

2020年 SO_x規制適合 船用燃料油 使用手引書 (第 3 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。

2021年 4月28日 第3版発行

- 4章を「補油における注意事項」から、「スラッジ発生に対する予防策」に変更。
- 付録1として「燃料油の温度調整の事例紹介」を追加。
- 付録2として「燃料油が推奨動粘度となる温度の推定方法」を追加。
- 付録3として「流動性を確保するための温度設定」を追加。
- 付録1「混合安定性試験」の内容を最新の試験結果に変更し、付録7「安定性試験」に変更。
- 付録5の「LSC実船トライアル」を削除。
- その他、SO_x規制が既に開始されていることを踏まえて時系列に関する文言を修正。

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%以下に厳しくなっています。

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_x規制について	1
2章 SO_x規制適合油はどんな油？	3
2.1 SO _x 規制開始前の燃料油 と SO _x 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 自船設備の現状確認	8
3.4 LSC重油使用時の影響確認とその対策の検討	9
3.5 着火性・燃焼性	14
4章 スラッジ発生に対する予防策	15
4.1 スラッジの種類	15
4.2 スラッジ発生に対する予防策	16
4.3 燃料油の記録を残す	17
付録1 燃料油の温度調整の事例紹介	18
付録2 燃料油が推奨動粘度となる温度の推定方法	19
付録3 流動性を確保するための温度設定	21
付録4 動粘度・密度と温度の関係	22
付録5 混合油の動粘度推定方法	25
付録6 設備のチェックリスト(例)	26
付録7 安定性試験	27

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(NO_x)、硫黄酸化物(SO_x)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SO_x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SO_x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。SO_x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、異例であります、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SO_x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。

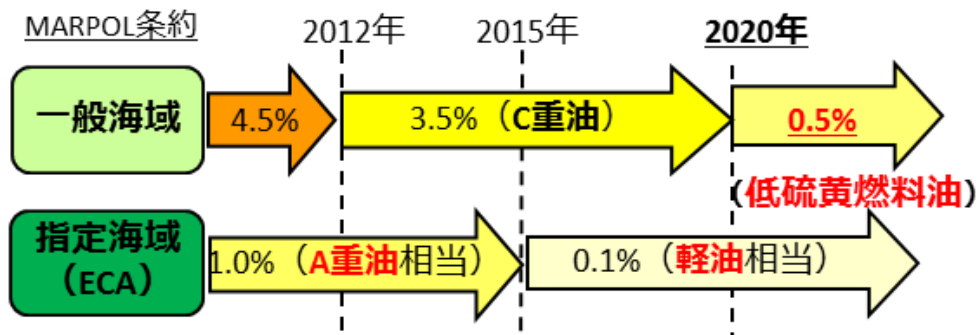


図1-1 マルポール条約による硫黄分規制

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ています(SO_xスクラバの搭載により排気ガス中のSO_xを除去する場合を除きます。)

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規制適合油とはこ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 SOx規制開始前の燃料油 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%)	規制開始前の燃料油 (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、**硫黄分が0.5質量%以下のLSC重油を製造・販売**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℃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。

- | HSC重油 | | | LSC重油 |
|--------------------|------------|---|------------------|
| ● 硫黄分(規制値) | : 3.5質量%以下 | ⇒ | 0.5質量%以下 |
| ● 動粘度(50℃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℃以下 | ⇒ | 30℃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℃以下 | | | |

約25℃の状態

HSC重油に比べて、LSC重油の方が粘性が低い

動粘度: 150cSt (50℃)
流動点: -10℃



動粘度: 20cSt (50℃)
流動点: 20℃



約4℃の状態

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℃)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、 mm^2/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 mm^2/s =1cSt)

3章 どんな対策が必要？

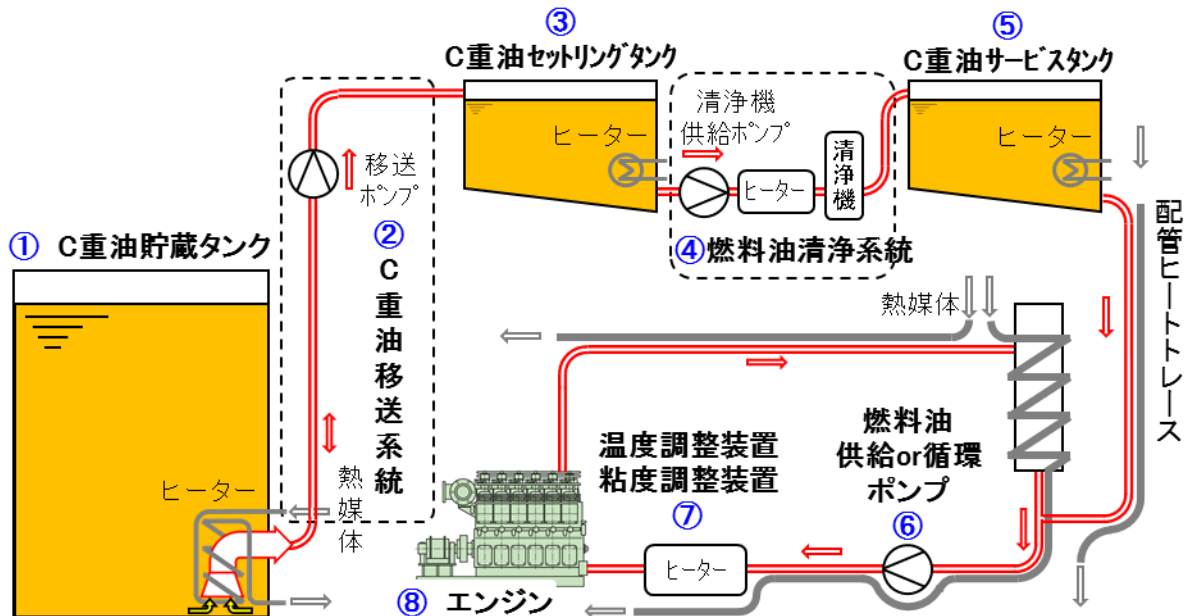


図3-1 内航船の一般的な燃料油システム

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：

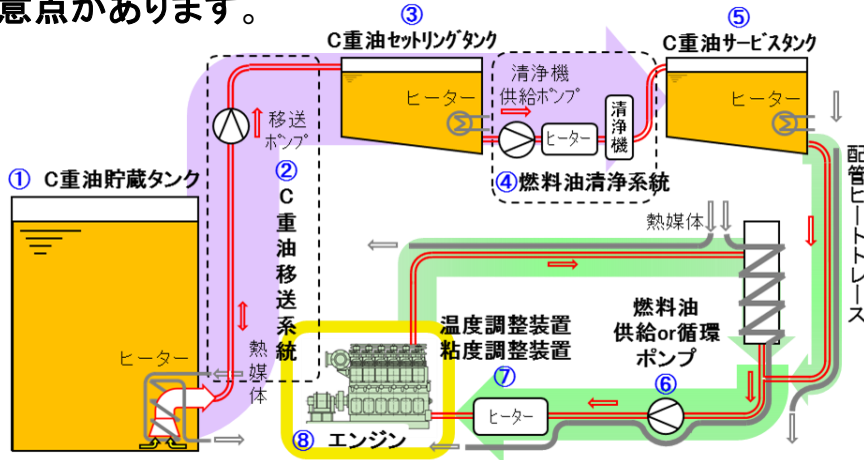
燃料油が低硫黄、低動粘度化しますので、「3.4.1 硫黄分低下」、「3.4.2 動粘度低下」の観点での検討が必要なだけでなく、エンジンのA重油対応（特に4ストロークエンジン）、燃料油移送・清浄システムのポンプへの影響検討や、燃料油加熱の停止などの対策を講じる必要があります。

