

脱炭素化に向けた国際海運の取り組みと LNG バンカリング体制

化石エネルギー・国際協力ユニット

ガスグループ 主任研究員

松倉誠也

1. はじめに

近年、船舶からの硫黄酸化物（SO_x）、粒子状物質（PM）、窒素酸化物（NO_x）及び CO₂等の温室効果ガス（GHG）の排出量削減を目的とした、海洋の環境規制が強化されている。これら排出基準を満たせない船舶は、市場からの撤退を余儀なくされ、物流など経済活動へ大きな影響を引き起こす。また、天然ガスや石油等の大部分を輸入に頼る日本では、エネルギーセキュリティへの影響も甚大なものとなる。

これら環境規制への対応として、船舶への排ガス洗浄装置の導入や低硫黄燃料の転換が進んでおり、特に硫黄分を全く含有しない液化天然ガス（LNG）燃料の導入が拡大している。これらは 20 世紀初頭に石炭から石油系燃料に転換した時以来、100 年振りの船舶燃料の大転換期に当たる。海洋立国である日本は、2019 年の海運貿易割合（トン数ベース）が輸出入合計で 99.6%に達しており、日本商船隊（本邦船会社が運航する外航船）は世界の海上輸送の 63.1%を担っていることから¹、国際海運において率先垂範の姿勢が求められている。本稿では、海洋における環境規制強化の状況を概観し、対応策としての次世代船舶燃料を紹介した後、LNG バンカリング（船舶への燃料供給）体制の進捗、今後に向けた課題等をまとめる。

2. 海洋における環境規制

1958 年 3 月、国連の専門機関である国際海事機関（International Maritime Organization: IMO）が、海洋汚染防止など海事分野の諸問題について、政府間協力を推進するために設立された。2021 年 6 月現在、日本を含む 174 カ国が加盟している。IMO が定める海洋の大気汚染規制対象は、①燃料油中硫黄含有量（SO_x, PM）、②NO_x 排出量及び③GHG 排出量（エネルギー効率）の 3 つに大別される（Fig. 1）。

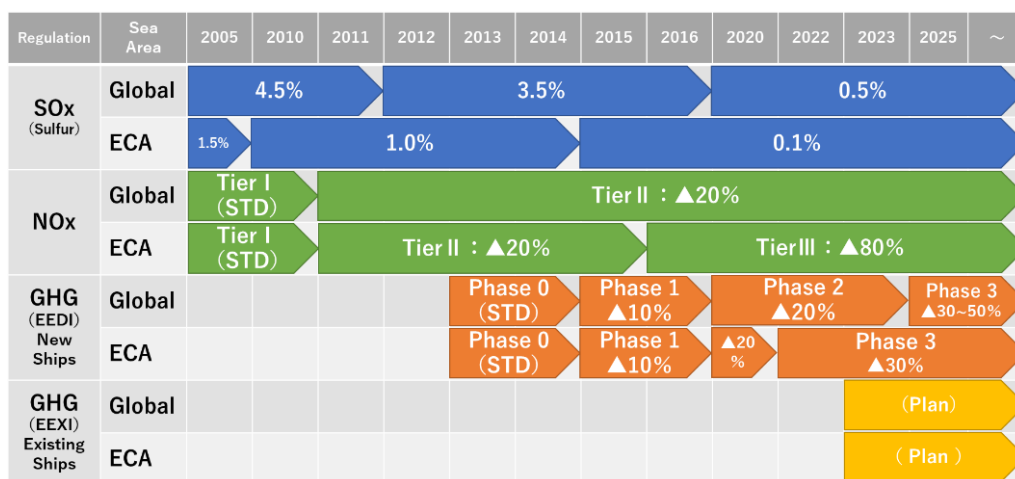


Figure 1: 海洋環境規制強化の推移

出典: IMO より筆者作成

¹ JSA, SHIPPING NOW 2020-2021

(1) MARPOL 条約: 海洋汚染防止条約

1973 年 11 月、船舶の運航に起因する海洋汚染防止を目的とした MARPOL 条約が採択された。1978 年 2 月、同条約を一部修正する「73/78 MARPOL 条約」が採択され、1983 年 10 月発効された。現在、同条約の附属書は 6 つあり (I) 油, (II) 有害液体物質, (III) 有害物質, (IV) 船舶汚水, (V) 廃棄物油, (VI) 大気汚染物質が規定されている。このうち、附属書 VI「船舶からの汚染防止のための国際条約」が 1997 年 9 月に採択、2005 年 5 月に発効され、大気汚染物質として SO_x, PM 及び NO_x が規制されている。

① 排出規制海域と一般海域

環境規制は、排出規制海域 (Emission Control Area: ECA) と一般海域 (Global) に分けて適用される (Fig. 2)。当初 ECA は北米、南米カリブ海と北海、バルト海が指定され、中国は 2019 年 1 月より、韓国は 2020 年 4 月より独自の排出規制海域を設定した。さらに、地中海においても、早ければ 2024 年 3 月にも ECA 適用が発効する可能性がある。一般海域については、ECA 以外の全海域が対象となっている。

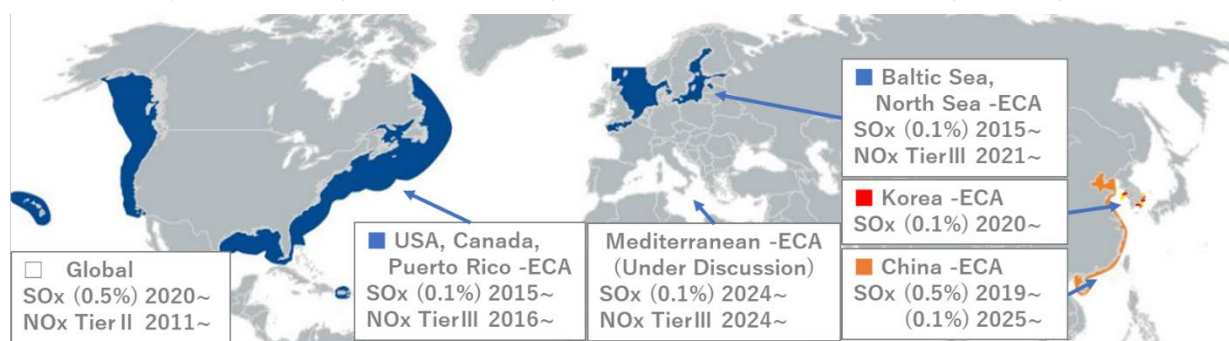


Figure 2: 世界の排出規制海域と一般海域

出典: DNV² より筆者修正

② SO_x 及び NO_x 排出規制

SO_x 規制は、欧米 ECA は 2015 年から燃料中硫黄含有量 0.1% 以下、一般海域は 2020 年から 0.5% 以下に引き下げられた (Fig. 3)。NO_x 規制は、Tier I で 2000~2010 年起工船のエンジン定格回転数での排出量を基準として、Tier II は 2011 年以降起工船で 20% 削減、Tier III は ECA の 2016 年以降起工船で 80% 削減を求めた (Fig. 4)。2016 年から北米海域、2021 年から北欧海域で Tier III 規制が課されている。

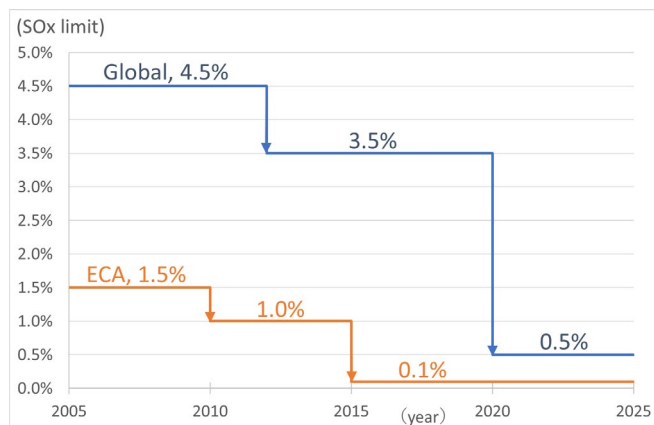


Figure 3: SO_x 規制の推移

出典: IMO より筆者作成

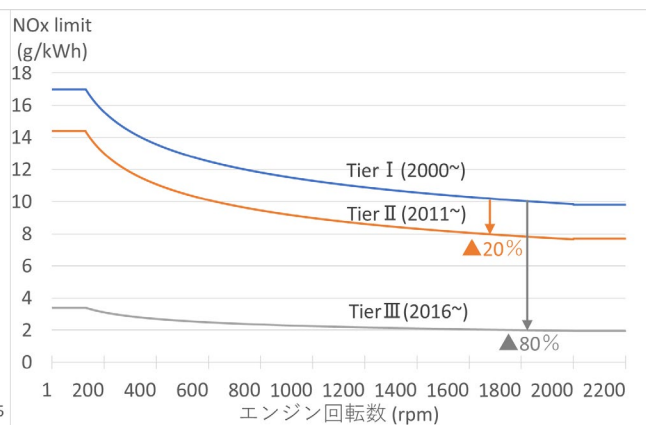


Figure 4: NO_x 規制の推移

出典: IMO より筆者作成

² DNV: ノルウェー・オスロに本部を置く、国際的な認定登録機関・船級協会。1864 年に設立。

(2) GHG 排出量への対策

1992 年、気候変動枠組条約 (UNFCCC) が採択され、1994 年発効された。1997 年の第 3 回締約国会議 (COP 3) では、「京都議定書」が採択され、GHG 削減目標が課された。次に 2015 年の COP 21 では「パリ協定」が採択され、世界平均気温上昇を 2°C より低く保ち、さらに 1.5°C に抑制する努力を推進するとした。その中で、各国が定める貢献 (NDC) について、5 年毎に削減目標を定め、取り組むとした。

一方、国際海運部門では、「京都議定書³」によると、UNFCCC とは別に IMO 独自の気候変動対策が設定されている (Fig. 5)。これは国際海運の性質上、船舶の GHG 排出における責任境界を海運会社や貨物所有者、港湾及び地域毎の設定は困難であり、NDC の削減目標には適さないためである。また、国際航空部門についても、国連の専門機関である ICAO (国際民間航空機関) にて排出対策が設定されている。

