

昭和47年横審第78号

機船協照丸機関損傷事件

言渡年月日 昭和48年12月25日

審判庁 横浜地方海難審判庁（岡辺康荘、大沢三、谷垣和男、参審員佐久間忠男、栗田省吾）

理事官 重松達雄

損 害

補助ボイラ爆発、乗組員12名死亡、乗組員2名火傷

原 因

安全弁こう着のまま噴燃、要修理箇所の放任、部下監督不十分

主 文

本件機関損傷は、受審人Aの機関取扱に関する職務上の過失に因って発生したものである。

Aの乙種機関長の業務を2箇月停止する。

理 由

（事実）

船 種 船 名 機船協照丸

総 ト ン 数 2,501トン

機 関 の 種 類 過給機付2サイクル・6シリンダ・ディーゼル機関1個

出 力 2,200馬力

補 助 ボ イ ラ 重油専焼乾燃式D-5号丸ボイラ1個

制 限 圧 力 毎平方センチメートル9.5キログラム

受 審 人 A

職 名 機関長（前任者）

海 技 免 状 乙種機関長免状（内燃機関）

指定海難関係人 B

職 名 E株式会社社長

指定海難関係人 C

職 名 F所代表者

指定海難関係人 D

職 名 G所職員

事件発生の年月日時刻及び場所

昭和47年2月21日午後0時20分ごろ

茨城県鹿島港

一、協照丸の構造及び補助ボイラの性能等

協照丸は、昭和39年9月進水した船尾機関型貨物船であるが、船首楼と船尾楼との間に前方からそれぞれ長さ31.7メートル及び32.4メートルの2個の貨物倉があり、船尾楼の居住区は、上甲板、船尾楼甲板及びボート甲板の3層に分かれ、上甲板居住区は、中央の機関室囲壁を囲んで船首側中央に個室及び倉庫、右舷側に7室、左舷側中央の便所及び浴室をはさんでその中央に3室、同後方に2室の各個室があり、船尾側の空積は大小数区画の倉庫となっており、船尾楼甲板居住区は、機関室囲壁を囲んで船首側に4個の個室、右舷側は前方から個室、サロン及び士官食堂の順に、左舷側は前方から便所、浴室、個室及び部員食堂の順にそれぞれ配置され、船尾側は調理室となっており、又、ボート甲板居住区は、船橋直下に船横に5室が並べられて甲板部士官の個室及び娯楽室に充てられていた。

機関室中段の船尾側中央には、補助ボイラとして内径3,800ミリメートル(以下単にミリという。)鏡板間の長さ2,200ミリの丸ボイラが、そのたき口を船首側に向けてすえ付けられ、その要目は次のとおりであった。

受熱総面積 159.6平方メートル

ボイラ本体重量 約19トン

基準ボイラ水量 約14トン

最大蒸発量毎時 5,500キログラム

燃焼方式 強圧通風重油だき

重油消費量 毎時420キログラム

ファーンレス モリソン型コルゲートドファーンレス2個、内径各1,050ミリ

安全弁 複式高揚程安全弁

本ボイラは、本船建造に先立ってH株式会社において、日本海事協会の鋼船規則(昭和38年版)に基づいて製造され、ぎ装時に納入されたものであって、当時この種補助ボイラのプラントには自動給水加減器の設置を義務付けてなかったため、本船においては給水を自動的に加減する装置は全くなく、昭和39年版の同規則の改正によりこの種補助ボイラにも同自動給水加減装置の設置が規定されたが、本船には適用されなかった。

本ボイラの煙管巢は、中央及び左右対称の3群に分かれ、中央煙管巢は12列に配列されて30本の管支柱と80本の煙管とよりなり、左右の煙管巢はいずれも7列に配列されてそれぞれ22本の管支柱と48本の煙管とよりなり、中央煙管巢中心部の2本の管支柱のみは肉厚10ミリ外径70ミリで、他の管支柱はいずれも肉厚8ミリの同径管となっており、各煙管はすべて肉厚4ミリの同外径のもので、燃焼室側鏡板には肉厚4.5ミリ外径60ミリの水管28本が各煙管巢の上方、基準水面下145ミリ(水管の中心位置)のところから同鏡板下縁にかけて燃焼室の内壁に沿って湾曲して取り付けられ、前後の鏡板間には、径60ミリの主支柱が上部蒸気室に10本、同径の斜支柱が下部中央の両炉筒間に一本それぞれ取り付けられてあり、胴板は22ミリ厚のKP42A材(日本海事協会規格、以下同じ。)、両鏡板

の上半部は25ミリ厚、下半部は22ミリ厚のいずれも胴板と同材質のもので、全溶接構造となっていた。又、煙管巢の配列は格子状で左右100ミリ上下98ミリのピッチを有し、管支柱及び煙管の材質は共にKSTB33であって、煙管はその両端部を前後の鏡板に拡管して取り付け、燃焼室側管端部に縁曲げを施したのみであったが、管支柱はその船首端部を長さ70ミリにわたり外径を76ミリに太くしてあったうえ、両端部の外周にそれぞれ25.4ミリ当たり9山のウイトウオースねじを切り、これを船首側鏡板の取付穴からそう入して前後の鏡板に刻まれた雌ねじにねじ込んだ後、更に燃焼室側管端部に縁曲げを施して取り付けであった。

二、協照丸の来歴

E株式会社は、昭和42年指定海難関係人Bが代表取締役社長となって発足し、同44年4月正和丸と称していた本船をI株式会社から購入して協照丸と改称した時点において、他に2,300総トンの石灰石輸送船及び2,990総トンのラワン材輸送船各1隻を所有し、海上要員の約75人に対し、陸上の常勤職員は社長を含めて5人しかおらず、B指定海難関係人は、他の4人を専ら庶務及び経理関係の日常業務に当たらせ、自らは乙種一等航海士の免状を受有し、海上経験もかなりあったところから、海務関係の業務を一手に引き受けていたが、機関部の造修関係について知識、経験を有する者は1人もいなかった。

本船は、建造当初木材運搬船として就航させる目的であったため、補助ボイラは、揚錨機、機関室補機、暖房及び浴用の外に、甲板上の11台の揚貨機の動力源として、容量の大きいボイラを備え付けたものであるが、B指定海難関係人が本船を購入した際、専ら和歌山県和歌山から茨城県鹿島へのスラブ運搬に従事させる目的で船体の一部を改造して前示揚貨機の内7台を撤去し、ボイラに対しては、圧力毎平方センチメートル8.5キログラム（以下圧力の単位を単にキロと略称する。）で燃焼を停止し、給水ポンプ用蒸気管系に設けられたダイヤフラム弁により水位の制御を行う外、常用圧力の上限9キロ、下限19キロ及び常用水位の上・下限においてそれぞれ警報ブザーが作動する、いわゆる半自動制御装置を取り付けたうえ、同44年5月第2種中間検査を受け、これに合格して運航に従事していた。翌45年愛媛県今治市J株式会社において第1種中間検査を受けた際、B指定海難関係人は、前示半自動制御装置があるために、当直者がかま前を留守にするとか注意を怠ったりするようでは、かえって危険と思ひ、その効果に疑問をいだいたが、このことについて乗組員の意見を全く聞くことなく、単に修理担当の同造船所技師に諮ったのみで、同技師から特に積極的な反対意見がなかったところから、前年取り付けただけの同装置を独断で撤去した。このため、本船のカスケードタンクには、ウエヤースポンプと連動する自動給水加減器が取り付けなかった関係で、万一水位や圧力に異常を生じた場合は、当直者の計器確認によるより外にこれを察知する手段がなくなり、ボイラ当直者は水位保持や圧力維持について常に細心の注意を払わざるを得なくなった。受審人Aは、同年10月初めて本船に機関長として乗船したが、ボイラの現状把握に対する積極性が欠けていたため、船舶所有者に対してなんらの進言も行わず、当直者に対しては単に圧力を8キロ以上に上げないよう注意を与えたのみで、定期的な清缶剤の投入や駆水等の作業は、比較的ボイラ取扱に習熟していた一等機関士や特定の機関員にこれを放任し、従来の慣行に従ってボイラ取扱担当者の指定をも行わず、又、清水の補給については、水質の関係から主として和歌山に入港する度に機関室船尾側に両翼部にある容量それぞれ約20トンの2個の清水タンクに清水を補充しておき、専らボイラ水、炊事及び浴用に使用していたけれども、その消費量や保有

