

海洋環境規制強化を巡る 船舶燃料市場の現状と展望

～IMO による環境規制の段階的強化と海事クラスターの対応～

2018 年 12 月



日本政策投資銀行
Development Bank of Japan

産業調査部

－はじめに－

世界では、2015 年に、気候変動対策への新たな枠組みとして、パリ協定が採択された。パリ協定は、世界の平均気温上昇を抑えるため、21 世紀後半には、温室効果ガス(GHG)排出量実質ゼロを目指している。異常気象などの気候変動による影響とみられる事象が顕在化し始めるなか、低炭素社会の実現に向けた動きが世界的に加速化している。私たちには、地球環境や気候変動に配慮しながら、経済発展を実現する持続可能な世界への変革が求められている。

海運業界においても、引き続き、アジア等途上国の経済成長による海運物流需要の伸長が期待されるなか、成長と環境問題を両輪とした対応が求められている。需要が増加しているなかにおける環境汚染物質の削減は容易ではないが、国際海運部門では、国際海事機関(IMO)が、2020 年からの全海域で SOx 規制を強化する他、GHG 削減に向けても野心的な目標を掲げている。

SOx 規制は、燃料油に対する規制であることから、2020 年以降は、船舶燃料の市場構造に大きな変化が生じると予想される。また、GHG 削減に向けても低炭素代替燃料の検討が選択肢の 1 つに挙げられるなど、国際海運部門の環境規制対応は、燃料市場の構造変化を伴うものとなっており、その動向は、海運会社、造船会社、船用機器メーカー等の海事クラスターのみならず、エネルギー業界からも注目を集めている。

本稿では、SOx 規制を始めとする海運業界における環境規制への主な対応策(①規制適合油への切り替え、②SOx スクラバーの搭載、③LNG 燃料船への切り替え)と、それぞれの対応策を取り巻く市場環境や課題などを整理し、海運業界の環境規制対応のあり方を考察する。

株式会社日本政策投資銀行 産業調査部

～目次～

第1章 IMO の環境規制	・・・P.4
1. IMO の環境規制概要	
2. SO _x 規制	
3. NO _x 規制	
4. 温室効果ガス(GHG)規制	
(1) 気候変動対策(パリ協定)	
(2) 国際海運部門の気候変動対策	
5. IMO の環境規制に対する海運業界の対応	
 第2章 規制適合油への切り替え(SO_x 規制対応)	 ・・・P.11
1. 世界の石油需給と市場価格	
(1) 世界の石油需要動向	
(2) 世界の石油供給動向	
(3) 原油の価格見通し	
2. 石油精製事業の動向	
(1) 石油精製事業の課題とその対応	
(2) 日本の石油精製事業の動向	
3. 世界の規制適合油を取り巻く環境	
(1) 世界の規制適合油の供給見通し	
(2) 日本の規制適合油の現状と課題	
(3) 規制適合油の価格見通し	
(4) 不正使用防止対策	
4. NO _x TierⅢ・GHG 追加規制への対応	
5. まとめ	
 第3章 SO_x スクラバーの搭載(SO_x 規制対応)	 ・・・P.26
1. SO _x スクラバーの概要	
(1) SO _x スクラバータイプ	
(2) SO _x スクラバー製造事業者	
(3) SO _x スクラバー搭載方法・搭載期間	
2. SO _x スクラバー搭載適合船舶	
3. SO _x スクラバー搭載の経済性	
4. SO _x スクラバー搭載実績・見通し	
5. 燃料油(高硫黄燃料油)の供給見通し	
6. NO _x TierⅢ・GHG 追加規制への対応	

7. まとめ

第4章 LNG 燃料船への切り替え(SO_x、NO_x、GHG 規制対応)

・・・P.32

1. 世界の LNG 需給と市場価格
 - (1)世界のガス需要動向
 - (2)世界の LNG 需給動向
 - (3)LNG の価格見通し
2. LNG 燃料船の概要
 - (1)LNG 燃料船の環境メリット
 - (2)LNG 燃料船のエンジンタイプ
3. LNG 燃料船の導入に向けた動き
 - (1)LNG 燃料船の導入実績
 - (2)LNG 燃料船の適合船舶
 - (3)環境対策のための LNG 燃料船の導入
 - (4)LNG 燃料船の経済性
4. LNG バンカリング事業を取り巻く環境
 - (1)LNG バンカリング事業の現状
 - (2)日本の LNG バンカリング事業への取り組み
 - (3)海外の LNG バンカリング事業への取り組み
 - ①シンガポール
 - ②韓国
 - ③豪州
 - ④北米
 - (4)LNG バンカリング需要の見通し
5. まとめ

第5章 さいごに

・・・P.52

第1章 IMO の環境規制

1. IMO の環境規制概要

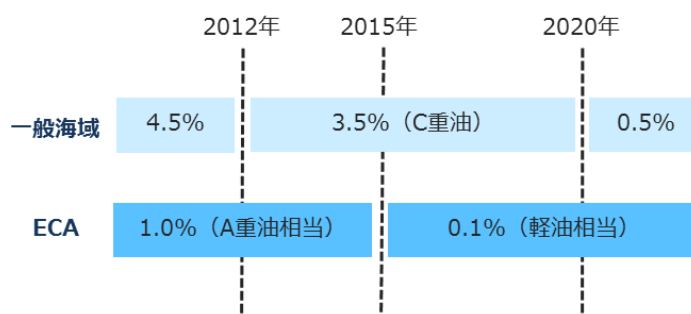
国際海運部門の海洋汚染防止に関する世界統一的なルールや条約の策定は、国際海事機関（以下、「IMO」）に委ねられている。IMO は、1958 年に設立された海事分野に関する国連の専門機関（本部：ロンドン）で、174 カ国が加盟している。硫黄酸化物（SO_x）や窒素酸化物（NO_x）、温室効果ガス（以下、「GHG」）などの大気汚染物質の船舶からの排出については、アフリカや南米の国々を除く 89 カ国が署名している海洋汚染防止条約（MARPOL 条約）附属書 VI に定められている。

2. SO_x 規制

SO_x は、硫黄分を含む燃料油を燃焼させることにより発生する。SO_x の排出量は、燃料油に含まれる硫黄分によるため、SO_x 排出規制においては、燃料油の硫黄分濃度の上限が規制される。一般海域と北米、カリブ海、北海、バルト海の ECA（排出規制海域）では、規制のレベルが異なっており、一般海域の硫黄分濃度規制値は 3.5% 以下、ECA の規制値は、2015 年より、0.1% 以下である。一般海域については、これまで厳しい規制は課せられてこなかったが、2020 年 1 月からは、規制値は 0.5% 以下に引き下げられることが決定済みである（図表 1）。

また、MARPOL 条約によるものに加え、欧州連合（以下、「EU」）や中国などでは、独自の SO_x 基準の導入を進めている。EU では、すでに 2010 年より EU 港内停泊中の船舶を対象に硫黄分濃度 0.1% 以下の燃料油の使用を義務付けている。また、中国では、珠江デルタ、長江デルタ、環渤海海域を独自の ECA に指定し、2018 年 1 月 1 日よりこれらの ECA 域内港停泊時には硫黄分濃度 0.5% 以下の燃料油を使用することを義務化している。なお、長江デルタについては、2018 年 10 月より、ECA 内を航行する船舶も義務化の対象に加わっている¹。かかる状況下、海運・造船業界では、SO_x 対応に向けた動きが活発になってきている。

（図表 1）SO_x 排出量規制の概要



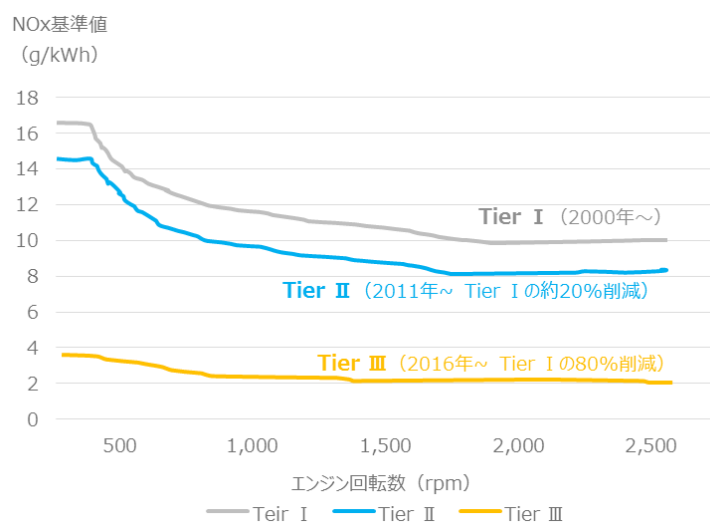
（出典）国土交通省、経済産業省 燃料油規制対応連絡調整会議 「SO_x 規制の概要と3つの手段」（2017 年 3 月）

¹ 2019 年 1 月 1 日より、ECA 域内港停泊時のみならず、ECA 内を航行する船舶も硫黄分濃度 0.5% 以下の燃料油の使用が義務化される予定であったが、長江デルタのみ、規制開始時期が前倒しされている。

3. NO_x 規制

NO_x は、燃料油を燃焼させることにより発生する。NO_xの排出規制は、排気ガス中に含まれる NO_x 排出量を規制するもので、エンジンの回転数、船舶建造年に応じて基準値が定められている。Tier I は 2000 年以降、Tier II は 2011 年以降、Tier III は 2016 年以降に建造された船舶が対象で、Tier II は Tier I の約 20%削減、Tier III は Tier I の約 80%削減が規制値となっている。Tier III は ECA のみが対象で、北米、カリブ海では、すでに 2016 年より規制が適用されている。2021 年からは北海、バルト海が規制の対象に加わることが決定済みである(図表2)。

(図表2)NO_x 排出量規制の概要



(出典)国土交通省「海事レポート 2014」

4. 温室効果ガス(GHG)規制

(1) 気候変動対策(パリ協定)

気候変動対策は、世界的には、GHG 削減の枠組みである国連気候変動枠組条約(UNFCCC)に基づき、取り組まれている。UNFCCC では、国別に GHG 削減目標を掲げ、各国それぞれが GHG 削減目標に向けた取り組みを進めている。2015 年に開催された条約国会議 COP21 においては、気候変動対策の新しい枠組みとして、パリ協定が採択された。パリ協定では、①世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする、②そのため、できる限り早く世界の GHG 排出量をピークアウトさせ、21 世紀後半には、GHG 排出量と森林などによる吸収量のバランスをとるという長期目標が定められた(図表3)。パリ協定には、ボトムアップアプローチ²やプレッジ・アンド・レビュー方式³などいくつか特徴がある。全ての国に長期戦略の策定を求めている点もパリ協定特有と言える。長期戦略を策定にかかる具体的な要件は定

² 排出量削減に向けた対応策を積み上げて目標を定める方式。パリ協定の前身の京都議定書では、まず目標値を定めるトップダウンアプローチが採用されている。

³ 協定の目的・長期目標達成のため、5年毎に全体進捗を評価し、パリ協定の進捗を定期的に確認するもの。

められていないが、各国は、2020 年までに戦略を策定する必要があり、G7 諸国は、伊勢志摩サミットの首脳宣言(2016 年 5 月)において、2020 年の期限に先だって長期戦略を提出することをコミットしている。日本とイタリアを除く主要国はすでに長期戦略を提出済みである(図表4)。

(図表3)パリ協定目標

●世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする。
●できる限り早く世界の GHG 排出量をピークアウトさせ、21 世紀後半には、GHG 排出量と森林などによる吸収量のバランスをとる。

(出典)経済産業省 ホームページ

(図表4)主要各国の GHG 削減長期戦略目標

国	2050 年削減目標
ドイツ	80～95%削減(90 年比)
フランス	75%削減(90 年比)
英国	80%以上削減(90 年比)
カナダ	80%削減(2005 年比)
米国	80%以上削減(2005 年比)

(出典)環境省 パリ協定長期成長戦略懇談会 「長期大幅削減に向けた基本的考え方」(2018 年 3 月)

かかる状況下、日本は、中期目標として、2030 年度の GHG 排出量を 2013 年度の水準から 26%削減する約束草案を提出している(図表5)。削減目標 26%のうち 22%は再生可能エネルギーの拡大や原子力の再稼働などの電源構成の変更で対応し、残り 4%を省エネや森林整備、フロン対策などで達成する計画で、電源構成の組み替えが GHG 排出量削減目標達成のポイントとなっている。さらに長期戦略の策定に向け、2018 年 8 月には第 1 回「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略策定に向けた懇談会」が開催され、長期戦略の策定に向けた議論も開始されている。

(図表5)パリ協定における日本の GHG 削減中期目標⁴

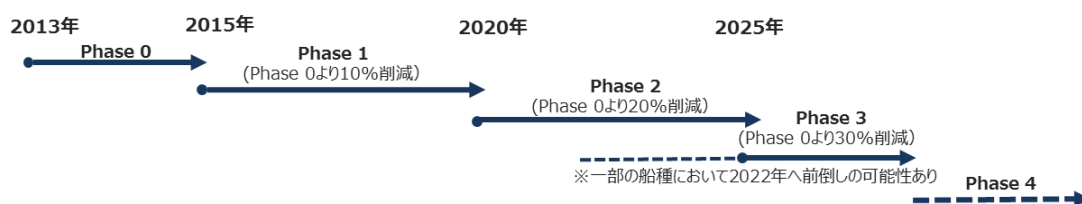
	1990 年比	2005 年比	2013 年比
日本	▲18.0%	▲25.4%	▲26.0% (2030 年までに)
米国	▲14.0～16.0%	▲26.0～28.0% (2025 年までに)	▲18.0～21.0%
EU	▲40.0% (2030 年までに)	▲35.0%	▲24.0%

(出典)経済産業省 ホームページ

(2)国際海運部門の気候変動対策

国際海運部門は、UNFCCC の枠組みの外で、IMO が独自に気候変動対策を検討している。世界中を航行する船舶の GHG 排出責任を海運会社、荷主、寄港地国に適切に配分することは難しく、UNFCCC の国別削減目標は、世界中を航行する船舶には馴染まないためである。具体的な GHG 削減対策としては、EEDI(エネルギー効率設計指標)規制や DCS(燃料消費実績報告制度)規制などが挙げられる。EEDI 規制は、新造船への CO₂ 排出基準適合を義務化するものであり、2013 年より導入されている。Phase1 は 2015 年より始まっており、2020 年からの Phase2 まではずでに適用が決定されている。2025 年より適用開始予定の Phase3 に関しては、足元で具体的な内容の審議が進められており、一部の船種では適用開始時期の前倒しや削減率の見直しが議論されている⁵。その先には、Phase4 も控えており、Phase3 から Phase4 にかけて徐々に低炭素代替燃料の検討が必要となる船舶が増えてくると言われている(図表6)。また DCS 規制は、2019 年より燃料油の消費実績報告を義務化するもので、総トン数が 5,000t 以上の船舶については、新造船のみならず既存船も適用の対象となる。

(図表6)EEDI 規制の導入スケジュール



(出典)国土交通省 国際海事機関(IMO)第 61 回海洋環境保護委員会の開催結果に関する報道発表資料(2010 年 10 月)、国土交通省「GHG 削減戦略における短期・中期・長期対策候補リスト」(2018 年 8 月)

⁴ 赤字が各国の削減目標。各国により基準年度が異なる。

⁵ 2018 年 10 月に開催された第 73 回海洋環境保護委員会 (MEPC73) において、①コンテナ船と一般貨物船は、適用開始時期を 2025 年から 2022 年に前倒すこと、②40,000DWT 以上の大型コンテナ船については、削減率を 30%から 40%に強化することが決定している。なお、小型コンテナ船の削減率やガス運搬船、LNG 運搬船、冷凍運搬船、クルーズ船の適用開始時期については合意が見送られている。

さらに、GHG 削減に向けた中長期的な取り組みとして、IMO では、2018 年 4 月に、「GHG 削減戦略～今世紀中可能な限り早期に、GHG のゼロ排出を目指す～」を採択している。この中では、燃費効率(単位輸送あたりの CO₂ 排出量)については、2008 年をベースに 2030 年までに 40%、2050 年までに 70%改善し、GHG 総排出量については、2050 年までに 50%削減、今世紀中に排出量ゼロに向けた努力をするという目標が設定された(図表7)。この GHG 削減目標は、パリ協定や主要国の GHG 削減目標などとほぼ横並びの水準だが、パリ協定やそれに基づく主要国の GHG 削減目標は、ボトムアップアプローチが採られたのに対し、IMO の GHG 削減目標は、トップダウンアプローチが採られており、具体的な GHG 削減対応策の検討はこれからである(図表8)。

(図表7) IMO の GHG 削減目標

●燃費効率の改善目標<2008 年対比>	
2030 年までに 40%改善、2050 年までに 70%改善	
●GHG 総排出量目標<2008 年対比>	
2050 年までに 50%削減、今世紀中に排出ゼロへ努力	

(出典)国土交通省 IMO GHG 削減戦略に関する報道発表資料(2018 年 4 月)

