

船舶事故調査報告書

船種船名 コンテナ船 MANHATTAN BRIDGE
船舶番号 142550 (IMO番号 9689615)
総トン数 152,297トン

事故種類 爆発 (補助ボイラ)
発生日時 2017年1月19日 23時04分ごろ (現地時間)
発生場所 グレートブリテン及び北アイルランド連合王国フェリックストー港
ドーバーコートハイ (Dovercourt High) 灯台から真方位
012° 2.0海里付近
(概位 北緯51° 57.8' 東経001° 17.2')

平成29年11月29日

運輸安全委員会 (海事部会) 議決

委員長	中橋和博
委員	佐藤雄二 (部会長)
委員	田村兼吉
委員	石川敏行
委員	岡本満喜子

要 旨

<概要>

コンテナ船^{マンハッタンブリッジ}MANHATTAN BRIDGEは、船長ほか25人が乗り組み、水先人1人を乗せ、グレートブリテン及び北アイルランド連合王国フェリックストー港のコンテナ岸壁に着岸作業中、2017年1月19日23時04分ごろ (現地時間) 機関室の補助ボイラで爆発を生じた。

MANHATTAN BRIDGEは、操機手1人が死亡、二等機関士が負傷し、補助ボイラの燃焼装置のバーナユニット部が破損した。

<原因>

本事故は、夜間、MANHATTAN BRIDGEが、グレートブリテン及び北アイルランド連合

王国フェリックストー港のコンテナ岸壁に着岸作業中、補助ボイラの炉内で爆発が発生したものと考えられる。

炉内で爆発が発生したのは、炉内に不完全燃焼により熱せられていた一酸化炭素ガス及び火炎が存在し、換気されていない状況下、二等機関士が運転した押込みファンにより二次空気が炉内に供給されて一酸化炭素ガスと酸素とが急速に反応したか、あるいは、炉内に高温、高濃度の未燃の‘マリンガスオイル’（MGO）が気化して可燃性ガスとして存在し、換気されていない状況下、押込みファンの運転により二次空気が炉内に供給され、炉内の可燃性ガスが爆発限界内となったことによる可能性があると考えられる。

二等機関士が押込みファンを運転したのは、炉内を二次空気で換気しようとしたことによるものと考えられる。

炉内に未燃のMGOが気化した可燃性ガスが存在したのは、燃料こし器の目詰まり等が発生してMGOの油圧が低下したものの燃料油圧低下警報設定値まで下がらない状況下、ロータリーカップバーナから噴射されるMGOの供給量が減少したものの、一次空気量及び二次空気量がMGOの供給量減少以前と同じであったので、MGOが吹き飛ばされて噴霧が不均一となり、更に同バーナからの火炎が大量の空気により冷却され、保炎が阻害されて燃焼状態が不良になり、一部のMGOが燃焼せず、未燃の状態で炉内に残り、気化したことによるものと考えられる。

炉内に不完全燃焼による一酸化炭素ガス及び火炎が存在したのは、炉内異常警報により押込みファンが停止し、二次空気ダンパが閉状態となり、空気の供給が遮断されて空気量が不足した状態で燃焼が続いたことによるものと考えられる。

燃料こし器が目詰まりしたのは、パラフィンワックスが多く含まれて目詰まり点が高いMGOが使用され、補助ボイラの燃焼装置付近の温度がMGOの目詰まり点以下になり、パラフィンワックスが析出してこし器に付着したことによるものと考えられる。

1 船舶事故調査の経過

1.1 船舶事故の概要

コンテナ船^{マンハッタンブリッジ}MANHATTAN BRIDGEは、船長ほか25人が乗り組み、水先人1人を乗せ、グレートブリテン及び北アイルランド連合王国フェリックストー港のコンテナ岸壁に着岸作業中、2017年1月19日23時04分ごろ（現地時間）機関室の補助ボイラで爆発を生じた。

MANHATTAN BRIDGEは、操機手1人が死亡、二等機関士が負傷し、補助ボイラの燃焼装置のバーナユニット部が破損した。

1.2 船舶事故調査の概要

1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、平成29年1月20日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか1人の船舶事故調査官を指名した。

1.2.2 調査の実施時期

平成29年1月23～25日、27日、2月2日、6日、8日、16日、22日、6月1日、14日、16日、19日、28日、7月31日 回答書受領

平成29年2月19日 現場調査、口述聴取及び回答書受領

平成29年2月20日、4月21日、7月18日、8月4日 口述聴取及び回答書受領

平成29年4月14日、5月10日、30日 口述聴取

平成29年6月6日 現場調査

1.2.3 調査協力等

本事故の沿岸国であるグレートブリテン及び北アイルランド連合王国の事故調査機関（MARINE ACCIDENT INVESTIGATION BRANCH）から、2017年6月6日調査資料の提供を受けた。

1.2.4 調査の委託

本事故の調査に当たり、民間の燃料油分析会社に対し、本事故当時に使用していた燃料油の調査を委託した。

1.2.5 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

1.2.6 沿岸国への意見照会

本事故の沿岸国であるグレートブリテン及び北アイルランド連合王国に対し、意見照会を行った。

2 事実情報

2.1 事故の経過

本事故が発生するまでの経過は、MANHATTAN BRIDGE（以下「本船」という。）の機関長、一等機関士及び本船の船舶管理会社（“K” LINE SHIP MANAGEMENT(SINGAPORE)PTE. LTD.、以下「A社」という。）担当者の口述並びに本船の船長、二等機関士（以下「機関士A」という。）及びA社の回答書によれば、次のとおりであった。

本船は、船長、機関長、機関士A及び操機手の1人（以下「操機手A」という。）ほか22人が乗り組み、2017年1月16日14時35分ごろ（現地時間、以下同じ。）、MARPOL 73/78条約^{*1}附属書VIのSOx^{*2}規制が適用されるECA（Emission Control Areas）^{*3}への入域により、船内で使用する全ての燃料油（Fuel Oil、以下「FO」という。）がC重油からマリンガスオイル（船用の軽油、以下「MGO」という。）に切り替えられた。

本船は、オランダ王国ロッテルダム港での揚げ荷及び積荷を終え、コンテナ8,725TEU^{*4}（約90,790t）を積載し、次の港であるグレートブリテン及び北アイルランド連合王国（以下「英国」という。）サフォーク州のフェリックストー港に向け、19日08時55分ごろロッテルダム港を出港した。

本船は、フェリックストー港への入港に際し、機関部では16時00分ごろ入港部署として機関士全員及び当直の操機手が所定の配置についた。

^{*1} 「MARPOL 73/78条約」とは、海洋汚染防止条約と呼ばれ、船舶の運航又は事故が発生した際、環境へ悪影響を与える物質の排出、流出等による海洋汚染を防止することを目的とし、規制物質の投棄、排出の禁止、通報義務、その他の手続き等について規定するための国際条約とその議定書をいう。

^{*2} 「SOx」とは、硫黄酸化物をいい、硫黄分を含むFOを燃焼させることにより発生し、大気汚染、酸性雨の原因物質となる。

^{*3} 「ECA（Emission Control Areas）」とは、船舶から発生するSOx、NOx（窒素酸化物）、PM（粒子状物質）の排出について、MARPOL 73/78条約附属書VIにより、通常の海域に比べてより厳しい規制を適用する海域をいい、欧州の北海域では、グレートブリテン及び北アイルランド連合王国の南西側及びフランス共和国の西側の西経5°のラインより東側に入域した際に適用される。

^{*4} 「TEU」とは、Twenty feet Equivalent Unitの略で、コンテナ船の積載能力を示す単位をいい、1TEUは20フィートコンテナ1個分を示す。

本船は、17時30分ごろ補助ボイラ危急停止（AUX. BOILER EMERG. TRIP）警報が発生し、機関士Aが、担当機器である‘補助ボイラの燃焼装置’（以下「本件燃焼装置」という。）のロータリーカップバーナ^{*5}を開放して内部の掃除を行った。

本船は、その後、19時51分ごろまでに3回の補助ボイラ危急停止警報が発生し、そのたびに、機関士A以外の機関士が補助ボイラの状態を確認して補助ボイラ制御盤で警報のリセット作業を行った。

本船は、20時00分ごろ操機手Aが入港配置についていた操機手と交替して入直し、20時10分ごろ水先人1人が乗船してフェリックストー港のコンテナ岸壁に向かい、22時45分ごろに最初の係船索をコンテナ岸壁に取って着岸作業を行っていた。

本船は、23時01分ごろ機関室で補助ボイラ危急停止警報が発生し、機関制御室で機関の監視業務を行っていた機関士Aが補助ボイラ危急停止警報を聞いて監視盤で警報を停止した。

機関士Aは、機関室第3甲板の左舷船尾側にある補助ボイラに向かい、本件燃焼装置の付近で操機手Aと合流した後、補助ボイラ制御盤で異常を示す赤ランプが点滅しているのを認め、同制御盤の画面で炉内異常（FURNACE（FLAME-EYE）ABNORMAL、燃焼状態時以外の火炎検出）が表示されているのを確認して警報をリセットし、炉内換気の目的で押し込みファン^{*6}（Forced Draft Fan、以下「FDファン」という。）を運転した。

機関士Aは、‘本件燃焼装置のバーナユニット（バーナー式）が組み込まれたドア’（以下「バーナユニットドア」という。）の右舷船首側に立って再始動作業を行い、操機手Aがバーナユニットドアの船首方に立って機関士Aの指示を待っていた。

本船は、23時04分ごろ補助ボイラの炉内で爆発が発生し、大音響と共にバーナユニットドアが右舷船首側に脱落し、二次空気ノズルが船首方に吹き飛んだ。

機関制御室で入港部署の配置についていた機関部職員は、大音響を聞いて同制御室を出たところ、補助ボイラの右舷側で作業服に火がついた状態の機関士Aを認め、持運び式消火器で消火を行い、その後、補助ボイラの船首側で作業服に火がついた状態で操機手Aが床に倒れているのを認め、持運び式消火器で消火を行った。

