

脱炭素化を目指す国際海運の取り組みと LNG バンカラーリング体制

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

化石エネルギー・国際協力ユニット ガスグループ
松倉 誠也



0. 本日の概要



- 海洋立国の日本
世界の海上輸送
日本商船隊 **63%**
- LNG燃料の拡大
船舶燃料の転換
100年振り
- 海洋環境規制の強化
国際海運の
CO₂排出量 2%

本日のキーワード

海洋の環境規制

- SOx : 硫黄酸化物
- PM : 粒子状物質
- NOx : 窒素酸化物
- **GHG** : 温室効果ガス

次世代の船舶燃料

- **LNG** : 液化天然ガス
- LPG : 液化石油ガス
- 水素
- アンモニア
- メタノール
- 合成燃料 (e-fuel)
- バッテリー (充電池)

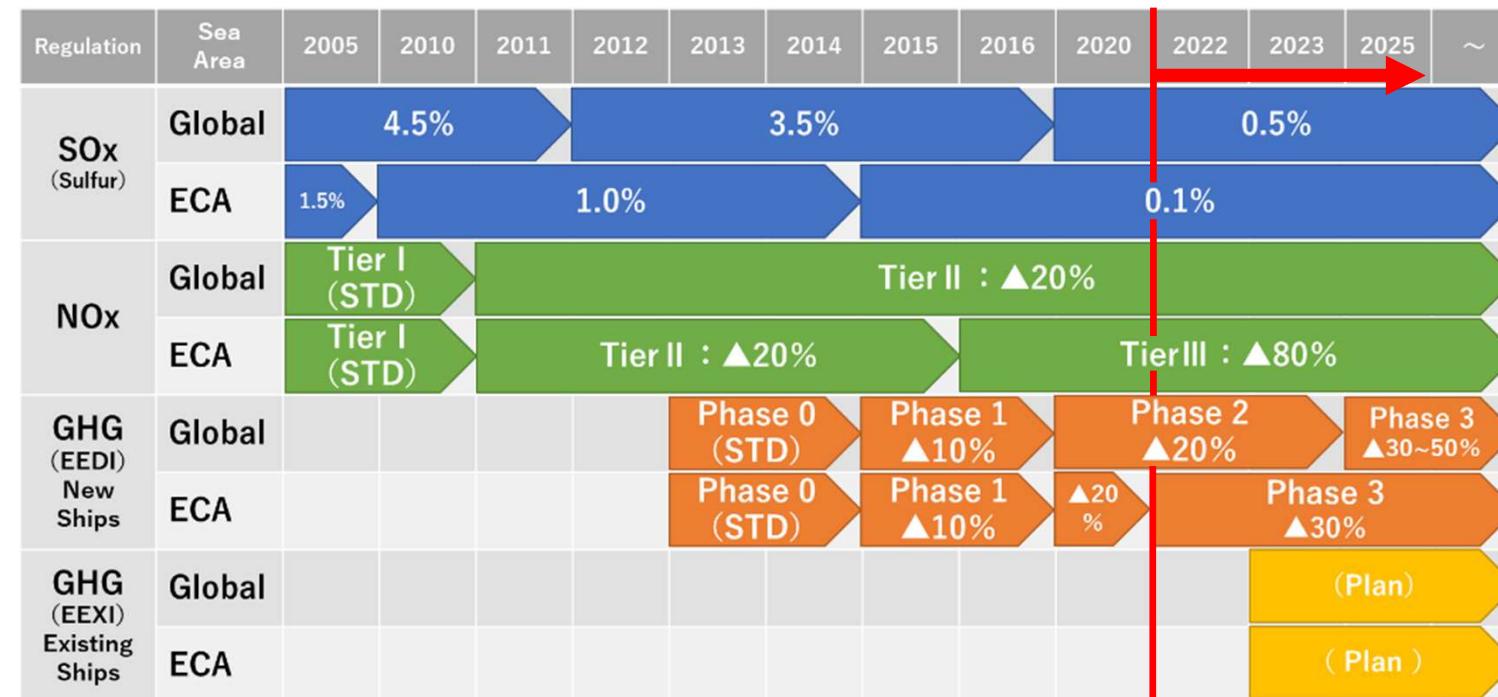
注：日本商船隊（本邦船会社が運航する外航船）の海上輸送割合はトン数ベース

1. 海洋の環境規制：SOx、PM、NOx、GHG

国際海事機関（IMO）

- 1958年に国連専門機関として、海事分野の政府間協力推進のために設立
- 日本を含む174カ国が加盟
- IMOによる海洋の大気汚染規制は、① 燃料油中硫黄含有量（SOx, PM）、
② NOx 排出量、③ GHG 排出量（エネルギー効率）に大別

海洋の環境規制の推移



出典: IMOより作成

注: NOx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、Tier IIは20%削減、Tier IIIは80%削減。

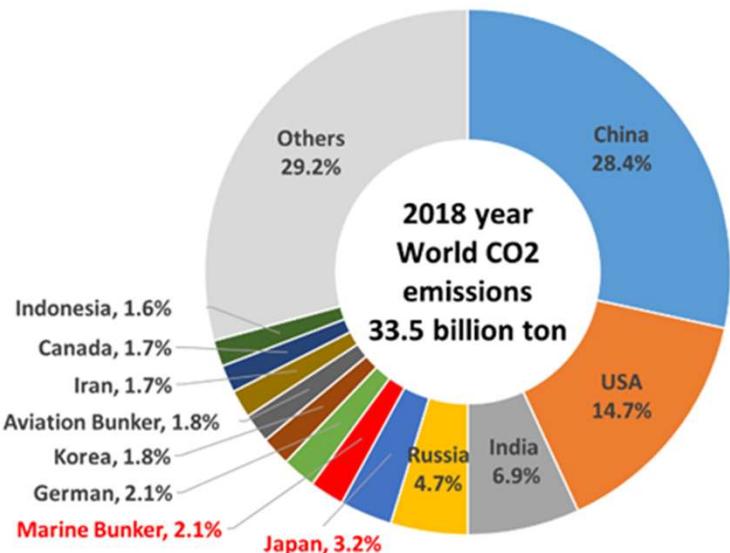
ECA (Emission Control Area) : 排出規制海域、Global: 一般海域。ECA以外の全海域