(図表8) IMO と主要国の GHG 削減目標

	IMO GHG 削減戦略 (2008 年ベース)	EU 主要国 GHG 削減目標 (1990 年ベース)	米国 GHG 削減目標 (2005 年ベース)
短期	2030 年までに燃費効率 40%改善	2030 年までに総量 40%削減 ^{※1}	2025 年までに総量 26～28%削減
中期	2050 年までに総量 50%削減、 燃費効率 70%改善	2050 年までに総量 75～95%削減 ※2	2050 年までに総量 80%以上削減
長期	今世紀の早いうちに排出量ゼロ	今世紀後半に排出量ゼロ ^{※3}	今世紀後半に排出量ゼロ ^{※3}

※1 EU 削減目標、※2 英国、ドイツ、フランスの削減目標、※3 パリ協定における長期目標

(出典)国土交通省 IMO GHG 削減戦略に関する報道発表資料(2018 年 4 月)、経済産業省ホームページ、環境省 パリ協定長期成長戦略懇談会「長期大幅削減に向けた基本的考え方」(2018 年 3 月)

IMO の GHG 削減目標は、短期(2030 年)、中期(2050 年)、長期(今世紀中できる限り早期に)に区分され、それぞれの目標達成に向け、対応策が検討される。今後の作業スケジュールは、すでに示されているが、具体的な対策は、今後協議される(図表9)。対応策としては、短期目標達成に向けては、EEDI 規制の着実な実施・強化、運航オペレーションの効率化、中期目標達成に向けては、経済的インセンティブ手法の導入、低炭素代替燃料の導入などが挙げられている(図表10)。

(図表9)IMO の GHG 削減目標に向けた作業スケジュール

2018 年春	GHG 削減のための IMO 戦略計画を採択
2019 年 1 月	DCS(燃料消費実績報告制度)による燃料消費量データの収集開始
2020 年秋	DCS の燃料消費量データの分析開始
2022 年春	GHG 排出削減のための意思決定
2023 年春	GHG 排出削減のための IMO 戦略計画の見直し

(出典)日本海事協会「IMO MEPC70 審議速報」(2016 年 10 月)

(図表10)IMO の GHG 削減目標達成に向けた対応策

●短期目標(2030 年) →2023 年までに短期的対策を合意予定
・船舶設計の改善 ・運航オペレーションの効率化 等
●中期目標(2050 年) →2030 年までに中期的対策を合意予定
・経済的インセンティブ手法の導入 ・低炭素代替燃料の導入 等
●長期目標(今世紀中できる限り早期) →2030 年以降に長期的対策を合意予定
・ゼロ炭素代替燃料の導入

(出典)国土交通省 IMO GHG 削減戦略に関する報道発表資料(2018 年 4 月)

日本は、GHG 削減目標の達成に向けた取り組みを商機と捉え、日本海事産業の国際競争力を強化していくため、国土交通省が中心となり「国際海運 GHG ゼロエミッション・プロジェクト」を立ち上げている。産学官公が連携し、日本海事産業が比較優位性を発揮できるような GHG 削減の国際的枠組みを検討し、実効性の高い GHG 削減対策の実現、GHG 削減目標の達成への貢献を目指している。

5. IMO の環境規制に対する海運業界の対応

海運業界は、これらの SO_x、NO_x、GHG 規制にどのように対応していくべきであろうか。直近では、2020 年 1 月から適用される SO_x 規制への対応に注目が集まっている。SO_x 規制への対応としては、規制適合油への切り替えの他、SO_x スクラバーの搭載や LNG 燃料船への切り替えなども認められている。2020 年時点では、恐らく大宗の船舶は、規制適合油を使用し、規制対応を図ると想定されるが、経済性の観点から SO_x スクラバーの搭載を選択する事業者や今後規制が強化されるであろう GHG 規制等も視野に入れ、LNG 燃料船に切り替える事業者も出てきている。以降では、SO_x 規制を始めとする IMO の今後の環境規制に対する主要な選択肢である①規制適合油への切り替え、②SO_x スクラバーの搭載、③LNG 燃料船への切り替えについて、それぞれの選択肢を取り巻く市場環境や課題などを整理し、海運業界の環境規制対応のあり方を考察する(図表11)。

(図表11) IMO 環境規制への主要な対応策

	規制適合油への切り替え	SOx スクラバーの搭載	LNG 燃料船への切り替え
メリット	・設備投資は不要 ・既存のバンカリングインフラを活用可能	・既存燃料油と規制適合油の価格差次第では、早期に投資回収が可能 ・既存のバンカリングインフラを活用可能	・SOx の他にもNOx、CO₂も同時に削減可能(なお、NOx TierⅢ対応に向けては、エンジンタイプにより追加投資が必要)
課題	・価格、品質などニーズに沿った燃料油の安定調達が懸念 ・燃料費の増加が懸念 ・SOx 規制への対応に留まる	・設備投資が必要 ・大型装置ゆえに、船舶によっては設置制約が懸念 ・既存燃料油の安定調達が懸念 ・SOx 規制への対応に留まる	・設備投資が必要 ・バンカリングインフラの整備が必要

(出典) 当行調査

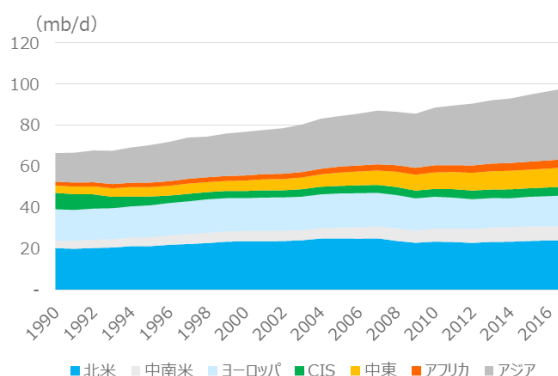
第2章 規制適合油への切り替え(SO_x 規制対応)

1. 世界の石油需給と市場価格

(1) 世界の石油需要動向

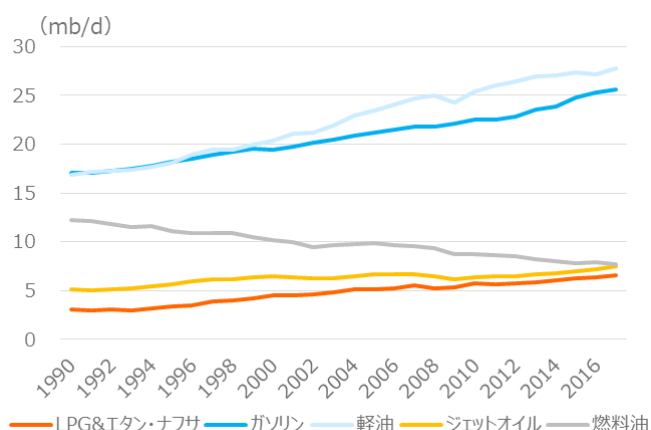
世界の石油需要は、直近 10 年では、年率 1.2%で増加している。地域別にみると、北米や欧州などの先進国の需要は減少しているものの、中国やインドを中心とするアジア需要が、経済成長を背景に急速に増加してきている(図表12)。石油製品別では、アジア等での自動車保有台数の増加や物流需要の拡大に伴い、ガソリン・軽油の需要は、増加基調にある。一方で、石油火力発電需要の縮小により、燃料油の需要は、減少しており、いわゆる白油化⁶の傾向がみえてとれる。石油火力発電需要は、発電コストがより安価な石炭火力発電やガス火力発電、CO₂ 排出量の少ない再生可能エネルギー発電へのシフトにより減少している(図表13)。

(図表12) 世界の地域別石油需要実績



(出典)BP「Statistical Review of World Energy」

(図表13) 世界の石油製品別需要実績

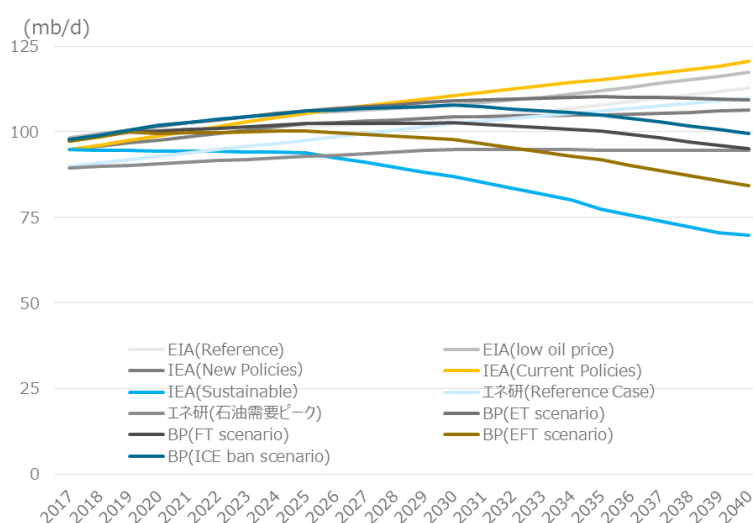


(出典)BP「Statistical Review of World Energy」

⁶ 石油製品の中で、ガソリン、灯油、軽油などを白油、重油を黒油と呼ぶ。石油製品需要に占める白油の割合が増加傾向にあることを白油化という。

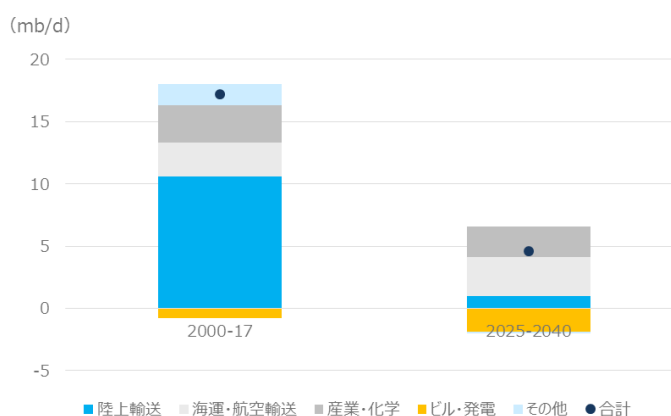
今後の石油需要については、EV の普及拡大などによるピークオイル論を懸念する声もあるが、主要エネルギー調査機関の予測では、緩やかに増加していくとの見方が大半を占めている(図表14)。ただし、石油需要の伸びの牽引役は、陸上輸送から海運・航空輸送、産業・化学へシフトする。陸上輸送需要は、自動車の燃費改善や EV の普及拡大により、伸び幅の縮小が予想される。その一方で、アジアを中心とした途上国の経済成長により、海運・航空燃料や化学燃料の需要は、増加が期待されている。すでに減少基調にある発電需要は、今後もその他の電源へのシフト⁷が継続していく見込みであり、引き続き減少が予想される(図表15)。

(図表14) 世界の石油需要見通し



(出典)EIA「International Energy Outlook2017」、IEA「World Energy Outlook2018」、BP「Energy Outlook2018」、日本エネルギー経済研究所「IEEJ Outlook2019」

(図表15) 世界のセクター別石油需要見通し



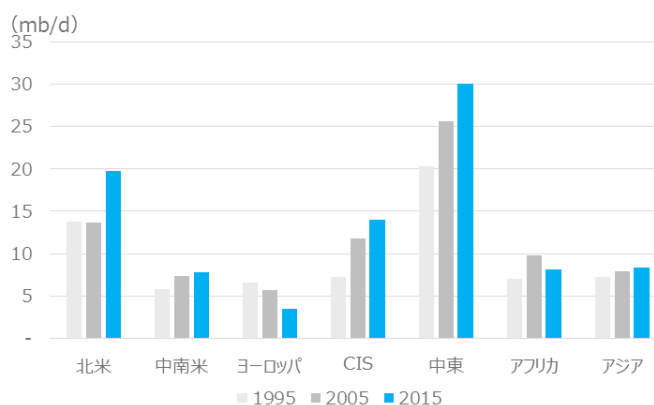
(出典)IEA「World Energy Outlook2018」

⁷ 石炭火力発電は、CO₂排出量が多いことから、活用が抑制されていく見込み。

(2)世界の石油供給動向

世界の原油生産は、中東、北米、CIS が中心となる。これまでは、中東や CIS(特にロシア)が生産を牽引してきたが、近年は、北米がシェールオイルの大規模な増産を進めている(図表16)。原油価格は 2014 年秋に急落したが、その背景の 1 つには中東と北米のシェア争い、つまりは、中東、北米での増産に伴う供給過剰がある。原油価格急落後も、中東と北米では増産が続いたが、2016 年 11 月には、OPEC を中心に減産合意がなされている。その後は、減産合意による計画的な減産に加え、経済不安を背景としたベネズエラ等での意図しない減産や米国によるイラン経済制裁(各国に対するイラン原油の輸入禁止)の影響への懸念などから供給不安が広がった。しかし、足元では、イラン経済制裁の一部適用除外の決定により、イラン原油輸出が当面は一定水準維持される見通しとなったこと、北米では増産が続いていることなどから、一転、供給は過剰感が意識され始めている。関税を巡る米中貿易摩擦などを背景に、世界経済は減速していくとの見方もあるなか、引き続き原油を取り巻く市場は不透明な状況が続く見通しである。

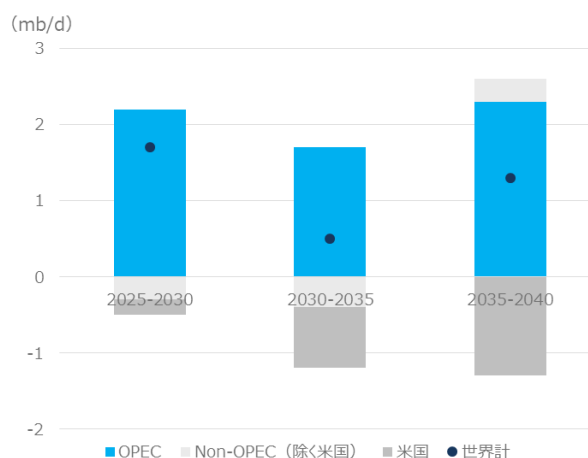
(図表16) 世界の地域別原油生産量推移



(出典)BP「Statistical Review of World Energy」

長期に視点を移すと、原油の国別可採年数は、中東地域では 50～100 年程度である一方で、足元で生産量を伸ばしている米国は遙かに短い。そのため、米国の生産量は、2020 年中頃より減少に転じ、その後は、OPEC による増産が続くと予想されている(図表17)。

(図表17) 世界の原油生産増減見通し



(出典)IEA「World Energy Outlook2018」

(3)原油の価格見通し

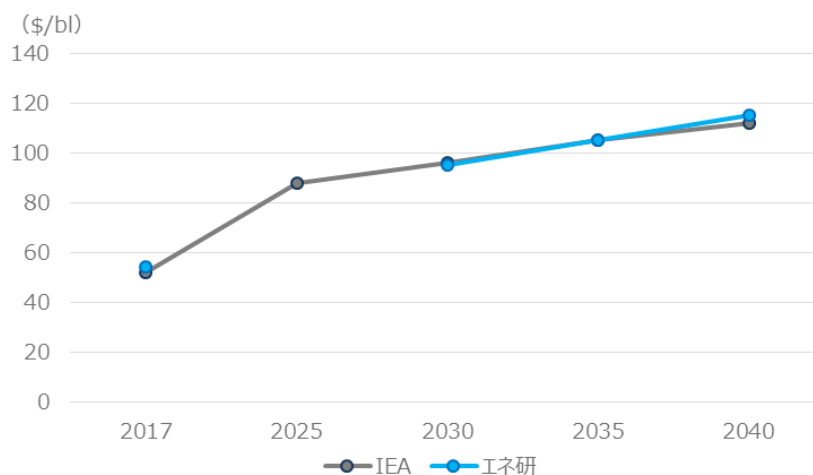
足元の原油価格は、供給過剰が意識され、下落基調にある(図表18)。今後もイラン経済制裁や米中貿易摩擦など、不透明要素が多く、市場関係者の価格予想も大きな幅をもたせたものとなっている。中長期的な原油価格は、OPEC への依存度が増していくことによる地政学的リスクの高まりから、上昇していく見通しである(図表19)。

(図表18)原油価格実績



(出典)World Bank Commodity Markets

(図表19)原油価格見通し



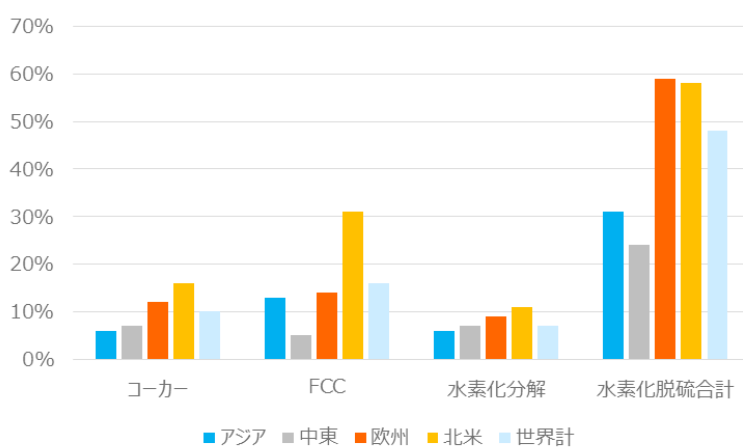
(出典)IEA「World Energy Outlook2018」、日本エネルギー経済研究所「IEEJ Outlook 2019」

