

## 第3章 緊急事態に備えて

機関部の使命は、「安定した推進力維持および電源確保」です。しかし、これらを確保できない場合に事故に至る恐れがあります。

推進力や電源を喪失した場合の影響には、一次的なものや二次的なものがあります。

### 1 | 一次的（直接的）な災害影響

図 3-1 に示す事象です。



図 3-1 運航に重大な影響を及ぼす P & I 事故

### 2 | 二次的な災害影響

下記のようなことが二次的な災害影響としてあります。

人的災害（傷病および死亡等）

環境に対する影響（汚染や破壊等）

財物や貨物の損害に対する損害賠償請求

「オフハイヤー」による経済損失

メディア報道による風評被害 等

乗組員は、ベテラン・若手とも各社の SMS や安全管理規定に基づいた各種業務に携わる際、前記の損害影響を理解することによって、日常的に当該業務に関わるリスク評価を習慣化していくと一段高い安全レベルの心構えが身に付きます。

### 3 - 1 推進力や電源の喪失の状態の共通認識

推進力や電源の喪失の原因はさまざまですが、部分的な場合と完全な場合があります。それらを的確に把握しなければ復旧体制を構築できません。船橋当直者も陸上の管理者も、機関部からの第一報を受信したら、簡潔かつ正確に状況を確認することが重要です。推進力や電源の喪失は、表 3-2 のとおり、自航不能損傷やデッドシップという完全な喪失状況と、その他の部分的な喪失状況に整理することによって的確な把握が可能です。

#### 推進力喪失と電源喪失の状態

##### (1) 推進力喪失

###### 部分的な喪失：出力低減損傷の場合

- ・主機の回転数減速
- ・主機の減筒運転
- ・主機の過給機カット

###### 完全な喪失：自航不能損傷の場合

- ・主機を運転不可
- ・部分的な状態なれど、環境影響により推進力供給や船体姿勢制御に至らない
- ・主推進プラントの運転条件が不成立  
     運転条件不成立：電力不足のためボイラや補機を運転できず

##### (2) 電源喪失

###### 部分的な喪失：一部の電源装置から電力供給可能な場合

- ・ディーゼル発電機使用・起動不可、主配電盤システムが使用不可
- ・非常用発電機（発電機による電源供給不可）
- ・バッテリー（非常用発電機と発電機の両方から電源供給不可）

###### 完全な喪失：デッドシップの場合

- ・いずれの電源装置からも電源供不可
- ・原動機起動用の起動空気、バッテリー、油圧等の貯蔵エネルギーが使用不可

表 3-2 部分的喪失と完全喪失

## 3 - 2 推進力と電源喪失の事例

国内外の事例を紹介します。

### 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

米国のテキサス州で、石油タンカーが運河（人工河川）の航行中に推進力を完全に喪失し、衝突および貨物の原油流出に至った事故です。

#### 事故概要

満載の石油タンカーが運河を航行中に予定時間よりも遅れていたため、水先人の指示によって、船長は主機回転数を急速に上げることを決断。増速プログラムバイパスボタンの操作を試みましたが、誤ってその横にあった主機非常停止ボタンを押してしまい、その結果、主機が危急停止し推進力を完全に喪失しました。



図 3-3 運河での事故

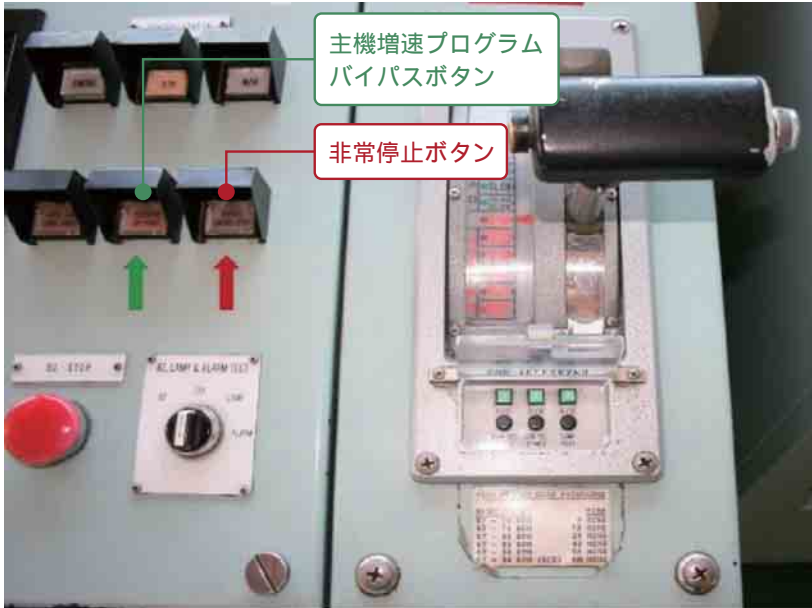


写真 3-4 非常用停止ボタンと主機増速プログラムバイパスボタン

危急停止後、右舷錨による緊急投錨を行いました。船体姿勢が制御不能となったため、接岸中の船舶に左舷船首が衝突しました。その後、さらに正面から航行してきたバージが右舷船首に衝突しました。これにより、右舷バラスタタンクと1番センター貨物タンクが破孔し、推定 462,000 ガロンの貨物原油が船外に流出しました。

### 3-2-2

#### ノルウェーでの電源喪失事故：

#### 電気推進船における発電機への不十分な潤滑油補給

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。

#### 事故概要

2019年3月23日13:50に、電気推進の客船は、計1,373名（旅客915人、乗員458名）を乗せ、ノルウェーのトロムソ（Tromsø）からスタヴァンゲル（Stavanger）に向けて3台発電機を運転して南西方向に航行中でした。



図 3-5 航路地図

その1週間前の3月16日に3号発電機（以下、DG3と記す。1号機、2号機、4号機もそれぞれDG1、DG2、DG4と記す）は過給機が故障し運転不能状態だったので、メーカー技師が乗船してDG3の過給機の分解作業を行っていました。

当時の気象は、強風と荒波（南西からのビューフォート風力9～10、有義波高9～10メートル）で、本船は荒天航海中でした。運転中のDG1、DG2、DG4は同日の早朝より潤滑油低位警報および圧力低下警報を数時間に渡り頻発していました。13:37から同発電機は順次非常停止したため、乗組員は停止した発電機の再起動の操作を行いましたが、13:58に全ての発電機が停止してしまい、その結果推進力を完全に喪失しました。本船は陸岸（浅瀬）方向（南東）へ漂流を開始したため、2分後に遭難信号を発信し8～22分後に緊急投錨（右舷、左舷の順に投錨）しましたが、本船の圧流を止めることはできませんでした。DG1、DG2、DG4へ潤滑油を補給し24～36分後に乗組員はDG2を手動で再起動し主電源へ電源投入後、両舷電気推進器を起動できたので、本船は最低推進速度を確保できました。1時間09分後に、ヘリコプターによる旅客救助が開始されましたが、1時間26分～1時間48分後に、他の2台のDGも再起動し、前進半速を確保できました。そして26時間29分後に、最寄りのモルデ港へ入港できました。

詳細は、「参考資料 04 ノルウェーでの電源喪失事故の詳細」(P.90) をご参照ください。

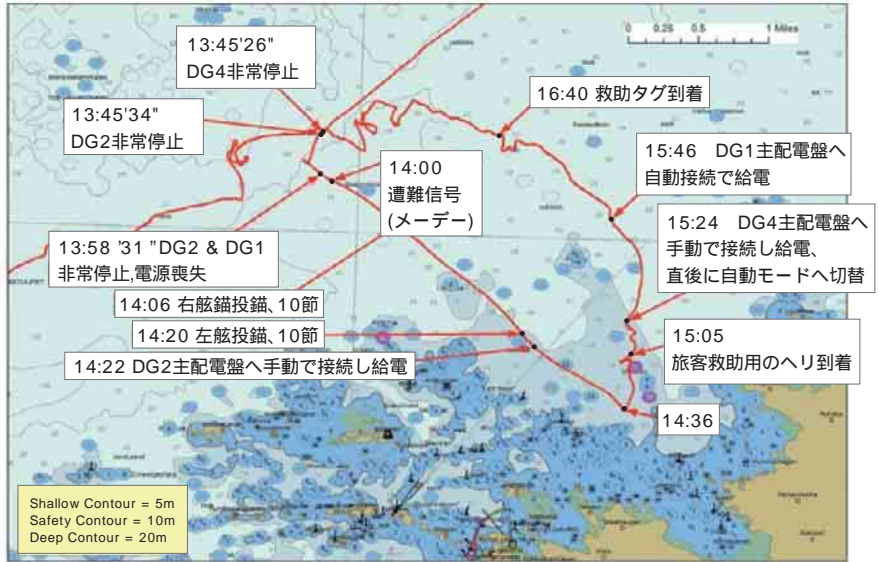


Figure 1. Sequence of events. Source: MAIB

図 3-6 事故時航跡

## 原因

- (1) 本船発電機のシステム潤滑油量に関するエンジンメーカー推奨はタンク容量の 68 ~ 75% です。しかし、事故当時の潤滑油量は 28 ~ 40% でした。荒天によるピッチングやローリングは、システム潤滑油の液面をさらに低下させ、潤滑油供給ポンプの吸込み能力を喪失させた結果、同潤滑油の圧力が低下し、安全装置が作動して発電機が非常停止しました。
- (2) 荒天航海の備えに関し、次の点について海上人命安全 (SOLAS) 条約に規定されている安全な帰港 (Safe return to port) に基づいたリスクアセスメントが不足していました。