1. 海洋の環境規制：GHG

国際海運のCO₂排出量

- 2018年、世界のエネルギー起源CO₂排出量は335億トン。国際海運は7億トン
- 1992年「UNFCCC」、2015年「パリ協定」採択、各国 NDC で削減目標を設定
- 国際海運では、UNFCCC とは別に IMO 独自の気候変動対策を設定

世界の CO₂ 排出量比率



出典: IEAより作成

国別・海運・航空の GHG 削減対策



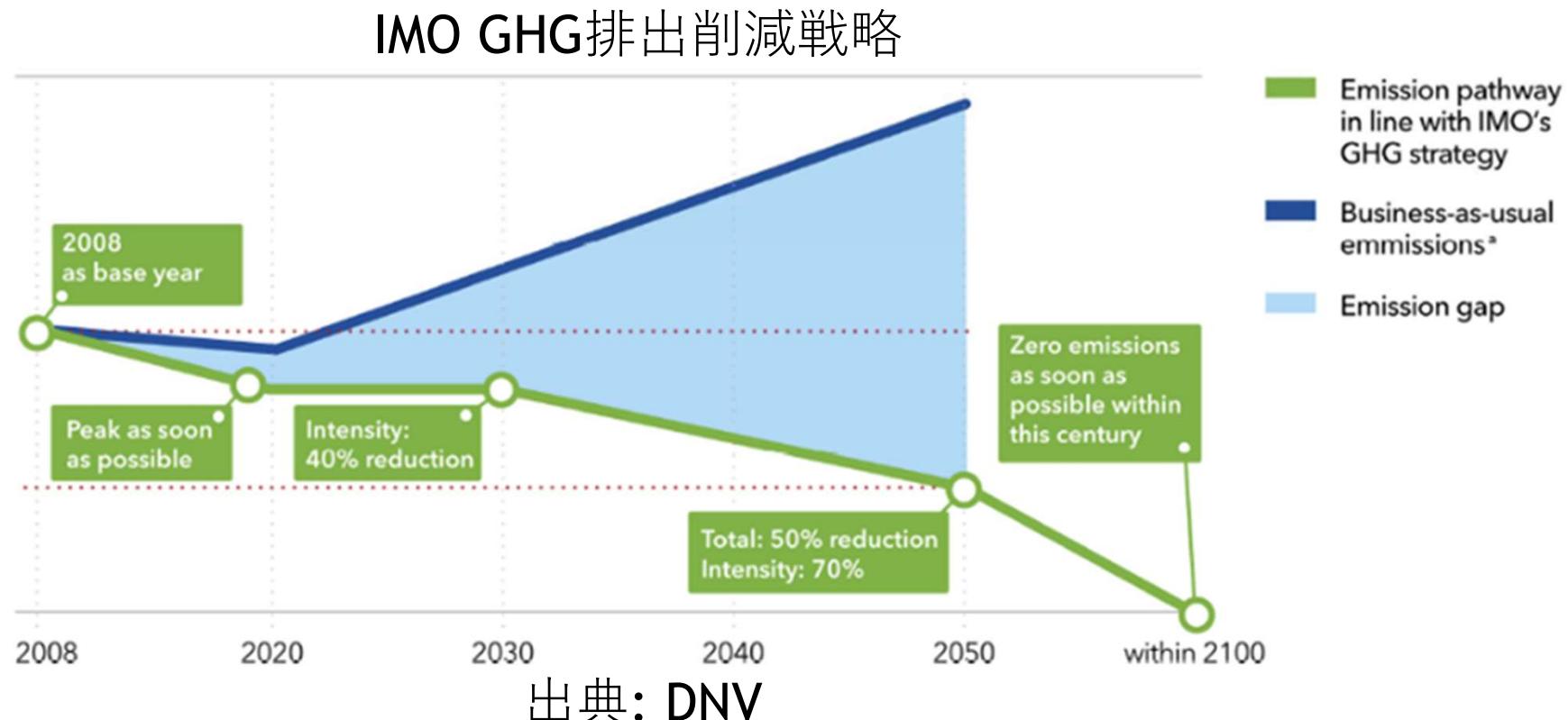
出典: 各社情報より作成

注: 気候変動枠組み条約 (UNFCCC)、各国が定める貢献 (NDC)

1. 海洋の環境規制：GHG

IMO GHG削減戦略（2018年）

- 海運のGHG排出を2008年比で2050年までに50%削減、2100年までにゼロ
 - 2020年9月、欧州議会は海運由来CO₂排出をEU-ETSに組込む議案を可決
 - 2021年7月、欧州委員会は2023～2025年で段階的なEU-ETS導入を提案
- ⇒ 今後、各国海運業にGHG削減義務が課される可能性があり、コスト上昇の懸念



注: 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。
EU-ETS (EU域内排出量取引制度)