2. 石油精製事業の動向

(1)石油精製事業の課題とその対応

石油精製業界では、白油化の進展に伴い、製油所装置構成の変更が課題となっている。製油所では、原油を蒸留し、ガソリン、灯油、軽油等の石油製品を製造するが、石油製品 1 種類のみを製造することはできず、各種石油製品は同時に製造される仕組みとなっている。それぞれの製品生産量の原料原油に対する比率は生産得率と呼ばれ、この生産得率は容易には変更できない。変更するためには、新たな装置の設置などが必要になる。白油化の進展により、製油所では、重油からより軽質な白油製品を製造する重質油分解装置などの二次装置を備える傾向が強まっており、製油所の高度化が進められている(図表20)。

(図表20)世界の地域別製油所二次装置装備率

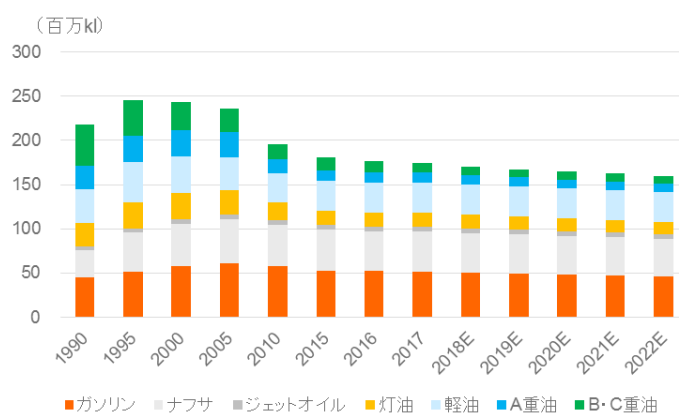


(出典)JOGMEC「石油精製技術と石油需給動向 ～現状と今後の見通し～」(2017年9月)

(2) 日本の石油精製事業の動向

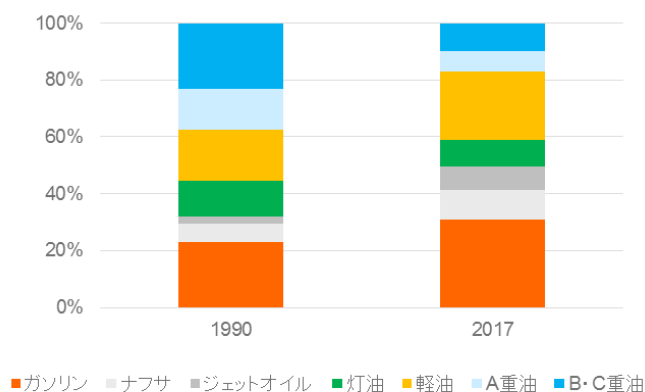
白油化への対応は、日本にも求められている。世界の石油製品需要は、今後も引き続き増加が見込まれているが、日本の石油製品需要は、1990年代後半より減少基調にあり、今後も緩やかに減少していく見通しとなっている(図表21)。需要の減少が著しいのは、重油であり、日本においても白油化の傾向がみえてくる。1990年と2017年の石油製品比率をみると、1990年には40%程度あった重油の比率は、2017年には20%を下回る水準となっており、その代わりに、ガソリン、軽油のウエイトが拡大している(図表22)。

(図表21) 日本の石油製品需要見通し



(出典) 石油連盟「今日の石油産業 2018」、経済産業省「2018～2022 年度石油製品需給見通し」

(図表22) 日本の石油製品比率



(出典) 石油連盟「今日の石油産業 2018」

これに対し、経済産業省は、2010年に石油業界に向け、エネルギー供給構造高度化法(以下、「高度化法」)を制定した。高度化法では、内需の減少やIMO規制強化、電力用燃料の減少などにより今後は重質油分解の重要性が高まる可能性があるとして、国内製油所の重質油分解能力

や精製処理量の向上に向けた対応を義務付けている(図表23)。

(図表23)エネルギー供給構造高度化法の概要

	一次告示 (2010～13 年度)	二次告示 (2014～16 年度)	三次告示 (2017～21 年度)
目的	内需の減少、白油化、原油の重軽格差拡大等を踏まえ、国内製油所の重質油分解能力の向上を図る。	供給過剰を回避し、製油所間連携による設備の最適化を進めるため、国内製油所の残油処理能力の向上を図る。	IMO 規制強化や電力用燃料の減少など、重質油分解の重要性が高まる可能性を踏まえ、国内製油所の残油処理能力の向上を図る。
内容	「重質油分解装置装備率」の向上を義務化 (重質油分解装置能力/トッパー能力)	「残油処理装置装備率」の向上を義務化 (残油処理装置の能力/トッパー能力)	「減圧蒸留残渣油処理率」の向上を義務化 (特定残油処理装置への減圧蒸留残渣油の通油量/原油処理量)
対応	①トッパーの能力削減 ②重質油分解装置の新増設	①トッパーの能力削減 ②残油処理装置の新増設 ③連携等による能力融通	残油処理装置への減圧蒸留残渣油の通油量を増加
結果	トッパーの能力削減等が進んだ結果、重質油分解装置装備率は 10%→13%に。	事業者間の連携などにより、残油処理装置装備率は 45%→51%に。	

(出典)石油連盟「今日の石油産業 2018」

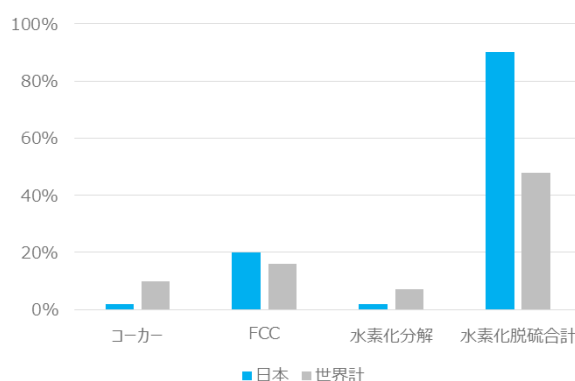
その結果もあり、日本は製油所の高度化が進んでおり、FCC⁸の比率は、世界水準を上回っている。また、水素化脱硫装置の装備率が高水準であるのも日本の特徴である(図表24)。これは、日本は高硫黄分の中東原油の使用量が多いこと、ガソリンの硫黄分規制への対応を進めてきていることなどが背景にある。

原油は、生産地により成分が異なるため、それに伴い、製油所の装置構成の特徴も地域毎に異なっている(図表25)。例えば、米国は、カナダ等の重質な原油を石油精製に使用しているため、製油所の二次装置の中では、より重質な油を分解しガソリンや軽油等を精製するコーカー⁹のウエイトが高くなっている。

⁸ 流動接触分解装置という重油留分を触媒により分解し、ガソリン等を製造する装置。主に脱硫処理後の減圧軽油が用いられる。

⁹ 熱分解装置という主に減圧残油などの重質油を分解し、ガソリンや軽油等を製造する装置。

(図表24) 日本の製油所二次装置装備率



(出典)JOGMEC「石油精製技術と石油需給動向 ～現状と今後の見通し～」(2017年9月)

(図表25)主要国の受入原油の性状(2015年)

	日本	米国	欧州
API 値 ¹⁰	36.00	31.46	35.12
硫黄値	1.45%	1.39%	0.97%
主な調達地域	中東中心	カナダ等	ロシア等

(出典)JOGMEC「石油精製技術と石油需給動向 ～現状と今後の見通し～」(2017年9月)

3. 世界の規制適合油を取り巻く環境

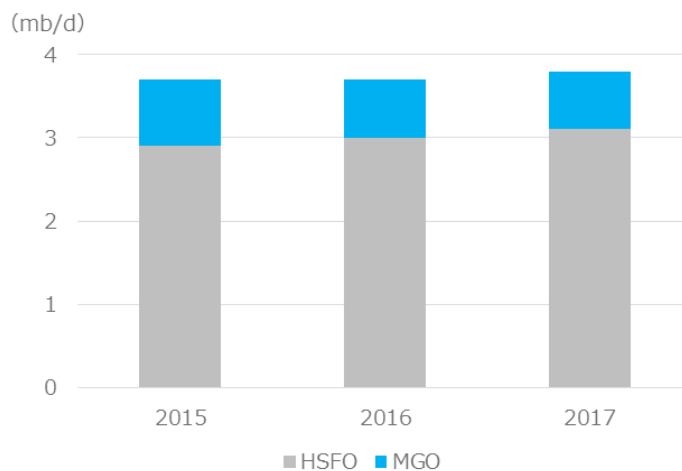
(1) 世界の規制適合油の供給見通し

世界の船舶燃料油需要は、途上国での経済成長などによる海運物流需要の増加を背景に、右肩上がりで推移していくと予想される。燃料油種別にみると、足元は、全体の約 8 割が高硫黄燃料油(以下、「HSFO」)であるが(図表26)、2020 年には、SO_x 規制の強化に伴い、軽油相当の船舶燃料油(以下、「MGO」)や低硫黄の重油(以下、「LSFO¹¹」)等の規制適合油の割合が増加する見通しである。しかし、規制適合油の MGO や LSFO の製油所からの供給見通しは、未だ不透明であり、2020 年の燃料油種別の見通しは調査機関によっても見解が異なっている(図表27)。

¹⁰ 原油および石油製品の比重を示す単位で、水と同じ比重を 10 とし、数値が高い方が軽質になる。原油の場合は、一般的に 34 以上を「軽質」、29~33 を「中質」、26~28 を「重質」という。日本の受入原油は軽質。

¹¹ ECA 用の硫黄分濃度 0.1%以下の ULSFO (Ultra Low Sulfur Fuel Oil) と一般海域用の硫黄分濃度 0.5%以下の VLSFO (Very Low Sulfur Fuel Oil) に分けられる。ここでは主に、一般海域用の VLSFO について説明している。

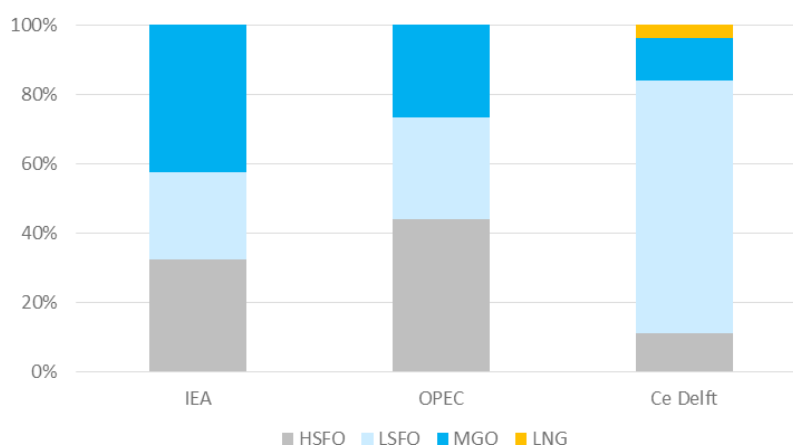
(図表26)世界の船舶燃料油需要実績



(出典)IEA「Oil 2018」

(図表27)2020 年世界の船舶燃料油見通し

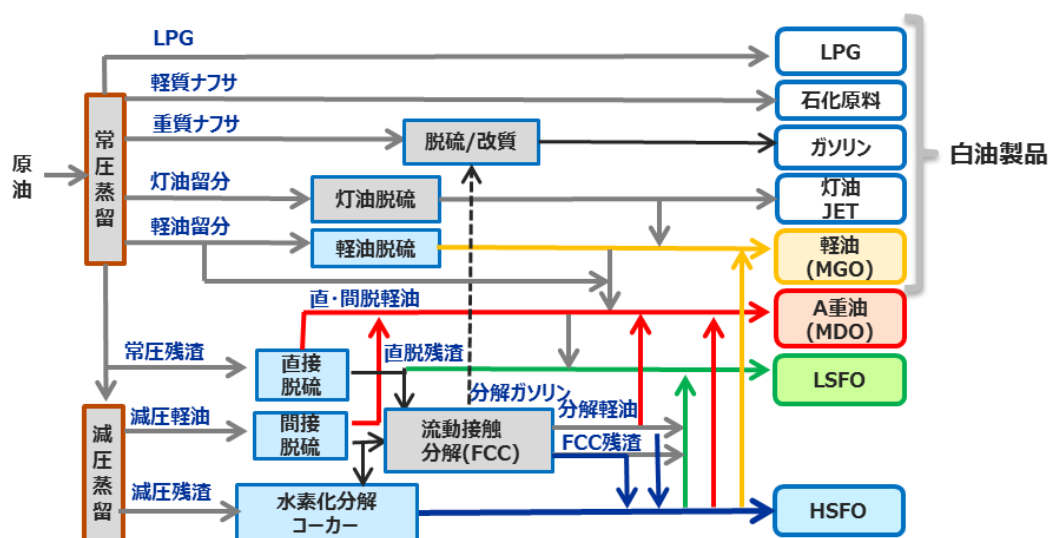
(調査機関別見通し)



(出典)IEA「Oil 2018」、OPEC「World Oil Outlook 2017」、Ce Delft「Assessment of Fuel Availability」(2016年6月)

規制適合油の主な製造方法は、軽油留分からの製造、原油の軽質化、二次装置（直接脱硫装置、間接脱硫装置、コーカー、水素化分解装置など）からの製造、燃料油のブレンドなどである（図表28）。いずれの製造方法も、その他の石油製品需要への影響や調達原油コストの上昇、追加設備投資費用負担などの問題があり、石油精製事業者により対応方針は異なっている。

(図表28) 船舶燃料油精製フロー



(出典)石油連盟 燃料油規制対応連絡調整会議「石油業界の基本的な考え方」(2017年3月)より当行作成

MGOは、LSFOより高価格であるが、すでに流通しており、一定の供給量が期待できる他、品質の安定性は高い(図表29)。また、MGO増産に向けた投資は、石油精製事業者が抱える白油化への戦略的対応に即しており、石油精製事業者としても取り組みやすい。オイルメジャーのShellやExxon Mobilが計画している、欧州を中心とした製油所の高度化に向けた設備投資は、白油化への対応を意識したものが中心となっており、MGO等の増産に大きく寄与するものであるとみられている(図表30)。

LSFOの製造方法には、投入原油の軽質化や製品の脱硫処理等を行い製造する方法と重油に軽油などをブレンドして製造する方法の2種類がある。前者は、軽質原油の供給量が限定的である他、脱硫処理には追加の設備投資なども必要となることから、供給可能量には懸念が残るが、品質の安定性は高い。後者は、規制適合油の中では、相対的に安価な燃料油になると予想される他、相応の供給量も期待できるが、石油精製事業者、各製油所によりブレンド方法が異なるため、品質にばらつきがある(図表29)。

地域により製油所の装置構成や精製原油の性質も色々であることを踏まえると、実際には、多様な製造方法により、様々な種類や品質の製品が供給されることが考えられる。

(図表29)規制適合油の主な製造方法とメリット・デメリット

	主な精製方法	メリット	デメリット
MGO	・軽油留分をベースに精製 ・減圧残渣をベースに精製 (水素化分解、コーカー)	・品質が安定している ・一定の供給量が期待できる	・相対的に高価格となることが予想される
LSFO①	・投入原油を軽質化し精製 ・直接脱硫残渣、間接脱硫軽油をベースに精製	・品質が安定している	・供給量が限定的となる可能性が高い
LSFO②	・燃料油をブレンドして製造	・相対的に低価格となることが予想される	・品質にばらつきがある

(出典) 当行調査

(図表30) Shell/Exxon Mobil の設備投資計画

事業者	製油所名	装置	規模	完工時期
Shell	Pernis 製油所 (オランダ)	SDA	30 千 b/d	2018 年
	Rheinland 製油所 (ドイツ)	SDA	14 千 b/d	2020 年
Exxon Mobil	Antwerp 製油所 (ベルギー)	コーカー	50 千 b/d	2018 年
	Rotterdam 製油所 (オランダ)	水素化分解	43 千 b/d	2019 年
	Gulf Coast 製油所 (米国)	重質油処理	35 千 b/d	2020 年以降

(出典) Shell、Exxon Mobil 公表資料

規制適合油については、硫黄分濃度以外の品質規定が定まっていない点も、市場が不透明になっている要因の 1 つである。船舶燃料油の品質を定める ISO 規格は、2017 年に最新改訂済みであり、次回は 2022 年になる。2020 年 1 月の SO_x 規制強化には間に合わないため、暫定的に公開仕様書(PAS)にて品質規定に関するガイドラインが示される予定である。PAS は早ければ 2019 年 5 月に公開される見込みである。

オイルメジャーは、PAS 制定後からの燃料油品質調整では、2020 年 1 月の規制強化に対応が間に合わない可能性があるとして、PAS 制定を待たず、規制適合油の供給に向けた対応を進めてきている。Shell は、主要な港での硫黄分濃度 0.5%以下の燃料油販売を発表し(図表31)、2018 年 8 月末よりロッテルダム、シンガポール、ニューオリンズでエンジンテスト向けのトライアル供給を開始している。Exxon Mobil も北東欧州、地中海、シンガポールで規制適合油を販売するこ

