第5章　2020年燃料油の留意点

2020年1月1日から、船舶の排出ガス中に含まれる硫黄酸化物（SOx）やSOxから生成される粒子状物質による人や環境への悪影響を防止する目的で、全世界的に船舶燃料油の硫黄分濃度に係る規制（SOx規制）強化が開始されています。本船が低硫黄（硫黄分0.5%以下）の適合燃料油を取扱う上で、乗組員が理解しておくべき注意点を説明します。

舶用硫黄分上限指定海域

国際海事機関　排出規制海域　　中国　排出規制海域

欧州連合(EU)低硫黄指定海域

図5-1　舶用硫黄分上限指定海域

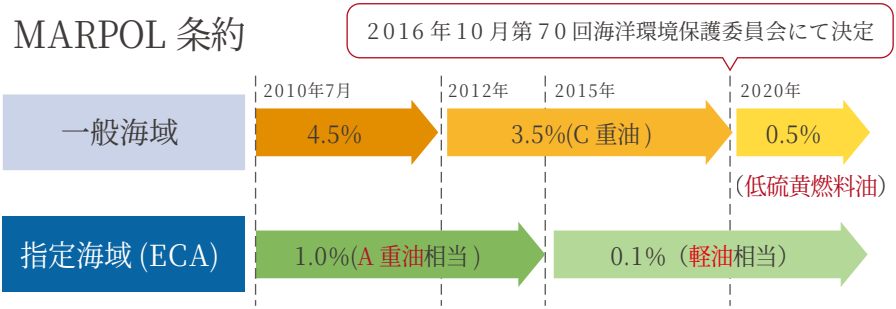


図 5-2　国際海事機関の海洋汚染防止条約による船舶燃料油の硫黄分規制

5－1　新規制適合油で懸念されていること

日本海事協会（NK）は、2019 年 3 月に編纂した「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」の内容を同年 6 月の同協会主催の技術セミナーで解説しました。

以下は日本海事協会（NK）のセミナー資料とガイドラインを中心に、他文献も参照して当組合が加工しました。

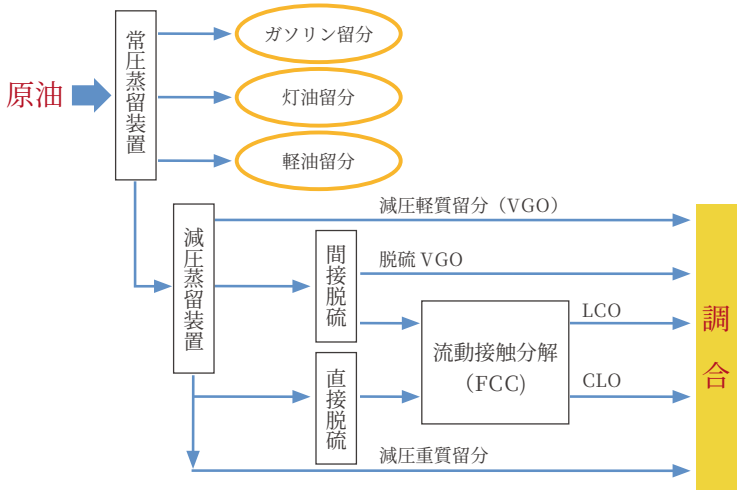
5－1－1　製造方法による特徴

図 5-3 は舶用燃料油の製造工程です。

原油は 350℃以下に加熱され常圧蒸留装置を経て、軽質留分が分留されます。その残渣油は真空状態（31 ～ 38kPa）の減圧蒸留装置を経て、軽質留分（大気圧換算 350℃～ 550℃）と重質留分分（大気圧換算 550℃以上）に分留されます。軽質留分は間接脱硫を経て低硫黄化され、更に流動接触分解（FCC：Fluid Catalytic Cracking）を経てガソリン成分を抜き取り、ライトサイクルオイル（LCO：Light Cycle Oil）やクラリファイドオイル（CLO: Clarified Oil）となります。

《適合燃料油の製造工程》

安定供給／経済的観点：硫黄分 0.50%以下の残渣油が主流



VGO：着火性の良い基材、直接バンカー重油 に混合せず、分解装置の原料油として利用。
（減圧軽質留分：Vacuum Gas Oil）

LCO（ライトサイクルオイル）
CLO（クラリファイドオイル）：低硫黄基材、動粘度が低い。

図 5-3　適合油の製造工程

適合燃料油の製造方法は、現在の精油技術では以下の 5 パターンと言われています。

① 製油所で製造した様々な低硫黄基材を調合する。

② 高硫黄原油の残渣油を脱硫する。

③ 高硫黄 C 重油（例：メキシコ湾産原油、図 5-4 ご参照）と軽油を混合する。

④ A 重油（MDO：Marine Diesel Oil）や軽油（MGO：Marine Gas Oil）を使用する。

⑤ 低硫黄原油（例：北海油田産原油、図 5-4 ご参照）の残渣分を使用する。

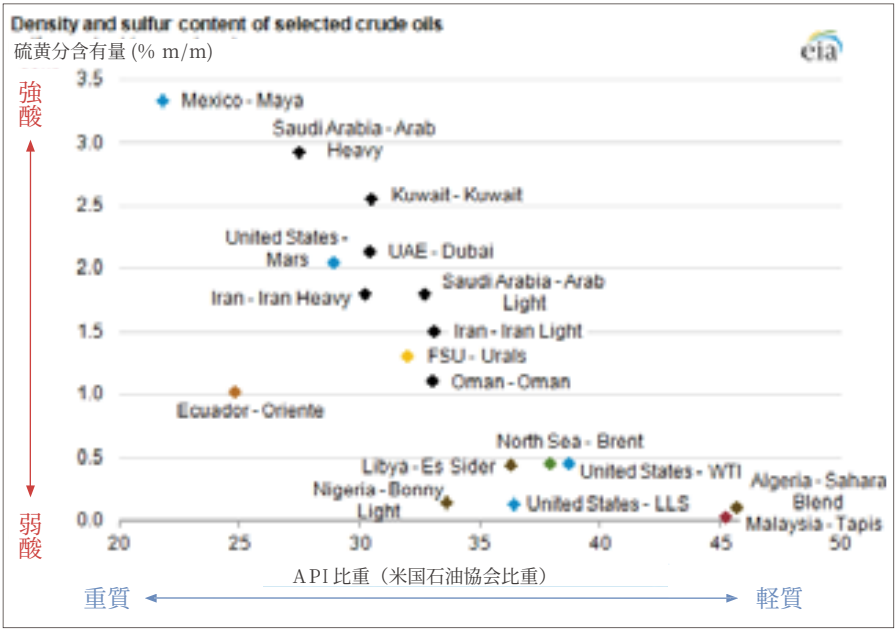


図 5-4　原油産地別硫黄分

図 5-4 は原油産地別硫黄分です。適合燃料油の基材には低硫黄のものが必須です。経済的な制限から、留出油および脱硫した残渣油だけでは十分な量の供給が出来きません。安定した供給量の確保のためには前述①の製造方法が有力です。

よって、燃料油中の硫黄分含有量を規制値（0.50%）以下とするために、様々な基材を利用することによって硫黄分以外の燃料油性状が従来の一般海域向け燃料油（HSHFO：High Sulphur Heavy Fuel Oil 硫黄分 3.50% 以下）に比べて多様化してきます。

① 原油を繰り返し蒸留した軽質留分以外の、様々な低硫黄基材を利用する。

② 原油は産地（図 5-4 ご参照）や製油所の能力によって性状が異なるために、適合油に混合される基材の比率も従来と比べて地域によって大きく異なる。

5－2　燃料油を安全使用するための留意点と対策

VLSFO（適合燃料油は残渣油 VLSFO（Very Low Sulphur Fuel Oil）-RM（Residual Marine Fuels）と留出油 VLSFO-DM（Distillate Marine Fuels）に分類されますが、以下では残渣油 VLSFO-RM を VLSFO と記します）を安全に使用するための留意点は、多様な基材の性質を理解することです。それが次の５つの性状です。

① 混合安定性
② 低動粘度化
③ 低温流動性
④ Cat-Fines
⑤ 着火・燃焼性

「従来燃料油（HSHFO：High Sulphur Heavy Fuel Oil）や留出油（MDO & MGO）の使用時トラブル」の教訓を通じて蓄積してきた燃料油性状の知見に基づき、各性状に対する「留意点」と「対応策の心構え」を考えます。燃料品質の基本は「ロスプリベンションガイド第 30 号　燃料油―品質と補油数量について」をご参照ください。

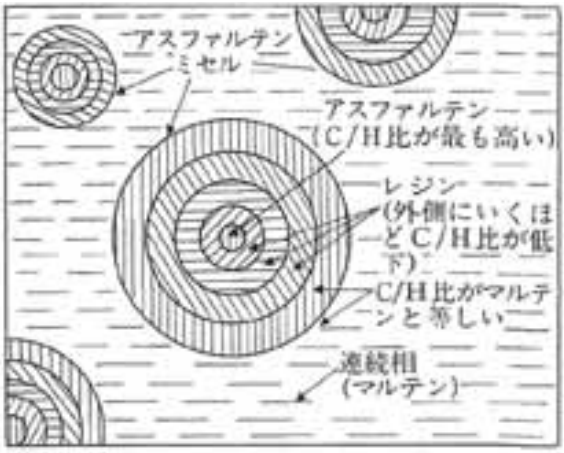


図 5-5　アスファルテンミセルの仮想図

5－2－1 ① 混合安定性

異なる 2 種以上の燃料油が混合した場合に、単独で状態を保っていた安定性が崩れ、いずれかの燃料油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ります。その析出のしにくさを表したのが混合安定性です。

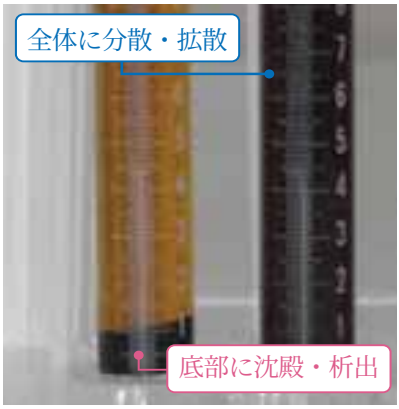


写真 5-6　底部にスラッジ沈殿・析出

写真：Class NK ガイドブック

不安定な状態

重油中のアスファルテンは、図 5-5 のように、マルテン中で、安定したミセルを形成し、分散浮遊して、沈殿しません。しかし、他の燃料油との混合や熱的な変化あるいは酸化等の影響を受けて、ミセルの安定が壊れれば、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します。写真 5-6 ご参照。

芳香族系炭化水素が多く含まれる燃料油とパラフィン系炭化水素が多く含まれる燃料油が混合されると、アスファルテンを含むマルテンが不連続となるため、凝集が始まります。

スラッジ化した燃料油使用の想定される機器類のトラブルと対応策

トラブルと対応策を表 5-7 にまとめました。

推定される機器類のトラブル

図 5-8 燃料油配管系統図（1）、写真 5-9、10 各スラッジ参照。

1　スラッジが配管を詰まらせ、燃料油の移送が不可となる

理由：以下の場所で、異なる組成の燃料油が混ざり合って、アスファルテンスラッジが析出するためである。

① 補油時に船体付き貯蔵タンク内

② 乗組員が船内機器の使用燃料油を適合油へ切替る際に、セットリング（静置）/ サービス（供給油）タンク内や配管内

2 供給量が減少し、最悪の場合には主機停止（推進力喪失）や発電機停止（電源喪失）

理由：以下の場合に、スラッジでストレーナが目詰まるためである。

① 船体付きタンク内で析出したアスファルテンスラッジが移送された場合
② 配管内で、異なる組成の燃料油が混合した場合

3 スラッジ排出時に回転体の不釣合いを原因とする異常振動が発生したり、油清浄機の損傷が発生する

理由：以下の場合に油清浄機内回転体にスラッジが堆積するためである。
燃料油配管がスラッジでフィルターが目詰まる場合に、スラッジが燃料油系統の全域に拡がっており、同時に油清浄機ではアスファルテンスラッジの捕捉量が増加する。

対 応 策

求められる対応策は以下の通り。

最重要事項：貯蔵タンク内や配管内で燃料油を混ぜない、
もしくは、混合割合を極力低くすること。

1 運航への影響を抑えるために、以下の対策を行うこと。

①輻輳海域等で燃料油切り替えを行わない。
②燃料油が混ざり合う時間を短くする。
主機での燃料消費量を予測計算し、切替える。

2 スラッジが発生した場合には以下の対策を行うこと。

①不安定な場合は、スラッジ分散剤を使用する。
②必要に応じ、適宜ストレーナを掃除する。
③油清浄機の運転に関し、通油量を下げ、スラッジ排出間隔を短くし、通油温度を上げ、回転体の開放間隔を短くする。

