

§ 3 紀伊水道と 東京湾の交通体系

§ 2-3-3 で交通体系について触れましたが、参考までに筆者は当該海域を航行する場合、航海士に対して BTM プリーフィングを実施していました。その時の内容をご紹介します。

§ 3-1 紀伊水道（図 30 ご参照：拡大図 添付資料 紀伊水道 交通体系図）

この海域は、大きく分けると下記 2 つの交通体系があります。

友ヶ島水道経由、大阪湾に出入するルート（図で赤 → と緑 → で示すルート）

紀伊半島沖～鳴門海峡のルート（ → 5,000 G/T 程度以下の小型船ルート）

瀬戸内海に出入する場合、明石海峡経由（淡路島迂回航路）と比較すると距離の短縮が図れます。

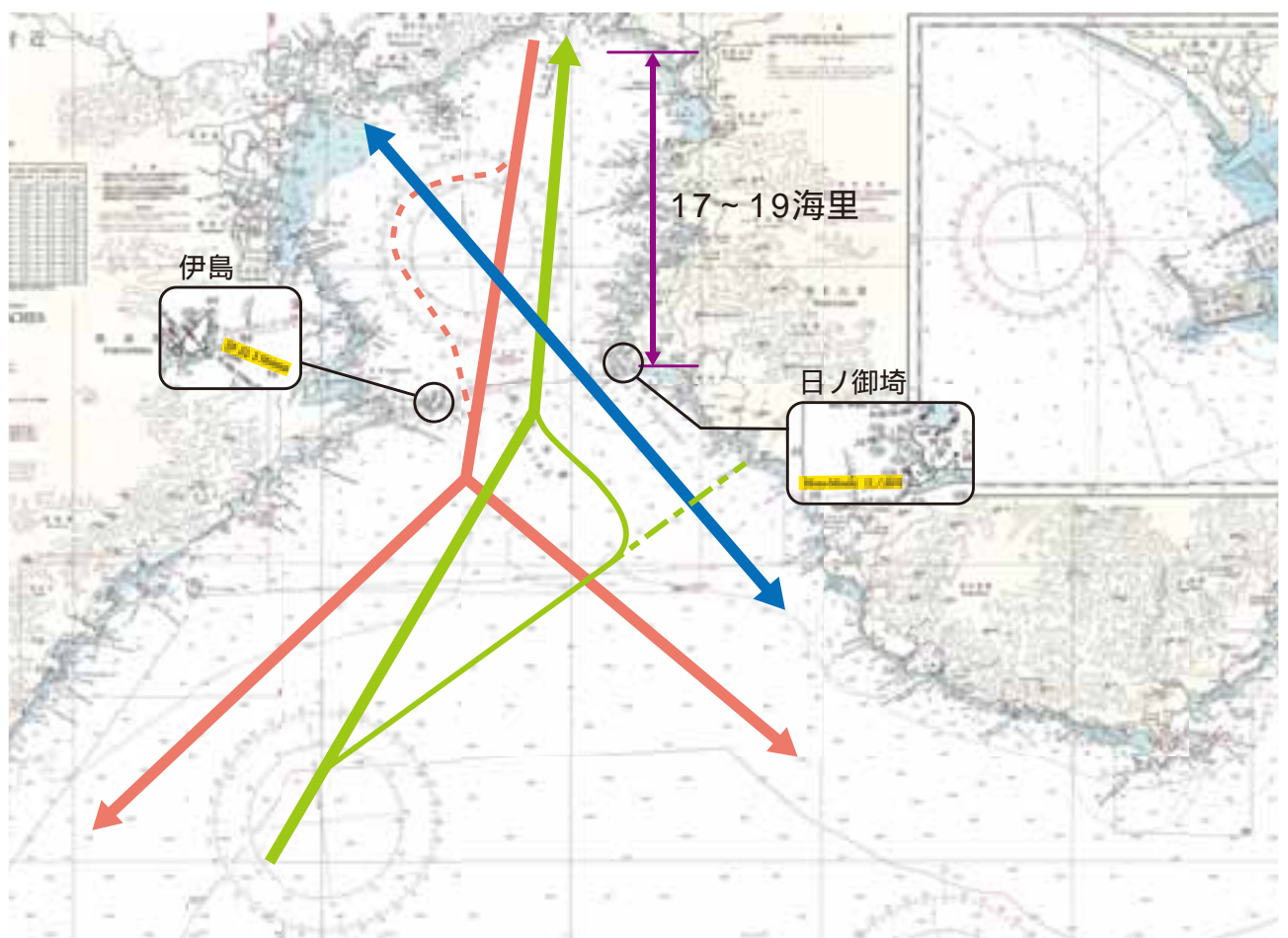


図 30 紀伊水道 交通体系図

この2つの交通体系が紀伊水道で交差するので、気を緩めることができない海域です。適用航法は主に海上衝突予防法第15条（横切り船の航法）が適用されます。

しかし、図からも判るように追い越し関係に近い角度における横切り関係となり、避航船が変針動作のみで相手船を避けようとする、大角度の変針を余儀なくされます。

今回紹介したケースでも、A号がB号の船尾に一旦向首して避航するとしたら、<190>の針路から<248>まで変針しなければなりません。

このような海域で大角度変針の動作を取る場合、今回のA号は変針後の船首方向が徳島方向まで向けることとなります。勿論、一旦、相手船の船尾に向けたとしても、相手船の船尾を追い回すような操船を行って原針路に比較的早く戻せるので、原針路<190>からの「位置のずれ」は、さほど大きくなりません。

しかし、心理的に陸岸に向首することになるので、経験が少なく技術レベルが未熟な航海士は、このような避航動作を取ることをためらいがちになります。

今回の事故例紹介でも、A号三航士が僅か6度の変針だけであったことに対しても、一定の理解ができません。

本船が、潮岬沖から大阪湾に向かう場合は、鳴門海峡に向かう交通体系に沿って航行し、日ノ御崎沖から旨くフェードアウトして友ヶ島に向けることができるので、さほど難しい操船にはなりません。

一方、四国の室戸岬沖から大阪湾に向かう船舶は、紀伊半島に沿って北西方向に航行し、鳴門海峡に向かう船舶（図の青色ラインの北西向航行船舶）を右舷側に見ることになるので、これらの船に対して避航船となります。

特に、潮岬～鳴門海峡間は、多数の内航船が列をなしており、それらの船舶をどのように避航していくのか、悩ましい経験をされた方も多いと思います。

この場合、もし無理をしながら伊島～日ノ御崎間まで突っ込むようにして航行し、横切り関係で鳴門海峡に向かう船と衝突のおそれが日ノ御崎沖で生じた場合に、紀伊水道入口付近で大きく右転しなければなりません。しかし、陸岸が目前に迫っているので、右転する避航動作を取ることができません。

従って、室戸岬沖から大阪湾に向かう場合は、予め広い水域で、まずは、潮岬～鳴門海峡の交通体系のルートに日ノ御崎南方の広い海域において自船を載せてしまい、その後、日ノ御崎の海域で旨くフェードアウトできるようにコース取りを行うのも一案です。

確かに、鳴門海峡に向かう船舶が列をなしていますが、高速道路に進入するのと同じで、どこかに開いている部分があります。

また、この海域は漁船も多数存在するとともに、場合によっては和歌山港や小松島港に出入港する船もあるので船舶輻輳海域と言えます。大阪湾水先人乗船地点が友ヶ島海峡の南約1.5海里程度にありますので、どうしても、そこに併せた減速・機関用意（S/B Eng.）を行うことが多いかも知れませんが、上述したように、船舶輻輳海域で大幅な避変針することは、全体の交通体系を乱すこととなります（自動車でいう、無理な進路変更と同じ）。

従って、大阪湾に入港する場合は、日ノ御崎南方5海里程度の地点から機関がいつでも使用できる状態とし、減速による避航動作を取ることも重要です。

また、大阪湾を出航して南進する場合は、鳴門海峡～潮岬間の交通体系が完全にクリアになるまでは、機関をS/B状態にしておくことも求められます。当然の事ながら、船長自ら操船指揮を執り、場合によっては副直航海士、見張り員の増強を行うことをためらってはなりません。

§3-2 東京湾(図31ご参照 拡大図:添付資料 東京湾 交通体系図)

この海域は大阪湾よりも船舶交通量が多く、また、東京湾入口付近で千葉県に沿って東北に向かう船舶や野島埼沖から太平洋を渡っていく船舶、或いは、伊豆大島北方ルートを航行する船舶や伊豆大島南方ルートを選択する船舶など、複雑な交通体系が複数存在している海域です。そして、これらの船舶が三浦半島南東の剣埼沖に集中します。

東京湾水先人の乗下船地点は浦賀航路 No.1 プイの南約1.0～1.5海里の地点なので、船舶交通が集中する中で水先人を乗下船させる外航船舶が大きく速力を落とさざるを得ず、さらに複雑な船舶の動静が発生しています。

また、この船舶が集中する海域の中で、見合い関係が「横切り関係」と「追い越し関係」などが存在し、更に複雑な避航動作を余儀なくされる海域でもあります。

一般的に伊豆大島北方ルートを航行する船舶は内航船が多いようですが、東北地方などから関西・伊勢湾に向かう船舶(或いは、その逆)が、野島埼沖と伊豆大島沖の東京湾出口付近を横切る海域にもなっています。(図の青色のルート)

この海域での安全航行は、交通が集中しているのでいつでも機関を使用できる状態とし、S/B速力で航行することです。

どうしても、水先人を乗下船させる外航大型船は、水先人乗船地点に向けた減速計画、或いは、水先人を下船させるとすぐにR/Up Eng.(S/B部署解除:機関定常運転航行)として増速を開始する船舶が多いのですが、このような船舶交通が輻輳する海域では、無理な大幅変針だけによる避航動作ではなく、自動車と同じで、速力を落とすことに躊躇してはなりません。

筆者も新米船長の頃は、無理をしながら水先人乗下船地点付近で、S/B Eng.(入港)としたり、水先人が下船したらすぐにR/UP Eng.として増速するといった操船を行っていました。しかし、船長経験を積んで慣れてきたら、却ってより慎重となり、洲埼沖でS/B,またはR/Up Eng.として安全航海を行うようになりました。

紀伊水道と東京湾について説明してきましたが、まずはこのような交通体系が存在していることを十分に理解する必要もあり、この海域の通航経験の少ない外航船の船長には陸上部門が十分に説明することも必要です。

