

第 2 章

当組合における機関事故に 起因する事故傾向

本章では当組合で取扱った P&I 事故案件の中で、機関事故に起因するものに注目し、どのような注意が必要であるかを具体的に検討していきます。

まず、当組合における 2008 年から 7 年間分の事案から、機関トラブルが原因により発生したクレームを抽出し、その傾向をさぐります。例えば、貨物損害や港湾設備損害では、どの装置のトラブルが影響を及ぼしているのかなどについて検討します。

次に、事件事例を紹介して再発防止について検討します。

最後に、参考情報として P&I 保険でてん補対象外となる海洋汚染防止条約（以下、MARPOL 条約と記す）違反に関する注意点をご説明します。

2.1 当組合における事故の傾向

2.1.1 事故種類別傾向

2008 年保険年度（Policy Year：以下、PY と記す）から 7 年分の機関トラブル起因のクレームを調査したところ、27 件の特徴的な事案が確認されました。発生件数の比較（図 29）によれば、クレーム件数は多い順から、貨物損害、その他、港湾設備損傷の順となっています。その他にはクレーンの作動油や機関室内の潤滑油冷却器から潤滑油が流出したケースが含まれています。

衝突や座礁の件数が少ないですが、もし、事故が船舶交通量の多い輻輳海域や沿岸海域、或いは、港湾区域で発生していれば、そのような事故に発展したと考えられるものもありました。

詳しくは、後述の事件事例紹介で説明します。

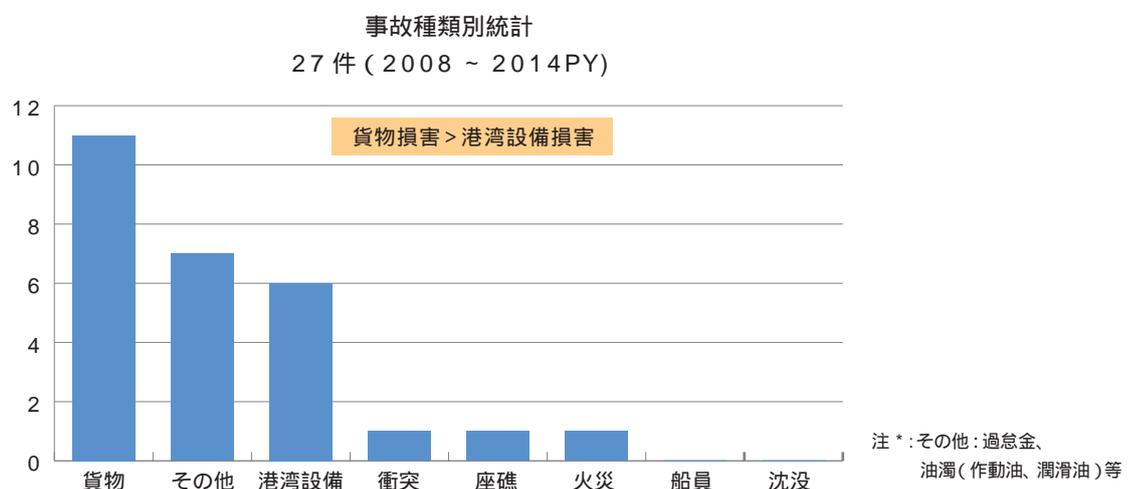


図 29 事故種類別統計

(1) 直接原因の内訳

全ての事故の中で、どの機器が事故原因となったかを示す「直接原因（機器）別割合（図30）」によれば、主機関と発電機が原因の約半数を占めています。

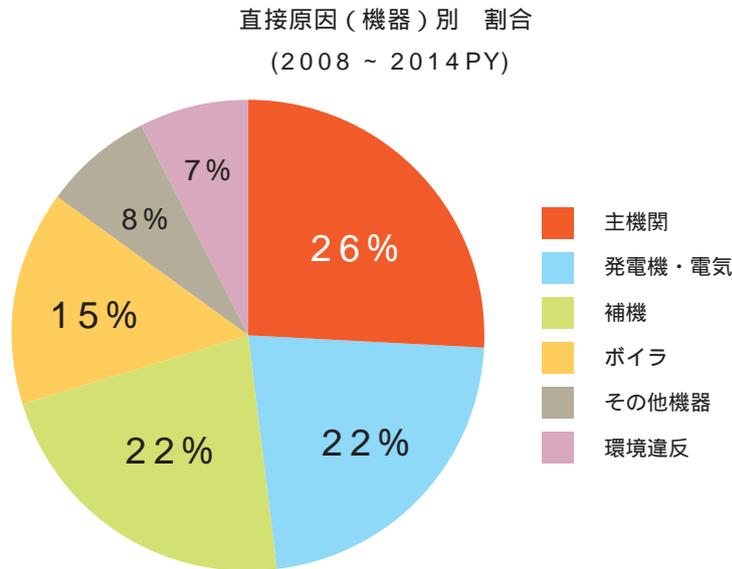


図30 直接原因(機器)別割合

(2) 貨物損害の原因

貨物損害に対し、どの装置が事故原因となったかを示す「直接原因（機器）別割合（貨物損害）（図31）」によれば、冷凍船と冷凍コンテナの損傷が多く、発電機や電気系のトラブルで電源不足に至ったケースが40%弱を占めています。

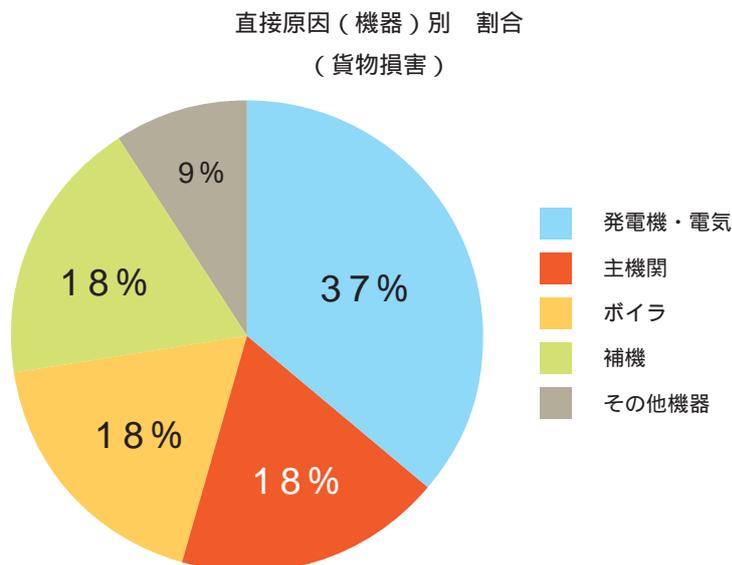


図31 直接原因(機器)別割合(貨物損害)

(3) 湾設備損傷の原因

港湾設備損傷に対し、どの装置が事故原因となったかを示す「直接原因（機器）別割合（港湾設備損傷）（図 32）」によれば、主機関のトラブルによる機関運転不能が根本原因となった事案が最も多く、約 50%を占めています。

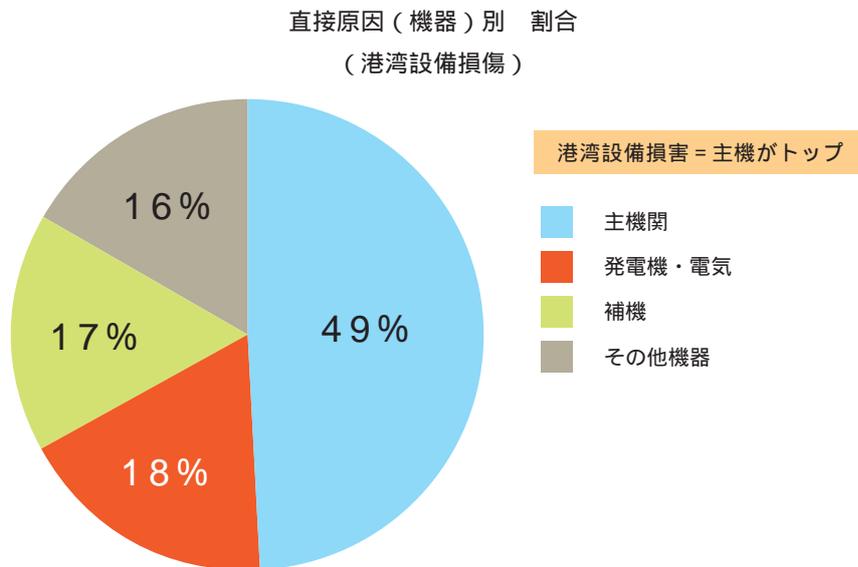


図 32 直接原因（機器）別 割合（港湾設備損傷）

(4) その他の事故原因

その他事故において、どの装置が事故原因となったかを示す「直接原因（機器）（その他）（図 33）」によれば、補機やボイラといった機関室の補助装置が多くを占めています。特に、環境被害に関係する事故ではクレーンの作動油や機関室内の潤滑油冷却器から潤滑油が流出した油濁や、ボイラの燃焼不良による黒煙の発生などが対象となります。

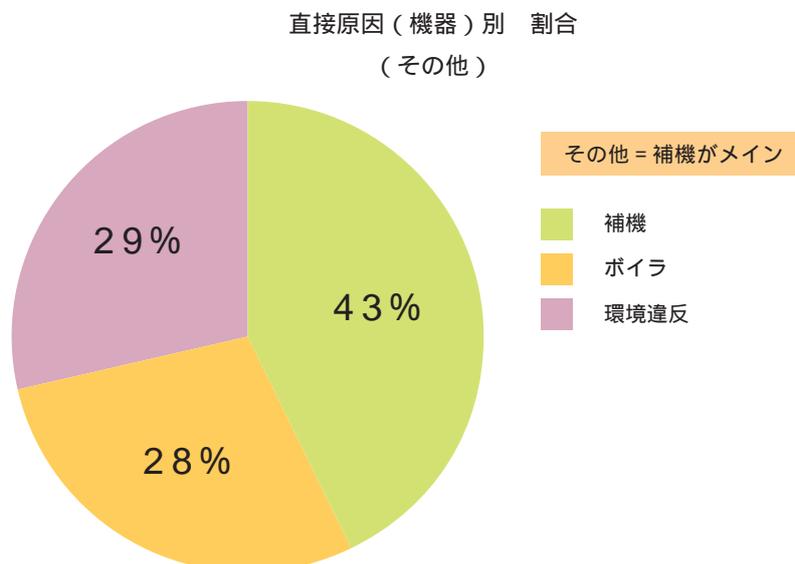


図 33 直接原因（機器）別割合（その他）

2.2 事例紹介

当組合の取扱い事故の中で、機関事故に起因するものから以下4つの事案について、事故概要、保険てん補額、機関室で何が起こったかなどを紹介し、そこにどんな課題が潜んでおり、どのような対策が必要かについて事件事例を紹介しながら検討していきます。

2.2.1	貨物損害（貨物不足損害）	: ボイラ故障
2.2.2	港湾設備損傷（海底ケーブル損傷）	: 主機関起動不能
2.2.3	貨物損傷	: 発電機再起動不能（ブラックアウト: 停電）
2.2.4	環境損害	: ボイラ燃焼不良

2.2.1 貨物不足損害：ボイラ故障

(1) 事故概要

本船はベンゼンを積載して揚地へ向けて航行中、ボイラ水の外部への漏水が認められたため、ボイラの運転を中止しました。結果として、航海中に貨物の加熱ができないまま揚地港に入港し、その時点の貨物タンクの温度は平均 5.25 でベンゼンの融点（5.5）を下回っていました。

揚荷役開始に先立って、ターミナル側から加熱用蒸気の供給を受けて荷役を開始しましたが、十分に加熱ができなかったため、タンク壁等に貨物が残り、全量を揚げ切れず貨物不足損害が発生しました。