3 万が一に備え、本船にスラッジ分散剤の予備を搭載しておくこと。

表5－7　混合安定性のトラブルと対応策

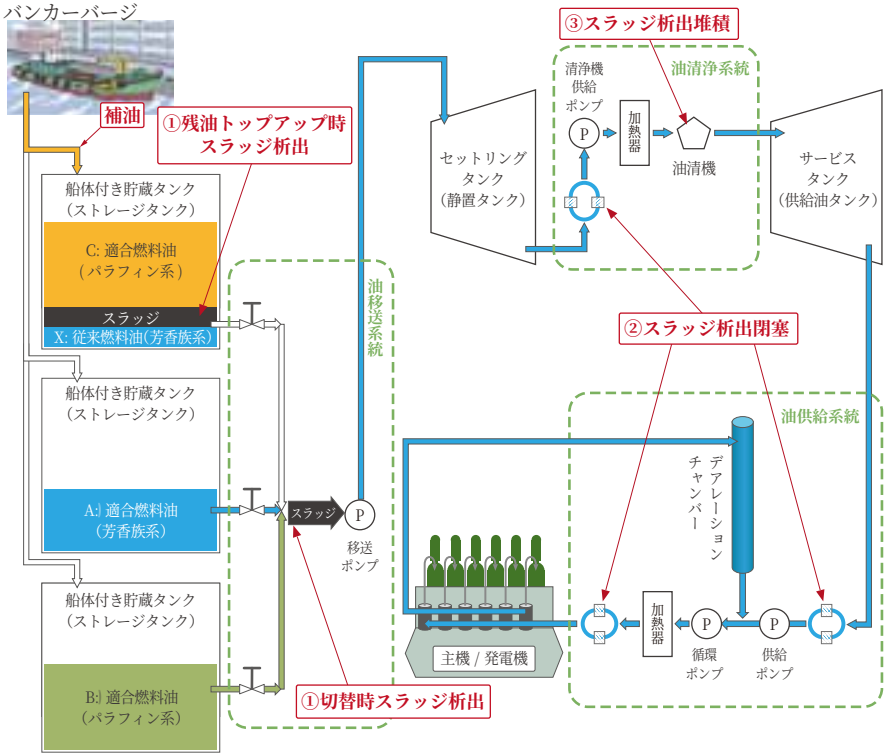


図 5-8　燃料油配管系統 (1)

写真 5-9　油清浄機の回転体内部に堆積したスラッジ

2020年Sox規制適合舶用燃料使用手引書
（国土交通省海事局）

提供:日本海事検定協会

写真 5-10　フィルターに詰まったスラッジ

写真：Class NK ガイドブック

5－2－2 ② 低動粘度化

硫黄分が 0.50% 以下の VLSFO を製造するためには、以下の低硫黄基材の混合割合が多くなります。

（1）減圧蒸留後に間接脱硫を経た残渣油
（2）LCO（Light Cycle Oil）および CLO（Clarified Oil）

脱硫装置や分解装置において、分解反応が生じるため、粘度も低下します。そのため、従来使用されていた直脱を通さない減圧残渣油（減圧重質留分）と比較して、これらの基材の動粘度は低くなります。よって、2020 年以降に流通する VLSFO の動粘度は従来と比べて低下しています。

2016 年開催の IMO 第 70 回海洋環境保護委員会に提出された調査報告「MEPC70/5/3 および、MEPC70 INF-6 Assessment of Fuel Oil Availability-Final Report」（右写真）は、将来の舶用燃料油に関し、次の特徴を報告しました。「地域によっては、北海油田から産出されるような低硫黄原油を原料にできますが、この場合には従来燃料油（HSHFO：High Sulphur Heavy Fuel Oil）と同様に常圧残渣油あるいは減圧残渣油を主体とし、適度に低硫黄の残渣油や留出油を調合することによって適合燃料油を製造可能です。よって、従来燃料油 HSHFO とほぼ同等の動粘度を確保することも可能です。」

低動粘化した燃料油使用の想定される機器類のトラブルと対応策

トラブルと対応策を表 5-11 にまとめました。

推定される機器類のトラブル

写真 5-12、13、14 各損傷部品ご参照。

1 ディーゼルエンジン

① 燃料噴射ポンプの固着（潤滑性の低下に起因）や起動失敗や回転数（負荷）上昇不可（内部摺動部の漏れ増大に起因）
（日本海事協会会誌（No312、No316）に掲載された「損傷のまとめ」の通り、2015 年に海外の硫黄酸化物排出規制海域で 0.10% 硫黄分規制が開始された際、同協会登録船から、燃料噴射系機器のトラブルの報告があった。）

② 燃料供給ポンプからの燃料油の供給不足に起因する回転数（負荷）上昇不可（動粘度の低下に起因）

③ 燃料噴射弁周辺の低温腐食（燃料噴射弁が冷却されているエンジン。4 ストロークエンジンに多い。）

2 燃料供給ポンプ / 移送ポンプ / 油清浄機供給ポンプ

① 固着、ギアの摩耗、軸受け寿命の低下（潤滑性の低下に起因）

② 燃料供給量の不足（ポンプ内部摺動部の漏れに起因）

③ ポンプシール部からの漏れ（動粘度の低下に起因）

対 応 策

求められる対応策は以下の通り。

低動粘度の使用に関し、既に ECA（硫黄酸化物排出規制海域）燃料使用開始時に諸注意を盛り込んだメーカー取扱説明書があるので、それに従う必要がある。

1 使用燃料油の動粘度がエンジン・機器類に適していることを確認

① 機器の交換・改造を伴う対策例

1）想定する燃料油の動粘度が低い（20cSt@50℃未満）場合、本船はエンジン入口手前に燃料油冷却器を設置

2）燃料供給ポンプにおいて、動粘度がメーカーの推奨粘度の範囲にない場合は、下記対策を行う必要がある。

（a）低動粘度に対応した仕様の燃料供給ポンプの使用、新替え
（b）シール交換
（c）燃料油冷却器の設置（供給ポンプより上流側に設けること）

② 開放整備
VLSFO では高動粘度かつ残渣分を多く含むものもあり、摩耗により燃料噴射系および燃料供給ポンプ部品の摺動部の隙間が大きくなっている可能性がある。直前まで使用していた燃料油よりも動粘度が極端に下がるような場合には、当該燃料油の使用前に開放整備を行うことが必要である。

2 航海中の対策

① 動粘度は温度によって大きく変化するため、燃料油の温度管理を徹底すること。
流動点がワックス析出のおそれがない場合には、スチームトレースを止め、できるだけ燃料油の温度を上げてはならない。

② メーカーのエンジン入口推奨粘度値範囲内を確保できるように燃料油の温度管理を行う。
動粘度調整は、100cSt@50℃以上の燃料油であれば制御可能であるが、動粘度が低い場合には、蒸気加熱では調整困難な可能性もあるので、乗組員は運転管理に注意を要す。

③ 動粘度が低く 20cSt@50℃以下、かつ、高い流動点でワックス化しやすい燃料油に対しては、動粘度調整のために冷却すれば、ワックス化の恐れがある。そのため、温度調整範囲が狭い制約があり、注意を要す。

④ VLSFO の潤滑性に懸念がある場合には、潤滑性向上剤を燃料油に添加する。
（潤滑性向上剤を事前に燃料タンク内に投入しておくことが必要である。）

⑤ 本船に潤滑性向上剤の予備を搭載しておくこと。

表 5-11　低動粘度化のトラブルと対応策

写真 5-12　燃料噴射ポンプのプランジャおよびバレルでの掻き傷

写真：Class NK ガイドブック

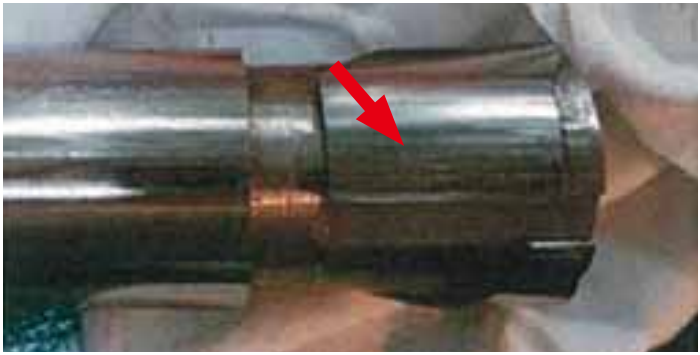


写真 5-13　燃料噴射ポンプのプランジャ、バレルの異常摩耗

写真：Class NK ガイドブック

写真 5-14　燃料噴射弁での掻き傷

写真：Class NK ガイドブック

粘度管理の重要性

エンジンを安全に効率的に運転するには、メーカーによって「燃料油のエンジン入り口推奨動粘度」が定められているので、船上では粘度調整装置が利用されます。メーカー取扱説明書にも燃料油の取扱の諸注意が解説されています。各メーカーはその推奨範囲を概ね 2cSt ～ 20cSt としています。

図 5-15 に示す通り、燃料油の動粘度は温度上昇に反比例して下がる化学的特徴を有します。従来燃料油（HSHFO）は 180cSt@50℃や 380cSt@50℃の比較的粘度の高いものが、ほぼ一定の品質で流通していたので、蒸気加熱によって推奨粘度の範囲に調整できていました。しかし、2020 年以降は粘度が高いものから低いものまで幅広い VLSFO が流通しているので、動粘度が低い場合には、逆に冷却によって粘度上昇させる管理も必要となります。また、油清浄機についても、経済性および安全運転の観点から、メーカーが最適粘度を定めている（例、24cSt）ため、油清浄機の通油温度を相当温度とするように注意が必要です。

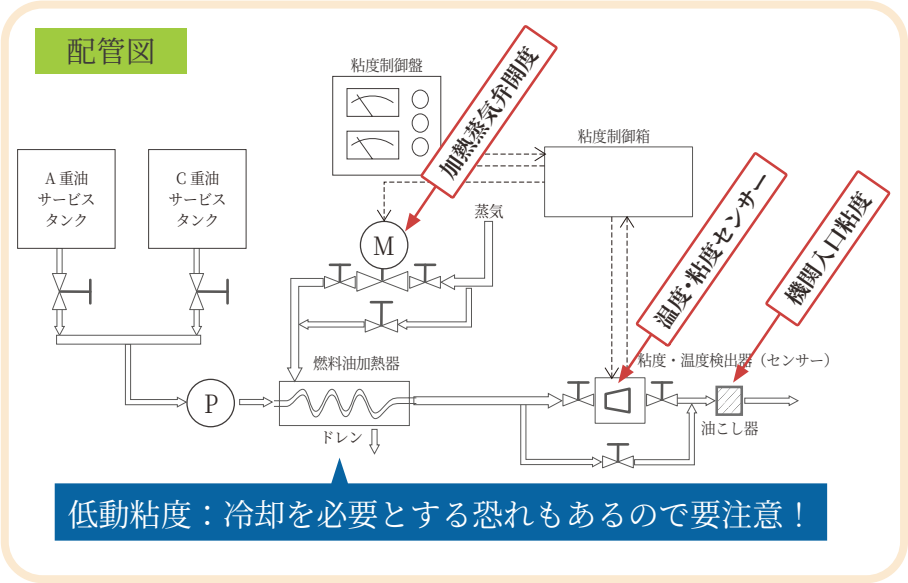
したがって、機関部乗組員は燃料油の粘度管理のために、メーカー取扱取説書に習熟し、適切に対応することがより重要です。

Q 機関士（技術者）は何をするのか？
何を状態監視し、考え、分析し、判断し、
そして対処行動をとるのか？

主機入口燃料油 **推奨粘度** VS 相当**温度** VS **加熱**蒸気 **弁の開度**

技術って何？：粘度調整装置　配管図 参照

科学って何？：C 重油の粘度の特徴は　線　図 参照


配管図
粘度制御盤
加熱蒸気弁開度
粘度制御箱
A 重油
サービス
タンク
C 重油
サービス
タンク
蒸気
M
温度・粘度センサー
機関入口粘度
燃料油加熱器
粘度・温度検出器（センサー）
P
ドレン
油こし器
低動粘度：冷却を必要とする恐れもあるので要注意！

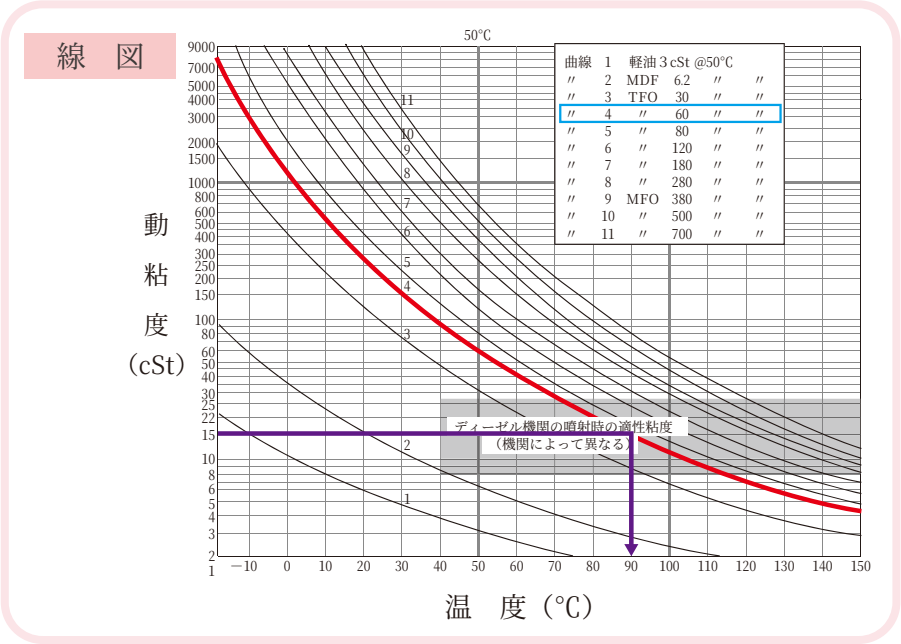
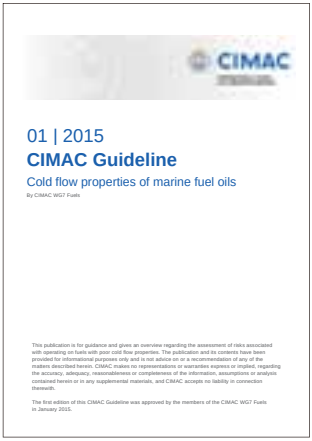

線　図
50℃
曲線 1 軽油 3 cSt @50℃
〃 2 MDF 6.2 〃 〃
〃 3 TFO 30 〃 〃
〃 4 〃 60 〃 〃
〃 5 〃 80 〃 〃
〃 6 〃 120 〃 〃
〃 7 〃 180 〃 〃
〃 8 〃 280 〃 〃
〃 9 MFO 380 〃 〃
〃 10 〃 500 〃 〃
〃 11 〃 700 〃 〃
動粘度（cSt）
ディーゼル機関の噴射時の適性粘度
（機関によって異なる）
温　度（℃）

図 5-15　粘度調整装置

5−2−3 ③ 低温流動性

低温流動性とは、流体を冷やしていった時に、流体の流動が可能な最低温度を流動点（Pour Point（PP））として、低温時の流体の流動性を示す指標です。
その形成過程は、温度の低下によって、燃料油中の成分が結晶化し、曇って見える（曇り点、Cloud Point（CP））ようになり、ワックスが板状の粗大な結晶として析出（目詰まり点、Cold Filter Plugging Points（CFPP））し、それが成長しゲル化すれば、流動性を失う限界（流動点、Pour Point（PP））に達して構成されます。写真 5-17、図 5-18 ご参照。
CIMAC（国際燃焼機関会議）発行の低温流動性のガイドライン（2015 年）によれば、非処理燃料油におけるそれぞれの温度差は 2 ～ 5℃であるため、流動点から 10℃以上を確保することによって、低温時の流動性を確保可能となります。実運用上は流動点の低いものが好ましいです。


CIMAC

01 | 2015

CIMAC Guideline

Cold flow properties of marine fuel oils

By CIMAC WG7 Fuels

This publication is for guidance and gives an overview regarding the assessment of risks associated with operating on fuels with poor cold flow properties. The publication and its contents have been provided for informational purposes only and is not advice on or a recommendation of any of the matters described herein. CIMAC makes no representations or warranties express or implied, regarding the accuracy, adequacy, reasonableness or completeness of the information, assumptions or analysis contained herein or in any supplemental materials, and CIMAC accepts no liability in connection therewith.