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。

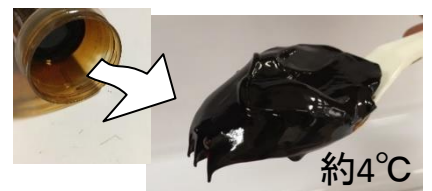
LSC重油の動粘度はHSC重油より低いことから、**ポンプの能力低下、低動粘度燃料に応じた温度調整が適切に機能しない、温度を下げたとしてもエンジンでの酸腐食が発生する**可能性があります。⇒対策は3.4.2参照



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 〕

LSC重油の想定される性状 (2.2関連)

- 動粘度(50℃):(10～)20cSt※1
- 流動点:30℃※2
- 密度:サンプルの性状を参考とする(付録4参照)

詳細は
P.8
参照

LSC重油使用時の影響を確認

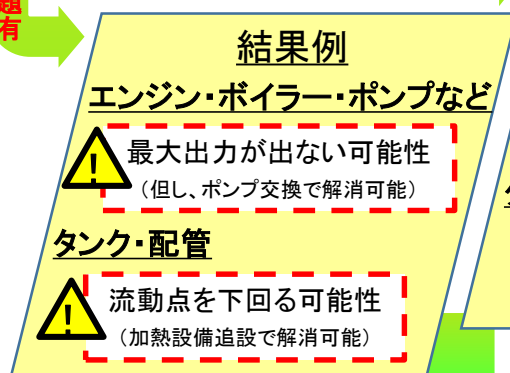
確認のポイント:

- 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



結果例 エンジン・ボイラー・ポンプなど

現状のままで使用可能
(ヒーターの設定温度を変更)

タンク・配管

現状のままで使用可能
(但し、停泊中も加熱を継続)

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

設備への影響確認

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℃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

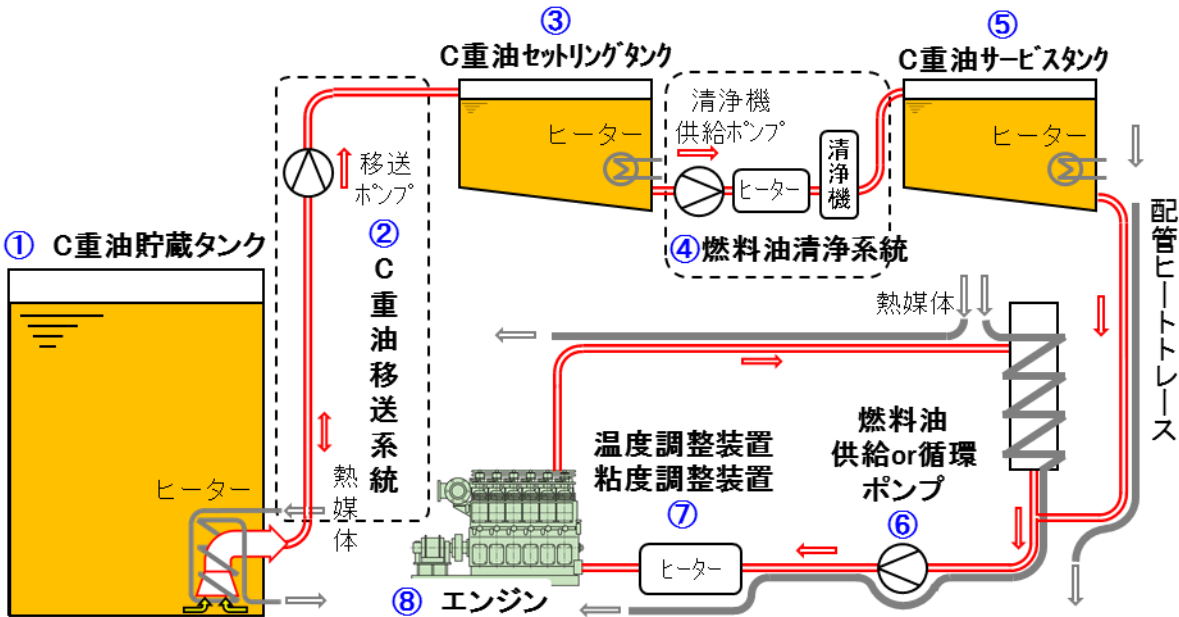
対策の検討に先立ち、自船の設備の現状を確認しましょう。

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6参照)

表3-1 設備のチェックリスト(例)

燃料油の流動点に関連		燃料油の動粘度に関連	
① C重油貯蔵タンク関連	・NO.1タンク内燃料油温度	:	()℃
	・NO.2タンク内燃料油温度	:	()℃
	・NO.3タンク内燃料油温度	:	()℃
	・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)
② C重油移送系統関連	・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	:	() / ()℃
③ C重油セッティングタンク関連	・配管の保温用ヒートレース	:	(有 / 無)
	(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)	:	()℃
	・移送ポンプ入口の温度	:	()℃
④ 燃料油清浄系統関連	・タンク内燃料油温度	:	()℃
	・ヒーターの設定温度	:	()℃
	・ヒーターの設定可能な温度域	:	() ~ ()℃
⑤ C重油サービスタンク関連	・清浄機の処理可能な燃料油密度(比重)	:	() ~ ()g/cm ³
	・清浄機の処理温度	:	()℃
	・配管の保温用ヒートレース	:	(有 / 無)
	(無)⇒配管の周囲温度 (停泊時)	:	()℃
	(無)⇒配管の周囲温度 (運航時)	:	()℃
⑥ 燃料油供給or循環ポンプ	・吐出し量(スペック)	:	()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)	:	()℃
⑦ 温度調整装置	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)	:	() ~ ()℃
	入口温度から推定される動粘度	:	() ~ ()cSt
⑧ エンジン	計測時のエンジン出力	:	()kW
	・エンジン入口温度 (C重油使用/エンジン高負荷時)	:	()℃
⑨ 粘度調整装置	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	:	()℃
	・推奨動粘度	:	() ~ ()cSt
	・許容動粘度	:	() ~ ()cSt
⑩ ボイラー	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	:	()℃
⑪ 燃料油供給or循環ポンプ	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
⑫ エンジン	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



3.4 LSC重油使用時の影響確認とその対策の検討

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、ボ



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。

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未満のものの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。)