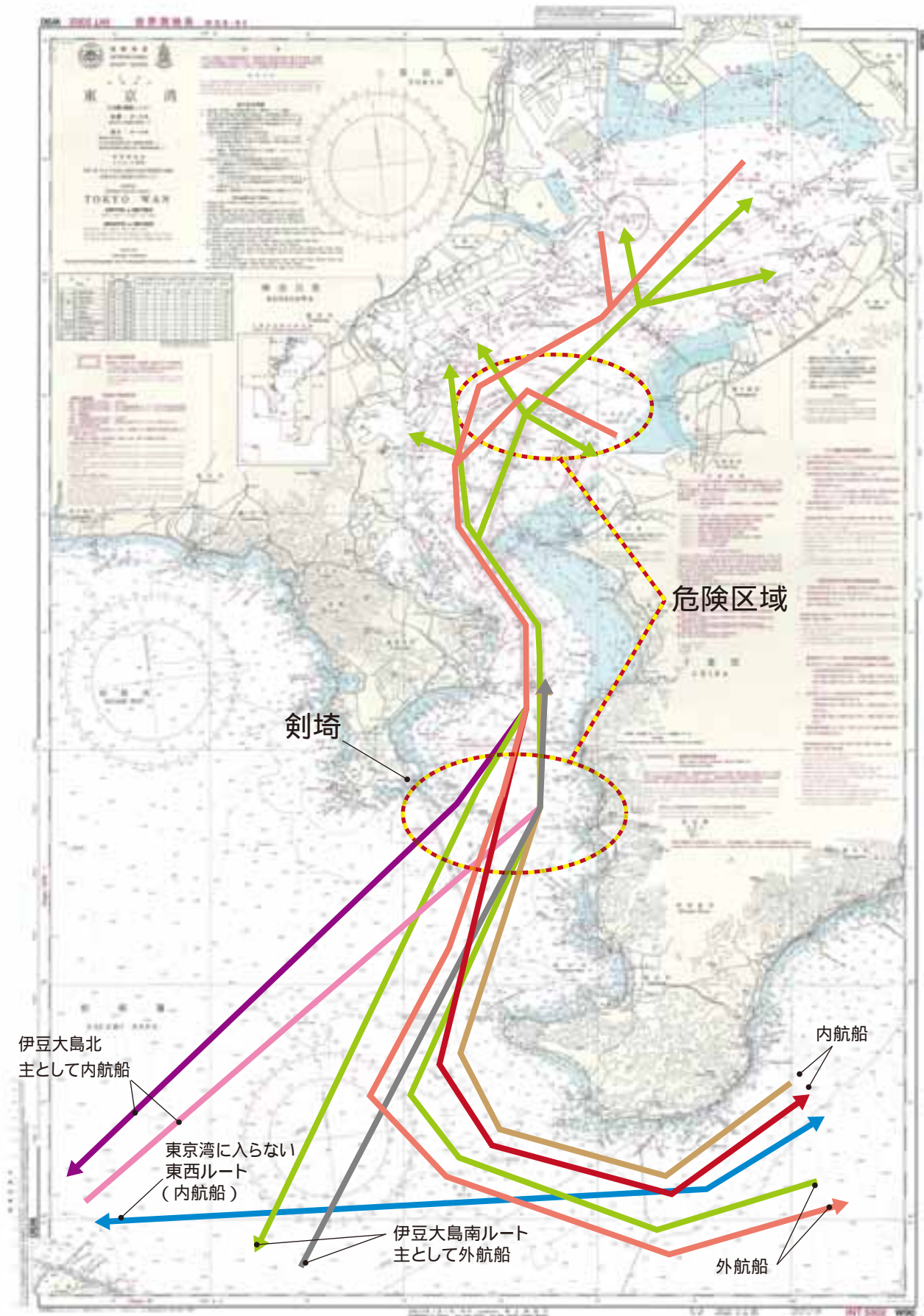


图 31 東京湾 交通体系図

§ 4 機関事故と油濁事故

§ 4-1 故障 / 損傷の特徴(添付資料 「船舶の4サイクルディーゼル機関」ご参照)

最初に機関事故全般についてご説明します。併せて、ロスプリベンションガイド 38号「機関事故予防のために」もご参照ください。

§ 4-1-1 船舶の運航に影響を及ぼす損傷

主機関の構成部位のうち以下の主要部位はサイズ・重量とも大きいものです。

- (1) 動力部の「ピストン/シリンダライナ」
- (2) 駆動機構の「接続棒/クランク軸」

これらの部位が損傷した場合、一般的に修理工事は大規模なものとなりますが、同時に、これらの部位に損傷が生じると船舶の運航にも影響を及ぼします。更に、修理工事そのものも難易度が高いため、修理工事には高い技術と経験が必要です。その結果、以下のいずれかの理由で本船が復旧に至るまでは時間も要します。したがって、こうした事故を予防する体制を整えることが求められます。

- (1) 本船の乗組員では対応できない場合に、メーカーもしくは、修理業者の手配を要すること。
- (2) 本船の乗組員が修理工事を行うにしても慣れない作業であること。

今回、事件事例を検討するために、国土交通省の運輸安全委員会のホームページから船舶の機関故障、及び、機関損傷に関する「事故調査報告書」を参照しました。報告書によれば、2008年1月から2016年6月までの8年半の間に138件の機関故障と損傷があり、これらの故障や損傷は主機関の以下の部位に多く発生している結果となっています。(除く、プレジャーボートと漁船)

ピストン/シリンダライナ/シリンダヘッド

クランク軸軸受/クランクピン軸受

過給機

逆転減速機

吸排気弁

この報告書は内航船が中心のものでした。内航船は外航船と比較して機関室の大きさや機関出力も小さく、また、主機関の型式も外航船に多い大型2サイクルディーゼル機関ではなく、4サイクルディーゼル機関

が主たるものです。しかし、報告書は、故障や損傷について内航船・外航船を問わず、船主や船舶管理者へ多くの課題を問いかけています。

§ 4-1-2 部位別の損傷の特徴

損傷の多い部位の順に、その特徴は次の通りです。

(1) **ピストン、シリンダライナ、及び、シリンダヘッド** (吸排気弁との連鎖事故を除く)

ピストン/シリンダライナ/シリンダヘッドの損傷のうち、約半数が焼損でした。ピストンの構造のほとんどは潤滑油による冷却システムになっていますが、焼損事故は冷却用潤滑油の供給不足が原因です。この供給不足は、潤滑油圧力の不足や潤滑油供給ルートの閉塞によって発生しています。また、ピストンクラウンと同スカートの固定ボルトの緩みによって排気弁がピストンクラウンにたたかれ、その結果プッシュロッドが曲損した例もあります。これらの対策として以下が挙げられます。

本船の乗組員が損傷のリスクを理解し、分解・組立てを行なうこと
分解・整備作業時に、潤滑油の経路や締付け部等の重要箇所の組立てミスを防ぐために、乗組員は組立て前に当該箇所を注意深く再確認・再点検すること

(2) **クランク軸軸受/クランクピン軸受**

クランク軸軸受の損傷の原因は、そのほとんどが潤滑油不足です。整備・点検不良によって、潤滑油中のスラッジがストレーナや給油管を閉塞するためです。また、クランクピン軸受け(連接棒大端部)の損傷の原因は、連接棒ボルト(以下、クランクピンボルト)の締過ぎ、締付け不足、若しくは、片締めによるものがほとんどです。これらの対策として以下が挙げられます。

メーカー取扱説明書に基づいた締付け方法・締付け力を遵守し、実行すること
整備毎の重要点は、クラックの有無(探傷試験)、ボルトの長さ(寸法計測)、構成部品の使用時間(使用制限時間との比較)を確認し、必要ならば部品の交換をすること

(3) **過給機** (吸排気弁の連鎖事故を除く)

過給機の損傷は、軸関係の損傷(ロータ軸軸受けの焼損、ロータ軸の曲損、折損等)とケーシングの破孔です。ケーシングが破孔する主原因は、経年使用による肉厚の減耗や腐食の進行です。これらの対策として以下が挙げられます。

肉厚の減耗対策
定期的に肉厚計測を実施すること、及び、メーカーの基準に基づきケーシングを換装すること。

腐食進行予防
冷却水の水質管理（性状分析、薬剤処理等）及び、適切な温度管理を行うこと。

(4) 主機逆転減速機

主機逆転減速機の損傷は油圧系統の問題を原因とする事例が多く見られます。その防止対策は、油圧ポンプ等の確実な整備・点検です。

(5) 吸排気弁

以下が吸排気弁の主な損傷です。

弁傘部が欠損する。

弁が弁棒ごと脱落してシリンダ内へ落下。その結果、シリンダヘッド、ピストン、シリンダライナが損傷する。

更に損傷部の破片が過給機へ侵入し、過給機を損傷する。

吸排気弁の損傷のうち、約半数が過給機の損傷といった影響を与えています。整備が定期的に行われていたとしても損傷を発生させることがあります。予防対策は、分解・整備時に、本船の乗組員がメーカー取扱説明書に記載されている以下の状態を確実に確認し、点検を励行することです。

弁棒や弁座のクラックの有無や寸法計測をすること（各構成部品自体の衰耗・劣化状態の確認のため）
構成部品の使用時間を確認すること（使用制限時間との比較）

(6) まとめ

上記の各対策をまとめると、重要なことは分解・整備時に、メーカー取扱説明書に基づき、状態の確認や点検を確実に実施することに集約されます。すなわち、以下が挙げられます。

基準に基づいて構成部品を評価・交換すること。（劣化、クラック、寸法計測、衰耗、使用制限時間等）
組立て工程において、重要箇所の組立てミスを防止するために、同箇所を再確認・再点検すること。

§ 4-2 事故事例

損傷時に運航に大きな影響を及ぼす事故例として、「ピストン」と「クランクピンボルト」の損傷事故、クランクピン軸受損傷事故、及び、環境被害の大きい油濁事故を紹介します。

§ 4-2-1 事故事例 ピストン焼付き、ピストンスカート割損事故

(1) 概要

< 本船要目 >

タンカー 主機出力 2,942kW、2001 年建造

< 事故概要 >

2013 年 3 月、航行中に本船の主機 No.4 シリンダのクランク室ドアに破孔が生じ、潤滑油が噴出する事態が発生し、当直機関士は直に主機を停止しました。その後、機関長と機関士が点検した結果、以下の損傷が判明しました。

ピストンスカートが割損

同割損部が脱落

船長と機関長が打ち合わせた結果、船長は自航不能と判断し、本船は最寄りの港まで曳航されました。

事故原因分析の前に、ピストンの構造と潤滑油の流れを説明します。(図 32、図 33-1、図 33-2、及び、巻末 基本参考情報「船舶の 4 サイクルディーゼル機関」ご参照)