荷主側は、貨物クレームとして加熱蒸気の供給費用等を含めた約 US\$20,000 を船主へ請求しましたが、最終的に船主は約 US\$10,000（請求額の 50% 相当）を支払うことで解決しました。

(2) 保険てん補額

貨物クレーム解決金	: 約 US\$ 10,000（約 1.1 百万円）
サーベイ費用	: 約 US\$ 2,000（約 0.2 百万円）
コレボン費用	: 約 US\$ 3,000（約 0.3 百万円）
合計	: 約 US\$ 15,000（約 1.7 百万円）(US\$1 = 110 円)

(3) 機関室で何が起きたか？

機関室でボイラのケーシング下部に漏水が認められたため、ボイラの運転を停止した。

関係写真の図 34 ボイラケーシング下部、図 35 下部ドラム / マンホール、および、図 36 上部ボイラケーシングをご参照ください。



図 34 ボイラケーシング下部
(上部からの漏水痕)



図 35 下部ドラム / マンホール
(上部からの漏水痕)



図 36 上部ボイラケーシング
(ペイント膨出)

ボイラ水管の損傷事故は、以下の二つに分けられます。

- a ボイラ水が接触する水側の損傷
- b 燃焼ガスが接触する火炉側からの損傷

損傷防止のためには、「ボイラ水の適切な管理（水質チェック / 化学的処理 / ボイラ水の放出（ブローオフ）」と「燃焼室内部からの点検等」が重要になります。

一方、Class NK の「損傷のまとめ」によれば、ボイラ損傷事故として次のような事故も報告されています。

- a 水管や煙管の腐食および焼損
- b ボイラ本体の肌付弁の腐食および摩耗
- c 安全弁の腐食

本船搭載のボイラは図 37 ボイラ断面図に示す貫流型ボイラです。損傷箇所や損傷がどの程度であったかなどの詳細情報はありますが、状況から判断すると、漏水の主因としては、ボイラ水側、および、燃焼ガス側の双方からの腐食による水管の破損であり、二次的原因としてドラムの変形なども考えられています。

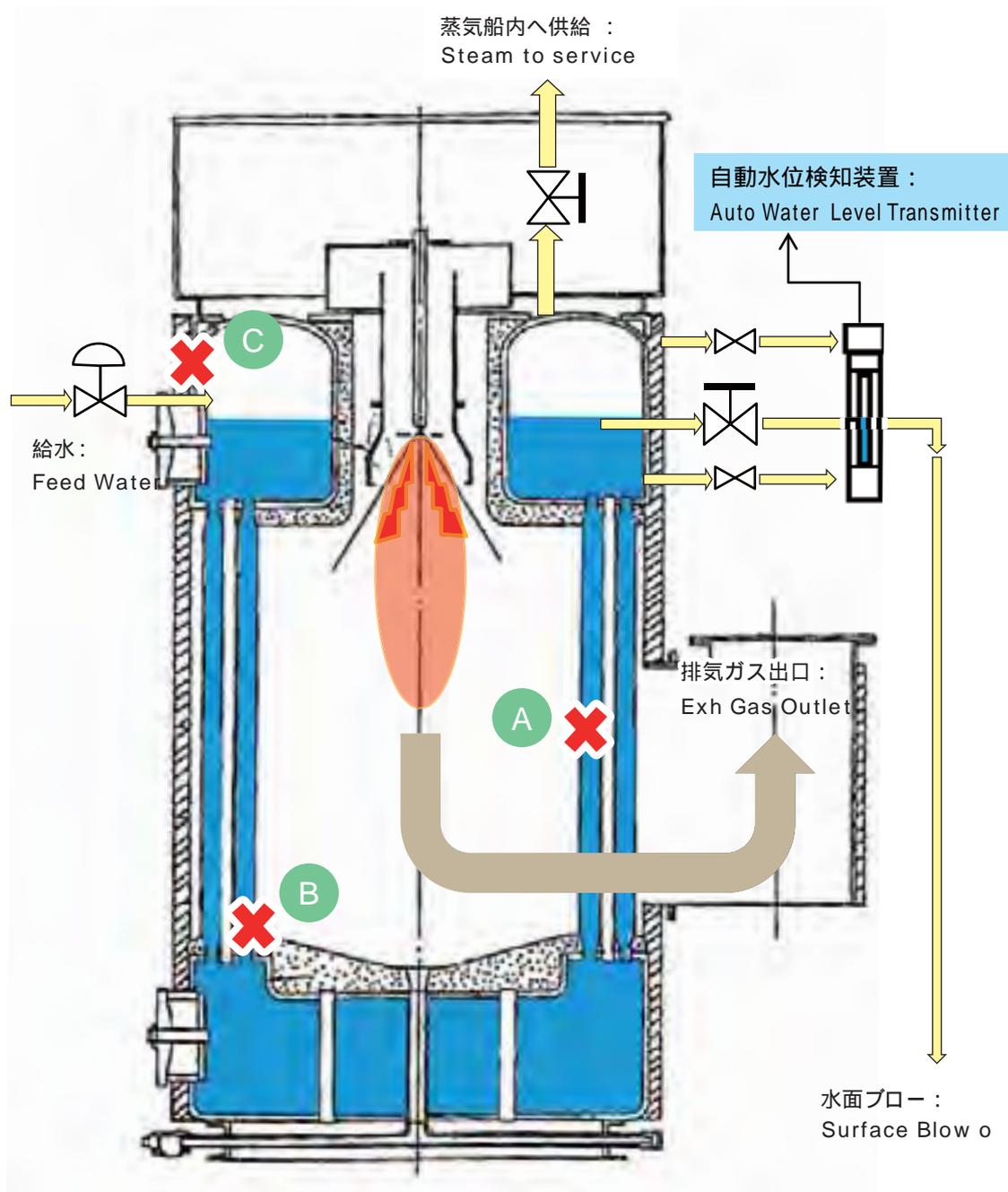


図 37 ポイラ断面図

(4) 原因分析・・・チェックポイント

事故状況から考えられる推定原因について、図 37 に示す損傷箇所を 3 つに分けて、A、B、C の順に注意点をチェックしていきます。

(4)-1【運用面 (運転管理) のチェック】

運用面において、いくつかのポイントが挙げられます。

箇所 A

ボイラ水の管理が不十分な場合に、管内部へのスケールの堆積により局部的に熱伝導率が低下し、その影響で当該部が過熱され、材料強度が著しく低下したと考えられます。

その結果、水管に破孔が発生したものと考えられます。破孔の状態は、図 38、図 39 をご参照下さい。



図 38 スケールが原因による破孔 参考文献 *12



図 39 スケールが原因による破孔 参考文献 *12

スケールは、我々が日常的にお湯を沸かす薬缶（ヤカン）や電気ポットの内面に付着している白い汚れをイメージすると理解しやすいでしょう。スケールはその白い粉のような汚れで、汚れの付着によって熱伝導が悪くなり、汚れる前より長く加熱しないと、お湯の温度が必要な温度に達しません。さらに汚れが酷くなると過剰な加熱をしなければならなくなり、金属材料が設計（想定）以上に過熱されて強度不足に至り、金属破孔が発生します。

箇所 B

ボイラドラムと水管は、水管の端を拡管（expanding）して接続されています（図 40：拡管接続部構造図）。同接続部の緩みの影響によって、漏水が発生する場合があります、燃焼室（火炉）底部に浸水したと考えられます。

さらに、燃焼室側に堆積している燃焼残渣の煤の未燃焼分の中に含まれている硫黄分と漏水の化学反応によって硫酸が生成され、硫酸腐食（低温腐食）に至ります。

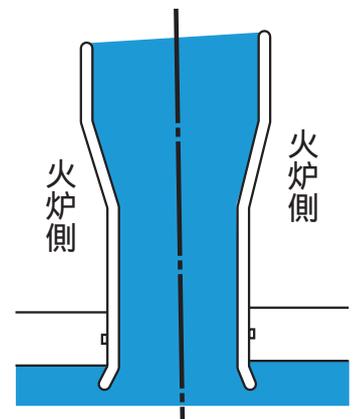


図 40 拡管部構造

(4)-2 【ハード面のチェック】

ハード面では、以下のポイントが挙げられます。

箇所 C

ボイラ上部ドラムの変形、膨張は、ドラム水位が低下した時に過熱により生じたものと考えられます（空焚き）。本来ならば、ドラム水位の自動検知装置により、水位が低下した場合は警報発生や燃料遮断等の安全保護装置が作動します。しかし、水位検知装置の不具合を放置した場合には、このような事故が発生します。

このように、原因は単体の取扱い不良や整備不良でなく、複数の不具合が重なっており、負の連鎖（エラーチェーン）を断ち切ることができずに事故に至ったものと考えられます。

負の連鎖

(5) 再発防止策

ボイラメーカーにより指示されている基本的な取扱い（運転操作、管理や各種の点検・整備事項）を十分理解し、忠実に、点検、管理、整備を実行することがトラブル防止の基本です。したがって、本ケースでは以下の再発防止策が推奨されます。

(5)-1【運用面での対策（運転管理）】

スケールは非常に硬く水に溶けにくいいため、いったん固着してしまうと、除去するのは困難です。従って、管内部へのスケールの付着防止には、ボイラ水の水質と給水の管理を徹底しなければなりません。

ボイラ水、復水、給水の水質管理

スケール付着防止、腐食防止、キャリアオーバー防止のため、塩素イオン濃度、各種分析数値をボイラメーカーの推奨基準値内に維持することが必要です。

缶水分析は最低 7 日に 1 回（高压ボイラでは 2 日に 1 回）実施すること。また、必要に応じて、薬品投入や、ボイラ水が濃縮している場合には、古いボイラ水を沈殿物と共に船外へ放出（ブローオフ）し、新たなボイラ水を補給して調整しなければなりません。

補給水から混入する不純物の最少化（補給水管理）

カスケードタンク内を清掃し、常にボイラへ清浄な水が補給できる環境を整えること。高温に保ち、溶存酸素を制御すること。

給水用清水の塩分、および、硬度成分を低いレベルに維持管理すること。

造水器製造の蒸留水を給水とする場合には、貯蔵タンク容量の確保、タンク内の清浄度確保、造水器の適正運転、塩素計の精度管理が必要です。

海水混入の防止

海水冷却方式のドレンクーラーを備えるボイラシステムの場合、ボイラ水の復水系統に海水が混入する恐れがあります。その場合、定期的にカスケードタンク内の復水の塩分濃度チェックを励行することが必要です。

ボイラ水のブローオフ（船外への放出）の時、バルブ操作にも注意を要します。

例えば、ブロー開始時には圧力の高いボイラ側のバルブから順に開放し、終了時には圧力の低い船外側のバルブから順に閉鎖することを基本とします。

さらに、ブロー中はボイラ缶肌弁と船外弁は全開として、流量調整は船外弁に近い方の中間弁で行なうなどの注意が重要です。何故なら、中間弁は仮に不具合があったとしても、直に交換可能ですが、缶肌弁や船外弁は、入渠時を除いて、通常運航下のボイラ運転中での交換が困難であるためです。

海水混入の把握は、上記 に示した塩素イオンの監視が必要であることから也容易に理解できます。

低温腐食防止

低温腐食防止、すなわち、硫酸腐食の防止はその発生のメカニズムを理解し、その原因を排除する対策を実施しなければなりません。

発生メカニズムは、燃焼ガス中に含まれる硫黄分がボイラ水管外部表面に付着し、低温部で水分と化合し硫酸となって腐食に至ります。以下が対策として挙げられます。

定期的に炉内を清掃し、燃焼煤除去の実施と、炉内状態の観察、記録を継続する。

燃焼において空気を多く送り込む。すなわち空気過剰率が大きいと煤の発生は抑制できます。しかし、燃焼温度が上昇せず、局部的に低温となり硫酸腐食が生じる恐れがあるので、良好な燃焼が得られる範囲で空気過剰率をコントロールすることが大事です。

