IMO 2020年SOx規制
内航船と規制適合油

国土交通省 海事局
海洋・環境政策課

国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

SOx規制適合油の使用に関する手引書を策定・公表

・規制適合油を使用する際に必要となる対策や留意すべき事項について、海運・造船・舶用機器メーカー、研究機関の**専門家等からなる検討会を設置して検討**

・**技術的知見や各種調査結果（含む混合安定性試験結果）をまとめた手引書を3月末に作成。4月3日に初版を公表**

・**実船トライアルの結果を反映し、9月10日に第2版を公表**

2020年
SOx規制適合
舶用燃料油
使用手引書
（第２版）

舶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

舶用燃料油の性状変化への
対応に関する検討会

「燃料油の性状変化への
対応に関する検討会」

2018年
10/16：第1回全体会合

2019年
1/11：機器メーカー分科会
2/6　：造船分科会
2/19：第2回全体会合
3/27：第3回全体会合
4/3　：手引書初版公表
9/10：手引書第2版公表

本日の内容

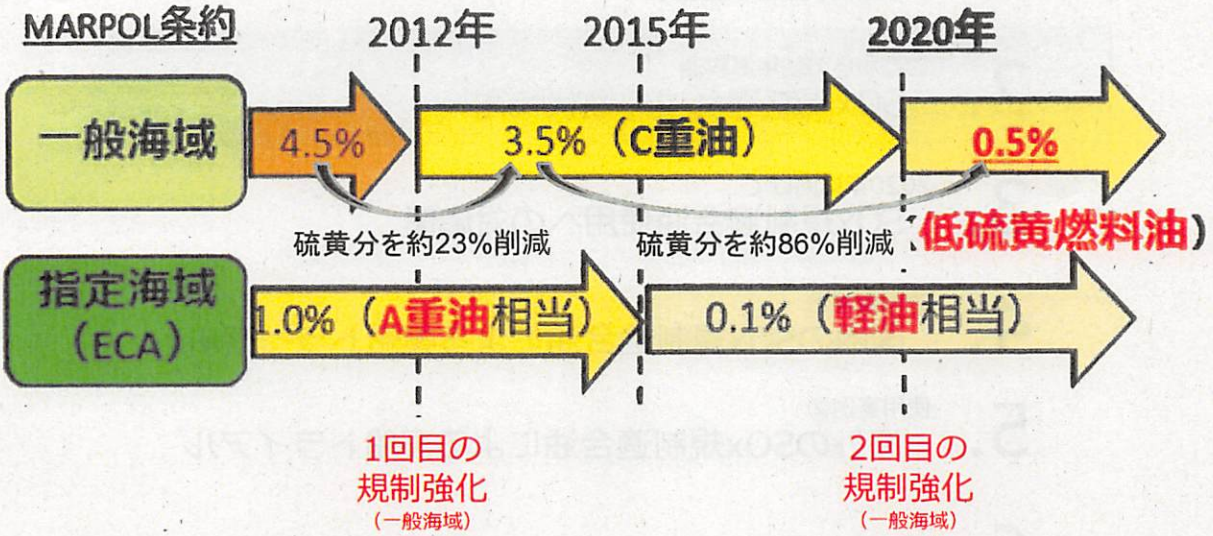
1. はじめに
   SOx規制の概要
2. これからの舶用燃料油
   SOx規制適合油の性状特徴
3. 2020年に向けて
   SOx規制適合油使用への対応策
4. 使用実例①
   国内のSOx規制適合油による実船トライアル
5. 使用実例②
   海外のSOx規制適合油による実船トライアル
6. まとめ

本日の内容

1. はじめに
   SOx規制の概要
2. これからの舶用燃料油
   SOx規制適合油の性状特徴
3. 2020年に向けて
   SOx規制適合油使用への対応策
4. 使用実例①
   国内のSOx規制適合油による実船トライアル
5. 使用実例②
   海外のSOx規制適合油による実船トライアル
6. まとめ

1. はじめに SOx規制の概要

舶用燃料油の硫黄分は0.5質量%以下※



2020年1月1日に国際海運のみならず内航海運も含む海運業界全体で、硫黄分が0.5質量%以下のSOx規制適合油を使用しなければならない。

1. はじめに SOx規制の概要

日本国内で流通する燃料油の変化

硫黄分（質量%）	現在の舶用燃料（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）

本日の内容

1. はじめに
   SOx規制の概要
2. これからの舶用燃料油
   SOx規制適合油の性状特徴
3. 2020年に向けて
   SOx規制適合油使用への対応策
4. 使用実例①
   国内のSOx規制適合油による実船トライアル
5. 使用実例②
   海外のSOx規制適合油による実船トライアル
6. まとめ

2. これからの舶用燃料油 SOx規制適合油の性状特徴

		HSC重油（内航船向け）		規制適合油（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℃)	:	150cSt程度（実勢値）	⇒	20cSt程度以上※（見込み）
● 流動点	:	10℃以下（実勢値）	⇒	30℃以下（見込み）

