

JXTG エネルギー株式会社
和歌山製油所火災事故報告書

2017年5月31日

JXTG エネルギー株式会社 和歌山製油所 火災事故調査委員会

目 次

I. はじめに	- 1 -
II. 事故調査委員会	- 2 -
1. 事故調査委員会の設置	
1. 1. 役割と構成	
1. 2. 調査・審議事項	
2. 事故調査委員会の取り組み実績	
2. 1. 委員会審議	
2. 2. 現地調査	
III. 発災工場の概要	- 3 -
IV. 事故-A：潤滑油製造装置群火災	
1. 事故-A の概要	- 4 -
(1) 発災設備名及び所在地	
(2) 発災日時	
(3) 発見日時	
(4) 通報日時	
(5) 避難指示	
(6) 避難指示解除	
(7) 鎮圧日時	
(8) 鎮火日時	
(9) 発災内容	
(10) 気象状況	
(11) 発災場所	
(12) 被害状況	
①. 人的被害	
②. 物的被害	
③. 漏えい量	
④. 環境／地域への影響	
2. 発災設備の概要	- 4 -
2. 1. 発災設備の概要	
2. 2. 設備設置申請許可年月日・番号	
3. 火災発生前の状況	- 7 -
3. 1. 各装置の状況	
3. 2. 各装置の操業状況	
4. 火災発生及び拡大と消火の状況	- 8 -
4. 1. 火災に至る過程	
4. 2. 火災拡大の状況	
4. 3. 消火の状況	
4. 3. 1. 通報	
4. 3. 2. 防災活動の状況	
5. 事故原因	- 9 -
5. 1. 調査方法	
5. 1. 1. 調査の方法	
5. 1. 2. 原因推定の進め方	
5. 2. 事故起点箇所となった開口部の推定	
5. 2. 1. 出火シナリオの推定	

5. 2. 2. 第二潤滑油抽出水添精製装置水添精製部門の高圧パージガスライン系統
 - (1) 目撃証言
 - (2) 監視カメラの映像
 - (3) 装置の挙動
 - (4) 現場検証結果
5. 3. 事故起点箇所となった開口部の推定
 5. 3. 1. 事故起点箇所の推定方法
 5. 3. 2. 事故起点箇所の推定結果
 - (1) 配管系の推定
 - (2) 開口部の金属調査結果に基づく絞り込み
 - (3) その他の情報に基づくさらなる絞り込みと推定
5. 4. 直接原因の推定
 5. 4. 1. 事故起点箇所となった開口部の状況
 - (1) 最初の開口部の検査結果
 - (2) 配管肉厚測定結果
 5. 4. 2. 腐食劣化の要因
 - (1) 腐食劣化の要因
 - (2) 腐食劣化要因の推定
 5. 4. 3. 直接原因のまとめ
5. 5. 間接要因の推定
 5. 5. 1. アルカリサワーウォーター腐食に対する業界の取り組みについて
 5. 5. 2. PT-2 HD におけるアルカリサワーウォーター腐食の管理について
 5. 5. 3. 間接要因のまとめ
5. 6. 火災拡大シナリオの推定
 5. 6. 1. 火災拡大シナリオ
 5. 6. 2. 火災拡大シナリオの検証
 - (1) フェーズ 1 (15:37~15:47) : 開口からガス火災発生
 - (2) フェーズ 2 (15:48~16:13) : ガス火災から油火災への進展
 - (3) フェーズ 3 (16:14以降) : 油火災の拡大・継続
 5. 6. 3. 火災拡大防止策の検討
 - (1) 緊急降圧弁の改造
 - (2) エマージェンシーシステムの改造
5. 7. 事故原因のまとめ

6. 再発防止対策と対策実施予定

- 36 -

6. 1. 再発防止対策
 6. 1. 1. 直接原因に対する対策
 6. 1. 2. 間接要因に対する対策
6. 2. 水平展開
 6. 2. 1. 旧東燃ゼネラル石油株式会社 4 工場全ての脱硫装置に対するアルカリサワーウォーター腐食モニタリングの再点検
 6. 2. 2. 旧 JX エネルギー株式会社の製油所・製造所への水平展開
6. 3. 対策実施予定

7. 住民避難について

- 38 -

7. 1. 住民避難指示発令・解除の経過
7. 2. 事故発生以前の重大事故に関する旧東燃ゼネラル石油株式会社の取り組み
 - (1) 重大事故リスクアセスメント実施 (2011 年 6 月 22 日)
 - (2) 工場防災計画に反映 (2015 年 3 月 10 日)
 - (3) 有田市消防本部との協議 (2016 年 8 月 24 日 防災会議)
7. 3. 本火災に伴う BLEVE 発生リスクについて
 - (1) 火災による BLEVE リスク機器について
 - (2) T-101 の BLEVE 発生の可能性について
7. 4. 防災計画について
 - (1) 消火戦略・戦術の事前計画
 - (2) BLEVE リスクに基づく避難計画
7. 5. 住民避難についてのまとめ

8. 情報公開体制について	- 42 -
8. 1. 事故後の対応	
8. 1. 1. 事故発災直後の対応	
(1) 地域広報	
(2) 住民避難誘導	
(3) 避難所での説明及び対応	
(4) プレスリリース及び記者会見	
8. 1. 2. 鎮火後の対応	
8. 2. 情報公開に対する意見	
8. 3. 今後の改善点について	
(1) 地域広報について	
(2) 防災計画の改定について	
V. 事故-B : TK35 タンク火災	
1. 事故-B の概要	- 45 -
(1) 発災設備名及び所在地	
(2) 発災日時	
(3) 発見日時	
(4) 通報日時	
(5) 鎮火日時	
(6) 発災内容	
(7) 気象状況	
(8) 発災場所	
(9) 被害状況	
①. 人的被害	
②. 物的被害	
③. 環境／地域への影響	
2. 発災設備の概要	- 45 -
2. 1. 発災設備の概要	
2. 2. 設備設置申請許可年月日・番号	
3. 火災発生前の状況	- 45 -
4. 火災発生及び消火の状況	- 46 -
4. 1. 火災発生の状況	
4. 2. 消火の状況	
4. 2. 1. 通報	
4. 2. 2. 防災活動の状況	
5. 事故原因	- 46 -
5. 1. 調査方法	
5. 1. 1. 調査の方法	
(1) 関係者の証言からの事実確認	
(2) 作業記録・要領書類からの事実確認	
(3) 回収スラッジの分析、火災発生事象検証のための実験	
5. 1. 2. 原因推定の進め方	
5. 1. 3. 現場検証	
5. 2. 直接原因	
5. 2. 1. 火災発生場所に存在する可燃性物質等	
5. 2. 2. 発火源	
(1) 硫化鉄（酸化発熱）	
(2) 静電気	
(3) ウェスに付着した油（酸化発熱）	
(4) 電動工具	
(5) 落雷	
(6) 外部侵入者の放火	
5. 2. 3. スラッジ中の硫化鉄が乾燥・発熱に至った過程の推定	

5. 3. 間接要因	
5. 3. 1. 運転管理	
(1) タンククリーニング関係手順書類の検証	
(2) 作業員の硫化鉄に関する危険性の認識について	
5. 3. 2. 設備管理・設計	
5. 4. 事故原因のまとめ	
(1) 直接原因	
(2) 間接要因	
6. 再発防止対策と対策実施予定	- 51 -
6. 1. 再発防止対策	
(1) 手順書の改善（直接原因及び間接要因①に対する対策）	
(2) 教育の実施（間接要因②③に対する対策）	
6. 2. 水平展開	
6. 3. 対策実施予定	
7. 情報公開体制について	- 52 -
7. 1. 事故後の対応	
7. 2. 問い合わせへの対応	
VI. 再発防止に向けた提言	- 53 -
1. 安全管理体制の強化	
2. リスクアセスメントとプロセスセーフティの改善	
3. 安全文化の醸成	
3. 1. 安全文化醸成のための取り組み	
3. 2. 再発防止に向けた和歌山製油所の役割と決意	
VII. おわりに	- 57 -

添付資料：

資料-1 略語説明集

- 資料-IV-1 潤滑油製造装置群の発災場所
- 資料-IV-2 使用停止命令範囲及び火災の発生した範囲
- 資料-IV-3 第二プロパン脱瀝青装置 (DA-2)
- 資料-IV-4 第二潤滑油抽出水添精製装置 (抽出部門 PT-2)
- 資料-IV-5 第二潤滑油抽出水添精製装置 (水添精製部門 PT-2HD)
- 資料-IV-6 第二プロパン脱蠟装置 (PD-2)
- 資料-IV-7 第六水添脱硫装置 (HD-6)
- 資料-IV-8 火災発生エリアを管轄する製油第二課の運転員の証言
- 資料-IV-9 周辺にいた従業員の証言
- 資料-IV-10 消火戦術評価シート_DA-2系シナリオ
- 資料-IV-11 消火戦術評価シート_PD-2系シナリオ
- 資料-IV-12 消防車両配置図及び BLEVE リスクのある機器配置
- 資料-IV-13 防災活動時系列
- 資料-IV-14 アラーム時系列及び計器位置図
- 資料-IV-15 開口部④のマイクロ組織写真
- 資料-IV-16 開口部⑩の強度計算
- 資料-IV-17 開口部⑰のマイクロ組織写真
- 資料-IV-18 試料 A,E,F のマイクロ組織写真
- 資料-IV-19 PICV-251A 上流側エルボ一部 2 つ割り写真
- 資料-IV-20 金属元素分析結果
- 資料-IV-21 API RP 571 抜粋
- 資料-IV-22 運転状況の詳細
- 資料-IV-23 硫化鉄スケールに関する文献から抜粋
- 資料-IV-24 洗浄水注入設備設計図
- 資料-IV-25 火災発生～避難指示発令～解除の経過
- 資料-IV-26 重大事故リスクアセスメント
- 資料-IV-27 防災会議資料
- 資料-IV-28 DA-2 T-101(トリータータワー)の温度・圧力推移
- 資料-IV-29 発災時の BLEVE 対象機器の受熱量と除熱量の評価
- 資料-IV-30 本火災事故時の BLEVE 発生の可能性
- 資料-V-1 TK35 タンク火災発生場所
- 資料-V-2 TK35 タンク使用停止命令範囲
- 資料-V-3 TK35 タンク発災時の状況
- 資料-V-4 防災活動時系列
- 資料-V-5 タンク清掃用仮設配管系統図
- 資料-V-6 火災前日 TK35 タンク内部図
- 資料-V-7 タンク内の残存資機材リスト
- 資料-V-8 スラッジ組成分析結果
- 資料-V-9 スラッジ発熱試験結果
- 資料-V-10 COW 後のスラッジ堆積図
- 資料-V-11 TK35 着火推定概念図
- 資料-VI-1 Operations Integrity Management System 完璧操業のマネジメントシステム
- 資料-VI-2 高圧ガス保安協会 月刊誌 「高圧ガス」 Vol.53 No.8 (2016)

I. はじめに

2017年1月18日（水）、旧東燃ゼネラル石油株式会社和歌山工場（2017年4月1日からJXTG エネルギー株式会社和歌山製油所）においてタンク火災が発生し、また、1月22日（日）には同工場の潤滑油製造装置群において火災が発生した。いずれの火災においても人的被害は発生しなかったが、潤滑油製造装置群の火災においては、住民避難が行われた。

旧東燃ゼネラル石油株式会社は、これらの事故の原因究明と再発防止対策の策定を目的に、社外有識者及び社内の委員から構成される事故調査委員会（東燃ゼネラル石油株式会社和歌山工場火災事故調査委員会）を設置した（2017年2月10日）。

当委員会（4月1日以降は、JXTG エネルギー株式会社和歌山製油所火災事故調査委員会）は、これまでの委員会による検討及び事故現場の検証を通じて、得られた知見をまとめ、今後の再発防止の方向性について検討したので、最終報告を行う。

II. 事故調査委員会

1. 事故調査委員会の設置

1. 1. 役割と構成

JXTG エネルギー株式会社和歌山製油所火災事故調査委員会（以下、事故調査委員会）の役割は、旧東燃ゼネラル石油株式会社和歌山工場で発生した潤滑油製造装置群火災（以下、事故-A）及びTK35タンク火災（以下、事故-B）についての原因究明、再発防止対策の立案、住民避難、情報公開体制、再発防止に向けた提言等を行うこととし、構成メンバーは、社外より有識者3名、社内より和歌山製油所長をはじめとする3名の計6名とした。

委員長	田村 昌三	東京大学名誉教授
副委員長	宮田 知秀	JXTG エネルギー株式会社 常務執行役員 製造本部副本部長
委員	鈴木 和彦	岡山大学大学院自然科学研究科 産業創成工学専攻教授
	土橋 律	東京大学 大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻教授
	加藤 英治	JXTG エネルギー株式会社 執行役員 製造本部製造部長
	原 敬	JXTG エネルギー株式会社 和歌山製油所長