水量の点検についてほとんど関心を払うことなく機関の運転に従事し、翌46年1月後任機関長のKと交代していったん下船した。本船は、同年4月更に第2種中間検査受検のため入渠した際、従来の2台のウエヤースポンプに加えて電動給水ポンプ1台を増設したが、同ポンプにも給水量を自動的に調節する機能はなく、その発停操作は、ボイラ前面の柱に設けられた押しボタン式スイッチのみによってこれを行うもので停泊中は専ら同電動ポンプを使用して給水するようにした。又、同入渠期間中は、他に特記する程の改造・修理工事は行われず、K機関長立ち会いのうえ、安全弁の調整試験を行い、開弁圧力9.5キロ、閉弁圧力9.3キロであることを確認して同検査を終え、その後運航に従事していた。越えて同年6月A受審人は、K機関長と交代して再び本船に乗り組んだが、ボイラの取扱については依然関心が薄かったため、ボイラ使用上の注意について部下になんら適切な指示を行わないまま機関の運転に当たっていたところ、翌々8月4日ごろ鹿島から和歌山へ向け航行中、当直者がボイラの低水位に気づかないままバーナを点火し続けたため、同ボイラ燃焼室側鏡板の煙管巢上辺部が過熱して煙管取付部が弛緩し、同所からボイラ水が多量に漏えいするに至り、A受審人は、今まで全く漏水したことがないボイラが急激に漏えいするに至ったのであるから、極力その原因究明に努めるべきであったのに、これを怠っていたため、その原因がわからないまま、とりあえず給水ポンプをかけ放しにして給水したけれども、基準水位を保持することが困難となり、翌5月和歌山沖に投錨した直後、B指定海難関係人にこのことを報告して至急修理方を依頼した。これを知ったB指定海難関係人は、H株式会社に状況を説明して修理を依頼したところ、同社では下請け業者の指定海難関係人Cを本船に派遣するよう手配したが、海上がしげ模様のため通船を出すことができず、その間A受審人は、直ちに修理にかかれるよう、ボイラを消火した後表面駆水及び底部駆水によりボイラ水を約7トン排出したけれども、同消火後駆水開始までの時間を短縮し過ぎたため、燃焼室側煙管取付部の弛緩はますます増大するに至り、翌々7日しけがおさまってからC指定海難関係人が本船に到着して調査した時には、各煙管取付部がほとんど全面的に漏えいしており、なかには煙管が手で動かせる程弛緩しているものもあった。そこでC指定海難関係人は、とりあえず漏えいを止めるため、同行した工員と共に手動エキスパンダを使用して、燃焼室側煙管巢のほとんど全部及び船首側煙管巢の一部にそれぞれ拡管工事を施工し、A受審人に改めて来船する旨を告げて翌8日朝いったん離船した。同施工直後本船は揚錨のうえ和歌山下津港北区第2内港東側岸壁に着岸して荷役準備にかかるため、ボイラを騰気する必要を生じ、A受審人は、養缶水の残量約6トンをボイラに補給したが、なお基準水位に達しなかったので多少の海水を入れることは差し支えないものと考え、海水約1トンを加えて基準水面まで給水し、とりあえず約8キロまで騰気したうえ揚錨して同日午前11時本船を着岸し、直ちに積荷役を開始したが、その後駆水も内部掃除も行わなかったため、缶内の塩分がかなり濃縮されスケールのたい積が増加するに至った。越えて10日夕刻本船が積荷を終えて、再び港外に投錨した時、C指定海難関係人は、気動エキスパンダを持って改めて本船に到着し、前回応急工事を施した煙管や管支柱の拡管工事にかかったが、ボイラ内にはかなりのスケールがたい積しており、各煙管巢部の鏡板にはコーキングによって漏れ止めをしたこん跡が多数にあるのを認め、各管端の材質がかなり劣化しているものと判断したので、拡管工事後6キロの耐圧テストを行い一応常用圧力ぐらいまで騰気しても漏れないものと思い、A受審人に更に徹底的に締め直しをする必要がある旨を伝えて退船した。その後本船は、和歌山と鹿島との間を2航海したが、前示拡管工事が不十分であったため、依然ボイラの漏えいは止まらず、A受審人は、そのことをH株式会社に伝えて施工業者の変更を要請し、越えて19日同じ下請け業者であるG所から指定海難関係人Dが同所工員1人と共に和歌山

沖停泊中の本船に派遣されて同ボイラの再々修理工事に当たった。D指定海難関係人は、同工事にあたり、燃焼室側の鏡板にかなり固形物が付着しているのを認め、A受審人からボイラに海水を入れて使用した旨を聞いてその原因はうなずけたが、そのことについては何も意見は述べず、直ちに煙管巢の大部分について拡張工事を施し、水管の内右舷寄りの5本ばかりについてもボイラ内部からその上部取付口を拡張したうえ、9キロの耐圧テストを行い、いずれも水漏れがないことを確認して翌20日退船した。結局3回にわたる工事の結果、煙管、管支柱及び水管累計398本の拡張を行い、工費876,000円を支払ったが、A受審人もB指定海難関係人も共に同工事に伴う臨時検査の申請を行わなかった。その後A受審人は、前示煙管巢漏えい事故に対する原因探求を怠り、同事故の再発防止について部下に対し適切な指示を与えなかったばかりか、前記海水だきによる缶内スケールの増加についてなんらの考慮も払わなかったため内部掃除も行わないまま、機関の運転に従事し、翌47年2月18日和歌山において休暇のため、後任のL（乙種機関長免状受有）と交代して下船した。

三、本件発生の経過

昭和47年2月19日協照丸は、和歌山においてスラブ4,128トン積み、船長M（乙種船長免状受有）外13人が乗り組んで同日午前6時同港を発し、翌々21日午前2時30分鹿島に入港し、鹿島港北防波堤仮設燈柱から磁針方位ほぼ南西4分の3西3,000メートルばかりのN株式会社スラブバースに船首を南西方に向けて右舷側を係留したうえ、同3時ごろから揚げ荷役を開始したが、同日正午ごろ昼休みのためいったん荷役を中止し、機関員Oが正午から機関室の停泊当直に従事中、ボイラの水位及び圧力計の示度に注意することなくバーナを噴燃させ続けていたため、ボイラの水位が著しく低下したことに加えて圧力が制限圧力を越えて高騰し、後部鏡板が異常に過熱されるに至り、抗張力の低下により同板の一部にき裂を発生して危険な状態となったけれども、自動制御装置が撤去されていたことと安全弁が噴かなかったことのため同人は、ボイラの低水位と超過圧力とに気づかないでいたところ、同日午後0時20分ごろボイラの燃焼室側鏡板の一部が内圧により破口を生じて噴気し、ボイラ内の瞬時的な圧力平衡の破たんにより蒸気爆発を起こし、突然大音響を発生して船体後半部を爆破した。当時天候は晴で、風力6の北西風が吹き、海上はしけ模様であった。

甲板員Pは、同日午前8時停泊当直を終えて居室まわりの掃除等の雑用に従事し、同9時ごろ上甲板居住区右舷側の船首から6番目の自室に入り、下着上下を着用したまま就寝したが、同11時ごろ起きて暖房のきいた同室内で友人に手紙を書き、正午ごろそれを書き終えて更に寝台上に横になっているうち空腹を覚え、同日午後0時20分少し前食堂におもむくため、起き上がってサンダルをはき室内船尾側の壁にかけてあったズボンを取ろうとして身体を伸ばした瞬間爆発が起こって同人は自室ごと吹き飛ばされ、気がついたときは海中におり、脊椎が痛くて身体の自由がきかなくなっていたが、必死になって浮上したところ、本船から北東方約30メートル隔てたところに船首を北東に向け、雑品岸壁に係留していた健勝丸の船尾付近にいたことがわかり、直ちに同船の乗組員に助け上げられて鹿島町Q病院に収容された。

又、機関員Rは、同日午後4時から同8時まで機関室の停泊当直に立ったが、当直中上ボイラについては特に異状はなく、圧力をおおむね8キロ内外に維持して同8時次直の機関員Sと交代した後、上甲板居住区左舷側の船首から3番目の自室に入り、そのまま同室内左舷側の寝台上に上がり頭を船首方に向けて熟睡中、前示のとおり爆発が起こり、同人が気づいたときは床及び寝台を残して壁から上方が全部

吹き飛んでおり、同人は床上に投げ出されていたので、無我夢中で起き上がり素足のまま破片が散乱する上甲板上を右舷側の方へ歩き出したところ、陸上からロープが投げられ、これにすがって岸壁に上がり、直ちに前示Q病院に収容された。

一方、対岸の事務所において昼休みのため休息中のT株式会社鹿島営業所長Uは、爆音に驚き窓越しにスラブバースの方を振り向いたところ、協照丸が水蒸気による白煙に包まれており、同白煙の中を突き抜けて船体の破片が周囲に四散し、やがて白煙が風に吹き流されて、船尾構造物の大半を滅失した異様な船体の協照丸がその全ぼうを現し、乗組員の死傷もかなり多いものと直感したので、その状況を鹿島海上保安署に急報した。報告を受けた同保安署長Vは、地先のN株式会社従業員らの協力を得て直ちに救助活動を開始し、P甲板員及びR機関員は前示のとおり助け出されたが、岸壁上において甲板員W外1人が遺体となって発見され、本船は同日午後0時24分ごろ浸水によりその場に沈没した。その後も救助活動が続行されたが、翌3月8日までにW甲板員を含む12人がそれぞれ記載の順に遺体となって発見され、検視の結果、いずれも爆発により即死したものと診断された。

甲板員	W	係留地点付近の岸壁上で収容
甲板員	X	係留地点付近の岸壁上で収容
甲板員	Y	船尾甲板上で収容
機関長	L	協照丸と係留岸壁との間の海底から収容
一等機関士	Z	2番船倉から収容
司厨長	AA	2番船倉から収容
船長	M	船長室から収容
一等航海士	AB	2番船倉から収容
機関員	S	2番船倉と岸壁との間の海底から収容
機関員	AC	船橋下の自室から収容
甲板長	AD	サロンとデッキ下天井との間から収容
機関員	AE	下半身は機関室、片腕は主機付近、上半身は機関室と2番船倉に分断、頭部は2番船倉からそれぞれ収容

