

■特集

- ◎技術報告「J-MAP事業の概要と船舶燃料研究の平成30年度成果」1
- ◎調査報告「IMO燃料油規制に関する国際機関及び諸外国の対応動向調査」10

一般財団法人石油エネルギー技術センター

ホームページアドレス <http://www.pecj.or.jp/>

編集・発行 一般財団法人石油エネルギー技術センター

〒105-0011

東京都港区芝公園2丁目11番1号

住友不動産芝公園タワー

TEL 03-5402-8500 FAX 03-5402-8511

特集

技術報告

「J-MAP事業の概要と船舶燃料研究の平成30年度成果」

1. はじめに

当センターでは、燃料利用技術開発事業の一環として、現在、J-MAP(Japan Marine and Auto Petroleum program)事業を実施しています。J-MAP は、石油業界と自動車業界の共同研究事業として、自動車および燃料分野における技術課題の解決を目指し、JATOPⅢ(Japan Auto-Oil Program Ⅲ、平成27年度～平成29年度)に引き続いて、平成30年度から2年計画で実施しています。また、石油業界と船舶業界の共同研究事業として、船舶および燃料分野における技術課題の解決を目指した検討についても、平成30年度から2年計画で実施しています。

平成30年度が終了しましたので、事業概要と成果のトピックスを紹介いたします。

2. 事業の背景

大気汚染物質（SO_x、PM 等）は、呼吸器疾患などの健康被害の一因と考えられており、各国独自に陸上排出源・移動排出源の規制を実施しています。一方、船舶からの排出については、国際海事機関（International Maritime Organization : IMO）で外航・内航を問わず、世界的に海洋汚染防止条約（MARPOL 条約）で規制が設けられています。一般海域における船舶燃料油の硫黄分について、規制開始時期を 2020 年 1 月 1 日として、現行の 3.5 質量%上限から 0.5 質量%上限に大幅に引き下げる事が決定されました。燃料利用側にとっては、残渣油ベースの燃料だったものが、分解系留分を含む蒸留油ベースの燃料に切り替わる可能性があり、規制適合燃料が航行上問題なく使えるかどうか懸念点となっています。一方、燃料供給側にとっては、船舶燃料油の処方変更や原油の選択等が課題となります。また、石油製品は連産品であるため、自動車用燃料油（ガソリン・軽油）の処方・性状にも大きな影響を及ぼすことが想定されます。

日本国内の燃料油需要に目を向けると、燃料油販売量は年々減少傾向にあり、特に A 重油、一般 B・C 重油（電力用 C 重油を除く）は、ガソリンや軽油等比べて大幅な減少を続けています（図 1）。この傾向は、今後も継続すると予測されています。

重質留分も、原油から作られる連産品であることから、需要構成比率の大幅な変化への対応は必須であり、重質留分の新たな利用先の検討が重要となっています。

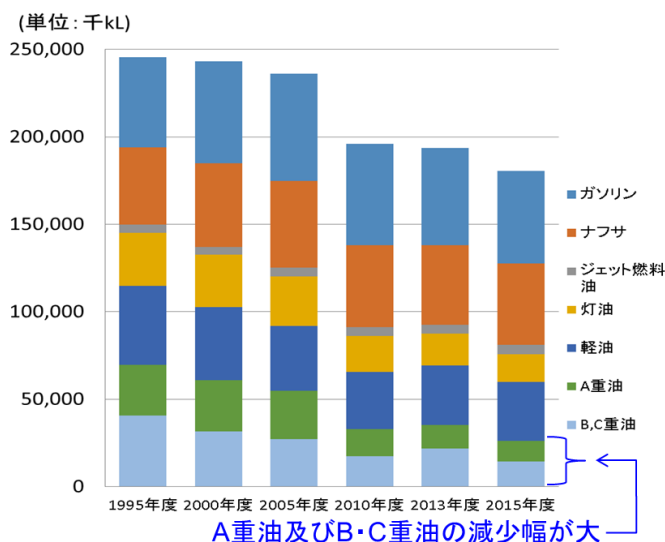


図 1 国内燃料油需要の減少と需要構成の変化

出所：石油連盟、経済産業省データを基に JPEC 作成

これを背景に、2009 年に施行された「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用および、化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」(エネルギー供給構造高度化法)では、2 度にわたり分解装置装備率の増加が要求されました。更に 2017 年には、第 3 次告示が公表され、石油各社

には、減圧蒸留残渣油（VR）処理率を向上させることが示されたことから（図2）、重質油の分解に伴う分解系ガソリン・軽油留分の有効利用の検討は、今後も重要となっています。

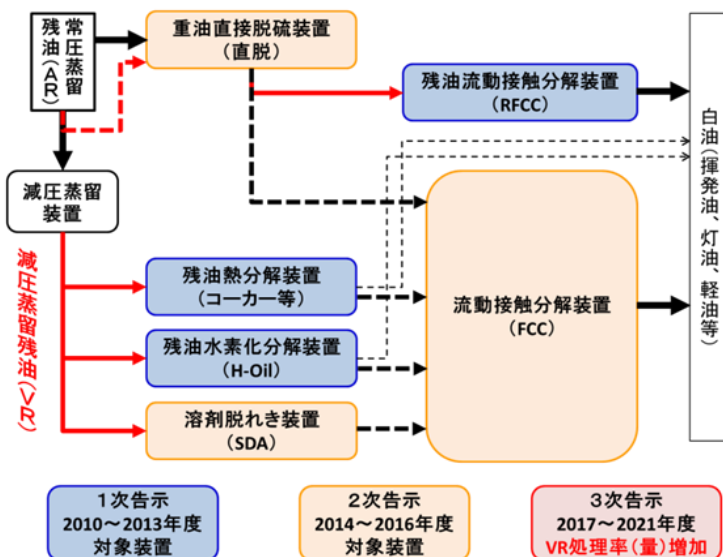


図2 エネルギー供給構造高度化法の対象装置

これら IMO 規制への対応や高度化法への対応を踏まえた、輸送用燃料油トータルでの品質評価が、連産品である石油製品においては欠かせません。そのため、IMO 規制に伴う船舶燃料油の品質影響を把握するとともに、船舶燃料油による自動車用燃料油への影響を包括的に把握し、分解系留分を環境面・安全面に配慮しながら自動車用燃料として更に利用拡大を図るための知見を得る必要があります。船舶燃料から自動車用燃料までの、輸送用機器（船舶・自動車）に対する品質・信頼性を前提とした処方自由度の拡大を図ることは、石油精製の全体最適化による安定供給、CO₂ 削減を含む環境負荷低減に貢献すると考えられます。

3. 研究開発の目的および目標

このような背景および社会的ニーズに基づいて、原油から得られる各留分を余すところなく活用することにより、原油処理を最適化し、原油処理量の削減により、CO₂ 排出量の削減を実現することが J-MAP の大きな目的です。

自動車用燃料については、これまでの検討（JATOPⅡ、Ⅲ）で明らかとなった技術的課題について、燃料技術による解決に向けた検討を行い、利用拡大に資する技術的知見を得ることを目的としています。そのために、自動車燃料としての利用等を想定し、環境面・安全面で問題なく使用できるよう、車両・エンジンを用いて排出ガス・燃費等による環境負荷影響評価等を行い、分解系留分の利用拡大に資する技術データを体系的に取得します。

船用燃料については、IMO 規制により、従来の残渣油から分解系留分を含む留出油ベースの軽質・低粘度燃料油等への切替えを迫られていますので、残渣油を使用していた船舶機関が規制適合燃料を品質上問題なく使えるか否かを確認します。

