

2020年からのIMO規制適合燃料油について

JXTGエネルギー株式会社

中央技術研究所

燃料研究所 燃料技術Gr 渡邊

本日の内容

1. IMO SOx・PM規制の概要
2. 従来のC重油と適合油との違い
3. 船用燃料油の製造方法の変化
4. 国内の適合油について
5. IMO規制に対する当社の対応

1. IMO SOx・PM規制の概要



図1-1 マルポール条約による硫黄分規制

指定海域・一般海域とは



IMO規制(2020年)への対応方法

①低硫黄分の燃料油を使用

- 指定海域:硫黄分0.1%以下の燃料油を使用
- 一般海域:硫黄分0.5%以下の燃料油(適合油)を使用

②排出ガス洗浄装置(EGCS*)を設置し高硫黄燃料油を使用

* EGCS: Exhaust Gas Cleaning System

- スクラバーに代表される低硫黄燃料と同等のSOx排出低減効果のある装置を設置し、既存高硫黄バンカー重油を使用
- 投資回収効果は高いと試算されているが、既存船への設置^(注1)が課題

* 注1: 船内の設置場所の問題と、工事をするための期間及びドックの空き状況など

③代替燃料(LNG)への切り替え

- LNGを燃料とする船舶を新たに製造し使用(新造船対応)
- 供給インフラ不足等が課題

本日の内容

1. IMO SOx・PM規制の概要
2. 従来のC重油と適合油との違い
3. 船用燃料油の製造方法の変化
4. 国内の適合油について
5. IMO規制に対する当社の対応

2. 従来のC重油と適合油との違い

従来C重油(HSFO)

適合油(VLSFO)

- 硫黄分(規制値) : 3.5質量%以下 ⇒ 0.5質量%以下
- 動粘度(50°Cにおける): 150cSt※程度 ⇒ 20cSt程度以上
(実勢) (見込み)
C重油(残渣系)の規格値
・JIS3種1号: 250cSt以下
・ISO8217: 180cSt以下
- 流動点 : 10°C以下 ⇒ 30°C以下
(実勢) (見込み)
C重油(残渣系)の規格値
・JIS3種1号: なし
・ISO8217: 30°C以下

出典：国土交通省海事局発行
「2020年SOx規制適合船用燃料油使用手引書」

① 動粘度

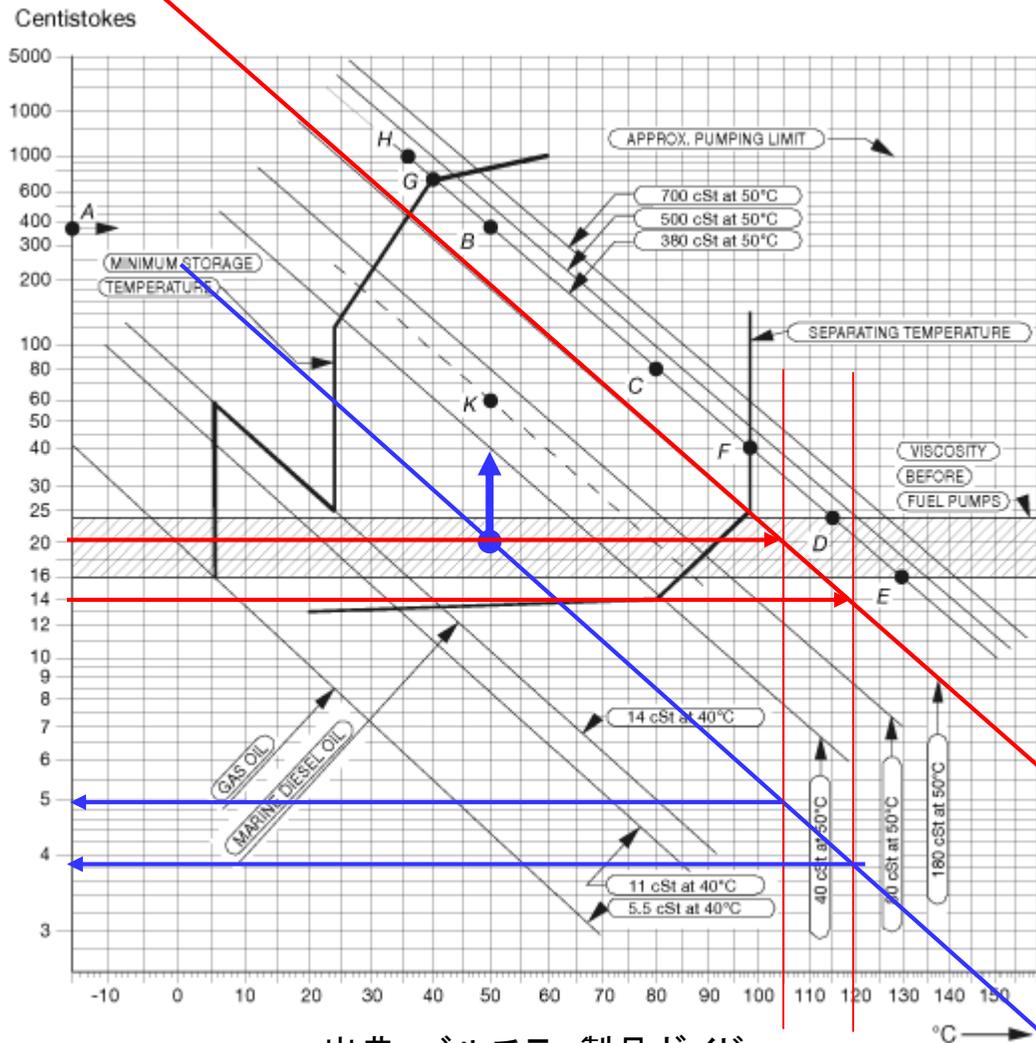
動粘度が低下する、とはどういうことか

- 燃料油は高温になるほど動粘度が下がりサラサラになります。従来のHSC重油のような高動粘度の燃料油は加熱して適切な動粘度まで下げて使用することが一般的です。
- 適合油は50℃の動粘度が従来のHSC重油に比べて低くなります
 - ✓ 当社適合油は50℃動粘度で「20 cSt超 180 cSt以下」
- そのため、適切な動粘度にするための温度が従来より低くなります

