

船舶事故調査報告書

船種船名 貨物船 清和丸
船舶番号 130018 (IMO番号 8716162)
総トン数 5,023トン

事故種類 乗組員負傷
発生日時 平成20年3月8日 13時50分ごろ (現地時刻)
発生場所 中華人民共和国広東省広州市黄埔区
黄埔パイロットステーション
(概位 北緯22°07.0' 東経113°47.0')

平成21年6月4日
運輸安全委員会 (海事専門部会) 議決
委員長 後藤昇弘
委員 楠木行雄
委員 横山鐵男 (部会長)
委員 山本哲也
委員 根本美奈

1 船舶事故調査の経過

1.1 船舶事故の概要

貨物船清和丸は、14人が乗り組み、平成20年3月8日早朝、中華人民共和国
広東省広州市黄埔パイロットステーションに到着し、投錨した。同日13時50分ご
ろ (中国標準時)、パイロット乗船場所への転錨準備作業中、機関室で二等機関士が
空気槽からのドレン排出の確認を行っていたところ、ドレン排出管の途中に設けられ
たサイトグラスが破裂した。この結果、同機関士が破損片を顔面などに受け、重傷を
負った。

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20年10月1日、本事故の調査を神戸地方海難審判理事所から引き継ぎ、調査を担当する主管調査官（神戸事務所）を指名した。

1.2.2 調査の実施時期

平成20年9月11日、18日、22日 口述聴取

平成20年11月7日、10日、21日、27日 文書照会に対する回答

平成21年1月8日 口述聴取

平成21年1月13日、2月3日、11日 文書照会に対する回答

平成21年5月7日、8日 文書照会に対する回答

1.2.3 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。

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、清和丸（以下「本船」という。）二等機関士（以下「二機士」という。）の口述、調査官の質問に対する本船の船舶管理会社（以下「本件管理会社」という。）の回答書（以下「会社回答書」という。）並びに本件管理会社から船舶所有者及び運航者に対する事故報告書（以下「会社報告書」という。）によれば、次のとおりであった。

本船は、平成20年3月4日14時00分ごろ（日本標準時）、14人が乗り組み、中華人民共和国広東省広州市黄埔港に向けて福岡県博多港を発し、3月8日04時50分ごろ（中国標準時。日本標準時と特記する場合を除き、以下同じ。）、黄埔パイロットステーションに到着、投錨した。同日午後、入港に備えてパイロット乗船場所でパイロット待ちをするため、機関をスタンバイした後、13時30分ごろ、機関部乗組員は、機関長を機関制御室に残し、一等機関士（以下「一機士」という。）、二機士及び三等機関士（以下「三機士」という。）が、それぞれが担当する機器の整備作業に着手した。

このとき、二機士は、2号空気槽^{*1}のドレン^{*2}の排出管の途中に取り付けられたドレンポット^{*3}（以下「2号ポット」という。）のサイトグラス^{*4}にき裂が生じていたため、これを取り替えようとした。このき裂は、3月5日、空気の漏えいに気付いた三機士がボルト及びナットの増し締めを行った際に生じたものであった。

サイトグラスには従前から油清浄機^{*5}の重液流出検出器用サイトグラスの予備品が使用されており、同じものを取り付けた。取付作業後、13時50分ごろ、二機士は、ドレン排出状況を確認するためサイトグラス上方からドレンポット内部を見ながらダブルシャットドレン弁を開いてドレンを排出していたところ、サイトグラスが破裂し、顔面、肘等にガラス板の破片を浴び、負傷した。

本事故の発生日時は、平成20年3月8日13時50分ごろ、発生場所は、黄浦パイロットステーション（概位 北緯22°07′ 東経113°47′）であった。
（付図1 事故発生場所等図 参照）

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷に関する情報

二機士の口述、会社報告書及び船員保険傷病手当金支給請求書によれば、二機士は、現地救急病院及び眼科専門医に応急処置、検査及び診断を受け、眼科専門医及び二機士本人の判断により、航空機で日本に移送された。事故翌日の3月9日夕刻、日本の病院に搬送されたところ、両眼球破裂、顔面裂傷及び左前腕裂傷を負っており、左前腕には10～15個のガラス小破片が刺さっていた。緊急手術を受けたが、左眼は失明し、右眼は著しい視力低下をきたし、長期の入院及び退院後の定期的な治療を要する状態となった。入院中、左眼内に異物が確認された。

2.3 船舶の損傷に関する情報

二機士の口述及び会社報告書によれば、本船には、2号ポットのサイトグラスに破損が生じた以外に損傷はなかった。

2.4 乗組員に関する情報

本船の乗組員は全員日本人で、船長ほか13人が乗り組んでおり、機関部乗組員は、

*1 「空気槽」とは、船舶の機関の始動、制御等に使用するための空気を貯蔵する容器

*2 空気槽内の高圧空気は機関室内の空気を圧縮貯蔵したものであり、水及び油の蒸気、ミストを含んでいるため、空気槽内で冷却されると水と油が凝縮、混合し乳白色の液体となり空気槽の底部に沈殿する。これをドレンという。

*3 ドレン排出時に一時的にドレンを溜めるためドレン排出系統に設けられる小容器

*4 機械、機器、管等の内部の状況を観察するために取り付けられるガラス、アクリル等の透明板

*5 機関燃料用粗悪油を燃焼に適するよう清浄するための装置

機関長、一機士、二機士及び三機士の4人であった。

(1) 性別、年齢、海技免状

① 機関長 男性 58歳

一級海技士（機関）

免許年月日 平成8年5月30日

免状交付年月日 平成18年1月17日

（平成23年5月29日まで有効）

② 二機士 男性 27歳

三級海技士（機関）（履歴限定）

免許年月日 平成19年3月26日

免状交付年月日 平成19年3月26日

（平成24年3月25日まで有効）

(2) 主な乗船履歴

① 機関長

機関長への文書照会に対する回答書（以下「機関長回答書」という。）によれば、次のとおりである。

平成3年4月21日、本件管理会社に入社し、平成12年8月1日、機関長となった。以後、機関長として19隻に乗船し、この間陸上勤務の経験はない。本船には、平成13年3月末～8月末及び平成20年3月4日～4月17日の間、乗船した。同年4月18日、本船が便宜置籍船となったため、外国人船員に引き渡した。