オブザーバー	経済産業省 中部近畿産業保安監督部 近畿支部 和歌山県総務部危機管理局 危機管理・消防課 有田市消防本部 高圧ガス保安協会
--------	--

1. 2. 調査・審議事項

事故調査委員会は、事故-A及び事故-Bについて、事故の事実データの分析及び現地調査に基づいて事故の原因、再発防止対策、情報公開体制、その他を調査・審議した。事故-Aについては住民避難を伴ったことから、住民避難についても調査・審議した。

2. 事故調査委員会の取り組み実績

2. 1. 委員会審議

- (1) 事故調査委員会の設置 2017年2月10日（金）東燃ゼネラル石油（株）品川本社
上記、事故調査委員会メンバー等を決定した。
- (2) 第1回事故調査委員会 2017年2月13日（月）TKPガーデンシティ品川・
東燃ゼネラル石油（株）和歌山工場
 - ①. 事故の概要
 - ②. 発災設備の概要
 - ③. 損傷箇所の説明
 - ④. 時系列での目撃証言・プラントデータの説明
 - ⑤. 第一発災箇所と発災原因の推定
- (3) 事故調査報告書(中間報告)提出 2017年2月23日（木）
経済産業省 審議官殿の指示書（*）への対応
（*）平成29年1月23日付(20170123 商局第2号)住田審議官殿発旧東燃ゼネラル石油株式会社 代表取締役社長宛 「平成29年1月22日に東燃ゼネラル石油株式会社 和歌山工場で発生した火災を踏まえた対応について(指示)」
- (4) 第2回事故調査委員会 2017年3月1日（水）ウェスティンホテル東京・
東燃ゼネラル石油（株）和歌山工場
 - ①. 第1回委員会・現場調査 議事録確認
 - ②. 中間報告書フォローアップ
 - ③. 事故-A/事故-B 直接原因及び間接要因審議

- (5) 第3回事故調査委員会 2017年3月19日(日) ウェスティンホテル東京・東燃ゼネラル石油(株)和歌山工場
- ①. 第2回委員会 議事録確認
 - ②. 事故-A/事故-B 直接原因及び間接要因審議
 - ③. 事故-A/事故-B 再発防止策に関する審議
 - ④. 事故-A/事故-B 安全管理体制に関する審議
 - ⑤. 事故-A/事故-B 情報公開体制に関する審議
 - ⑥. 事故-A 住民避難に関する審議
- (6) 第4回事故調査委員会 2017年3月30日(木) ウェスティンホテル東京・東燃ゼネラル石油(株)和歌山工場
- ①. 第3回委員会 議事録確認
 - ②. 第2次中間報告書の確認・審議
- (7) 事故調査報告書(第2次中間報告)提出 2017年3月31日(金)
- (8) 第5回事故調査委員会 2017年5月16日(火) ウェスティンホテル東京・JXTG エネルギー(株)和歌山製油所
- ①. 第4回委員会 議事録確認
 - ②. 最終報告書の確認・審議

2. 2. 現地調査

- (1) 鈴木委員 2017年2月17日(金) 東燃ゼネラル石油(株)和歌山工場
- (2) 田村委員長、土橋委員 2017年2月18日(土) 東燃ゼネラル石油(株)和歌山工場

III. 発災工場の概要

旧東燃ゼネラル石油株式会社和歌山工場は、1941年に原油処理能力5千バレル/日(以降、KBDと記載する)で操業を開始し、戦後1950年に原油処理能力10KBDで操業を再開した。1968年までに原油処理能力を187KBDに増強し、1969年には潤滑油製造装置及び芳香族製造装置を建設した。2014年には常圧蒸留装置を1基停止して原油処理能力を低下させた。

和歌山工場は、敷地面積248万m²、原油処理能力132KBDで、燃料油、潤滑油、石油化学製品等を生産する総合製油所である。貯油設備として原油タンク30基を含む合計504基のタンクを有している。

本報告書では可能な限り平易な表現を使用するように努めているが、専門的な語彙として英語の略語を使用している箇所があるため、参照として略語の意味を記載した略語説明集を添付している。

(資料-1 略語説明集)

IV. 事故-A：潤滑油製造装置群火災

1. 事故-Aの概要

(1) 発災設備名及び所在地

①. 発災設備：潤滑油製造装置群

第二プロパン脱瀝青装置、第二潤滑油抽出水添精製装置、第二プロパン脱蠟装置を含む

②. 所在地：和歌山県有田市初島町浜 1000

(2) 発災日時： 2017年1月22日(日)15時40分頃

(3) 発見日時： 1月22日(日)15時40分頃

(4) 通報日時： 1月22日(日)15時47分頃

(5) 避難指示： 1月22日(日)17時14分頃

(6) 避難指示解除： 1月23日(月)04時10分頃

(7) 鎮圧日時： 1月24日(火)08時09分頃

(8) 鎮火日時： 1月24日(火)08時27分頃

(9) 発災内容： 火災

(10) 気象状況 (1月22日15時40分、観測点：工場正門)

天気： 晴れ

風速： 4.7 m/s

風向： 北西

気温： 8.0℃

湿度： 60.7%

(11) 発災場所： 資料-IV-1及び資料-IV-2に示す。

(12) 被害状況

①. 人的被害： なし

②. 物的被害： 約8,700万円

③. 漏えい量： 約200 ton(水素、軽質炭化水素、重油、抽出溶剤) 約2,500万円

④. 環境/地域への影響： 環境影響なし/住民避難有

2. 発災設備の概要

2. 1. 発災設備の概要

本事故の発生場所(図-IV-1)である潤滑油製造装置群では、第三常圧蒸留塔底油を減圧蒸留環境下において蒸留した留分を原料として処理している(図-IV-2及び図-IV-3)。当該潤滑油製造装置群を構成する装置は以下の通りである。

①. 第三減圧蒸留塔の塔底油から液体プロパンでアスファルト留分を分離除去する第二プロパン脱瀝青装置(DA-2：資料-IV-3)

②. 第三減圧蒸留塔で各留分に分けられた油(及び第二プロパン脱瀝青装置の製品)をNMP(N-メチル-2-ピロリドン)を溶剤として芳香族分を分離除去し、反応槽で水添精製する第二潤滑油抽出水添精製装置(抽出部門(PT-2：資料-IV-4)と精製部門(PT-2 HD：資料-IV-5)がある。)

③. 第二潤滑油抽出水添精製装置の製品を原料としてプロパンを溶剤、かつ、冷媒として使用し、ワックス分を分離除去する第二プロパン脱蠟装置(PD-2：資料-IV-6)及び第二プロパン脱蠟装置で除去されたワックスを原料として水添精製する第六水添脱硫装置(HD-6：資料-IV-7)

