



アルファ・ラバル“Fuel Line”（ブルーブック）

技術情報 2018年版



A technical reference booklet on catalytic fines, sulphur emission legislation, oil compatibility issues and how to handle these challenges with modern fuel treatment systems



アルファ・ラバル“Fuel Line” (ブルーブック)

この「ブルーブック」は、アルファ・ラバルの“Fuel Line”のコンセプトとその開発の背景にある理論の概要について説明したものです。本書は、燃料油処理一般についての入門書として、特定のコンポーネントの機能と妥当性に興味がある方々のための技術解説書として、そして燃料油処理効率を改善し、運航コストを削減するためにはどのように燃料油供給ライン全体を設計すべきかについて解説した手引書としてお役立ていただけます。

Niclas Dahl

Niclas Dahl
Head of Marine Separation



要約

今日の海運業界は多くの課題に直面しています。硫黄分排出規制の強化により、新しい低硫黄燃料への移行が促進されています。この変化は環境上の理由から必要ですが、船舶オペレーターや船主にとっての課題と不確実性を増大させます。本書は現在進行しつつある変化の背景とそれがもたらす影響について解説し、アルファ・ラバルの“Fuel Line”がいかに低硫黄時代の船舶燃料油の処理ニーズを満たすべく設計されたかについて説明するものです。

アルファ・ラバルの“Fuel Line”

低硫黄燃料油を製造するには、接触分解と呼ばれるプロセスが使用されます。このプロセスでは、通常触媒粒子と呼ばれるアルミニウムとシリコン化合物を含む粒子状残留物質が残ります。これらの触媒粒子は非常に硬く、100ミクロンからサブミクロンまでの範囲で存在し、燃料から適切に除去しなければエンジンの構成部位を磨耗させ、エンジンに重大な損傷を与える可能性があります。

さらに、将来の低硫黄燃料油の性質を取り巻く不確実性が、船舶の燃料油処理に対する懸念材料をもたらしています。

競争の激しい市場では、常にコスト削減と効率化が求められます。アルファ・ラバルは、船用燃料油処理と燃料油加工の分野において市場をリードする機器類を提供しています。アルファ・ラバル“Fuel Line”のコンセプトは、アルファ・ラバルの各種機器類を燃料油処理システム全体で活用しようとするものです。

個々のコンポーネント間の連携を強化することにより燃料油処理性能が最適化され、分離効率の向上、燃料油の清浄度の向上、触媒粒子量の低減をもたらします。

その結果、オペレーターにとっては、運航コストおよびエンジンのメンテナンスコストの削減、船舶の安全な運航が実現します。

本書は、以下の4つの章から構成されています。

第1章：船用バンカー燃料油

この章では船用燃料油の製造プロセスを取扱います。触媒粒子について触れ、今日の重油における触媒粒子の傾向やその他燃料油の品質特性について説明します。

第2章：燃料油処理とエンジンの性能

この章では触媒粒子がエンジンの性能に及ぼす影響と、その他の要素が分離効率に与える影響について説明します。

第3章：船舶運航における法令上の影響

この章では、現在の硫黄分排出規制について要約します。新たな排出規制海域（ECA）の設立、ますます厳しくなる排出規制の内容、そしてこれらにより多元燃料運転に移行しつつある状況について述べ、また残渣燃料油と留出燃料油間の切換えについても触れていきます。

第4章：燃料油処理の新しいアプローチ

この章では、明日の燃料油処理システムについて説明します。6つの異なる分野に焦点を当て、エネルギー効率、燃料油の品質、および環境規制適合のために搭載システムまたは機器を最適化する取り組みについて紹介します。

コンポーネント間を相互接続して情報機能を強化することにより大きなメリットをもたらす。これがアルファ・ラバルの“Fuel Line”のコンセプトです。

本書の内容

本書では、触媒粒子、硫黄分排出規制、燃料油互換性の問題、そして現代の燃料処理システムでこれらの課題にいかに対処するかについて述べます。

第1章	船用バンカー燃料油	6
1.1	船用燃料油	7
1.1.1	残渣燃料油	8
1.1.2	留出燃料油およびその他の液体燃料油	8
1.1.3	再生可能燃料油 (FAME)	8
1.2	精製プロセス	8
1.2.1	原油	8
1.2.2	常圧蒸留	8
1.2.3	減圧蒸留	9
1.2.4	二次変換プロセス	9
1.3	触媒粒子	10
1.3.1	触媒粒子の単位	10
1.3.2	触媒粒子の組成	10
1.3.3	職場利粒子の濃度基準	11
1.3.4	触媒粒子含有量の測定	11
1.3.5	今日の重油における触媒粒子の傾向	12
1.4	分離の基本	12
1.4.1	分離機のサイジング	12
1.4.2	最大推奨流量と認定流量	13
1.5	濾過の基本	13
1.5.1	濾過効率	13
1.5.2	セルフクリーニング機能	13
1.5.3	業界の推奨	13
第2章	燃料油処理とエンジンの性能	14
2.1	今日の燃料油処理	14
2.1.1	基準と推奨事項	14
2.1.2	燃料油の品質と船内処理	15
2.1.3	燃料油清浄機	15
2.2	触媒粒子とエンジン性能	16
2.3	留出燃料油に固有の問題	17
第3章	船舶運航における法令上の影響	18
3.1	硫黄分規制の重要性	18
3.2	IMO MARPOL条約付属書VI	18
3.3	EUの規制	18
3.4	カリフォルニアの硫黄分規制	19
3.5	残渣燃料油と留出燃料油の切換え	20
3.5.1	一般的な検討事項	20
3.5.2	温度勾配	20



3.5.3	粘度の変化	20
3.5.4	非互換性	21
3.5.5	潤滑性	21
3.5.6	低温流動性	21
3.5.7	濾過	21
3.5.8	燃料消費量のモニタリング	21
3.6	燃料油を切換えずにスクラバーを使用する	21
第4章	燃料油処理の新しいアプローチ	22
4.1	アルファ・ラバル “Fuel Line”	22
4.1.1	燃料油処理システムレイアウトの最適化	23
4.1.2	機器と燃料油供給の最適化	23
4.1.3	システムのモニタリングと自動化	23
4.1.4	多元燃料の管理	24
4.1.5	廃油の回収	24
4.2	操作要素	24
4.2.1	スロースチーミングは分離効率の向上に貢献	24
4.2.2	分離機流量の制御	24
4.2.3	温度	25
4.3	燃料油システム設計	26
4.3.1	単一燃料油システム	26
4.3.2	多元燃料油システム	26
4.3.3	HFOとMDO/MGOを別々の分離機で清浄することの重要性	27
4.3.4	タンク設計	27
4.3.5	燃料油切換え	27
4.4	技術的ソリューション	28
4.4.1	Alcap™ (アルキャップ) 技術	28
4.4.2	FlowSync™ - エネルギー効率と流量の最適化	29
4.4.3	高温分離	30
4.4.4	PureDry - エネルギー効率と燃料油回収	30
4.4.5	ACS - 自動燃料油切換システム	30
4.4.6	FCM One燃料油コンディショニングモジュール	32
4.4.7	規制遵守をサポートする電子燃料油レコード	32
4.4.8	Moatti燃料油フィルター - エンジンの保護	34
4.4.9	2 Touch - 燃料油クリーニングモニター	34
4.5	Fuel Line	35
第5章	略語	36
	参考文献	37



第1章 舶用バンカー燃料油

舶用燃料油を使用する場合、船内での燃料油処理と燃料油の清浄は、船舶の効率的な運航に不可欠なものです。ここでは、舶用燃料油処理に関するいくつかの側面と課題について述べますが、特にますます重要となりつつある燃料油中の触媒粒子量の問題に焦点を当てます。

バンカー燃料油は、船舶ではプロペラ推進力を発生させる主機関と、搭載システムに電気エネルギーを供給する補機関の両方に使用されます。海上輸送には広範な燃料が使用されています。ISO 8217は、船舶用ディーゼルエンジンおよびボイラー用燃料油製品（処理前）の仕様に関する現在の国際規格です。

第3章「船舶運航に関する法令上の影響」に記載されている環境規制は、ますます世界的なバンカー燃料油の需要に影響を及ぼしています。残渣燃料油は今日の需要を支配していますが、将来的には低粘度の残渣ブレンド燃料油と留出燃料油に置き換わる可能性が高いと考えられます。図1に示すのは、2020年以降の世界的なバンカー油の需要予測です。

MARPOL条約付属書 VIの施行により、船舶用燃料の需要は次のように変わります。

- 最大硫黄含有量が0.50%の低硫黄燃料油（VLSFO）。
- 2015年に導入された排出規制海域（ECA）で使用するための最大硫黄含有量0.10%の超低硫黄燃料油（ULSFO）。今日、ULSFOの大部分はMGOです。ただし、ISO RMD 80などの低粘度残渣燃料油の使用が増えています。
- 排ガス浄化システム（スクラバー）付きで使用できる高硫黄燃料油（HSFO）。スクラバーの搭載は、最も低コストの規制適合オプションであると考えられるため、グローバルフリートで増加すると予想されます。
- 液化天然ガス（LNG）。LNGの需要は増大すると予想されていますが、インフラの欠如と高い投資コストにより、

LNG燃料駆動船は中期的にはグローバルフリートの大勢を占めることはないでしょう。

新しい規制施行の成否は、2020年でのVLSFOとHSFOの両方の利用可能性にかかっています。

2016年7月、独立研究調査機関であるCE Delft社が率いるコンソーシアムは、国際海事機関（IMO）の海洋環境保護委員会（MEPC）の意思決定プロセスのための報告書を発表しました。

「本調査の主な結論としては、あらゆるシナリオにおいて、石油精製産業は、陸上向け燃料の需要にも応えながら、0.50% m / m以下の硫黄含有量並びに0.10% m / m以下の硫黄含有量を有する舶用燃料を十分に供給する生産能力を有しているというものだ。」

この調査結果に基づき、IMOは2016年10月、0.50%の世界的な硫黄分排出規制（グローバルキャップ）を2020年1月1日に発効すると発表しました。しかし、業界利害関係者の一部はこの決定に批判的であり、この規制への移行には問題があり、地域によっては燃料供給が需要に追いつかない可能性があるとして主張しています。

海事産業は世界の石油消費量の約10分の1を占めています（図2）。2020年に硫黄分排出規制が導入されると、ほとんどの船舶はHFOからMDOまたは他の適合ブレンド燃料油に切替える必要があるため、留出燃料油の世界的な需要は年間約12億トンから13億トンへ約8,500万トン増加すると予測されます（IBIA、2016）。

スクラバー装置と液化天然ガス（LNG）を使用すれば、移行時にはMDOとブレンド燃料油の使用を減少させるかもしれませんが、そのような装置と燃料の入手状況では需要をカバーしきれないことを予測しています（DNV GL、2016）。

次節では、船舶に使用される燃料油とその精製プロセスについて手短かに説明します。

1.1 船用燃料油

船舶を運航するには、一般に船用燃料油と呼ばれるさまざまなタイプの燃料が必要です。船舶用エンジンは、効率的な燃料油清浄システムが設置され、その温度と粘度がエンジンの推奨限度内であれば、重油からマリンガスオイルなどの軽質油までのあらゆる燃料油を使用することができる柔軟性に富んだエンジンです。

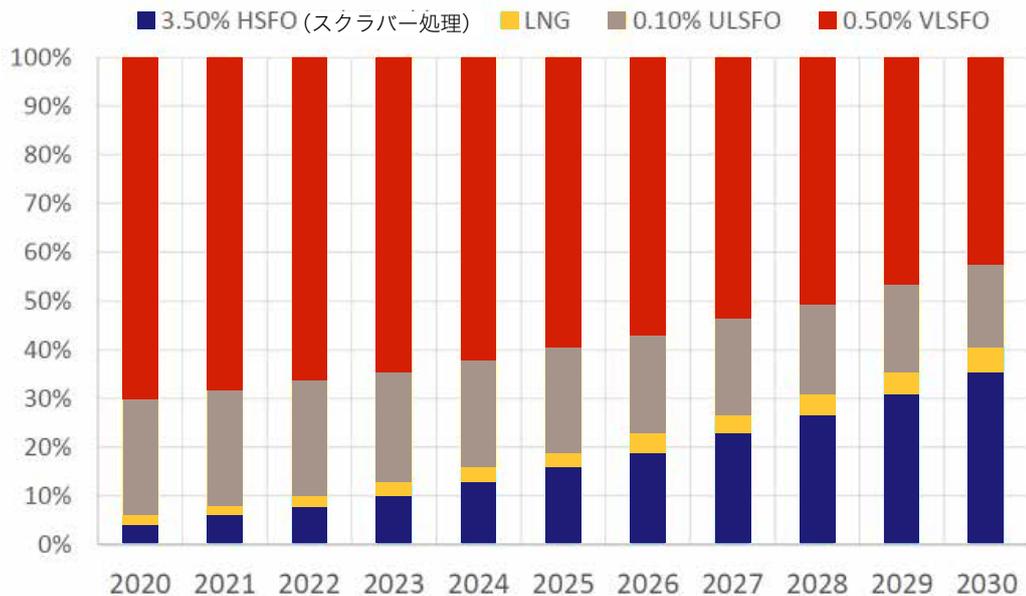


図1.さまざまな種類の燃料に関する世界の需要予測

この図表は、変化する国際規制がバンカー燃料油の需要にどのように影響を与え得るかを示しています。

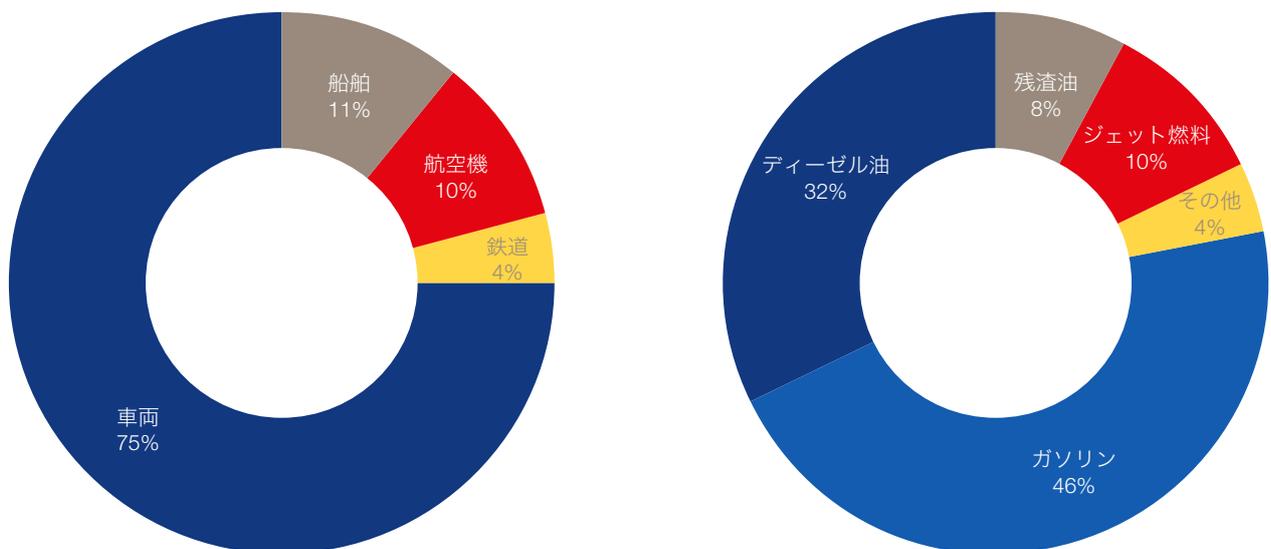


図2. 輸送市場におけるセグメント別石油消費量と全体的な燃料油の種類別分布。

海事産業は年間2億4,000万トン消費しており、これは世界の総需要の11%に相当します。

1.1.1 残渣燃料油

残渣燃料油、または重油（HFO）は、本質的には製油副生成物であり、比較的低コストのエネルギー源を求める市場の需要を満たすためにブレンドされたものです。製油業界の主製品は、ガソリン、ジェット燃料、自動車用ディーゼルオイル、化学原料などを調合するために使用される軽質および中間留分グレード油の生産です。

