

船舶事故調査報告書

船種船名 ケミカルタンカー GOLDEN SUNNY HANA
IMO番号 9808857
総トン数 2,990トン

事故種類 爆発（貨物油タンク）
発生日時 平成30年4月8日 10時05分ごろ
発生場所 大分県国東市国東港南東方沖
国東港南防波堤灯台から真方位111° 5.0海里付近
（概位 北緯33° 32.2′ 東経131° 50.0′）

平成31年3月6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>

ケミカルタンカー^{ゴールデンサニーハナ}GOLDEN SUNNY HANAは、船長ほか14人が乗り組み、貨物油タンクの洗浄作業を行いながら、大分県国東港南東方沖を南東進中、平成30年4月8日10時05分ごろ貨物油タンクで爆発が発生した。

GOLDEN SUNNY HANAは、甲板員2人が負傷し、貨物油タンクの破口等を生じた。

<原因>

本事故は、GOLDEN SUNNY HANAが、大分県国東港南東方沖において貨物油タンクの洗浄作業中、2番左舷側貨物油タンク及び2番右舷側貨物油タンク底部にたまった液体を貨物油タンクに設置されたポンプでくみ上げてバタワース洗浄機で噴射すること

を繰り返す作業を行う際、気化したパイロリシスガソリンと空気との可燃性混合気体が爆発範囲で存在していたことに気付かず、2番左舷側貨物油タンクに蒸気を注入したため、2番左舷側貨物油タンクで爆発が発生したものと考えられる。

2番左舷側貨物油タンクに気化したパイロリシスガソリンと空気との可燃性混合気体が爆発範囲で存在していたことに気付かなかったのは、貨物油タンクの洗浄作業前に2番左舷側貨物油タンク内のガス濃度の測定が行われなかったことによるものと考えられる。

可燃性混合気体が爆発範囲で存在したのは、揚げ荷役後のガス濃度測定で爆発範囲であったものの換気等の措置を行わず、その後、2番左舷側貨物油タンク及び2番右舷側貨物油タンクにパイロリシスガソリンがそれぞれ約30ℓ残る状況下、カーゴライン及び貨物油タンク底部のフラッシングが行われ、気化したパイロリシスガソリンが貨物油タンク外に排出されずにガス濃度が時間の経過に伴い更に上昇し、空気と混合したことによる可能性があると考えられる。

2番左舷側貨物油タンク内に蒸気が注入されたのは、貨物油タンク底部にたまった液体を貨物油タンクに設置されたポンプでくみ上げてバタワース洗浄機で噴射することを繰り返す作業で使用する海水の温度を上げようとしたことによるものと考えられる。

2番左舷側貨物油タンクで爆発が発生したのは、2番左舷側貨物油タンクに可燃性混合気体が爆発範囲で存在している状況下、2番左舷側貨物油タンクに帯電した蒸気が注入されて放電し、火花を生じて可燃性混合気体に着火した可能性があると考えられる。

<勧告等>

安全勧告

本事故は、GOLDEN SUNNY HANA が、大分県国東港南東方沖において貨物油タンクの洗浄作業中、2番左舷側貨物油タンク及び2番右舷側貨物油タンクの循環作業を行った際、2番左舷側貨物油タンクで爆発が発生したものと考えられる。

2番左舷側貨物油タンクで爆発が発生したのは、貨物油タンクに気化したパイロリシスガソリンと空気との可燃性混合気体が爆発範囲で存在し、ガス濃度の測定及び通風装置による換気が行われない状況下、2番左舷側貨物油タンクに帯電した蒸気が注入されて放電し、火花を生じて可燃性混合気体に着火した可能性があると考えられる。

このことから、運輸安全委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、同種事故の再発防止に資するため、GOLDEN SUNNY HANA の船舶所有者である HNCC CO., LTD に対し、以下のとおり勧告する。

HNCC CO., LTD は、貨物油タンクに可燃性混合気体が存在するケミカルタンカーの

乗組員に対して、以下の事項について、確実に実施するよう指導すること。

- (1) カーゴライン及び貨物油タンク底部のフラッシング後は、通風装置による換気を十分に行うこと。
- (2) 洗浄作業前及び洗浄作業中はガス濃度を測定し、爆発範囲にある場合は直ちに作業を中止し、通風装置による換気作業を行うか不活性ガスを入れるなどして安全が確認されてから作業を継続すること。
- (3) 貨物油タンクに存在する静電気の危険性を考慮し、安全が確認できない場合は蒸気を注入しないこと。

1 船舶事故調査の経過

1.1 船舶事故の概要

ケミカルタンカー^{ゴールデンサニーハナ}GOLDEN SUNNY HANAは、船長ほか14人が乗り組み、貨物油タンクの洗浄作業を行いながら、大分県国東港南東方沖を南東進中、平成30年4月8日10時05分ごろ貨物油タンクで爆発が発生した。

GOLDEN SUNNY HANAは、甲板員2人が負傷し、貨物油タンクの破口等を生じた。

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30年4月10日、本事故の調査を担当する主管調査官（門司事務所）ほか1人の地方事故調査官を指名した。

なお、後日、船舶事故調査官ほか1人の船舶事故調査官に交替した。

1.2.2 調査の実施時期

平成30年4月10日、5月31日、7月31日 回答書受領

平成30年4月12日、13日 現場調査、口述聴取及び回答書受領

平成30年4月19日 口述聴取

1.2.3 調査協力等

消防庁消防研究センター主任研究官から、爆発が発生するメカニズムについて助言及び協力を得た。

1.2.4 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。

1.2.5 旗国等への意見照会

GOLDEN SUNNY HANAの旗国及び実質的な利害関係国に対し、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、GOLDEN SUNNY HANA（以下第6章を除き「本船」という。）の船長、航海士（以下「航海士A」という。）、甲板長及び甲板員3人（以

下「甲板員A」、「甲板員B」及び「甲板員C」という。)の口述並びに船舶所有者(HNCC CO., LTD.、以下「A社」という。)の回答書によれば、次のとおりであった。

