

# 2020年 SO<sub>x</sub>規制適合 船用燃料油 使用手引書 ( 第 2 版 )

船用燃料油の性状変化への対応に関する検討会  
国土交通省 海事局

## 改訂履歴:

2019年 3月29日 初版発行

2019年 9月10日 第2版発行

- P.9に潤滑油のアルカリ価が高い場合の影響の説明に「硬質のカルシウム分が析出」を追記し補足。
- P.11に実船トライアルについて記載。
- P.12, 14の図番誤記を修正。
- P.16に実船トライアルについて記載。
- P.18に清浄機の項目を追加し、実船トライアルについて記載。
- P.21の図1-Aに試験のイメージを追加。
- P.22の表1-C中のHSC1に係る数値の誤記を訂正。
- P.23, 24に混合安定性に関する追加試験結果を表1-F, 1-H, 1-J, 1-Kとして掲載。
- 付録2に実船トライアルで用いたLSC重油の計測結果を追記。
- 付録3に本方法が適用できる条件を追記。
- 付録5「LSC重油実船トライアル」を追加。

# はじめに

船舶の排気ガスによる人の健康や環境への影響を抑止するため、海洋汚染防止条約(マルポール条約(MARPOL条約))の改正により、2020年1月1日以降に使用する燃料油中の硫黄分濃度の規制値が従来の3.5質量%以下から0.5質量%以下に厳しくなります。

この規制強化に対応して、国内石油元売り事業者や販売事業者から供給される規制に適合する低硫黄重油を使用するにあたり、船主、運航者、船員等の船舶関係者が把握しておくべき情報や注意点があります。これらについて、内航船での対応を主眼に、国土交通省海事局が設置した「船用燃料油の性状変化への対応に関する検討会」において、造船所、船用機器メーカー、研究機関等の専門家の知見や情報を集約し、本手引書にとりまとめました。

本手引書の目的は、船主、運航者、船員等の船舶関係者が、本手引書に記載の内容を参考にして、各船舶に関連する機器メーカー、造船所等から具体的な情報や協力を得て、燃料の性状変化に対して適切な対策を実施することにより、今回の規制強化に円滑に対応できるようにすることです。

なお、船舶は一隻一隻設計や仕様が異なることから、本手引書に記載している内容は、あらゆる船舶に必ずしもそのままあてはまるものではありません。このため、各船がとるべき対策については、船舶及び機器の設計を行った造船所や機器メーカーからの情報に基づき最終的に決定する必要があることに留意してください。また、本手引書については、今後も最新の情報を随時反映していくことを予定しております。

# 目 次

1章 SO <sub>x</sub> 規制について	1
2章 SO <sub>x</sub> 規制適合油はどんな油？	3
2.1 現在の燃料油とSO <sub>x</sub> 規制適合油	3
2.2 LSC重油の性状の特徴	4
3章 どんな対策が必要？	5
3.1 なぜ対策が必要なのか？	6
3.2 対策の検討手順	7
3.3 設備の現状確認	8
3.4 新たな燃料油使用時の影響とその対策検討	9
3.5 着火性・燃焼性	14
4章 補油における注意事項は？	15
4.1 何に対して注意が必要？	15
4.2 LSC重油を初めて補油するときの対策	16
4.3 第2回補油以降の補油における対策	19
4.4 燃料油の記録を残す	20
付録1 混合安定性試験	21
付録2 動粘度・密度と温度の関係	25
付録3 混合油の動粘度推定方法	28
付録4 設備のチェックリスト(例)	29
付録5 LSC重油実船トライアル	30

# 1章 SOx規制について

船舶による大気汚染の防止を図るため、1997年に国際海事機関(IMO)においてマルポール条約(MARPOL条約)が改正され、船舶の排気ガス中の窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)などに対する全世界的な規制が2004年5月から始まりました。このうちSOxに対する規制は、燃料油に含まれる硫黄分濃度を決められた値以下にすることにより、排気ガス中のSOx及びそれから生成される粒子状物質(PM)を削減するものです。

2008年には、船舶による大気汚染防止対策を強化するため、マルポール条約をさらに改正しました。SOx規制については、燃料油に含まれる硫黄分濃度を3.5質量%以下から0.5質量%以下に引き下げることになりました。その際、石油業界から、対応準備のため相当の期間が必要との主張があり、異例ではありますが、12年という長い準備期間を経た後の2020年からの改正規制の開始が全会一致で決まりました(図1-1参照)。なお、2016年には、このSOx規制強化の開始時期に関して改めて検討が行われましたが、既に決まっていたとおり2020年から規制強化を開始することになりました。

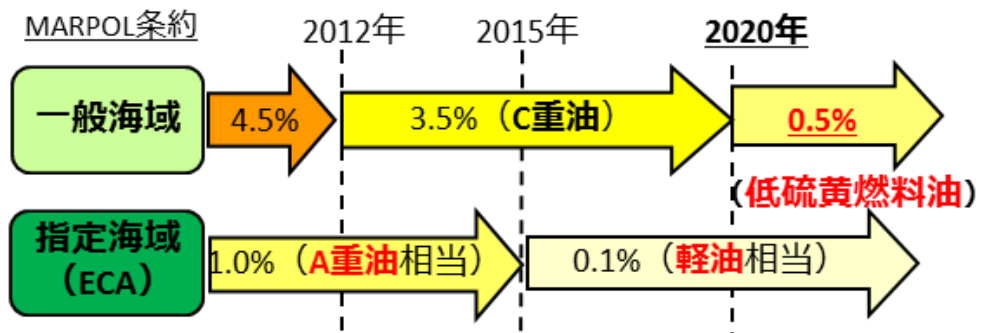


図1-1 マルポール条約による硫黄分規制

マルポール条約では、大気汚染に関する規制について、外航船と内航船とで差を設けていません。従って、2020年1月1日以降、一般海域においては外航船も内航船も硫黄分0.5質量%以下の燃料油を使用することが義務化されます(SOxスクラバの搭載により排気ガス中のSOxを除去する場合は除きます。)

また、マルポール条約では、排気ガスによる人の健康への影響は沿岸海域を航行する船舶からの方がより大きいことから、沿岸海域での規制を強化することを可能としています(指定海域(ECA)の指定)。

現在、北米沿岸や北欧の北海・バルト海などがECAに指定され、一段と厳しい規制(硫黄分0.1質量%以下)が適用されています。日本周辺海域については、2010年から2013年にかけて行われた「船舶からの大気汚染物質放出規制海域(ECA)に関する技術検討委員会」による検討の結果、ECAに指定しない方針が決定されており、その後もECA指定の必要性は生じていません。

## 2章 SOx規制適合油はどんな油？

2020年1月1日以降は、硫黄分の濃度が0.5質量%以下のSOx規制適合油を使用しなければなりません。

本章では、このSOx規制適合油とはどういった船用燃料油を指すのか、また、新たに供給される低硫黄C重油(LSC重油)とはどのようなものかについて、石油元売各社から示されている情報を基に紹介します。

### 2.1 現在の燃料油とSOx規制適合油

SOx規制適合油とは、2020年1月1日の規制強化に適合できる**硫黄分が0.5質量%以下の船用燃料油**を指します。

なお、本手引書では、燃料油の各燃料油の名称を硫黄分の割合に応じて、図2-1のとおりとしています。(HS:高硫黄、LS:低硫黄)

硫黄分 (質量%)	現在の船用燃料 (2019年12月31日迄)	SOx規制適合油 (2020年1月1日以降)
0.0010 以下	◎ 軽油	◎ 軽油
0.5 以下	◎ LSA重油 (JIS 1種1号)	◎ LSA重油 (0.1%以下は主にECA燃料として使用) ◎ LSC重油 新規適合油
2.0 以下	◎ HSA重油 (JIS 1種2号)	⊗ HSA重油 (スクラバーを搭載する場合は使用可能)
3.5 以下	◎ HSC重油 (JIS 3種1号)	⊗ HSC重油 (スクラバーを搭載する場合は使用可能)

図2-1 現在の船用燃料油とSOx規制適合油

石油元売各社は、高硫黄C重油(HSC重油)に代わる燃料油として、**新たに硫黄分が0.5質量%以下のLSC重油を製造・販売**するとしています。


2.2に石油元売各社が新たに供給するLSC重油の性状の特徴について紹介します。

## 2.2 LSC重油の性状の特徴

石油元売各社が製造・販売する**LSC重油**は、硫黄分低下に伴い、動粘度(50°Cに於いて)及び流動点が、以下のとおり、HSC重油に比べて変化することが示されています。

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

---

	動粘度: 150cSt (50°C) 流動点: -10°C	動粘度: 20cSt (50°C) 流動点: 20°C
<b>約25°Cの状態</b> HSC重油に比べて、LSC重油の方が粘性が低い		
<b>約4°Cの状態</b> HSC重油は流動性を維持しているが、LSC重油はゲル状で動かないが柔らかい		

但し、動粘度については、石油元売事業者によって、①**全量20cSt以上**、②**20cSt以上とするが顧客が受け入れ可能な場合には20cSt未満も供給**等、若干の差異があります。

このため、各船で3.4.2の動粘度の低下による影響確認と対策の検討を行うにあたっては、動粘度(50°C)が**20cStの燃料油を使用**する際の対策を検討するだけでなく、**20cSt未満の燃料油を使用**するとどのような影響や支障が生じるか、使用することが可能なのかについても確認しておくことは重要です。

※ 動粘度の単位は、現在、国際単位系(SI)では、 $\text{mm}^2/\text{s}$ が用いられているが、従前の単位であるcSt(センチストークス)も広く用いられています。(1 $\text{mm}^2/\text{s}$ =1cSt)



# 3章 どんな対策が必要？

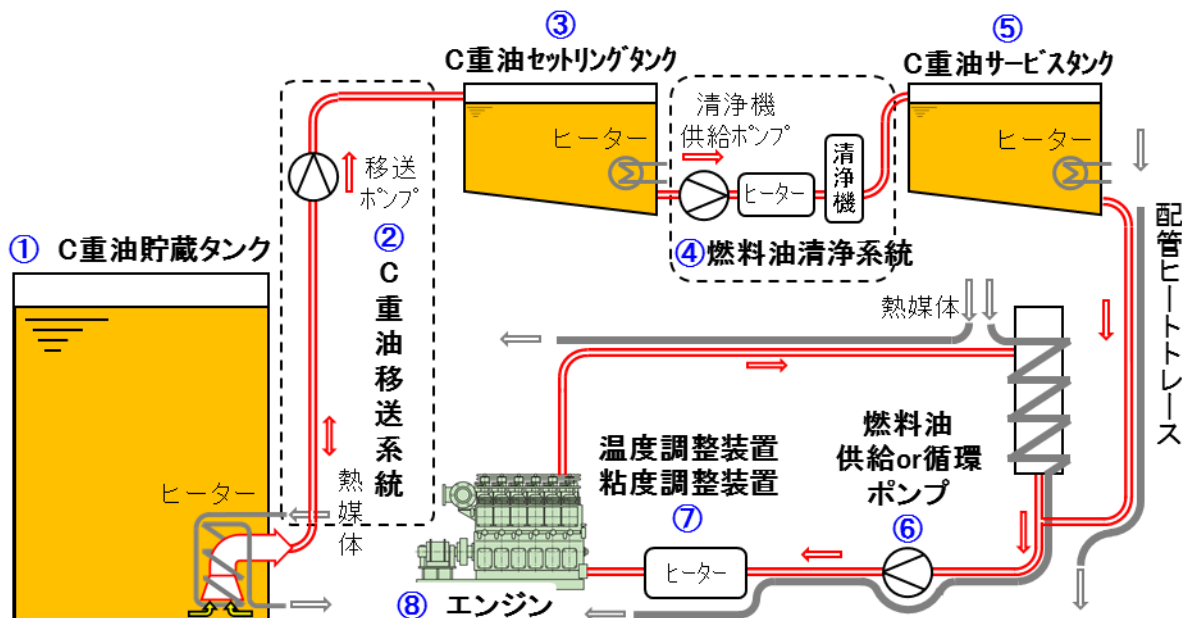


図3-1 内航船の一般的な燃料油システム

一般的な燃料油システムは、エンジンやボイラーで焚けるよう燃料油の『清浄度、流量、温度(動粘度)』を、清浄機やポンプ、ヒーターにより調整しています。

LSC重油は従来のHSC重油と比べて性状が大きく変わることから、図3-1で示すような一般的なHSC重油仕様の燃料油システムで使用する際には対策が必要になる場合があります。

本章では、LSC重油の使用により船舶の機器にどのような影響が及ぼすのか、また、どのような手順で対策を検討すべきかについて紹介します。

## (参考情報)

### 主燃料油をLSA重油に切替える場合：

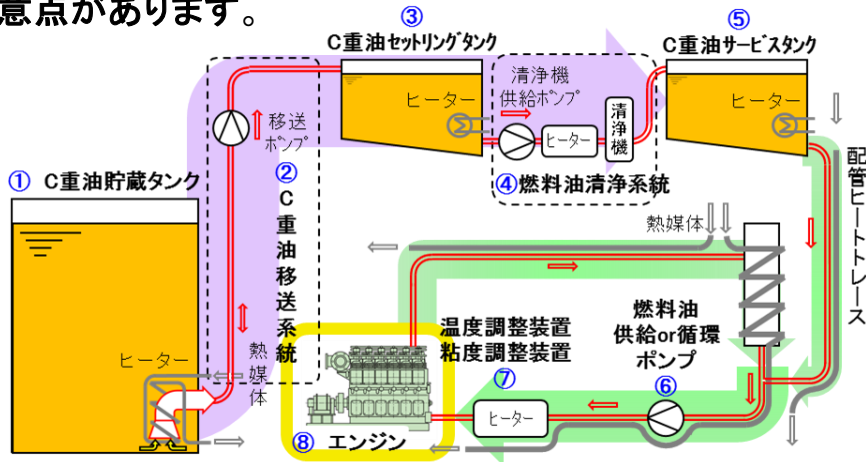
燃料油が低硫黄、低動粘度化しますので、「3.4.1 硫黄分低下」、「3.4.2 動粘度低下」の観点での検討が必要なだけでなく、エンジンのA重油対応(特に4ストロークエンジン)、燃料油移送・清浄システムのポンプへの影響検討や、燃料油加熱の停止などの対策を講じる必要があります。

