

## 解 説 1

## IMO (国際海事機関) による船舶用燃料油の硫黄分規制強化とその影響

JX リサーチ株式会社  
エネルギー経済調査部  
しみず たろう  
清水 太郎



JX リサーチ株式会社  
エネルギー技術調査部  
みつや じゅんいち  
三屋 淳一



## 1. はじめに

IMO (International Maritime Organization: 国際海事機関) は、世界の一般海域における船舶用燃料油の硫黄分含有率の上限を、現行の 3.5mass% から 2020 年 1 月 1 日以降は 0.5mass% に引き下げることを選定した。この規制強化は海運業界に大きな影響を与えることはもちろん、船舶用燃料が高硫黄重油の主要な市場であるため、世界の石油製品需給にも多大な影響を及ぼすことになろう。本稿では、規制の概要、対応策、燃料需給・価格へのインパクトについて解説する。

## 2. IMO による船舶用燃料の硫黄分規制の概要

IMO は、国連の専門機関の 1 つで 1958 年に設立 (本部はロンドン) され、2017 年 12 月現在、172 カ国が加盟、香港等 3 地域が準加盟している。MARPOL 条約 (船舶による海洋汚染の防止のための条約) の 2008 年改正により、附属書 VI (船舶からの大気汚染の防止) で船舶用燃料の硫黄分規制を 2010 年以降、順次強化することが決定された。同条約ではまた、対象海域が ECA (Emission Control Area: 排出規制海域) と一般海域に区分されており、ECA ではより厳しい規制が実施されている。図 1 および図 2 は規制強化のスケジュールおよび ECA の対象海域を示したものである。



図 1 IMO による船舶用燃料の硫黄分規制スケジュール



図 2 ECA (排出規制海域)

## 3. 規制への対応策

この硫黄分規制に対する主な対応策を表 1 に示した。対応のための設備投資は石油精製会社が行う場合と船会社が行う場合に分かれるが、いずれも海運業にとってはコストアップになり、荷主、ひいては消費者へのコスト転嫁が不可避となろう。

表 1 IMO による船舶用燃料油硫黄分規制への対応策 (まとめ)

	ECA (排出規制海域) 2015 年 1 月 1 日以降 (S 分 0.1mass% 以下)	一般海域 2020 年 1 月 1 日以降 (S 分 0.5mass% 以下)	設備投資の主体
①規制適合油の使用			石油精製会社
軽油留分	現状の主な対応策	LS 重油の供給力は東アジア・中東などに限定されるが、IMO は軽油留分とブレンド油を含めて全世界的に供給力ありと判断。	
LS 重油			
ブレンド油	一部で使用		
②スクラバー*搭載・HS 重油継続使用	一部の船舶で対応するも本格的には普及していない。	新造船などで導入検討中。	船会社
③ LNG 燃料船	北欧などで導入実績	新造船で導入検討中	船会社

\*船上設置の排ガス浄化装置。低硫黄燃料油使用の代替措置として IMO が認めている。

### 3.1 規制適合油 (低硫黄燃料油) の使用

既に2015年から硫黄分0.1 mass %以下の規制が実施されているECAにおいては低硫黄の軽油留分(MGO: Marine Gas Oil)の使用が対策の主流となっている。表2は世界の国際船舶向けの軽油(我が国のA重油相当品を含む)および重油の供給実績である。ECAのある欧米では2015年には前年対比で、軽油が増加し重油が減少した<sup>注1</sup>。MGOの価格は高硫黄(HS)重油対比で200\$/トン程度割高であり、船会社にとっての負担は大きい。

表2 国際船舶用燃料の地域別供給実績(2015年)

単位:百万トン

	北東 アジア	シンガ ポール <sup>注2</sup>	中東	欧州・米 国 (ECA)	その他	世界計
軽油 (前年比)	4.0 (+1.3)	1.7 (+0.4)	0.8 (+0.1)	14.7 (+5.8)	20.6 (+3.4)	41.8 (+11.0)
重油 (前年比)	28.6 (+3.5)	43.4 (+2.3)	26.6 (+2.4)	27.5 (▲6.9)	41.2 (▲2.8)	167.3 (▲1.5)

北東アジア:日本、韓国、中国、香港、台湾

欧州:ECA 海域を含む北海、バルト海沿岸諸国(地中海側は除く)

出所:IEA World Energy Statistics

注1:ECA内では軽油を使用する船舶でも、大洋に出れば重油を使用するので、積み込み数量としては欧米でもなお重油の数量のほうが大きい。

注2:シンガポールは国際バンカー(船舶用燃料)の1/4を供給しているが、地元の製油所における生産量はわずか2.1百万トンであり、大部分を世界各地から輸入している。当地には大手石油トレーダーやバンカー専門業者などがタンクを保有してバンカーのトレーディングを行っている。