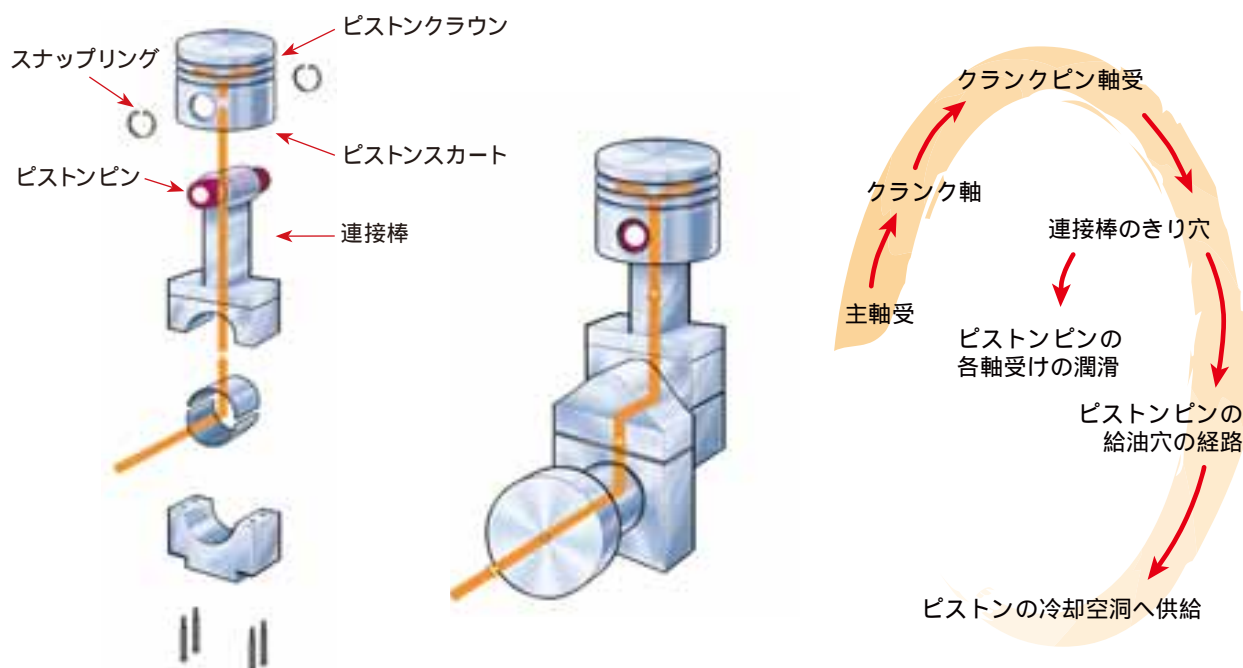


図 32 ピストン構造図 及び 冷却油供給ルート

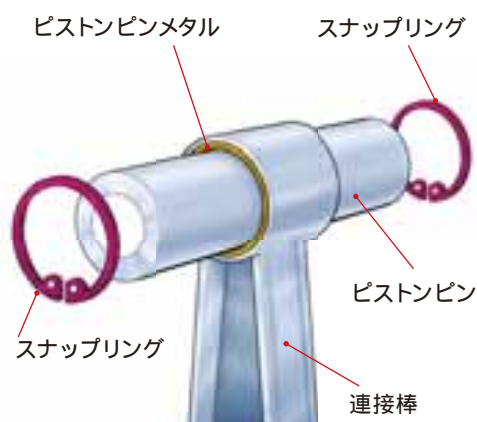


図 33-1 ピストンピン構造図

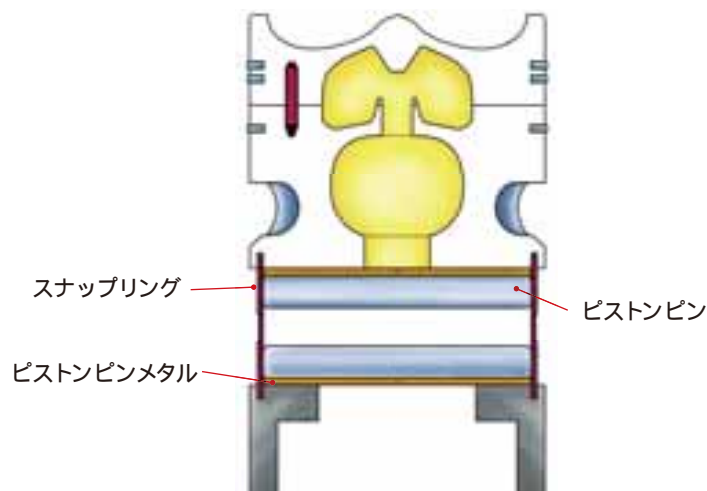


図 33-2 ピストンピン構造図

ピストンの構造は上下2分割になっており、上部の特殊合金製ピストンクラウンと下部の鋳鉄製ピストンスカートが組立て型で構成されています。そして、上部と下部は、ボルトを締付けることによって接続されています。主軸受から供給された潤滑油、及び、冷却用の潤滑油のルートを図32に黄線で示します。ピストンピンは中空円筒形の金属製部品です。ピストンスカートに開けられたボス（孔）と、接続棒の小端部軸受にピストンピンを貫通させることによって、ピストンと接続棒を連結します。また、ピストンピン（全浮動式）は接続棒の小端部軸受とピストンボスの間にクリアランスを持っており、同ボス部両端部に溝が加工されています。

そして、図32、図33-1及び図33-2に示すようにこの溝部分に金属製のC字型のピストンピン止め輪（以下、スナップリング）を取付けることによって、ピストンピンが軸方向へ移動することを防止しています。また、ピストンピンには潤滑油（冷却油）の給油穴が空いており、接続棒のきり穴から供給される冷却油をピストンへ供給しています。

(2) 発生事象

発生事象を以下にまとめました。

以前にも No.4 シリンダのピストンスカートに割損事故が発生していました。2010年10月に、エンジンメーカー主導による改良部品への取替えを含む修理工事を実施していました。

2012年6月頃より主機潤滑油消費量が増加しました。この時点で異常が発生した可能性があります。事故直前には、同消費量は正常時の約3倍にまで増加していました。

そのため、本船の機関長と機関士はクランク室内の点検を実施しましたが、異常を発見できませんでした。

機関長と機関士は事故が発生するまで潤滑油消費量の増加の原因がピストンリングの異常摩耗であると推定しており、2013年6月（事故発生の3ヶ月後）に予定されていた入渠工事で、全シリンダの分解整備が検討されていました。

2013年3月の事故発生時、No.4 シリンダは、下記の状況でした。	
(a) ピストンスカート	左舷側ピストンスカートのオイルリング下部が激しく焼き付き割損
	割損部は脱落
(b) ピストンピンボス	ピストンピンボス下部が割損
	船首側ピストンピンボスのスナップリング挿入用溝の更に外側にピストンピンとの接触痕あり
(c) スナップリング	船首側ピストンピンのスナップリングが中央部で折損し脱落
	スナップリング挿入用溝に正常に挿入されていれば生じるはずの接触痕がなし
(d) シリンダライナ	シリンダライナ船首側に深さ約 5mm の縦傷（2 本）
航行中、当該 No.4 シリンダのクランク室ドアに破孔を生じ、潤滑油が噴出し、当直機関士は主機を緊急停止しました。	

(3) 運輸安全委員会の分析

運輸安全委員会は以下のとおり、原因を分析して再発防止策を推奨しました。

原因分析（構造に関し、図 32、図 33-1、図 33-2 及び 55 ページ図 43 参照）

- a 2010年10月にメーカーが修理工事を行なったが、組立て工程において、ピストンピンボスのスナップリング挿入用溝に、スナップリングが確実に挿入されていなかった。そのため、運転中に同リングが折損して脱落した。
- b これによりピストンピンが軸方向に移動したので潤滑油供給ルートが塞がれ、潤滑油を供給できなくなった。その結果、ピストンが冷却不足となり、ピストンは焼付きを起こし、併せて、ピストンスカートも割損した。
- c 他方、スナップリングが脱落した時期は、潤滑油消費量が増加し始めた2012年6月頃と推定された。その推論根拠は以下のとおり。
 - スナップリング脱落のため、ピストンピンが軸方向に移動した。
 - その結果、次のような事象が発生し、潤滑油の消費が増加した。
 - 同ピンがシリンダライナに接触し、縦傷を生じた。その縦傷から、冷却油が燃焼室に混入して燃焼した。
 - 潤滑油供給通路が塞がれ、ピストンが冷却不足になったので、過熱されたピストンが周囲の潤滑油を気化させた。

運輸安全委員会 再発防止策

上記分析に基づき、今後の同種事故の再発防止策として、以下を推奨しました。

a 組立時の監督強化

機関の重要部品の組立てを行う際は、当該作業に詳しい責任者が立会い、作業者は確実に組み立てること。

b 異変をメーカーに問い合わせ、異常の早期発見と原因究明

潤滑油消費量に異常な増加が見られる場合に、本船の乗組員はメーカーに相談して以下を徹底すること。

潤滑油消費の増加程度が許容の範囲内にあるかどうかを見極めること。

さらに必要な場合は、各部分解などを行って早期に原因を究明すること。

c 乗組員による点検方法の見直し

クランク室内の点検を行う際に、本船の乗組員は以下を徹底すること。

- 本船の乗組員は各シリンダライナの状態を丁寧に観察すること。
- その際は、観察を容易にするために、ターニングによりピストンの位置を変える工夫をすること。

§ 4-2-2 事故事例 クランクピン軸受損傷事故

(1) 概要

< 本船要目 >

貨物船 主機出力 1,080kW 2004 年建造

< 事故概要 >

2011 年 10 月、航行中に本船の主機は大音響を発生して自動停止したため、事故発生場所近くの航路端に緊急投錨しました。同錨地で確認したところ、No.7 シリンダの接続棒大端部がクランク室ドアを突き破っており、いわゆる「足出し」の状態になっていることが判明し、No.7 ピストンを抽出した後、No.7 シリンダカット運転により、錨地にシフトしました。その後、本修理地まで曳航されました。

運輸安全委員会の調査の結果、以下の損傷が判明しました。

No.7 シリンダの接続棒大端部のクランクピンボルト 4 本はそれぞれ次の状態であった。(参考写真 34 ご参照)

(a) 2 本が大端部の植込みねじ部で切断状態

(b) 他の 2 本が中央部で曲損状態

ピストン及びシリンダライナが割損 (参考写真 35 及び 36 ご参照)

クランクピン軸受けメタルが焼損



参考写真 34 曲損した接続棒



参考写真 35 割損したシリンダライナ



参考写真 36 割損したピストン

(2) 発生事象

発生事象を以下にまとめました。

	2010年10月4日(事故発生の約1年前)に、定期検査のため乗組員はNo.7シリンダのピストン抽出整備作業を実施しました。その際、クランクピンボルトの締付けには、トルクレンチを使用しました。
	事故発生時に、当該シリンダは以下の状態でした。
(a)	接続棒大端部のボルトが切断(2本)、曲損(2本)
(b)	接続棒自体の曲損
	「足出し」状態が発生し、主機は大音響を発生して自動停止しました。そして、以下の部位が損傷しました。
(a)	ピストンとシリンダライナは割損
(b)	クランクピン軸受メタルは焼損

(3) 運輸安全委員会分析

運輸安全委員会は次のように原因を分析して、再発防止策を推奨しました。

原因分析

原因は、主機 No. 7シリンダのクランクピンボルトが切断し、接続棒の大端部がクランク軸から外れて自由な状態になったことです。

再発防止対策

上記分析に基づき、今後の同種事故の再発防止策として、以下のことを推奨しました。

ピストン抽出作業を行う際には、整備作業指針、及び、基準(取扱説明書)に基づき、クランクピンボルトの整備(新替え、探傷、清掃、締付け力など)を適切に行うこと

§ 4-2-3 事故事例 油濁事故

当組合で扱った油濁事故を検証すると、衝突や座礁以外の原因で海上へ油が流出した事故で共通している点は、その殆どが貨物油の漏洩事故ではなく、燃料油の補油時に発生していることです。

(1) 一般的な補油作業手順

まず一般的な補油作業手順を説明します。安全管理システムや安全管理規定(以下SMS等)において、環境保護の観点から燃料油補油手順書が整備されています。同手順書は、一般的に補油計画の作成、補油作業計画、補油準備、送油前作業、送油受入れ作業、受入終了後作業などで構成されています。そのポイントは以下のとおりで、補油計画の作成から送油前作業までの手順例を表37に示します。