C重油（残渣系）の規格値
・JIS3種1号：250cSt以下
・ISO8217：180cSt以下

※顧客が受け入れ可能な場合には20cSt未満も供給するとしている事業者もいる。

C重油（残渣系）の規格値
・JIS3種1号：なし
・ISO8217：30℃以下

動粘度(50℃)：150cSt
流動点　　：-10℃

4℃

25℃

動粘度(50℃)：20cSt
流動点　　：20℃

4℃

25℃

2. これからの舶用燃料油 SOx規制適合油の性状特徴

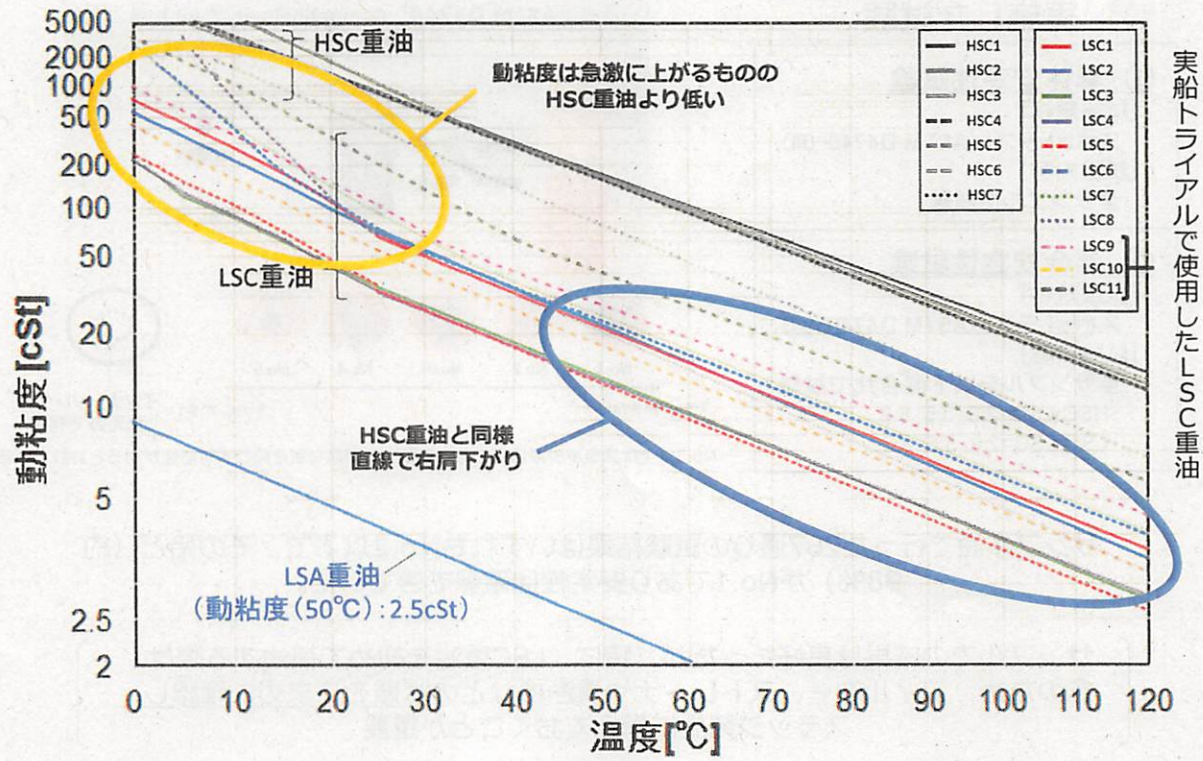
サンプル油の性状

	規制適合油								HSC重油						
試験項目 (単位)	LSC1	LSC2	LSC3	LSC4	LSC5	LSC6	LSC7	LSC8	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5	HSC6	HSC7
硫黄分 (質量%)	0.25	0.37	0.46	0.43	0.41	0.22	0.17	0.41	0.61	2.31	2.86	2.40	1.77	2.27	2.36
動粘度 (cSt)	21.59	22.00	13.04	12.89	12.01	22.80	23.90	20.80	167.00	158.90	173.70	169.60	74.45	155.00	150.00
流動点 (℃)	5.0	-17.5	-3.0	-3.0	9.0	12.5	22.5	-5.0	5.0	-10.0	-9.0	-15.0	0.0	-10.0	-12.5
CCAI	843	847	828	841	860	825	807	845	802	856	836	851	865	852	854
総発熱量 (MJ/kg)	44.290	44.170	44.375	43.870	43.455	44.420	44.730	44.170	44.720	42.850	42.940	42.735	43.455	42.940	42.830
密度 (g/cm3)	0.9410	0.9464	0.9175	0.9298	0.9470	0.9256	0.9085	0.9441	0.9317	0.9851	0.9667	0.9816	0.9847	0.98	0.9831
引火点 (℃)	86.0	136.0	89.0	77.5	68.5	91.5	109.5	135.0	161.0	98.0	87.5	83.5	106.0	87.50	115.0
Si+Al (質量ppm)	23	<10	<15	<15	<15	<15	<15	3	<15	<10	<15	<15	<15	23	25
残炭 (質量%)	3.40	2.71	2.95	3.29	2.01	3.20	1.70	1.20	4.92	10.60	12.10	11.90	6.11	10.70	9.75
灰分 (質量%)	0.002	0.001	0.005	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.006	0.013	0.016	0.016	0.009	0.016	0.033

サンプルを提供した石油元売事業者
出光興産(株)、コスモ石油(株)、JXTGエネルギー(株)、昭和シェル石油(株)