2020年に始まる一般海域での規制はS=0.5mass%以下であるが、いわゆる低硫黄(LS)重油の供給力は、重油の直接脱硫装置の能力が大きい北東アジアおよび中東に限定されると見込まれている。一方、IMOは軽油留分とLS重油基材をブレンドしたLSブレンド油ならば、全世界的に供給が可能と判断して、今回の規制強化を決定した経緯にあるが、この場合、供給地によって品質のばらつきが大きくなる懸念がある。規制適合油の品質および供給力の問題については、第4章および第5章で詳述する。

### 3.2 スクラバーの使用

船内に、スクラバー(Exhaust Gas Cleaning System:排ガス浄化装置)を設置してこれを運転すれば、引き続き割安なHS重油を使用することが可能である。スクラバーの方式としては、次の3つがある。

- ①オープンループ方式:海水(概ねpH=8以上の弱アルカリ性)で排ガスを洗浄し、洗浄水は浄化処理後、海洋に排水する。コスト安だが、洗浄水の排出規制のため使用不可能な港湾・海域もある(ドイツ、ベルギー、米国カリフォルニア州など)。
- ②クローズドループ方式:排ガス中の硫黄酸化物をアルカ

リ水溶液で中和し、洗浄した水溶液は循環使用する。廃液処理コストがかかり、アルカリ剤(苛性ソーダなど)の入手、保管コストが大きい。

- ③ハイブリッド方式:一般海域ではオープン方式、ECAではクローズド方式、といった運転方式の切り替え可能なもの。設置コストは大きい。

大型船では、スクラバー設置の設備投資は数億~10数億円かかるが、燃料消費量が大きいので2~3年で投資回収可能と試算される。ただし、オープンループ方式の場合の洗浄水排水に対する規制強化への懸念や、設置により船荷積載スペースが減少するため、現状は、スクラバーを使用する意向の船会社は少数である。

また、既存船を改造(レトロフィット)してスクラバーを設置するコストは、新造船に導入する場合と比べて割高になるので、スクラバーの設置は主に新造船を対象に行われるものと考えられる。さらに、設置工事のためにドックを確保する問題もあり、現在世界を航行する約10万隻の船舶のうち、2020年までにスクラバーの設置が可能なのは最大3,000隻程度といわれている。

### 3.3 LNG燃料船の導入

LNG(液化天然ガス)は硫黄分がほぼゼロで、かつCO<sub>2</sub>排出量も石油系燃料と比べて少ないため、LNG燃料船は、2020年からの硫黄分規制対策に加えて、今後一段と強化が予想されるCO<sub>2</sub>排出規制への対策としても有効である。

一方、LNG燃料船には、低温のLNG燃料タンクの設置など、大型船で数十億円以上の投資が必要とされ、また、LNG燃料供給インフラが世界全体としては未整備であるため、現状はノルウェー沿海のフェリーなどへの導入に留まっている。さらに、現状の原油と天然ガスの価格状況ではLNG燃料船導入の経済性は低い。

ただし、ロッテルダムなど欧州沿岸の港湾ではLNG燃料供給インフラ整備が進行中であり、また、世界最大の船舶燃料供給地であるシンガポールでもインフラのプロジェクトがあり、さらに、大型コンテナ船などへの導入の検討も一部でなされている。

## 4. 規制適合油の品質問題

2020年時点においては、前章で示した対応策のうち燃料油側での規制対策である適合油の品質について、想定される課題を述べる。

### 4.1 船舶用燃料油の現行規格

国際船舶用燃料油は、一般には船舶用ガスオイル(MGO: Marine Gas Oil)、船舶用ディーゼルオイル(MDO: Marine Diesel Oil)、船舶用重油(IFO: Intermediate Fuel Oil)などの名称で分類して呼ばれている。それらの品

質は、国際標準化機構 (ISO : International Organization for Standardization) の ISO 8217 クラス F に規定されている。この国際規格では、船舶用燃料油は留出燃料油と残渣燃料油に分類され、留出燃料油は 4 グレード、残渣燃料油は 11 グレードに分けられている。代表的な ISO 品質基準を表 3 に示す。JIS 銘柄との対応では DMA は軽油、DMB は A 重油に相当する<sup>1)</sup>。

表 3 船舶用燃料油 ISO 品質基準 (ISO 8217 より抜粋)