操機手A及び機関士Aは、作業服の火が消された後、救助されたが、操機手Aは死亡が確認され、機関士Aは火傷^{やけど}を負って病院に搬送された。

本事故の発生日時は、2017年1月19日23時04分ごろであり、発生場所は、

*5 「ロータリーカップバーナ」とは、バーナ先端部の筒の回転による遠心力と空気流でFOの霧化を行う形式のバーナをいう。

*6 「押し込みファン」とは、ボイラにおいて、燃焼用の空気を炉内に供給する装置をいう。

ドーバーコートハイ灯台から真方位012° 2.0海里 (M) 付近であった。

(付図1 事故発生場所概略図 参照)

2.2 人の死傷等に関する情報

(1) 操機手A

検視官が作成した死亡証明書によれば、死因は、多発外傷であった。

(2) 機関士A

診断書によれば、右手及び右大腿部に火傷を負った。

2.3 船舶の損傷に関する情報

現場調査、本件燃焼装置の製造会社 (以下「B社」という。) 担当者の口述並びに機関士A及びA社の回答書によれば、バーナユニットドアがロック機構及びヒンジ部の破損により脱落し、二次空気ノズルが吹き飛ばされて曲損し、焼けた作業服の一部が二次空気ノズルに付着していた。(写真2.3-1、写真2.3-2参照)

補助ボイラ

脱落したバーナユニットドア

付着した作業服の一部



写真2.3-1 バーナユニットドア



写真2.3-2 二次空気ノズルの曲損状況等

2.4 乗組員に関する情報

(1) 性別、年齢、海技免状

① 船長 男性 45歳 国籍 フィリピン共和国

締約国資格受有者承認証 船長 (日本国発給)

交付年月日 2016年2月26日

(2019年12月11日まで有効)

② 機関長 男性 56歳 国籍 フィリピン共和国

締約国資格受有者承認証 機関長 (日本国発給)

交付年月日 2015年12月16日

(2017年3月29日まで有効)

③ 機関士A 男性 47歳 国籍 フィリピン共和国
締約国資格受有者承認証 二等機関士（日本国発給）
交付年月日 2016年8月18日
（2017年9月18日まで有効）

④ 操機手A 男性 35歳 国籍 フィリピン共和国

(2) 主な乗船履歴等

機関長の口述並びに機関士A及びA社の回答書によれば、次のとおりであった。

① 船長

船長は、1995年1月ごろに船員となり、A社の管理船舶には2000年9月ごろに初めて乗船し、2008年2月に初めて船長職をとり、本事故当時、健康状態は良好であった。

② 機関長

機関長は、1985年11月ごろに船員となり、A社の管理船舶には1998年5月ごろに初めて乗船し、2007年11月に初めて機関長職をとり、本事故当時、健康状態は良好であった。

③ 機関士A

機関士Aは、1994年2月ごろに船員となり、A社の管理船舶には1997年4月ごろに初めて乗船し、主として自動車運搬船、コンテナ船等の操機手、三等機関士を経て、2011年10月に初めて二等機関士としてコンテナ船に乗り組み、2016年8月22日に本船に乗船し、本事故当時、健康状態は良好であった。

④ 操機手A

操機手Aは、2005年5月ごろに船員となってA社の管理船舶に乗船し、自動車運搬船の操機員を経て、2007年5月ごろに初めて操機手となり、2016年8月10日に本船に乗船し、本事故当時、健康状態は良好そうに見えた。

2.5 船舶等に関する情報

2.5.1 船舶の主要目

船舶番号	142550
IMO番号	9689615
船籍港	兵庫県神戸市
船舶所有者	イーストリバー・ SHIPPING 合同会社
船舶管理会社	A社

船 級	一般財団法人日本海事協会
総 ト ン 数	152,297トン
L × B × D	365.94m × 51.20m × 25.83m
貨物積載能力	13,900TEU
船 質	鋼
機 関	ディーゼル機関1基
出 力	48,900kW
発電機原動機	ディーゼル機関 3,650kW × 4基
推 進 器	5翼固定ピッチプロペラ1個
進水年月日	平成27年6月20日

(写真2.5-1、付図2 一般配置図 参照)



写真2.5-1 本船

2.5.2 補助ボイラ等に関連する情報

(1) 補助ボイラ周辺機器の配置

補助ボイラは、5層の甲板から構成される機関室の最下層の甲板から3層目の第3甲板左舷側に設置されており、補助ボイラの左舷方にC重油サービスタンク等の燃料タンクが、船尾方に補助ボイラ制御盤が、船首方に廃油焼却炉及び3号発電機原動機（以下発電機原動機を「発電補機」という。）の排気管がそれぞれ配置されており、補助ボイラの船首側に本件燃焼装置が取り付けられていた。（図2.5-1参照）

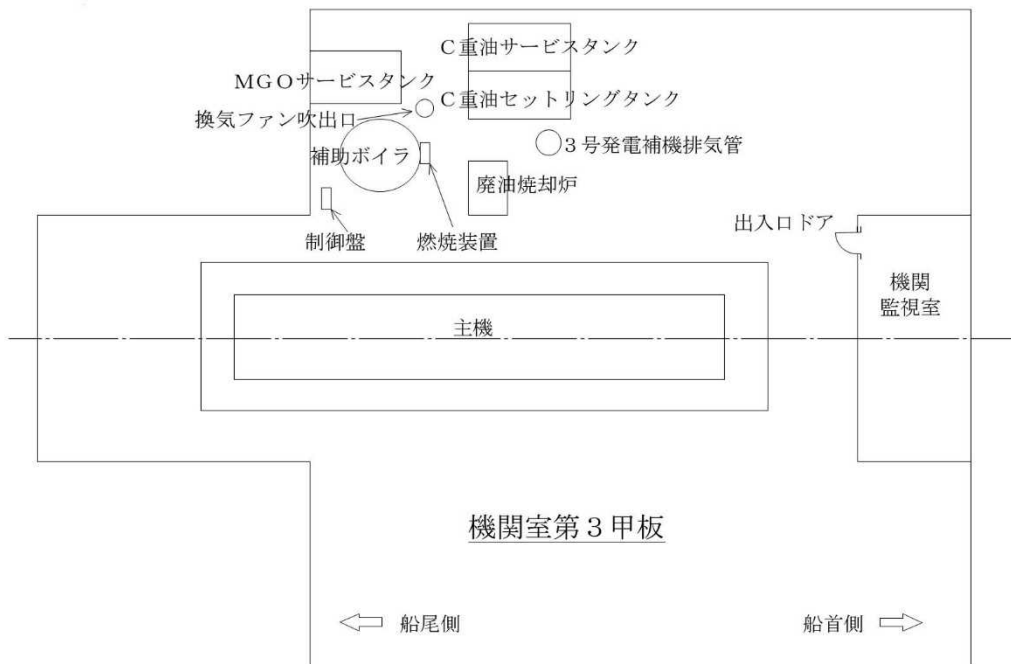


図 2.5-1 機関室第3甲板 機器配置図

(2) 補助ボイラに関する情報

① 補助ボイラ

補助ボイラは、蒸気圧力が0.8MPaで、蒸発量が4,000kg/hであり、C重油及びMGOに水を混入させたエマルジョン燃料^{*7}を燃焼させることができる本件燃焼装置を備え、バーナとしてロータリーカップバーナが取り付けられていて、FDファンにより燃焼用の空気が炉内に供給されるようになっており、本事故当時、燃料油としてMGOを使用していた。

(写真2.5-2参照)

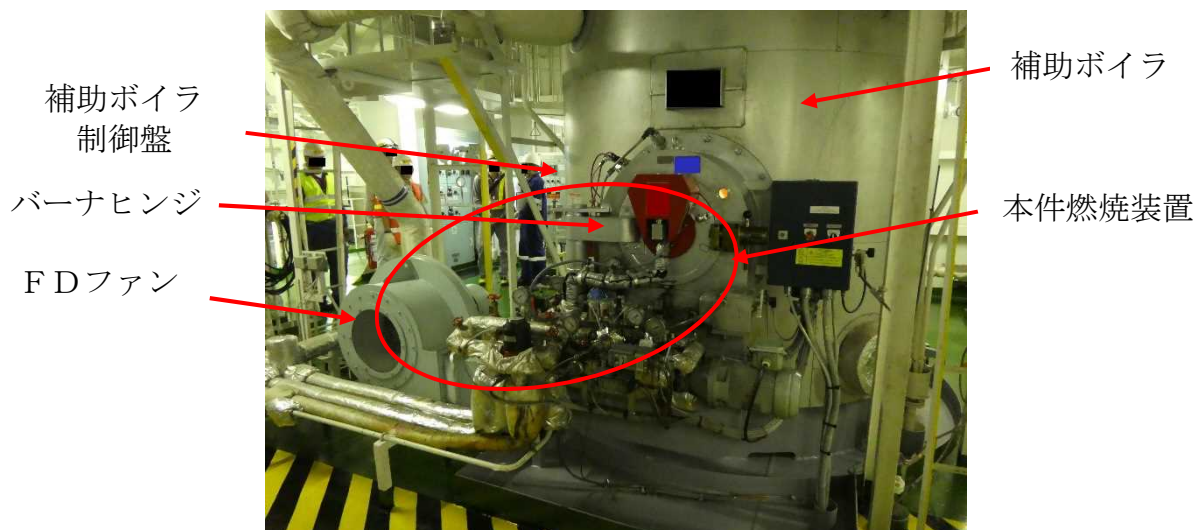


写真 2.5-2 補助ボイラ

^{*7} 「エマルジョン燃料」とは、燃料に水を混入して乳化させた燃料をいい、NO_x及び煙の低減に有効な燃料である。

② FO系統

a パイロットバーナ系統

MGOは、MGOサービスタンクからパイロットバーナ用こし器を通り、パイロットバーナポンプで吸引して加圧され、別のこし器、電磁式燃料遮断弁を経てパイロットバーナに供給されるようになっていた。

b ロータリーカップバーナ系統

FOは、C重油サービスタンク又はMGOサービスタンクから切替式こし器（以下「こし器①」という。）を通り、燃料ポンプで吸引して加圧され、燃料加熱器、別のこし器（以下「こし器②」という。）、2個の主‘空気式燃料遮断弁’（以下「燃料遮断弁」という。）、緊急遮断弁を経てロータリーカップバーナに供給されるようになっていた。