本船は、船長(大韓民国籍)、航海士A(大韓民国籍)、及び甲板員A(インドネシア共和国籍)ほか12人(大韓民国籍9人、インドネシア共和国籍3人)が乗り組み、大韓民国平沢港^{ピョンテク}で液体貨物のパイロリスガソリン^{*1}(以下第6章を除き「PYガス」という。)約2,000tを1番貨物油タンク、2番左舷側貨物油タンク、2番右舷側貨物油タンク、4番左舷側貨物油タンク、4番右舷側貨物油タンク、5番左舷側貨物油タンク及び5番右舷側貨物油タンク(以下第6章を除き、貨物油タンクについては「貨物油」を省略する。)に積載し、平成30年4月4日23時00分ごろ同国麗水港^{ヨス}に向けて出港した。

本船は、6日12時25分ごろ麗水港に入港し、7日09時10分ごろPYガス全量の揚げ荷役を終え、15時55分ごろ空船状態で千葉県千葉港に向けて出港した。

本船は、カーゴライン及びタンク底部のフラッシング^{*2}を行った後、通風装置による貨物油タンクの換気を行わない状況下、千葉港での積み荷役に備えて「貨物油タンクの洗浄作業」(以下「本件洗浄作業」という。)を行うこととし、18時00分ごろから2番左舷側タンク(以下第6章を除き「本件タンク」という。)及び2番右舷側タンクに設置されているバタワース洗浄機^{*3}(以下「本件洗浄機」という。)を使用した常温の海水による洗浄を行い、続いて約75℃に加熱した海水による本件洗浄作業を行って8日02時25分ごろハッチカバーを閉鎖して作業を中断した。

本船は、08時00分ごろ本件洗浄機を使用した本件洗浄作業を再開することとし、前部甲板に航海士A、甲板長、甲板員A、甲板員B及び甲板員Cをそれぞれ配置し、準備作業として本件洗浄作業に使用する海水を約60℃まで加熱し、本件タンク及び2番右舷側タンクに加熱した海水をそれぞれ約2.6tずつ並びに洗浄剤をそれぞれ約180ℓずつ投入した。

本船は、本件タンク及び2番右舷側タンクに、加熱した海水及び洗浄剤をタンク投入し、「タンク底部にたまった液体をタンクに設置されたポンプでくみ上げて本件洗浄機で噴射することを繰り返す作業」(以下「本件循環作業」という。)を開始する目的で、10時00分ごろ航海士Aが同ポンプを始動した。

本船は、航海士Aが、海水の温度を上げる目的で本件タンク及び2番右舷側タンクに蒸気を入れることとし、10時05分ごろ甲板員Cに2番右舷側タンクの、甲板員

*1 「パイロリスガソリン」とは、原油の高沸点留分の熱分解や接触分解により得られる低沸点のガソリンで、ベンゼン、トルエン、キシレンの抽出原料となり、熱分解ガソリンともいう。

*2 「フラッシング」とは、配管やタンク底部の汚れを液体等で除去することをいう。

*3 「バタワース洗浄機」とは、貨物タンク内に装備され、タンククリーニング作業を行う際、回転しながら高圧の水や油をタンク内にまんべんなく噴射して内壁を洗浄する装置をいう。

Aに本件タンクの蒸気弁をそれぞれ開放するよう指示し、甲板員A及び甲板員Cが蒸気弁を開放したところ、本件タンクで爆発が発生した。

甲板長及び甲板員Cは、爆風で負傷した甲板員A及び甲板員Bを認めて救助した。

船長は、船室にいたところ船体の揺れに気付いて昇橋し、貨物油タンクの爆発を認めたので、別の航海士に指示して主機を停止し、10時15分ごろ海上保安庁に本事故の発生を通報した。

甲板員A及び甲板員Bは、来援した巡視船に救助され、救急車で病院に搬送された。

本船は、その後、自力で航行し、14時55分ごろ大分県大分港外の検疫錨地に錨泊した。

本事故の発生日時は、平成30年4月8日10時05分ごろであり、発生場所は、国東港南防波堤灯台から111°（真方位、以下同じ。）5.0海里（M）付近であった。

（付図1 航行経路図 参照）

2.2 人の負傷に関する情報

(1) 甲板員A

診断書によれば、頭部、顔面、右手関節部、左殿部、左大腿^{たい}、右大腿、左足関節部及び右下腿にそれぞれ2度の熱傷を負った。

(2) 甲板員B

甲板員Bの口述によれば、顔面に軽度の熱傷を負った。

2.3 船舶等の損傷に関する情報

現場調査、航海士Aの口述並びにA社及び船級協会（KOREAN REGISTER OF SHIPPING）の回答書によれば、次のとおりであった。

(1) トランク甲板に縦及び横方向に亀裂を伴う曲損、1番タンク、本件タンク及び2番右舷側タンク付近に亀裂及び破口を生じた。

(2) 本件タンクの前部横隔壁に亀裂及び曲損、本件タンクと2番右舷側タンクとの間の縦隔壁上部及び下部に亀裂並びに右舷方向に約100mmの曲損、前部横隔壁下部の床に破口及び曲損を生じ、ハッチカバーが海中に落下した。