又、Q病院に収容されたP甲板員は、全身打撲、胸椎骨折、鼓膜破裂並びに顔面、腕及び限球結膜表面の各火傷等の、同R機関員は、顔面、腕及び下腿の各火傷、下腿部打撲並びに鼓膜穿孔等のそれぞれ重傷を負ったことが診断された。本船は、その後引き揚げられて調査の結果、船体後半部は、船橋から後方の甲板上構造物がほとんど吹き飛ばされて原形をとどめず、フレーム27番の位置にある2番船倉と機関室との間の横置隔壁の左舷寄りの部分が、機関室中段の高さを境として、その上部が高さ約3.2メートル最大幅約7.5メートルにわたり、又、同下部が高さ約2.3メートル最大幅約2.7メートルにわたりそれぞれ破口を生じてその上下の破片が2番船倉内に上下の開き戸のように折れ込んでおり、船側外板は、フレーム22番の上甲板付近からフレーム10番の船底外板付近にかけて階段状に裂開し、その後方の船体が爆破飛散していた。一方、ボイラについては、燃焼室側鏡板が、ほぼ水管の上部取付列から、同管下部取付穴を結ぶ曲線にかけて同板全面の約70パーセントにわたって引きちぎられ、これに2本の炉筒が、いずれもその前端付近で本体から切り離されたうえ上下左右から完全に押しつぶされた状態で取り付いたまま船尾方の海底から引き揚げられ、残りのボイラ本体は、気水噴出の反動により前方へ移動し、機関室船首側に激突して前示のとおり2番船倉との間の隔壁を突き破っており、

前部鏡板の右舷側煙管巢は、ほぼその右舷及び上下端の各煙管列に沿って裂開し、同巢の中央側煙管列を軸として鏡板外方にこれとほぼ直角に扉状に開き、ボイラ胴板の頂部付近に取り付けてあった主・補塞止弁、安全弁等の主要弁は、いずれもボイラ取付部のバルブケーシングフランジ基部のくびれた部位において一様に横断切損しており、安全弁は、そのケーシングと共にほぼ完全な形のまま、スラブバーズの北東側岸壁から約17メートル同南東側岸壁から約10メートル入った地上に落下しているのが発見され、飛散した船体の一部は、付近にあった移動クレーンの地上約25メートルの高さの横げたの上にも載っていた。損傷ボイラ及び安全弁については、その後海上保安庁、日本海事協会等による検証が行われ、ボイラの一部部材から試験片が採取された後、船体・機関共廃棄処分されたが、残存する管支柱の後端部の雄ねじ及び後部鏡板の同管取付穴の雌ねじの各状況を調査したところ、雄ねじのねじ山付近は曲損して軸方向に多少の伸縮が認められ、各ねじの峰の部分がほとんどつぶれており、雌ねじのみぞの一部には、雄ねじの山の一部分が破損して付着しているものがあるのが認められた。尚、引き揚げられた蒸気管系から、主塞止弁は開弁され、補助塞止弁は微開状態となっていたことが判明した。

四、本件に関連する鑑定及び研究資料等

(一) 協照丸爆発事故の原因及び爆発力に関する鑑定 横浜国立大学教授 A F

標題について A F 教授は、海上保安庁の依頼により鑑定書を作成し提出したが、その内容について当廷において概要次のとおり供述した。

1 鑑定結論にいたる認定資料

- (1) 後部鏡板上部の破断面に著しいラミネーションが認められた。
- (2) 後部鏡板の破面はおおむね良好な靱性破面を呈している。
- (3) 同鏡板は大体圧延方向に割れている。
- (4) 同鏡板から採取した資料につきサルファプリントを行った結果、清浄度は極めて不良で硫化物系及び酸化物系非金属介在物が認められた。
- (5) 管支柱の後端に縁曲げを施工しなかったものがある疑が持たれる。
- (6) 後部鏡板の管支柱穴の雌ねじの山の高さが低くなっていたが、ねじ山の先端が剪断破壊された傾向は認められない。
- (7) 顕微鏡写真により、同雌ねじの山の先端が拡管器で押しつぶされて低くなったものでないことは立証される。
- (8) 拡管率はかなり過大となっている。
- (9) 管支柱の全長は約70パーセントのものが設計値より短かった。
- (10) 管支柱の雄ねじの山がわずかに剪断変形を受けたものがあつたが、これは僅少であり、大部分は爆発直前に雄ねじが雌ねじの谷から外れていたものと思われる。
- (11) 鏡板の管支柱の穴の雌ねじがすべて浅く、はなはだしいのはねじのみぞのない部分があつたので、拡管施工の際、雄ねじの山が雌ねじの山にせり上がっていたものがあつたと認められる。
- (12) 計算上管支柱の固着力は、正規に雄ねじと雌ねじとが嵌合しているときは、25ミリの鏡板部では48ないし60トンの耐力を有するが、前記のようなせり上がりがある場合は2.5ないし7.5トンの耐力しか得られない。
- (13) 安全弁の弁ガイドと弁ホルダ（共に材質は黄銅）との間が固着して水圧30キロ以上かけたが

開弁せず、分解して両者の間に荷重4トン（蒸気圧107キロに相当）をかけたが分離できなかった。

- (14) 安全弁腐食の原因については、同弁の弁ホルダの内側に鉄さびの外に塩の結晶が認められ、これは機関室内に開口するエスケープパイプから塩分を含む空気が逆に流入したのか、又はボイラに使用した海水が安全弁内に入るかしたものであって同塩により腐食を起こしたものと認められる。
- (15) 蒸気爆発の小規模の実験結果によれば、爆発圧力に気液平衡が破たんした直後の極めて短い時間即ち100分の3ないし6秒後に当初のボイラ圧力の2ないし3倍に達する。実際の爆発状況は実験とは必ずしも一致しないが、これから類推しても常用圧力9.5キロの時蒸気爆発が起これば、31.5キロ（絶対圧力）か、あるいはそれ以上の高い圧力が発生したものである。
- (16) 右舷側火炉の焚口付近の破壊が左舷側火炉に比べてより激しく、右舷側火炉の内程には約1メートル×2メートルの面積にわたり、油の付着による黒ずんだ跡が観取されるところから事故当時右舷側のバーナだけが点火されていたものと認められる。
- (17) 気圧9.5キロで使用中のボイラが爆発して14トンのボイラ水が常用沸点まで開放されたとすれば約2トンの水が蒸発し、これが機関室内に充満する場合、機関室容積を240立方メートルとして近似的に計算すれば、約15キロの圧力となる。このような圧力が機関室天井にかかれれば船橋等の甲板上構造物は吹き飛ばされる。

2 原因推定

一般にボイラが、その内圧によって破壊を起こすには次の2つの場合が考えられる。

- (1) ボイラ本体の材料の劣化による耐圧力の減少又は安全弁の閉塞等による内圧の上昇によりボイラ本体の最も脆弱な箇所から破壊が起こり、熱水又は水蒸気を噴出する。
- (2) ボイラ本体の一部の破壊により水蒸気が噴出し、そのためにボイラ内の熱水の表面にかかる圧力が急激に低下して蒸気圧平衡が失われると熱水は過熱液体となり急激に沸とうして気化するため、2次的に蒸気爆発を起こす。

本件のような破壊の激しさから考えると、右の2種の破壊現象が連鎖的に相ついで誘発されたものと推定され、その経過は、次の順序をたどって起こったものと推定する。

- (1) まず最初にボイラ本体の後部鏡板において一部の管支柱が固着力を失い離脱した。
- (2) 内圧のため後部鏡板は外方へ膨出し、このため他の管支柱及び多数の煙管が離脱を起こし、後部鏡板上部の水管付近にき裂を生じた。
- (3) 管支柱及び煙管離脱後の後部鏡板における開口部並びにその上部のき裂による開口部を通して激しく噴出し、缶内気室部の圧力が急激に降下した。
- (4) 缶水表面の蒸気圧力の降下と共に缶内の熱水は蒸気圧平衡を失い不安定な過熱状態となったため、直ちに急激な沸とうを始め熱水を飛散させてその衝激による第2次の圧力を発生し、いわゆる蒸気爆発を起こした。
- (5) 蒸気爆発に由来する衝撃圧のためボイラ内の炉筒は座屈、圧潰を起こし、ボイラ本体は変形し、後部鏡板は炉筒を付着したまま本体から切断され、船尾方に飛び去った。前部鏡板の右舷部分の破壊もこのときに起こったものである。
- (6) 切断された後部鏡板が後方へ飛翔すると同時に缶内の熱水は船尾方向へ激しく噴出し、その反

動によってボイラ本体は船首方向へ移動して主機関に激突しその位置で停止した。然し切断された後部鏡板は船尾船体の一部と共に海中に飛び去った。

(7) 以上述べた蒸気爆発の結果、ボイラ内にあった10トン以上の熱水は後方への運動量を得て船尾方向へ噴出し、船尾部分に激突して舷側を破壊した。更に機関室内の圧力上昇のため船尾側から甲板上の船橋を上方に押し上げ、船首側に移動させ、又ボイラ上部周辺にあった船員室を破壊して四散させた。

(8) このため、船尾はプロペラに至るまで大きく破壊して飛散し、船体はその場に沈没した。

(9) 乗組員14人は、この爆発による船体の破壊と爆風のため大部分は船外に投げ出され、海中に落下した2人を除く12人が即死した。内1機関員は爆発したボイラの船首焚口付近にいたものと推定され、直接ボイラの破片を身体に受けて死亡した。

尚、本件の最初の契機となった管支柱の固着力の劣化については、その原因として次の要因を挙げることができる。

(1) ボイラ製作に際して管支柱のねじ切り工作が不完全であった。すなわち、雌ねじの谷の切り方が浅く固着力が小さかった。

(2) 漏水修理の目的でエキスパンダ処置を行ったため、ねじの乗り上げが起き、ますます管支柱と後部鏡板との固着力が減速した。

(3) 安全弁の腐食により弁のこう着をおこし、そのため缶内圧力が常用圧力を超えた。但し、この圧力上昇がなくても、(1)、(2)の要因だけで管支柱の離脱は起こり得るので、この圧力上昇のみをもって本件の原因であると断定することはできない。

