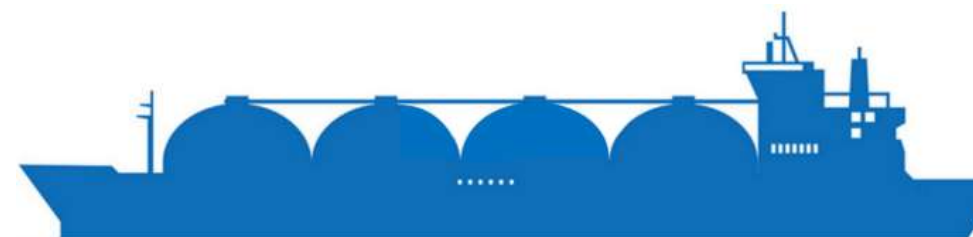



脱炭素化を目指す国際海運の取り組みと LNG バンカリング体制

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）

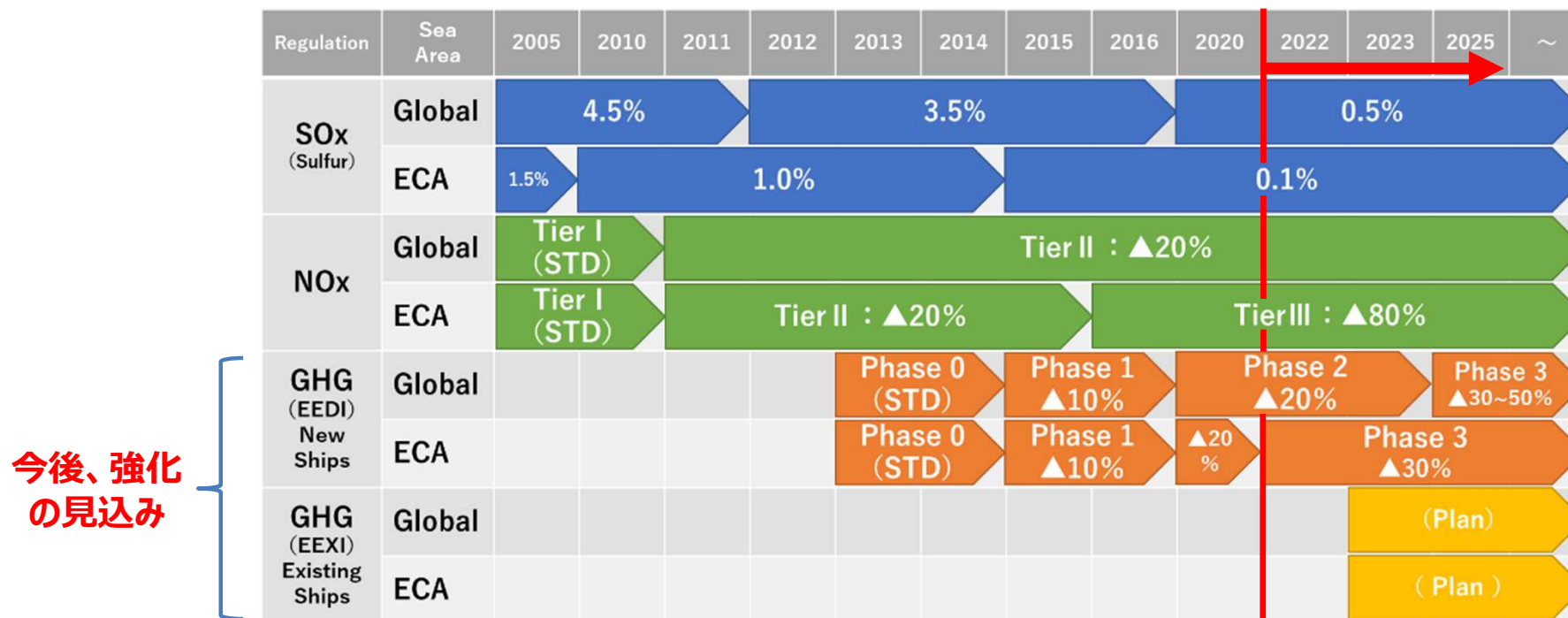
注：日本商船隊（本邦船会社が運航する外航船）の海上輸送割合はトン数ベース

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

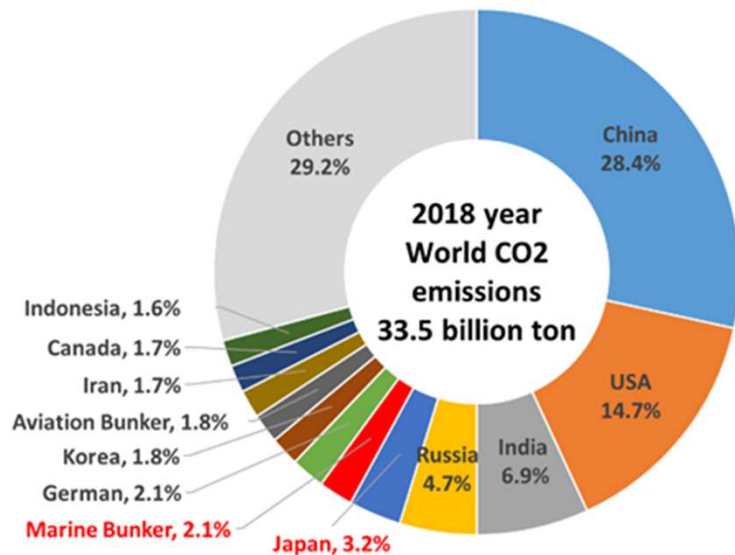
注：NOx規制は、Tier I で2000～2010年起工船のエンジン定格回転数での排出量を基準、Tier II は20%削減、Tier III は80%削減。