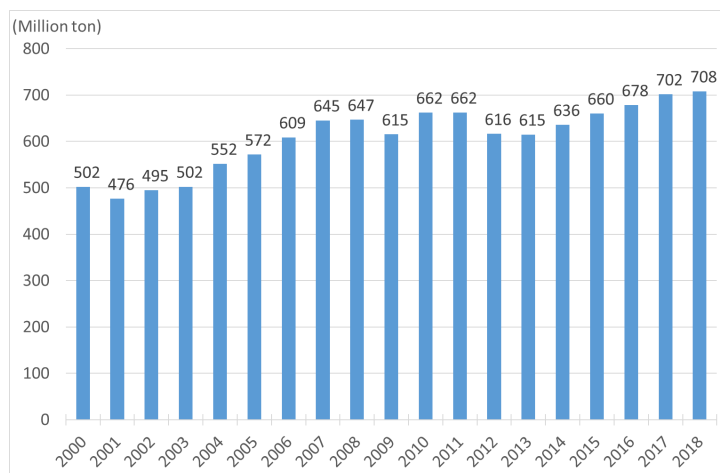


Figure 5: UNFCCC 枠組み外の GHG 削減対策

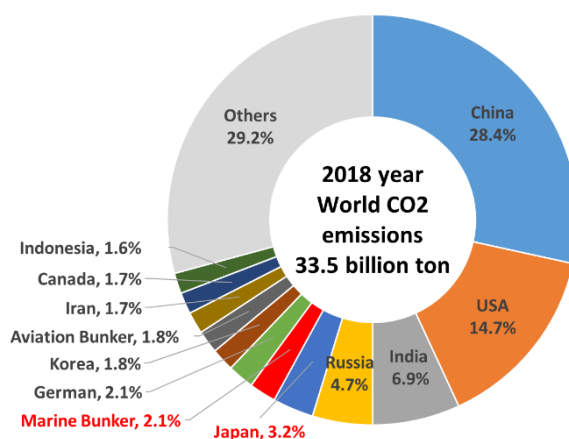
出典: 各社情報より筆者作成

① 国際海運由来の CO₂ 排出量

国際エネルギー機関 (IEA) によると、2018 年における世界全体のエネルギー起源 CO₂ 排出量は 335 億 1,300 万トンであり、そのうち国際海運は 7 億 800 万トンと全体の 2.1% を占める (Figs. 6, 7)。この値は、国別では世界第 5 位である日本の 10 億 8,000 万トンに次いで多く、第 6 位のドイツの 6 億 9,600 万トンを上回っている。また、国際海運の排出量は過去 10 年間で 15% 増加しており、現状のままでは 2030 年には 15 億トンと倍増、2050 年には 30 億トンに達すると見積もられている。

Figure 6: 国際海運からの CO₂ 排出量推移

出典: IEA より筆者作成

Figure 7: 世界の CO₂ 排出量比率

出典: IEA より筆者作成

³ 京都議定書 第 2 条第 2 項「附属書 I に掲げる締約国は、国際民間航空機関及び国際海事機関を通じて活動することにより、航空機用及び船舶用の燃料からの温室効果ガスの排出の抑制又は削減を追求する。」

② IMO GHG 排出削減戦略

IMO の委員会の一つである MEPC (Marine Environment Protection Committee: 海洋環境保護委員会) は、船舶からの汚染防止・規制事項の検討を行っている。2018 年 4 月の第 72 回会合 (MEPC 72) にて、「IMO GHG 削減戦略」が採択され、海運由来の GHG 排出量を可能な限り早期にピークアウトし、2008 年比で 2050 年までに 50%削減、2100 年までにゼロエミッションを目指すとした(Fig. 8)。また、単位輸送当り排出量は、2008 年比で 2030 年に 40%、2050 年には 70%効率向上を目指すとしている。

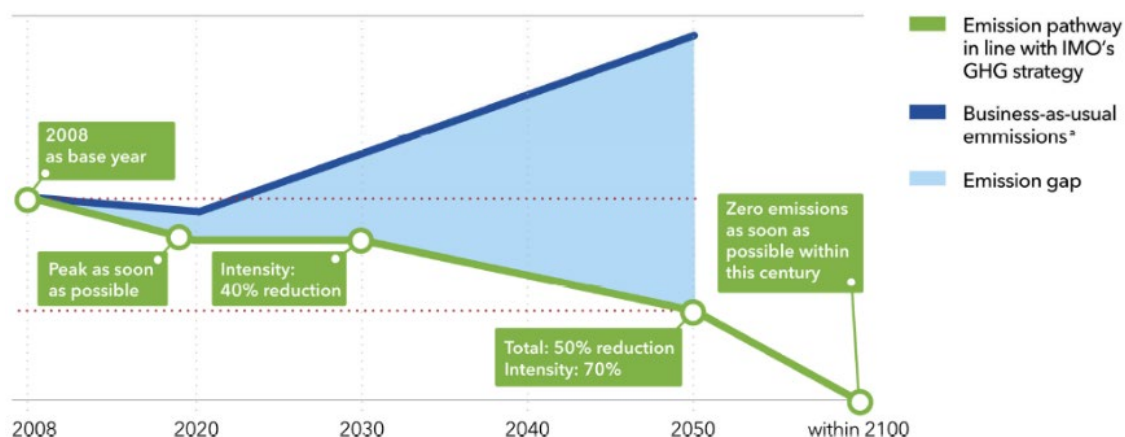


Figure 8: IMO GHG 排出削減戦略

出典: DNV

③ 欧州域内の動向

2020 年 9 月、欧州議会は、2022 年を目途に海運由来 CO₂ 排出量を EU-ETS⁴ (EU 域内排出量取引制度) に組み込む議案を可決した。海運版 EU-ETS が採用された場合、EU-MRV⁵ (EU 域内運航データ報告制度) の CO₂ 排出量に応じた排出枠購入が必須となり、運航コストが上昇することになる。また、国際海運の GHG 対策は IMO により講じられる、という基準とダブルスタンダードとなる問題も懸念され、2021 年 6 月には日本の国土交通省も「EU-ETS の国際海運拡大に対する反対意見」を提出している。海運版 EU-ETS については今後集中議論されると見られ、その動向を注視する必要がある。

④ 海運における日本政府の取り組み

GHG 削減へ向けた政策として、短期的には船舶のエネルギー効率向上及び低炭素燃料への転換、長期的には脱炭素燃料への転換が想定されている。2020 年 3 月、国土交通省は国際海運の脱炭素化に向けたロードマップを策定し、2028 年までに「ゼロエミッション船」の商業運航を目指すと発表した(Fig. 9)。

⁴ EU-ETS (EU-Emission Trading Scheme): 2005 年発効。EU 域内における複数国間での CO₂ 排出権取引制度。

⁵ EU-MRV (EU-Monitoring, Reporting and Verification): 2018 年発効。EU 発着船舶に運航データ報告義務を課す制度。

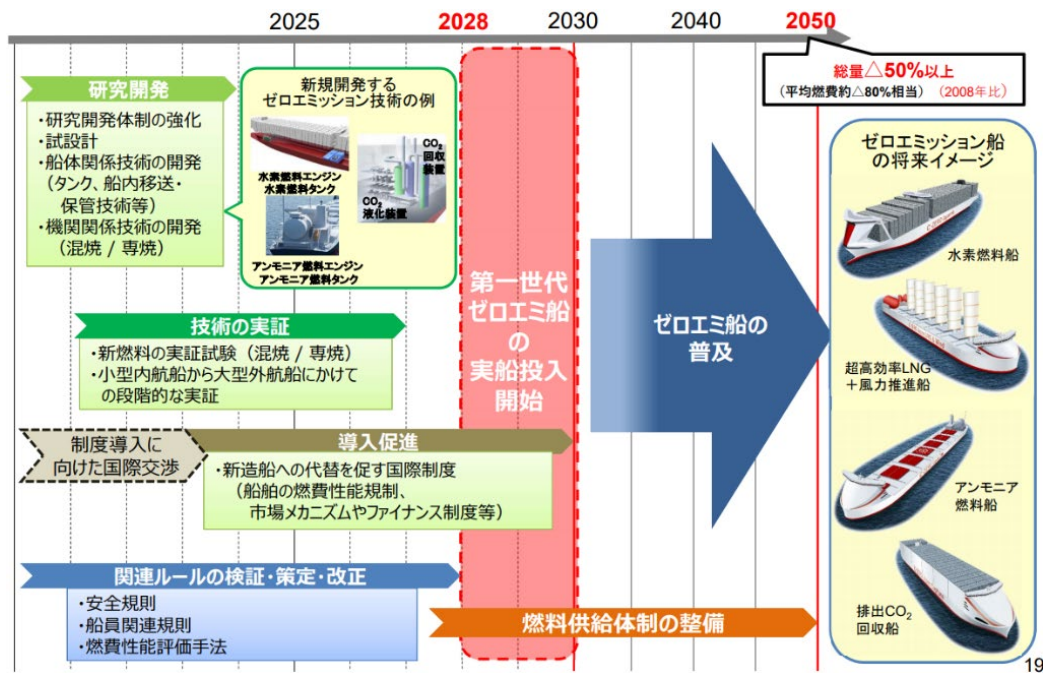


Figure 9: ゼロエミッション船の実現に向けたロードマップ概略

出典: 国土交通省

2020 年 12 月、経済産業省は今後 10 年間で企業を支援する 2 兆円の「グリーンイノベーション基金」設立と重要 14 分野の実行計画「グリーン成長戦略」を公表し、2021 年 6 月に更なる戦略の具体化を発表した。船舶産業では、造船・海運業の強化及びカーボンニュートラル等に取り組むとしている (Fig. 10)。



Figure 10: 船舶産業の成長戦略工程表

出典: 経済産業省

(3) 既存の GHG 排出規制

2011 年 7 月に MEPC 62 が開催され、CO₂ 排出削減を目的として、①SEEMP 及び②EEDI を強制化する附属書 VI 改正案が採択され、2013 年 1 月発効した。総トン数 400 トン以上の国際船舶に適用された。

① SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan: 船舶エネルギー効率管理計画書)

全船舶のエネルギー効率改善のため、航海ごとの運航上取り組みを示した管理計画書 (SEEMP) の航海前作成が義務付けられた。航海中は計画に沿って運航し、航海後にレビューを行う。2016 年 10 月に MEPC70 が開催され、SEEMP 改正案が採択された。2019 年より総トン数 5,000 トン以上の国際船舶は、燃料消費量等の運航データ収集及び報告が義務付けられた。

② EEDI (Energy Efficiency Design Index: 新造船への燃費性能規制)

新造船の建造契約日と引渡日に応じて、燃費効率適合が務付けられた。1999～2008 年の建造船トン・マイル当たり排出量平均値を基準にフェーズ 0 とし、2020 年以降でフェーズ 2 (20%削減)、2025 年以降でフェーズ 3 (30%削減) と強化される (Fig. 11)。ただし、VLGC (Very Large Gas Carrier: 大型 LPG 運搬船)、コンテナ船、クルーズ船、一般貨物船及び LNG 輸送船などの大型新造外航船は、2022 年 4 月以降の新造契約船からフェーズ 3 が前倒し実施となる。

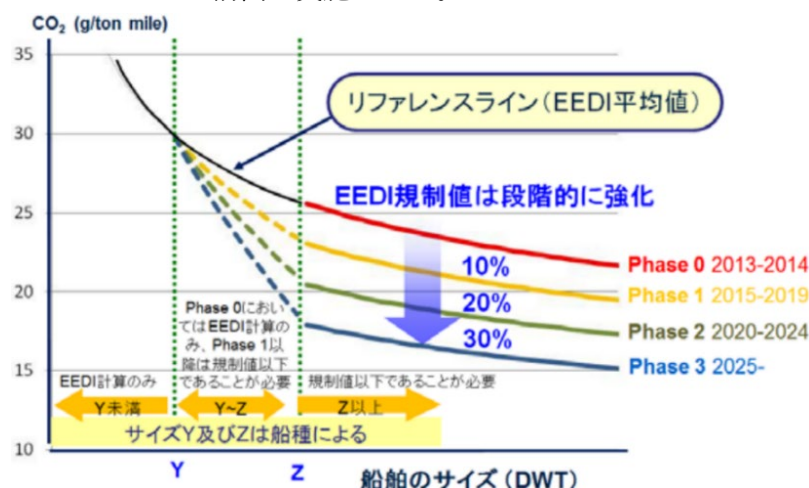


Figure 11: EEDI 規制の推移

出典: ClassNK

(4) 今後の GHG 排出規制

2020 年 11 月、MEPC 75 が開催され、GHG 短期対策として、①EEXI 規制及び②CII の導入案が合意された。2021 年 6 月の MEPC 76 で採択され、2023 年 1 月より規制が開始される。

① EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index: 既存船への燃費性能規制)

既存船の燃費性能を事前評価し、新造船 (EEDI) と同様の燃費が義務付けられる。基準に満たない場合、出力制限 (EPL)⁶や改造が必要となり、新造船転換が促される (Fig. 12)。

⁶ 出力制限 (Engine Power Limitation) : 船舶の回転数設定を変更することで燃費性能 (EEXI) を改善するシステム。緊急時にはリミッターを解除できる。費用対効果は高く、最も簡易的であるが、あくまでも暫定的処置に過ぎない。

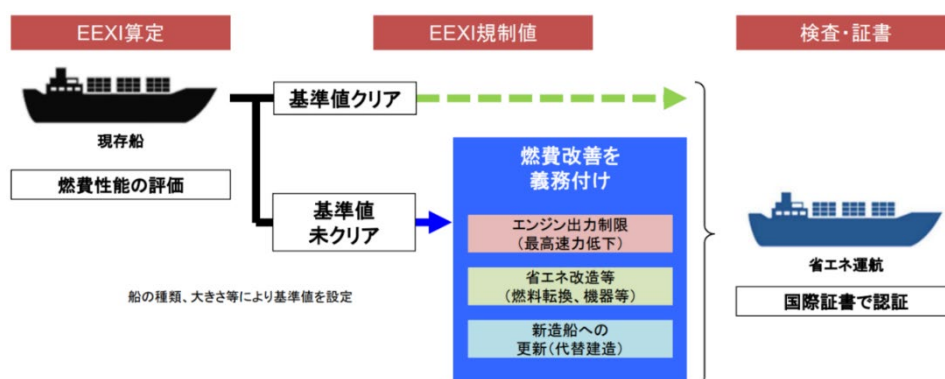


Figure 12: EEXI 規制への対応イメージ

出典: 国土交通省

② 燃費実績格付け制度 (Carbon Intensity Indicator: CII)

1 年間の燃費実績を事後検証し、5 段階（A～E）で評価する制度で、E 評価や 3 年連続の D 評価の場合は改善計画の提出及び実行が求められる (Fig. 13)。

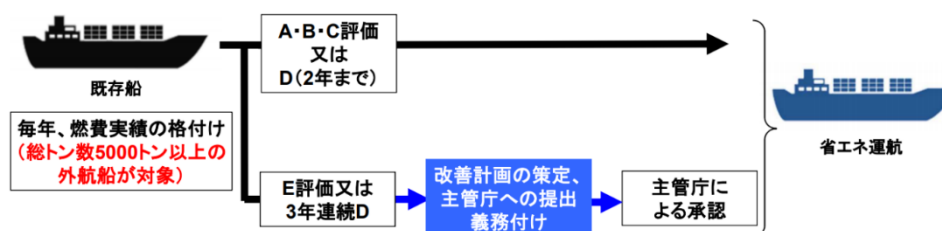


Figure 13: CII 規制への対応イメージ

出典: 国土交通省

③ GHG 規制による LNG 輸送船への影響

既存船への GHG 規制について、日本の平均船齢は比較的新しく影響は限定的と見られるが、唯一 LNG 輸送船は燃料特性と耐久性から船齢が古く、エネルギー効率の悪い船舶も運航していると推察される。

Table 1: 船舶の各推進システムの特徴

分類	推進システム	特徴
Steam	ST: Steam Turbine	BOG/重油をボイラ燃焼し、高圧蒸気でタービン駆動
	Reheat Steam Turbine	高圧蒸気タービン出を再加熱し、中/低圧タービン駆動
Diesel	SSDR: Diesel Re-Liquefaction	重油専焼ディーゼル (BOG 再液化付)、2008 年カタル PJ 採用
	DFDE: Dual Fuel Diesel Engine	二元燃料 (BOG/重油) 燃焼、中速ディーゼル機関
	TFDE: Tri-Fuel Diesel Engine	三元燃料 (BOG/重油/軽油) 燃焼、中速ディーゼル機関
	MEGI/XDF: Low-Speed Diesel Engine	二元燃料 (BOG/重油) 燃焼、低速ディーゼル機関
Mix	STaGE: Steam Turbine & Gas Engines	高効率蒸気タービン機関とディーゼル機関の組合せ

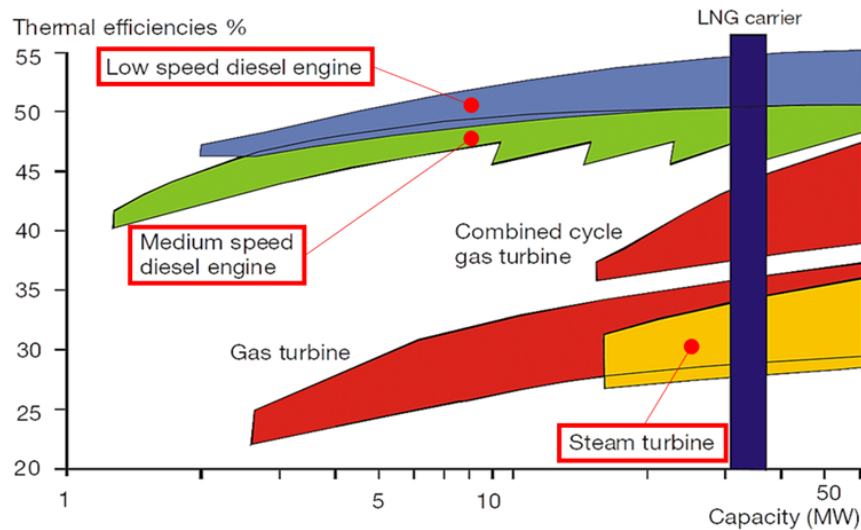


Figure 14: 蒸気タービンとディーゼルエンジンの熱効率
出典: MAN Energy Solutions (MAN Diesel & Turbo)

船用推進機関は、蒸気タービン⁷とディーゼルエンジン⁸の2機関に大別され(Table 1)、熱効率⁹が約2倍(蒸気タービン30%、ディーゼル50%: Fig. 14)異なるため、1970年代のオイルショック以降はほぼ全船がディーゼル機関となった。一方、2000年代までのLNG輸送船300隻以上には、ほぼ全てに蒸気タービンが採用された(Fig. 15)。理由はLNGから発生するBOG¹⁰処理に対して、従来技術では再液化やディーゼル機関での安定燃焼が困難だったためである。LNG輸送船は、故障率の低い蒸気タービンが2023年時点で34%を占めると想定され(Fig. 16)、今後のGHG規制により撤退圧力が高まる可能性がある。

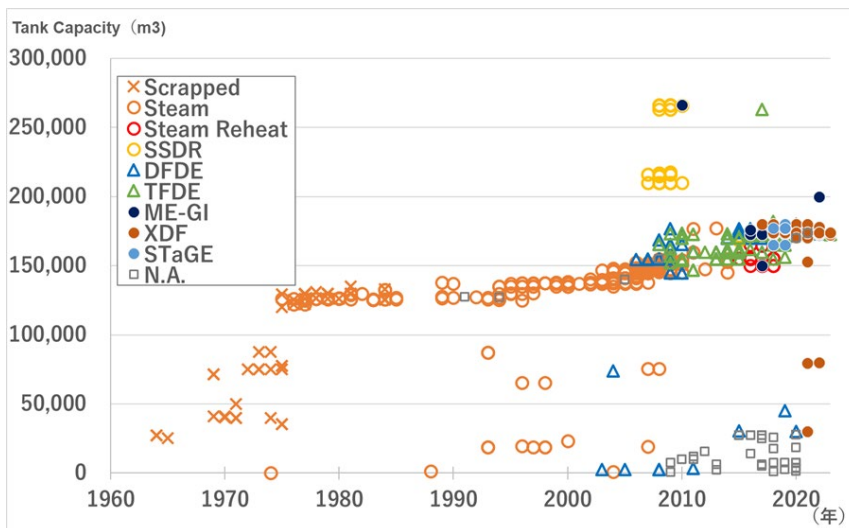


Figure 15: LNG輸送船の推進タイプ別推移 ※バンカリング船含む
出典: IGU, GIIGNL, 各社情報より筆者作成

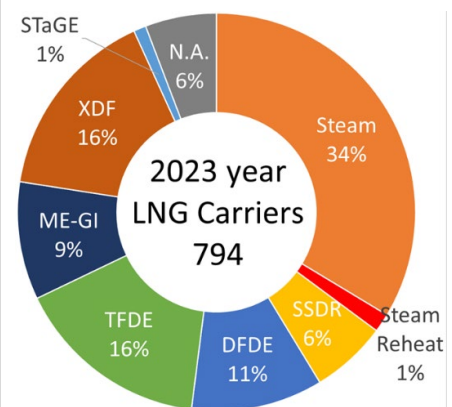


Figure 16: 推進タイプ別比率

⁷ 蒸気タービン: 燃料をボイラ燃焼し高温高圧蒸気によりタービンを駆動。小振動性やメンテナンス面が長所

⁸ ディーゼル機関: シリンダー内部で高温高圧空気に燃料噴射し燃焼することでピストンを駆動。燃費面で長所。

⁹ 熱効率: 熱機関において、燃料を燃焼した際に発生する熱量から、有効なエネルギー(動力)として取り出せる割合

¹⁰ BOG (Boil Off Gas): LNG貯蔵タンク内への外部入熱により、LNG (-162℃) が蒸発して自然発生するガス

出典: 各社情報より筆者作成

3. 環境規制への対策

環境規制の対応として、(1)適合油転換、(2)スクラバー装置、(3)燃料転換が挙げられる。

(1) 適合油: 低硫黄燃料への転換

2020 年 1 月以降の SO_x 規制強化により、船舶燃料は硫黄分 3.5% の高硫黄 C 重油 (HSFO) から 0.5% 以下の低硫黄 C 重油 (VLSFO) や 0.1% 以下のマリンガソイル (MGO) への転換が進んだ。商船三井グループは 800 隻以上の運航船にて、9 割は適合油にて対応、1 割はスクラバーにて対応済と報告している。課題は、GHG 削減には石油系燃料の転換が必要な点や、従来比で約 3 割高い燃料費 (Fig. 17) がある。