(3) 1番タンク及び2番右舷側タンクのハッチカバーが海中に落下した。

(4) 3番左舷側タンク及び3番右舷側タンクの前部横隔壁に亀裂及び曲損、前部横隔壁下部の床に破口及び曲損を生じた。

（図1 参照）

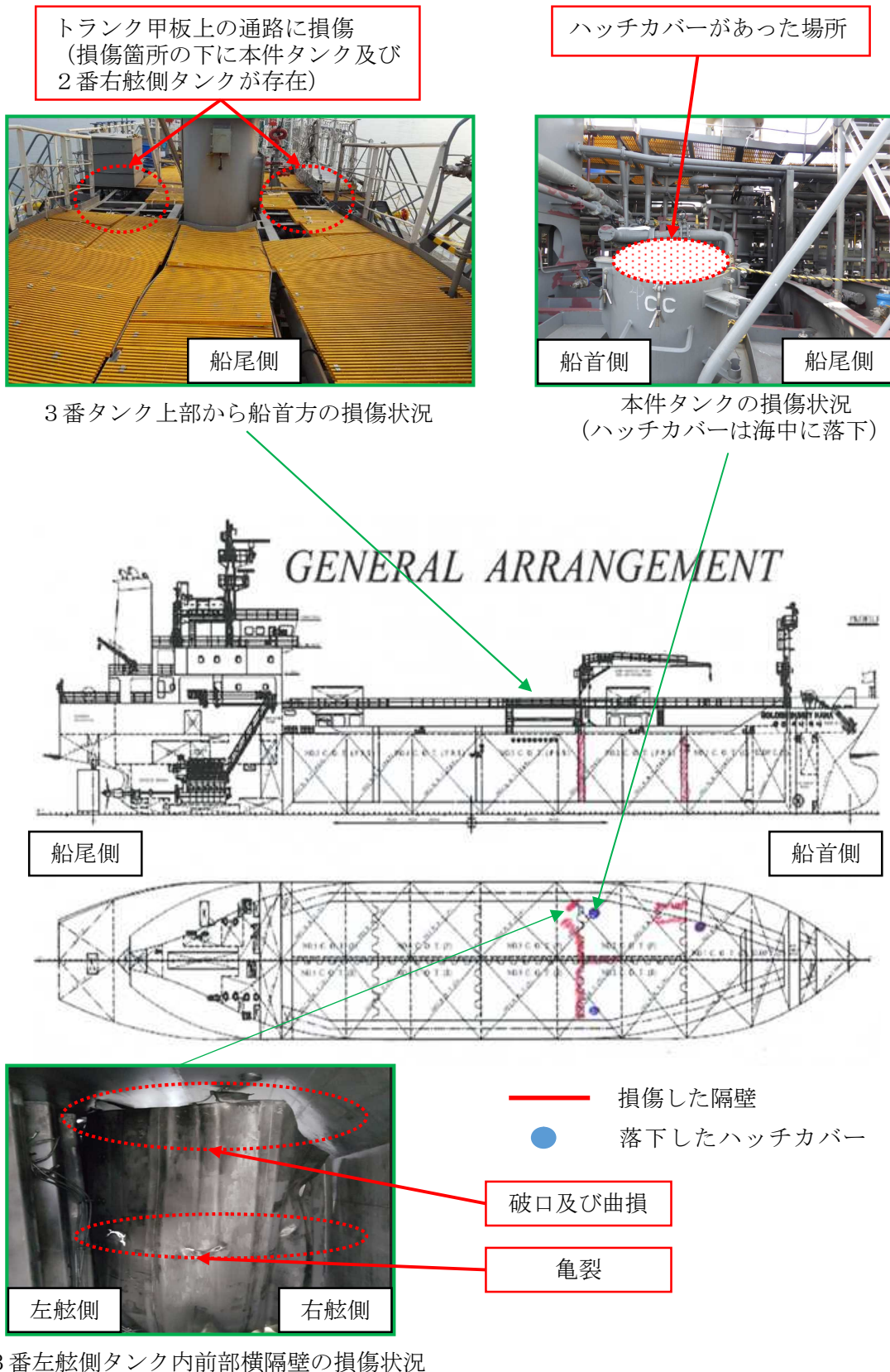


図1 損傷状況図

- (5) 1番左舷側バラストタンク、2番左舷側バラストタンク、2番右舷側バラストタンク、3番左舷側バラストタンク及び3番右舷側バラストタンクは、上部に破口、亀裂及び凹損を生じ、バラスト水が1番タンク、本件タンク、2番右舷側タンク、3番左舷側タンク及び3番右舷側タンクに流入した。

2.4 乗組員等に関する情報

(1) 性別、年齢、海技免状

船長 男性 66歳 国籍 大韓民国

一級航海士（商船限定）免状（大韓民国発給）

交付年月日 2014年5月8日

（2019年6月23日まで有効）

航海士A 男性 51歳 国籍 大韓民国

二級航海士（商船限定）免状（大韓民国発給）

交付年月日 2017年12月18日

（2023年1月7日まで有効）

甲板長 男性 60歳 国籍 大韓民国

甲板員A 男性 28歳 国籍 インドネシア共和国

甲板員B 男性 44歳 国籍 インドネシア共和国

甲板員C 男性 32歳 国籍 インドネシア共和国

(2) 主な乗船履歴等

船長、航海士A、甲板長、甲板員A、甲板員B及び甲板員Cの口述によれば、次のとおりであった。

① 船長

1976年ごろに船員となり、本船には2017年12月17日に乗船して船長職をとり、本事故当時、健康状態は良好であった。

② 航海士A

1986年ごろに船員となり、本船には二等航海士として2017年12月に乗船し、2018年2月に一等航海士に昇進し、本事故当時、健康状態は良好であった。

③ 甲板長

約20年の海上経験があり、本事故当時、健康状態は良好であった。

④ 甲板員A

約7年の海上経験があり、うち約2年はケミカルタンカーに乗船した経験があった。本船には2018年1月10日に乗船し、本事故当時、健康状態は良好であった。

⑤ 甲板員B

本船に2018年3月22日に乗船し、本事故当時、健康状態は良好であった。

⑥ 甲板員C

本船に2018年1月10日に乗船し、本事故当時、健康状態は良好であった。

2.5 船舶等に関する情報

2.5.1 船舶の主要目

IMO 番号	9808857
船 籍 港	大韓民国 ^{チェジュ} 濟州
船 舶 所 有 者	A社 (大韓民国)
船 級	KOREAN REGISTER OF SHIPPING
総 ト ン 数	2,990トン
L × B × D	91.40m × 14.40m × 7.80m
船 質	鋼
機 関	ディーゼル機関1基
出 力	2,427kW
進 水 年 月 日	2017年7月28日

(写真1 参照)



写真1 本船

2.5.2 船体に関する情報

本船は、船首尾楼付一層甲板型の油タンカー兼ケミカルタンカーであり、船首側

から順に、いずれも前部横隔壁がコルゲート型の1番タンク、両舷対称に2番タンク、3番タンク、4番タンク及び5番タンクを配し、各タンクのトランク甲板上にハッチを備えていた。

A社の回答書によれば、各タンクの容量は、表1のとおりであり、内壁にはステンレス鋼が使用され、ペイント等を使用したコーティングは行われておらず、またカーゴポンプを使用した揚げ荷役後も約30ℓの貨物油がタンク内に残る状況であった。

本事故当時、船内設備で故障を生じたり修理を行ったりした箇所はなかった。

表1 各タンク容量

貨物タンク名	右舷側の容量 (m ³)	左舷側の容量 (m ³)
1番タンク	452.380	
2番タンク	471.870	471.390
3番タンク	491.060	490.040
4番タンク	490.180	491.770
5番タンク	397.120	396.880
合計	4152.690	