 ECA（Emission Control Area）：排出規制海域、Global：一般海域。ECA以外の全海域

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

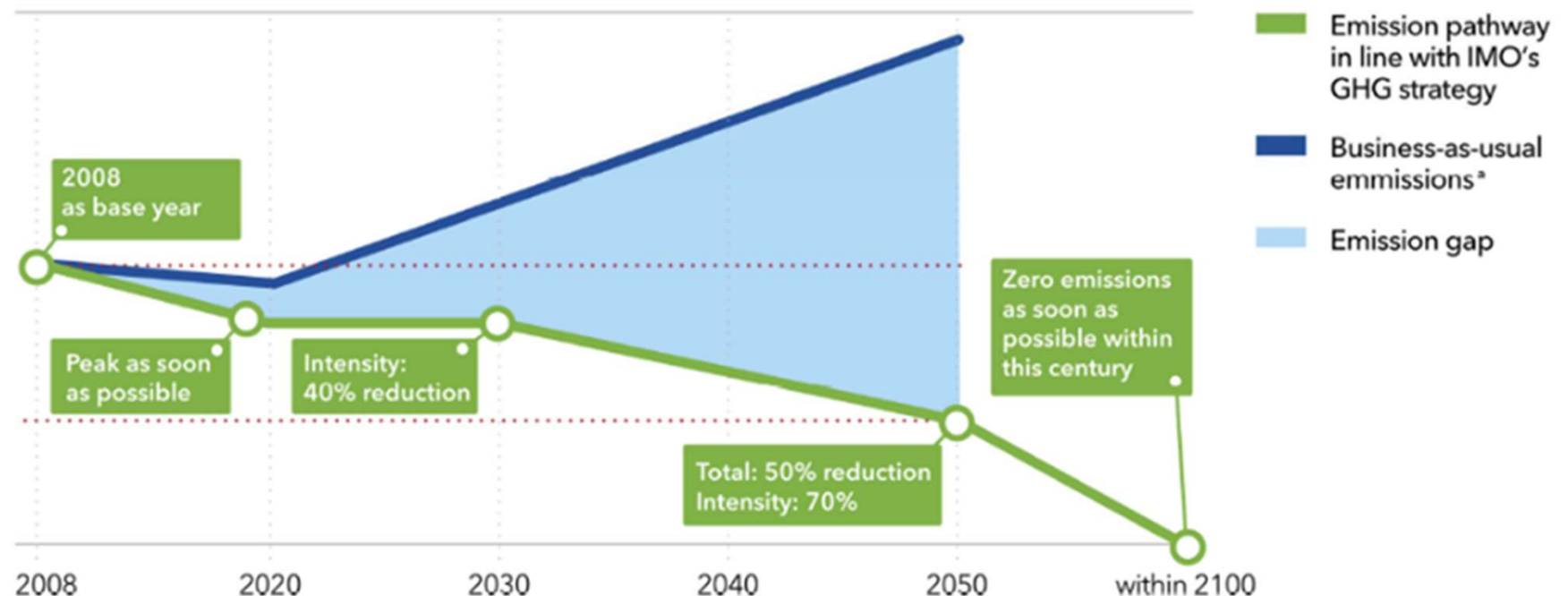
注：気候変動枠組条約（UNFCCC）、各国が定める貢献（NDC）

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 に組み込む議案を可決
 - 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