1.1.2 留出燃料油およびその他の液体燃料油

留出燃料油の使用は、2015年1月1日に発効したECA域における硫黄分排出規制0.10%のために船舶業界ではよりいっそう一般的になっています。船舶は通常ECA外ではHFOで運航し、ECA域に入ると留出燃料油に切り替えています。海事業界で使用される低硫黄燃料油は、混じり気のない留出燃料油であるマリンガスオイル（MGO）と留出燃料油と残渣燃料油のブレンドであるマリンディーゼルオイル（MDO）に大別されます。

1.1.3 再生可能燃料油（FAME）

植物性油脂は硫黄分を含まず、ディーゼルエンジンの燃焼に適した燃料油に変換することができます。粘度を低下させ、低温流動性を改善するために油を加工しなければなりません。得られた燃料油は脂肪酸メチルエステル（FAME）または水素化植物油（HVO）として知られています。FAMEのコストは原油から得られる留出燃料油よりも著しく高価です。さらにFAMEは微生物の栄養分であり、特に燃料油中またはその下部に自由水があれば増殖するため取扱いは容易ではありません。その高いコストと限られた入手性のために、今日再生可能燃料油は、原油から作られる燃料油と比べて商業的に魅力的な代替品ではありません。しかしながらISO 8217/2017規格では、燃料油ブレンドに最大7%のバイオ燃料の投入が認められています。

1.2 精製プロセス

原油は、最も代表的な燃料油の供給源です。この節では残渣燃料油の製造に適用される基本的な精製プロセスをいくつか紹介します。

1.2.1 原油

原油は、地下の孔隙から掘削によって回収された炭化水素の複雑な混合物であり、さまざまな石油製品に加工されます。密度、粘度、硫黄含有量、バナジウム含有量およびその他の特性が著しく異なることから、原油は二つとして同じものではなく、このため製油所によって生産される最終製品はそれぞれ異なります。

原油は蒸留によりさまざまな留分に分離されます。初期のころ原油は所定のグレードの油を必要量常圧蒸留プロセスで蒸留しているだけでしたが、減圧蒸留により、常圧蒸留からの残渣をさらに精製することが可能になりました。常圧蒸留および減圧蒸留は両方とも原油成分を留出油へ物理的に分留する精製プロセスです。

1.2.2 常圧蒸留

原油精製の第一段階は、蒸留により油を種々の留分に分離することです。この方法は、原油が異なる沸点を持つ炭化水素の複雑な混合物であるという性質を利用します。最も軽くて揮発性の高い炭化水素は蒸気として最初に沸騰し、最も重く、最も揮発性の低いものが最後に残ります（図3）。非沸点留分は底部に溜まります。この原油分は常圧残渣として知られており、残渣燃料油のブレンド成分として使用することができます。

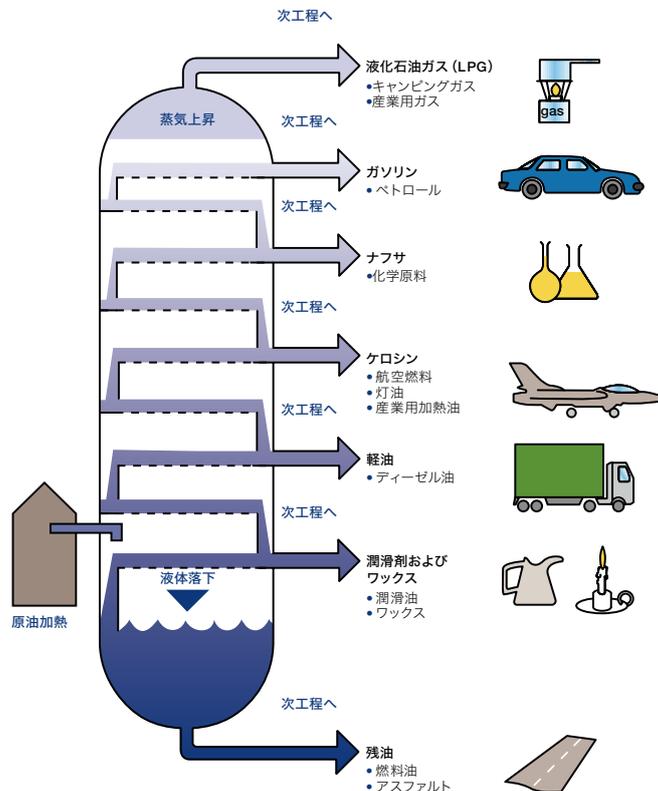


図3.原油の異なる留分への蒸留
蒸留は分留塔内で連続的に行われます。

常圧蒸留は、比較的シンプルな物理的プロセスであり、燃料油はそれぞれの沸騰範囲に応じて分離されます。原油の種類によって、得られる各燃料油製品の割合が決まります。精製マージンを増やすために、多くの製油所は常圧蒸留とは別の精製プロセスを追加しています。その一般的な目的は、残油分の量を減らし、留出燃料油の量を増やすことです。

1.2.3 減圧蒸留

減圧蒸留は、常圧蒸留と類似した工程ですが、真空条件下で行われます。圧力と液体沸点との間の相関により、熱分解が生じる温度を超えることなく、軽質留分の大部分を抽出することができます。

常圧蒸留では、すべての液体が気化するわけではありません。減圧蒸留塔の底部に集まった留分は減圧蒸留残油と呼ばれ、船用残渣燃料油の調合成分として使用されます。

しかしながら、これら二種類の蒸留プロセスだけでは、ますます増大する世界的な留出油の需要を満たすだけの生産量は確保できません。したがって、それに続き二次変換プロセスとして知られるより複雑な精製プロセスがしばしば採用されます。

1.2.4 二次変換プロセス

二次変換プロセスは、製油所が原油からより高い割合で軽質留出油を抽出することを可能にしました。蒸留においては原油の各留分はそれぞれの揮発性によって分離されるため、これらのプロセスはその化学構造を変化させます。

二次変換プロセスには、「クラッキング（分解）」と呼ばれる工程が含まれ、そこでは重質燃料留分の長い炭化水素鎖がより短い分子に分解され、より容易に求める燃料油製品へ加工することができます。クラッキングには二つの基本的手法があります。熱分解と接触分解です。

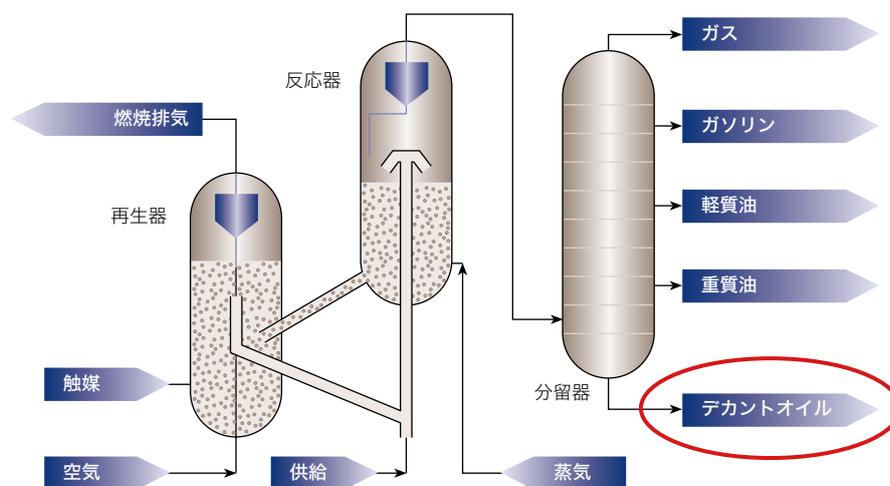
熱分解

熱分解は温度と圧力を利用して化学反応を引き起こし、油の構造を変化させます。熱分解は留出油と残渣油の両方で行うことができます。代表的な熱分解プロセスには、重質残渣油の粘度を著しく低下させて他の燃料油とのブレンドを可能にするピスプレーキング法と低質残渣油を高付加価値の留出油やコークスに変換する熱分解の高度な手法であるコーキング法があります。

接触分解

接触分解も残渣油の化学組成を変化させます。ここでは複雑な炭化水素をより単純な分子に分解するために高圧力よりもむしろ化学触媒が使用されます。触媒は反応自体を変えなく化学反応を刺激する物質です。触媒の化学的性質はプロセスを通して一定です。

最も一般的なプロセスは、軽油および残渣油を高オクタン価ガソリンおよびディーゼル燃料油に変換するために使用される流動接触分解（FCC）です。図4は、直径約20~100 μm の微粒子形態の触媒が、流動床プロセスにおいて反応器と再生器間でどのように循環されるかを示しています。この方法で使用される触媒は一般的に高価であり、大規模な分解装置では約500トンもの触媒を含有します。



HFOにおける触媒微粒子の原料

図4. 接触分解のプロセス

硬質化学触媒は複雑な炭化水素を分解するために使用されます。

再生器から来る熱触媒は供給原料と混合し、次いで反応器に入ります。触媒と接触すると、原料は蒸発し、次いで蒸気は反応し、化学結合が解かれて求める品質の製品が得られます。この反応により、いくらかの炭素が触媒粒子上に堆積されます。その後、反応器内で触媒と蒸気は分離され、そこで蒸気は上昇して分留塔に流入し、さらに処理が行われます。触媒は再生器に戻ってそこで加熱され、触媒を反応器に戻して新たに原料と混合する前に炭素堆積物を燃焼除去します。

触媒を連続的にリサイクルすると、触媒はより小さな粒子に分解されます。これらの粒子のいくつかは分留塔に持ち越されますが、これが一般に触媒粒子 (Cat fines) と呼ばれるものです。製油所は接触分解プロセスでの触媒のロスを最小限に抑えようとしていますが、触媒粒子の流出は避けられません。

分留塔の底部から抜き出された生成物は、スラリー油、デカント油またはFCCボトム油と呼ばれます。これらは約 1,000kg / m³/15°C の高密度であり、約30~60cSt/50°C の低粘度を有します。これらは、その高い芳香族性により残渣油にとって理想的な配合成分かつカッターストックであり、最終燃料製品に安定性を与えます。しかし触媒粒子が船用残渣燃料油に入り、それが燃焼するエンジンに重大な損傷を引き起こす可能性をはらむのは、触媒精製におけるこの底部留分を通じてなのです。

1.3 触媒粒子

触媒粒子は、通常シリコンおよびアルミニウム化合物からなる非常に硬い粒子です。船用残渣燃料油中にそれが存在するのは、接触分解によるものです。触媒粒子は、油清浄システムによって除去されなければ、深刻なエンジン磨耗を引き起こすため望ましくありません(Alfa Laval AB, BP Marine Ltd & MAN B & W Diesel A / S, 2016)。

1.3.1 触媒粒子の単位

触媒粒子について議論する場合、粒子濃度と粒子径を区別することが一般的です。

- 粒子濃度は、ppm単位を使用して表記されます。触媒粒子においては、濃度は触媒粒子と油の質量比、例えば 60mg / kg = 60ppm と示されます。
- 粒子径は μm 単位で測定されます。ミクロンとも呼ばれますが、 $1\mu\text{m} = 1\text{ミクロン} = 1 \cdot 10^{-6}\text{m}$ です。

1.3.2 触媒粒子の組成

触媒粒子の組成は、原料の種類および分解装置が、ガソリン (軽質) グレード向けか、またはディーゼル (重質) グレード向けかのどちらかに設定されているかによって異なります。触媒の組成は今日製油所から開示されていませんが、すべての触媒は種々の形態の合成結晶性ゼオライトを含有しています。ゼオライトは、それらが持つ微孔質構造および大量のカチオンを保有する可能性により、触媒として特に適したアルミノ珪酸塩鉱物です。FCC接触分解に使用されるゼオライトは、通常、中心に1個のアルミニウム原子または1個のシリコン原子を持ち、各末端に1個の酸素原子を持つアルミナおよびシリカの四面体分子から構成されています (図5)。

粒子体積の約10% ~60%は微孔からなり (図6)、触媒特性を得るために特定の希少金属が添加されています。微孔により粒子の表面積は大きくなり、分解プロセスでの化学反応を促進します。

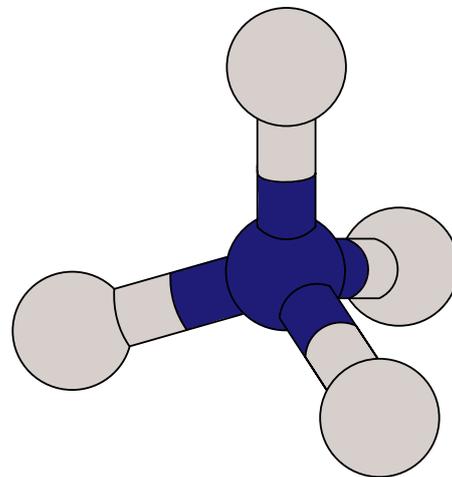


図5. 四面体ゼオライト分子構造

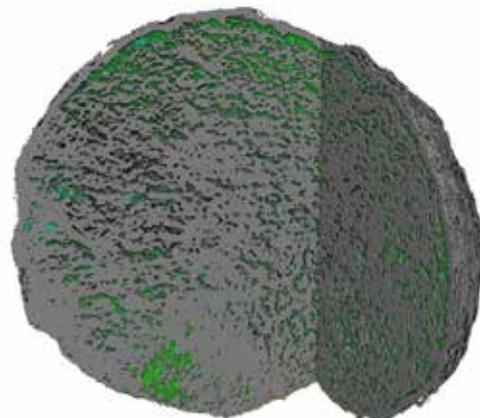


図6. 典型的な触媒粒子の断面図

ゼオライトの微孔性構造は触媒として適しています (Image©2016, Springer Nature; Liu, Y., Meirer, F., Krest, C.M., Webb, S., & Weckhuysen, B.M.)