これらの情報を体系的に整理するために、以下の目標を設定して研究を実施しています。

- (1)自動車に不具合が生じないことを前提にした、更なる分解系軽油基材の活用に資するため、JATOPⅡ、Ⅲで明らかになった対策燃料実用化への課題について、分解系基材配合量、セタン価向上剤添加量、軽質化度合の最適化等による燃料側での対策の可能性を明らかにする。
- (2)分解ガソリン（FCC 装置から得られるガソリン留分）を利用した燃料について、自動車に不具合が生じないことを前提とした市場への導入拡大に資する技術的知見を得る。特に、JATOPⅢで明らかになった課題について、対策の可能性を把握する。
- (3)船用燃料油のアベイラビリティの拡大を図るべく、低硫黄化に伴う性状変化が、現行 C 重油を使用している船用エンジンに影響しないかを確認するため、実エンジンによる実際の使用を想定した燃焼試験を実施する。

4. 研究テーマと研究推進体制

J-MAP の平成 30 年度の研究推進体制を図 3 に示します。本事業全体の審議・承認のために、主に当該専門分野の学識経験者で構成する「船舶・自動車及び燃料研究委員会」を設置して研究の方針に対する助言・評価を受けます。また、専門分野(船舶・自動車・燃料技術)における技術的アドバイザリー機関として、学識経験者で構成する「船舶・燃料専門委員会」「自動車・燃料専門委員会」を設置して研究に対する技術的な助言・評価を受けます。

具体的な研究の計画・推進のために、各業界の代表者で構成する「船舶・燃料企画小委員会」「自動車・燃料企画小委員会」を設置し、事業全体の方向性を議論・調整するとともに、各業界の専門家で構成する「ワーキンググループ(WG)」を設置し、研究の目標に対する達成度や進捗の管理を実施しています。

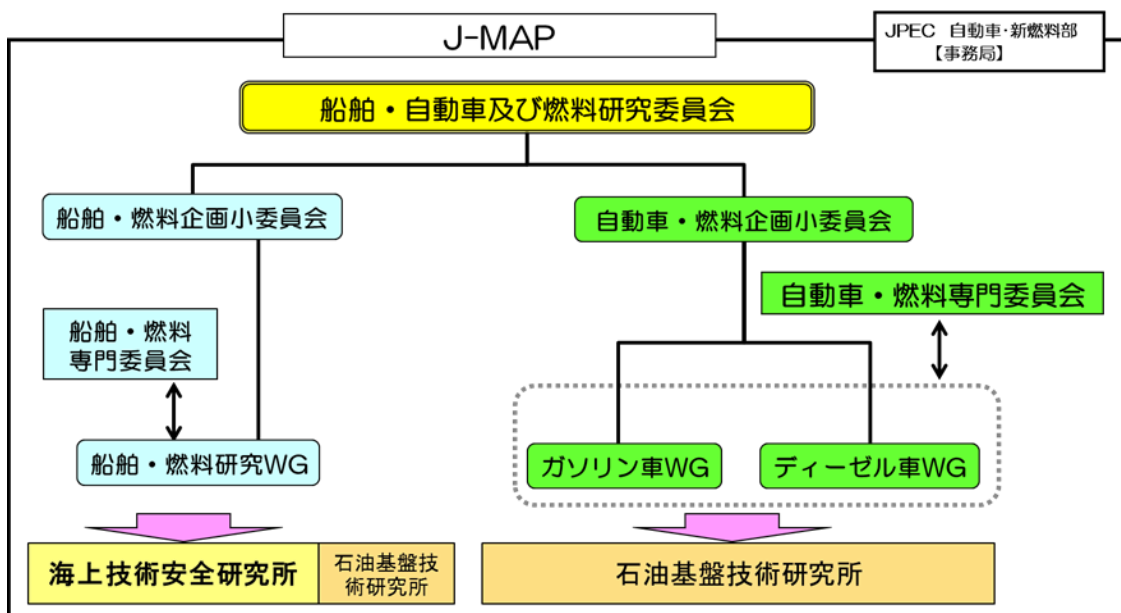


図 3 J-MAP 研究推進体制

5. 平成 30 年度成果のトピックス

平成 30 年度成果のトピックスとして、船舶・燃料研究として実施した 4 ストローク船用エンジンをを用いたエンジン試験の結果をご紹介します。なお、紙面の都合で試験結果の一部の紹介になりますが、試験結果の詳細は、以下の URL にある [JPEC フォーラムの発表資料 \(\(19\)J-MAP 船舶・燃料研究\)](http://www.pecj.or.jp/japanese/jpecforum/2019/pdf/jf019.pdf) をご覧ください。
(<http://www.pecj.or.jp/japanese/jpecforum/2019/pdf/jf019.pdf>)

(1) 燃料試験

現在、船舶燃料油として軽油、A 重油、C 重油が使用されています。軽油は現在でもサルファーフリー（10 p p m 以下）のため、IMO の硫黄規制の影響はありません。A 重油は硫黄濃度が 0.5 質量% 以下のものと、2.0 質量% 以下のものがあります。2.0 質量% 以下の A 重油を使用している場合、0.5 質量% 以下の A 重油に変える必要があります。しかしながら、硫黄濃度以外に大きな性状変化はないため、使用にあたっての懸念はほとんどないと考えられています。

一方、現在 0.5 質量% 以下の船舶用 C 重油はなく、低硫黄化のために低硫黄の留出系基材（A 重油基材等）が利用される可能性が高く、その時には動粘度が大きく変化することが想定されます。そこで、動粘度が変化した場合の燃焼への影響を調べるため試験燃料に、動粘度が非常に低く A 重油に近い試験燃料①、現行の C 重油である試験燃料③、中間の動粘度の試験燃料②を用いることにしました。試験燃料の考え方を図 4 に示します。なお、本研究で着目している動粘度、燃焼性に硫黄濃度は影響しないので、硫黄濃度は必ずしも 0.5 質量% 以下にはしていません。

現行の船用燃料油と低硫黄化に伴う変化			試験燃料の性状			
現行	低硫黄化 (3.5% 以下→0.5% 以下) による性状変化	試験の要否	試験燃料	動粘度 (mm ² /s)	着火性	備考
軽油	変化なし	不要	試験燃料① (A 重油に 近いもの)	2～20	セタン指数 35 程度	・着火性、動粘度 を最も大きく変 化させた燃料
A 重油 ・着火性: セタン指数 40 程度 ・動粘度: 2～20 mm ² /s	硫黄分以外変化なし	不要	試験燃料② (①と③の 中間)	20～50	CCAI 860 ／セタン指 数 35	・動粘度によって ヒーティングレ ベルが変わるた め動粘度を①と ③の中間にした 燃料
C 重油 ・着火性: CCAI 860 程度 ・動粘度: 50～180 mm ² /s	着火性や動粘度に 変化あり ・着火性: CCAI 860 / セタン指数 35 程度 ・動粘度: 2～180 mm ² /s	性状変化の影響 を評価する 試験が必要	試験燃料③ (現行の C 重油)	50～180	CCAI 860 程度	・基準燃料とする

(注) セタン指数 (CI: Cetane Index) … 軽油や A 重油の着火性を示す指標。 CCAI … C 重油の着火性を示す指標。
(※) 着火性及び動粘度レベルに変化がない C 重油については、試験燃料③で評価する（低硫黄化燃料であっても、燃焼性は同等と判断）。