1. 海洋の環境規制：GHG

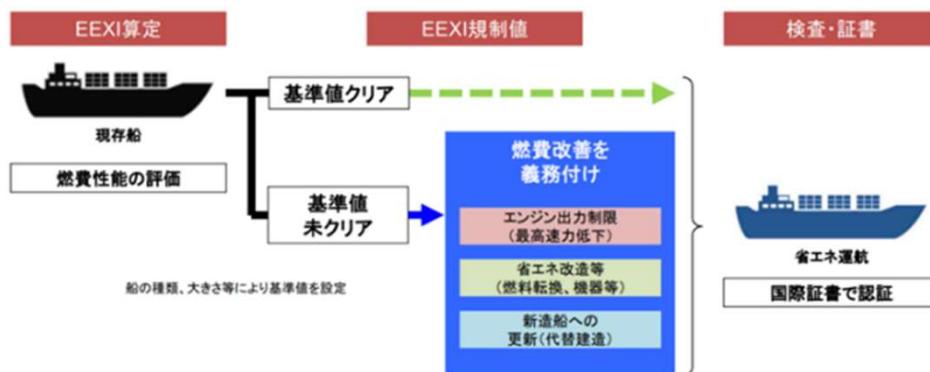
既存の GHG 規制（2011, 2016年採択）

- SEEMP：航海管理計画書の作成、燃料消費等データ収集/報告が義務付け
- EEDI：新造船の建造契約日/引渡日に応じ、燃費効率適合が義務付け

今後の GHG 規制（2021年採択）⇒ 2023年1月より発効

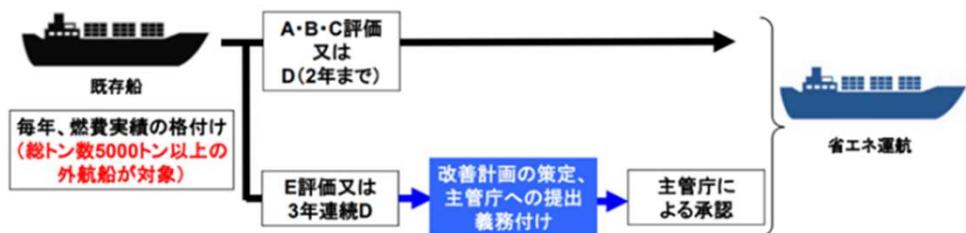
- EEXI：既存船の燃費性能を事前評価し、EEDIと同等燃費が義務付け
- CII：年間燃費実績を事後検証し、5段階評価。改善計画提出/実行が必要
⇒ 基準に満たない場合、エンジン出力制限や改造・新造が必要

EEXI規制への対応イメージ



出典: 国土交通省

CII規制への対応イメージ



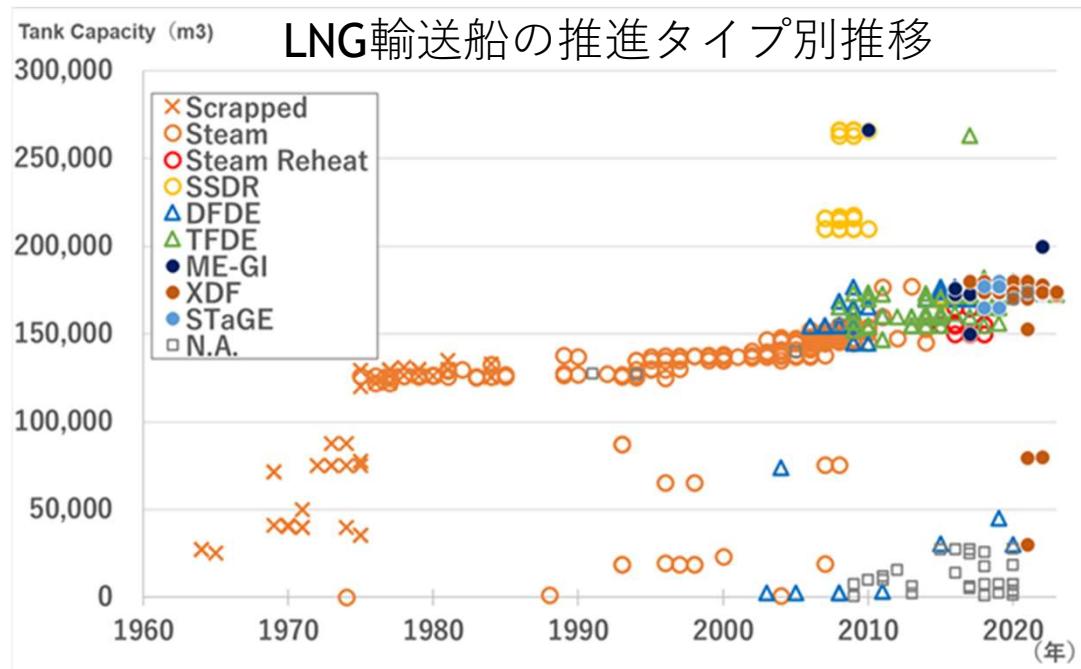
出典: 国土交通省

注: SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan : 船舶エネルギー効率管理計画書) 、
EEDI (Energy Efficiency Design Index) 、 EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) 、 CII (Carbon Intensity Indicator)