触媒粒子は、触媒が接触分解工程を通してリサイクルされる際、主に磨滅により触媒が粉碎されることによって形成されます。触媒粒子の形状およびサイズはさまざまであり、サブミクロン級から約 $30\mu\text{m}$ まで、場合によっては $100\mu\text{m}$ までの範囲にわたります（図7）。

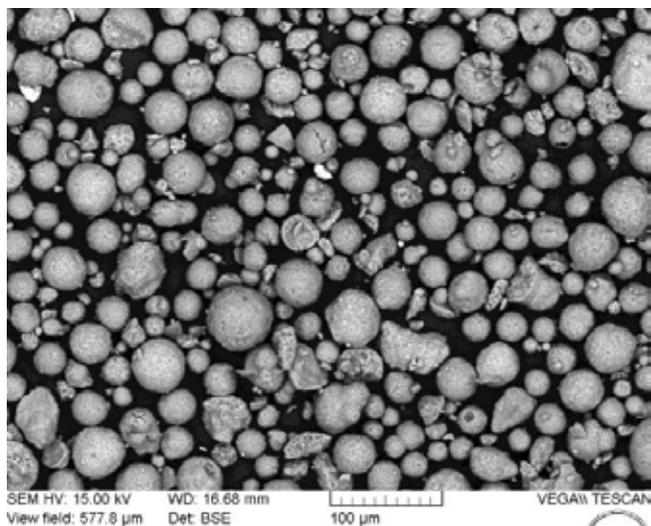


図7. 触媒粒子の拡大図

触媒微粒子は、大きさや形状がかなり異なります。

希少な参考文献から判断すると、触媒粒子の密度は、 $0.9\sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$ の間であり、それに比して典型的な重油の密度は $0.90\sim 1.01\text{g}/\text{cm}^3$ です。油と密度が近似しており、分解プロセス後にゼオライトの微孔が油で満たされている可能性が高いという事実は、沈降分離だけでは分離の成功率が低くなることを意味しています。

1.3.3 触媒粒子の濃度基準

ISO 8217は、燃料油品質に関して世界的に認められている規格です。この規格の最新版では、市販されている燃料油中の触媒粒子の濃度を、 60ppm のAl + Si（アルミニウム + シリコン）の含有率に制限しています。船舶用エンジンメーカーは現在、噴射前の燃料中の触媒粒子の最大許容レベルとして 15ppm を規定しています。

したがって、分離および濾過などの適切な船内クリーニング手順により、エンジンに入る前にバンカー燃料油中に存在する触媒粒子の含有レベルを低下させる必要があります。

1.3.4 触媒粒子含有量の測定

燃料油中の触媒粒子濃度の基準を設定する理由は二つあります。第1は、製油所で精製された油がISO 8217燃料規格を満たしているかをチェックし、出荷時に触媒粒子が受け入れ可能なレベルにあるかどうかを確認することです。第2の理由は、船舶で使用される燃料油の品質に関する情報を継続的に更新・提供することでエンジンの磨耗を最小限に抑えることです。

ISO 10478規格は、燃料油のアルミニウムおよびシリコン含有量の標準化された測定方法です。この測定方法は、誘導結合プラズマ発光法および原子吸光分光法を利用します。この方法は燃料油中の触媒粒子の濃度は測定できますが、触媒粒子のサイズ分布は示さないことに留意する必要があります。これは船内での燃料油処理において非常に重要なことです。

船内業務の一環として燃料油の触媒粒子含有量を測定することは比較的新しい考え方ですが、近年の触媒粒子の被害頻度が増えていることを考慮すると、非常に妥当なものと言えます。ISO 10478規格の方法は継続的な船内測定に適しているとは言えませんが、医療用画像に使われているのと同じ使い易い技術が採用されています。核磁気共鳴(NMR)分光法として知られるこの方法は、触媒粒子の磁気特性を利用して検出するもので、現在入手できるものです。

1.3.5 今日の重油における触媒粒子の傾向

さまざまな情報源によると、船用重油中の触媒粒子濃度の増加傾向が指摘されています。DNV Petroleum Services (DNVPS) によって収集されたデータはこの情報を裏付けています。図8は、異なる燃料等級にわたる触媒粒子濃度を示しています。環境規制により、低硫黄燃料油への需要が高まっています(第3章)。これはまた、製油所が重油のブレンドを増やす動機付けになりました。接触分解の節(9ページ)で説明されているように、燃料油のブレンドが触媒粒子の主な供給源です。

ECAは当初2006年から2007年にかけてヨーロッパ北部で導入されました。これは、主にアントワープ - ロッテルダム - アムステルダム (ARA) 海域で供給される燃料に影響を及ぼしました。規制の変更や新しいECAが施行されると同様の傾向が生じると予測されます。

触媒粒子含有量が高い燃料は、あらゆる種類の残渣油で見られます。しかしながら、概して低粘度質の油は、より高い粘度質の油に比べて触媒粒子の濃度が低い傾向があります。図8は、異なる燃料油グレードにおける触媒粒子の平均濃度を示しています。それぞれの燃料油グレードのAl + Siの濃度はmg / kg (重量に対するppmに相当) で表され、7種類の残渣燃料油に分割されています。バーの高さは、粘度の異なる燃料において触媒微粒子濃度がどのように変化するかを表しています。丸印は平均触媒粒子含有量を表しています。最も一般的な燃料グレードであるRMG 380 cStは1~110 ppm Al + Siの範囲の触媒微粒子を含み、RMK 700燃料油は最大400 ppm Al + Siを含んでいるのに注目してください。

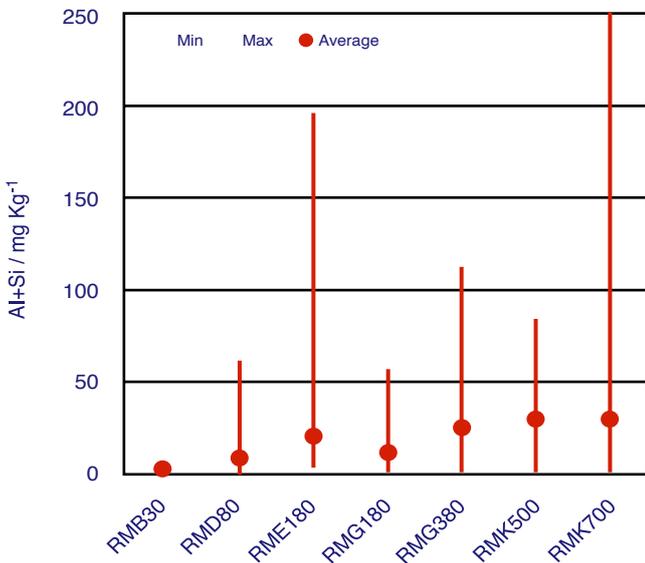


図8. さまざまな燃料グレードにおける触媒微粒子の平均濃度。平均すると、触媒粒子濃度は高い粘度の燃料グレードほど高くなる (VeriFuel, Alfa Laval (2017))

1.4 分離の基本

粒子は油よりも密度が高いという原理に基づき、粒子は分離機およびセッティングタンクの燃料油から除去されます。セッティングタンクでは、時間が十分に与えられるとすべての粒子がタンクの底に沈降しますが、粒子が非常に小さい場合、それらは非常にゆっくりと沈降します。

分離機の作用は、重力沈降の場合のような1g (9.8m/s²) から数千倍まで増大します。触媒粒子は、ディスクスタック型分離機内で分離される場合、タンクと同じ原理に従います。遠心力は粒子に作用し、粒子は分離機ボウルの外側に移動しますが、油の流れは粒子をボウルの中心に向かわせます。その流れが一定の速度に達すると、触媒粒子は分離されずに油とともに流出してしまいます。この場合でもまた、粒子は「沈降」する時間がありません。

1.4.1 分離機のサイジング

分離機の適正なサイジングは最も重要です。燃料油清浄システムの総流量を決定するときは、補機関およびボイラーの燃料消費量を考慮する必要があります。現在、分離機の実機は分離機のメーカーおよびエンジンメーカーによって発行された選定表を使用して適切に行われています。

特定の燃料油消費量を測定するための試験は通常留出燃料油を用いて行われるため、その結果はいわゆるISO定義外の要素によって調節する必要があります。

沈降速度の計算

粒子の沈降速度 (V_{settling}) を決定する要素は、有名なストークス方程式で表されます。

$$V_{\text{settling}} = \frac{d^2 (\rho_p - \rho_l)}{18\mu} \alpha$$

d = 粒子径

ρ_p = 粒子密度

ρ_l = 液体密度

μ = 液体粘度

α = 重力または分離機では遠心加速度

燃料油消費量

エンジンの最大連続定格 (MCR) に基づいて燃料油消費量を計算するには、次の式が使用できます。

$$Q = \frac{P \cdot b \cdot 24}{\rho \cdot T} \quad (\text{l/h})$$

Q = 燃料油消費量 (l/h)

P = MCR (kWまたはHP)

b = エンジンメーカーが指定した特定の燃料消費量 (kg / kWhまたはkg / HPh)

ρ = 燃料油の密度 (0.96kg / lと仮定)

T = 1日の正味稼働時間 (24時間分の稼働時間数)

1.4.2 最大推奨流量と認定流量

分離機を比較するには、最大推奨流量と認定流量の二つの指標モデルがあります。

最大推奨流量

分離機のメーカーは、個々の基準に従って各分離機ユニットの最大推奨流量（MRC）を決定しますが、これは一般には公開されておらず、比較することは不可能です。

認定流量

分離機の認定流量（CFR）は、CE規格CWA15375：2005に記載されている分離性能規格に従って測定されます。まず5ミクロンサイズの球状試験粒子が燃料状試験油に添加されます。CFRは、粒子の85%が分離機によって油から分離される際の流量として定義されます。CFRを使用して分離機の容量を指定することにより、求められる性能に見合った適正な分離機サイズの見積りが行われ、エンジンの安全な稼働が保証されます。

1.5 濾過の基本

フィルターは分離システムにとって重要かつ補完的な役割を果たします。分離機を通過した燃料油はサービスタンクに移行します。次にエンジンに供給される前に、燃料油はフィルターを通過します。つまりフィルターは、分離機を通過した粒子、またはさらに下流のラインで混入した粒子を捕捉するための最終保護層と言えるものです。フィルターは、システム全体の性能状態を表す指標としても有用です。すなわち、フィルター内で圧力損失が生じれば、不適切な分離機操作、バンカー燃料油の汚れ、または比互換性の問題などを示している可能性があります（MAN Service Letter SL2017-638 / DOJJA）。

1.5.1 濾過効率

一般に、濾過システムは、深層濾過式と表面濾過式の二つのカテゴリーに分類されます。深層濾過式は、濾材内で懸濁物を恒常的に捕捉するため、濾材を頻繁に交換する必要があります。より一般的に使用されている表面濾過式では、自動的に洗浄することができるメッシュ濾材の表面上で懸濁物を捕捉します。メッシュの開口サイズはミクロン（ μm ）で表されます。濾過では標準として球状粒子を想定しています。しかし実際の粒子は形状がさまざまに異なるため、表面濾材は、所定メッシュサイズよりも大きい粒子の約100%とそのサイズより小さい粒子の一部を除去します。

1.5.2 セルフクリーニング機能

濾材は、連続的または間欠的なバックフラッシュによって自動的にクリーニングできます。間欠式バックフラッシュフィルターは、濾材が圧力損失の限界値に達するのを待ってからバックフラッシュを作動します。多くの間欠式バックフラッシュシステムは、空気圧を使用して流体を逆方向に押し流しメッシュ濾材を洗浄します。

一方、連続式バックフラッシュフィルターは、懸濁物がフィルタースクリーンに蓄積する前に、少量の洗浄済みオイルを使用して懸濁物を継続的に除去することで、圧力損失の低下を最小限に抑えます。

1.5.3 業界の推奨

近年業界の推奨は、燃料油の汚れの増大や仕様の厳格化に対応して改良されてきました。現在では作動温度が高いシステムの再循環側に、微細な10 μm フィルターを設置することが推奨されています（MAN D&Tサービスレター SL2017-640 / LNW、SL2016-615 / JFH、Wärtsilä Technical Bulletin RT-140 29/11/2012 またはCIMAC WG7の残留オイルの濾過に関する推奨事項）。



第2章 燃料油処理とエンジンの性能

船用燃料油は、さまざまな特性を持ついくつかのグレードに分類することができます。いくつかの特性は船舶搭載の燃料処理システムによる影響を受けることがあります。影響を受けないものもあります。この章では、国際規格に規定されている燃料の品質について説明します。

2.1 今日の燃料油処理

船舶用ディーゼルエンジンは、船内で適切に処理される限り、市場にあるあらゆる燃料油を受け入れられるように設計されています。この目的のためには、良く設計された燃料油処理システムが必要となります。船舶業界では、分離機はフィルターおよびセッティングタンクと組み合わせた燃料油清浄システムとして一般に認められています。

2.1.1 規準と推奨事項

CIMAC（国際燃焼機関会議）とISO（国際標準化機構）、これらの二つの独立協会の声明は、海事業界のすべての関係者にとって非常に重要なものです。

CIMACは、メンバー間の知見、技術的進展に関する情報交換の促進を目的とした非営利団体です。会員にはエンジンメーカー、研究機関、サプライヤー、船級協会、大学が含まれています。

船舶における燃料油清浄（ISO 8217バンカー燃料規格）に関しては、CIMACの燃料油推奨とアルファ・ラバルの製品ガイドラインにより、分離機の安全かつ効率的な運転のための三つの基本的かつ重要な注意事項が示されています。

- 燃料油はエンジンに入る前に適正な温度まで予熱する必要があります。
- 適正な分離機の容量/配置を確保しなければならない。つまり、燃料油の通液流量は指定容量に一致していなければならない。
- 適切な分離機の操作と保守が必要。

ISO 8217規格およびCIMACは、触媒粒子による被害の増加に対応して、船舶に供給される燃料油中の触媒粒子の含有量は60ppmを超えてはならないと規定しています。エンジンメーカーは一般に、エンジンに燃料を注入する前の段階で、搭載された燃料油処理システムによって触媒粒子のレベルを最大10ppmまで減少させることを要求しています。バンカー燃料油中の触媒粒子のレベルが低下するにつれて、エンジンメーカーは、エンジンに入る燃料油中の触媒粒子の量も同様に減少することを期待しています。



CIMAC

INTERNATIONAL COUNCIL
ON COMBUSTION ENGINES

国際燃焼機関会議（CIMAC）は、アメリカ、アジア、ヨーロッパの26カ国にある、全国的な会員協会、会員団体、および法人会員で構成される非営利団体です。この会議は、ディーゼルおよびガスエンジンとガスタービンのメーカー、船主、公益事業者、および鉄道事業者などのユーザー、さらには機器サプライヤー、石油会社、船級協会、および科学者を結集させたものです。

CIMACワーキンググループは、大規模エンジン業界における技術的、商業的、および規制上の課題に対する解決策とガイドラインを開発しています。

2.1.2 燃料油の品質と船内処理

たとえ燃料が名目上同じ種類に分類されていても燃料油の品質はさまざまです。バンカー燃料油需要の変化により市場には新しい燃料油が導入されています。したがって、バンカー燃料油の正確な仕様を入手することが不可欠です。同様に燃料油の各種要素を正確に理解し、船内燃料油処理によってどの要素に効果があるかを知ることが重要です。表1は、重要な燃料油の要素と、船舶の運航に及ぼす主な影響を示しています。右側の列は、各属性が分離によってどの程度効果があるかを示しています。表1のすべての要素はISO 8217燃料油規格に含まれています。

水分、堆積物、ナトリウムおよび触媒粒子の含有量は、船内の分離システムによって効果的に削減できます。灰分もいくらか減らすことができます。燃料油中の亜鉛、リンおよびカルシウムの含有レベルを評価することも重要です。これらは燃料中に潤滑油が存在することを示すからです。

2.1.3燃料油清浄機

図9は、標準的な燃料油処理システムを示しています。主なユニットは、セッティングタンク、分離機、サービスタンク、燃料油コンディショニングモジュール (FCMまたはブースターシステムとも呼びます) です。燃料油処理システムは燃料油を清浄する機器類であるセッティングタンク、遠心分離機およびフィルターから構成されます。

セッティングタンク

大きい触媒粒子のような燃料油中の重く大きい粒子成分は、重力によりセッティングタンクの底に沈殿します。しかし、高波や荒天により、これらの成分が攪拌されて分離機に供給されることがあります。分離機の容量は限られているため、これは清浄油の純度に影響を及ぼす可能性があります。したがって、このリスクを低減するためには、セッティングタンクとサービスタンクのドレンを定期的には排出する必要があります。

燃料油の属性	影響の内容	分離による効果の度合
密度	バンカー燃料油価格および分離機の調節	なし
粘度	注入温度および加熱/冷却の必要性	なし
水	タンクの腐食および堆積物	強
マイクロカーボン残渣	エンジン内の堆積物	なし
硫黄分	排出ガス、潤滑油およびベースナンバー (BN)	なし
沈殿物	分離機 (およびフィルター) の負荷	強
灰分	エンジンの磨耗	中
バナジウム	エンジンの高温腐食	なし
ナトリウム	NaClによるエンジン内の堆積物および腐食	強
アルミニウム+シリコン	触媒粒子による磨耗	強から中
CCA	エンジンの点火の質	なし
流動点	フィルターの目詰まり	なし
注入温度	SOLASおよび船級協会規則では一般的に最低60°Cの温度を要求。	なし