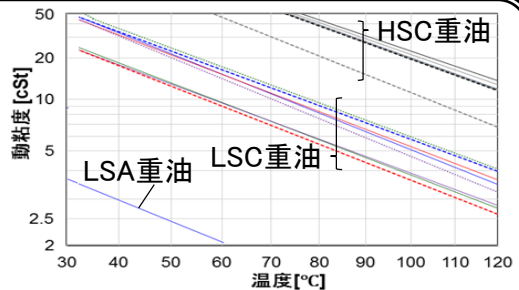
エンジンのリミッターとはエンジンの陸上試験時に検査機関により封印されるガバナーのラックストッパーではなく、**燃料噴射量を最適化するためのラックリミッター**を指しています。各メーカーで呼称が異なるため、詳細はメーカーに確認して下さい。

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。
(詳細は付録4参照)。



● 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。

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。

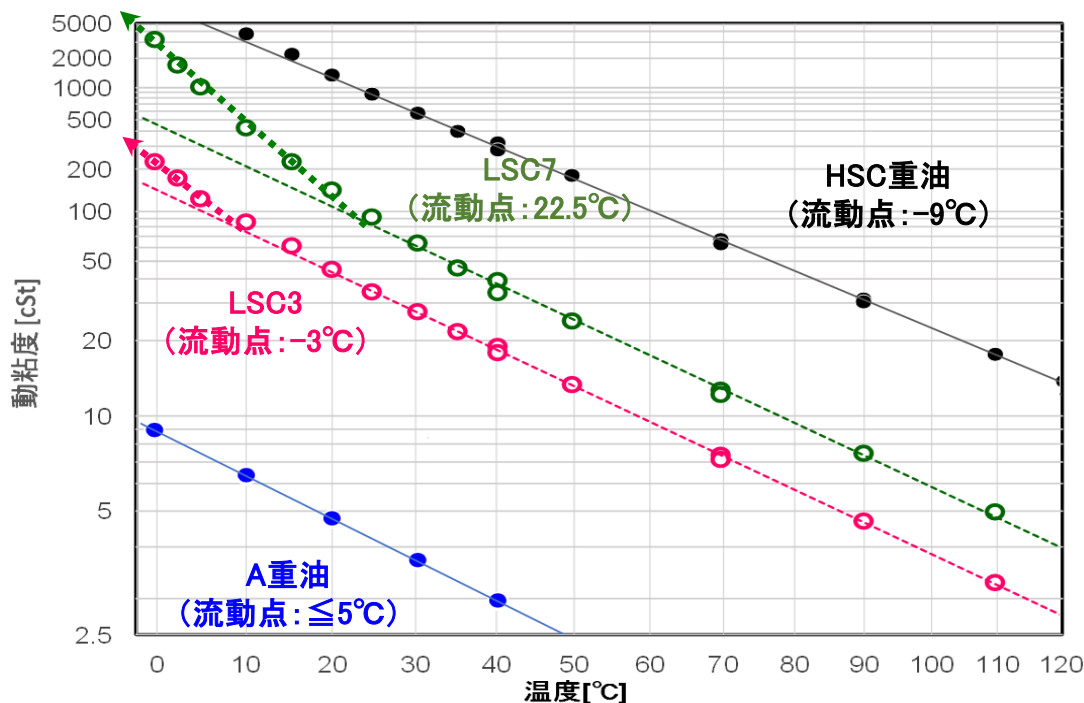


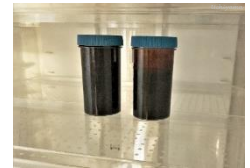
図3-3 代表的なLSC重油サンプルの温度-動粘度線図

また、サンプル油の動粘度計測(付録4参照)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

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。

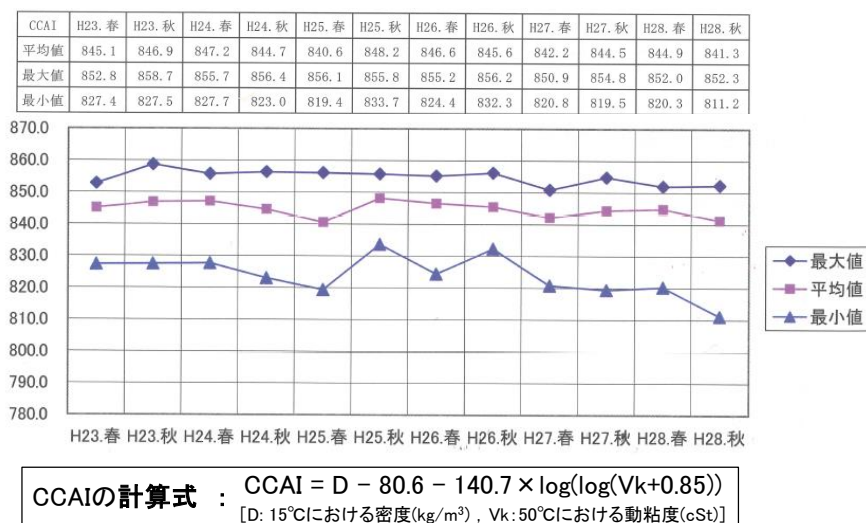


図3-4 HSC重油のCCAI実勢値※

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)

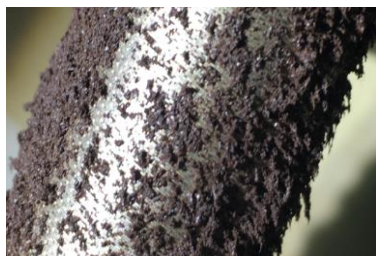
4章 スラッジ発生に対する予防策

燃料油の切替あるいは混合によ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。本章では、LSC重油使用時のスラッジ発生に対する予防策を説明します。

4.1 スラッジの種類

アスファルテン性スラッジ ⇒ 燃料の混合や加熱で発生

燃料油中の残渣分(LSC重油のほとんどは残渣分を含む)にはアスファルテンと呼ばれる高分子量の多環芳香族炭化水素が多く含まれ、燃料油中にコロイド状態で安定して分散しています。しかし、**燃料油同士の混合、燃料油の加熱、長期の貯蔵**により、安定性を失ってアスファルテンが凝集し始めることがあり、その粒子が大きくなると**スラッジとして沈殿**します。



混合安定性不良により
アスファルテンが凝集したもの



タンク底に沈殿していた
海苔状のスラッジ

ワックススラッジ ⇒ 燃料の温度を下げすぎると発生

燃料油の温度が流動点付近又は更に低くなると、ワックス分が析出し、塊となり流動しなくなります。



燃料油の温度が低下しワックス化したゲル状のスラッジ

4.2 スラッジ発生に対する予防策

アスファルテン性スラッジ発生の可能性の指標として、混合安定性と貯蔵安定性(単独安定性・単体安定性とも言われる)があります。混合不安定とは、2種類の燃料を混ぜた場合にアスファルテンがスラッジ化する現象です。A重油とLSC重油を混ぜた場合でも、A重油の成分がLSC重油中のアスファルテンをスラッジ化させることがあります。貯蔵不安定とは、燃料単体でも高温下あるいは長期に保管した場合にアスファルテンがスラッジ化する現象です。また、それらの両方が絡む事例もあります。例えば、混合による不安定があっても閾値以下に保たれていた燃料が、加熱により限界を超えて急にスラッジが発生することもあり得ます。