(二) ボイラ水流出事故時の機関室内圧力 船舶技術研究所技官AH、AI

本件発生後、船舶技術研究所においても、その原因について調査、研究が行われ、昭和47年11月AH、AI両技官により、ボイラ水流出事故を起こした場合の機関室内圧力の解析及び計算例が発表されたが、その大要は次のとおりである。

ボイラがなんらかの事故により破口を生じてその内容物であるボイラ水と蒸気とが容積Vの機関室内に流れ出した場合、その条件は水冷却型原子炉の冷却水が流出したときの格納容器内圧と原理的には同じであるとして、機関室内圧力Pと流体内部エネルギーUについての次の基礎方程式を導いた。

$$\frac{dU}{dt} = i_1 G_1 - i_2 G_2 + Q - \frac{P}{J} \frac{dV}{ds}$$

但し、i…エンタルピ、G…流量、Q…外部からの流入熱量、

添字1…ボイラ→機関室への流路

添字2…機関室→大気への流路

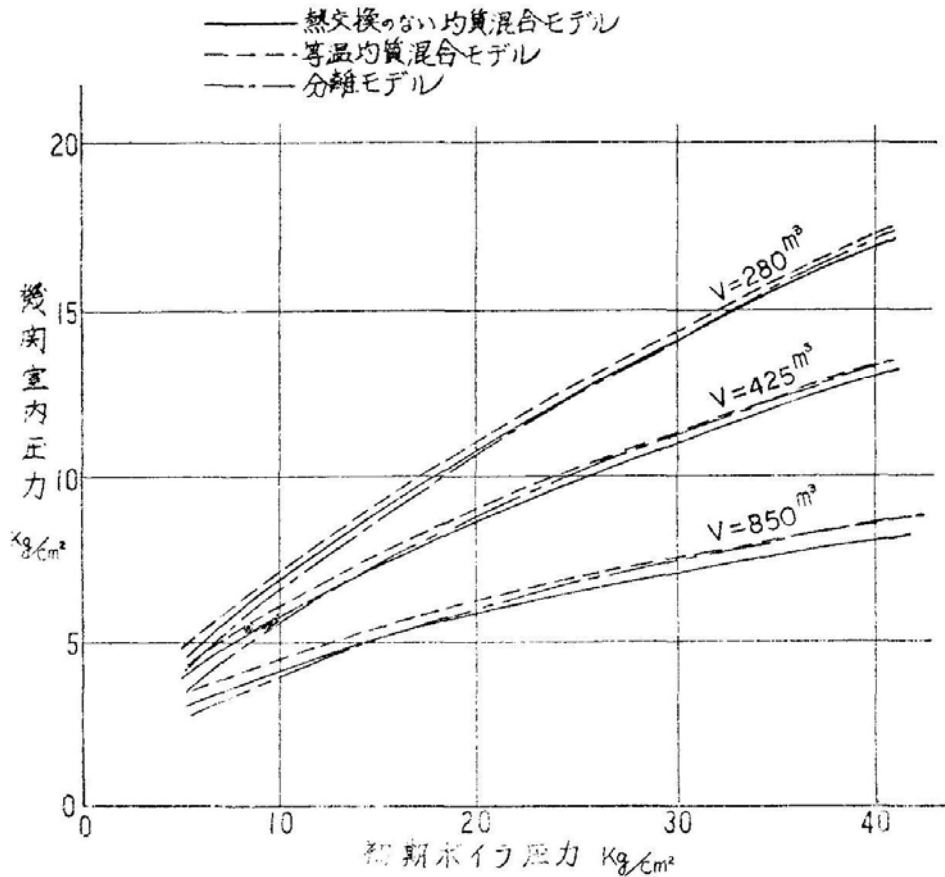
をそれぞれ示す

この基礎方程式により、機関室内の混合条件

1. 空気と蒸気とが均質に混合し、両者の間に熱交換がない場合
2. 同均質混合の際熱交換が行われ、両者が等温となった場合
3. 空気と蒸気とが混合せず、蒸気が空気を圧縮する場合

の3つのモデルについて解析した結果をグラフで示すと第1図のとおりとなる。

次1図 各モデルにおける初期ボイラ圧力と
機関室内圧力との関係図



これによると3条件による顕著な差異は認められず、機関室容積 V の大小がかなり支配的に P に影響を与えるが、初期ボイラ圧力が常用圧力の10キロ前後である場合、 P は2.5ないし5キロ程度の間にはばらつくに過ぎず、初期ボイラ圧力が30キロ以上となると、 V の影響がかなり顕著になってくる。尚、本件発生直後の条件は、3.に近いものと考えられ、協照丸機関室容積の概算値は、829立方メートルであるが、機関室内の機器類、諸タンク及び諸管系の占有体積の総和を同容積の約20パーセントとみなすときは、同室の空積は約663立方メートルとなる。

(三) 压力容器における蒸気爆発現象について 横浜国立大学教授AF

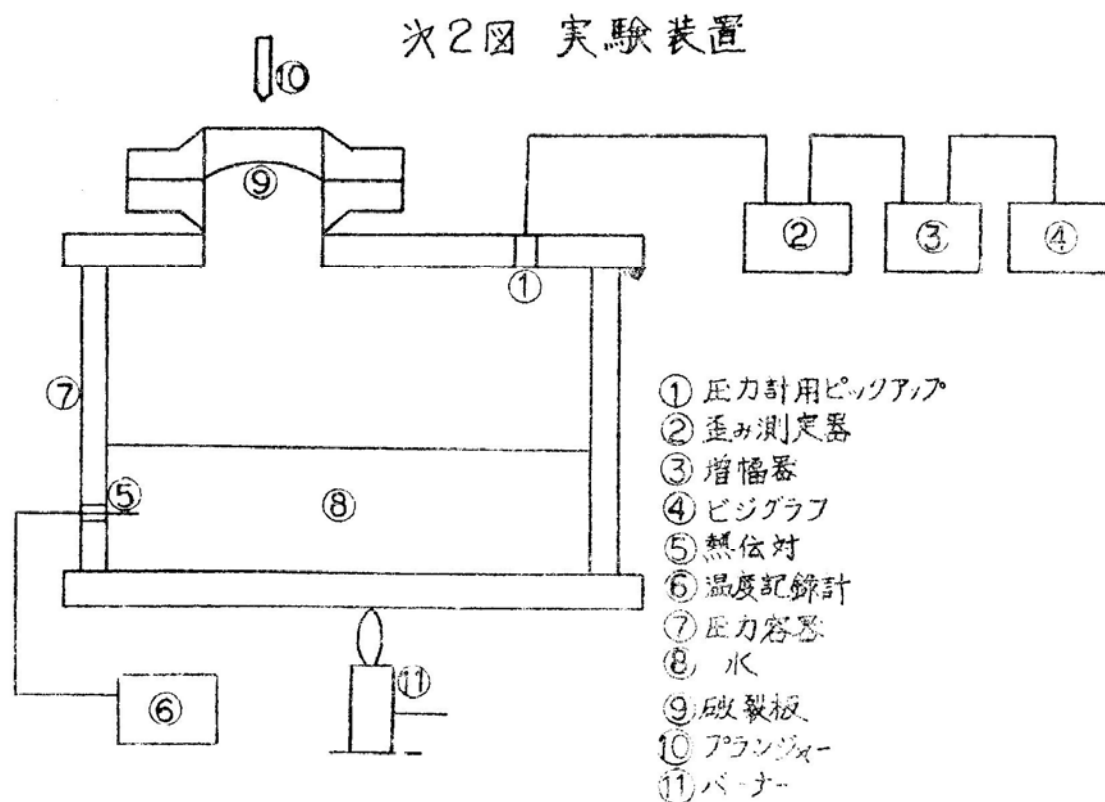
AF教授は、昭和34年から同39年にかけて国内で発生したS・Kオイルによるボイラの爆発事件、酸化プロピレン中間タンクの爆発事故及びL・P・Gタンクローリーの破裂事故について調査したところ、いずれもその常用圧力に比して破壊状況が激烈な点に注目し、自ら実験装置を作って実験した結果、これらはいずれも蒸気爆発によってその破壊現象を解明できるとの結論を得たので、蒸気爆発という現象について、同46年から48年にかけて、日本学術会議主催安全工学シンポジウム、太平洋化学工業会議、安全工学協会主催研究発表会及び自著「化学安全工学」において所論を発表してきたが、その内容は大要次のとおりである。

1. 蒸気爆発とは、一般に常用沸点以上に過熱された流体が、急速に蒸発するために体積を急速に増加し、残った液体をこの発生ガスのために飛散させ、その衝撃によって一時的に大きい圧力を発生する現象である。蒸気爆発には着火源となるエネルギーを必要とせず、爆発エネルギーは蒸気平衡の