ロータリーカップバーナ系統の圧力は、圧力調整弁により、0.3 MPaとなるよう調整されていた。

(図2.5-2 参照)

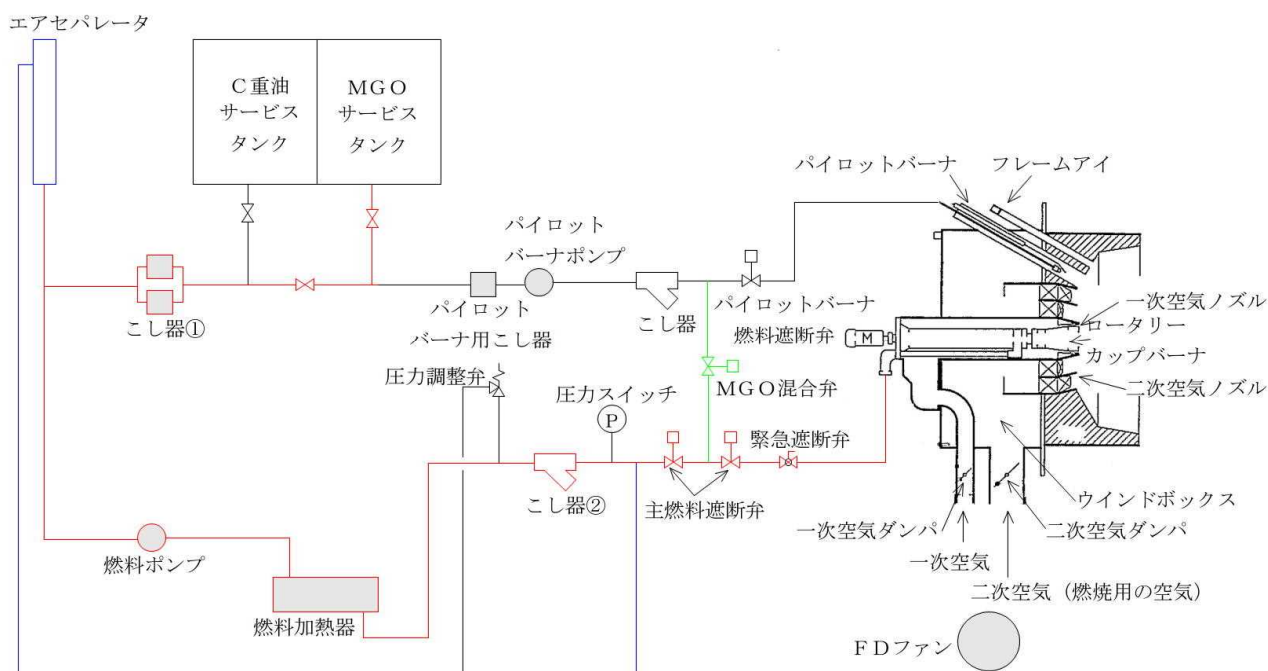


図2.5-2 FO系統図

③ 補助ボイラでの燃焼

B社担当者の口述並びにA社及びB社の回答書によれば、次のとおりであった。

補助ボイラは、蒸気圧力によって自動運転されており、蒸気圧力が設定された圧力（0.53 MPa）以下になると点火信号が出てパイロットバーナが点火し、その後、ロータリーカップバーナの燃料配管から、約

0.3MPaのFOが最大回転数毎分約6,000で回転しているロータリーカップバーナに供給されるようになっていた。

供給されたFOは、ロータリーカップバーナの回転により円周方向に拡がったところを一次空気ダンパを通して一次空気ノズルから供給された一次空気により、炉内に円錐状に供給され、パイロットバーナの火炎によって着火して燃焼が始まり、FDファンにより二次空気ダンパ（以下「本件ダンパ」という。）を通して二次空気ノズルから供給された燃焼用の空気により燃焼が継続し、蒸気圧力が上昇して設定された圧力（0.65MPa）に達するとバーナの消火信号が出て消火するようになっていた。

本件燃焼装置には、バーナの火炎を検出するフレイムアイが装備されていて、燃焼状態において火炎を検出しなければ、燃料の供給を停止するようになっていた。

（図2.5-3、写真2.5-3 参照）

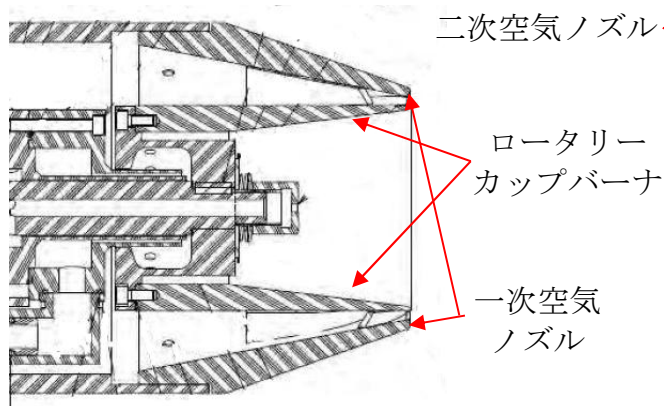


図2.5-3
ロータリーカップバーナ

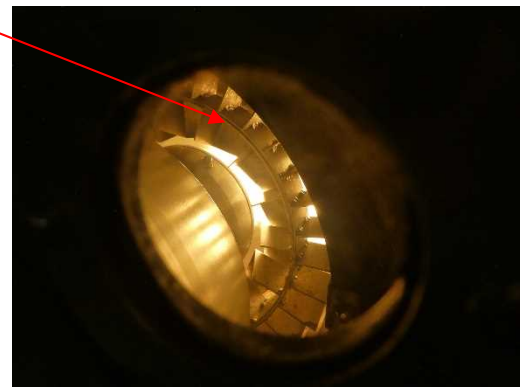


写真2.5-3 燃焼状況
のぞ
(点検用覗き窓から撮影)

④ ボイラ水系統

本船には、船内で使用する蒸気を発生させる装置として、FOを燃焼させて蒸気を発生する補助ボイラのほかに、主機及び発電補機の排気ガスを利用して蒸気を発生させる排気ガスエコノマイザ（EXHAUST GAS ECONOMIZER：EGE）が装備されていた。

EGEは、補助ボイラの水をEGEボイラ水循環ポンプで、主機又は発電補機の排気管の内部に通して排気ガスが保有している熱を回収し、補助ボイラに戻すものであり、A社の回答書によれば、本船は、本事故当時、発電補機4基中3基を運転していた。

（図2.5-4 参照）

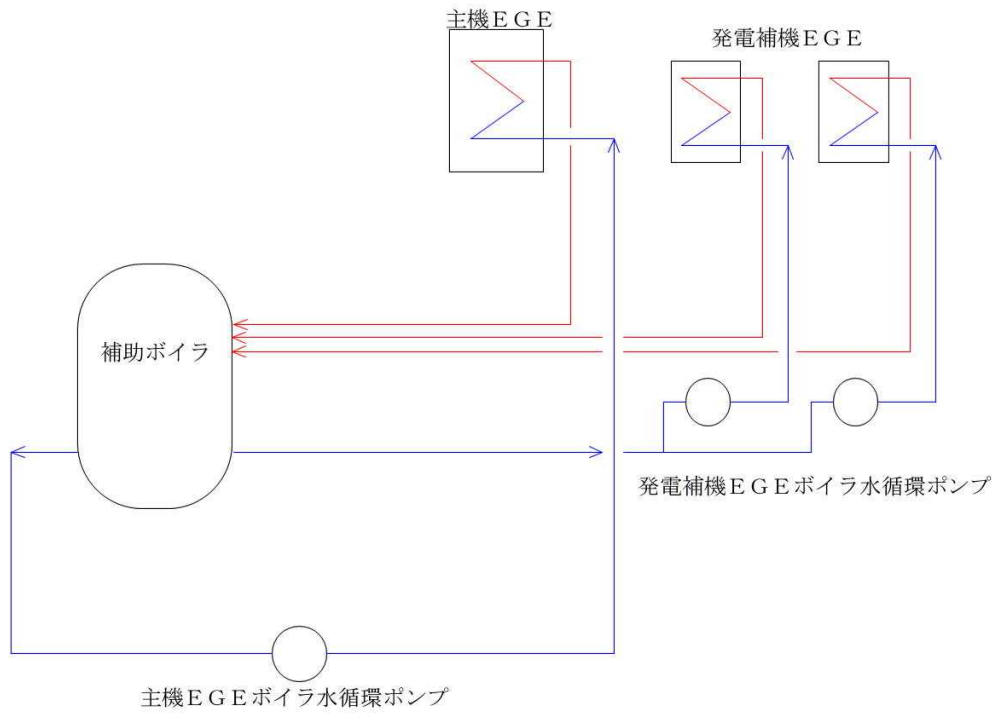


図 2.5-4 EGEボイラ水循環システム

⑤ 二次空気ノズルの取付け状況に関する情報

本船は、二次空気ノズルが、ロータリーカップバーナ及び一次空気ノズルを覆うように、4か所をM6のネジ（外径約6mmのメートルネジ）で補助ボイラに固定されていた。（図2.5-5、写真2.5-4参照）