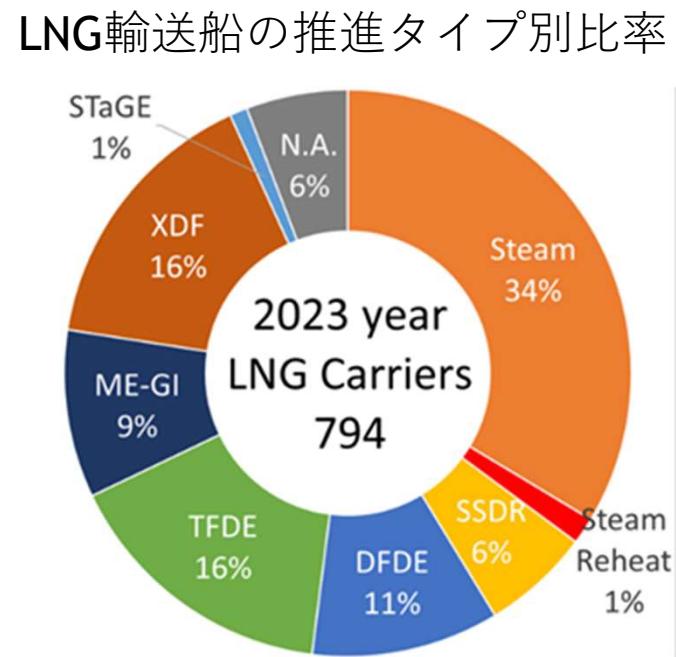
1. 海洋の環境規制：GHG

GHG規制によるLNG輸送船への影響

- 船用推進機関はディーゼル（熱効率50%）と蒸気タービン（同30%）に大別
 - 一般商船には、1970年代のオイルショック以降、ほぼ全てディーゼル機関採用
 - LNG船には、2000年代まで300隻超、エネルギー効率の悪い蒸気タービン採用
 - 理由：従来技術ではディーゼル機関でのBOGの安定燃焼が困難
- ⇒ 2023年時点で蒸気タービン機関は34%、LNG輸送船に撤退圧力が高まる可能性



出典: IGU, GIIGNL, 各社情報より作成



出典: 各社情報より作成

注: 热効率: 热機関において、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
BOG (Boil Off Gas): LNG貯蔵タンク内への外部入熱により、LNG (-162°C) が蒸発して自然発生するガス

2. 環境規制への対応

(1) 適合油転換、(2) スクラバー装置、(3) 燃料転換 ①～⑦

(1) 適合油: 低硫黄燃料への転換

- 2020年 SOx 規制強化で HSFO から VLSFO へ転換
- 利点: 船舶を継続使用可能。船舶の9割は適合油にて対応
- 課題: GHG 削減には不適。従来比で約 3 割高い燃料費

GHG削減には
追加対策要

(2) スクラバー脱硫装置の導入



- SOx, PM の90%、ブラックカーボンの60%を除去
- 利点: HSFOを継続して使用可能
- 課題: GHG削減には不適。処理水問題、燃費悪化

(3) 低炭素・脱炭素燃料への転換

- ①LNG ②LPG ③合成燃料 ④メタノール ⑤水素 ⑥アンモニア ⑦バッテリー
- 利点: GHG排出量削減に効果的
- 課題: インフラ整備・技術的・コストが課題

注: 高硫黄C重油 (HSFO, High Sulphur Fuel Oil : 硫黄分 3.5%)

低硫黄C重油 (VLSFO, Very Low Sulphur Fuel Oil : 硫黄分 0.5%以下)

2. 環境規制への対応（3）燃料転換

①LNG ②LPG ③合成燃料 ④メタノール ⑤水素 ⑥アンモニア ⑦バッテリー

燃料種類	CO ₂ 排出※	利点	課題
① LNG	▲30%	<ul style="list-style-type: none"> 世界的にインフラが普及済 <u>短中期的な代替燃料として最有希望</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 未燃排出のメタンスリップ <u>建造費3割増、船員のLNG教育訓練、タンク容積2倍で積載量低下</u>
② LPG	▲20%	<ul style="list-style-type: none"> 極低温材料が不要 貯蔵など取り扱いが容易 	<ul style="list-style-type: none"> 世界的インフラが不十分 削減効果が限定的
③ 合成燃料 (e-fuel)	▲約100%	<ul style="list-style-type: none"> 脱炭素燃料 <u>既存設備を活用可能</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>高コスト。メタネーションなど技術革新必要</u>
④ メタノール	▲90% (▲10%)	<ul style="list-style-type: none"> 脱炭素燃料（合成燃料由来） メタノールタンカーで実用済 	<ul style="list-style-type: none"> 高コスト。合成燃料由来の場合、さらに高価格。
⑤ 水素	▲約100% (▲10%)	<ul style="list-style-type: none"> 脱炭素燃料（再工ネ由来） 種々の燃料から製造可能 	<ul style="list-style-type: none"> <u>液化水素(-253℃)維持に高価な設備投資要</u>
⑥ アンモニア	▲約100%	<ul style="list-style-type: none"> 脱炭素燃料。肥料用で普及済 <u>液化(-78℃)が水素より簡易</u> 	<ul style="list-style-type: none"> <u>強い毒性かつ腐食性</u> <u>燃焼時にNOxを排出</u>
⑦ バッテリー (充電池)	発電過程 に依存	<ul style="list-style-type: none"> 近距離向け小型船（小容量バッテリー）で実用化 	<ul style="list-style-type: none"> 大容量バッテリー技術、充電設備が途上・未整備