【対応策】

- ✓ 動粘度を確保・調整するための温度管理を徹底する
(適切な動粘度にするための温度が従来より低くなります)
※当社品は仮に調節できず従来通りの加熱（110℃程度）となった場合でも
エンジン入り口の最低動粘度（2cSt以上）を確保できるよう
50℃動粘度で20cSt超に設定
- ✓ 動粘度が機関、機器類の使用に適しているか確認する

参考：温度－動粘度 線図



出典：バルチラ 製品ガイド

- 温度-動粘度の関係は従来のHSCなどと同じ傾き
- 50°C動粘度で20cSt以上あれば、従来のC重油並みに加熱(105~120°C)してしまっても、エンジン入口で4~5cSt程度の動粘度は確保できる

HSC重油 (180cSt@50°C)

適合油 (20cSt@50°C)

② 低温流動性

流動点が高くなる、とはなにか

流動点とは：

JISK2269に規定の方法で測定し求められる特性値で、試験管に入れた燃料を徐々に冷やし、試験管を横に倒した際に、中の油が一定時間内での流動が認められる最も低い温度

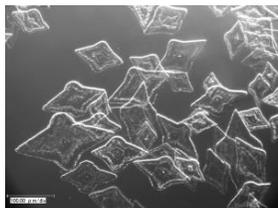
- ✓ 低温になると燃料中に含まれる「ワックス分（パラフィン分）」が析出してきます
- ✓ さらに低温になりワックスの結晶が成長すると流動性がなくなります
- ✓ 「流動点が高い燃料油」は、「流動点が高い燃料油」よりも高い温度でワックス分が析出します

※パラフィン系の基材ほど流動点が高くなる傾向があります

一般的に測定値は以下の順で低くなります

曇り点(CP) > 目詰まり点(CFPP) > 流動点(PP)

ワックス析出 ⇨ ワックス結晶成長 ⇨ ワックス結晶の立体構造化(流動性低下)



軽油ワックス結晶写真の一例

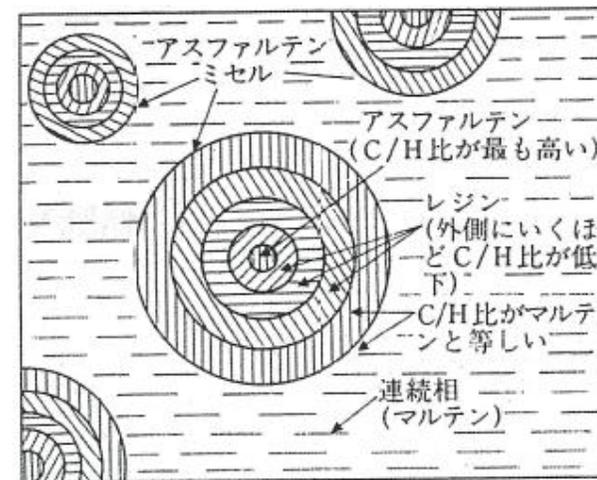


ワックスによる
軽油のメインフィル閉塞例

③ 混合安定性

- 混合安定性とは
 - ✓ 異なる2種の燃料油を混合した際に単独では保たれていた安定性が崩れ、いずれかの燃料に含まれていたアスファルテンスラッジ等が析出することがある。その析出のしにくさを一般的に混合安定性として定義する。ただし、舶用燃料油の規格であるISO8217:2017では定義されていない。

- 参考：アスファルテンスラッジとは
 - ✓ アスファルテンは、多環芳香族を分子中に含む高分子量の炭化水素化合物で、本来は水にも低級パラフィン類にもアルコール類にも不溶である。
 - ✓ 重油中のアスファルテンは高分子量の芳香族を層状に吸着して安定なミセルを形成し、液状の炭化水素から成るマルテン中にコロイド状態として安定している。
 - ✓ 他の燃料油との混合などによりミセルのバランスが崩れると、アスファルテンが凝集を開始し、さらに粒子が成長した結果、スラッジとして沈殿すると考えられる。



アスファルテンミセルの仮想図

出典：日本海事協会(ClassNK)発行

「2020年からのSox排出規制適合燃料油の使用に関するガイダンス」

混合安定性に関して

- 国土交通省発行の手引書には「混合安定性試験において、異なる石油元売り事業者から提供されるLSC重油(注)との間でも混合安定性は確保できていたとの結果が出ています」との記載があります。一方で「スラッジ発生のリスクはゼロではありません」との記載もあります。
- 当社としても、国内の適合油同士の混合安定性のリスクは残っていると考えておりますので、引き続き慎重な対応が必要と考えます。
- 海外オイルメジャーも、異なる燃料油同士の混合を避けるようにコメントしています。