- スタンバイ発電機が無い
- 潤滑油の供給量が少ない

### 3-2-3 国内運輸安全委員会報告書：電源喪失事例

運輸安全委員会の事故検索データベースより、2011年から2018年の間で、航行中に、船内電源喪失または制御電源喪失をし、運航不能に至った船舶は8隻（うち港湾内5件）でした。（除く プレジャーボート、水上オートバイ、ミニボート、遊漁船、漁船、押船）

事故 1 荒天遭遇

事故 2 発電機の過速度保護装置

事故 3 直流 24V 制御電源の喪失

事故 4 制御回路の冷却ファンの故障

事故 5 入港スタンバイ中に、予備発電機の潤滑油ストレーナ掃除のため、自動起動を手動へ切り替え、運転中の発電機が调速機異常で停止し、バックアップできず

事故 6 運転中発電機の ACB の安全保護装置作動

事故 7 安全保護装置のセンサー故障のため、ボイラと主機が危急停止

事故 8 A 重油と C 重油の切り替え弁を中間位置として、C 重油が A 重油のタンクへ逆流して、A 重油運転中の発電機が危急停止等

詳細は、「参考資料 05 国内運輸安全委員会報告書；電源喪失事例」（P.92）を参照ください。

### 3 - 3 緊急事態発生時に取るべき本船対応

#### 3-3-1 機関システム

緊急事態発生時の本船対応を説明する前に、本船の機関室内にある機関装置の配置と関係を説明します。機関室主要機器の用途は下記のとおりで、図 3-7 はそれらの一般的な配置です。

- (1) 主機関&軸系：推進力発生
  - (2) 発電機：電力供給
  - (3) ボイラ：燃料や貨物の加熱源
  - (4) 非常用発電機：発電機から電源供給不可時に、最低限の装置へ電力供給
  - (5) 非常用バッテリー：非常用発電機から電源供給不可時に、制御系と一部照明へ電力供給
- 供給

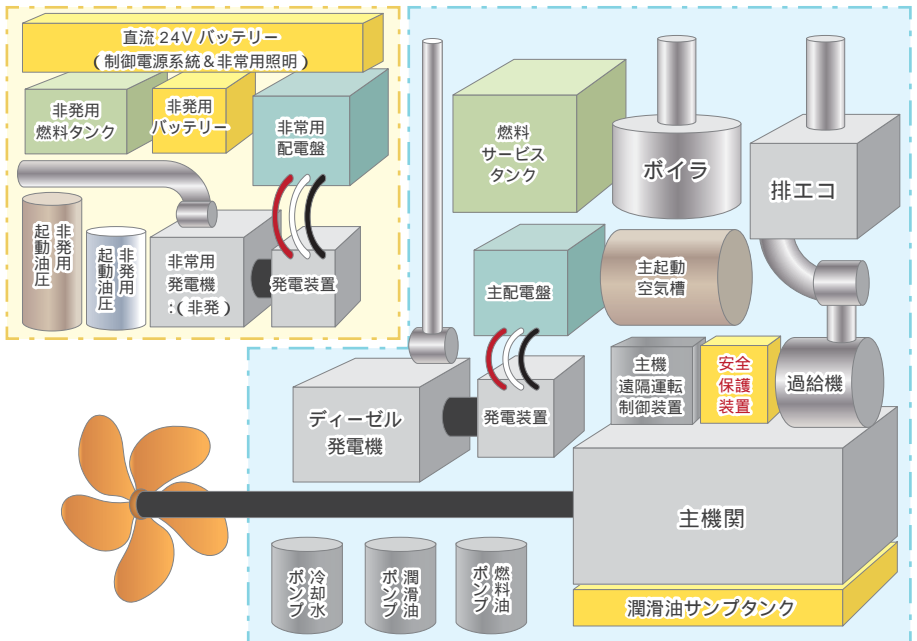


図 3-7 機関室装置配置図(ディーゼルエンジンプラント)



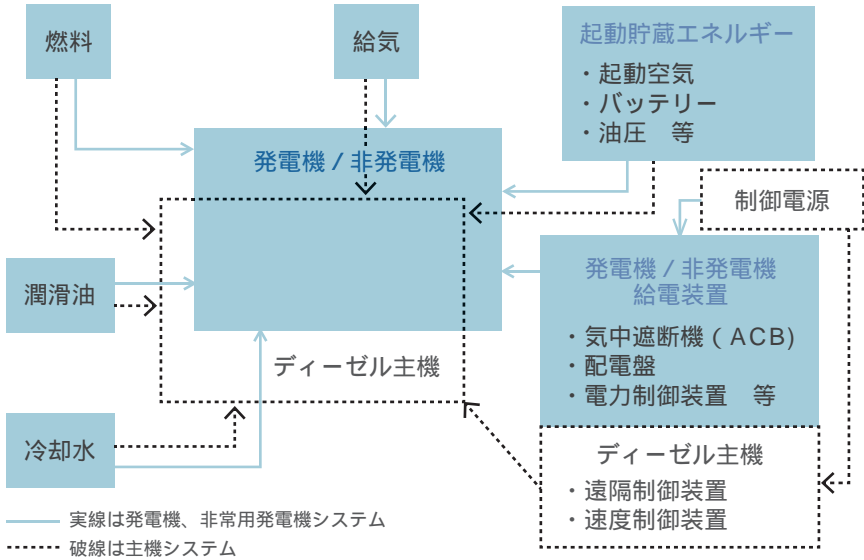


図 3-8 ディーゼルエンジンシステムの基本構成図

主機、発電機および非常用発電機等のディーゼルエンジンは、燃料・潤滑油・冷却水・給気・制御装置・給電装置・制御電源のいずれかに不具合が生じても正常に運転できず、推進力または電源の喪失に至ります。図 3-8 はディーゼルエンジンのシステム基本構成図です。

### 3-3-2 推進力喪失の解析

推進力喪失に至る原因を解析します。図 3-9 は、フィッシュボーンアナリシスによって、推進力喪失を主要因とその要素に分解し図式化したものです。

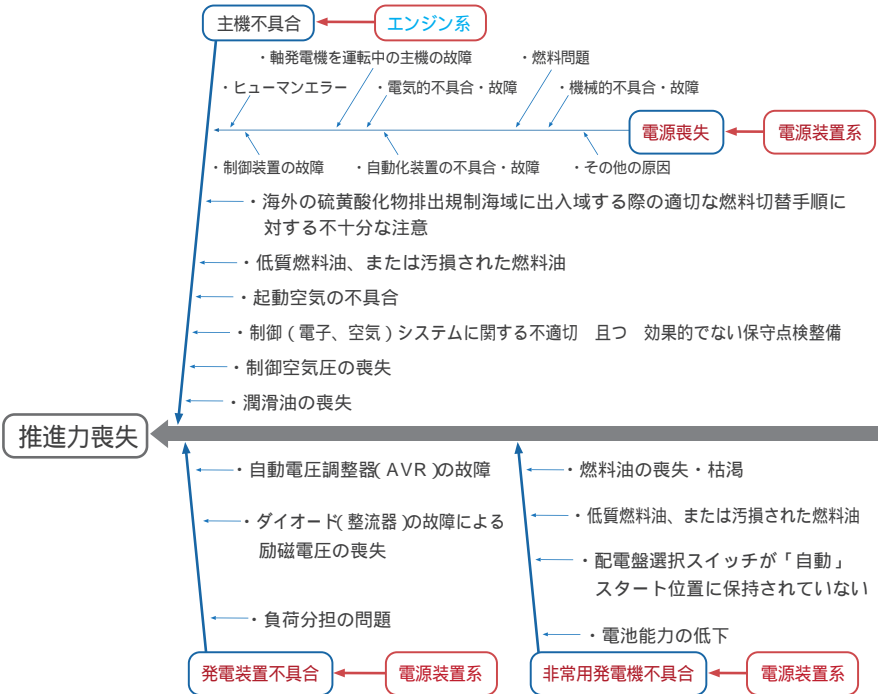


図 3-9 推進力喪失・電源喪失の全体像：フィッシュボーン・アナリシス

推進力の維持には、前述したように主機であるエンジン系の燃料、潤滑油、冷却水、給気、また、電源装置計の制御装置、給電装置、制御電源などの管理が重要となります。国内事故例からもわかるように、この中で電源装置系統の不具合も推進力維持に影響を及ぼすことに気を付けなければなりません。したがって、主機の確実な運転を維持できるように、会社と本船が電源装置に関する計画整備や緊急対応訓練等について、今一度再点検することを推奨します。

### 3-3-3 電源喪失時の対応

電源喪失は、機関室内だけでなく、船内全体に影響するので、その復旧手順を理解し、対応できることが重要です。図 3-10 復旧フローチャート俯瞰図に示すとおり、機関部だけで対応するのではなく、甲板部、貨物部、旅客部（ホテル部）、司厨部などを含む全船がワンチーム（One Team）となって連携する必要があります。

特に、直接運航に携わる甲板部と機関部の間では、密な情報共有が必要です。乗組員は、(a) ディーゼル発電機の起動成功、(b) 非常用発電機のみ起動成功、(c) バッテリーのみ、等のそれぞれの電源供給パターンに応じて対応行動が異なることを理解し、SMS や安全管理規定に定められた手順に沿って、行動する必要があります。