一般名称			留出燃料油		残渣燃料油				
			MGO	MDO	IF0180			IF0380	
項目	単位	限界	DMA	DMB	RMA10	RMB30	RMD80	RME180	RMG380
硫黄分	mass%	Max	1.0	1.5	法規制に準拠				
動粘度 (40°C)	mm <sup>2</sup> /s	Max	6.0	11.0	10.0	30.0	80.0	180.0	380.0
	mm <sup>2</sup> /s	Min	2.0	2.0	(50°C)				
密度 (15°C)	kg/m <sup>3</sup>	Max	890	900	920	960	975	991	991
流動点 (冬用)	°C		-6	0	0	0	30	30	30
	(夏用)	°C	0	6	6	6	30	30	30
セタン指数		Min	40	35	-	-	-	-	-
CCAI		Max	-	-	850	860	860	860	870

出所) ISO 8217 : 2017 (留出燃料油) および ISO 8217 : 2012 (残渣燃料油) を基に JXリサーチ (株) が作成

#### 4.2 2020年からのIMO規制適合油の品質とその問題点

規制適合油の品質については、2017年7月に開催されたIMOの第71回海洋環境保護委員会において、ISOへ規制適合油国際規格化を要請することが決定された。

IMO 規制適合油の規格項目は硫黄分 0.5mass% 以下とともに、基本的には現行の船舶用燃料油 ISO 規格に規定されている各品質項目についても規格化されると考えられる。このなかで低硫黄燃料油の品質に関して、特に注目されているのが動粘度と着火性である。

##### (1) 動粘度

船舶のエンジンは適度な動粘度の燃料を供給する設計となっており、供給する燃料油の動粘度を加熱により調整する設備がある。適合油の中でも低硫黄 MGO は、動粘度が低いことに加えて、自己潤滑性を持つ硫黄分の含有量が低いことにより潤滑性能が低下し、燃料噴射ポンプのプランジャーの固着等が懸念される<sup>2)</sup>。

##### (2) 着火性

ディーゼル機関における着火性とは燃料油の着火遅れの大きさを表すが、一般的に着火性が良いと燃焼性も良いことになる。着火性が悪いと燃焼過程においてあと燃えが多くなり、不完全燃焼による熱損失の増加、シリンダー内壁へのすすの付着によるシリンダーやピストンリングの摩擦を引き起こすおそれがある<sup>3)</sup>。

着火性を表す指標としては、留出燃料油ではセタン価またはセタン指数が使用され、残渣燃料油では CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index) が使用されている。この指標は残渣燃料油の芳香族性を表すもので

実機エンジンの着火遅れとの相関性が確認されている。CCAI が小さいほど着火性が良くなる傾向がある<sup>4)</sup>。

$$CCAI = d - 140.7 \log \log (v + 0.85) - 80.6$$

d : 15°Cにおける密度 (kg/m<sup>3</sup>)

v : 50°Cにおける動粘度 (mm<sup>2</sup>/s)

#### 4.3 船舶用燃料油の製造方法と燃料油品質への影響

船舶用燃料油の一般的な製造フローを図 3 に示す。

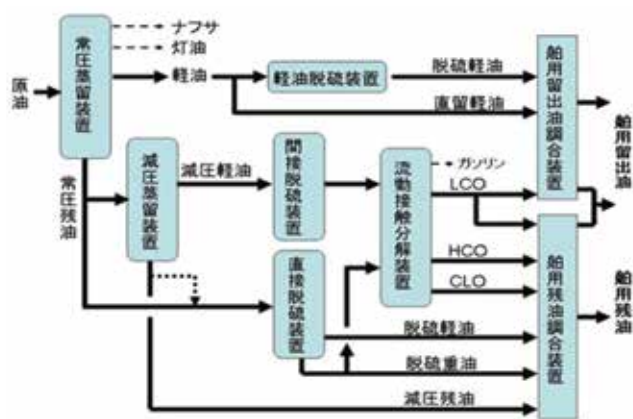


図 3 船舶用燃料油の製造フロー<sup>1)</sup>

##### (1) 船舶用ガスオイル (MGO)

MGO の主な混合基材は、製油所の常圧蒸留装置から留出する直留軽油と同留分を軽油脱硫装置などで水素化処理し、ほとんどの硫黄分が除去された脱硫軽油であ

る。また、流動接触分解装置 (FCC : Fluid Catalytic Cracking) の分解軽油 (LCO : light Cycle Oil) も一部使用される<sup>1)</sup>。

#### (2) 船舶用ディーゼルオイル (MDO)

MDO は JIS 規格の A 重油相当品であり、直留軽油、脱硫軽油の他に LCO をある程度使用し、C 重油も 1～2% 程度混合して製造する。したがって、MDO は MGO に比較して密度が高くセタン指数が低い<sup>1)</sup>。