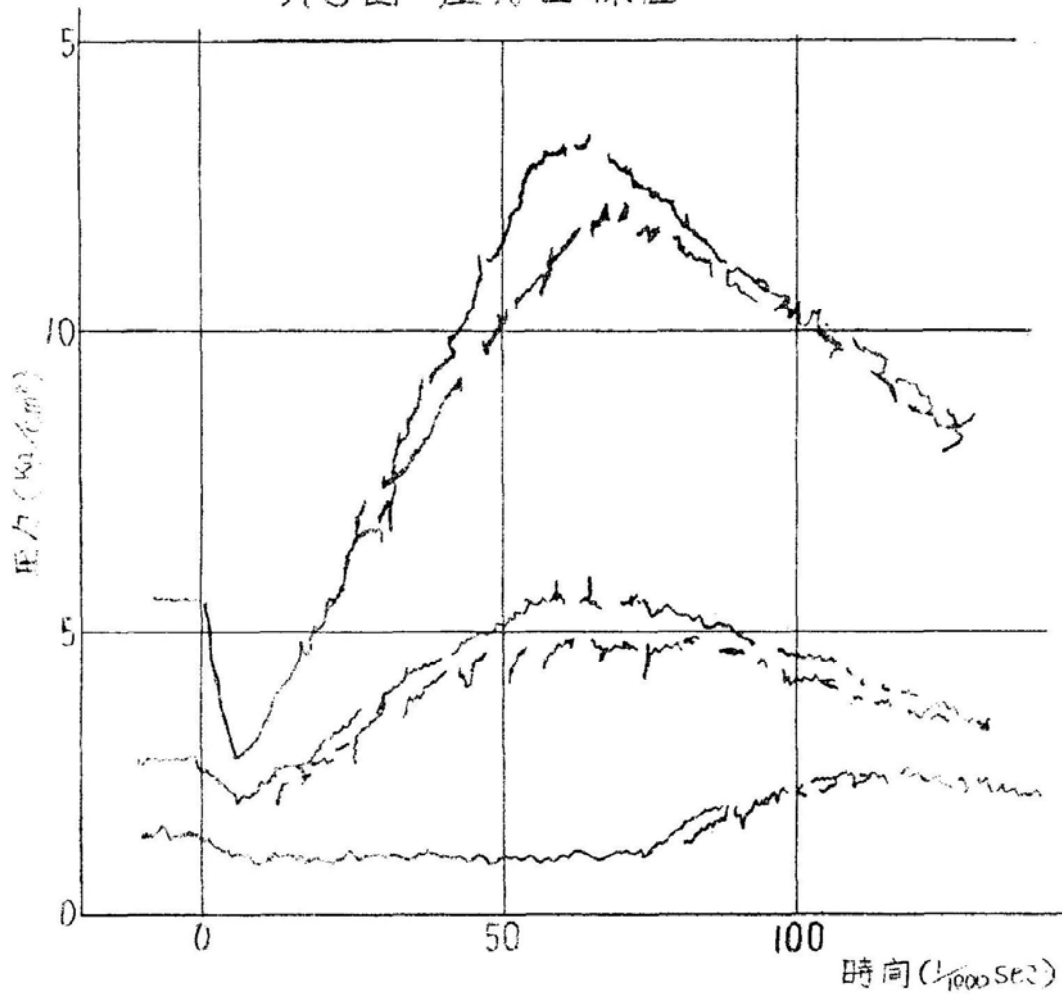
破れが契機となって放出される液体の潜熱である。

2. 水の蒸気爆発についての実験

第2図に示すとおり、破裂板のついた実験水槽に水を入れ、これを外部から加熱して100度以上とし、一定の気圧に達したとき破裂板を破り、構内の圧力変化を読み取るもので破裂板の噴出面積が十分に大きいときは、グラフに示すような圧力曲線が得られる。これによると、破裂板が作動した瞬間圧力は一時急降下するが、1,000分の60秒ばかり後に当初の圧力2ないし3倍のピーク圧力が出現し、その後漸減して平衡状態となることがわかった。本実験は、液面に対する破裂板面積の比率が125分の1から16分の1までの間で行われたが、この比率が大きくなる程爆発が激しくなる傾向が認められ、125分の1以下では蒸気爆発現象は起こらなくなる。



次3図 圧力曲線図



3. 前示グラフの曲線は、小規模の実験装置による測定結果を示すものであって、これをもって実際の圧力容器における爆発現象を定量的に推論することはできないが、破裂板の位置が液面上にあつて同液面に接近する程、又、同板の面積が大きい程蒸気爆発現象が激しくなる傾向があることは、定性的に証明される。

4. 蒸気爆発は、液体の種類には関係なく起こり得るが、水の場合が最も体積増加率が大きく気圧10キロの飽和状態で圧力平衡が破れた場合は、約254倍の体積に増加することが理論的に立証される、この蒸気爆発の機構は、船用ボイラの破裂現象にもこれを適用することができる。

(四) ボイラ損傷調査委員会

運輸省においては、本件事故が過去に前例のない事故であることにかんがみ、船舶局内にボイラ損傷調査委員会を設置し、主として、学識経験者、船舶検査官、船舶技術研究所及び日本海事協会の職員が委員となって原因追求に当たった結果、昭和48年3月大要次のような報告書が作成された。

1. ボイラの変形計測及び破面観測を広範囲に行ったが、ボイラ胴板の変形量によりボイラ破裂直前の圧力を計算した結果、同圧力の推定値は約29キロとなる。
2. 火炉を直円筒と仮定した場合の圧潰圧力の算定値は43キロである。
3. 管支柱のねじ山が剪断破壊するときの荷重により管支柱に生ずる応力は、一般のメートルねじと

して計算すると、外径76ミリ鏡板の板厚22ミリのところで36.5kg/mm²（外径70ミリ同板厚22ミリのところで33.5kg/mm²）となる。

4. 有限要素法による、ボイラの応力解析を行った結果、鏡板中心に近い火炉周辺の管支柱に比較的高い応力が認められる。仮に、同所付近の管支柱の一部が荷重を支持しなくなったときは、火炉周辺近傍の面外変形が極端に増加する。
5. ボイラ破断面を観察した結果、前部鏡板左側（右舷側）火炉の破面にはほとんど断面収縮が認められず、特に同火炉の右上部の破面が最も剪断破面が小さかった点及び左側火炉の軸方向の永久伸びが右側火炉のそれと比べて小さかった点から、左側火炉と前鏡板との接合部がボイラ破壊の起点となったものと推定される。
6. 高揚程安全弁は、機能的には卓越しているが、弁ガイドと弁ホルダとの間がこう着しやすく、統計的にも故障が絶無であるとは言えない。本件の場合、両者の間に鉄さびが多量に詰まっていた。
7. ボイラ水流出後の機関室内圧力は、同室内空気との混合条件により多少相異なるが、その相異は結果にさほど影響を与えず、むしろ機関室容積の大小が大きく影響する。
8. 船尾船体の破壊については、機関室内に流出したボイラ水が同室内で膨張した結果、内圧により周囲の船体を吹き飛ばしたものとして破壊エネルギーの算定を行ったが、同エネルギーは、ボイラ水の有する全エネルギーの約2割に過ぎず、同全エネルギーは船体を破壊するには十分のエネルギーであったものと思料される。
9. 機関室周囲の船体を構成する部材が一挙に破壊したのとして、そのときの圧力を算定すると、フレーム番号7番の隔壁から船尾が離断したものとすれば、同圧力は540キロとなり、これはかなり高圧力となるが、これは仮定条件に問題があり、推定圧力としては適当でない。フレーム番号27番の隔壁の損傷模様から機関室内に圧力が再分布されたことによるものとして計算すると、同圧力は10ないし15キロとなったものと推定される。
10. 補助ボイラの缶水処理は、主ボイラに比して安易に考えられやすいが、かえって危険な面があるので細心の注意が必要である。ボイラに海水を混入した事実など遺憾である。
11. 再三にわたり拡張修理工事を行ったにもかかわらず、使用者が検査申請をしなかったこと及びねじ嵌合部の工作不良や修理加工について不審な点があることなどについては、船舶安全法による指導を強化する必要がある。

(五) 協照丸補助ボイラ鋼材の青熱領域における特性について 横浜国立大学教授 A J

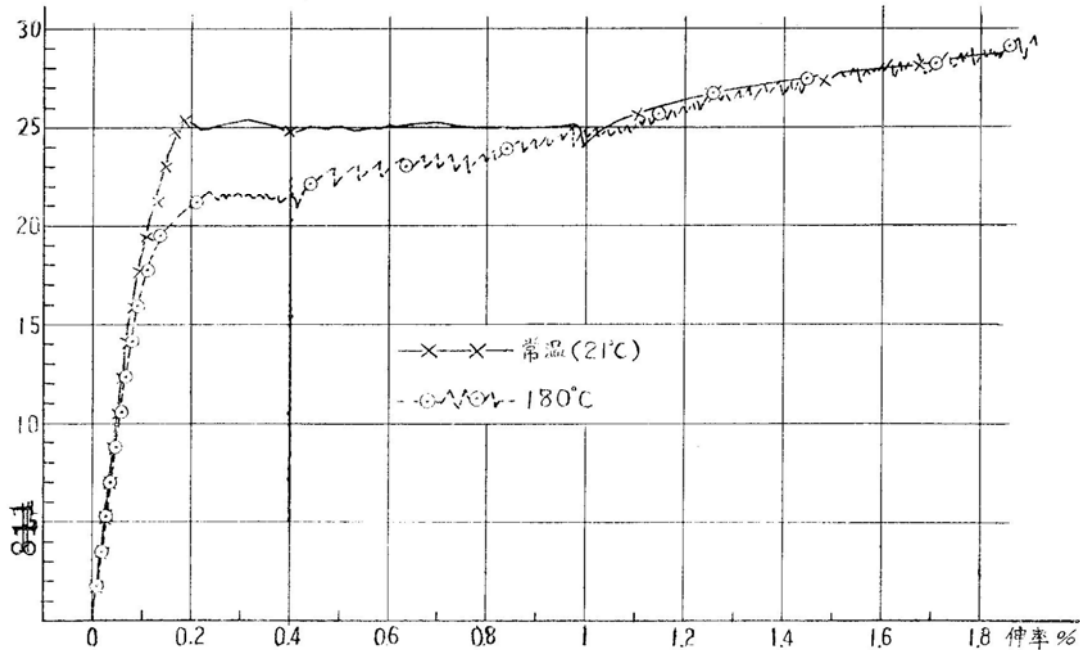
当海難審判庁は、本船のボイラ鏡板から採取したK P 4 2 A鋼材について、青熱領域付近における脆性の影響はどのように現れるかを知るため、A J 教授に材料試験による鑑定を依頼したところ大要次のような結論を得た。