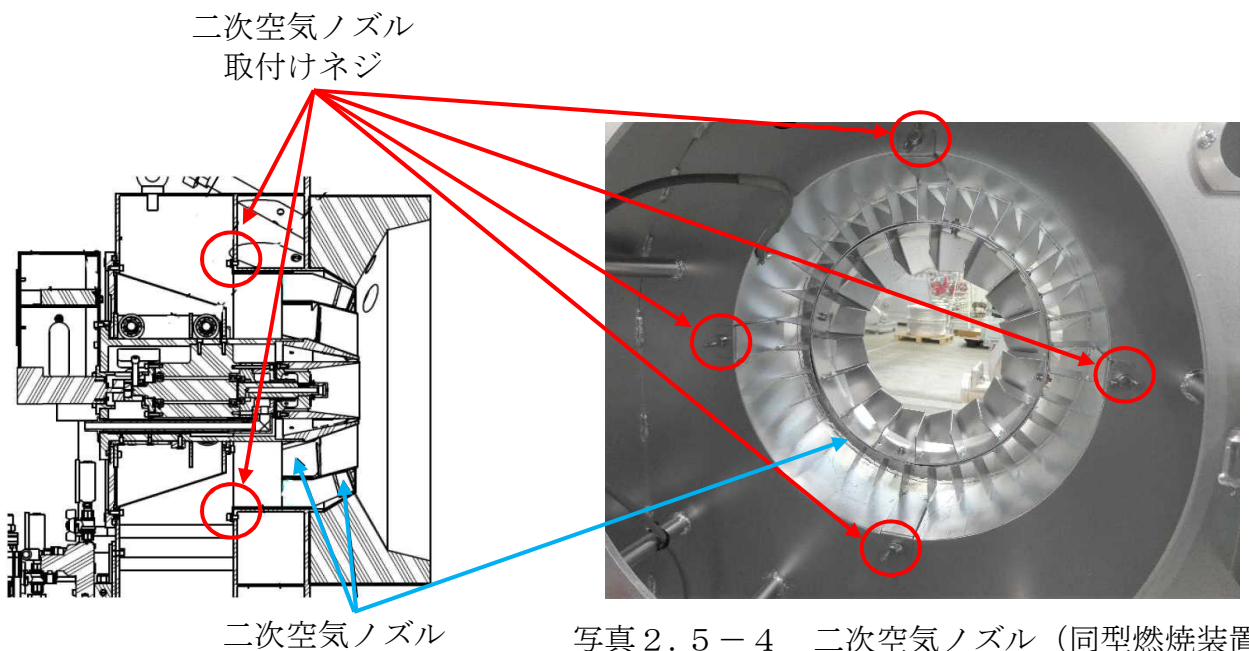


図 2.5-5 本件燃焼装置断面

写真 2.5-4 二次空気ノズル（同型燃焼装置）
（本件燃焼装置を外した状態で外側から撮影）

⑥ 本件燃焼装置の警報の種類に関する情報

B社担当者の口述及びB社の回答書によれば、次のとおりであった。
本件燃焼装置には、安全システムとして、様々な安全装置が装備されて

おり、異常を検知した場合、F Oの供給を遮断し、燃料ポンプ、F Dファン等の各機器の運転を停止するようになっている安全装置もあった。

本船の補助ボイラに装備された警報機能の一部として、表 2.5 のとおりであった。

表 2.5 警報機能

警報の種類	本件燃焼装置の状況	警報の状況
炉内異常 (FURNACE (FLAME-EYE) ABNORMAL)	パイロットバーナ及びロータリーカップバーナの燃焼中並びに燃焼終了後 15 秒間を除き、フレームアイが火炎を検出した場合等	機関制御室の監視盤で補助ボイラ危急停止警報を発生し、燃料の遮断等、各機器の運転を停止
点火失敗 (IGNITION FAILURE)	点火動作を設定時間 (15 秒) 以上行ってもフレームアイが火炎を検出しない場合	
火炎消失 (FLAME FAILURE)	燃焼中、フレームアイが火炎を検出しなくなった場合	
バーナヒンジオープン (BURNER HINGE OPEN)	燃焼中、バーナヒンジが開いたことをリミットスイッチが検出した場合	
ウインドボックス温高 (WIND-BOX TEMP. HIGH)	燃焼の有無にかかわらず、ウインドボックスの温度を検出するサーモスタットが、高温を検出した場合	
F O 圧低下 (F. O. PRESS. LOW)	F O の圧力が 0.15 MP a 以下になった場合	

- (3) 機関室の換気ファン及び補助ボイラ付近の換気ファンの吹出口に関する情報

現場調査及び機関長の口述によれば、次のとおりであった。

本船は、機関室に換気ファンを 4 台装備しており、機関室内に取り付けられた換気ファンの吹出口から、常時外気が機関室に供給されていて、機関室

内の圧力によって自動的に給気能力を調整するようになっていた。

補助ボイラ周辺には、本件燃焼装置左舷側の天井部に換気ファンの吹出口が下向きに取り付けられており、乗組員は、同吹出口のダンパでの風量調整を行ったことがなかった。

B社担当者の口述によれば、ドイツ連邦共和国ハンブルク港で本件燃焼装置の修理を行った際、本件燃焼装置左舷側の換気ファンの吹出口から外気が本件燃焼装置の周辺に吹き出していて寒く感じたので、修理作業中は同吹出口のダンパを閉めていた。

(写真 2.5-5 参照)

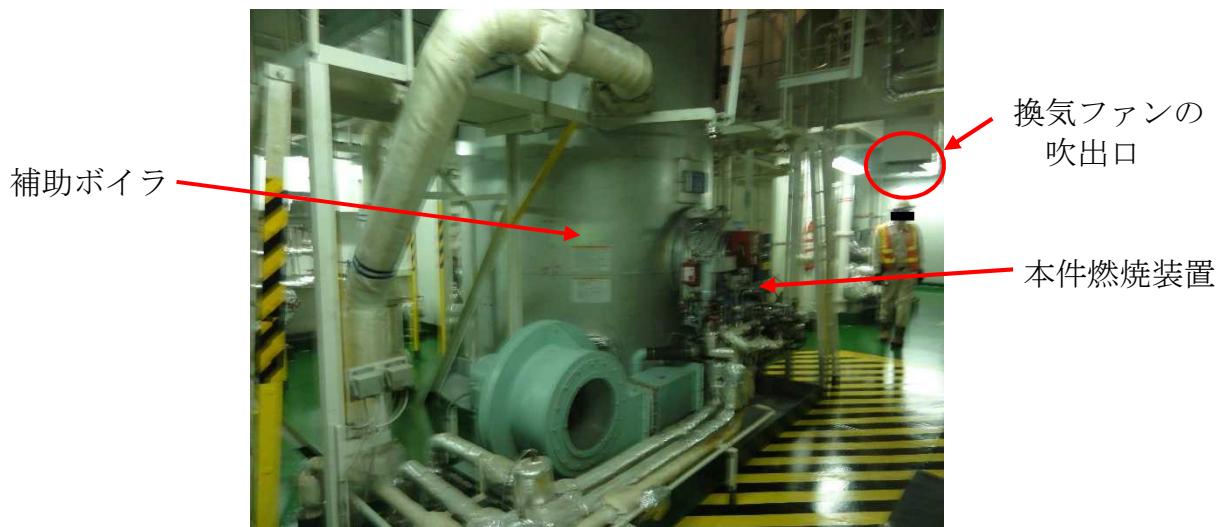


写真 2.5-5 本件燃焼装置左舷側の換気ファンの吹出口

2.6 本事故当日の23時01～04分間に発生した警報等に関する情報

機関長及び一等機関士の口述並びに機関士A及びA社の回答書によれば、表2.6のとおりであった。

表 2.6 23時01～04分間に発生した警報等

時刻	機関制御室の警報記録	補助ボイラ制御盤の警報履歴	補助ボイラの状況	機関士Aの対応
23時01分ごろ	補助ボイラ 危急停止	炉内異常 (FURNACE (FLAME-EYE) ABNORMAL)	バーナ停止 FDファン停止 本件ダンパ閉 燃料ポンプ停止 炉内の見えると ころに火炎なし	補助ボイラ制 御盤でリセッ ト作業
23時01分ごろ		炉内異常 (FURNACE	バーナ停止 FDファン停止	補助ボイラ制 御盤でリセッ

		(FLAME-EYE) ABNORMAL)	本件ダンパ閉 燃料ポンプ停止 炉内の見えると ころに火炎なし バーナからのF O の漏えいなし	ト作業
				炉内換気の日 的でF Dファ ンを運転
			炉内に火炎を確 認	
				燃料を遮断し ようと緊急遮 断弁を閉弁し た後、空気の 供給を止めよ うとF Dファ ンを停止しよ うとした。(緊 急遮断弁を閉 弁した直後に 爆発が発生し たので、F D ファンを停止 できなかつ た。)
23時04分ごろ	機関室火災	ウインドボッ クス高温 炉内異常 ヒンジ開	炉内で爆発発生	

2.7 爆発後の本件燃焼装置の状況に関する情報

B社担当者の口述、B社の回答書及び英国の事故調査機関(MAIB)の情報によれば、本事故後に行われた本件燃焼装置の作動試験の結果は、次のとおりであった。

(1) 主燃料遮断弁

燃料配管の燃料遮断弁の作動試験において、主燃料遮断弁2個のうち、ロータリーカップバーナ側の主燃料遮断弁1個が開弁状態で固着しているのが認められたが、他の燃料遮断弁の作動は正常であった。

(2) パイロットバーナ付きイグナイタ(点火装置)

イグナイタの作動試験を行ったところ、スパークせず、本船が保有していた予備のイグナイタに取り替えたところ、スパークするのを確認した。

(3) ロータリーカップバーナ

ロータリーカップバーナの作動試験を行った結果、作動は良好であった。

機関長及びB社担当者の口述並びにB社の回答書によれば、本事故後、燃料配管をロータリーカップバーナから取り外し、燃料ポンプを運転し、主燃料遮断弁に圧力をかけて漏えい試験を行ったが、作動が正常であった主燃料遮断弁からは漏えいしていないことが確認された。

2.8 補助ボイラの整備に関する情報

機関士A及びA社の回答書によれば、補助ボイラの整備状況は、次のとおりであった。

本船は、A社が定めた保守整備管理システム (Planned Maintenance System: PMS) によって定期的に補助ボイラの整備を行っており、2016年10～12月までの間における整備状況は次のとおりであった。

2016年10月	本件燃焼装置開放掃除 ボイラ水分析 煙管及び炉内掃除 安全装置作動試験
11月	煙管及び炉内掃除
12月	煙管及び炉内掃除 安全装置作動試験

本船は、FO系統のこし器の掃除を1航海で2回行っており、本事故の直前では、2017年1月9日に同掃除を行っていた。

2.9 FOに関する情報

2.9.1 MGOの爆発限界等

安全データシートによれば、引火点、自然発火温度及び爆発限界は、次のとおりであった。

引火点	52℃以上
自然発火温度	257℃
爆発下限界	0.7%(Vol)
爆発上限界	5.0%(Vol)