蒸気のスートブロワを備えるボイラの場合、ドレンの炉内への滴下を防止してください。滴下したドレンが燃焼ガスと反応し、前述の箇所 B (図 40：拡管部構造) と類似メカニズムにより硫酸腐食破孔が発生するためです。

(5)-2【ハード面での対策】

空焚き防止のために重要なことは、水位監視、および、その維持が基本です。そのために、以下の対策があげられます。

- 1 定期的な安全保護装置の作動点検を実施し、低水位時の警報 / 非常運転停止や失火検知等が実際に制御されるように、安全な状態を維持することが重要です。
- 2 付属の自動水位検知装置 (トランスミッター) / 水位制御装置 (コントローラー) の点検と機側機器の整合が必要です。例えば、自動水位検知装置 (遠隔水位計) と機側の水面計の位置が一致していることを確認し、もし乖離しているのに整合調整しないまま放置すると、緊急時に適切な対応が取れません。また、自動水位検知装置と機側液面計については、取出弁が閉まっていると、実際の水位を反映しないので、毎日の見回り点検において、取出弁が正しい状態にセットされていることを確認することは、基本事項です。
- 3 図 37 に自動水位検知装置が記載されていますが、上部ドラムと連絡する導管が詰まっていると、いくら自動水位検知装置、および、その関連装置が正常に作動していても、実際の上部ドラムの水位を反映しません。この導管に閉塞がなく自動水位検知装置がいつも正常に作動するよう、掃除を定期的に行います。

以上が技術的な面から見た重要事項ですが、追加として以下を留意しなければなりません。

ボイラの構造のような、非常にシンプルかつ明解なシステムの補機は、若手 (ジュニア) 機関士が担当するケースが多いようです。

しかし、ボイラのように、そのシンプルな装置でもひとたび事故が発生すると、輸送活動の基本である荷

役作業に大きな影響を及ぼすことがあることを常に認識しておくことが重要です。

若手機関士は、ともすれば運転操作に気を取られて保守整備が疎かになっていたり、目の前の仕事に一生懸命になる余り、重要な案件を後回しとする例が散見されます。本船や機関部全体の中で、自分の関わる仕事がいかに重要であるか、或いは、どういったことを最優先で取り組まなければならないかといったことが、おざなりになる傾向にあると思います。

こうした潜在的な原因に関する対策として、C/E、1/Eなどのシニア機関士が、若手機関士へ自分の担当している機器がいかに重要であるかということの説明することで、若手機関士の成長に大きなきっかけを与えることにもなります。特に、今回の例では、貨物不足損害における保険てん補額がさほど高額ではなかったのですが、ひとたび不具合が発生すれば、荷主や傭船者の信頼を失い、その回復には多大な労力と時間を要します。

このような点を踏まえて若手教育にも粘り強く取り組むことも、シニア機関士の重要な業務のひとつです。

本事故例分析では、技術的な重要事項を抑えることももちろん機関士の基礎として重要ですが、それら点検・保守・整備作業が何のために行わなければならないのかといった「根本的な部分での動機付けも重要」ということも強調したいと思います。

(5)-3【参考：水管理の図表】

「ボイラ水の主な管理項目とその目的（図41）」、「補助ボイラの水管理（図42）」は、ボイラ水管理はどの項目をどのような目的でチェックしており、その背景となる化学のメカニズムは何かをまとめたものです。管理の参考に活用してください。

主な管理項目	主目的
PH (アルカリ度)	1 腐食の防止
	2 シリカや硬度成分によるスケール付着の防止
	3 油脂類の伝熱面への付着を防止
リン酸イオン濃度	1 硬度成分によるスケール付着の防止
	2 リン酸塩処理の場合は、ボイラ水のPH制御
塩化物イオン濃度 (電気伝導率)	1 ボイラ水の濃縮度の管理(全蒸発残留物の間接管理)
	2 キャリーオーバーの防止
	3 混入海水の発見
	4 腐食の防止
残留ヒドラジン	腐食の防止
シリカ	1 シリカによるスケールの防止
	2 主ボイラではシリカによるキャリーオーバーの防止

図 41 ボイラー水の主な管理項目とその目的 参考文献 *13

通常、「缶水管理記録表例(月次)(図43)」のような書式によって、ボイラ水の状態を管理しています。

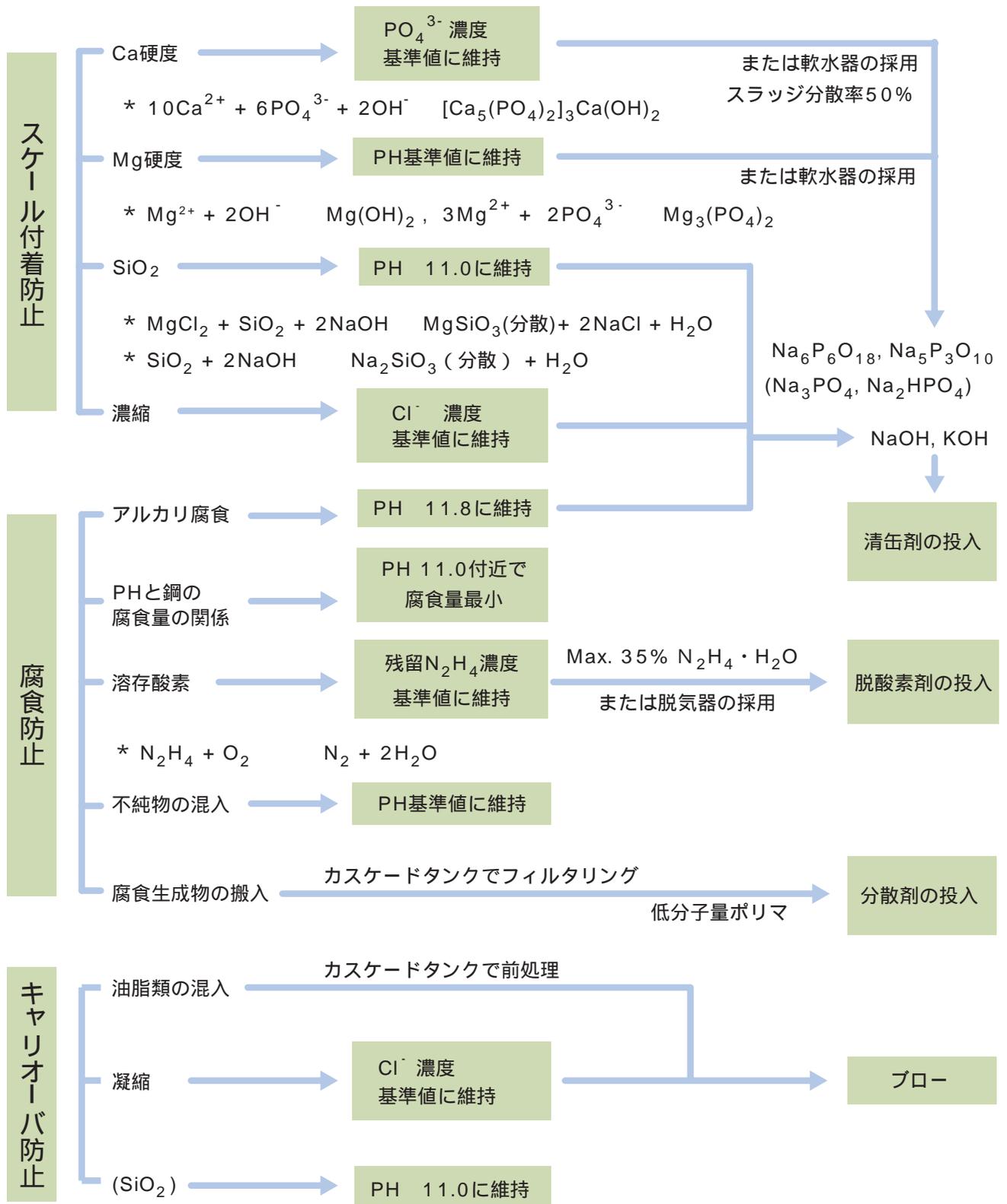


図 42 補助ボイラの水管理 参考文献 *13

バックファイヤーを防止するには以下に注意しなければなりません。

運用面では、失火した際には手で炉内を十分に強制パージ(ポストハージ)した後に原因調査にあたり、自動での再点火を繰り返さないこと。燃焼装置のカバーを開ける乗組員は、必ずカバー正面を避ける(身をかわず)ポジションで実施すること。

整備面では、燃料用電磁弁やバーナーが失火せず正常に運転できるように、点検・整備を励行すること。

2.2.2 港湾設備損傷(海底ケーブル損傷): 主機関起動不能

(1) 事故概要

出港直後に本船主機に不具合が発生し、緊急投錨しました。

主機の不具合の改善後に揚錨したところ、図 44 および図 45 に示すように、錨が海底ケーブル(電力会社の送電線)に絡まっていることが判明しました。トラブル発生時、水先人の指示に従って緊急投錨しましたが、図 46 に示す通りそこは投錨禁止エリアでした。

本船の錨鎖は切断され、図 47 に示す通り、その後、錨はダイバー会社により海底ケーブルから取外されました。

なお、海上安全当局は片錨での出港を認めず、修繕ドックで新錨鎖の取り付けを要求したため、図 48 および図 49 に示す通り、船主は同修繕工事を実施しました。

当該海底ケーブルにも損傷が発生していたためケーブル所有者は船主に対し不稼働損害(電力の一時ストップ)を加えた合計約 US\$140,000 を請求し、最終的に船主が約 US\$91,000(約 10,000 千円)を支払うことで解決しました。



図 44 海底ケーブル損傷イメージ図

(2) 保険てん補額

海底ケーブル損傷に関わる解決金	: 約 US\$ 91,000 (約 10.0 百万円)
錨および錨鎖の搜索および処分費用	: 約 US\$ 72,000 (約 7.9 百万円)
弁護士費用	: 約 US\$ 30,000 (約 3.3 百万円)
サーベイ費用	: 約 US\$ 10,000 (約 1.1 百万円)
その他費用	: 約 US\$ 2,000 (約 0.2 百万円)
合計	: 約 US\$ 205,000 (約 22.5 百万円) (US\$1 = 110 円)

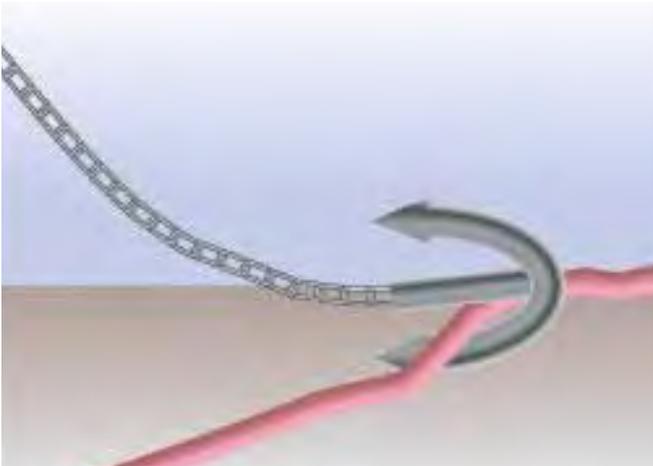


図 45 錨のケーブルへの接触状態



図 46 投錨禁止区域の標識



図 47 錨鎖切断



図 48 錨の接続工事



図 49 錨鎖と錨の動作確認作業

(3) 機関室で何が起きたか？

- 1 機関部は停泊中に主機関の整備を実施したため、主機関燃料系統を A 重油（以下、MDO と記す）に切り替えていました。整備完了後、主機関出港前点検を通常通り実施し、MDO を使用して主機関試運転のために「Ahead（前進）/Astern（後進）」をかけ、作動良好を確認しました。その後、船橋の指令により、主機関をスタンバイ（以下、S/B と記す）状態としました。
- 2 その 15 分後、C/E は三等機関士（以下、3/E と記す）に、まず、FO heating controller（燃料加熱調節器）を 90 に設定変更するように、指示しました。そして、ターミナル離棧操船中に、使用燃料を C 重油（以下、HFO と記す）へ切替えるように指示しました。機関の状態は、上述のとおり、既に出港のために主機関 S/B 状態としたため、主機操縦権は船橋にありました。
- 3 更に 15 分後、船橋で Dead Slow Ahead（微速前進）の主機関操縦ハンドルを操作しましたが、主機関起動に失敗しました。その時点で、燃料温度は 100 にまで達していました。
- 4 緊急錨泊後、以下の作業を実施し、機関復旧作業を完了して、航海の継続が可能となりました。