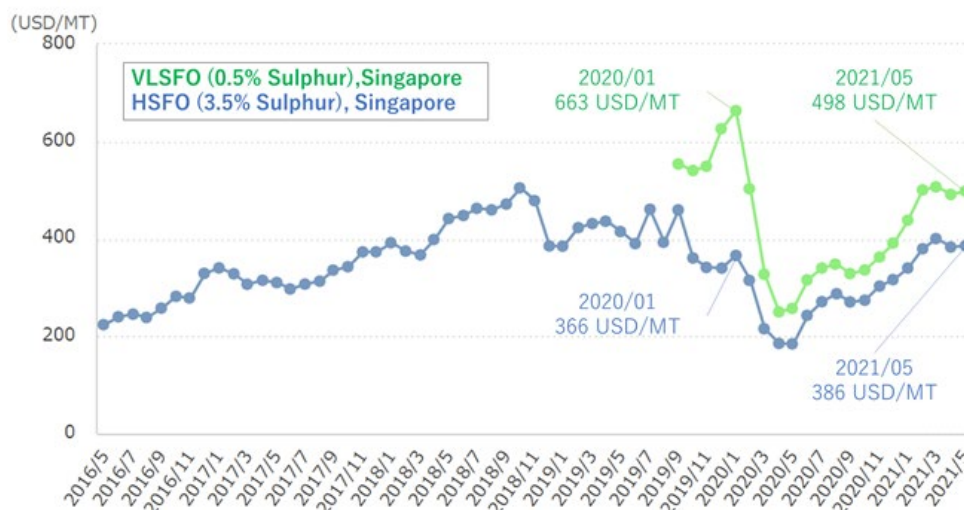


Figure 17: HSFO と VLSFO の価格推移

出典: K-Line data に筆者加筆

(2) スクラバー脱硫装置の導入

スクラバー装置 (Fig. 18) により SO_x や粒子状物質 (PM) の最大 90%、ブラックカーボンの最大 60% が除去可能とされる。脱硫装置を導入することで、HSFO を継続して使用出来る利点がある。



Figure 18: スクラバー装置イメージ

出典: MARINELOG, MOL

スクラバーは、2017 年までの累計導入数はわずか 400 隻だったが、2021 年現在では 4,000 隻を超えている (Fig. 19)。特に、2019 年の 1 年間の導入数は約 2,400 隻分にも上っており、2020 年 1 月から発効

した一般海域の SO_x 規制強化 (3.5→0.5%) に対応するための駆け込み需要を反映している。

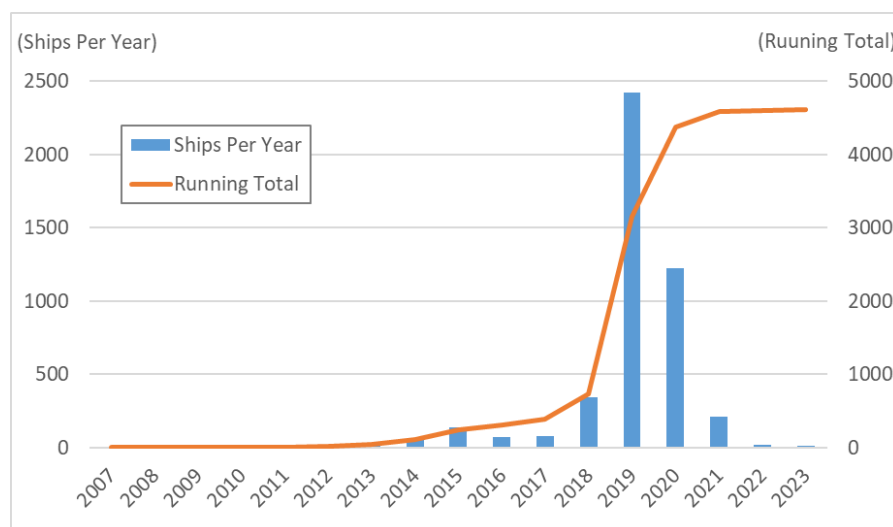


Figure 19: スクラバー搭載船舶の推移

出典: DNV より筆者作成

課題は、スクラバーは GHG 削減には有益ではない点や、洗浄処理排水が海洋に流出する問題がある。さらに、スクラバー補助装置用に約 3 % 燃費が悪化する点からも、これ以上の普及は限定的と見られる。

(3) 燃料転換: ①LNG、②合成燃料、③LPG、④メタノール、⑤水素、⑥アンモニア、⑦バッテリー
① LNG: 従来比で SO_x, PM を約 100%、NO_x を約 80%、CO₂ を約 30% 削減できる。課題として、CO₂ 削減効果が限定的な点や、エンジンから未燃状態で排出されるメタンスリップ等がある。しかし、LNG は短中期的な代替燃料として最も有望とされ、理由として環境性能と広範に整備された供給設備が挙げられる。2021 年 2 月時点で LNG 受入基地は 39 カ国 133 地域、液化基地は 21 カ国 42 地域で稼働し (Fig. 20)¹¹、LNG 輸入量は 2020 年の 3 億 5,610 万トン¹²から 2040 年に 7 億トン¹³と倍増すると推定され、今後も安定供給可能な燃料と期待されている。これら LNG 燃料の取り組みは、次章で詳述する。

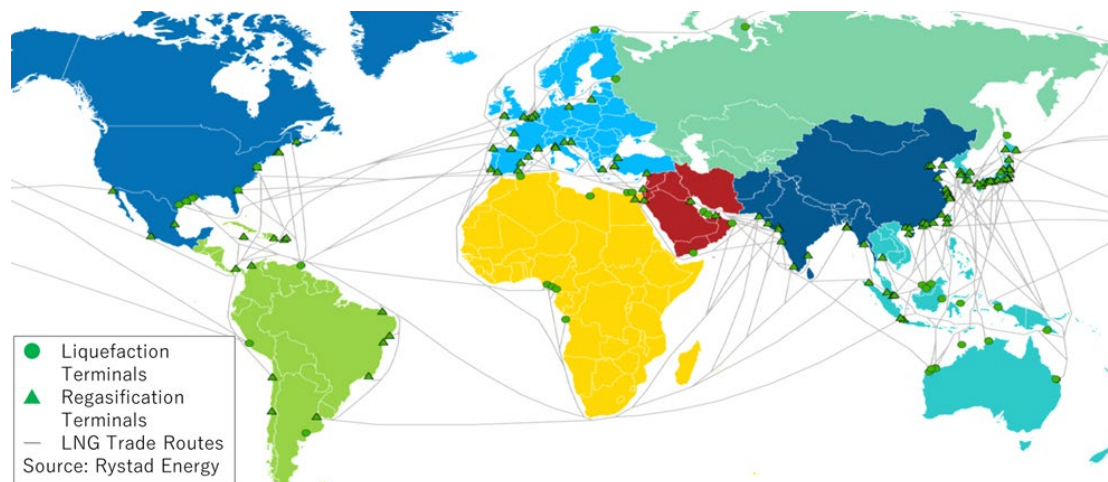


Figure 20: 主な LNG 貿易航路と LNG 出荷/受入基地の位置図

¹¹ IGU World LNG Report 2021

¹² GIIGNL Annual Report 2021

¹³ Shell LNG Outlook 2021

出典: IGU

② **合成燃料 (e-燃料)**: 再エネ由来の水素と CO_2 を利用したメタネーションにより、合成炭化水素 (e-メタン等) を製造できる (Fig. 21)。最大の利点は既存設備をそのまま活用可能な点である。課題として、再エネ水素の製造設備や CO_2 抽出技術が必要であり、現状では非常に高価となる。

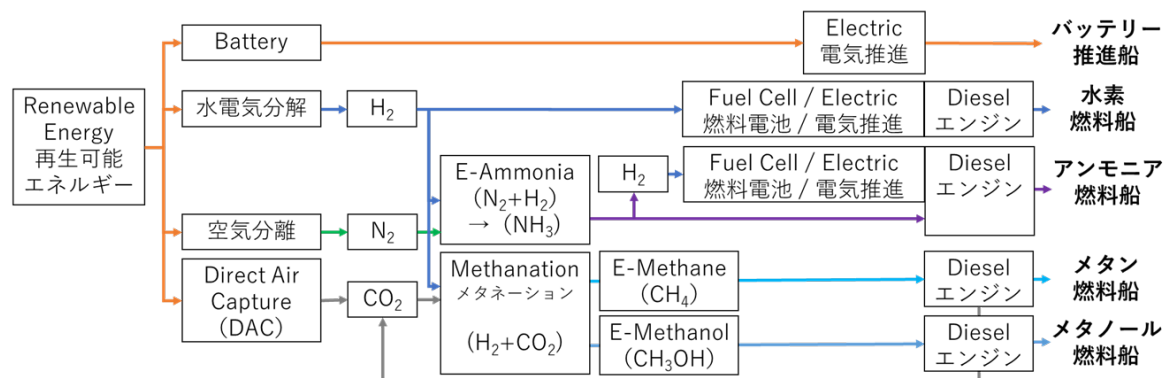


Figure 21: バッテリーと合成燃料の製造フロー

出典: 国土交通省より筆者作成

近年の動向として、2019 年 8 月、商船三井が CCR (Carbon Capture & Reuse) 研究会において「船舶ゼロエミッション代替燃料に関する業界横断 WG」を開催し、合成メタンを代替燃料とするとした。また、2020 年 7 月、JFE スチール、ジャパンマリンユナイテッド、商船三井 等の 9 社は同研究会「船舶カーボンリサイクル WG」を始動し、船用メタネーション燃料導入のロードマップ策定等を行うとした。

③ **LPG**: 従来比で CO_2 排出量を約 20% 削減できる。利点として、LNG の様な極低温材料が不要な点や、LPG とアンモニアのエンジン設計面での類似性から、LPG 燃料船技術がアンモニアに適用可能という期待もある。課題として、法規制が未整備な点や世界的インフラストラクチャーが不十分な点がある。

動向として、2020 年 10 月にシンガポール BW LPG は、世界初の LPG 燃料焚き二元燃料 VLGC 改造船 BW Gemini を竣工した。また、2021 年 6 月にベルギー Exmar は、世界初の LPG 燃料焚き二元燃料 VLGC 新造船 FlandersInnovation を竣工した。国内では、2020 年 4 月、飯野海運は川崎重工にて日本初の LPG 燃料焚き二元燃料 VLGC 新造船を建造するとした。DNV によると 2021 年 5 月現在、LPG 燃料焚き二元燃料改造船は発注段階を含めて 15 隻、新造船は 53 隻が発注済である。

④ **メタノール**: 従来比で SO_x , PM を 100%、 NO_x を約 20% 削減できる。GHG 削減効果は製造過程に依存し、天然ガス由来では約 10%、バイオ燃料や合成燃料では約 80% 削減となる。メタノールは比較的簡易に製造できる利点があり、既にメタノールタンカーで実用化されている。課題は高い燃料費となる。

動向として、2016 年 9 月に商船三井は世界初のメタノール及び重油の二元燃料船 MANCHAC SUN を竣工させ、カナダで長期貸船を開始した。2021 年 5 月に NYK Bulkship 保有のメタノール専用タンカー Takaroa Sun が、オランダ・ロッテルダム港で世界初の Barge to Ship 式メタノール燃料供給を実施した。DNV によると 2021 年 5 月現在、メタノール燃料船は発注段階を含めて 25 隻となっている。