とを公表済みであり、2018 年中に北米も含めた追加供給拠点を公表する予定である。

(図表31) Shell の船舶燃料油供給

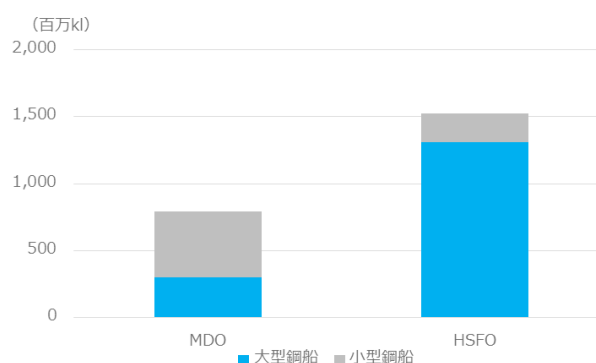
	HSFO (RMG380)	VLSFO (0.5%以下)	ULSFO (0.1%以下)	MGO
ニューヨーク	○		○	○
ニューオリンズ	○	○		○
ヒューストン	○	○		○
ロッテルダム	○	○	○	○
アントワープ		○	○	○ (0.5%以下のみ)
フジャイラ	○	○		○
シンガポール	○	○		○

(出典) Shell 公表資料

(2) 日本の規制適合油の現状と課題

内航船は、小型船を中心に、すでに全体の 35%が硫黄分濃度の低い A 重油相当の MDO を使用している(ただし、硫黄分濃度には 0.35～0.70%まで幅があり、0.5%以下にするための調整が必要なものもある)。そのため、2020 年からの SO_x 規制強化に向けた対応を進めなければならないのは、概ね残る 65%の船舶である(図表32)。これらの船舶では、LSFO あるいは MDO などへの切り替えを検討する必要がある。MDO については、硫黄分濃度の調整が必要な燃料油も一部あるものの、すでに供給されている製品であることから、品質安定性の面では大きな懸念はない。一方の LSFO は、これまで供給事例がないことから、品質調整が必要となっており、海運業界、石油業界の間では性状、特に動粘度に関する協議が進められている。

(図表32) 国内鋼船の船舶燃料油使用量(2017 年度)¹²



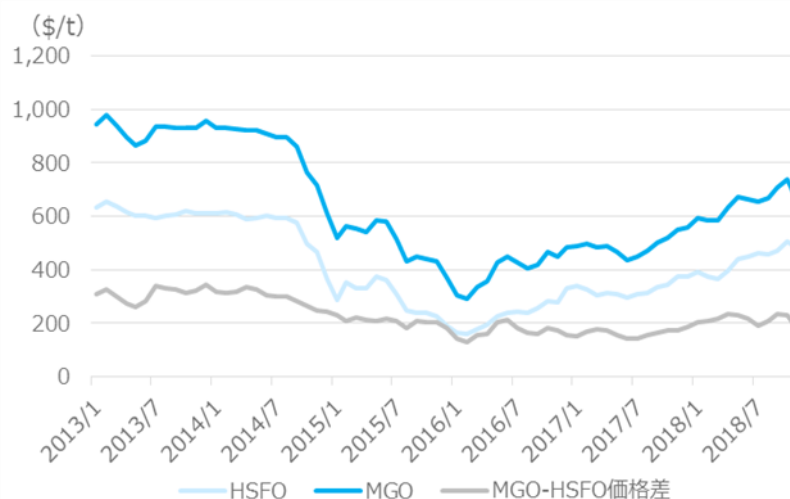
(出典) 国土交通省「内航船舶輸送統計」

¹² 大型鋼船：500 総トン以上の船舶、小型鋼船：20 総トン以上 500 総トン未満の船舶を指す。また、B 重油は僅少であることから、図表からは除いている。

(3) 規制適合油の価格見通し

HSFO から高品質な規制適合油への切り替えに際しては、価格の上昇は避けられないであろう。
(図表33)のとおり、足元の HSFO と MGO の価格差は概ね 200\$/t 前後で推移している。

(図表33) HSFO-MGO 価格推移(シンガポール港)



(出典)Clarksons Research(2018 年 11 月 30 日時点)

主要な調査機関は、2020 年の HSFO と MGO の価格差を 300~350\$/t と予測している(図表34)。これらの製品の先物市場も概ね同水準であり、2020 年の価格差は、需給のタイト化により、現状より概ね 100~150\$/t 程度拡大するのではないかと考えられる。

(図表34) 主要調査機関の船舶燃料油価格見通し

	2020 年	2020 年以降
Ce Delft	HSFO-MGO 価格差 150\$/t	
	LSFO-MGO 価格差 21\$/t	
IEA	HSFO-MGO 価格差 350\$/t 程度 ¹³	
JBC Energy	HSFO-LSFO 価格差 289\$/t	
Drewry	HSFO-LSFO 価格差 303\$/t	21 年 211\$/t→23 年 87\$/t

(出典)Ce Delft 「Assessment of Fuel Availability」(2016 年 6 月)、IEA 「Oil 2018」、JBC Energy 「The Implications of IMO Spec Change in Bunker & Storage Companies」(2017 年 6 月)、Drewry Maritime Research 「The Dilemma of fitting Scrubbers」(2018 年 8 月)

¹³ IEA は、軽油価格は 2~3 割上昇すると予測している。当該予測に基づき、2018 年 6 月数値より当行試算。

2020 年 1 月以降の HSFO と MGO の価格差は、SO_x スクラバーの普及拡大に伴う HSFO の需要回復や規制適合油の供給体制の確立などにより、徐々に縮小していくという見方が強い。先物市場の価格差も縮小の傾向が見てとれる他、調査機関 Drewry は、規制適合油の安定供給体制の確立などにより、2023 年には価格差は、足元の 200\$/t よりも縮小すると予測している(図表34)。

定期船最大手の Maersk Line は、SO_x 規制の順守には、莫大な費用を要するとして、2019 年 1 月よりコンテナ運賃契約における BAF 条項¹⁴を見直すと発表している。短期～中期の輸送契約は、足元の燃料油市場価格を踏まえた契約価格とするのが一般的であるが、長期契約には、BAF 条項が挿入されているケースが多く、見直しが必要となる。BAF 条項で指定する価格指標が今回の SO_x 規制に対応していない場合は、見直しを行わなければならない。今後は、Maersk Line のような見直しがその他の海運会社においても行われると予想される。

(4)不正使用防止対策

船舶の環境規制は、これまで新造船を対象にしたものが多かったが、今回の SO_x 規制は既存船も含めた全船舶が規制の対象となるため、不正使用防止対策のあり方が重要視されている。IMO では、不正使用防止対策として、規制適合油以外の燃料油の原則保持禁止を決定している(承認された SO_x スクラバー搭載船は例外)。サンプリング検査などによる規制の取り締まりも進める予定であるが、実際には理解不足等による意図しないものも含め、当面は不正使用がみられるのではないかという声が多い。環境規制遵守は、海運サービスの付加価値の 1 つになるであろう。

4. NO_x TierⅢ・GHG 追加規制への対応

規制適合油の使用は、SO_x 削減には効果的であるが、NO_x や GHG 削減には効果がない。そのため、ECA を運航する場合は、EGR や SCR といった脱硝、排気再循環システムの設置が必要となる。また、GHG 削減への追加対応が求められた際にも、別途省エネ等の対策を講じる必要がある。

5. まとめ

第3章、第4章で説明する SO_x スクラバーや LNG 燃料船は、新規の設備投資を伴う他、船種や船のサイズによっては選択が難しい。そのため、2020 年の SO_x 規制には、規制適合油の切り替えで対応する船舶が多いであろう。

規制適合油の供給不足を懸念する声もあるが、恐らく規制適合油全体でみれば、十分な量は供給されると考えられる。一方で、規制適合油は、MGO、LSFO(低硫黄燃料油)、LSFO(ブレンド油)など種類や品質が多岐に及ぶことが予想される。それぞれ、品質安定性や価格、供給量に長

¹⁴ BAF とは、Bunker Adjustment Factor (燃料費調整係数) の略。変動する燃料価格を運賃に転嫁するもの。

短があり、海運会社や荷主は、希望する燃料油を安定的に確保できない可能性がある。海運会社・荷主と燃料油供給事業者には、今まで以上に密な連携が求められる。

また、規制適合油への変更に伴う燃料油コスト上昇も課題となる。環境対応コストを関係者間でどのように分配負担するかについても、調整が必要であろう。

第3章 SO_x スクラバーの搭載(SO_x 規制対応)

1. SO_x スクラバーの概要

(1)SO_x スクラバータイプ

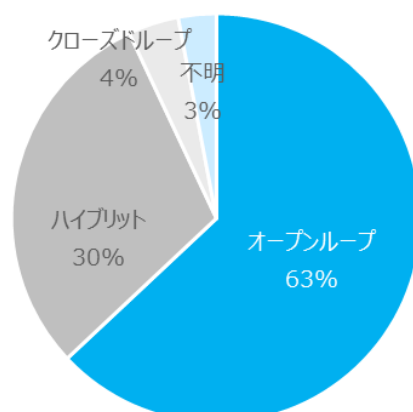
SO_x スクラバーは、海水(天然のアルカリ成分)や水酸化ナトリウムを用いて、排ガスに融解した SO_x を中和する設備で、排ガス中の SO_x は、98%程度まで脱硫することができる。SO_x スクラバーには、海水を使用し、船外排水を前提としたオープンループタイプ、水酸化ナトリウムを加えた清水を船内で循環使用するクローズドループタイプ、これら 2 つのタイプを切り替え使用することが可能なハイブリッドタイプの 3 種類がある(図表35)。オープンループタイプは、使用後の洗浄水を船外に排水する必要があるため、ドイツやハワイなどの排水基準が厳しい地域では、使用が難しい。これらの地域を運航する船舶は、ハイブリッドタイプを活用し、排水基準の厳しい地域ではクローズドループタイプ、それ以外の地域ではオープンループタイプに切り替え運航するのが一般的である。なお、クローズドタイプは、運転コストが高いことから、実際には、オープンタイプとハイブリッドタイプを選択する船舶が多い(図表36)。設備コストは、オープンループタイプが 3～5 億円で、ハイブリッドタイプは、オープンループタイプより 1～2 億円割高となる。

(図表35)SO_x スクラバータイプ

	〈オープンループタイプ〉	〈クローズドループタイプ〉	〈ハイブリッドタイプ〉
構造	海水を利用して SO _x を中和。海水は船舶の下から引き込み、浄化装置にくみ上げて排ガスと接触。	水酸化ナトリウムを利用して SO _x を中和。循環する洗浄水をポンプで浄化装置にくみ上げて排ガスと接触。	オープンループとクローズドループ 2 つのモードを有する。全ての海域で使用可能。
メリット	化学物質の添加が不要。1 回通過式なので操作が比較的容易。	安定した操作性が得られる。循環水を使用するため、船外排出が不要。	オープンループで運転コストを最小限に抑え、排水基準が厳しい地域ではクローズドループで排出せずに運転可能。
デメリット	使用後の洗浄水は船外に排水する必要があり、排水基準が厳しい地域では使用不可。	運転コストが高い。排水や残留物(スラッジ)を受け入れる港の確保が困難。	必要な機材が増えるため、初期投資がかかる。両方式を併用するため、操作が複雑になる。

(出典)日本海事協会「2020 年からの燃料油硫黄分濃度規制の強化」(2018 年 10 月)などより当行作成

(図表36)SOx スクラバータイプ別設置状況



(出典)DNVGL「LNGi status update」(2018年8月)

(2)SOx スクラバー製造事業者

SOx スクラバーの製造事業者は欧州勢が多く、大手2社(Wartsila 社、AlfaLaval 社)が市場の5割以上を占有している。日本では、富士電機と三菱造船が積極的な事業展開を進めている。富士電機はサイクロン技術を採用した小型・軽量・低圧損のSOx スクラバーを、三菱造船は特にコンテナ船向けに配置性に優れた方形タワーのSOx スクラバーなどを展開している。

(3)SOx スクラバー搭載方法・搭載期間

SOx スクラバーは、高さは約15m(大型船向け)と大規模な設備となっている。エンジンルームに搭載するのが一般的であるが、船の構造により設置場所は異なる。搭載は、修繕等のドックに入った際に行われ、バラスト水処理装置¹⁵の搭載も同時に行うのが一般的である。SOx スクラバーの搭載によりドック入りの期間は2~4週間程度延長する(バラスト水処理装置と一緒に設置するケース)。SOx スクラバーの発注や設計等の時間も踏まえると、検討開始から搭載完了までは約1年かかると言われている。

2. SOx スクラバー搭載適合船舶

大規模かつ燃料消費量の多い船舶の方が、SOx スクラバー搭載のメリットを享受しやすい。物理的には、SOx スクラバーは設備が大規模であるため、搭載場所を確保しやすい大規模船舶の方が搭載に向いている。一方で、既存船や小型船は、設置場所の確保が難しく、搭載のハードルは高い(特に小型船)。

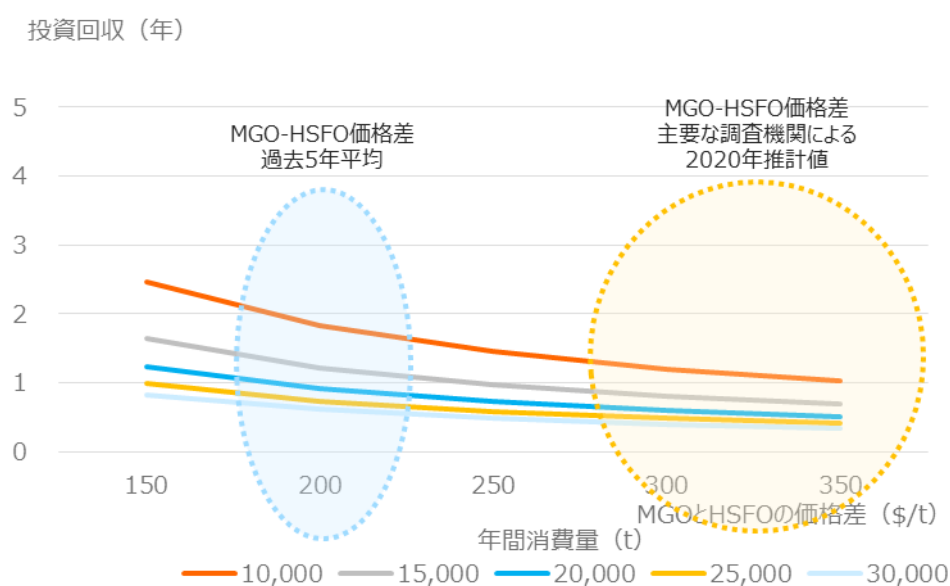
さらに、安定的な燃料の確保という観点からは、定期航路を航行する船舶の方がSOx スクラバー搭載に適していると考えられる(詳細は本章5.)。

¹⁵ 貨物の荷役に合わせて行うバラスト水排出は、海洋生物を越境移動させ、海洋生態系に対して影響を与えうる恐れがあるため、IMOでは2004年にバラスト水管理条約が採択された。同条約は2017年9月に発効され、新造船は2017年9月以降、既存船は2019年9月以降5年以内に、バラスト水処理装置を搭載することが義務付けられている。

3. SOx スクラバー搭載の経済性

SOx スクラバーの投資回収期間は、燃料消費量や燃料価格差、SOx スクラバータイプにより異なるが、数年程度と試算される。HSFO と MGO の価格差が拡大するほど、投資回収期間は短くなる。第2章3.(3)のとおり、2020 年 1 月の SOx 規制強化直後は、価格差が一番拡大すると予想されており、SOx スクラバーは、SOx 規制強化と同時に搭載すると一番経済的である。また、燃料消費量の多い船舶の方が、より短期間で投資回収が可能であり、例えば、コンテナ船は、高速で航行するため、燃料消費量が多く、より経済性を確保しやすい(図表37)。

(図表37)SOx スクラバー搭載の経済性¹⁶



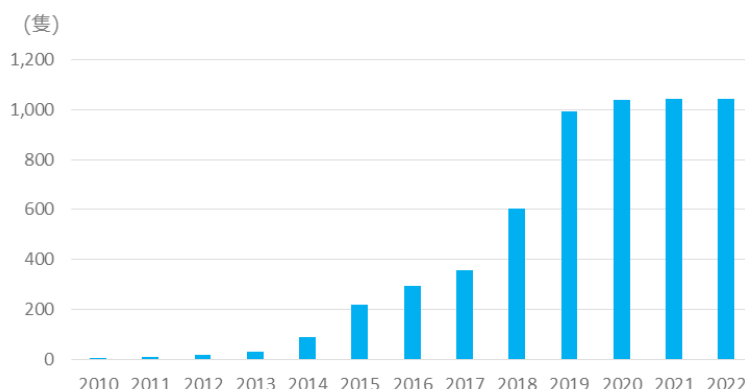
(出典) 当行作成

4. SOx スクラバー搭載実績・見通し

2017 年までの SOx スクラバー搭載実績は、400 隻以下に留まっていたが、足元は 2020 年の規制強化を前にした駆け込み需要が急増しており、2018 年 8 月時点での搭載契約隻数は 1,045 隻となっている(図表38)。市場では、SOx スクラバー搭載船の資産価値も評価され始めており、一部では、将来の売却価格の上昇を見込んだ投機的対応もみられている。そのため、SOx スクラバーや SOx スクラバー設置のためのドックも逼迫してきており、SOx スクラバーの納入までに 20 ヶ月を要するという事業者も出てきているようである。主要調査機関の 2020 年 SOx スクラバー搭載隻数予測は概ね 1,000~2,000 隻(全 SOx 規制対象船舶の数%)の範囲内であり、規制強化までに今以上に大幅に SOx スクラバーの搭載隻数が増加するとは考えにくい。