【補油前】		
運航状況	手順	備考
A 前港 ～ 航行中 ～ 入港	a.	補油計画の作成
		必要補油量の確認 ・各タンク実測、予想消費量の計算、補油予定量を決定
		受入量の確認 ・各タンクの容量の90%を超えないように計画する
		どのタンクに、どれだけ補油するか？
		補油する順番 ・MDO（A重油）、HFO（C重油）の順とし、又、遠くのタンクから補給する手順で計画
		バルブ操作の順番 ・事前にバルブ開閉テスト実施
		補油作業分担 ・作業分担、人員配置
		補油作業計画
	b.	補油作業計画に関し機関部全員で事前打合せ ・どこで、どれだけ、どのタンクに燃料油を補給するか、役割分担（人員配置） ・緊急時の対応
		打合せ後には、出席者全員が署名 全乗組員にも補油作業計画の重要点を周知徹底
		補油準備（入港前後に、下記作業実施）
		全燃料油タンクの実レベル・残量を最終確認 ・タンクの実残量と実際の燃料性状に基づき、現場作業責任者が計画を再計算 ・燃料油セトリングタンクに必要な量の燃料を移送 ・油移送ポンプを自動始動しないようにロック
	c.	用具類を用意 ・サウンディングテーブル、比重容積換算表、電卓、時計、筆記具、トランシーバ等 ・各配管系統図、消火器、油防除資材、巻尺（サウンディングテープ）、温度計、圧力計、工具等
		ラインアップ ・不要な弁を確実に閉鎖
		スカッパープラグ設置（シール）
		遠隔液面計の精度チェック、弁遠隔操作盤上の各警報・表示灯等の作動チェック
		必要に応じて、入渠中や補油前航海中に、バンカーラインのプレッシャーテスト
B 入港後	a.	入港後B旗掲揚（夜間なら全周紅灯）
C バンカー バージ 接舷	a.	送油前作業
		バージの保有量のチェック ・サウンディングテーブルで確認
		送油流量 ・バージの送油能力及び本船の受入可能流量
		連絡手段（トランシーバ等）
		緊急時の対応方法
		最終確認後、本船とバージ側で署名
		ホースコネクション
		燃料供給証明書（Bunker Delivery Note）の内容確認 ・燃料油の油種 / 油量 / 燃料油仕様
		燃料油のサンプリング採取準備

表 37 一般的な補油作業手順の例

補油計画の作成

補油計画では SMS 等で定めた補油計画表に必要事項を記入し、作成します。この時点で、同計画表には、補油温度、海水温度や、燃料性状等について過去の実績に基づいた数値を使用した仮定計算の結果が記入されています。

補油作業計画

現場作業責任者（一般に一等機関士：以下、一機士）は、補油計画に従って補油作業計画を策定し、機関長に承認された後、各作業員へ説明を行います。それは、各作業員の配置、担当作業、作業要領、作業方法、緊急時の対応等の補油作業に関する要点を説明することです。

補油準備

補油準備では、補油直前に実際のタンクの燃料残量と実際の燃料性状に基づき、現場作業責任者が補油計画を再計算します。すなわち、補油作業計画の PDCA 実践が基礎となります。

送油前作業

三等機関士（以下、三機士）は、バンカーバージ側のタンク計測、又は、流量計カウンタの読み合せに立会い、結果を現場作業責任者に報告して記録します。現場作業責任者は必要事項を再計算して最終補油計画表を完成させます。バンカーバージが発注された仕様通りの燃料を必要量保有していることを確認することが要点です。そして、機関長がその計算結果を承認して送油開始になります。

送油受入れ作業

送油受入れ作業中に、機関部の乗組員は以下の 2 点に注意を払わなければなりません。

1) 漏油、タンク液位の監視

漏洩等の異常の有無を確認すること。

定期的にタンク計測を実施すること。（当然ですが、油量確認時にはヒール・トリム補正は必須）

現場作業責任者は送油流量を計算し、タンク切替え時期を把握すること。

2) 漏油発生時の適切な対応

漏油を発見した時点で直ちに送油を停止、船外へ油流出した場合、直ちに機関部の乗組員は機関長及び当直航海士に報告すること。

本船の全乗組員は流出油防除部署及び油濁防止緊急措置手引書に従って対処すること。

受入終了後作業

受入れ作業が終了したら、機関部は補油タンク状態の記録を甲板部へ提出するとともに、燃料移送ラインや燃料供給ラインを速やかに通常状態に復旧します。送油受入れ作業と受入終了後作業の手順書例を表 38 に示します。

【補油作業中】		
運航状況	手順	備考
D 補油開始	送油受入れ作業	
	送油開始し、漏油有無を確認後、送油流量を計画値まで徐々に増量	
	受入タンク液位を一定間隔で確認（サウンディングスケール実測）	
	・非受入れタンク：開始後のある期間に「流入なき（液位変化なし）」なら、継続監視不要	
	ワッチ体制、最低 3 名	
	・マニフォールド 1 名、サウンディング 1 名、機関長（総指揮）1 名	
	複数タンクへ受入時、タンク切替時にマニホールド圧力注意 （必要に応じて、送油流量調整）	
	サンプリング採取	
	a. 送油終了後、エアブロー実施	
	予定受取量完了の確認（本船及びバージの双方）	
	・泡立ちが治まった後にタンク計測を実施	
	・受入れ量が注文量と差異がない（OK）時、燃料供給証明書に、本船受取量を記載し、機関長が署名	
	・不足時、本船は抗議文（Letter of Protest）を発行	
	異常が発生した場合、現場作業責任者は直ちに送油を停止	
・異常発生の原因を確認し、対策を実施の上、再度送油を開始 機関長からの再度送油開始の許可必要		
・船外へ油流出の場合、直ちに機関長及び当直航海士に報告する 流出油防除部署及び油濁防止緊急措置手引書に従って対処する		
E 補油手仕舞い	受入終了後作業	
	a. 本船保管用のサンプル油を受領	
	ホースの取外し	
	各用具類及び B 旗（紅灯）を手仕舞い	
	適当な時期に、本船側補油ライン及び燃料ラインを通常状態に復旧	
	最終補油量、タンク コンディション等の記録を甲板部へ提出	
	シールしたスカッパープラグを手仕舞い	

表 38 一般的な補油作業手順の例

（2）概要

本船（約 8,000GT）は、揚荷役のために着岸中に燃料油の補油作業を実施しましたが、その際、最終積切りである No.3 燃料油タンクにおいて以下の事故が発生しました。

燃料油がエアイベントからオーバーフロー（参考写真 39 ご参照）

乗組員はその燃料を甲板上で食い止められず、約 100 リットルが海上へ流出（参考写真 40 及び 41 ご参照）

流出後、海上保安部、本船、及び、船主は作業船計7隻と専門清掃業者等を手配し、清掃作業を実施し、同作業は1日で完了しました。その結果、流出した燃料油の清掃費用及び調査費用の合計約2千7百万円を保険金として支払いました。



参考写真 39 No.3 燃料油タンク エアーベント
(オーバーフロー後)



参考写真 40 アッパーデッキ左舷側



参考写真 41 舷外流出模様

(3) 発生事象

事故後に手配したサーベイヤーの報告書から、燃料油流出に至るまでに下記の発生事象を確認しました。

前港の作業において、二等機関士（以下、二機士と記す）は、今回の補油で最終積切り予定とする No.3 燃料油タンクの残油量の計測（サウンディング）を通常作業として実施する予定でしたが、それを実施していませんでした。

で実測しなかったことを確認しないまま、現場作業責任者の一機士は同タンクを「残油量無し」として補油計画を立案しました。その計画は、受入れを 4 つの燃料タンクとし、No.4（左舷／右舷）、No.5（中央）、No.3（中央）の順で積切りの手順でした。

また、補油計画時の計算の詳細が明らかにされていませんでした。当組合が事故調査のために手配したサーベイヤーは、自身による本船の聞き取り調査の結果、積切り No.3 燃料油タンク容量の 66% 相当に当たる約 62KL が補油計画上の受入量（積切り量）であったと推定しました。

送油開始前に、三機士及び 2 名の操機手は、積切り No.3 燃料油タンクの計測を実施しましたが、彼らは同タンクの残油量に気が付きませんでした。

送油受入れ作業中も、三機士及び操機手はタンク液位の実測を続けていましたが、受入量が上記に示した補油計画量を超えたにも拘わらず、彼らは送油を止めるよう要請しませんでした。その結果、受入量がタンク容量を超えたので、エアイベントより燃料油がオーバーフローしました。

オーバーフロー発生時は、積切りとした No.3 燃料油タンク内は、同タンク容量の 96% 相当の約 91KL まで燃料油が積込まれていました。但し、バージ側からの送油量は本船の指示どおりでした。

そのためバージの浚え（ストリップング）を中止しましたが、バージと本船との連絡係でもある補油作業の現場作業責任者の一機士は、オーバーフローした際の緊急停止措置が遅れました。



§ 4-3 エラー連鎖(エラーチェーン)に沿った事故分析

海難事故に限らず、ひとつのエラーが原因で事故を誘発することは殆どありません。エラーの連鎖によって、最終的に事故が発生します。§ 4-2 でご紹介した3つの事故事例について事象ごとにエラー連鎖の視点で分析して見ます。

§ 4-3-1 事故事例 ピストン焼付き・ピストンスカート割損事故

事故例 「ピストン焼損・ピストンスカート割損事故」のエラー連鎖を事象ごとに分析しました。

事象 メーカーを過信

事象	2010年10月に、主機関 No.4 シリンダのピストンスカートが割損し、エンジンメーカー主導による修復工事実施	
	エラー	関係する問題点
1	なぜ、改良部品へ取り替えたのかを乗組員や船主・船舶管理会社が把握していなかった	船舶管理の不備
2	改良品の取り替えなので、メーカー任せ(過信)	思い込み
	対 策	手 法
	<< 指針を策定し、本船に遵守徹底させる >>	指示徹底
	本船が異常状態を発見した場合に、速やかにメーカーの助言を仰ぎ、応急措置を施す。	船舶管理・監督の徹底

エンジンメーカーによる修理工事に関し、改良品に交換しているのに、工事内容を把握していなかったことが挙げられます。

事象 潤滑油消費が増加しているのに原因の追究が甘かった

事故のサインが潤滑油消費量の増加という現象に現れており、乗組員は異常状態を認識していましたが、適切な対処を乗組員・船舶管理会社とも怠っていました。

事象	トランクピストンタイプの潤滑油は、主にシリンダと軸受の潤滑・ピストン冷却で消費するが、2012年6月頃から、主機の潤滑油過剰消費が事故直前には正常時の約3倍に増加	
	エラー	関係する問題点
1	本船は消費量の異常増加に気が付いていたが、メーカーへ原因の情報提供依頼をしなかった	日常管理業務の不備
2	潤滑油管理の指針がなかった	船舶管理の不備
	対 策	手 法
	<< 指針を策定し、本船に遵守徹底させる >>	指示徹底
	メーカー工事前に「工事の重要手順、本船立ち会いのタイミング、本船アシストの要否等」の確認と指示	船舶管理・監督の徹底