これらは、今回のSOx規制の強化に関係なく、従来から実施されている燃料転換対応ですので、本手引書での説明は省略いたします。

詳細については造船所や機器メーカーに相談してください。

### 3.1 なぜ対策が必要なのか？

硫黄分や動粘度は下がり、流動点は上がるなど、燃料油の性状の変化に対する注意点があります。



#### 硫黄分が低いものになると？

燃料油中の硫黄分はエンジンで燃焼すると一部が硫酸となります。この硫酸による燃焼室の腐食を防ぐため、潤滑油のアルカリ成分(添加剤)により中和しています。燃料油中の硫黄分が0.5質量%以下になると、HSC重油の使用時に比べ発生する硫酸も減少します。

この場合、**アルカリ成分が余剰となりシリンダーの異常摩耗**が発生する可能性があります。⇒対策は3.4.1参照



#### 動粘度が低いものになると？

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重油の様な高動粘度の燃料油は、エンジンやボイラーでの使用に適した動粘度になるまで加熱して使われるのが一般的です。

LSC重油の動粘度はHSC重油より低いことから、**ポンプの能力低下、低動粘度燃料に応じた温度調整が適切に機能しない、温度を下げたとしてもエンジンでの酸腐食が発生する**可能性があります。⇒対策は3.4.2参照



#### 流動点が高いものになると？

流動点とはJIS K 2269に規定の計測方法で求められる燃料油の性質であり、簡単に言えば、試験管を横に倒しても中の油が動かなくなる温度です。燃料油温が流動点付近や更に低くなると、析出したワックス分(流動性低下の原因)が**配管やフィルターに詰まり、燃料油の移送が困難となる**可能性があります。⇒対策は3.4.3参照

LSC重油は**動粘度が低く、A重油のようにサラサラ**しており、一見、加熱が不要に感じるかもしれませんが、従来のHSC重油と同様、**加熱が必須な燃料油であることに注意**してください。



動粘度(50°C)が24.5cSt程度のサンプルLSC重油を約4°Cまで冷やしたもの

## 3.2 対策の検討手順

自船の設備について最適な対策を選定するためには、まずは自船の設備の現状を把握した上で、影響を確認することが重要です。

現状確認

### 自船設備の現状確認

以下の機器の『設計仕様』や『運用状態』を確認

〔 エンジン、ボイラー、燃料油供給又は循環ポンプ、  
燃料油ヒーター、燃料油タンク、燃料油配管など 〕

詳細は  
P.8  
参照

### 新たな燃料油の想定される性状 (2.2関連)

- 動粘度(50°C):(10~)20cSt※1
- 流動点:30°C※2
- 密度:サンプルの性状を参考とする(付録1参照)

### 新たな燃料油使用時の影響を確認

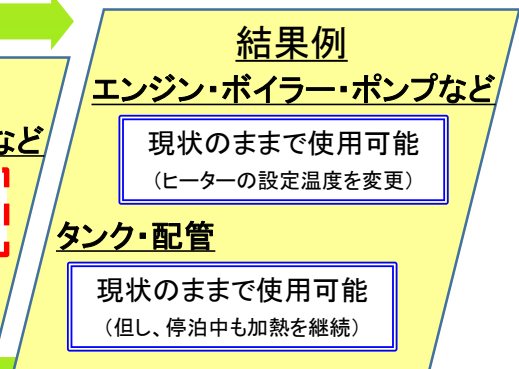
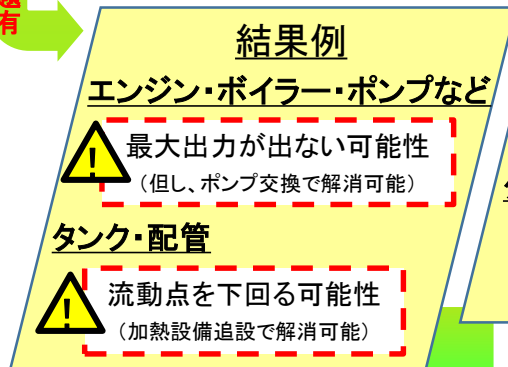
確認のポイント:

- エンジン、ボイラーで燃焼するための『温度・動粘度条件』に合うよう燃料油ヒーターで調整することができるか?
- ポンプでエンジン、ボイラーに十分な燃料油を送ることができるか?
- タンク・配管内の燃料油温度の低下を防ぐことができるか?

詳細は  
P.9  
参照

問題有

良好



設備への影響確認

### 各機器に必要な対策を判断

- 各機器の設定変更、調整、改造について対策内容を決定
- 同時に、運航時の対策についても整理しておく

対策決定

※1 20cSt未満の低い動粘度の燃料油も使用できるかも確認しておくべき

※2 流動点は30°C以下が想定されているが、厳しい条件で確認しておくべき

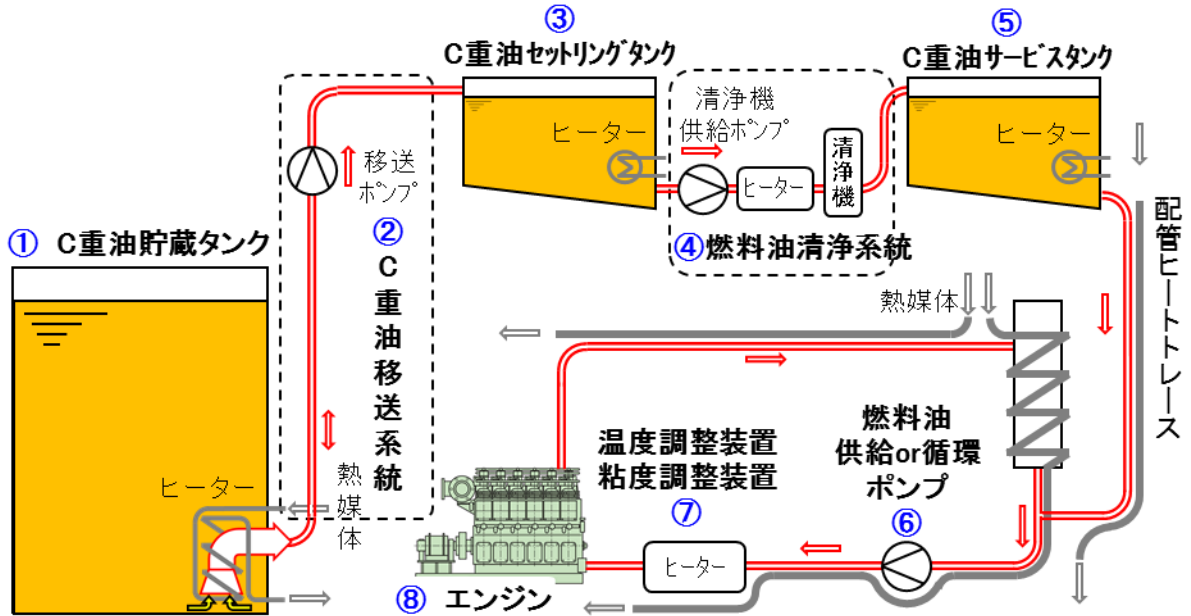
### 3.3 自船設備の現状確認

対策の検討に先立ち、自船の設備の現状を確認しましょう。

また、確認の際は、機器だけでなく、関連する弁や配管が問題なく使用できることも確認しておくことが重要です。

一般的な内航船の対策検討に重要と考えられる機器とその確認項目を表3-1に例示しています。(拡大版は付録4参照)

表3-1 設備のチェックリスト(例)



燃料油の流動点に関連

① C重油貯蔵タンク関連

・NO.1タンク内燃料油温度	: ( ) °C
・NO.2タンク内燃料油温度	: ( ) °C
・NO.3タンク内燃料油温度	: ( ) °C
・タンク出口温度 (移送ポンプ入口温度でも可)	: ( ) °C
更に温度を上げられるか	: ( 可 / 不可 )
・燃料油シフター	: ( 有 / 無 )
(有)⇒燃料油シフターポンプの容量	: ( ) t/h
・海水温/外気温	: ( / ) °C

② C重油移送系統関連

・配管の保温用ヒートトレース	: ( 有 / 無 )
(無の場合)⇒配管の周囲温度 (停泊時)	: ( ) °C
(無の場合)⇒配管の周囲温度 (運航時)	: ( ) °C
・移送ポンプ入口の温度	: ( ) °C

C重油セッティングタンク関連

③ ③	・タンク内燃料油温度	: ( ) °C
	・ヒーターの設定温度	: ( ) °C
	・ヒーターの設定可能な温度域	: ( ) ~ ( ) °C

燃料油清浄系統関連

④	・清浄機の処理可能な燃料油密度(比重)	: ( ) ~ ( ) g/cm <sup>3</sup>
	・清浄機の処理温度	: ( ) °C
	・配管の保温用ヒートトレース	: ( 有 / 無 )
	(無)⇒配管の周囲温度 (停泊時)	: ( ) °C
	(無)⇒配管の周囲温度 (運航時)	: ( ) °C

C重油サービスタンク関連

⑤	・タンク入口燃料油温度	: ( ) °C
	・ヒーターの設定温度	: ( ) °C
	・ヒーターの設定可能な温度域	: ( ) ~ ( ) °C

燃料油の動粘度に関連

⑥ 燃料油供給or循環ポンプ

・吐出し量(スベック)	: ( ) t/h
・容量保証粘度	: ( ) cSt
・ポンプ入口温度 (C重油使用/エンジン高負荷時)	: ( ) °C
入口温度から推定される動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt
計測時のエンジン出力	: ( ) ~ ( ) kW
・ポンプ入口温度 (A重油使用/エンジン高負荷時)	: ( ) ~ ( ) °C
入口温度から推定される動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt
計測時のエンジン出力	: ( ) ~ ( ) kW

⑦ 温度調整装置

・設定温度	: ( ) °C
・設定可能な温度域	: ( ) ~ ( ) °C

粘度調整装置

・設定動粘度	: ( ) cSt
・設定可能な動粘度域	: ( ) ~ ( ) cSt

⑧ エンジン

・エンジン入口温度 (C重油使用/エンジン高負荷時)	: ( ) °C
入口温度から推定される動粘度	: ( ) cSt
計測時のエンジン出力	: ( ) kW
・エンジン入口温度 (A重油使用/エンジン高負荷時)	: ( ) °C
入口温度から推定される動粘度	: ( ) cSt
計測時のエンジン出力	: ( ) kW
計測時の戻り燃料油温度	: ( ) °C
・推奨動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt
・許容動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt

ボイラー

・推奨動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt
・許容動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt

## 3.4 新たな燃料油使用時の影響確認とその対策検討

動粘度、硫黄分、流動点の変化に起因する影響確認とその対策の検討が必要であり、これには**造船所や機器メーカーの協力が必須です。**

### 3.4.1 硫黄分低下

ディーゼルエンジンの**潤滑油について、アルカリ価(BN)が低いものへの切替えが必要**となる場合があります。

まずはエンジンメーカーに問い合わせ、潤滑油交換の要否や、潤滑油切替え方法などについて、アドバイスを受けてください。

#### 【潤滑油のアルカリ価(BN)が高い場合の影響】

燃料油中の硫黄分が低下すると、燃焼によって発生しシリンダ面に凝縮する硫酸の量が減ります。

HSC重油を使用するディーゼルエンジンに使用されているトランクピストン油やシリンダ油などの潤滑油は、中和用のアルカリ添加剤を多く含んでいる(BNが高い)ので、LSC重油使用に際して適切な潤滑油に交換しなければ、アルカリ添加剤が余剰となり、硬質のカルシウム分が析出し、ピストンリングランド部に堆積することがあります。これが堆積したまま長時間運転すると、ポ



図3-2 ポアポリッシュが発生し一部ウェーブカットの溝が無くなったシリンダライナ

アポリッシュ(図3-2)などによりシリンダライナに潤滑油を保持できなくなり、**最悪の場合、潤滑不良によりピストンリングやシリンダライナが異常摩耗する可能性**があります。

#### (参考情報)

##### 硫黄分低下が潤滑性に与える影響について:

燃料噴射ポンプや歯車ポンプの摺動部は燃料油により潤滑されています。

この潤滑性は動粘度に依存するだけでなく、ある種の硫黄化合物や含酸素極性化合物にも依存していると考えられており、これらが脱硫過程で硫黄分とともに除去されることで、硫黄分低下とともに潤滑性も低下すると考えられています。

船用燃料油の規格であるISO8217:2017において、硫黄分が0.05質量%を下回る場合のみ、燃料油の潤滑性試験を実施する旨の記載があります。また、自動車業界では、軽油の硫黄分が0.05質量%以下に規制された場合に自動車の燃料噴射ポンプにおいてトラブルが発生した\*とのことです。

今回の船舶に係る規制値は**硫黄分が自動車でトラブルが発生した際の10倍である0.5質量%**であるため、**硫黄分低下による潤滑性低下の影響は小さい**と考えられています。