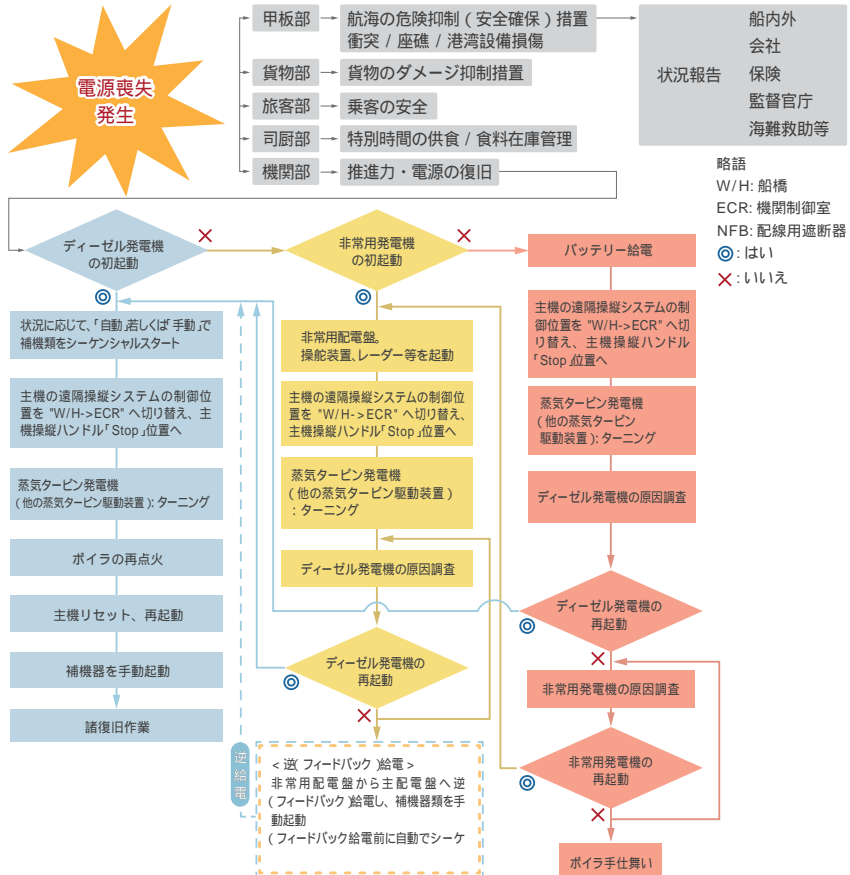


図 3-10 復旧フローチャート俯瞰図(ディーゼルエンジンプラント)

そして、乗組員は手順書に記載されている事項の作業漏れ防止のために、チェックリストを活用し、指差し確認を行うなどの対応も重要です。「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」(P.96)を参照ください。  
各部の対応についてみていきます。

## 1 甲板部復旧作業 = 航海の危険（衝突、座礁等）抑制行動

操船の第一行動は、周囲の状況を把握し、衝突回避行動を取ることです。次に必要なことは安全通報を VHF で周辺に周知し、海上保安庁や会社へ状況を報告すること。さらに、沿岸海域における事故ならば、必要に応じて緊急投錨の検討・実行も必要になってきます。

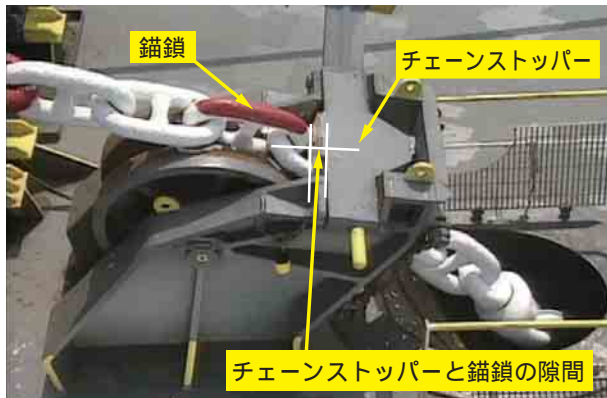


写真 3-11 チェーンストッパー

DVD「制限水域における安全操船 錨泊操船」一般社団法人 日本船長協会

特に、緊急投錨に関して日常的な注意点があります。通常はブレーキで錨鎖を止めていますが、日ごろから、写真 3-11 に示す錨鎖のストッパーと錨鎖が接触しないように、錨は確実にブレーキ力で保持し、隙間を設けておかなければなりません。錨鎖がずれてストッパーに接触すると、ストッパーが外せなくなります。そこに電源喪失が加わると、ウィンドラスを動かすことができないので緊急投錨ができなくなります。甲板巡視時や保船監督の訪船時に重点確認事項として点検も必要です。

## 2 | 機関部復旧作業

### 1) 船長への報告

船内および会社に、電源喪失の第一報を行う際、船長が現状の全体像を掴めるように、機関長は表 3-12 機関部対応手順に示す現時点の電源の供給元と供給先を正確に報告しなければなりません。また、図 3-13 電源概略図も補助資料として活用すれば電源供給元と供給先の関連が明確になります。

#### 機関部対応手順

##### (1) 電源の供給元と供給先の報告

ディーゼル発電機：

航海計器、通信設備、照明、主機（大電力装置）、補機（ボイラ）、消火ポンプ等

非常用発電機：

航海計器、照明、非常用消火ポンプ等

バッテリーのみ：

直流 24V 制御電源、通信設備等

##### (2) 復旧作業

初動：

冷静に、現状確認、情報共有

第二：

ドレンタンクに戻る加熱蒸気ドレンにも注意

順次：

同時並行で、原因リセット、再始動等

- 1) 主機の遠隔操縦システムの制御位置を“W/H->ECR”へ切り替え、操縦ハンドルを Stop 位置にセットする。
- 2) 蒸気タービン駆動機器は必要に応じてターニングを開始する。
- 3) 非常用発電機が起動し、ACB が自動投入したことを確認する。
- 4) 直接原因を確認し、発電機を再起動するために、それぞれの ACB が投入可能かをチェックする。
- 5) スタンバイ発電機を自動または手動で起動して ACB を投入する。  
若しくは、運転していた発電機を再起動して ACB を再度投入する。
- 6) 電気負荷に注意を払い、状況に応じて重要な補助機器を自動順次起動または手動起動する。
- 7) 他の補機を起動する。
- 8) 主機を再起動し、各作動状況を確認する。
- 9) 原因を調査し再発防止対策を策定する。

表 3-12 機関部対応手順 (ディーゼルエンジンプラント)

## 電源概要図

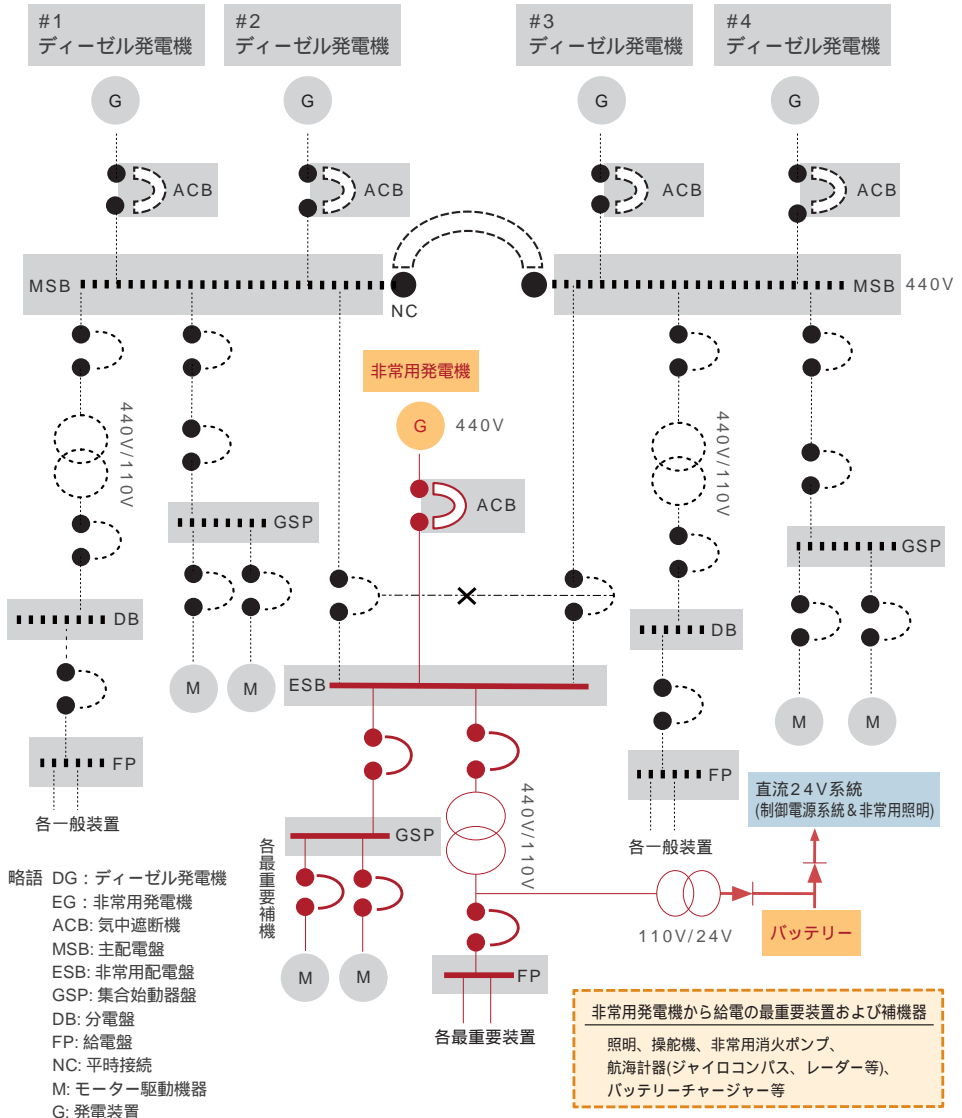


図 3-13 電源概要図

図 3-14 は復旧作業サイクルです。

機関部の復旧作業は、機関室での原因調査、状況の共通理解と認識、関係部署への進捗状況報告、不具合機器の手直し、再起動試運転、停止・停止失敗、原因調査の繰り返しになります。復旧作業が長期におよぶ場合には、疲労回復の観点から要員編成を全員体制から二直あるいは三直体制へ移行し、可能なら陸上支援の手配を検討することも必要です。