図 4 試験燃料の考え方および特徴

(2) エンジン

船舶にディーゼルエンジンが使用されていますが、比較的出力が小さい船では中高速の4サイクルエンジンが、大きな出力の船では低速2サイクルエンジンが使用されています。4サイクルエンジンは、中高速なために燃焼時間が短く、低速2サイクルエンジンに比べて燃料の燃焼性の影響を受けやすいエンジンです。4サイクルエンジンの中でも、回転速度が速い方が、燃焼時間に余裕がなく、燃料性状の変化に敏感と言われています。今回の試験では、回転数の異なる2種類の4ストロークエンジンを用いました。使用したエンジンの諸元、外観、特徴を表1に示します。

表1 エンジン諸元、外観、特徴

No.	1	2
タイプ	4サイクル中速エンジン	
型式	新潟原動機 6L19HX	マツイ鉄工所 MU323DGSC
定格出力／回転数	750 kW / 1000 rpm	257 kW / 420 rpm
シリンダ数	6気筒	3気筒
シリンダ径×ストローク	190×260 mm	230×380 mm
燃料噴射系	開弁圧力	35.0 MPa
	噴射ノズル	φ0.32×9穴-噴射角140°
搭載船例	499GT	199GT
外観		
特徴	中速エンジンの中で、機関回転速度が速く、ボア径の小さい機関のサンプル。機関回転速度が速いため、燃焼期間に余裕がなく、燃料性状の変化に敏感である。	中速エンジンの中で、機関回転速度が遅い機関のサンプル。機関回転速度が遅いため、燃焼期間に余裕があり、No.1エンジンに比して燃料性状の変化に鈍感である。

(3) 試験内容

試験条件、計測項目を表2に示します。

エンジン負荷率を25%、50%、75%、100%の4段階に変え、それぞれ十分に安定させた状態で圧力波形や排ガス温度、排ガス性状などを計測しました。なお、負荷率50%以上が通常の航海中の主な負荷率で、離着岸時などでは25%程度の低負荷率で航行することがありますが、低負荷での運転が長時間にならないように注意することが必要とされています。

また、本試験では、高硫黄C重油を使用している船舶が、C重油の代わりとして低硫黄燃料油を使用する状況を想定し、現状のC重油を使用する場合の運転方法と同様に、A重油で起動した後にそれぞれの試験燃料に切替えて試験を行いました。

表 2 試験条件および計測項目

燃料	試験燃料性状		試験条件		計測項目	
	動粘度 mm ² /s (50℃)	着火性	エンジン 運転条件	燃料噴射前 加熱条件	エンジン	エミッション
①	2 - 20	CI 35	船用特性 25% 50% 75% 100%	加熱なし	燃料噴射圧 筒内圧 熱発生率 着火遅れ 燃料温度 排ガス温度 冷却水温度 燃料消費量 ・ ・ ・	NO _x CO ₂ CO O ₂ THC スート PM [EC, OC]* スモーク
②	20 - 50	CCAI 860 ／CI 35		燃料加熱温度を適切に設定して実験を実施。 →メーカー推奨の動粘度範囲内に設定**		
③	50 - 180	CCAI 860		メーカー推奨の動粘度範囲内に設定		

* PM 計測は、エンジン 1 の夏季実験時のみ。

** 各エンジンメーカーの仕様による。C 重油の場合、通常は 10～20mm²/s の範囲内でエンジンごとに指定されている。

(4) 試験結果

1) 低動粘度燃料（試験燃料①）

はじめに、燃料の性状変化に敏感なエンジン 1 による、極端に小さい動粘度の試験燃料①と現行 C 重油と同等な試験燃料③との比較を紹介します。

燃焼状況に関する計測項目の例として、図 5 に着火遅れの試験結果を示します。負荷率の低下とともに、着火遅れ時間が長くなる傾向が見られますが、負荷率 50%以上では燃料による違い、季節による違いはほとんど認められませんでした。シリンダ内圧力の結果も同様な傾向が示されています。

排出ガスに関する計測項目の例として、図 6 に排ガス中の NO_xの結果を示します。負荷率の増加とともに、NO_xがわずかに増加する傾向が見られますが、負荷率 50%以上では、燃料による違い、季節による違いはほとんど認められませんでした。他の排ガス性状についても負荷率 50%以上では燃料による違い、季節による違いはほとんど認められませんでした。その他の項目の結果については、JPEC の HP にある[フォーラムの発表資料（\(19\)J-MAP 船舶・燃料研究](#)）をご覧ください。

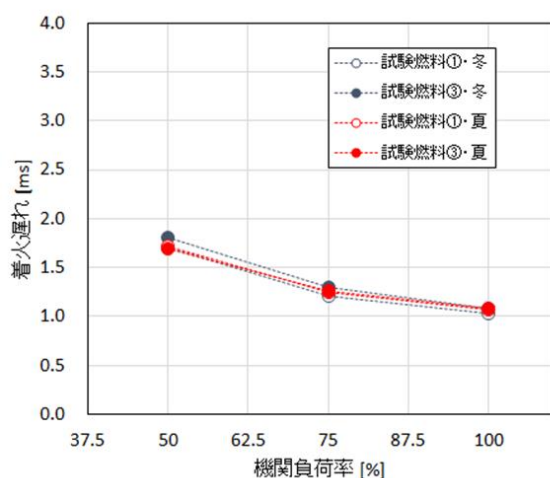


図 5 着火遅れ時間

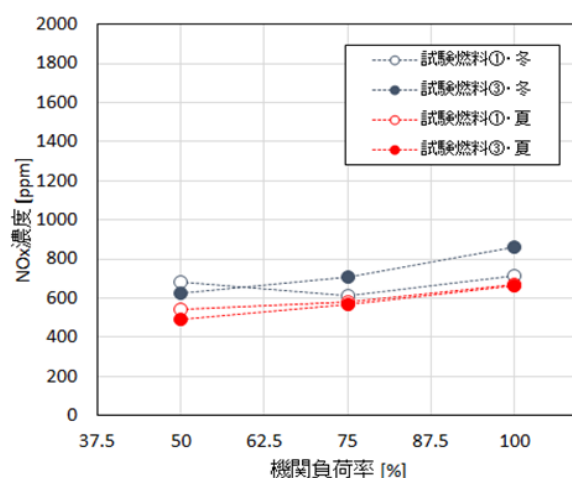


図 6 NOx濃度

2) 中間動粘度燃料（試験燃料②）

次に、中間動粘度の試験燃料②の結果について紹介します。エンジンは燃料性状に敏感なエンジン1を使用しました。

メーカーの推奨動粘度が $13 \sim 18 \text{ mm}^2/\text{S}$ でしたので、その範囲の動粘度になるように燃料を加温して調整しました。基準燃料の試験燃料③では 100°C 程度の加温が必要ですが、試験燃料②では、 70°C 程度の加温で推奨動粘度になりました。試験燃料①と同じく、負荷率 50%以上では燃料による違いはほとんど認められませんでした。

3) 燃料使用時の注意点

以上に述べてきたとおり、通常の航海中の主な負荷率である 50%以上の負荷率では、燃料による違い、季節による違いはほとんど認められませんでした。次に、従来の C 重油でも注意が必要とされている負荷での結果について紹介します。

試験燃料③と試験燃料②では、低負荷ではスートが大きく増加する傾向が見られました。このような運転を継続すると、排気管などに煤がたまるので、長時間の運転を避けるように注意することが望まれます。なお、試験燃料①では、逆に低負荷でスートが低下する傾向が見られました。