IMO GHG排出削減戦略



出典: DNV

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

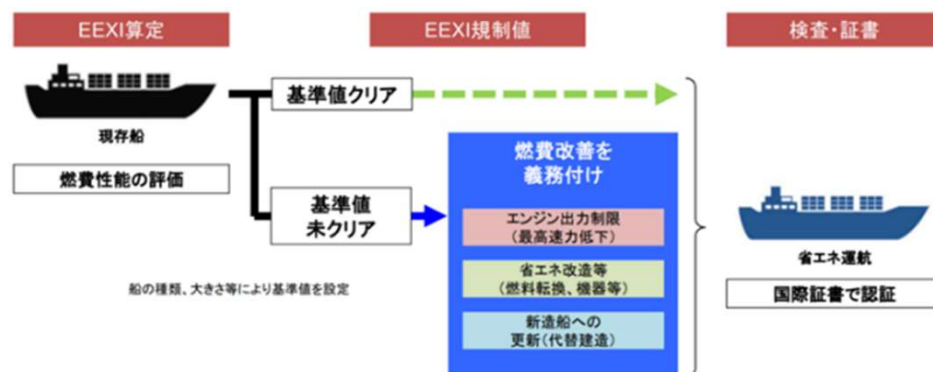
既存の GHG 規制（2011, 2016年採択）

- 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

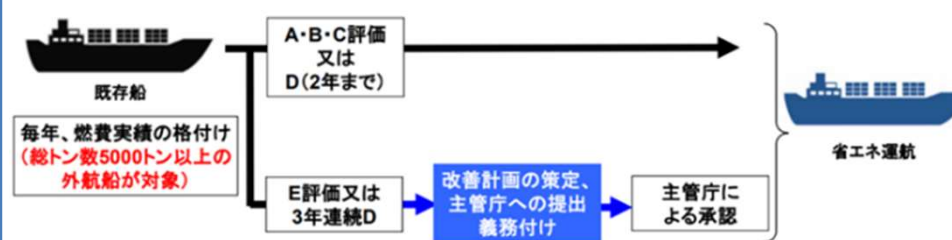
- EEXI：既存船の燃費性能を事前評価し、EEDIと同等燃費が義務付け
 - CII：年間燃費実績を事後検証し、5段階評価。改善計画提出/実行が必要
- ⇒ 基準に満たない場合、エンジン出力制限や改造・新造が必要