### 復旧作業サイクル

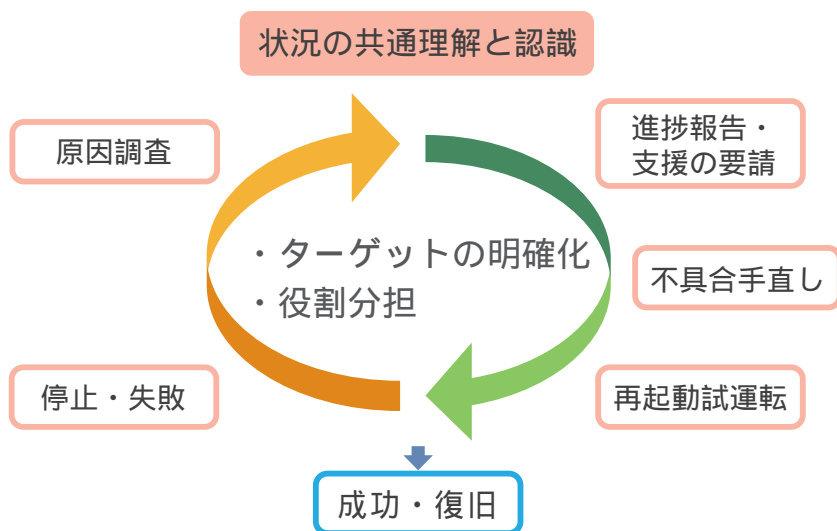


図 3-14 復旧作業サイクル

### 2) 復旧作業時の注意

表 3-12 の (2) 復旧作業「第二」に関し、電源喪失によりボイラやポンプが停止していても、液体（蒸気）は物理的性質により下流（低圧）へ流れるため、ドレンタンクの水位や温度に注意を払ってください。

復旧対応パターンは、「図 3-10 復旧フローチャート俯瞰図」の中で、「青色」で示すものが発電機、「黄色」は非常用発電機、「赤色」はバッテリーのみの場合に色分けし

ています。電源供給元の状況によって分かれています。

特に発電機の再起動に時間を要する場合、非常用発電機から主配電盤へ逆（フィードバック）給電が可能な切替えシステムを本船が装備していれば、これを活用できます。しかし、こうした設備操作は乗組員がドック経験などを有していないと、非常用配電盤から逆給電への切替え操作に不慣れであることが多く、緊急対応が不十分になることもあります。平時の操練や非常用発電機の起動試運転等の機会に併せてこのような緊急事態対応の船上習熟訓練を本船で実施することを推奨します。

### 3) 原因除去

表 3-15 にエンジンと電気装置の不具合の代表的な原因を示します。本船やシリーズ船での過去事例は原因対策の究明に有効です。本船はこうした情報を活用して、復旧の過程において速やかに原因を本船でチェックし異常を排除しなければなりません。

#### エンジン系

- (1) エンジンの不具合
- ディーゼル発電機
- (a) 燃料
    - ・ ストレーナ詰まり
    - ・ 燃料配管内のエアロック
  - (b) 過速度トリップ
    - ・ 速度センサーの誤動作
  - (c) 潤滑油圧力低下 トリップ
    - ・ ストレーナ詰まり
    - ・ 圧力スイッチの故障
  - (d) 冷却清水 温度過昇 トリップ
    - ・ 温度制御バルブや温度センサーの故障
- 蒸気タービン発電機
- (a) 軸振動過大、軸位置移動、排気圧力高、過速度、潤滑油圧力低下 等

#### 電源装置系

- (2) 電気的不具合
- 気中遮断機 (ACB: 発電機と母線の遮断器)
- ・ 過電流
  - ・ 低電圧
  - ・ 逆起電力
  - ・ ACB の機械的不具合
- 配電盤母線
- ・ 電圧 : 過高・過小
  - ・ 周波数: 過高・過小
- 制御電源
- ・ 電圧低下 ・ フューズ断線 等

#### 過去事例

- (3) 過去経験事故例のチェック

表 3-15 電源喪失の原因例



#### 4) 運転管理上の予防措置

運転管理上の予防措置を確実にするため、機関長は機関部乗組員に対して表 3-16 に示す「日常の予防運転管理」を励行させることが肝要です。

特に、乗組員は以下を最低必須事項とすることが推奨されます。

スタンバイ操船中に、「3-2-3 国内運輸安全委員会報告書：電源喪失事例」の事故 5 で紹介したストレナーや燃料供給系の整備を行わないこと。

パウスラストなどの大型電動機起動前は、十分な電力を確保すること。また、機関運転管理および非常用発電機管理に関し、スタンバイ機が起動できないリスクも想定し、定期的にスタンバイ発電機や非常用発電機の起動試運転・負荷試運転を実施すること。

#### 日常の予防運転管理

##### (1) スタンバイ操船中

ストレナーや燃料供給系の整備を行わない。

甲板部は主機の起動回数制限を認識（1軸 12回）する。

軸発電機から発電機へ運転の切替えは、機関操作が予想される入域前に実行する。

後進テストは、操船中に使う燃料油に切替えた後の、水先人乗船前に、実施する。

大型電動機（スラスト、係船機、大容量装置等）起動前は、十分な電力を確保する。

航行制限水域の入域前にスラストと係船機の作動をテストする。

仮に 1 台の発電機が停止したり、トリップしても電源を確保するために発電機を単独運転から並列運転（2 台以上）にする。

##### (2) 負荷移動と訓練

手動操作で、発電機を単独運転から並列運転へ、その逆もできるように訓練する。

##### (3) エンジン運転管理

運転管理に習熟する。

- ・単筒カット運転の方法や、機関システムの作動過程順序。

- ・エンジン運転操作。

電源喪失の原因を理解し対処する。

- ・燃料系統の圧力調整弁、ストレナーの詰まり、燃料供給配管の損傷、冷却清水の不足等。

定期的にスタンバイディーゼル発電機の起動試運転・負荷試運転を行う。

・起動試運転：入港前 / 入峡前 / 毎週。 負荷試験：A 重油 & 常用負荷 & 30 分。

(4) 計画整備

定期整備を行う。

(5) 燃料管理

粘度調整は厳格に行う。

貯蔵タンクにカビが生育しないように、水分をこまめに排出する。

(6) 緊急対応

スタンバイ機起動失敗時の手順書を作成する。

- ・定期的に、実際に推進力喪失や電源喪失を起こし、復旧訓練を実施する。
- ・非常用配電盤から主配電盤への逆（フィードバック）給電の手順も含める。

(7) 非常用発電機管理

試運転時はバッテリーチャージャーを切り離し、バッテリー単独で行う。

定期的に非常用発電機の起動試運転・負荷試運転を行う。

- ・起動試運転：毎週。 負荷試験：最大負荷付近 & 30 分。
- ・英国海事沿岸警備庁の通達「MGN 52 (1998 年)」も参考となる。

(8) その他、事故調査

事故の根本原因を分析できる要員を養成しておく。

提案された再発防止策を効果的にするために、優先順位付けを行う。

表3-16 日常の予防運転管理

---

---

### 3 - 4 第3章まとめ

---

---

海事安全当局の事故調査報告書は、国内外で推進力喪失や電源喪失事故が発生しているため、以下の注意点を紹介しています。

- (1) 予防のために、必要な日常船上管理は何か？
- (2) 発生後に、関係者間で、どのように効果的な情報共有を行い、連携するか？
- (3) 機関部も他部署の実施作業を念頭に、如何に原因を特定し、排除し、復旧作業を行うか？

それらを理解していても、ヒトは災害発生後にとっさの行動を取ることが困難なので、過去の事故例を参考にして厳しい緊急事態に直面することを想定し、平時にソフト面とハード面の対策を備えることが必要です。本船に適した準備と繰り返しの船上訓練を推奨します。「参考資料 07 パニック対策のために必要なこと」(P. 98) を参照ください。

## 第4章 バンカートラブル(補油燃料油に起因する機関事故)に備えて

安全運航を継続するため、安定した品質の燃料油を確保することは必須です。しかし、本船は時としてバンカートラブル(補油燃料油に起因する機関事故)に直面します。燃料油の性状に起因した機関トラブルが発生した場合、その補償をめぐる、原因と結果の因果関係が争点となることが多くあります。本船はトラブルに関する現象と認識した事実を時系列にまとめ、傭船者などの関係者に対してトラブルの状況や問題の所在を説明するため、陳述書(Statement of Facts)を作成します。その際裏付けとなる証拠資料を収集することも必要です。

したがって、バンカートラブルに備えるには、乗組員が日常的に取組む注意事項を再確認し、その時に注意しなければならない証拠保全の方法を心得ておくことも求められます。

---

### 4 - 1 補油問題における証拠保全の重要性

---

2018年に米国ヒューストンやパナマで補油された粗悪燃料油により機関事故が多発しました。



1時間通油後のC重油清浄機 : 重質&硬いスラッジで閉塞。



重質スラッジが原因で過負荷となり、C重油清浄機のギアを損傷。



燃料噴射ポンプ : プランジヤはバレルに完全に焼付き。



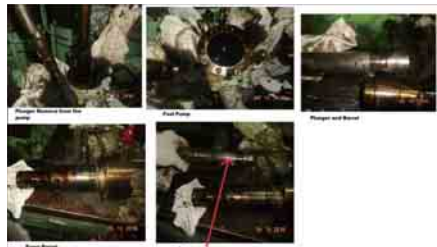
燃料加圧プランジヤがバレルに固着。

写真 4-1(a) 国際独立タンカー船主協会の重要な報告  
( An INTERTANKO Critical Review )