事象 クランク室点検で異常を発見できなかった

事象	クランク室内の点検実施で、異常を発見できなかった。	
	エラー	関係する問題点
1	なぜ、クランク室内の点検時に、「ピストンやシリンダライナ等、構成する部品の状態の観察」を実施しなかったのか	日常管理業務の不備
2	シリンダライナを点検する場合は、「ピストン位置を調整して、観察する工夫」が必要	乗組員の技量不足
3	観察指針がなかった	船舶管理の不備
	対策	手法
	<< 指針を策定し、本船に遵守徹底させる >>	指示徹底
	クランク室内の点検時に、「クランク室内の底部の異物（軸受の金属片や燃焼残さ物等）のみならず、ピストンスカート内部および接続棒外観、シリンダライナの状態等の観察」も必要。また、シリンダライナの点検の際は「ピストン位置を変えて観察する工夫」も必要。	船舶管理・監督の徹底

クランク室は、参考図 42 の通り、クランク軸が納められる箱状の部屋ですが、ドアが付いているので、内部点検が可能です。しかし、このドアは小さいので手鏡を利用したり、クランク軸の位置を調整しなければ、内部構造物の状態を十分観察できません（図 42 ご参照）。なぜクランク室内の点検時に異常を発見できなかったかを分析すると 3 つのエラーが連鎖しています。

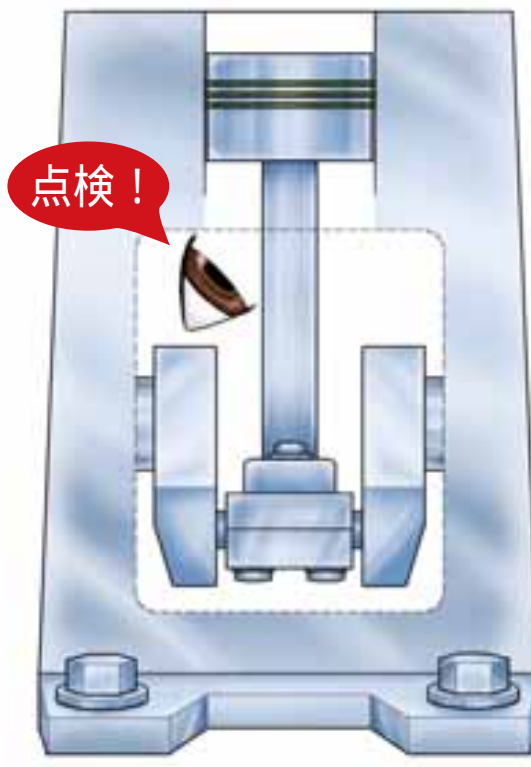


図 42 クランク室外観

事象 ピストンリングの異常摩耗について対処不足

乗組員は事象の潤滑油異常消費の原因がピストンリングの異常摩耗と推定していましたが、船舶管理者やメーカーに報告・相談することを行っていませんでした。

事象	事故発生まで、原因はピストンリングの異常摩耗と推測（2013年6月予定の入渠工事で、全シリンダ開放整備を検討）	
エラー		関係する問題点
1	ピストンリングの磨耗と予想されたが、なぜ、ピストンのオーバーホールが早急を実施されなかったのか？	船舶管理の不備
2	指針がなかった	船舶管理の不備
対策		手法
<<指針を策定し、本船に遵守徹底させる>>		指示徹底
異常予知によるオーバーホールが必要な場合には、本船から管理者へ速やかに申請する。		船舶管理・監督の徹底

事象 エンジン内部の異常に気が付かなかった

焼損の原因は潤滑油不足が主因ですが、スナップリングの脱落が発端です。スナップリングが脱落すると潤滑油が流れにくくなるメカニズムは下記のとおりです。（図43ご参照）

事象	2013年3月28日の主機 No.4 シリンダの状態は以下のとおり。	
	(1) ピストンスカ - ト : オイルリング下部に、激しい焼付きと割損 (2) ピストンピンボス : 下部、全周に割損。船首側にピストンピンとの接触痕 (3) スナップリング : 中央部で折損、脱落。挿入溝に接触痕なし (4) シリンダライナ : 深さ約5mmの縦傷(2本)	
原因は以下が推定される。		
	(1) 焼きつきの原因は、ピストン冷却用の潤滑油不足 (2) ピストンスカート過熱による、強度低下 (3) 船首側のスナップリングが、正確にセットされず (4) 同スナップリングが脱落したため、同方向へピストンピンが移動 (5) ピストンピンの左右が船首側のライナに接触し、ライナに縦傷	
結果として以下が発生		
	スナップリングが脱落した結果、ピストンピン冷却用潤滑油が不足し、ピストンが冷却不足となった結果、過熱し、強度低下し、ライナ割損	
エラー		関係する問題点
1	担当機関士のピストン組立て重要点の認識不足	船舶管理の不備
2	「スナップリングが正しく装着されていなければ機関故障に発展する」の危険予知欠落	乗組員の技量不足

3	なぜ、事故に発展する部品の装着については、メーカーへ組立作業注意もしくは現場立会いしなかったのか	船舶管理の不備
4	教育の機会及び立会い指針がなかった	船舶管理の不備
対 策		手 法
<< 船員教育を徹底する >>		船員教育
事故の本質である「ピストンの基本構造を理解させ、整備不良の場合には、どのような事故が予想されるか」		
<< 指針を作成し、本船に徹底 >>		船舶管理・監督の徹底
整備点検 / 組立の不備によって、事故に発展する恐れのある部品に関し、「メーカーへの作業注意指示もしくは本船の現場立会い」		

- (a) 前述のとおり、ピストンピン（全浮動式）はピストンピンボスに挿入されており、同ボス両端部の溝にスナップリングが挿入されています。
- (b) 同リングが外れれば、同ピンが軸方向に移動します。そのため、接続棒のきり穴とピストンピンの給油穴の位置がずれて潤滑油通路が塞がった状態となります。
- (c) その結果、ピストンピンボスの上方、及び、ピストン冷却空洞への給油が停止された状態になります。

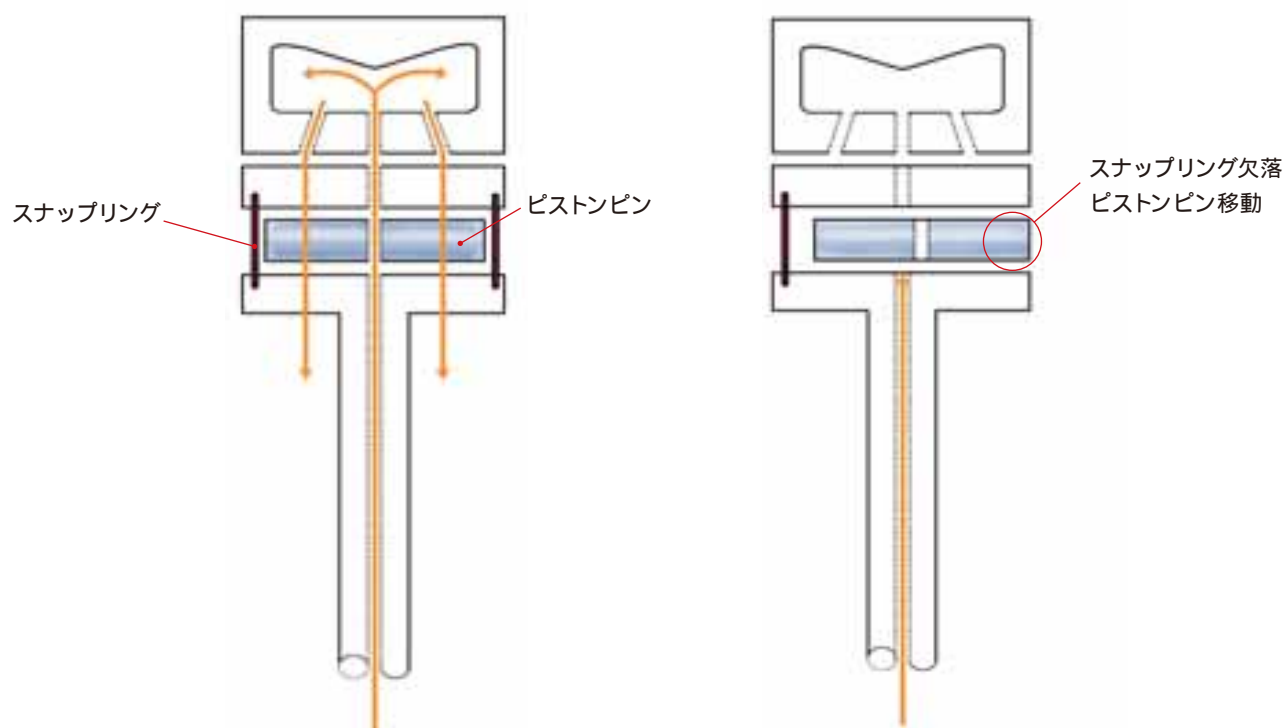


図 43 ピストンピンの移動で潤滑油の流れを阻害

§ 4-3-2 事故事例 クランクピン軸受損傷事故

事故例 「クランクピン軸受損傷事故」のエラー連鎖を事象ごとに分析しました。

事象 ピストン組立ての重要点について乗組員の認識不足

事象	2010年10月4日、主機関 No.7 シリンダ 本船の乗組員がピストン抽出整備	
	エラー	関係する問題点
1	担当機関士にピストン組立ての重要点の認識不足	乗組員の技量不足
2	「接続棒を正しく締付けなければ、機関故障に発展する」危険予知欠落	乗組員の知識不足
3	なぜ、社内教育の機会がなかったのか？	船員教育の不備
	対策	手法
	<< 船員教育の強化 >>	船員教育
	事故の本質である「接続棒の基本構造を理解させ、整備不良の場合には、どのような事故が予想されるか」を教育	船舶管理・監督の徹底

いずれも、乗組員が重要なメンテナンス作業をする上での技量・知識の不足がエラー連鎖となっています。

事象 ボルトの締め付け方法に関する知識不足

事象	2011年10月28日の事故発生時、主機関 No.7 シリンダの状態は以下。 接続棒ボルト 2 本が大端部の植込みねじ部で切断 他の 2 本のボルトは中央部で曲損	
	エラー	関係する問題点
1	乗組員は締め付け方法と点検方法を熟知せず メーカー取扱説明書に基づく締め付け方法（トルク、角度、油圧） トルクレンチの取扱い（精度、設定、較正） 締め付け前の正確な部品の組立てやボルト & ナットの当り面の点検 クランクピンボルトの探傷（非破壊検査）等	乗組員の技量不足
2	整備指針がなかった	船舶管理の不備
3	なぜ、上級機関士が組立ての重要点の確認作業を怠ったのか？	手順書等の不備
	対策	手法
	<< 指針を作成し、本船に徹底 >>	指示徹底
	接続棒の組み立てに関し、「締め付け方法、トルクレンチ取扱い、部品組立てやナット当たり面の清掃、締め付けボルトの探傷等」	船舶管理・監督の徹底
	本船整備工事の際に、「上級機関士が確認すべき事項」	

本船の乗組員が「メーカー取扱説明書に記載されているクランクピンボルト締付け方法及び点検方法」を熟知していなければなりません。彼らはそれができていませんでした。

機関の運転中に、遠心力や振動が原因で同ボルトが緩まないように、本船の乗組員は各部品を組立てなければなりません。そのため、同ボルトの締付け方法及び点検方法に関し、以下を理解することが大事です。

(a) メーカーの取扱説明書に基づく締付け方法 (トルク、角度、油圧ジャッキ)