1. 抗張力は、常温から180度前後までわずかに低下するが、その後は青熱脆性の影響が現れて漸増し、300度付近で最大値をとり、それ以上の高温になると急落して412度を越えると当初の強度の8割以下に低下する。
2. 降伏点は、おおむね温度の上昇に反比例して漸落するが、降伏現象の幅もそれに伴って減少し、300度以上となるとほとんどその判別がつかなくなる。
3. 伸びは240度で最小となり、常温の場合の約7割以下に低下する。
4. 絞りの最小は240ないし300度付近で現れ、400度を越えると常温の場合よりかえって増

加する。

5. 常温と180度との観測結果から、試験機のかみによる遊びの誤差を補正したうえ、伸び率2%までの部分を拡大して比較すると、第4図のとおりとなり、降伏点に至るまではかなり顕著な差を生ずるが、伸び率1%付近で両曲線が接近するため1%のところでは余り差が現れない。
6. 本実験による観測の結果、一般の鋼材について考えられる青熱脆性の影響が本ボイラの鋼材についてもかなり明瞭に現れることがわかった。

※4図 常温及び180°Cにおける伸率0~2%範囲の比較図



結 論

一、原因判断に至る考察

本件機関損傷は、発生部位、爆発の態様及び損傷模様から考えて、協照丸の補助ボイラとして使用していた乾燃式丸ボイラの故障により発生したことは明らかであって、基準水量が約1.4トンで常用圧力がわずか8キロ前後の比較的低压小型のボイラであったにもかかわらず、爆発現象により乗組員14人の内12人が即死し、残る2人が重傷を負い、船体も大破沈没する程の惨害を蒙ったことは、極めて異例に属する事件である。

しかして爆発現象を、事件発生の際及び損傷模様から勘案するとき、ボイラの破裂と船体の破断とがほとんど同時に発生したものと考えるよりも、先ず、ボイラの破裂が起こり、次いでこれが原因となって船尾船体の破断がこれに続いたものとする方が至当と認められるので、これを次の2段階に分けて検討する。

(一) ボイラの破裂について

ボイラの破裂は、最終的にはボイラ内に発生した異常な高圧力によるものであることは、破損模様の激烈さから考えて異論のないところであるが、その異常な高圧力を発生した原因として、

1. ボイラが蒸気消費を伴わないまま、バーナを噴燃し続けたことにより、制限圧力をはるかに超過するようになったが、安全弁故障のため同弁が作動せず、なお、そのまま噴燃を続けたため制限圧

力の約3倍にも達する過大圧力となり、内圧により缶体が破裂するに至った。

2. ボイラの使用圧力はほぼ制限圧力の前後であったが、後部鏡板煙管巢部の工作不良に基因して同鏡板に破口を生じ、同破口から蒸気が噴出した際の缶内圧力平衡の破たんが契機となって巨大なピーク圧力を現出し、いわゆる蒸気爆発現象によりボイラが一挙に破裂した。

の2つの考え方があるが、前者については、

- a. ボイラ胴板の永久伸び量から計算によって求めたボイラ破裂時の圧力値は、青熱脆性の影響を考慮すれば約30キロとなり、破裂時の前後鏡板の膨出に伴う張力の合力が缶胴部に及ぼす影響を考慮する時は更に同圧力値は高くなるものと思料されるが、本ボイラは約半年前の拡張修理工事において水圧約9キロで辛うじて漏水を止め得た状況であったところから、このような制限圧力をはるかに超過するまで静圧的に昇圧させることは不可能である点
- b. 当直者が交代してから本件発生まで約20分しか経過しておらず、その間に常用圧力から約3倍の圧力まで昇圧するには、当時右舷側火炉のバーナのみしか使用していなかった同ボイラの噴燃能力から言って時間的に無理がある点
- c. 漸増的に圧力を昇騰させていった場合、先ずボイラの構造上最も強度の弱い部位が座屈を起こし、次いで破口を生成し、同口から気水を噴出させて内圧を緩和させる方向に働くため、本件のように一挙に破裂するためには各部の強度がほぼ均一であることが必要条件となるが、強度計算書の許容応力によると最低10.19キロから最高35.36キロまで構造部位による変動幅がはなはだしく大きい点
- d. たとえ制限気圧の約3倍近く昇圧し得たとしても、当時主塞止弁は開弁していたのであるから、設計条件として約10キロの圧力で設計されていた主蒸気管系のパッキンが吹くなり、管継ぎ手等からの蒸気の噴出事故が発生するはずであったのに、それらの事実が認められなかった点

からこの考え方は採用し難く、一方、後者については、当初の破口の発生原因には異論があるが、

- a. ボイラ胴板の永久伸び量から推定される破裂時の内圧と、安全弁がこう着したとして常識的に考えられる静的な超過圧力の限度との間にはなはだしい懸隔がある点
- b. 炉筒の圧潰模様は、一般の炉筒頂部の陥没事故と異なり、左右両筒共上方及び両舷側から強烈な圧力を受けて同筒内壁がほとんど互いに接着するばかりとなっており、各筒が一挙に圧潰した様相を呈している点
- c. 後部鏡板の破裂が広範囲にわたっており、衝撃的な圧力により極めて短時間の間に裂開が進行したものと見なされる点
- d. 缶付諸弁がいずれも同様な破断模様を示しているところから、これらが一挙に破断したものと認められ、特に安全弁の飛散方向と落下位置とから勘案すれば、同弁はボイラ本体が破裂して船首方向に走行する以前に破断したものと認められる点を総合的に考慮すれば、ボイラ破裂の直接原因は、ボイラ内に醸成された圧力よりも遥かに巨大な圧力によって一挙に破壊したとする蒸気爆発によるものと解する外なく、この場合、ピーク圧力の持続時間が問題となるが、破口発生時の環境条件によっては、ある程度持続時間が長くなり得ることを実験結果が示唆しており、保有エネルギーとしては、これらの破壊を裏付けるのに十分な余裕があったものと認められる。

従って、缶付諸弁の破断及び火炉の圧潰は、この段階に起こったものであり、左右両火炉の破断模様に若干の相異があるのは、当時右舷火炉のバーナのみが点火されていたので、その温度条件の差異

が破断面に現われたものと解される。

(二) 船尾船体の破断について

ボイラの破裂によって後部鏡板が大きく裂開し同開口部から気水が噴出した反動により、ボイラ本体が船首方へ走行し、27番フレームの位置にある横置隔壁に激突して同所にとどまった点は、船体引揚後の損傷検査模様を徴して疑いのないところである。その際約14トンのボイラ水が機関室内に流出して断熱膨脹をするため、同室全体が一種の圧力容器となり、同室内に蒸気圧力が生成されるが、その圧力値は、AH、AI両氏発表の圧力線図に従うものと認められ、同線図によると、本件発生直前の気圧が10キロで機関室の空積を約663平方メートルとした場合、同室内に生成される圧力は約5キロ弱となる。

一方、機関室内の圧力によって船尾船体が破断するには、どの程度の圧力が必要であるかを試算するため、

ケース(1) 7番フレームの隔壁に沿って船体が横断切損したとして船殻構成部材の破断強度から内圧を推定した場合、

ケース(2) 27番フレームの隔壁の膨出による変位が同壁破断の直前の状態であったとして、同変位量から内圧を推定した場合、

の2つの場合につき、本船の部材寸法のデータを投入して試算した結果、ケース(1)に対しては、46.4キロ、ケース(2)に対しては、隔壁の変位量500ミリメートルに対して8.9キロの圧力値が得られた。これらはいずれも前示のボイラ水流出時の断熱膨脹により生成される機関室圧力の推定値と比較すると、かなり過大な圧力となるが、ケース(1)では、内圧による破壊が全面的に及ばなくても船殻の上辺付近において一部分の破壊が起これば、後は自重による垂れ下がりによっても破壊は進行し得ること、及びケース(2)においては、27番フレームの隔壁の左舷側が大きく破損している点とボイラ前部鏡板は左舷側煙管巢部にのみ破口を生じている点とから考えて、ボイラ本体が船首方へ走行した場合、ボイラの左舷側すえ付け台の離脱が遅れるか、あるいはボイラの左舷側底部が主機頂部に当たるかして、ボイラの走行方向が左舷側に偏り、前のめりの格好でボイラ本体前面の右舷上部が同隔壁の左舷側寄りへ激突したものと認められ、このときの隔壁の損傷はかなり激しかったものと考えられるので、機関室内の圧力のみによって隔壁が変位したものとして計算した圧力値は、実際に機関室内に生成された圧力値をかなり上回るものと考えて差し支えない。又、機関室を構成する船殻材料は元来船体の縦強度及び波浪等の外圧に対して十分の強力を持つよう設計されたものであり、内圧に対しては、構造強度上不連続な部分も多く、前示のように圧力容器の一種と考えることが本来無理であるうえ、以上はいずれも推定条件による試算値の検討に過ぎず、これらの結果によって定量的な断定をすることはできない。

むしろ概略的な船殻強度の目安をつけるには、前示波浪外力による許容圧力は、たかだか2キロ(水頭にして約20メートル)に過ぎないことは造船関係者の認めるところで、安全率を2としても、4キロの圧力がかかれば破壊する虞は十分あり、機関室内圧が5キロにも達すれば、船殻が一気に破断することは当然考えられるところであって、前に例示したボイラ当初圧力の約10キロと、これからグラフによって求めた機関室内圧の約5キロという線は、実情と余りかけ離れたものではないということができる。