2.9.2 本事故当時に使用していたF Oの状況

機関長及びA社担当者の口述並びにA社の回答書によれば、本事故当時に使用していたF Oは、2016年11月8日にロッテルダム港で補油したMGO（以下「本件MGO」という。）であり、主な分析値は、次のとおりであった。

密度（15℃）	882.7 kg/m ³
動粘度（40℃）	5.8 mm ² /s
動粘度（60℃）	3.8 mm ² /s
水分	< 0.01 %Vol/Vol
硫黄分	0.10 %m/m
流動点	< -6℃
引火点	> 70℃

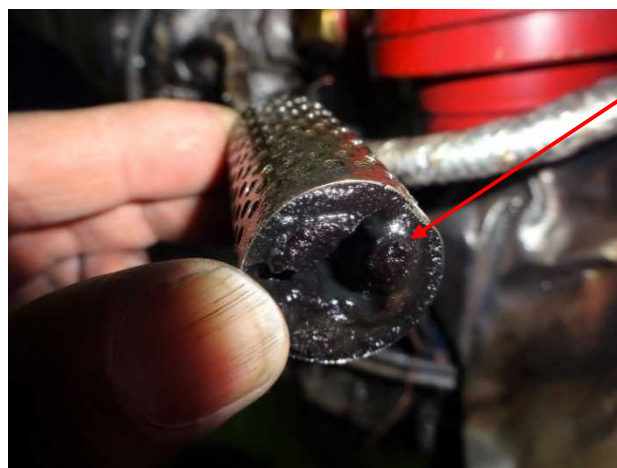
2.9.3 MGO中のパラフィンワックスに関する情報

(1) ハンブルク港での修理後の試運転の状況

機関長、一等機関士、A社担当者及びB社担当者の口述によれば、次のとおりであった。

B社担当者は、ハンブルク港で本件燃焼装置の修理を行った後、2017年1月24日22時ごろ試運転を行う目的で燃料ポンプを運転した際、運転した直後にはF Oの圧力が通常の運転圧力である約0.3MP aであったが、約1分後にF O圧低下警報を発することなく、約0.15MP a近くまで低下したのを認めた。

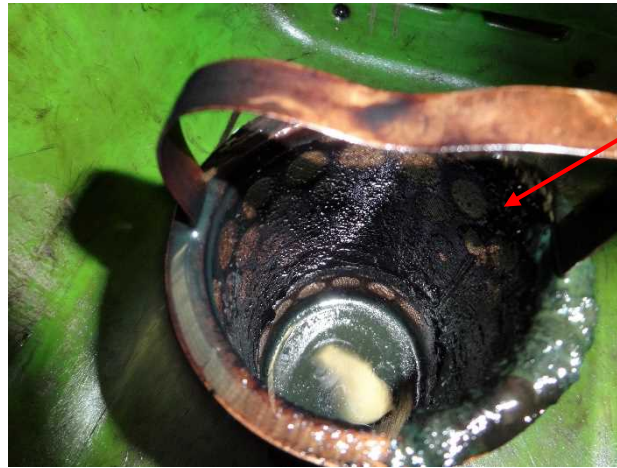
B社担当者は、こし器②を開放して点検したところ、内部に異物が付着して目詰まりしているのを確認し、掃除したのち復旧して燃料ポンプを運転したが、当初、F Oの圧力が約0.3MP aとなるものの、約1分後に同様に圧力が低下する状況となることを認めた。（写真2.9-1参照）



異物が付着して
目詰まり

写真2.9-1 こし器②目詰まり状況

B社担当者は、再度、こし器②を開放して点検したところ、内部に異物が付着して目詰まりしているのを確認し、こし器①を開放して点検したところ、こし器①の内部にも異物が付着して目詰まりしているのを認めた。(写真2.9-2参照)



異物が付着して目詰まり

写真2.9-2 こし器①目詰まり状況

B社担当者は、MGOサービスタンクの底部にスラッジ分がたまっていると思い、ドレン切り*8を行ったが状況が改善されず、本船が所有していた‘低温時におけるパラフィンワックス析出防止剤’（以下「ワックス防止剤」という。）をMGOに加え、更に圧力調整弁により圧力を調節したことにより、FOの圧力が約0.3MPaを維持し、圧力の低下がなくなったことを確認した。

A社は、欧州の北域及び北米の海域を航行する本船を含む管理船舶に対し、ワックス防止剤を支給し、11月から4月の間、MGOに加えるよう指示していたが、機関長は、過去にワックス防止剤をMGOに加えたことがなく、本船でも使用していなかった。

(2) ハンブルク港における補助ボイラの試運転当時の外気温度等

A社担当者及びB社担当者の回答書によれば、ハンブルク港で補助ボイラの試運転を行った当時の外気温度が約0℃、FDファンにより本件燃焼装置付近の空気を送り込んだウインドボックス内の温度が約8.8℃であった。

(3) パラフィンワックスの性状

FO分析会社の回答書によれば、パラフィンワックスは、原油から精製され直鎖状炭化水素の中でも、一般的に炭素20以上が主成分のものをいい、低い温度になると析出してろう状となり、こし器等を目詰まりさせる。

(図2.9-1参照)

*8 「ドレン切り」とは、FOタンクにたまった水分等を排出することをいう。

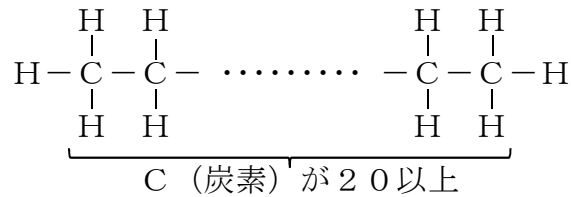


図 2.9-1 パラフィンワックス組成略図

(4) MGOの特殊分析値

① 当委員会による分析

当委員会は、本船から本事故当時に使用していた本件MGOの試料油を入手し、民間のFO分析会社に委託して、本件MGOのパラフィンワックスがどの程度含まれているかをみる曇り点^{*9}、目詰まり点^{*10}、流動点^{*11}及びGC-MS分析^{*12}の特殊分析並びに本件MGOに本船が保有していたワックス防止剤を加えた際の曇り点、目詰まり点及び流動点の分析を行った結果、表 2.9 及び図 2.9-2 のとおりであった。

表 2.9 特殊分析結果

	本件MGO	ワックス防止剤を加えた本件MGO
曇り点 (CP)	19℃	18℃
目詰まり点 (CFPP)	12℃	5℃
流動点 (PP)	-10℃	-10℃

^{*9} 「曇り点」(Cloud Point: CP)とは、試料油をかき混ぜないで冷却したとき、パラフィンワックスの析出により、試験管底部の試料油がかすみ状になるか曇り始める温度をいう。

^{*10} 「目詰まり点」(Cold Filter Plugging Point: CFPP)とは、試料油を冷却しながら定められた金網を通して吸引ろ過したとき、試料油20mlのろ過時間が60秒を超えた時の温度又は試料油がろ過器を通らなくなった温度をいう。

^{*11} 「流動点」(Pour Point: PP)とは、試料油をかき混ぜないで冷却した時、試料油が流動する最低の温度をいう。

^{*12} 「GC-MS分析」(Gas Chromatography-Mass Spectrometry 分析)とは、試料油から出たガスを成分ごとに分離し、分離した成分の種類を決定する分析をいう。

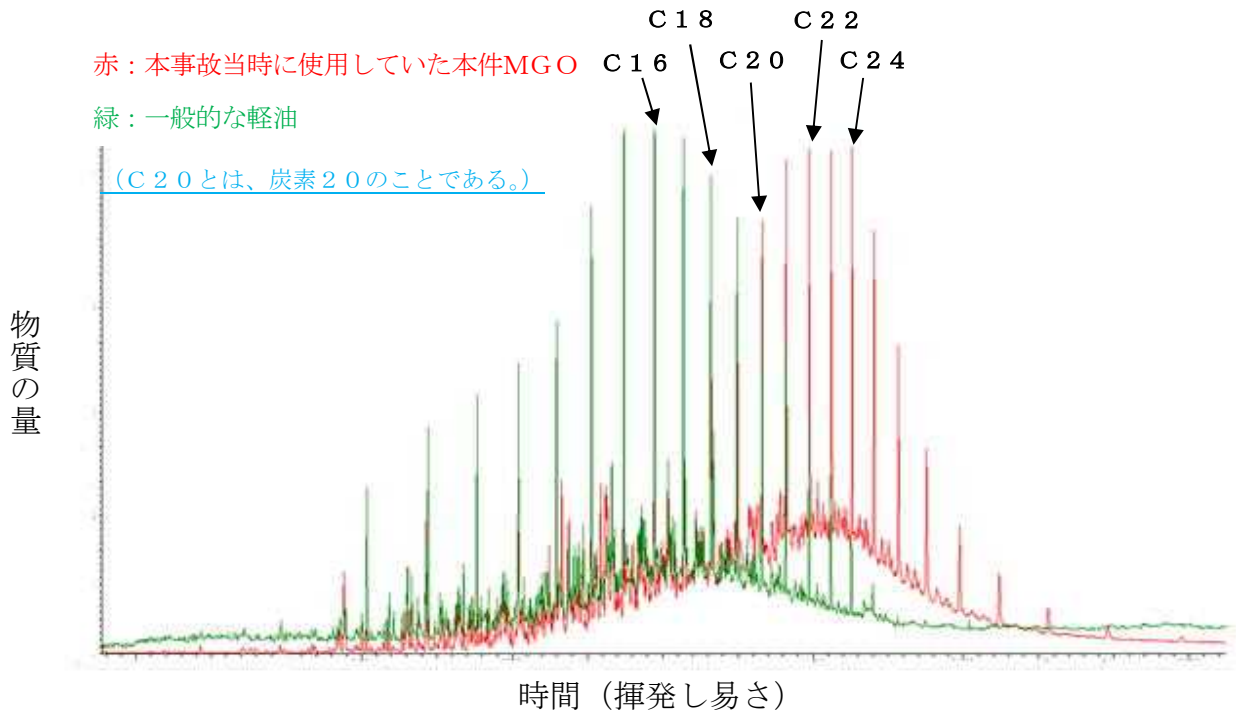


図2.9-2 GC-MS分析

② MAIBによる分析

MAIBの情報によれば、MAIBが本事故後に補助ボイラのロータリーカップバーナ系統から採取したMGOを分析した結果、目詰まり点が14℃、流動点が-9℃以下で、曇り点の測定ができなかった。