① 異なる燃料供給業者からの補油をできる限り避ける

混合安定性が悪い場合があるので、異なる燃料油をできる限り**混ぜない**(残油と補油の混合安定性を、補油前に簡易に推定する方法としては、スポットテストがある(付録7参照))

② 補油を行うタンク内の残油をできる限り少なくする

混合安定性が悪い場合があるので、残油と補油をできる限り**混ぜない**

③ 適正な加熱温度に調整する

タンク配管内の過度な加熱を防ぐことはスラッジ発生を予防するが、燃料加熱の主目的はエンジン入り口で適切な動粘度に調整することであり、各部で適正な温度調整が必要となる。**燃料の性状表を入手**し、適正な動粘度となるよう燃料タンクや各機器の温度を調整する。

(混合油の動粘度の推定方法は付録2)

温度調整の
事例は付録1

④ 清浄条件を調整する

発生したスラッジをできる限り**清浄機で分離**する。

スラッジの発生量を定期的にチェックする。スラッジの発生量が多い場合はメーカーのマニュアルに従い清浄機の流量をできる限り小さくし、清浄能力を高く保つ。

⑤ 燃料油の長期間の保管をできる限り避ける

貯蔵安定性の悪い燃料油の**スラッジ発生を抑制**する。

いつもより長く停泊した場合、次の航海でスラッジ発生の可能性が高くなることもあり得る。燃料タンクのドレン切りをこまめに行い、定期的にスラッジや水分を確認する。

4.3 燃料油の記録を残す

後において本SO_x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_x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 燃料油の温度調整の事例紹介

貯蔵安定性の悪い燃料では、燃料単体でも高温下でアスファルテン性スラッジが発生することがありますが、さらに混合安定性も絡む事例もあります。例えば、混合による不安定があっても閾値以下に保たれていた燃料が、加熱により限界を超えて急にスラッジが発生するようなこともあり得ます。そのスラッジの発生を抑制するためには、**燃料油を加熱し過ぎない**ことが重要です。このページでは、実船の温度調整事例を紹介します。

※※以下の温度設定は一例で、この性状・条件の場合に限ります※※

燃料油の性状： 50℃における動粘度 40cSt / 流動点 20℃

船舶情報：総トン数 約5,000GT/主機出力 約3,300kW（配管ヒートトレース有）

① エンジン入口の温度設定

エンジン・ボイラー入口の燃料油が推奨動粘度となる温度を推定する
この燃料油の場合、推奨動粘度が15cStであれば加熱温度を80℃に設定

温度推定方法
は付録2を参照

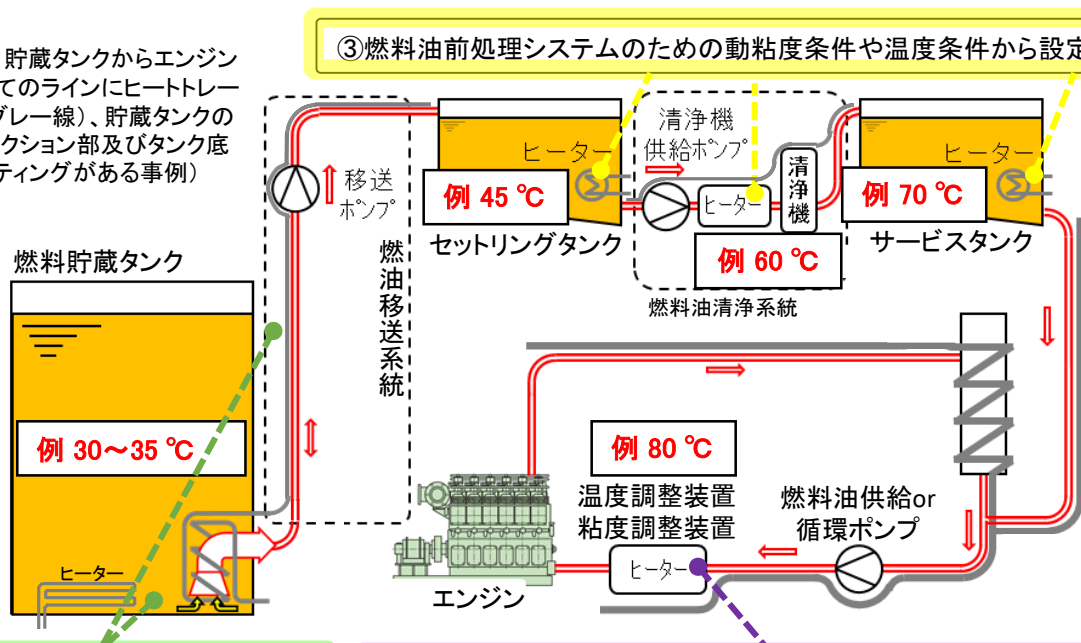
② 貯蔵タンクと配管の温度設定

少なくとも**流動点+10℃以上**とし、貯蔵タンクと燃料油移送系統の燃料の流動性を確保する
この燃料油の場合、**30℃以上**に設定（付録3を参照）

③ 貯蔵タンク・エンジン間の温度設定

燃料油前処理システムのための動粘度条件や温度条件を満たしつつ、できる限り過度な加熱とならないよう温度を設定する

（本船は、貯蔵タンクからエンジンまでの全てのラインにヒートトレース（図中グレー線）、貯蔵タンクの燃料油サクション部及びタンク底面にヒータリングがある事例）



②低温流動性を確保するための設定

①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から設定

※ 上記は**温度設定の一例**です。**エンジンの推奨動粘度**や、機器（清浄機、燃料供給・循環ポンプ、ヒーター、フィルター、ストレーナー、燃料噴射ポンプ、エンジンのノズルチップ等）毎に決められた温度条件等を**必ずメーカーに確認**してください。確認を行わずに温度を設定すると不具合につながる恐れがあります。

※ 各ヒーターの温度を下げる際は、エンジン入口の燃料油温度が下がりすぎを防ぐため、負荷が変動しても温度が安定していることを慎重に確認しつつ、徐々に下げていく必要があります。

付録2 燃料油が推奨動粘度となる温度の推定方法

エンジン・ボイラー入口において燃料油を推奨動粘度にするための温度を推定する方法を事例を用いて説明します。機器メーカーのマニュアルに類似の方法が記載されている場合は、そちらを参照してください。