The first edition of this CIMAC Guideline was approved by the members of the CIMAC WG7 Fuels in January 2015.

図 5-16　CIMAC　低温流動性のガイドライン（2015 年）

写真 5-17　ワックスの成長過程

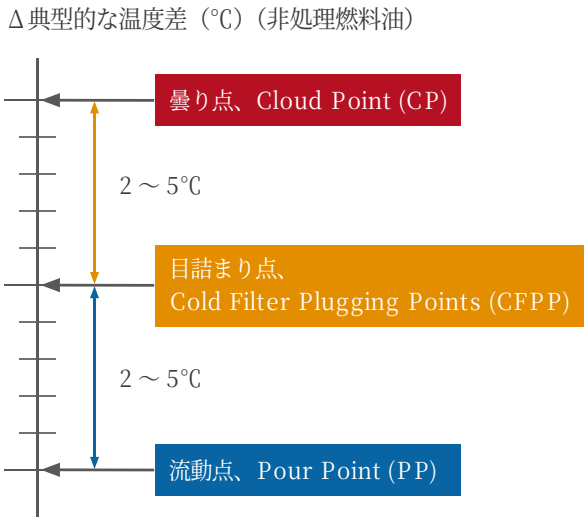


図 5-18　低温流動性の指標

低温流動性燃料油を使用することにより想定される機器類のトラブルと対応策

トラブルと対応策を表 5-19 にまとめました。

推定される機器類のトラブル

図 5-21　燃料油系統図（2）、写真 5-20,22,23 各ワックス化ご参照。

1 船体付き貯蔵タンクから移送ポンプで移送不可

理由：船体付き貯蔵タンク内で燃料油の温度が流動点（PP）を下回り、燃料油がゲル化し、流動性を失うからである。

2 燃料供給量が減少し、最悪の場合には主機停止（推進力喪失）や発電機停止（電源喪失）に至る

理由：以下の場合に、燃料油がワックス化し燃料油配管内のストレーナが目詰まり、閉塞するためである。
燃料油の温度が流動点（PP）を上回っていても、ワックスが板状の粗大な結晶に成長していた場合に、船体付き貯蔵タンク内で析出したワックスが移送される途中で、配管内のフィルターに目詰まりを引き起こす。（目詰まり点、写真 5-17、図 5-18 参照）

3 スラッジ処理が間に合わなくなる

また、スラッジ排出時に回転体の不釣合いとなり異常振動が発生し、油清浄機の損傷を招く

理由：ワックス化した燃料油が、油清浄機内部に通油された場合、以下となるからである。

① ワックスが分離板に付着して分離効率を低下させる。

② 油清浄機の回転体内部にワックスが堆積する。

対 応 策

求められる対応策は、以下の通り。

最重要事項：燃料油を流動点（温度）の +10℃以上に維持、加熱すること。

1 加熱装置がない状態で使用する場合には、航路と季節を考慮に入れた上で、使用環境が PP+10℃以上であることを確認して使用すること。
使用できない場合には、ワックス結晶化に対し抑制効果のある添加剤を使用すること。

＊使用環境：燃料油管理に影響のある海水温度、配管周囲温度、機関室温度、気温

2 油清浄機手前のストレーナに頻繁にワックスが析出する場合には、油清浄機の運転設定に関し、通油量を下げ、スラッジ排出間隔を短く、通油温度を上げ、回転体の開放間隔を短く調整すること。

3 万が一に備え、本船にワックス結晶化に対し抑制効果のある添加剤の予備を搭載しておくこと。

4 動粘度が低い（20cSt@50℃未満）場合には、加熱は基本的に不要である。ただし、流動点が高い場合には、適度な加熱が必要となる。この場合には、狭い温度範囲となる。したがって、慎重な燃料油管理が必要である。

表5－19　低温流動性のトラブルと対応策

フィルターに詰まったワックス
出典：01　2015　Cimac　Guideline

金属容器に採取したワックス
2020 年 Sox 規制適合舶用燃料使用手引書
（国土交通省海事局）

写真：Class NK ガイドブック

写真 5-20　ワックス化した燃料油

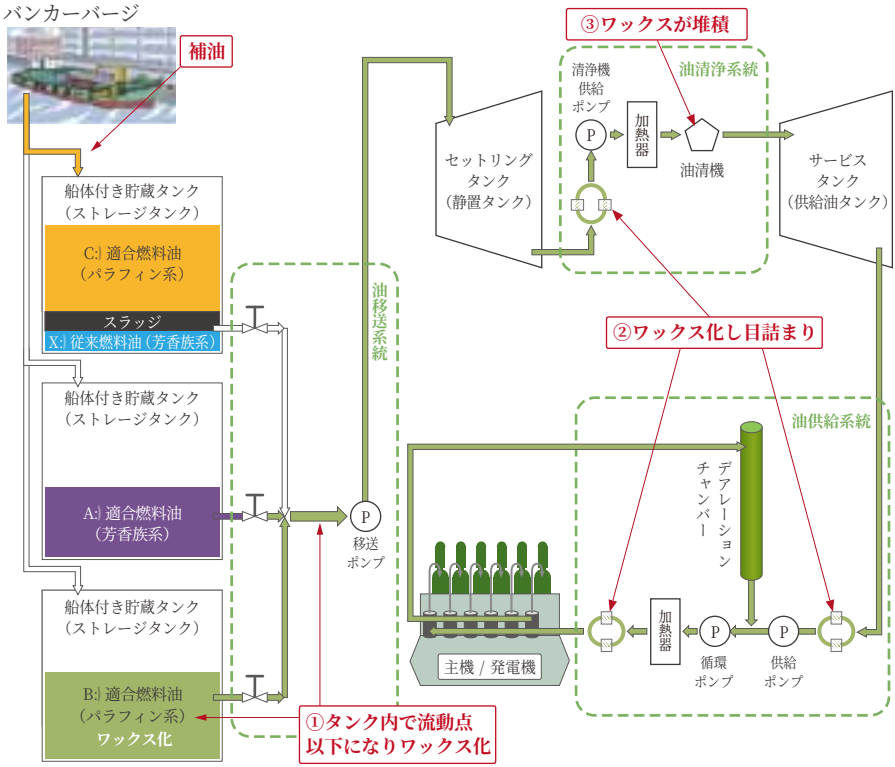
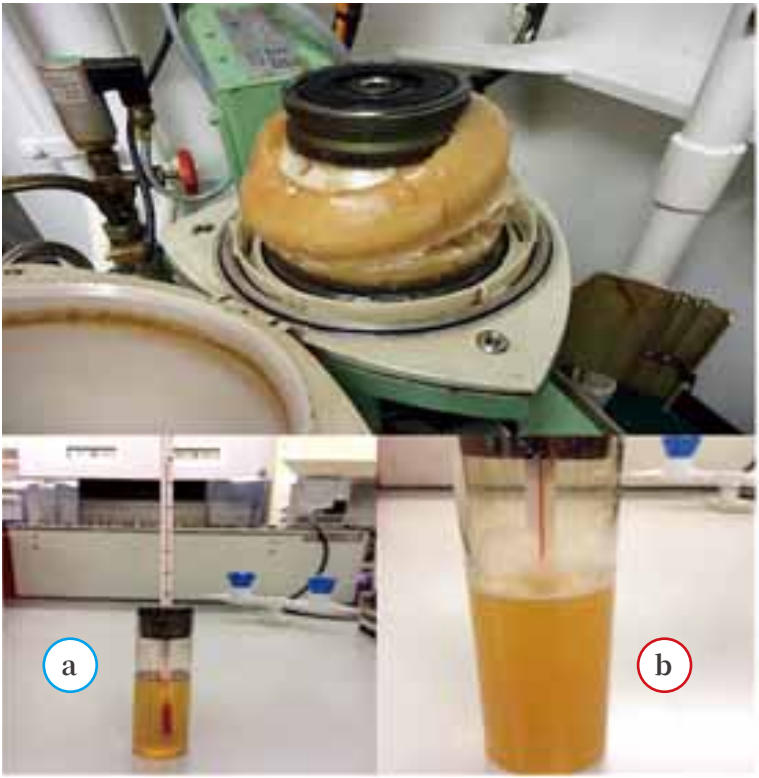


図 5-21　燃料油系統図（2）

写真 5-22　タンク内で析出したワックス分



（a）透明な資料@ 28℃　　（b）ワックス分の結晶化（不透曇）@ 24℃

写真 5-23　燃料清浄機内でのワックスの堆積

5−2−4　④　Cat-fines（FCC 触媒粒子）

Cat-fines は、流動接触分解（FCC）装置で使用される触媒が使用過程で粉砕されて生じた粉末であり、アルミナ（Al_2O_3）およびシリカ（SiO_2）を成分とした非常に硬度の高い粒子です。

FCC で使用される触媒は連続使用されるため、製造プロセス中で回収されますが、触媒粉である Cat-fines は低硫黄基材中に若干残留する場合があります。

Cat-fines の存在は AL+Si 成分の含有量で評価します。

Cat-fines（FCC 触媒粒子）による想定される機器類のトラブルと対応策

トラブルと対応策を表 5-24 にまとめました。

推定される機器類のトラブル

Cat-fines（写真 5-25）によるトラブルは、従来油から発生している。CLO を多量に混合された VLSFO では、Al+Si 含有量が国際標準規格「ISO 8217:2017　舶用燃料」の上限近くまで上昇する可能性が高まる。Cat-fines が船内前処理で適切に除去されず、機器の摺動部等に侵入した場合には、図 5-26、写真 5-27 に示す通り、Cat-fines の直径が油膜厚さより大きく、粒子量が多ければ、ピストンリングとシリンダライナの異常（過大）摩耗を起こし、物理的な損傷が発生する。

（1）燃料噴射系機器の固着・摩耗、燃料噴射弁固着・摩耗・噴口不良

（2）ピストンリングの異常摩耗・折損、ピストン冠リング溝の異常摩耗

（3）シリンダライナの異常摩耗・スカッフィング

（4）ピストンロッド、スタフィングボックスパッキンの異常摩耗、漏油過多

（5）排気弁の弁傘部摩耗・シート吹き抜け

（6）過給機 ノズル、タービンブレードの排ガス流路部損耗

対 応 策

油清浄機は遠心分離機であるので、密度差を利用して Cat-fines を除去できる。Al+Si 含有量が規格値以内であれば、乗組員が燃料油のセットリング（静置）タンクでの前処理、および清浄機が正常に機能するよう保守整備を行うことによって、Al+Si 含有量はエンジン入口でメーカー推奨値まで下げられることが可能である。

求められる対応策は以下の通り。

最重要事項：油清浄機の適切な運転調整およびセットリング（静置）タンクでの適切な燃料油前処理を実施すること。

1 油清浄機の分離効率を維持・向上させるために、油清浄機の運転設定に関し、通油温度を適切に維持し、燃料消費量を少し上回る程度まで通油量を下げる調整をします。また、油清浄機の運転方法としてパラレル運転により清浄効果を上げる

ことも有効的である。

2 油清浄機の分離性能をチェックするため、定期的に①バンカーマニホールド（船体タンク入口）②油清浄機前後③エンジン入口でのサンプリングを行い、陸上の分析機関へ Al+Si 含有量分析を依頼すること。

3 セットリング（静置）タンクをある程度の液面の範囲で運用すること。

4 セットリング（静置）タンクからドレンオフして水分やスラッジを排出すること。

5 Cat-fines が乳化物に覆われた場合には、見かけ比重が軽くなってしまうため、前処理工程における除去効率が低下してしまう。そのため，燃料油中の水分を可能な限り除去し、乳化を防止する必要がある。

① 燃料油中に水分が混入するのを防止すること。

② 燃料タンクを適度（70℃前後）に加熱し、十分にセットリング（静置）し、水分離を促進させること。

③ 油清浄機の上流で燃料油が極力攪伴されないように、注意を払うこと。

6 自動逆洗 2 次ストレーナの逆洗油をディーゼルエンジン以外で消費するために、セットリング（静置）タンクへ当該逆洗油を戻してはならない。

7 エンジン入口手前におけるファインフィルターの取扱いは、エンジンメーカーの取扱説明書に従い、以下に注意を払うこと。

① 本船は原則的に自動逆洗ファインフィルター側を使用すること。

② 本船はエンジン入口手前の自動逆洗ファインフィルターのバイパスフィルターのメッシュサイズを自動逆洗のものと同じとする。ファインフィルターは破孔することがあるため、乗組員は定期的に保守点検整備を行うこと。