② 二機士

二機士の口述及び船員手帳等によれば、次のとおりである。

平成17年3月本件管理会社に入社し、その後、同管理船舶への乗船を重ね、平成19年11月20日、名古屋港で本船に二機士として乗船した。

(3) 担当業務

① 船内組織職務規則による担当業務

本件管理会社が定めた「船内組織職務規則」によれば、機関長及び二機士の主な職務は次のとおりであった。

a 機関長

・機関部の職務を管轄し、機関業務実施の責任者であり、機関部職員・部員の職務全般の統括責任者である。

・安全管理システム、安全管理マニュアルを遵守する上で、必要な機関の専門的知識を有し、船長を補佐する。

・安全管理マニュアルによる機関の管理、記録を責任をもってとりまと

め、船長に提出する。

- ・機器全体の状態を把握し管理する。

b 二機士

・主機及び発電機用原動機の始動、制御用及び雑用の圧縮空気を貯蔵する主空気槽（以下「空気槽」という。）

- ・始動を含む空気系統
- ・1号及び2号空気槽のドレン排出系統（以下「ドレン系統」という。）
- ・ドレン系統のドレン排出作業

② 機関長回答書

機関長回答書によれば、機関長は、機関長及び二機士の主な職務を、上記(3)①のとおり認識していた。

③ 二機士の口述

二機士の口述によれば、空気槽を含む空気系統及び空気槽のドレン系統の担当を二機士と、ドレン排出作業の担当を三機士と認識していた。

2.5 船舶等に関する情報

2.5.1 船舶の主要目

船 舶 番 号	1 3 0 0 1 8
I M O 番 号	8 7 1 6 1 6 2
船 籍 港	愛知県東海市
船 舶 所 有 者	株式会社フジトランスコーポレーション
運 航 者	トヨフジ海運株式会社
船 舶 管 理 人	鹿児島船舶株式会社
総 ト ン 数	5, 0 2 3 トン
L × B × D	1 1 5. 0 0 m × 2 0. 0 0 m × 1 4. 8 0 m
船 質	鋼
航 行 区 域	遠洋区域（国際航海）
用 途	自動車兼貨物運搬船
主 機	ディーゼル機関1基
出 力	3, 0 8 9 kW（連続最大）
推 進 器	固定ピッチプロペラ1個
発電機用原動機	ディーゼル機関3基、定格出力各625kW
竣 工 年 月 日	昭和63年8月20日

2.5.2 空気系統及び空気ドレン系統

機関室全体装置図及び会社報告書によれば、次のとおりであった。

(1) 空気系統・空気槽

空気系統は、1号及び2号空気圧縮機、1号及び2号空気槽、高圧空気系統配管及び低圧空気系統配管から構成される。空気圧縮機により圧縮された空気が空気槽に貯蔵され、主機及び発電機用原動機始動用の高圧空気系統並びに雑用及び制御用の低圧空気系統に分配される。空気槽は、設計圧力2.45MPa、容量約1.55m³の圧力容器2個1組から構成され、機関室中段の船首側右舷中央寄り左右に並べて設置されている。右舷側が1号空気槽、左舷側が2号空気槽とされている。

(2) ドレン系統

ドレン系統は、呼び径15Aの鋼管で、ドレンは空気槽の最下部からダブルシャットドレン弁（以下「ドレン弁」という。）を經由し、建造時はエアトラップ*⁶（以下「トラップ」という。）に導かれ、一定量のドレンが溜まると自動的にホッパーに排出され、ホッパーからビルジ溜りに排出されていた。しかし、後日、乗組員によりトラップは不具合が多いこと等から取り外され、代わりに機関部乗組員が作製したドレンポットが取り付けられていた。（付図2 空気系統・空気槽ドレン系統図 参照）

2.5.3 ドレンポット及びサイトグラスに関する情報

(1) ドレンポットの設置場所、構造等

機関室全体装置図及び会社報告書によれば、次のとおりであった。

① 設置場所

2号ポットは2号空気槽の左舷側に設置されており、両空気槽の船首方は機関室壁、左舷側には予備品置き場、右舷側には燃料油タンク裏の空きスペース、船尾方に空気圧縮機及び制御空気用除湿機があった。

（付図3 機関室配置図 参照）

② 構造

1号空気槽のドレン排出管に取り付けられたドレンポット（以下「1号ポット」という。）及び2号ポットは、平成11年11月ごろ、ドレン排出状況を目視確認するため、当時の二等機関士により、鋼管を加工して作製され、トラップの代わりに取り付けられた。外径114mm、内径107

*⁶ 「エアトラップ」とは、配管等に溜まるドレンを自動的に排出するための機器で、機器内部に一定量のドレンが溜まると機器内部にあるフロートの浮力により弁が開き、ドレンが排出される。ドレンが排出されると、フロートの浮力がなくなり、弁が閉じて排出が止まる。

mm、高さ150mmの円筒形で、上部にフランジが取り付けられ、上から内部を観察できるように、サイトグラスが鋼製の押さえ板と8組のボルト及びナットによって取り付けられていた。

ドレンの流入管及び排出管は、ドレンポットの側面上方に対向して溶接され、高圧のドレン及び空気が直接ホッパーに排出されないよう、ドレン流入管は水平、ドレン排出管はドレンポットの底部から側面上方に立ち上がる内管形状となっていた。このため、ドレンの量が多い場合は、流入したドレンの一部がドレンポットに滞留するものであった。

(付図4 ドレンポット構造図 参照)

(2) ドレンポットに関する適用法令

建造造船所担当者の口述によれば、ルール上、高圧配管の範囲はドレン排出系統のダブルシャット弁の手前までであるため、ドレン排出系統にドレンポットを設けることは違反ではない。

また、船舶機関規則（以下「機関規則」という。）及び機関規則と同等の内容の登録船級協会の規則には、次のとおり定められている。

- ① 船舶の機関^{*7}の材料、溶接、構造等に関しては、機関規則による。
- ② 「機関の重要部分^{*8}に用いる材料等」及び「船舶の推進に係のある機関^{*9}」が定義されており、ドレン排出系統はいずれにも該当しない。
- ③ 管装置に使用する材料については、「機関の重要部分に用いる材料等」に該当しない場合、鋼管は使用目的に応じてJIS規格に適合するものを使用することとされているが、ガラスについての規定はない。
- ④ 溶接、構造等については、「船舶の推進に係のある機関」に該当しないものについては、機関規則の規定は適用されない。

(3) サイトグラス及び押さえ板

① 材料及び寸法の変更

会社回答書、会社報告書及び機関長の口述によれば、1号及び2号空気槽のドレン排出管に1号及び2号ポットが取り付けられたとき、サイトグラス

*⁷ 「機関」とは、原動機、動力伝達装置、軸系、ボイラ、圧力容器、補機及び管装置並びにこれらの制御装置をいう（機関規則第1条第1号）。

*⁸ 「機関の重要部分」とは、管装置であつては、1類管及びこれを取り付ける弁、コックその他の管取付け物をいう。「1類管」とは、使用する流体の種類に応じ、最高使用圧力又は最高使用温度が定められた範囲内にある管をいう（流体の種類が水及び空気の場合、最高使用圧力1.57MPaを超える範囲、最高使用温度200℃を超える範囲。）。