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



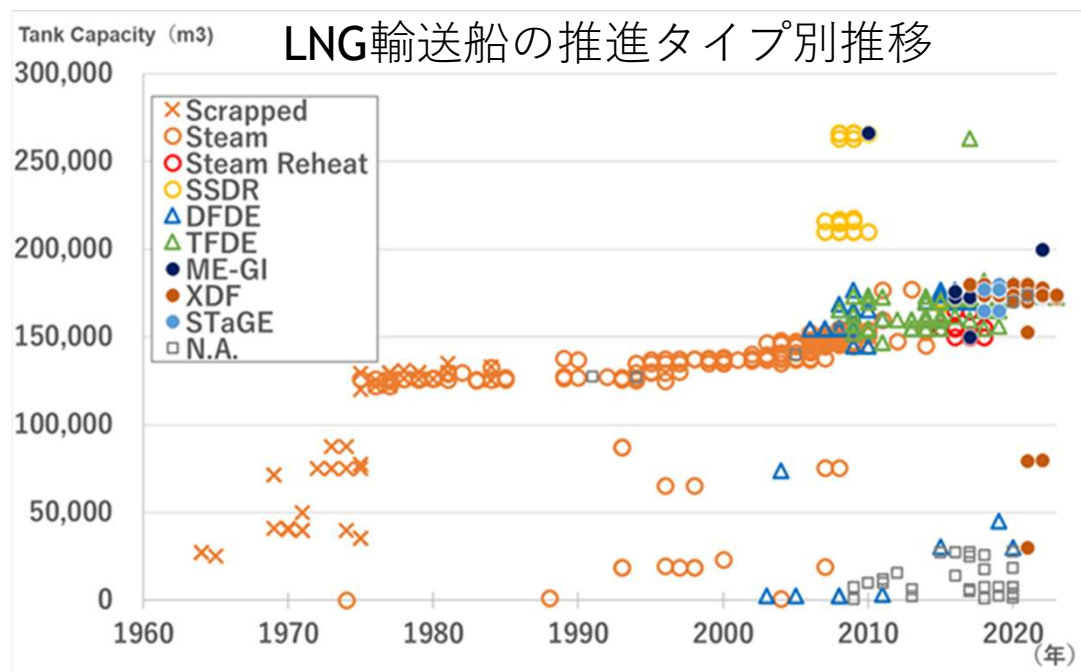
出典：国土交通省

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

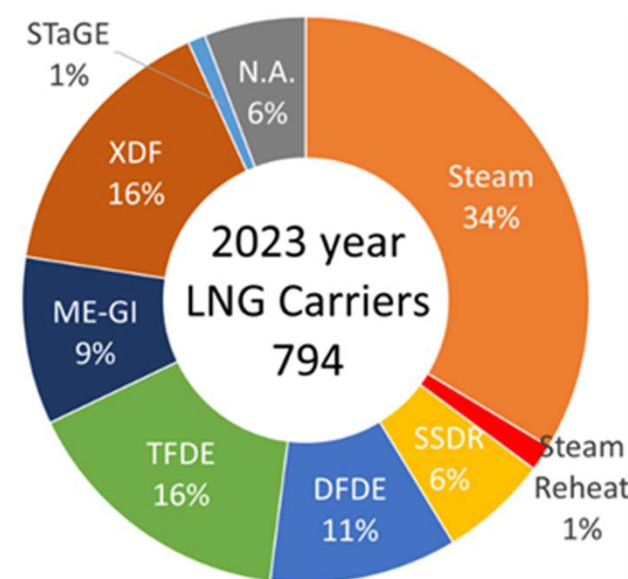
GHG規制によるLNG輸送船への影響

- 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

LNG輸送船の推進タイプ別比率



出典：各社情報より作成

注：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
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

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

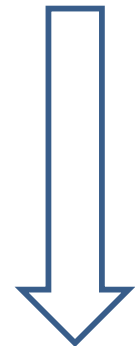
- 2020年 SOx 規制強化で HSFO から VLSFO へ転換
- 利点：船舶を継続使用可能。船舶の9割は適合油にて対応
- 課題：GHG 削減には不適。従来比で約 3 割高い燃料費

(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



**GHG削減には
追加対策要**



(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（再エネ由来） 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