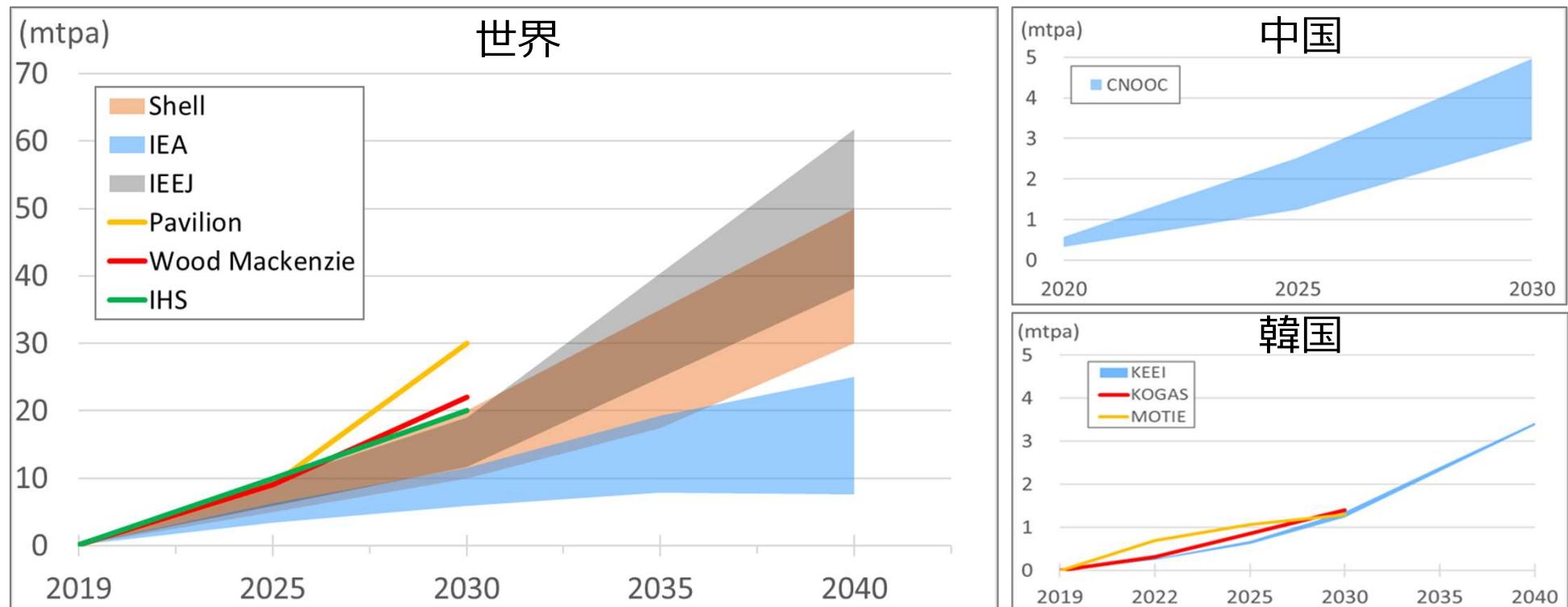
出典：DNV、資源エネルギー庁

※ CO₂排出量：従来燃料比での削減効果。（カッコ書き）は化石燃料由来であり、削減効果は少なくなる

3. LNG バンカリング需要

需要見通し

- 2020年の舶用LNG取扱量は150万トン。LNG量全体 3億5,610万トンの 0.4%
 - 世界：各機関見通しは 2030年 600 - 3,000万トン、2040年 800 - 6,200万トン
 - アジア：中国で 2030年 300 - 500万トン、韓国で 2040年 340万トン
- ⇒ 短中期的には、需要は拡大見込み。長期的には環境規制の影響を受ける可能性



出所 : Shell LNG Outlook 2020, IEA WEO 2021, IEEJ Outlook 2022

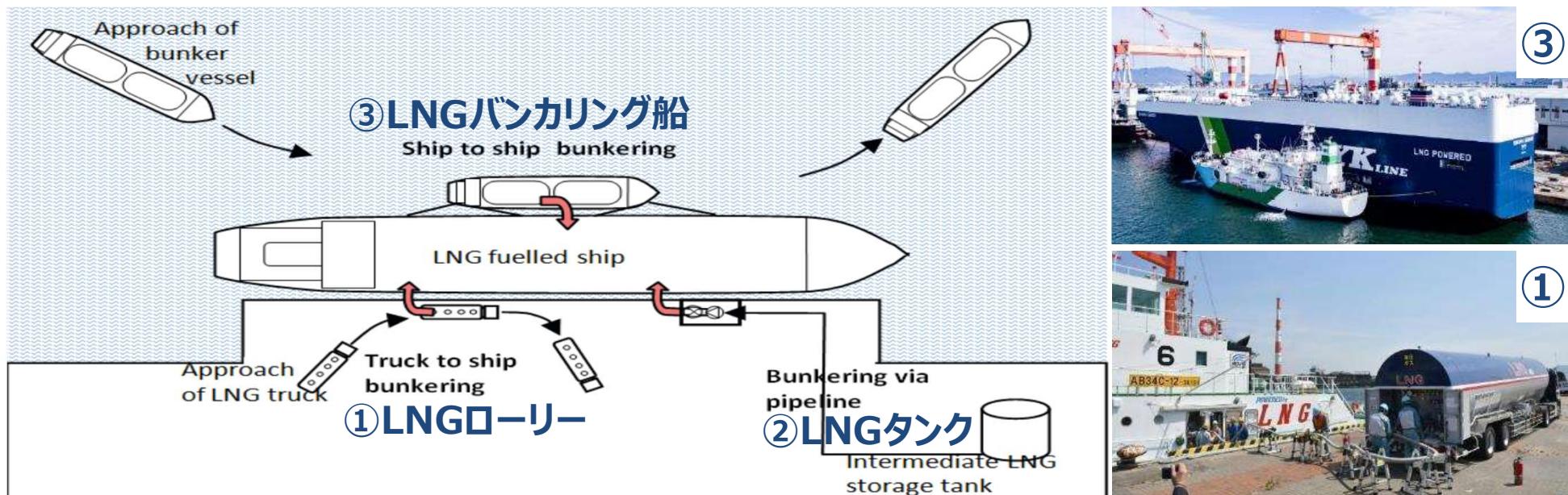
出所 : 各社情報より作成

3. LNG バンкинг方式

LNGバンкингの3方式

- 日本は①ローリー方式が中心。2020年10月に③バンкинг船方式を初実施

方式	特徴
① Truck to Ship (TTS方式)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 岸壁に係留中のLNG燃料船に、<u>岸壁のLNGローリー</u>から供給 ✓ <u>小型船</u>への供給（30 m³等）に適する。<u>初期投資が少なく、導入が容易。</u>
② Shore to Ship (Shore TS方式)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 岸壁・桟橋に係留中のLNG燃料船に、<u>LNG基地タンク</u>などから供給 ✓ <u>大型船</u>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)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 岸壁に係留中のLNG燃料船に、<u>バンкинг船</u>が接舷して供給 ✓ <u>大型船</u>への供給（20,000 m³等）が可能。海洋上で柔軟な運用が可能。