(参考：BPの混合安定性に関する説明動画)

<https://www.bp.com/en/global/trading/crude-oil-and-refined-products/marine/marpol.html>



注：国交省手引書では「適合油」を「LSC重油」と記載しており、そのまま転記しています(注記はJXTG記載)

補油における注意事項（混合安定性）

- 適合油の性状多様化に伴い、HSC重油との混合や、他社の適合油との混合に伴いアスファルテンスラッジ発生の可能性があります。
- 国土交通省海事局発行の「2020年SO_x規制適合船用燃料油使用手引書」には、補油時の注意事項として以下の記載があります

- 適合油を初めて補油するとき
 - ✓ 「燃料油を混合すると、燃料中のアスファルテンが凝集した炭素質のスラッジが発生する場合があります」
 - ✓ 「混合をなるべく避ける」「混合せざるを得ない場合（中略）フィルターの差圧や清浄機の稼働状況をこまめに確認するなど、スラッジ発生に注意することが重要です」
- 2回目以降の補油における対策（適合油同士の混合）
 - ✓ 「スラッジ発生のリスクはゼロではありませんので、今までのHSC重油と同様に、残油をできる限り少なくして補油するなどの注意が必要です。」

- そのため可能な限り異なる燃料油を混合しないことが重要です。
- 異なる燃料油を混合した際は、消費するまで慎重な管理が重要と考えます
- 当社の製造する適合油は、当社8製油所の製品間での混合安定性検証を十分に行っています。

- 海運業界がSOx規制強化の準備に万全を期せるよう、**国内石油元売りが生産した規制適合油を用いて、実際に船舶を運航するトライアル事業**を実施
- トライアルでは、499～10,000Gt超の内航船12隻が規制適合油を補油し、外洋・瀬戸内海を含む航路で運航
- その結果、いずれの船舶においても、**改造を行うことなく、規制適合油への円滑な切替、正常な運航が可能であることを確認**

事業の概要

- 規制適合油を燃料配給船(バンカー船)から内航船に補油して実運航を実施
- 補油から**エンジンへの燃料油の移送供給、燃焼に至るまでの船舶の状態等を計測**
- 実施船舶※: 第1弾 6/27～: 499～749Gtの計4隻(鋼材運搬船・セメント運搬船)
第2弾 7/29～: 1万Gt程度の計2隻(フェリー・RORO船)
第3弾 8/26～: 999～1万Gt超の計6隻(貨客船・RORO船・LPG運搬船・鋼材運搬船・セメント運搬船)
※ 国内エンジンメーカー11社の主機又は補機をカバー
- 使用した規制適合油: **国内石油元売3社が生産・供給した硫黄分0.5%以下のC重油**

使用した規制適合油の性状

	第1弾	第2弾	第3弾
硫黄分(質量%)	0.26	0.43	0.30
動粘度@50°C(cSt)	27.1	17.1	42.0
流動点(°C)	-22.5	-5.0	12.5
密度@15°C(g/cm ³)	0.9247	0.9326	0.9295



バンカリングの様子

- 事業受託機関: (国研)海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所、(株)日本海洋科学

- ・燃料配給船(バンカー船)及び補油を受けた12隻の船舶は、通常と同様、**事前のタンククリーニングは行わず、少量の高硫黄C重油が残るタンク内に規制適合油を注ぎ足した。**
- ・トライアルの結果、いずれの船舶においても、**改造を行うことなく、規制適合油への円滑な切替、正常な運航が可能であることが確認された。**
- ・また、以下の事項が確認され、**燃料油の切替えに関して有益な知見が得られ、関連情報とともに「2020年SOx規制適合船用燃料油使用手引書」へとまとめた。**

確認された主な事項

○混合安定性：

船内採取した燃料油のスポットテスト※の結果、混合安定性が確保されていることが確認され、運航中も混合によるスラッジ(固形物)の異常は発生はなかった。

※ 高硫黄C重油と規制適合油、A重油と規制適合油の組み合わせで実施

○硫黄分濃度：

各船舶の燃料油貯蔵タンク内では、高硫黄C重油の残油と規制適合油がほぼ均一に混合された(性状表等から計算した値と実際の計測値がほぼ合致)。

○高硫黄C重油から規制適合油に切替わる過渡期への対応策：

動粘度調整装置の有無に応じて以下の対応策を行い、円滑な燃料切替を行えた。

動粘度調整装置	燃料油の温度・動粘度調整	清浄器の調整
無し	燃料の加熱温度を従来の高硫黄C重油使用時と同様の値に設定(変更無し)	調節板を低密度用のものへ変更
有り	動粘度調整装置に至るまでの燃料系統の加熱装置の設定温度を下げる	ヒーターの設定温度低下に伴う燃料油密度上昇を踏まえ、必要に応じ調節板を変更

2020年
SOx規制適合
船用燃料油
使用手引書
1.0.0

適合油におけるその他の懸念事項

- 日本海事協会(ClassNK)発行の「2020年からのSox排出規制適合燃料油の使用に関するガイダンス」には、「適合油使用時に考慮すべき燃料油の性状」として以下の5項目が記載されている
 - 1. 混合安定性 (国交省手引書にも記載の項目)
 - 2. 低動粘度化 (国交省手引書にも記載の項目)
 - 3. 低温流動性 (国交省手引書にも記載の項目)
 - 4. Cat-fines (Al+Si) (NKガイダンス独自の項目)
 - 5. 着火・燃焼性 (NKガイダンス独自の項目)
- 同ガイダンスには、「IMOガイドライン案において、その他考慮すべき点として取り上げられた項目」として以下があげられている。
 - ① 単独安定性
 - ② 酸価
 - ③ 引火点
 - ④ 通常含まれないと考えられる成分の混入