\* 出典: 石油エネルギー技術センター『低硫黄軽油の潤滑性および安定性向上技術の研究開発(1998年)』表1

## 3.4.2 動粘度低下

動粘度低下の影響は、エンジン、ボイラー、粘度・温度調整装置、燃料供給ポンプや循環ポンプなど、複数の機器に複合的に関係します。

自船にとって最適な対策を、造船所や機器メーカーとともに、以下の手順を参考に検討する必要があります。

### 【影響確認とその対策検討の手順】

#### ① 切替予定の燃料油の動粘度を仮定：

- ・動粘度(50℃)を20cStとして検討
- ・動粘度(50℃)が20未満のものを使用を検討する場合、15又は10cStとしての検討も行う

#### ② エンジン、ボイラー入口の燃料油の動粘度条件や温度条件を確認：

- ・メーカーに“推奨値”と“許容値”を確認
- ・一部のエンジンは酸腐食防止のため温度条件を設けていることに注意

検討の  
ポイント  
P.11

#### ③ 温度又は粘度調整装置で調整可能な温度域や動粘度域を確認：

- ・メーカーに確認
- ・温度や粘度を一定に保てるわけではなく、ある程度の調整幅があることに注意

検討の  
ポイント  
P.11

#### ④ ②と③により温度又は粘度調整装置の設定温度又は動粘度を決定：

- ・支障が生じない範囲で低い温度に設定する
- ・温度警報がある場合は、警報点の変更

#### ⑤ 燃料供給又は循環ポンプの吐出し量への影響を推定：

- ・ポンプメーカーにポンプ入り口温度と燃料油の性状を伝え、その条件での吐出し量を確認
  - A.簡易確認：ポンプ入口の温度又は動粘度として④の設定値を伝える
  - B.詳細確認：エンジンメーカーや造船所の協力のもと推定したポンプ入口温度を伝える
- ・経年劣化による吐出し量低下もありうることに注意

検討の  
ポイント  
P.11

#### ⑥ 燃料消費量に対する燃料供給又は循環ポンプの能力：

- ・エンジン・ボイラーの最大出力時の燃料消費量を確認
- ・燃料消費量に対し、ポンプ能力が十分であるかを造船所やエンジン・ボイラーメーカーに確認
  - ※ポンプ能力の確認にあたっては、LSC重油より低動粘度のA重油で最大エンジン出力で運転を行うことにより、燃料油圧低下の影響を事前に確認することができる(エンジンの調圧弁はC重油運転時の設定としておく)
- ・エンジンやボイラーが必要とするポンプ吐出し量に満たない場合、ポンプ交換

検討の  
ポイント  
P.11

### (参考情報)

#### エンジン入口における燃料油の動粘度が低下する場合：

入口動粘度低下により、燃料噴射ポンプの内部リーク量が増加し、最適な燃料噴射量が得られなくなると、**高出力域で反応が鈍い、加速力が得られないなどの症状**が出る可能性があります。LSC重油より低動粘度のA重油を使用することで、最大エンジン出力での運転、始動性や増速性への影響を事前に確認できます。

影響がある場合、**エンジンのリミッター調整により燃料噴射量を最適化することで症状を改善**できる場合があります。(詳細はエンジンメーカーにお問い合わせください。)

**エンジンのリミッター**とはエンジンの陸上試験時に検査機関により封印されるガバナーのラックストッパーではなく、**燃料噴射量を最適化するためのラックリミッター**を指しています。各メーカーで呼称が異なるため、詳細はメーカーに確認して下さい。

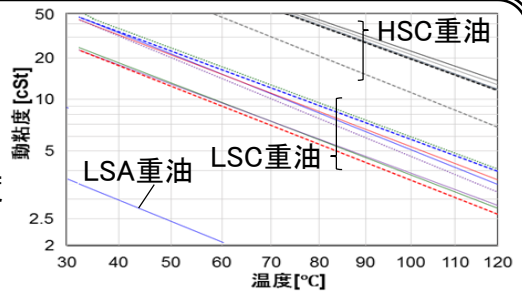
## 手順②と③の検討ポイント

手順②と③の検討にあたってポイントとなるのは以下の2点です。

### ● LSC重油の「動粘度－温度線図」

LSC重油サンプルの「温度」と「動粘度」を計測したところ、HSC重油やLSA重油と同様、**温度上昇に伴い動粘度が直線で低下**することを確認しました。

また、一般的に、エンジンの許容動粘度下限は2cStとされていますが、いずれも**120℃まで加熱しても2cStを切らない**ことが確認されました(詳細は付録2参照)。



LSA、LSC、HSC重油の温度-動粘度の傾き比較

### ● 一部の4ストロークエンジンの燃料油温度

一部の4ストロークディーゼルエンジンは、燃料油温度が低いと**燃料噴射弁のノズルチップ付近が過冷却となり酸腐食が発生**するとされています。

該当するエンジンのメーカーは、低動粘度の燃料油であっても、高粘度の(HS)C重油使用時に近い温度まで加熱する必要があるとしています。メーカーのサービス情報※を確認の上、加熱設定を行ってください。

### ● 温度又は粘度調整装置の調整可能な温度域

燃料油を120℃程度で加熱していたヒーターの温度設定を60℃程度にすると、制御機構が適切に機能せず**燃料油温度が安定しない可能性**があります。

特に、**サーモスタットで温度調整している場合は注意が必要**であり、**適切な調整可能温度域のサーモスタットに交換する**などの対策が考えられます。詳細はメーカーにお問い合わせください。

**実船トライアルでは温度設定を下げた船舶もいましたが、全船とも既存の設備で対応できました。(付録5参照)**

## 手順⑤と⑥の検討ポイント

### ● ポンプの内部リーク増加

燃料油の動粘度が低下し、ポンプ内部リークが多くなると**吐出し量が低下し、エンジンに十分な燃料油を送ることができず、エンジンの始動性悪化、エンジンストール、加速力低下、最大出力の頭打ち**などが起こる場合があります。

**造船所を通じた調査によると、殆どの船舶では余裕度のあるポンプを搭載しており、内部リークによる吐出し量の低下はカバーできると想定されていますが、余裕度の低いポンプを搭載している一部の船舶はポンプ入口の燃料油温を下げることで動粘度を確保するか、低粘度仕様のポンプへの交換が必要**となる場合があります。

※ 詳細は以下のサービス情報を参照のこと。

・ ダイハツディーゼル(株) : 2020年の燃料硫黄分規制の対応について(文書番号No.GS19-001)

・ ヤンマー(株) : 2020年低硫黄燃料油規制に伴う弊社機関の対応について(文書番号:18-2-G-02-013-L)

### 3.4.3 流動点上昇

殆どの船舶は、寒冷下でも30℃以上に加熱できるように設計されていますが、例えば、温暖な海域を航行する船舶など、燃料油タンクや配管の加熱設備が十分でない船舶も存在します。

自船設備の現状確認(3.4参照)、必要に応じて建造造船所への問合せなどにより、高流動点の燃料油を補油した場合でも、**運航中、停泊中、海域や季節など想定される条件下で支障が出ないことを確認**する必要があります。

支障が出る可能性がある船舶については、**燃料油が流動点近くまで冷めないよう長時間加熱を止めない、機関室温を下げない**といった対策や、長時間加熱を止めざるを得ない場合は**加熱設備の追設やA重油への転換**などの対策が考えられます。

#### 【加熱不十分による流動性低下の影響】

タンクや配管の加熱が不十分な場合、燃料油が冷えてくると、ワックスが析出してゲル状となり、フィルターやストレーナーにワックススラッジとして詰まる場合があります、配管抵抗が増加することで、移送ポンプ等に負荷がかかり移送が困難となる場合があります。

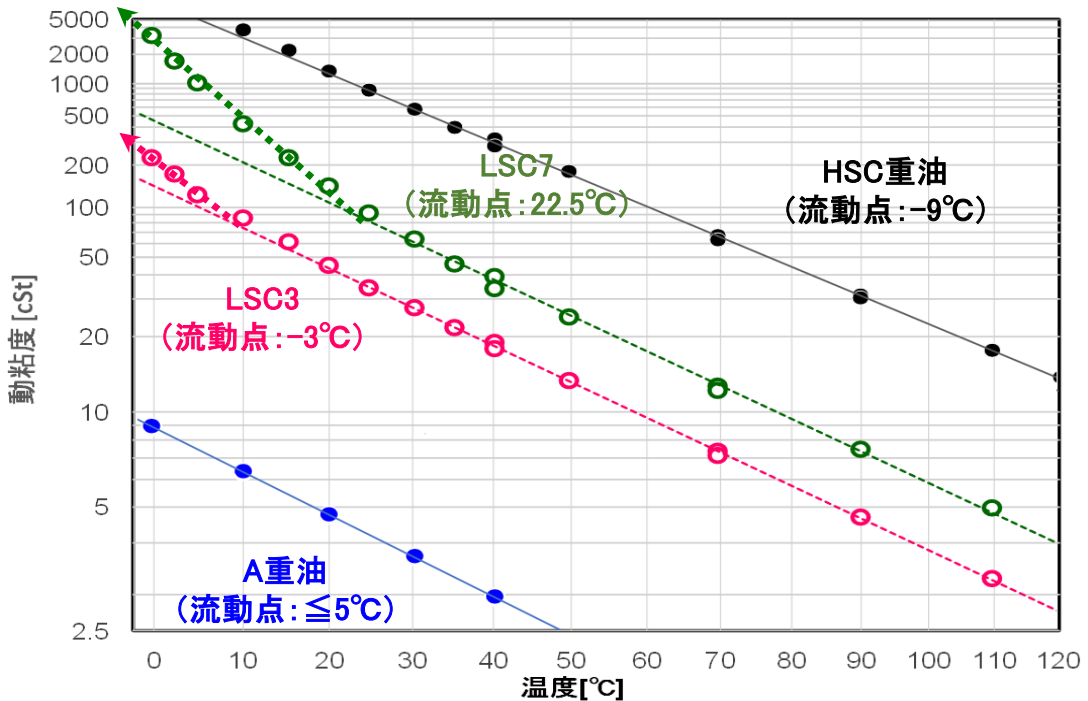


図3-3 代表的なLSC重油サンプルの温度-動粘度線図

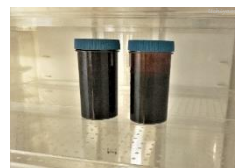
また、サンプル油の動粘度計測(付録2参照)において、図3-3のように流動点付近から**動粘度の急激な上昇**も確認されており、HSCのときと同様に、移送ポンプの動力保証粘度(約1000cSt)を超えると移送困難となる場合があります。なお、このワックス分は、流動点を上回る温度に**再加熱すれば再度液状化**します。



## (参考情報)

### 1) 補油後に確認できること:

補油時のサンプルを冷所に静置するなど冷却して、油がどのような状態になるのかを実際に確認することができます。タンクや配管の加熱を停止するか否かなどの対策の判断材料にもなるでしょう。



燃料油を冷やす

### 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20m<sup>3</sup>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

## 3.5 着火性・燃焼性

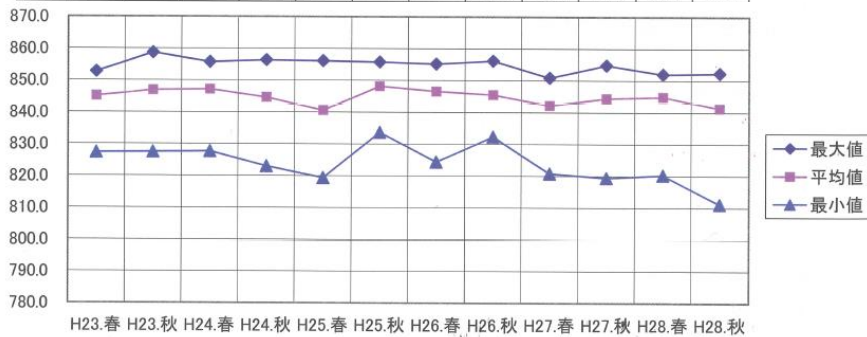
### 3.5.1 CCAIについて

- 補油のCCAI(着火性指標)  
今までよりCCAIが高い ⇒ エンジンの燃焼不良に警戒

着火性・燃焼性についてはCCAIで確認することができます。

CCAIは燃料油の密度と動粘度から計算される着火性指標で、**値が大きいほど着火性だけでなく燃焼性も悪くなる傾向**があり、従来値(図3-4参照)を超える場合は注意が必要です。

CCAI	H23.春	H23.秋	H24.春	H24.秋	H25.春	H25.秋	H26.春	H26.秋	H27.春	H27.秋	H28.春	H28.秋
平均値	845.1	846.9	847.2	844.7	840.6	848.2	846.6	845.6	842.2	844.5	844.9	841.3
最大値	852.8	858.7	855.7	856.4	856.1	855.8	855.2	856.2	850.9	854.8	852.0	852.3
最小値	827.4	827.5	827.7	823.0	819.4	833.7	824.4	832.3	820.8	819.5	820.3	811.2



$$\text{CCAIの計算式} : \text{CCAI} = D - 80.6 - 140.7 \times \log(\log(\text{Vk} + 0.85))$$

[D: 15°Cにおける密度(kg/m<sup>3</sup>), Vk: 50°Cにおける動粘度(cSt)]

図3-4 現在供給されているHSC重油のCCAI実勢値\*

### 3.5.2 着火・燃焼性の悪い燃料油を補油した場合の対策

- 4ストロークディーゼルエンジン:  
低負荷でノッキングや黒煙を確認 ⇒ **負荷を上げる**
- 2ストロークディーゼルエンジン:  
排気温度の上昇や黒煙を確認 ⇒ **負荷を下げる**