左) 出所：IMO資料に一部加筆 右上) 出所：日本郵船、川崎汽船、JERA、豊田通商（2020/10）
 右下) 出所：九州電力、西部ガス、中国電力、日本郵船（2019/05）

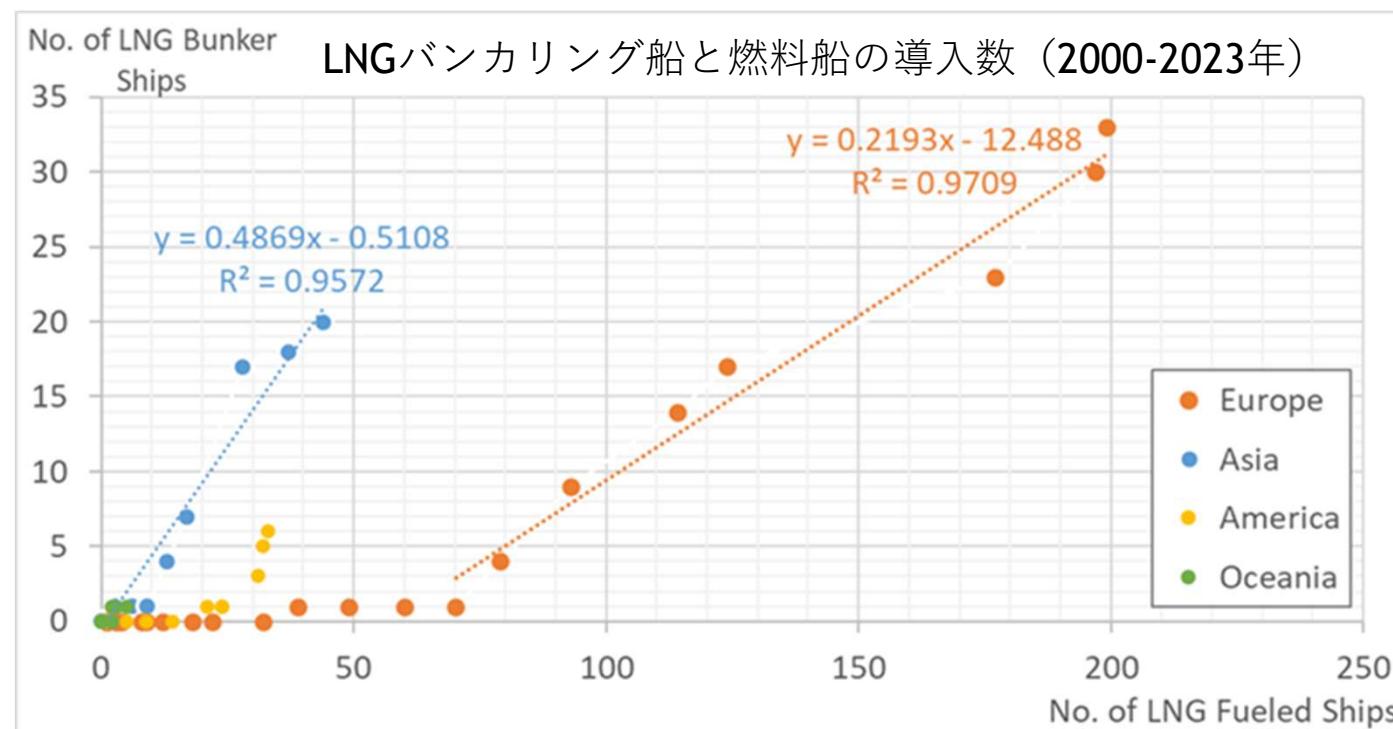
3. LNG燃料船とバンカリング船の推移

LNG燃料船

- 2000年に欧州で初導入。現在 200 隻が稼働中、270 隻が発注及び計画中
⇒ 近年では大型船・国際船舶が増加。今後 3 年間の竣工予定の約 5 ~ 6 割