④ Cat-fines (主に海外補油)

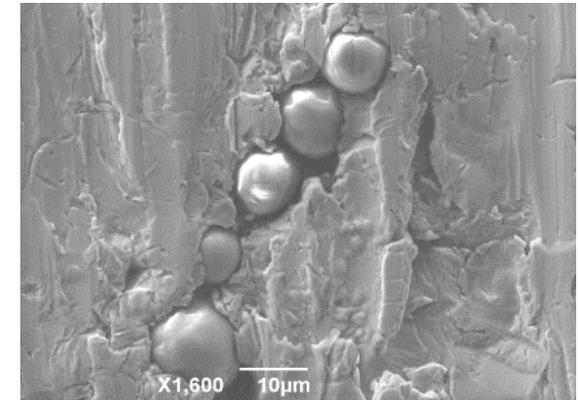
- 製油所の2次装置の中で、流動接触分解装置(FCC装置)は触媒を使って、重油からガソリンを製造する装置です。
- このFCC装置から出てくる分解重油(CLO)は、低硫黄基材としてこれまでのHSC重油にも使用されていましたが、適合油の基材としても使用される可能性があります。
- CLO中には、FCC装置の触媒が粉碎された直径10ミクロン程度の微粒子(Cat-fines)が混合しているため、適合油製造時には適切な混合量の管理が重要です。
⇒当社では社内基準により適切な管理を行っています

【潜在的リスク】

- ✓ Cat-finesを含む低硫黄基材(CLO)を多く使用する場合はCat-finesが増加する可能性がある (この場合、Al+Si含有量の増加として検出される)
- ✓ Cat-finesが船内前処理で適切に除去できなかった場合、機器に侵入して摺動部等に物理的な損傷を与える可能性がある。

【対応策】

- ✓ 清浄機の適切なオペレーション
- ✓ セットリングタンクでの適切な前処理の実施



ピストンリングに埋没した触媒微粒子

⑤ 着火・燃焼性 (主に海外補油)

- ✓ 着火性：燃料の自己着火のしやすさ
⇒ISO 8217:2017は着火遅れ指標としてCCAIの上限値が規定
- ✓ 燃焼性：後燃え時間や火炎長さ、黒煙・燃焼室デポジットなど
⇒ISO 8217:2017で定義なし

【潜在的リスク】

- ✓ 分解系基材を大量に使用するなど、芳香族性の高い燃料では着火・燃焼性が悪化することがある。
- ✓ 単純に重質な高硫黄重油と軽質留分を混合すると、ギャップフューエル(ダンベル燃料)※となり燃焼性に懸念が生じる可能性がある
※高沸点留分と低沸点留分のみで成り立っている燃料のこと

【対応策】

- ✓ **燃焼性指標 (CCAIなど) による管理が重要。** 高芳香族性は安定性向上に寄与するのでバランスが重要。

⇒当社では、製造する適合油の試製燃料を用いてエンジン燃焼試験を実施し、当社適合油に着火・燃焼性の問題がないことを確認しています

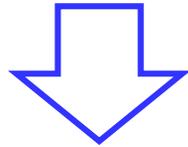
- ✓ **トラブルの兆候を早期につかむため、機関の状態監視を強化することが予防策となる**