*⁹ 「船舶の推進に係のある機関」とは、次に掲げるものをいう。(1)主機及び主要な補助機関(2)推進のために必要な動力伝達装置及び推進軸系並びに発電機（非常電源の用に供するものを除く。）及び第1種補機に動力を伝達する動力伝達装置及び駆動軸(3)第1種ボイラ、主ボイラ及び主要な補助ボイラ(4)船舶の推進に係のある補機(5)(1)から(4)に掲げる機関の運転に必要な圧力容器(6)(1)から(5)までに掲げる機関の運転に必要な管装置（タンクを除く。）及び制御装置

として下表上欄に示すアクリル板が取り付けられていた。その後、取り替え時期は不明であるが、2号空気槽のドレン排出管のドレンポットサイトグラスについては、下表下欄に示す油清浄機重液流出検出器用のガラス板に取り替えられていた。

	外径	厚さ	材 料	備 考
a. 1号のサイトグラス b. 2号のサイトグラス (ドレンポット取付当時)	147mm	5mm	アクリル	取付用穴8個
c. 2号のサイトグラス (事故時)	124mm	5mm	強化ガラス	油清浄機重液流出検出器 用予備品、取付用穴なし

事故発生時、サイトグラスの押さえ板の寸法及び材料は下表に示すとおりであった。

	外径	内径	厚さ	材 料
a. 1号の押さえ板	145mm	65mm	8mm	鋼
b. 2号の押さえ板 (事故発生側)	145mm	103mm	8mm	鋼

② 強度

油清浄機の重液流出検出器用サイトグラス製造者による J I S B 8 2 8 6 「圧力容器用のぞき窓」に基づく計算によれば、サイトグラスの設計圧力、受圧面積、材料の許容応力と所要厚さの関係は次式のとおりである。

$$t = 5 \sqrt{\frac{P A}{\sigma}}$$

t : 所要厚さ (mm)
P : 設計圧力 (MP a)
A : 圧力を受ける部分の面積 (cm²)
σ : ガラスの許容曲げ応力 (N/mm²)

ただし、安全率を10倍とする。

圧力を受ける部分の面積は、1号及び2号ポットとも2号ポットのサイトグラスの外径124mmとドレンポットの内径107mmからガasketの中心径を115.5mmとし、厚さ5mmの強化ガラス及びアクリル板の安全率を考慮した許容曲げ応力をそれぞれ15N/mm²及び11N/mm²とする。なお、設計圧力は空気槽の制限圧力は、2.45MP aであるが、安全余裕をとり3.0MP aとしている。

上式より、サイトグラスの設計圧力と所要厚さ、実際の厚さ5mmの場合の許容圧力の関係は次表のとおりとなる。

	材料	設計 圧力	設計厚さ	厚さ 5mm の場 合の許容圧力
a. 1号のサイトグラス b. 2号のサイトグラス (ドレンポット取付当時)	アクリル	3.0MPa	約 21mm	0.14MPa
c. 2号のサイトグラス (事故時)	強化ガラス	3.0MPa	約 25mm	0.11MPa

2.6 船舶の運航管理等に関する情報

2.6.1 ドレンポットが取り付けられた経緯

会社回答書、会社報告書及び機関長回答書によれば、ドレンポットが取り付けられた経緯は次のとおりであった。

(1) 本件管理会社

1号及び2号ポットは平成11年11月ごろ、トラップの代わりに取り付けられたが、本件管理会社は、取替えの事実を取替え後相当な期間を経てから認識した。また、船舶が建造後20年を経過する間に船舶所有者及び管理会社が変わったこともあり、本件管理会社はポットを設けたことによる事故発生の可能性を認識することも、サイトグラス取替作業が必要となることも認識することはなかった。このため、サイトグラスの予備品についても、本船に必要な管理を指示していなかった。

また、1号及び2号ポットの押さえ板の寸法の違いについて、本事故後も、特に問題視することはなかった。

(2) 機関長

機関長は、1号及び2号ポットが取り付けられていることについて、引継ぎは受けておらず、乗船して2～3日後に気付いたが、何時、誰がどのような目的で取り付けたのかまったく認識していなかった。また、1号及び2号ポットのサイトグラスの材質及び寸法並びに押さえ板の寸法の違いについてもまったく気付いていなかった。

2.6.2 過去のサイトグラス破裂事故

会社回答書によれば、本船は、平成14年4月から本件管理会社による船舶管理が開始されていたが、国内航路に就航していた平成14年12月に、当時の一等機関士が、1号空気槽のドレンを排出した際、1号ポットのサイトグラス（厚さ2mm、アクリル板製）が破裂し、周囲の壁に当たって跳ね返った破片により、腕と腋腹に最長5mmの切り傷を負った。

その後、事故の再発を懸念した一等機関士が、鋼製の閉止板に取り替え、さらに

厚さ5mmの亚克力板に取り替えた。

しかし、この事故の事実は、一等機関士の負傷が軽かったため、当時の機関長及び操機長に口頭で伝えられただけで、本件管理会社に正式な負傷事故として記録されず、2.6.1に記述したように、本事故防止のための教訓となり得なかった。

2.6.3 サイトグラスの取替作業が行われた経過

会社回答書、機関長回答書及び二機士の口述によれば、本事故の直前に行われたサイトグラスの取替作業については、次のとおりであった。

(1) 本件管理会社

二機士は、サイトグラス取替えについて前任者等からの引継ぎを受けていなかったが、三機士が3月5日にサイトグラスを固定するボルト・ナットを増し締めした際にき裂が生じていたこともあり、自らの意志でサイトグラス取替えを計画し、三機士から油清浄機用のガラス板を受け取り、取替作業を行い、取替え後、自らの判断でドレン排出を行った。

(2) 機関長

機関長は、サイトグラスが割れている旨の引継ぎを受けておらず、三機士が3月5日にサイトグラスを固定するボルト・ナットを増し締めした際にき裂が生じていたことも認識していなかった。機関長は、二機士がサイトグラス取替えを計画し、取替作業を行っていたことは知らなかった。

(3) 二機士

二機士は、前任機関長の引継書に、サイトグラスが割れているという記載があったと思い、また、三機士が3月5日にサイトグラスを固定するボルト・ナットを増し締めした際にき裂が生じていたこともあり、自らサイトグラス取替えを計画し、三機士から油清浄機用のガラス板を受け取り、一機士とこのガラス板がそれまで取り付けられていたものと同じものであると判断の上、スパナを用いて取替作業を行った。取替え後、二機士はドレン排出を行ったが、自らの判断で作業を行った。