第六水添脱硫装置は、申請登録上、第二プロパン脱蠟装置に含まれている。

図-IV-1 潤滑油製造装置群の火災発生場所

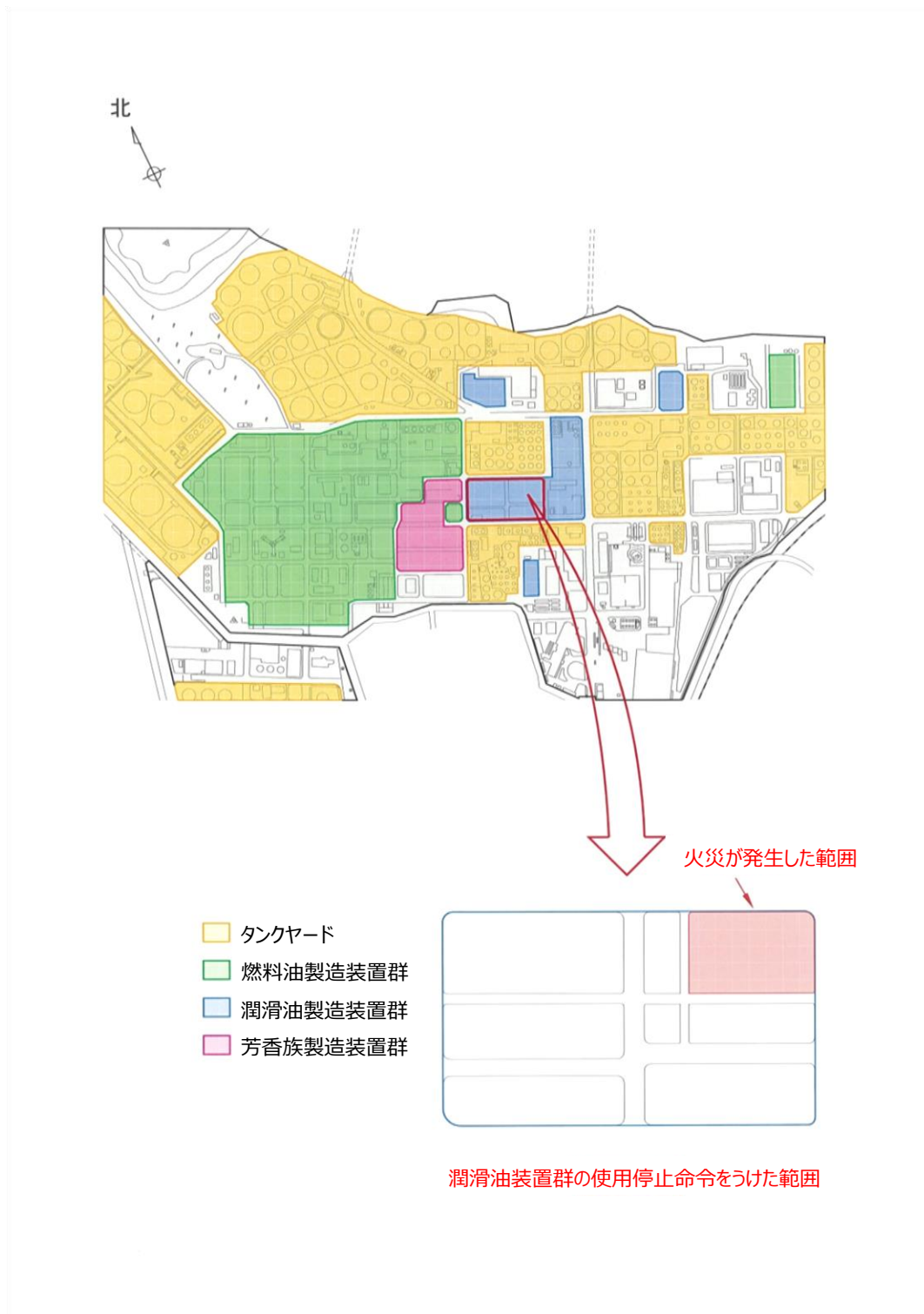


図-IV-2 和歌山工場 製造工程

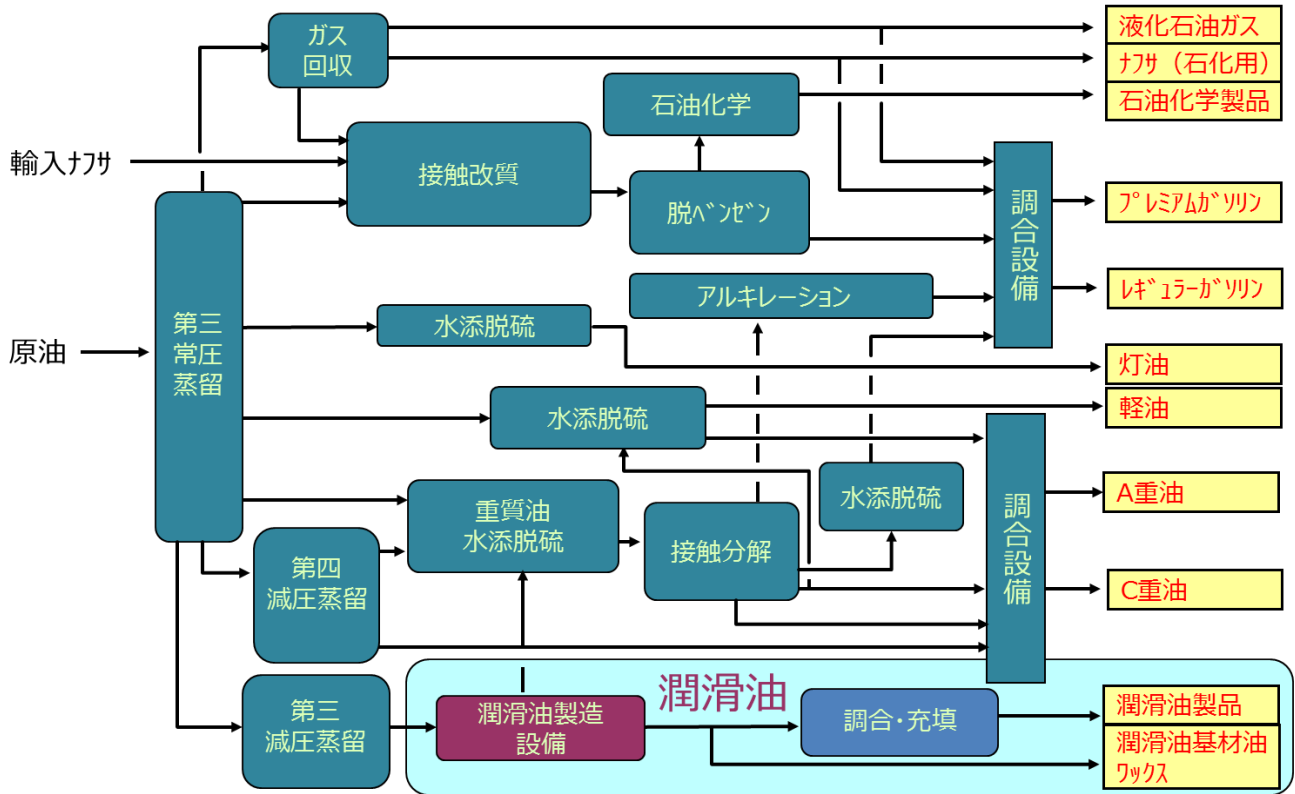
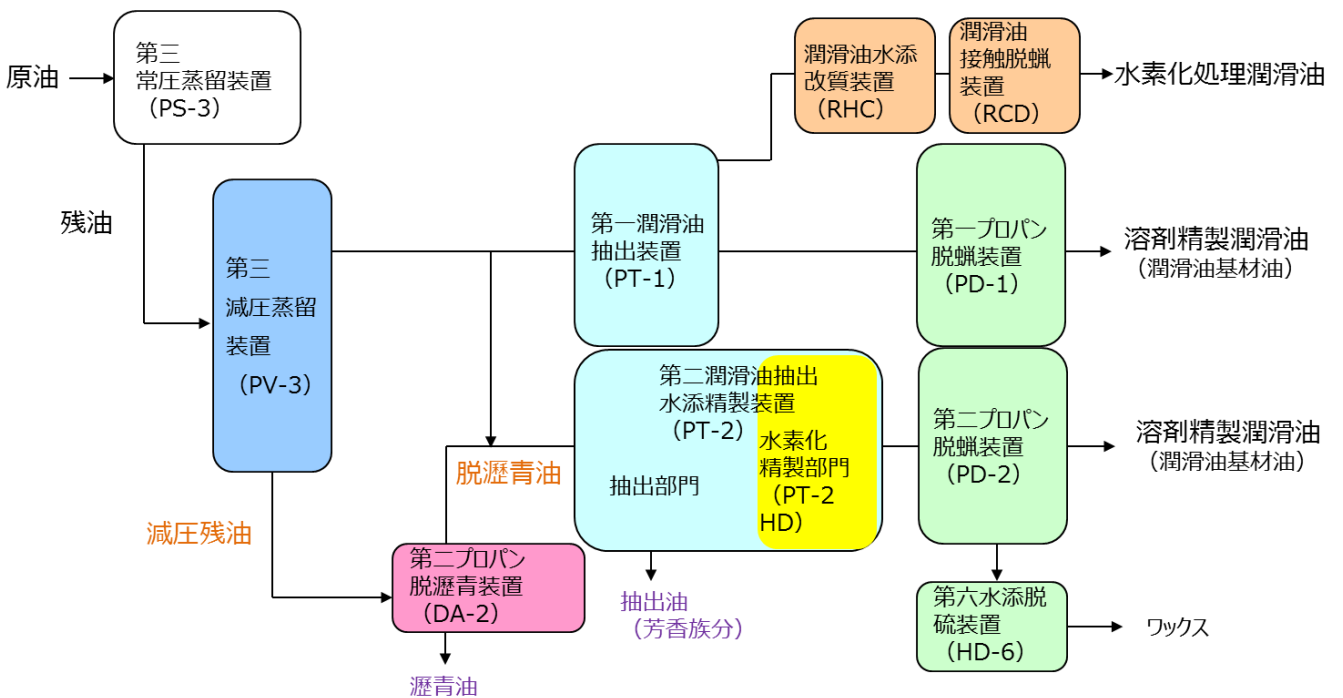


図-IV-3 和歌山工場 潤滑油製造工程



2. 2. 設備設置申請許可年月日・番号

- 製造所の区分①： 第二プロパン脱瀝青装置(DA-2) 高危混合設備
 製造所の設置許可(消)： 昭和 43 年 12 月 4 日 第 44-18 号
 危険物の類、品名、数量等： 第二石油類 軽油 750KL、第二石油類 灯油 0.4KL、
 第四石油類 潤滑油 1,351KL
 製造所の設置許可(高)： 昭和 43 年 11 月 8 日 和歌山県指令工第 1773 号
 ガスの種類： プロパン
- 製造所の区分②： 第二潤滑油抽出水添精製装置(PT-2) 高危混合設備
 製造所の設置許可(消)： 昭和 43 年 12 月 4 日 第 44-19 号
 危険物の類、品名、数量等： 第四石油類 潤滑油 2,083KL、
 第三石油類 N-メチルピロリドン 360KL、
 第三石油類 硫化オレフィン 12KL
 製造所の設置許可(高)： 昭和 43 年 11 月 8 日 和歌山県指令工第 1772 号
 ガスの種類： 水素、反応ガス
- 製造所の区分③： 第二プロパン脱蠟装置(PD-2) 高危混合設備
 製造所の設置許可(消)： 昭和 43 年 12 月 4 日 第 44-17 号
 危険物の類、品名、数量等： アルコール類 メタノール 7.2KL、第二石油類 灯油 250KL、
 第二石油類 軽油 100KL、第三石油類 硫化オレフィン 2KL、
 第三石油類 軽質重油 100KL、第三石油類 潤滑油 2KL、
 第四石油類 潤滑油 1,494KL
 製造所の設置許可(高)： 昭和 43 年 11 月 8 日 和歌山県指令工第 1774 号
 ガスの種類： プロパン

3. 火災発生前の状況

3. 1. 各装置の状況

発災当日の運転状況は以下の通りである。

- ①. 第二プロパン脱瀝青装置 (DA-2)
 潤滑油基油製造のための中間製品を採取する運転を 1 月 18 日 0 時より原料油処理量を約 53KL/h において実施中であった。
- ②. 第二潤滑油抽出水添精製装置 (PT-2)
 潤滑油基油製造のための中間製品を採取する運転を 1 月 21 日 22 時より原料油種を切替えて処理量約 60KL/h において実施中であった。
- ③. 第二プロパン脱蠟装置 (PD-2)
 潤滑油基油を採取する運転を 1 月 22 日 5 時 30 分より原料油種を切替えて処理量約 35KL/h において実施中であった。
- ④. 第六水添脱硫装置 (HD-6)
 パラフィンワックスを採取するための運転開始作業中であった。

3. 2. 各装置の操業状況

各装置の操業状況は以下の通りである。

装置名	運転油種	通油量	備考
DA-2	LUBE	53KL/h	-----
PT-2	BEH	60KL/h	-----
PD-2	BEH	35KL/h	-----
HD-6	-----	-----	運転開始作業中

- DA-2 LUBE: 減圧蒸留装置の残渣を原料油とし、潤滑油基油用の脱瀝青油を生産する運転
- PT-2 BEH: DA-2 からの脱瀝青油を原料油とし、潤滑油基油原料を生産する運転
- PD-2 BEH: 脱瀝青油を PT-2 で処理した半製品を原料とし、潤滑油基油製品を生産する運転

4. 火災発生及び拡大と消火の状況

4. 1. 火災に至る過程

火災発生エリアを管轄する製油第二課の運転員の証言（資料-IV-8）から、1月22日15:40頃に第二プロパン脱蠟装置（PD-2）のコンデンセイトポット（D-412）付近にある機器・配管等で可燃性ガス、油等が何らかの原因で漏えい・着火したものと考えられる。

その他、工場内外における大きな音とともに窓が揺れる程度の風圧を感じたという従業員の証言が得られている（資料-IV-9）。しかし、ガラス窓の破損等の被害報告はないため、着火の際、被害が発生する強度の爆風を伴う爆発は発生していないことが推測される（*）。

（*）水素燃焼等の専門家に現地調査を依頼した結果、「被害が発生する強度の爆風を伴うような爆発があったとは考えにくく、着火点から200-300m離れた建物のガラス窓を破損させるような強さの圧力波は伝播しなかった。」との観察結果を得ている。

- ・調査依頼先：久保田士郎 工学博士（国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 安全科学研究部門 爆発利用・産業保安研究グループ 研究グループ長）
- ・調査日時/場所：2017年2月17日(金) 10:00-12:00 / 和歌山工場の潤滑油製造装置火災エリアなど。
- ・調査者：久保田士郎工学博士 ※旧東燃ゼネラル石油株式会社 製造技術本部員 渋谷が、資料提供、同行、説明等を行った。
- ・調査方法：事故調査委員会に提出した資料一式、特に発災初期の証言等を説明して、事故現場状況を視察して、水素ガスの噴出・燃焼等の実験室データ等から今回の発災時の燃焼について類推していただいた。

4. 2. 火災拡大の状況

詳細については後述するが、最初に開口部から可燃性ガスが噴出して着火し火災が発生した。その後、同開口部より油が漏えいし油火災となった。炎により炙られた配管の開口、配管・機器類のフランジ変形等により装置内の可燃性ガス・油がさらに漏えいし、防液堤内で広がり火災も防液堤内に拡大した（資料-IV-2）。事故後の現場検証結果から、漏えいして着火した油類は防液堤内に留まり、防液堤外の機器への火災の影響はほとんどなかった。

4. 3. 消火の状況

4. 3. 1. 通報

1月22日15:40頃に異常音を感知した後、製油第二課SSV（シフトの班長）の指示により、製油第二課員が現場に向かい、第二プロパン脱蠟装置のD-412付近で火災を発見、同SSVに連絡した。15:45頃に製油第二課から自衛消防隊の出動と有田市消防本部へ通報指示を旧東燃消防保安課に連絡した。そのすぐ後の15:47頃、有田市消防本部より旧東燃消防保安課へ爆発音の通報があったと連絡が入り、D-412付近で火災発生を通報、出動要請を行った。

4. 3. 2. 防災活動の状況

旧東燃ゼネラル石油株式会社和歌山工場には防災活動要領があり、当該要領の中に防災戦術を取りまとめたシートが主要装置毎に整備されている。今回発災したエリアでは、工場自衛防災組織の防災戦術班が第二プロパン脱瀝青装置と第二プロパン脱蠟装置の防災戦術シート（資料-IV-10及び資料-IV-11）を用いて、BLEVE(*)発生リスクのある機器の冷却を優先して実施するとともに、漏えい量を抑制するため火災の状況を見極めながらブロック範囲を狭める戦術を提案し、有田市消防本部の指揮の下、和歌山県北部臨海地域広域消防協議会メンバーの消防隊と共に消火活動を実施した。（資料-IV-12）

なお周辺住民への情報提供は、広報車、避難所での説明を各々6回実施した。合わせて会社のホームページにプレスリリースを4回掲載した。

防災活動状況については、資料-IV-13に時系列で示す。

（*）BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion の略で、加圧下で貯蔵されている低温液化ガスの容器などが破裂により急激に内圧が解放され、気液平衡がくずれて激しい沸騰が起こり爆発的に蒸発する蒸気爆発のことである。

5. 事故原因

5. 1. 調査方法

5. 1. 1. 調査の方法

事故原因究明に向けた事実情報の収集及び検証は、以下の方法で行った。

- ①. 装置の挙動については記録された運転データを収集・分析して把握した。
- ②. 発災時の状況については運転に携わっていた製油第二課員、発災当時に現場周辺にいた従業員及び協力会社員から証言を収集した。また、入出門及び集合煙突に設置されている監視カメラで撮影された映像を確認した。
- ③. 設備等の損傷状況については、現場検証を行い、被災設備等の各種調査を行った。
- ④. 発生事象をより明確に解析する必要があるものについては、社外の調査研究機関（千代田化工建設株式会社）に委託、あるいは社内の製造技術部門において技術的検討を実施した。

5. 1. 2. 原因推定の進め方

今回、可燃性ガス及び油が漏えいしたと考えられる開口等が次項に示す現場調査結果で合計18箇所認められている。これらのいずれかが事故の起点箇所（以降、事故起点箇所とする）となって、水素漏えいによる火災、さらには油火災が発生し、それに伴う火災の影響によって他の箇所が二次的に損傷を受けて、火災が拡大したものと考えられる。

事故原因の調査は、まず発災時の目撃証言と監視カメラの映像、現場調査結果を基本に、運転データに基づく装置の挙動を解析した。さらに、発災配管の開口部位を切出しての詳細検査結果等を総合的に考慮して事故起点箇所を推定した。次に事故起点箇所から火災の拡大するシナリオを推定した。その上で、各事実情報との整合性の確認を行い、シナリオを検証するという進め方で行った。

なお、事故起点箇所に関しては、開口に至った直接的な原因と、それを生じさせた間接的な要因について、考察を行った。

5. 2. 事故起点箇所となった開口部の推定

5. 2. 1. 出火シナリオの推定

出火のシナリオとして以下を推定した。

- ①. 運転データから 15:37 に 第二潤滑油抽出水添精製装置水添精製部門（PT-2 HD）の高圧バージガスライン系統において、大量に可燃性ガスが漏えいする開口が発生したと推定される。
- ②. 漏えいしたガスは臨界速度で噴出し、漏えい後速やかに着火したと推定される。ガス漏えい開始推定場所近傍には着火源がないため、着火源としてはガス漏えい時の静電気や衝突した微粉の火花が推定される。
- ③. 白煙を伴うガス火災が最初に発生したと推定される。