③ ファインフィルターの洗浄サイクルを毎日記録し、洗浄サイクル数が通常よりも多い場合には、油清浄機の運転設定に関し、燃料油清浄の分離効率を向上させる措置を取ること（上記の混合安定性、低温流動性の清浄機に関する対応策をご参照）。

表 5-24　Cat-fines（FCC 触媒）のトラブルと対応策

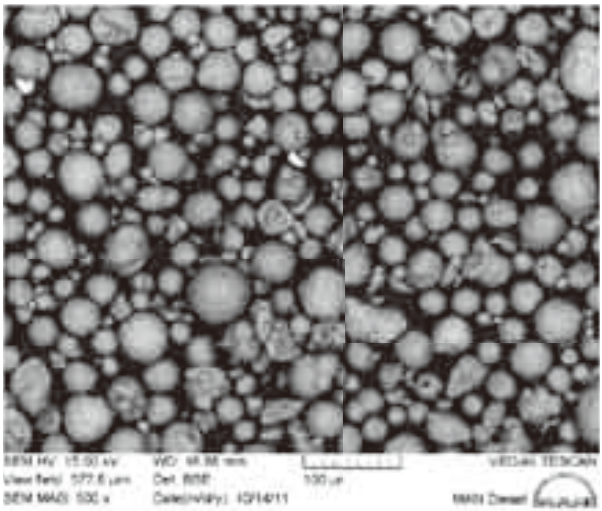


写真5-25　Cat-fines　粒子
「Cat-fines　粒子はサイズと形がかなり異なる」

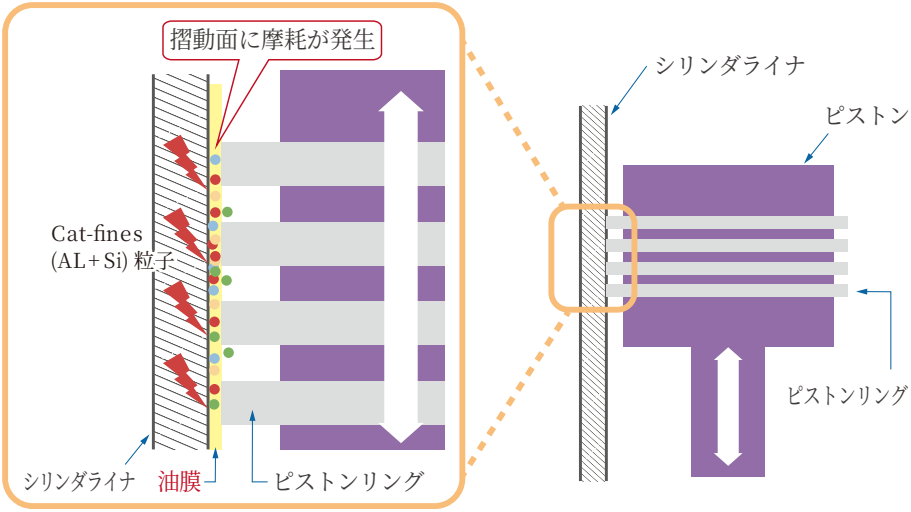
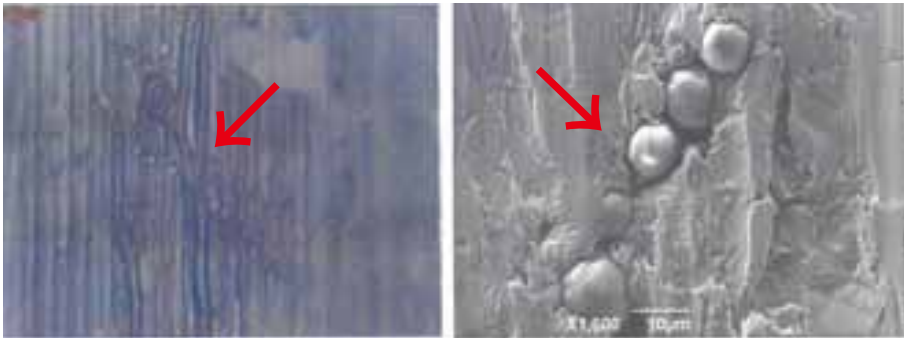


図 5-26　摩耗発生のメカニズム

（a）シリンダライナに埋没した Cat-fines と
アブレシブ摩耗

（b）ピストンリングに埋没した Cat-fines



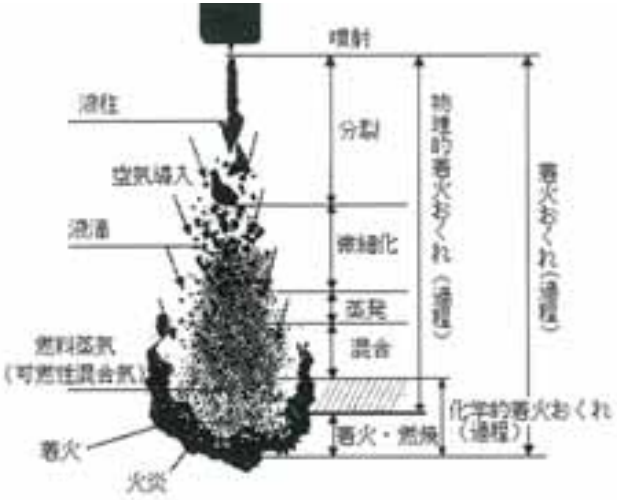
写真：Class NK ガイドブック

写真 5-27　埋没した Cat-fines

5―2－5　⑤　着火・燃焼性

着火性とは

「燃える」特性は、着火性と燃焼性の２つの段階に分けられます。「着火性」とは、自己着火のしやすさを表す燃料油の性状であり、燃料油が燃料噴射弁から噴射されてから着火するまでの時間（着火遅れ）で表されます。



図：Class NK ガイドブック

図 5-28 ディーゼル噴霧の挙動

図 5-28 ディーゼル噴霧の挙動に着火遅れの範囲を図示します。着火遅れには物理的着火遅れと化学的着火遅れがあります。燃料噴射弁から高圧高速で噴射された液滴が拡散し周囲から熱を奪って蒸発し空気と混合するところまでが物理的遅れです。そして、混合比（空気質量 / 燃料質量）が 理論混合比に近い部分から着火するところからが化学的遅れです。主に成分に依存する着火性は化学的遅れを意味します。

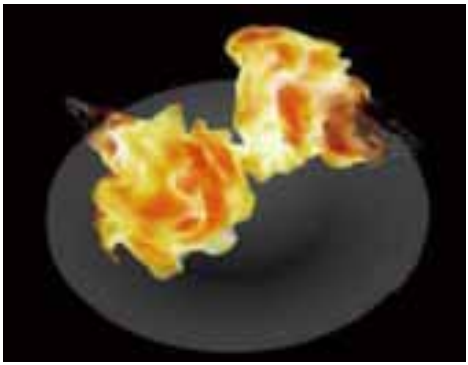


写真 5-29　燃焼のイメージ

着火性の指標として、残渣油ではセタン価やセタン指数を適用できないので、CCAI（Calculated Carbon Aromaticity Index）が使われて来ました。CCAI とは、残渣油の着火性を推測する目的で 1980 年代に開発されました。これは、動粘度および密度から実験的に導かれた数式です。これが高いほど芳香族性が高く、着火しにくいことになります。国際標準規格「ISO8217:2017 石油製品－燃料（F 級）－舶用燃料の仕様では RM（残渣油）グレードで CCAI の上限値が規定されています。

当時の CCAI は、「(1) 燃料油の着火遅れは芳香族性と相関がある」と「(2) 芳香族性と動粘度と密度との間には相関 がある」という 2 つを前提とした指標です。適合油は従来燃料油に比べ様々な低硫黄基材が混合されるため、CCAI と着火遅れの関係が薄まる可能性はありますが、当面はこの式を活用することになります。

$$CCAI = \rho_{15} - 81 - 141 \cdot log_{10}\left[log_{10}(v + 0.85)\right] - 483 \cdot log_{10}\frac{T + 273}{323}$$

ρ_{15}：密度@ 15℃ , kg/m^3

v　：動粘度@ T℃, cSt

燃焼性とは

着火性が燃焼開始の特性を表すのに対し、「燃焼性」は燃焼後半から終わりまでの特性です。燃焼性は後燃え時間や火炎長さ、黒煙・燃焼室デポジットなど未燃分割合を代表します。

着火・燃焼性により想定される機器類のトラブル

トラブルを表 5-30 にまとめました。

推定される機器類のトラブル

従来燃料油（HSHFO）に比べ、VLSFO には低硫黄基材として着火性や燃焼性の低い LCO と CLO がさらに多く混入されることも考えられる。2 環の多環芳香族を主とする LCO は特に着火性、4 環以上の多環芳香族を主とする CLO は特に燃焼性に悪影響を及ぼす可能性がある。

1 低速 2 ストロークディーゼルエンジンの場合

① ピストンリング異常摩耗・折損

② シリンダライナの異常摩耗・スカッフィング

③ ピストンリング・シリンダライナ異常摩耗粉によるピストンロッド・スタフィングボックスパッキンの異常　摩耗・漏油過多

④ 排気弁触火面の損耗および焼損

⑤ 排気弁ガイドの隙間への未燃分堆積による排気弁固着

⑥ 排気弁シート部のシール不良による吹き抜け、高温腐食

⑦ ピストンクラウン触火面の損耗および焼損

⑧ 堆積した未燃分による過給機トラブル（例：爆発オーバーランなど）

2 中・高速 4 ストロークディーゼルエンジンの場合

回転数の高いエンジンほど着火遅れ増加の悪影響が大きい。特にシリンダ内温度・圧力の低い低負荷で、ディーゼルノックによる燃焼が不安定になり、さらに PM（粒子状物質）・黒煙排出が増加することもある。
そのような場合は、負荷を上昇させて着火条件を良くする方が緩和策となる。
また、低速 2 ストロークエンジンで示した上記トラブルは、基本的に中・高速 4 ストロークエンジンでも起こり得る。

表5-30　着火・燃焼性のトラブル

着火・燃焼性によるトラブルの兆候把握とその対応策

「トラブル兆候の把握」と「兆候が確認された際の対応策」を表 5-31 にまとめました。

トラブル兆候の把握	兆候が確認された際の対応策
乗組員は以下のエンジンの状態監視を励行し、兆候の把握が大切である。	航行中に異常の兆候が確認された場合は、乗組員は船上での当面の対応として次の方法を取る。
1 2 ストロークエンジンの場合	**1** 2 ストロークエンジンの場合
① 乗組員は燃料噴射弁の保守整備を適切に行い、開弁圧を確保し噴霧状態を良好に保つ。	① 乗組員はエンジン出力を下げる。 エンジン出力を下げることは熱的、機械的負荷をどちらも低減するため、状態悪化を防止するために効果的である。
② 乗組員はエンジンの状態監視を強化する。（排気温度、T/C 回転数（サージング）、燃料消費率、シリンダ下部ドレン油中の鉄粉監視等）	② メカニズム的に可能ならば、エンジン運転設定に関し、乗組員は燃料噴射タイミングを早める調整を行う。 ただし、燃料噴射タイミングを早めた場合には Pmax（筒内最高圧力）が上昇し、Nox（窒素酸化物）値が上昇するため、乗組員は Pmax がテクニカルファイルに記載された上限値を超えない範囲内で燃料噴射タイミングを調整しなければならない。
③ センサーが付いているエンジンでは、乗組員はシリンダライナ温度を監視する。	
④ センサーが付いているエンジンでは、乗組員は筒内圧によって燃焼状態を評価する。センサーが付いていない場合は、乗組員は機械式インジケーターで筒内圧を測定し、評価する。	
2 4 ストロークエンジンの場合	**2** 4 ストロークエンジンの場合
① 乗組員は燃料噴射弁の保守整備を適切に行い、開弁圧を確保し噴霧状態を良好に保つ。	① 可能ならば、エンジン運転設定に関し、乗組員はエンジン出力を中負荷まで上げる調整を行う。 ただし、乗組員は、発電機では船内需要電力および運転エンジン台数のバランスを考慮する必要がある。
② 乗組員はエンジンの状態監視を強化する。（排気温度、過給機回転数（サージング）、燃料消費率等）	② 乗組員は燃料へ燃焼促進剤を添加する。（万が一に備え、本船に燃焼促進剤の予備を搭載しておく。）
③ 始動性を良くするため、可能ならば、乗組員はシリンダ冷却水のプレヒーティングを実施する。	

表5–31　トラブル兆候の把握と兆候が確認された際の対応策

5－3　低硫黄化に伴うシリンダ油の適応策

低硫黄適合燃料油使用におけるシリンダ油使用および選定の注意事項を以下にまとめました。
2 ストロークエンジンにおいて、燃焼と密接な関係のあるシリンダ潤滑油の役割は以下です。

① 燃料油の燃焼によって生じる硫酸等の酸性成分を中和し腐食を防止すること。

② ピストンリング / シリンダライナ間に油膜を形成し流体潤滑条件下で円滑な潤滑を行うこと。

③ ピストンリング / シリンダライナ間をガスシールし燃焼ガスおよび圧縮ガスの吹き抜けを防止すること。

④ シリンダライナ、ピストンおよびピストンリングへのスラッジや堆積物等の付着を防止すること。

そのためには、機関部乗組員は潤滑油自体の管理を適切に行い、油自体の劣化を抑えて適正な粘度や潤滑油添加剤の機能を維持するとともに、燃焼生成物等から発生するスラッジを分散させて凝集や部品への付着を防ぎ、デポジット（堆積物）の形成を抑える必要があります。