2.6.4 国際安全管理コードに基づく安全管理

会社回答書及び二機士の口述によれば、本件管理会社及び本船の安全管理については、次のとおりであった。

本件管理会社は国際安全管理コード（ISMコード）に基づく適合書類（7NG-M0283JPND0C、2007年7月6日日本海事協会名古屋支部交付）を、本船は安全管理証書（7KK-M0371SMC、2007年12月25日日本海事協会北九州支部交付）を受有していた。

本船には、船内のほとんどの業務に関する手引書、手順書及び作業マニュアルが備えてあり、乗組員はこれらに従って各種業務を実施していた。

しかし、空気槽のドレン排出並びに1号及び2号ポットのサイトグラス交換に関する手順書や作業マニュアルは作成されていなかった。

2.6.5 管理船舶のドレン系統

本事故発生後、本件管理会社が実施した全管理船舶のドレン系統状況調査結果によれば、内航船では、サイトグラス付きの船内作製ドレンポットが設置されているもの（以下「タイプA」という。）が4隻、サイトグラスの専門会社が製造・販売した規格品が設置されているもの（以下「タイプB」という。）が3隻、透明のポリエステルホースが設置されているもの（以下「タイプC」という。）が1隻であった。外航船では、タイプAの船舶はなく、タイプBが3隻、タイプCが2隻あり、サイトグラス付きのドレンポットそのものが設置されていないものが10隻あった。

2.7 気象及び海象に関する情報

本船の航海日誌によれば、事故発生時、天気 晴れ、風向 東北東の風、風力 3、外気温 約23.5℃で、港内海上は穏やかであった。

2.8 水路図誌、事故水域等に関する情報

海上保安庁刊行の香港・台湾水路誌によれば、次のとおりである。

広州 (Guangzhou) 、 黄埔 (Huangpu) 及び黄埔の下流にある新しく開発された黄埔新港 (Huangpuxingang) の港湾区域は、単一の港湾複合地帯として管理されている。黄埔新港の港湾区域は、河の東側に沿って南に約5Mまで広がっている。

同港湾複合地帯には、6つの指定錨地が、坭洲水道 (Nizhou Shuidao) 内及びその北方にある。さらに、4つの指定錨地が河の中央に、2つは新沙港埠頭 (Xinshagang Wharf) の沖に、他の2つは新沙港埠頭の北西方に設定されている。

広州への水先は24時間、黄埔への水先は06時00分～18時00分の間のみである。

2.9 医学に関する情報

機関長の口述によれば、機関長の健康状態は普通で、持病はなく、事故当時、飲酒、睡眠不足又は過労という状態ではなかった。

二機士の口述によれば、二機士の健康状態は普通で、持病はなく、事故当時、飲酒、睡眠不足又は過労という状態ではなかった。

2.10 人の生存、死傷に関係のある捜索、救助及び被害の軽減措置に関する情報

(1) 救助及び被害の軽減措置の経過

会社報告書、会社回答書、機関長回答書及び二機士の口述によれば、二機士の負傷後の救護、応急手当、病院への搬送等の経過は、次のとおりであった。

3月8日（中国標準時）

- 13:50 二機士が顔面から出血した状態で、機関制御室に入室
直ちに機関長及び他の機関士により応急止血を実施
- 13:55 船橋より応急手当の要員として二等航海士が機関制御室へ
- 14:00 転錨が終了し、船長が二機士の状態を確認
- 14:05 船長は、重傷と判断し、代理店に病院への搬送を依頼
- 14:20 本件管理会社が連絡を受理
- 15:00 代理店より、パイロットを乗船させ、SHA J I A O 錨地まで
川を遡上し、黄埔の病院に二機士を搬送するよう本船に連絡
- 15:35 パイロットが乗船し、遡上開始
- 16:40 本件管理会社から横浜の病院に応急処置の助言を仰ぐ
- 19:10 SHA J I A O 錨地に到着、代理店乗船、二機士の入国手続き
実施
- 20:00 入国手続き終了。待機していたボートで現地の病院に搬送開始
(付き添い1人随伴)
- 21:30 現地の病院に到着。処置及び検査を行うが、眼の負傷に関しては眼科専門医での処置が必要と判断され、転院。
眼科専門医の判断及び二機士の意向で医療技術の高い日本での治療を決定。

3月9日

- 09:15 広州より成田向け出国
- 14:00 （日本標準時）成田到着
- 15:30 （日本標準時）病院到着、緊急手術実施

(2) 救護、応急手当、病院搬送等に関する二機士の口述

二機士の口述によれば、負傷後の救護、応急手当、病院への搬送等の経過について、二機士は、特に手違いがあつて遅れたとか、態勢に根本的な不備や不手際があつたと感じておらず、中国という事情や航空機での緊急搬送という事態を考慮すれば、どこかに問題があつたとは言えないと考えている。

3 分析

3.1 事故発生の状況

3.1.1 事故の経過

2.1から、停泊準備作業中、二機士が2号ポットのサイトグラスを取り替えた後、ドレン排出状況を確認するためサイトグラスからポット内部を見ながらダブルシャットドレン弁を開いてドレンを排出していたとき、サイトグラスが破裂したものと考えられる。

3.1.2 事故発生の時刻及び場所

2.1から、平成20年3月8日13時50分ごろ、中華人民共和国広東省広州市黄埔パイロットステーション（概位 北緯22°07′ 東経113°47′）で発生し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、機関長及び二機士は、適法で有効な海技免状を有していた。

3.2.2 ドレンポットの材料、構造等

2.5.3(2)によれば、ドレン排出系統の材料、溶接、構造等については、法令により鋼管はJIS規格に適合する材料を使用することが要求されるが、サイトグラスについては適用する規定がない。

3.2.3 サイトグラスの破裂に関する解析

(1) 強度の解析

ガラスは、鉄鋼などの金属材料と異なり脆性破壊^{ぜいせい}し、製品毎に破壊強度のばらつきが大きいこと及び疲労による強度低下があることから、強度設計に当たってはこれらを考慮した安全率を含む許容曲げ応力が用いられる。安全率は、一般ガラスが3～5、強化ガラスが2～3とされている。強化ガラスの平均破壊応力は約142.2N/mm²であり、安全率を考慮した許容応力は約73.5N/mm²である（*板ガラスメーカーによる。）。