火災発生エリア周辺に存在する可燃性物質を以下に示す。

- ①. 脱歴青油 : PT-2 原料/DA-2 製品（指定可燃物）
- ②. 脱歴青油抽出残油 : PT-2 製品/PT-2 HD 原料/PT-2 HD 製品（指定可燃物）
- ③. 脱歴青油抽出油 : PT-2 製品（指定可燃物）
- ④. 脱蠟潤滑油基油 : PD-2 製品（指定可燃物）
- ⑤. 半製品ワックス : HD-6 原料油（第四石油類）
- ⑥. 製品ワックス : HD-6 製品（第四石油類）
- ⑦. 減圧蒸留残渣 : DA-2 原料油（指定可燃物）
- ⑧. 減圧蒸留軽油 : HD-6 原料油（第四石油類）
- ⑨. NMP : PT-2 抽出溶剤（第三石油類）
- ⑩. プロパン : DA-2 抽出溶剤 / PD-2 ワックス析出用冷媒
- ⑪. 燃料ガス（おもに加熱炉燃料）
- ⑫. 水素ガス（おもに脱硫用ガス）
- ⑬. パージガス（水素 80 vol%程度と硫化水素を含む脱硫装置反応槽出口ガス）

5. 2. 2. 第二潤滑油抽出水添精製装置水添精製部門の高圧パージガスライン系統

以下に事故起点箇所として、「第二潤滑油抽出水添精製装置の水添精製部門（PT-2 HD）の高圧パージガスライン系統」と推定した情報確認結果を以下にまとめた。

(1) 目撃証言

最初に製油第二課員の複数名がドーンという音を聞いた。その後、運転員のうち A 及び C が火災発生エリアを目視で確認（図-IV-4 運転員 A 目撃状況、図-IV-5 運転員 C 目撃状況）したところ、PD-2 コンデンセイトポット(D-412)東側付近において 15:40 頃に火炎を確認している。（資料-IV-8 証言者の第一発見時図）

図-IV-4 運転員 A 目撃状況

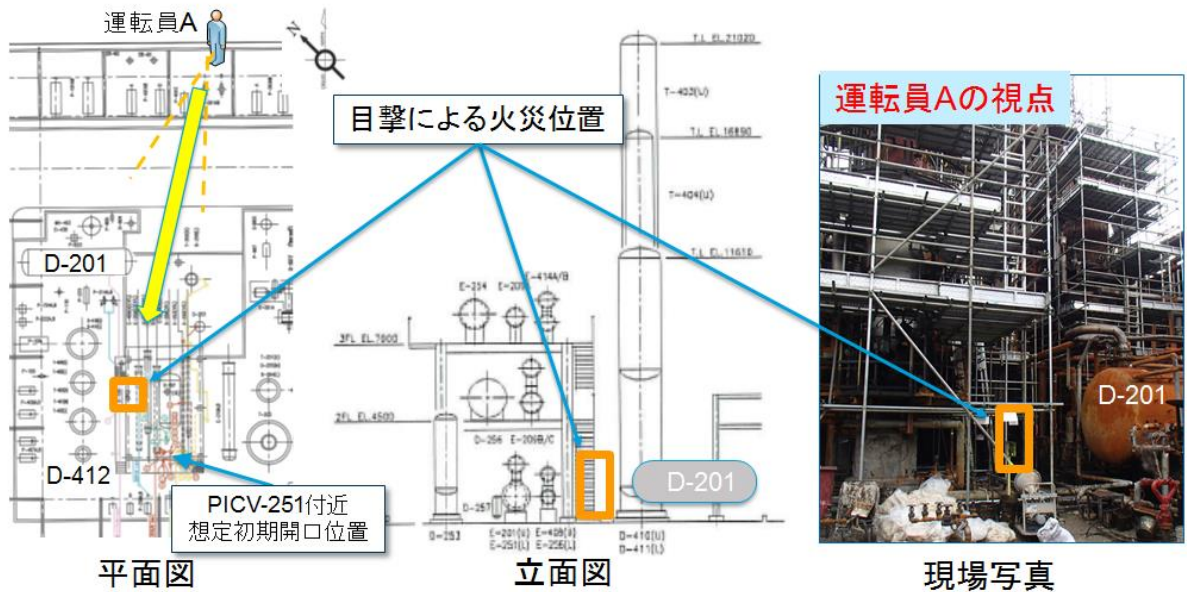
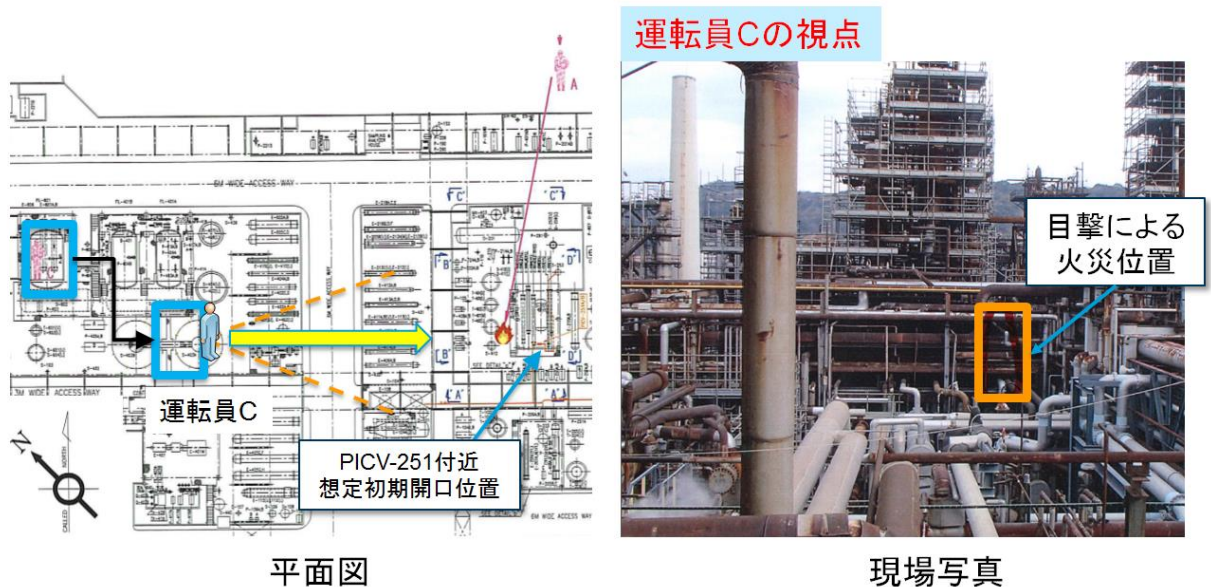


図-IV-5 運転員 C 目撃状況



(2) 監視カメラの映像

火災発生エリアを直接撮影した集合煙突からの映像は 16:00 より記録されたため、運転員 A が火炎を確認した 15:40 頃の火災エリアの状況を直接撮影した画像は残されていない。

一方、入出門の監視カメラでは火災エリアの東側のエリアが録画されている。図-IV-6 に入出門監視カメラの映像を示す。赤枠で囲われた部分に白煙が確認されたのは、15:38:13 であった（15:38:13 の写真では見分け難いため、15:44:29 の白煙の映像を使用している）。カメラ映像の白煙確認位置と、運転員 A により火炎が確認された発災場所 D-412 付近の距離は約 300m あり、当時の工場正門の風向風速計の記録（北西風 4.7m/s）から出火時間は 15:37:13 と考えられる。しかし、風向及び風速は一定ではないことも考えられ、出火時間は 15:37 より 15:38 の間と推定される。

図-IV-6 15:37:02 及び 15:44:29 の入出門管理カメラ映像の白煙



(3) 装置の挙動

15:40 頃のアラーム記録を確認したところ、15:36 以前には潤滑油製造装置群の運転変動を示すアラームは点灯していなかったが、15:37:00 より運転変動を示すアラームが点灯している。

15:37:00 より 15:38 のアラームの履歴を表-IV-1 に示す。また、各アラーム点灯計器については表中の①～⑨の番号によりプロット図における位置関係を資料-IV-14 に示し、PT-2 HD 工程概略図における配置を図-IV-7 に示す。

表-IV-1 アラーム履歴

15:37:00	PT-2 HD ならびに HD-6 高圧パージガス系統の流量計①PT-2 FI-254/ ②HD-6 FI-807)の指示範囲超過アラームが点灯した。直前の流量は FI-254:2100m ³ /h,FI-807:40m ³ /h で安定していた。
15:37:01	PT-2 HD 高圧パージガス系統の圧力計③PT-2 PIC-251 の偏差が圧力低下により-100kPa 以上となり、偏差アラームが点灯した (図-IV-8)。
15:37:18	HD-6 高圧パージガス系統の圧力計④HD-6 PIC-804 の偏差が圧力低下により-100kPa 以上となり、偏差アラームが点灯した。(図-IV-9)
15:37:35	PT-2 T-202 直近に設置されている硫化水素計 (⑤PT-2 A-251) のアラームが点灯した。(アラームセット値は 3ppm)
15:37:41	潤滑油製造装置群エリアの可燃性ガス検知を知らせるアラームが点灯した。
15:37:49	PD-2 E-408 シェル入口温度計⑥PD-2 TI-4426)の指示範囲超過アラームが点灯した。(指示振り切れ)
15:37:50	製油第二課待機室屋上に設置されている硫化水素計 (⑦H ₂ SA-9991) のアラームが点灯した。(アラームセット値は 0.2ppm)
15:37:51	上記⑦H ₂ SA-9991 の指示範囲超過アラームが点灯した。(指示振り切れ) PT-2 T-201 フィード流量計 FIC-201 の指示不良のアラームが点灯した。
15:37:55	PT-2 HD 反応槽 (D-251B) 入口圧力計 (⑧PT-2 PI-254) の偏差が圧力低下により拡大して-200kPa 以上となり、偏差アラームが点灯した。(図-IV-10)
15:38:01	PD-2 コンデンセイトポット (D-412) 頂部配管温度計 (⑨PD-2 TI-4447) の指示範囲超過を意味するアラームが点灯した。(指示振り切れ)

図-IV-7 PT-2 HD 工程概略図における計器配置図

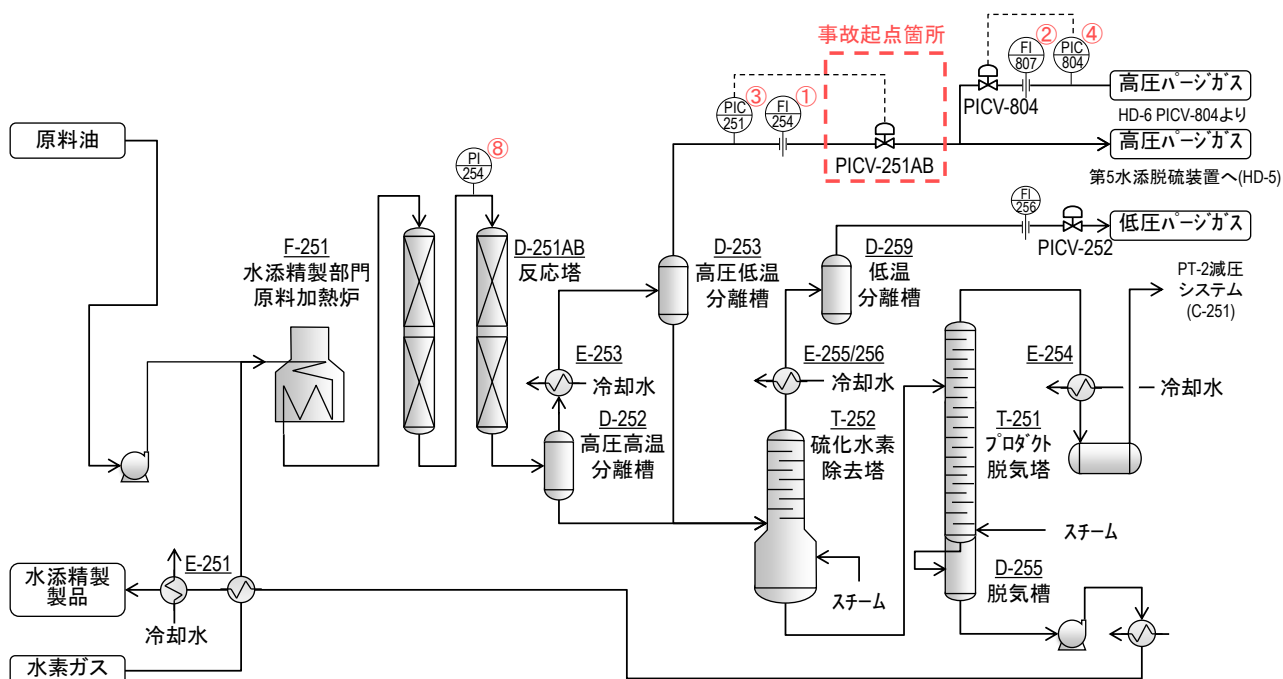


図-IV-8 第二潤滑油抽出水添精製装置 (PT-2 HD) の高圧パージガス系統の圧力計 PIC-251 (15:39 以降の指示は火災の影響により指示不良が発生していると推察される)