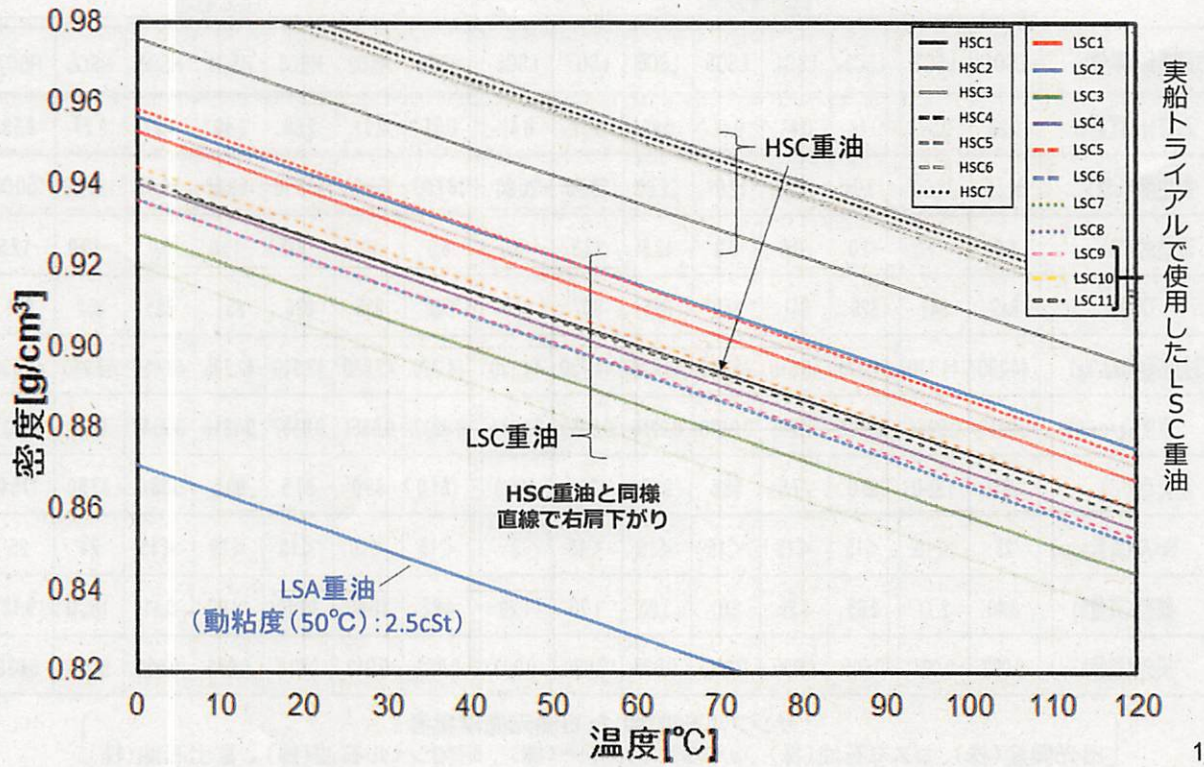
2. これからの舶用燃料油 SOx規制適合油の性状特徴

動粘度－温度線図（実測値）



2. これからの舶用燃料油 SOx規制適合油の性状特徴

密度－温度線図（実測値）



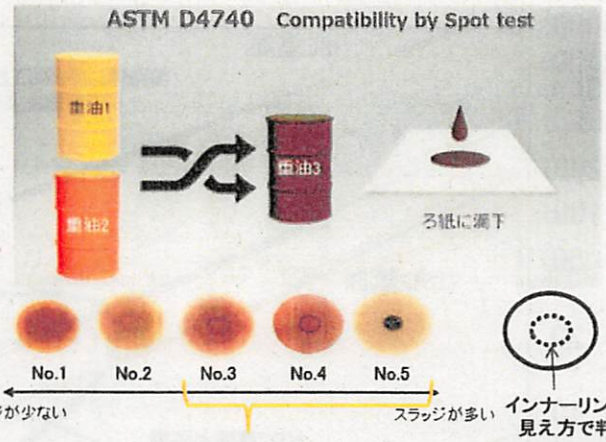
2. これからの舶用燃料油 SOx規制適合油の性状特徴

混合安定性試験

実施した試験

① 単体安定性試験
[試験規格]
スポットテスト(ASTM D4740-04)
[試験内容]
全サンプルで試験

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]
全サンプルを以下混合比で試験
・HSC:LSC=2:8, 5:5, 8:2
・LSC:LSC=2:8, 5:5, 8:2



No.3以上はスラッジが過剰であり運転上の問題を引き起こす可能性があるとされている。

サンプル油で行った267通りの試験結果はいずれも**No.2以下**で、その殆ど（約98%）がNo.1であり**安定性は確保できていた**。

サンプルでの結果は良好だったが、特に、LSC重油を初めて補油する際は、念のため、フィルター、ストレーナや清浄機などの状態をこまめに確認し、スラッジ発生に備えておくことが重要

本日の内容

1. はじめに
   SOx規制の概要

2. これからの舶用燃料油
   SOx規制適合油の性状特徴

3. 2020年に向けて
   SOx規制適合油使用への対応策

4. 使用実例①
   国内のSOx規制適合油による実船トライアル

5. 使用実例②
   海外のSOx規制適合油による実船トライアル

6. まとめ

3. 2020年に向けて SOx規制適合油使用への対応策

最初に確認すること

- 燃料系統上の**関連機器の状態：**

  エンジンやボイラー、燃料ポンプだけでなく、ヒーターやビスコン、これらに関連する温度計、圧力計などに故障や不具合が無いかを確認。

- 補油する**LSC重油の性状**：

  燃料供給者から性状を入手する。機器の調整には、動粘度、流動点、密度が必要。

その上で、以下について検討

- ✓ 硫黄分低下の影響を抑える (⇒スライド14)
- ✓ 密度低下の影響を抑える (⇒スライド15)
- ✓ 動粘度低下の影響を抑える (⇒スライド16)
- ✓ 高流動点の影響を抑える (⇒スライド17)
- ✓ スラッジ発生の影響を抑える (⇒スライド18)

3. 2020年に向けて SOx規制適合油使用への対応策

硫黄分低下の影響を抑える

影響：

潤滑不良によるピストンリングやシリンダライナの異常摩耗など

原因：

潤滑油のBN値を調整せずに長時間運転すると、
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

摩耗が進行

シリンダライナの摩耗によりウェーブカットや
ホーニング痕が消え油膜を保持できなくなる。
（⇒異常摩耗につながる。）

ボ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

対策：

潤滑油の切替え。

- 4st中速ディーゼル … トランクピストン油
- 4st低速ディーゼル … トランクピストン油、シリンダー油
- 2st低速ディーゼル … シリンダー油

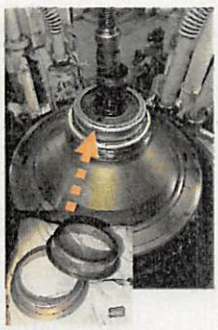
（潤滑油の切替方法についてはエンジンメーカーに確認する）

3. 2020年に向けて SOx規制適合油使用への対応策

密度低下の影響を抑える

影響：

- **異常流出の場合**、スラッジタンクに清浄された燃料油が流出し、流出した分、サービスタンクへの流量が低下。
- **分離不良の場合**、サービスタンクに重液（分離水）が流入し、溜まる。



原因：

清浄機の調整不足：

- 清浄機の設定密度 ≪ 実燃料油の密度　⇒　異常流出
- 清浄機の設定密度 ≫ 実燃料油の密度　⇒　重液（分離水）がサービスタンクに流入

対策：

- 燃料油の密度や温度に合わせて調節板を変更。HSC残油が多いと、暫くは密度が高い燃料油が流入することに注意
- 粘度調整装置（ビスコン）を機能させたい、エンジン入口温度を下げたい場合、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
- 運航中は、異常流出が起こっていないことや、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