燃料供給ポンプ、および、燃料循環ポンプなどを停止し、燃料系統の温度を少し下げた後、燃料系統からいったん燃料油を排出し、改めて燃料油を再度充填しました。

その後、機関用意のため関係する補機を起動し、主機関起動を再度試みたところ、良好な作動が確認されました。

(4) 原因分析・・・チェックポイント

(4)-1【運用面（運転操作）のチェック】

運用面で以下のチェックポイントが挙げられます。

燃料設定温度 90 への変更指示について

燃燃料の温度設定変更は、出港時の燃料切替手順に沿って実施したが、その後の燃料の状態監視に基づく調整が行われていませんでした。

本来、燃料系統内の燃料は機関入り口で適正粘度を維持できるように、燃料の使用量、温度、および、粘度変化などの状況に応じて、適宜調整されなければなりません。

燃料切替のタイミングについて

燃料の温度設定の変更から主機関の運転を開始するまでの時間が長過ぎました。

そのため、後述のシステムレビューで解説しますが、燃料供給管内の MDO が揮発ガス化（ベーパーが発生）し、主機関起動後に連続運転するための燃料がパイプライン（配管）から枯渇（ベーパーロック）したと推測されています。

本来、燃料設定温度の変更や燃料の切替えは、本船運航全体のリソースマネジメント（Resource Management（後述））の観点から、出港前に主機の連続使用のタイミングなどをあらかじめ船長と C/E の間で情報共有し、S/B 中には随時船橋と機関制御室の間の連絡や、甲板部間の通信を機関制御室で傍受することによって、連続使用のタイミングをはずさない配慮が要点となります。

上記推定に基づく燃料配管システムレビュー

図 50 主機関燃料供給概念図をご参照下さい。

これは、左から右へ燃料が供給され、主機関周辺で循環するシステムです。
HFO は FO Service タンク (C 重油常用タンク) (左中) から A/C 重油切替弁を経由して、
MDO は DO Service タンク (A 重油常用タンク) (左下) から A/C 重油切替弁を経由して、
燃料循環ライン (赤) へ移送されます。

移送された燃料は、燃料循環ラインから主機関へ供給されます。
同循環ラインはループしているため、主機関で燃料油の消費がなされなければ、同一燃料が
循環し続けます。
消費された量と等量の燃料はサービスタンクから供給されます。その量はフローメータ (流量
計) の作動で把握ができます。

今回の場合、A/C 重油切替弁を HFO に切り替えても、主機関は 15 分間停止したままでした
ので燃料の消費がなく、燃料循環ラインに HFO の供給はされず、MDO のみが循環しつ
づけました。つまり、温度設定を 90 に上げて HFO を加熱しようと試みましたが、循環ラ
インで加熱されていたのは、MDO だけだったということになります。

最終的に循環ライン内の燃料温度は 100 に達し、ベーパーロックを
発生させるに至りました。

負の連鎖

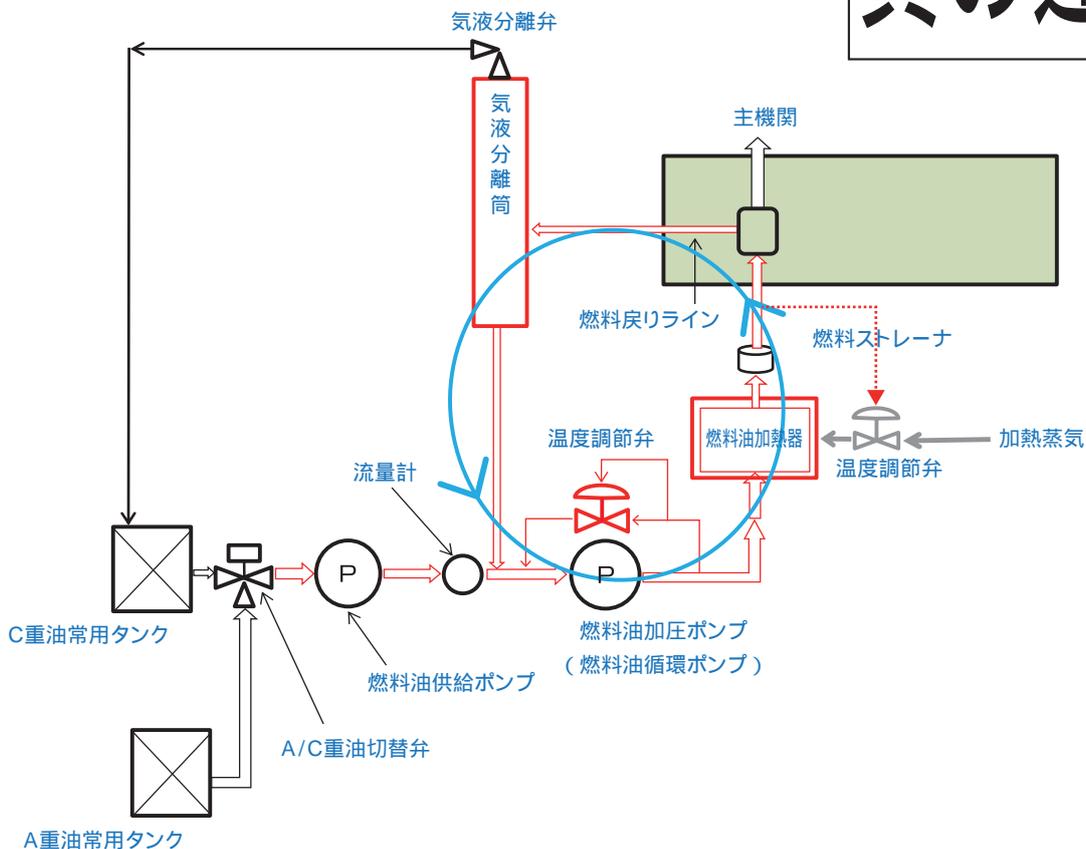


図 50 主機関燃料供給概念図

(5) 再発防止策

主機関運転において、HFO と MDO の切替使用を行う場合には、燃料の基本的な性質・特徴を理解し、その取扱い（配管機器の取扱、圧力・粘度・温度などの把握）を十分理解し、忠実に管理実行することがトラブル防止の基本です。

したがって、本ケースでは以下の再発防止策が推奨されます。

【運用面での対策（運転管理）】

- 1 燃料を MDO から HFO へ切り替える際には、連続運転状態が予測できるタイミングで、HFO に切り替えるとともに、燃料の機関入口推奨動粘度を維持できるように加熱を開始すること。
- 2 燃料の切替時の設定温度には、主機関メーカー取扱説明書の注意事項を参照すること。
例：加熱スピードは、粘度調整器を利用し、安全確保の観点から 2 分毎に 1 以上上昇しないようにすること。
- 3 MDO から HFO へ切替る際には、以下の状態監視を励行し、異常時には適切な処置を実行すること。
燃料パイプライン内の燃料温度、および、動粘度、燃料加熱弁の作動状態、供給ポンプの運転状態、圧力変化など。

本船の燃料油の性状情報は補油時に燃料供給者から提供される「燃料供給証明書（Bunker Delivery Note、以下 BDN と記す）」と、補油時に採取したサンプルを分析にかけた分析結果（任意）のみですが、主機燃料系統内の状態はそれとは異なります。そのため、使用燃料の性状把握は難しいものと考えられがちです。しかし、サンプルが 1 リットルもあれば、本船上にて、市販の簡易分析キット、「浮きばかりの密度計（図 51）」、「せん断力計を応用した動粘度計（図 52）」および「化学反応の原理を応用した水分計（図 53）」などで確認可能です。定期的に機関直前の燃料を採取し、系統内の燃料性状を把握することができます。

4



図 51 密度計 参考文献 *14



図 52 粘度計 参考文献 *14



図 53 水分計 参考文献 *14

使用燃料について、技術資料図 54「混合時の動粘度変化：添付資料」、図 55「動粘度変化と加熱温度の関係：添付資料」を参照し、系統内の燃料の状態を予測する。

例えば、系統内の混合燃料については、図 50 に示す燃料循環ラインの油量（X リットル）はパイプ径と長さから概ね把握できるので、循環ラインの MDO に HFO が混合してくる場合であれば、フローメータの作動量（Y リットル）を考慮すれば、X : (X-Y) の割合で、系統内の混合燃料の粘度を推定することが可能です。

大雑把に考えるならば、燃料循環ラインとフローメータの作動の量が等量（X=Y）となった以降は、燃料循環ライン内の燃料が置換されたと考えることが可能です。

また、燃料の連続使用下の、系統内の加熱温度も、混合状態に基づく、粘度が推定できれば、それに対応した適切な加熱温度を推定することが可能となります。

5

ベーパーロックのメカニズムを理解する。（巻末 基本参考情報 船用燃料の特徴ご参照）

ベーパーロックが発生する原因は燃料油中の低沸点溜分によるものと、水分によるものがあります。本システムのように、加圧循環システムシステムの燃料系統では飽和蒸気温度が上昇するために（高圧時の沸点）ベーパーロックは発生しにくいものの、デアレーションチャンバーのデガス弁（気液分離弁、auto deaeration valve）の作動のチェックは重要です。その理由は、HFO / MDO にも若干の揮発成分や水分が含有されていますので、この弁の作動がもし不良であれば、HFO でも、或いは、MDO でもベーパーロックの恐れがあるので、十分注意しなければなりません。

6

(6) 使用方法：例題

380mm²/s(cSt)@50 の HFO の粘度を 60mm²/s(cSt) に減少させるには、希釈剤として 10mm²/s(cSt) @ 40 の MDO を何%（質量）混合すればよいか？

(1) 左側の HFO380mm²/s (cSt) @50 の欄を探します。

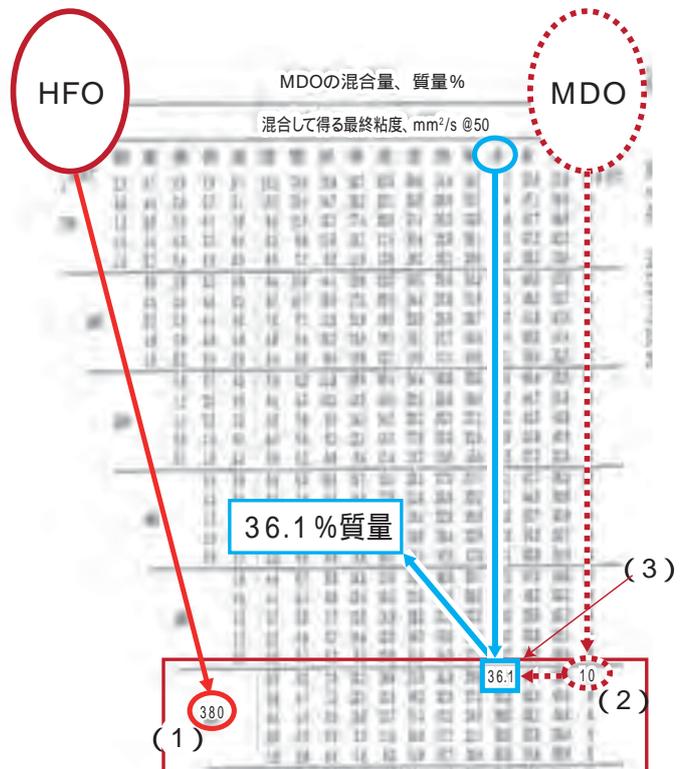
—— 赤色実線

(2) 上記 (1) の欄の右側の 10mm²/s(cSt)@40 のラインを探します。

----- 赤色破線

(3) 最最終ブレンドの粘度 60mm²/s (cSt) @50 （最上欄）のラインと交わる数字 36.1、必要となる質量%（MDO の混合量）を読み取ることができます。