LNGバンカリング船

- 2013年に欧州で初導入。現在 30 隻が稼働中、33 隻が発注及び計画中
⇒ 近年ではアジアでの導入が増加。今後 3 年間の竣工予定の約 4 割

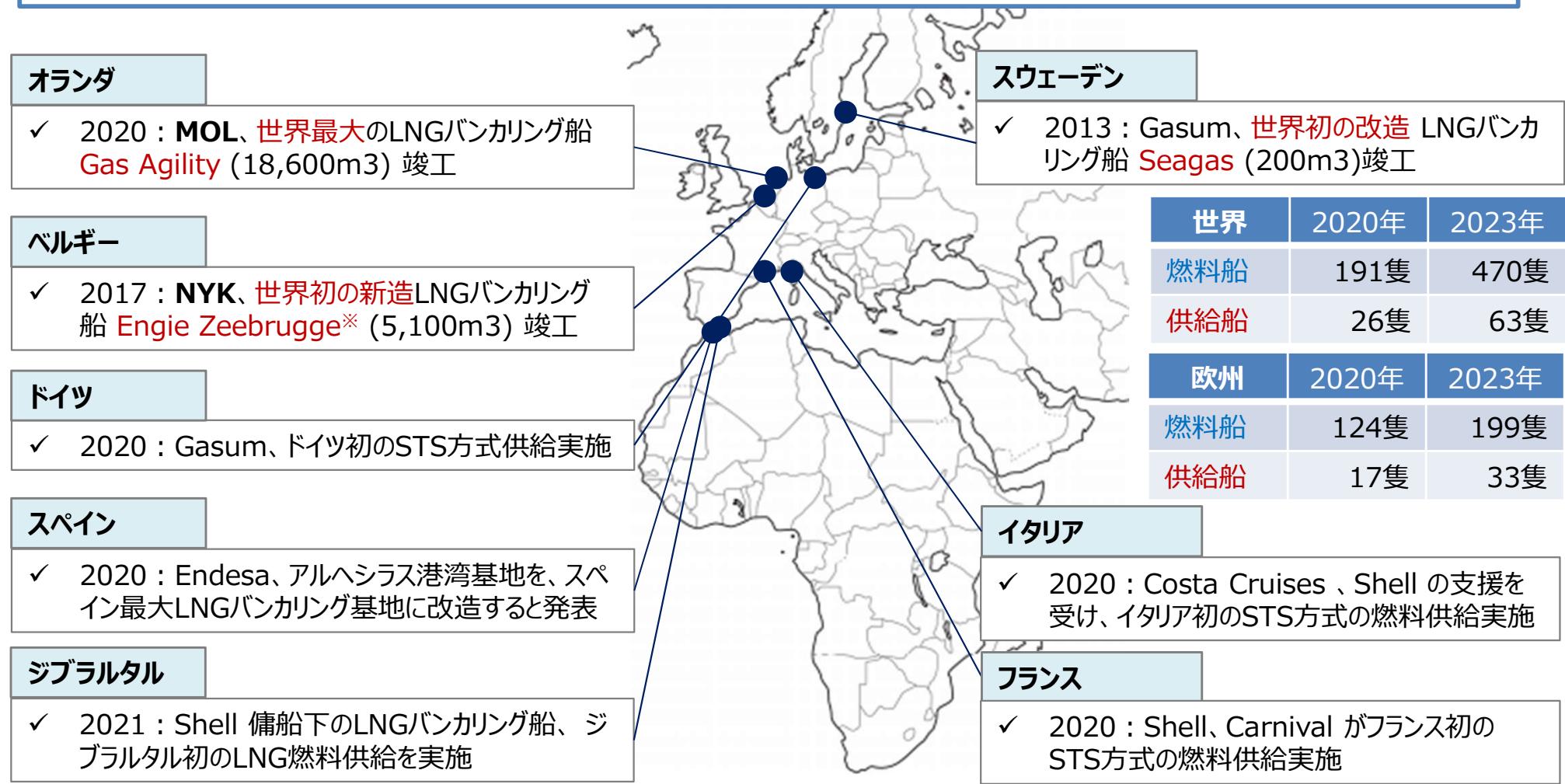


出典: 各社情報より作成

3. LNGバンカリング体制の地域別動向

欧州

- LNG燃料船/バンカリング船の6割強が欧州に集中。日本企業も普及に貢献
- 環境政策や海運版EU-ETSの議論など、化石燃料への逆風が懸念



※注：Engie Zeebruggeは2017年6月の就航当初の名称。2020年11月にGreen Zeebruggeに改称

3. LNGバンカリング体制の地域別動向

アジア

- 石炭からの燃転や経済発展に伴うLNG需要の拡大。日本との協業も見られる
- LNG受入設備やバンカリング設備への投資や法整備が課題

The map shows several blue dots indicating LNG bunkering activity across the region. In Japan, dots are located in the Sea of Japan and off the coast of Honshu. In South Korea, a dot is near the Korean peninsula. In China, dots are in the Yellow Sea and near the coast. In Indonesia, dots are in the Java Sea and off the coast of Sumatra. In Singapore, a dot is in the Singapore Strait. In Malaysia, dots are in the South China Sea and off the coast of Peninsular Malaysia.

タイ		
✓ 2020 : 国営石油ガス会社PTT、LNGバンカリングが可能なLNGハブ基地推進を発表		
アジア	2020年	2023年
燃料船	17隻	44隻
供給船	7隻	20隻
中国	2020年	2023年
燃料船	7隻	17隻
供給船	1隻	8隻
シンガポール	2020年	2023年
燃料船	5隻	14隻
供給船	2隻	4隻
マレーシア		
✓ 2020 : 国内初のバンカリング船 Avenir Advantage 傭船。STS実施		
✓ 2021 : 住友商事 とPetronas Trading、 <u>船舶燃料用LNG関連事業</u> をマレーシアと東京湾で共同販売する協力覚書締結		
韓国		
✓ 2020 : 韓国初のLNG輸送/バンカリング兼用船 SM JEJU LNG2 竣工。STS方式の供給実施		
✓ 2020 : KOGAS、バンカリング専門子会社 Korea LNG Bunkering 設立。TTS方式を実施		
✓ 2020 : 初の 専用LNGバンカー船 。2023年予定		
中国		
✓ 2014 : 中国初、長江に LNGバンカリング船 竣工		
✓ 2020 : 深圳燃气 等LNGバンカリング協定に署名		
✓ 2021 : 年内に3隻の LNGバンカリング船 竣工予定		
インドネシア		
✓ 2021 : Pertamina 新造船5隻に、PGN からLNG およびバンカリング提供を受ける HoA 締結		
シンガポール		
✓ 2019 : Pavilion Energy、Totalからの傭船にて、シンガポール初のSTS方式でのバンカリング実施		
✓ 2021 : バンカリング船 FUELNG BELLINA 竣工		