表1. 燃料油の重要な要素

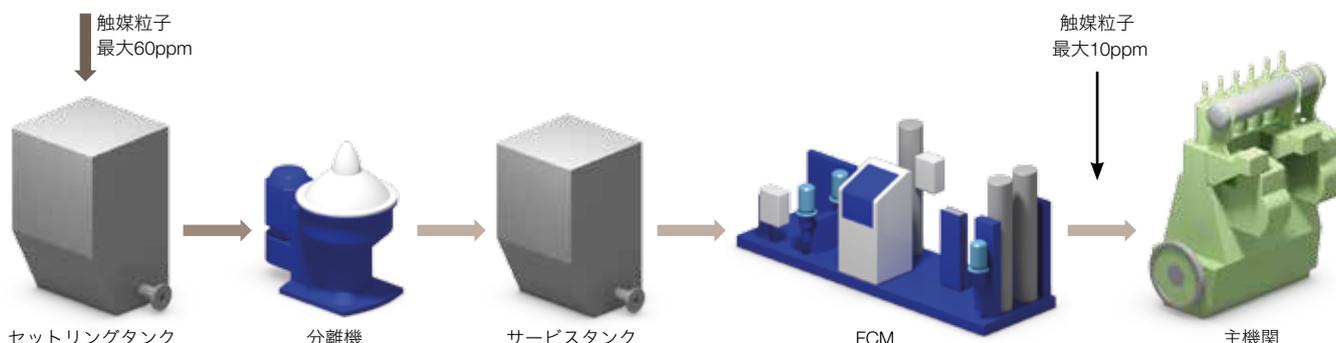


図9. 標準的な燃料油処理システム：ISO 8217/2012規格によれば、燃料油の触媒粒子含有量は60ppmを超えてはなりません。エンジンメーカーは、エンジンに注入する前段階の燃料中の触媒粒子含有量として最大10ppmまでを推奨しています。

分離機

適切に操作された場合、ほとんどの分離機は $10\mu\text{m}$ を超える触媒粒子をほぼ100%除去することができます。しかし、 $3\mu\text{m}$ より小さい触媒粒子は、最大推奨流量で稼働する場合分離機ではほとんど除去されません。分離機の効率をチェックするには、分離機の油出口から少なくとも4ヶ月ごとにサンプルを採取し、第三者機関に送付して分析を依頼することを推奨します。

フィルター

フィルターは、残留粒子が燃料システムに入るのを防ぐための最終的な保護手段として設置されます。以前の燃料システムでは供給ライン（低温側）に粗目のフィルターを含めていました。この方法は初期としては安価なオプションと言えますが、現在では再循環（高温）側に、最低 $10\mu\text{m}$ の細かいメッシュの自動バックフラッシュフィルターを設置することを推奨します。低密度の粒子は分離機を通過することがありますが、これによりフィルターで捕捉することができます。フィルター全体の圧力損失をモニターすると、システム全体の性能に関する情報も得られます。

2.2 触媒粒子とエンジン性能

触媒粒子は、埃や花粉片くらいのサイズから粗い人間の髪の毛の幅まで、サブミクロンから10分の1ミクロンまで大きさが異なる粒子です。人の目にはほとんど見えませんが、触媒粒子は非常に硬く、金属に擦り傷を付けることができます（Alfa Laval、BP Marine、MAN B&W Diesel、2007）。

錆、砂、埃は燃料中で見られることがありますが、ほとんどの場合エンジンに入る前に分離機によって燃料油から除去されます。このような物質は、通常触媒粒子よりも害が少なく、量もわずかです。

遠心分離後に燃料油中に残っている触媒粒子はすべてエンジンの磨耗および損傷を引き起こす可能性があり、結果、非効率的かつ危険をはらむ運航状態につながるようになります（図10）。したがって、触媒粒子のレベルは、燃料油処理システムによって可能な限り低減しなければなりません。



図10. 触媒粒子による損傷の拡大図

触媒粒子は非常に硬質で、金属に対して擦り傷や摩損を引き起こす可能性があります。

エンジンメーカーは、4 μ mより小径の触媒粒子は、大きな触媒粒子よりも害は少ないと主張しています（CIMAC, Paper No.51, 2013）。しかしながら、触媒粒子の濃度が高ければ高いほど、運航条件の危険性が高くなります。高い触媒粒子レベルの影響にさらされるエンジンは、頻繁なメンテナンスを必要とし、故障のリスクが増大する可能性があります。

燃料噴射システムおよび燃焼室の二つは、燃料処理システムの中でもっとも触媒粒子による磨耗の影響を受けやすいユニットです。燃料噴射ポンプは、エンジンに入る前に燃料の圧力を上昇させます。プランジャーとパレル間の小さな間隙により、小さな粒子が表面の間に閉じ込められて、素材に埋め込まれてしまいます。燃焼室でも同じ問題が生じ、触媒粒子がピストンリングとシリンダライナーの間に埋め込まれます。

各表面間の相対的な動きにより、磨耗が引き起こされ、部品の摩損が加速されます。

ポンプが損傷していると性能が低下し、エンジンへの燃料圧力が低くなります。これは、エンジンの効率を低下させ、運航コストを増加させます。エンジンの磨耗とそれに伴う損傷は高コストにつながるため避けなければなりません。

2.3 留出燃料油に固有の問題

船舶に使用される燃料の最大硫黄分含有量に関するISO 8217規格では、残渣燃料油用に設計されたエンジンにおける低硫黄留出油の使用に焦点を当てています。これらの留出燃料油の粘度の低さにより、エンジンメーカーは最小粘度および潤滑性に関する基準を見直すに至りました。これは2020年に世界的に0.50%硫黄分排出規制が発効すると低粘度留出燃料油の使用の増大が予想されるからです。

ディーゼルエンジンへの影響

ディーゼルエンジンにおける留出燃料油の燃焼には、エンジンの燃料噴射システム、ポンプおよびその他の機器類に影響を及ぼす重要な側面があります。燃料噴射部位の潤滑能力に影響する噴射時の燃料油の粘度は対処すべき第1の課題です。軽質燃料の噴射温度はHFOのそれよりもはるかに低いため、急激な温度変化が噴射システム内に熱衝撃を引き起こすという第2の温度勾配の課題が生じます。

これらの問題に対処し、噴射点における適正な燃料油の条件を維持するためには、燃料コンディショニング装置が、システム内の温度上昇を制御することによりシンプルかつ安全に燃料の切換えを管理できることと、噴射時において軽質燃料の適正な温度を維持することの両方に適していることが不可欠です。

燃料油コンディショニングシステムへの要求

エンジンメーカーの要求を満たすためには、燃料油コンディショニングシステムは以下が可能でなければなりません。

- HFOの高噴射温度から留出燃料油の低噴射温度への移行を制御し、温度勾配をエンジンメーカーの推奨限度内に留めること。燃料ポンプに向かう燃料入口の温度変化は、一般的に毎分2°Cです。
- 留出燃料油の温度と粘度をエンジンメーカーの推奨限度内に抑えること。



第3章 船舶運航における法令上の影響

ますます厳しくなる世界的な排出規制と併せて排出規制海域（ECA）の設立は、燃料油使用のための新たな運航上の要件をもたらしました。ここでは、規制変更の主な原因と、それらの変更が船主および船舶オペレーターに及ぼす運用上の影響について検証します。

3.1 硫黄分規制の重要性

排ガス中の硫黄含有量を削減させることとなった主な要因は、硫酸化物が人の健康に及ぼす悪影響です。排ガス中の硫黄分は空気と反応し、硫酸エアロゾルと呼ばれる小さな粒子を形成します。人が呼吸すると、これらの粒子は肺を通過して血流に入り、肺の炎症を引き起こし、心臓血管疾患ならびに肺および心不全を引き起こします（Platts、2016）。大気中の硫黄分も水と土壌の酸性化の原因となります。

3.2 IMO MARPOL条約付属書VI

硫黄分の排出に関するMARPOL条約付属書VIは、二つの規制に要約することができます。

- 第14規則では、硫酸化物と粒子状物質の規制について述べています。この規則は、新造船のみならず、規制導入日以降に就航しているすべての船舶で使用される燃料が適用対象となることに注意する必要があります。本規制は燃料油の硫黄分含有量を規定しており、装荷された燃料油に基づき規制適合が判断されます。IMOにおいて高い水準の保護が必要と合意されたECAでは、その内外で適用される硫黄分上限規制の度合は異なります。
- 第4規則は、適合等価対象について述べており、船舶が排ガス浄化システムなどの装置を装備するか、または船主

が少なくとも第14規則で定義されるのと排ガス規制適合において同等程度有効な他の対策を採用するかについて説明しています。

図11は、硫酸化物と窒素酸化物の排出量規制が厳しい現在のECA（2016現在）、および将来的にECAとなる可能性のある海域を示しています。排出上限値は、ECAの内部と外部の両方で徐々に削減されており（図12）、2020年には、0.50%の世界的な硫黄分排出規制が発効する予定です。

3.3 EUの規制

EU法令でIMOのMARPOL条約付属書VIを実施するために、欧州連合（EU）は1999/32 / EC指令を策定しましたが、その後2005/33 / EU指令で改正されました。しかし、この改正には追加の要件が含まれています。注目すべきは以下の項目です（すべての制限値は質量百分率で表示します）：

- EU領海、排他的経済水域および汚染管理海域（ECAを除く）では、燃料油中の硫黄分含有量は、フェリーや定期旅客船を含むEUの港湾に出入りするすべての客船において最大で1.50%に制限される。
- 2010年1月1日以降、EU港湾内に停泊する船舶は、（公表されている予定表によれば）停泊時間が2時間未満の船舶を除き、硫黄分最大値0.10%の燃料を使用しなければならない。

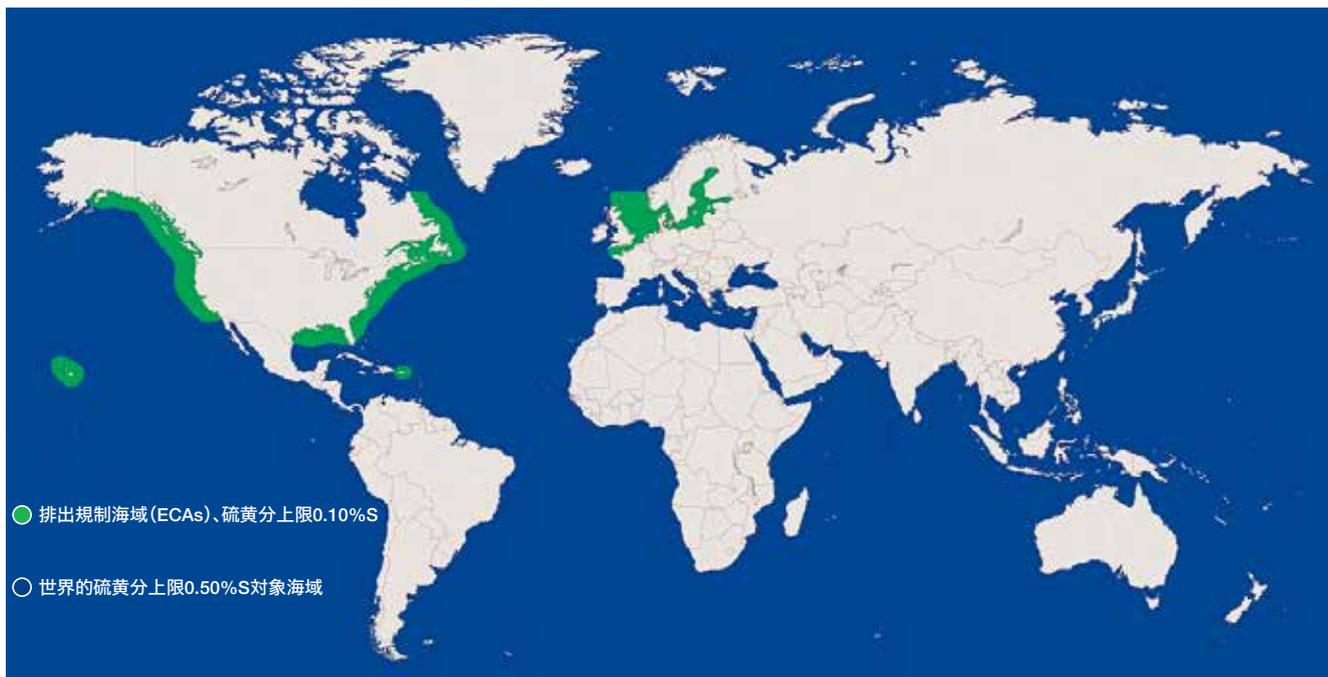


図11. 2016年現在の排出規制海域（ECA）
出典:DNV

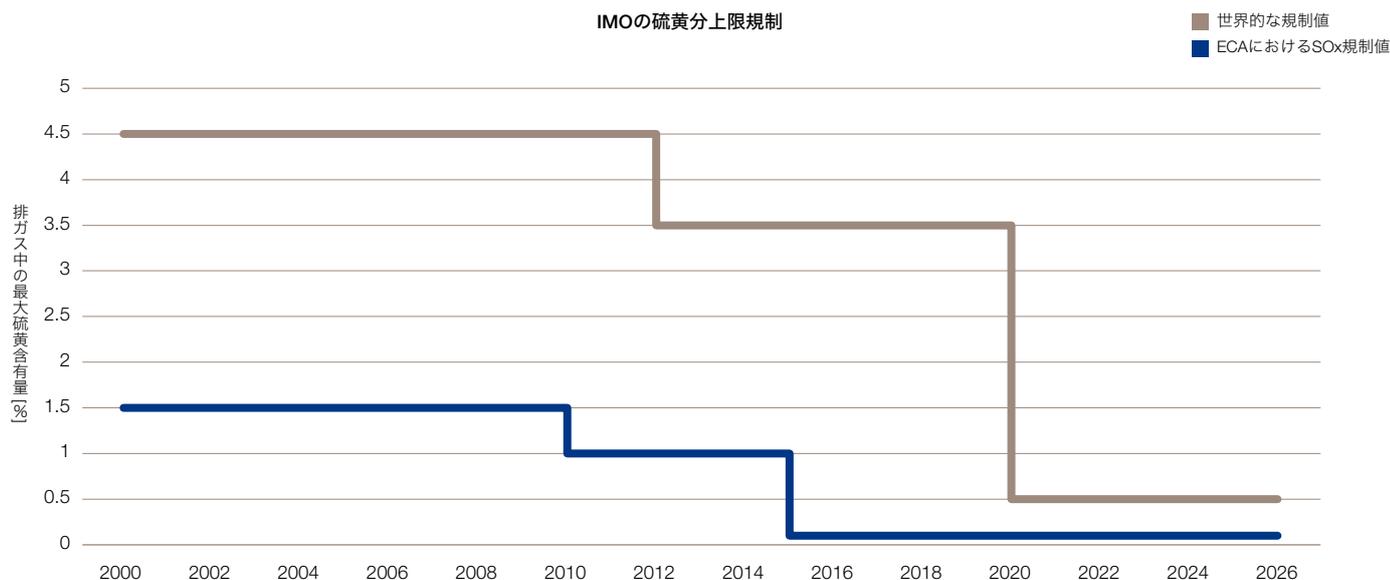


図12. 硫黄分排出削減の予定
2015年以降ECAゾーンの硫黄分上限は0.10%です。2020年には、世界的な制限は0.50%まで削減される予定です。

欧州議会指令2009/30 / ECは、2011年1月1日から内陸水路船が使用する燃料油の硫黄分を最大0.0010%（10mg / kg）に制限しました。

EU法の2012/33 / EUREビューでは、最新のMARPOL条約付属書VIが組み込まれており、以下の追加規定が含まれていません。

- 硫黄分が3.50%を超える燃料油は、認可されたクローズド・ループ式排ガス浄化システムを備えた（すなわち、洗浄水が船外に排出されない）船舶に対してのみ販売および使用が許可される。

3.4 カリフォルニアの硫黄分規制

カリフォルニア州大気資源局（ARB）は、カリフォルニア沿岸から24海里、またはカリフォルニア南部の海岸線からチャンネル島の海岸線まで延ばした海域を規定しました。この海域では、最大硫黄含有量指定グレードの留出燃料油のみの使用が許可されています。2014年1月1日現在、最大硫黄含有量の上限值は0.10%です。

ARBによる定期的審査が継続しており、超低硫黄燃料油 (ULSFO) ブレンドの使用とスクラバーの使用を許可するかどうかの決定につながります。これらの硫黄分削減燃料および技術は、他のECA海域でも認可されており、審査では、現在のカリフォルニア州遠洋航行船舶燃料規制と同等の結果が達成されるかどうかを評価するものです。審査は2018年まで続く予定です (本稿出版時点ではまだ保留中)。