#### (3) 船舶用重油 (IFO380)

現在、船舶用重油の主流は IFO380 と呼ばれているもので、動粘度 380mm<sup>2</sup>/sec (50℃、ISO8217 分類の RMG380) の HS 重油である。常圧蒸留残渣油、減圧蒸留残渣油、および FCC の LCO、HCO (Heavy Cycle Oil)、CLO (Clarified Oil) などが使用され、硫黄分は上限が 3.5mass% である。FCC の留出油や残渣油には芳香族が多く含まれるため、これらの混合比率が高いと着火性が悪くなる<sup>1)</sup>。

#### (4) 一般海域の IMO 規制適合油

2020 年以降、ECA 以外の一般海域での硫黄分の上限は 0.5mass% となる。この場合、留出燃料油、残渣燃料油に加えて、それらを混合したブレンド油の供給が想定される。

##### (a) 留出燃料油

低硫黄基材の混合比率を高くして低硫黄 MGO および低硫黄 MDO として製造する。FCC の LCO は低硫黄基材であるがセタン指数が低いと混合比率は限定される<sup>5)</sup>。

##### (b) 残渣燃料油

陸上用重油も含めあわせて LS 重油と呼ばれる。北海、アフリカ、東南アジア、中国などで生産される低硫黄原油の常圧残渣油を主要基材として使用する場合もあるが、中東産の高硫黄原油の常圧残渣油を直接脱硫装置で精製した脱硫重油を使用することが多い。

硫黄分や流動点などの規格を満足するために直留軽油、LCO、CLO などを混合して調整することもある。ただし、LCO や CLO を混合する場合は CCAI が高くなり着火性が悪化する<sup>5)</sup>。

##### (c) ブレンド油

残渣油の直接脱硫装置を持つ製油所は、ほぼ北東アジアや中東地域に限定されているため、それ以外の地域では、低硫黄の MGO、MDO といった留出燃料油を基本にしつつも、LCO や CLO のブレンド比率を高めた動粘度が 10～80mm<sup>2</sup>/sec 程度の燃料油が供給される可能性がある。こうしたいわゆるブレンド油は、ISO の規格では残渣燃料油の分類になるが、やはり CCAI が高くなり着火性が悪化する可能性がある。

### 5. 船舶燃料油の需要・価格変化

ICIS 社等の調査・研究機関では、規制適合油対応の場合には、LS 重油の供給力が北東アジアおよび中東に限定されるため、全世界的には HS 重油から軽油留分への大量シフトが起こるものと予想している。

表 4 全世界の軽油および重油の需要見通し

単位：百万トン

	2010 (実績)	2015 (実績)	2019 (想定)	2020 (想定)	2025 (想定)
軽油					
国際船舶用	27	42	47	95	116
【軽油総需要対比】	【2%】	【3%】	【3%】	【6%】	【7%】
自動車用	691	829	918	936	985
産業・民生用他	497	450	475	472	453
合計	1,215	1,321	1,440	1,503	1,554
重油					
国際船舶用	179	167	172	122	115
【重油総需要対比】	【41%】	【45%】	【46%】	【38%】	【40%】
発電・熱供給・産業用他	256	207	203	200	175
合計	435	374	375	322	290

出所：IEA World Energy Statistics (実績)、ICIS 社データベース (2017 年版) (想定)

また、こうした需要シフトは、軽油と HS 重油の価格差の拡大を招くことになろうが、このうち軽油は、需要に占める国際船舶用の比率が大きくないので、2019 年から 2020 年にかけての価格上昇はさほど劇的なものにはならない一方、重油は国際船舶用需要の比率が 40% を超えており、需要減のインパクトが大きいため、価格が大きく下落するものと予想されている。

－ 参考文献 －

- 1) JPEC ; JPEC レポート「IMO の SO<sub>x</sub> 規制強化による船舶用燃料への影響 (1)」第 17 回, (2015 年度)
- 2) 安岡茂雄; 日本マリンエンジニアリング学会誌「船社における機関管理 - 船社の燃料油管理体制及び本船の燃料油の取扱いについて」第 48 巻, 第 2 号, 59 (2013)
- 3) 長谷川静音著; 船用ディーゼル機関教範, 成山堂書店, 2010 年, p102
- 4) 林利昭, 三ツ井裕太; 日本マリンエンジニアリング学会誌「バンカー重油の製造方法と着火性評価」, 第 48 巻, 第 3 号, 65 (2013)
- 5) 林利昭; 日本マリンエンジニアリング学会誌「低硫黄燃料油の製造方法と品質」第 50 巻, 第 3 号, 66 (2015)