2.10 A社の船舶管理に関する情報

A社の回答書によれば、次のとおりであった。

2.10.1 安全管理システム

(1) 適合書類 (DOCUMENT OF COMPLIANCE)

A社は、日本海事協会による安全管理システムの審査を受けて適合書類を発給されており、その概要は、次のとおりであった。

船舶の種類	その他の貨物船
発給の日	2015年7月15日
有効期限	2020年1月19日
最新の年次審査	2016年2月16日

(2) 安全管理証書 (SAFETY MANAGEMENT CERTIFICATE)

本船は、日本海事協会による安全管理システムの審査を受けて安全管理証書を発給されており、その概要は、次のとおりであった。

船舶の種類	その他の貨物船
発給の日	2016年3月9日

有効期限 2021年3月8日

2.10.2 機器の保守点検、整備等に関するガイドライン

A社は、主機、ボイラ、発電補機等の船舶に搭載された機器の保守点検、整備等の機器の運転に関するガイドラインを作成し、管理船舶に対してガイドラインに従って保守、整備等を行うよう、指示していた。

2.10.3 機関部乗組員の担当機器等

A社は、機関部乗組員に対して担当機器を定め、保守整備、運転等について作業計画を作成して実施するよう指示していた。

担当機器表によれば、機関士A及び操機手の担当機器及び業務は、次のとおりであった。

(1) 機関士A

- ① 発電補機及び発電機
- ② ボイラ及びボイラの関連機器
- ③ E G E
- ④ 主空気圧縮機、補助空気圧縮機、非常用空気圧縮機及び制御用空気圧縮機
- ⑤ 空気槽及び関連装置
- ⑥ 造水器
- ⑦ 燃料移送システム 等

(2) 操機手

- ① 機関室当直、機関士の補助作業
- ② 補油作業
- ③ 廃油焼却、機関室等の清掃

2.10.4 乗組員のトレーニングマニュアルにおける補助ボイラ及び関連装置の記載

A社が作成した乗組員のトレーニングマニュアルには、機関士Aが行うべき担当機器の補助ボイラ及び関連装置の業務について、次のとおり具体的な作業内容が記載されていた。

- (1) 各装置の運転マニュアルを精読し、運転マニュアルに従って運転、点検、整備等を行うこと。

- (2) 定期的にボイラ水の試験を行い、ボイラ水のブロー^{*13}、ボイラ水処理剤を使用してボイラ水の性状を維持すること。
- (3) 定期的にバーナ及び炉内の掃除を行うこと。
- (4) 煙突からの煙に注意し、正常な燃焼を維持するために燃料の油圧及び量並びに空気量の調節を行うこと。
- (5) 安全装置が適正に作動するかどうか、定期的に点検すること。
- (6) 定期的にスートブロー^{*14}を行うこと。

2.10.5 補助ボイラの整備

A社は、PMSを機器ごとに定め、本船では、PMSに従って計画的に補助ボイラの整備を行っており、主な整備として次の作業を行っていた。

- (1) 煙管の掃除
- (2) ロータリーカップバーナ及びパイロットバーナの点検、掃除
- (3) 燃料配管中のこし器の交換、掃除
- (4) ボイラ水試験、ボイラ水ブロー
- (5) 安全装置の作動試験

2.11.1 B社が行った事故原因調査に関する情報

B社担当者の口述及びB社の回答書によれば、次のとおりであった。

2.11.1 爆発発生時のメカニズム

補助ボイラが爆発した要因は、次の2つが推測される。

- (1) 炉内に可燃性ガスが滞留する状況下での点火
- (2) 炉内で異常燃焼が発生し、不完全燃焼によって火の勢いが衰え、可燃性の一酸化炭素ガス^{*15}が滞留した状況下、空気が送り込まれることにより、熱せられていた一酸化炭素ガスと酸素とが急速に反応し、二酸化炭素が発生する際の発熱が急激に進むことで起こるバックドラフト現象

補助ボイラが爆発した要因としては、本事故当時、点火動作が行われておらず、(1)の要因はないものと推測される。

B社は、補助ボイラが爆発した要因を(2)と考え、爆発までの流れは、次のとお

^{*13} 「ボイラ水のブロー」とは、ボイラ水の濃度を調節する目的で、ボイラ水の一部を排出することをいう。

^{*14} 「スートブロー」とは、ボイラ、EGE等の伝熱面に付着した煤^{すす}などを蒸気又は空気等を噴射して除去することをいう。

^{*15} 「一酸化炭素ガス」とは、酸素が不足している状態で不完全燃焼を起こすと発生する極めて可燃性、引火性の高いガスをいい、爆発下限界が12.5% (V)、爆発上限界が74.55% (V)である。

りであると推測した。

本件燃焼装置は、23時01分ごろ炉内異常でバーナが危急停止したが、その後、機関士が補助ボイラ制御盤でリセット作業を行った際、フレームアイが一時的に火炎を検出せず、警報が解除された状態となった。

本件燃焼装置は、その後、再度フレームアイが火炎を検出して同時刻に炉内異常警報が発生し、機関士が、炉内を点検したところ火炎を認め、その後、火炎が小さくなったので、炉内の換気の目的でFDファンを運転した直後に爆発が発生した。

2.11.2 炉内異常警報が発生した理由

本件燃焼装置は、本事故後の点検で、主燃料遮断弁2個のうちロータリーカップバーナ側の1個が開弁状態で固着していることが確認されたが、別の1個の主燃料遮断弁の作動が正常であったこと、及び本事故後に燃料ポンプを運転して漏えい試験を行ったところ、作動が正常であった主燃料遮断弁からの漏えいしなかったことから、本事故当時、本件MGOは、主燃料遮断弁から炉内に漏えいすることがなかったものと推測される。

補助ボイラのロータリーカップバーナ系統は、B社担当者がハンブルク港で本件燃焼装置の修理を行ったのち、試運転として燃料ポンプを運転した際、当初、通常の運転圧力である約0.3MPaまで上昇するものの約1分後に約0.15MPa近くまで低下し、こし器がヌメリのある半固形物の付着でほとんど目詰まりした状態であることが確認され、本船が保有していたワックス防止剤を加えたところ圧力の低下がなくなった。

これらのことから、炉内異常警報が発生したのは、次のことによるものと推測される。

- (1) 本件MGOを使用中にパラフィンワックスが析出してこし器にヌメリのある半固形物が付着し、本件MGOの供給量が減少したこと。
- (2) ロータリーカップバーナから噴射される本件MGOの油量が減少したものの、一次空気量及び二次空気量が本件MGOの供給量減少以前と同じであったので、本件MGOが吹き飛ばされて噴霧が不均一となったこと、及び火炎が大量の空気により冷却されて保炎が阻害され、燃焼状態が不良になって一部の本件MGOが燃焼せず、未燃の状態で炉内に残ったことで、自動燃焼が終わって同バーナからの燃料の噴霧が止まった後も炉内に残った未燃の本件MGOが気化して可燃性ガス及び火炎が残っていたこと。

2.12 気象及び海象に関する情報

2.12.1 本船の観測

航海日誌の記載によれば、2017年1月19日の気象は次のとおりであった。

20時00分ごろ 天気 曇り、風向 東、風力 4

24時00分ごろ 天気 曇り、風向 東、風力 4

A社の回答書によれば、2017年1月19日の気温及び水温は、次のとおりであった。

15時00分ごろ 気温 6℃、水温 9℃

22時45分ごろ 気温 6℃、水温 4℃

2.12.2 MAIBの情報

MAIBの情報によれば、本事故当時、天気は曇り、北北東の風で風速が3～4 m/s、気温は4℃、視界は良好であった。

3 分析

3.1 事故発生の状況

3.1.1 事故発生に至る経過

2.1～2.3から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 本船は、2017年1月16日14時35分ごろ、ECA入域により、船内で使用される全てのFOが、C重油から本件MGOに切り替えられた。
- (2) 本船は、フェリックストー港への入港に際し、19日16時00分ごろ、機関部では入港部署として機関士全員及び当直の操機手が所定の配置についていた。
- (3) 本船は、17時30分ごろから19時51分ごろにかけて補助ボイラに4回の危急停止警報が発生し、17時30分ごろに発生した補助ボイラ危急停止警報について、機関士Aがロータリーカップバーナを開放して内部の掃除を行い、それ以外の3回の警報について、他の機関士が補助ボイラの状況を確認して補助ボイラ制御盤で警報のリセット作業を行った。
- (4) 補助ボイラは、23時01分ごろ危急停止警報が発生し、機関士AがFDファンを運転してバーナユニットドアの右舷船首側で炉内換気作業を、20時から入港部署についていた操機手Aがバーナユニットドアの船首方で機関士Aの指示を待っていたところ、機関士Aが炉内に火炎を認めて緊急遮断弁を閉弁した後、FDファンを停止しようとしたが、停止できず、23時04分ご

ろ炉内で爆発が発生した。

- (5) 本船は、操機手Aが死亡し、機関士Aが火傷を負い、本件燃焼装置が破損した。

3.1.2 事故発生場所

2.1から、本事故の発生場所は、ドーバーコートハイ灯台から真方位012° 2.0M付近であったものと考えられる。

3.1.3 損傷の状況

2.3から、本船は、バーナユニットドアが脱落し、二次空気ノズルが吹き飛ばされて曲損を生じたものと考えられる。

3.1.4 死傷者の状況

2.1～2.3から、操機手Aは、爆風で吹き飛ばされた二次空気ノズルが当たったことから、多発外傷で死亡し、機関士Aは、爆風を浴びたことから、右手及び右大腿部に火傷を負ったものと考えられる。

