃食油 |
| | b. 動物油脂 |

(出典)EU REDII Annex IX

EUにおけるグリーン燃料の基準

- EU REDIIに基づくグリーン燃料(RFNBO・RCF)のGHG削減基準は、化石燃料比でGHG削減率70%以上(28.2gCO₂eq/MJ以下)。
- グリーン燃料のGHG排出量は、燃料生産に使用される投入物の供給による排出量と、燃料の生産・輸送・燃焼による排出量の合計から、炭素回収・貯留(CCS)による排出削減量を考慮する形で算出。
- 電力投入による排出量をゼロとするためには、再生可能エネルギー由来の電力を使用する必要あり。
- 回収CO₂による排出削減量を考慮するためには、一定要件を満たす回収CO₂を使用する必要あり。

グリーン燃料の排出量(E)の計算式

$$E = e_i + e_p + e_{td} + e_u - e_{ccs}$$

排出量 投入物による排出量 生産による排出量 輸送による排出量 燃焼による排出量 炭素回収・貯留による排出削減量

(備考)排出量又は削減量の単位は全てgCO₂eq/MJ

$$e_i = e_{i\text{ elastic}} + e_{i\text{ rigid}} - e_{\text{ex-use}}$$

弾性投入物(電力等)による排出量 剛性投入物(排ガス等)による排出量 従来使用からの転換による排出削減量(回収CO₂)

- EU ETS指令附属書Iに掲げられる活動に由来するCO₂(発電由来は2035年、それ以外は2040年まで)
- 大気直接回収CO₂
- EUのGHG削減基準と持続可能性基準を満たすバイオ燃料の生産又は燃焼に由来するCO₂
- EUのGHG削減基準を満たすRFNBO・RCFの燃焼に由来するCO₂
- 地層から自然に放出されたCO₂

EUによるGHG削減対策の影響

- EUは先進バイオ燃料やグリーン燃料などの次世代燃料、特にRFNBO(e-fuel)の普及を目指す方針。
- EU規制は、EU発着船に關与する日本の事業者に影響。さらに、EU基準に従って認証された燃料が普及すれば、IMOの中期対策において当該基準が考慮される可能性あり。
- このため、日本の競争力を確保する観点から、EUを含む主要国・地域の動向を踏まえつつ、国際基準に沿った次世代燃料の生産・供給体制の構築に向けた検討を進めることが重要。

FuelEU MaritimeのRFNBO関連規定(第5条)

‘multiplier’

- 2033年末まで、RFNBOを使用する場合は、WtWを本来の値の半分にすることが可能。

‘sunrise clause’

- 2031年の全船舶のRFNBO使用割合が平均1%未満の場合、2034年から各船舶にRFNBO使用割合を2%以上とすることを義務化。違反の場合は罰金を徴収。
- ただし、以下の場合は免除される。
 - ✓ 2032年の全船舶のRFNBO使用割合が平均2%を超える場合
 - ✓ RFNBOの生産能力・利用可能性が不十分と見做される場合 など

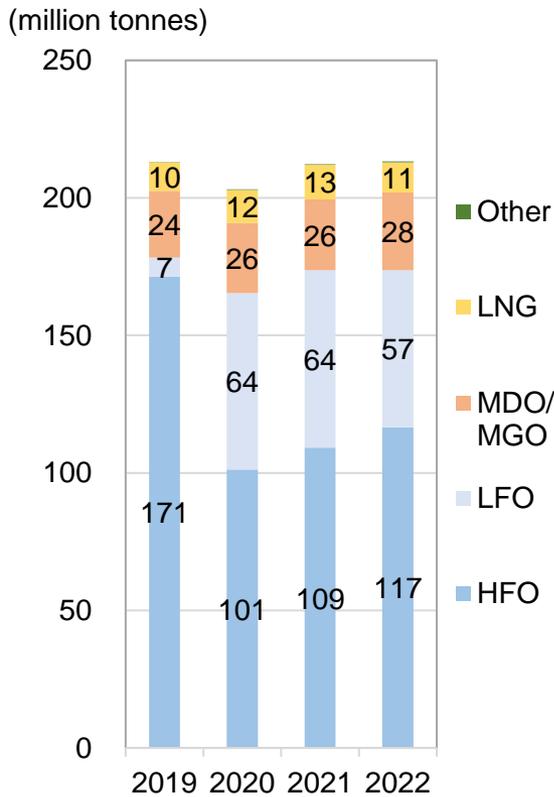
Innovation FundによるRFNBOの生産補助

- 2023年11月にRFNBOの生産を支援するための競争入札を開始し、2024年2月に開札。
- 審査の結果、7つのプロジェクトを選定。補助総額は約7億2000万ユーロ。
- 対象プロジェクトの総電解容量は1.5GW、RFNBO水素生産量は10年間で158万トンとなる見通し。
- 次回入札は2024年中に開始予定。