スラッジ粒子 05 18 2018

C重油清浄機: 重質&硬いスラッジで閉塞。



燃料濾し器( フィルター )  
: 視認可能な重質スラッジ、フィルターが完全に閉塞。

写真 4-1(b) 国際独立タンカー船主協会の重要な報告  
( An INTERTANKO Critical Review )

写真 4-1 (a) および (b) は、国際独立タンカー船主協会 (INTERTANKO) が業界へ問題提起をした声明文に掲載された写真です。

当該機関事故の代表的な状況は次のとおりです。

化学系混入物質により燃料噴射ポンプのプランジヤの焼き付きを起こし、主機、発電機が運転不能となった。  
スラッジの大量発生により油清浄機が閉塞し運転不能となった。

本船で機関事故が発生した場合、現場ではどうしてもその復旧対応に追われるので、バンカートラブルに関する証拠を散逸してしまいがちです。しかし、後の利害関係者間の係争で証拠が不十分であると因果関係の立証が困難となります。同事故の重大さに注目した戸田総合法律事務所 (海事事件に特化) は補油燃料油に起因する機関事故を法的に解決するため、以下の課題と対処策を提唱されました。

## 1. 課題

補油燃料油を原因として損害を係争する場合、整備・機器取扱・設計不良等の背景も争点となります。因果関係の立証に困難さを伴うため、燃料油の切替タイミングや異常発生の来歴および証拠保全等が極めて重要です。

他方、船上では復旧修理作業を最優先で取り組むので、故障部品や抜き取った燃料油 / スラッジ等を粗末に扱ってしまいます。重要な証拠を廃棄したりバンカートラブルに関する事実関係のレポート作成が後回しになってしまうと、証拠散逸のリスクが高くなります。

実際に、多くの事例で証拠が確保されておらず、散逸していました。  
(スラッジや交換部品は現場で作業の間に、廃棄処分されやすい)



### 要点

日々の業務で現場作業に没頭すると忘れがちな、作業、確認、保守点検整備やその日時を含めた記録の習慣化が「我が身」を守ります。

## 2. 対応策

事故発生時に適切な措置（後述する「3. 証拠保全の要領」）を可能とするには、証拠保全の重要性の観点から、管理会社が日頃から乗組員の指導を行う必要があります。

**要点** 繰返し「教育」

本船から不具合報告があった場合、管理会社は速やかに傭船者へ連絡するとともに、燃料供給者側へ抗議申立をできるように連携する必要があります。

**要点** 定められた対応フローに基づき「報告、連絡、相談」を行う。



写真 4-2(a) 補油作業 タンク液位実測



写真 4-2(b) 補油作業 タンク油量計算

### 3. 証拠保全の要領

表 4-3 は証拠保全の対応策の手順です。

#### 証拠保全の対応手順

##### (1) 管理会社 / 本船が行うこと

乗組員は、疑わしい燃料の使用開始を明らかにするために、燃料タンク測深記録、油記録簿、機関日誌などへ、詳細に記録し、それを保管する。

乗組員は発生したスラッジなどを写真撮影（日付・時間入り）し、収集し、保管する。

乗組員は不具合部品の写真を撮影（日付・時間入り）し、収集し、保管する。

乗組員は管理会社へ提出するために、不具合の状況およびその対応方法を克明に記録し、報告する。

管理会社は公文書として乗組員の陳述書を作成する。（問題油を使用するに至るまでの経緯、不具合の状況、不具合に対する対応などを簡潔にまとめる）

乗組員と管理会社は燃料供給証明書（BDN）について、以下を確認する。

(a) 試料油容器（サンプルボトル）識別番号の記入が正確であること。

(b) 備考欄に試料油の抽出方法に関する情報があること。

例：バージ側マニホールドで抽出した。

連続滴下ではない。

乗組員が立会いをしていない、など。

1 燃料供給証明書（BDN）への記入漏れや不正確な点があった場合、直ちに乗組員の陳述書を作成し、継続的に処置対応すること。

2 試料油容器の識別番号が燃料供給証明書（BDN）に記載のない場合、当該試料油の代表性に、性状分析の結果に疑義の生じる恐れがある。そのため、当該試料油の陸揚証明、燃料性状分析書など、繋がりを立証する資料を収集する（紛失しない）こと。





供給時の試料油容器の保管を徹底する。

- ・バージ陸揚げに備え、燃料タンク内の燃料油も本船からバージへの陸揚げ前に試料油を抽出し、保管を徹底する。(採取に偏りが生じないように留意)

(2) 船主(管理会社) / 傭船者が行うこと

管理会社は公文書として乗組員の陳述書を作成する。(前項と同じ)

(問題油を使用するに至るまでの経緯、不具合の状況、不具合に対する対応などを簡潔にまとめる)

早期に詳細な検査(GC-MS: ガスクロマトグラフィー質量分析法)を検討する。

- (a) 複数当事者でそれぞれが検査調査員を立てる。
- (b) 合同確認試験とする。
- (c) 事前に検査機関・検査方法を、燃料供給者側も含めて当事者へ周知する。  
(不具合部品およびスラッジ・燃料タンク内燃料油の試料油抽出の際も各当事者でそれぞれ検査調査員を立てて行うこと。)



(3) 傭船者が行うこと

早期に、傭船者・燃料供給者側で徹底的に情報確認・収集を行う。

実質燃料供給者がどの販売者から燃料油を調達したのかという供給連鎖を、管理会社 / 船主側では追及困難であるため、早期解決を目指し、傭船者への調査協力をを行う。

表 4-3 証拠保全の対応手順

## 4 - 2 第4章まとめ

燃料油は傭船契約に基づき、傭船者から、船主（本船）へ供給されます。お互いの信頼関係が「船舶による海洋汚染の防止のための国際条約（MARPOL 条約）/ 付属書 VI 第 18 規則」で規定されている「燃料油の品質：船舶の安全を害し、機関の性能に悪影響を及ぼすものを含んではならない」とする約束を守ることによって安全運航が導かれます。

### 安全管理や保守点検整備に関する記録の一例

- (1) 機関日誌（ログブック）や記録簿など
- (2) SMS や安全管理規定に規定された文書とファイル
- (3) 証拠としての交換した損傷部品
- (4) 運転時間に関する機器状態の監視記録
- (5) 損傷機器、運転履歴、潤滑油管理履歴、計画整備システム (PMS) とその保守点検整備記録
- (6) 業務懸案事項に関する船陸間の通信記録（FAX, 電子メール等）の保管管理
- (7) 本船（船長&機関長）と陸上側（会社の担当者）の間の打合せメモ など

表 4-4

他方、事故処理の際に表 4-4 のような保守点検整備の記録が本船に残されていないと、保険会社は事故の経緯や内容を確認することが困難となる場合があります。日常業務の記録が時に重要な証拠や記録となることを理解していただきたいと思います。

## 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（SO<sub>x</sub>）やSO<sub>x</sub>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（SO<sub>x</sub>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。

### 船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 船用硫黄分上限指定海域

## MARPOL 条約

2016年10月第70回海洋環境保護委員会にて決定

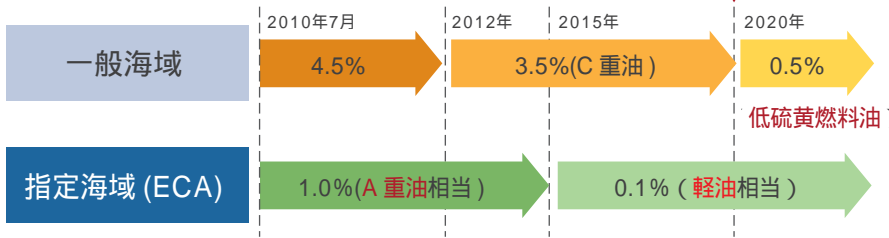


図 5-2 国際海事機関の海洋汚染防止条約による船舶燃料油の硫黄分規制

### 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。



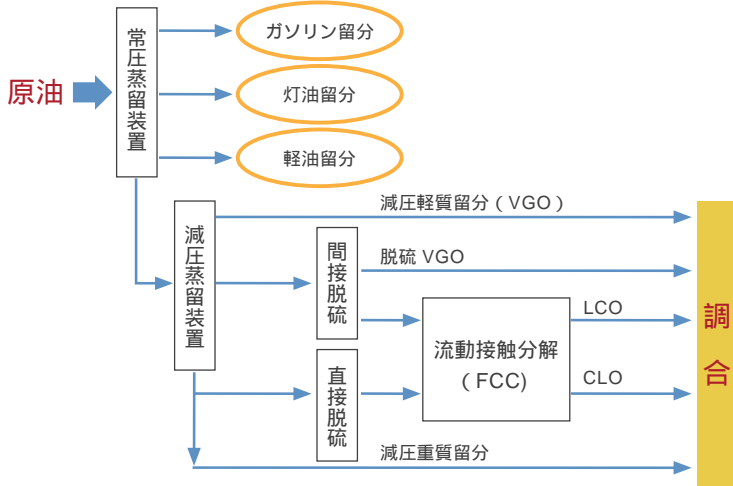
#### 5 - 1 - 1 製造方法による特徴

図 5-3 は船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（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、さらに流動接触分解（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)：低硫黄基材、動粘度が低い。  
 CLO (クラリファイドオイル)