⑤ **水素**: GHG 削減効果は製造過程に依存し、再エネ由来の製造が求められる。課題として非常に高価な設備投資が挙げられ、燃料タンクでは液化水素燃料を -253°C または 70MPa に維持する必要がある。

水素燃料電池の取り組みとして、2020 年 9 月に日本郵船、東芝エネルギーシステムズ、川崎重工、日本海事協会、ENEOS の 5 社は、「高出力燃料電池搭載船の実用化に向けた実証事業」を日本で初めて開始した。2024 年を目途に水素燃料供給を伴う実証運航を行うとしている。

水素エンジンの取り組みとして、2021 年 4 月に川崎重工、ヤンマーパワーテクノロジー、ジャパンエンジンは、大型船舶向け水素燃料エンジン共同開発会社「HyEng」設立に向けた基本合意を締結した。

⑥ **アンモニア**: GHG 削減効果について、水素同様に製造過程に依存する。利点として、液体アンモニア (-78℃) の方が液体水素 (-253℃) よりも貯蔵・運搬等の投資コストが低減される点がある。課題として、強い毒性かつ腐食性が挙げられ、燃焼時に NOx を排出する問題もある。

取り組みとして、2020 年 8 月に日本郵船、IHI 原動機、日本海事協会の 3 社は、世界初のアンモニア燃料タグボート実用化に向け、共同研究契約を締結した。また、2021 年 3 月に住友商事、Yara 等の 6 社は、シンガポール港でのグリーンアンモニア船燃料供給事業化に向けた共同検討覚書を締結している。2021 年 5 月には商船三井、伊藤忠商事、Pavilion 等の 6 社が、シンガポールでの船用アンモニア燃料の共同開発覚書を締結した。そして、2021 年 5 月に日本郵船、日本シッパード、日本海事協会の 3 社は、Yara とアンモニアを主燃料とする液化アンモニアガス運搬専用船(AFAGC: Ammonia Fueled Ammonia Gas Carrier)の共同検討覚書を締結している。さらに、2021 年 6 月、伊藤忠商事、川崎汽船、JERA 等を含む国内外計 23 社がアンモニア燃料利用の共同検討覚書を締結し、協議会を立ち上げた。

⑦ **バッテリー**: 近距離向け小型船等にて、小容量バッテリーが適用可能な段階にある。しかし、商業利用可能な大容量バッテリー技術は途上であり、充電設備も未整備である。DNV によると、電気推進船は約 500 隻が稼働し、ノルウェーを中心とする欧州地域での導入が全体の 6 割を占める(Figs. 22, 23)。

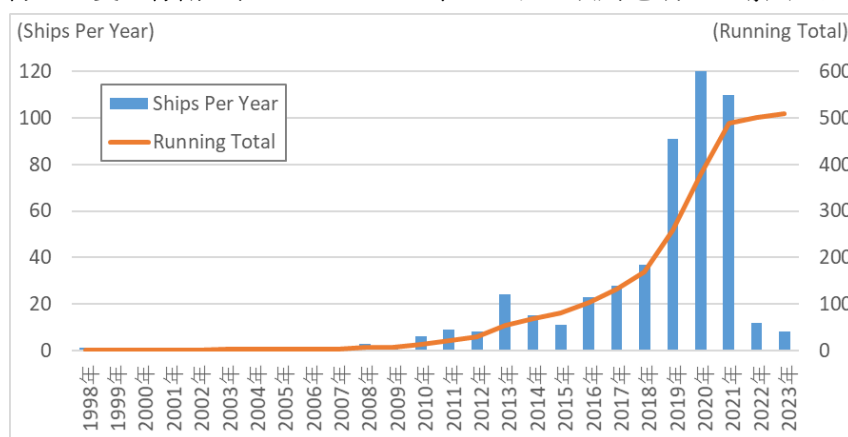


Figure 22: バッテリー船舶数の推移

出典: DNV より筆者作成

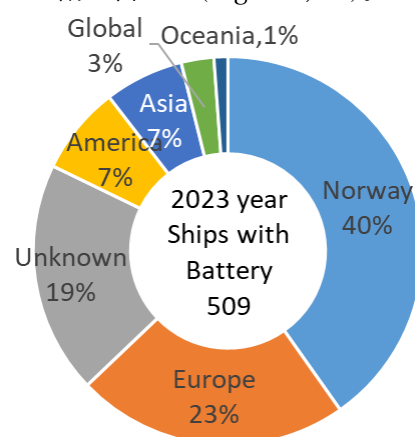


Figure 23: バッテリーの国別比率

出典: DNV より筆者作成

取り組みとして、2020 年 5 月、旭タンカー、商船三井等の 7 社は、ゼロエミッション電気推進船 (EV 船) を目指す e5 コンソーシアム (事務局: e5 ラボ) を設立した。第一弾として 2020 年 10 月、旭タンカーと e5 ラボは世界初の EV タンカー船 2 隻を発注し、2022/23 年に東京湾に就航予定。また、2020 年

12 月、e5 ラボは世界初の大型 EV ばら積み船 (KAMSARMAX¹⁴) のコンセプトモデルを完成させた。

4. LNG バンカリング

(1) LNG バンカリング方式

LNG を船舶に燃料供給する手法として、下記の 3 方式がある (Table 2, Fig. 24)。日本では現状、①LNG ローリー方式が中心であり、③LNG バンカリング船¹⁵方式は 2020 年 10 月に国内初実施されている。

Table 2: LNG バンカリング方式

	バンカリング方式	特徴
①	Truck to Ship (TTS 方式)	✓ 岸壁に係留中の LNG 燃料船に、岸壁の LNG ローリーから供給 ✓ 小型船への燃料供給 (30 m ³ 等) に適する。初期投資少で導入易
②	Shore to Ship (Shore TS 方式)	✓ 岸壁・栈橋に係留中の LNG 燃料船に、基地タンクなどから供給 ✓ 大型船への燃料供給が可能。LNG 貯蔵設備の近傍に設置
③	Ship to Ship (STS 方式)	✓ 岸壁に係留中の LNG 燃料船に、バンカリング船が接触して供給 ✓ 大型船への燃料供給 (20,000 m ³ 等) が可能。海洋上で柔軟に運用

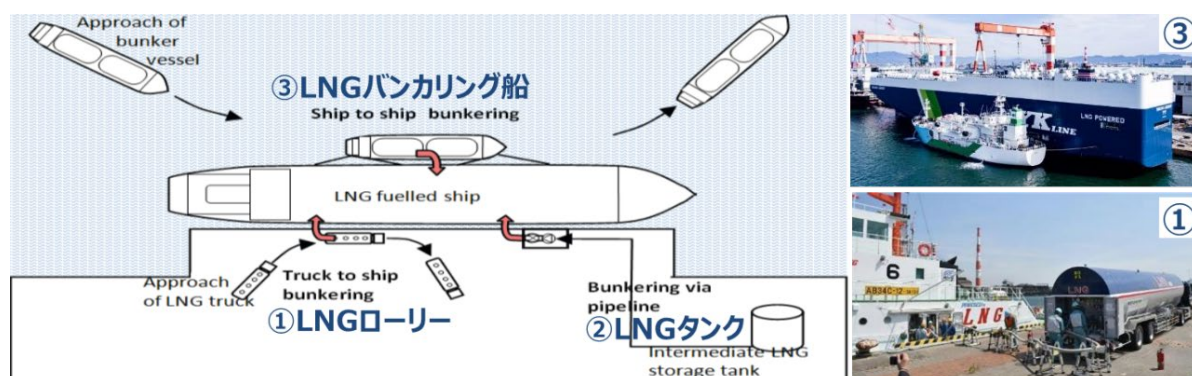


Figure 24: LNG バンカリング方式イメージ

出典: IMO 資料に筆者加筆, JERA, 西部ガス

(2) LNG バンカリング需要: 世界とアジア

2020 年、世界の船舶用 LNG 取扱量は 150 万トン¹⁶に達し、これは LNG 取扱量全体 3 億 5610 万トン¹⁷の 0.4%を占める。2019 年比で需要は倍増しており、今後もこの傾向は継続すると見られる。また、各機関¹⁸の船舶用 LNG 需要見通しは 2025 年 400 - 1,000 万トン、2030 年 700 - 3,000 万トン、2040 年 1,000 - 7,000 万トンとされ、一貫して拡大すると予想されている (Fig. 25)。

¹⁴ KAMSARMAX: ボーキサイトの主要積出港ギニア Kamsar 港に入港可能な最大船長 (229m 未満)に由来

¹⁵ LNG 燃料船に LNG を供給する船舶を、「バンカリング船」又は「供給船」と呼び、以降基本的には前者で記載する

¹⁶ IGU World LNG Report 2021

¹⁷ GIIGNL Annual Report 2021

¹⁸ Shell LNG Outlook 2020, IEA WEO 2020, IEEJ Outlook 2021

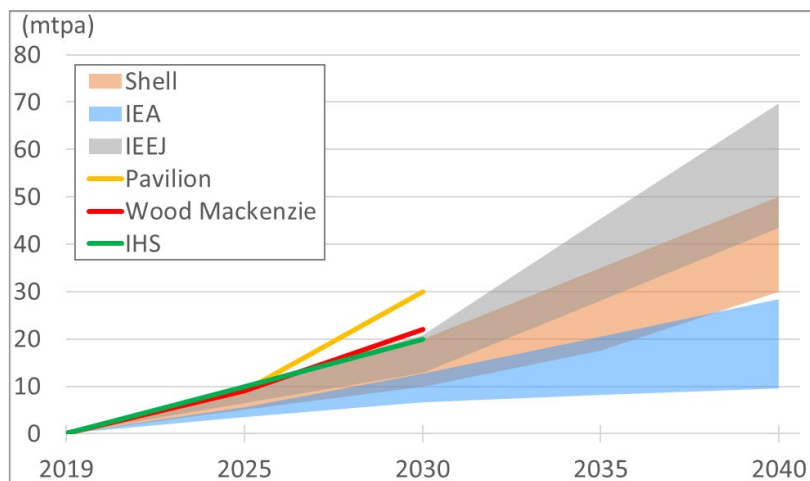


Figure 25: 世界の船舶用 LNG 需要見通し

出典: 各社情報より筆者作成

アジアにおいて、日本のバンカリング需要見通しは未だ検討中であるが、中国と韓国では数値が示されている。まず、CNOOC¹⁹は中国国内で 2030 年までに 300-500 万トンの需要を予測している (Fig. 26)。次に、KEEI²⁰は韓国国内で 2030 年までに 136 万トン、2040 年 340 万トンの需要を見込んでいる (Fig. 27)。