メーカーの取扱説明書には締付け方法及び締付け力が規定されています。本船の乗組員は、同規定に基づいて同ボルトを均等に締付けなければなりません。その際、各単位にも注意することが必要です。

< 同ボルトの締付け方法の注意点 >

複数あるボルトの締め付け方法を間違えないこと。

トルク法 ($N \cdot m$ または $kgf \cdot m$) 角度法 ($^{\circ}$) トルク + 角度法 (2 段階締付け) 油圧ジャッキ法 (MPa または kg/cm^2) など。

< 連接棒の分解整備を行ったり、クランクピンボルトを新替した後の注意点 >

組立て時に合いマーク (Set Mark) の再刻印を実施。

組立ての一定運転時間後に、同ボルト締付けナットの緩みがないかを点検。

(例、合いマークの位置に点検や規定トルクでの締めなおしを実施。)

(b) トルクレンチの取扱い (精度、設定、較正)

トルク法では、ボルトの締付けはトルクレンチが使用されます。同レンチは以下の特徴を有します。よって、乗組員はそれを理解し、適切に同レンチを取扱わなければなりません。

同レンチを正確に規定値に設定すること。

単位に注意 ($[N \cdot m]$ 値 = $[kgf \cdot m]$ 値 \times 9.8 倍、 $[kgf \cdot m]$ 値 = $[N \cdot m]$ 値 \times 0.102 倍、例 $49 N \cdot m = 5 kgf \cdot m$)

同レンチの精度が保たれるように、乗組員は精密工具として大切に扱うこと。

また、保管時に以下に注意することが求められます。

同レンチは一般工具と分別保管すること。

設定値を最下限値とすること。

同レンチは定期的に較正されること、もしくは、新品が支給されること。

(c) 締付け前に正確な部品の組立てやボルト及びナットの当り面の掃除・点検

締付け前に、部品の組立てを正確に行うとともに、ボルト及びナットの当たり面を確実に掃除・点検しなければなりません。

例えば、乗組員は、同ボルト頭部及びナットと大端部との締付け座面を点検・清掃後に締付けなければなりません。乗組員が同部位の掃除を怠れば、ごみが残留します。同部位に挟まっているごみは、機関の運転中にクランク軸の回転運動による遠心力や振動によって、脱落してボルト及びナットの締付け力を低下させるため、「緩んだことと同じ状態」を生じます。

その結果、大端部がクランク軸から外れて、自由になる危険性を持っています。また、座面の荒れや傷は、座面の接地面積を減少させます。それは、不均一な締め付け状態であるので、同様の問題が生じます。よって、座面の点検も大切です。

(d) 同ボルトの探傷（非破壊検査）等

同ボルトは機関の運転中に繰返し応力を受けるため、経年で強度が低下します。そのため、同ボルトの分解整備時に、乗組員は簡易な浸透探傷検査（Dye Penetration Inspection）によって、金属表面の損傷の有無を点検しなければなりません。同ボルトに損傷が発見されれば、それは折損する危険性を持っています。

（注）浸透探傷検査は通称カラーチェックとも呼ばれる。赤色や蛍光色の浸透性の良い検査液を用いて、材料表面に開口した傷（クラック）を検出する非破壊検査方法で、これは毛細管現象の原理を利用している。

(e) 同ボルトの取扱い上の注意

本事例では同ボルト自体も折損しています。よって、締付け方法に加え、その耐久性の管理も注意が必要です。要点は探傷（非破壊検査、上記（d））、寸法計測（ボルト伸びの評価）、使用時間制限（ボルトの寿命管理）等です。探傷試験が必要な理由は前述のとおりです。

さらに、同ボルトの長さを計測・記録して伸びの有無を把握しなければなりません。その場合には、予備の新品との比較を行ないます。

また、メーカーの取扱説明書には同ボルトの使用制限時間が明記されています。それに基づき交換しなければなりません。例えば、制限時間が2万時間の場合に、年間稼働率が8割程度（約7千時間）ならば、3年前後で同制限時間に到達します。よって、同ボルトは必須交換部品として、保守整備計画に含める必要があります。

<< 参考情報 >>

日本海事協会（以下、ClassNK）「損傷のまとめ」発電機原動機「足出し事故」

前述の「足出し事故」は、4サイクルディーゼル主機関において発生しました。Class NKの会誌は毎年「損傷のまとめ」を掲載しています。Class NKは其中で、同型式（4サイクルディーゼル機関）の発電機で発生した「足出し事故」に関し、詳細な注意喚起を発信しています（2009～2014年度は、会誌No.292、296、301、304、309、312に掲載）。「足出し事故」の要点を、これらのClass NKの参考文献を基にして以下にまとめてみました。

「足出し事故」の原因のうち、明らかにクランクピンボルトの折損（弛緩、及び、脱落を含む）によると考えられた事故が年平均60%以上ありました。

クランクピンボルトの折損は、多くがピストン抽出整備における組立て工程において、乗組員が同ボルトを正確に締付けないことが原因で発生します。そのメカニズムは次のとおりです。

機関が運転されれば、ピストンの慣性力が接続棒大端部に作用します。そのとき、同ボルトが不十分な締付け状態であれば、同ボルトの締付けが緩み、その結果、ボルトは折損したりナットが脱落します。ボルトの締付け不良の原因は、主に次のとおりです。

	不足したトルクで締付けていた。
	規定トルクで締付けを実施したが、次の事由で、締付けが不十分だった。
(a)	座面の表面が荒れていることを見逃した。しかし、そのまま締付けた。
(b)	接続棒大端部セレーション部の亀裂の発生に気付かなかった。しかし、そのまま締付けた。

対策についてエンジンメーカーは、「トルク締め」ではなく、「角度締め」を指示しています。その理由は、より高い精度で締付けることができるからです。

さらに、クランクピンボルトの折損には、もう一つ大きな要因があります。それは、同ボルト自体の強度低下です。その発生理由は、エンジンメーカーが規定するボルトの使用制限時間を超えて、継続使用したためです。対策は、取扱説明書及び最新のサービスニュースに基づいた保守整備の実行です。

§ 4-3-3 事故事例 油濁事故

事故例 「油濁事故」のエラー連鎖を事象ごとに分析しました。いずれも手順書に沿った作業の不履行と乗組員の技量・知識不足がエラー連鎖を引き起こしています。

事象 積切タンク残量実測作業を実施せず		
事象	前港で、二機士は積切りタンク（No.3 燃料油タンク）残油量実測作業に配員されたが、実施せず	
	エラー	
	関係する問題点	
1	一機士は二機士へ始業前ミーティング時に作業予定の時間割・配員・手順・重要性を正確に説明したか？二機士はそれを理解できていたのか？	日常業務管理
2	一機士は二機士へ終業ミーティング時に作業完了を確認しなかったのか？一機士と二機士のコミュニケーションは悪くなかったのか？	日常業務管理
3	当該日に二機士は他に優先する重要作業を抱えていなかったのか？ もしそうなら、二機士は一機士へ配置換えを相談しなかったのか？ 一機士は二機士の作業を把握していなかったのか？ 一機士は二機士の作業を他の要員に変更できなかったのか？	日常業務管理
4	手順書には残油計測ミス時の危険性に関する注意事項を記載していなかったのか？二機士はそれを理解できていたのか？	手順書関連
5	二機士は残油量計測の不実施が事故につながる危険予知をできなかったのか？	危険の認識
	対策	手法
	<< 船員教育の強化 >>	船員教育
	日常業務管理（計画、配員、実行の報告・連絡・相談や確認、優先すべき重要作業への不適切な対応）	船員教育
	手順書関連（残油計測ミス時の危険性に関する注意事項の欠落）	船員教育
	危険の認識（タンク残油計測の不実施が原因となる事故に対する危険予知が不十分）	船員教育

事象 手順書の不履行

確認すべき事項を実施せず、手順書の不履行が問題として挙げられます。

事象	残油計測が実施されなかったが、積切りタンクを残油量なしと仮定して計画立案	
	エラー	関係する問題点
1	一機士は二機士へ始業前ミーティング時に作業予定の時間割・配員・手順・重要性を正確に説明したか？ 二機士はそれを理解できていたか？	日常業務管理
2	二機士は残油計測を不実施だった。 しかし、一機士は残油なしと仮定し補油計画書を作成した。その理由は何か？	表 37 手順書 A-a の情報不足
3	一機士は役割分担表で定められている業務能力を有していなかったのか？	表 37 手順書 A-a の情報不足
	対策	手法
	<< 指針を作成し、本船に徹底 >>	指示徹底
	日常業務管理（確認）	船舶管理・監督の徹底
	手順書関連（補油計画表、補油作業分担・配置表の作成）	

事象 計画立案の手順不履行

計画を立案する際に、手順書に沿って作成されていませんでした。

事象	積切りタンクは 66% 相当（約 62KL）をターゲットレベルとして、計画立案（後掲事象 とも関係）	
	エラー	関係する問題点
1	積切りタンクの遠隔液面計の信頼性は？（一機士は補油前に正常作動・表示をチェックし、液位把握に利用できることを確認していたのか？）	表 37 手順書 A-c
2	乗組員が補油中にタンクを定期的を実測し、積切りタンクの状態を把握する方法を習得できていたのか？ 各種計算方法（流入流量（m ³ /h）、終了予想時間等）を理解していたのか？	表 38 手順書 D-a
3	一機士は受入れ完了済みタンクの液位を計測後、積切りタンクの最終液位を予測変更する計算方法を習得できていたのか？	表 38 手順書 D-a
4	一機士は全てのタンクの液位計測のダブルチェック体制を立案していたか？ （適正人員配置）	表 38 手順書 D-a
	対策	手法
	<< 指針を作成し、本船に徹底 >>	指示徹底
	手順書関連（補油進捗の把握、定期的なタンクレベル計測：遠隔液面計、実測（サウンディングスケール） 手順書関連（適切な補油作業分担・配置表）	船舶管理・監督の徹底

事象 残油量の実測が不正確

事象	補油作業直前に、三機士及び操機手 2 名はタンク残油量を実測をしたが、残量に気付かず	
エラー		関係する問題点
1	三機士は、なぜ、補油開始前に残油量に気付かなかったのか？	表 38 手順書 D-a
2	残油量計算の担当者は誰か？ 機関長か一機士か？ 残油量計算の担当者は計算方法を理解していたのか？	表 37 手順書 A-a, b, c
3	残油量計算に必要な環境情報（温度、トリム等）やデータ（比重、容積換算等）を正確に入手したのか？	表 37,38 手順書 A-c, C-a, D-a
4	機関長は一機士の作成した補油直前の計画再計算書をチェックしたのか？ 補油開始直前の最終ミーティングは行われたのか？	表 37 手順書 A-a, b
対策		備考
<< 指針を作成し、本船に徹底 >>		指示徹底
手順書関連（全タンク計測、役割分担、残油計算、管理者による監督）		船舶管理・監督の徹底