シリンダ油選定にあたり、従来燃料油（HSHFO　硫黄分 3.50% 以下）に比べ適合燃料油（VLSFO　硫黄分 0.50% 以下）は硫黄含有量が低いため、本船では上記①シリンダ油の役割について酸を中和するアルカリ価の高さに注意が必要です。当該成分はアルカリ土類金属分（主に Ca）です。中和するアルカリ性の能力は塩基価（BN：Base Number）として表されます。

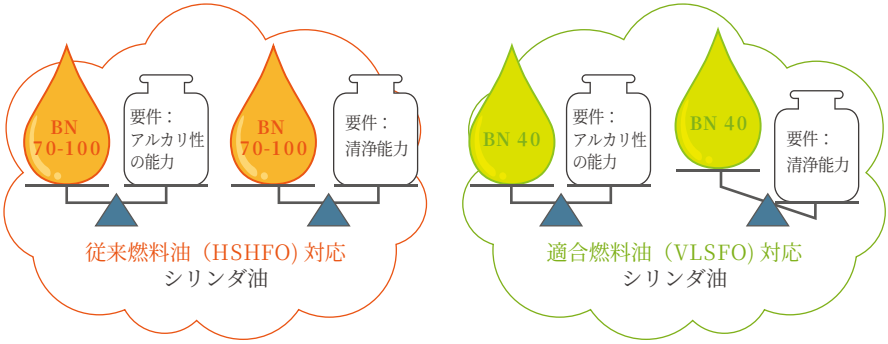


図 5-32 シリンダ内の汚損状況に応じて BN を選択

従来燃料油（HSHFO　硫黄分 3.50% 以下）で使用していたシリンダ油を適合燃料油（VLSFO　硫黄分 0.50% 以下）に使用した場合、アルカリ分が過剰となるので同成分がピストン周囲およびピストンクラウンに析出・堆積します。

そのため、2 ストロークエンジンにおいては、従来燃料油が使用されていた一般海域において TBN70 ～ 100 程度のシリンダ油が使用されていました。しかし、2020 年以降は、適合燃料油に対応した TBN40 程度のシリンダ油を使用する必要があります。ただし、図 5-32 に示す通り、BN が高いシリンダ油は燃焼によって発生するスス等をシリンダ油膜内で清浄させる能力が優れています。燃焼性の問題があったり、ピストンリング / シリンダライナの状態が好ましくない悪い場合には清浄分散能力の検討も必要になります。シリンダ油の選定および使用方法について、会社がエンジンメーカーへ相談確認することを推奨します。
適合燃料油 VLSFO とシリンダ油のマッチングにご注意ください。

同様に 4 ストロークエンジンでも適切なトランクピストン型システム油の選定について、会社はエンジンメーカーへ相談確認することを推奨します。

5－4　本船で実施すること

上記で説明した懸念される 5 性状のうち、混合安定性、低温流動性、そして、着火・燃焼性に関し、本船補油中のわずか 30 分程度の短時間に、診断可能な簡易方法があります。

写真 5-33 (a)　バンカーマニホールド

写真 5-33 (b)　補油試料油

＝診断可能な簡易方法＝

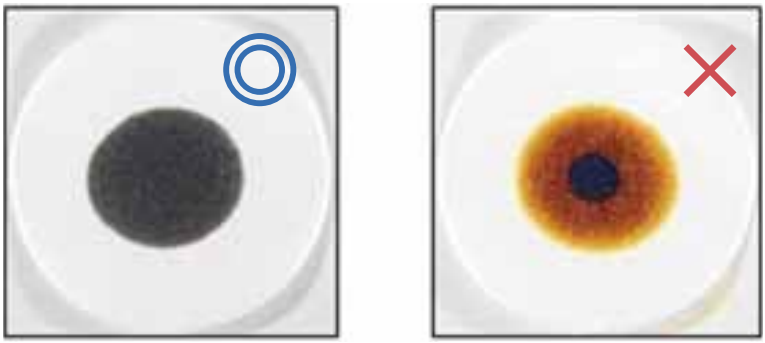
5−4−1　混合安定性の診断

「5-2-1①　混合安定性」で述べたように、燃料油中のアスファルテンが、他の燃料油との混合や熱的な変化、あるいは酸化等の影響を受けて凝集を開始し、さらに粒子が成長した結果、スラッジとして沈殿します。

写真5-34　スポットテストキット

安定性の評価には写真 5-34 に示すスポットテストキットを使用します。これは、ろ紙に加熱した試料油を滴下し、乾燥させた後に現れる円形状の模様よって判定します。

ろ紙をスムーズに通過できない粒子が円形状（内輪）に析出するため、その見え方で判定できます。写真 5-35 の右側写真に示す通り、スラッジの析出しやすい不安定な燃料油ほど濃い内輪が中心付近に濃く形成されます。例えば、ろ紙をストレーナと見なした場合、油が均一に拡がらず中心付近に濃く盛り上がって表れた場合では、ストレーナがすぐ目詰まりを起こすであろうと判定できます。



左：評価 1　安定性問題なし　　右：評価 5　安定性不良

写真 5-35　燃料油混合時の混合安定性試験結果比較

5−4−2　低温流動性の診断

「5-2-3 ③ 低温流動性」の通り、低温流動性とは、低温時の燃料油の流動性を示す指標です。一般の家電冷蔵庫の平均温度は5°C前後なので、補油試料油をコップに採取し、冷蔵庫内に温度計とともに30分程度放置すると、5°C前後での低温環境における燃料油の評価が可能となります。
低粘度でありながら流動性が失なわれているようであれば、本船は傭船者および船舶管理会社に報告し、上記5-2-3に示す対応策の実施を相談してください。

図5-36
家電冷蔵庫での流動点試験

「混合安定性」および「低温流動性」の問題点については、2019年11月11日に当組合で発行したPIニュースNo1044「2020年SOx規制－適合油の「混合安定性」と「低温流動性」にご注意ください」や、同年9月30日に日本海事協会が小冊子で発行したTEC-1190「硫黄分0.50%適合油への切替に関する注意点」もご参照ください。特に同冊子は、添加剤メーカーの解説が掲載されており、実務的な内容です。

5−4−3　着火性の推定

「5-2-5 ⑤着火・燃焼性」の通り、あくまで着火性の目安としてCCAI指標が利用可能です。燃料油料油証明書（BDN）に記載された密度と動粘度を参照し、CCAIの算出が可能です。国際標準規格ISO 8217:2017　石油製品－燃料（F級）－舶用燃料の仕様は船舶用エンジンが稼働するために必要な性状値として、品質等級（グレード）に応じてCCAI　860もしくは870以下を示しました。着火性の目安として乗組員が算出した計算値と比較し、CCAIが同範囲を超える場合には本船は傭船者および船舶管理会社へ報告し、表5-31に示す対応策の検討も必要です。

5－5　第5章まとめ

適合燃料油使用に関する上記の留意点および対応策に備えるため、船主、船舶管理会社、および、乗組員は本船で次に取組むことを推奨します。

1. メーカー（エンジン、油清浄機、燃料油、潤滑油、添加剤等）の協力を得て、燃料を適切に管理するための手順書を見直し、新手順書の策定
2. 過去のトラブル事例の検証
3. 機器の運転状態監視、異変への対応体制の確立
4. 計画的な保守点検整備、メーカー取扱説明書に基づき機器を常に正常な状態に維持
5. 部品や燃料油添加剤の予備品の船上確保等
6. 手順書、トラブル事例、緊急対応などの船員教育、船上緊急対応訓練

第6章 おわりに

現状では、内航海運は若手乗組員が定着せず人員構成が高齢化傾向にあり、人手不足が深刻化しています。また、外航海運では厳しい国際競争の中で現場技能を外国人乗組員に頼り、日本人乗組員は陸上勤務が主体となってきているので理論知識偏重化の傾向にあります。かつては、本船乗組員の構成が全員日本人であった頃の外航船や年齢層がなだらかな構成であった内航船では、自然な流れで海技の伝承を育んできましたが、このような環境の変化で、それが困難となっています。さらに、機関部乗組員は、情報・人財・機器等の総資源（リソース）を有機的に機能させる ERM の能力を身に着けることが STCW 条約や船員法で求められています。

第二章のまとめで述べたように、持続可能な職場作りをする方法が鍵になります。自分自身が思っている快適なイメージを変え、次世代を担う若手乗組員の成長を手伝い、寄り添うような安全空間を整えていくこと（ノンテクニカルスキル）がベテラン乗組員に求められます。これによってチーム全体の相互理解を導き、協調や共感を芽生えさせます。さらに、最強のチームワークを構築します。

一方、海難事故の原因となるヒューマンエラーを発生させないことは不可能です。そして、ヒューマンエラーの連鎖を断ち切るために、人間とシステム及び環境との調和を目指すことも必要です。船主、船舶管理会社、および本船も技術的安全とヒトの弱点の双方をバランスよく調和させる意識を整備の心得に盛り込むことで、着実に機関事故は減少していきます。

よりよい機関管理のためには、機関部乗組員が相互理解の下に最強の One Team を構築し、ヒトが主役となって潤滑油管理、燃料油管理、機関整備等の日常業務を遂行していくことを常に意識し、緊急時にヒトがパニックに陥らず、間違えることなく、冷静に対応できるようなソフトとハードの備えをしていくことが求められます。

参考資料

参考資料 01　船上業務遂行の実力診断　本文 P.6

機関長と一等機関士は、本船運航の目的及び使命を達成するために、乗船後１週間以内の機関部乗組員に実力診断を実施します。

- 機関部全員に各業務項目に点数をつけ、総合評価（３段階：A よくできる、B できる、C もう少し）を行う。評価が 60 点以下の場合には「F」として、能力や知識不足と判定する。
- 機関長と一等機関士は、機関部の管理体制の強化のために、弱点対策に対して寄り添う姿勢で向き合うことをベテラン乗組員と共通認識を持って取り組む。
- ただし、3 か月程度取り組んでも改善を望めない場合には、船長に相談して人事部と乗組員の再配乗を協議するのも一案である。

職位	行動特性	ひとりひとりの業務の基礎力	総合点	平均点	緊急対応	ﾌﾞﾗｯｸｱｳﾄ復旧	ｱﾗｰﾑ対応	SMS/安全管理規定	ｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝ	日常業務	機関運転	定期整備	乗船隻数
機関長	先を急ぐ	75	A	80.9	81	81	78	86	76	86	76	83	15
一等機関士	横着	80	A	84.9	85	85	82	90	80	90	80	87	13
二等機関士	感情に走る	65	B	74.9	75	75	72	80	70	80	70	77	9
三等機関士	思い込み	55	C	69.9	70	70	67	75	65	75	65	72	4
貨物機関士	気づかないことがある	75	B	79.9	80	80	77	85	75	85	75	82	13
見習機関士／その他	ずるをする	30	F	59.9	60	60	57	65	55	65	55	62	2
操機長	先を急ぐ	50	B	74.9	75	75	72	80	70	80	70	77	20
操機手 /A	一つしか見えない	45	C	64.9	65	65	62	70	60	70	60	67	15
操機手 /B	ずるをする	55	C	69.9	70	70	67	75	65	75	65	72	10
操機手 /C	不注意の瞬間	60	C	64.9	65	65	62	70	60	70	60	67	10
操機手 /D	うっかり	45	F	54.9	55	55	52	60	50	60	50	57	5
操機員	忘れる	35	F	39.9	40	40	37	45	35	45	35	42	4
操機員／その他	パニック	30	F	34.9	35	35	32	40	30	40	30	37	2
機関部総合点	–	54	F	65.7	65.8	65.8	62.8	70.8	60.8	70.8	60.8	67.8	–

表：参考 1 実力診断例

参考資料 02　どのような状況でエラーは起きるのか？：本文　P.13

航空整備士の人的要因のセミナーの資料から、船主・船舶管理会社や本船がトラブルの弱点分析をする際に、以下の状況でエラーが）生じることを認識しておけば、着眼の際の助けになります。

（1）入力過程におけるエラー

入力過程におけるエラー	
入力信号をキャッチできなかった。	・視力／聴力に制限がある。 ・視野に制限がある。 ・可視域に制限がある。
入力信号をキャッチしたが、処理しなかった。	・入力信号に関心がない。
入力信号はあったが、錯覚した。	・関心はあるが、解釈を間違えた。 （早合点、勘違い、思い込み）

表：参考 2　入力過程におけるエラー

（2）記憶過程におけるエラー：ラプス

忘れるというエラーを防ぐためには、繰り返し復習して定着させる取組みが必要です。例えば、機関部では、「始業前打合せにおいて担当者が４つの M の視点から重要作業の具体的な整備作業手順、作業危険分析、安全保護具、役割分担、交換部品、使用工具等の注意事項を解説すること」、や「乗組員が非常時のパニック予防策として、発生確率の低い事故も含めて緊急対応の手順を毎日１テーマずつ確認すること」などを繰り返し実施します。

記憶過程におけるエラー（ラプス）	
短期記憶の限界	・記憶に制限がある普通 20 秒と言われている視覚を利用したリハーサル効果により記憶時間を持続させることができる。 ・容量制限がある。通常の人で、７項目（５～９） 例：虹の色、音階（ドレミファソラシ）、ドラマの主な登場人物（七人の侍など） ・電話番号はグループ分けされているから覚えられる。
長期記憶の限界	知識としてはあったが、必要時に全く思い浮かばなかったという場合、記憶そのものを喪失した場合、記憶が変形した場合、である。 ・意味記憶：文字、記号、数字など ・エピソード記憶：入社、結婚式など個人的な思い出 ・手続き記憶：手続き的なもの（自転車の乗り方、箸の使い方など）