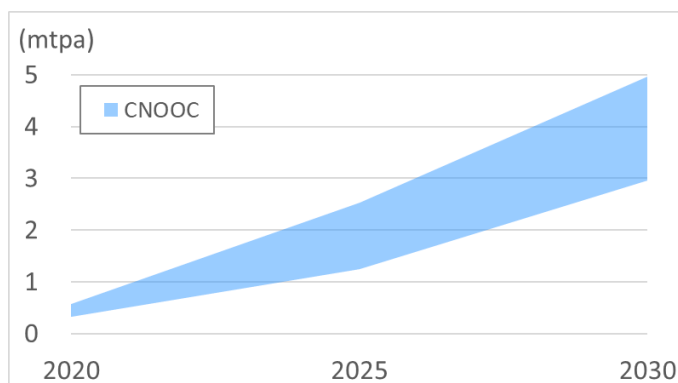


Figure 26: 中国の船舶用 LNG 需要見通し

出典: 各社情報より筆者作成

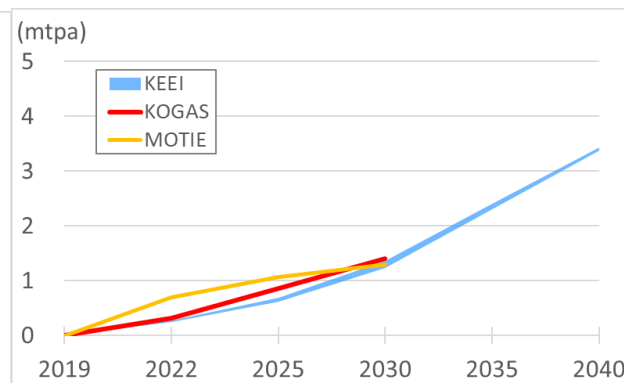


Figure 27: 韓国の船舶用 LNG 需要見通し

出典: 各社情報より筆者作成

(3) LNG 燃料船の導入数 ※LNG 輸送船を除く

2021 年 6 月現在、LNG 燃料船は 200 隻が稼働中、270 隻が発注済、150 隻が計画中となっている。特に、2021 年の稼働数は前年比 4 倍と急増している。また、原油タンカー、コンテナ船、プロダクト/ケミカルタンカーについて、2010 年代後半まで導入はほとんど無かったが、今後 3 年間では 138 隻 (原油 57 隻、コンテナ 51 隻、ケミカル 30 隻) と急増し、竣工予定 279 隻の半数を占める (Figs. 28, 29)。

¹⁹ CNOOC (China National Offshore Oil Corporation, 中国海洋石油集团有限公司): 中国の国有石油・天然ガス会社

²⁰ KEEI (Korea Energy Economics Institute, 韓国エネルギー経済研究所): 韓国政府設立の公的研究機関

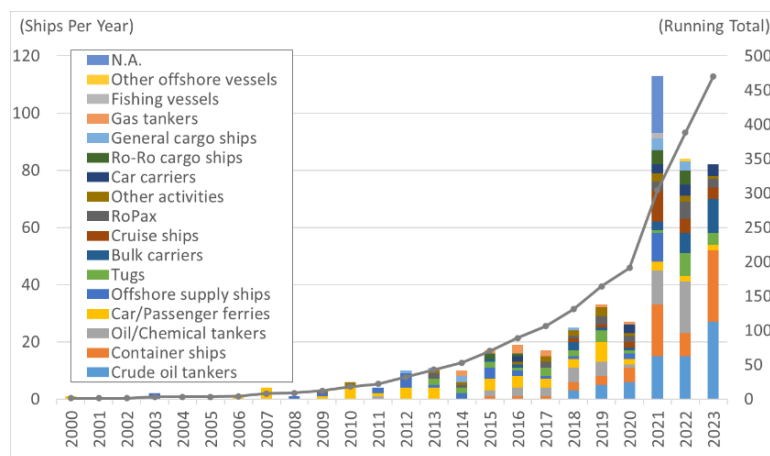


Figure 28: LNG 燃料船における船種別稼働数の推移
出典: IGU, GIIGNL, DNV, 各社情報より筆者作成

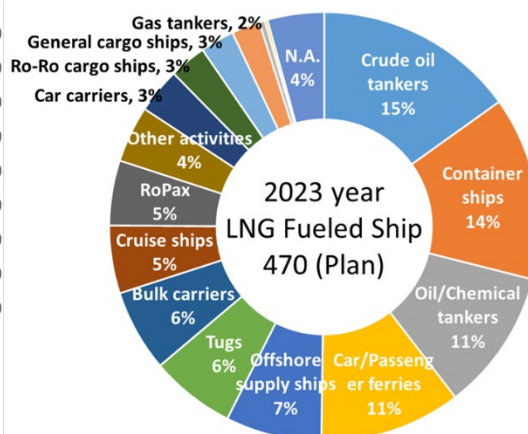


Figure 29: 燃料船の船種別比率
出典: 各社情報より筆者作成

2000 年に世界初の LNG 燃料船フェリー Glutra が稼働してからの約 20 年間、LNG 燃料船の 7～9 割を欧州が占めていたが、2020 年以降は国際船舶(Global)の比率が拡大している (Fig. 30)。特に、今後 3 年間の国際船舶導入は 164 隻と、竣工予定 279 隻の約 6 割を占める。

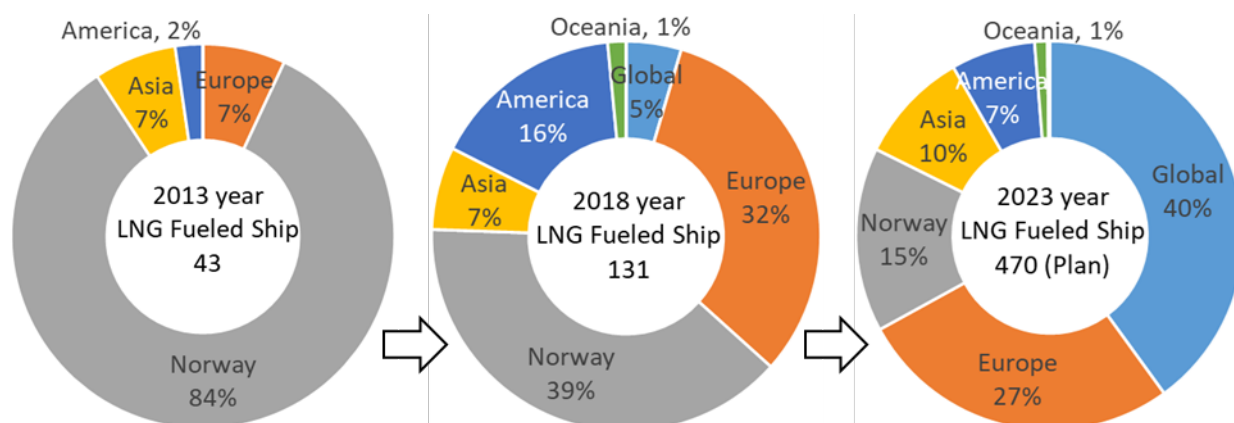


Figure 30: LNG 燃料船の国別推移
出典: 各社情報より筆者作成

(4) LNG バンカリング船の導入数

2021 年 5 月現在、LNG バンカリング船は 30 隻が稼働中、20 隻が発注済、17 隻が計画中となっている。特に 2021 年のバンカリング船は前年比 4 倍と急増し、LNG 燃料船と同様の傾向が見られる。また、アジア地域での導入が進んでおり、今後 3 年間で 13 隻と全体 (37 隻) の約 4 割を占める (Figs. 31, 32)。

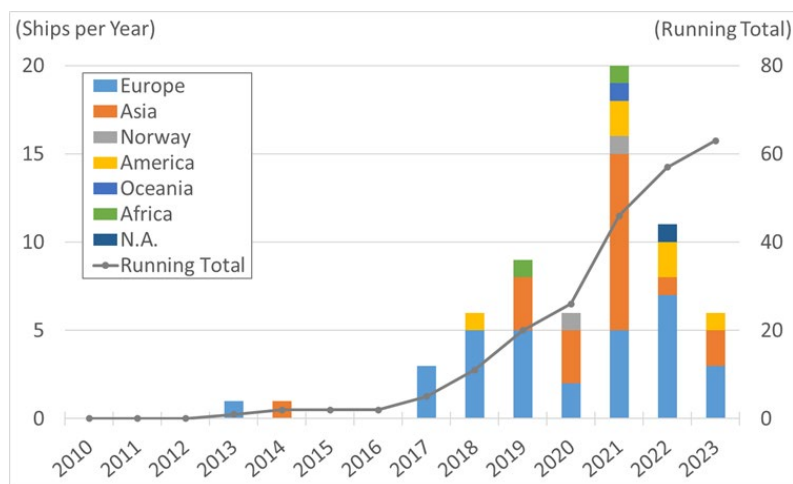


Figure 31: 世界の LNG バンカリング船の国別推移
出典: IGU, GIIGNL, DNV, 各社情報より筆者作成

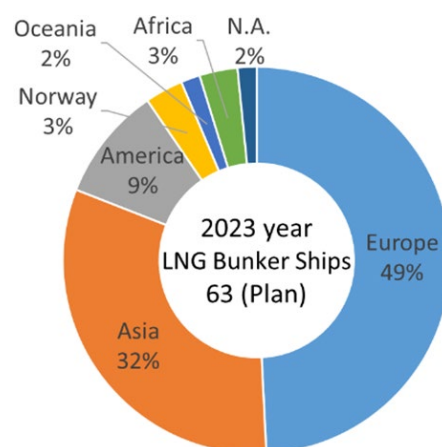


Figure 32: バンカリング船の国別比
出典: 各社情報より筆者作成

国外では、2013 年に世界初の改造 LNG バンカリング船 Seagas (容量 167 m³) が欧州で稼働し、2014 年にはアジア初の中国・長江で LNG バンカーバージ (500 m³) が稼働している。2017 年 6 月に世界初の新造 LNG バンカリング船 Green Zeebrugge²¹ (5,100 m³) がベルギーで稼働した。2020 年 9 月には世界最大の LNG バンカリング船 Gas Agility (18,600 m³) が竣工し、11 月にオランダ・ロッテルダム港でコンテナ船に 17,300 m³ を供給した。

国内においては、2020 年 10 月に日本初の LNG バンカリング船かぐや (3,500 m³) が伊勢湾で稼働し、自動車専用船「SAKURA LEADER」向けに日本初の STS 方式 LNG 燃料供給を行った。また、2021 年内には、日本 2 隻目の LNG バンカリング船エコバンカー東京ベイ (2,500 m³) が稼働予定である。

(5) LNG 燃料船とバンカリング船の導入数

燃料船とバンカリング船の進捗は、しばしば「鶏と卵」問題として取り上げられる。普及への課題として、LNG 燃料船の建造費が従来比 2～3 割増となる点、船員の LNG 教育や訓練が必須となる点、及び LNG タンク容積が従来比 2 倍となるため貨物の積載能力を圧迫する点などがある。しかし、近年は環境規制への有効性などから導入数が急増している。その推移を下記にまとめる (Table 3)。

Table 3: 世界の LNG 燃料船/バンカリング船の累積導入数

Area	Ships	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Global	Fueled	—	—	—	—	2	5	6	11	24	65	118	188
	Bunker	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Europe	Fueled	32	39	49	60	70	79	93	114	124	177	197	199
	Bunker	—	1	1	1	1	4	9	14	17	23	30	33
Asia	Fueled	—	3	3	5	6	6	9	13	17	28	37	44
	Bunker	—	—	1	1	1	1	1	4	7	17	18	20