ボイラの破裂及び船尾船体の破断に至る経過の考察については、以上のとおりであるが、本件の場

合、蒸気爆発を起こすに至ったボイラの破口の発生部位及び破口を生ずるに至った原因を探求することが最も重要であり、今後この種海難を防止するための教訓となるものであるから、以下これらの点について検討する。

まず、蒸気爆発の誘因となった破口の発生部位については、後述するとおり、ボイラに直接取りつけられた缶付弁がいずれも同様な破損状況を呈しており、同各弁の耐圧力及び取付部の開口面積から考えて、これらの弁の1個が蒸気爆発に先立って破口を生じ、同破断部が破裂板の役目をなしたものと認められない。一般に、この種ボイラの使用条件下において最も故障を起こし易い部位は、炉筒部、煙管巢部及び燃焼室側鏡板の煙管巢取付部であるが、炉筒部については、前述のとおり、一般の炉筒頂部の陥没事故と異なり両筒が一举に圧潰した様相を呈していたことと水面下に生じた破口では蒸気爆発の原因となり得ないこととから、炉筒の破断及び圧潰も蒸気爆発に先立ってその損傷が生じたものと認められない。煙管巢の一部の管に破損又は曲損を生じた場合は、破口面積が小さいため大規模な蒸気爆発の原因とはなり得ず、一般の船用ボイラにおいて発生した多くの事故例に見られるように故障管から噴出した蒸気や熱水が炉筒を含む燃焼室内に充満し、その時点においてボイラ取扱者に気づかせるか、あるいは、バーナを吹き消すと至るものと考えられる。もし多数の煙管が一時に破損したとすれば、その破損原因が探求されなければならない、それまでなんら支障なく使用されていたボイラの煙管が突然一斉に破損するという現象は通常の状態では考えられないことである。又、前部鏡板の右舷火炉取付部上辺付近に認められる破口については、該部は静圧力的には構造上弱点の1つにはなり得るけれども、ボイラ使用状態においては触火面とは言えず、このような部位に破口を生じた前例もないので、同所が後部鏡板に先立って破裂の起点となったものと認められず、同所の断面収縮が最小であったことをもって破口が早朝に発生した理由の1つに挙げることはできるが、反面該部付近には溶接欠陥が散見された点から考えれば、当該欠陥部に沿って破断すれば断面収縮は当然著減するので、破面観測のみをもって同部がボイラ破裂の起点となったものと即断することはできない。

これら否定的要因と、蒸気爆発のピーク圧は破裂板の開口面積が大きくなる程高くなる傾向があり、且つ、破裂板が水面上部にあつて同水面に近接する程爆発現象が激しくなる旨の実験結果及びボイラ引揚後認めた損傷模様とを総合して、蒸気爆発を惹起させるに至った破口は、水面低下により水面上に露出した後部鏡板の煙管巢上部付近に生じた裂開部であると認定する。

次に、使用中のボイラの燃焼室側鏡板に突然破口を生ずるという極めて前例の少ない現象について、その原因は、本ボイラに特有の重大な欠陥に由来するものであるか、あるいは悪条件の偶発的な累積によるものであるか、いずれかにあると考えられるので、同部に裂開を生じさせるあらゆる可能性について考察を加え、次のとおり検討した。

1. 材料面について

本ボイラに使用した鋼材は、鋼板については、旧AK株式会社広畑製鉄所において製鋼され、又、鋼管については、AL株式会社において製造されたものをH株式会社が購入して組み立てたものであるが、H株式会社において保管していた同鋼材のミルシートは、同社がその後火災にあつて全部焼失してしまったため、材料的にどの程度の強度や組成を有していたものか、これを明らかにすることができない。しかしながら当時同社において組み立てられたボイラの鋼板及び鋼管は、いずれ

も同一の製造所から購入したもので、本ボイラに限って特別の事情があったものとは認められず、もし材料面で欠陥があった場合は、就航後早い時期になんらかの兆候が認められるはずであるのに、乗組員をはじめ、船舶所有者や修理工事に当たった業者はいずれも異状を認めず、又、製造中検査を含む数次の日本海事協会の定期的検査にも合格してきた事実から考えて、本ボイラが製造当初から材質的な欠陥を内包していたものとは認められない。

又、安全弁を含む各缶付弁の弁箱がいずれも一様にフランジの基部において横断切損していた事実にかんがみ、これらの弁箱に材質的な欠陥があったものとは考えられず、これらの弁は蒸気爆発によって一斉に破断したものと認める。

2. 設計面について

本ボイラの基本設計条件は、制限気圧9.5キロの乾燃式D-5号型丸ボイラということで、J株式会社からH株式会社が発注を受け、同条件に基づいて使用部材及び各部の寸法を決定して作図し、図面及び仕様書について日本海事協会の承認を受けたうえ製造納入したものであって、製造過程及び使用過程においてはいうまでもなく、本件発生後においても設計面について問題点が指摘されたことはない。これと本ボイラが7年余にわたり大過なく使用された実績とにかんがみ、本ボイラに設計上の欠陥があったものとは認められない。

3. 工作面について

工作上問題となる点は、煙管巢上端部が破断した状況及びその後の調査結果から、

- (1) 管支柱が設計図面どおりの長さとなっていなかった。
- (2) 管支柱の後部鏡板取付端に縁曲げしないものがあった。
- (3) 管支柱及び後部鏡板の同管取付穴のねじ切り工作不良。

の3点が挙げられるが、これらについて検討した結果、次の理由により、いずれもその可能性は極めて薄く、結局工作面についての欠陥により本件が発生したものと認められない。

- (1) 管支柱の長さが不そろいであった点については、爆発時の異常な内圧により各管支柱は強烈な引張り力を受け、その長さに伸びを生じたことは否定できず、各ねじ部に伸縮を生じていた事実からもこのことは立証することができる。これらの管支柱の内、はなはだしく寸法の不足するものがあった点については、後述するように、縁曲げの部分が剪断破壊されたものと認め、製造当初から寸法が不足していたものと断定することはできない。
- (2) 管支柱の管端に縁曲げを施工しないものがあった点については、本ボイラの後部鏡板煙管巢は、管支柱も煙管も共に縁曲げを施工するようになっており、これらの内一部の管端に縁曲げが施工されていなかったとすれば、これを燃焼室側から見れば一見してそのことに気づくはずであり、乗組員、造船所はいうまでもなく、数回に及ぶ検査における検査員や拡張工事に当たったC、D両指定海難関係人がいずれもこれに気づかなかつたとはいえ到底考えられぬところである。本ボイラが制限圧力の9.5キロ付近で正常に気醸されている場合、ボイラ水温度はほぼ180度になり、燃焼室側の触火面では、これより数十度高い温度に加熱されていることは伝熱理論上当然いえることである。これが管支柱縁曲げ部のように燃焼室内に突出している部分については、更に高温にさらされていることになり、これに缶内スケールの付着や水位低下等の悪条件が重畳すれば同

縁曲げ部はほとんど青熱脆性の領域かあるいはそれ以上の高熱状態となる可能性は極めて高いといえることができる。いま、このような条件下においてボイラ内に異常な高圧力が発生して管支柱がその固着能力を失い、鏡板とのねじ嵌合が離脱するとした場合、脆化した縁曲げ部は、すぼまって抜けるよりもむしろその根元の部分において剪断破壊される可能性が強く、この場合は、同破断部が当初から管端であったと見誤るような破面を呈することがある。以上の理由を総合して、本ボイラの管支柱の管端部に縁曲げを施工しないものがあつたと断定することはできない。

(3) 管支柱後端嵌合部のねじ工作については、鏡板に切る雌ねじは、あらかじめ前後の鏡板にねじの切りしろだけの余裕を見込んだ径の穴をうがっておき、前後にねじ切り用タップを取り付けた長い鋼鉄軸をボイラ前面の管支柱穴からそう入して軸心を固定したうえ、圧さく空気によって前後の雌ねじを同時に切り込む工作法を取っていたので、もし後部鏡板の雌ねじが十分にねじを切り込まれていなければ、前部鏡板の雌ねじも同様な切り込み不足を生ずることになり、設計どおりに製作された管支柱の雄ねじは、これら鏡板の穴を切り広げない限り、ねじ込めないことになる。更に前部鏡板の管支柱端には縁曲げがなく、単に雄ねじとの金属接触のみによって水密が保たれている状況であるので、雌ねじの切り込みが不十分であった場合は、当然同接触面は過小となり、ボイラ使用中同取付部からの漏水が当然考えられるところであるのに同部の漏水事故は全く記録されていない。

4. 就航後の修理工事及び改造工事について

本船は、製造中検査を含めて就航後8回の検査を受け、ボイラは約7年半にわたる期間中、昭和46年8月の漏水事故以外なんらの故障もなく使用されたものであるが、昭和44年5月協照丸と改称された直後燃焼装置を半自動制御方式に改造し、翌45年5月同制御システムを撤去したことは既述のとおりである。この制御システムの内、燃焼に関する自動装置を撤去した事情については、乗組員が同装置を余り活用しておらず、且つ、蒸気の使用時間が少なかったところから、燃焼操作を手動のみで行わせるようにした点は、本件の原因とはなんら関連がないといえるが、これと同時に警報装置をも撤去したため、自動給水加減装置さえ装備していなかった本船においては、水位及び圧力に異常が起こった場合は、当直者の五感による認識しかこれを発見する手段がなく、同装置の全面的な撤去が災害を未然に防止する上での欠陥となったことは否定できない。