本事例における前提条件

(ア) 燃料油の性状: 50°Cにおける動粘度 40cSt

(イ) エンジン入口における推奨動粘度: 15cSt

※推定の際は、(イ)をエンジンメーカーに確認してください

Step 1

青色線を引き、条件(ア)の動粘度と温度の交わる点◎を定める

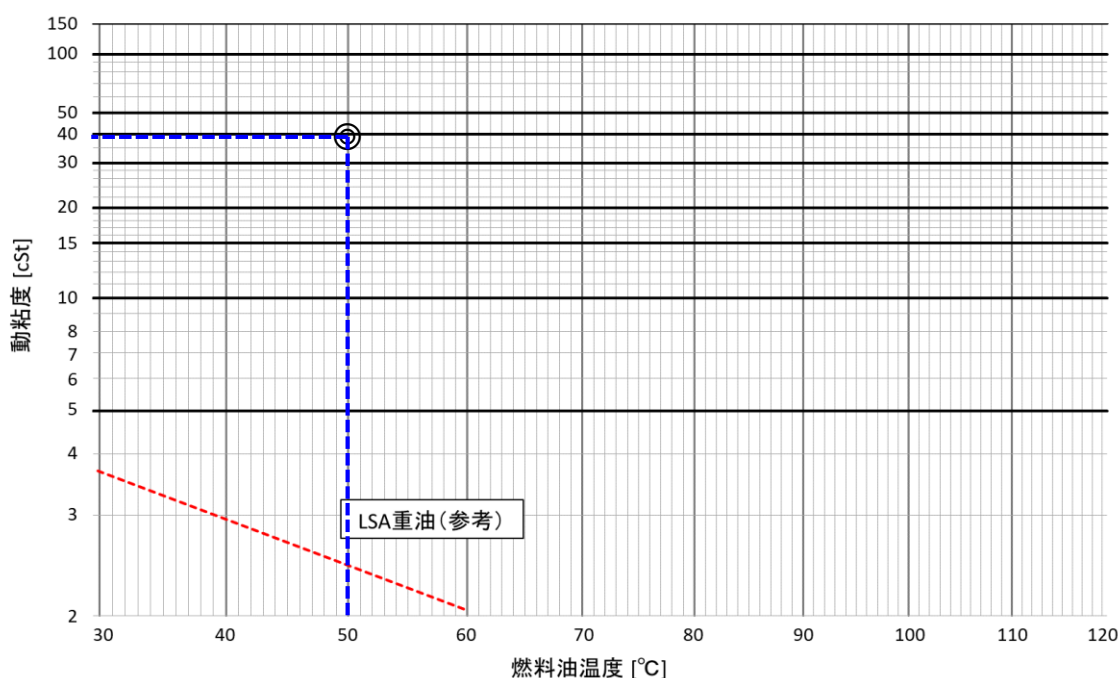


図2-A 動粘度—温度曲線 (Step 1)

Step 2

LSA重油と同じ傾きを使用し、黄色線のように◎を通るLSC重油の動粘度-温度線を引く

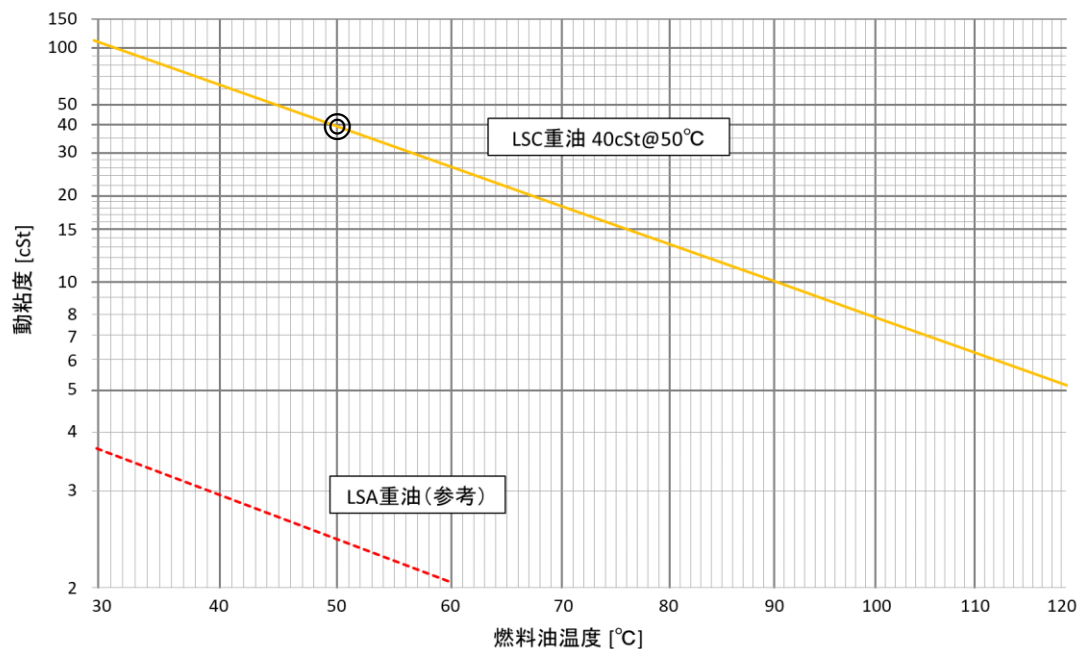


図2-B 動粘度-温度曲線 (Step 2)

Step 3

条件 (イ) の推奨動粘度を通る水平線 (緑色線) を引き、動粘度-温度線 (黄色線) との交点 ◆ を求める。◆ から垂直線 (紫色線) を引き横軸と交わった温度が、エンジン入口に設定する温度となる。

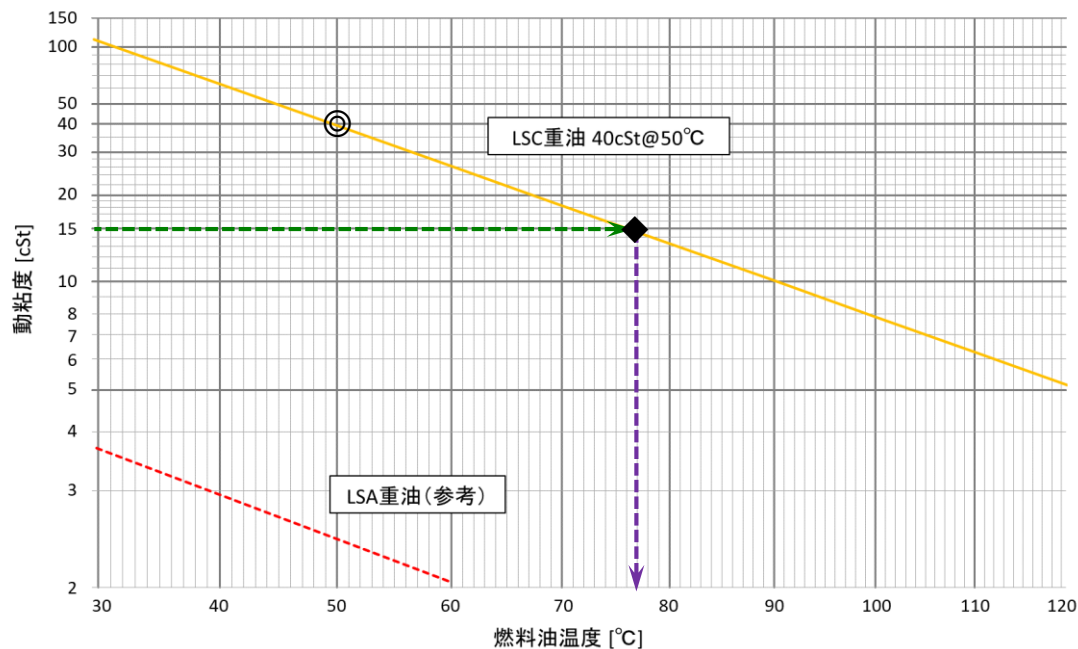


図2-C 動粘度-温度曲線 (Step 3)