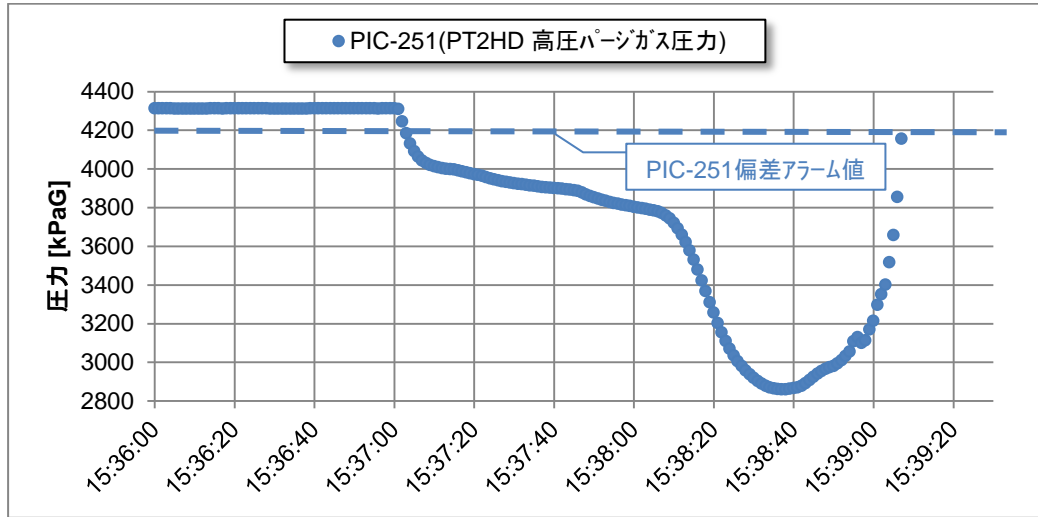


図-IV-9 第六水添脱硫装置 (HD-6) の高圧パージガス系統の圧力計 PIC-804

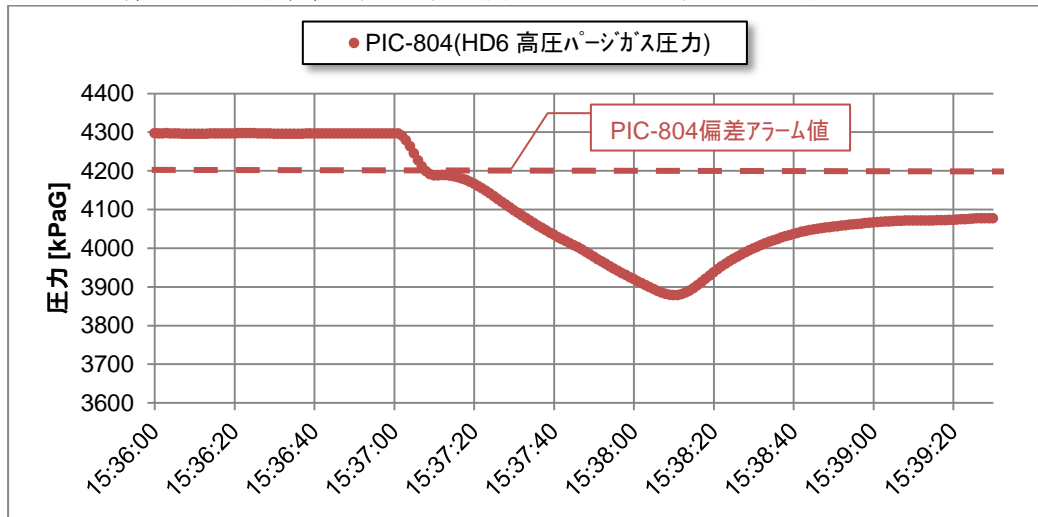
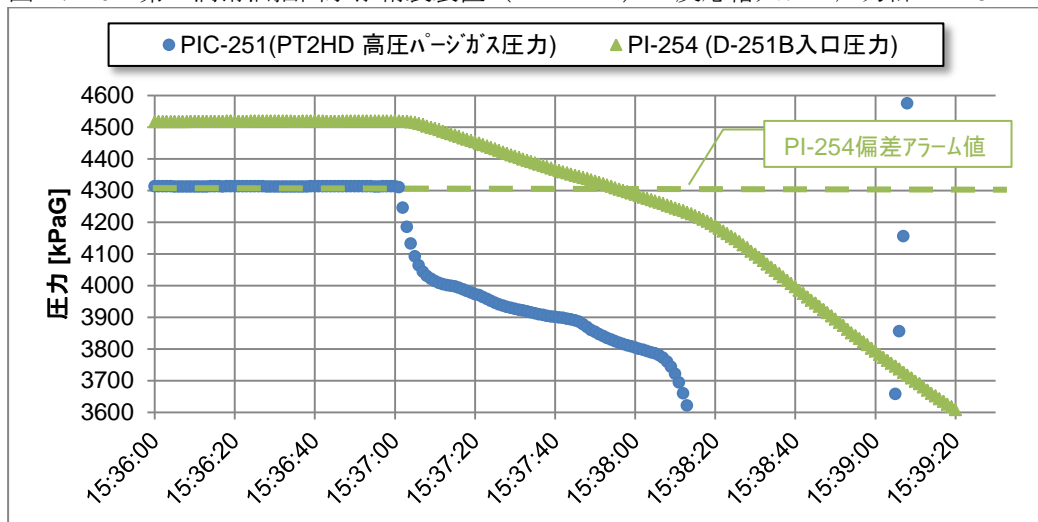


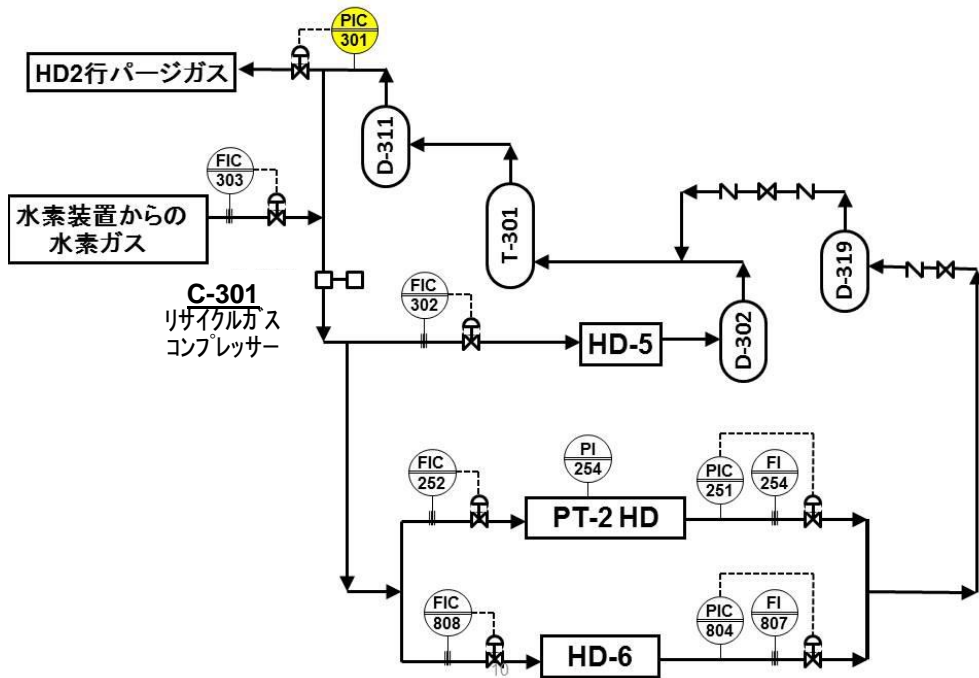
図-IV-10 第二潤滑油抽出水添精製装置 (PT-2 HD) の反応槽入口の圧力計 PI-254



次に、運転データから主な運転変数の変化を考察する。図-IV-11に PT-2 HD と HD-6 の高圧パージガスの系統図を示す。まず、最初に変化した PT-2 HD の PIC-251 を含む高圧パージガス系統のガスは HD-6 高圧パージガスと合流して第五水添脱硫装置 (HD-5) に送られる。

図-IV-11 高圧パージガス系全体図

脱硫系トリートガス・パージガスフロー図(高圧系)

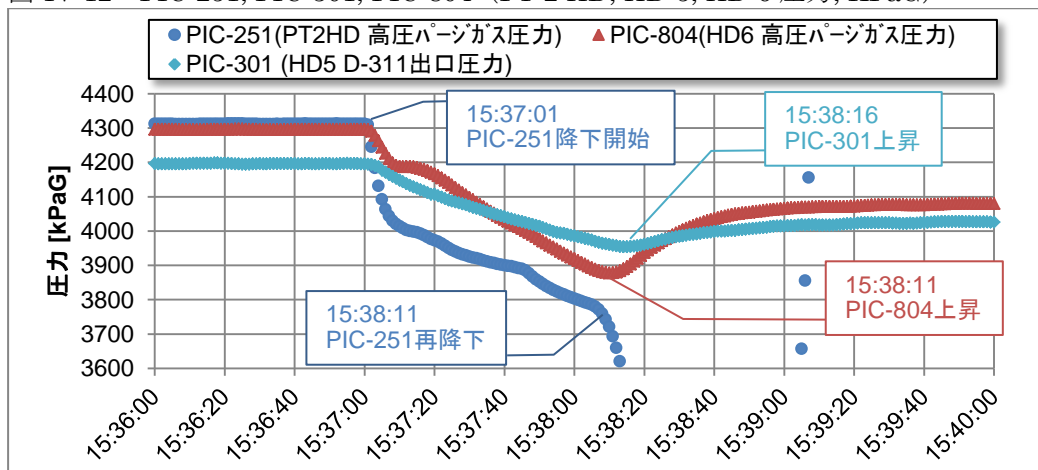


全体の系圧は HD-5 の PIC-301 でコントロールされており、PT-2 HD 圧力制御弁 PICV-251A/B は調節弁開度を全開に設定して運転されていた。15:37:01、PT-2 HD PIC-251 の圧力が急激に下がり始め、それに付随して HD-5 及び HD-6 も圧力が低下した。PIC-251 はそれらより低い指示を出していることから PIC-251 系で系外 (大気) に可燃性ガスが放出されたことが推定される。

その後 15:38:11 に調節弁の開度を調整する機構が火災により喪失して PICV-251A/B が閉止に至ったと推察される事象が発生した。PIC-251 系が HD-5、HD-6 系と切り離されて PIC-251 系の圧力は急速に下がり始めた一方、HD-5 及び HD-6 の系圧は回復して安定化したのはこのためと判断できる。(図-IV-12 PIC-251, PIC-301, PIC-804)

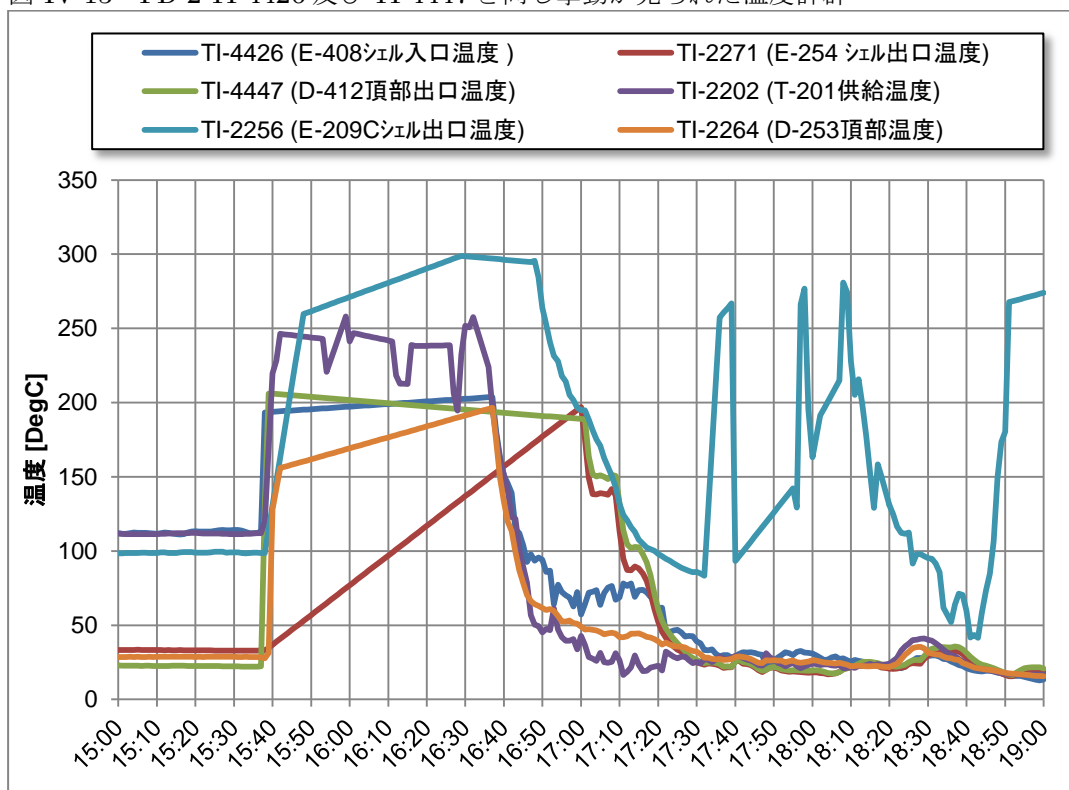
さらに、PT-2 HD 水添反応槽の圧力 PI-254 指示が安定して低下し続けているのにもかかわらず、15:38:36 から PIC-251 の指示が急激に上昇し、すぐに振り切れている。これは、15:38:35 までは計器は正常であったものの、その後、火災による高温環境下で断線したものと考えられる。一方、初期に被災していないエリアにある PI-254 の値 (図-IV-10) はこの時点では健全であったと考えられる。