#### 【4ストロークディーゼルエンジン】

[原因と症状] 芳香族成分による着火遅れが原因となる低負荷でのディーゼルノックや、その燃焼性による黒煙発生の可能性があります。

[対策] **低負荷では燃焼室温度が低い**ためエンジンとしての着火遅れが長く、燃料油自体の**着火性悪影響を受けやすい**ため、負荷を上げることで症状の緩和が期待できます。

#### 【2ストロークディーゼルエンジン】

[原因と症状] 芳香族成分による高負荷での燃焼性の悪化や未燃分の増加に起因する影響(燃焼室汚れ、排気温度の上昇、黒煙)が発生する可能性があります。

[対策] **高負荷では燃焼室温度が高く、また潤滑条件等も厳しい**ため、燃焼悪化の**悪影響を受けやすい**ことから、負荷を下げることで症状の緩和が期待できます。

\* 出典:『第14回内航海運における使用燃料油、潤滑油に関する実態調査報告書(平成29年10月)』, 日本内航海運組合総連合会 環境安全委員会・燃料油ワーキンググループ, p.52)

# 4章 補油における注意事項は？

2020年1月1日以降は、硫黄分の濃度が0.5質量%以下のSO<sub>x</sub>規制適合油を使用しなければならないことから、2019年のうちに計画的にSO<sub>x</sub>規制適合油を補油し、タンク内の燃料油を切替えていく必要があります。

2019年末ぎりぎりではなく、営業に影響の小さい時期などになるべく余裕をもって早期に切り替え又はトライアルを実施しておくことが推奨されます。

また、市場では売買(転売)を繰り返された船用燃料油が流通することもあり、品質面で信頼のおける供給者からの燃料を購入することも重要です。

本章では、補油にあたっての注意事項と対策例について説明します。

## 4.1 何に対して注意が必要？

燃料油切替えにおける**スラッジ発生に対する注意**が必要です。

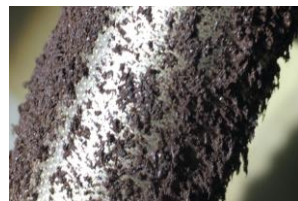
スラッジが大量に発生すると、クルーの負担が増えるだけでなく、エンジンやボイラーの運転に影響が出る可能性があります。

このスラッジ発生の主な要因は3つあります。

### ⚠ 燃料油を混合すると発生するスラッジ

燃料油を混合すると、**燃料油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。

日本国内で供給予定のLSC重油の**混合安定性試験**(付録1参照)では、**問題となるレベルのスラッジ発生は確認されませんでした。**



ストレーナーに詰まった砂状のスラッジ

### ⚠ タンク底に沈殿しているスラッジ

燃料油タンクの底にはスラッジが沈殿しています。

ほぼ空のタンクに燃料油を流し込むと、**沈殿していたスラッジが巻き上げられ、再び沈殿する前にそのまま燃料油とともに移送**されてしまう可能性があります。



フィルターに詰まった海苔状のスラッジ

### ⚠ ワックススラッジ

燃料油温が流動点付近(30℃以下)や更になると、**ワックス分が析出し、塊となってフィルターに詰まる**場合があります。

スラッジを温めると液状になるようであれば、**燃料油の加熱を強めて**ください。



フィルターに詰まっていたゲル状のスラッジ

4.2以降はスラッジ発生リスクが少ないと考えられる、タンクの燃料油切替え例を紹介します。

## 4.2 LSC重油を初めて補油するときの対策

サンプル油による混合安定性試験(付録1参照)の結果によると、LSC重油同士やLSC重油とHSC重油の混合でも混合安定性は確保されています。実船トライアルで使用したLSC重油についても、混合安定性が確保されていることが確認されています。(付録5参照)

しかしながら、一般的に、LSC重油を初めて補油するなど従来と性状の異なる燃料油を補油する際は、対応に慎重を期すことが重要です。

全ての燃料油タンクを洗浄(タンククリーニング)することも一つの有効な方策ですが、法令上の義務ではありません。その他の方策として、補油によるスラッジ大量発生リスクを抑える一般的な対策を、補油前、補油中、補油後に分けて紹介します。

### 4.2.1 補油前準備

#### 混合をなるべく避ける

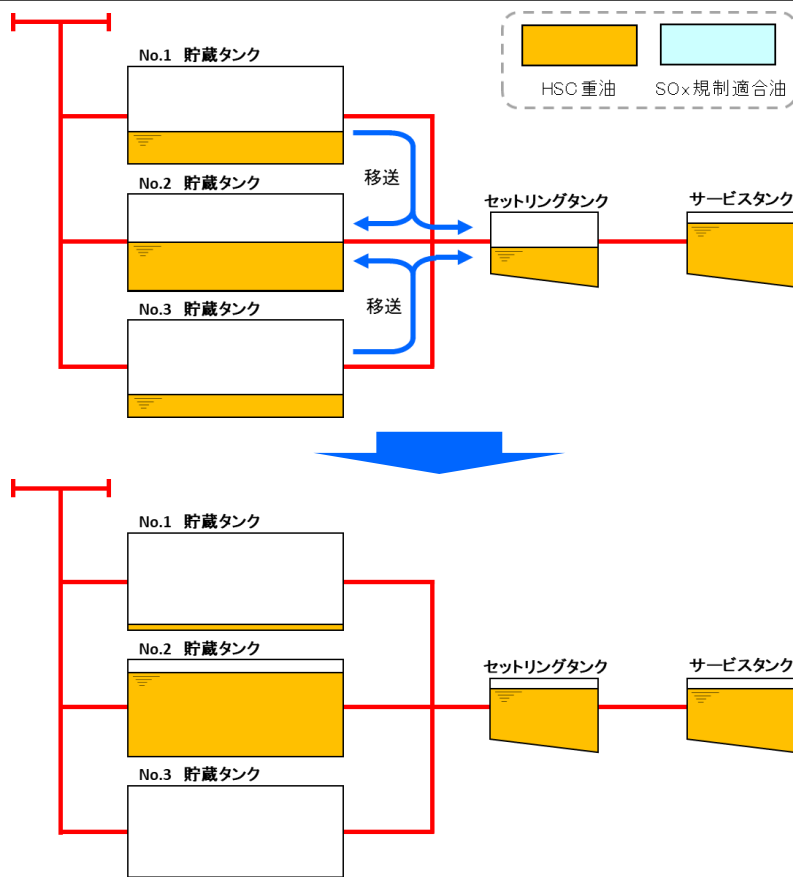
(貯蔵タンクでの混合安定性不良を避ける)

貯蔵タンクの残油をできる限り少なくしてから補油します。

残油を使いきれない場合は、一つのタンクに集めるなど、なるべく残油と補油が混ざらないようにします。

また、市販のスラッジ分散材を事前に投入しておくことで、リスクを低減できる可能性があります。

なお、動粘度の違う燃料油を混合する際の動粘度推定方法については付録3で紹介しています。



## 4.2.2 補油中の対策

### バンカー船にゆっくり補油してもらおう

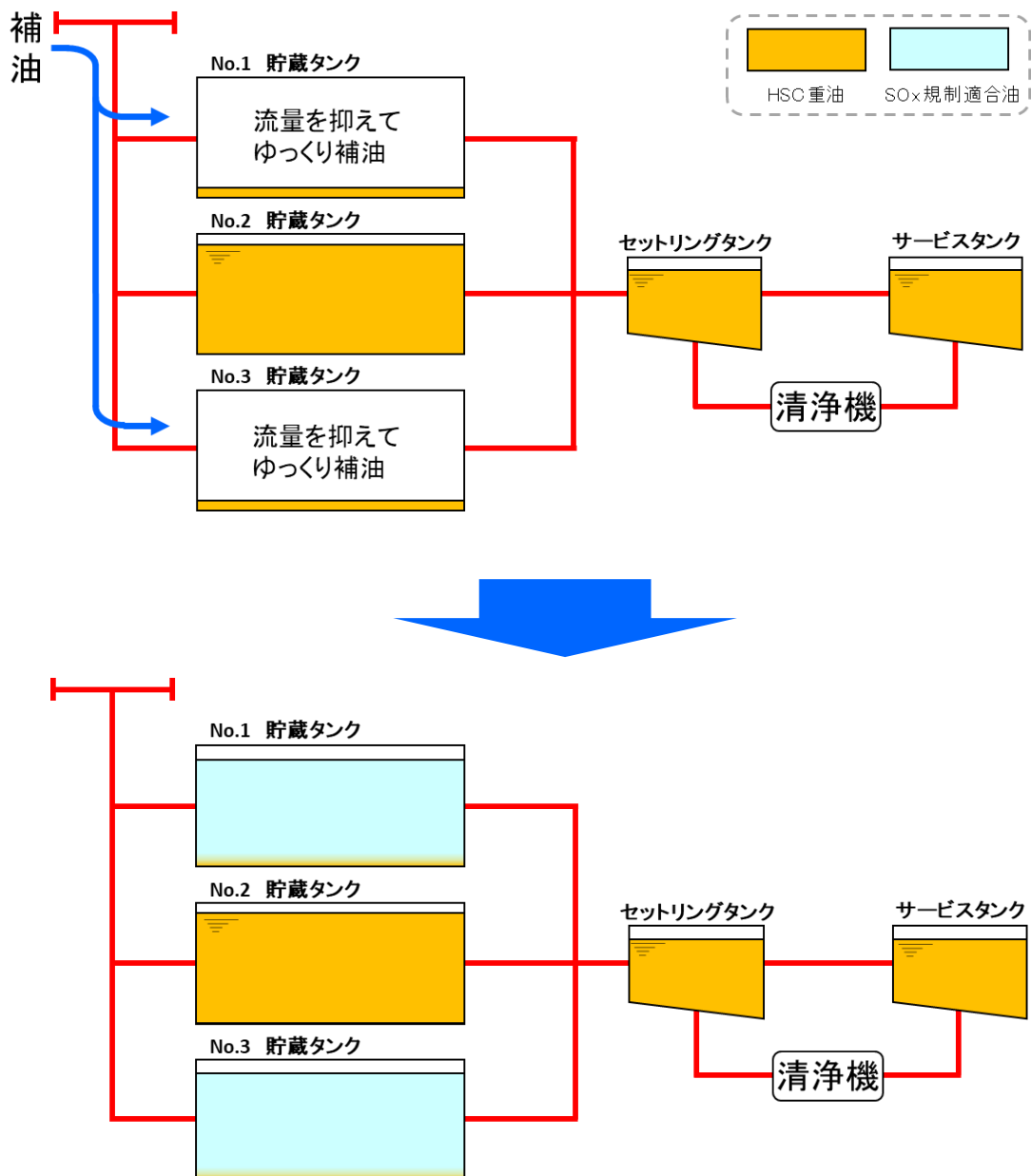
(貯蔵タンクでのスラッジ巻上げを避ける)

ほぼ空のタンクに勢いよく油を流し込むと、**沈殿していたスラッジの巻き上げが起こる可能性**があります。

巻き上がったスラッジは時間が経てば重力により沈降しますが、補油後すぐに補油した燃料油を使用する場合は注意が必要です。

**貯蔵タンクの液位をある程度確保できるまでの間、補油レートを下げる**ことで、巻き上げのリスクを抑えることが重要です。

バンカー船に、タンクがほぼ空であるため、**補油の初期は流量を抑えて送油するよう伝えておきましょう。**



## 4.2.3 補油後の対策(セッティング・サービスタンクへの移送)

貯蔵タンクからセッティングタンクやサービスタンクに燃料油を移送する際の対策を紹介します。

HSC重油とLSC重油を**混合せざるを得ない**場合、混合安定性については付録1の試験で確保されていることが確認されていますが、念のため、**フィルターの差圧や清浄機の稼働状態をこまめに確認**するなど、スラッジ発生に注意することが重要です。

### ① 清浄機の調整

LSC重油はHSC重油に比べ密度が低下するため、一般的な清浄機(清浄油-重液(分離水)-スラッジの3相分離するもの)の場合、通油する燃料油の密度に応じて適切に調整しなければ、異常流出や重液のサービスタンクへの流入が起こる可能性があります。

このため、**ヒーターの設定温度変更**や、**燃料油の密度に応じた調節板の変更**を行う必要があります。詳細は清浄機メーカーにお問い合わせください。**(実船トライアルで行った対応は付録5を参照)**