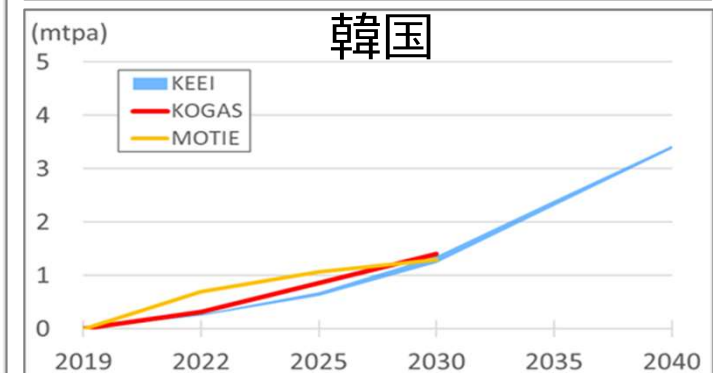
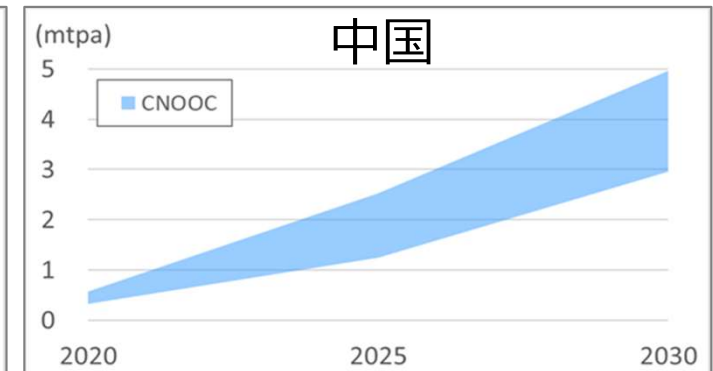
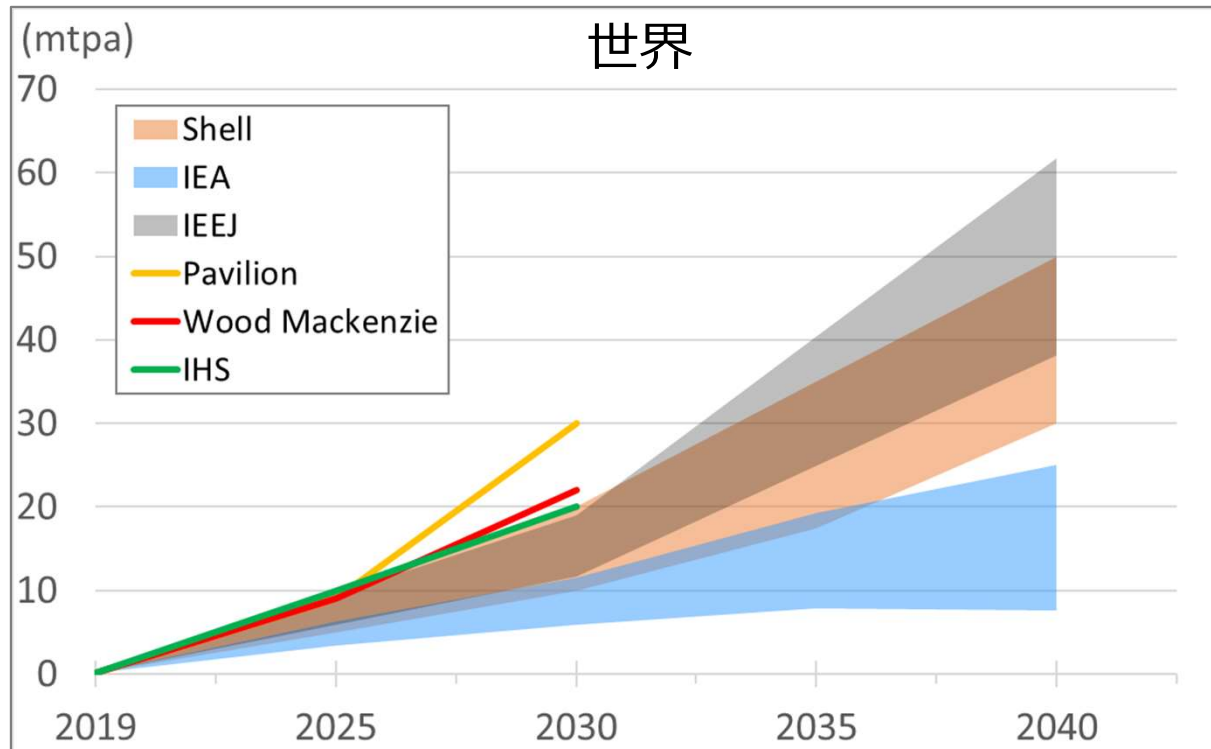
出典：DNV、資源エネルギー庁

※ 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年の船用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