付録3 流動性を確保するための温度設定

流動性を確保するためには、燃料油の温度を下げすぎないことも重要です。流動性を確保するための温度設定の考え方を説明します。

本事例における前提条件

燃料油の性状： 流動点 20℃

ポイント

ワックススラッジ発生リスクを抑えるために、少なくとも**流動点+10℃以上**に燃料油を**常時**加熱する。上記の事例の場合は、流動点20℃+10℃から、**30℃以上**とする。

※貯蔵タンクを流動点+10℃に加熱したとしても、その後の配管にヒートトレースがない場合や周りの気温が低い場合などは、配管内の燃料油温度が低下してワックススラッジが発生する恐れがある。貯蔵タンクだけでなく、**配管内の燃料油温度を流動点+10℃以上に保つ**ため、船舶の設備（ヒートトレースや断熱材の有無）や航路・季節による周囲の温度に応じて貯蔵タンクの加熱温度を適切に調整する必要がある。

付録4 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（第2版作成時、内航船向けに出荷されているもの）のサンプルについて、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4-Aに、密度-温度の計測結果は図4-Bに示します。

計測結果からは、25℃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。

25℃未満では**動粘度が急激に上昇**するLSC重油があり（低温流動性の悪化によるものと考えられる）、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。

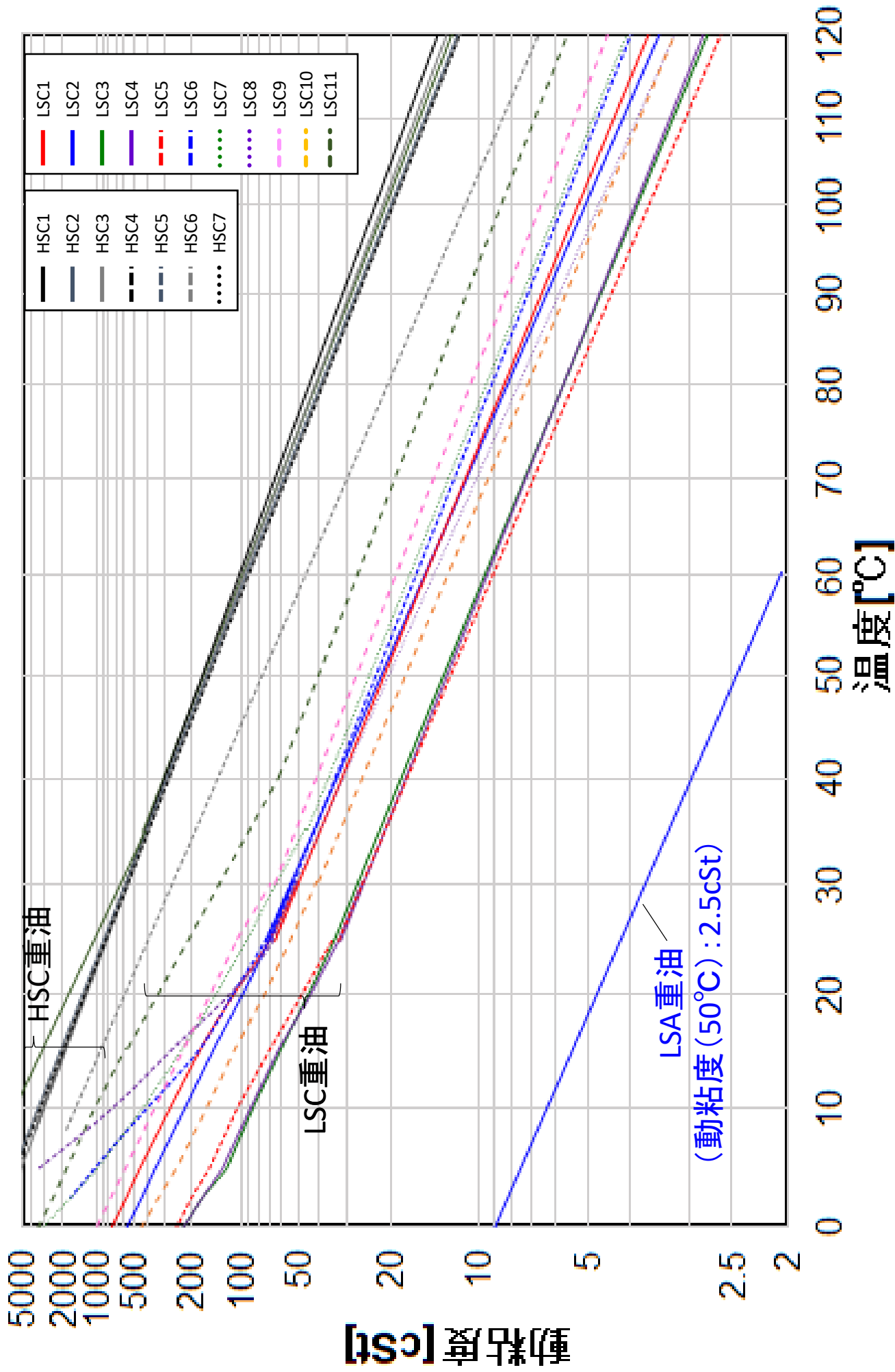


図4-A 動粘度－温度線図

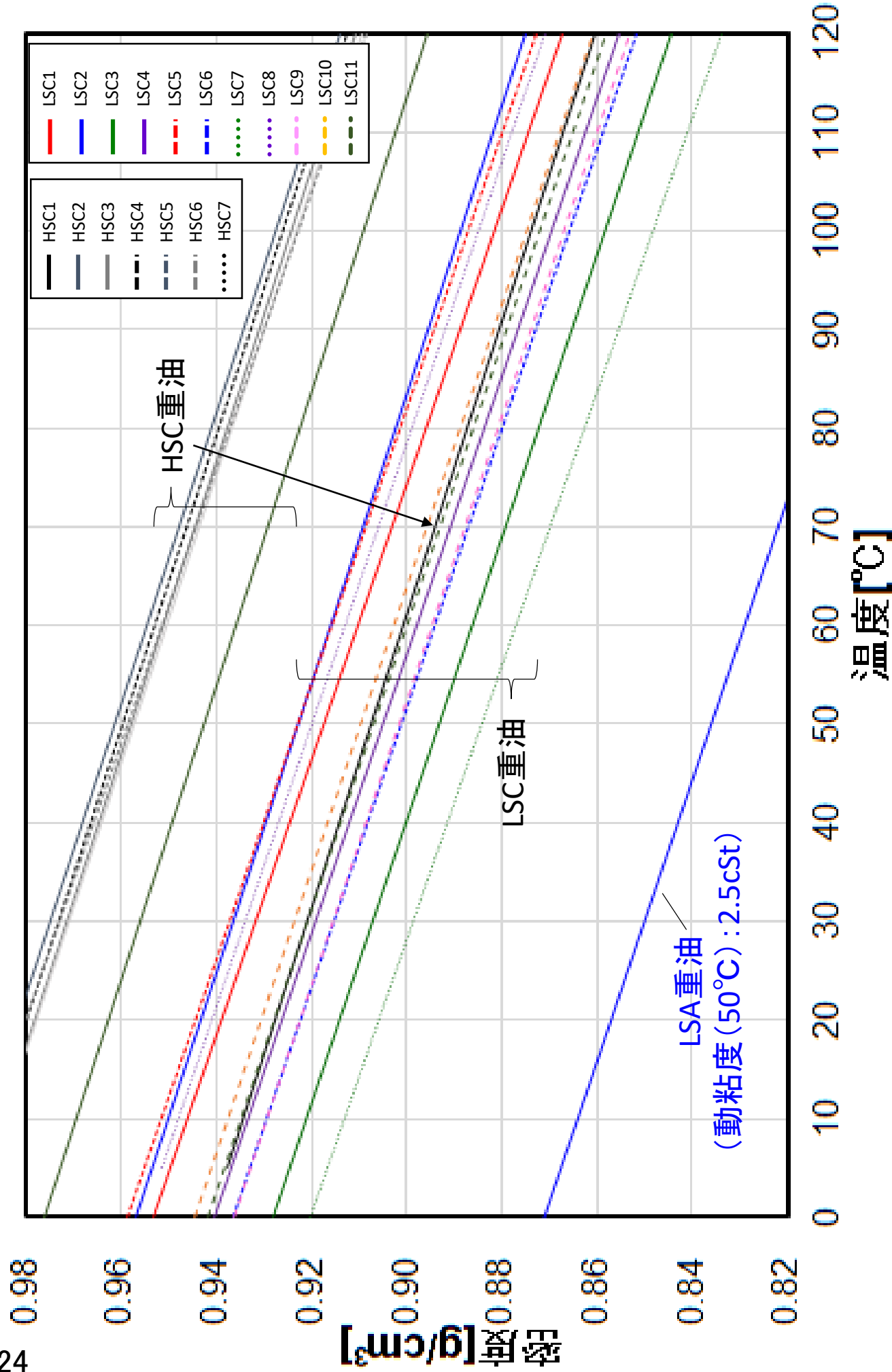


図4-B 密度－温度線図

付録5 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※を紹介しします。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5-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℃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4-A参照)を用いて、推定される温度での動粘度を推定

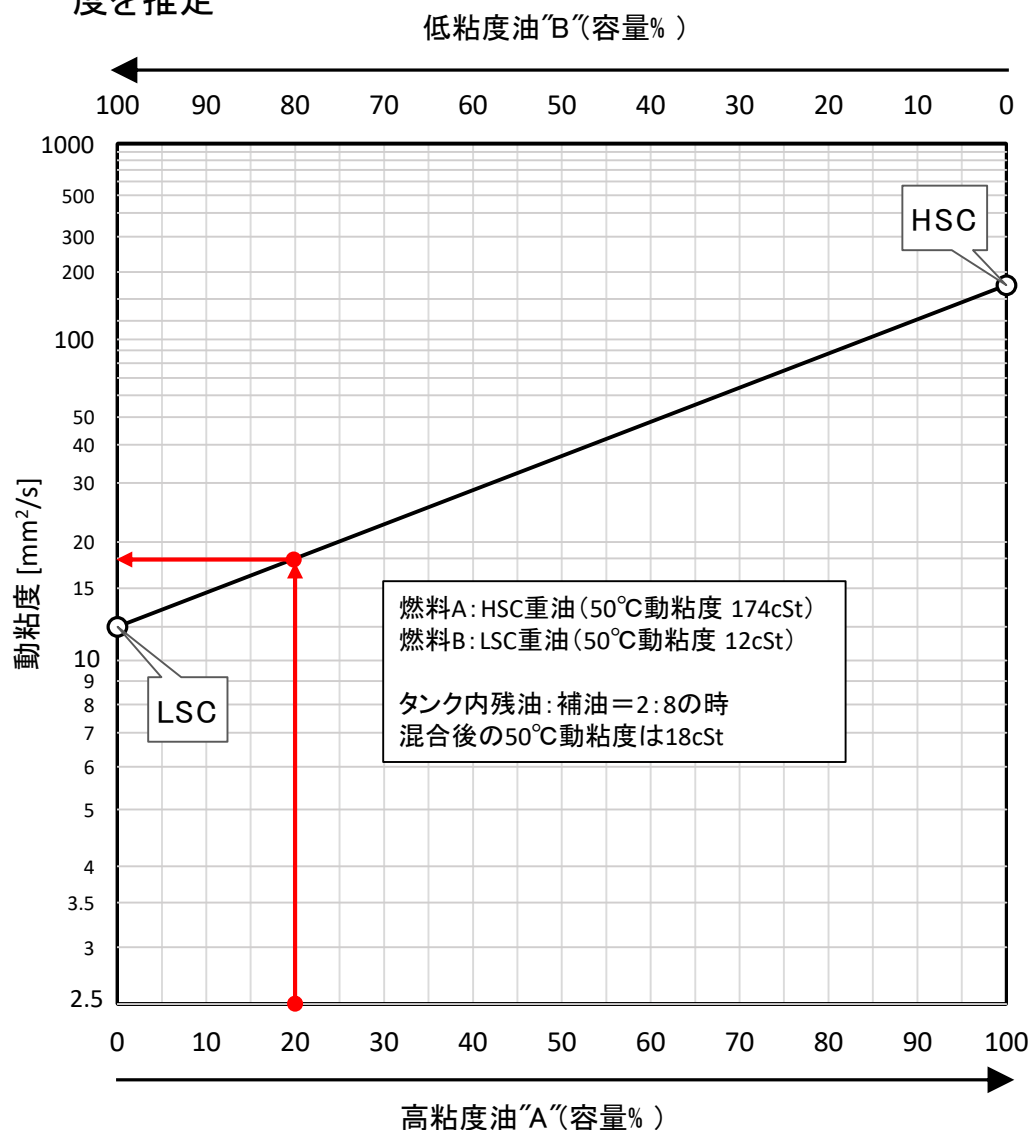


図5-A 同一温度における動粘度が判明している船用燃料油を混合する場合の混合油の動粘度

※ 出典: 淡井信幸 花島脩 横沢才二『陸舶中・大型ディーゼル機関用燃料油』, 山海堂, 1994, p.154)