¹⁶ スクラバー初期投資費用：3.5 百万 USD (根拠：IEA「Oil 2017」)、追加変動費用：1USD/bbl (根拠：IEA「Oil 2017」)、燃費効率 1%悪化 (根拠：当行調査) を前提条件として試算。既存船については、搭載期間中 (ドック入り期間中) は、不稼働損失が発生するが、当該損失は、試算に織り込んでいない。

(図表38)SOx スクラバー搭載隻数見通し



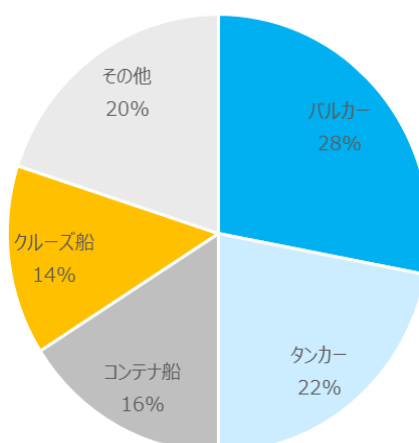
(出典)DNVGL「LNGi status update」(2018年8月)

船種別にみると、バルカーやコンテナ船、クルーズ船、タンカーなど設置スペースの確保が容易で燃料消費量の多い大型船で搭載が進んでいる(図表39)。全 SOx 規制対象船舶に占める SOx スクラバー搭載船のシェアは、隻数ベースでは、数%に留まるが、大型船での搭載が進んでいることを踏まえると、積載重量トン(DWT)ベースでは、数%を大きく上回る水準になるとみられている。

また、設計上の工夫が必要と言われている既存船においても搭載が進んでおり、既存船、新造船いずれにおいても搭載が進んでいることが分かる(図表40)。さらに、実際に海運会社や荷主により公表されている SOx スクラバー設置計画をみると、阪九フェリーや乾汽船、Eagle Bulk などの中小型の船舶でも一部では搭載に向けた動きがみられている(図表41)。

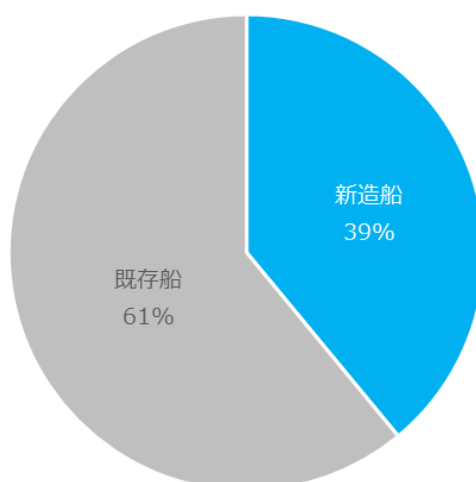
以上のとおり、SOx スクラバーの経済性や SOx スクラバー搭載船のアセット価値に着目し、SOx スクラバーの数量確保に動いている事業者が増えてきている。

(図表39)船種別 SOx スクラバー設置状況



(出典)DNVGL「LNGi status update」(2018年8月)

(図表40)既存船・新造船別 SOx スクラバー設置状況



(出典)DNVGL「LNGi status update」(2018年8月)

(図表41)主要海運会社、荷主の SOx スクラバー設置計画

海運会社・荷主	主な SOx スクラバー設置計画
商船三井	2018 年よりタンカー、バルカー、自動車運搬船などに設置(2019 年以降は年間 10 隻程度)
新日鉄住金	2019 年以降に新造する鉄鉱石バルカーなどに設置
阪九フェリー	2020 年以降、内航フェリー新造 2 隻に設置
乾汽船	スモールハンディバルカー11 隻に設置を検討
Trafigura	2018 年以降オイル・石油製品タンカー32 隻に設置
Frontline	タンカー36 隻に設置、シンガポール SOx スクラバーメーカー(Feen Marine)に 20%出資
POSCO	2019 年までに鉄鉱石バルカーなど 20 隻に設置
Eagle Bulk	ハンディマックスバルカー最大 37 隻に設置(レトロフィット 19 隻は 2020 年 1 月迄に完了予定)

(出典)各種公表資料

5. 燃料油(高硫黄燃料油)の供給見通し

SOx スクラバーを活用する際の課題の 1 つに、HSFO の安定調達が挙げられる。HSFO の生産余力は現時点では十分にあるが、石油精製事業者は、SOx 規制の強化に伴い、HSFO の減産、規制適合油の増産に生産体制を切り替えることになる。その結果として、今までのように十分な HSFO が供給されなくなる可能性も否定できない。HSFO の継続生産が経済性に見合わないとして、供給が絞られるケースや、供給タンクを規制適合油に振り向けることに伴う供給タンク不足などが発生するケースが想定されうる。定期航路船は、燃料供給拠点を安定的に確保できるため、このような懸念が少なく、より SOx スクラバー搭載に向いていると考えられる。

6. NOx TierⅢ・GHG 追加規制への対応

SOx スクラバーを搭載した場合は、規制適合油の場合と同様に、別途 NOx や GHG 規制への対応が必要となる。

7. まとめ

SOx スクラバーは、数億円の設備投資を伴うこともあり、これまで搭載に向けた動きは鈍かったが、足元では 2020 年 SOx 規制強化前の駆け込み需要で、需給は逼迫している。SOx スクラバーは、設備規模が大規模であることによる設置制約や HSFO の安定調達への懸念などの課題を抱えているものの、経済性等の観点から、導入が進んでいる。一部では、規制適合油への切り替えと SOx スクラバーの搭載を両方採用し、ポートフォリオを組むことで、リスク分散を図る動きもみられている。

規制適合油同様に、NOx TierⅢや GHG 追加規制のためには、追加の設備投資が必要になることを踏まえれば、短中期的な対応策となるであろう。

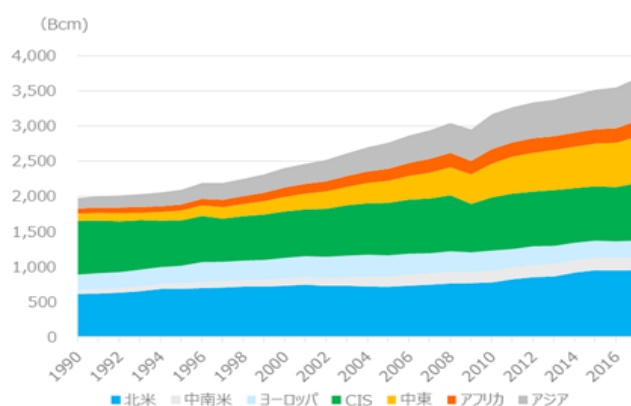
第4章 LNG 燃料船への切り替え(SO_x、NO_x、GHG 規制対応)

1. 世界の LNG 需給と市場価格

(1) 世界のガス需要動向

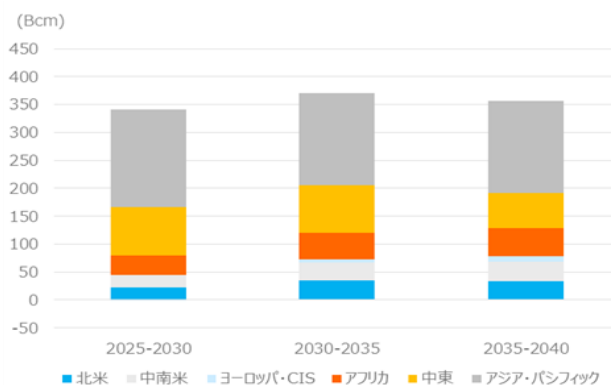
世界のガス需要の約半分は、北米、ヨーロッパによるものであるが、近年需要を伸ばしてきているのは、アジアや中東である(図表42)。今後についても、アジアや中東での需要増により、ガス需要は増加基調で推移していく見通しであるが、その伸び率は、世界のエネルギー需要の伸びの鈍化や再生可能エネルギーの拡大、電化の進展などにより、やや鈍化していくとみられている(図表43)。

(図表42)世界の地域別ガス需要実績



(出典)BP「Statistical Review of World Energy」

(図表43)世界の地域別ガス需要見通し

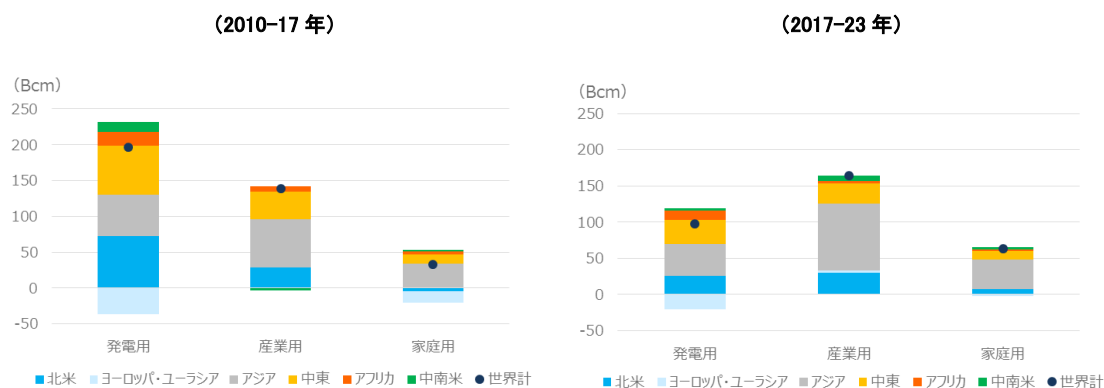


(出典)IEA「World Energy Outlook2018」

ガス需要を用途別にみると、伸びの牽引役は、発電用途から産業用途にシフトしていくことが分かる。ここ数年は、北米、アジア、中東においてガス火力発電が大幅に増加した。その背景には、北米におけるコスト競争力の高いシェールガスの増産やアジアでの経済成長、中東の脱石油政策推進などがある。しかし、今後は、再生可能エネルギーの拡大などに伴い、特に北米において

発電需要の伸びは鈍化することが予想されている。一方で、アジアでの経済成長に伴う工業用需要や北米や中東での化学産業需要などの産業用途の需要の拡大が期待されている(図表44)。

(図表44)世界のガス用途・地域別需要

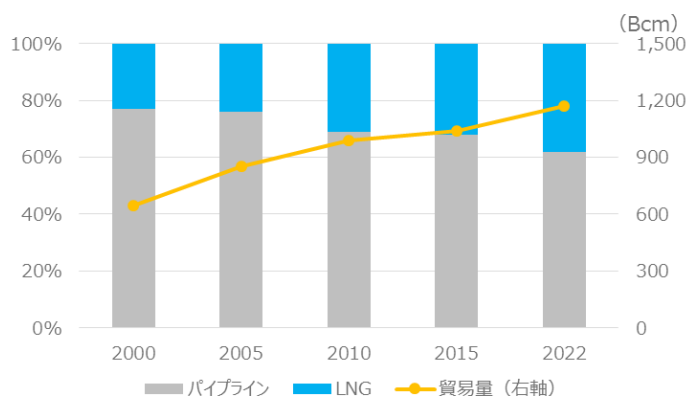


(出典)IEA「Gas 2018」

(2)世界の LNG 需給動向

ガスの貿易量も需要の増加に伴い、右肩上がりで推移してきている。輸入形態の内訳をみると、LNG による輸入のウエイトが拡大してきていることが分かる。ガスの輸入形態には、気体ガスのままガスパイプラインで輸入するケースと、気体ガスを液化して LNG で輸入するケースの 2 パターンがある。陸続きではない産ガス国から輸入する際は、液化して海上輸送で輸入する。近年は、この液化ガス、いわゆる LNG の貿易量が増加してきている(図表45)。

(図表45)世界のガス貿易量と輸入形態

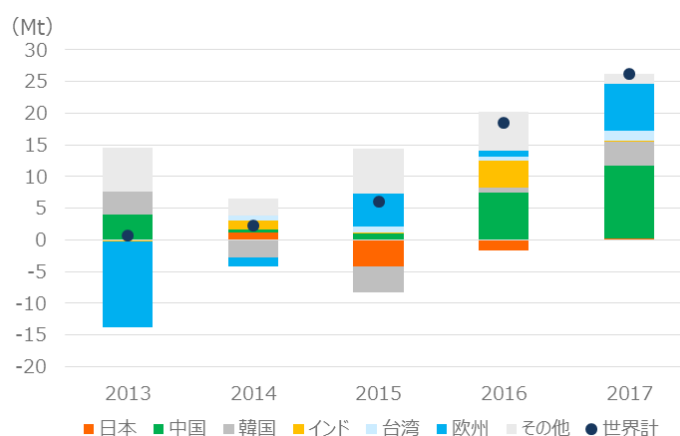


(出典)IEA「Gas 2017」

日本は世界最大の LNG 輸入国であり、中国、韓国がそれに続く。世界の LNG 取引量の約 7

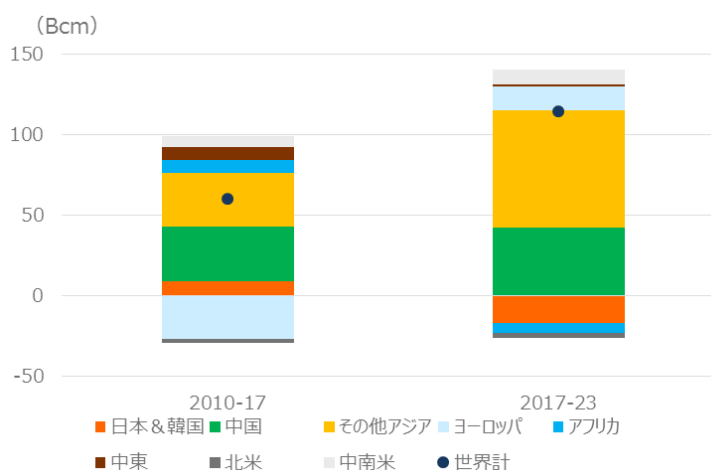
割はアジア勢によるものであり、ここ数年は、環境汚染対策の観点から中国が急速に需要を伸ばしてきている。その他にも、欧州においてロシア依存脱却に向け調達の多様化を進める動きや、パキスタンやタイなど新たに LNG 輸入を開始する国も出てきており、LNG 輸入量は増加基調にある(図表46)。今後についても、中国やインドなどを中心とするアジア需要の拡大により、LNG 輸入量は右肩上がりで推移していくものと予想される(図表47)。

(図表46)世界の国別 LNG 輸入量増減実績



(出典)GIIGNL「The LNG Industry」

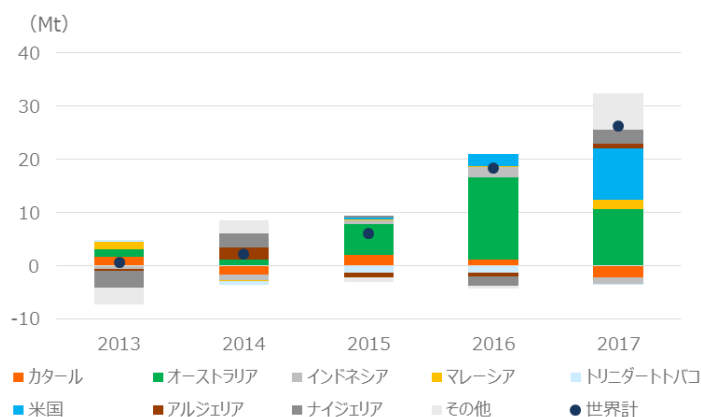
(図表47)世界の国別 LNG 輸入量増減見通し



(出典)IEA「Gas 2018」

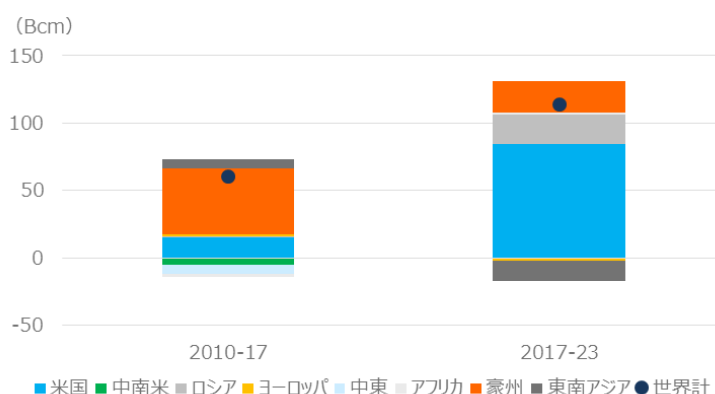
一方の LNG 輸出であるが、世界最大の LNG 輸出国は、カタールで、近年は豪州も輸出量を伸ばしてきている。2016 年からは、米国のシェールガスも輸出を開始した(図表48)。今後については、輸出量を伸ばしてきている米国や豪州からの輸出量が大きく増加していく見通しであり、特に米国においてその動きは顕著である(図表49)。