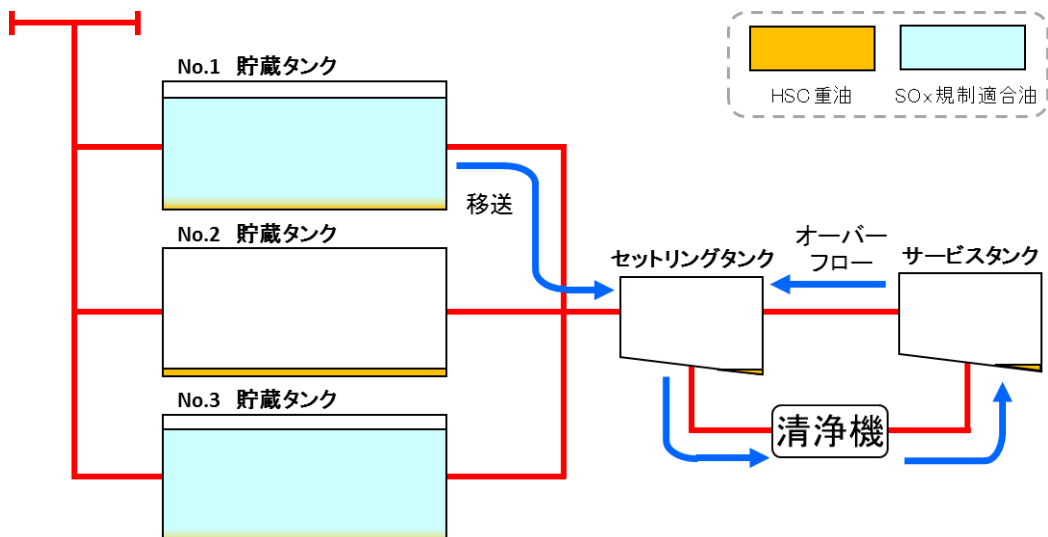
### ②-1 残油がほぼない状態で移送する

残油をできる限り消費した後に、タンクに補油を移送します。

この場合、**セッティングタンク・サービスタンクでの混合を極力避けることができ**、混合によるスラッジ発生のリスクを最小限にすることができます。

通常の流量で流し込むと**沈殿していたスラッジが巻上がる可能性がある**ため、流量を抑えて移送します。

タンク内の沈殿物を清掃(タンククリーニング)することで沈殿スラッジの巻き上げリスクを更に抑えることができます。

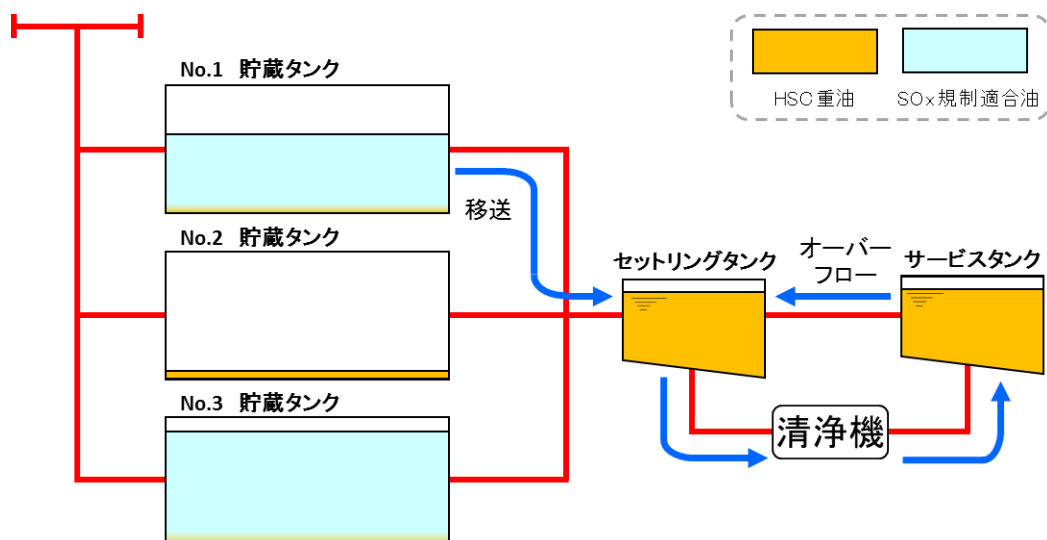


## ②-2 残油がある程度残った状態で補油する

燃料油の移送は、HSC重油の場合と同様に、残油が入っている状態で通常通り補油をつぎ足します。

**フィルター**の差圧や**清浄機**の稼働状態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。

**タンク内燃料油の硫黄分が0.5質量%以下となるまでは①よりも時間を要することが想定されます**ので、早めの対応を開始することが必要です。



## 4.3 2回目以降の補油における対策

最初の補油より、比較的近い性状の油の混合となるため、スラッジ発生のリスクは最初の補油より低くなります。なお、混合安定性試験において、異なる石油元売り事業者から供給されるLSC重油との間でも混合安定性は確保できていたとの結果がでています(付録1参照)。

しかしながら、**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。

## 4.4 燃料油の記録を残す

後において本SO<sub>x</sub>規制への適合について疑義が生じた場合に、適切に対応していることを示せるよう、タンクの燃料油をSO<sub>x</sub>規制適合油に切替えた際に、



『規制適合油を補油した時期、場所、事業者名、タンク名称』、  
『補油した規制適合油の性状、量』  
『補油時のタンク内残油量』、  
『補油前にタンク残油の移送、デバンカリング、  
クリーニング等を行った場合はその内容』  
などを油記録簿やその添付書類等に  
記録をできるだけ詳細に残しておくこと

が重要となります。

なお、諸外国にも入港する外航船は、各寄港国のポートステートコントロール(PSC)により、当該国の裁量の下での多様な方法により監督を受けることとなります。違法性が認められた場合には、デバンカリングに加え、寄港国法令の下での厳格な処罰を受ける場合も想定されます。※

※ 我が国の場合、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律第五十五条に「第十九条の二十一第一項(燃料油の使用等)の規定に違反して、燃料油を使用した者」は「千万円以下の罰金に処する」とされています。



# 付録1 混合安定性試験

石油元売各社※1がSOx規制適合油として供給を想定しているLSC重油と、現在供給されているHSC重油について、各社からサンプルの提供を受け、表1-Aに記載の通り、全てのサンプルについて単体での安定性を確認した上で、全ての組み合わせで混合安定性試験を実施※2しました。

表1-A 実施した試験規格と試験内容

① 安定性試験	[試験規格] スポットテスト(ASTM D4740-04) [試験内容] 全てのサンプル油について試験を行う。
② 混合安定性試験	[試験規格] スポットテスト(ASTM D4740-04) [試験内容] ● 現行HSC重油とLSC重油の組合せで試験を実施。 混合比はHSC : LSC = 2 : 8 <sup>1)</sup> , 5 : 5, 8 : 2 ● LSC重油同士の組合せで試験を実施。 混合比はLSC : LSC = 2 : 8, 5 : 5, 8 : 2

1) 重質油と軽質油の混合比が2 : 8程度でスラッジ発生量が多くなる※3

試験規格はASTMのスポットテストを採用し、その試験基準はNo.3以上であればスラッジが過剰であると示され、運転上の問題を引き起こす可能性があるとしてされているということです。

それぞれのスポットNoに該当するとされた事例を図1-Aに参考として示しますが、実際の判定基準は、ASTM D4740-04を参照し

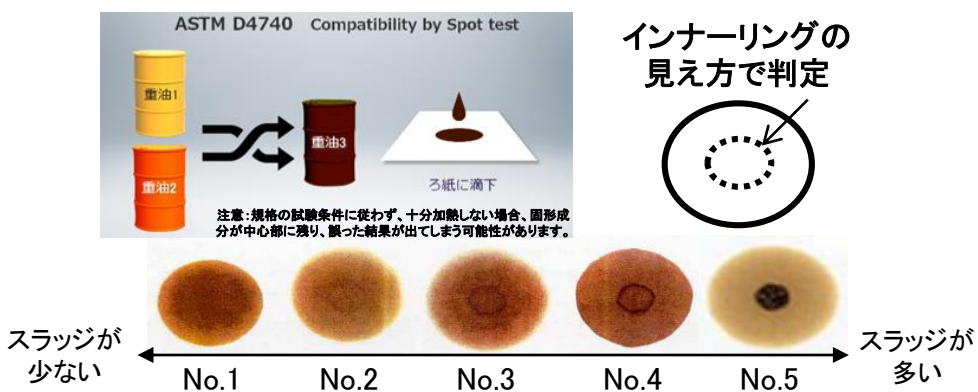


図1-A スポットテスト結果とスポットNo.のイメージ

単体安定性、混合安定性試験の結果では、いずれもNo.2以下であり安定性は確保できているといえる試験結果でした。

サンプル油の性状と試験結果の詳細については次ページで紹介します。

※1 サンプル油を提供した石油元売事業者:

出光興産株式会社、コスモ石油株式会社、JXTGエネルギー株式会社、昭和シェル石油株式会社、富士石油株式会社

※2 国土交通省、資源エネルギー庁、日本内航海運組合総連合会、石油元売事業者の連携事業。試験は(一社)日本海事検定協会が実施。

※3 出典: 野村 宏次『船用燃料の化学』, 成山堂書店, 1994, p.104

試験に用いた燃料油の性状を、LSC重油は表1-Bに、HSC重油は表1-Cに示しています。

表1-B LSC重油サンプルの性状

試験項目 (単位)	LSC1	LSC2	LSC3	LSC4	LSC5	LSC6	LSC7	LSC8
硫黄分 (質量%)	0.25	0.37	0.46	0.43	0.41	0.22	0.17	0.41
動粘度 (cSt)	21.59	22.00	13.04	12.89	12.01	22.80	23.90	20.80
流動点 (°C)	5.0	-17.5	-3.0	-3.0	9.0	12.5	22.5	-5.0
CCAI	843	847	828	841	860	825	807	845
総発熱量 (MJ/kg)	44.290	44.170	44.375	43.870	43.455	44.420	44.730	44.170
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.9410	0.9464	0.9175	0.9298	0.9470	0.9256	0.9085	0.9441
引火点 (°C)	86.0	136.0	89.0	77.5	68.5	91.5	109.5	135.0
Si+Al (質量ppm)	23	<10	<15	<15	<15	<15	<15	3
残炭 (質量%)	3.40	2.71	2.95	3.29	2.01	3.20	1.70	1.20
灰分 (質量%)	0.002	0.001	0.005	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000

表1-C HSC重油サンプルの性状

試験項目 (単位)	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5	HSC6	HSC7
硫黄分 (質量%)	0.61	2.31	2.86	2.40	1.77	2.27	2.36
動粘度 (cSt)	167.00	158.90	173.70	169.60	74.45	155.00	150.00
流動点 (°C)	5.0	-10.0	-9.0	-15.0	0.0	-10.0	-12.5
CCAI	802	856	836	851	865	852	854
総発熱量 (MJ/kg)	44.720	42.850	42.940	42.735	43.455	42.940	42.830
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.9317	0.9851	0.9667	0.9816	0.9847	0.98	0.9831
引火点 (°C)	161.0	98.0	87.5	83.5	106.0	87.50	115.0
Si+Al (質量ppm)	<15	<10	<15	<15	<15	23	25
残炭 (質量%)	4.92	10.60	12.10	11.90	6.11	10.70	9.75
灰分 (質量%)	0.006	0.013	0.016	0.016	0.009	0.016	0.033

サンプル油の単体安定性試験結果を、LSC重油については表1-Dに、HSC重油については表1-Eに示します。

表1-D LSC重油単体のスポットテスト結果

LSC1	LSC2	LSC3	LSC4	LSC5	LSC6	LSC7	LSC8
No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.2

表1-E HSC重油単体のスポットテスト結果

HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5	HSC6	HSC7
No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1

また、サンプル油の混合安定性試験結果を、LSC重油同士の混合については表1-F,G,Hに、LSC重油とHSC重油の混合については表1-I,J,Kに示します。

表1-F LSC重油:LSC重油 = 2 : 8 の混合油のスポットテスト結果

	LSC1	LSC2	LSC3	LSC4	LSC5	LSC6	LSC7
LSC1							
LSC2	No.1						
LSC3	No.1	No.1					
LSC4	No.1	No.1	No.1				
LSC5	No.1	No.1	No.1	No.1			
LSC6	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1		
LSC7	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	
LSC8	No.1	No.2	No.2	No.1	No.1	No.2	No.1

表1-G LSC重油:LSC重油 = 5 : 5 の混合油のスポットテスト結果

	LSC1	LSC2	LSC3	LSC4	LSC5	LSC6	LSC7
LSC1							
LSC2	No.1						
LSC3	No.1	No.1					
LSC4	No.1	No.1	No.1				
LSC5	No.1	No.1	No.1	No.1			
LSC6	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1		
LSC7	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	
LSC8	No.1	No.2	No.1	No.1	No.1	No.2	No.1

表1-H LSC重油:LSC重油 = 8 : 2 の混合油のスポットテスト結果

	LSC1	LSC2	LSC3	LSC4	LSC5	LSC6	LSC7
LSC1							
LSC2	No.1						
LSC3	No.1	No.1					
LSC4	No.1	No.1	No.1				
LSC5	No.1	No.1	No.1	No.1			
LSC6	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1		
LSC7	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	
LSC8	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1

表1-I HSC重油:LSC重油 = 2 : 8 の混合油のスポットテスト結果

	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5	HSC6	HSC7
LSC1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC2	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC3	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC4	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC5	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC6	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC7	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC8	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1

表1-J HSC重油:LSC重油 = 5 : 5 の混合油のスポットテスト結果

	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5	HSC6	HSC7
LSC1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC2	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC3	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC4	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC5	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC6	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC7	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC8	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1

表1-K HSC重油:LSC重油 = 8 : 2 の混合油のスポットテスト結果

	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5	HSC6	HSC7
LSC1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC2	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC3	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC4	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC5	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC6	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC7	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1
LSC8	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1	No.1

## 付録2 動粘度・密度と温度の関係

石油元売各社から提供されたLSC重油およびHSC重油(現在、内航船向けに出荷されているもの)のサンプル、及び実船トライアルで用いたものについて、温度に対する動粘度と密度の計測を行いました(参考としてLSA重油についても計測)。

動粘度-温度の計測結果は図2-Aに、密度-温度の計測結果は図2-Bに示します。

計測結果からは、25°C程度以上の温度域では、動粘度、密度ともに、温度に対して直線近似でき、その直線の傾きは、現在供給されている**HSC重油からLSA重油程度の傾きを示すことも確認**されました。

このことから、LSC重油についても、エンジンやボイラー入口の許容動粘度である2~20cSt程度に調整する際には、**今までと同様の方法(直線近似)で温度に対する動粘度、密度の推定が可能**であることがわかりました。

安全サイドを考慮すると、LSA重油の傾きを直線近似することが推奨されます。

なお、**120°C程度に加熱しても、エンジンやボイラーの許容動粘度下限である2cStを下回ることはない**ことも確認されました。

一方、25°C未満では**動粘度が急激に上昇**するLSC重油があり、その傾向はLSC重油ごとに異なることも確認されました。このため、燃料油を十分に**加熱し、燃料油温が流動点近くまで下がらないよう**に注意する必要があります。