—— 青線



出典
陸船中・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（山海堂）
淡井 信幸 / 花島 脩 / 横沢 オニ【著】

図 54 HFO と MDO を混合したときの推定粘度 参考文献 *15

(4) 逆に、 $380\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt)@50 の HFO に $10\text{mm}^2/\text{s}$ @ 40 を質量 36.1% を混合すると、 $60\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt) @ 50 の TFO (B 重油相当 : Thin Fuel Oil) になります。

図 55 は機関メーカーの取扱説明書にも掲載されている縦軸に粘度、横軸に温度としている燃料油の粘度・温度線図です。

図 54 で得られた $60\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt) を例に説明します。 $60\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt) は赤色の曲線 4 です。使用機関の入口推奨燃料目標粘度が $15\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt) であれば、その時の温度は、 $15\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt) から水平に紫線を引き、赤線との交点から紫線を鉛直に下げ、温度線との交点が目標の温度として、90 を得られます。

従って、本トラブルケースでは、系統内の粘度がもし $60\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt) で、しかも連続的に燃料を使用中であったならば、過剰な設定温度でなかったことが推定できます。

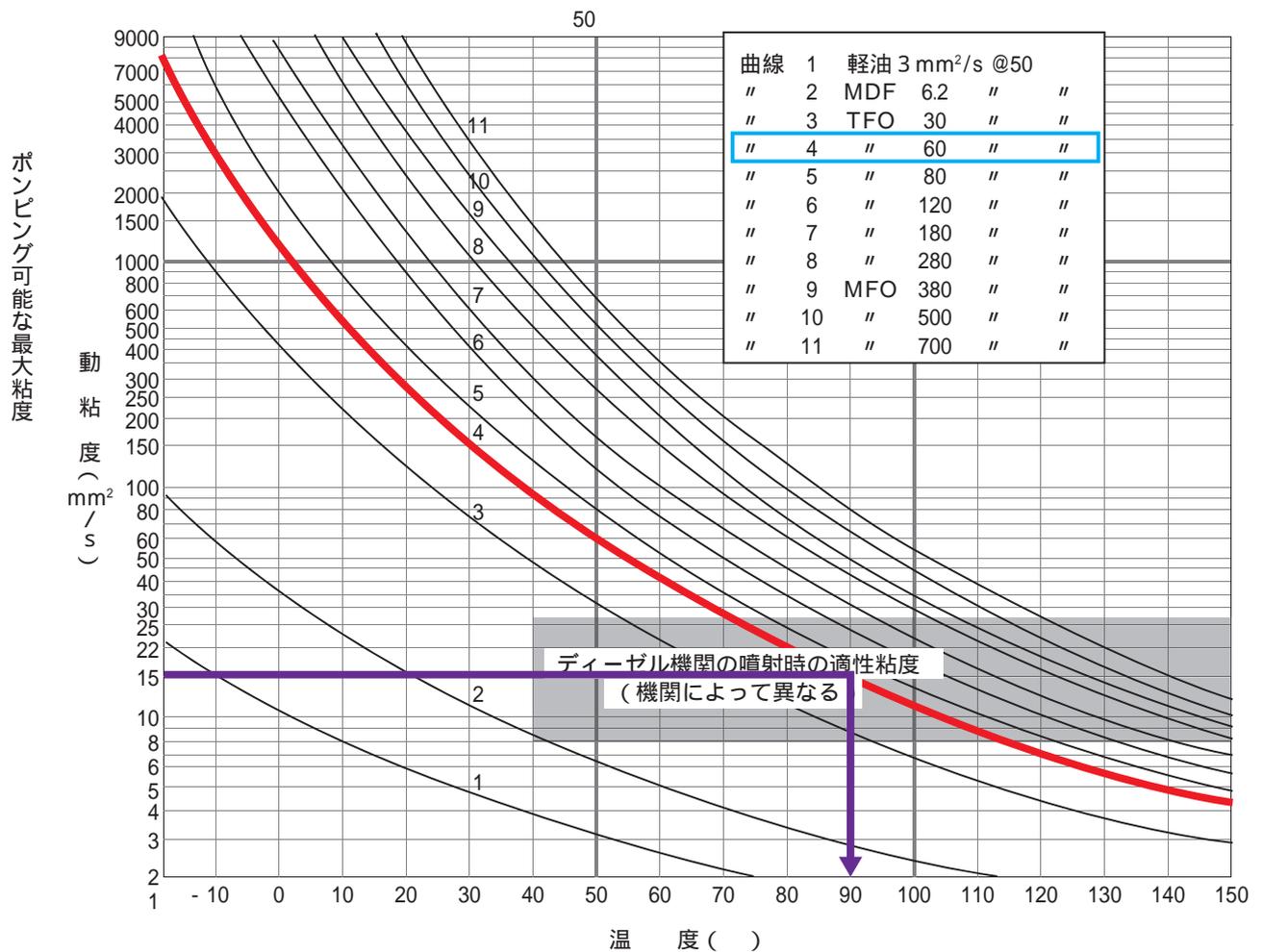


図 55 船用燃料油の粘度・温度線図 参考文献 *15

2.2.3 貨物損傷：発電機再起動不能（ブラックアウト、停電）

(1) 事故概要

本船は極東地域でコンテナ約 2,100 本（内、冷凍コンテナ 23 本）を積載し、パナマへ向けて航行中、ロサンゼルス西方約 900 マイルの地点で停電（以下、ブラックアウトと記す）状態に陥りました。

発電機の再起動を試みましたが失敗し、救助業者によりロサンゼルスまで曳航されることになりました。この間、悪天候が続いたこともあり、曳航作業が 21 日間にもおよび、この間、食料品等を積載していた冷凍コンテナに電力供給ができなかったことから貨物損害が生じました。

冷凍コンテナの多くが全損となり、荷主はコンテナ 16 本分の貨物クレーム合計約 US\$1,600,000 を船主へ請求し、最終的に船主が US\$645,000（クレーム額の約 40% 相当 / 約 7,100 千円）を支払うことで解決しました。

(2) 保険てん補額

貨物クレーム解決金	: 約 US\$ 645,000（約 71 百万円）
弁護士費用	: 約 US\$ 200,000（約 22 百万円）
サーベイ費用	: 約 US\$ 35,000（約 4 百万円）
合計	: 約 US\$ 880,000（約 97 百万円）(US\$1 = 110 円)

(3) 機関室で何が起きたか？

発電機の運転状況

1

本船は発電機を 4 台装備しており、航海中に 3 号発電機と 4 号発電機は HFO を燃料として並列運転していました。
待機（以下、S/B と記す）発電機は HFO 循環状態で、1 号発電機が第 1 S/B で、2 号発電機は第 2 S/B とされていました。

2

4 号発電機が危急停止

S/B 中の 1 号発電機と 2 号発電機が自動起動するはずでしたが、起動することができませんでした。

3

1 号発電機の気中遮断器の投入失敗

直ちに、1 号発電機を手動で起動しました。しかし、気中遮断器（以下、ACB と記す）を投入できませんでした。

4

3 号発電機の危急停止

次いで、3 号発電機も危急停止。更に、1 号発電機も 1 分後に危急停止。

5

ストレーナ点検

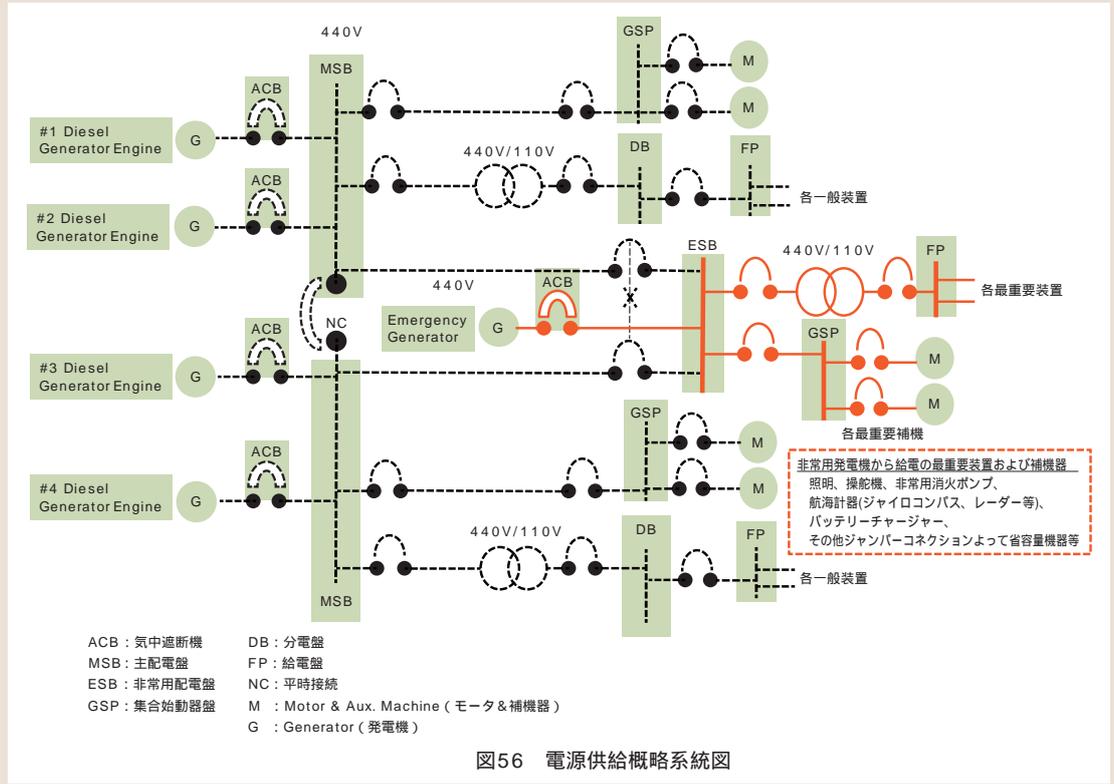
原因究明のため、燃料供給パイプラインの油こし器（ストレーナ）をチェックしましたが異常なし。

4号発電機停止後には非常用発電機が自動起動。

「電源供給概略系統図(図56)」に示すとおり、黒色点線の母線に接続された発電機からは電源供給できず、非常用発電機から赤色実線の系統に接続された以下の機器にのみ給電がなされました。

照明、操舵機、航海計器(ジャイロコンパス、レーダーなど)、非常用消火ポンプ、バッテリーチャージャー、その他ジャンパーコネクション経由で小容量機器等

6



燃料循環ポンプとボイラの停止

7

発電機停止によるブラックアウトの結果、発電機用燃料循環ポンプ(GE FO Circ. Pump)が運転できなくなっただけでなく、ボイラも停止したため、高粘度のHFO加熱用蒸気の供給もできない状態になりました。そのため発電機の燃料をHFOからMDOへ切替えました。