3.5 残渣燃料油と留出燃料油の切換え

ほとんどの船舶は依然としてHFO (高硫黄燃料油) で運転されているため、認可された等価技術 (例えば、除去技術) を採用して規制適合を達成しない限り、多くの船舶はECAに出入りするときに燃料を切換えることとなります。2015年以降、船舶はECAに入る前に、最大硫黄含有量が3.50%の残渣燃料油から最大硫黄含有量が0.10%の留出燃料油に切換えなければなりません。逆にECAを出た後、ECAへの回帰予定が切迫していない限り、留出燃料油から残渣燃料油に戻して燃料費を削減することが一般的に望ましいものとなります。この規制要件は、ECA境界へ接近または離脱する間の航行中に切換えを行わなければならないことを規定しています。

ほとんどの船舶オペレーターは、残渣燃料油から留出燃料油への切換えおよびその逆も経験しています。自動燃料切換えシステムも入手可能です。この切換えプロセスは手動で行うことが可能ですが、この場合船舶においては、詳細な手順を確立して正式に文書化することが義務付けられており、また乗組員が作業に精通することが必須です。必要な処置についての知識が不十分であれば、コンポーネントの損傷やエンジンの停止を招くことがあります。燃料切換え手順の詳細については、特定の機器メーカーの推奨事項を参照するようにしてください。

3.5.1 一般的な検討事項

多元燃料による互換性の問題 (タンク内にアスファルテンが沈殿する、MGOで希釈するとHFOの粘度が低下する、MGOが高硫黄燃料で汚染されるなど) を回避するためには、残渣油と留出油が混合した油を留出油またはMDOサービスタンクに戻さないことを推奨します。

MGOの温度を制御するために、専用の冷却器を取り付けることを強く推奨します。これにより、MGOの使用とそれに関連するコストも制限されます。

2ストロークエンジンを低硫黄燃料で長期間運転する場合、多くのエンジンメーカーはシリンダー油を高BNタイプから40BN以下のものに切換えることを推奨しています。シリンダー油の供給速度も考慮する必要があり、エンジンメーカーの推奨事項に従わなければなりません。低硫黄留出燃料油を使用して2ストロークエンジンを運転する際に、高供給速度で高BNシリンダー油を使用すると、ピストンクラウン付着物の急速な堆積をもたらし、深刻なスカuffingを招く可能性があります。

燃料油の切換えに関しては、以下のような技術的検討事項および課題があります。

- 温度勾配
- 粘度の変化
- 非互換性
- 潤滑性
- 低温流動性
- 濾過
- 燃料消費量のモニタリング

3.5.2 温度勾配

燃料噴射装置が適切に機能し続けるためには、燃料切換え時の最大温度勾配を超えないようにすることが推奨されます。一般に、エンジンメーカーは1分あたり2°C以下の勾配に留めることを推奨しています。燃料温度が急激に変化すると、ポンプの誤動作や焼き付きの可能性が高まります。上記の理由から、燃料油切換えプロセス全体にわたって適正な温度勾配を維持することができる自動燃料油切換えシステムを使用することが望ましいと言えます。このプロセスを自動化することで、乗組員の作業負荷を軽減し、MGO燃料タンクがHFOで汚染される作業ミスリスクを最小限に抑えることもできます。

3.5.3 粘度の変化

一般的に、エンジン燃料ポンプにおける燃料油の最適粘度は、各エンジンの要件が確実に満たされることが条件ですが、10~20mm²/s (cSt) の範囲内です。

残渣燃料油で最適な粘度を達成するには、100°C以上に加熱する必要があります。しかし、留出燃料油は残渣燃料油よりも粘度が著しく低く、一般的には40°Cで2.0~11.0mm²/s (cSt) の範囲であるため加熱してはならず、代わりに冷却しなければならないことがあります。

エンジンメーカーは、燃料ポンプ入口で2.0~3.0 mm²/s (cSt) の最低燃料油粘度を推奨しています。燃料油の粘度が低すぎると、燃料ポンプ内に過度の漏れが生じることがあり、その結果、高負荷作動時に燃圧が低下する可能性があります。粘度が不十分であると、流体力学的潤滑油膜の減少により、燃料ポンプの焼き付きおよび早期磨耗につながることもあります。エンジン搭載ポンプに加えて、燃料油処理システム内のポンプの作動も考慮する必要があります。それらの最低粘度も2 cSt近くとするべきで、それより粘度が低いと過度の磨耗や焼き付きが生じる危険性があります。

機器メーカーによる最低限の要件を満たすには、留出燃料油は十分な粘度で供給される必要があります。必要に応じて、燃料油クーラーまたはチラーを使用することで、燃料油の粘度が低くなりすぎないようにすることができます。さらに、配管蒸気およびトレース加熱システムを早目に停止すると切換え時の燃料油温度の低下に役立ちます。

逆に、留出燃料油から残渣燃料油に戻す場合には、燃料ポンプの入口部に必要な粘度を確保するために燃料の温度を十分高めることが重要です。このプロセスのためには、配管のトレースおよび蒸気加熱システムを起動して対応できますが、留出燃料油の加熱は避けなければなりません。

3.5.4 非互換性

前述のように、燃料油の切換え手順には十分な時間が必要であり、その間二つのまったく異なるタイプの燃料油混合物が存在することになります。残渣燃料油と低硫黄留出燃料油との間の非互換性のリスクは、異なるタイプの残渣燃料油を混合する場合のそれよりも高いと考えられます。留出燃料油が混じり込むと、残渣燃料油中のアスファルテンが重質スラッジとして沈殿することがあり（図13）、これによりフィルターが目詰まりが発生し、極端な場合にはエンジンの燃料枯渇およびそれに続くエンジン停止を引き起こす可能性があります。

関連するもう一つの問題には、プランジャーとパレル間の堆積物による噴射ポンプの固着があります。



図13. 不安定な燃料油を処理した分離機

燃料油の非互換性を確実に予測することは困難であり、コンディショニングプロセスの影響も受けないため、互換性試験は不可欠です。試験は給油中に船上で実施できますが、あるいは別途独立した試験室を介して実施することもできます。

3.5.5 潤滑性

潤滑性とは、互いに相対運動していない表面間の潤滑、またはいわゆる境界潤滑において留出燃料油が潤滑を果たす能力のことです。硫黄含有量が0.05%未満の留出燃料油は、潤滑性が低すぎることがあります。そして場合によっては燃料ポンプの焼き付きを起こすという結果になります。MGOの粘度と潤滑性をあらゆる条件下で許容レベルに維持するためには冷却器を設置する必要があります。適切な温度設定値を維持するために、冷却器は自動制御とするべきです。

3.5.6 低温流動性

留出燃料油はその低い粘度によって特徴づけられます。しかしながら、留出燃料油はそれぞれ化学的性質が異なり、低温流動性において大きな差異があります、例えば、低温条件での粘度は、それらのポンプ移送能力に影響を及ぼす可能性があります。

低温流動性は以下の指標で測定されます。

- 流動点：燃料が流れる最低温度。

- 曇点：溶解した粒子が凝結し、燃料が曇った外観になる温度。
- フィルターの低温目詰まり点：指定された条件下で燃料油がフィルターを通過できる最低温度。

留出燃料油の低温流動性は、主にワックスの含有量および長パラフィン系炭化水素鎖がワックス結晶として凝結する性質に依存します。

寒冷地での船舶は、燃料貯蔵タンク内のワックスの凝結を避けるために冬季仕様の留出燃料油を必要とします。また分離前に留出燃料油を加熱して、処理システム内のワックスの凝結を避けることも推奨されます。

3.5.7 濾過

配管内に蓄積された懸濁物がフィルターに送られるため、フィルターは切換え時にディーゼル油のフラッシングの影響も受けます。

3.5.8 燃料消費量のモニタリング

燃料交換が頻繁に行われると、HFOとMGOの消費量の測定が重要になります。代替燃料油専用の流量計を設置すれば測定精度が向上します。質量流量計は、密度変化による影響を受けることなく重量単位での直接測定が可能のため、容積計量式より望ましいものです。

3.6 燃料油を切換えずにスクラバーを使用する

スクラバーは、硫酸化物の排出を削減する排ガス浄化システムです。スクラバー（図14）を使用すれば、船主は低硫黄MGOの代わりにECA内で高硫黄HFOを使用することができ、IMOの硫黄排出規制にも適合します。この方法はIMO法規上で承認されています。



図14. Alfa Laval PureSOxシステム

排ガスラインに設置されたスクラバーは、排出される硫酸化物のレベルを低下させます。

2020年の世界的な0.50%硫黄分排出規制が発効するまでにスクラバーを使用することは、規制法を遵守しつつ、より安価なHFOの使用を継続したい船主にとって魅力的な選択肢となる可能性があります。DNV GL (2016) によれば、スクラバーへの初期投資は、船の種類と貿易ルートにより異なりますが、1年から6年以内に償却されます。



第4章 燃料油処理の新しいアプローチ

今日船舶における燃料処理の要件は10年前とはまったく異なっています。単一燃料による運航は多元燃料による運航に置き換えられ、より厳しい環境法規の施行により硫黄分の排出が規制されています。この章で説明しますが、今日の燃料油処理システムにおける多くの点が、現在および将来の状況に合わせて適応し、最適化させなければなりません。

4.1 アルファ・ラバル “Fuel Line”

現代の燃料油処理システムへの取り組みにおいては、特に次の要素に重点が置かれています。

- エネルギー効率
- 燃料油の品質
- 環境規制への適合
- エンジンの保護

また燃料油処理の最適化を可能とする五つの分野が特定されています。

- 燃料油処理システムレイアウトの最適化
- 機器と燃料油供給の最適化
- システムのモニタリングと自動化
- 多元燃料の管理
- 廃油の回収

アルファ・ラバル “Fuel Line” は、エネルギー消費を最小限に抑え、触媒粒子からの保護を最大化するための総合的なシステムです。これは単一の製品ではなく、いくつかの主要製品とアルファ・ラバルの知識に基づいた包括的かつ体系的なアプローチです。このシステムは、スロースチーミング（減速運航）との相乗効果と革新的な技術を利用して、総エネルギー効率と総分離効率の両方を向上させます。

次ページから、Fuel Lineの概要を紹介します。燃料処理プロセスの各分野について、それぞれの目標、解決策およびその結果が要約されています。

4.1.1 燃料油処理システムレイアウトの最適化

単一燃料油処理システムを多元燃料油処理システムに置き換える場合、安全で規制に適合する運転を確保するために特別な配慮が必要です。特に多元燃料油システムは燃料油の互換性のリスクを最小限にできるように設計し、運転しなければなりません（表2参照）。

解決策	結果	参照箇所
最新燃料油システムレイアウトへの改良	<ul style="list-style-type: none"> ・種類が異なる燃料油を隔離して扱う ・リスクの削減 	P26-27

表2. 燃料油処理システムレイアウトの最適化

4.1.2 機器と燃料油供給の最適化

規制要件を満たすためには、最新技術を採用した機器を使用することが不可欠です。旧式技術を備えた機器は、同じ性能を発揮してもより多くのエネルギーを消費します。しかも、旧式の分離効率は一般的に低く、プロセス制御の正確さは十分ではありません。特にある面では、実際のエンジン負荷に合わせた燃料油供給の最適化に関係します。これにより、分離効率が向上し、エネルギー消費量が減少します。表3を参照してください。

解決策	結果	参照箇所
高速遠心分離機におけるAlcap™技術	<ul style="list-style-type: none"> ・油出口の水分含有量を測定する ・柔軟性を提供する ・さまざまな密度の燃料油を清浄する 	P28
FCM One	<ul style="list-style-type: none"> ・エンジン仕様に適正に合致するように燃料油をコンディショニングする ・ブレンド燃料油の製造が可能 ・異なる燃料油間の切り替えを管理する 	P32
VFD制御を使用してポンプの流れを実際のエンジン負荷に合わせるFlowSync™	<ul style="list-style-type: none"> ・ポンプ、ヒーター、分離機によりエネルギー消費量を削減 ・燃料油が分離機内により長い時間滞留するため、効率的な分離と粒子の除去率向上が可能となる 	P29
高温分離	<ul style="list-style-type: none"> ・熱損失を削減 ・効果的に熱エネルギーを使用 ・清浄効率を維持 ・通液容量を保持 	P30

表3. 機器と燃料油供給の最適化

4.1.3 システムのモニタリングと自動化

燃料油処理設備をモニタリングするための設計が適切であれば、望ましくない影響を防止し、信頼性の高い運転のための有用な情報を提供することができます。表4を参照してください。

解決策	結果	参照箇所
FCM One：燃料消費量モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料使用量を正確に測定 ・燃料油処理システムの最適化のためのデータを提供 ・燃料損失を早期に検出 	P32-33
高温側10μmフィルター	<ul style="list-style-type: none"> ・磨耗の低減 ・エンジンへの給油条件の維持 ・給油システムのモニタリング 	P34

表4. システムのモニタリングと自動化

4.1.4 多元燃料の管理

多元燃料管理により、燃料のブレンドや切換えの制御、さらには燃料のブレンドや切換えに関するデータの記録を正確に行うことができます。これにより、安全なエンジンの稼働が確保され、規制違反が防止されます。表5を参照してください。

解決策	結果	参照箇所
ACS：燃料切換え	<ul style="list-style-type: none"> ・ 留出燃料油の消費量を低減 ・ 燃料油の組成を最適化 ・ 安全な燃料切換えを確保 ・ 硫黄分目標値に完全適合 	P30
FCM One：電子燃料記録簿	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料切換えを記録 ・ タイムスタンプとGPSデータを自動出力 ・ 業務記録を印刷またはデジタル出力 	P32-33

表5. 多元燃料の管理

4.1.5 廃油の回収

廃油からの燃料油の回収は、廃油および固形スラッジの処理だけでなく、総燃料コストの節約に大きく貢献します。通常なら失われるはずのバンカー油消費量の1%までも再利用可能な燃料として回収されます。表6を参照してください。

解決策	結果	参照箇所
PureDry	<ul style="list-style-type: none"> ・ 喪失燃料を再利用可能な燃料として回収する ・ 廃棄物の処理・保管量を98%削減 	P30

表6. 廃油の燃料回収

4.2 操作要素

さまざまな操作要素が分離効率に影響を及ぼします。これらには、燃料の粘度と密度の両方を制御する流量と温度が含まれます。

流量制御を連続的に行うことは、最適な分離性能を確保する簡単で効果的な方法です。船舶は常にMCRと設計速度で運航するとは限らないため、流量を減らして分離効率を向上させる機会があります。操作者には、設置分離機の全容量を使用し、予備分離機もパラレルモードで運転することを推奨します。手動式流量制御装置が装備されていることがあります。

4.2.1 スロースチーミングは分離効率の向上に貢献

スロースチーミングとは、大洋横断貨物船、特にコンテナ船において、最高速度より著しく低速で運航することを指します。通常、燃料油分離機は、100%のエンジン燃料消費量に異なるマージンの一定値を加えてレイアウト設計をしています。しかし、今日の船は、100%の負荷でエンジンを稼働させることはめったにありません。エンジンの燃料消費に応じて分離機の通液流量を減少させると、燃料が分離機内に長く留まるため分離効率がより向上します。したがって、実際の燃料消費量に対応する自動流量制御を適用することにより、分離効率を向上させる可能性が大いにあります。

4.2.2. 分離機流量の制御

分離効果を向上させるには、分離機の通液量を制御することが必須です。分離効率をできる限り高く維持するためには、分離機の通液量を低くし、できる限り一定にする必要があります。分離機の流速は以下二つの方法で制御できます。

- 固定流量制御**
 固定流量制御法においては流量制御弁を分離機の前に設置します。流量が絞られ、圧力がスプリングロードバルブの設定値を超えると、バルブが開放され、油はセッティングタンクへ戻されます。この方法は簡単ですが、いくつかの油がセッティングタンクへ返送されるため、あまりエネルギー効率が良いとは言えません。
- 可変流量**
 可変周波数駆動装置 (VFD) を使用して油供給ポンプモーター速度を制御することにより、実際のエンジン負荷に合わせて流量を調節することができます。流量を絞る固定流量制御法と異なり、可変流量法を使用すると、供給ポンプと分離機両方のエネルギー使用量が削減されます。75% MCRで稼働するエンジンに可変流量法を使用すると、流量が減少し、分離効率が向上します (図15)。