3. 2020年に向けて SOx規制適合油使用への対応策

動粘度低下の影響を抑える（1/2）

影響：

- エンジンのプランジャー損傷
- 一部のエンジンで酸腐食

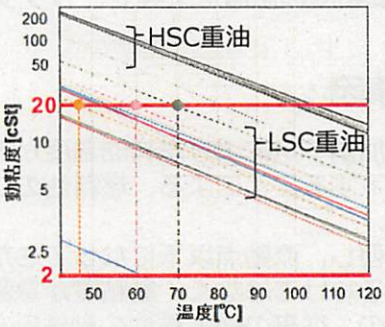
原因：

- プランジャー損傷：

  燃料油を加熱しすぎ、又は加熱不足によりエンジン入口で動粘度がメーカー許容動値（約2～20cSt※1）から外れることによる。

- 酸腐食：

  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ることで硫酸が結露することによる。



いずれの規制適合油も120℃まで加熱しても2cStを切らない。
一方、20cStを上回る温度はそれぞれ違うため、加熱温度の下げる際は要注意。

対策：

スライド8の動粘度-温度線図を参考に補油する燃料油の動粘度-温度線図を作図し、燃料油がメーカーの許容動粘度（一部のエンジンは許容温度あり。※2）となるよう温度を調整。

※1 許容動粘度や使用条件は各社により異なるためメーカに直接確認してください。
※2 詳細は以下サービス情報を参照してください。
- ダイハツディーゼル㈱ ： 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㈱ ： 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 改1）

3. 2020年に向けて SOx規制適合油使用への対応策

動粘度低下の影響を抑える（2/2）

影響：

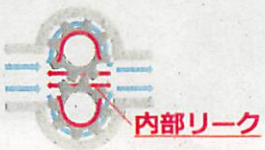
燃料系統の燃料油圧力低下

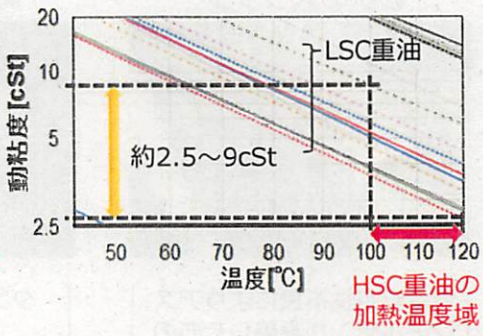
原因：

HSC重油使用時の設定温度を維持したままLSC重油を使用すると動粘度が約2.5～9cSt程度まで低下。

内部リーク量増加

特にエンジンの燃料供給ポンプの吐出し量低下。





対策：

燃料油圧力の低下が著しい場合、各ヒーターの設定温度を下げて燃料油の温度を下げる※ことで動粘度が上がるため、症状緩和が期待できる。

※ 燃料油温度の下げすぎにより、エンジン入口の動粘度がメーカーの許容値を超えないよう注意

3. 2020年に向けて SOx規制適合油使用への対応策

高流動点の影響を抑える

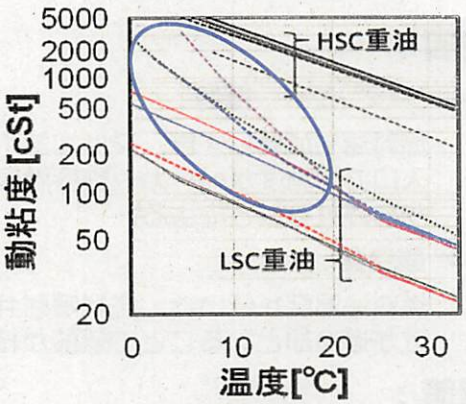
影響：

動粘度の急激な上昇や、ワックス分のフィルター目詰まりによる燃料油の移送困難など

原因：

加熱不足により燃料油温度が流動点付近まで低下することによる、燃料油のワックス化。

但し、流動点以下になってもただちに固形化するわけではなく、動粘度が急激に上昇するものの、従来のHSC重油の動粘度を超えるものは確認されていない。



対策：

貯蔵タンクは、従来のHSC重油のように加熱する。
燃料配管のラギングが腐食している箇所や、ファンの風が当たる箇所など冷めやすい箇所は、配管が冷めないよう対策を取っておくことも有効。

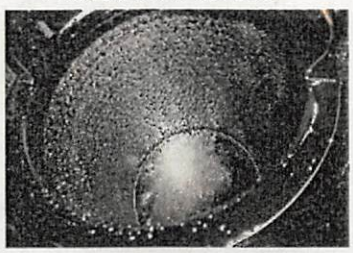
3. 2020年に向けて SOx規制適合油使用への対応策

スラッジ発生の影響を抑える

影響：

- スラッジのフィルターやストレーナへの目詰まりによる移送困難。
- 砂状のスラッジはC⇔A切替時のプランジャー固着も。

原因：

砂状のスラッジ	海苔状のスラッジ	ゲル状のスラッジ
		
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	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

対策：

燃料油圧や清浄機の運転状態を確認するなどにより、スラッジ異常発生の兆候を早期認知。	貯蔵タンクをほぼ空にして補油する場合、ある程度の液位までは流量を下げ、沈殿スラッジを巻上げない。	HSC重油と同様に加熱し、燃料油温度を流動点に近づけない。

本日の内容

1. はじめに
   SOx規制の概要

2. これからの舶用燃料油
   SOx規制適合油の性状特徴

3. 2020年に向けて
   SOx規制適合油使用への対応策

4. 使用実例①
   国内のSOx規制適合油による実船トライアル

5. 使用実例②
   海外のSOx規制適合油による実船トライアル

6. まとめ

4. 使用実例① 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

[概要]

規制対応を想定し、実際の内航船で、HSC重油から規制適合油へ燃料を切替え、運航

[実績]

- 国内石油元売3社のLSC重油を使用
- 499～14,000GT級の貨物船・フェリーなど全12隻で実施
- エンジンメーカーは11社

4. 使用実例① 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

使用した規制適合油の性状

	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※1	補油時※2	製油所出し※1	補油時※2	製油所出し※1	補油時※2
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(℃)	-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^3)	0.9247	0.926～0.928	0.9326	0.934	0.9295	0.930
引火点(℃)	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	-	スライド10 LSC9参照	-	スライド10 LSC10参照	-	スライド10 LSC11参照
密度-温度線図	-	スライド11 LSC9参照	-	スライド11 LSC10参照	-	スライド11 LSC11参照