表：参考 3　記憶過程におけるエラー

（3）判断過程におけるエラー：ミステイク

判断過程におけるエラー　（ミステイク）
以下などで判断を誤る。 ・配慮不足　・見込み　・近道反応　・機械的反応 ・希望的観測　・憶測　・無謀／短慮

表：参考 4　判断過程におけるエラー

（4）逸脱（バイオレーション）の誘因

逸脱（バイオレーション）の誘因
以下などで規範から逸脱する。 ・時間の圧力 ・仕事が多すぎ ・拙速を尊ぶ（仕事の出来が完璧でなくても、とにかく速い） ・はっきりしない、あるいは状況にあわない規則 ・規則を守らなくても、まげても許される状況 ・大胆さをもてはやす風土 ・適切な設備、資材（リソース）の配備不備 ・管理監督者が黙認、寛容、気配り或いは管理不足 ・安全を重視しない風土（高所作業（２m 以上）だけど、安全帯を着用していない）
対策：言い訳をできないようにしなければならない

表：参考 5　逸脱（バイオレーション）の誘因

（5）出力過程におけるエラー：スリップ

出力過程におけるエラー（スリップ）
出力（行動）の不良⇒いやいやの潜在意識がある。 正しい判断結果にもかかわらず、行動段階で決断結果と違う出力を出してしまう場合には、以下によるエラーを起こす。 ・動作の能力の限界（力、寸法） ・潜在意識 ・動作時間の限界 ・周囲事象に惑わされる
例：開会宣言というところを閉会宣言と言っちゃった。

表：参考 6　出力過程におけるエラー

参考資料 03　問題解決手法：本文 P.18、P.33

解決の方法論を活用すれば、経験が少なくても、論理的な事故分析および対策立案が可能となります。

MUST POINT

- **あなた自身の解決カードを蓄積すべし**
- **最終的に、成功の方程式を確立すべし**

以下は永岡書店編集部 「情報を瞬時に整理しアイディアを生み出す！ノート・メモフル活用術 」を参考に当組合で加工しました。

（1）ロジックツリー：課題を分析して解決策を立案したい！

1．概要

ロジックツリーとは、ビジネス上の課題を論理的に分析し、解決策を立案するときに便利な思考ツールです。考えるべき課題や解決策を構成要素に分解し、さらにその要素を下位の概念に分解していくことで、その論理展開が樹形図（ツリー）として表すことができます。

2．メリット＆特徴

① 課題の全体像を把握できます。
② 問題点の見落としや漏れがなくなります。解決策を探りやすくなります。
③ どの階層の議論か明確になるため、議論のずれを修正しやすくなります。

3．描き方（図：参考 7 ご参照）

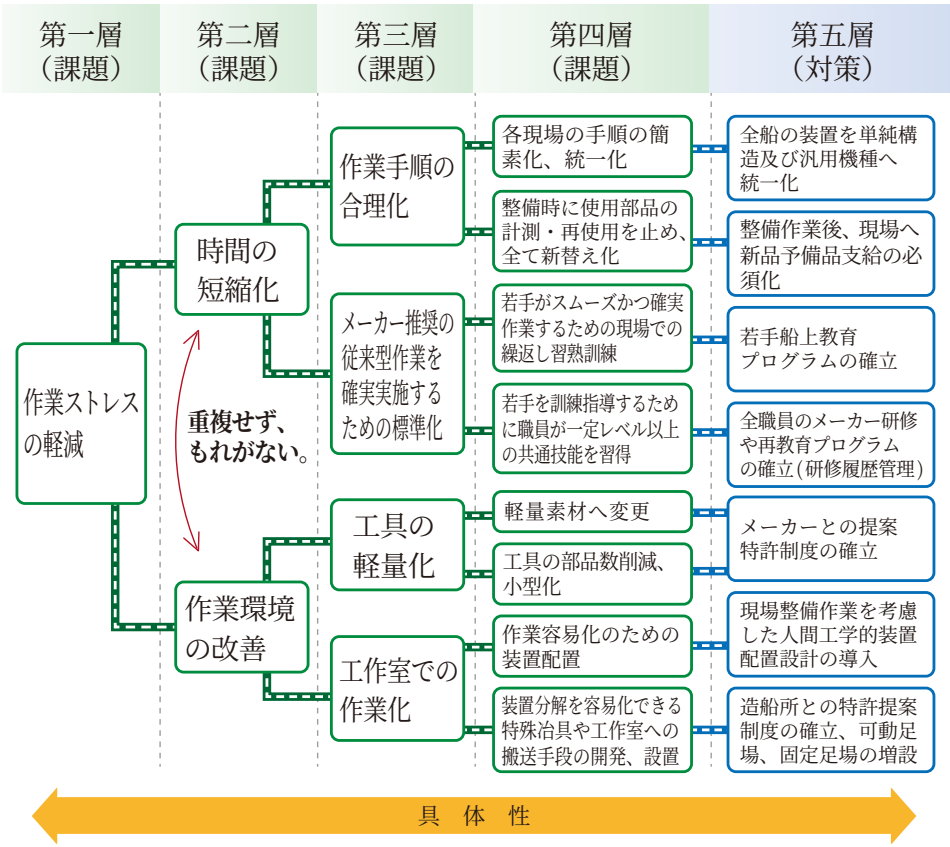
① スタート地点に、解決すべき課題や原因を掘り下げて考えたい問題を書きます。（作業ストレス削減）

② 出発点の課題を、２～４つの構成要素に分解します（５つくらいまで）。このとき、「重複せず、漏れがない」（「MECE: Mutually Exclusive, Collectively Exhaustive」と呼ぶ。）ことを意識することが重要です。また、分解の仕方は課題によって、「結果⇒原因」（Why）、「目的－手段」（How）、「全体－部分」（What）などを使い分けます。

③ 分解した構成要素を、さらに２～４つの構成要素に分解します。それを、下位の階層に広げていき、より具体性が高まるようにします。

④ 同様に、第一層で分解した構成要素も第二層～のように分解していきます。この作業を、第五層くらいになるまで行います

⑤ 書き上がったロジックツリーを参考に、課題の解決手段を客観的に比較・検討します。



図：参考７　作業ストレス削減の検討方法

（2）フィッシュボーン：魚の形で課題とその要因を図解化！

1．概要

フィッシュボーンは「特性要因図」とも呼ばれる発想法です。もともとは、製品の品質管理において品質特性に影響する要因を分析するための定番ツールでしたが、経営分析などにもよく使われています。ロジックツリーにもよく似ていますが、網羅的ではない点が異なります。課題と要因の因果関係がより直感的に把握できるのが特徴です。

2．メリット＆特徴

① 因果関係を可視化し、解決策を探りやすくなります。 課題と要因が直感的に把握できます。

② 要点をまとめたり話し合いを整理しやすくなります。例えば、整備用特殊専用工具開発の新アイディア出しなどにも応用できます。

3．描き方（図：参考 8 ご参照）

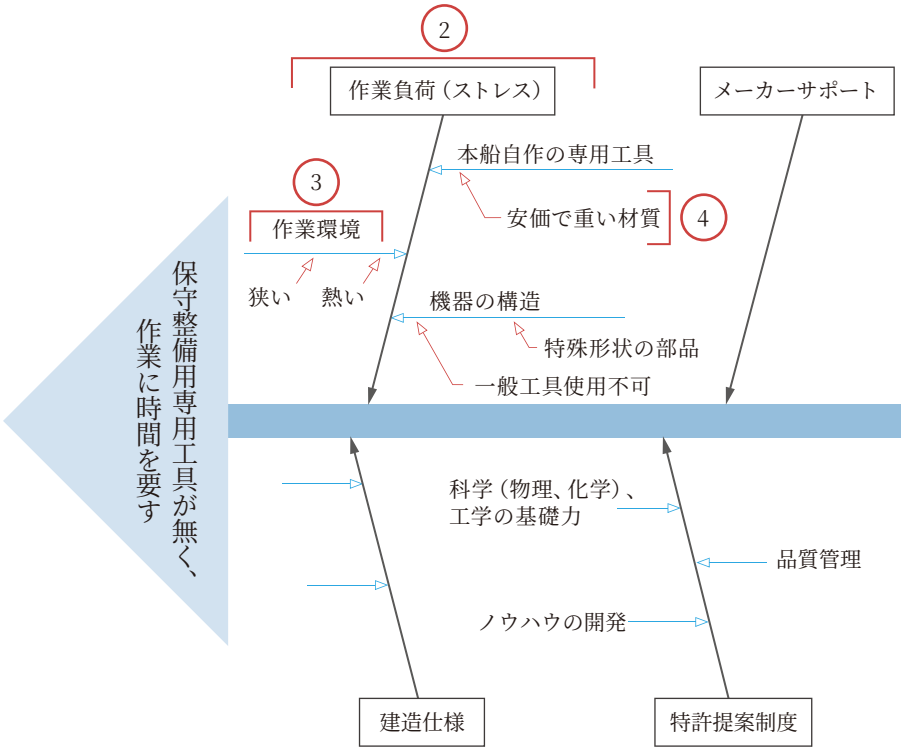
① 三角形と横棒で矢印状の形を描き、三角形の中にテーマ（課題や状況）を書き込みます。これが、魚の頭と骨に当たります。

② テーマを考えるうえで、重要な要因を３～８個抽出します。
背骨の両端にバランスよく大骨を描き、その先に取り上げた要因を書きます。

③ 大骨の先に書いた要因をさらに分解し、３～６個の要素を考えます。
大骨の両側に、中骨を描き、考えた要素をその上に書きます。

④ 中骨に書いた要素をさらにいくつかに分解し、原因や解決策を考えます。
同様に中骨から小骨を伸ばし、考えた要素をその上に書きます。

⑤ フィッシュボーンができたら、これを元にさらに考えやアイディアを発展させてみたり、議論を行います。ロジックツリーにも似ているものの、俯瞰的ではなく、因果関係が直感的に把握できます。



図：参考 8　整備用特殊専用工具の開発

参考資料 04　ノルウェーでの電源喪失事故の詳細：本文 P.29

電気推進の客船が荒天航行中に、完全に電源喪失し、緊急投錨した事故です。
事故詳細は、下表：参考 9 の通りです。

事故詳細	
（1）	2019 年 3 月 23 日 13:50 に、電気推進の客船はノルウェーのトロムソ（Tromsø）からスタヴァンゲル（Stavanger）まで 3 台発電機を運転して南西方向に航行中でした。
（2）	当時の気象は次の通りです。強風：南西からの強風（ビューフォート風力 9-10 または風速 22-25m/ 秒）。荒波 : 西から有義波高 9-10 メートル（平均波周期は 12-13 秒）。
（3）	乗船者数は、旅客 915 名と乗組員 458 名、合計 1373 名が乗船していました。
（4）	3 月 23 日午後の事故発生までに、以下の発電機の異常が発生しました。 （a）3 月 16 日に、3 号発電機（以下 DG3 とします。1 号機、2 号機、4 号機もそれぞれ DG1、DG2、DG4）は過給機が故障したため運転不能状態になりました。次港で修理を行うために、メーカー技師が乗船して過給機の分解作業を行っていました。 （b）発電機を 4 台装備していますが、DG3 は運転不能の為、DG1、DG2、DG4 の発電機 3 台を運転し、スタンバイ機（予備機）のない状態で、推進および船内電源を供給していくことができました。 （c）事故発生前の 3 月 23 日 05:00 ～ 09:04 の間 :「潤滑油低液位および低容量警報」が運転中の発電機から 18 回発生しました。当直者はそれらを確認しましたが、即時復旧することができました。その後、同警報は 13:37 まで発生しませんでした。 （d）13:37：DG4 で、潤滑油圧力低下の為、優先負荷選択遮断（ACB トリップ）警報が発生し、数秒後に再度潤滑油圧力低下警報が発生しました。 （e）13:39：DG1 で、潤滑油サンプタンクの低 - 低液位警報が発生しました。 （f）13:45：DG4 が非常停止し、8 秒後には DG2 も非常停止しました。 （g）13:56：DG2 は再起動されましたが、13:58：DG1 と DG2 は同時に非常停止しました。本船は電源と推進力は完全に喪失し、陸岸（浅瀬）方向へ漂流を開始しました。 （h）30 秒後：非常用発電機が起動し、非常用電源供給を開始しました。

（5）	14:00: 船長は「遭難信号（メーデー）」を発信しました。
（6）	14:06 ～ 14:20：本船は両舷錨を緊急投錨しましたが圧流は止まりませんでした。
（7）	14:22：DG1、DG2、DG4 の発電機の潤滑油サンプタンクへ合計 10.8 m 3 の潤滑油が供給が完了し、DG2 は起動しました。DG2 は手動で配電盤に接続され、給電を開始しました。
（8）	14:29 ～ 14:34：両舷電気推進器が起動され、本船は最低推進速力を確保しました。
（9）	15:05：ヘリコプターによる旅客の救助が開始されました。
（10）	15:24 ～ 15:46：本船は DG1 と DG4 の再起動に成功し、前進微速と前進半速の機関運転を確保しました。
（11）	16:40：最初の救助タグが到着しましたが、荒天のため、本船はタグ係船索を取ることができませんでした。
（12）	3 月 24 日朝まで、ヘリコプターによる乗客の救助が継続されました。
（13）	3 月 24 日 06:30：本船自走中、天候が回復して救助タグ係船索を取ることができ、船尾と船首にタグを配置できました。
（14）	09:15：ヘリコプターによる旅客の救出作業が終了。その結果、旅客 479 名が陸上の救急センターへ受入れられました。
（15）	16:25 頃：本船は最寄りのモルデ港（Port of Molde）に入港しました。