圧力P（MPa）を受ける厚さt（mm）の外周固定円形板の場合、最大曲げ応力 σ_{max} （N/mm²）は次式で表される。

$$\sigma_{\max} = \alpha \frac{P a^2}{t^2} \quad \text{ただし、}\alpha\text{は}b/a\text{により決まる定数}$$

a : 円形板の固定半径

b : 圧力を受ける部分の半径

*造船設計便覧（平成16年第4版関西造船協会編）による。

本事故において破裂したガラス板の場合、押さえ板の内径103mm、ポットの内径107mmから、ガラス板の固定半径及び圧力を受ける部分の半径は53.5mm（ $b/a = 1$ 、 $\alpha = 0.75$ ）で、厚さ5mm、圧力を空気槽の制限圧力2.45MPaとすると、最大曲げ応力 σ_{\max} は次のとおりとなる。

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= 0.75 \times \frac{2.45 \times 53.5^2}{5^2} \\ &= 210.4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

これは、強化ガラスの平均破壊応力及び許容応力を上回っている。

次に、最大曲げ応力を、強化ガラスの許容応力の73.5N/mm²とし、上述の条件から、圧力Pを逆算すると、次のとおりとなる。

$$\begin{aligned} P &= 1.33 \cdot \frac{\sigma_{\max} t^2}{a^2} \\ &= 1.33 \times \frac{73.5 \times 5^2}{53.5^2} = 0.85 \text{ MPa} \quad (= 8.4 \text{ 気圧}) \end{aligned}$$

さらに、許容曲げ応力を73.5N/mm²、設計圧力を2.45MPa、固定半径及び圧力を受ける部分の半径を53.5mmとすると、設計厚さは、8.5mmとなる。

$$t = 0.87 \sqrt{\frac{P a^2}{\sigma_{\max}}} = 8.5 \text{ mm}$$

以上から、空気槽の制限圧力と同じ2.45MPaの圧力が直接サイトグラスに作用した場合、サイトグラスは破裂し、同じ2.45MPaの圧力に対して強度を確保するためには、板厚を8.5mm以上とする必要があるものと考えられる。また、事故発生時に取り付けられていたガラス板は0.85MPaの圧力に対して十分な強度を有していたものと考えられる。

なお、2.5.3(2)と上述の計算結果を比較すると、次表のとおり、サイトグラス製造者による強度計算結果は、設計条件を本項と同じとした場合、ほぼ同じ結果が得られ、また、設計条件においても十分な安全余裕が考慮されているものと推定される。

		製造者による計算	本項による計算
設計条件	材料	強化ガラス	強化ガラス
	平均破壊応力	150N/mm ²	142.2N/mm ²
	許容曲げ応力	15N/mm ²	73.5N/mm ²
	安全率	10	2
	圧力を受ける部分の半径	57.75mm	53.5mm
	設計圧力	3.0MPa	2.45MPa
所要厚さ		25mm(8.65mm)*	8.5mm
最大曲げ応力	厚さ 5mm の場合	314.1N/mm ² (220.3N/mm ²)*	210.4N/mm ²
許容圧力	厚さ 5mm の場合	0.11MPa(0.82MPa)*	0.85MPa

* : () 内の値は、本項による設計条件で計算した値

(2) サイトガラスの破裂要因の解析

2.1、2.5.3 及び 2.6.3 から、次のような破裂要因があった可能性が考えられる。

- ① 2号ポットのサイトガラスは、1号ポットのサイトガラスと比べて押さえ板の内径が大きいため、相対的に大きな応力が生じていた。
- ② 締め付けトルクを調整できない通常のスパナのような工具で8組のボルト・ナットを均一な力で締め付けるのは容易ではないことから、締め付ける力が偏り、応力集中が生じたり、ガラス板に微小な変形が生じたりして脆性破壊しやすい状態になっていた。
- ③ 2号ポットのサイトガラスのようなボルト通し穴がないガラス板を、押さえ板と8組のボルト・ナットで締め付ける場合、ガラス板の位置が決まりにくく、押さえ板とガラス板、ポットとガラス板の接触面が幅の均等なドーナツ型になりにくいことから、ガラス板を締め付ける力が偏り、応力集中が生じたり、ガラス板に微小な変形が生じたりして脆性破壊しやすい状態になっていた。
- ④ 2号ポットに取り付けられたドレン流入管がポットの上方側面に配置され、ドレン排出管の内管が2号ポットの底から立ち上がるように配置されており、同排出口が滞留したドレンに浸かる構造であることから、ドレンを排出する際には2号ポット内部に、最も大きい場合は空気槽の制限圧力2.45MPaの圧力が作用していた。
- ⑤ 二機士がドレン排出作業を行う際、ドレン弁を微開以上に開き、急激にドレン及び2号空気槽内の空気を排出したため、2号ポット内の圧力が急

激に増加した。

3.2.4 気象・海象の状況

2.7から、事故発生時、天気 晴れ、東北東の風、風力 3、外気温約 23.5℃で、港内海上は穏やかであったと考えられる。

3.2.5 船舶の運航管理等の状況

(1) 1号及び2号ポットの取付け

① 本件管理会社

2.6.1(1)及び2.6.2から、1号及び2号ポットは平成11年11月ごろ、トラップの代わりに取り付けられたが、本件管理会社は、本船からトラップが船内作業でポットに取り替えられていることを取替え後相当な期間を経過するまで認識していなかった。また、平成14年12月、1号ポットのサイトガラスが破裂して当時の一等機関士が軽傷を負う事故が発生していたが、本船機関部内部で事後処理され、本件管理会社に報告がなされていなかったことから、ポットを設けたことによる事故発生の可能性を予測することも、サイトガラス取替作業が必要となることも認識することはなかったものと推定される。このため、サイトガラスの予備品についても、本船に必要な管理を指示していなかったものと推定される。また、本件管理会社は1号及び2号ポットの押さえ板の寸法の違いについて、本事故後も、特に疑問視することはなかったものと推定される。

② 船内管理

2.6.1(2)及び2.6.2から、機関長は、1号及び2号ポットが取り付けられていること、及び過去に1号ポットのサイトガラスが破裂した事故が発生していたことについて、引継ぎは受けておらず、ドレンポットの存在自体には乗船して2～3日後に気付いたが、取付けの経緯及びサイトガラス破裂の危険性について、まったく認識していなかったものと推定される。また、1号及び2号ポットのサイトガラスの材質及び寸法並びに押さえ板の寸法の違いについてもまったく気付いていなかったものと推定される。

(2) サイトガラス取替作業

① 本件管理会社による管理

2.4(3)及び2.6.3(1)から、本件管理会社は、空気系統及び空気ドレン系統の担当機関士を事故後に確認し、二機士がサイトガラス取替作業を実施した理由、経緯及び手順について、事故後に把握したものと考えられる。