(図表48)世界の国別 LNG 輸出量増減実績



(出典)GIIGNL「The LNG Industry」

(図表49)世界の国別 LNG 輸出量増減見通し



(出典)IEA「Gas 2018」

LNG は、2014 年後半以降の原油価格の低迷や LNG 調達契約期間の短期化などの影響から、2016 年頃より新規プロジェクトの最終投資決定(FID)が滞っており、中長期的な供給不足が懸念されていたが、足元では、原油価格の回復により最終投資決定案件が増え始めており、中長期的な需給逼迫懸念は、少し和らいできている。

(3) LNG の価格見通し

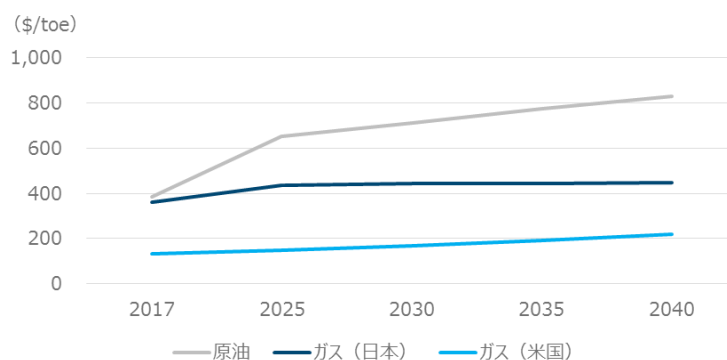
中長期的な原油価格は、(図表19)のとおり、地政学的リスクを背景に、上昇が予想されている。一方で、ガスは、地政学的リスクや大きな需給逼迫等は予想されておらず、産ガス国の米国のガス価格の上昇は、緩やかなものに留まっている。

LNG の輸入には、液化コストや輸送コストがかかるため、日本の LNG 輸入価格は、米国のガス価格より約 200\$/toe(約 5\$/mmbtu)高い。日本の LNG 輸入契約価格は、全日本輸入原油平均 CIF(JCC)リンクが多いため、足元は、原油価格に連動する傾向が強い。しかし、中長期的には、北米からの LNG 輸出増加などを背景に、輸入契約条件の多様化が進み、日本の LNG 輸入契約

価格は、需給に連動する市場価格リンクの割合が高まっていくものと予想されている。その結果として、日本の LNG 輸入価格はほぼ横ばいで推移していく見通しとなっている。

2017 年の原油価格と日本の LNG 輸入価格は概ね同水準となっているが、以上の背景より、中長期的には LNG の方が相対的に安価になっていく見通しである(図表50)。

(図表50)ガス価格見通し¹⁷



(出典)IEA「World Energy Outlook2018」

2. LNG 燃料船の概要

(1)LNG 燃料船の環境メリット

LNG 燃料船は、SOx のみならず、NOx(エンジンタイプにより異なる)や CO₂ 削減にも寄与することから、2020 年の SOx 規制のみならず、今後の GHG 追加規制などにも対応することができる。そのため、EEDI Phase4 や GHG 削減目標の中期対策が動き出す 2030 年前後には需要は大きく伸びる可能性が高い(図表51)。

(図表51)LNG 燃料船の環境メリット

SOx	100%削減可能
NOx	40~85%削減可能 (エンジンタイプによる)
CO ₂	最大25%削減可能

(出典) 当行調査

¹⁷ 原油価格：IEA 加盟国の平均輸入価格、ガス（日本）：日本の LNG 輸入価格、ガス（米国）：米国の国内市場価格（LNG ではなく気体ガス）

(2) LNG 燃料船のエンジンタイプ

ガス焚きエンジンは、低圧式、高圧式の 2 種類があり、それぞれ燃焼方法が異なる。低圧式のオットーサイクル(予混合燃焼)は、予めガスと空気を圧縮し、パイロット燃料で着火する仕組みになっており、燃焼室外周は、温度が低く、燃焼が一部不十分となる。高圧式のディーゼルサイクル(拡散燃焼)は、通常のディーゼルエンジンと同じタイミングでパイロット燃料と高圧ガスを噴射する仕組みになっており、ガスはほぼ完全に燃焼する。

この仕組みの違いにより、低圧式、高圧式では、NO_x 発生量、メタンスリップ¹⁸発生量が異なってくる。低圧式は、NO_x 発生量は少ないが、メタンスリップ発生量は多く、高圧式はその逆となる。具体的には、低圧式は、低温であるため、NO_x の発生量が少なく、NO_xTierⅢにも対応可能だが、低温ゆえに燃焼が不十分となるため、メタンスリップの発生量は多くなる。高圧式は、高温になるため NO_x 発生量が多く、NO_xTierⅢに対応するには、EGR や SCR などの脱硝、排気再循環システムの設置が必要となる一方で、高温で燃焼するためメタンスリップの発生は、僅少に留まる(図表52)。

(図表52)ガス焚きエンジンの種類

ガス専焼機関		二元燃料機関
ガス圧力	低圧式	高圧式
燃焼方式	オットーサイクル	ディーゼルサイクル
NO _x TierⅢ 対応	対応可	対応不可 (EGR+SCR が必要)
メタンスリップ	多い	僅少
主な製造メーカー	Wartsila、WinDG、MAN 他	MAN

(出典)各種公表資料

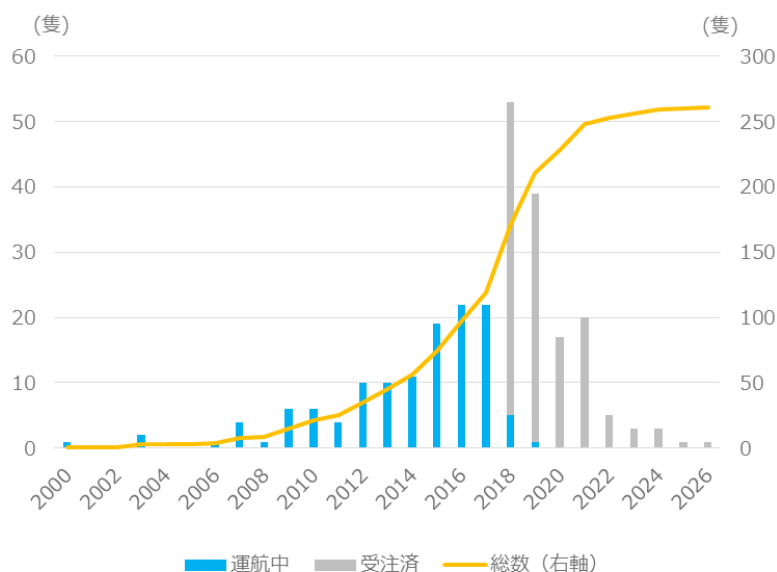
3. LNG 燃料船の導入に向けた動き

(1) LNG 燃料船の導入実績

LNG 燃料船は、2000 年にノルウェーで初めて運航を開始し、現在では 123 隻が運航中である。足元では、受注が急増しており、今後も受注は右肩上がりで推移していくものと予想される(図表53)。これらの船舶の運航エリアは、SO_x 規制に加え、NO_x 規制の対象となっている ECA が多い。運航中の LNG 燃料船は、ノルウェーを航行するものが約半数を占めている。これは、ノルウェーは、NO_x 排出に対する規制・税金が厳しいためであり、小規模船向けの LNG バンカリング拠点も整備されている。今後は、NO_x 規制が強化される欧州全域や世界各国を運航する船舶でも導入が進む見通しである(図表54)。

¹⁸ メタンスリップは、未燃焼メタンガスの排出で、メタンの温暖化係数は CO₂ の約 25 倍とされている。足元では、メタンスリップ削減に向けた技術開発が進められている。

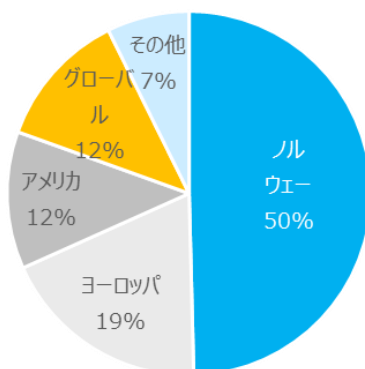
(図表53) LNG 燃料船隻数の推移



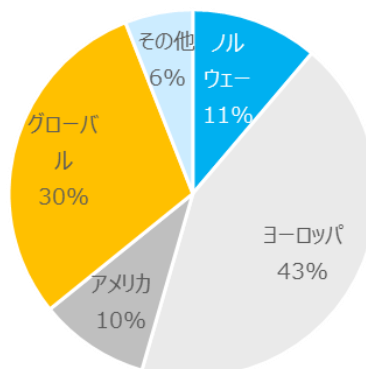
(出典)DNVGL「LNGi status update」(2018年8月)

(図表54) 運航中・発注済みの LNG 燃料船航行地域

〈運航中/123 隻〉



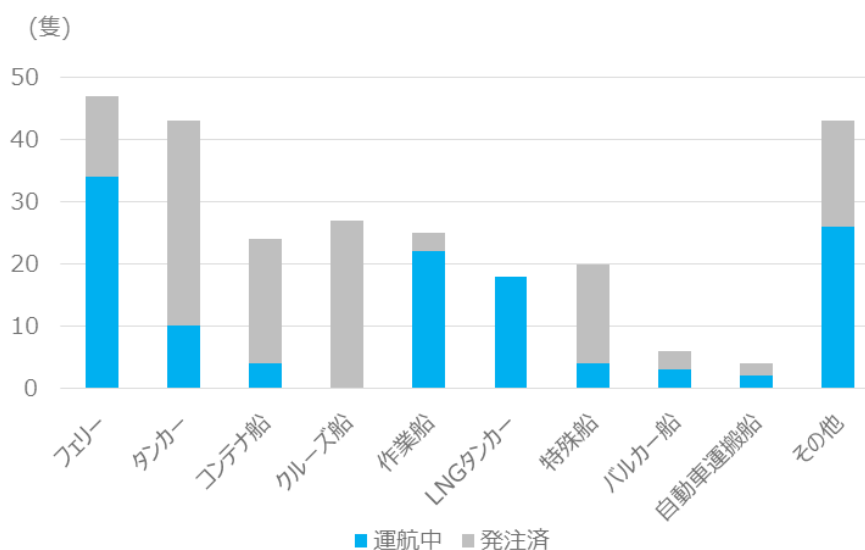
〈発注済/134 隻〉



(出典)DNVGL「LNGi status update」(2018年8月)

また、船種別にみると、これまでは、観光産業や石油産業が盛んなノルウェーでの運航船が多かったため、内航フェリーや作業船が中心であったが、タンカーやクルーズ船、コンテナ船などの外航船での受注が増えてきており、今後は船種の多様化が進む見通しである(図表55)。

(図表55) 船種別 LNG 燃料船



(出典)DNVGL「LNGi status update」(2018年8月)

(2) LNG 燃料船の適合船舶

LNG 燃料船は、SOx スクラバー同様に、大規模かつ燃料消費量の多い船舶、定期航路船の方が導入に向いている。

詳細は、本章4. で説明するが、現状では LNG のバンカリング拠点は、数カ所に留まるため、LNG タンク規模は、1 カ所でのバンカリングで往復を前提に設計されるケースが多い。そのため LNG タンクは大規模になるケースが多く、その規模は、オイルタンクの 2～3 倍に及ぶことから、設置場所の確保が課題となる。タンカーなどデッキ上に構造物のない船舶は、LNG タンクやガス関連機器の設置の自由度が高いため導入に向いているが、小型船や既存船は導入が難しいケースが多い。ただし、最近では、今後の LNG 燃料普及に備え、将来 LNG 燃料対応への改造も可能な LNG Ready の船舶が徐々に増えてきている。

また、バンカリング拠点不足から、燃料補給は課題となる可能性が高く、定期航路船での導入がより望ましいと考えられる。

(3) 環境対策のための LNG 燃料船の導入

LNG 燃料船は、荷主の環境意識の高まりを背景とした導入が進んでいる。日本国内の省エネ法では、企業自身が直接排出した GHG 排出量 Scope1(石油・ガス等の石化燃料)と、間接的に排出した GHG 排出量 Scope2(電力等)の管理が義務付けられているが、世界的には企業が間接的に排出するサプライチェーンでの GHG 排出量 Scope3(製造、輸送など)を管理し、対外公表する動きが強まっている(図表56)。自動車メーカーなどの製品輸出を行う事業者や電力会社、鉄鋼メーカー、石油会社などの原料や燃料を海外から輸入している事業者は、輸出入に使用する船

船の LNG 燃料化によりサプライチェーンの CO₂ 排出量を削減できる(図表57)。特に、発電や製造工程で CO₂ を多く排出する事業者は、ステイクホルダーに対し、バリューチェーン全体での CO₂ 排出量を示すのも選択肢の 1 つであろう。日本でもすでに東北電力が石炭バルカーの LNG 燃料化を計画するなど、取り組みが始まっている。低炭素化に向けた社会の目が厳しくなるなか、このような取り組みがさらに広がっていくことが期待される。

(図表56)企業の環境対応(Scope1～3)



(出典)各種公表情報

(図表57)荷主の LNG 燃料化による環境面のメリット

LNG 燃料化の環境面のメリット	
自動車メーカー	自動車輸出の際の自動車運搬船を LNG 燃料化することによるサプライチェーンでの CO ₂ 排出量の削減。
鉄鋼メーカー	原料である鉄鉱石や石炭を輸入する際のパルカーを LNG 燃料化することによるサプライチェーンでの CO ₂ 排出量の削減。
電力会社	発電燃料である石炭や原油などを輸入する際のパルカー、タンカーを LNG 燃料化することによるサプライチェーンでの CO ₂ 排出量の削減。
石油会社	原油を輸入する際のタンカーを LNG 燃料化することによるサプライチェーンでの CO ₂ 排出量の削減。

(出典)当行作成

クルーズ船も環境対策の観点から LNG 燃料化が積極的に進められている船舶である。クルーズ世界最大手のカーニバルでは、環境対策のため、すでに運航済みの 2 隻に加え、追加で 9 隻の LNG 燃料船の導入を決定している。運航済みの 2 隻は、港でのみ LNG 燃料を活用しているが、今後導入を予定している 9 隻は、100%LNG 燃料焚きとする計画である(図表58)。カーニバルの傘下のコスタ・クルーズとプリンセス・クルーズはそれぞれ 2017 年、2018 年より日本発着クルーズを通年化している。

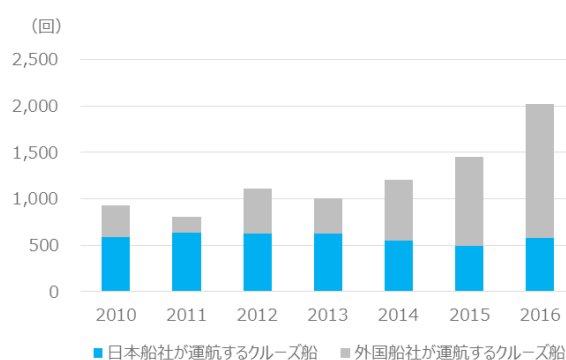
(図表58)カーニバルの LNG 燃料船導入状況



(出典)Carnival「Sustainability Report2017」

これら 2 社に限らず、日本発着クルーズ船は、徐々に増加する傾向にあり、日本港湾へのクルーズ船の寄港回数も年々増加している(図表59)。特に寄港回数の多い、博多港、長崎港、那覇港、横浜港、神戸港などへは、今後 LNG 燃料船が発着するようになる可能性が高い(図表60)。

(図表59)日本港湾へのクルーズ船の寄港回数



(出典)国土交通省「国土交通省におけるクルーズ振興の取組について」

(図表60)日本港湾におけるクルーズ船寄港回数ランキング(2016 年)