負荷率の低下とともに着火遅れが大きくなる傾向があり、負荷率 25%では試験燃料①が試験燃料③よりやや大きな着火遅れを示しました。試験燃料①では、シリンダ内圧力がやや高く、圧力の変化率も大きく、ディーゼルノック発生の可能性が示唆されました。試験燃料①と③では生じる現象は異なりますが、従来注意が必要な低負荷での長時間の運転を避けるように注意することが望まれます。

4) 低回転数エンジン試験

最後に、低回転数のエンジン 2 の試験結果について簡単にご紹介します。低回転数では、燃焼時間に余裕ができ、燃焼性状の影響は小さくなると考えられています。

試験結果は、試験燃料①と③で違いはほとんど見られず、また、低負荷域での燃焼も特段の問題はなく、エンジン 1 のような注意は必要ない、ということが判りました。

(5) 試験結果のまとめ

動粘度が大きく異なる試験燃料①、②、③について、回転数の異なる 2 つの 4 ストロークディーゼルエンジンを用いた夏季・冬季の燃焼試験を行いました。得られた主な結果を以下にまとめます。

- 1) 非常に低い動粘度の試験燃料①による燃焼試験において、負荷率が 50%以上の範囲（航海中の主な負荷率）では概ね試験燃料③（基準燃料）と同等な結果が得られ、燃料による燃焼状態の違いは小さいものでした。
- 2) 中間動粘度の試験燃料②による燃焼試験において、燃料を適切に加熱して適正な動粘度にすることで、概ね試験燃料③（基準燃料）と同等な結果が得られ、燃料による燃焼状態の違いは小さいものでした。

以上のことから、試験燃料①及び②は従来の C 重油と同様に使用できると考えられました。ただし、従来の C 重油と同様、起動時や低負荷時の運転には注意が必要です。

6. おわりに

J-MAP 事業は、昨年度に開始し、今年度で終了する予定です。今回は、船舶・燃料研究の昨年度の試験結果をご紹介しましたが、引き続き 2 ストローク船用エンジンでの試験などを行います。また、ガソリン車研究、ディーゼル車研究もほぼ計画通りに進捗しており、分解系基材の活用に資する有用な知見が得られると考えています。これらの成果について、技術報告書として公開するとともに、JPEC フォーラムなどで広く紹介する予定です。

特集

調査報告

「IMO燃料油規制に関する国際機関及び諸外国の対応動向調査」

1. はじめに

船舶燃料油の 0.5%硫黄分規制は、第 70 回海洋環境保護委員会（MEPC70 : Marine Environment Protection Committee）において、排出規制区域（ECA : Emission Control Area）を除く全海域において 2020 年 1 月 1 日から施行されることが決定されています。尚、ECA 海域（排出規制海域：バルティック海、北海の一部海域および、北米の沿岸、カリブ海の一部海域が指定されている）は、2015 年 1 月より 0.1%を上限值とする規制が既に施行されています。

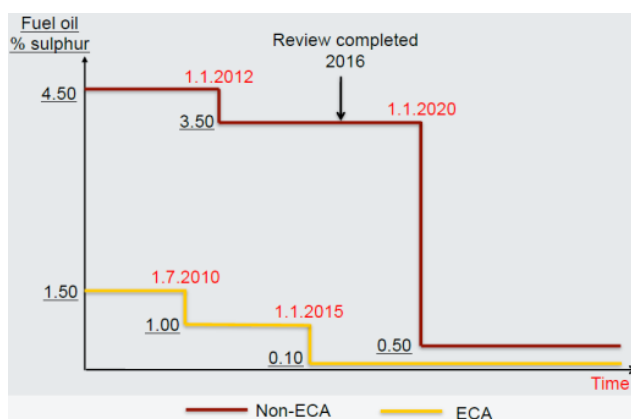


図 1.1 船舶燃料油の硫黄分規制の推移

出所：IMO HP

2017 年度調査では、2020 年の新規規制施行にあたり、低硫黄船舶燃料油の供給可能性、船舶燃料油の価格見込み、新規規制適合油の品質規格、船舶会社の対策であるスクラバーの設置隻数と設置の課題、LNG 船導入の見込みを調査しました。世界主要国の 2030 年までの油種別船舶燃料油の需給見込みについて推定しました。世界各地域における油種別の船舶燃料油の供給と世界的な流通フロー、2020 年新規規制適合油のブレンド基材の種類とそのブレンド割合などの見通しについて推定しました。

調査の結果、世界船舶燃料油の需要は、2030 年まで増加すると予想されました。2020 年からの新規規制に伴い、HSFO の需要が急減し、Gas Oil と LSFO 需要が増加しますが、2020 年以降の船舶

燃料油の供給能力は、需要を確保できる見通しです。また、地域別需要では、アジアは 2016 年の世界全需要の 44%でしたが、2030 年には 46%を占め、引き続き一大需要地である見込みです。

2020 年以降、スクラバー設置数の増加に伴い、Gas Oil 需要が減少し、HSFO 需要が回復すると予想されました。スクラバーの設置は、資本の確保、ドライドック等の設置環境と廃水等の回収インフラ、船体構造等の課題を抱えていることを報告しました。

2. 調査内容

2020 年からの船舶燃料油の硫黄分規制施行により、船舶用燃料の国際需給環境が大きく変化することから、国内での船舶用燃料供給における規制遵守に係る政策立案の参考資料とするため、欧米 ECA 及びアジア地域におけるエンフォースメント動向、スクラバー、LNG 船の導入状況等の船舶燃料需給に影響を与える海外船舶業界の規制対応動向、新規規制適合燃料油の供給、品質対応動向等の海外石油業界の規制対応動向について調査しました。

また、国際標準化機構（ISO）は、公開仕様書（PAS : Publicly Available Standard）の策定を進めていて、新規規制適合油の製品設計と品質保証の参考資料とするため、ISOWG の品質規格改定状況の情報収集を実施しました。

本調査は、2020 年 1 月 1 日からの船舶燃料油の硫黄分規制を円滑に施行するため、燃料油規制対策の参考とする調査をしました。

3. 欧州及びアジアにおけるエンフォースメント動向

諸外国は、IMO の MARPOL 条約とは別に独自の環境規制を施行しています。我が国の環境規制政策の参考とするため、欧州、アジア主要国（中国、シンガポール）の独自環境規制の内容、船舶燃料油の監視体制、燃料油検査方法等について調査を実施しました。

（1）欧州

① スクラバーからの排水禁止区域

欧州では、2019 年 2 月現在、以下の区域がスクラバーの排水禁止区域に指定されています。
ドイツの河川および港湾、ベルギー沿岸 3 海里以内の水域および港湾、アイルランド（ダブリン港湾、ウォーターフォード港湾）

② 欧州連合加盟国に寄港する船舶における燃料油のサンプリング基準

2015 年 2 月、COMMISSION IMPLEMENTING DECISION (EU) 2015/253 により、本船上で使用する燃料油の硫黄分濃度の確認のため、欧州連合加盟国が寄港国の検査時に実施する検査の方法やその頻度が定められました。

1 年間に加盟国に寄港する船舶のうち、少なくとも 10%の船舶について、当該加盟国が航海日誌及び燃料油供給簿を検査することとなっています。さらに、2016 年 1 月 1 日以降、上述の検査を受ける船舶のうち、少なくとも以下に掲げる割合で、本船上に保管されている燃料サンプル、船上でのスポットサンプリングにより採取されたサンプルのどちらか、または、両方の分析が実施されることとなっています。

- 1) 排出規制海域^{*)}のみに面している加盟国に寄港する船舶： 40%
 - 2) 排出規制海域^{*)}に部分的に面している加盟国に寄港する船舶： 30%
 - 3) 排出規制海域^{*)}に面していない加盟国に寄港する船舶： 20%
- (2020 年 1 月 1 日以降は 30%)