図-IV-12 PIC-251, PIC-301, PIC-804 (PT-2 HD, HD-5, HD-6 圧力, KPaG)



次に、15:37:49 及び 15:38:01 にそれぞれアラームが点灯した PD-2 TI-4426 及び PD-2 TI-4447 の挙動を検証する。図-IV-13 に示すように、同エリア内の配管に設置されている他の温度計と同様に急激な温度上昇が認められるとともに、16:35 頃より温度計測定レンジ内に指示が復帰している。

図-IV-13 PD-2 TI-4426 及び TI-4447 と同じ挙動が見られた温度計群



当該計器のケーブルを接続するボックスは D-412 の西側に位置しており、5. 2. 2. (1) 項の目撃証言に示すように運転員 A 及び C に確認された D-412 東側の火炎によって温度計～ボックス間でケーブルが火炎によるダメージを受け、補償導線がダメージを受けることで溶融・短絡となり、プロセス温度測定ではなく大気温度測定に変化したと推察される。

以上より、事故起点箇所は PT-2 HD 高圧パージガス系統のうち、流量計 FI-254 設置位置の下流から PICV-251A/B 設置位置の上流の間に位置し、15:37:00 に開口が発生して可燃性ガスが漏えいし、15:37:49 までの間で着火したと推察される。(図-IV-7)

(4) 現場検証結果

事故起点箇所を推定するため、PT-2 HD 高圧パージガスラインが設置されており、かつ、損傷の激しい D-412 東側の 2 階ステージ周辺部について、油が漏えいしたと考えられる開口部の検出を中心に損傷状況を確認した。

油が漏えいしたと考えられる開口部は計 18 箇所認められた。

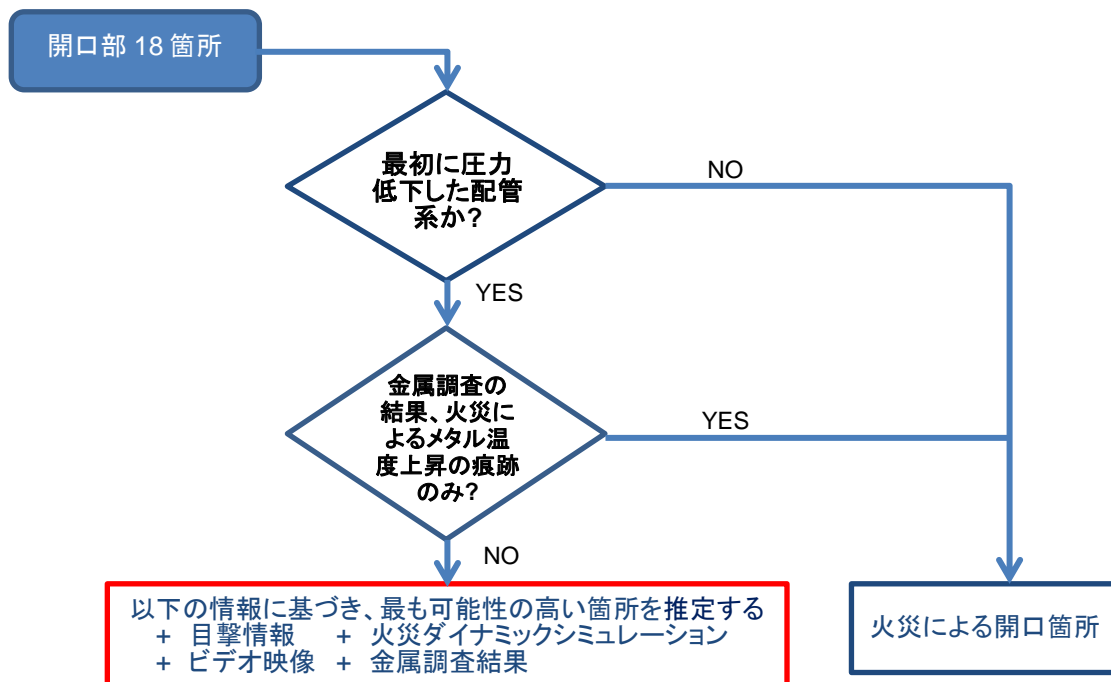
開口部は、D-412 の東から北東にかけて約 6~16m の範囲の 2 階ステージの配管に存在し、2 階ステージ下の地上部にも存在した。

5. 3. 事故起点箇所となった開口部の推定

5. 3. 1. 事故起点箇所の推定方法

現場検証で確認された開口部 18 箇所から、事故起点となった最初の開口部を推定するための手順を図-IV-14 に示す。

図-IV-14 事故起点箇所推定のフローチャート



5. 3. 2. 事故起点箇所の推定結果

(1) 配管系の推定

運転データに基づき、最初に圧力が低下したのは PT-2 HD 高圧パージガスライン系であることが判明している。当該系では、表-IV-2 に示す 12 箇所の開口部が確認されており、これらが最初の開口部の候補となる。(図-IV-16 に開口部を図示する)

表-IV-2 配管系の推定結果

開口番号	試料番号	ライン名称
①	試料 1	高圧パージガスライン
②⑥⑭	試料 E	
③⑦⑬	試料 A	
④	試料 4	
⑤	試料 F	
⑯	試料 16	
⑰	試料 17	
フランジ D	試料 D	

(注記) 試料番号は、サンプル採取した配管に対し金属分析機関で付けた番号。開口箇所が近接している場合は、ひとつの試料番号に複数の開口箇所が含まれている。

(2) 開口部の金属調査結果に基づく絞り込み

PT-2 HD 高圧パージガスライン系の全 12 箇所の開口部に対して金属調査を実施した。まず、当該系配管に使用されている炭素鋼は、火災の影響で 500℃以上に金属温度が上昇すると、以下に示す現象に伴う痕跡が残る。

- ①. 温度上昇に伴い降伏応力が低下して塑性変形し、応力方向に平行したメタルフロー（塑性変形に伴い結晶粒が変形し方向性をもつ）が観察される。
- ②. 周囲に酸素がない状態で油と接触した炭素鋼が高温に晒されると浸炭という現象が発生する。浸炭が発生した金属マイクロ組織を観察すると黒色の炭化物の増加が観察される。
- ③. 浸炭した後に変態温度（727℃）を超える温度に加熱されその後冷却されると、過共析組織(*)が出現し、パーライトと呼ばれる鉄と炭化物の混合組織の面積増加が観察される。

- ④. 浸炭しない条件では、高温曝露時にパーライトが分解して、結晶粒内や粒界に球状の炭化物凝集が観察される、
- ⑤. 変態温度（727℃）を超える温度に加熱され、その後比較的速い冷却速度で冷却されると、結晶粒の粗大化が観察される。
- ⑥. 大気中で高温に曝されると、高温酸化が起こり、酸化スケールの付着と肉厚の減少が観察される。

(*) 炭素濃度が 0.8 wt% 以下の一般的な炭素鋼は、冷却過程においてまずフェライト (Fe) が析出し、さらに冷却が進むとパーライトと呼ばれるフェライト (Fe) と炭化物 (Fe₃C) の混合組織が出現する。これを共析組織と呼ぶ。一方、炭素濃度が 0.8~2.0 wt% の炭素鋼は、冷却過程においてまず炭化物 (Fe₃C) が析出し、さらに冷却が進むとパーライトと呼ばれるフェライト (Fe) と炭化物 (Fe₃C) の混合組織が出現する。これを、過共析組織と呼ぶ。

当該系の通常運転温度は約 30℃ であり、運転中に開口に至る可能性のある現象は以下の通りである。

- ①. 腐食による減肉
- ②. 割れ
- ③. フランジからの漏えい

金属調査の結果、開口部④で火災の影響で金属温度が上昇した痕跡のみが確認された。この箇所では腐食減肉や割れは認められず、マイクロ組織観察で浸炭後に高温に曝された過共析組織が観察された。したがって、開口部④は火災発生後の開口であると判断される。(資料-IV-15 開口部④のマイクロ組織写真)

以上から、当該系の全 12 箇所の開口部のうち、開口部④を除く 11 箇所が最初の開口部の候補に残される。(表-IV-3)

表-IV-3 金属調査による絞り込み結果

開口番号	試料番号	ライン名称
①	試料 1	高圧バージガスライン
②⑥⑭	試料 E	
③⑦⑬	試料 A	
⑤	試料 F	
⑯	試料 16	
⑰	試料 17	
フランジ D	試料 D	

(3) その他の情報に基づくさらなる絞り込みと推定

以下の 4 箇所については金属調査の結果では運転中に発生する事象の痕跡と火災の影響による痕跡の両方が確認されたが、事故起点ではないと判断される。

- ①. 開口部①
当該箇所は高圧バージガスのバイパスラインであり、本管とはバルブ閉止で縁切られていた。この箇所でも開口しても高圧バージガスの圧力は低下しない。
- ②. 開口部⑯
腐食減肉部の残存肉厚は 1.5 mm と確認されており、運転温度 30℃ では運転圧力によって破壊しない。強度計算では、600~700℃ に炙られると降伏応力を超過して破壊する結果となった。金属マイクロ組織でもパーライト分解が観察されているので、高温に曝されていたことを示している。(資料-IV-16 開口部⑯の強度計算)
- ③. 開口部⑰
破断部の金属マイクロ組織にメタルフローが観察されることから、塑性変形を伴って破壊したことを示している。メタルフローの方向から配管長手方向の応力で破断している。運転時の内圧による主応力は配管周方向であるから、破断時の応力は火災の熱応力によるものと考えられる。(資料-IV-17 開口部⑰のマイクロ組織写真)

④. フランジ D (PICV-251B 下流側フランジ)

図-IV-15 に高圧パージガス圧力の変動を示す。15:37 発災時に高圧パージガスの圧力が低下した後、15:38 過ぎに計装フェイラー（駆動源空気圧力が火災により配管損傷で低下し、安全方向にバルブ閉止させる機能が作動）により PICV-251 A/B が閉止し、PICV-251 A/B 下流側の高圧パージガス圧力が回復した。その後、15:55 に PICV-251 A/B 下流側の高圧パージガス圧力が低下した。PICV-251 A/B 下流側の開口部はフランジ D のみであり、15:55 にフランジ D が開口したことを示している。