本日の内容

1. IMO SOx・PM規制の概要
2. 従来のC重油と適合油との違い
3. 船用燃料油の製造方法の変化
4. 国内の適合油について
5. IMO規制に対する当社の対応

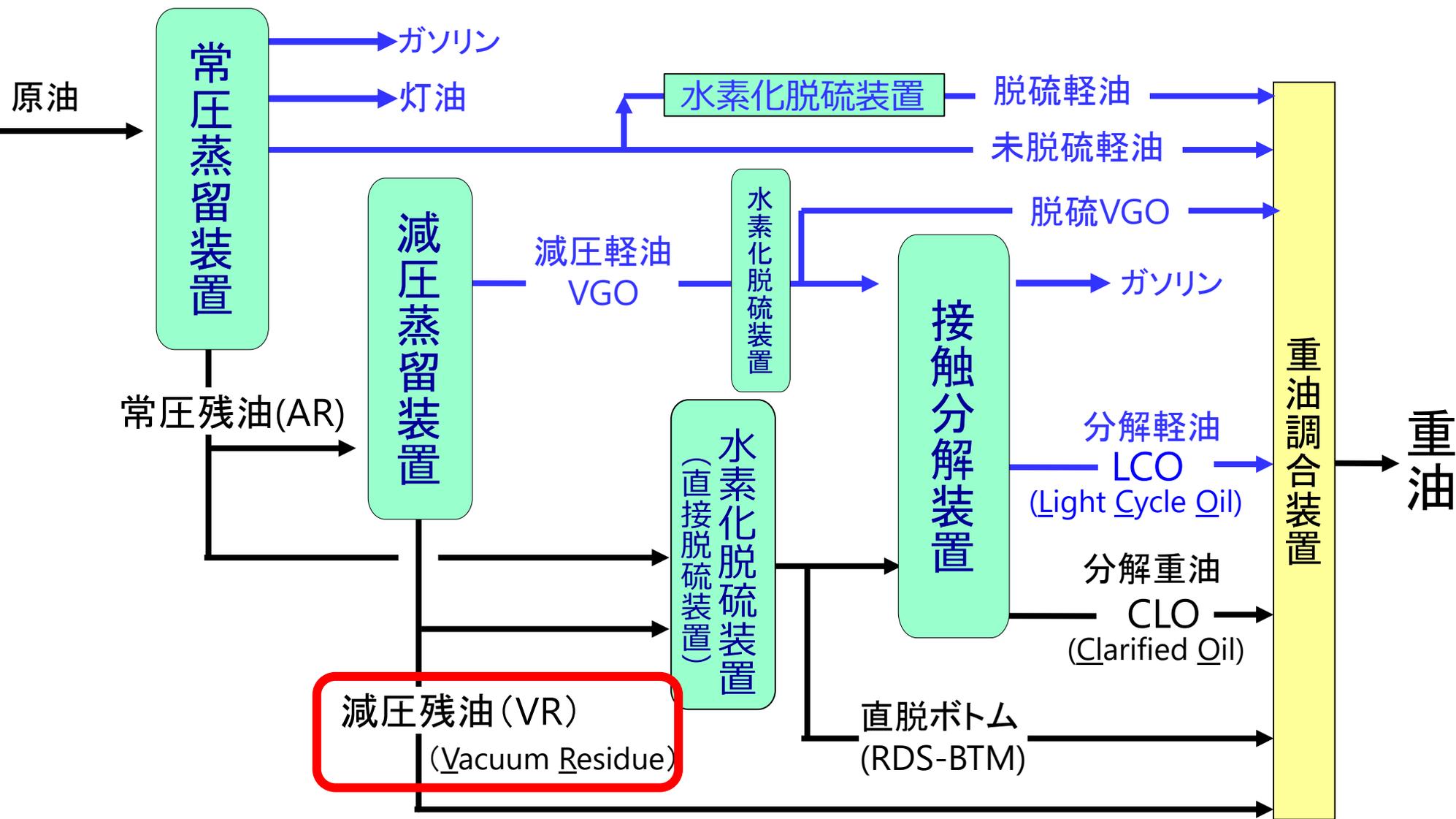
3. 船用燃料油の製造方法の変化

- なぜ、動粘度の低下・流動点の上昇といった性状の変化や混合安定性の問題が生じているのか？



- 船用燃料油が、従来のHSC重油(HSFO)からIMO規制適合油(VLSFO)に変わることによって、燃料油の製造方法が大きく変化するため

従来のHSC重油(硫黄分3.5質量%以下)の製造フロー (概略)



- 減圧残油を主体に、様々な基材（直脱ボトム、CLO、分解軽油(LCO)や軽油留分等）を混合して動粘度や硫黄分を調整している。

硫黄分規制を燃料で対応する場合

硫黄分0.5%以下の低硫黄燃料の製造方法

- ① 低硫黄原油の残油を使用する。
⇒低硫黄原油の供給量が限定的である。（安定供給に課題）
- ② 高硫黄原油の残油を脱硫して低硫黄燃料を製造する。
⇒ 現状の設備能力での対応に限られる。（生産量は限定的）
- ③ 軽油（MGO）・A重油（MDO）での対応
⇒ 供給量は確保。低動粘度・非加熱使用により本船側の機器対応が必要な場合も
- ④ 製油所における様々な低硫黄基材を混合して製造する。
⇒ 使用する基材の種類や比率により、性状が大きく異なる可能性がある。
- ⑤ 高硫黄C重油と軽油を混合して製造する。
⇒ いわゆるギャップフューエル（ダンベル燃料）となる可能性。（燃焼性に懸念）