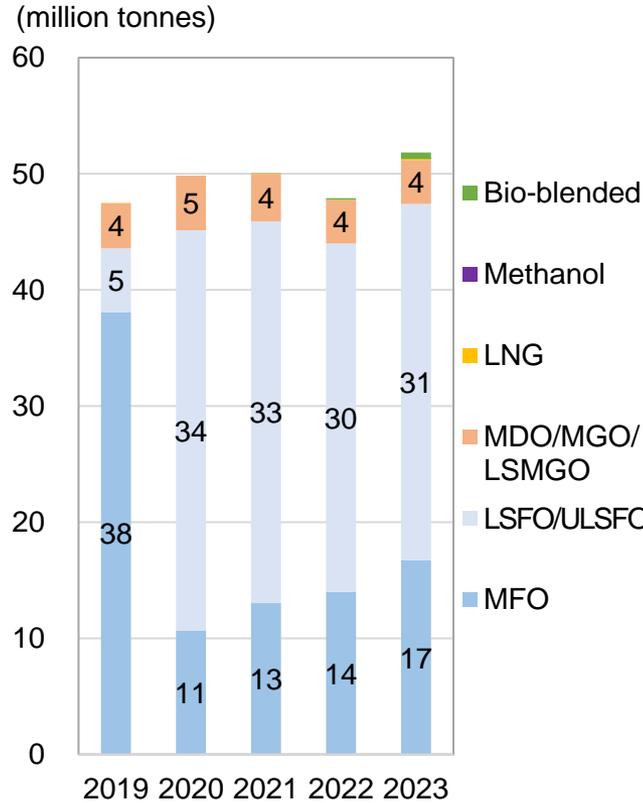
国際海運の燃料消費量

- 国際海運の燃料消費量は年間約2億トン。大半が重油又は軽油であり、LNGは約5%を占める。
- シンガポールやロッテルダムなど主要港ではバイオブレンド油の供給が増えつつある。

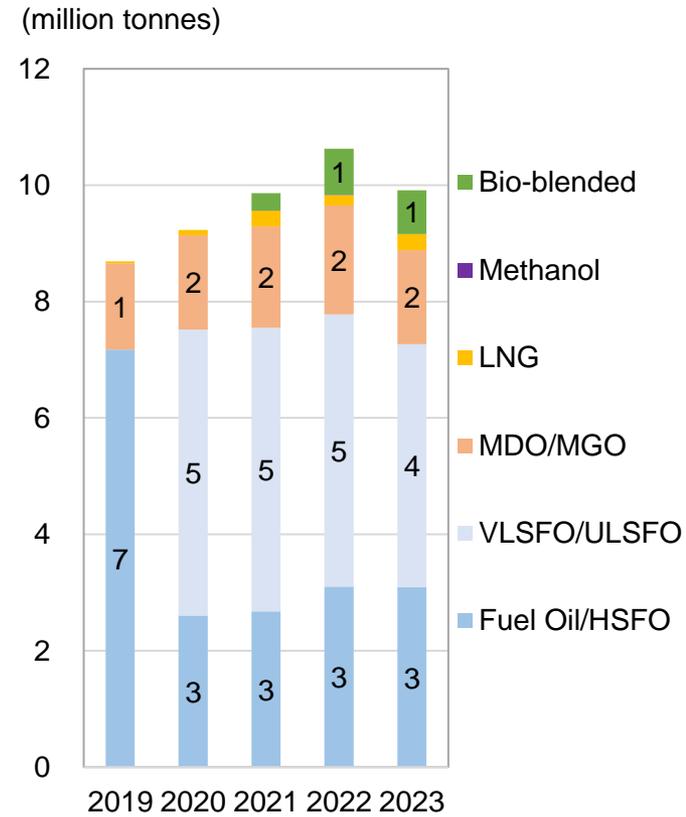
国際海運の燃料消費量



シンガポール港の燃料販売量



ロッテルダム港の燃料販売量



(出典) IMO, Report of fuel oil consumption data submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database in GISIS