図-IV-15 高圧パージガス圧力

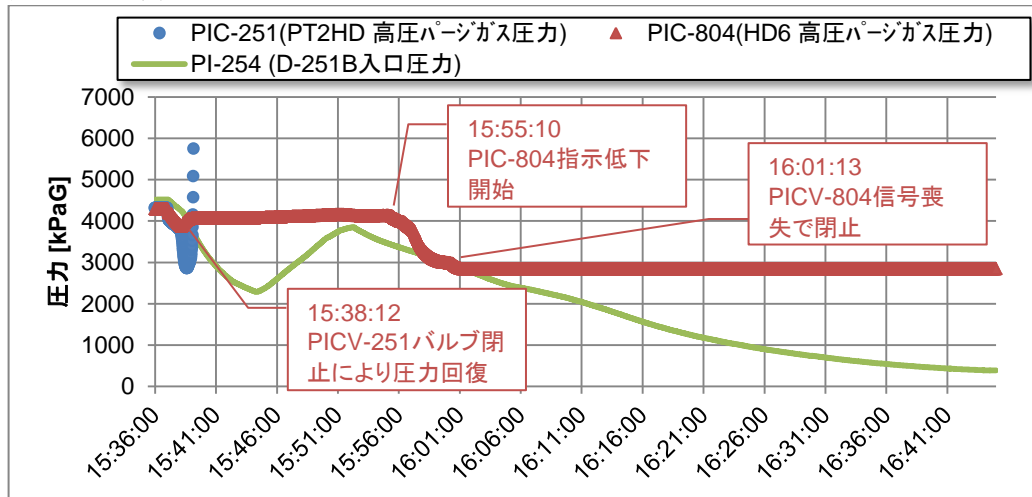
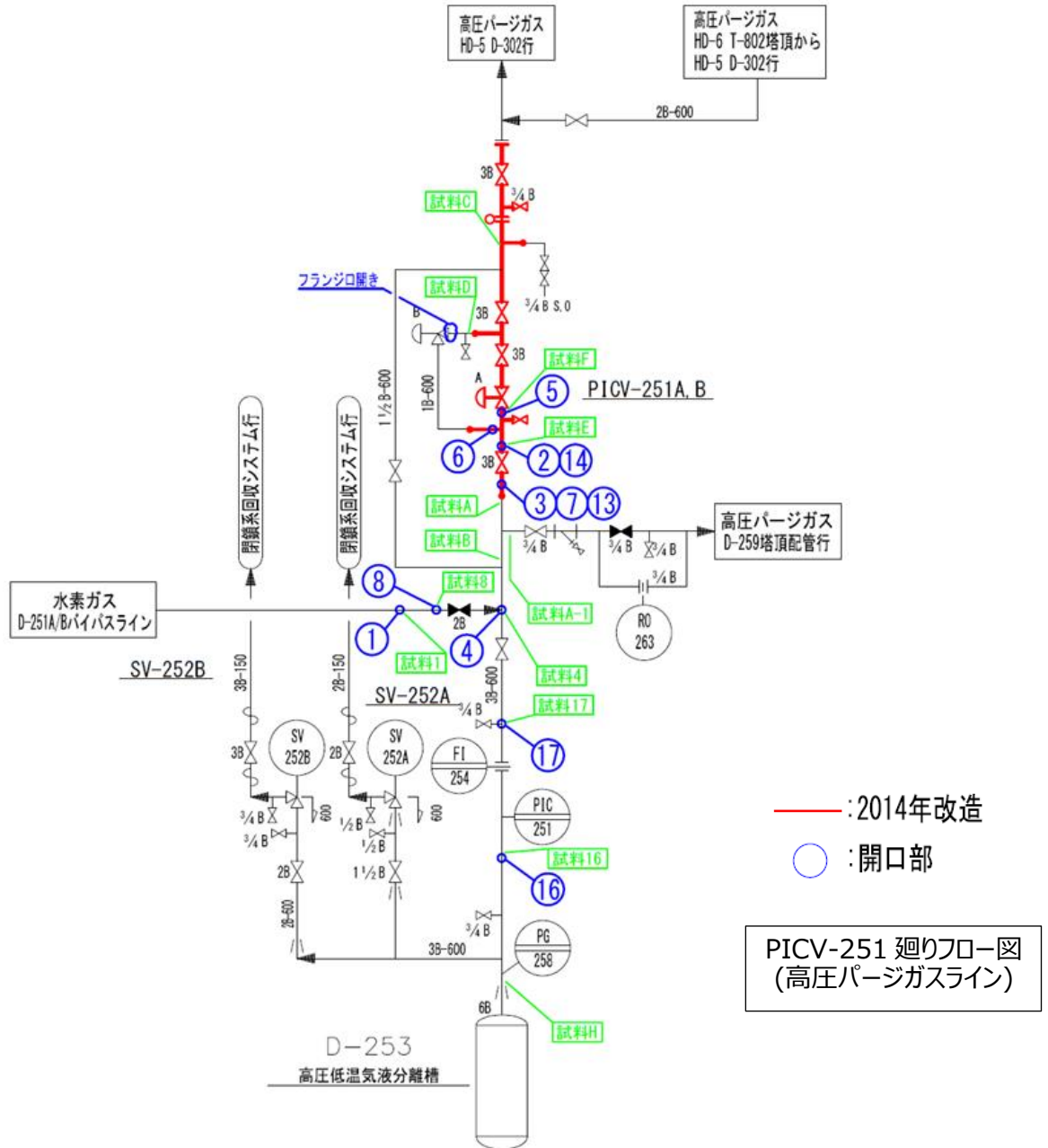


図-IV-16 高圧パージガスライン開口箇所



以上から、当該系の残り 7 箇所の開口が最初の開口部候補となる。（表-IV-4）

表-IV-4 残った最初の開口部候補

開口番号	試料番号	ライン名称
②⑥⑭	試料 E	高圧パージガスライン
③⑦⑬	試料 A	
⑤	試料 F	

残り 7 か所の開口部は 3 つの試料 A, E, F に含まれる。試料 A, E, F はいずれも PICV-251A 上流側に位置し、長さ 2m 以内の範囲に分布している。各試料の金属マイクロ組織は以下の通りである。（資料-IV-18 試料 A, E, F のマイクロ組織写真）

- 試料 A：標準的なフェライト・パーライト組織
- 試料 E：パーライト分解と部分的な結晶粒の粗大化
- 試料 F：浸炭

試料 A は炭素鋼の標準的な組織に近く、金属温度がさほど上昇していないことを示している。一方、試料 E,F の組織には火災影響の痕跡が認められる。

次に試料 A における 3 か所の開口部ごとの組織の比較を以下に示す。

開口部③：過共析組織（火災影響有）

開口部⑦：標準的なフェライト・パーライト組織（火災影響無）

開口部⑬：標準的なフェライト・パーライト組織（火災影響無）

試料 A は PICV-251A 直上流の東上側のエルボ一部から採取されており、100mm 程度のごく狭い範囲内にこれら 3 箇所（開口部）が近接している。この狭小範囲内における火災影響有無の相違は、煽火（せんか、Lifting）と呼ばれる現象によるものと考えられる。煽火とは、混合気の噴出速度が燃焼速度を大きく上回る場合に、火炎が炎孔に保持されずに炎孔から一定距離を隔てた空間で燃焼する現象である。最初の開口部では、噴出した高圧パージガスの噴出速度が臨界速度に達し、当該ガスが着火した際の燃焼速度とのバランスにより煽火現象に至ったものと想定される。この際、開口部では火炎が保持されないことに加え、噴出ガス流の冷却効果もあって、開口部の金属温度の上昇が抑制される。したがって、火災影響の少ない標準的な金属組織を呈している開口部⑦または⑬が最初の開口部であった可能性が高い。開口部⑦と⑬では、共に内面の腐食減肉が確認され、両者とも減肉部が内圧 4MPaG により開口したことが、運転中の最初の開口であると考えられる。

両開口部の発災現場での開口方向は、⑦が西向き、⑬が東向きであった。前述の火災発生直後の現場目撃情報によると、PICV-251A 西側において炎が上がっている。このため、西向きの開口部⑦が最初に開口したと考えるのが妥当である。最初の開口部⑦から煽火が西側に発生したとすれば、⑦とは反対側に位置する開口部⑬においても発災時の火炎による熱影響が小さかったものと考えられる。

一方、試料 A 内の開口部③は、開口方向が西向きである点は⑦と同様である。開口形状は、減肉に沿った折れ曲がった割れ状の様相を呈している。割れの途中には直径数 mm の小さな孔が複数存在し、周辺の肉厚は 0.2mm 程度まで減肉が進んでいた。割れ状開口部の両端及び側部それぞれの断面の金属組織観察では、変態点以上からの冷却による「過共析組織」や「結晶粒の粗大化」が認められ、明確な火災影響を受けていることが確認された。さらに、一部断面では結晶粒が引き伸ばされた塑性変形の痕跡が認められた。この塑性変形が最初の開口によるものであるならば、その後の火災影響による変態点以上への加熱によって結晶粒は是正されるため、塑性変形の痕跡は残存し得ない。したがって、開口部③は減肉部が内圧噴破したのではなく、複数の微小孔が火災発生後に連結して大きな割れ開口に至ったと推定できる。これら微小孔が開口部⑦よりも早く生じていたか否かについては、試料分析を通じて明確な情報は得られなかった。

5. 4. 直接原因の推定

5. 4. 1. 事故起点箇所となった開口部の状況

(1) 最初の開口部の検査結果

最初の開口部として推定した開口部⑦を含む PICV-251A 上流側エルボ一部をサンプルとして取り出し、各種調査を実施した。この結果、以下の事実が判明した。（資料-IV-19 PICV-251A 上流側エルボ一部 2 つ割り写真）

- ①. 配管を 2 つ割りにしたところ、配管内にはコーク（この報告書では、油が炭化したものをコークと呼ぶ）と思われる物質が緻密に詰まっていた。X 線回折分析の結果、配管内に詰まっていた物質は 97～98 wt% が炭素でありコークであることが確認された。
- ②. コークを除去して配管内面を観察した結果、全体が黒色のスケールで覆われていた。また、開口部の周辺のみ茶褐色のスケールが付着していた。（開口部周辺に消火水がかかり、サビが発生し茶色の酸化鉄スケールが付着したためと考えられる。配管内面にコークが詰まっていたため、開口部から奥まったところまでは消火水が届かずサビは発生しなかったと考えられる。）
- ③. 黒色スケールを X 線回折で分析した結果、FeS（Troilite：トロイライト）が主成分であった。

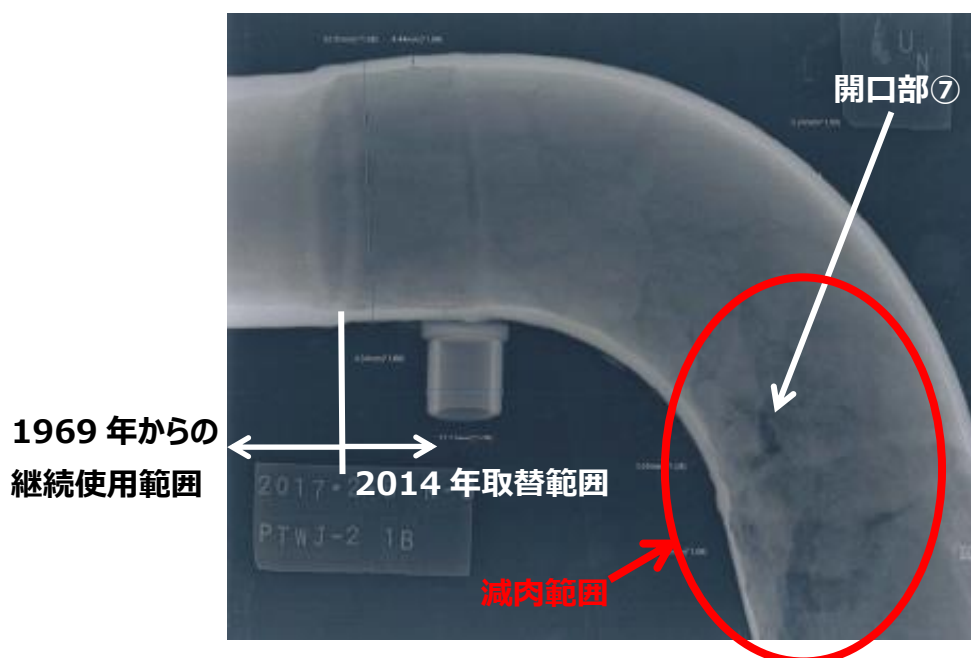
- ④. ウロコ状の減肉に加えて、部分的に液垂れのような筋状の減肉が確認された。（当該配管の直上流の上向き T 字管は行き止まりの枝管であり、この部位でガスが滞留凝縮されて生じる H₂S と NH₃ を含む水分が T 字管に垂れ落ちて発生した腐食減肉と推定される。）
- ⑤. 金属元素分析の結果は、JIS STPT370 の規格を満足していた。（資料-IV-20 金属元素分析結果）
- ⑥. 断面マイクロ組織観察の結果、開口部⑦と⑬では、炭素鋼の通常組織であるフェライト・パーライト組織が確認された。一方、開口部③では高温に曝された痕跡である過共析組織が観察された。

(2) 配管肉厚測定結果

PT-2 HD 高圧パージガスラインを含む、PT-2 HD 反応槽下流の炭素鋼配管に対して、全線放射線検査 (RT) を実施した。RT 写真を図-IV-17、図-IV-18、図-IV-19 に示す。その結果、以下の事実が判明した。

- ①. 図-IV-17 に示すように 2014 年定期修理時に更新された PICV-251A 上流配管で激しい腐食を認めた。最初の開口部⑦のエルボーは、2014 年定期修理時に更新された箇所である。

図-IV-17 開口部⑦RT 写真



- ②. 1969年建設当時から使用されている配管でも図-IV-18に示すD-253からPICV-251行き配管の立ち上がりエルボー部、図-IV-19に示すE-253（高圧高温分離槽の頂部ガス凝縮機器）出口配管の2箇所です著しい局部腐食減肉が確認された。