* 排出規制海域：MARPOL 附属書 VI 第 14 規則 3.1 にて規定されるバルト海海域及び北海海域

(2) 中国

① オープンループタイプスクラバーの使用禁止。

2019 年 1 月 1 日より ECA と河川地域でオープンループタイプスクラバーの使用を禁止しました。

② 中国独自 ECA

中国海事局 は、既存の海上燃料規制の変更を 2018 年 12 月 12 日に公布しました。その内容は、2019 年 1 月 1 日より中国独自 ECA は、中国本土の海岸線全体（沿岸 12 海里）に拡大しました。海南水域（海南島周域）と河川区域（長江と西江）に規制区域（図 3.1 参照）を設けました。また、船舶が中国独自 ECA に入る場合、燃料油の硫黄分を 0.5%以下に制限しました。※

大型河川船と河川－沿岸航行船は、新たに制定された規制適合燃料油、その他河川船は国Ⅳ基準の軽油としました。2020 年 1 月 1 日より、船舶が河川規制区域に入る場合は、燃料油の硫黄分を 0.1%以下、さらに、2022 年 1 月 1 日より、海南水域において、燃料油の硫黄分を 0.1%以下とする予定する計画があります。

※ 規制区域：中国本土の海岸線全体、海南水域、河川制限区。
航行時と停泊・錨泊時の区別なし。

上記の執行状況に応じて、2025 年 1 月 1 日より、燃料油の硫黄分 0.1%以下規制を中国独自 ECA 全域に拡大することを検討する予定となっています。

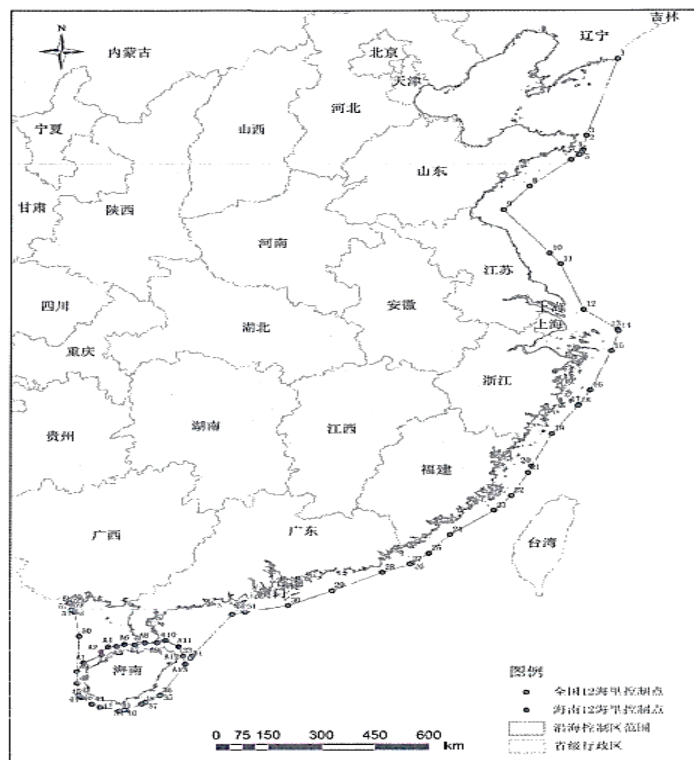


図 3.1 中国排出規制区域

出所：中国海事局 HP

(3) シンガポール

① オープンループタイプスクラバーの使用禁止。

2020 年 1 月 1 日よりオープンループタイプスクラバーの使用を禁止。

② バンカリング基準（SS600）

文書管理、設備、手続き、供給される船舶燃料油の品質などのバンカリング基準に準じてバンカリングを実施しています。納品前、実際の納入、納品後の点検と文書化を網羅し、船主、運航業者、傭船業者、バンカーサプライヤー、バンカータンカーオペレーター等のために作成されました。

③ LNG バンカーのテクニカルリファレンス（TR）56

シンガポールの LNG バンカー手続において、LNG の包括的な標準ガイドラインがなかった為、シンガポールの産業界をサポートするために作成されました。LNG バンカーリングサプライチェーンに関与するすべてのステークホルダーが対象となります。

④ 船舶燃料油のサンプリング手順

船舶燃料油の採取サンプルは、サーベイヤー、船舶保存用、MARPOL、試験用、船舶燃料油の供給会社向けの 5 つとなります。

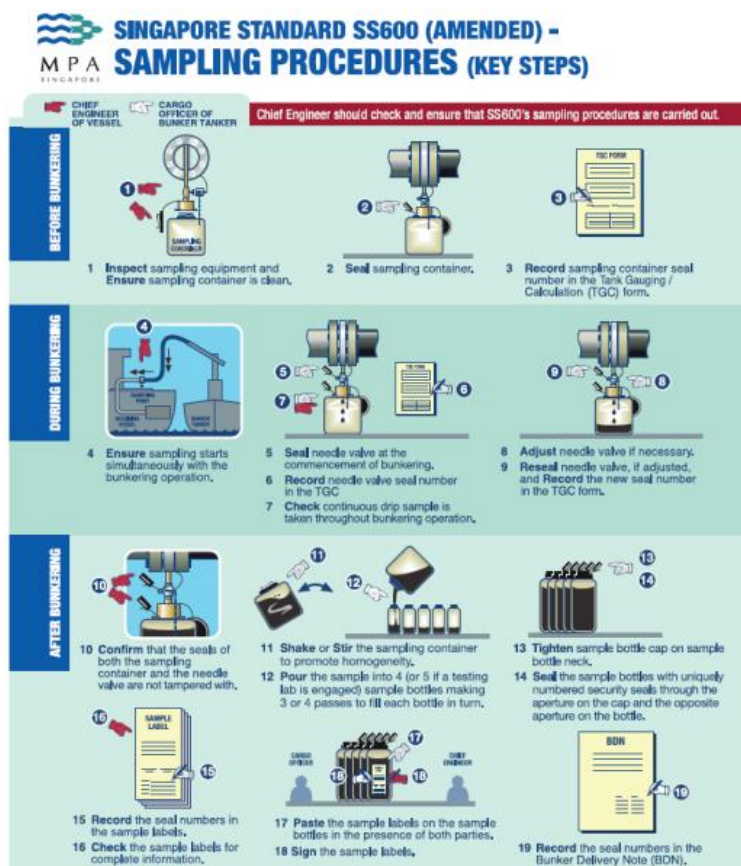


図 3.2 船舶燃料油のサンプリング手順

出所：シンガポール海事港湾庁 HP

4. 船舶業界の規制対応動向

(1) スクラバーの設置見込み数

当センターの 2017 年度調査「国内外における低硫黄船舶燃料の今後の生産動向調査報告書」において、全世界の小型船を含めた約 90,000 隻ある中で、2020 年までにスクラバーが設置される隻数を 1,500～2,500 隻と予想しました。

2017 年度の調査結果の精査、経済情勢の変化、船舶会社の方針転換等による最新のスクラバーの設置見込み数の情報を収集しました。

① Marine and Energy Consulting Limited 社

該社は 2020 年までに 3,200 隻にスクラバーが設置されると推定しました。当センターの 2017 年度調査に比べて、若干多く推定されています。また、コストメリット、船体構造等の理由からレトロフィットより新造船にスクラバーが多く設置されると見込んでいます。