2.5.3 本件洗浄作業に関する情報

航海士Aの口述によれば、次のとおりであった。

- (1) 本船は、タンク洗浄作業に関する市販のマニュアル「DR. VERWEY'S TANK CLEANING GUID NINTH EDITION」を参考に洗浄作業を行っており、内容は次のとおりであった。
 - ① 1時間、50℃～55℃の海水を使用してバタワース洗浄
 - ② 1.5時間、70℃～80℃の海水を使用してバタワース洗浄
 - ③ 1時間、50℃～70℃の海水又は清水及び洗浄剤を使用して循環作業
- (2) 航海士Aは、(1)のマニュアルに基づいて作業を行っており、海水の温度については記載の範囲内で適宜調整していた。

2.5.4 循環作業に関する情報

航海士A及び甲板員Aの口述並びにA社の回答書によれば、次のとおりであった。

- (1) 本件洗浄機

本件洗浄機は、本件タンク及び2番右舷側タンクのトランク甲板上にそれぞれ設置されていた。

(2) 海水

循環作業で使用する海水は、バウスラスト室に設置されたポンプで同室の海水取入口からくみ上げられ、ヒータ室で約60℃まで加熱されて本件タンク及び2番右舷側タンクに投入され、本事故当時の投入量は本件タンク及び2番右舷側タンクにそれぞれ約2.6tであった。

(3) 洗浄剤

洗浄剤は、不燃性でタンク洗浄の目的で使用されており、本事故当時、プラスチック製のドラム缶に入った状態で甲板上に保管され、同ドラム缶から移動式エアポンプで直接本件タンク及び2番右舷側タンクに投入されていた。

(図2参照)

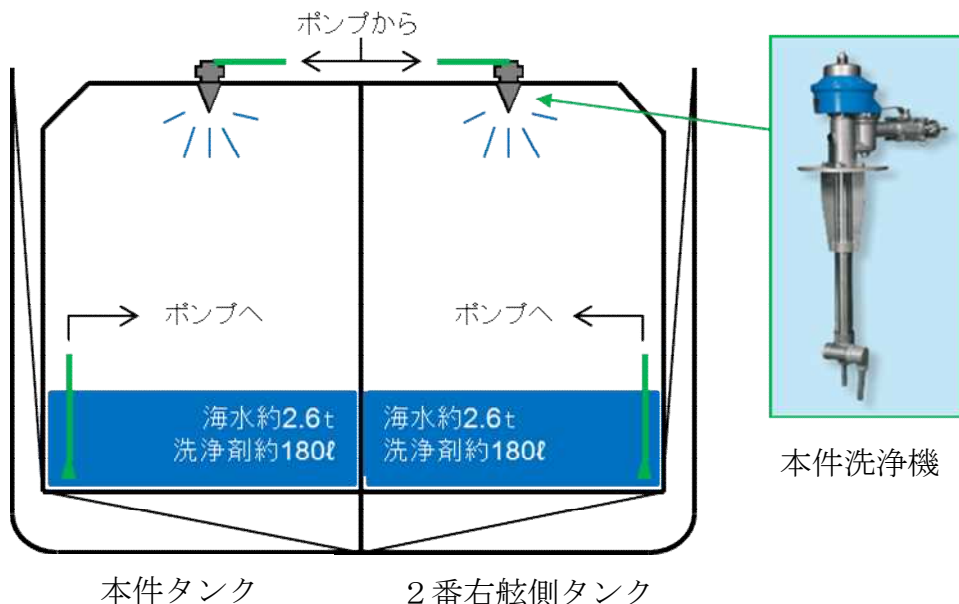


図2 循環作業状況図

2.5.5 PYガスに関する情報

航海士Aの口述及びA社の回答書によれば、次のとおりであった。

- (1) PYガスはトルエン、ベンゼン及びキシレンを含む熱分解ガソリンで、安全データシートには引火点が11℃以上であり、爆発範囲^{*4}が1.3～7.5%の間で、液体、気体いずれの状態でも極めて燃えやすい。安全データシートに記載されているPYガスの他の性状を下表に示す。

^{*4} 「爆発範囲」とは、タンク内で滞留したガスの空気に対する一定の混合範囲で、着火源（エネルギー）が存在すれば爆発が生じる範囲をいう。

項目	単位	値
自発火温度	°C	348
密度（15°C）（液体）	kg/m ³	840～870
気化時比重（空気比）※		3.9

※PYガスが気化した時の質量を、同じ容量の空気の質量を1としたもので空気よりも3.9倍重いことを示す。

- (2) 本件タンクのガス濃度は、麗水港での揚げ荷役後に測定され、結果は1.4～1.7%と爆発範囲であった。
- (3) PYガスは、液体の温度が11°Cを超えると、素早く蒸発して爆発的に燃焼する可能性があり、火災の危険性がより高まる。

2.5.6 空気に関する情報

本件タンク及び2番右舷側タンクは、8日02時25分ごろ本件洗浄作業の中断によりハッチカバーが閉鎖されたが、08時00分ごろ準備作業を開始してハッチカバーが開放され、空気が自然に供給される状況となっていた。

2.5.7 タンクの帯電状況

消防庁消防研究センター主任研究官の助言及び文献^{*5}並びに航海士Aの口述によれば、次のとおりであった。

- (1) タンク内で散水したり、液体の表面が波打ったりすると帯電する可能性がある。
- (2) タンク内に充満した洗浄水飛まつによるミスト帯電と、その中を横切って飛ぶ際に帯電した洗浄水の水塊が、タンク内部材の突起物との間に放電火花を発生させる場合がある。
- (3) タンク洗浄の際、ノズルから液体を噴射すると静電気が発生するが、発生した帯電ミストはタンク空間内に大規模に漂うことが実船実験によって確認されており、循環水洗浄の場合、19°C～55°Cと温度とともに増大顕著となる。