²¹ Green Zeebrugge: 2017 年 6 月の就航当初の名称は Engie Zeebrugge, 2020 年 11 月に現在の名称に改称

America	Fueled	–	1	1	5	9	14	21	24	24	31	32	33
	Bunker	–	–	–	–	–	–	1	1	1	3	5	6
Oceania	Fueled	–	–	–	–	2	2	2	2	2	2	3	5
	Bunker	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1
Middle East	Fueled	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1
	Bunker	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Africa	Fueled	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Bunker	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1
N.A.	Fueled	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Bunker	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1	2	2
Total	Fueled	32	43	53	70	89	106	131	164	191	304	388	470
	Bunker	–	1	2	2	2	5	11	20	26	46	57	63

2000 年に世界初の LNG 燃料船が欧州で登場し、10 年間での稼働は 30 隻に留まっていたが、2016 年に欧州域の燃料船が 70 隻に達してからは燃料船 4～5 隻に対してバンカリング船 1 隻のペースで拡大している。2023 年時点では欧州で燃料船 199 隻、バンカリング船 33 隻を見込む。次にアジア地域では、2013 年に LNG 燃料船 3 隻が稼働したのを皮切りに、燃料船 2 隻に対してバンカリング船 1 隻という欧州を上回るペースで拡大し (Fig. 33)、2023 年時点で燃料船 44 隻、バンカリング船 20 隻を見込んでいる。

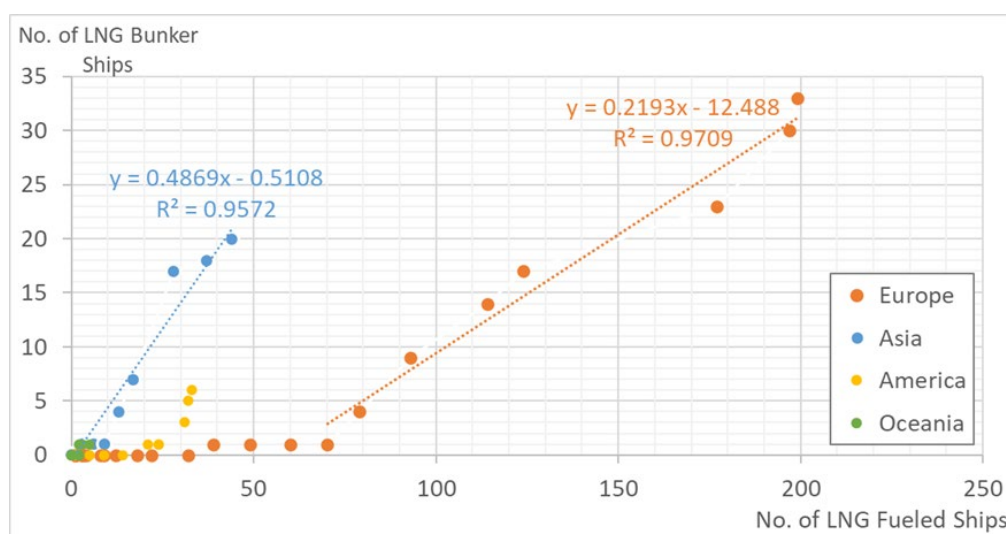


Figure 33: LNG バンカリング船と燃料船の導入数比較 (2000-2023 年)

出典: 各社情報より筆者作成

(6) 地域別の LNG バンカリング動向: ①北米、②オセアニア、③中東、④アフリカ、⑤アジア

今後、欧州以外でも LNG バンカリングの拡大が見込まれ、下記に主な地域の動向をまとめる。

① 北米 (米国、カナダ) : 2018 年 8 月、フロリダ州ジャクソンビル港で、北米初の LNG バンカーバージ Clean Jacksonville (2,200 m³) が竣工した。2020 年 8 月、Eagle LNG は北米初 Shore to Ship 設備

を備えるフロリダ州ジャクソンビル港 Talleyrand LNG bunker 基地にて、更なる大型設備を計画するとした。2021 年 5 月、Puget LNG と GAC Bunker は、Tacoma LNG 基地から北米西海岸初の LNG バンカリングを実施する MOU を締結し、2021 年内の稼働を予定している。

2020 年 9 月、住友商事はカナダ Cryopeak LNG と、北米太平洋地域で LNG バンカリングサプライチェーンを共同開発する覚書を締結した。Cryopeak は 4,000 m³ LNG バンカーバージの 2023 年稼働開始を予定している。2020 年 2 月、カナダ FortisBC は STS 式バンカリング設備を含む Tilbury LNG 液化基地拡張 PJ の連邦影響評価等開始の提案書を提出し、2022 年の建設開始を予定している。

② オセアニア（豪州）：2020 年 5 月、ピルバラ港湾局は豪州初 LNG バンカリング事業許可を西豪州のダンピア港及びポートヘッドランド港で Woodside に発行した。2020 年 12 月、世界最大の鉱業会社 BHP は、2022 年から中国向け豪州産鉄鉱石運搬船 Newcastlemax 5 隻への LNG 供給契約を締結した。

③ 中東（UAE, オマーン）：世界で 2 番目に大きい燃料油バンカリングハブである UAE フジャイラ港にて LNG バンカリングが検討され、オマーンのソハール港でも年間 100 万トン容量の LNG バンカリングハブ基地が Total Energies にて検討中である。2018 年 12 月には INPEX と ADNOC L&S が、2019 年 9 月に Shell と Qatar Petroleum が、それぞれ LNG バンカリングベンチャー設立の契約を締結した。

④ アフリカ（南アフリカ）：南アフリカのアルゴア湾 Coega 港はブラジル産鉄鉱石運搬船 Valemax の航路上に位置し、戦略的な立地にある。2020 年 10 月、南アフリカ DNG Energy は、港湾当局よりアフリカ初の LNG バンカリング事業許可を取得し、早ければ 2021 年内に事業開始を見込む。

⑤ アジア地域：主な LNG バンカリング動向について、下記にまとめる（Table 4）。

Table 4: アジアの LNG 燃料船/バンカリング船の累積稼働数

Area	Ships	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
China	Fueled	—	2	2	3	4	4	4	5	7	17	17	17
	Bunker	—	—	1	1	1	1	1	1	1	7	7	8
Singapore	Fueled	—	—	—	—	—	—	2	4	5	6	10	14
	Bunker	—	—	—	—	—	—	—	2	2	4	4	4
Japan	Fueled	—	—	—	1	1	1	1	2	3	3	4	7
	Bunker	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3	3
Korea	Fueled	—	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	Bunker	—	—	—	—	—	—	—	1	2	3	3	4
Others	Fueled	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	4
	Bunker	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1
Total	Fueled	—	3	3	5	6	6	9	13	17	28	37	44
	Bunker	—	—	1	1	1	1	1	4	7	17	18	20

中国: アジアで最も野心的な導入計画を進める。2020 年 5 月、CSSC（中国船舶集団）は広東省内陸船 LNG 協定に調印し、2025 年までに 1,500 隻の改造燃料船と 19 ヲ所の供給施設、40 万トンの需要を見込む。2021 年 3 月、CNOOC（中国海洋石油集団）は新造ばら積み船 50 隻に LNG を供給するとした。

韓国: LNG バンカリングが本格化し、造船産業への波及効果が期待される。2020 年 6 月、韓国産業通商資源部（MOTIE）は容量 7,500 m³ 以上のバンカリング船建造支援を発表し、総額 30%の最大 150 億ウォン（15 億円）を支援するとした。2020 年 11 月、韓国初の LNG 輸送兼用船 SM JEJU LNG 2 にて、STS テストを実施した。2020 年 12 月に Korea LNG Bunkering を設立し、2021 年 1 月に韓国初の TTS 式 LNG 供給を実施した。2023 年に韓国初 LNG バンカリング専用船（7,500 m³）を計画している。

シンガポール: 世界最大の船用重油供給地であり、LNG 燃料も国策で推進する。2021 年 1 月、国内初の LNG バンカリング船 FueLNG Bellina が竣工した。2021 年 3 月、海事港湾局（MPA）は、LNG バンカーライセンスを従来の 2 業者（FueLNG²², Pavilion）に加え、Total Marine Fuels Private に認めた。

マレーシア: 2020 年 10 月に Avenir LNG は、東南アジア初の LNG バンカリング船 Avenir Advantage（7,500 m³）を同国 Petronas へ 3 年間傭船し、2020 年 11 月に LNG バンカリングを初実施した。

インドネシア: 2021 年 6 月、国営 Pertamina International Shipping は、自社保有の新造船 5 隻に、国営ガス大手 PGN から LNG およびバンカリング設備の提供を受ける HoA を締結した。

（7）LNG バンカリングの国際港湾間連携

2016 年 10 月、世界初の「LNG を船舶燃料として開発するための協力に関する覚書」が 7 カ国 8 者の港湾当局（日本、シンガポール、韓国・蔚山港、ベルギー・アントワープ/ゼーブルージュ港、オランダ・ロッテルダム港、ノルウェー、米国・ジャクソンビル港）間で締結された。また、2017 年 7 月に 3 者（カナダ・バンクーバー港、フランス・マルセイユ港、中国・浙江省港）、2018 年 10 月にエジプト・スエズ運河経済特区庁が加わり、計 11 カ国 12 者の港湾当局間ネットワークが形成されている (Fig. 34)。

2020 年 10 月、さらに脱炭素化を見据え、日本国土交通省港湾局は、シンガポール海事港湾局、オランダ・ロッテルダム港湾公社と「将来の船舶燃料に対応するための港湾間協力に関する覚書」を締結した。

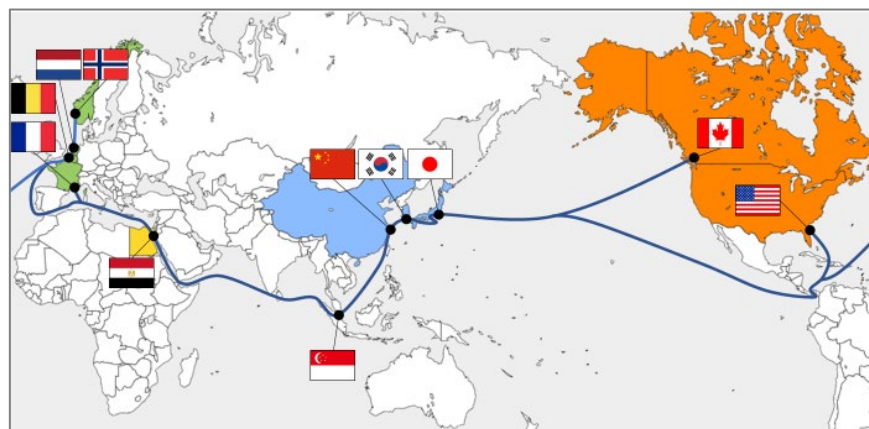


Figure 34: LNG 船舶燃料に関する覚書締結の港湾位置図

出典: 各社情報より筆者作成

²² FueLNG: Keppel Offshore & Marine / Shell 間の合併事業であり、2016 年 1 月に Keppel O&M / BG Group（当時）連合と Pavilion Energy が、シンガポールで最初の 2 件の LNG バンカリングライセンスを認められた。