表：参考 9　電気推進客船の電源喪失事故の詳細

参考資料 05　国内運輸安全委員会報告書；電源喪失事例：本文 P.30

「3－2－3　国内運輸安全委員会報告書；電源喪失事例」の 8 件の事故推定原因および対策を表：参考 10 と表：参考 11 にまとめました。

国内電源喪失事例の推定原因

事故No	発生場所	船種、内容等	推定原因	緊急投錨の記述の有無
1	沿岸 北日本	貨物船 （電源喪失）	風雪注意報および波浪注意報の荒天において、沿岸航行中、船内電源が喪失したため、主機を運転できなった。巡視船によるのえい航を試みたが、荒天により断念。錨泊し、乗組員による修理で、船内電源が復旧し、抜錨後に航行を再開した。原因の公表なし。	緊急投錨
2	港内 中日本	自動車運搬船 （電源喪失）	港内にて出航中、船体の振動のため、「船尾スラスタの電動機の電線を結線する圧縮端子」が破断し、単相運転となった。過大電流が流れ、同船尾スラスタの過負荷保護装置が作動し、発電機が負荷の変動に追従できずに過回転となった。過速度保護装置が作動したため、電源を喪失し、主機を運転できなくなった。	—
3	沿岸 中日本	貨物船 （制御電源喪失）	軸発電機にて船内給電しながら沿岸航行中、直流 24V 電源の充放電盤のフューズホルダが接触不良を生じ、制御電源を喪失したため、主機を運転できなくなった。	—
4	沿岸 中日本	貨物船 （制御電源喪失）	沿岸航行中、「交流を直流に変換する変換装置」の冷却ファンが故障したため、同変換装置が過熱し、制御用電源直流 24V を供給できなくなり、主機及び可変ピッチプロペラ等を制御できなくなった。	緊急曳航後、投錨
5	湾内 中日本	貨物船 （電源喪失）	入港のため航路操船中に、発電機 2 台を並列運転していたが、調速機に潤滑油漏れを生じたため、非常停止した。 ディーゼルエンジンで駆動される発電機を 4 台装備しており、通常の狭水道通過時には 2 台を並列運転して、他の 2 台を予備発電機としていた。しかし、本事故発生時、エンジンの潤滑油ストレーナの掃除を行っていたため、予備発電機を始動させないように自動始動スイッチを手動に切り替えていた。そのため、予備発電機による自動バックアップをできなかった。	—

事故No	発生場所	船種、内容等	推定原因	緊急投錨の記述の有無
6	港内 西日本	旅客フェリー （電源喪失）	港内にて出航中、接続箱でＡ電路及びＢ電路の配線に相間短絡があったため、Ａ電路及びＢ電路に短絡電流が流れて主配電盤のA-ＭＣＣＢ（配線用遮断器）の安全保護機能が作動してオフ（断）となった。その際に、A-ＭＣＣＢに接続していた分岐線２本が破損して跳ね飛び、C-ＭＣＣＢ分岐線に接触して生じた相間短絡と、主配電盤壁面と接触して生じた地絡によって、主配電盤母線へ過大な電流が流れた。この結果、ACB（気中遮断器）の安全保護機能が作動してオープン（断）となって、電源喪失が起り、主機が停止した。発電機は継続運転されていたため、ACB の再投入を試みたが、不可だった。	緊急投錨
7	港内 中日本	貨物船 （電源喪失）	港内にて入港着岸中、安全保護装置がセンサー基板の不良により誤作動し、主ボイラが失火したため、蒸気消費量を減少させようとして２台のタービン発電機（2,500kW）のうちの１台の負荷をディーゼル発電機に移行させたが、１台のタービン発電機の ACB を外したのち、手動起動したディーゼル発電機（1,500kW）の運転が不安定となり、両発電機の ACB がトリップし、船内電源を喪失した。	緊急曳航後、投錨
8	湾内 南日本	貨物船 （電源喪失）	機関長は、湾内にて出港後間もなくＣ重油使用中の主機が停止したので、主機の燃焼状態を良くするため、Ｃ重油にＡ重油を混入しようとして切換え弁を半開状態とした。切換え弁が逆止弁と「確証バイアス」されていて、Ｃ重油がＡ重油側へ流れることはないと思い込んでいた。Ｃ重油サービスタンクの油量レベルがＡ重油サービスタンクの油量レベルより高かったので、切換え弁が同時に開放されたことから、Ｃ重油がＡ重油サービスタンクへ逆流入した。発電機用エンジンは、Ｃ重油がＡ重油サービスタンクに流れ、粘度の増加した燃料油が発電機へ供給され、燃料噴射弁の噴霧が不良となり、停止し、電源喪失した。その結果、主機も非常停止した。 切換え弁は、事故後の点検で、逆止弁でないことが判明した。	緊急投錨

表：参考 10　国内電源喪失事例の推定原因

国内電源喪失事例の対策

事故No	技術的対策
1	(1) 荒天遭遇対策をレビューし、必要なら改善実施すること。
2	(1) スラスタのモータの電線を結線する圧縮端子に関し、点検計画を立案し、定期的に実施すること。
3	(1) 直流 24V 電源の充放電盤のフューズホルダに関し、点検計画を立案し、定期的に実施すること。 (2) 事故後ヒューズホルダーの経年劣化が判明したため、全ての管理船のヒューズホルダーを新換えした。
4	(1) 冷却ファンに関し、点検計画を立案し、定期的に実施すること。必要なら交換すること。 (2) 冷却ファンの故障警報装置を設置すること。
5	(1) 発電機等の保守点検作業を行う場合には、航行海域等を考慮すること。浦賀水道、関門海峡航路等、狭い航路を航行する際には、緊急事態に備え、予備発電機を自動始動できるような体制を維持すること。ストレーナの掃除は避ける。
6	管理会社は、全社の安全対策として、本船だけでなく、他の管理船へも展開するため、船長・機関長会議を開催し、社内へ周知徹底した。 (1) 配線を接続箱に固縛。 (2) 破損等があったＭＣＣＢ等を交換。 (3) 電気設備の点検及び保守整備のめに、完成図書及び図面に過去に新設した設備を修正。修理後臨時検査を受検。 (4) 冷凍車用電気設備の絶縁抵抗計測を、絶縁抵抗測定器で、１ヶ月毎に電路と船体の間、相間で実施し、記録する。 (5) 電気設備の内部を定期的に吸引除去清掃し、煤や埃を除去する。 (6) 乗組員に電気設備・機器に関する短絡の危険性の周知、点検及清掃、感電等の安全関し、再度教育実施。 (7) 旅客への情報提供のために、「非常時における旅客に対する情報提供」の方法に船内マイクを有効に使用する。 その他の推奨対策 (1) 主配電盤、ＭＣＣＢの製造会社等と相談し、事故外のものも、整備計画を立てて定期的に交換すること。 冷凍車用電気設備に関する絶縁抵抗計測を管理船舶及び同船舶の乗組員に対し、会社は継続的に確認すること。

事故No	技術的対策
7	管理会社は、本船だけでなく、他の管理船へも以下の安全対策を実施。 （1）スタンバイ中、着岸中、及び船舶輻輳海域では、主ボイラが失火すれば大事故となるため、主ボイラを負荷変動の追従が悪い燃焼モードで運転しない。 （2）ディーゼル発電機は、定期的に通常の負荷を掛けて試運転を行い、定期的に開放整備を行う。 以下の整備を行う。：空気冷却器の新替え、過給機の点検及び開放整備、冷却清水システムの点検及び整備等 （3）非常用ディーゼル発電機は、現状どおり、マニュアルに従って負荷を掛けた試運転を行う。 以下の整備を行う。：配電盤などの点検、ACB の新替え （4）ボイラ安全装置は、作動テストの実施頻度を増やすように変更する。 例えば、4 か月ごとに行っていた作動テストを 2 か月ごとに行う。 以下の整備を行う。：故障したセンサーの新替え
8	（1）弁の開閉は、開閉前に配管図等で系統に与える影響を確認してから実施すること。 （2）A 重油と C 重油の混合は、専用の機器を使用して行い、切換え弁の同時開放で直接混合しないこと。

表：参考 11　国内電源喪失事例の対策

尚、上記表中の詳細は、巻末の参考文献リストに記載した URL から和文をご参照ください。

参考資料 06　推進力喪失、電源喪失直後の緊急対応チェックリスト：本文 P.35

以下は、緊急時の対応チェックリストです。

CHECK LIST

□ 船長は、独立した文書として「緊急手順マニュアル」に従うこと。
安全管理規程：「推進力喪失」「電源喪失」の手順書・チェックリスト・書式等

□ 記録：事故発生時の船位と時刻を航海ログブックと機関部ログブックへ正確に。

□ 安全確保の手段として、船速を低下させるために、投錨が必要な場合もある。制限された水域で操船するときは、直に錨を使用できるように「障害物を除去」すること。

□ 機関室と船橋との間で、良好で効率的なコミュニケーションを保つこと。キーパーソンが状況を完全に理解し、情報に基づいた決定を下せるように、機関室は船橋と以下の重要な情報を交換すること。関係部署へ必要な情報を迅速に伝達すること。

・各部署は、必要なものは何か？
・それぞれの部署で何が起こっているのか？
・本船各部が直面している問題は何か？
・現時点でどのようなリスクが存在しているのか？等

仮に、緊急時に機関室や船橋の要員が重要な情報を交換しなければ、キーパーソンが実情を十分に認識できず、効果のない決定を下す危険性がある。

CHECK LIST

□ 非常用発電機が自動起動不可だった場合に、起動を試みるために、乗務員を同発電機室へ直行させること。

□ 非常操舵部署を発令する場合には、乗組員を操縦室に直行させること。
ただし、主機が停止後、前進方向への行き足が低下したり、舵効きの最低船速以下に減速した状態となり、舵効き効果が低下することを船長と航海士は予測・認識すること。

□ 電源喪失やボイラ非常停止の後に、スチームタービン装置が停止していれば、そのローターシャフトの湾曲を防ぐために、何等かの方法でターニングを実施しなければならない。

□ 電源喪失中に、主配電盤への電力を回復するために、非常用配電盤からの電力を主配電盤へ逆（フィードバック）給電することも可能（「３－３－３（2）　２）　復旧作業時の注意」ご参照）。

□ 電流が過負荷の場合、過電流が原因で遮断器がトリップした後に、遮断器（ACB やブレーカー）の安全保護装置のリセット（初期化）ボタンを使用して、保護回路をリセットすること。

□ 再起動を可能にするために、主機操縦レバーを一度停止位置に設定する必要がある。電源が完全回復するまでの間は、主機の操縦権は機関室に保持すること。

参考資料 07　パニック対策のために必要なこと：本文 P.42

（1）動けない＆考えられない

米国 9・11 テロやハリケーン・カトリーナなどに遭遇して生き残った人たちへのインタビューをまとめた「アマンダ・リプリー　岡真知子：訳『生き残る判断　生き残れない行動』／光文社」によれば「危機発生時に、まずヒトは「否認」する。次は、取るべき行動を考える「検討」プロセスに入り、そして、その検討結果を「実行」する。しかし、多くの場合ヒトは「気づき」の後に、「腰が抜けて、茫然自失状態」に陥る。他方、特殊任務に選抜された者は「育った環境でうまくストレス対応できる能力を備えた共通点を持つ。」とのことです。

すなわち、ヒトは危険にさらされた時に、現状に対して「自分は大丈夫」や「そんなはずはない」と自分を守る方向に思考するという正常性バイアスに進みます。しかし、こうした緊急時においても、本船の乗組員はパニックに陥らないように、うまくストレス対応できる能力を鍛え、現状に即応することが求められます。

（2）パニックの予防策

前述のように、ヒトは非常事態に遭遇した際に、動けない・考えられないというパニック状態に陥ります。これを防止するにあたって大事なことは、次に挙げる視点から、緊急時における制御可能な対策を計画しておくこと、平常時には制御可能な対策を実施しておくこと（非常時のために計画したことを実施できるように常に備えておくこと）です。

① 緊急時の不安要素（違和感）を軽減する
② 現場で対応できるメンタル（心）を強化する

著書「自然災害の行動科学」によれば、パニック防止のために、平常時と緊急時に対するソフトとハードに切り分けて検討することが可能としており、本船の場合には、対策に関し、以下の定義が可能と考えられます。

ソフト対策（情報や社会心理学的な要素を含んだ対策のこと）：
・・・情報伝達、トラブル復旧手順、状況判断等の訓練など

ハード対策（物的・人的資源を動員する対策のこと）：
・・・装置の再点検、改良や、人員の確保、非常機器運転、応急修理など

それらの 2 つずつの分類軸を組み合わせた「災害避難時のパニック防止対策表」では、4 つのタイプの対策を抽出可能なので、一例として電源喪失のパニック防止策を、表：参考 12 に作成してみました。

例えば、平常時のソフト対策は「発生確率の低い事故も含めて緊急対応訓練」を繰り返し行う。ハード対策は「非常用発電機から冷却水ポンプや空気圧縮機などの大事な機械を動かせる配線に改造すること」や「非常用発電機などの重要機器を局数変更などの低電力で運転できる仕様へ変更すること」などを準備することです。

会社や本船が緊急対応の枠組みを策定する時に、これらをヒントとしていただければと思います。

パニック防止対策

	1. ソフト対策	2. ハード対策
A. 平常時	(1) 情報伝達体制 / 役割分担の明確化・整備。 (2) マニュアルの整備（復旧手順、非常用発電機から逆給電、非常用配電盤から常用発電機起動空気圧縮機を起動できる、非常用発電機からプラントアップなど）。 (3) 定期的に想定外状況も含め電源喪失復旧訓練の実施（通常順次起動、気中遮断機故障、非常用発電機不起動、常用発電機不起動、緊急投錨等）。 (4) 事故例に基づく最悪の事態が発生するものとして、シミュレーション（心を強化）。	(1) 常用発電機、および、非常用発電機の燃料供給配管の再点検。 (2) 非常用発電機起動用、および、船内制御電源用バッテリーの定期点検。 (3) 定期整備方法、不具合配管、構造、配線、設備の改善。 (4) 非常用発電機、非常用配電盤から運転可能な機器・装置の再点検。 (5) 非常用配電盤から常用発電機起動空気圧縮機を、空調機を起動できる給電配線改造。プラントアップに必要な補機を低電力可変仕様へ変更。（船級協会、メーカー、造船所とあらかじめご相談ください。） (6) 非常用発電機やバックアップ代替給電装置の試運転。 (7) 重要機器の部品の確保。 (8) 機関室過熱の一時避難用のスペース確保。
B. 危急時	(1) トラブル現場状況の正確な情報報告。 (2) 適切な状況把握、復旧作業手順指示の迅速な伝達。 (3) 復旧見通しについての状況報告。 (4) 他部署との連携。 緊急投錨や貨物への特別体制を提案。 (5) その他の安心情報の提供。	(1) 他部からの要員の緊急動員。 (2) 非常用発電機、バックアップ代替給電装置の運転。 (3) 機関室過熱防止、不具合装置の修理 負傷者の救護。 (4) 本社との連絡手段の確保。