また、清浄な海水と油分を含んで汚れた海水とでは、後者の方が電界強度が大きくなり、洗剤を混入すれば電界強度は上昇する。

- (4) 本事故当時、本件タンク及び2番右舷側タンクでは本件洗浄機を使用して約60°Cに加熱した海水及び洗剤を噴射する本件洗浄作業が行われていた。

^{*5} 「タンカー安全担当者教本」（船員災害防止協会編、株式会社成山堂書店、昭和60年発行）

2.5.8 蒸気注入に関する情報

航海士Aの口述及びA社の回答書並びに文献^{*6}によれば、次のとおりであった。

- (1) 航海士Aは、海水の温度を上げる目的で、10時05分ごろ、甲板員Cに2番右舷側タンクの蒸気弁を、甲板員Aに本件タンクの蒸気弁をそれぞれ開放するよう指示した。
- (2) 蒸気弁の開放から本事故発生までの時間は約3～5秒であった。
- (3) 本件タンク及び2番右舷側タンクに注入された蒸気の状態は、温度約120℃、圧力約0.7MPaであった。
- (4) 蒸気をタンク内に噴出させると、著しく帯電した蒸気が空中に放出され、タンク内の空間に浮遊して空間電荷となる。この空間電荷の密度が大きいと、雷現象的に電荷が直接タンク内の突起物に向かって放電を生じる危険性があり、タンク内の空間電荷の危険性を防ぐには、蒸気の圧力を約0.5MPa以下に減圧する必要がある。

2.5.9 帯電による着火及び爆発に関する情報

船長、航海士Aの口述及びA社の回答書並びに文献^{*7}によれば、次のとおりであった。

- (1) 船長及び航海士Aは、本事故時、1回だけ船体の揺れを感じ、左舷船首方のタンクから煙が出るのを目撃したが、火炎は目撃しなかった。
- (2) 本件タンクは、本事故後の調査でハッチ内に黒色の煤が付着していることが確認された。
- (3) 本事故当時、甲板上に火気はなく、循環作業に当たっていた乗組員は防爆型の機材を使用し、また用具を落下させないよう注意していた。
- (4) 帯電による爆発が生じるには、石油ガスと空気との混合比が爆発の上下限界内にあり、そこに放電エネルギーが加わる必要がある。
- (5) 放電は、電荷が蓄積して電界強度が大きくなり、電極に相当するもの間に充分高い電位差がかけられると発生する。

2.5.10 A社のタンク洗浄手順に関する注意点

A社の回答書によれば、次のとおりであった。

- (1) タンク洗浄方法の選択は、除去すべき残留物の形態に左右され、洗浄手順は貨物の物理的及び科学的特性を考慮して決めなければならない。

^{*6} 「内航タンカー安全指針（改訂版）」（全国内航タンカー海運組合、（社）内航海運安全油濁公害防止協会編、株式会社成山堂書店、昭和60年発行）

^{*7} 「タンカーの火災とその対策」（今井金矢著、株式会社成山堂書店、昭和41年発行）

- (2) 洗浄作業を行う場合、作業前にガスフリーに関する注意事項が遵守されているか確認しなければならない。
- (3) 積載した貨物、タンク内の残留物、洗浄作業に要する時間、加熱の可能性、使用可能な洗浄機の数、ハッチの場所及び数、ポンプの容量及び作業員の人数等を考慮して洗浄作業の手順を決定し、船長の承認を得なければならない。
- (4) 洗浄機又は蒸気による洗浄作業を計画した場合、作業開始前にタンク内の可燃性ガスの濃度を測定しなければならない。
- (5) 液体貨物の残油によるガスの発生を防ぐため、ガスフリーを行うタンク底部及び配管を海水でフラッシングすること。このときタンク底部が全てつかるといふ海水を入れ、カーゴポンプを利用してスロップタンクに排出する方法で実施すること。洗浄機のように静電気による爆発を誘発する危険性がある配管から海水を投入することは厳に禁止する。

2.5.11 A社が行った事故原因調査に関する情報

A社の回答書によれば、次のとおりであった。

- (1) 本船は、本件洗浄作業前に貨物油タンク内のガス濃度を測定していなかった。
- (2) 本船は、通風装置によるタンクの換気が行われておらず、本事故当時、タンク内には気化したP Yガスが存在する状況であった。
- (3) 本件タンク及び2番右舷側タンクの蒸気弁は、爆発直前に開放された。
- (4) 本船は、トランシーバ等の用具について防爆型の製品を使用していた。

2.5.12 A社の貨物油タンクの洗浄に関する情報

A社の Safety Management System^{*8}の洗浄作業に関する部分によれば、次のとおりであった。

- (1) 本船は、本件洗浄作業前に貨物油タンク内のガス濃度を測定し、爆発下限濃度の10%を越える場合は、値が下がるまで換気を行うこととなっていた。
- (2) 本船は、フラッシングの後、通風装置によるタンクの換気を行うこととなっていた。
- (3) Safety Management System の洗浄作業に関する部分は、蒸気を注入する

^{*8} 「Safety Management System」とは、国際安全管理規則 (International Management Code for The Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention) に則った安全管理システムをいう。

ことに関する注意等の事項は記載されていなかった。

2.6 気象及び海象に関する情報

2.6.1 気象観測値

事故現場の南西方約6.0Mに位置する武蔵地域気象観測所における観測値は、次のとおりであった。

10時00分 風向 西北西、風速 5.5m/s、気温 11.2℃

2.6.2 乗組員等の観測

船長の口述によれば、本事故当時、天気は晴れ、海上は平穏、視界は良好であり、気温は13℃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及び2.5.5から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 本船は、4月7日09時10分ごろ麗水港でPYガス全量の揚げ荷役を終え、15時55分ごろ麗水港を出港した。
- (2) 本件タンクのガス濃度は、麗水港での揚げ荷役後に測定され、結果は1.4～1.7%であった。
- (3) 本船は、千葉港での積み荷役に備え、18時00分ごろから本件タンク及び2番右舷側タンクについて本件洗浄機を使用した常温の海水による洗浄作業を行った後、続いて約75℃に加熱した海水を用いた本件洗浄作業を行い、8日02時25分ごろハッチカバーを閉鎖して本件洗浄作業を中断した。
- (4) 本船は、08時00分ごろ本件洗浄作業を再開することとし、航海士A、甲板長、甲板員A、甲板員B及び甲板員Cが所定の配置につき、本件洗浄作業に使用する海水を約60℃まで加熱し、本件タンク及び2番右舷側タンクにそれぞれ約2.6tずつ並びに洗浄剤をそれぞれ約180ℓずつ投入した。
- (5) 航海士Aは、本件タンク及び2番右舷側タンクの本件循環作業を開始する目的で、10時00ごろタンクに設置されたポンプを始動した。
- (6) 本船は、航海士Aが、海水の温度を上げる目的で、10時05分ごろ、甲板員Cに2番右舷側タンクの蒸気弁を、甲板員Aに本件タンクの蒸気弁を