事象 オーバーフローしたのに、送油を止めなかった。

事象	三機士及び操機手 2 名（継続して液位計測）が、補油中、計画の積切り液位を超えても、送油を止めず、エアレントよりオーバーフロー	
エラー		関係する問題点
1	なぜ、一機士は計画の積切り液位を超えてもストップしなかったのか？ 三機士及び操機手 2 名は、補油中にタンクを定期的を実測し、一機士に報告していたか？ 一機士は、補油中にタンクを定期的に遠隔液面計を確認することによって、積切り液位との差をチェックしていたのか？ 機関長は積切り直前の最終状況を把握していたのか？	表 37 手順書 C-a, D-a
2	一機士は全受入タンクの積切り液位を予め正確に計算したのか？ 計画作成時に、各タンクの積切り液位を確定しないと、安全な作業・行動をとれない。 受入れ完了済みタンクの液位が計画と異なれば、最終積切りタンクの液位を変更しなければならない。一機士はその修正計算をしたのか？（PDCA） 先に積切ったタンクの液位が計画より少なければ、最終積切りタンクの液位が高くなり、危険とは考えなかったのか？	表 37 手順書 A-a
3	全作業者が最終積切り液位レベルを理解していたか？ だれかが異常に気付き、進言できたはず。	表 38 手順書 D-a
対策		備考
<< 指針を作成し、本船に徹底 >>		指示徹底
手順書関連（補油計画、受入タンク液位予測と周知と現状監視）		船舶管理・監督の徹底

事象 機関長と一機士が最終積切タンクの油量を正確に把握していなかった

事象	オーバーフロー：事故発生時、積切りタンク内に、96%相当(約91KL)が流入 なお、バージ側に補油作業上(事前打合せ事項、送油流量、送油総量等)の問題無し	
	エラー	関係する問題点
1	機関長と一機士は、オーバーフローした時点で、積切りタンクに96%積込まれた認識はあったか？ 機関長と一機士は、そのとき、積切りタンク液位を何%と認識していたか？	表38 手順書 D-a
2	機関長と一機士は、積切りタンク液位が何%のときに、送油流量の減量調整を予定していたか？	表37,38 手順書 A-a, b, D-a
	対策	備考
	<< 指針を作成し、本船に徹底 >>	指示徹底
	手順書関連(積切り前の積込量及びタンク液位の把握、積切り前の送油流量調整)	船舶管理・監督の徹底

事象 緊急停止の遅れ

事象	一機士(補油作業の責任者 & バージとの連絡係)は、オーバーフロー後に、緊急停止措置が遅れた	
	エラー	関係する問題点
1	本船における緊急対応手順書の存在は？取扱は？認識は？ SMSや安全管理規定に従って整備すべき基本中の基本	表37,38 手順書 A-b, C-a, D-a
2	全業者は「緊急対応を怠った場合の事故の影響」を認識していたのか？	危険の認識
3	全業者は事前に緊急対応手順書の勉強会を受けたのか？	安全教育
4	全業者は漏油時の緊急対応訓練を実施したのか？	安全管理規定と 緊急対応訓練
	対策	手法
	<< 指針を作成し、本船に徹底 >>	指示徹底
	手順書関連(緊急対応手順書)	船舶管理・監督の徹底
	<< 船員の教育強化 >>	
	危険の認識(緊急対応が不適切な場合に拡大が予想される事故)	船員教育
	安全教育(緊急対応手順書への習熟)	
	安全管理規定(緊急対応訓練計画の作成と実施)	

§ 4-4 機関管理(ETM)の視点による分析

BTM (ブリッジチームマネジメント) 同様、ETM (エンジンルームチームマネジメント) は、機関長、機関士及び機関部員が対人のコミュニケーションだけではなく、ソフトウェア (SMS マニュアルや安全管理規程など)、ハードウェア (機器)、環境 (外部情報) とともにコミュニケーションを取り、相互の連携を旨くとして有機的に機能させる体制作りです。

§ 4-3 エラー連鎖 (エラーチェーン) に沿った事故分析の各表中に示すように、問題点は「なぜ機関室に配置された機器の日々の状態監視からトラブルに至る異常状態 (前兆) を発見できなかったのか？」或いは、「なぜ前兆を発見するために人間の鋭い感覚『五感』を有効に機能させることができなかったのか？」といった点に集約されます。

原因は機関当直の基本の欠落です。「衝突事故」事例で紹介したように、航海当直における操船の基本は「見張り」であり、発見した危険に対し早期に大胆に行動を執ることが大事であることを強調しましたが、機関当直もそれと同様です。

すなわち、機関当直の基本は遠隔監視センサーでは察知しきれない情報を、乗組員が「見回り時に人が持つ優れたセンサーを有効に活用する」ことによって、収集し、分析することです。その上で彼らが必要な行動を執ることが求められます。

機関管理(ETM)分析

遵守事項	問題点
ピストン焼付、ピストンスカート割損	
継続的な主機関・補機の運転情報 (温度・圧力・消費・それらの変化) の状態監視・診断	<p>主機は、2012年6月ごろから、潤滑油の消費量が増加し、本インシデント直前には正常時の約3倍まで増加していたが、メーカーへ潤滑油の異常消費に関する問い合わせなく、特別なアクションを起こさなかった。</p> <p>故障が発生する前日までに異常の兆候に気付かなかったか？潤滑油の温度や圧力変化？異常音？ケーシングの過熱等？</p>
適切な計画保守整備 (Planned Maintenance System) : 機器が設計性能を発揮する状態維持	<p>ピストンは計画整備されていたのか？</p> <p>改良品の取替えなので、分解整備組立てをメーカー任せにしており、本船側で組み立て確認ができていなかった。</p>
船内教育：機関システムに関する共通認識の確立	
定期的にそれぞれの機関操作・手順の意味やシステム運転管理の勉強会	<p>潤滑油の消費量が正常時の約3倍に増加したので、クランク室内の点検が行われたものの、異常の発見には至らず、ピストンリングの摩耗によるものと予測された。</p>
トラブル事例や経験の情報共有	<p>ピストンの基本構造に関係する整備不良の場合には、どのような事故が予想されるかについて、危険予知の認識がなかった。</p>

整備作業手順やそのリスクアセスメントを踏まえた勉強会		メーカー工事の際に工事前に「組立て工事の重要手順、本船立会いタイミング、本船ヘルプの要否等」確認事項の指針がなかった。
		本船が異常状態を発見した場合に、「速やかに、メーカーから助言をあおぎ、応急措置を施す」指針がなかった。
		スナッピングのように、破損すると事故に発展する部品もあるため、点検整備 / 組立に関し「メーカーへの作業注意指示もしくは本船の現場立会い」の指針及びチェックリストの不備
		「異常予知によるオーバーホールが必要な場合には、本船から管理者へ速やかに申請する」指針がなかった
		身近な機会(休憩時間等)に情報共有ができていたのか?
クランクピン軸受損傷事故		
継続的な主機関・補機器の運転情報(温度・圧力・消費・それらの変化)の状態監視・診断		故障が発生する前日までに異常の兆候に気付かなかったか?異常音?ケーシングの過熱等?
適切な計画保守整備 (Planned Maintenance System): 機器が設計性能を発揮する状態維持		計画整備に基づき、開放点検の実施。
		取扱説明書に締付け方法記載あるはず。
船内教育: 機関システムに関する共通認識の確立		
トラブル事例や経験の情報共有		「連接棒を正しく締め付けないと機関故障に発展する」認識がなかった。
整備作業手順やそのリスクアセスメントを踏まえた勉強会		「締付け方法、トルクレンチの取扱い、部品組みつけやナット当たり面の清掃、締付けボルトの探傷など」の整備指針がない。
		本船整備工事の際に、「シニア機関士が確認すべき事項」の安全指針がない。
五感を生かす		見回り時に異変を察知するための五感の活用が理解されていたか?
		身近な機会(休憩時間等)に情報共有ができていたのか?
油濁事故		
船内教育: 補油に関する共通認識の確立		手順書の不履行
		コミュニケーションの欠如
		危険予知不足

表 44 ETM 分析

§ 4-5 再発防止対策

§ 4-5-1 事故と原因の関係

前述してきた原因分析の中で、それぞれの「機関管理 (ETM)」において共通する原因が見えてきました。最初に、基本に戻って事故と原因の関係を確認します。

図 45 に、 事故による結果から遡って原因追跡フローを示しました。事故が発生する原因には、大きく分けて事故に直結する 直接原因と、その背後にある 間接原因に分けることができます。そして、背後にある原因は、 人の行動による間接原因と、 組織管理の欠如による根本原因に、分けることができます。フロー図の と に示すヒューマンエラーに関係する間接原因と、その奥にある 根本原因を排除しなければ、同種の事故再発を防ぐことは難しいものと考えます。