順位	港名	寄港回数
1位	博多港	328 回
2位	長崎港	197 回
3位	那覇港	193 回
4位	横浜港	127 回
5位	神戸港	104 回

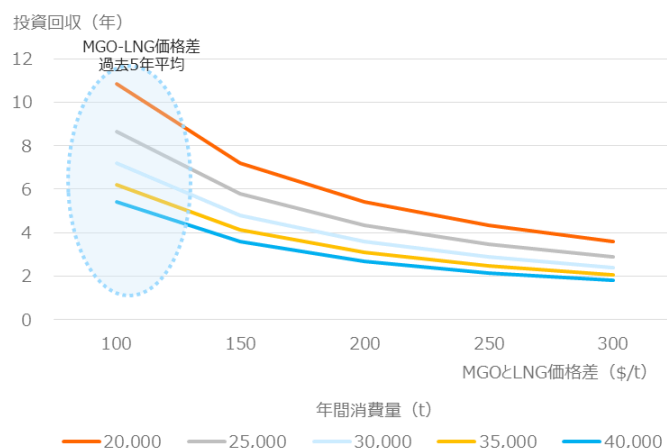
(出典)国土交通省「国土交通省におけるクルーズ振興の取組について」

(4) LNG 燃料船の経済性

LNG 燃料船の船価は、オイル焚きの船舶より 2～3 割高価であり、LNG 燃料船の投資回収期間は、SO_x スクラバーと比べると長期に及ぶ。投資回収期間は、SO_x スクラバー同様に、燃料消費量や燃料価格差により異なる。燃料消費量が 20,000～25,000 トン程度の大型船の場合、MGO と LNG の価格差を概ね過去 5 年平均相当(約 100\$/t)とすると、投資回収期間は約 10 年前後となる(図表61、図表62)。より燃料消費量の多い船舶は投資回収期間が短くなる。また、MGO と LNG の価格差が今以上に拡大した場合もより短期での投資回収が可能となる。

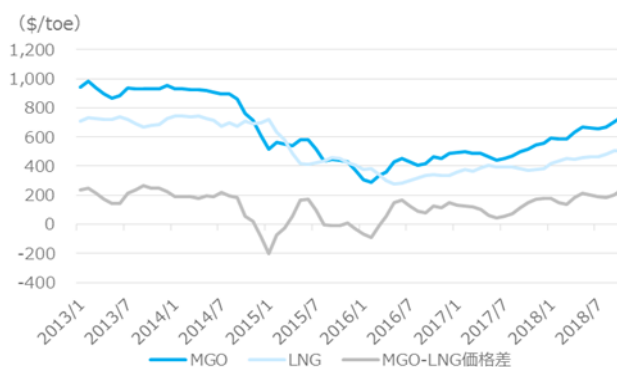
現在は 1 か所でのバンカリングで往復することを前提とした設計が主流であるため、LNG 燃料タンクの規模は大規模になっているが、バンカリング拠点の整備が進み、数か所でのバンカリングを前提に LNG 燃料タンクを縮小化することができれば、投資回収期間は今より短期化できる。

(図表61) LNG 燃料船の経済性¹⁹



(出典) 当行作成

(図表62) MGO-LNG の価格差



(出典) Clarksons Research(2018 年 11 月 30 日時点)、World Bank Commodity Markets

¹⁹ LNG 燃料船初期投資費用負担増：8,000～9,000TEU コンテナ船新造価格×25%（根拠：当行調査）を前提条件として試算。当試算では、カーゴロス（LNG 燃料タンク設置に伴う載貨重量の減少）やバンカリングコストは織り込んでいない。

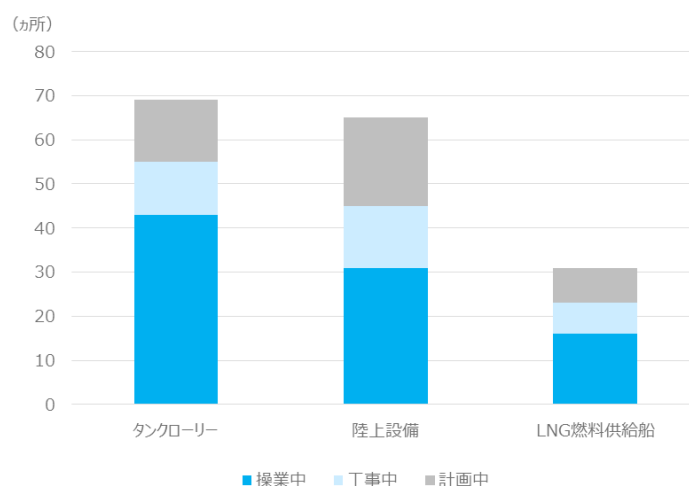
4. LNG バンカリング事業を取り巻く環境

(1) LNG バンカリング事業の現状

LNG のバンカリングには、①Truck to Ship、②Tank to Ship、③Ship to Ship の 3 つの形態がある。足元では、①Truck to Ship や②Tank to Ship が主流であるが、LNG 燃料船は外航船などの大型船の受注も増えてきており、大容量が供給できる③Ship to Ship のニーズが高まってきている(図表63)。

- ① Truck to Ship (25m³/時) : タンクローリーから燃料供給する方法。設備の整備は比較的容易で低コストだが、供給可能性が限定的であるため、小規模船舶向けである。
- ② Tank to Ship (100～200m³/時) : 陸上の LNG 貯蔵設備から直接燃料を供給する方法。大規模な船は、LNG 基地出荷栈橋への着岸が難しい場合がある。
- ③ Ship to Ship (1,000～1,500m³/時) : LNG 燃料供給船にて燃料供給する方法。大規模な船舶への供給が可能だが、インフラの整備にコストと時間を要する。

(図表63) LNG 燃料船への供給形態²⁰



(出典)DNVGL「LNGi status update」(2018年8月)

世界のバンカリング拠点は、主に欧州地域、北米、日本、韓国、シンガポール、豪州などにある。なかでも Ship to Ship のバンカリングは欧州地域を中心に行われており、数隻の LNG 燃料供給船が運航をしている。ベルギーにおける世界初の LNG バンカリング事業(2014 年)には、三菱商事や日本郵船が参画している。さらに 7 隻以上の LNG 燃料供給船が建造/計画中であり、今後は、欧州地域に加え、米国や韓国、シンガポール、中国、日本でも Ship to Ship のバンカリングが開始される予定である(図表64)。

²⁰ 図表内の時間あたりの供給量は概ねの目安。

(図表64) 主要な世界の LNG 燃料供給船

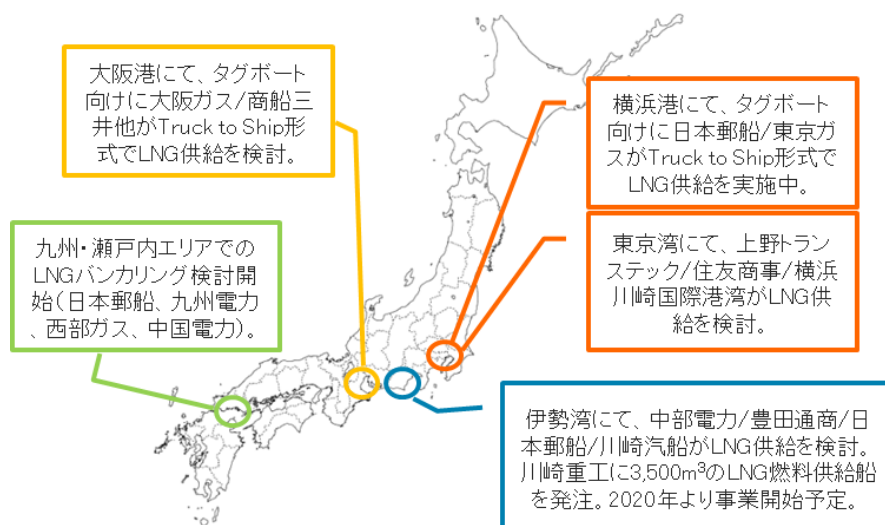
船名	拠点	タンク容量	備考
Engie Zeebrugge	ベルギー	5,100m ³	2017/2 竣工、日本郵船、三菱商事、Engie、Fluxys
Cardissa	オランダ	6,500m ³	2017/6 竣工、Shell
Coralus	ノルウェー	5,800m ³	2017/8 竣工、Anthony Veder、Sirius Shipping、Skangass
Clean Jacksonville	米国	2,200m ³	2018 竣工予定、Clean Marine Energy、WestPac Midstream、TOTE
Kairos	バルト海	7,500m ³	2018 竣工予定、Bernhard Schulte、Nauticor、Klaipėdos Nafta
未定	韓国	7,500m ³	2019 竣工予定、Korea Line、KOGAS
未定	オランダ	3,000m ³	2019 竣工予定、Shell、Victrol NV、CFT
未定	オランダ	18,600m ³	2019 竣工予定、商船三井、Total
未定	日本	3,500m ³	2020 竣工予定、日本郵船、川崎汽船、中部電力、豊田通商
未定	シンガポール	7,500m ³	2020 竣工予定、FueLNG (Keppel、Shell)
未定	シンガポール	10,000m ³	2020 竣工予定、Pavilion Energy、Total
未定	中国	8,500m ³	2020 竣工予定、ENN Energy

(出典) 各種公表情報

(2) 日本の LNG バンカリング事業への取り組み

日本では、海運会社、商社、エネルギー事業者などが LNG バンカリング事業に参入、あるいは参入を検討している。すでに、横浜港では、2015 年より、日本郵船・東京ガスが Truck to Ship での LNG バンカリングに取り組んでいる。足元では、東京湾や伊勢湾での Ship to Ship の他、大阪や九州などでもバンカリング事業が検討されている(図表65)。

(図表65) 日本での LNG バンカリング事業



(出典) 各種公表情報

国土交通省は、船舶の GHG 排出に対する国際的な規制が強化されるなか、今後は、環境負荷の小さい LNG を燃料とする LNG 燃料船の増加が見込まれるとして、LNG バンカリング拠点の形成により、日本の港湾の国際競争力を強化するため、LNG バンカリング拠点として必要となる施設整備に対し、補助金支援制度を創設している(図表66)。2018 年 6 月に①伊勢湾・三河湾 LNG バンカリング事業、②東京湾における Ship to Ship 方式での船舶向け LNG 燃料補給事業の 2 件が採択されている(図表67)。

(図表66) LNG バンカリング拠点形成支援施設補助金概要

対象事業	LNG バンカリング拠点を形成するために必要となる LNG を燃料とする船舶への燃料供給の用に供する船舶及び該当船舶に LNG を供給するための施設整備
対象港湾	国際戦略港湾、国際拠点港湾又は重要港湾における LNG バンカリング拠点の形成を目的とする事業
補助対象施設	LNG を燃料とする船舶への燃料供給の用に供する船舶 該当船舶に LNG を供給するための施設
補助率	1/3

(出典)国土交通省「LNG バンカリング拠点形成支援施設募集要領」

(図表67) LNG バンカリング拠点形成支援施設補助金採択案件



(出典)国土交通省ホームページ

LNG バンカリング事業を進めていく上では、規制緩和も欠かせない。LNG は危険物に相当するため、Tank to Ship の場合は都道府県知事、Ship to Ship の場合は港長の許可が必要になる。Ship to Ship においては、各港において運航安全対策委員会と海上防災対策委員会を開催し、専

門家による安全性および対策に関する検討を実施している。バンカリング事業者の懸念事項は、規制範囲が現時点では不透明である点である。特に、燃料補給時間制限が懸念事項となっており、夜間の燃料補給やクルーズ船などの人が乗降する船舶においては、乗降中同時並行の燃料補給などが論点となっている。これに対し、国土交通省海事局では、LNG 燃料移送ガイドラインを策定し、規制環境整備の後押しを進めている(図表68)。

(図表68)国土交通省の LNG 燃料移送ガイドライン

- 安全管理体制の構築
- 運用条件（限界気象・海象条件等）
- 緊急離脱装置の要件
- LNG燃料移送作業手順・安全処置
- LNG燃料移送に用いる機器等
- 異種LNG混合時の燃料タンクの圧力管理に係る留意事項
- ガス安全区域の設定
- 荷役中・旅客乗降中の留意事項
 - ガス危険区域からの着火源の排除、関係者以外の立ち入り制限などを行うことにより、荷役中・旅客乗降中のLNG燃料移送可能
- 夜間におけるLNG燃料移送に係る留意事項
 - 作業現場等を70lx以上の照度を確保可能であれば、夜間のLNG燃料移送可能

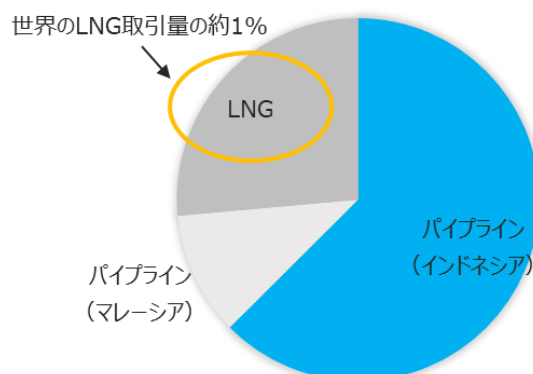
(出典)国土交通省「天然ガス燃料船に関する総合対策」

(3) 海外の LNG バンカリング事業への取り組み

①シンガポール

シンガポールの発電電力量の約 95%は、ガス火力であり、シンガポールにおいてガスは重要なエネルギー源である。シンガポールは、ガスの輸入国であり、需要の約 7 割以上をマレーシアとインドネシアよりパイプラインで輸入している。2013 年からは、安定調達のため、調達の多様化を進めており、LNG 輸入を開始している。しかし、シンガポールの LNG 取引量は、世界の LNG 取引量の約 1%に留まっており、LNG の調達競争力は必ずしも高いとは言えない(図表69)。

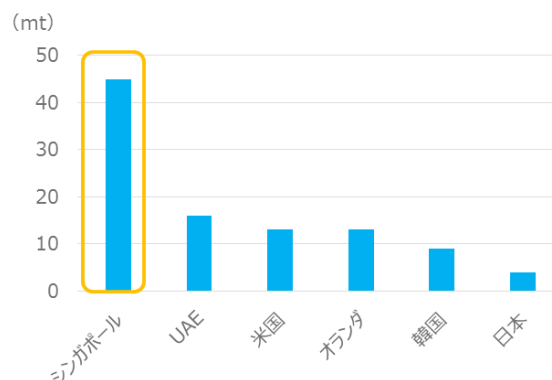
(図表69)シンガポールのガス輸入ソース内訳



(出典)IEA「Natural Gas Information2017」

一方で、シンガポールは世界でも有数の石油製品のバンカリング拠点であり、船舶燃料油のバンカリング拠点としては、確固たる地位を築いてきている(図表70)。そのため、LNG の価格競争力はあまり高いとは言えないが、これまでの船舶燃料油のバンカリング拠点としての実績などを背景に、LNG バンカリング事業の成長には、高いポテンシャルを持っている。

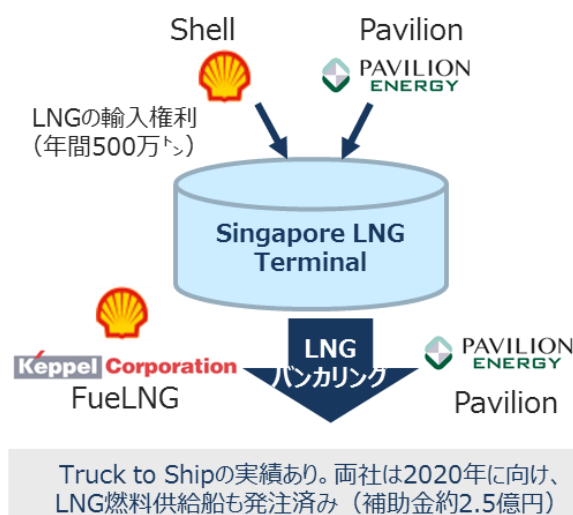
(図表70)世界の地域別船舶燃料油供給実績(2015 年)



(出典)IEA 「Oil Information 2017」

シンガポールでは、Energy Market Authority of Singapore(EMA)が Shell と Pavilion(テマセク HD 傘下)に LNG 輸入(年間 500 万トン)のライセンスを、Maritime and Port Authority of Singapore(MPA)が Keppel と Shell 合併の FueLNG と Pavilion に LNG バンカリングのライセンスを付与している。FueLNG と Pavilion は、すでに LNG 燃料供給船を発注しており、2020 年より Ship to Ship での LNG バンカリングを開始する予定である(図表71)。

(図表71)シンガポールの LNG バンカリング事業

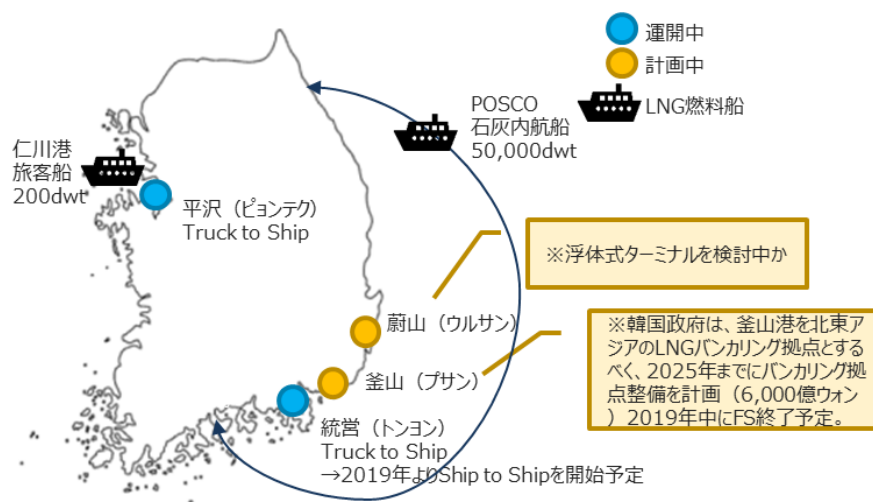


(出典)各種公表情報

②韓国

韓国では、韓国政府と KOGAS 等が中心となり LNG バンカリング拠点の整備を進めている。国内では、2 隻の LNG 燃料船²¹が運航しており、2 か所で Truck to Ship での LNG バンカリングを行っている。韓国政府は、さらに釜山港と蔚山港での LNG バンカリング拠点整備を発表しており、特に釜山港の拠点整備に積極的である。釜山港については、北東アジアの LNG バンカリング拠点とするべく、2025 年までにバンカリング拠点整備を完了すると公表しており、2019 年中に実行可能性調査(FS)を行う計画となっている(図表72)。