硫黄分規制を燃料で対応する場合

硫黄分0.5%以下の低硫黄燃料の製造方法

① 低硫黄原油の残油を使用する。

⇒低硫黄原油の供給量が限定的である。（安定供給に課題）

② 高硫黄原油の残油を脱硫して低硫黄燃料を製造する。

⇒ 現状の設備能力での対応に限られる。（生産量は限定的）

③ 軽油（MGO）・A重油（MDO）での対応

安定供給を前提とした供給量確保を考えた場合 より本船側の機器対応が必要な場合も

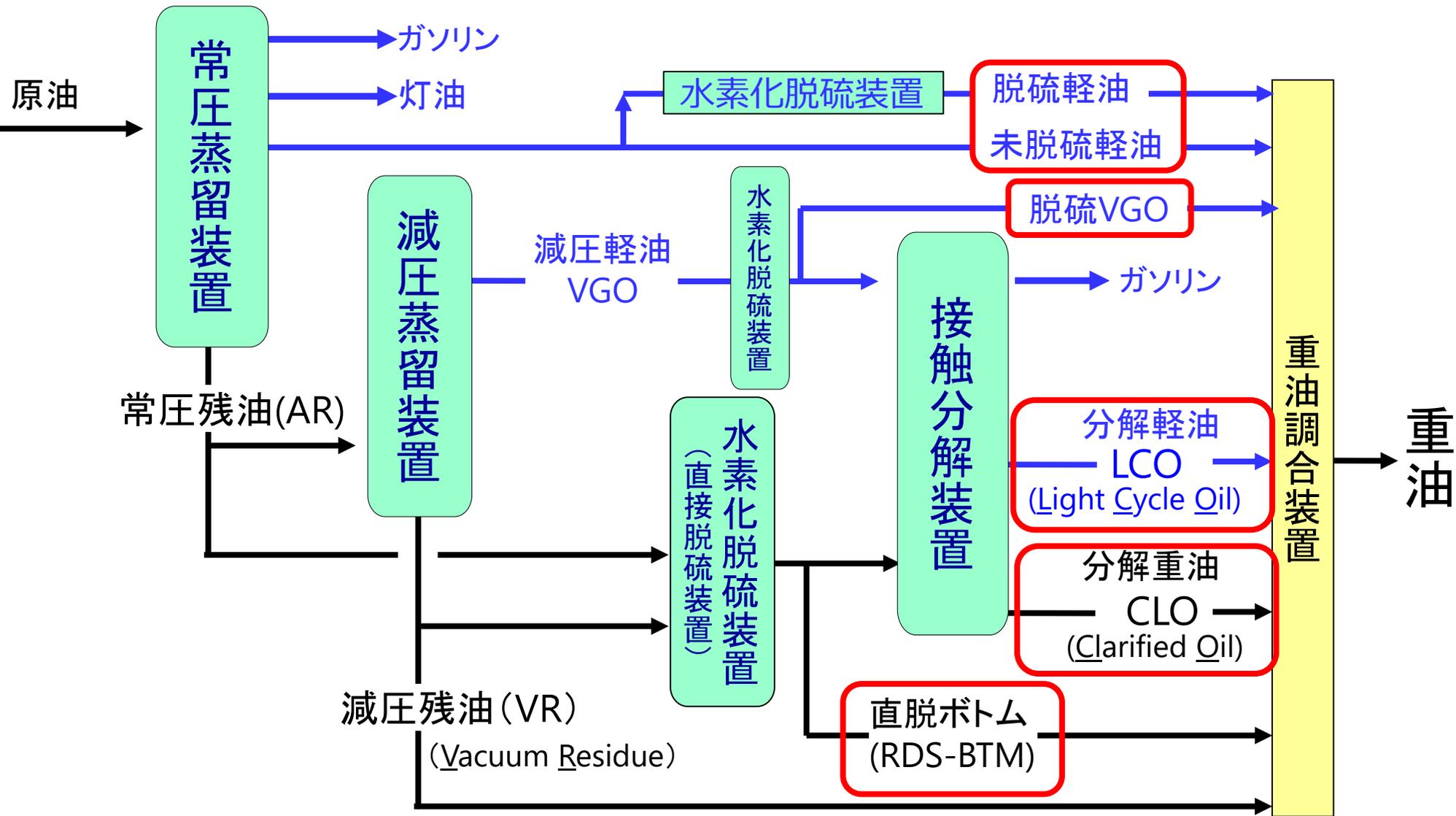
④ 製油所における様々な低硫黄基材を混合して製造する。

⇒ 使用する基材の種類や比率により、性状が大きく異なる可能性がある。

⑤ 高硫黄C重油と軽油を混合して製造する。

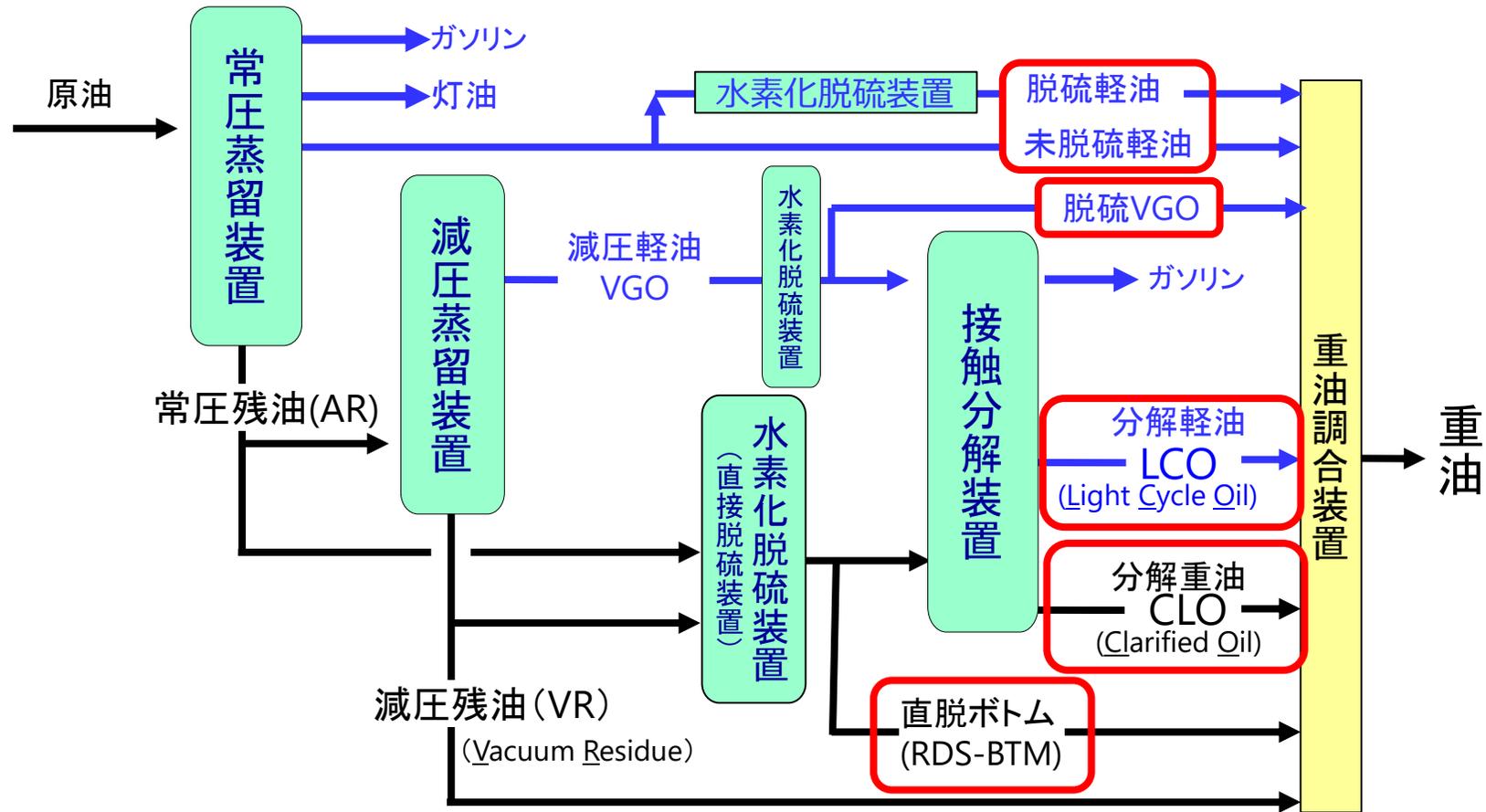
⇒ いわゆるギャップフューエル（ダンベル燃料）となる可能性。（燃焼性に懸念）

適合油の製造フロー（対応案④）



・製油所により装置構成などが異なるため、使用する基材の種類や比率が異なることから、性状が大きく異なる適合油が生産される可能性がある。

適合油の製造フロー（対応案④）



- 低硫黄基材は低動粘度のものが多い。また、動粘度の高めの基材は流動点の高いものが多い
- CLOを多く使用する場合はCat-finesが増加する可能性がある
- 分解系留分（分解軽油、分解重油、コーカー軽油など）を大量に使用すると燃焼性が悪化することがあるため、燃焼性指標（CCAI, CIなど）による管理が重要→ただし安定性向上に貢献

硫黄分規制を燃料で対応する場合

硫黄分0.5%以下の低硫黄燃料の製造方法

- ① 低硫黄原油の残油を使用する。
⇒低硫黄原油の供給量が限定的である。（安定供給に課題）
- ② 高硫黄原油の残油を脱硫して低硫黄燃料を製造する。
⇒ 現状の設備能力での対応に限られる。（生産量は限定的）
- ③ 軽油（MGO）・A重油（MDO）での対応