それぞれ開放するよう指示し、甲板員A及び甲板員Cが蒸気弁を開放したところ、本件タンクで爆発が発生した。

3.1.2 事故発生日時及び場所

2.1から、本事故の発生日時は、平成30年4月8日10時05分ごろであり、発生場所は、国東港南防波堤灯台から111°5.0M付近であったものと考えられる。

3.1.3 負傷者等の状況

2.1及び2.2から、甲板員Aは、爆風を浴びたことから、頭部、顔面、右手関節部、左殿部、左大腿、右大腿、左足関節部及び右下腿にそれぞれ2度の熱傷を負い、甲板員Bは、爆風を浴びたことから、顔面に軽度の熱傷を負ったものと考えられる。

3.1.4 損傷の状況

2.3から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) トランク甲板に縦及び横方向に亀裂を伴う曲損、1番タンク、本件タンク及び2番右舷側タンク付近に亀裂及び破口を生じた。
- (2) 本件タンクの前部横隔壁に亀裂及び曲損、本件タンクと2番右舷側タンクとの間の縦隔壁上部及び下部に亀裂並びに右舷方向に約100mmの曲損、前部横隔壁下部の床に破口及び曲損を生じ、ハッチカバーが海中に落下した。
- (3) 1番タンク及び2番右舷側タンクのハッチカバーが海中に落下した。
- (4) 3番左舷側タンク及び3番右舷側タンクの前部横隔壁に亀裂及び曲損、前部横隔壁下部の床に破口及び曲損を生じた。
- (5) 1番左舷側バラストタンク、2番左舷側バラストタンク、2番右舷側バラストタンク、3番左舷側バラストタンク及び3番右舷側バラストタンクは、上部に破口、亀裂及び凹損を生じ、バラスト水が1番タンク、本件タンク、2番右舷側タンク、3番左舷側タンク及び3番右舷側タンクに流入した。

3.2 事故要因の解析

3.2.1 乗組員等の状況

2.4から、次のとおりであった。

(1) 船長

船長は、適法で有効な海技免状を有していた。

船長は、1976年ごろに船員となり、本船には2017年12月17日

に乗船して船長職をとり、本事故当時、健康状態は良好であったものと考えられる。

(2) 航海士A

航海士Aは、適法で有効な海技免状を有していた。

航海士Aは、1986年ごろに船員となり、本船には二等航海士として2017年12月に乗船し、2018年2月に一等航海士に昇進し、本事故当時、健康状態は良好であったものと考えられる。

(3) 甲板長

甲板長は、約20年の海上経験があり、本事故当時、健康状態は良好であったものと考えられる。

(4) 甲板員A

甲板員Aは、約7年の海上経験があり、うち約2年はケミカルタンカーに乗船しており、本船には2018年1月10日に乗船し、本事故当時、健康状態は良好であったものと考えられる。

(5) 甲板員B

甲板員Bは、本船に2018年3月22日に乗船し、本事故当時、健康状態は良好であったものと考えられる。

(6) 甲板員C

甲板員Cは、本船に2018年1月10日に乗船し、本事故当時、健康状態は良好であったものと考えられる。

3.2.2 気象及び海象の状況

2.6から、本事故当時、天気は晴れであり、風力4の西北西風が吹き、気温が約11.2℃で、海上は平穏であったものと考えられる。

3.2.3 本事故当時の本件洗浄作業に関する解析

2.1及び2.5.2～2.5.11から、次のとおりであった。

(1) 本船は、麗水港で液体のPYガス全量の揚げ荷役を終え、全てのタンクが空倉状態であったものの、本件タンク及び2番右舷側タンクに液体のPYガスがそれぞれ約30ℓ残っており、気化していたPYガスのガス濃度は1.4～約1.7%であり、すでに爆発範囲であったものと考えられる。

(2) 本船は、カーゴライン及びタンク底部のフラッシングを行ったが、フラッシング内容が不明瞭なことから、約30ℓの液体のPYガスがタンクに存在し、また通風装置によるタンクの換気を行わなかったことから、空気よりも重い気化していたPYガスがタンク外に排出されず、タンクに存在したもの

と考えられる。

- (3) 本船は、気化したP Yガスとタンク内の空気及び本事故発生の約2時間前に開放されたハッチから自然に供給された空気とが混合したことから、可燃性混合気体が本件タンク及び2番右舷側タンクに存在した可能性があると考えられる。
- (4) 本船は、本件タンク及び2番右舷側タンクの本件洗浄作業を行う際、ガス濃度の測定を行われなかったことから、可燃性混合気体が爆発範囲にあることに気付かなかったものと考えられる。
- (5) 本船は、本件タンク及び2番右舷側タンクの本件洗浄作業を行う目的で、両タンクに加熱した約60℃の海水約2.6 t及び洗浄剤約180ℓをそれぞれ投入したものと考えられる。
- (6) 本船は、タンクに残っていた液体P Yガス30ℓが本件洗浄作業により全て気化したものと考えられ、その濃度は次のとおりであり、本件循環作業時は揚げ荷役後に測定した数値より高い数値となるので爆発範囲の下限値に近い値から上昇したものと考えられる。

$V_T = 471.390 \text{ m}^3$: 本件タンク容量 (左舷側2番)

$V_{T30} = 471.360 \text{ m}^3$: P Yガス30ℓを考慮した本件タンク容量

$V_{Tsw} = 468.673 \text{ m}^3$: 密度 1.025 g/cm^3 とした海水約2.6 t と、
洗浄剤約180ℓを考慮した本件タンク容量

$V_{T30} = V_T - 30 \times 10^{-3} = 471.360$

$V_{Tsw} = V_T - (180 + 2600 / 1.025) \times 10^{-3} = 468.673$

揚げ荷役後に計測した本件タンクの気化したP Yガス濃度C bは

$C_b = 1.4 \sim 1.7\%$

気化したP Yガス容積を V_{Gb} (m^3)、タンク内の空気容量を V_{ab} (m^3) とすると

$$C_b = \frac{V_{Gb}}{V_{Gb} + V_{ab}}, \quad V_{Gb} + V_{ab} = V_{T30} \quad \text{なので}$$