※1　供給者から提供された性状分析表による
※2　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

4. 使用実例① 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

トライアルを行った船舶（1/2）

	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	
船種	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ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ 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

使用実例①

4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

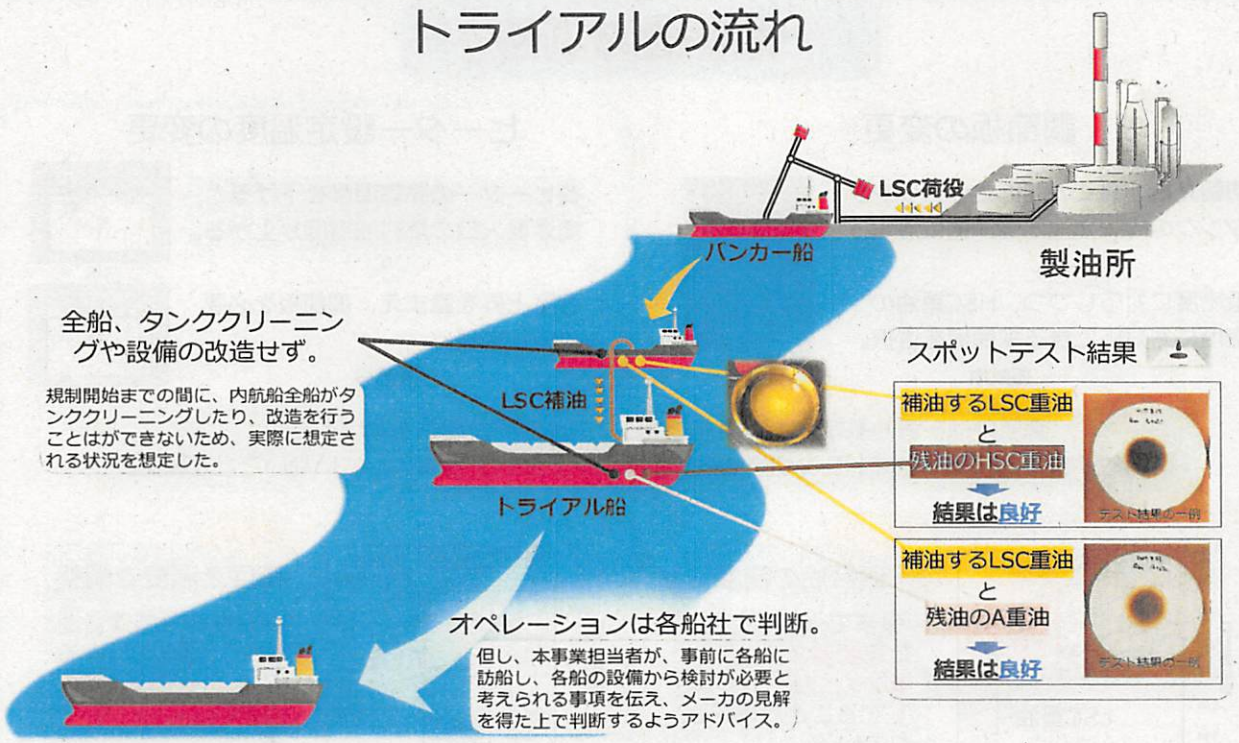
トライアルを行った船舶（2/2）

	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		
船種	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	ｼﾞｬﾊﾟﾝｴﾝｼﾞﾝｺｰﾎﾟﾚｰｼｮﾝ 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）

使用実例①

4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

トライアルの流れ



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規制適合油への切替え、正常な運航が可能であることを確認。

P.26 差し替え（末尾頁を参照）

使用実例①

4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

実船トライアルの結果概要

- 密度低下の影響（清浄機）：
  調節板変更やヒーターの設定温度変更などの清浄機の調整を実施。
- 低硫黄の影響（潤滑油）：
  トライアルは短期間のためエンジンメーカにより交換不要と判断。その後も影響は確認されていない。
- 動粘度の影響（エンジン・ボイラー・燃料供給ポンプ）：
  ヒーターの温度設定の調整について、**HSC重油使用時から変更しなかった**船舶に、燃料油ポンプの燃料油圧力低下の影響なし。
  その際、エンジン入口も2cSt以上確保されており、影響無し。
  ヒーターの温度設定を変更、又は粘度調整装置（ビスコン）の設定動粘度を変更しなかった船舶は、各ヒーターの設定温度を下げた。
- スラッジ発生：
  補油する規制適合油と、本船タンク内のHSC重油及びA重油をそれぞれ混合し、スポットテストを行ったところ、いずれも安定性が確保されていることを確認。
  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。
- 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。

使用実例①

4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

清浄機の調整

調節板の変更※

切替え後、暫くの間はセットリングタンクのHSC残油が清浄機に流入。

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。

運航中

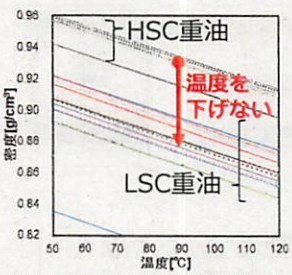
ヒーター設定温度の変更

各ヒーターの設定温度を下げると、清浄機入口の燃料油密度が上がる。

密度上昇を踏まえ、調節板を必要に応じ変更。

運航中

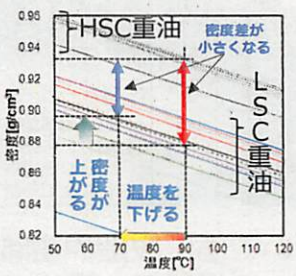
運航中は、清浄系統内の残油を通液して異常流出が起こらないことや、
定期的にサービスタンクのドレン切りを行い、重液（分離水）が流入していないことを確認。



ポイント

適合油の密度

今まで入手してきた**規制適合油はHS重油の密度に比べ低下**することが確認されている。
（但し、A重油程ではない。）



ポイント

密度を温度で調整

低密度の規制適合油でも、温度を下げることでHSC重油との**密度差を小さく**できる。

※ 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、調整は行わなかった。

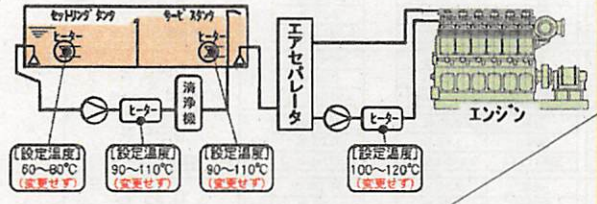
P.28 差し替え(末尾参照)