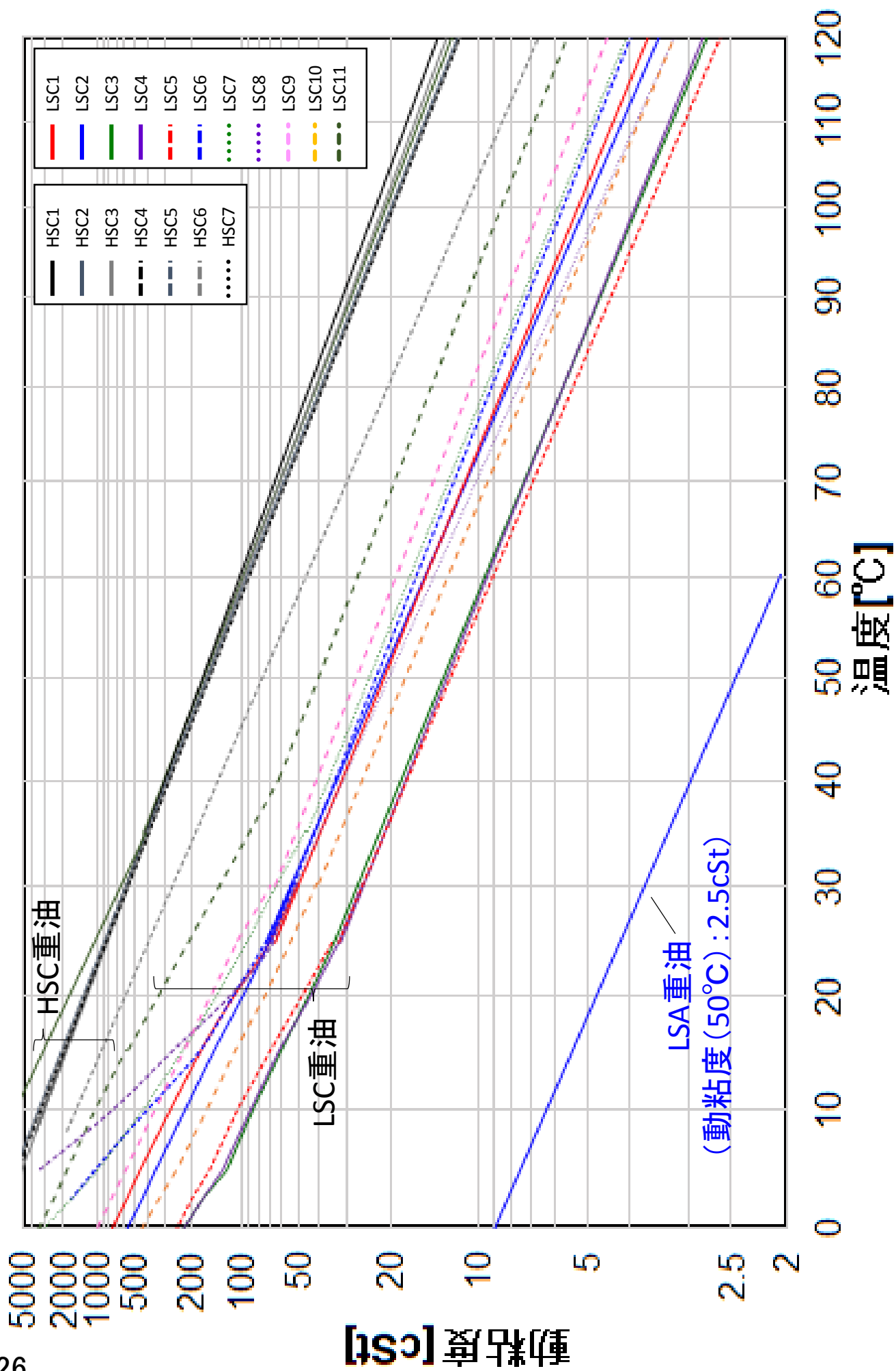


図2-A 動粘度-温度線図

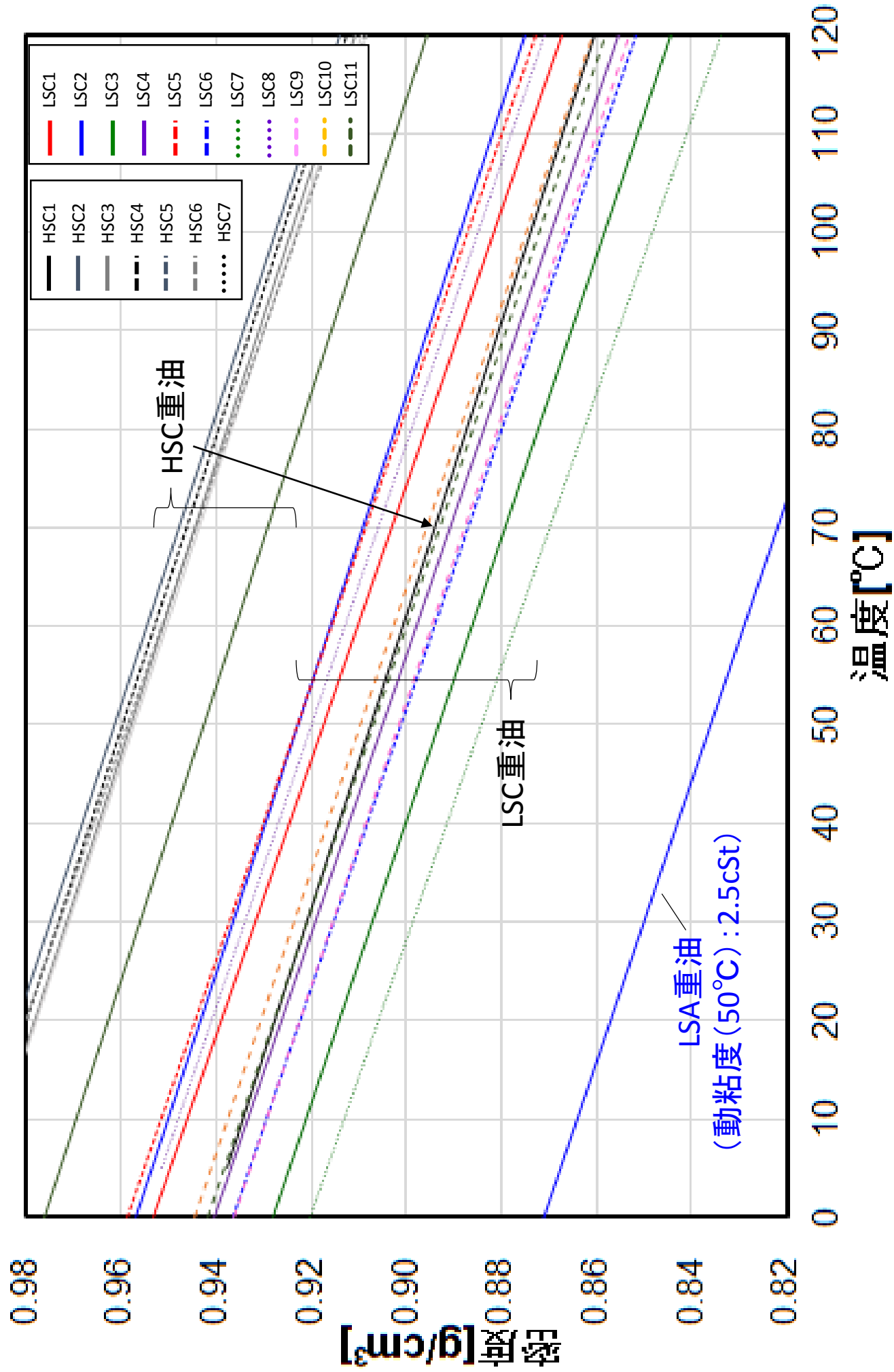


図2-B 密度-温度線図

# 付録3 混合油の動粘度推定方法

混合された燃料油の動粘度をグラフを用いて簡易的に推定する方法※を紹介いたします。なお、本方法は、タンク内で十分に混合された場合に適用できるものです。

[手順] (図3-Aを参考にしてください)

燃料油Aをタンク内の残油、燃料油Bを補油とします。

- ① 燃料油A、Bの混合時に予測される混合比を確認
- ② 各燃料油の50°C動粘度を、燃料油Aはグラフ右端の軸上に、燃料油Bは左端軸上にプロットし、直線で結ぶ
- ③ 作成した線の混合比に対する動粘度を推定
- ④ 動粘度-温度線図(図2-A参照)を用いて、推定される温度での動粘度を推定

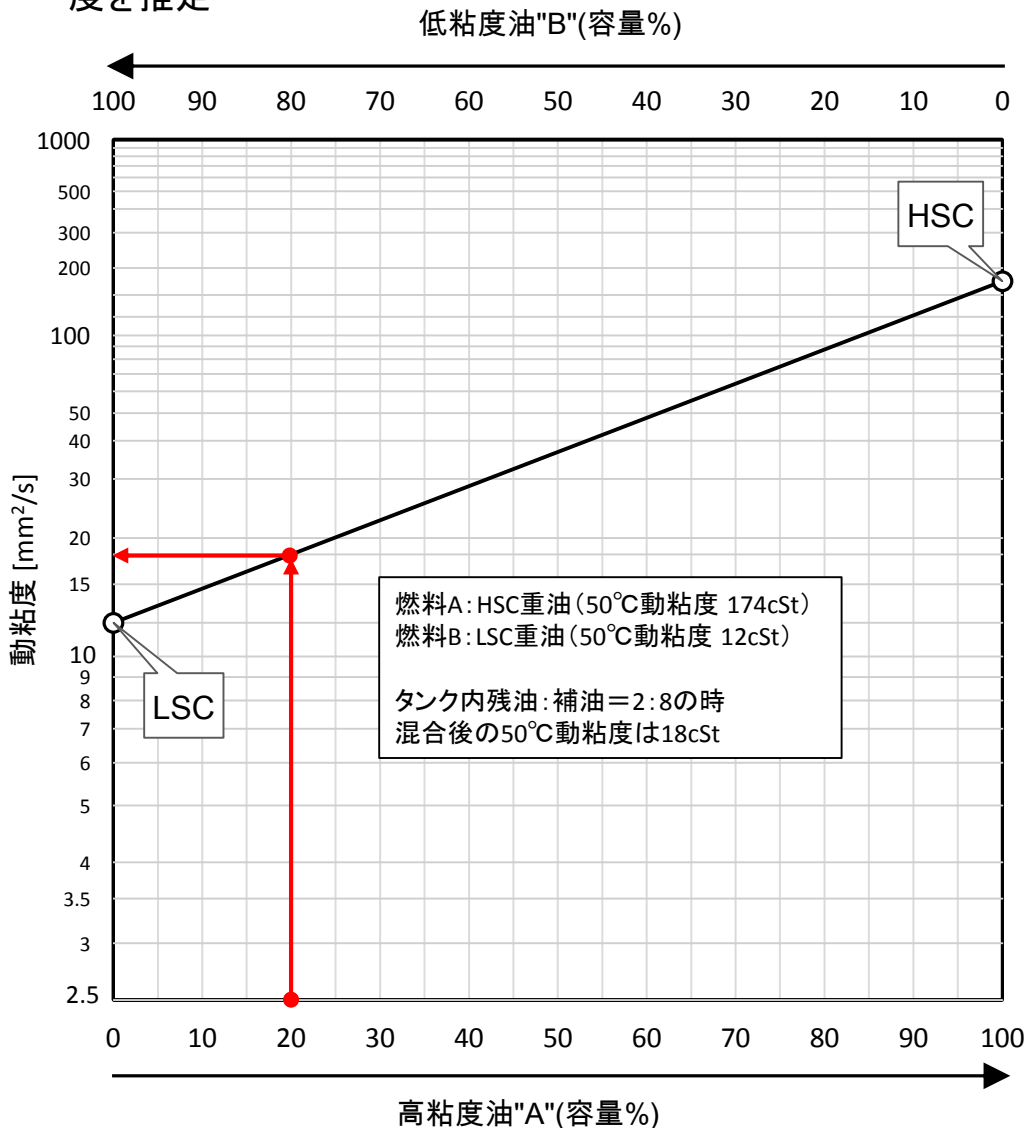


図3-A 同一温度における動粘度が判明している船用燃料油を混合する場合の混合油の動粘度



# 付録4 設備のチェックリスト(例)

## 燃料油の流動点に関連

①

### C重油貯蔵タンク関連

・NO.1タンク内燃料油温度	: ( ) °C
・NO.2タンク内燃料油温度	: ( ) °C
・NO.3タンク内燃料油温度	: ( ) °C
・タンク出口温度 (移送ポンプ入口温度でも可) 更に温度を上げられるか	: ( 可 / 不可 )
・燃料油シフター (有)⇒燃料油シフターポンプの容量	: ( ) t/h
・海水温/外気温	: ( / ) °C

⇄

②

### C重油移送系統関連

・配管の保温用ヒートトレース (無の場合)⇒配管の周囲温度(停泊時) (無の場合)⇒配管の周囲温度(運航時)	: ( 有 / 無 )
・移送ポンプ入口の温度	: ( ) °C

⇄

### C重油セツトリングタンク関連

・タンク内燃料油温度	: ( ) °C
・ヒーターの設定温度	: ( ) °C
・ヒーターの設定可能な温度域	: ( ) ~ ( ) °C

⇄

### 燃料油清浄系統関連

・清浄機の処理可能な燃料油密度(比重)	: ( ) ~ ( ) g/cm <sup>3</sup>
・清浄機の処理温度	: ( ) °C
・配管の保温用ヒートトレース (無)⇒配管の周囲温度(停泊時) (無)⇒配管の周囲温度(運航時)	: ( 有 / 無 )
	: ( ) °C
	: ( ) °C