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パターンといわれています。

- 製油所で製造した様々な低硫黄基材を調合する。
- 高硫黄原油の残渣油を脱硫する。
- 高硫黄 C 重油 (例：メキシコ湾産原油、図 5-4 参照) と軽油を混合する。
- A 重油 (MDO：Marine Diesel Oil) や軽油 (MGO：Marine Gas Oil) を使用する。
- 低硫黄原油 (例：北海油田産原油、図 5-4 参照) の残渣分を使用する。

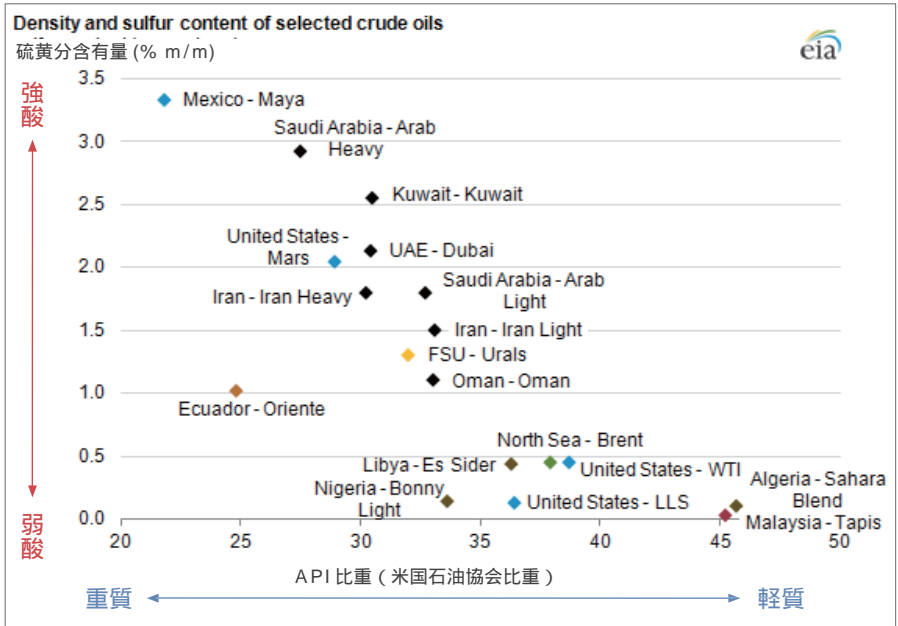


図 5-4 原油産地別硫黄分

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できません。安定した供給量の確保のためには前述の製造方法が有力です。

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、さまざま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いきます。

原油を繰り返し蒸留した軽質留分以外の、さまざまな低硫黄基材を利用する。

原油は産地 (図 5-4 参照) や製油所の能力によって性状が異なる。そのため、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。

- 混合安定性
- 低動粘度化
- 低温流動性
- Cat-Fines
- 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。

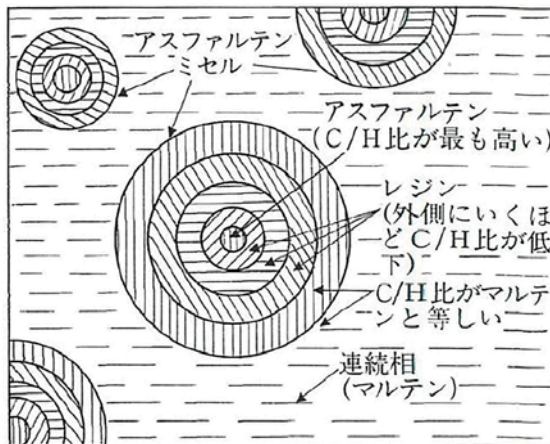


図 5-5 アスファルテンミセルの仮想図

## 5-2-1 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されることがあります。その析出のしにくさを表したのが混合安定性です。

### 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 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(1) 写真 5-9、5-10 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、アスファルテンスラッジが析出されるためである。

補油時に船体付き貯蔵タンク内

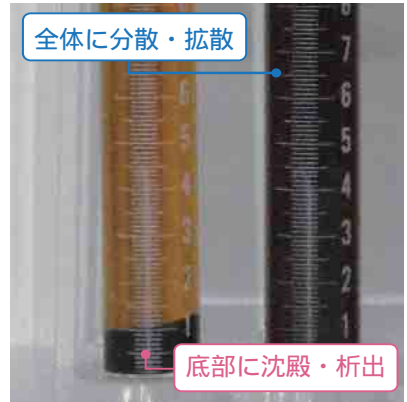


写真 5-6 底部にスラッジ沈殿・析出

写真：Class NK ガイドブック



乗組員が船内機器の使用燃料油を適合油へ切り替える際に、セッティング（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りを起こすためである。

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  
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りを起こす場合に、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とおり。

**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。  
輻輳海域等で燃料油切り替えを行わない。  
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、切り替える。
- 2** スラッジが発生した場合には以下の対策を行うこと。  
不安定な場合は、スラッジ分散剤を使用する。  
必要に応じ、適宜ストレーナを掃除する。  
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

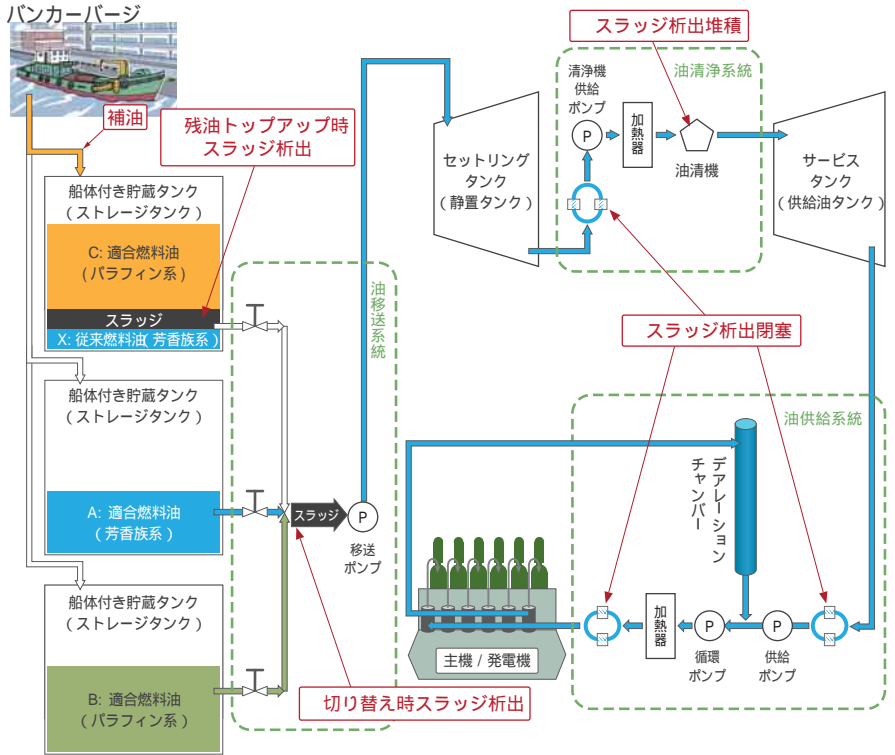


図 5-8 燃料油配管系統(1)



写真 5-9 油清浄機の回転体内部に堆積したスラッジ



出典:2020年Sox規制適合船用燃料使用手引書  
(国土交通省海事局)



提供:一般社団法人日本海事検定協会

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 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、将来の船用燃料油に関し、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」



## 低動粘度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、5-13、5-14 各損傷部品ご参照。

#### 1 ディーゼルエンジン

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）

（日本海事協会誌 No312、No316 に掲載された「損傷のまとめ」のとおり、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）

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）

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

固着、ギアの摩耗、軸受け寿命の低下（潤滑性の低下に起因）

燃料供給量の不足（ポンプ内部摺動部の漏れに起因）

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とおり。

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の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

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、交換
- (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）

#### 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

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。

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。

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。

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)

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

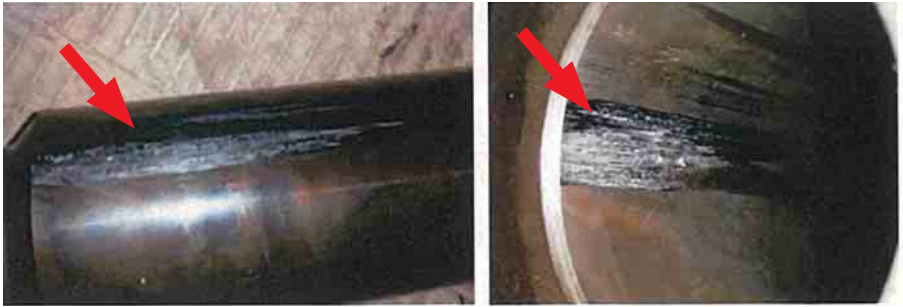


写真 5-12 燃料噴射ポンプのプランジャおよびバレルでの掻き傷

写真 : Class NK ガイドブック

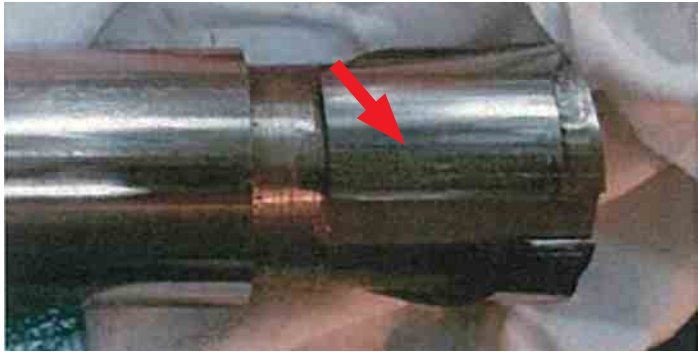


写真 5-13 燃料噴射ポンプのプランジャ、バレルの異常摩耗

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 に示すとおり、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を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