3. LNGバンカリング体制の地域別動向

日本

- LNGバンカリングが5港湾で検討。TTS式が4港湾、STS式が1港湾で実施済
- インセンティブ（入港料金が全額免除）が2港湾（東京湾、伊勢湾）にて適用

苫小牧港

- 2019-20年、苫小牧港LNGバンカリング検討会
- 2020年、苫小牧港とバンクーバー港が覚書締結

大阪湾

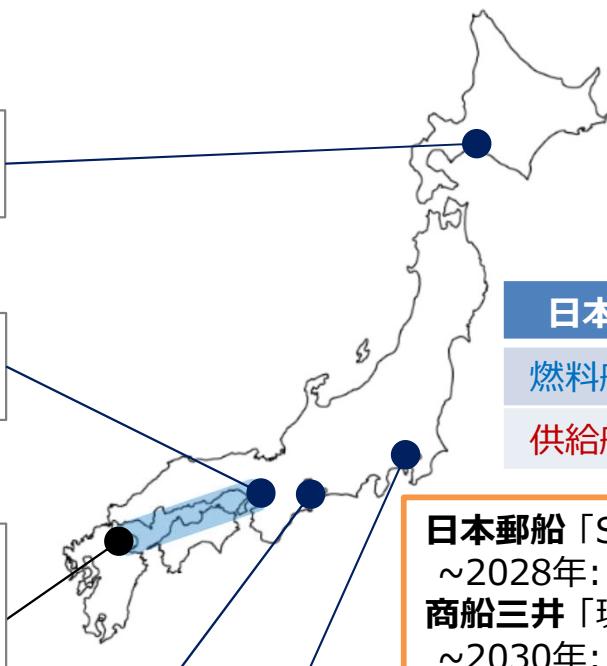
- ✓ 2019年、LNG燃料タグボート「いしん」竣工
- ✓ 2019年、「いしん」へTTS式LNG供給実施

九州・瀬戸内

- ✓ 2019年、「魁」へTTS供給実施
- ✓ 2022-23年、LNG燃料フェリー2隻（予定）
- ✓ 2023年、LNG燃料石炭専用船2隻（予定）
- ✓ 2023年、LNGバンカリング船（計画）

伊勢湾

- ✓ 2019年、「いしん」へTTS式LNG供給実施
- ✓ 2020年、LNG燃料内航貨物船「いせみらい」竣工
- ✓ 2020年、LNGバンカー船「かぐや」。STS実施



日本	2020年	2023年
燃料船	3隻	7隻
供給船	1隻	3隻

日本郵船「Sail GREEN」プロジェクト
~2028年: LNG燃料船 **20隻**投入
商船三井「環境ビジョン2.1」
~2030年: LNG燃料船 **約90隻**投入
川崎汽船「環境ビジョン2050」
~2025年: LNG燃料船 **10隻**投入

東京湾

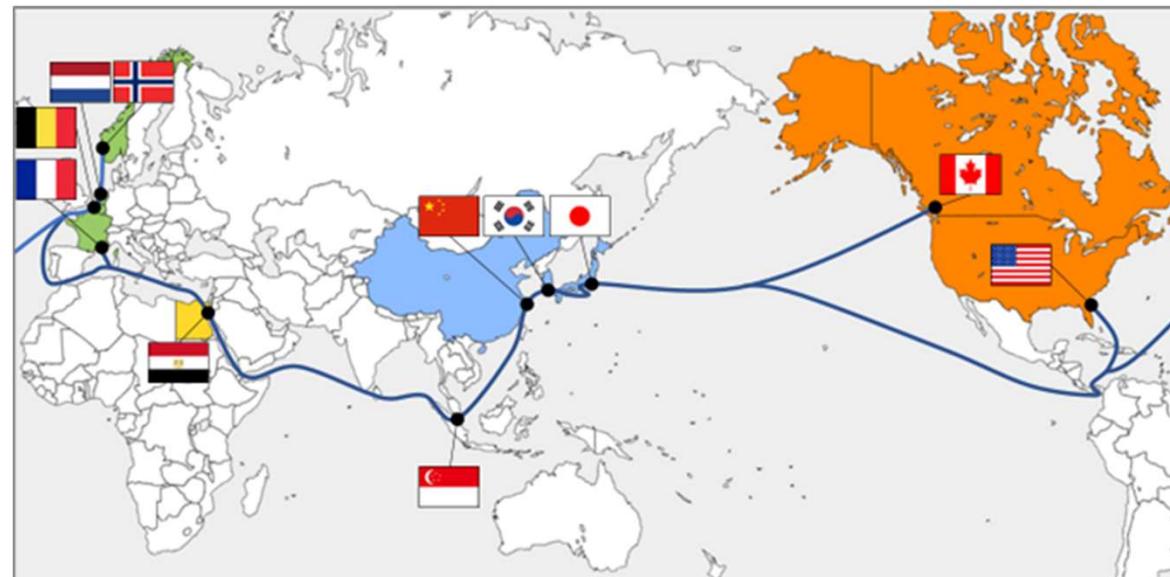
- ✓ 2015年、LNG燃料タグボート「魁（さきがけ）」竣工
- ✓ 2015年、「魁（さきがけ）」へTTS式LNG供給実施
- ✓ 2021年、バンカー船「エコバンカー東京ベイ」（予定）
- ✓ 2025年、LNG燃料中型客船（予定）

3. LNGバンカリング体制の国際連携

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者の港湾当局間で締結（現在、計11カ国12者※）
- 2020年10月、脱炭素化を見据えた「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3カ国の港湾当局間（日本国土交通省港湾局、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）で締結

LNG船舶燃料の港湾当局間ネットワーク



出典: 各社情報より作成

※11か国12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、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、エジプト・スエズ運河経済特区庁）

4. 課題と提言：低炭素・脱炭素燃料の普及のために

港湾インセンティブの拡大

- 課題①：LNG燃料船は、従来比3割増しの建造費
- 課題②：LNG教育/訓練を受けた船員の確保
- 課題③：従来比2倍のLNGタンクに圧迫される積載貨物容量
- 普及には入港料免除等のインセンティブが有効。現在、国内では伊勢湾と東京湾の2港湾のみ全額免除が設定。全国規模での優遇措置強化が必要

国際港湾間連携の不足

- 課題：国交省は「LNGを船舶燃料として開発する協力覚書」を11カ国12者、「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カ国の港湾当局間で締結。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参加
- 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

ご清聴ありがとうございました



17