② 船内管理

2.4(3)及び2.6.3(2)から、サイトグラスの取替作業に関する船内管理は、次のとおりであったものと考えられる。

a 担当機器等

機関長は、二機士の担当機器及びドレン排出作業担当を把握していた。二機士は自身の担当機器を認識していたものの、ドレン排出作業については三機士の担当であると認識していた。

b 引継ぎ等

機関長は、サイトグラスが割れている旨の引継ぎを受けておらず、三機士が3月5日にサイトグラスを固定するボルト・ナットを増し締めした際にき裂が生じたことを認識していなかった。二機士は、サイトグラスが割れていることについては、三機士が3月5日にサイトグラスを増し締めした際にき裂が生じていたと認識していた。

c 取替作業の実施

機関長は、二機士がサイトグラス取替えを計画し、取替作業を行っていたことを把握していなかった。二機士は、自らサイトグラス取替えを計画し、三機士から油清浄機のガラスを受け取り、一機士とこのガラス板がそれまで取り付けられていたものと同じものであると判断の上、取替作業を行った。取替後、二機士は自らの判断でドレン排出を行った。

(3) 国際安全管理コードに基づく安全管理

2.6.4 から、本件管理会社及び船舶は、それぞれ適法で有効な適合書類及び安全管理証書をそれぞれ受有していた。また、本船には、船内のほとんどの業務に関する手引書等が備えてあり、乗組員はこれらにしたがって各種作業を実施していたものと考えられる。しかし、空気槽のドレン排出及びドレンポットのサイトグラス交換に関する手順書や作業マニュアルは作成されていないものと考えられる。

(4) 管理船舶のドレン系統

2.6.5 から、本件管理会社の全管理船舶のドレン系統の状況については、次のとおりであったと推定される。

内航船では、タイプAが4隻、タイプBが3隻、タイプCが1隻あり、外航船では、タイプAの船舶はなく、タイプBが3隻、タイプCが2隻、サイトグラス付きのドレンポットそのものが設置されていないものが10隻あった。

3.2.6 人の死傷に関係ある救助及び被害の軽減措置状況

2.10から、二機士の負傷後の救護、応急手当、病院への搬送等に関する状況については、現地の病院への搬送及び日本の病院への搬送に時間を要しているが、現地の救急医療体制、入出国手続き等を考慮すると、適切な救助及び被害の軽減措置が行われたものと推定される。

なお、緊急手術までの時間を短縮すれば、二機士の後遺障害を軽減できたか否かは不明である。

3.2.7 事故発生に関する解析

(1) 本事故は、2.1、2.2及び2.10から、二機士が2号ポットのサイトグラスの取替えを行った後、ドレン排出作業を行っていたところ、サイトグラスが破裂し、上からのぞき込んでいた二機士の顔面及び左腕に向け、多数のガラス破片が飛散したため、発生したものと推定される。

(2) サイトグラスが破裂したのは、3.2.1及び3.2.3から、サイトグラスが破裂しやすい状態にあるとき、ドレン排出作業を行ったことによるものと考えられる。

サイトグラスが破裂しやすい状態にあったのは、次のことによる可能性があると考えられる。

① 空気槽の制限圧力と同じ圧力が直接サイトグラスに作用した場合、ガラス板の強度上破裂する可能性が高かった。

② ボルト通し穴がないガラス板を、押さえ板と8組のボルト・ナットで締め付ける場合、ガラス板と押さえ板及びドレンポットのフランジの接触面が円周方向に均等な状態になりにくいことから、ガラス板を締め付ける力が偏り、ガラス板に微小な変形が生じたり、応力集中が生じたりして、脆性破壊しやすい状態になっていた。

③ 8組のボルト・ナットを均一な力で締め付けるのは容易ではないことから、締め付ける力が偏り、ガラス板に微小な変形が生じたり、応力集中が生じたりして、脆性破壊しやすい状態になっていた。

④ 1号及び2号ポットは、ドレンを排出する際には必ず内部に圧力が作用する構造になっていた。

(3) サイトグラスが破裂しやすい状態にあったのは、3.2.5(1)～(3)から、本件管理会社、機関長及び二機士が1号及び2号ポットの取付け、サイトグラス破裂の可能性を認識せず、また、船内における機器や部品の設計、使用及び維持整備基準が定められず、安全管理が適切に行われずに、2号ポットが設けられ、また、サイトグラスの取替作業が行われたことによるものと考えられる。

(4) 二機士が重傷を負うこととなったのは、次のことが関与した可能性があると考えられる。

- ① ダブルシャットのドレン弁を微開にすべきところ、微開以上に開く等操作が適切でなかったこと
- ② ドレン排出状況を見るため、サイトガラスのすぐ真上に顔を近づけ過ぎたこと

また、1号ポットのサイトガラスはアクリルであるが、アクリルとガラスは、耐圧、耐衝撃性能に大きな差はなく、熱や湿気や油類に対しては、アクリル板の方が劣化し易く、その他の条件は2号ポットと変わらないことから、破裂が発生する可能性があると考えられる。

したがって、本事故後、本件管理会社が管理船全船に措置したように、他社船においても、空気槽ドレン系統においては、配管上に規格外のサイトガラスを取り付けたドレンポットを設けることは避けるべきであり、ドレン排出状況の観察は、ホッパー部などドレンが直接大気に放出される場所で行うことが安全な措置である。

4 原因

本事故は、空気槽のドレン排出作業中、乗組員によって設けられた2号ポットのサイトガラスが破裂したため、上からのぞき込んでいた二機士の顔面及び左腕に向け、多数のガラス破片が飛散したことにより発生したものと推定される。

サイトガラスが破裂したのは、微小な変形や応力集中が生じ、サイトガラスが脆性破壊しやすい状態にあるとき、排出作業が行われ、2号ポット内部の圧力が高まったことによる可能性があると考えられる。

サイトガラスが脆性破壊しやすい状態にあったのは、本件管理会社及び機関部乗組員により機器や部品の設計、使用及び維持整備基準が定められず、安全管理が適切に行われずに2号ポットが設けられ、また、サイトガラスの取替作業が行われていたため、構造及び強度に欠陥が生じたことによるものと考えられる。

5 所見

本事故において、2号ポットのサイトグラスが破裂したことについては、本件管理会社及び機関部乗組員により、ドレンポットの設計、使用及び維持整備基準が定められず、安全管理が適切に行われずに2号ポットが設けられ、また、サイトグラスの取替作業が行われていたため、発生した可能性があると考えられる。また、1号ポットについても、同様に破裂の可能性があると考えられる。