始動用圧縮空気の欠乏

8

1号発電機の再起動作業を何回も繰り返した結果、空気槽が10bar(気圧)以下にまで低下し、空気圧不足のため発電機の起動作業ができなくなりました。

手動空気圧縮機による非常用空気タンクの蓄圧

9

手動空気圧縮機を人力で操作し、発電機用の非常用空気タンクを蓄圧しましたが、依然として発電機を起動できませんでした。

曳航開始

10

8日後、オーシャンタグが到着し、曳航を開始。

パワーパックの手配

11

発電機起動不能の長期化が予想されたためパワーパック(輸送可能な大型発電機)を手配。

- 12 11 日後にパワーバックを搭載したタグが到着
手配中のパワーバック到着。
- 13 プラントアップ
同日プラント復旧完了し、仕向地への航海を再開。(約 21 日間ブラックアウト)
- 14 仕向地到着
その 2.5 日後、仕向地へ到着し、揚荷を完了。
- 15 安全通達
数日後、船舶管理会社は本事故の対策として安全通達を横展開しました。

(4)原因分析・・・チェックポイント

運用面と安全面で以下のチェックポイントが挙げられます。

(4)-1【運用面 (運転操作) のチェックポイント】

なぜ、1号2号発電機を起動できなかったのか？

起動空気入口弁を閉鎖したままだったため、起動空気を供給できず、自動起動できませんでした。
(「発電機 燃料・起動空気系統概略図 (図 57)」をご参照下さい。)

担当機関士 (3/E) が作業手順書に従わず、他船で指導を受けた際の記憶に従い、起動空気入口弁を閉鎖したまま作業を行なっていました。【手順書不履行】

(もちろん、機関の整備時には、安全確保のために、閉鎖するのは当然のことですが、S/B 時には開放しておかなければ、自動起動はできません。)

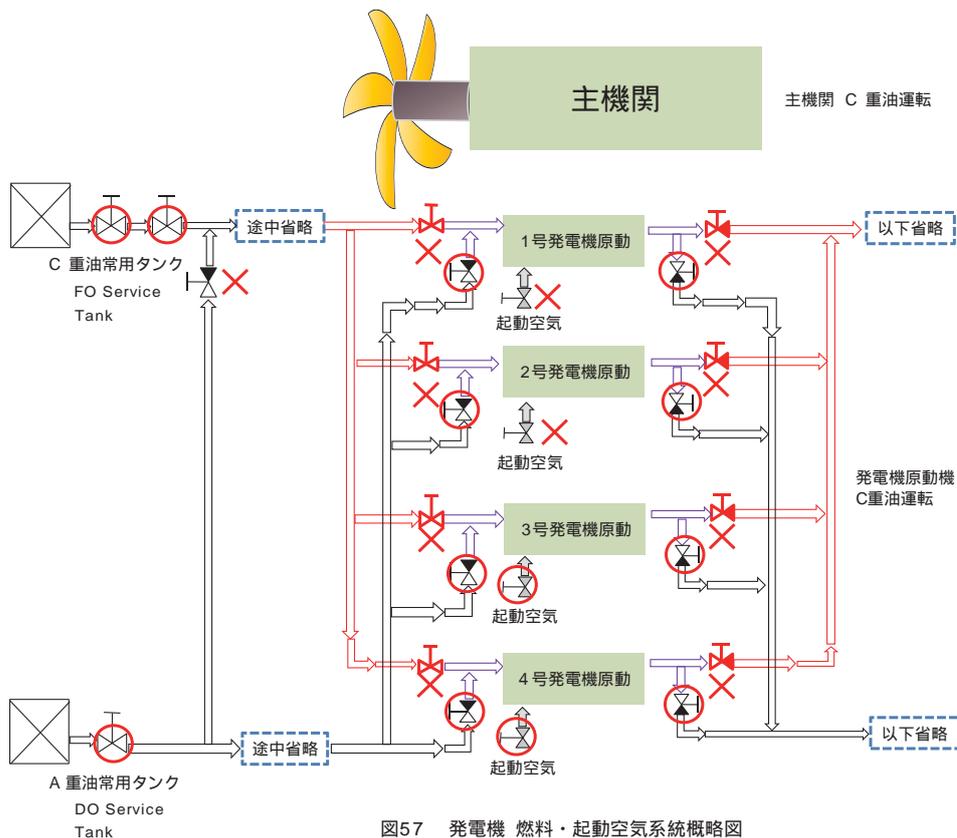


図57 発電機 燃料・起動空気系統概略図

なぜ、再三発電機の再起動に失敗したのか？

発電機の起動失敗の原因を特定・是正できないまま、再起動を繰り返しました。
ブラックアウト後、ボイラから HFO 加熱用蒸気を供給できなくなり、発電機燃料供給用のパイプライン内の HFO 燃料の流動性が低下し、燃料供給パイプラインが閉塞した状態になりました。
すなわち、発電機の燃料を HFO から MDO へ切替える手順が不適切でした。

なぜ、空気タンクが空になったのか？

手順書では通常航海中は、2つある空気タンクのうち片方の出口弁のみ開とし、もう一方は閉とすることによって予備とすることとしていましたが、事故当時2つの空気タンクの出口弁は両方とも開いたままでした。【手順書不履行】

2つの空気タンクの出口弁が両方とも開いたまま、再起動作業を繰り返したため、2つの空気タンク圧力が同時に低下しました。

(4)-2【安全教育・安全通達のチェックポイント】

なぜ、1号2号発電機を起動できなかったのか？

担当機関士（3/E）が、手順書に反して、停止中の発電機の起動空気入口弁を閉鎖したままでした。【手順書不履行】

なぜ、再三発電機の再起動に失敗したのか？

機関システム休止冷態状態からの発電機の始動およびシステム復旧手順に習熟していませんでした。（ブラックアウト復旧訓練が実施されていない）

後日船舶管理会社から発行された安全通達は適切であったか？

安全通達は「停止発電機の起動空気入口弁の閉鎖によるトラブル」に対する注意喚起の内容にとどまっていて、根本原因分析に基づく再発防止策の指示・通達はありませんでした。

次にハード面で以下のチェックポイントが挙げられます。

(4)-2【ハード面のチェックポイント】

(4)-2-1 保守整備管理

発電機の整備状態？

発電機の運転記録を調査した結果、陸上試運転データでは定格出力である 1,470kW 時の負荷指示計（Load Indicator）8.6 に対し、事故発生前の直近 1 年間の出力計測記録では 500kW（約 3 割）程度の運転出力において負荷指示計が 10 まで達するほど、性能が劣化していました。

さらに、事故調査の過程で、1号発電機の燃料噴射ポンプを開放したところ、プランジャ（燃料加圧用部品）の衰耗が発見されました。

なぜ、ACB を投入できなかったのか？

一般的に、ACB の投入条件は、一定時間内に所定回転数以上、電圧確立、周波数確立などの条件が整えば、ACB 接続信号が発信されます。

しかし、前述したように、発電機の整備不良で、起動後に安定した運転に移行できなかったため、ACB 制御システムは発電機の起動失敗と判定し、ACB の接続信号を発信しなかったと考えられます。

発電機非常用起動空気タンクの蓄圧に長時間を要したのはなぜか？

0.6m³の発電機非常用空気タンクに手動空気圧縮機で 18 時間を費やして蓄圧できましたが、再び発電機の起動に失敗しました。

非常用起動空気タンクの充填用として、付属していた手動空気圧縮機の性能が低下したため、蓄圧に時間を要しました。これは、非常用機器の使用を前提にした整備や作動テストが行われていなかったことや、船上予備品の欠品によるものです。

その蓄圧の間に、発電機の温度が低下（冷態化）し、起動が更に困難になったとも考えられます。

(4)-2-2 設計面

設計上の問題点は無かったか？

海上人命安全条約（以下、SOLAS 条約と記す）第 1 章第 41 規則 1.4 には「冷態（デッドシップ状態から）始動できるシステム」が要件とされています。

燃料については「発電機 燃料系統概略図（図 58）」の黄色線で示すとおり、A 重油常用タンクに接続されている弁を操作するだけで、重力で発電機原動機に直結の燃料供給ポンプ直前まで供給できます。そのため、起動空気の投入によって、発電機原動機が回転すれば、燃料供給ポンプが駆動されるため、燃料噴射ポンプへ燃料が導かれ、カム駆動によってシリンダ内へ燃料を噴射します。

また、起動空気については、手動空気圧縮機によって、非常用空気タンクへ充填されます。

したがって、本システムは冷態から発電機原動機を起動できるシステムとなっており、SOLAS 条約の要件を満たすものとなっています。

では、なぜ要件を満たしているのに再起動できなかったのか、以下の課題が挙げられます。

発電機の非常用起動空気タンクの蓄圧に長時間を要したのはなぜか？

非常用装置を使用するための船上予備品が十分でなかったと言えます。

なぜ、パワーバックを手配したのか？

非常用発電機から空気圧縮機に給電できる電気配線となっていなかったため、同圧縮機の運転には外部電源に頼らざるを得ませんでした。同様に、発電機原動機の燃料供給ポンプや発電機原動機の燃料循環ポンプにも非常用発電機から給電できない配線でした。すなわち、一つの原因が長期間のブラックアウト事故を招いたのではなく、いくつかの複合した原因がエラーチェーンを構成した事故と考えられます。

負の連鎖

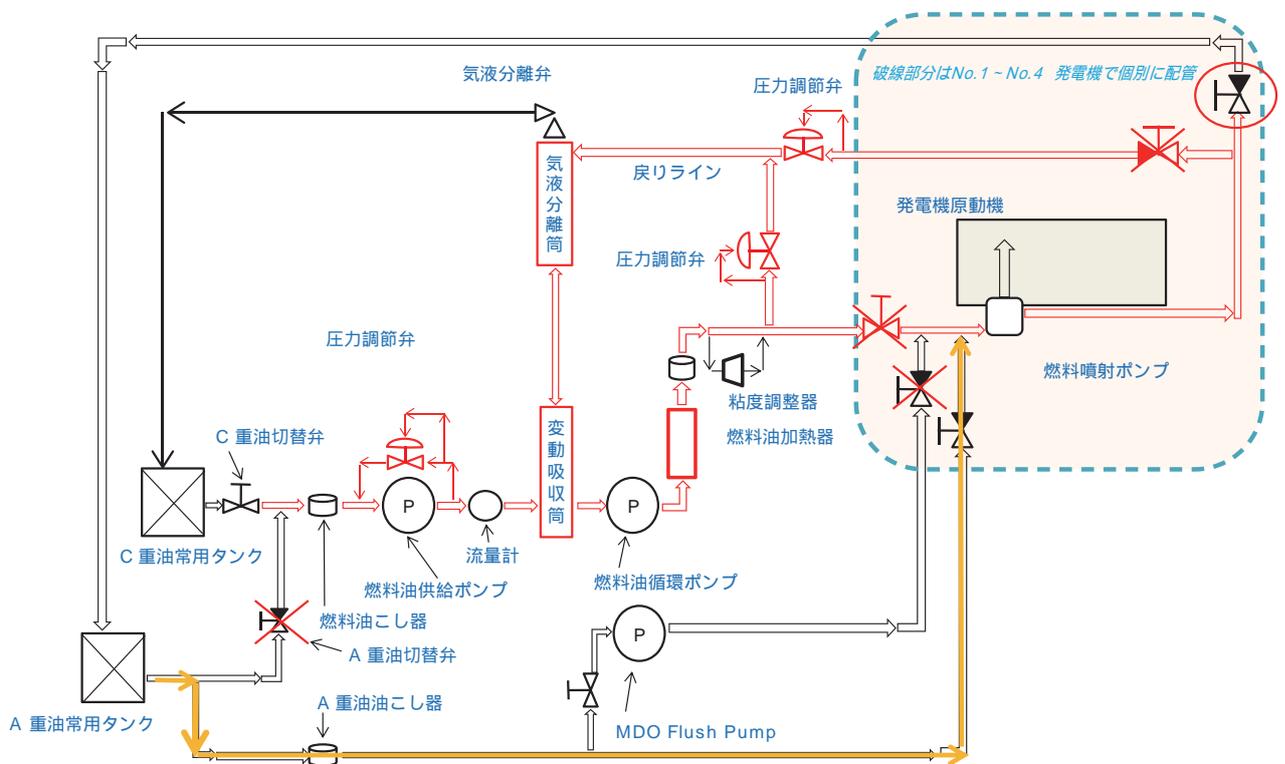


図 58 発電機 燃料系統概略図

(5)再発防止策

本ブラックアウトトラブルに関して事実確認を進めたところ、運用面（運転操作）、安全教育・安全通達、ハード面などについて、注意すべき点が複数認められました。これらを踏まえて以下の再発防止策のアプローチが考えられます。