分離効率に対するFlowSyncの効果

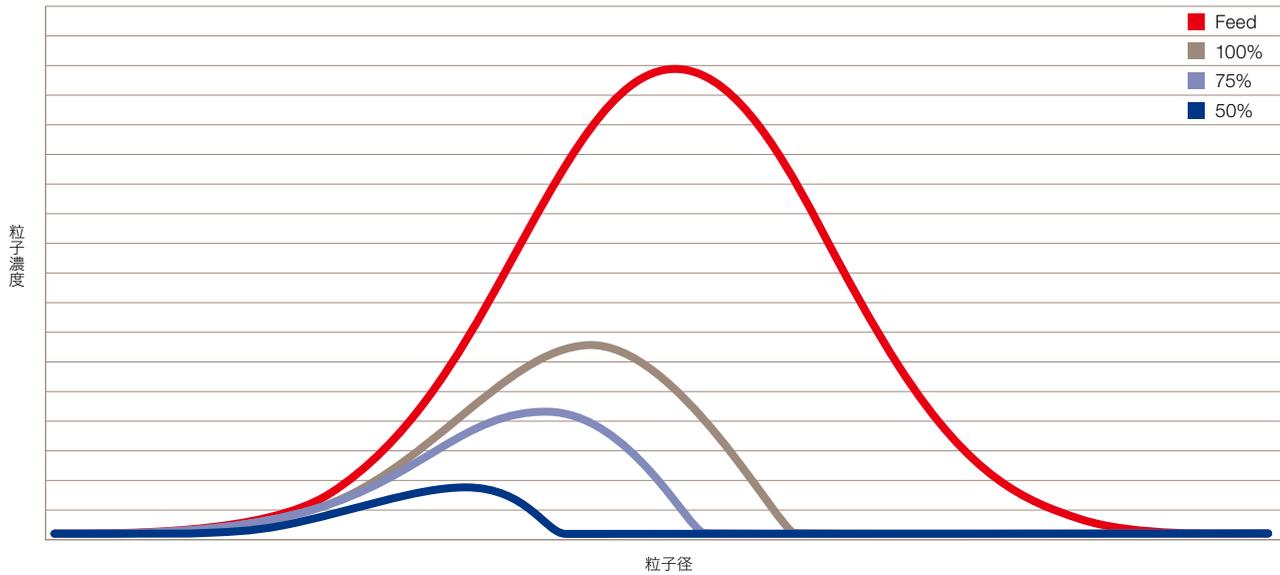


図15. 分離効率に対する流量の効果

流量が100%から75%へ減少したときおよび最大推奨容量の50%に減少したときの分離効率（分離後の粒子濃度で表示）。赤の曲線は、分離機入り口での粒子濃度を表します。

4.2.3 温度

分離効率を向上させるために変更できる別の要素は油の粘度です。油の温度が上昇すると、油の粘度は低下します。温度が90°Cに低下した場合、98°Cで達成可能な分離効率を維持するためには流量をノミナルフローの72%まで減少させる必要があります。85°Cなら流量を50%に削減する必要があります。図16は、流量を下げずに温度を下げると分離効率がどうなるかを示しています。

温度を上げることにより分離効率が向上するため、98°Cより高い温度で燃料油の分離効率を上げようとするのは当然

です。しかし、現在安全上の重要な理由から、98°Cという制限があり、そして今日の船用分離機は大気開放型システムとして設計されていることにも留意しなければなりません。

しかしながら安全性の問題を制御できるならば、温度を115°Cにすると、分離性能を維持しながら流量レベルを80%向上させることができます。換言すれば、温度を上昇させて流れを維持することは、分離効率を改善します。

分離効率に対する温度の効果

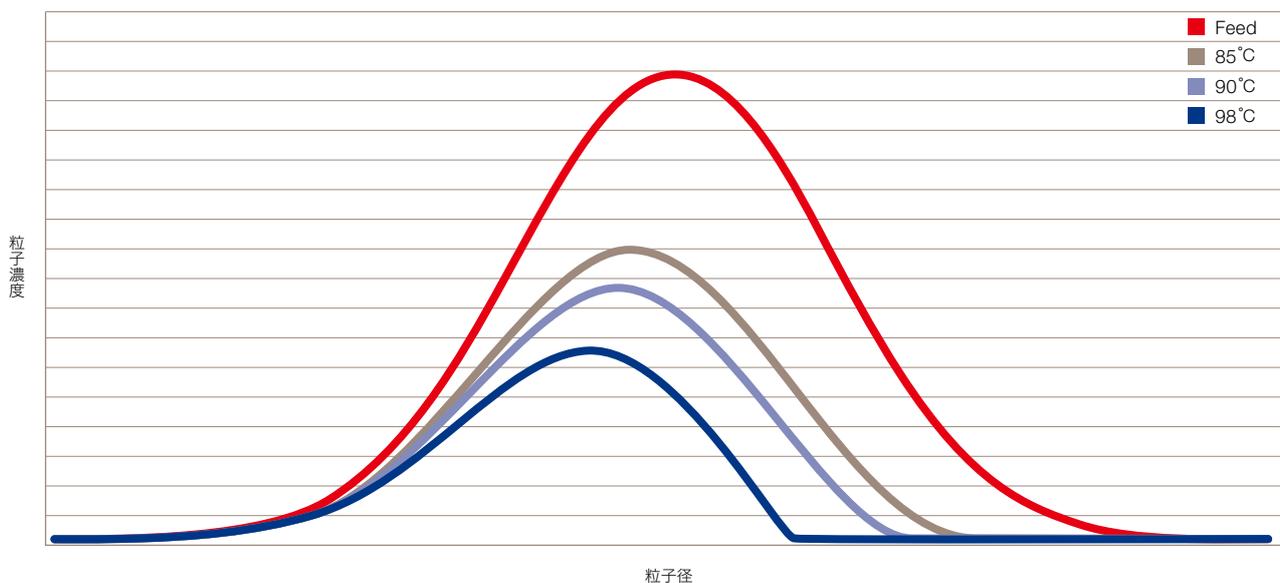


図16. 分離効率に対する温度の効果

赤の曲線は分離前の粒子濃度を示し、他の曲線は分離温度85°C、90°Cおよび98°Cでの分離機出口での粒子濃度を示します。

4.3 燃料油システム設計

船舶業界は25年以上にわたって、HFOを使用するために船舶システムを適応させてきました。補機関をHFOで稼働させるための特別な努力もなされました。そしてそれによりコストが削減され、燃料油システムの構成が簡素化されました。環境規制の導入によりECAで船舶がHFOで航行することができなくなることは、燃料油システムの設計と構成について特別な要件を課しています。2020年に予定される世界的な0.50%の硫黄分排出規制の導入に伴い、MDOやその他の留出燃料油と残渣燃料油のブレンドの使用量が増加すると予想されます。しかし、MGOのような純度の高い留出燃料油は、ECA海域においても引き続き使用されるでしょう。

4.3.1 単一燃料油システム

単一燃料油方式で航行する船舶の燃料油処理システムには、2台の分離機の使用が推奨されます (図17)。全速で運航する場合、通常1台の分離機でサービスタンクへの供給は十分です (もう1台の分離機は通常、スタンバイモードとします)。このシンプルなシステムは、長期間に単一の燃料しか使用しない船舶に適しており、燃料の切り換えを行う必要はありません。

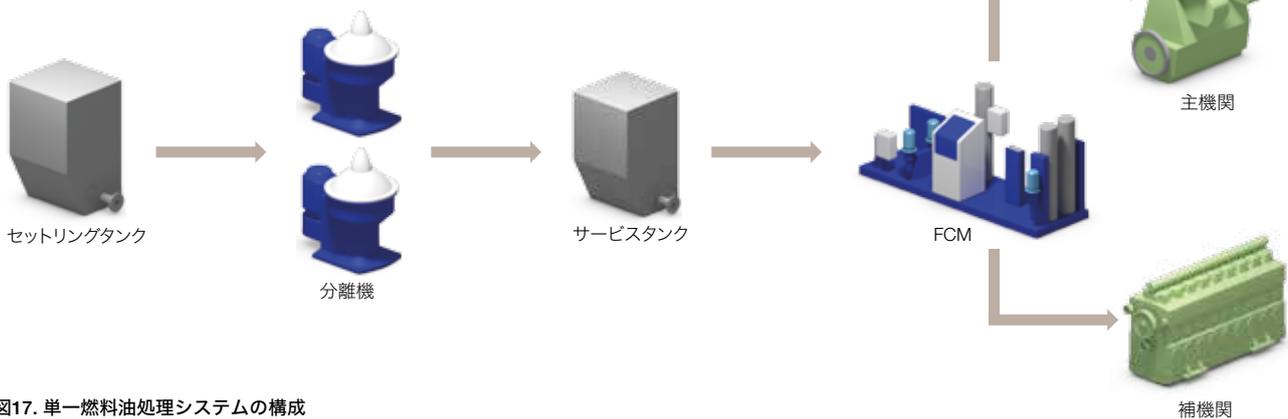


図17. 単一燃料油処理システムの構成

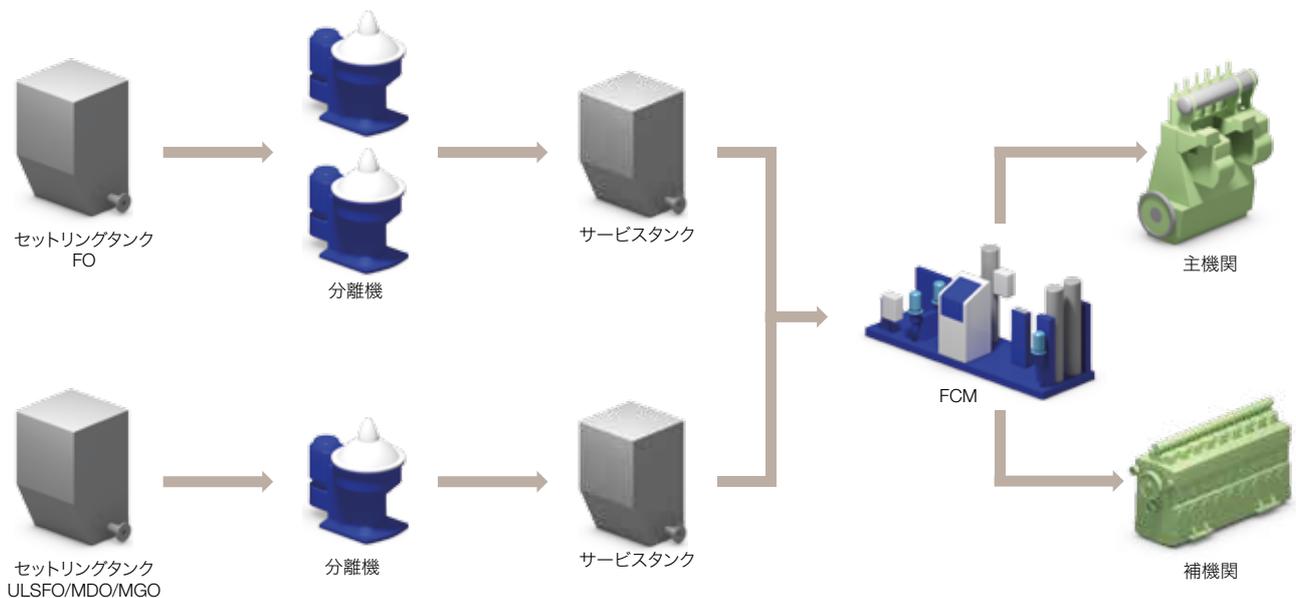


図18. 多元燃料油を使用する船舶の燃料油システムレイアウト

4.3.2 多元燃料油システム

互換性の問題につながり、かつ燃料のECA規則への適合に影響を及ぼす可能性のある、燃料油間の混濁リスクを減らすために、HFO、ULSFO、および各種留出油用のシステムは別々にして分けておく必要があります。実際、ECAで使用される燃料油の硫黄分含有量がその上限に極めて近い場合、少量のHFOの存在でも不適合になる可能性があります。これら両方の問題を回避するには、燃料油ライン全体を通してそれぞれの燃料油を隔離することが必要です。

さらに、燃料油ラインの完全な二元化 (図18) は、運航コストの削減と柔軟性の向上という点で、船舶オペレーターにメリットをもたらします。サービスタンクを別々にすることで、燃料油の切り換えをより下流で行うことができ、その結果、切り換え手順がはるかに速くなり、また高価な軽質燃料油の使用量を削減することができます。さらに、主機関用と補機関用別々のブースターシステムにより、乗組員は必要な燃料でエンジンを独立して運転することができます。配管の追加により乗組員の自由度は増えることになり、異なる燃料で補機関を運転することが可能になります。

4.3.3 HFOとMDO/MGOを別々の分離機で清浄することの重要性

MDOの清浄に既存のHFO用分離機を使用すると取扱い上の問題が生じます。HFOからMDOに切換えると、配管、ポンプ、ヒーターも硫黄分含有率の高い燃料油で満たされます。

たとえ少量であっても誤って高硫黄分を含む燃料油をMDOと混合すると、規格外の燃料油が生じることになり、大きな問題を引き起こす可能性があります。この問題を回避するには、システムから高硫黄分が一掃されるまで、配管系統中にMDOを通液してシステムをクリーニングする必要があります。しかしこれはまた、いくつかの取扱い上の問題を引き起こします。

- 非互換性の問題：MDO / MGOをHFOに混合することは推奨できないこと。これはHFOを不安定にさせて大量のスラッジを生成します。これは非常に取扱いが困難となり、深刻な場合には燃料システム全体を閉塞する可能性があるなど、重大な取扱い上の問題を引き起こすことがあります。
- MARPOL硫黄分上限規制値への適合が判定できないこと。HFO分離機で処理されたMDOがMARPOL硫黄分規制に適合した状態でタンクに保存できるかを判定するには、分析のためにサンプルを採取して試験室に送るしかありません。このような分析には時間がかかるため、ほとんどのオペレーターにとって現実的な選択肢ではありません。

4.3.4 タンク設計

タンク底部の傾斜は触媒粒子、スラッジおよび水分の集積と除去を容易にし、荒天下でもそれらが攪拌されることを防止します。サービスタンクとセッティングタンクとの間に配置されるオーバーフロー管は、エンジン負荷が低下したときに油をセッティングタンクに戻します。サービスタンク底部のオーバーフロー管は、触媒粒子濃度が非常に高い場合、エンジンに近づかないように燃料油を導きます。

4.3.5 燃料油切換え

ECA燃料スイッチは、燃料油切換えとブレンド制御を行う多元燃料管理コンセプトの主要部分です（図19）。エンジンの近くにスイッチを配置すると、HFOから留出燃料油への切換え時に安全を確保し、配管内に残留する高硫黄燃料油の量を最小限に抑えることができます。モニタリングシステムからGPSデータを使用すると、ECAに入る前に切換えを確実に完了できることからさらに硫黄分排出規制への適合に貢献します。

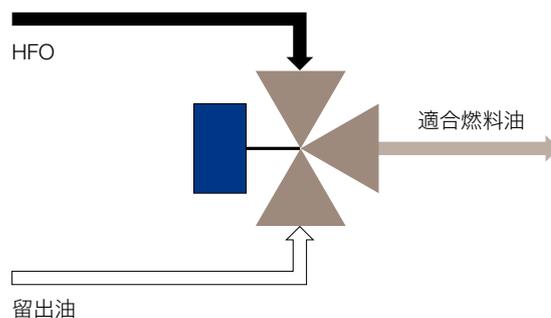


図19. ECA燃料スイッチ

4.4 技術的ソリューション

アルファ・ラバルの製品ラインには、燃料油処理システム全体で使用するための高効率燃料油処理機器類がそろっています。今日の運航上の問題点としては、たとえ船がスロースターティングで運航していたとしても、燃料油をフルキャパシティーで処理することが多いことがあげられます。燃料油処理ライン内の個々の機器類を相互接続し、それらを実際のエンジン負荷に適応させることができれば、燃料油処理プロセスをはるかに効率的に稼働させることができます。緩やかな船速のときに分離機の通液量を減少させれば、エネルギーを節約できるだけでなく、触媒粒子がエンジンに流入するリスクも減少します。本節では、アルファ・ラバルの技術のいくつかを紹介し、これらの技術を利用して首尾良く運航を改善する方法について説明します。