表：参考 12　電源喪失に対するパニック防止対策

参考文献リスト（貴重なアドバイスと参考文献の許可を頂いた皆様へお礼申し上げます。）

章	対象頁	該当箇所	文献名
第二章	P.4	航海当直基準	航海当直基準　（平成八年運輸省告示第七百四号）（最終改正 平成二五年三月一日国土交通省告示第一五八号）国土交通省 URL http://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201703/00006415.pdf
第二章	P.6	６つの力	濱潟 好古「防衛大流 最強のリーダー」幻冬舎
第二章 参考資料	P.8/84	航空整備士の人的要因のセミナー 参考資料 02 どのような状況でエラーは起きるのか？	航空機整備におけるヒューマンファクターセミナー（1 日コース）公益社団法人　日本航空技術協会 URL　https://www.jaea.or.jp/
第二章	P. 18	保守事故	「保守事故」（Managing maintenance error : a practical guide ）ジェームズ・リーズン、アラン・ホッブス（訳 高野 研一 ら）日科技連出版社
第三章	P.26	3-2-1 米国での推進力喪失事故：船橋における主機の誤操作	米国国家運輸安全委員会　事故報告書 NTSB/MAR-11/04、PB2011-916404 「Tankship Eagle Otome」 URL https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/MAR1104.pdf
第三章 参考資料	P.27/90	3-2-2 ノルウェーでの電源喪失事故：電機推進船における発電機への不十分な潤滑油補給 参考資料 04 ノルウェーでの電源喪失事故の詳細	ノルウエー運輸安全委員会　暫定事故報告書 Interim Report 12 November 2019 On the investigation into the loss of propusion and near grounding of Viking Sky, 23 March 2019, URL https://www.atsb.gov.au/publications/investigation_reports/2019/mair/me-2019-005/ URL https://www.aibn.no/Marine/Undersokelser/19-262

章	対象頁	該当箇所	文献名
第三章 参考資料	P.30/92	3-2-3 国内運輸安全委員会報告書；電源喪失事例 参考資料 05 国内運輸安全委員会報告書；電源喪失事例	国内運輸安全委員会報告書 事故 1　URL　http://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-inci/2019/keibi2019-6-3_2018hd0069.pdf 事故 2　URL　http://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-inci/2018/keibi2018-11-7_2018yh0029.pdf 事故 3　URL　http://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-inci/2016/keibi2016-3-9_2015yh0132.pdf 事故 4　URL　http://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-inci/2015/keibi2015-4-9_2014yh0152.pdf 事故 5　URL　http://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-inci/2015/keibi2015-9-19_2015yh0029.pdf 事故 6　URL　http://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-inci/2019/MI2019-3-2_2018tk0008.pdf 事故 7　URL　http://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-inci/2013/MI2013-11-1_2013tk0012.pdf 事故 8　URL　http://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-inci/2012/keibi2012-10-47_2012mj0062.pdf
第三章	P.35	図 3-11	写真出典：DVD「制限水域における安全操船　錨泊操船」日本船長協会 URL https://captain.or.jp/?page_id=2910
第四章	P.44	写真 4-1（a），（b）	写真出典：07 August 2018 Contaminated Bunkers damage hundreds of ships Do authorities really care? Prelude to 1 January 2020 safety problems? An INTERTANKO Critical Review（INTERTANKO） URL https://www.intertanko.com/topics-issues/issuearticle/contaminated-fuels-an-intertanko-critical-review?topicID=115
第四章	P.45	戸田総合法律事務所	「Bunker 問題における証拠保全の重要性 」青木弁護士、山谷海事補佐人　戸田総合法律事務所 URL　http://www.todalaw.co.jp/index.html
第四章 第五章	P.47/78	表 4-3 写真 5-33（b）	写真＆画像出典：教本「BUNKERING」JSU,IMMAJ,MOL Engineering 製作 URL　http://www.immaj.jp/

章	対象頁	該当箇所	文献名
第五章	P.50	図 5-1	米国エネルギー情報局（EIA） HP 「Coming changes in marine fuel sulfur limits will affect global oil markets DECEMBER 14, 2018 (based on International Marine Organization, European Union, and China ' s Ministry of Transport)」 URL https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=37793
第五章	P.51	図 5-2 5-1-1 製造方法による特徴	「2020 年の IMO 規則適合燃料油について」渡邊学 JXTG エネルギー㈱　日本舶用工業会　第 27 回舶用技術フォーラム　2019 年 9 月 19 日
第五章	P.51/54/76	5-1 新規制適合油で懸念されていること 5-2 燃料油を安全使用するための留意点と対策 5-3 低硫黄化に伴うシリンダ油の適応策	2019ClassNK 技術セミナー （6 月 6 日東京、6 月 12 日神戸、6 月 13 日今治、6 月 14 日広島 ） URL https://www.classnk.or.jp/classnk-rd/seminar/2019/0606.html
第五章	P.51/54/76	5-1 新規制適合油で懸念されていること 5-2 燃料油を安全使用するための留意点と対策 5-3 低硫黄化に伴うシリンダ油の適応策	Class NK ガイドブック「2020 年からの SO x排出規制適合油の使用に関するガイダンス（2019 年 3 月)」 本ガイダンスは、同協会ホームページにてマイページのユーザー登録をすることにより、マイページの「ガイドライン」のページでご覧頂けます。 URL：http://www.classnk.or.jp
第五章	P.51/54/79/80	5-1 新規制適合油で懸念されていること 5-2 燃料油を安全使用するための留意点と対策 5-4-1 混合安定性の診断 5-4-2 低温流動性の診断	Class NK ガイドブック「硫黄分 0.50% 適合油への切替に関する注意点 [第 1 版]（2019 年 9 月)」, URL：https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/soxpm/soxbooklet201909ja.pdf

章	対象頁	該当箇所	文献名
第五章	P.51/52	5-1-1　製造方法による特徴 図 5-3	「石油製品のできるまで」 石油連盟　2010 年 6 月 URL：https://www.paj.gr.jp/about/publications/
第五章	P.51/52	5-1-1　製造方法による特徴 図 5-3	「舶用低硫黄燃料油の製造方法と供給体制」林利昭 マリンエンジニアリング学会　学会誌　第 43 巻 第 2 号（2008） URL：https://www.jstage.jst.go.jp/article/jime2001/43/2/43_2_164/_pdf/-char/ja
第五章	P.51/52	5-1-1　製造方法による特徴 図 5-3	「低硫黄燃料油の製造方法と品質」 林利昭 マリンエンジニアリング学会　学会誌　第 50 巻 第 3 号（2015） URL：https://www.jstage.jst.go.jp/article/jime/50/3/50_341/_pdf
第五章	P.51/52	5-1-1　製造方法による特徴 図 5-3	「一般海域 2020 年適合油の製造方法と品質について」林利昭　海上技術研究所　日本船舶機関士協会　技術講演会 2019 年 11 月 15 日 URL：http://www.marine-engineer.or.jp/keihin/
第五章	P.51/52	5-1-1　製造方法による特徴 図 5-3	「バンカー重油の着火性評価」 三ツ井裕太　JXTG　中央技術研究所　JXTGTechnical Review 第 55 巻　第 3 号（2013 年 10 月） URL：https://www.eneos.co.jp/company/rd/technical_review/pdf/vol55_no03_07.pdf
第五章	P.51/54 /63	5-1-1　製造方法による特徴 図 5-5 図 5-15　のグラフ	「陸舶中・大型ディーゼル機関用燃料油―低質燃料油の使用法と大気汚染」淡井 信幸 / 花島 脩 / 横沢 才二（山海堂）　1994
第五章	P.53	図 5-4	米国エネルギー情報局（EIA）　HP 「Crude oils have different quality characteristics　JULY 16, 2012（international crude oil handbook density and sulphur content of selected crude oil）」 URL：https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=7110#

章	対象頁	該当箇所	文献名
第五章	P.57/64 /67/71 /73	写真 5-9 写真 5-17 図 5-18 写真 5-22 写真 5-25 写真 5-29	「Sulphur Cap 2020 Tackling a Paradigm Shift in the Shipping Industry　6 sept 2018」 Kjeld Aabo（Director New Technologies, MAN Energy Solutions） Charlotte Rojgaard（Bureau Veritas） Fuel 2020 Circle SMM in Hamburg Sep. 2018 CIMAC Circle at SMM URL：https://www.cimac.com/cms/upload/events/circles/circle_2018_SMM/CIMAC_Circle_SMM_2018.pdf
第五章	P.58/66	写真 5-10 写真 5-20	国土交通省 HP 「2020 年 Sox 規制適合舶用燃料使用手引書（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）2019 年 10 月 URL：https://www.mlit.go.jp/common/001307484.pdf
第五章	P.59	表 5-11	「損傷のまとめ」日本海事協会会誌（No312、No316）
第五章	P.66	写真 5-20	CIMAC Guideline「Cold flow properties of marine fuel oils」CIMAC WG7 Fuels. 2015 URL：https://www.cimac.com/cms/upload/workinggroups/WG7/CIMAC_WG7_2015_01_Guideline_Cold__Flow_Properties_Marine_Fuel_Oils_final.pdf
第五章	P.68	写真 5-23	Guidance for shipowners and operators on MARPOL Annex　VI Sulphur Regulation「Sulphur 2020: What ’ s your plan?」Lloyd ’ s Register URL：https://info.lr.org/l/12702/2018-06-04/4yx18k/12702/188510/mo_sulphur_2020_guidance_document_201805.pdf
第五章	P.69/73 /80	表 5-24 5-2-5 ⑤ 着火・燃焼性 5-4-3　着火性の推定	ISO 8217:2017　石油製品ー燃料（F 級）ー舶用燃料の仕様　Petroleum products -- Fuels（class F）-- Specifications of marine fuels 日本規格協会　URL：https://www.jsa.or.jp/
第五章	P.76	5-3 低硫黄化に伴うシリンダ油の適応策	「舶用潤滑油の性能と評価」竹島茂樹　日本マリンエンジニアリング学会誌　第 45 巻　第1号（2010） URL：https://www.jstage.jst.go.jp/article/jime/45/1/45_44/_pdf/-char/ja

章	対象頁	該当箇所	文献名
第五章	P.76	5-3 低硫黄化に伴うシリンダ油の適応策	「近年の舶用エンジン油を取り巻く環境と対応技術」　守田洋子　ENEOS Technical Review　第 54 巻 第 1 号（2012 年 2 月） URL：https://www.noe.jxtg-group.co.jp/company/rd/technical_review/pdf/vol54_no01_07.pdf
第五章	P.76	5-3 低硫黄化に伴うシリンダ油の適応策	CIMAC Recommendation 31「The Lubrication of Two-Stroke Crosshead Diesel Engine」CIMAC WG8　Marine Lubricants 2017 URL：https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Final_Draft_Recommendation_31_2017-06-23_CIMAC_WG8-SG4_2-Stroke_Lubrication.pdf
第五章	P.79	スポットテストキット 写真 5-34 写真 5-35	日本油化工業　船上テストキット：スポット試験 URL：https://www.nipponyuka.jp/products08.html
参考資料	P.86/88	参考資料 03 問題解決手法 （1）ロジックツリー （2）フィッシュボーン	「情報を瞬時に整理しアイディアを生み出す！ノート・メモ フル活用術」　永岡書店編集部
参考資料	P.98	参考資料 07 （1）動けない＆考えられない	「The Unthinkable: Who Survives When Disaster Strikes – and Why（Amanda Ripley）」岡真知子訳、アマンダ・リプリー著「生き残る判断 生き残れない行動 大災害・テロの生存者たちの証言で判明」　光文社
参考資料	P.98	参考資料 07 （2）パニックの予防策	「安全・危機管理に関する考察（その 2）緊急時の人間行動特性」古田 富彦 国際地域学研究第 6 号 2003 年 3 月　東洋大学国際地域学部 URL：https://toyo.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=3884&file_id=22&file_no=1
参考資料	P.98	参考資料 07 （2）パニックの予防策	「自然災害の行動科学」三上俊二 福村出版

著者
日本船主責任相互保険組合
ロスプリベンション推進部　桑田敬司

JAPAN P&I CLUB
日本船主責任相互保険組合
コーポレートサイト www.piclub.or.jp

●東京本部
〒 103-0013　東京都中央区日本橋人形町 2 丁目 15 番 14 号
Tel：03-3662-7229 Fax：03-3662-7107

●神戸支部
〒 650-0024　兵庫県神戸市中央区海岸通 5 番地　商船三井ビル 6 階
Tel：078-321-6886 Fax：078-332-6519

●福岡支部
〒 812-0027　福岡県福岡市博多区下川端町 1 番 1 号　明治通りビジネスセンター 6 階
Tel：092-272-1215 Fax：092-281-3317

●今治支部
〒 794-0028　愛媛県今治市北宝来町 2 丁目 2 番地 1　今治北宝来町ビル 5 階
Tel：0898-33-1117 Fax：0898-33-1251

●シンガポール支部　Singapore Branch
80 Robinson Road #14-01 SINGAPORE 068898
Tel：65-6224-6451 Fax：65-6224-1476

● JPI 英国サービス株式会社　Japan P&I Club (UK) Services Ltd
5th Floor, 38 Lombard Street, London EC3V 9BS U.K.
Tel：44-20-7929-3633 Fax：44-20-7929-7557