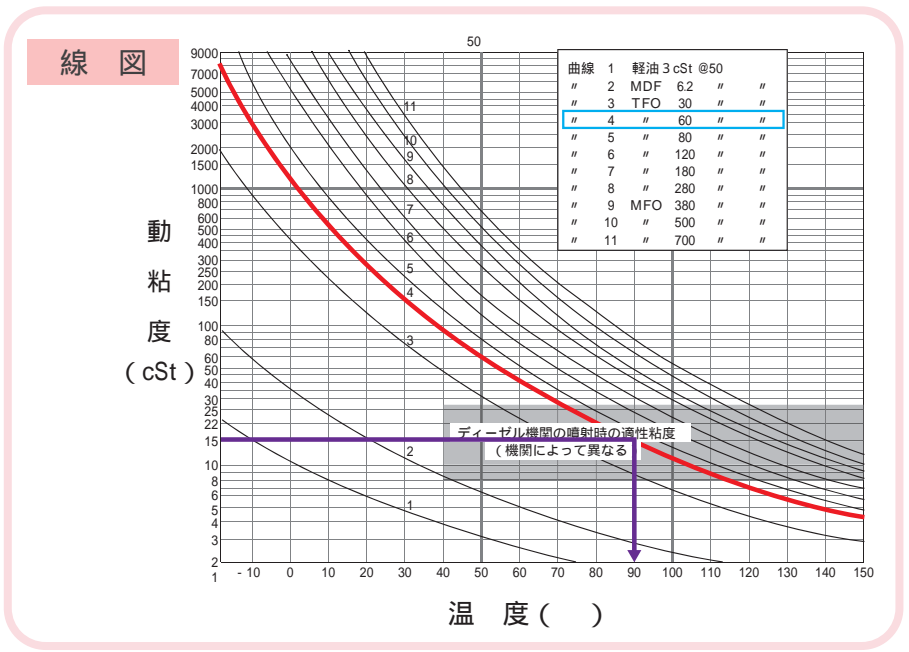
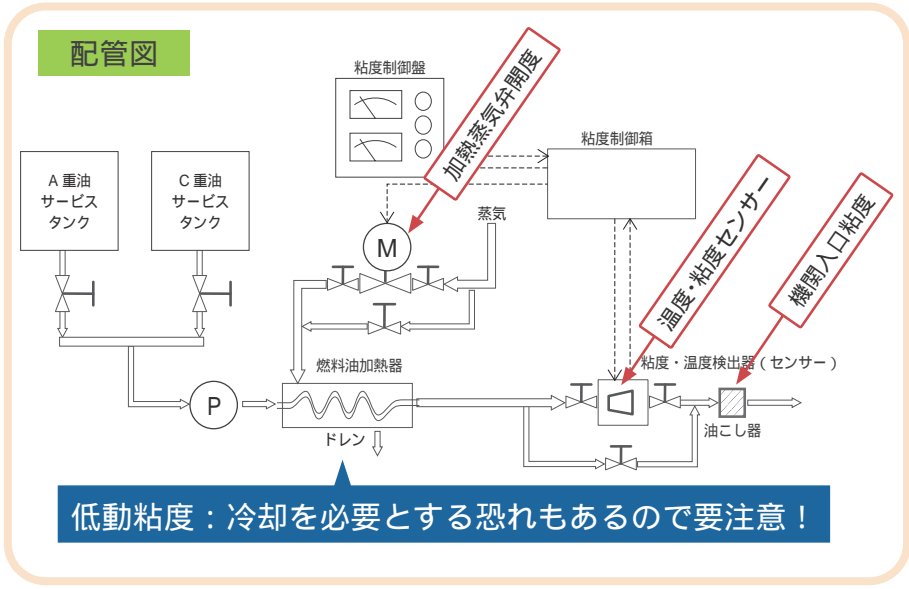


図 5-15 粘度調整装置



## 5-2-3 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 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、低温時の流動性が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ものとされます。

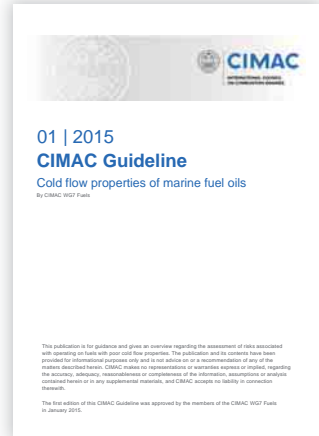


図 5-16 CIMAC 低温流動性のガイドライン (2015 年)



写真 5-17 ワックスの成長過程

典型的な温度差 ( ) (非処理燃料油)

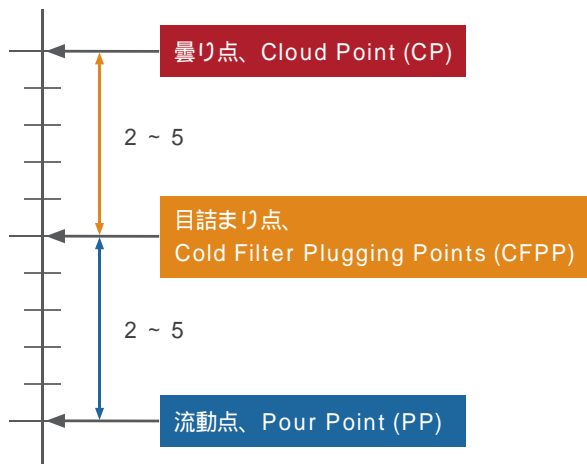


図 5-18 低温流動性の指標

## 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。

### 想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、5-22、5-23 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し、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。

ワックスが分離板に付着して分離効率を低下させる。

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、以下のとおり。

**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。

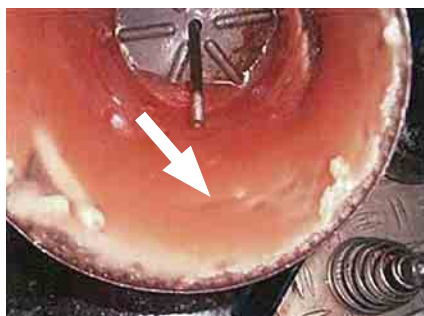
#### 1 加熱装置がない状態で使用する場合には、航路と季節を考慮に入れた上で、使用環境が PP+10 以上であることを確認して使用すること。

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 規制適合船用燃料使用手引書  
(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

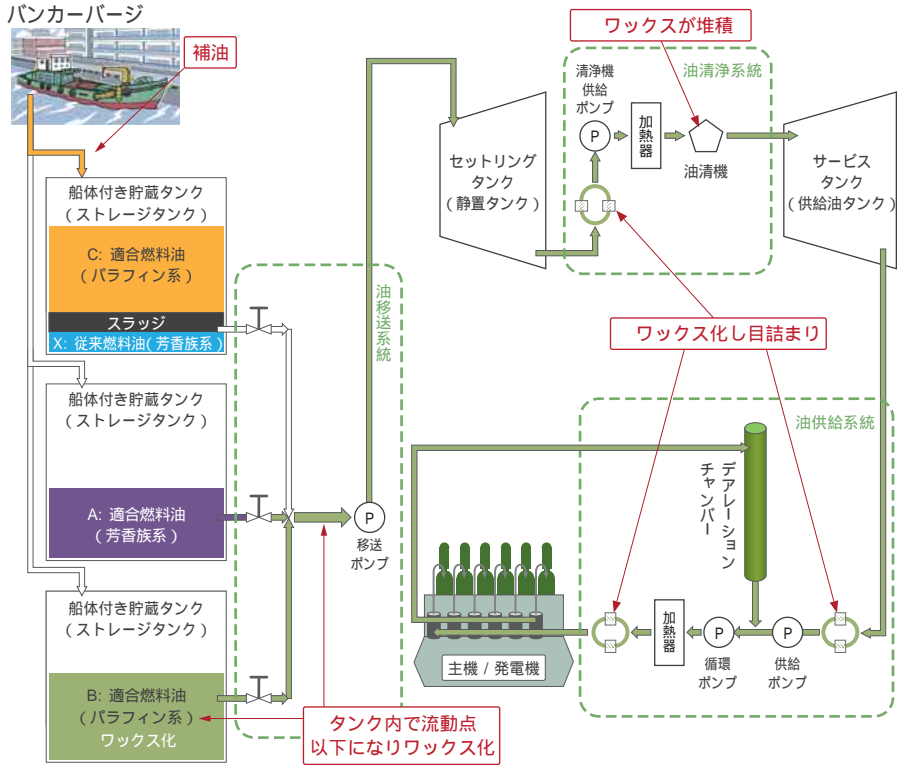


図 5-21 燃料油系統図( 2 )



写真 5-22 タンク内で析出したワックス分



(a) 透明な試料@ 28

(b) ワックス分の結晶化(不透明) @ 24

写真 5-23 燃料清浄機内でのワックスの堆積

## 5-2-4

### 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碎されて生じた粉末であり、アルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) およびシリカ ( $\text{SiO}_2$ ) 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 船用燃料」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 に示すとおり、Cat-fines の直径が油膜の厚さより大きく、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uffing
- (4) ピストンロッド、スタフing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ツリング (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ることが可能である。