⇄

### C重油サービスタンク関連

・タンク入口燃料油温度	: ( ) °C
・ヒーターの設定温度	: ( ) °C
・ヒーターの設定可能な温度域	: ( ) ~ ( ) °C

③

## 燃料油の動粘度に関連

⑥

### 燃料油供給or循環ポンプ

・吐出し量(スベック)	: ( ) t/h
・容量保証粘度	: ( ) cSt
・ポンプ入口温度 (C重油使用/エンジン高負荷時)	: ( ) °C
・入口温度から推定される動粘度 計測時のエンジン出力	: ( ) ~ ( ) cSt
	: ( ) ~ ( ) kW
・ポンプ入口温度 (A重油使用/エンジン高負荷時)	: ( ) ~ ( ) °C
・入口温度から推定される動粘度 計測時のエンジン出力	: ( ) ~ ( ) cSt
	: ( ) ~ ( ) kW

⇄

⑦

### 温度調整装置

・設定温度	: ( ) °C
・設定可能な温度域	: ( ) ~ ( ) °C

⑧

### 粘度調整装置

・設定動粘度	: ( ) cSt
・設定可能な動粘度域	: ( ) ~ ( ) cSt

⇄

⑧

### エンジン

・エンジン入口温度(C重油使用/エンジン高負荷時)	: ( ) °C
・入口温度から推定される動粘度 計測時のエンジン出力	: ( ) cSt
	: ( ) kW
・エンジン入口温度(A重油使用/エンジン高負荷時)	: ( ) °C
・入口温度から推定される動粘度 計測時のエンジン出力	: ( ) cSt
	: ( ) kW
・計測時の戻り燃料油温度	: ( ) °C
・推奨動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt
・許容動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt

### ボイラー

・推奨動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt
・許容動粘度	: ( ) ~ ( ) cSt

# 付録5 LSC重油実船トライアル

実際の燃料切替えをシミュレーションするため、国内石油元売り各社が製造したLSC重油(表5-A)を使用して実運航船(表5-B)にてトライアルを実施※1しました。

公募により応募のあった事業者(グループ)について、トライアルのアレンジができたものから順次3グループ、計12隻で実施しました。

国内元売り3社のLSC重油、国内エンジンメーカー11社のエンジンで、総トン数が499～14,000GTの幅広い大きさ、船種をカバーし、実施しました。

トライアルにあたっては、**バンカー船も含め、全船ともタンククリーニングや設備の改造は行わず**、オペレーションについては、本手引書(初版)を参考に、**各船が関連機器メーカーと相談の上で検討した方法**で実施しました。

表5-A 実船トライアルで使用したLSC重油の性状

	第1回トライアル		第2回トライアル		第3回トライアル	
	製油所出し※2	補油時※3	製油所出し※2	補油時※3	製油所出し※2	補油時※3
硫黄分(質量%)	0.26	0.30～0.38	0.43	0.42～0.43	0.3	0.29～0.30
動粘度(cSt)	27.1	27～30	17.1	17～18	42	40～41
流動点(°C)	-22.5	-	-5	-	12.5	
CCAI	822	821～825	837	838～839	819	819～820
総発熱量(MJ/kg)	44.55	-	44.38	-	44.47	-
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.9247	0.926～0.928	0.9326	0.934	0.9295	0.930
引火点(°C)	108	-	99	-	95	-
残炭(質量%)	2.9	-	2.1	-	2.88	-
灰分(質量%)	0.003	-	0.004	-	0.011	-
動粘度-温度線図	-	付録2 図2-A LSC9参照	-	付録2 図2-A LSC10参照	-	付録2 図2-A LSC11参照
密度-温度線図	-	付録2 図2-A LSC9参照	-	付録2 図2-B LSC10参照	-	付録2 図2-B LSC11参照

※1 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

※2 供給者から提供された性状分析表による

※3 バンカー船のHSC残油との混合後の燃料油の性状分析結果

表5-B 実船トライアルに参加した船舶の要目

船種	第1回トライアル				第2回トライアル	
	同一バンカー船で補油				同一バンカー船で補油	
	鋼材運搬船	鋼材運搬船	鋼材運搬船	セメント運搬船	フェリー	RORO船
総トン数	749GT	499GT	499GT	749GT	約10,000GT	約14,000GT
主機関	赤阪鐵工所 A34S (4st 低速)	阪神内燃機工業 LH28 (4st 低速)	阪神内燃機工業 LA32G (4st 低速)	ヤンマー 6L21AL-SV (4st 中速)	JFEエンジニアリング 18PC2-6V (4st 中速)	川崎重工業 8L60MC-C (2st 低速)
補機関	- (A重油仕様)	- (A重油仕様)	- (A重油仕様)	- (A重油仕様)	ダイハツ 8DK-20 (4st 中速)	ヤンマー 8N21AL-GV (4st 中速)
ボイラー 又は バーナー	-	-	-	-	三浦工業 HTB-150L	三浦工業 VWH-2000
ビスコン	-	-	-	有	有	有
清浄機	有	- (清澄機)	有	有	有	有

船種	第3回トライアル					
	同一バンカー船で補油			同一バンカー船で補油		
	旅客船	セメント運搬船	RORO船	鋼材運搬船	RORO船	LPG運搬船
総トン数	約6,000GT	約8,000GT	約11,000GT	499GT	約14,000GT	999GT
主機関	ジャパンエンジンコー ポレーション 6UEC35LSE-Eco (2st 低速)	マキタ 6L35MC (2st 低速)	日立造船 9S50ME-C8.5 (2st 低速)	IHI原動機 6M31NT (4st 低速)	三井E&S 12L50MC (2st 低速)	阪神内燃機工業 LH36L (4st 低速)
補機関	ダイハツ DE623Z0037 (4st 中速)	- (A重油仕様)	ヤンマー 6EY22ALW (4st 中速)	- (A重油仕様)	ダイハツ 6DK-26 (4st 中速)	- (A重油仕様)
ボイラー 又は バーナー	三浦工業 TB-100H	サンフレム SSR-1	三浦工業 HTB-60S	-	三浦工業 HTB-80H	-
ビスコン	有	有	有	-	有	-
清浄機	有	有	有	- (清澄機)	有	- (清澄機)

実船トライアルでは補油時に混合安定性試験(スポットテスト)を行い、HSC重油からLSC重油に切替わるまで、エンジンへの燃料油の移送、供給・燃焼に至るまでの関連機器や燃料油の状態を確認するために、計測やサンプルの採取を行いました。

いずれの船舶においても、改造や複雑なオペレーションを実施することなく、LSC重油への切替え、正常な運航が可能であることが確認されました。

## 実船トライアル結果(まとめ)

### ① 混合安定性:

- 実船トライアルに用いたLSC重油について、タンク内残油のHSC重油及びA重油との混合に関するスポットテストを行い、いずれも安定性が確保されていることが確認された。
- 運航中も混合によるスラッジ発生などの異常はなかった。

### ② 動粘度・温度対応:

以下の対応を行うことにより、HSC重油からLSC重油への円滑な切替えが可能であることが確認できた。

#### -1 粘度調整装置(ビスコン)が無い場合:

- 燃料系統上のヒーター※の設定温度をHSC重油使用時(エンジン入口で100~120°C)から変更しない
- 清浄機の調節板は、HSC重油とLSC重油の両方の密度に対応できるものに変更

※ セットリングタンク・サービスタンク付きヒーター、清浄機・エンジン用の燃料油ヒーター

⇒詳細はP.33の1.1参照

#### -2 粘度調整装置(ビスコン)が有る場合:

- 燃料系統上のヒーターの設定温度を下げることにより、エンジン入口における動粘度をHSC重油と同程度(約10~15cSt)に維持
- 清浄機の調節板は、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、必要に応じ変更

⇒詳細はP.34の1.2参照

### ③ 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。

⇒詳細はP.35の2.参照

# 1. 動粘度・温度対応

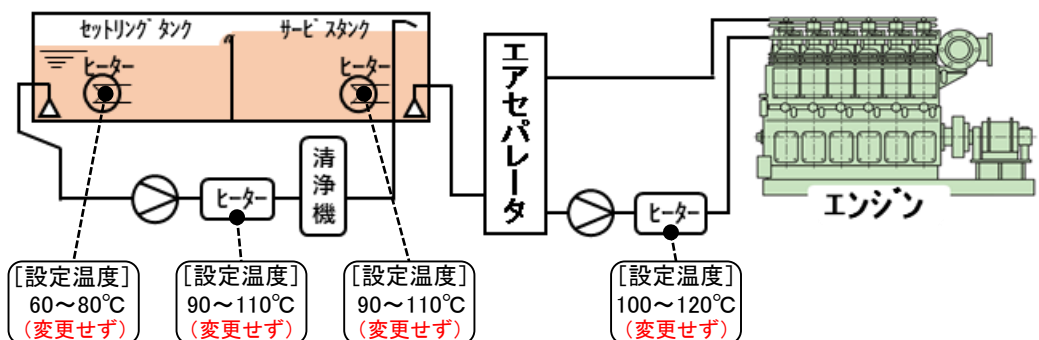
燃料がLSC重油に切替わる際は、燃料系統内の燃料油の動粘度、密度が変化するため、その対応策として、**密度に応じた清浄機の調整**や、**エンジン入口での動粘度の調整**を行いました。

船舶にビスコンが搭載されているか否かで対策に違いがありましたが、いずれも改造を行うことなく燃料を切替えることができました。

## 1.1 粘度調整装置(ビスコン)が無い船舶の場合

### ① 各ヒーターの温度設定 ⇒ **変更せず**※

ビスコンがないため、燃料油の動粘度を計測することができないものの、付録2の動粘度計測結果を基にLSC重油は120°C程度まで加熱してもエンジンメーカの許容範囲(2cSt以上)にあることを確認し、従来通りの設定温度としました。



※ 粘度計により、動粘度を確認しながら手動で加熱温度を下げた船も1隻ありました(本付録3.2参照)。

### ② 清浄機の調整 : **調節板の変更**

LSC重油の密度はHSC重油に比べて低いため、低密度に対応する調節板へ変更しました。ただし、暫くの間は、セトリングタンクに残ったHSC重油が清浄機に流入するため、低密度に対応しつつ、HSC重油の密度にも対応できる調節板を選択しました。



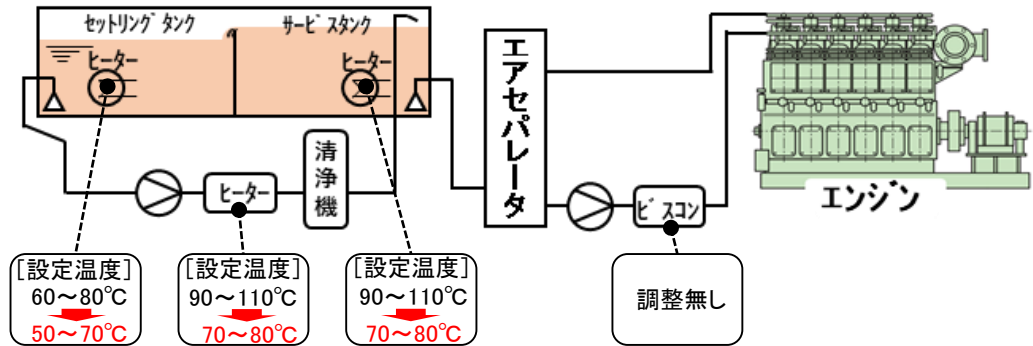
運航中は、清浄系統内の残油を通液して異常流出が起こらないことや、定期的にサービスタンのドレン切りを行い、重液(分離水)が流入していないことを確認しました。

(清澄機(クラリファイヤ)が搭載されている船舶は調節板が無く、調整は行いませんでした。)

## 1.2 粘度調整装置(ビスコン)が有る船舶の場合

### ① 各ヒーターの温度設定 : 設定温度を下げた

ビスコンの動粘度設定をHSC重油使用時のまま(10~15cSt)とするためには、ビスコン入口の燃料油温度を低下させる必要があったため、ビスコンまでの各ヒーターの設定温度を下げることで燃料系統全体の燃料油温度を下げました。



### ② 清浄機の調整 : 調節板の変更(変更不要なケースもあり)

1.1②と同様、低密度に対応しつつ、HSC重油の密度にも対応できる調節板を選択しました。ただし、一部の船舶は、各ヒーターの設定温度低下に伴う燃料油密度の上昇を想定し、調節板の変更を行わなかった船舶もありました。