$V_{Gb} = C_b \times V_{T30} = 6.599 \sim 8.013 \text{ m}^3$

密度等を下記とすると

$\rho_{air15} = 1220.4 \text{ g/m}^3$: 15℃の空気密度 (空気を0℃の酸素21%窒素79%の混合気体と仮定し15℃換算して算出)

$\rho_{pyg/air} = 3.9$: 気化したP Yガスの空気比質量

$\rho_{pyg} = 840 \text{ kg/m}^3$: 液体のP Yガスの密度 (@ 15℃)

P Yガスの液体が30ℓが気体になった時の容量 V_{G30g} (m^3) は

(温度による密度変化は考慮していない)

$$\begin{aligned}
 V_{G30g} &= 30\text{l} \times \rho_{\text{pygr}} / (\rho_{\text{pygg/air}} \times \rho_{\text{air}}) \\
 &= 30 \times 10^{-3} \times 840 \times 10^3 / (3.9 \times 1220.4) \\
 &= 25200 / 4759.73 \\
 &= 5.294 \text{ (m}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

PYガスの液体30lが気体になり加わった時の気化したPYガス容量

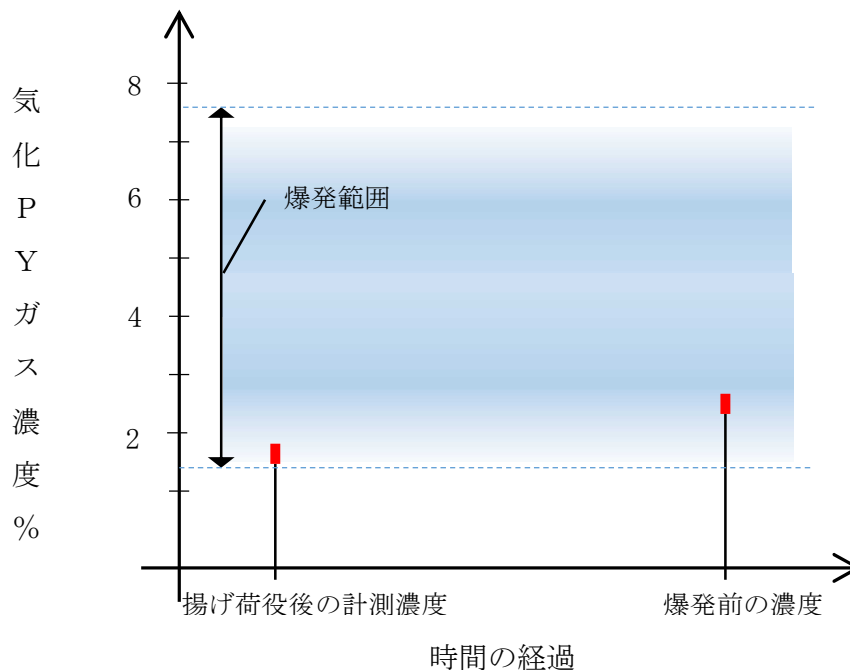
V_{G_a} (m³) は

$$\begin{aligned}
 V_{G_a} &= V_{G_b} + V_{G30g} \\
 &= 11.893 \sim 13.308 \text{ (m}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

気化した30lのPYガスが加わった濃度 C_a (%) は
(増加したPYガスの分は空気が減ったとして計算)

$$\begin{aligned}
 C_a &= C_b / V_{sw} \\
 &= \frac{11.893 \sim 13.308}{468.673} \\
 &= 2.54 \sim 2.84\%
 \end{aligned}$$

	最小値 (%)	最大値 (%)
揚げ荷役後	1.4	1.7
爆発前	2.54	2.84
爆発範囲	1.3	7.5



- (7) 航海士Aは、本件タンク及び2番右舷側タンクの循環作業中、蒸気の注入に関する注意事項を知らず、同作業で使用する海水の温度を上げる目的で蒸気の注入を指示したものと考えられる。
- (8) 蒸気温度（120℃）は、PYガスの自発火温度（348℃）より低いものであったと考えられる。

3.2.4 事故発生に関する解析

2.1、2.5.2～2.5.12及び3.2.3から、次のとおりであった。

- (1) 本船は、通風装置によるタンクの換気を行わなかったことから、本件タンク内に可燃性混合気体が爆発範囲の濃度で存在したものと考えられる。
- (2) 本船は、本件タンク内に温度60℃の加熱した海水が注入されたことから、タンク内に残っていた液体PYガス30ℓが全て気化し、揚げ荷役後より濃度が増して、本件タンク内に爆発範囲の下限からさらに高い濃度で可燃性混合気体が存在したものと考えられる。
- (3) 本件タンクは、温度約120℃、圧力約0.7MPaの蒸気が注入されたことから、著しく帯電した蒸気が空間電荷として存在する状況となり、この電荷が、直接タンク内の突起物に向かって放電して火花が発生した可能性があると考えられる。
- (4) 可燃性混合気体は、タンク内で放電した火花に着火して爆発した可能性があると考えられる。

4 原因

本事故は、本船が、大分県国東港南東方沖においてタンクの洗浄作業中、本件タンク及び2番右舷側タンクの本件循環作業を行う際、気化したPYガスと空気との可燃性混合気体が爆発範囲で存在していたことに気付かず、本件タンクに蒸気が注入されたため、本件タンクで爆発が発生したものと考えられる。

本件タンクに気化したPYガスと空気との可燃性混合気体が爆発範囲で存在していたことに気付かなかったのは、本件洗浄作業前に本件タンク内のガス濃度の測定が行われなかったことによるものと考えられる。

可燃性混合気体が爆発範囲で存在したのは、揚げ荷役後のガス濃度測定で爆発範囲であったものの換気等の措置を行わず、その後、本件タンク及び2番右舷側タンクにPYガスがそれぞれ約30ℓ残る状況下、カーゴライン及びタンク底部のフラッシングが行われ、気化したPYガスがタンク外に排出されずにガス濃度が時間の経過に伴