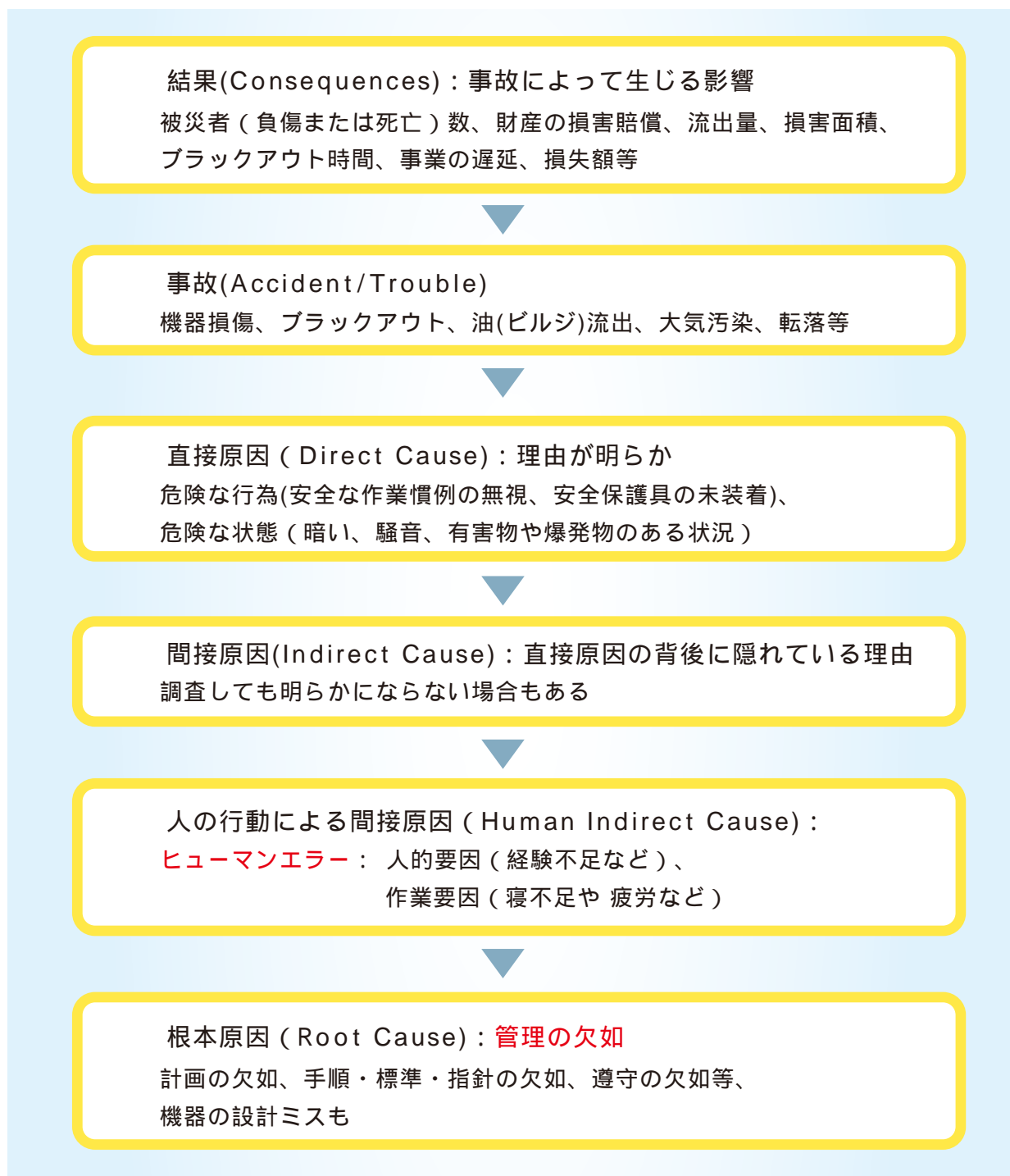


図 45 「事故と原因の関係、及び、原因追跡フロー」

このフロー図にそれぞれの事故例に当てはめたものを表 46、47、48 に示します。

事故例 ピストン焼損・ピストンスカート割損事故

項目	内容
直接原因	潤滑油の供給通路が塞がれてピストンが冷却不足となり、ピストンがシリンダライナに焼き付いてピストンスカートが割損し、シリンダライナ、クランク室ドア等が損傷した。
間接原因	「スナップリングが正しく装着されていなければ機関故障に発展する」危険予知の認識がなかった。
	クランク室内の点検時に、「クランク室内の底部の異物(軸受の金属片や燃焼残さ物等)のみならず、ピストンやライナの部品の状態も」観察すべきだった。
	見回りにより、事故の兆候を把握できなかったか？
根本原因	以下の指針が確立されていなかった。
	メーカー工事の際に工事前に「組立て工事の重要手順、本船立会いタイミング、本船ヘルプの要否等」確認事項の指針
	本船が異常状態を発見した場合に、「速やかに、メーカーから助言をあおぎ、応急措置を施す」という指針 同指針にはライナを点検の際に、ピストン位置調整の工夫が必要であることを付け加える。
	スナップリングのように、破損すると事故に発展する部品もあるため、点検整備 / 組立に関し「メーカーへの作業注意指示もしくは本船の現場立会い」の指針およびチェックリスト

表 46 原因分析(ピストン焼付き、ピストンスカート割損 事例)

事故例 クランクピン軸受損傷事故

項目	内容
直接原因	接続棒ボルトが切断したことから、接続棒の大端部が自由となって接続棒がクランク室ドアを突き破り、主機の運転ができなくなった。
間接原因	「接続棒を正しく締め付けないと機関故障に発展する」危険予知の認識がなかった。
	見回りにより、事故の兆候を把握できなかったか？
根本原因	以下の指針が確立されていなかった。
	接続棒の組み立てに関し、「締め付け方法、トルクレンチの取扱い、部品組みつけやナット当たり面の清掃、締め付けボルトの探傷など」の整備指針
	本船整備工事の際に、「機関長・一機士が確認すべき事項」の安全指針

表 47 原因分析(クランクピン軸受け 事例)

事故例 油濁事故

項目	内容
直接原因	一機士（補油作業の責任者及びバージとの連絡係）による、オーバーフロー後の緊急停止措置の遅れ
間接原因	技術知識の不足
	タンク液位計測の方法
	タンク残油（補油量）計算方法 （タンクテーブルによるトリム・ヒールコレクションの実施）
	安全・環境意識の不足
	管理者の安全・環境に対する意識
	一機士、二機士、三機士の危険に対する認識（危険予知）
	タンク計測が不十分な場合に発生が予想される事故 緊急対応が不適切な場合に拡大が予想される事故 安全教育関連：緊急対応手順書への習熟 安全管理規定関連：緊急対応訓練計画の作成と実施
根本原因	補油手順書に関し、以下を不履行
	補油計画前の注意：残油計測
	補油計画策定時の注意： 受入計画（積切りタンクスペースを10%以上確保＝90%を超えないように計画） 役割分担（人員配置）受入れタンクレベルの予測 管理者による監督、ダブルチェック
	補油作業前の注意： 補油受入計画周知のためのミーティング 緊急対応時の対応の再確認
	受入前の注意点：全タンク計測、役割分担、残油計算、管理者による監督
	補油中の注意点：定期的なタンクレベル計測 （遠隔液面計、実測 サウンディングスケール）
	積切り時の注意点：積切り前の積込量及びタンクレベルの把握
	緊急対応手順書（オーバーフローした際に、一機士が即座に対応すれば、船外流出を抑えられた可能性が高い）
	日常業務管理に関し、以下が不十分
	計画、配員、実行の報告と確認と計画の変更等の情報共有が存在しない、不適切、もしくは、不履行

表 48 原因分析(補油時の油濁 事例)

発生事象の分析を PDCA サイクル（Plan（計画） - Do（実行） - Check（評価） - Action（改善））の観点から捉えてみると、第 2 章で説明したように「安全とは、危険を回避した結果」が要点になります。機関関係事故の場合、Plan（計画）はメーカーの取扱説明書、作業分析、経験則、過去の教訓、自然科学の原理原則、各種技術情報等に基づいて策定された手順書・指針です。

それらは単純に技術を作業手順にまとめることだけを意味していません。各作業の中で想定されるおもとのリスクを事前に抽出し、そのリスクレベルを低減させるための分析によって、対処可能な対策を導きます。

また、人がリスク管理のおもとにある手順書・指針を正確に理解し（人的要因）、それを確実に実行できれば、リスクの程度を低減できます。しかし、人の経験不足や疲労があれば、その立派な手順書・指針を正確に実行（Do）できず、リスクの低減はできません。最悪の結果として危険を避けられなくなります。人の行動の部分はおもとの計画と結果を結び付ける中間に位置します。よって、原因の分類で考えた時、人が実行できなかったことは間接原因にあたります。

船上業務を芝居（ドラマ）に例えてみました。手順書や指針を台本（Plan）に、乗組員の行動を役者の演技に置き換えます。台本が貧弱でも、優れた役者がその弱点を名演技（Do）によって克服すれば大作に発展します。しかし、本船で、船主や船舶管理者がスーパースター（名乗組員）を常に出演させることは難しいため、役者を一定以上のレベルで演技させるために、彼らを支えるための素晴らしい（魅力的な）台本を準備することが重要です。

一方、事故分析は Check（評価）であり、再発防止策は Action（改善）です。さらに、再発防止策が有効に機能していることの効果検証として更なる Plan の改善に取組められれば理想的です。

しかし、事故発生後、当事者は一般的に顕在化させやすい目の直接原因に焦点を当てがちです。そのため、対処療法的な対策を講じることが多いようです。ロスプリガイド Vol.35「安全について考える」の中で説明した墓標型対策方式がこれにあたり、こうした対処療法では、同様の事故が再発します。

繰り返しになりますが、更に根本原因までを掘り下げて再発防止策を導くことです（予防型対策方式）。したがって、まずは、事故に至るまでの「発生事象」を特定し、次に個々の事象がなぜ発生したのかを分析して原因を抽出します。そして、最後にその原因を排除する方法を検討することによって、再発防止策を導きだします。

なお、国際安全管理コード（ISM Code）2010 年改正において、セクション 1.2.2「その船舶、人員、及び、環境について識別されたすべてのリスク（危険）の評価を行い適切な予防措置を確立すること」とセクション 9.2「会社は、再発防止策を含めた是正措置実施のための手順を確立しなければならない」が明記されました。よって、リスク評価と再発防止策のスキームは各社 SMS マニュアルの中で確立されていると思います。ご確認ください。

§ 4-5-2 再発防止対策

事故例 ~ の根本原因をまとめると、以下の項目が十分でなかったため事故発生に至ったものと考えられます。いずれも指針や手順書が整備され、船員教育を徹底し、作成した指針や手順を厳守することが求められます。

メーカーの取扱説明書に基づく整備・点検の履行
基準に従った部品交換
整備・修理組立て工程での重要箇所の確認
五感を生かした見回り
機器の基本構造とトラブルの関係の理解
手順書や指針の整備
船員教育の徹底

特に油濁事故を含む機関関係事故予防は、次の項目が重要です。

整備

船上のシステムや装置は、原理原則に基づいて、設計とおりに、正常に作動しなければなりません。そのため、本船の乗組員は、日ごろからそれらを計画的に整備・点検しなければなりません。よって、対策は、船舶管理者が Plan（計画）となる「指針策定とその徹底指導の体制」を確立することです。例えば、その指針には、計画保守整備（PMS）や手順書 / 整備指針 / 作業チェックリストが必要です。

状態 監視

船上のシステムや装置は、いつも異なる環境条件の下で運転されています。よって、本船の乗組員は、日ごろからそれらの運転状態を正確に把握しなければなりません。もし、彼らが異常を早期認識すれば、タイムリーに的確な処置・対応を取ることができます。よって、対策は本船の乗組員がそれを Do（実行）できるように、船舶管理者が「機関当直の基本」を確立することです。例えば、毎日の点検の励行、及びそのための安全教育です。

教育 体制

本船乗組員は、それらの基本構造に関するトラブルを理解していなければなりません。よって、本船の乗組員がそれを Do（実行）できるように、「知識レベルの維持、及び向上体制 = 教育体制」を船舶管理者が確立することが重要です。例えば、船上のシステムや装置について、基本事項・構造を再教育すること、及び事故事例の勉強会を開催することです。表 49 に、これらをまとめました。

No	不十分な事項	対策	「ETM」の要点
	メーカー取扱説明書に基づく整備・点検の履行	計画保守整備(PMS) / 手順書 / 整備指針 / 作業チェックリスト	整備
	基準に従った部品交換		
	整備・復旧組立て工程での重要箇所の確認		
	五感を生かした見回り	毎日の点検&安全教育	状態監視
	機器の基本構造とトラブルの関係の理解	基本事項・構造を再教育	教育体制

表 49 まとめ

§ 4-6 運航スケジュールが厳しい船への提案

内航船や外航コンテナ船、PCCのように、運航スケジュールが厳しい船では本船が整備の質を確保するために工夫も必要です。すなわち、このような船では、運航時間の影響で運転管理が主となるからです。

そうした中で本船乗組員は、短い停泊時間に小規模の保守整備作業のみ実施できます。例えば、機関の燃料噴射弁の交換などです。しかし、それを超えるような中規模の保守整備は、短時間で実施することは、不可能です。

そのため、中規模の保守整備は停泊中に機関メーカーや船舶修理業者によって実施されるケースが必然的に多くなります。さらに、大規模な保守整備はドック時に上記の業者によって実施されることとなります。その結果、乗組員は保守整備の機会や経験が少ないため、実務経験を積む機会も少なくなってきましたので、乗組員によるこうした中・大規模整備作業の技術レベルを向上させることに期待ができなくなっているのが実情です。

したがって、船舶管理者は上記の整備事情や乗組員の技術レベルに注意を払わなければならない、それを補うために整備部位別の整備・点検及び組立の注意点がまとめられたチェックリストは役に立ってきます。このようなチェックリストを作成し、本船に指示徹底することが重要です。

また、チェックリストは可能であれば本船の乗組員によって作成されることがもっとも有効ですが、もちろん、機関メーカーや技術コンサルタントへ外部委託することも一案です。