このため、同種事故を防止するには、本件管理会社は次の対策を講じる必要がある。

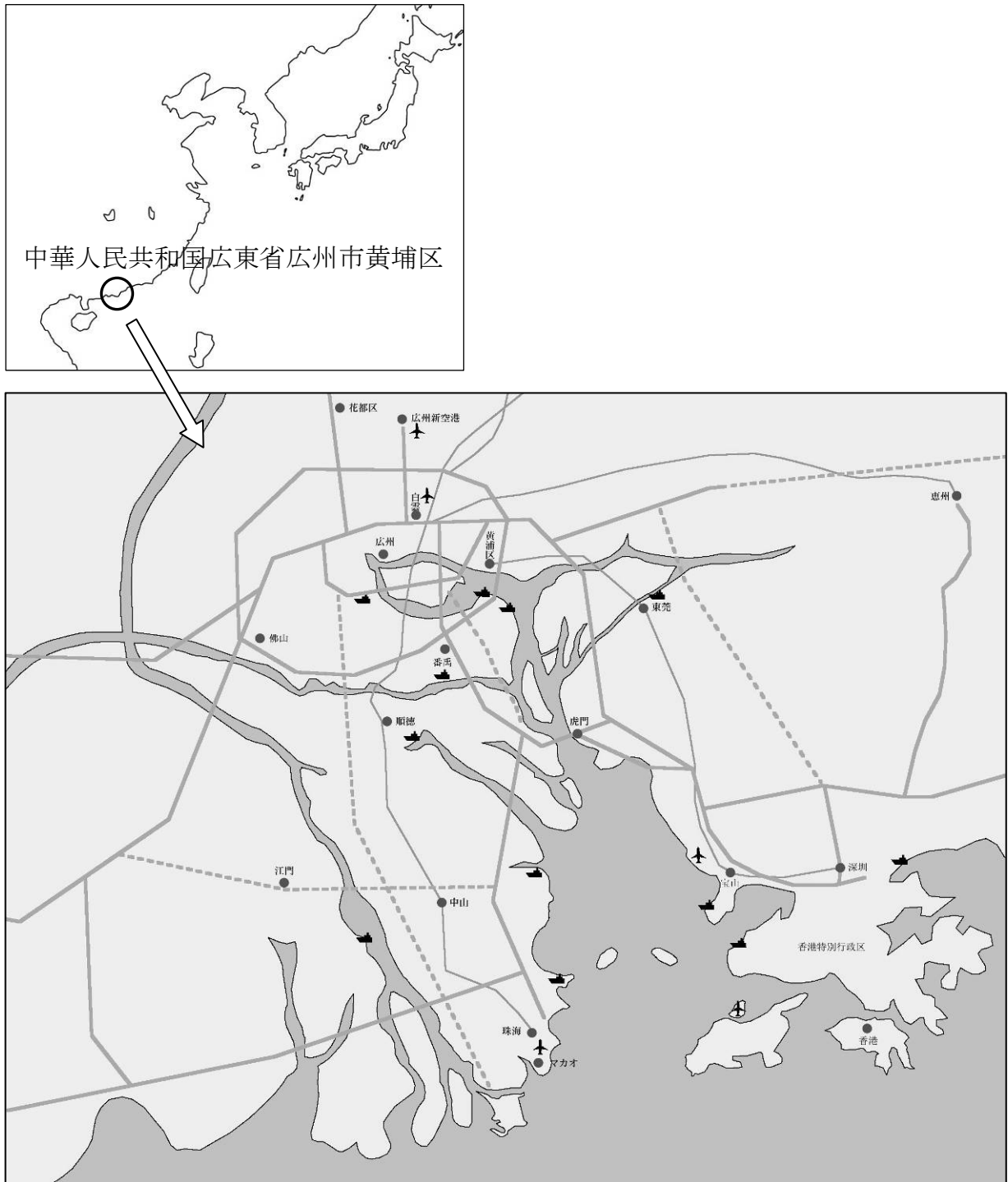
- (1) 管理船舶において、機関室内配管の変更を行う場合、機関部乗組員は本件管理会社に許可を得て変更を行うこととし、配管変更願いがあったときは、造船所や専門の機器メーカーに問い合わせるなどして、強度や安全に十分配慮し、その可否を速やかに決定できる社内体制を整備すること
- (2) 管理船舶の機関部乗組員に対し、機関室内配管の変更工事に関して次の事項を遵守するよう指導すること
 - ① 部品を交換する際には、適正な材料と寸法のものを使用すること
 - ② 高圧流体が流れる配管の継ぎ手部、付属品に接近する場合は、破裂や噴出の可能性のあることに十分留意すること
 - ③ 高圧流体が流れる配管の弁の開弁操作は微開とすること。必要に応じ、オリフィスなどの「絞り」を挿入すること