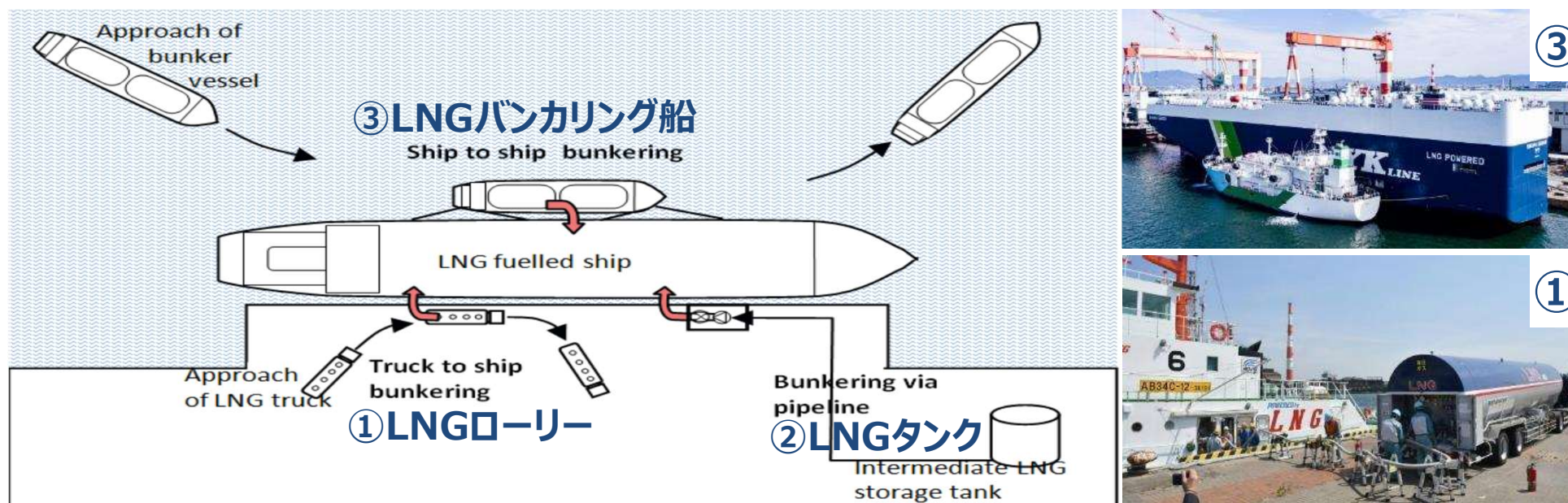
出所：各社情報より作成

3. LNG バンカリング方式

LNGバンカリングの3方式

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

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・栈橋に係留中のLNG燃料船に、LNG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)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 岸壁に係留中のLNG燃料船に、<u>バンカリング船</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）