3.2 事故要因の解析

3.2.1 乗組員の状況

2.4から、次のとおりであった。

船長、機関長及び機関士Aは、適法で有効な締約国資格受有者承認証を有していた。

船長、機関長及び機関士Aは、本事故時、健康状態は良好であったものと考えられる。

操機手Aは、本事故時、健康状態は良好そうに見えた。

3.2.2 気象の状況

2.12から、本事故当時の気象は、天気が曇り、北北東～東の風、風力4で、気温が4～6℃、視界は良好であったものと考えられる。

3.2.3 MGOの性状に関する解析

2.9から、MGOは、自然発火温度が約257℃、爆発限界が約0.7～5.0%であり、本船は、本事故当時、パラフィンワックスが多く含まれ、目詰まり点が約12～14℃の本件MGOを使用しており、本船が保有していたワックス防止剤を加えた際の目詰まり点が約5℃であったものと考えられる。

3.2.4 本事故当時の本件燃焼装置付近の温度に関する解析

2.5.2、2.9.3(2)、2.12及び3.2.2から、修理を行ったハンブルク港における気温が約0℃で、その時の本件燃焼装置付近の温度となるウインドボックスの温度が約8.8℃であったこと、及び本事故当時のフェリックスター港における外気温度が4～6℃で、本件燃焼装置の左舷側の天井部にある換気ファンの吹出口から外気が下向きに吹き出していたことから、本件燃焼装置付近の温度が約12～15℃と推測され、本件MGOの目詰まり点以下の温度であった可能性があると考えられる。

3.2.5 炉内に本件MGOが残ったことに関する解析

2.5.2(2)、2.5.2(3)、2.7、2.9、2.11及び3.2.4から、次のとおりであった。

(1) 補助ボイラの燃焼中の状況

① こし器①及びこし器②の目詰まり

本船は、パラフィンワックスが多く含まれた本件MGOを使用中、本件燃焼装置付近の温度が本件MGOの目詰まり点以下に低下してパラフィンワックスが析出し、こし器①及びこし器②のどちらか一方又は両こし器が目詰まりしたものと考えられる。

② 圧力調整弁の作動不良

本船は、ハンブルク港での修理後の試運転において、MGOにワックス防止剤を加え、更に圧力調整弁を調整することにより、圧力の低下がなくなったことから、本件MGOを使用中、析出したパラフィンワックスがこし器を目詰まりさせ、更に圧力調整弁が析出したパラフィンワックスの影響等により作動不良となり、本件MGOの油圧が低下してロータリーカップバーナへの本件MGOの供給量が減少した可能性も否定できない。

③ ロータリーカップバーナからの本件MGO噴霧

本船は、一次空気量及び二次空気量が一定の状況下、MGO系統のこし器が目詰まりしたか、又は圧力調整弁が析出したパラフィンワックスの影響等により作動不良となったことから、ロータリーカップバーナへの本件MGOの供給量が減少し、同バーナからの本件MGOの噴霧が不均一となった可能性があると考えられる。

④ ロータリーカップバーナの燃焼状況

本船は、MGO系統のこし器の目詰まり等により、本件MGOの油圧が低下したものの危急停止の設定圧力まで低下しなかったことから、自動燃焼を続け、ロータリーカップバーナからの本件MGOの噴霧が不均一とな

る状況下、更に火炎が大量の空気により冷却されて保炎が阻害され、燃焼状態が不良になって未燃の本件MGOが炉内に残った可能性があると考えられる。

(2) 補助ボイラの燃焼が自動停止した後の状況

① 主燃料遮断弁からの本件MGO漏えいの有無に関する解析

本事故後に行われた主燃料遮断弁の作動試験において、ロータリーカップバーナ側の主燃料遮断弁が、開弁状態で固着していることが確認されたが、燃料ポンプを運転して主燃料遮断弁の漏えい試験を行った結果、作動が正常であった主燃料遮断弁からの漏えいは認められなかったことから、同バーナの燃焼が自動で停止した後、同バーナからの本件MGOの漏えいはなかったものと考えられる。

② 炉内異常警報の発生状況

本件燃焼装置の炉内異常は、ロータリーカップバーナの燃焼中及び燃焼終了後15秒間は警報を発することがなく、それら以外の間にフレームアイが火炎を検出した場合に警報を発するようになっており、23時01分に発生した炉内異常警報は、同バーナの燃焼が自動で停止した後、本件MGOの供給がなかったが、自動燃焼中に炉内に残った未燃の本件MGOが自動停止後も燃焼を続けたことから、自動停止して15秒以上経過したときにフレームアイが火炎を検出して警報を発した可能性があると考えられる。

3.2.6 機関士Aの補助ボイラリセット作業に関する解析

2.5及び2.6から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 補助ボイラは、23時01分ごろ炉内異常警報が発生して機関士Aがリセット作業を行った後、再度、炉内異常警報を発したことから、リセット作業時に一時的にフレームアイが火炎を検出しなかった。
- (2) 機関士Aは、再度、炉内異常警報が発生した際、本件燃焼装置の点検を行ったところ、ロータリーカップバーナ、燃料ポンプ及びFDファンの停止、本件ダンパが閉状態であること、炉内の見えるところに火炎がないこと並びにロータリーカップバーナからFOが漏えいしていないことを認めた。
- (3) 機関士Aは、FDファンが停止して本件ダンパが閉状態であり、二次空気が炉内に供給されていなかったことから、炉内の換気の目的でFDファンを運転した。
- (4) 機関士Aは、FDファンを運転した後、炉内を点検したところ、炉内に火炎を認め、直ちに緊急遮断弁を閉弁したが、直後に爆発が発生した。

3.2.7 炉内で爆発が発生したことに関する解析

2.6、2.9、2.11及び3.2.5から、次のとおりであった可能性があると考えられる。

補助ボイラは、自動燃焼が終了した後、炉内に残った未燃の本件MGOが気化した可燃性ガスとなって燃焼を続け、炉内異常警報が発生し、FDファンが停止して本件ダンパが閉状態となり、燃焼用の空気の供給がなくなり、不完全燃焼状態となった火炎及び可燃性の一酸化炭素ガス又は本件MGOの可燃性ガスが炉内に存在するようになった。

補助ボイラは、炉内換気の目的で、FDファンが運転されて二次空気が炉内に供給され、熱せられていた一酸化炭素ガスと酸素とが急速に反応して爆発を生じたか、あるいは、高温の炉内に本件MGOが気化して濃度の高い可燃性ガスとして存在する状況下、FDファンが運転されて二次空気が炉内に供給され、本件MGOが気化した可燃性ガスの濃度が爆発限界内に入って爆発を生じた。

3.2.8 事故発生に関する解析

2.1、2.5.2(2)、2.9及び3.2.3～3.2.7から、次のとおりであった。

- (1) 本船は、ECA入域により、船内で使用される全てのFOが、C重油から本件MGOに切り替えられたが、本件MGOが、目詰まり点が高く、パラフィンワックスの多いものであったと考えられる。
- (2) 本船は、パラフィンワックスを多く含む本件MGOを使用する状況下、補助ボイラが自動運転で燃焼中、本件燃焼装置付近の温度が本件MGOの目詰まり点以下に低下し、こし器等でパラフィンワックスが析出した可能性があると考えられる。
- (3) 本船は、こし器等でパラフィンワックスが析出してこし器が目詰まりしたか、又は圧力調整弁が析出したパラフィンワックスの影響等により作動不良となったことにより、本件MGOの油圧が低下したものの、FO圧低下危急停止の設定圧力まで低下せず、自動燃焼を継続したのと考えられる。
- (4) 本船は、一次空気量及び二次空気量が一定の状況下、本件MGOの油圧が低下するとともにロータリーカップバーナへの本件MGOの供給量が低下し、同バーナからの本件MGOの噴霧が不均一となり、更に同バーナからの火炎が大量の空気により冷却されて保炎が阻害され、燃焼状態が不良になって一部の本件MGOが燃焼せず、未燃の状態で炉内に残った可能性があると考えられる。
- (5) 本船は、蒸気圧力が設定値に達して補助ボイラの自動燃焼が終了した後、炉内に残った未燃の本件MGOが燃焼を続け、フレームアイが火炎を検出し

て炉内異常の警報が発生し、機関士A及び操機手Aが補助ボイラのリセット作業を開始したものと考えられる。

- (6) 機関士Aは、リセット作業を行った際、一時的にフレームアイが火炎を検出せず、補助ボイラ制御盤でリセットできたものの、再びフレームアイが火炎を検出して炉内異常警報が発生したので、本件燃焼装置の点検を行ったところ、ロータリーカップバーナ、燃料ポンプ及びFDファンの停止、本件ダンパが閉状態であること、炉内の見えるところに火炎がないこと並びにロータリーカップバーナからFOが漏えいしていないことを認めたものと考えられる。
- (7) 補助ボイラは、FDファンが停止して本件ダンパが閉鎖され、二次空気が供給されないまま炉内で燃焼が続いて不完全燃焼となった状況下、機関士Aが炉内換気の目的でFDファンを運転したものと考えられる。
- (8) 本船は、機関士Aが、FDファンを運転した後、炉内に火炎を認め、直ちに緊急遮断弁を閉弁した後、FDファンを停止しようとしたが停止できず、二次空気が炉内に供給されて熱せられていた一酸化炭素ガスと酸素とが急速に反応し、炉内で爆発を生じたか、あるいは、炉内に本件MGOが気化して高温、高濃度の可燃性ガスとして存在する状況下、FDファンの運転により二次空気が炉内に供給され、炉内の可燃性ガスが爆発限界内となって爆発を生じた可能性があると考えられる。
- (9) 本船は、バーナユニットドアがロック機構及びヒンジ部の破損により脱落し、二次空気ノズルが吹き飛ばされて曲損を生じたものと考えられる。
- (10) 本船は、操機手Aが爆風で吹き飛ばされた二次空気ノズルに当たって死亡し、機関士Aが火傷を負ったものと考えられる。

4 原因

本事故は、夜間、本船が、英国フェリックストー港のコンテナ岸壁に着岸作業中、補助ボイラの炉内で爆発が発生したものと考えられる。

炉内で爆発が発生したのは、炉内に不完全燃焼により熱せられていた一酸化炭素ガス及び火炎が存在し、換気されていない状況下、機関士Aが運転したFDファンにより二次空気が炉内に供給されて一酸化炭素ガスと酸素とが急速に反応したか、あるいは、炉内に高温、高濃度の未燃の本件MGOが気化して可燃性ガスとして存在し、換気されていない状況下、FDファンの運転により二次空気が炉内に供給され、炉内の可燃性ガスが爆発限界内となったことによる可能性があると考えられる。