昭和46年8月に発生した漏水事故の原因は、後述の理由により、水位低下によるボイラの空だきと断定するより外なく、これが修理に当たって拡張工事がやや過度に行われたため、燃焼室側煙管巢の各管端縁曲げ部の材質がかなり劣化した疑があるが、3回にわたり拡張工事を行った結果、辛うじて漏水を止めた事情にかんがみ、やむを得なかったものと認め、同施工後約半年間なんら支障なくボイラを使用した実績から考えて、少なくとも同拡張率の過大が鏡板裂開の主要な直接的原因となったものとは認め難い、

5. ボイラの取扱について

(1) 昭和46年8月の漏水事故について

本船が鹿島から和歌山に至る航行の途、和歌山入港直前に突然、ボイラの燃焼室側煙管巢からの漏水を発見したが、本ボイラは就航後約7年の間なんらの事故もなく使用されていた点、缶水処理に特に粗漏が認められない点及び漏水模様から判断して、当直者が、ボイラの水位低下に気

づかないまま、これを空だきした以外にその原因は考えられない。

(2) ボイラに海水を混入させた点について

本船は、前示漏水事故に対して、とりあえず沖がかり修理で第1回の拡張工事を施工した直後、ボイラに海水を混入して騰気したうえ岸壁に係留したが、その後駆水も内部掃除も行わないまま就航しているため、ボイラ内スケールのたい積がかなり増加したことは否定できない。同スケールのたい積は、海水混入後ボイラ内に入って水管の拡張工事に当たったC、D両指定海難関係人が共に認めているところである。スケールのたい積が触火面の熱伝導に及ぼす悪影響については、ボイラ取扱者が常識として心得るべき事項であり、一例を示すと、山中秀男著「ボイラの設計」において、低圧の丸ボイラでは、ボイラ水の温度を185度、燃焼室内熱ガスの温度を1,000度とした場合、内壁にスケール等の付着がない限り、伝熱壁の平均温度の最高値は、200度を越えないが、内壁に5ミリのスケールが付着したときは、スケールの質の良悪に応じて平均温度が270度ないし330度にも達することがグラフによって示されている。これらは、いずれも伝熱壁の平均温度で示されているので、同壁の触火面側は更に高温になるものと考えて差し支えない。

(3) 安全弁のこう着について

本件後揚収した安全弁がこう着して34キロの水圧をかけても開かなかった点については、同弁がボイラから離脱して噴き飛ばされ、高所から地面に落下した衝撃により同弁の一部に変形を生じたか、あるいは又、同弁の弁ガイドと弁ホルダとの間のぬすみを設けた部分に鉄さびが詰まっていた事実から、安全弁落下時に同弁のスプリングボックス内の鉄さびが多量に落ち込んだため同弁の作動を阻害するに至ったか、いずれかによるものと考えられる。反面、損傷模様の激しさから機関室内に生成された内圧を約5キロと想定するとき、ボイラの当初圧力は10キロ強となる点及び従前から同弁がこう着しがちであった点を総合勘案して、本件発生の直前にボイラ圧力が制限圧力の9.5キロをある程度上回っていたことは否めない。然しながら、安全弁のこう着による圧力超過は、せいぜい制限圧力の110パーセント程度が限度であり、これを越えた最近の故障例の確率が約0.5パーセント弱であったという統計的結果から直ちに本件のような制限気圧の300パーセント以上に及ぶ圧力超過の可能性を推論することには無理がある。

(4) ボイラの空だきについて

本件発生論に乗船していた機関部員の供述を総合すると、ボイラの常用圧力の上限值については、かなり神経を使っていた様子がうかがわれるが、自動給水加減装置がなく、しかも異常水位に対する警報装置を撤去した本船のボイラについて、水位の監視に関する特別の配慮が払われた形跡は、ほとんど見られなかった。昭和46年8月の漏水事故の原因も、水位監視不十分のためボイラを空だきした結果によることが明らかであるのに、漏水に至った原因を深く追及することなく、従前どおりボイラを取り扱っていたところから、その後空だきした事実は全くないと断定することはできない。本件が、ボイラ製造後約7年半経過した時に、又、漏水修理後約半年後に突如として起こった点、ボイラに生じた1次的破口は、燃焼室側鏡板の煙管巢の上部付近と認められる点、前示のとおり当直者の水位に対する監視が不十分であった点及び損傷模様を総合的に判断して、本件発生当時給水不十分によりボイラの水位が異常に低下したのに、当直者がこれに気づかないままボイラを空だきしたことが本件の重大な原因となったものと認める。

以上考察した事実により本件爆発に至る経過を要約すると、

1. 本件発生以前に、補助ボイラに海水を混入させて騰気し、その後駆水及び内部掃除を行わないまま、同ボイラを使用していたため、ボイラ内にスケールのたい積が著増したばかりか、塩分の影響で安全弁がこう着して制限気圧を越えても同弁が開かない状態となっていた。
2. 本件の直前に岸壁に係留してボイラを気醸中、圧力が制限気圧を超過したうえ水位がはなはだしく低下するに至ったのに、なおも燃焼が続けられたため、水管及び煙管の上端付近が水面上に露出し、同露出部付近の各管及び同各管取付部の鏡板が、露出による水火両側の全面的な温度上昇及び水側のスケールのたい積による熱伝導阻害と火側の継続的な加熱とを受けて、各部の材質が過熱状態となり、特に燃焼室側の煙管巢上部付近の鏡板は、異常に過熱されて青熱脆性の領域を越え、はなはだしく抗張力が低下するに至った。これに加えて当時蒸気は暖房以外にはほとんど使用されていなかったため、ボイラ圧力がますます高騰し、同内圧と前示抗張力の低下とによって、同部の鏡板は全面的に外方に向かう過大応力を生じ、わずかに同部の管支柱の張力によって支えられた状態となっていた。
3. その内に同鏡板の一部が塑性変形を生ずると共に、管支柱との間のねじ照合部のねじ山が剪断により切断されて同嵌合が離脱したため、同部の鏡板が支持力を失って外部に膨出し、次々と隣接の管支柱ねじ嵌合部に連鎖反動的な離脱が起こり、同鏡板の基準水面下方が一面に膨出した結果、同板が水管及び煙管巢の上端部の穴を綴るようにして水平方向に裂開するに至った。
4. 同裂開はほとんど瞬時に起こり、且つ、裂開による鏡板の開口面積がかなり大きかったため、ボイラ内の蒸気が大量に噴出して大規模な圧力平衡の破たんを生じ、蒸気爆発現象により、巨大なピーク圧力を現出して裂開部から下方の後部鏡板を全面的に破断すると共に、両炉筒が一挙に圧潰してそのたき口付近で切断し、両者が一体となって内圧により船尾方向に吹き飛ばされた。ボイラに付属する缶付諸弁が切断されて吹き飛んだのもこの時点である。
5. 残るボイラ本体は、気水噴出の反動により船首方向に走行し、機関室船首側横置隔壁の左舷寄りに激突して同壁を突き破ったうえ、同所付近にとどまった。
6. 次いで、ボイラから流出した気水が、ほとんど密閉状態の機関室内において断熱膨脹を起こして同室が2次的な圧力容器となり、同圧力で約5キロ前後に達したため、内圧により同室の船側外板を前後に両断すると共に甲板上構造物を吹き飛ばし、船体は甚大な損傷を受けて間もなく浸水沈没し、乗組員に重大な死傷者を生ずるに至った。

二、原因判断及び法令の適用

本件機関損傷は、海難審判法第2条第1号及び第2号に該当し、協照丸が、岸壁に係留して乾燃式補助ボイラを気醸中、水位の低下と缶内スケールのたい積により後部鏡板の煙管巢上部付近が過熱して抗張力がはなはだしく低下していたところ、安全弁のこう着により制限圧力を越えても同弁が作動しない状態となっていたのにボイラ当直者が超過圧力に気づかないままバーナを噴燃させ続けたため、内圧により同管巢部に破口を生じ、瞬時的な缶内気圧平衡の破たんにより蒸気爆発を起こすに至ったものであるが、このことは即ち、受審人Aが、かつて機関長として本船に乗船中、同ボイラを空だきして煙管巢から気水を大量に漏えいさせた際、同管巢部のほとんど全面にわたり拡管修理を施した場合、養缶水の

不足によりボイラ内に海水を混入して気醸し、その後駆水及び内部掃除を怠ったまま同ボイラを使用していたため、缶内スケールのたい積が増加し、熱伝導を阻害していたばかりか、従来漏えい事故のなかった同ボイラが突然広範囲に漏えいし始めたのであるから、極力その原因探求に努め、特に水位の保持や常用圧力の維持に細心の注意を払って事故の再発防止に留意すべきであったのに、その原因についてほとんど顧慮することなく、部下に対する適切な指示を怠ったまま機関の運転に従事していた同人の機関取扱に関する職務上の過失に因って発生したものである。本件発生当時A受審人は既に乗船していなかったとはいえ、同人が下船したわずか3日後に発生した事故であり、煙管巢漏えいの事後処理の適否が本件発生に重大な影響を与えた点にかんがみ、同人はその責を免れることはできない。指定海難関係人Bが、自動給水加減器を装備した半自動燃焼装置を撤去するにあたり、乗組員に相談することなく同装置に附属する諸警報装置と一緒に撤去したため、ボイラの水位及び圧力に異常をきたした場合は、当直者の五感による認識しかこれを発見する手段がなくなり、法規的な違反はなかったとはいえ、技倆未熟な乗組員をボイラ当直に充てざるを得なかった当時の事情にかんがみ、同人の所為ははなはだ遺憾である。指定海難関係人C及び同Dの各所為はいずれも本件発生の原因とならない。

受審人Aの所為に対しては、海難審判法第4条第2項の規定により、同法第5条第1項第2号を適用して同人の乙種機関長の業務を2箇月停止する。

よって主文のとおり裁決する。