い更に上昇し、空気と混合したことによる可能性があると考えられる。

本件タンク内に蒸気が注入されたのは、本件循環作業で使用する海水の温度を上げようとしたことによるものと考えられる。

本件タンクで爆発が発生したのは、本件タンクに可燃性混合気体が爆発範囲で存在している状況下、本件タンクに帯電した蒸気が注入されて放電し、火花を生じて可燃性混合気体に着火した可能性があると考えられる。

5 再発防止策

本事故は、本船が、大分県国東港南東方沖においてタンクの洗浄作業中、本件タンク及び2番右舷側タンクの循環作業を行った際、本件タンクで爆発が発生したものと考えられる。

本件タンクで爆発が発生したのは、本件タンクに気化したP Yガスと空気との可燃性混合気体が爆発範囲で存在し、ガス濃度の測定及び通風装置による換気が行われないう状況下、本件タンクに帯電した蒸気が注入されて放電し、火花を生じて可燃性混合気体に着火した可能性があると考えられる。

したがって、同種事故の再発防止を図るため、船舶所有者は、P Yガスを積載する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) カーゴライン及びタンク底部のフラッシング後は、通風装置による換気を十分に行うよう指導すること。
- (2) 洗浄作業前及び洗浄作業中はガス濃度を測定し、爆発範囲にある場合は直ちに作業を中止し、通風装置による換気作業を行うか不活性ガスを入れるなどで安全が確認されてから作業を継続するよう指導すること。
- (3) タンクに存在する静電気の危険性を考慮し、安全が確認できない場合は蒸気を注入しないよう指導すること。

5.1 A社によって講じられた措置

A社は、再発防止として、次の措置を講じた。

- (1) Safety Management System の洗浄作業に関する部分について、次の記載を追加した。

① 洗浄作業の基本原則

引火性、爆発性貨物の揚げ荷役後に洗浄作業を実施する際、その方法と手

順は、I S G O T T^{*9}11.3 の記載に従うこと。

② 蒸気の注入

静電気の危険を考慮し、危険な場合はタンク内に蒸気を注入しないこと。

タンクの洗浄作業を始める際は、下記の事項に従うこと。

- ・全ての貨物油タンク及びバラストタンクのハッチカバーを閉鎖すること。
- ・^{さび}錆又は他の汚染物質が貨物油タンクに入らないよう、洗浄前にタンク及び洗浄ラインを洗浄すること。
- ・可燃性製品を積載したタンクは、洗浄前にイナーティング^{*10}すること。
- ・洗浄前及び洗浄の間、タンク内の酸素濃度を確認すること。
- ・洗浄時間を延長する場合は追加の確認を行い、その間は洗浄を中止すること。
- ・全ての測定結果は詳細に記録すること。
- ・イナーティングしていない状態で洗浄を必要とする場合、T S G^{*11}第7章及びI S G O T T第9章に列記された全ての予防措置を順守すること。
- ・同予防措置にはタンク内にガスがないことが確認されない限り、タンク洗浄剤の使用、蒸気の注入、60℃を超過する水及び再循環した洗浄水の使用を禁止する手順が含まれること。
- ・イナーティングしたタンクの洗浄前に可燃性物質の濃度を測定すること。
- ・一般的にガス濃度が20% L F L^{*12}を超過した場合は洗浄を開始しないこと。
- ・洗浄中は定期的なガス測定を実施すること。
- ・ガス濃度が50% L F Lを超過する場合は洗浄を中止すること。
- ・蒸気を注入する際はタンク内にガスが存在してはならず、全ての測定結果は詳細に記録すること。

③ 洗浄作業ガイド

A社はW. W. T (Wall Wash Test、タンク洗浄の出来具合を確認するこ

^{*9} 「I S G O T T」とは、オイルタンカーとターミナルに関する国際安全指針 (International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals) をいう。

^{*10} 「イナーティング」とは、爆発を防止する目的で、貨物油タンクにイナートガス(不活性ガス)を入れることをいう。

^{*11} 「T S G」とは、国際海運会議所によるタンカー安全指針 (Tanker Safety Guide prepared by the International Chamber of Shipping) をいう。

^{*12} 「L F L」とは、燃焼範囲の下限界 (Lower Flamable Limit) をいう。

と)が必要な貨物と特殊貨物について、契約している洗浄技術アドバイザーから助言を受け、タンク洗浄の方法を本船に提供すること。

④ タンク洗浄の計画及び結果の報告

船長は、前に積載した貨物油、次に積載する貨物油、タンク底部のフラッシング及びイナーテイングの実施、洗浄開始時刻及び終了時刻、使用する洗浄剤の量をA社に報告すること。

- (2) I S Mコード上の管理責任者による洗浄作業特別訓練を全船に対して実施した。
- (3) 乗船前の教育プログラムに洗浄作業に関するコースを追加した。
- (4) カーゴコントロールルームに洗浄作業に関する注意事項を掲示した。

6 安全勧告

本事故は、ケミカルタンカーGOLDEN SUNNY HANA が、大分県国東港南東方沖において貨物油タンクの洗浄作業中、2番左舷側貨物油タンク及び2番右舷側貨物油タンクの循環作業を行った際、2番左舷側貨物油タンクで爆発が発生したものと考えられる。

2番左舷側貨物油タンクで爆発が発生したのは、貨物油タンクに気化したパイロリシスガソリンと空気との可燃性混合気体が爆発範囲で存在し、ガス濃度の測定及び通風装置による換気が行われない状況下、2番左舷側貨物油タンクに帯電した蒸気が注入されて放電し、火花を生じて可燃性混合気体に着火した可能性があると考えられる。

このことから、運輸安全委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、同種事故の再発防止に資するため、GOLDEN SUNNY HANA の船舶所有者である HNCC CO., LTD に対し、以下のとおり勧告する。

HNCC CO., LTD は、貨物油タンクに可燃性混合気体が存在するケミカルタンカーの乗組員に対して、以下の事項について、確実に実施するよう指導すること。

- (1) カーゴライン及び貨物油タンク底部のフラッシング後は、通風装置による換気を十分に行うこと。
- (2) 洗浄作業前及び洗浄作業中はガス濃度を測定し、爆発範囲にある場合は直ちに作業を中止し、通風装置による換気作業を行うか不活性ガスを入れるなどして安全が確認されてから作業を継続すること。
- (3) 貨物油タンクに存在する静電気の危険性を考慮し、安全が確認できない場合は蒸気を注入しないこと。

付図1 航行経路図