機関士AがFDファンを運転したのは、炉内を二次空気で換気しようとしたことによるものと考えられる。

炉内に未燃の本件MGOが気化した可燃性ガスが存在したのは、燃料こし器の目詰まり等が発生して本件MGOの油圧が低下したがFO圧低下警報設定値まで下がらない状況下、ロータリーカップバーナから噴射される本件MGOの供給量が減少したものの、一次空気量及び二次空気量が本件MGOの供給量減少以前と同じであったので、本件MGOが吹き飛ばされて噴霧が不均一となり、更に同バーナからの火炎が大量の空気により冷却され、保炎が阻害されて燃焼状態が不良になり、一部の本件MGOが燃焼せず、未燃の状態で炉内に残り、気化したことによるものと考えられる。

炉内に不完全燃焼による一酸化炭素ガス及び火炎が存在したのは、炉内異常警報によりFDファンが停止し、本件ダンパが閉状態となり、空気の供給が遮断されて空気量が不足した状態で燃焼が続いたことによるものと考えられる。

燃料こし器が目詰まりしたのは、パラフィンワックスが多く含まれて目詰まり点が高い本件MGOが使用され、本件燃焼装置付近の温度が本件MGOの目詰まり点以下になり、パラフィンワックスが析出してこし器に付着したことによるものと考えられる。

5 再発防止策

本事故は、夜間、本船が着岸作業中、補助ボイラの炉内に未燃の本件MGOが気化した可燃性ガス又は不完全燃焼により熱せられていた一酸化炭素ガス及び火炎が存在する状況下、機関士Aが炉内を換気しようとして運転したFDファンにより二次空気が供給され、炉内で爆発が発生し、1人が死亡、1人が負傷し、本件燃焼装置が破損した可能性があると考えられる。

炉内に本件MGOが気化した可燃性ガスが存在したのは、パラフィンワックスが析出して燃料こし器が目詰まりし、本件MGOの油圧が低下したもののFO圧低下警報設定値まで下がらない状況下、ロータリーカップバーナへの本件MGOの供給量が低下し、一方で供給された一次空気量及び二次空気量が一定であったことから、同バーナからの本件MGOの噴霧が不均一となって燃焼状態が不良になったこと、及び、未燃の本件MGOが炉内に残り、気化したことによるものと考えられる。

したがって、A社は、冬期に欧州域及び北米等域に入域するMGOを使用する船舶及び船舶の乗組員に対し、次の再発防止策を講じる必要があると考えられる。

- (1) 冬期において、目詰まり点を下げるワックス防止剤を保有し、MGOの曇り点、

目詰まり点及び流動点等の分析を行った上で、ワックス防止剤を必要に応じて使用するか、又は分析を行わない場合には補油ごとに使用すること。

- (2) MGOのパラフィンワックス析出に関する危険性について乗組員に対して教育を行い、会社の指示に従ってワックス防止剤を使用するよう周知すること。
- (3) 補助ボイラにおいて、可燃性ガス又は不完全燃焼による一酸化炭素ガス及び火炎が炉内に存在し、換気されていない状況下、二次空気を炉内に供給すると爆発を引き起こす危険性があり、二次空気ダンパを開放した状態にすることも有効であることについて周知すること。
- (4) 補助ボイラの運転中、圧力調整弁の作動を確認するとともに、作動不良が認められた場合、圧力調整弁の開放整備を行うこと。

5.1 事故後に講じられた事故等防止策

5.1.1 A社により講じられた措置

A社は、MGOを使用中に燃料油圧が低下した場合、燃焼不良が原因で補助ボイラに爆発が発生するという事象の経験がなく、B社と協議の上、同種事故の再発防止策として次の対策を講じた。

- (1) 冬期に欧州域及び北米等域に入域するMGOを使用する船舶及び船舶の乗組員に対し、
 - ① MGOのパラフィンワックス析出に関する危険性について教育を行い、会社の指示に従ってワックス防止剤を使用するよう周知した。
 - ② 補助ボイラにおいて、可燃性ガスが炉内に存在する状況下、二次空気を供給する危険性について周知した。
 - ③ ボイラ運転時には、必ず燃料圧力が規定圧力で運転されていることを確認する。また、C重油からMGOへの切替え時に圧力変化を認めた場合は、必ず圧力調整弁で規定圧力に調整する。
- (2) ロータリーカップバーナを使用している燃焼装置を装備した補助ボイラに対し、
 - ① フレームアイの二重化を行った。
 - ② 0.15MPaであった燃料圧力低下危急停止の設定値を、0.2～0.24MPaで危急停止するよう変更した。また、圧力検出場所も2個の主燃料遮断弁を通った後とし、ロータリーカップバーナへの供給圧力を検出するようにした。
 - ③ 炉内異常 (FURNACE (FLAME-EYE) ABNORMAL) の警報は、バックドラフトが発生する可能性がある状態であることを明確にする目的で、補助ボイラ制御盤の画面上での FURNACE (FLAME-EYE) ABNORMAL 警報の表示を分かり

やすく、明確に表示した。

- ④ 危急停止してバーナの燃焼が停止した際、未燃のF Oが炉内に残って不完全燃焼を生じ、一酸化炭素が発生することを防止する目的で、危急停止時にF Dファンからの二次空気ダンパが開状態を保つようにし、常時炉内を換気するようにした。
- ⑤ 危急停止時にリセットした際、F Dファンが自動的に起動しないように、操作モードを停止にしなければリセットができないようにした。
- ⑥ バーナユニットドアのロック機構（固定金具）を強固なものに変更した。
- ⑦ 炉内異常警報が発生した際の対応について、注意喚起の銘板を掲示した。
- ⑧ 燃焼装置の前面に、「立ち入り制限区域」を設定して表示した。

5.1.2 B社により講じられた措置

B社は、同種事故の再発防止として、次の対策を開発して提案した。

(1) バーナユニットドアの固定金具の強固化

炉内で大規模な爆発が発生したとしてもバーナユニットドアが開放する可能性を低くする目的で、ドアの固定金具を強固なものに変更するよう開発して提案した。

(2) 異常発生時のインターロックの強化

① 危急停止時のリセット操作法の変更

危急停止が発生した後のリセット操作を、リセットが繰り返されることを抑制し、意図しない機器の動作を防止する目的で、補助ボイラ制御盤上の操作スイッチが「STOP」位置でないと行えないようにした。

② 連続して危急停止した際のインターロック

一定時間内に、危急停止が複数回、断続的に発生した場合、異常事態と判断し、ロータリーカップバーナの制御にインターロックをかけ、適切に対処するよう警告を表示することとした。

(3) バックドラフトの防止

ロータリーカップバーナが停止中に、炉内に残った未燃のF Oが燃焼し、フレームアイの検出範囲外で警報を発しない状況で燃焼し続けた場合、炉内が一酸化炭素で満たされ、空気が流入した際にバックドラフトを引き起こす可能性がある。これを防止する目的で、次の対策を開発して提案した。

① 補助ボイラ制御盤の画面表示上の警報の表記の強化

炉内異常による警報が発生した際、画面上の表示を分かり易く、注意喚起するよう強調した。

② 危急停止時のF Dファンからの二次空気ダンパを自動で開状態とする

危急停止が発生した際、FDファンからの二次空気ダンパを自動で開き、自然換気により炉内に一酸化炭素が充満しないようにした。

(4) FOの圧力及び量の変動による燃焼不良の防止

FOの圧力及び量の極端な変化によって空気とFOとのバランスが乱れ、燃焼不良となった場合、いち早く機械側で判断し、炉内への漏油等事故につながる事態を防止する目的で、次の対策を開発して提案した。

① FO量の監視

運転負荷ごとに設定した目標値と流量計の数値の差を検知し、流量が変動した際に警報を発することで燃焼が不良となったまま運転することを防止する。

② FO圧の監視

FOの圧力が上昇した際及び低下した際に警報を発するようにし、適正な油圧に管理し、油量の変動を防止する。

③ FOの圧力低下警報設定値の変更

FOの圧力低下警報の設定圧力を従来の設定値より引き上げ、油圧が低下した際にいち早く検知することができるようにした。

(5) MGOのパラフィンワックス化の防止

MGOの温度を管理し、パラフィンワックスの析出によるこし器の目詰まりを監視し、機器の異常を未然に防ぐことを目的に、次の対策を開発して提案した。

① MGOの温度管理

配管中に温度計を設置し、MGOの高温及び低温の警報値を設定して温度管理を行う。

② こし器の目詰まりの検知

こし器の上流及び下流側の圧力を検出し、圧力差が大きくなった場合にこし器が目詰まりしたと判断して警報を発する。

③ MGO Warmerの設置

MGOのワックス化を防止する目的で、油温が20℃以下にならないよう、こし器を25～50℃の間で加温制御する。

(6) 発煙の監視

排煙濃度計などによって白煙及び黒煙の発生を検知することで、空気量とFO量のバランスが崩れることを防止する。

5.2 今後必要とされる事故防止策

本事故と同種の爆発事故を防止するため、船舶所有者及び船舶管理会社は、冬期に

欧州域及び北米域等に入域するMGOを使用する船舶及び船舶の乗組員に対し、次の措置を講じる必要があると考えられる。

- (1) 冬期において、目詰まり点を下げるワックス防止剤を保有し、MGOの曇り点、目詰まり点及び流動点等の分析を行った上で、必要に応じてワックス防止剤を使用するか、又は分析を行わない場合には補油ごとにワックス防止剤を使用すること。
- (2) MGOのパラフィンワックス析出に関する危険性について乗組員に対して教育を行い、会社の指示に従ってワックス防止剤を使用するよう周知すること。
- (3) 補助ボイラにおいて、可燃性ガス又は不完全燃焼による一酸化炭素ガス及び火炎が炉内に存在し、換気されていない状況下、二次空気を炉内に供給すると爆発を引き起こす危険性があり、二次空気ダンパを開放した状態にすることも有効であることについて周知すること。

付図1 事故発生場所概略図



付図2 一般配置図