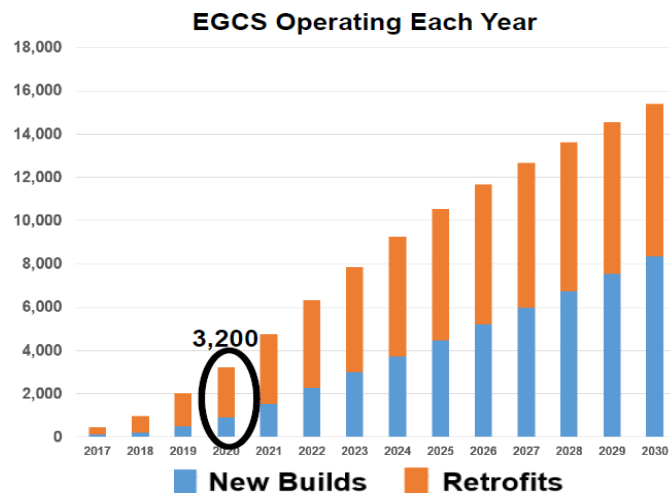


図 4.1 スクラバーの設置見込み数

出所 : Marine and Energy Consulting Limited 社 2018

② 排ガス洗浄装置協会（EGCSA:Exhaust Gas Cleaning Systems Association）

2018 年 5 月末日時点における世界のスクラバー設置（オーダー済みも含む）隻数は 983 隻、スクラバー数は 1,561 基（船舶に複数設置している場合あり）でした。

内訳は、983 隻の内、レトロフィットが 63%、新造船が 37%。1,561 基のうち、オープンループが 63%、ハイブリットが 37%となっています。アジアのドライドックで 59%のスクラバーが設置されており、残りは欧州 28%、北米 8%となっています。尚、2020 年までに 2,000～3,000 隻が設置すると見込まれています。当センターの 2017 年度調査とほぼ同等のスクラバー設置隻数と推定されています。

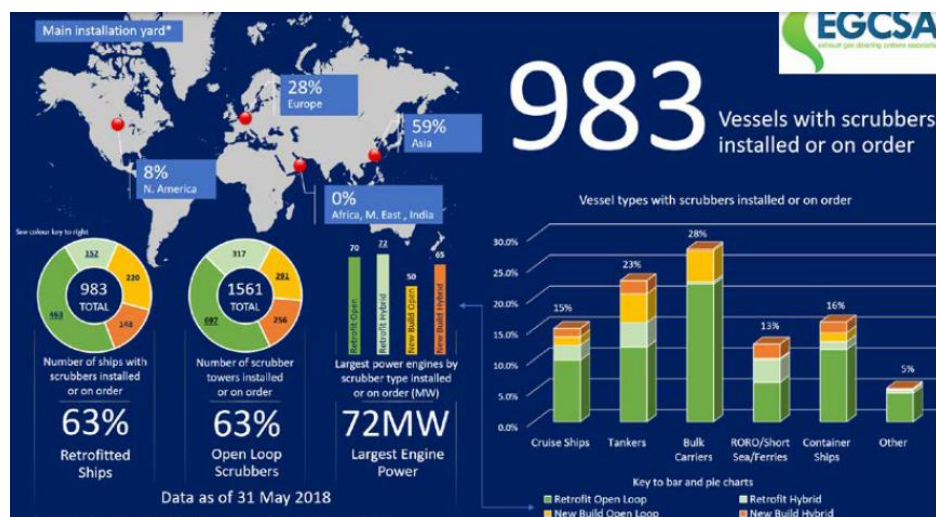


図 4.2 スクラバーの設置見込み数

出所 : Exhaust Gas Cleaning Systems Association, Scrubber system 2020

③ FACTS GLOBAL ENERGY 社

2017 年度の該社調査報告書によると、2020 年までに約 4,000 隻にスクラバーが設置され、ピークの 2020 年～2021 年に年間 3,000 隻に設置されると推定していました。スクラバーは、主に大型船に設置されると推測しています。該社の 2018 年度調査では、2022 年までの設置船隻数を約 7,000 隻から下方修正しています。

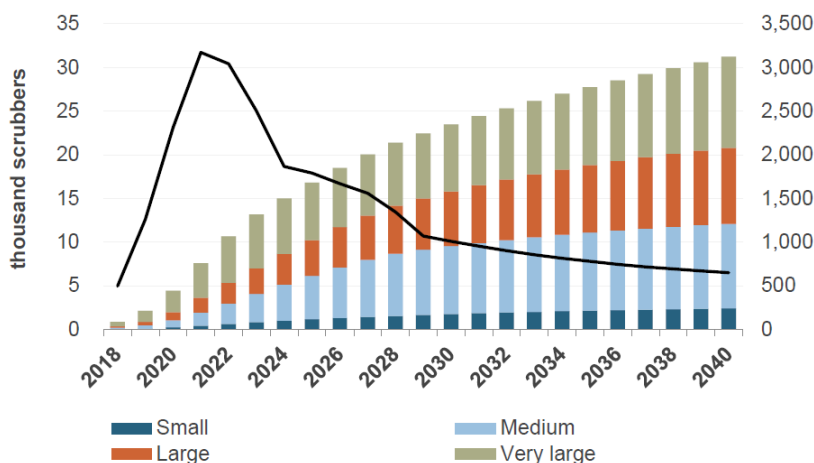


図 4.3 スクラバーの設置見込み数

出所：FACTS GLOBAL ENERGY 社 2018

(2) レトロフィットによるスクラバー設置事例

日本国内のスクラバー設置は、外航船中心に進められており、2020 年まで国内のドックの空きがない模様です。当初、タンカーは、船体構造よりスクラバー設置が困難と見られていたが、タンカーへのスクラバー設置が進められていることも確認されています。

ここでは、IMO 規制の他、レトロフィットによるスクラバー設置の事例紹介を中心に設計、工事工程、課題等を説明します。

① 同等措置承認

1) 一般的な承認手順

IMO は、低硫黄船舶燃料油の代替として旗国政府が認めた場合、スクラバーによる対応が可能となります。一般的な承認手順は、以下となります。

ア) 船級：適合確認を実施、鑑定書を発行した後、旗国へ報告する。

イ) 旗国：同等措置を承認後、レターを発行し、IMO へ通知する。

ウ) 船級：国際大気汚染防止証書 (IAPP : International Air Pollution Prevention Certificate) を発行する。

2) 一般財団法人日本海事協会の鑑定手順

鑑定手順において、スクラバーの承認以外に排ガス監視装置の承認も必要なため、ほぼ全ての船舶会社は、以下のスキームを採用しています。

ア) 船上保管図書、試験方案等の承認

条約上、メーカーが作成し、6ヶ月前に提出する。

イ) スクラバーメーカーによる調整後、運転試験等の検査を実施する。

(排水分析のためのサンプリングを含む。試験結果が不合格の場合は、NG となる。)

ウ) 分析結果を日本海事協会へ提出する。

エ) 適合確認を行い、旗国政府へ報告する。

ア)～エ)の手順が必要ですが、実際は、船舶の稼働をふまえ、ア)の完了後に排水サンプルを採取し、船舶は一旦ドックから離れます。ウ)、エ)の手続きは、後日、分析結果を受けてから進められる。

② レトロフィットによるオープンループタイプスクラバー搭載工事の実例

1) スクラバーの工期短縮の工夫

バラスト水対策工事の経験をスクラバー搭載工事に応用させ、多量の工事部材が事前に製作されます。既存の煙突を全て撤去し、スクラバー搭載済み煙突ブロックを一括搭載することで、改造対象船の入港後工期を短縮します。