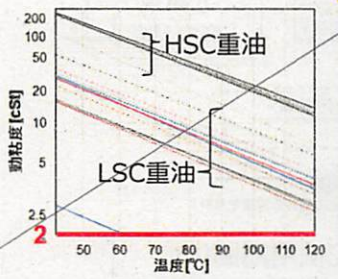
使用実例①

4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

設定温度の調整

各ヒーターの設定温度は変更せず※1



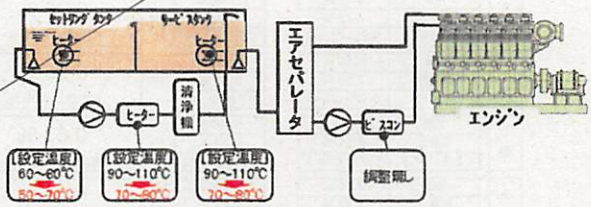


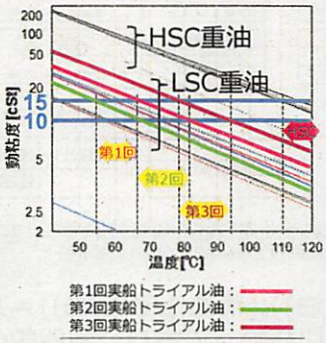
ポイント

加熱時の動粘度

今回のトライアルで使用したLSC重油は120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。

ビスコンの設定を変えない場合は、各ヒーターの設定温度を下げた





ポイント

加熱温度域

ビスコンの設定を10～15cSt程度とする場合、今回のトライアルで使用したLSC重油※2は、従来のHSC重油に比べ加熱温度域が低い

※1 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一部あり（その他参照）。

※2 トライアルで使用したLSC重油の動粘度（50℃）：17～42cSt

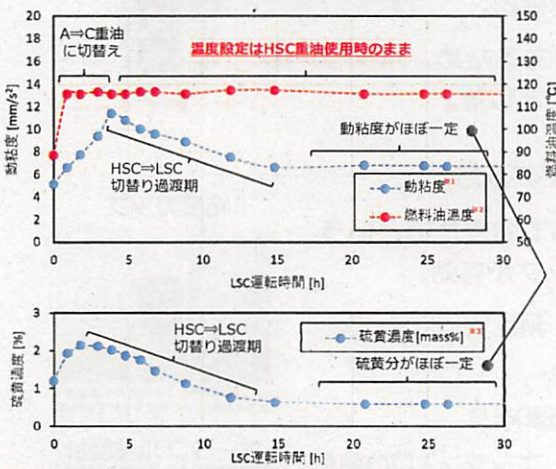
使用実例①

4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

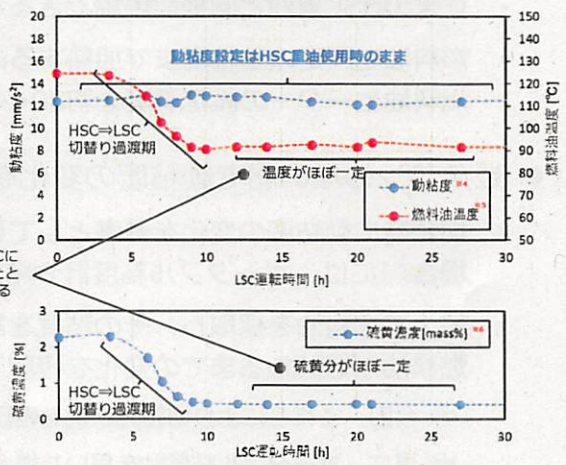
採取した燃料油の計測結果

（エンジンの燃料供給ラインから採取）

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）



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）



HSC⇒LSCに切替わったと推定される

※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。

※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。

硫黄分の変化に動粘度が追随 ⇒ **動粘度や温度が一定になると燃料が切替わった**といえる。

使用実例①

4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

採取した燃料油の計測結果

（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から採取）

		残油（HSC重油）		補油（LSC重油）		混合後の硫黄分濃度※（計測値）
A船	油量	3.74 kL	＋	41.40 kL	⇒	0.46 %（推定値：0.40 %）
	硫黄分	1.44 %		0.30 %		
	密度(15℃)	0.947 g/cm3		0.927 g/cm3		
B船	油量	0.33 kL	＋	30.00 kL	⇒	0.36 %（推定値：0.41 %）
	硫黄分	2.36 %		0.38 %		
	密度(15℃)	0.961 g/cm3		0.928 g/cm3		
C船	油量	0.50 kL	＋	40.00 kL	⇒	0.36 %（推定値：0.39 %）
	硫黄分	2.50 %		0.36 %		
	密度(15℃)	0.975 g/cm3		0.928 g/cm3		
D船	油量	10.00 kL	＋	40.00 kL	⇒	0.63 %（推定値：0.63 %）
	硫黄分	1.61 %		0.37 %		
	密度(15℃)	0.980 g/cm3		0.928 g/cm3		
E船	油量	3.00 kL	＋	200.00 kL	⇒	0.44 %（推定値：0.45 %）
	硫黄分	1.87 %		0.43 %		
	密度(15℃)	0.960 g/cm3		0.934 g/cm3		
F船	油量	5.00 kL	＋	150.00 kL	⇒	0.52 %（推定値：0.50 %）
	硫黄分	2.46 %		0.43 %		
	密度(15℃)	0.956 g/cm3		0.934 g/cm3		