(出典)シンガポール港ウェブサイトのデータを基に作成

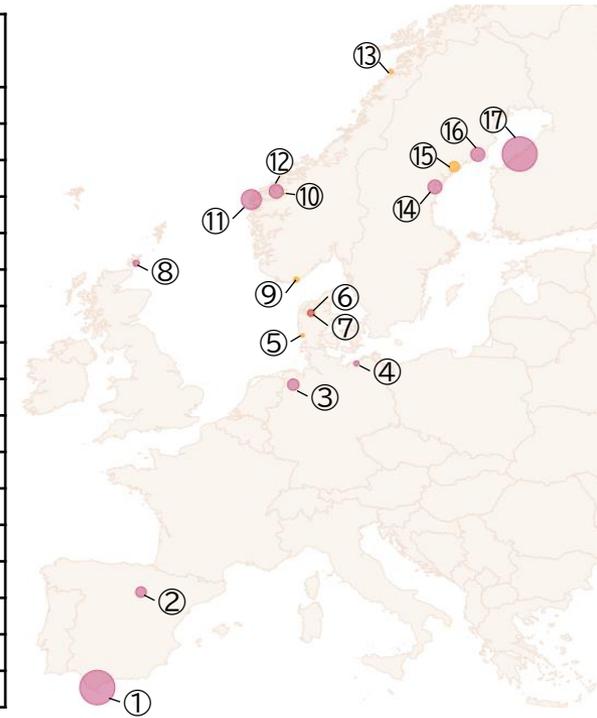
(出典)ロッテルダム港ウェブサイトのデータを基に作成

欧州のe-fuelプロジェクト

- Transport & Environmentによれば、2024年2月時点で欧州域内における61のe-fuel生産プロジェクトの内、海運向けプロジェクトは計17。
- これら海運向けプロジェクトが全て実現した場合、e-fuelの供給量は2030年までに欧州域内の海運エネルギー需要の4%に達するが、投資決定済みプロジェクトに限定すれば0.24%に留まる。
- プロジェクト実現に向けた投資リスク低減には、更なる需要喚起と支援策が必要とされる。

欧州の海運向けe-fuelプロジェクト

| Project | Country | Status | Year online | Fuel type | Capacity (tonnes/year) |
|----------------------------|---------|------------------|-------------|----------------|------------------------|
| ①San Roque Ammonia | Spain | Under discussion | 2027 | e-Ammonia | 750,000 |
| ②eM-Numancia | Spain | Under discussion | 2028 | e-Methanol | 50,000 |
| ③Nautilus | Germany | Under discussion | 2027 | e-Methanol | 60,000 |
| ④HyTech Hafen Rostock | Germany | Under discussion | 2026 | Green hydrogen | 6,500 |
| ⑤European Energy Måde | Denmark | Decided - FID | 2024 | Green hydrogen | 1,600 |
| ⑥ReIntegrate, Advent | Denmark | Decided - FID | 2024 | e-Methanol | 16,000 |
| ⑦European Energy/Skyve | Denmark | Under discussion | - | e-Methanol | 10,000 |
| ⑧Orkney Green hydrogen | UK | Under discussion | - | e-Ammonia | 9,750 |
| ⑨Hydrogen Hub Agder | Norway | Decided - FID | 2025 | Green hydrogen | 8,000 |
| ⑩Hellesylt Hydrogen Hub | Norway | Decided - FID | 2024 | Green hydrogen | 474.5 |
| ⑪Holmaneset | Norway | Under discussion | 2027 | e-Ammonia | 226,000 |
| ⑫Project Slagen terminal | Norway | Under discussion | 2025 | e-Ammonia | 100,000 |
| ⑬Bodø hydrogen | Norway | Decided - FID | 2026 | Green hydrogen | 3,000 |
| ⑭FlagshipTWO | Sweden | Under discussion | 2024 | e-Methanol | 100,000 |
| ⑮FlagshipONE | Sweden | Decided - FID | 2025 | e-Methanol | 50,000 |
| ⑯The Dåva facility | Sweden | Under discussion | 2026 | e-Methanol | 100,000 |
| ⑰Kokkola Renewable Ammonia | Finland | Under discussion | 2028 | e-Ammonia | 760,000 |



(出典) Transport & Environment, *E-Fuels observatory for Shipping: An overview of clean fuels projects and their supply potential to meet the needs of the European maritime industry*, 2024.

(出典) Transport & Environmentウェブサイト (<https://www.transportenvironment.org/e-fuels>)を一部加工

まとめ

- IMOではGHG強度規制を軸に、WtWを考慮した中期対策を2027年に導入すべく検討中。WtWの評価方法や燃料の持続可能性基準などLCAガイドランの改善に向けた検討も実施中。
- EUでは2024年から海運EU ETSを導入。2025年には、バイオ燃料やグリーン燃料など次世代燃料への転換を促すFuelEU Maritimeを導入。
- EUは、RFNBO(e-fuel)の普及を目指す方針であるが、欧州域内で投資決定済みの海運向けe-fuelプロジェクトによる2030年までのe-fuel供給量は、域内需要の1%に満たない見込み。
- EU基準に適合する燃料の普及状況や、IMOにおける国際基準の検討状況を踏まえつつ、日本における次世代燃料の生産・供給体制の構築に向けた検討を進めることが重要。