(図表72)韓国の LNG バンカリング拠点



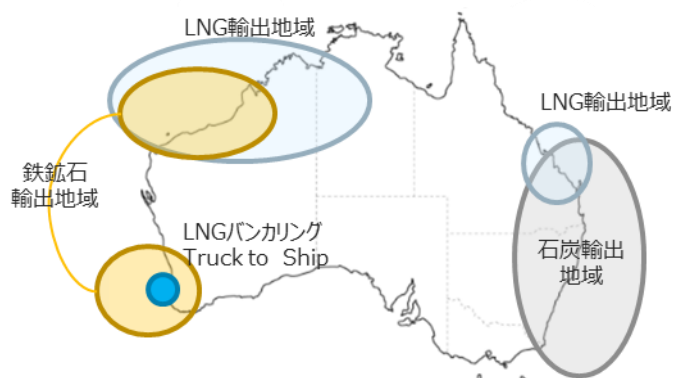
(出典)各種公表情報

④ 豪州

豪州は、LNG 輸出国で LNG 価格も安価であることに加え、資源の輸出国でもあり、LNG バンカリング拠点として、優位性を有していると考えられる。現状は西豪州でのバンカリングに留まるが、特に鉄鉱石バルカーに関しては、鉄鉱石の輸出地が主要な LNG 輸出基地と隣接しており、豪州でのバンカリングに適している。また、クイーンズランド州に位置する石炭輸出地域は、主要な LNG 輸出基地からは距離があるものの、近郊のクイーンズランド州でも規模は小さいがガス生産、LNG 輸出が行われており、同地域も LNG バンカリングのポテンシャルを有している(図表73)。

²¹ POSCO の石灰内航船 50,000dwt、仁川港旅客船 200dwt の 2 隻

(図表73) 豪州の LNG バンカリング拠点

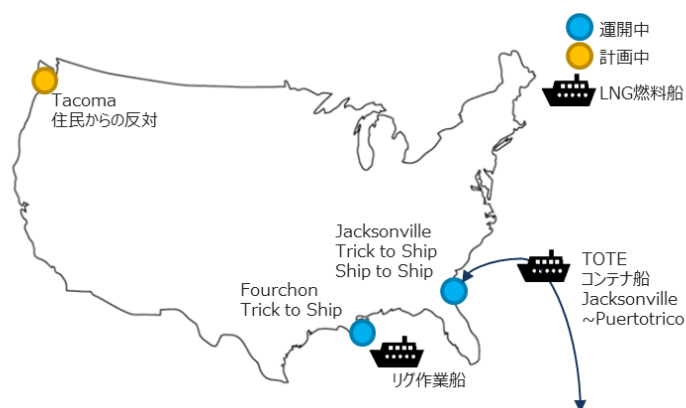


(出典) 各種公表情報

⑤ 北米

北米では、米国の海運会社である TOTE が進める LNG 燃料船(コンテナ船、RORO 船)向けを中心に LNG バンカリング拠点の整備が進められている。LNG 基地がメキシコ湾に集中していることから、現在のバンカリング拠点はメキシコ湾近郊 2 カ所に留まっている。今後は、外航船航路となる西海岸でのバンカリング拠点整備に期待がかかっており、住民の反対などのハードルはあるものの、西海岸でのバンカリング拠点整備に向けた動きがみられ始めている。北米も豪州同様に LNG 輸出国で、LNG 価格が安価な地域ではあるが、LNG 燃料船の建造は、造船業があまり盛んではない米国で行わなければならない(Jones Act)、バンカリングコストが安価になるかについては不透明な部分がある(図表74)。

(図表74) 北米の LNG バンカリング拠点



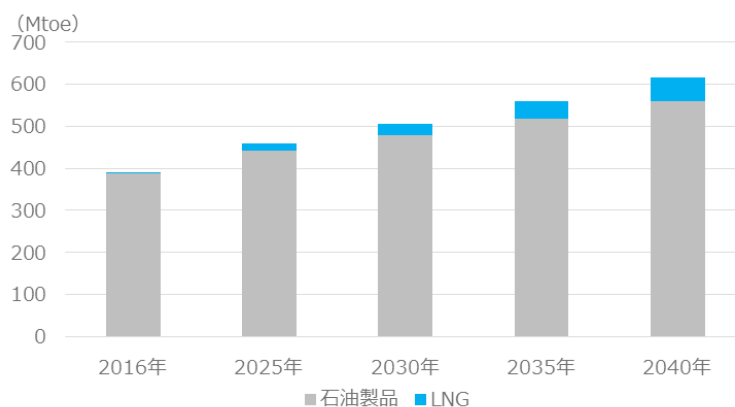
(出典) 各種公表情報

(4) LNG バンカリング需要の見通し

世界の LNG バンカリング需要は、中長期的に右肩上がりで見通しである。今後も、船舶燃料油は、石油製品が中心となるが、LNG 需要量も年率 10%前後の増加が予想されている

(図表75)。

(図表75)世界の LNG バンカリング需要見通し



(出典)IEA「World Energy Outlook 2018」

日本では、LNG 燃料船の導入がすでに決定されている自動車運搬船や石炭バルカーの他、LNG 燃料化が標準仕様となりつつある世界各国を周遊するクルーズ船の需要が期待されている。また、豪州からの鉄鉱石バルカーや北米とのコンテナ定期航路船なども、今後検討が進む可能性がある(図表76)。

(図表76)日本の LNG バンカリング需要

自動車運搬船	自動車会社が検討中。北米航路中心に日本でのバンカリングの可能性あり。 ※なお、北米でのバンカリングも想定される。
石炭バルカー	電力会社が検討中。豪州航路中心に日本でのバンカリングの可能性あり。 ※なお、豪州でのバンカリングも想定される。
クルーズ船	LNG 燃料化は標準仕様になりつつある。海外で新造が相次いでおり、中長期的には、日本にもこれらの LNG 燃料船が寄港する可能性がある。
鉄鉱石バルカー	具体的な検討は今後。豪州航路を中心に日本でのバンカリングの可能性あり。 ※なお、豪州でのバンカリングも想定される。
コンテナ船	具体的な検討は今後。北米航路を中心に日本でのバンカリングの可能性あり。 ※なお、北米でのバンカリングも想定される。

(出典)当行作成

5. まとめ

LNG 燃料船は、SO_x のみならず、NO_x(エンジンタイプによる)や CO₂ の削減にも寄与する点が最大のメリットである。LNG 燃料船の導入は、2020 年の SO_x 規制に留まらない、長期的な環境規

制に向けた対応となるであろう。足元でも、荷主の環境意識の高まりなどを背景に、需要は伸びてきているが、GHG 規制の強化などにより 2030 年頃(EEDI 規制 Phase4 や GHG 削減に向けた中期的対策合意時期)にターニングポイントを迎えることが予想される。

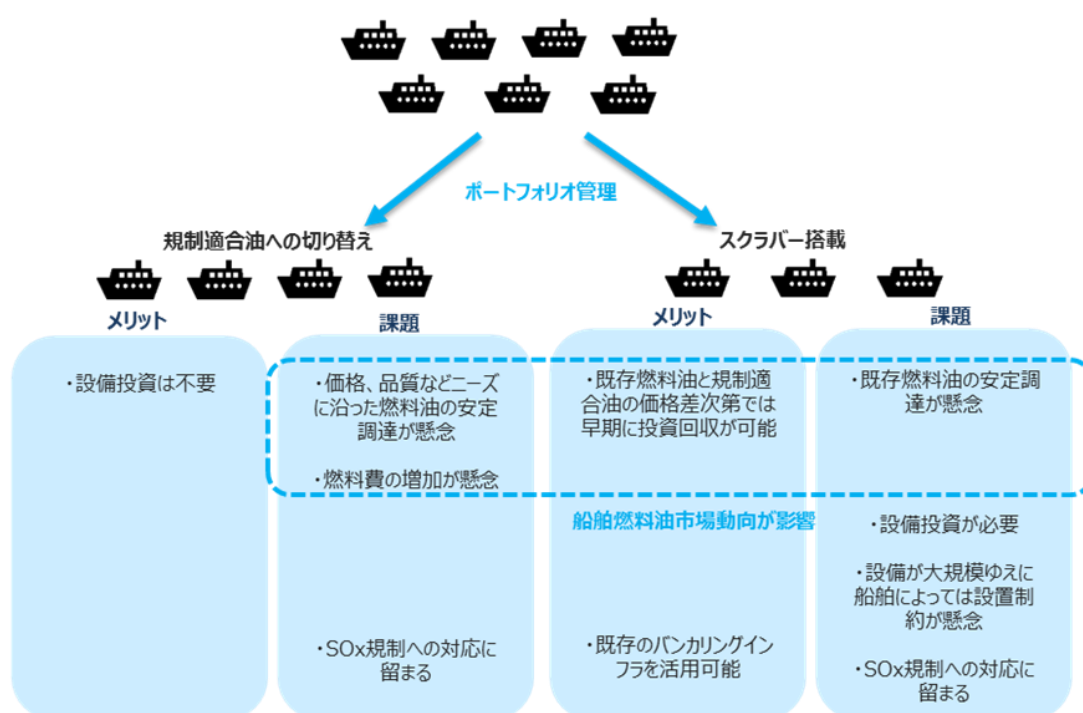
LNG 燃料船の普及拡大に向けては、LNG バンカリング拠点整備と初期投資費用負担の軽減が課題となる。特に欠かせないのは、LNG バンカリング拠点の整備である。インフラ整備は需要とセットで進められるべきものであり、インフラ、需要どちらかのみが先行する形では前に進まない。LNG 燃料船需要は、2030 年に向け動き出すと考えられる。船舶の設計、建造には数年を要することも踏まえれば、来る 2030 年に向け、LNG バンカリング整備にも今から取り組まなければならない。

また、LNG バンカリング拠点の整備においては、拠点間の連携も重要である。現在は、LNG バンカリング拠点は数ヵ所に留まることから、LNG 燃料船のタンク規模は、1ヵ所での LNG バンカリングで往復することを前提に設計されている。LNG バンカリング拠点の増加は、LNG タンク規模の縮小、LNG 燃料船の経済性向上につながる。1ヵ所のバンカリング拠点で需要を抱え込まず、各バンカリング拠点間で連携をすることで LNG 燃料船の普及が図られるようになる。これは国内外共に言えることであり、ノウハウの共有やトラブル対応での連携も大切であろう。

第5章 さいごに

海運業界では、2020 年から適用が開始される SOx 規制に向けた動きが、活発になってきている。SOx 規制は、既存船や一般海域運航船も含めた全船舶が対象となるため、大きな設備投資を伴わない規制適合油への切り替えが、主要な対応策になると考えられる。しかしながら、規制適合油は、燃料油種や品質が多岐に及び、海運会社や荷主はニーズに沿った燃料油を確保できない可能性がある。また、規制適合油は、足元でも既存燃料油より約 200\$/t²²高いが、需給の逼迫により更なる上昇も予想され、燃料費の増加という課題もある。SOx 規制対応のもう一つの選択肢である SOx スクラバーの搭載には、設備投資を伴うものの、既存燃料油と規制適合油の価格差次第では、短期間で投資回収が可能とみられており、足元では需要を伸ばしており、需給は逼迫してきている。いずれの選択肢も船舶燃料油市場動向が、大きく影響する。しかし、船舶燃料油市場は、2020 年以降、しばらくは不透明な状況が続くと予想される。以上を踏まえると、2 つの選択肢(規制適合油と SOx スクラバー)でポートフォリオを組み、リスク分散を図るのもまた 1 つの選択肢であろう(図表 77)。

(図表 77) SOx 規制対応(規制適合油・SOx スクラバー)



(出典) 当行作成

規制適合油への切り替えや SOx スクラバーの搭載は、SOx 以外の環境規制への対応が難しい。さらに中長期に視点を移すと、2025 年の EEDI 規制 Phase3(一部の船種で前倒し審議中)な

²² 規制適合油のうち HSFO と MGO の価格差。

ど、GHG 削減に向けた規制も動き出す。EEDI 規制の Phase4 や IMO の GHG 削減戦略に向けた中期的対策合意時期である 2030 年頃に向け、海運業界では規制対応が進み、LNG 燃料船需要の増加が予想される。足元の SOx のみならず、GHG 削減も視野に入れた対応策として有効なのは、LNG 燃料船への切り替えである(図表78)。環境配慮に付加価値をみいだしている事業者は、将来の GHG 規制なども見据え、LNG 燃料船への切り替えに取り組み始めている。また、昨今は、荷主の環境意識の高まりも LNG 燃料化の動きを加速させている。

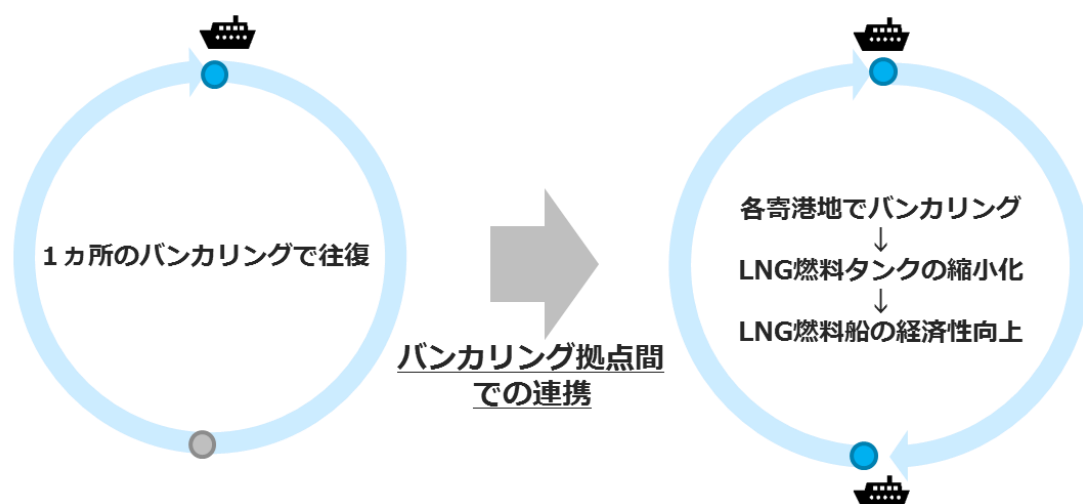
LNG 燃料船普及拡大に向けては、LNG バンカリング拠点整備と初期投資費用負担の軽減が課題となる。足元では、各国で LNG バンカリング拠点整備に向けた動きも活発になってきている。インフラ整備は需要とセットで進めていかなければならない。船舶の設計、建造には、数年を要することを踏まえれば、2030 年頃の LNG 燃料船の需要増に備え、今から整備を進める必要がある。また、LNG バンカリング拠点の増加は、LNG 燃料船の LNG タンクの縮小、延いては LNG 燃料船の経済性向上につながる。LNG バンカリング拠点の整備を進めていく上では、各バンカリング拠点間での、LNG 燃料船普及に向けた連携が重要であろう(図表79)。

(図表78)SOx 規制・GHG 追加規制対応(規制適合油・SOx スクラバー・LNG 燃料船)



(出典) 当行作成

(図表79) LNG 燃料船普及拡大に向けた LNG バンカリング事業のあり方



(出典) 当行作成

環境問題が深刻さを増す今日において、世界では低炭素社会の実現に向けた動きが活発化している。海運業界においても、今後、IMO の環境規制はさらに強化されていくことが予想される。IMO の環境規制への対応の答えは一つではない。海事クラスター各社それぞれの真摯な取り組みが、国際海運部門の海洋汚染防止につながっていくであろう。

以上

本稿執筆担当者：

株式会社日本政策投資銀行

産業調査部 柴田 茂輝、上田 絵理、中田 華代子、丸山 愛子

©Development Bank of Japan Inc.2018

本資料は、情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引等を勧誘するものではありません。本資料は当行が信頼に足ると判断した情報に基づいて作成されていますが、当行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しましては、ご自身のご判断でなされますようお願い致します。本資料は著作物であり、著作権法に基づき保護されています。本資料の全文または一部を転載・複写する際は、著作権者の許諾が必要です。下記連絡先までお問い合わせください。著作権法の定めに従い引用・転載・複製する際には、必ず「出典：日本政策投資銀行」と明記して下さい。

本稿に関するお問合せ先

株式会社 日本政策投資銀行 産業調査部
〒100-8178 東京都千代田区大手町 1-9-6
TEL:03-3244-1840