求められる対応策は以下のとおり。

**最重要事項：**油清浄機の適切な運転調整およびセツリング (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、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 バンカーマニホールド（船体タンク入口）、油清浄機前後、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。
  - 燃料油中に水分が混入するのを防止すること。
  - 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。
  - 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 次ストレナー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。

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。

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にする。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。

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参照）。

表 5-24 Cat-fines( FCC 触媒粒子 )のトラブルと対応策

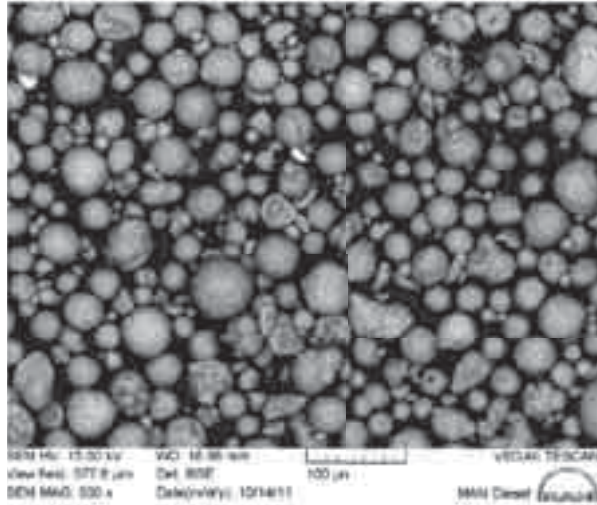


写真 5-25 Cat-fines 触媒粒子  
「Cat-fines 触媒粒子はサイズと形がかなり異なる」

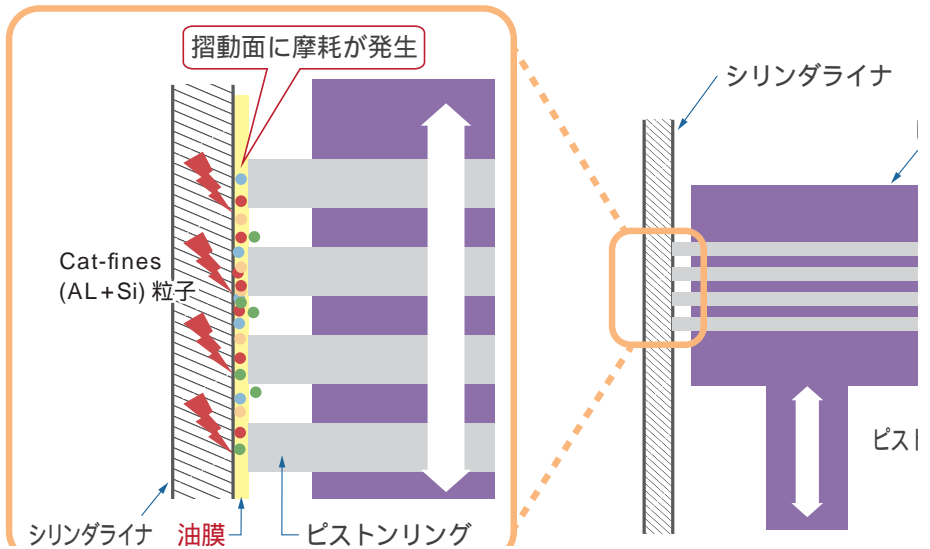


図 5-26 摩耗発生メカニズム



(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

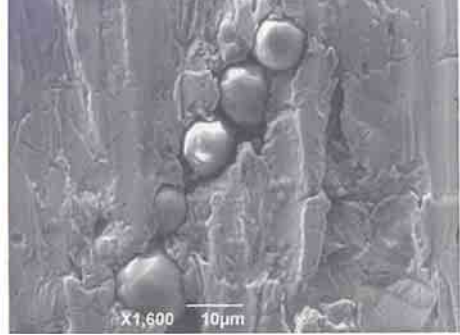


写真: Class NK ガイドブック

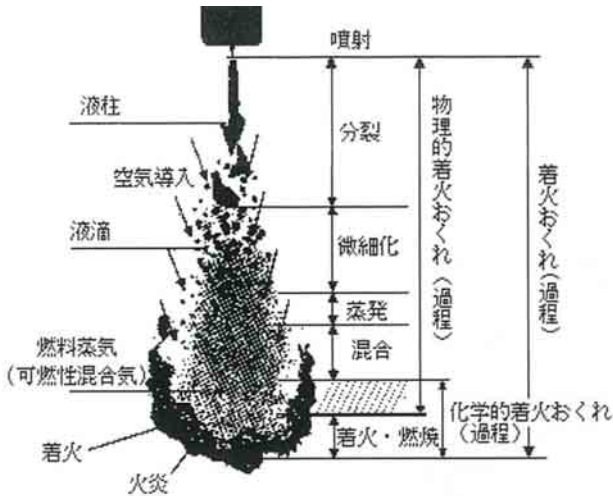
写真 5-27 埋没した Cat-fines

## 5-2-5

## 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（着火おくれ）で表されます。



出典: 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おくれの範囲を図示します。着火おくれには物理的着火おくれと化学的着火おくれがあります。燃料噴射弁から高压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おくれです。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おくれです。主に成分に依存する着火性は化学的おくれを意味します。

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 ) - 船用燃料の仕様」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。

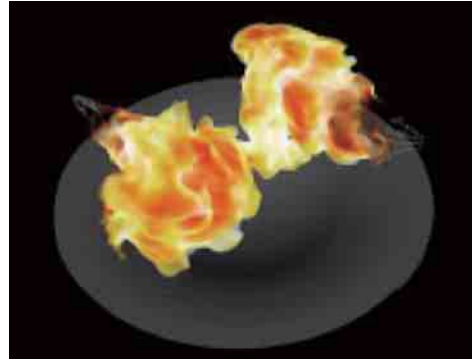


写真 5-29 燃焼のイメージ

当時の CCAI は、「(1) 燃料油の着火おく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さまざまな低硫黄基材が混合されるため、CCAI と着火おく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。

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

$\rho_{15}$  : 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災の長さ、黒煙・燃焼室デポジットなど未燃分割を代表します。

## 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（HSFO）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

- ピストンリング異常摩耗・折損
- シリンダライナの異常摩耗・スカuffing
- 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ingボックスパッキンの異常 摩耗・漏油過多
- 排気弁触火面の損耗および焼損
- 排気弁ガイドの隙間への未燃分堆積による排気弁固着
- 排気弁シート部のシール不良による吹き抜け、高温腐食
- ピストンクラウン触火面の損耗および焼損
- 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おく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
<p>乗組員は以下のエンジンの状態監視を励行し、兆候を把握することが大切である。</p> <p><b>1 2 ストロークエンジンの場合</b></p> <p>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。</p> <p>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)</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	<p>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。</p> <p><b>1 2 ストロークエンジンの場合</b></p> <p>乗組員はエンジン出力を下げる。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>
<p><b>2 4 ストロークエンジンの場合</b></p> <p>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。</p> <p>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)</p> <p>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。</p>	<p><b>2 4 ストロークエンジンの場合</b></p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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)</p>

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。

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。

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。

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。

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。

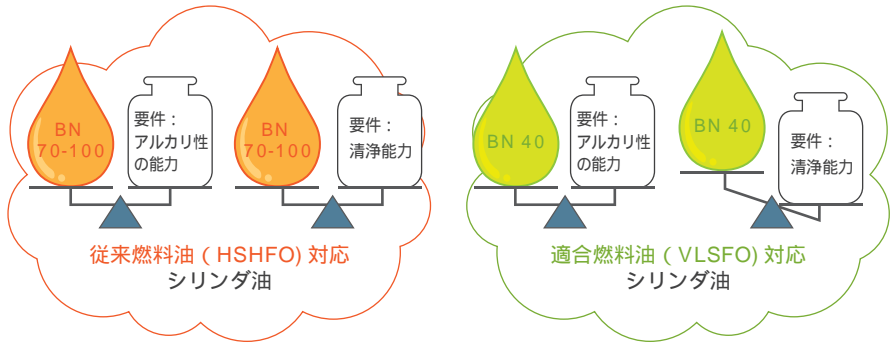


図 5-32 シリンダ内の汚損状況に応じて BN を選択

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 に示すとおり、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。燃焼性の問題がある、もしくはピストンリング / シリンダライナの状態が好ましくなく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

前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

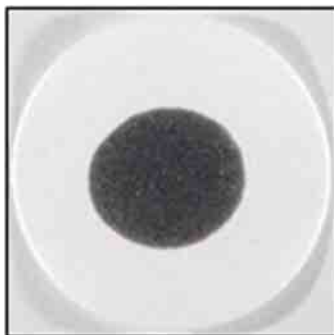
「5-2-1 混合安定性」で述べたように、燃料油中のアスファルテンが、他の燃料油との混合や熱的な変化、あるいは酸化等の影響を受けて凝集を開始し、さらに粒子が成長した結果、スラッジとして沈殿します。

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によって判定します。

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 の右側写真に示すとおり、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り表れた場合は、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。



写真 5 34 スポットテストキット



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 低温流動性」のとおり、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℃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℃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。

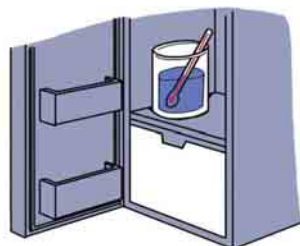


図5-36  
家電冷蔵庫での流動点試験

「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日に一般財団法人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 着火・燃焼性」のとおり、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) - 船用燃料の仕様」は船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以下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、新手順書を策定
- 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。しかし、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の能力を身につけることがSTCW条約や船員法で求められています。

第2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。