(8) 日本の LNG バンカリング体制

下記に、国内 LNG バンカリング体制や港湾インセンティブ²³等についてまとめる (Table 5, Fig. 35)。

Table 5: 日本の LNG バンカリング体制と進捗

	項目	九州・瀬戸内	大阪湾	伊勢湾・三河湾	東京湾
LNG 供給 (トランク・船)	供給 (TTS方式)	2019年5月、北九州港 LNG燃料タグボート「魁 (さきがけ)」へ供給	2019年1月、堺泉北港 2019年9月、神戸港 LNG燃料タグボート「いしん」へ供給	2019年11月、名古屋港 LNG燃料タグボート「いしん」へ供給	2015年7月、 日本初 LNG燃料タグボート「魁 (さきがけ)」へ供給
	拠点	ひびきLNG基地	大阪ガス泉北/姫路製造所	東邦ガス知多緑浜工場	東京ガス根岸LNG基地
	事業者	日本郵船、九州電力、西部ガス、中国電力	商船三井、大阪ガス	商船三井、東邦ガス	日本郵船、東京ガス
	供給 (STS方式)	2022年計画中	なし	2020年10月稼働 日本初 「かぐや」	2021年予定 「エコバンカー東京ベイ」
	タンク容量	—	—	3500m ³	2500m ³
	拠点	—	—	JERA川越火力発電所	東京ガス袖ヶ浦LNG基地
LNG 燃料船	事業者	—	—	セントラル LNG シッピング (日本郵船、川崎汽船、JERA、豊田通商)	エコバンカー SHIPPING (住友商事、上野トランス テック、横浜川崎国際港湾、日本政策投資銀行)
	燃料船①	2022 - 2023年予定 日本初 LNG燃料フェリー2隻 (別府～大阪間) 「さんふらわあ くれなゐ」 「さんふらわあ むらさき」		2020年10月稼働 日本初 LNG燃料自動車専用船 「SAKURA LEADER」 (国際船登録)	2015年9月稼働 日本初 LNG燃料タグボート 「魁 (さきがけ)」
	事業者	商船三井グループ/フェリーさんふらわあ		日本郵船	日本郵船
	燃料船②	2023年4月、6月予定 世界初 LNG燃料大型石炭専用船2隻 (九電石炭火力向け)	2019年2月稼働 LNG燃料タグボート 「いしん」	2020年12月稼働 日本初 LNG燃料内航貨物船「いせみらい」 (JERA火力向け)	2025年予定 世界初 LNG燃料中型客船 (飛鳥クルーズ)
	事業者	日本郵船、商船三井、九州電力	商船三井	商船三井内航、テクノ中部、協同海運	日本郵船 (郵船クルーズ)
	燃料船③	—	—	2021年3月稼働 LNG燃料自動車専用船 「CENTURY HIGHWAY GREEN」 (国際船登録)	—
インセンティブ	入港料免除	2014年11月、北九州港 日本初 グリーンアワード認証取得LNG船: 10%減免	2020年6月、大阪港 グリーンアワード認証取得LNG船: 10%減免	2016年11月、名古屋港 グリーンアワード認証取得LNG船: 10%減免	2017年3月、横浜港 グリーンアワード認証取得LNG船: 10%減免 国際港湾 ESI 制度: 5%減免
	—	—	2021年4月、大阪湾 LNG燃料船: 10%減免	2019年4月、伊勢・三河湾 日本初 LNG供給船: 全額免除 LNG燃料船: 全額免除	2021年4月、東京湾 LNG供給船: 全額免除 LNG燃料船: 全額免除

²³ グリーンアワード認証: 船会社の会費等で運営。オランダの NPO 法人が認証。海洋環境保護等が目的
国際港湾 ESI 制度: 世界港湾気候イニシアチブ (WPCI) が運営。船舶の大気汚染物質排出削減が目的

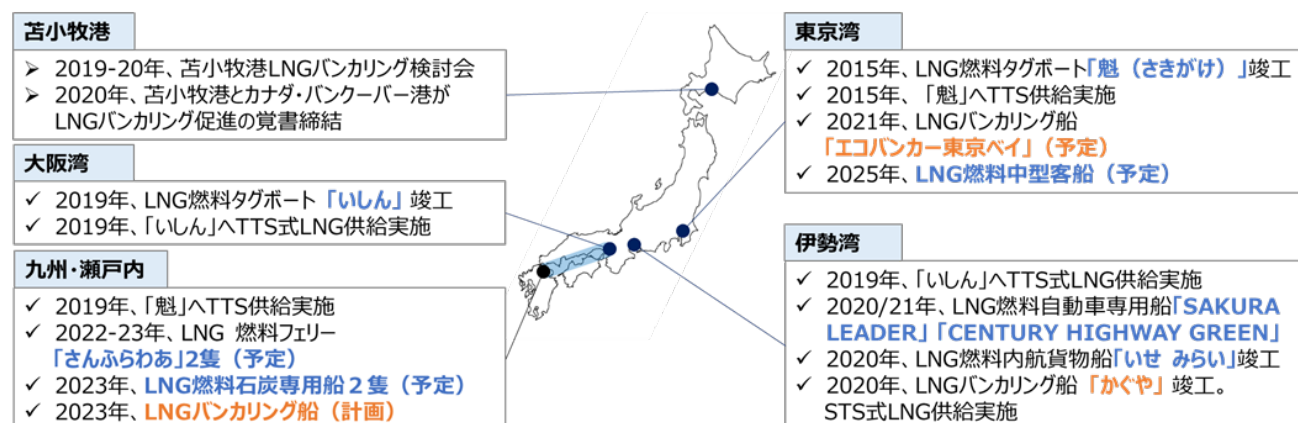


Figure 35: 日本の LNG バンカリング状況

出典: 各社情報より筆者作成

【補足情報】

- ① **北海道・苫小牧港:** 2019 年 2 月、苫小牧港と石油資源開発（JAPEX）は、LNG バンカリング検討会を設置し、2020 年 4 月までに計 6 回の会合を実施後、検討を終了した。2020 年 3 月、苫小牧港とカナダ・バンクーバー港は、「LNG バンカリングの促進に向けた覚書」を締結した。
- ② **東京湾:** 2021 年 2 月、住友商事と Petronas Trading は、船舶燃料 LNG 関連事業をマレーシアと東京で共同販売する協力覚書を締結した。2021 年 5 月、郵船クルーズ、日本郵船、エコバンカー SHIPPING 及び横浜市の 4 社は、LNG 燃料クルーズ船受入等の検討覚書を締結した。
- ③ **国内企業の取り組み:** 日本郵船は、「Sail GREEN」PJ を掲げ、今後約 10 年間の新造自動車専用船約 40 隻を LNG 燃料船とし、2030 年頃から水素等のゼロエミッション船を目指すとした。2024 年までに 8 隻、2025～2028 年に 12 隻の LNG 燃料船を導入し、計 20 隻で 2,000 億円弱の投資となる。2021 年 6 月、商船三井は「環境ビジョン 2.1」を発表し、2030 年までに LNG 燃料船を約 90 隻、2035 年までにゼロエミッション船を約 110 隻投入するとした。今後 3 年間で低・脱炭素分野に約 2,000 億円を投資する。
- ④ **国外企業との取り組み:** 2021 年 2 月、JERA と Petronas は、脱炭素分野等の協業覚書を締結した。アジア諸国でのアンモニア・水素燃料供給、及び国際での LNG バンカリング供給チェーンを検討する。

5. 課題と提言

今後、国内で LNG バンカリングが普及していく上で、LNG 燃料船の優遇措置及び国際港湾間連携の不足、そして日本の LNG 市場におけるプレゼンス低下が課題となる。

まず、優遇措置について。LNG 燃料船は、従来と比べ割高な建造費や LNG 教育/訓練を受けた船員の確保、及び従来比 2 倍の LNG タンクに圧迫される積載貨物容量などが課題となっており、普及には入港料免除等のインセンティブが有効となる。現在、国内では伊勢湾・三河湾と東京湾の 2 港湾にのみ全額免除が設定されており、全国規模での優遇措置強化が求められる。

次に、港湾間連携について。現在、国土交通省港湾局は「LNG を船舶燃料として開発する協力覚書」を 11 カ国 12 者の港湾当局間で締結し、「脱炭素化を支援する将来の船舶燃料に対応する協力覚書」を 3 カ国の港湾当局間にて締結している。しかし、本取組には日本と LNG 貿易面で結び付きの深い豪州やマレーシア、インドネシアなどの東南アジア諸国は未だ参加していない。天然ガス等の低炭素燃料だけでなく、将来の脱炭素燃料についてサプライチェーン体制を整えるためにも、早急な国際港湾間の連携強

化が必要である。

最後に、LNG 市場プレゼンスについて。日本は 1969 年から半世紀以上に渡り世界一の LNG 取扱量を維持してきたが、早ければ今年中にも中国が世界最大に取って代わる見通しである。今後、日本が LNG 市場で影響力を維持し強化するためにも、LNG ハブの役割を担い、LNG トレーディングやインフラ輸出、積極的な人材交流等をアジア地域で主導していく必要がある。

6. まとめ

国際海運における海洋環境規制の強化に伴い、短中期的には LNG 等の低炭素燃料への転換、長期的には水素やアンモニア及び合成燃料等の脱炭素燃料への移行が必要とされている。既に LNG はトランジション燃料の役割を担い始めており、船用 LNG 需要は 2020 年には 150 万トンに達し、今後 10 年間で約 10 倍に拡大すると予想されている。特に、アジアは今後、経済成長と石炭燃料の転換と相まって世界最大の LNG 需要地域になると見込まれ、より効率的にバンカリング体制を整備するためには、港湾間の連携や迅速な設備構築が必要となる。その中で、50 年以上に渡り世界で最も多くの LNG を、最もクリーンに活用してきた日本が国際海運で果たすべき役割は大きい。

以 上

【参考文献】

- 1) GIIGNL Annual Report 2021 (2021/04), https://giignl.org/sites/default/files/PUBLIC_AREA/giignl_2021_annual_report_apr27.pdf
- 2) IEA, CO2 Emissions from Fuel Combustion (2020/07), <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-overview>
- 3) IEA, World Energy Outlook 2020 (2020/10), <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- 4) IGU World LNG Report 2021 (2021/06), <https://www.igu.org/resources/world-lng-report-2021/>
- 5) JSA, SHIPPING NOW 2020-2021, <https://www.jsanet.or.jp/data/pdf/shippingnow2020-2021.pdf>
- 6) Shell LNG Outlook 2020 (2020/02), <https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/liquefied-natural-gas-lng/lng-outlook-2020.html#iframe=L3dlYmFwcHMvTE5HX291dGxvb2sv>
- 7) Shell LNG Outlook 2021 (2021/02), <https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/liquefied-natural-gas-lng/lng-outlook-2021.html#iframe=L3dlYmFwcHMvTE5HX091dGxvb2svMjAyMS8>
- 8) 糸山直之 (2012/06), LNG 船がわかる本 新訂版, 成山堂書店
- 9) 日本郵船 LNG 船運航研究会 (2020/08), LNG 船運航の ABC 2 訂版, 成山堂書店

お問い合わせ: report@tky.iej.or.jp