(5)-1【運用面での対策（運転操作）】

発電機の停止前には供給する燃料を MDO へ切り替える

ブラックアウトは予期せぬ原因で発生しますので、それ自体は避けられないものとしても、発電機をいかなる環境下でも、再起動・復旧できる体制をとることが緊急対応として不可欠と言えます。そこで S/B とする発電機は、仮に燃料の加熱が不可能となっても再起動可能なように、停止前には必ず、HFO から MDO へ燃料切り替えを行って、停止することが望ましいと考えます。

すなわち、停止中の発電機の燃料系を MDO に切り替えることで、SOLAS 条約第 - 1 第 41 規則「冷態始動できる発電システム」であることを確実にし、安全レベルを格段に向上できます。

(a) 停止中燃料の MDO への切り替え励行

発電機の停止時は、発電機の負荷が十分ある間に HFO から MDO へ切替えること。

発電機の起動時は、安定負荷運転となってから MDO から HFO へ切り替えること。

(b) 備船者との合意

燃料コストは備船者の負担であるため、安全確保の環境整備のために、MDO 使用の必要性について、備船者にコスト負担を理解してもらうことも重要です。

一例を挙げると、次の条件下では1ヶ月に燃料消費量 $Q = 0.6\text{Mt}$ 程度の MDO の消費増加となりますので、仮に MDO が1トン10万円だとしても、6万円程度で安全レベルを大幅、かつ、確実に向上できることとなります。

発電機の発停の回数が月20回（停止10回、起動10回）、停止負荷分担前15分間、起動後並列運転後15分間（仮に負荷500kW）とし、平均的な発電機の燃料消費率220g/kWhとした場合の MDO 消費量は以下となります。

月間燃料消費量(Q Mt/月)

$$= 220\text{g/kWh} \times \text{負荷} 500\text{kW} \times (15\text{分/回} \times 20\text{回/月})$$

$$= 220\text{g/kWh} \times \text{負荷} 500\text{kW} \times 5\text{Hr/月}$$

$$= 0.6\text{Mt/月}$$

正確な試算のためには、本船の搭載機器の運用方法や性能を再度確認して下さい。

確実に実施可能な燃料切替手順の確立

2.2.2 港湾設備損傷の事象例でもご説明しましたが、油種毎の基本的な性質を理解した上で、切替手順を確立することが重要です。

例えば、切替の途中で、燃料供給パイプラインで激しい圧力変動が生じた場合には、ライン内でベーパーの発生が懸念されますので、ストレーナのアイベントやヒーターのアイベントなど、ラインのできるだけ高い箇所からガス抜きを行うなどの処置が必要になります。

燃料の性状把握と適切な管理

本船の燃料油の性状は、燃料油供給者が発行するBDNに示されますが、複数の港・業者から購入した異なる性状の燃料油を保有する場合もあり、ライン内や本船貯蔵タンク内では異なる状態となり、必ずしも、均一でないことを理解しておくことが必要です。

したがって、本船が使用中の燃料について、自ら認識し、その取り扱いで注意すべき点を現場で検討するために、市販の簡易分析キット（P.37 図51～53ご参照）によって、性状を把握することが重要になってきます。

運航状況に適した機関運転管理の徹底

航海中、停泊中、出入港S/Bのそれぞれの状態で、機関システムの状態は異なるため、それぞれの状態の下で最適な運転管理を行う必要があります。

出港S/B中は、下記のような装置が運転されているため、航海中に比べ電力消費および変動が多く、複数発電機運転としていますが、電力消費が安定する航海中には所要電力に応じた、最低限必要な発電機台数を決定・運転すべきです。

機関部：主機で使用する補助プロア

甲板部：舵効き応答性向上のため操舵装置駆動機器の複数運転、係船装置(含む揚錨機) パウ斯拉スター

例えば、今回ご紹介した例の発電機は30%以上の負荷運転ができなかったため、2台の発電機運

転を行っていますが、本来は発電機が十分整備されていれば、1台の発電機の60%負荷運転で十分賄うことができます。必要以上に運転台数を多くすると、整備の頻度も上がるので、注意が必要です。

S/B 発電機の日常チェック（デイリーチェック）の励行および不具合是正

C/E や 1/E も、定常的に機関室の見回りを行い、S/B 発電機の状態把握を励行し、不測の事態発生時に S/B 発電機が自動起動できる状態であることを、定例業務として点検することが必要と考えます。その場合には、異常があれば即是正して、機関部全員で情報共有することが重要です。他方、下記のような切替操作が頻繁に行なわれる重要な弁には、その状態（開、閉）が一目でわかる銘盤を設置し、容易に異常を発見できる工夫も必要です。起動空気入口弁、空気タンク出口弁、燃料供給パイプラインの切替弁、油こし器（ストレーナ）のエアメントなど

(5)-2【安全教育・安全通達での対策】

手順書の無視の排除（安全教育の要素を含む）

現場では整備や運転の手順書を参照して機関運転操作を行います。次のことを強調したうえで理解していなければ、効果は得られにくいと考えます。

手順書内で構成されている各手順の意味
それに関するパイプラインや装置の作動の関係性

各手順の船内教育や勉強会で、手順書の行間を埋める取組が重要です。

例：HFO から MDO への切替によって、パイプライン内へどんな不具合が予想されるかなど。仮に手順書が実態に即していないのであれば、合理的検証を得た上で手順書を改定する手続きを検討すること。（手順書の端折り（ショートカット）はご法度！）

ブラックアウト復旧訓練の定期的な実施

冷態からの電源立ち上げは、2.5～3年に1度のドック出渠の際に経験する程度です。また、ドックでは復旧作業を少々失敗しても、火災・爆発を除き、時間を要すれば復旧できないことはありません。

そのため、ドック出渠時の作業を経験していない乗組員は電源システム復旧手順の理解が不十分な場合があります。

従って、教育訓練と装置の作動確認を兼ねて、通常運航（ランニング）中に定期的なブラックアウト復旧訓練の実施も一案です。

訓練も発電機を実際に危急停止させてブラックアウト復旧する方法と、実際に手順書通りに実際に人員を配置し手順を指差し確認する方法が挙げられます。ただし、実際にブラックアウトさせる場合には、復旧に手間取ると、本船スケジュールに影響を及ぼす恐れがあるため、念のため、事前に傭船者の了承を得ることをお勧めします。

再発防止のために根本原因の分析に基づく教訓を安全通達へ

教訓に基づく安全通達の重要性は、事実の掘り起こしを徹底し、原因を明白にし、表面的な直接原因のみの抽出にとどまらず、類似トラブルの再発を抑制するという目的があります。管理会社・船主側でもこのようなことを明確にして共有し、根本原因に至る背景も考慮し、メーカーの協力も得ながら効果的な内容の安全通達を迅速に発行（展開）することをお勧めします。

事実の掘り起こしが、時には犯人探しと勘違いされる恐れがありますが、根本原因の究明と再発防止策の確立という目的を明確にし、乗組員の最大限の協力を得て可能なかぎり真実を収集することが重要です。

(5)-3【ハード面での対策】

発電機（含む非常用関連機器）の厳格な定期整備・保守整備

メーカー取扱説明書に従い、適切な頻度で、機関の点検・整備を実施することが基本です。さらにメーカーでは経験に基づきサービスニュースなどで機器整備・取扱いについて最新の安全指針を提供しています。そこで、船舶管理会社もメーカーから情報収集に努め、船陸一体となった体制を構築することが不可欠です。

さらに、今回は非常用手動空気圧縮機の性能劣化が早期復旧を妨げました。非常用関連機器についても、万が一の際に備えて適切に使用できるよう、上記復旧訓練を実施するだけでなく、定格性能を発揮できるように点検・整備を行うことが求められます。同時に、劣化の恐れのある部品の予備品を適切に管理し、予備部品が入手困難であれば代替予備品を調達しておくことも肝要です。

(5)-4【推奨】非常用発電機から給電可能な装置への設計上の配慮

1

発電装置は SOLAS 条約第 - 1 章第 41 規則 1.4 に「冷態始動できるシステム」が要件とされているため、手動空気圧縮機によって起動空気タンクを充填し、重力にて MDO を供給できればその要件を満たすことができます。

2

しかし、今回の事故では、燃料パイプラインは全て MDO に置換されたにもかかわらず、電力の復旧には陸上からタグで輸送したパワーバックから電力供給された空気圧縮機による主空気タンクの充填を待たねばなりませんでした。

3

すなわち、手動空気圧縮機は、最低減必要なルール要件は満たしますが、今回の結果が示すように、整備が適切でなければ、非常時に脆弱であることを証明した結果となりました。

4

他方、その間、船内の非常用電源系統への給電については非常用発電機の正常運転によって賄われていました。

5

つまり、非常用起動空気タンクに、小型ディーゼルエンジンが直接駆動する空気圧縮機、もしくは非常用発電機から給電といった主電源以外の動力源で駆動する空気圧縮機の設置も一案です。

6

さらに、常用空気タンクにも同様に、小型ディーゼルエンジン駆動もしくは非常用発電機から給電 / 駆動できるタイプの空気圧縮機を設置することも一策です。

2.2.4 環境損害：ボイラ燃焼不良

(1) 事故概要

本船がターミナルに着岸し、揚荷中に、ボイラの故障が原因で20～30分の間、煙突から煤混じりの黒煙（図59）を排出しました（このボイラは発電機の燃料であるHFOを加熱するために使用中でした）。その結果、煤が広く拡散（図60）し、付近の海上、ターミナル、および、ターミナルに隣接しているいくつかの工場に堆積（図61、62、63）しました。



図 59 黒煙

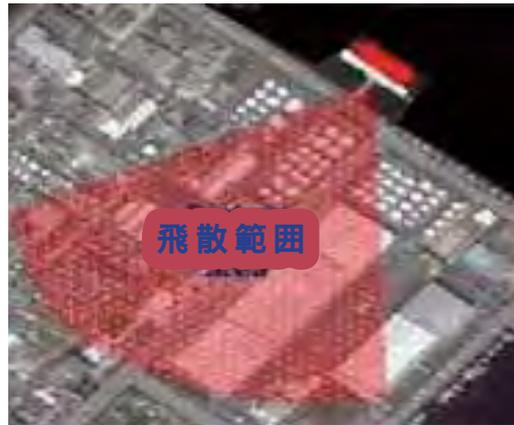


図 60 煤の飛散範囲(550m)



図 61 掃除回収された煤(パケツ内)



図 62 工場作業通路の煤



図 63 工場屋内通路の煤

船主は迅速に清掃作業を実施しましたが、その作業には3日間を要しました。

ターミナルは、自ら行った清掃費用や清掃中の不稼動損失（工場生産ライン停止）などの損害として、合計約US\$252,000を船主へ請求し、船主が約US\$170,000（約18,700千円）を支払うことで解決しました。

(2) 保険てん補額

ターミナル清掃費用など解決金	：約 US\$ 170,000（約 18.7 百万円）
清掃費用	：約 US\$ 30,000（約 3.3 百万円）
弁護士費用	：約 US\$ 30,000（約 3.3 百万円）
サーベイ費用	：約 US\$ 9,600（約 1.1 百万円）
合計	：約 US\$ 239,600（約 26.4 百万円） (US\$1=110円)