4.4.1 Alcap™ (アルキャップ) 技術

1970年代初頭の石油危機の頃、製油業界は原油からより多くの軽質留分を取り出すことにより収益性を向上させざるを得ませんでした。この目的のために、さまざまな蒸留方法が開発されましたが、HFOの品質は低下し、油の密度は従来の油清浄機の能力では処理が困難なほど高くなりました。油の密度と粘度の両方が高くなりすぎた結果、分離機メーカーはより優れた分離技術を開発することを迫られました。当時のアルファ・ラバル製分離機の処理密度の限界は $991\text{ kg / m}^3 / 600\text{ cSt}$ でしたが、新しいHFOの密度は $1,000\text{ kg / m}^3$ 以上となっていました。そこでアルファ・ラバルは高密度に対応できる分離機の再設計に着手しました。その成果として生まれたAlcap (図20) においては、新型分離機の処理密度の上限は $1,010\text{ kg / m}^3$ まで向上し、粘度の限界は 700 cSt に設定されました。



図20. Alcap™技術を備えた分離システム

分離機の設計

分離機には主に二つの機能があります。

- 清浄機能 - 密度の異なる2種類の液体（燃料と水）を分離する
- 清澄機能 - 液体から固形分（船用分離では、主に触媒粒子）を分離する

分離機の内部では、遠心力を利用してその機能を果たすため、ボウルが高速で回転します。従来の技術では、清浄機として作動するためには、比重板をボウル内に設置して油と水との境界面を設定します。ボウルが回転すると、分離機は連続的に水を排出します。比重板は燃料の密度と粘度に合わせて選択する必要がありますが、比重の重い燃料油は問題になります。そして前述のように、従来の分離機の限界は $991\text{ kg / m}^3 / 15^\circ\text{C}$ です。したがって、従来の構成では、清浄機の後には、通常、清澄機として機能する2番目の分離機が連続設定になります。

Alcapは比重板を廃止し、より高密度(15°C で最大 $1,010\text{ kg / m}^3$)とより高粘度の燃料油の処理を可能にしています。ディスクは調整なしで広い範囲の燃料に対応できるように設計されています。実稼働では、この分離機は清澄機として作動しますが、必要に応じて自動的に含水量をモニターし、出口弁を通して排水します。Alcap分離機はまた、従来型設計の分離機よりも高いエネルギー効率を有しています。

水ドレンバルブの制御

水ドレンバルブは必要に応じて開放し、排水を行う必要があります。バルブの開放時期を判断するには、処理油出口の液流のモニタリングを行います。水分の上昇が検知されるや否や、制御装置の働きにより、用途に応じて排水またはスラッジ排出のいずれかが開始されます。ウォータートランスデューサーは、油出口の処理済油の導電率を測定することにより、油中の水分含有量をモニタリングします。技術的に言えば、トランスデューサーはコンデンサーとして機能します。静電容量は液体の誘電率によって変化しますが、水の誘電率と油のそれとの間には著しい差異があるため、導電率の変動は水分含有量の変化を測る非常に鋭敏な尺度になります。自由水と乳濁水の両方の混濁が測定され、値が高いほど、油に含まれる水分が多いこととなります。油は約4~6の誘電率を有し、水は約90~95です。これは、少量の水でさえ導電率の値を急激に上昇させ、それにより油中に水が存在することを示します。

プロセス

Alcapは、油出口から出る処理済み油の水分を連続的に測定する唯一の分離技術です。分離機ボウル内の油/水境界面は、この測定に基づいて自動的に調節されます。これにより、従来の分離機に必要とされる比重板の変更を行うことなく、 $1,010\text{ kg / m}^3$ までのさまざまな密度の燃料油を分離することが可能となります。

Alcapにおけるオイルロスはごくわずかです。これは技術的に説明すると、油入口を閉じ、分離機が排出を行う前にボウルに置換水を加えることによって、油がディスクスタックの方向に向かって押されるからです。

4.4.2 FlowSync™ - エネルギー効率と流量の最適化

今日分離機への通油は、常に最大容量で行われています。スロースチーミング中にこれを行うことは、分離機を通過して処理される燃料油の量が、エンジンに要求される燃料よりも大きいことを意味します。したがって、燃料油の再循環はとても重要となります。

FlowSyncを燃料油ラインに導入することにより（図21）、分離機への燃料油供給量を実際のエンジン負荷に合わせるすることができます。

分離機への供給流量が低下すると、分離効率が上昇し、供給ポンプおよび分離機の消費エネルギーが少なくなります。

分離効率が上がるのは、燃料油が分離機のボウル内に滞留する時間を長くすることができるため、沈降速度の遅い粒子を燃料油から除去することができるからです。

オンライン式のFlow Syncパフォーマンスシミュレータも利用できます（図22）。これにより、オペレーターは、複数の省エネルギー変数を調節することができ、給油速度を最適化することによってエネルギー節減が可能となります。

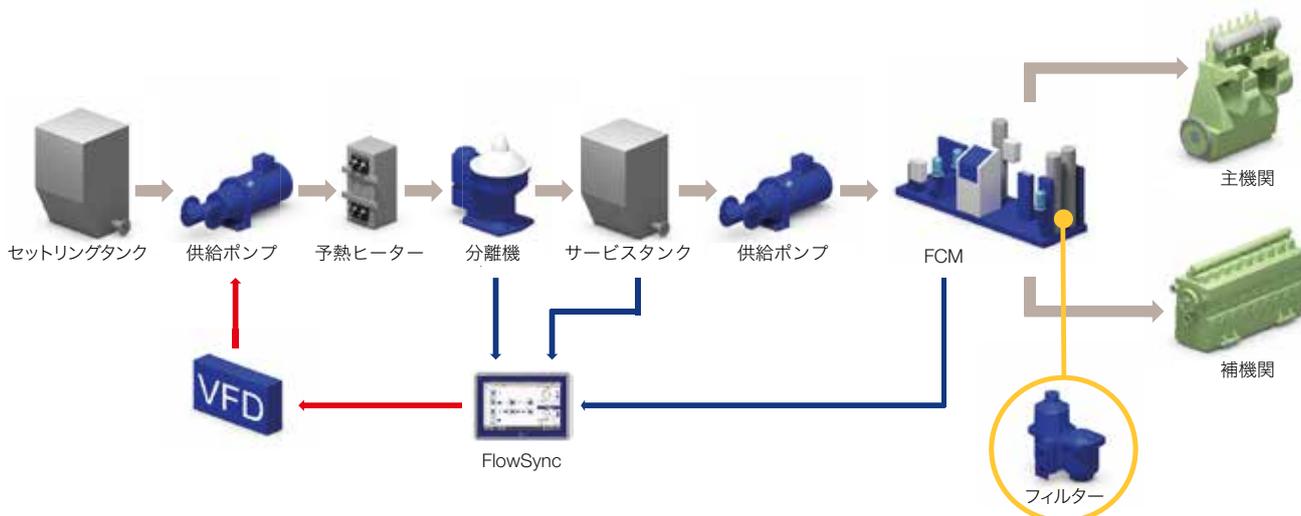


図21. 分離機への給油量制御する燃料油ラインの構成

FlowSyncは、供給ポンプの速度と実際のエンジン負荷を一致させることによって流量を制御します。

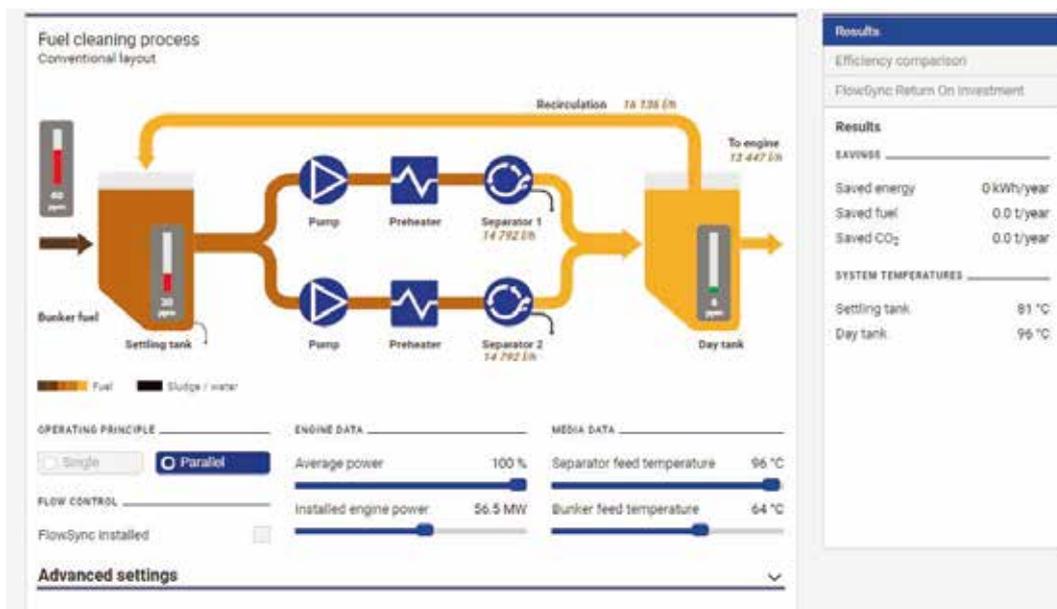


図22. FlowSyncパフォーマンスシミュレーターインターフェース

本シミュレーターにより、オペレーターは燃料供給量を制御することによって可能となるエネルギー節減のパターンをモデル化することができます。

4.4.3 高温分離

燃料油の粘度は温度に強く依存します。温度が高いほど、粘度は低下し、粘度が低いほど、分離効率は高くなります。

前述のように、温度を115°Cに上げると、同じボウル内で分離効率が最大80%向上します。

しかしながら、これは油に含まれる水分にとって問題となります。ボウルの内部では、圧力によって水の蒸発が防止されますが、スラッジ排出の際に重大な問題が生じる可能性があります。この場合+ 100°Cの水は大気圧に曝され、瞬間的に沸騰し、分離機スタンド内での大きな圧力上昇につながります。

したがって、水が沸騰するのを防ぐためにHFOを98°Cに加熱するのが一般的な方法です。

留出燃料油はHFOより引火点が低いことに注意する必要があります。温度をあまり上げすぎると、爆発性雰囲気を生じさせる可能性があります。しかし、一般的に留出燃料油の粘度はHFOのそれよりもはるかに低いため、高温分離は不要です。

4.4.4 PureDry - エネルギー効率と燃料油回収

燃料油の取扱い中および油清浄中に、いくらかの燃料油がスラッジとして失われます。経験上、燃料油の損失は船舶のバンカー燃料油消費量の最大1%程度と推定されます。回収可能な燃料油源には次のものがあります。

- ダイバージョンチャンパー装備の連続バックフラッシング式フィルターからのドレン
- 間欠バックフラッシング式燃料油フィルターからのバックフラッシング
- 燃料油セトリングタンクとサーピスタンのドレン、タンクコーミングとコファダム
- 燃料噴射ポンプ
- ボイラーバーナーの漏れ
- 燃料移送ポンプなどの下のドリフトレイ
- 配管の漏れ
- 燃料流出事故
- 燃料油清浄機

燃料油を効果的に回収するためには、これらの回収源からの廃油を別個のタンクに集め、潤滑油、作動油、その他燃料油回収用として使用できない流出油などと混合してはなりません。Alfa Laval PureDryシステム（図23）は、このタンク内の廃油を処理し、水と固形スラッジを連続的に分離し、再使用可能な燃料油を回収します。処理の結果は通常以下の三相になります。

- 油分含油度1,000ppm未満の水
- 含水率5%未満の燃料油
- 高濃縮固形スラッジ（通常24時間あたり15~25kgの高濃縮固形スラッジ生成）

回収された再利用可能な燃料油は、セトリングタンクに戻されます（図24）。分離された水は、一次ビルジ水タンクに移送されその後の処理に進みます。固形スラッジは陸揚げし、フィルターカートリッジなどの油性廃棄物と同様に処分することができます。PureDryは最高991kg / m³/15°Cの密度までの燃料油を処理できます。

4.4.5 ACS - 自動燃料油切替システム

ディーゼルエンジンにおける留出燃料油の燃焼は、エンジン噴射システム、ポンプおよびその他の装置に影響を及ぼすいくつかの重要な側面を含みます。燃料噴射装置の潤滑能力に影響する噴射時の燃料油粘度が第一の課題です。次に、留出燃料油の注入温度はHFOのそれよりもはるかに低いため、温度勾配という第2の課題、すなわち急激な温度変化が噴射システム内に熱衝撃を引き起こす可能性があります。

噴射ポイントでの適正な燃料油の要件を維持しつつこれらの問題に対処するためには、燃料移送ユニットが、システム内部の温度上昇を制御することによってシンプルかつ安全に燃料の切替を管理できることと、噴射ポイントで軽質燃料油の適正な温度を維持できることの両方に適していることが不可欠です。



図23. Alfa Laval PureDryシステム

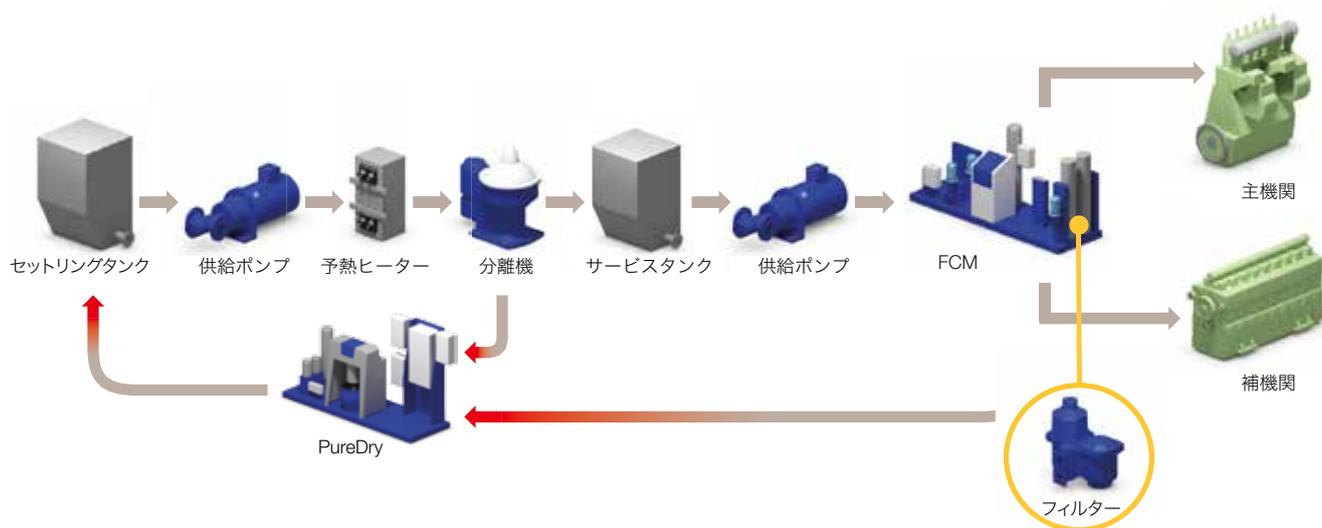


図27. PureDryシステムを配置した燃料油ライン

PureDryは廃油を回収し、再利用可能な燃料油、水および高濃縮固形スラッジに分離します。再利用可能な燃料油は、セッリングタンクに戻されます。



図25. Alfa Laval自動燃料油切換システム

Alfa Laval自動燃料油切換システム（ACS）は信頼性の高い完全自動システムであり、エンジンメーカーの設定限度内に燃料油の粘度を維持しながら、油の品質に関わらず燃料の切換えを遂行します（図25）。燃料油ブースターの高圧ステージの部位として、ACSは加熱器と並列する冷却システムを統括します。