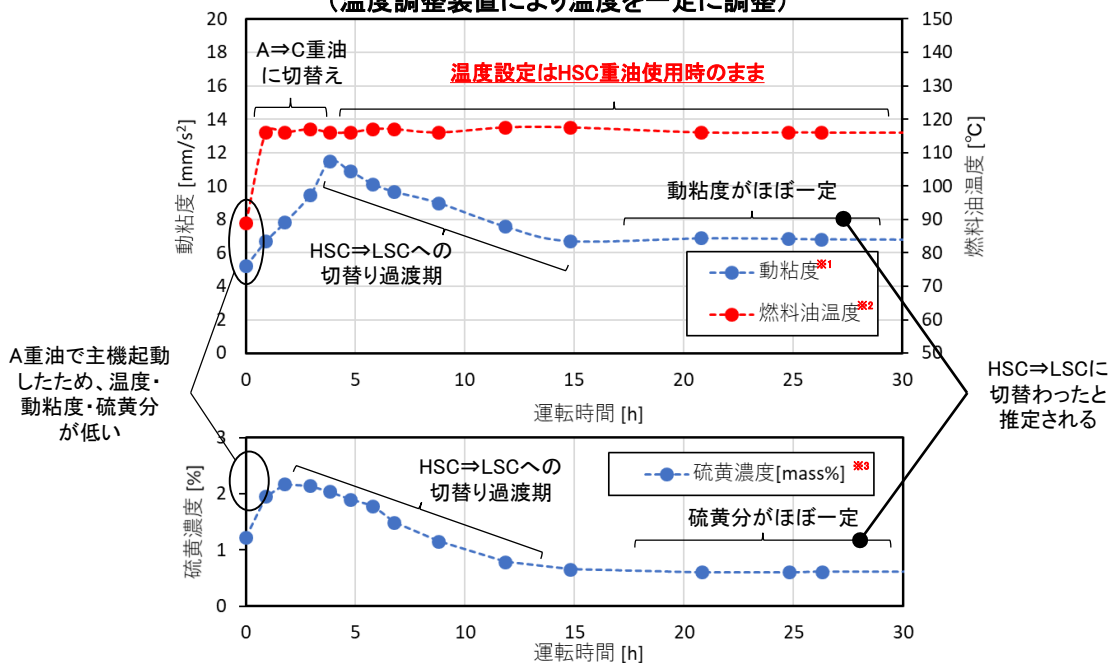


運航中は、清浄系統内の残油を通液して異常流出が起こらないことや、定期的にサービスタンクのドレン切りを行い、重液(分離水)が流入していないことを確認しました。

## 2. 硫黄分濃度

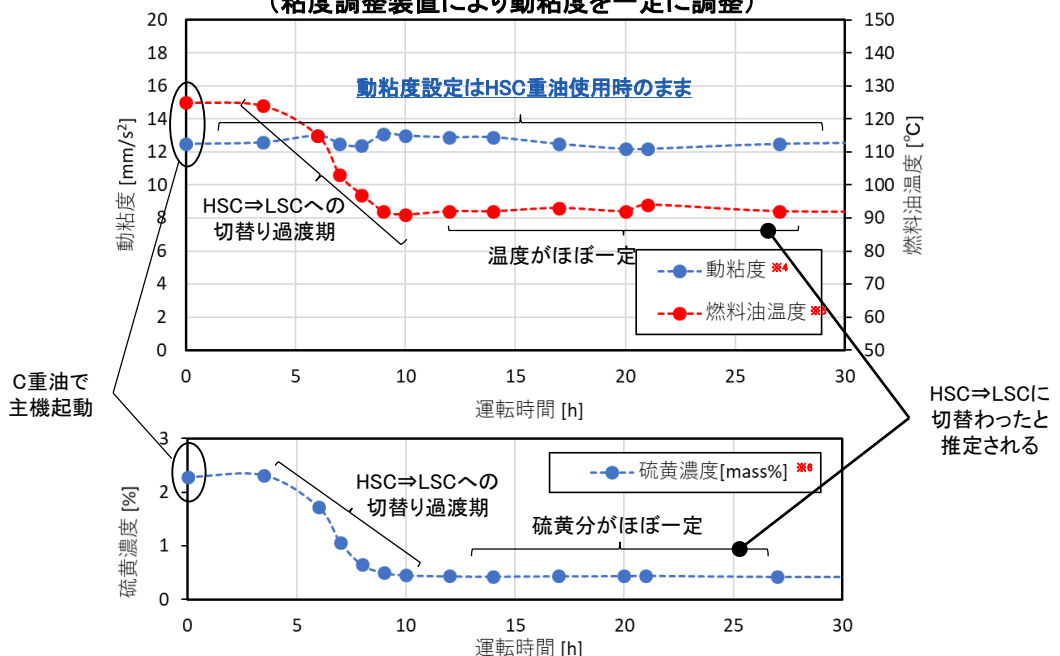
本実船トライアルでは、バンカー船のLSC重油、トライアル船のタンク内のHSC残油、エンジンの燃料供給ライン中の燃料油を採取し、計測しました。(図5-A、5-B、表5-C参照)

図5-A :ビスコン無い場合の性状の推移例  
(温度調整装置により温度を一定に調整)



- ※1 動粘度 : エンジンの燃料供給ラインから採取したサンプルの動粘度計測値から、エンジン入口温度における動粘度を推計。
- ※2 燃料油温度 : エンジン入口の燃料油温度。
- ※3 硫黄濃度 : エンジンの燃料供給ラインから採取したサンプルの硫黄分濃度。

図5-B :ビスコンが有る場合の性状の推移例  
(粘度調整装置により動粘度を一定に調整)



- ※4 動粘度 : エンジン入口の動粘度(ビスコンによる計測値)。
- ※5 燃料油温度 : エンジン入口の燃料油温度(ビスコンによる計測値)。
- ※6 硫黄濃度 : エンジンの燃料供給ラインから採取したサンプルの硫黄分濃度。

表5-C 各船の硫黄分推移

		残油 (HSC重油)		補油 (LSC重油)		混合後の硫黄分濃度 <sup>※</sup> (計測値)
A 船	油量	3.74 kL	+	41.40 kL	⇒	<b>0.46 %</b> (推定値: 0.40 %)
	硫黄分	1.44 %		0.30 %		
	密度(15°C)	0.947 g/cm <sup>3</sup>		0.927 g/cm <sup>3</sup>		
B 船	油量	0.33 kL	+	30.00 kL	⇒	<b>0.36 %</b> (推定値: 0.41 %)
	硫黄分	2.36 %		0.38 %		
	密度(15°C)	0.961 g/cm <sup>3</sup>		0.928 g/cm <sup>3</sup>		
C 船	油量	0.50 kL	+	40.00 kL	⇒	<b>0.36 %</b> (推定値: 0.39 %)
	硫黄分	2.50 %		0.36 %		
	密度(15°C)	0.975 g/cm <sup>3</sup>		0.928 g/cm <sup>3</sup>		
D 船	油量	10.00 kL	+	40.00 kL	⇒	<b>0.63 %</b> (推定値: 0.63 %)
	硫黄分	1.61 %		0.37 %		
	密度(15°C)	0.980 g/cm <sup>3</sup>		0.928 g/cm <sup>3</sup>		
E 船	油量	3.00 kL	+	200.00 kL	⇒	<b>0.44 %</b> (推定値: 0.45 %)
	硫黄分	1.87 %		0.43 %		
	密度(15°C)	0.960 g/cm <sup>3</sup>		0.934 g/cm <sup>3</sup>		
F 船	油量	5.00 kL	+	150.00 kL	⇒	<b>0.52 %</b> (推定値: 0.50 %)
	硫黄分	2.46 %		0.43 %		
	密度(15°C)	0.956 g/cm <sup>3</sup>		0.934 g/cm <sup>3</sup>		
G 船	油量	6.12 kL	+	40.00 kL	⇒	<b>0.55 %</b> (推定値: 0.58 %)
	硫黄分	2.31 %		0.30 %		
	密度(15°C)	0.975 g/cm <sup>3</sup>		0.931 g/cm <sup>3</sup>		
H 船	油量	10.80 kL	+	210.00 kL	⇒	<b>0.37 %</b> (推定値: 0.42 %)
	硫黄分	2.67 %		0.30 %		
	密度(15°C)	0.976 g/cm <sup>3</sup>		0.931 g/cm <sup>3</sup>		
I 船	油量	4.80 kL	+	40.00 kL	⇒	<b>0.48 %</b> (推定値: 0.53 %)
	硫黄分	2.32 %		0.31 %		
	密度(15°C)	0.985 g/cm <sup>3</sup>		0.931 g/cm <sup>3</sup>		
J 船	油量	2.70 kL	+	80.00 kL	⇒	<b>0.35 %</b> (推定値: 0.34 %)
	硫黄分	1.62 %		0.29 %		
	密度(15°C)	0.948 g/cm <sup>3</sup>		0.931 g/cm <sup>3</sup>		
K 船	油量	3.50 kL	+	50.00 kL	⇒	<b>0.35 %</b> (推定値: 0.39 %)
	硫黄分	1.74 %		0.29 %		
	密度(15°C)	0.967 g/cm <sup>3</sup>		0.931 g/cm <sup>3</sup>		
L 船	油量	14.12 kL	+	163.00 kL	⇒	<b>0.44 %</b> (推定値: 0.45 %)
	硫黄分	2.25 %		0.29 %		
	密度(15°C)	0.969 g/cm <sup>3</sup>		0.931 g/cm <sup>3</sup>		

※ 燃料切替後、性状がほぼ一定となった段階での燃料油

本トライアルでは、LSC補油前のタンク残油量は0~20%程度と様々であり、LSC補油量に対し、タンク残油量が多い場合は、混合後の硫黄分濃度は高めになります。事前に簡易計算により推計した値とほぼ合致しました。

切替後の硫黄分濃度がほぼ一定となり、性状表等から計算した値と実際の計測値がほぼ合致したことから、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と考えられます。

なお、簡易計算は、残油と補油それぞれの量、硫黄分、密度から次式を用いました。

$$\text{硫黄分(質量\%)} = \frac{(\text{残油硫黄分}) \times (\text{残油密度}) \times (\text{残油量}) + (\text{補油硫黄分}) \times (\text{補油密度}) \times (\text{補油量})}{(\text{残油密度}) \times (\text{残油量}) + (\text{補油密度}) \times (\text{補油量})}$$

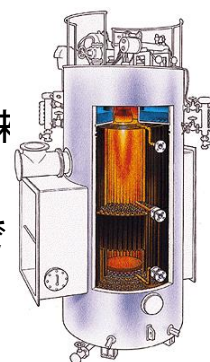


### 3. その他

#### 3.1 ボイラーでのLSC重油燃焼

実船トライアルではボイラーでのLSC重油燃焼を行い、従来HSC重油と同様に燃焼できることが確認されました。

ボイラーの使用にあたっては、燃料油を所定の動粘度まで加熱する必要があることから、ボイラーの燃料油ヒーターの設定温度を約80~100℃としました。



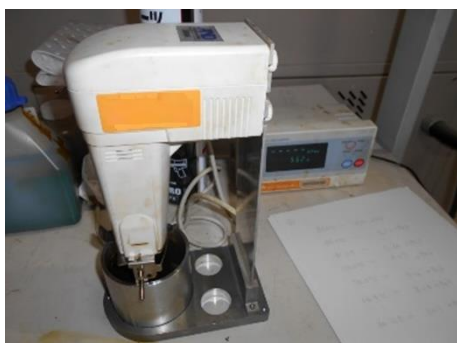
#### 3.2 ビスコンのない船で動粘度の変化を確認する方法

動粘度・温度の調整を従来のHSC重油と同じ設定のままLSC燃料油への切替ができた事例(本付録1.1)のように、切替過渡期の動粘度の変化が把握できずとも対応は可能です。

ただし、切替時に動粘度の変化を参考として確認しておきたいという場合には、ポータブル粘度計や粘度カップを用いて、船上で臨時的に採取を行い粘度の計測・測定を行うことで、燃料油の動粘度が低下し、安定する(燃料油が切替わる)までの変化を確認することが可能です。

現に、今回の実船トライアルでは、これらにより切替え状況を確認したり、更に、ポータブル粘度計を用いた場合には、エンジン入口の動粘度をHSC重油使用時からなるべく変わらないようにするため、動粘度を確認しながら手動で加熱温度を調整した船もありました。

ポータブル粘度計



液体中で振動子を振動させ、振動子の粘性抵抗から粘度を推計する機器

粘度カップ



カップ内の液体が下部の穴から落ちきるまでの時間により粘度を推計する機器

# 船用燃料油の性状変化への 対応に関する検討会

座長：高崎 講二（九州大学名誉教授）

検討会参加企業等：

海運会社：

NSユニテッドタンカー(株)、NSユニテッド内航海運(株)、ジャンボフェリー(株)、  
商船三井フェリー(株)、新日本海フェリー(株)、田淵海運(株)、日本郵船(株)、  
(株)名門大洋フェリー

造船所：

浅川造船(株)、今治造船(株)、臼杵造船所、(株)大島造船所、川崎重工業(株)、  
(株)神田造船所、神例造船(株)、北日本造船(株)、ジャパンマリンユニテッド(株)、  
(株)新来島どっく、住友重機械マリンエンジニアリング(株)、(株)名村造船所、  
三井E&S造船(株)、三菱造船(株)

機器メーカー：

(株)アイメックス、(株)赤阪鐵工所、(株)大阪ボイラー製作所、(株)サンフレム、JFEエン  
ジニアリング(株)、(株)ジャパンエンジンコーポレーション、大晃機械工業(株)、  
ダイハツディーゼル(株)、(株)ディーゼルユニテッド、(株)浪速ポンプ製作所、  
IHI原動機(株)、阪神内燃機工業(株)、日立造船(株)、(株)兵神機械工業(株)、  
ボルカノ(株)、(株)マキタ、(株)三井E&Sマシナリー、三菱重工エンジン&ターボ  
チャージャ(株)、ヤンマー(株)

業界団体：

日本内航海運組合総連合会、日本旅客船協会、日本長距離フェリー協会  
日本船主協会、日本造船工業会、日本中小型造船工業会、日本船用工業会

研究機関・検査機関：

海上技術安全研究所、日本海事協会

事務局：国土交通省 海事局

本資料に関するお問い合わせ先

国土交通省 海事局

海洋・環境政策課 環境渉外室

TEL：03-5253-8118

E-mail：[hqt-mrbkks-honka@gxb.mlit.go.jp](mailto:hqt-mrbkks-honka@gxb.mlit.go.jp)