		残油（HSC重油）		補油（LSC重油）		混合後の硫黄分濃度※（計測値）
G船	油量	6.12 kL	＋	40.00 kL	⇒	0.55 %（推定値：0.58 %）
	硫黄分	2.31 %		0.30 %		
	密度(15℃)	0.975 g/cm3		0.931 g/cm3		
H船	油量	10.80 kL	＋	210.00 kL	⇒	0.37 %（推定値：0.42 %）
	硫黄分	2.67 %		0.30 %		
	密度(15℃)	0.976 g/cm3		0.931 g/cm3		
I船	油量	4.80 kL	＋	40.00 kL	⇒	0.48 %（推定値：0.53 %）
	硫黄分	2.32 %		0.31 %		
	密度(15℃)	0.985 g/cm3		0.931 g/cm3		
J船	油量	2.70 kL	＋	80.00 kL	⇒	0.35 %（推定値：0.34 %）
	硫黄分	1.62 %		0.29 %		
	密度(15℃)	0.948 g/cm3		0.931 g/cm3		
K船	油量	3.50 kL	＋	50.00 kL	⇒	0.35 %（推定値：0.39 %）
	硫黄分	1.74 %		0.29 %		
	密度(15℃)	0.967 g/cm3		0.931 g/cm3		
L船	油量	14.12 kL	＋	163.00 kL	⇒	0.44 %（推定値：0.45 %）
	硫黄分	2.25 %		0.29 %		
	密度(15℃)	0.969 g/cm3		0.931 g/cm3		

※ 燃料切替後、性状がほぼ一定となった段階での燃料油

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

切替わった燃料油の硫黄分濃度（性状がほぼ一定となった段階で採取した燃料油） ≒ 推計した硫黄分濃度（硫黄分・密度・油量から均一に混合した状態の硫黄分濃度を推計）

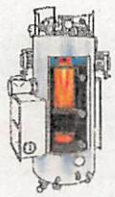
（残油(HSC重油)）:（補油(LSC重油)）＝10kL:40kLの船舶も、LSC使用期間中にほぼ推計値に切替わっており、各船舶の燃料油貯蔵タンク内で**HSC残油とLSC重油がほぼ均一に混合**したと考えられる。

使用実例①

4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

その他

- ボイラーでのLSC重油燃焼：
  - 従来のHSC重油と同様に燃焼できることを確認。
  - 燃料油を所定の動粘度まで加熱する必要があるため、ボイラーの燃料油ヒーターの設定温度を約80～100℃とした。



- ビスコンのない船で動粘度の変化を確認する方法：
  - 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**※1には、ポータブル粘度計や粘度カップが有効。
  - 船上で燃料油を採取し、その粘度を計測・測定することで、燃料油が切替わるまでの変化を確認できる。
    - ➡ 今回、これらにより切替え状況を確認した船舶あり。
    - ➡ 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、計測値から動粘度を推定※2しながら、手動で加熱温度を調整した船舶もあり。

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

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

※1 計測を行わなくともLSC重油への燃料切替は可能であることが、実船トライアルで確認された。

※2 [動粘度(cSt)]=[粘度(cP)]/[密度(g/cm3)]であり、粘度は計測値、密度はスライド11の密度-温度線図を用いて推定した。

本日の内容

1. はじめに
   SOx規制の概要

2. これからの舶用燃料油
   SOx規制適合油の性状特徴

3. 2020年に向けて
   SOx規制適合油使用への対応策

4. 使用実例①
   国内のSOx規制適合油による実船トライアル

5. 使用実例②
   海外のSOx規制適合油による実船トライアル

6. まとめ

5. 使用実例② 輸入した規制適合油による実船トライアル事業

- 海外の規制適合油の輸入及び内航船への供給・使用の可能性を検証するため、**海外で生産された規制適合油を国内へ輸入し、内航船で使用するトライアルを実施**
- その結果、海外の規制適合油の**内航船までの供給**と内航船における**高硫黄C重油からの円滑な燃料切替、正常な運航を問題なく行うことができた**

事業の概要

○国内の商社が**韓国より規制適合油を輸入・通関の上、バンカー船から内航船に補油**

○補油を受けた**内航船は、北海道から西日本までを含む航路で実運航**

○実施船舶：①フェリー（16,000Gt級、主機：三菱重工(4st)）、②タンカー（850Gt、主機：阪神内燃機(4st)）
③RORO船（17,000Gt級、主機：日立造船(2st)）

○輸入した規制適合油の性状：

硫黄分（質量%）	動粘度@50℃（cSt）	流動点（℃）	密度@15℃（g/cm³）
0.32	15.3	-35.0以下	0.9293

○国土交通省、日本内航海運組合総連合会、（国研）海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所、（株）日本海洋科学の協力事業

事業の結果

○国内の商社による**規制適合油の海外からの輸入及び内航船への補油を問題なく実施**できた

○補油を受けた**いずれの内航船においても、改造を行うことなく、高硫黄C重油から輸入した規制適合油への円滑な切替、正常な運航を実施**できた

補油の様子

本日の内容

1. はじめに
   SOx規制の概要
2. これからの舶用燃料油
   SOx規制適合油の性状特徴
3. 2020年に向けて
   SOx規制適合油使用への対応策
4. 使用実例①
   国内のSOx規制適合油による実船トライアル
5. 使用実例②
   海外のSOx規制適合油による実船トライアル
6. まとめ

6. まとめ（1/2）

- 海運会社、造船所、舶用機器メーカ、業界団体、研究機関、検査機関からなる「舶用燃料油の性状変化への対応に関する検討会」で、規制適合油の性状が内航船に与える影響や対応策を検討。
- 船舶の安全や運航への影響を最小化しつつ、国内石油元売各社が安定的に供給できる燃料油について、石油業界と意見交換。