ACSは以下の機能があります。

- HFOの高注入温度から留出燃料油の低温度への移行を制御し、温度勾配がエンジンメーカー設定の限度内に収まるようにします。
- 留出燃料油の温度と粘度をエンジンメーカー設定の限度内に維持します。

ACSは、あらゆる燃料油ブースターシステムと連携するように構成されており、レトロフィットシステムとして容易に設置することができます。

4.4.6 FCM One燃料油コンディショニングモジュール

燃料油コンディショニングとは、ディーゼルエンジンメーカーによって指定された燃料油の圧力、温度、粘度および流量の要件を満たすためにブースターシステムが行う燃料油の処理のことです。これらの要素はエンジンの燃焼性能にとって不可欠なものであり、またエネルギー効率と排ガス削減の両面で重要なものです。

今日の燃料油コンディショニングの対象は、特に船舶設備においてはHFO以外にも多くの種類を含んでいます。排ガス規制法は、船主により軽質で高価な燃料油と留出燃料油の使用を強いる一方、燃料油価格は残渣燃料油への依存度を増しています。ほとんどの船舶は現在、2種類以上の燃料油で運航しており、これらの燃料油を切換えるときに操作上および安全上の懸念が生じます。

各船舶はそれぞれさまざまな方法で課題に取り組んでいます。このためエンジン仕様が同じ船舶でも、それらのブースターには異なる要件が課せられることがあります。

Alfa Laval FCM One（図26）は、従来のAlfa Laval Fuel Conditioning Moduleの進化形であり、新しくグレードアップした機能を提供します。エンジン仕様に正確に合うように燃料油をコンディショニングすることに加えて、FCM Oneは、複数の燃料油（同一船舶に最大4種類）を処理し、ブレンド油を製造するように設定できる自動化装置を備えています。互換性のない燃料油の混入を防ぎ、自動切換えプロセスを管理します。

4.4.7 規制遵守をサポートする電子燃料油レコード

IMO、カリフォルニア州のARBおよびEU硫黄分指令による環境規制への準拠は、自動モニタリングおよびログ機能を装備の指定されたシステム設計によってサポートすることができます。しかし、技術的な解決方法はもちろんですが、規制法についての知識や特定の状況下での操作方法について心得ておくことも重要です。例えば、検査基準、規制不適合の結末および技術的誤作動・機能不全がどのように不適合につながるかを知っておくことは不可欠です。表7に記載されているような技術情報は、規制違反による罰則を回避するのに役立ちます。

FCM Oneは、デジタルレコードを出力することができ、規制法適合を示すための書類提出をサポートすることができます。



図26. Alfa Laval FCM One

燃料ブレンド	燃料切換え	バンカー油情報	GPSシグナル
%燃料1	ポジションCV1	バンカー油入荷情報	緯度
%燃料2	ポジションCV1	燃料油グレード	経度
硫黄分含有量	硫黄分含有量	硫黄分含有量	UTC/GMT時間
燃料油消費量	粘度	分析報告情報	
粘度	温度	MARPOLサンプル承認番号	
温度		バンカー量	

表7. 電子燃料油レコードの入力データ

4.4.8 Moatti燃料油フィルター - エンジンの保護

Alfa Laval Moatti 燃料油フィルター（図27）は、燃料油がエンジンに入る前に粒子や不純物を捕捉して除去するために、システムの最後尾に配置されます。



図27. Alfa Laval Moatti燃料油フィルター

現在の推奨事項に沿って、Moattiシステムは、10 µmサイズのフィルタースクリーンを使用し、高温側と呼ばれる燃料油再循環システム内の燃料油コンディショニングモジュールの後に設置しています。最良のエンジン保護を達成するために、フィルターはできるだけエンジンの近くに配置する必要があります。

Moattiオイルフィルターは、連続的自動バックフラッシュ機能とダイバージョンチャンバーを備えており、濾過済みオイルを利用してバックフラッシュプロセスを駆動します。空気圧を使用してフィルターエレメントを洗浄する間欠式バックフラッシュシステムとは異なり、Moattiシステムは熱に起因するスラッジ形成の影響を受けません。

さらに、Moattiフィルターは後処理段階としてダイバージョンチャンバーを採用しているため、バックフラッシュオイルから懸濁物を継続的に除去することができます。この段階で使い捨てカートリッジを使用する他のシステムとは異なり、Moattiフィルターは余計な消耗品は不要です。

バックフラッシュオイルは、システム内で再循環させる前に再濾過されるため処理プロセスを追加する必要はありません。

4.4.9 2 Touch - 燃料油クリーニングモニター

燃料油清浄機を最適化するには、最新の燃料油清浄技術と油清浄についての知識を活用することが不可欠です。今日の情報技術は、エネルギー効率と油品質の面でシステムの性能を最適化する大きな可能性を提供できます。制御システムと連携すれば、Alfa Laval 2Touch HMIにより分離プロセスをモニタリングすることができます。

Alfa Laval 2Touch HMIはカラータッチスクリーンパネルを採用しています（図28）。本装置はシステム設定データの入力、システムコンポーネントのチューニングとキャリブレーション、アラームの登録、システムの技術的分析とプロセスの最適化に必要なパラメータ値取扱い方法の提供、システムの傾向と対策の保存、その他数多くの機能の提供に使用されます。

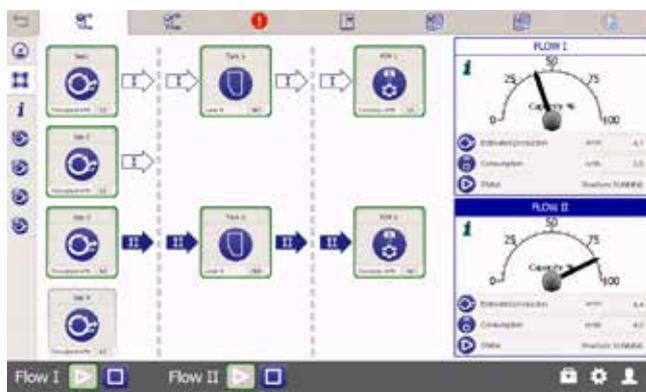


図28. Alfa Laval 2 Touch HMI

4.5 Fuel Line

Fuel Lineのコンセプトは、燃料油処理システムに含まれる個々のコンポーネントすべてをまとめ上げ、エネルギーの消費量を削減し、効率を向上させ、そして同時に操作上の安全性を向上させるために最適化することです。

本燃料油処理システムの心臓部はAlcap™分離機であり、さまざまな密度の燃料油の取扱いにおいて非常に柔軟性に富みます。重油の密度は、さまざまな低硫黄ブレンド油との組み合わせにより著しく変化するため、異なる種類の燃料油に対して良好な分離効率を維持できることは重要です。

エンジンがフル稼働していない場合、FlowSyncは分離機を通過する燃料油の流量を減少させ、実際のエンジン負荷に一致させます。そうすることによって、エネルギー消費が低減され、また燃料油は分離機ポウル内でより長い滞留時間が得られるため、分離効率が向上します。FlowSyncは、サービスタンクが常に満たされ、少量のオーバーフローが再循環される状態を確保します。

FCM Oneブースターユニットは燃料油について、温度、粘度、圧力、流量、粒子からの保護の面で最適なエンジン効率を確保できる限度条件内に維持します。このモジュールは多元燃料油運航に対応し、例えばECAに出入りするときなど、異なる燃料油間の切り替えも行います。

燃料油はエンジンに入る前にオイルフィルターを通過します。Moattiフィルターは、灰分やその他の大きな固形分からエンジンを保護する自動セルフバックフラッシングシステムです。粒子はフィルターの底部に溜まるスラッジに濃縮されます。



分離機、フィルター、サービスタンクドレン、およびその他の供給源から出たスラッジは、PureDryシステムで処理されます。この三相分離システムは、油と水を分離し、ユニットの底部に高濃縮固形スラッジを残します。次いで回収された油相は、セッティングタンクに再循環され、再び燃料油処理プロセスに入ります。

補助的な安全手段として、触媒粒子モニタリングモジュールが、燃料油処理システムに沿ったそれぞれの主要ポイントで触媒粒子のレベルをモニタリングします。荒天時の場合、サービスタンク内に沈降した大量の粒子が攪拌されてエンジンに入ることがあります。そのような場合、本システムは別置のより清浄な燃料油に切り換えることができます。

本書で説明しました主要要素をまとめたFuel Line全体の構成例を図29に示します。

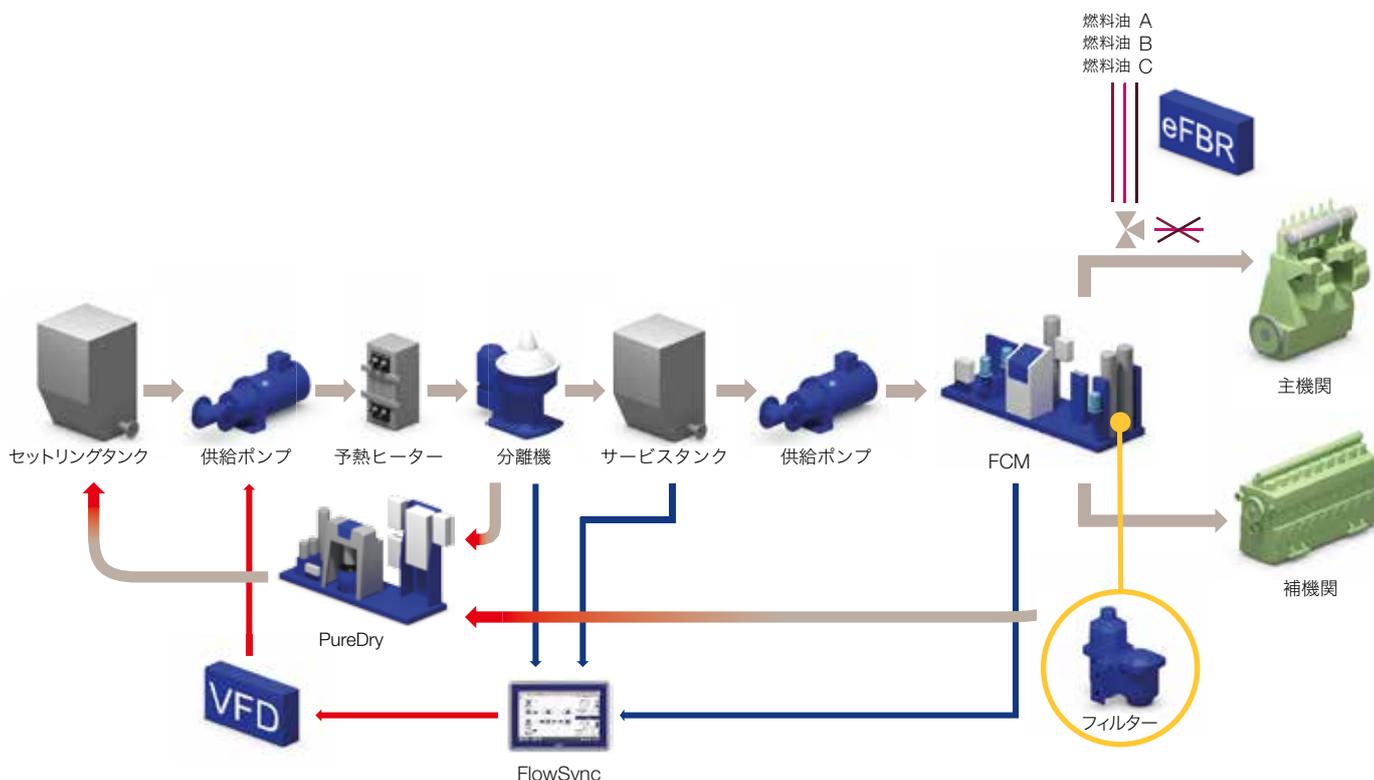


図29. Alfa Laval Fuel Lineの 代表的な構成例



第5章 略語

略語	名称
ACS	自動燃料油切換システム
ARA	アントワープ – ロッテルダム – アムステルダム航路
(C) ARB	(カルフォルニア) 大気資源局
CFR	認定流量
CIMAC	国際燃焼機関会議
ECA	排出規制海域
eFRB	電子燃料油レコードブック
FAME	脂肪酸メチルエステル (バイオディーゼル)
FCM	燃料油コンディショニングモジュール
HDME	Heavy Distillate Marine ECA
HFO	重油
HMI	ヒューマン・マシン・インターフェース
HVO	水素化植物油 (バイオ燃料)
IMO	国際海事機関
ISO	国際標準化機構
LNG	液化天然ガス
LPG	液化石油ガス
MARPOL	1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の議定書 (マルポール条約)
MCR	最大連続定格
MDO	マリンディーゼルオイル – 留出油と残渣油のブレンド
MEP	平均実効圧力
MPEC	海洋環境保護委員会
MGO	マリンガスオイル - 留出油、事実上硫黄分を含まない
MRC	最大推奨流量
ULSFO	超低硫黄船用燃料油
VFD	可変周波数駆動装置
VLSFO	低硫黄船用燃料油



参考文献

1. Alfa Laval AB, "Alcap", EPS012-I-1 V1.*
2. Alfa Laval AB, BP Marine Ltd, MAN B&W Diesel A/S, "Marine diesel engines, catalytic fines and a new standard to ensure safe operation", 2007.*
3. Alfa Laval AB, DNVPS, "Fuel treatment course", EPS002-E-1 V3, 2013.*
4. CE Delft, Assessment of Fuel Oil Availability – Final Report, 2016.
5. CIMAC, "Guideline for the Operation of Marine Engines on Low Sulphur Distillate Diesel", 2013.
6. CIMAC, Paper No. 51, "Onboard Fuel Oil Cleaning, the ever-neglected process – How to restrain increasing Cat-fine damages in two-stroke Marine Engines", 2013.
7. DNV GL, Global Sulphur Cap 2020 – Guidance paper, 2016.
8. European Union Directive 1999/32/EC.
9. European Union Directive 2005/33/EC.
10. European Union Directive 2009/30/EC.
11. European Union Directive 2012/33/EU.
12. IBIA, "Signals hinting at 2020 entry into force of 0.50% global sulphur cap", 2016.
13. IMO MARPOL Annex VI.
14. IMO, IMO sets 2020 date for ships to comply with low sulphur fuel oil requirement, Press Briefing 28/10/2016.
15. ISO 8217:2012 Petroleum products – Fuels (class F) – Specifications of marine fuels.
15. MAN D&T Service Letter SL2016-615/JFH, "Fuel Oil Backflushing Filter".
16. MAN D&T Service Letter SL2017-638/DOJA, "Cleaning of Heavy Fuel Oil and Maximum 0.10% Sulphur Fuels – How to remove cat fines".
17. MAN D&T Service Letter SL2017-640/LNW, "Heavy Fuel Oil Cleaning – Removal of abrasive particles".
18. Outlook for Marine Bunkers and Fuel Oil to 2035, Marine and Energy Consulting Ltd.
19. Platts, "The IMO's 2020 global sulphur cap – What a 2020 sulphur-constrained world means for shipping lines, refiners and bunker suppliers", 2016.
20. Wärtsilä Technical Bulletin RT-140 29/11/2012.*

*Not available online.

アルファ・ラバルの概要

私たちは、熱交換、分離、流体制御のコアテクノロジーをもとに、さまざまな産業を支える製品とサービスを提供するソリューションプロバイダーです。

食品・飲料、化学、石油化学、医薬品などの製造工程の加熱・冷却、分離、移送において、お客様のプロセス効率の最適化を絶えることなく支援していきます。

また、発電所、船舶、石油・ガス産業、機械産業、鉱業、排水処理、空調・冷凍、そして環境保全の分野でもその発展に貢献し続けています。

アルファ・ラバルはおよそ100カ国のグローバル・ネットワークでお客様を支え、日本における実績も90年を超えました。

これからもお客様のそばで、お客様と共に歩んでまいります。

アルファ・ラバル株式会社

ホームページ

最新のアルファ・ラバルの情報はWEBサイトでご覧いただけます。

日本：www.alfalaval.jp

グローバルサイト：www.alfalaval.com