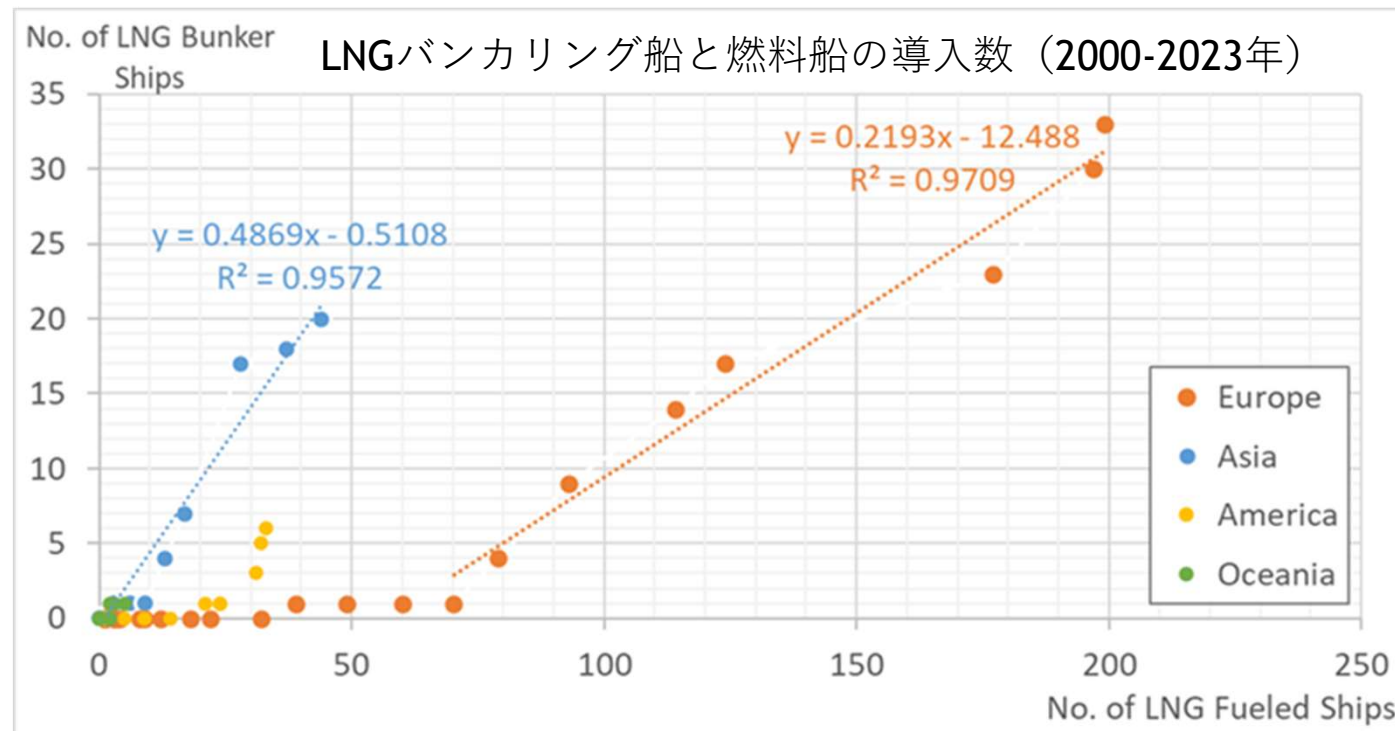
3. LNG燃料船とバンカリング船の推移

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

オランダ

- ✓ 2020 : **MOL**、**世界最大**のLNGバンカリング船 **Gas Agility** (18,600m³) 竣工

ベルギー

- ✓ 2017 : **NYK**、**世界初の新造**LNGバンカリング船 **Engie Zeebrugge*** (5,100m³) 竣工

ドイツ

- ✓ 2020 : Gasum、ドイツ初のSTS方式供給実施

スペイン

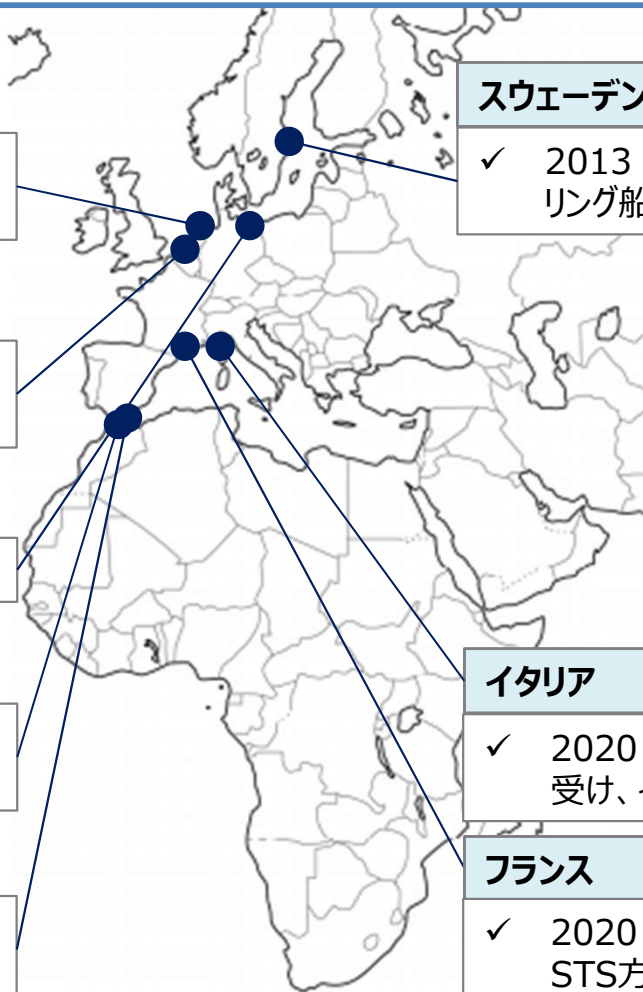
- ✓ 2020 : Endesa、アルヘシラス港湾基地を、スペイン最大LNGバンカリング基地に改造すると発表

ジブラルタル

- ✓ 2021 : Shell 傭船下のLNGバンカリング船、ジブラルタル初のLNG燃料供給を実施

スウェーデン

- ✓ 2013 : Gasum、**世界初の改造** LNGバンカリング船 **Seagas** (200m³)竣工



世界	2020年	2023年
燃料船	191隻	470隻
供給船	26隻	63隻
欧州	2020年	2023年
燃料船	124隻	199隻
供給船	17隻	33隻

イタリア

- ✓ 2020 : Costa Cruises、Shell の支援を受け、イタリア初のSTS方式の燃料供給実施

フランス

- ✓ 2020 : Shell、Carnival がフランス初のSTS方式の燃料供給実施

※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

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、船舶燃料用LNG関連事業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