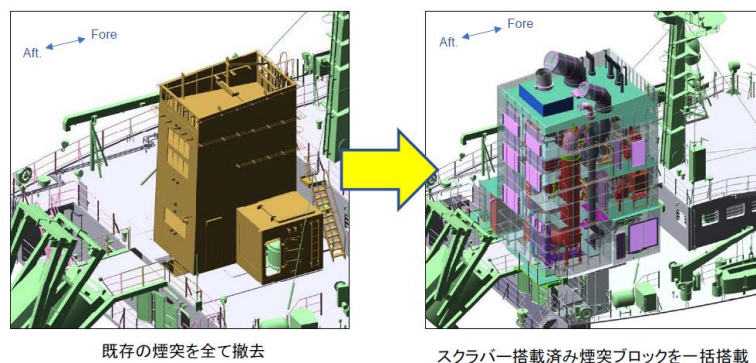


図 4.4 スクラバーの工期短縮の工夫

出所：Class NK Sox スクラバーレトロフィットに関するワークショップ

2) 各主要機器の搭載例

図 4.5 に示す通り、スクラバーは、主に Absorber 部と Jet 部で構成されています。排ガス導入部分は、高温の排気ガスと冷却用の海水を考慮し、耐腐食材質としています。メンテナンスから、スクラバー本体の全周に通行可能なスペースを確保しています。メンテナンスハッチ、配管接続フランジは、周方向に調整可能としています。

スクラバーの配置計画における重要な制約事項として、スクラバー直下の排水管は、2m の直管が必要（気液分離領域）です。また、レーダーへの影響を考慮してスクラバーは、なるべく

レーダーより低く設置しなければなりません。いかにスクラバーをレーダーより低く設置するかが、ポイントとなります。当該工事は、エンジンからスクラバーまでの配管スペースを確保するため、倉庫、居住区の一部を潰す可能性があります。

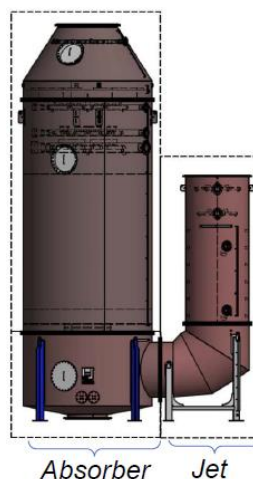


図 4.5 スクラバーの概要図

出所：Class NK SOx スクラバーレトロフィットに関するワークショップ

3) 工事工程

工事工程を組むときのポイントは、ドック工事の短縮化のためにスクラバーの据え付け（新ファンネルの設置）を優先的に渠中での工事の順序を最適化します。船体上部での火気作業を優先に上下方向（スクラバー本体側とエンジン側配管）での混在作業を考慮します。

海上作業を考慮して GRE 配管（船舶用高耐食長寿命グラスファイバー繊維補強エポキシ樹脂パイプ）の敷設タイミング、入港前にできる工事資材の保管や居住区の工事発生等の準備を乗組員に一部依頼するのが得策です。

ドックでの工事が完了し出港後、スクラバー排水の成分分析（約 2 週間）、船級承認手続き（分析結果の提出）を実施して証書を受け取ります。

5. 石油業界の規制対応動向

新規制適合油の性状、供給体制は、メジャー中心に公表され始めています。ここでは、シェル、BP、エクソンモービル、台湾中油の動向を紹介します。

(1) 新規制適合油に関する供給情報

① シェル

0.5%硫黄分 MGO の出荷基地は、欧州、北米、アフリカ、アジアで入手可能である見込みですが、0.5%硫黄分 VLSFO の出荷基地は、欧州、北米、モーリシャス、シンガポールに限定される見込みです。0.5%硫黄分 MGO は留出系、0.5%硫黄分 LSFO は留出油と残渣油のブレンドで生産される見込みです。自社製品の単独安定性は評価済みで、ユーザーの要望に応じて、新規制適合油の新規販売とサンプルワークを実施します。



図 5.1 シェル 低硫黄船舶燃料油の油種別出荷基地

出所：シェルデータを元に JPEC 作成

② BP

BP の 2020 年新規制施行後の製品ラインアップは、HSFO（スクラバー設置船用の高硫黄船舶燃料油）、VLSFO（0.5%硫黄分の船舶燃料油）、MGO（0.1%と 0.5%硫黄分の船舶用軽油）を予定しています。VLSFO は、留出油と残渣油をブレンドして生産するため、単独安定性と他製品との混合安定性に留意しています。シンガポールでは、2019 年 Q4 に高硫黄品から低硫黄品へのタンク切り替え時期を予定しています。

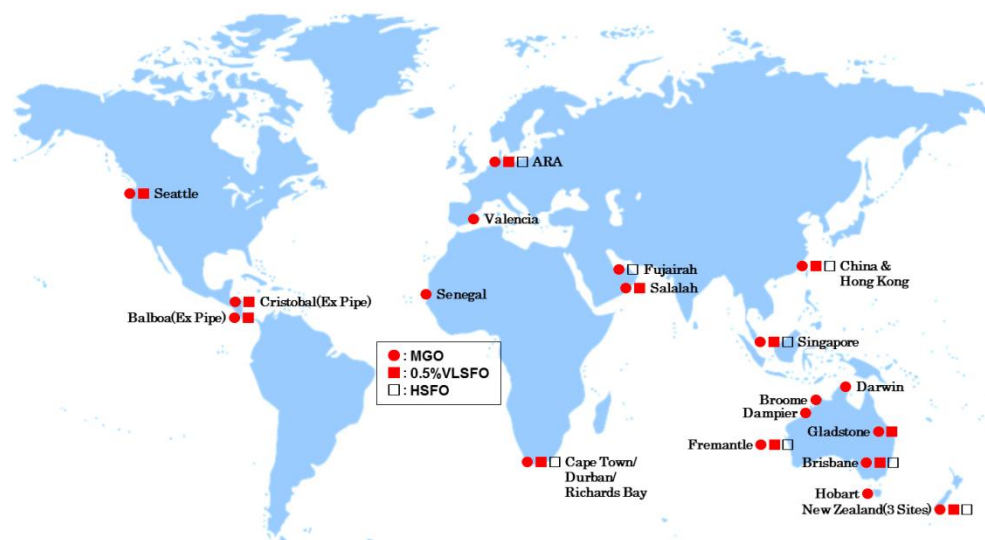


図 5.2 BP 低硫黄船舶燃料油の油種別出荷基地

出所：BP データを元に JPEC 作成

③ エクソンモービル

エクソンモービルの 2020 年新規制施行後の製品ラインアップは、RMD (Max80cSt)、RMG (Max380cSt) を予定しています。出荷基地は、7 港(Antwerp、Rotterdam、Genoa、Marseilles、Singapore、Hong Kong、Laem Chaebang (タイ) (2018 年 10 月公表))を予定しています。



図 5.3 エクソンモービル低硫黄船舶燃料油の油種別出荷基地

出所：エクソンモービルデータを元に JPEC 作成

④ 台湾中油（CPC Corporation）

台湾は、2019 年 1 月 1 日よりこの規制を同国に入港するすべての外航船舶に実施すると発表しました。CPC は、2019 年 1 月 2 日より 0.5%新規制適合油（MF-180(0.5%)）を基隆、台中、高雄、花蓮で供給を開始しました。MF-180(0.5%)の性状は、動粘度 max.180cSt、密度 0.991kg/ℓ、引火点 60℃となっています。