6 参考事項

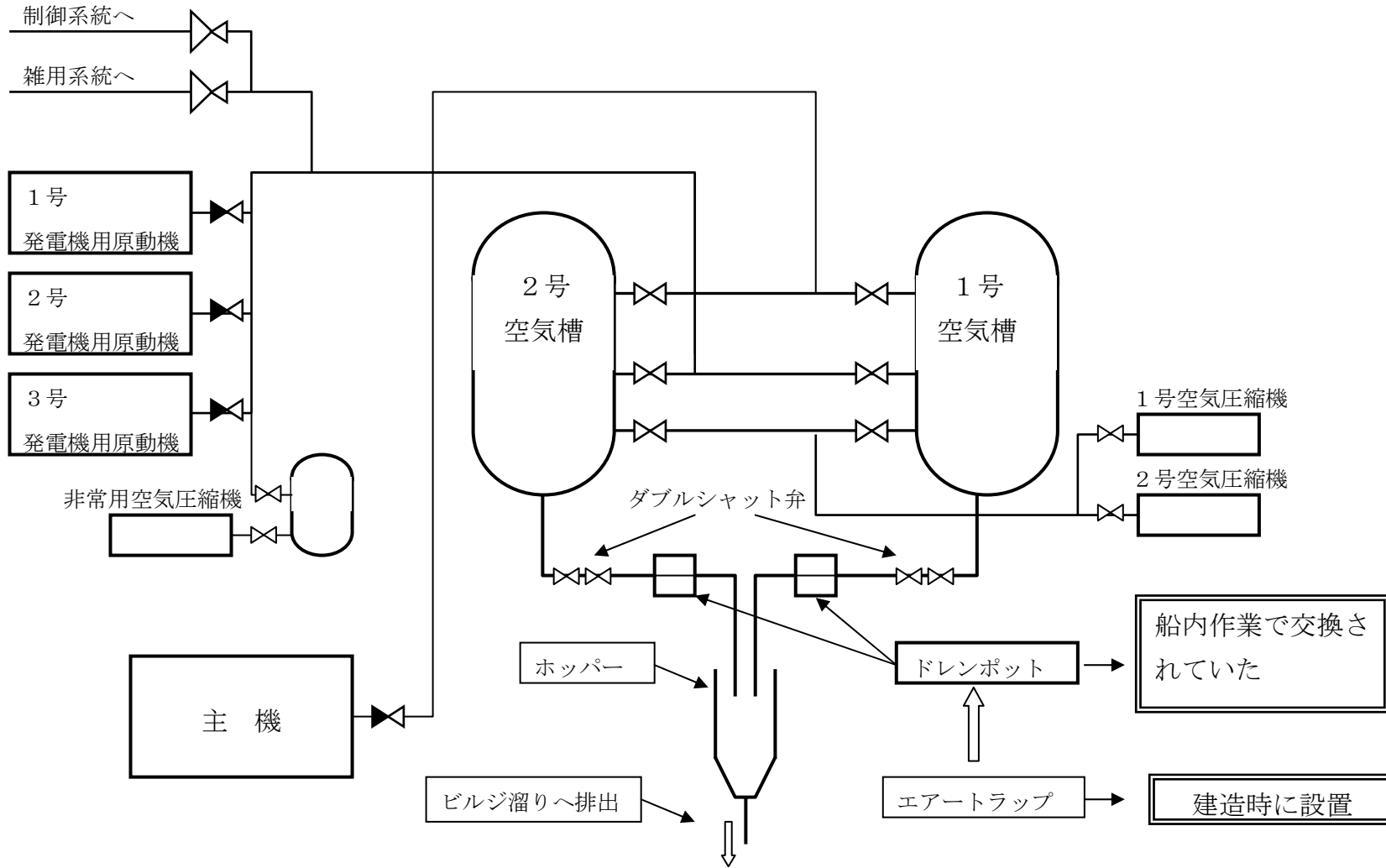
本事故後、本件管理会社は、再発防止の措置として、次の対策を講じ、管理船全船に周知した。

- (1) 船内で作製したドレンポットは撤去すること
- (2) 規格品が取り付けられている場合でも、予備品が入手困難なものは取り外すこと
- (3) 配管の模様替えなどは本件管理会社に申請し、本件管理会社で月例開催される安全環境適合会議において承認を得たのち作業を行うこと
- (4) 機関室内の危険箇所を抽出し、そのような箇所をなくすこと

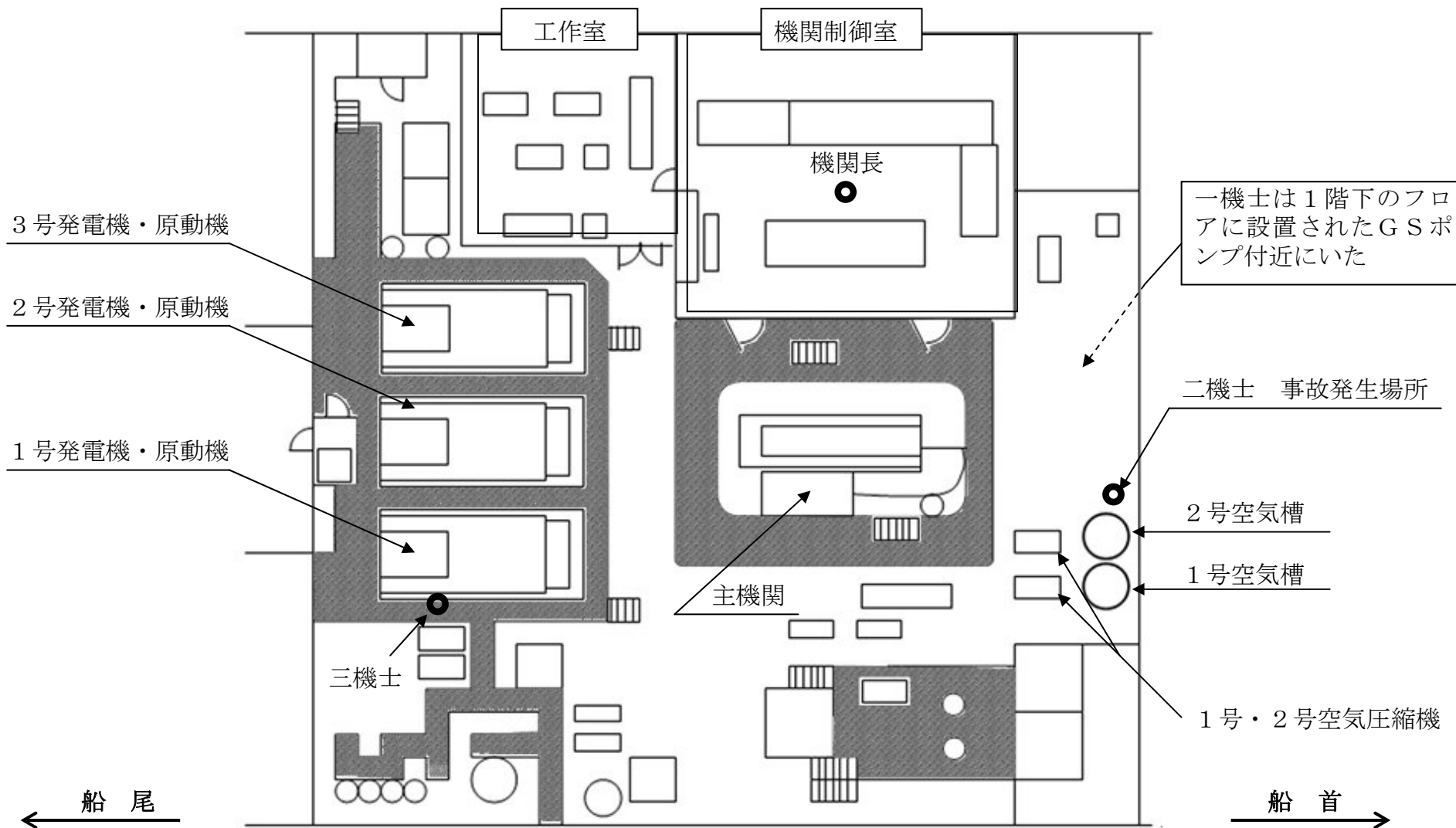
付図1 事故発生場所等図



付図2 空気系統・空気槽ドレン系統図



付図3 機関室配置図



付図4 ドレンポット構造図