⇒ 供給量は確保。低動粘度・非加熱使用により本船側の機器対応が必要な場合も
- ④ 製油所における様々な低硫黄基材を混合して製造する。
⇒ 使用する基材の種類や比率により、性状が大きく異なる可能性がある。
- ⑤ 高硫黄C重油と軽油を混合して製造する。
⇒ いわゆるギャップフューエル（ダンベル燃料）となる可能性。（燃焼性に懸念）

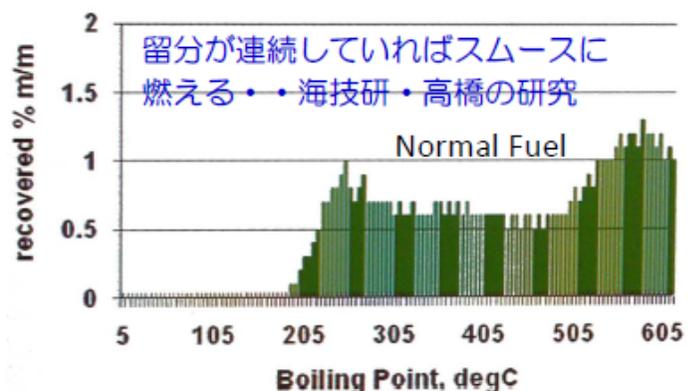
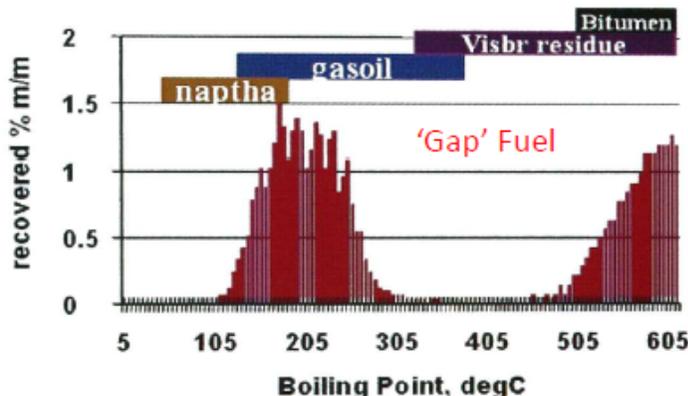
ダンベル燃料(Gap Fuel)とは

- ・高沸点留分と低沸点留分のみで成り立っている燃料。
- ・燃焼性の悪化が指摘されている。

- ・製造のために石油精製設備が不要であるため、タンク設備のみを持つバンカーサプライヤーから出される可能性がある。

ダンベル燃料= Gap Fuel : 今に至って考えられるのは・・・

当時のトラブル燃料はダンベル燃料= Gap Fuel だったのではないかと



CIMAC 07, Paper No.198
The effects of a changing oil industry on marine fuel quality and how new and old analytical technique can be used to ensure predictable performance in marine diesel engines

Koen Steernberg, Shell Global Solutions International B.V., The Netherlands
Seymour Forget, Shell Marine Products Ltd., UK

Gap-fuels can seriously hamper smooth engine operation, as they tend to give poor ignition and slow and incomplete combustion.