規制適合油（LSC重油）性状： 動粘度(50℃)：20cSt程度以上※
流動点：30℃以下

※ 石油元売事業者によって、①全量20cSt以上、②20cSt以上とするが顧客が受入可能な場合には20cSt未満も供給等、若干の差異あり。

- 実船トライアルを実施。

混合安定性確認試験、規制適合油の実船トライアルを実施し、問題ないことを確認。

P.36 差し替え（末尾を参照）

6. まとめ（2/2）

【規制適合油の使用におけるポイント】

✓ **エンジン:**

潤滑油（シリンダー油・トランクピストン油など）の交換。

✓ **清浄機：**

LSC重油の密度や、清浄機前での設定温度に応じて調節板の交換など適切な調整。

✓ **燃料加熱：**

LSC重油がエンジン・ボイラーの入口でメーカーの許容動粘度内に入るよう以下を参考に調整。

- **最初に確認すること：**
  先ずは、関連機器に不具合や故障がないか状態を確認。
  また、補油するLSC重油の性状（動粘度・流動点・密度など）を燃料供給者から入手。
- **温度調整が必要かを確認：**
  燃料系統上のヒーターの設定温度をHSC重油使用時から変更せず燃料油を切替え可能か確認。
  （実船トライアルで実証済）。
- **切替の際、エンジン入口の燃料油圧力が低下：**
  ポンプ入口での動粘度不足が原因の可能性。動粘度を上げるため、エンジンの燃料油ヒーター設定温度を下げる（実船トライアルで油圧低下は確認されず）。
- **エンジン・ボイラーの入口の動粘度をHSC重油使用時と同程度（約10～15cSt）に維持したい：**
  燃料油温度を下げる、又はビスコンを機能させる必要があり、セットリングタンク・サービスタンク付きヒーター、清浄機用の燃料油ヒーターの設定温度を下げる。清浄機の再調整が必要となる場合がある（実船トライアルで実証済）。
- **貯蔵タンクの燃料加熱：**
  流動点の影響を考慮し、燃料を十分加熱する。

✓ **混合安定性：**

第１回目の規制適合油補油時や、その後のA⇔C切替時などになどスラッジが発生する可能性がゼロではないことに留意し、念のため、最初の規制適合油補油時やA⇔規制適合油の切替時は、フィルター、ストレーナや清浄機などの状態をこまめに確認。

差し替え

使用実例①

4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

実船トライアルの結果概要

- 低硫黄の影響（潤滑油）：
  トライアルは短期間のためエンジンメーカにより交換不要と判断。その後も影響は確認されていない。
- 密度低下の影響（清浄機）：（ｽﾗｲﾄﾞ27参照）
  調節板変更やヒーターの設定温度変更などを実施。
- 動粘度の影響（エンジン・ボイラー・燃料供給ポンプ）：（ｽﾗｲﾄﾞ28参照）
  ビスコンが無い船舶では、ヒーターの温度設定をHSC重油使用時から変更しなかったが、動粘度低下による燃料油ポンプの燃料油圧力低下の影響なし。その際、エンジン入口の動粘度は2cSt以上確保されており、影響無し。
  ビスコンが有る船舶では、粘度調整装置（ビスコン）を低動粘度のLSC重油に対して機能させるため、ビスコンに至るまでの各ヒーターの設定温度を下げた結果、動粘度が従来程度に維持されていた。
- スラッジ発生：
  補油するLSC重油と、本船タンク内のHSC重油及びA重油をそれぞれ混合し、スポットテストを行ったところ、いずれも安定性が確保されていることを確認。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。
- 硫黄分濃度：（ｽﾗｲﾄﾞ29,30参照）
  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LSC重油がほぼ均一に混合された。

差し替え

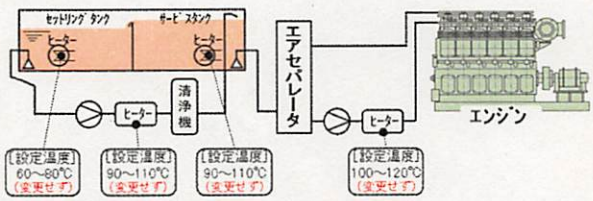
使用実例①

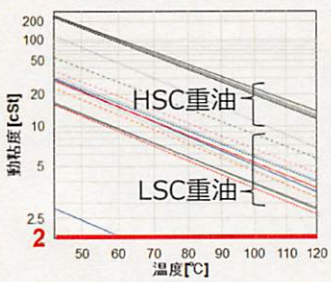
4. 国内のSOx規制適合油による実船トライアル

設定温度の調整

ビスコンが無い船舶

船上の設備で動粘度を計測出来ず、燃料油が切替わりが確認出来ない。
このため、LSC重油が、HSC重油使用時と同じエンジン入口温度（100-120度）に加熱しても、エンジンの許容動粘度であることから、設定温度は変更しなかった。※1。





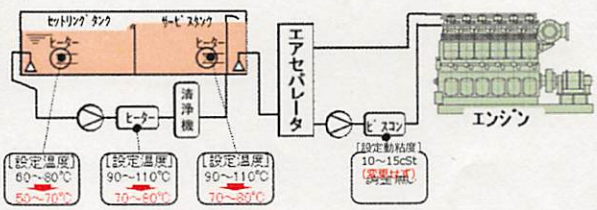
ポイント

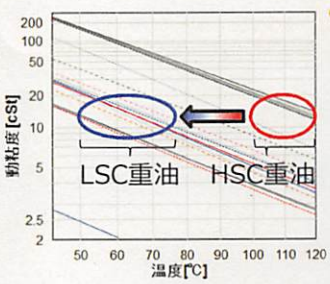
低動粘度のLSC重油を120度まで加熱してもエンジンメーカの許容範囲(**2cSt以上**)にある。

※1 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一部あり（スライド31参照）。

ビスコンが有る船舶

ビスコンには動粘度を上げる（温度を下げる）機能はないので、ビスコンを正常に機能させるには、ビスコン入口で、設定より高めの動粘度（低めの温度）にしておく必要がある。このため、ビスコンに至るまでの各ヒータの設定温度を下げた。





ポイント

エンジン入口の動粘度をHSC重油と同程度にするためには、低動粘度のLSC重油はHSC重油よりも温度を低くする必要がある。

※2 トライアルで使用したLSC重油の動粘度（ 50℃ ）：17～42cSt

差し替え

6. まとめ（2/2）

LSC重油の使用におけるポイント】

✓ **硫黄分低下の影響を抑える**

エンジンの潤滑油（シリンダー油・トランクピストン油など）の切替え。

✓ **密度低下の影響を抑える**：

清浄機について、LSC重油の密度や加熱温度に応じ、調節板の交換。

✓ **動粘度低下の影響を抑える**：

- LSC重油がエンジンやボイラーメーカーの許容動粘度（一部メーカーは許容温度有り）となるよう温度調整。
- 燃料油圧力の低下が著しい場合は、ポンプ入口の動粘度を上げるため燃料油の温度を下げる。

✓ **高流動点の影響を抑える：**

貯蔵タンクは、従来のHSC重油のように加熱。

✓ **スラッジ発生の影響を抑える**：

LSC重油への切替えの際、フィルター、ストレーナや清浄機などの状態をこまめに確認。