付録6 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

③

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 ³
・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

④

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

⑤

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

付録7 安定性試験

1. 燃料油の安定性とは

アスファルテン性スラッジ発生の可能性の指標として、混合安定性と貯蔵安定性(単独安定性・単体安定性とも言われる)があります。混合不安定とは、2種類の燃料を混ぜた場合にアスファルテンがスラッジ化する現象です。A重油とLSC重油を混ぜた場合でも、A重油の成分がLSC重油中のアスファルテンをスラッジ化させることがあります。貯蔵不安定とは、燃料単体でも高温下あるいは長期に保管した場合にアスファルテンがスラッジ化する現象です。また、それらの両方が絡む事例もあります。例えば、混合による不安定があっても閾値以下に保たれていた燃料が、加熱により限界を超えて急にスラッジが発生するようなこともあり得ます。

2. スポットテストとは

スラッジ発生の可能性はスポットテストにより推測できます。ASTM D4740-04のスポットテストでは、評価がNo.3以上であればスラッジが発生する恐れが高く、運転上の問題を引き起こす可能性があると判断されます。

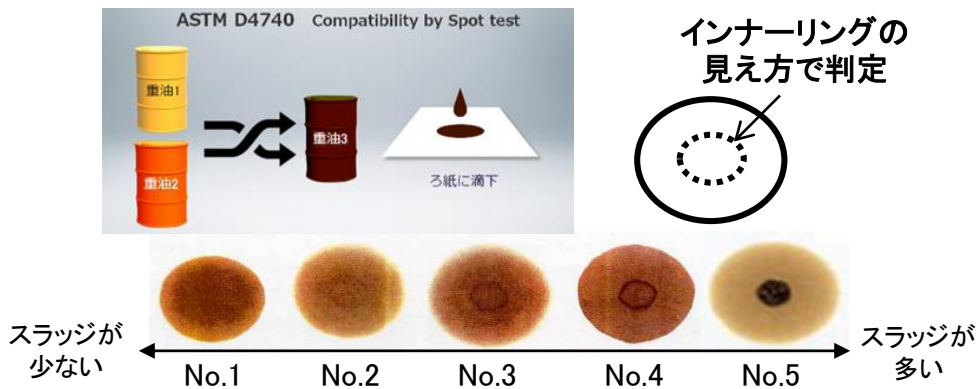


図7-A スポットテスト結果と評価

3. 試験の概要

海上技術安全研究所において、数種類のLSC重油を準備し、異なる温度条件において単体及び混合安定性試験を実施しました。

(1) 単体安定性試験

5種類のLSC重油を準備し、55℃及び80℃の条件で保持し、安定性の時間経過による変化をスポットテストにより確認しました。

(2) 混合安定性試験

3種類のLSC重油を準備し、2種類を混合した後、55℃及び80℃の条件で保持し、安定性の時間経過による変化をスポットテストにより確認しました。

4. 試験結果

(1) 単体安定性試験

今回使用したLSC重油では、より高温の条件下ではより短時間でスラッジ発生
発生の恐れが高くなることが分かりました。

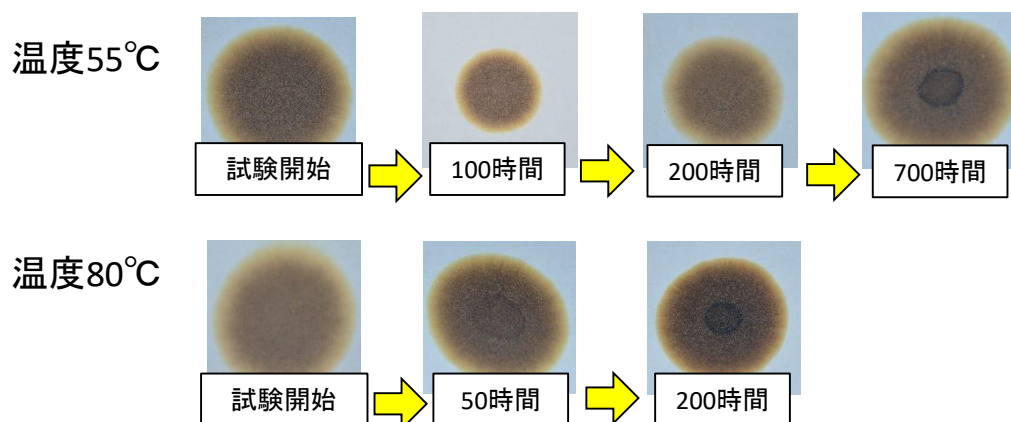


図7-B スポットテストの試験結果例(LSC重油の単体安定性)

(2) 混合安定性試験

今回使用したLSC重油では、2種類の混合直後には明らかなスラッジ発生は見られませんでした。その後より高温の条件下で保管すると、スラッジ発生の恐れが高くなることが分かりました。これは上述のように、混合による不安定があっても閾値以下に保たれていた燃料が、高温により顕在化してスラッジが発生するような事例とも考えられます。

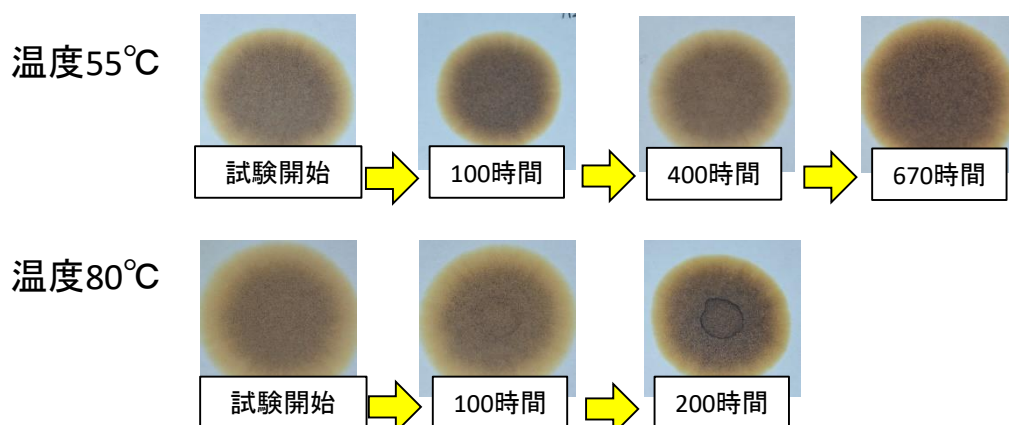


図7-C スポットテストの試験結果例(2種類のLSC重油の混合安定性)

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ユナイテッドタンカー(株)、NSユナイテッド内航海運(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)、田辺海運(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)、ジャパンマリンユナイテッド(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、
(株)三浦造船所、三井E&S造船(株)、三菱造船(株)、山中造船(株)

機器メーカー：

(株)IHI原動機、(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)浪速ポンプ製作所、阪神内燃機工業(株)、
日立造船(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)、ヤンマーパワーテクノロジー(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：hgt-mrbkks-honka@gxb.mlit.go.jp