Incomplete combustion affects particulate emission and possibly leads to engine fouling, e.g. on the piston top-lands resulting in liner scuffing, or on the turbo-charger.

28

高崎先生*講演(2017年3月22日)資料より

(* :九州大学名誉教授)

1999年～2000年のトラブルバンカー油に関する紹介の中でダンベル燃料に言及

本日の内容

1. IMO SOx・PM規制の概要
2. 従来のC重油と適合油との違い
3. 船用燃料油の製造方法の変化
4. 国内の適合油について
5. IMO規制に対する当社の対応

4. 国内の適合油について

当社も国交省の検証に先行して、
直接エンジンメーカーと情報交換し確認

・国土交通省殿の検証により

- ▶ 動粘度：20cSt以上であればほとんどの船舶でエンジン改造が基本不要であることをエンジンメーカーに確認
- ▶ 流動点：実証の結果、流動点(30℃)以下の低温使用時でも配管移送に問題ないことを確認

石油元売り 当初提案	外航船				内航船			
	エンジン	燃料ポンプ	燃料タンク	燃料配管	エンジン	燃料ポンプ	燃料タンク	燃料配管
動粘度 2~180cSt 流動点 30℃以下	×	○	○	○	×	△	×	△
	3割の船舶で ドック内改造必要	ほとんどの船舶は 対応可	ほとんどの船舶は 対応可	実態上ほとんどの船舶で 問題なし	約450隻でドック内 改造必要	大型船は改造が必要となる 可能性	タンクの加熱が不十分な 可能性	配管の加熱が不十分な 可能性

双方とも対応しうる性状	外航船				内航船			
	エンジン	燃料ポンプ	燃料タンク	燃料配管	エンジン	燃料ポンプ	燃料タンク	燃料配管
動粘度 20(~50)cSt 流動点 30℃以下	× → ○	○	○	○	× → ○	△ → ○	× → ○	△ → ○
	加熱設定により、ほとんどの船舶で 対応可				加熱設定により、ほとんどの船舶で 対応可	建造時の設計余力により、ほとんどの船舶で 対応可	加熱油のタンク戻しにより、ほとんどの船舶で 対応可	冬季寒冷地での運用を注意すればほとんどの船舶で 対応可

海運事業者 当初要望	外航船				内航船			
	エンジン	燃料ポンプ	燃料タンク	燃料配管	エンジン	燃料ポンプ	燃料タンク	燃料配管
動粘度 70cSt~ 流動点 0℃以下	○	○	○	○	○	○	○	○

流動点上昇による影響の検証例(国土交通省手引書より)

2) 燃料油貯蔵タンクの温度低下の事例:

極寒環境下での実船にて貯蔵タンクの加熱を止め、温度低下を計測したところ、以下のように燃料油温度が低下することが確認されました。

- 計測箇所: 約20m³の二重底タンクの中央、底から0.5m(液位1m)、水温約5°C
- 計測結果: 2.4°C/h(10hで54°C⇒30°C)、0.8°C/h(10hで30°C⇒22°C)

3) 流動点以下の油の移送実験:

万一、流動点を大幅に下回って燃料油が冷却されても、以下の場合、燃料油を移送できることが試験で確認されています。

- 試験燃料: 動粘度(50°C)20cSt、流動点40°C
- 試験装置: ポンプ(モータ出力:1.5kW、吐出し圧:0.6MPa)、
配管(ポンプ入口:50A×5.5m、出口:20A×1m)
- 試験条件: ポンプ、配管に燃料油を満たし、5~10°Cに冷却後、ポンプ運転



移送実験の様子

本日の内容

1. IMO SOx・PM規制の概要
2. 従来のC重油と適合油との違い
3. 船用燃料油の製造方法の変化
4. 国内の適合油について
5. IMO規制に対する当社の対応

5. IMO規制に対する当社の対応

(1) A重油

①規制適合油対応

- ・硫黄分が0.5質量%以下となる適合油を供給
- ・硫黄分を除く品質は従来のHSA重油(S=1.0%)相当

②供給体制

- ・これまでのA重油供給体制と同等の体制を維持
(硫黄分0.1%と0.5%の2油種体制)
- ・供給開始：2019年9月から

IMO規制に対する当社の対応（2）

（2）C重油

①規制適合油対応

- ・硫黄分が0.5質量%以下となる新たな適合油を供給
 - ✓LS船用燃料油
 - ✓VLSFO(05)

②供給体制

- ・設備対応を行い、適合油出荷体制を整備
- ・供給開始：2019年10月から

【船用燃料油環境規制における低硫黄化対応について】

・内航海運業界からの要望を踏まえつつ、既存取引先（内航・外航）への安定供給に支障がないよう製造方法を再検討した結果、以下の規格値とさせていただきます。

＜LS船用燃料油の主な項目の規格値＞

- ・硫黄分 0.50質量%以下
- ・動粘度（@50℃） 20.0 mm²/s (cSt)を超え180 mm²/s (cSt)以下
- ・流動点 30.0℃以下

※**実際の出荷品は、流動点の上限、動粘度の下限に近い性状となる見通し**

※**高動粘度の低硫黄基材は高流動点であることから、供給量と要望性状（低流動点、高動粘度）を同時に満たすことは困難**

・詳細は弊社商流を通じてお問い合わせください



ご清聴ありがとうございました。

エネルギーを、ステキに。



ENEOS