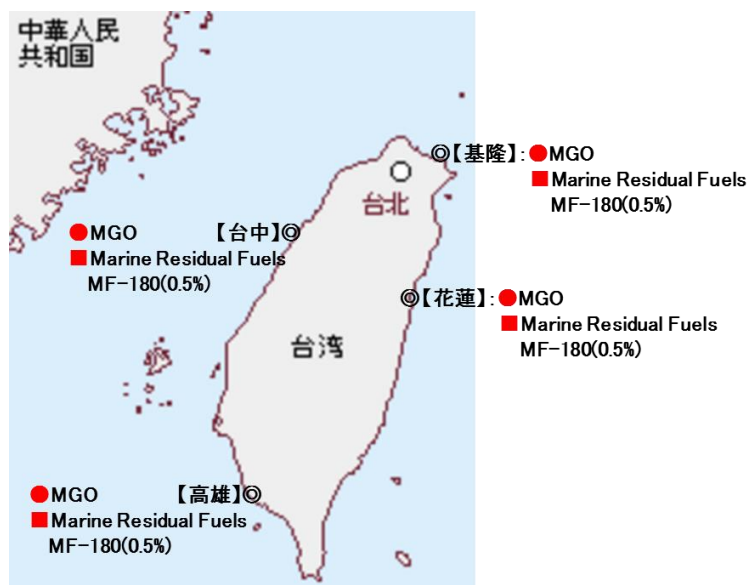


図 5.4 CPC 低硫黄船舶燃料油の油種別出荷基地

出所：台湾中油 HP、S&P Global Platts データを元に JPEC 作成

6. ISO規格改定の動向

(1) ISO8217 の規格改定

ISO は、2019 年 5 月開催予定の MEPC74 までに新規制適合油規格の作成を完了するように IMO から正式に要請されました。ISO 規格は通常、市場に流通している商品・製品を基に、2-3 年かけて規格を策定しますが、現状、0.5%燃料は流通していないため、0.5%燃料特異の問題点に対処する為のガイドラインとして公開仕様書（PAS）を策定することが、ISOWG で合意されました。2020 年以降に 0.5%燃料が流通したのち、検討期間を設け、置き換えることを想定しています。

今回策定される PAS は、PAS 23263 で、名称は、「2020 年からの硫黄分 0.5%規制を考慮した、船舶燃料の品質に関する燃料供給者及び使用者の為の検討事項」です。PAS 23263 では、既存の留出油系規格と残渣油系規格ともに変更せず、単独安定性と混合安定性の試験方法の選定検討、船舶燃料の重要特性である動粘度・低温流動性・単独安定性・着火性・触媒微粒子に関する注意事項について、検討事項を絞ることになりました。

(2) 新規制適合油の単独安定性および混合安定性

単独安定性試験は、TSE、TSP、TSA が現行の試験方法となっていますが、今後想定される燃料品質に対して単独安定性を適切に測定でき、また、同時に混合安定性も測定できる試験方法を選定することが優先課題となりました。

- ・ Total Sediment Existent (TSE) : SO10307-1

試料を 100℃に加熱して、濾紙を通して得られる濾紙に残存するスラッジ量。

- ・ Total Sediment Potential (TSP) : ISO10307-2A (Thermal Aging)

試料を 100℃で、24 時間置いて、濾紙を通して得られる濾紙に残存するスラッジ量。

- ・ Total Sediment Accelerated (TSA) : ISO10307-2B (Chemical Aging)

試料の 10vol%のヘキサデカンを加えて、100℃で、1 時間置いて濾紙を通して得られる濾紙に残存するスラッジ量。

- ※ TSE は DM グレードの DMB と DFB で規格化され、上限値 0.10%、TSP と TSA は、RM グレードで規格化され上限値 0.10%となっている。RM グレードは、TSP または TSA どちらか一方を測定すれば良いとされている。

混合安定性試験は、ASTM D 7060、ASTM D 7112、ASTM D 7157 の 3 試験法に絞られています。混合する予定の 2 つの単独燃料が、どの混合比率であれば安定か、不安定かを予測する試験方法で、実際に混合することなく、予測することが出来る試験方法の検討として、それぞれの試験方法での分析結果とその予測値の精度を確認する為に、実混合品での混合率を変えた TSA・TSP 結果と比較しました。

上記の確認試験結果を踏まえて、ISOWG では PAS の内容を検討しました。検討は完了しており、各国の認証機関に対して、検討内容に対する意見（賛成・反対）を求める投票期間を 6 月中旬まで設けています。賛成が過半を越えれば、意見を反映させ、PAS は 8-9 月に正式に出版されることとなります。

7. まとめ

（１）欧米 ECA（排出規制海域）及びアジア地域におけるエンフォースメント動向

欧州各国は、2015 年 ECA 施行時よりスクラバー排水禁止区域の指定や燃料油サンプリング基準の制定・実施と独自規制を進めています。アジアでは、中国が前倒しで船舶燃料油の硫黄分規制施行を実施しています。シンガポールは、独自の詳細な燃料油サンプリング、LNG バンカリングの規程を作成しています。

（２）船舶業界の規制対応動向

2020 年までに設置されるスクラバーは 2,000～3,000 隻と推定され、運転管理が容易かつ港で廃液とスラッジの回収がないオープンループタイプの設置が多くなっています。

（３）石油業界の規制対応動向

新規制適合油の供給情報を公開した石油会社は、メジャーが中心です。アジアの石油会社の中で唯一、台湾中油が 2019 年 1 月より新規制適合油を供給しました。

（４）ISO 規格改定

PAS 23263 では、既存の留出油系規格と残渣油系規格ともに変更せず、単独安定性と混合安定性の試験方法の選定検討、船舶燃料の重要特性である動粘度・低温流動性・単独安定性・着火性・触媒微粒子に関する注意事項について、検討事項を絞ることになりました。検討結果は MEPC74 で報告予定であり、承認後、8-9 月に公開する予定です。

本報では、海外政府のエンフォースメント動向、船舶業界の規制対応動向、石油業界の規制対応動向、ISO 規格改定動向について紹介しました。今後も IMO 船舶燃料油の硫黄分規制に関する情報を継続して収集してまいります。

本調査は経済産業省の「平成 30 年度石油精製に係る諸外国における技術動向・規制動向等の調査・分析事業（石油精製に係る環境規制等に関する調査）」として JPEC が実施しました。

一般財団法人 石油エネルギー技術センター

ホームページアドレス <http://www.pecj.or.jp/>

本部 〒105-0011 東京都港区芝公園 2 丁目 11 番 1 号 住友不動産芝公園タワー

●総務部	TEL・03(5402)8500 FAX・03(5402)8511	
●調査情報部	8502	8512
●技術企画部	8503	8520
●自動車・新燃料部	8506	8527
○水素利用推進室	8513	8527
○自動車・燃料研究(J-MAP)	8505	8520

石油基盤技術研究所

〒267-0056 千葉県千葉市緑区大野台 1 丁目 4 番 10 号
TEL: 043 (295) 2233 (代) FAX: 043 (295) 2250

米国長期出張員事務所

Japan Petroleum Energy Center (JPEC)
Chicago Office
(c/o JETRO Chicago Center)
1 E. Wacker Dr., Suite 3350, Chicago, IL 60601, USA
TEL: +1-312-832-6000 FAX: +1-312-832-6066

欧州長期出張員事務所

Japan Petroleum Energy Center (JPEC)
Brussels Office
Rond-point Robert Schuman 6, 1040 Bruxelles Brussels-BELGIUM
TEL: +32-0-2-234-7922

中国長期出張員事務所

北京市朝陽区建国門外大街甲 26 号
長富宮井公楼 401
郵便 100022
TEL: +86-10-6513-9832 FAX: +86-10-6513-9832



無断転載を禁止します。