(3) 機関室で何が起ったか？

黒煙は、空気と燃料のバランスが崩れた場合に発生します。これは空気供給量の低下もしくは、燃料噴射が不安定になった場合のどちらかで発生します。

もし、黒煙の出どころが発電機で使用する HFO を加熱するためのボイラからで、運転中にその原因把握が困難だとすれば、発電機の燃料を加熱不要の MDO に切り替えて、原因究明のためにボイラを停止することをお勧めします。

その際のチェックポイントは以下の通りです。

- 1 燃焼空気の供給は適切だったか？
- 2 燃料温度は適切だったか？
- 3 燃焼ノズルに未燃焼の燃料や煤が付着していなかったか？
- 4 燃料噴射ノズルのタイプやサイズは正しかったか？

他方、上記のポイントが適切でも以下を原因とするトラブルも散見されますので、注意が必要です。

- 5 バーナーノズルの孔径が標準値より大きく、燃料噴射後の霧化が不十分な場合に燃焼不良状態を招きます。
- 6 燃焼用空気供給制御装置の制御位置が正確に調整されず、燃焼用空気供給不足（燃料供給過多）の状態を招く場合があります。

(4) 原因分析・・・チェックポイント

ハード面と運用・安全教育面において、以下のチェックポイントが挙げられます。

(4)-1【ハード面のチェックポイント】

燃料の流れを把握するために図 64 ボイラ燃料系統図をご参照下さい。

バーナー燃焼中は、燃料は左上 C 重油澄ましタンクから、気液分離筒、左下の燃料油供給ポンプ、燃料油加熱器、燃料流量調整弁、燃料塞止弁を経て、バーナーへと導かれます。

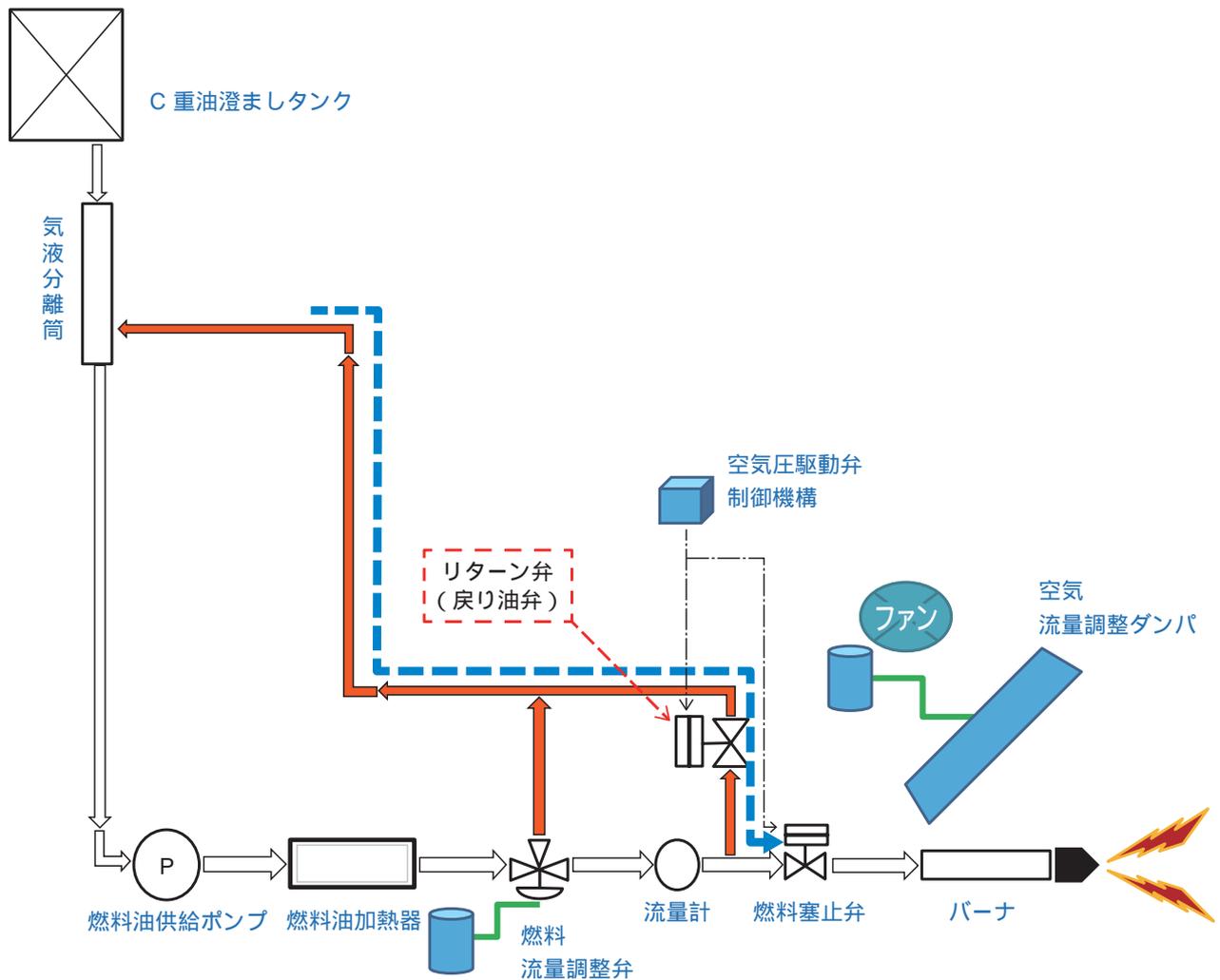


図 64 ボイラ燃料系統図

燃料塞止弁の手前に空気シリンダ駆動のリターン弁があり、同弁は燃焼中には閉鎖されていなければなりません。

しかしながら、その空気シリンダに装着されている「Oリング」が周囲環境による影響で、硬化・劣化していました。

その結果、当該弁は正常作動しなくなり、開放状態のままとなりました。リターン弁が設置されている燃料油の戻りパイプライン（リターンライン）の背圧水頭は 10 m あり、それが燃焼ラインに逆流し、バーナーへの燃料供給が計画値よりも過剰となったと推定されています。そして空気と燃料のバランスが崩れて黒煙が発生しました。

(4)-2【運用面（運転操作）・安全教育面のチェックポイント】

停泊中であつたため煙突からの煙の監視を怠っていました。その結果、黒煙の発見が遅れました。

また荷役作業が完了し、出港のために日出を待っていた深夜に事故が発生したため、黒煙放出への警戒が

不十分でした。さらに、機関部による黒煙発生時の即時対応が不十分であったことも黒煙放出が長引いた要因の一つとなりました。

負の連鎖

2.2.3 のブラックアウト事故同様、一つの原因が事故を発生させたのではなく、いくつかの原因がエラーチェーンとなって発生した事故と考えることができます。

(5) 再発防止策

黒煙発生に関し、ハード面と運用面（運転操作）などについて、上述のような要注意点が確認できました。これらを踏まえ、以下の再発防止策のアプローチが考えられます。

(5)-1 【ハード面での対策】

- 1 計画的メンテナンスの実施と予備品の購入体制の確立が必要です。
- 2 入港前に、バーナーの焚き口や、燃焼関係装置を点検し、必要なら整備します。
- 3 メーカー取扱説明書に従い、定期的にバーナーを開放、整備、点検（計測）して下さい。もし、使用限度を超えていれば、新品に交換が必要です。
- 4 バーナー点検整備後には、点火燃焼トライアルの実施が必要です。
点火燃焼トライアル時の運転パラメータ（温度、圧力など）は現在の状態と海上試運転時の状態を比較して、もし乖離があれば制御システムを調整します。

(5)-2 【運用面（運転操作）および安全教育の対策】

- 1 停泊中は機関制御室（ECR）と船橋の当直者は煙突からの排煙の状態を定期的に注意深く監視し、お互いに情報共有することが必要です。
参考：ターミナルや港湾規則の厳しいところでは、ECR から煙の状態を監視できるように CCTV（監視カメラ）を搭載した船もあります。
- 2 このような状況下ではどのように即時対応すべきか（例えば、発電機の燃料を加熱不要な MDO へ切り替えてボイラを停止するなど）といった訓練の実施が必要です。
勿論、加熱を要する貨物の積載のために、長時間ボイラを停止できないこともあるので、長期的な計画に基づく保守整備の実施に加え、陸上においては、必要な整備時間を確保するように船舶管理部門から運航部門へ働きかけることもポイントになります。

2.2.5 まとめ

本章にてご紹介した4つの事件事例を改めて以下のように整理しました。

貨物損害（貨物不足損害）	
直接的原因	根本原因
1 ボイラ故障	保守・整備・点検等の管理不十分
水管理、火炉清掃、安全保護装置などへの注意不足	

港湾設備損傷（海底ケーブル損傷）	
直接的原因	根本原因
2 主機関起動不能	主機関燃料切替え手順が不適切
システムの理解、温度設定、切替タイミング、混合燃料の粘度の推定などが不十分	

貨物損傷	
直接的原因	根本原因
3 発電機再起動不能（ブラックアウト：停電）	運転操作、船上教育、保守整備が不十分
原因除去、手順書履行、ブラックアウト復旧訓練、定期整備（含非常用装置）などの不徹底	

環境損害	
直接的原因	根本原因
4 ボイラ燃焼不良	保守整備（Oリング劣化）、 船上教育、当直体制が不十分
燃焼装置の管理、非常時対応、他部との連携や環境監視などの未実施	

以上のように、ハード面では の環境損害でボイラの燃料系統装置の「Oリング」の不具合がありました
が、それ以外はシステムの理解不足、保守整備の怠慢、緊急対応不十分、運転操作ミス、手順書不履行な
どとソフト面の、いわゆる、ヒトの知恵や行動への配慮・認識不足により、機関システムを十分に取扱え
ず、トラブルに至っていることが判りました。

2.2.6 【参考】P & I 保険でてん補対象外となるケース

次に P & I 保険でてん補対象外となる、意図的な環境汚染に関する違法行為についてご紹介します。



図 65 通称：マジックパイプ 参考文献 *16

- (1) 驚くべきことに、米国法務省ホームページに掲載されるようなビルジ排出に関する法令違反は頻繁に発生し、一向に後を絶ちません。
- (2) 当組合でも、2015 年度の P&I NewsNo.735、および、No.754 にて一部ご案内しております。その主な罪状は以下の通りです。

1 大量の油水混合ビルジの海洋への違法排出

2 油記録簿への虚偽記載

3 機関士が共謀し、図 65 のようにビルジ船外排出ラインに特別な本船自作のパイプラインをビルジポンプと船外バルブの間に（すなわちビルジセパレーターをバイパスして）違法に設置し、船外排出。

4 米国沿岸警備隊（United States Coast Guard）検査時にはその違法パイプラインを臨時に撤去隠蔽し、検査を妨害。

- (3) 2016 年 3 月には、2015 年 3 月に油水分離器をバイパスしてビルジを海洋排出した件で、船主・船員に対し、US\$150 万の罰金や今後 5 年間の米国での営業を禁止するなどの判決が下されました。
- (4) 米国では意図的な油排出に対して高額の過怠金が課されるので、関連規則の遵守は当然ですが、さらなる徹底が必要です

なお、当組合保険契約規定第 31 条 2(5) の通り、本件のような意図的な排出（油水分離機不使用や不正使用による MARPOL 条約違反）による過怠金は保険でてん補の対象となりませんのでご注意ください。

環境損害を与えてしまうと、その回復には莫大な費用と時間を要することはご存知のとおりです。決してこのような環境汚染行為を起こさないように、本船・陸上とも環境保護の大切さを再認識し、環境保護の精神を厳格に堅持することが求められます。