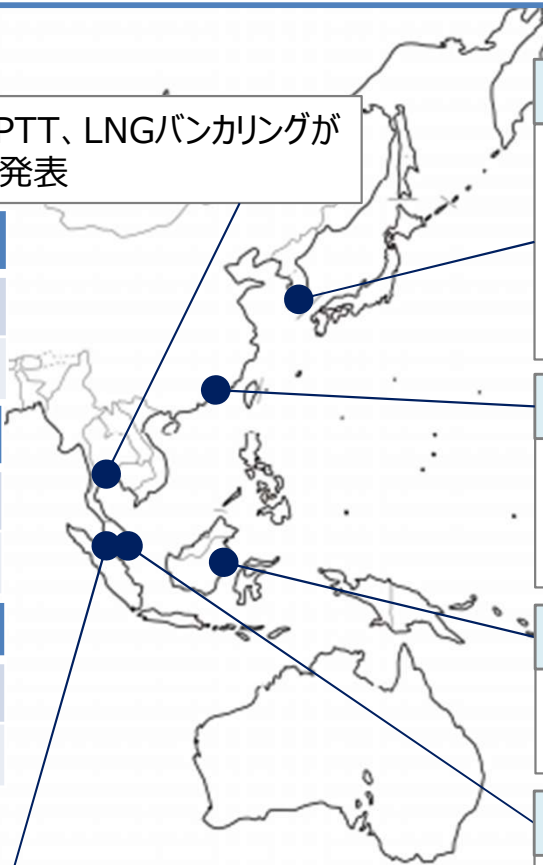
- ✓ 2014：中国初、長江に**LNGバンカリング船**竣工
- ✓ 2020：深圳燃气 等LNGバンカリング協定に署名
- ✓ 2021：年内に3隻の**LNGバンカリング船**竣工予定

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**

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）



日本	2020年	2023年
燃料船	3 隻	7 隻
供給船	1 隻	3 隻

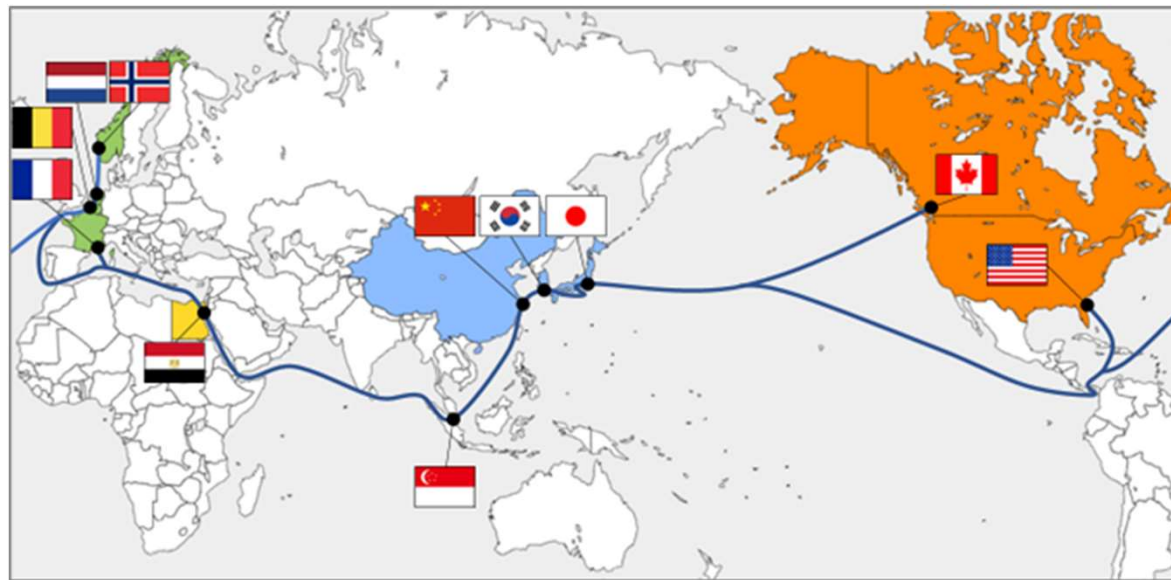
日本郵船「Sail GREEN」プロジェクト
 ~2028年: LNG燃料船 **20隻**投入
 商船三井「環境ビジョン2.1」
 ~2030年: LNG燃料船 **約90隻**投入
 川崎汽船「環境ビジョン2050」
 ~2025年: LNG燃料船 **10隻**投入

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 各国 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