図-IV-18 D-253からPICV-251行き配管の立ち上がりエルボー

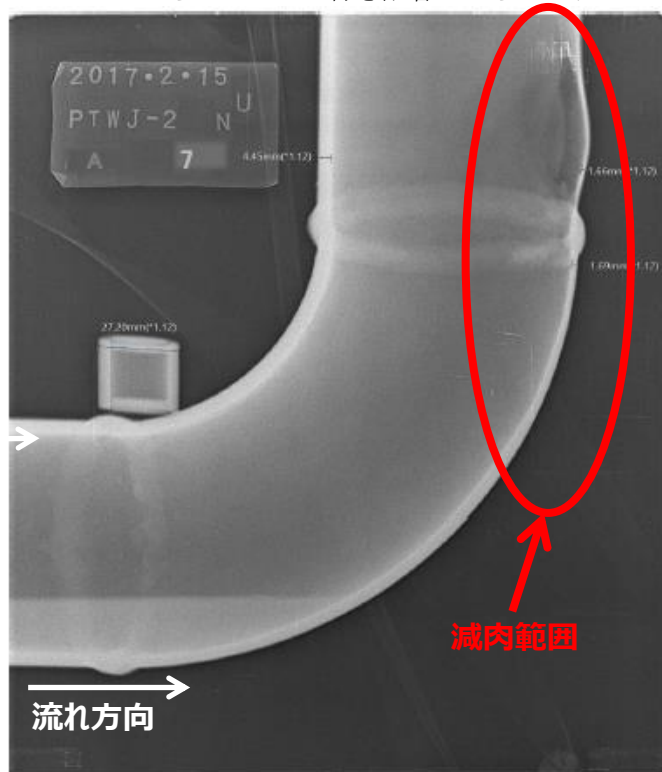
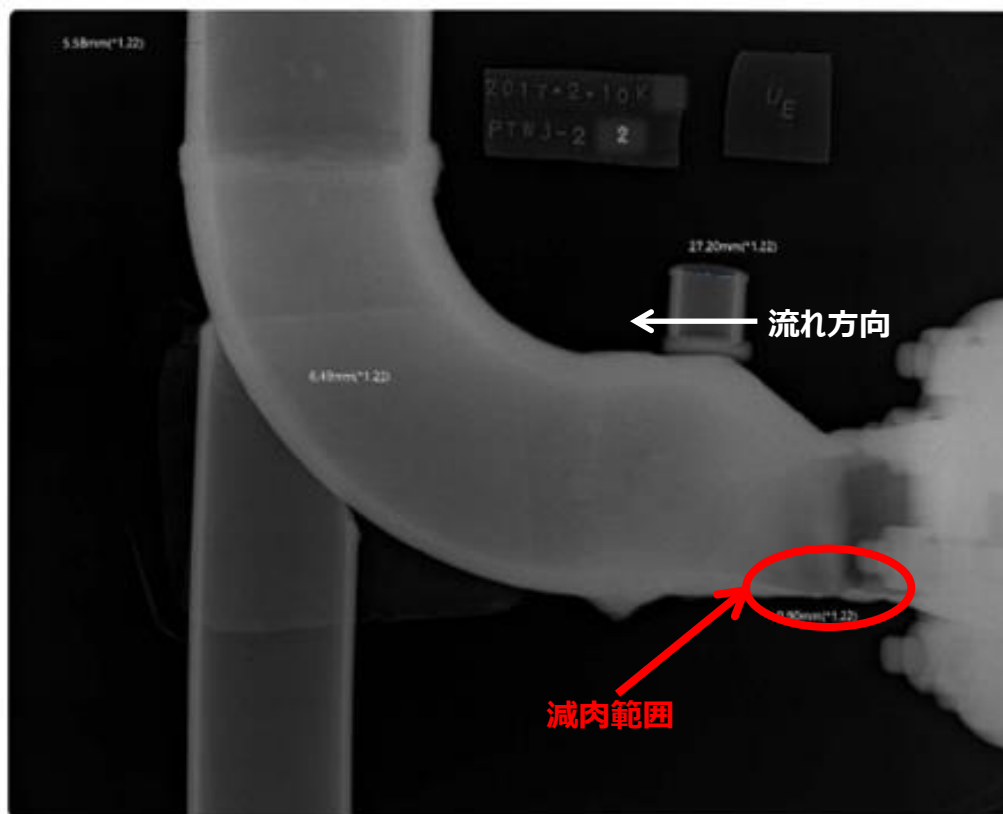


図-IV-19 E-253（高圧高温分離槽の頂部ガス凝縮機器）出口配管



5. 4. 2. 腐食劣化の要因

(1) 腐食劣化の要因

API Recommended Practice 571, Second Edition, April 2011 (米国石油学会 推奨基準 RP 571、第2版、2011年4月付)によると、脱硫装置分離槽下流配管系で発生する腐食劣化要因は以下のとおりである。(資料-IV-21 API RP 571 抜粋)

- ①. アンモニウムバイサルファイドによるアルカリサワーウォーター腐食
- ②. 塩化アンモニウム腐食
- ③. 塩酸腐食
- ④. エロージョン・コロージョン
- ⑤. Wet H₂S ダメージ (湿性硫化水素環境における劣化)

また、PT-2 HD は上流に溶剤抽出装置をもつため、上記に加え溶剤である NMP による腐食の影響も考えられる。

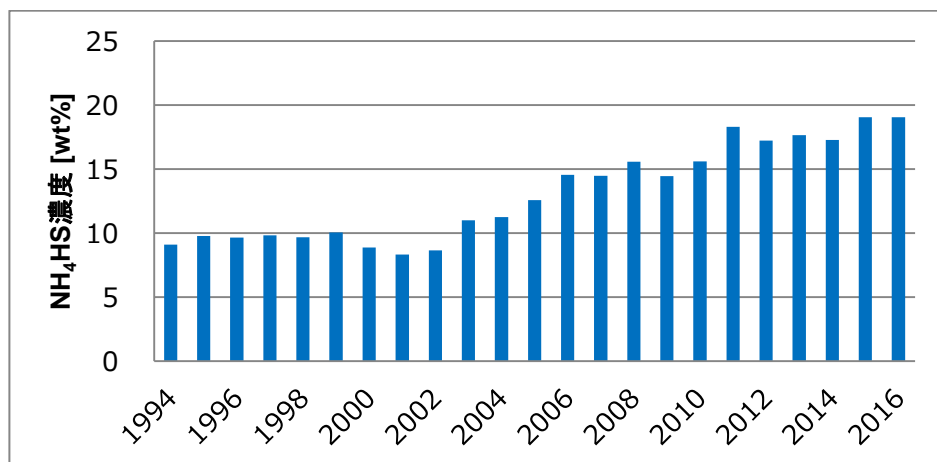
(2) 腐食劣化要因の推定

(1) で挙げた各腐食劣化要因について、今回の事故の直接原因の可能性を考察する。

①. アンモニウムバイサルファイドによるアルカリサワーウォーター腐食

潤滑油系脱硫装置においても反応塔下流の高圧高温分離槽の頂部流体中には、一般的な燃料油系脱硫装置と同様に、NH₃に比べて H₂S が過剰に存在する。上記環境下では、冷却されて生成した凝縮水中に溶解度の高い NH₃ が優先して溶解し、NH₄⁺イオンが形成される。その結果凝縮水がアルカリ性を帯び、H₂S は HS⁻イオンとして凝縮水に溶解しやすくなる。PT-2 HD 装置の運転は、処理量に大きな変化はないものの、製品需要の変化に伴い原料油組成の重質原料油の処理比率が年々増加している。これに伴い、PT-2 HD 装置で生成される NH₃ の総量が年々増加し、1994年に比べると2007年以降は約2倍となっている(資料-IV-22 運転状況の詳細)。このため、NH₃生成量増加に伴い、凝縮水中のアンモニウムバイサルファイド濃度が上昇し、サワーウォーターの腐食性が増加したと考えられる。プロセスシミュレーションによるアンモニウムバイサルファイド濃度の推移は図-IV-20 のとおりであり、2002年以降徐々に増加傾向にある。

図-IV-20 アンモニウムバイサルファイド(NH₄HS)推定濃度の推移



②. 塩化アンモニウム腐食及び③. 塩酸腐食

原料油の塩素濃度を測定した結果は検出限界 (1wt ppm)未満と低く、トリートガス (脱硫装置の反応に使用される水素ガス) の塩素濃度も約 0.01vol ppm と低いレベルである。このため、塩化アンモニウム腐食や塩酸腐食の可能性は低い。

④. エロージョン・コロージョン

エロージョン・コロージョンの減肉形態が認められる。コロージョンの因子は、①. のアルカリサワーウォーターと考えられる。

⑤. Wet H₂S ダメージ (湿性硫化水素環境下における劣化)

腐食反応で生じた水素が鋼中に侵入し、鋼材の局部膨れや割れを生じさせる現象である。しかしながら、開口部の調査結果では局部膨れや割れは検出されていない。

⑥. NMP による腐食の影響

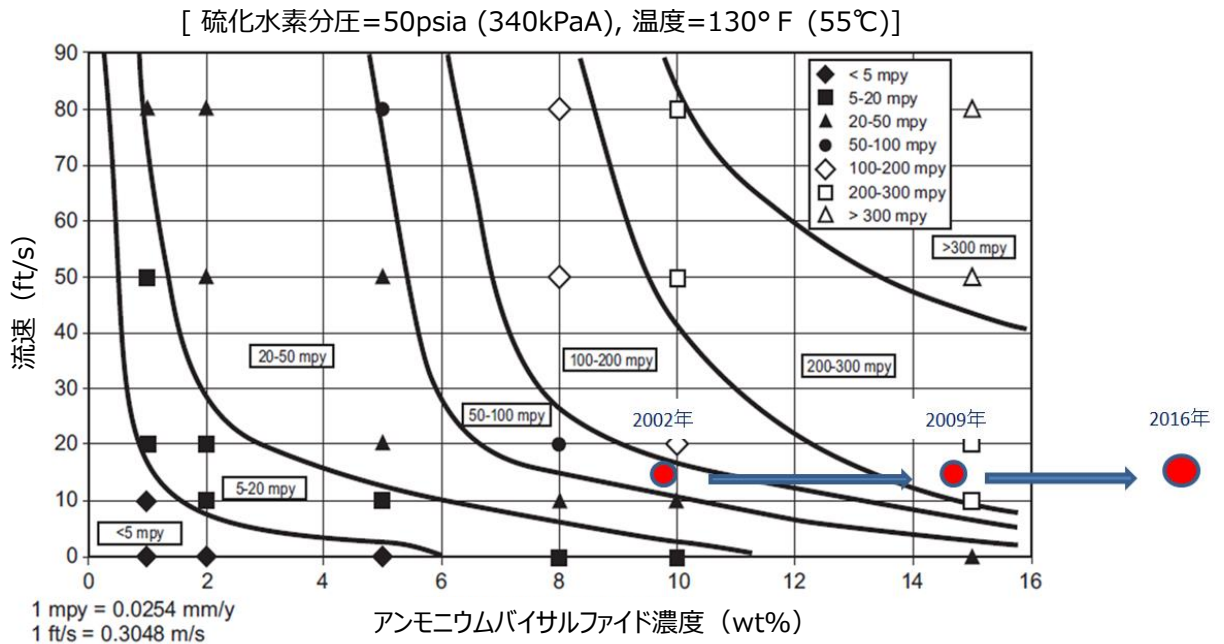
上流装置から持ち込まれた NMP は脱硫反応槽でアンモニアと水に分解される。PT-2 HD 原料油中の NMP 濃度は 50wtppm 以下で管理している。原料油中の NMP 濃度を最大値である 50wtppm と想定した場合、NMP が脱硫反応槽で完全に分解したとしてもアンモニア生成量は 8wtppm 相当と推測されるため、脱硫反応槽下流配管で腐食の問題はないレベルである。

以上から、アンモニウムバイサルファイドによるアルカリサワーウォーター腐食以外は直接原因とは考えにくい。以下に、アンモニウムバイサルファイドによるアルカリサワーウォーター腐食についてさらに考察する。

アンモニウムバイサルファイドによるアルカリサワーウォーター腐食が産業界で認識され、同腐食防止のガイドライン等で知られるようになったのは、1970 年代 (例えば、1975 年 米国腐食協会 [NACE] のガイドライン) で、その後も様々な研究が進められているが、未だその腐食メカニズム等は十分に解明されていない。近年の新たな研究としては、1998 年から 2003 年にかけて JIP (Joint Industry Program) によって実施された詳しい調査研究がある。JIP 検討結果の要点は腐食率予測のチャートに反映され、2004 年に API Recommended Practice(RP) 932-B 「Design, Materials, Fabrication, Operation and Inspection Guidelines for Corrosion Control in Hydroprocess Reactor Effluent Air Cooler Systems」 (米国石油学会推奨基準 RP932-B) として発行された。また、API RP 932-B は、2012 年 3 月に 2nd Edition が発行されている。

2016 年の PT-2 HD 運転条件 (アンモニウムバイサルファイド: 19 wt%、流速: 5 m/s) を図-IV-21 の API RP 932-B チャートに落とし込むと、予測腐食率は年間 5.0～7.5 mm となる。今回腐食開口した配管の腐食率は年間約 3 mm (2014 年 10 月設置、設置時肉厚 5.5 mm) であるから、予測腐食率とはオーダー的に大きな乖離は無いと言える。

図-IV-21 API RP 932-B チャートによる腐食率推定



次に、建設当時の 1969 年設置配管に比べ 2014 年設置配管で腐食が激しかった理由を考察する。

炭素鋼の H₂S 溶液中での腐食試験を実施した研究をまとめた文献 (資料-IV-23 硫化鉄スケールに関する文献から抜粋) では次のような知見が報告されている。

- 新品の試験片は流速の増加に比例して減肉スピードが増大した。
- 予め FeS_{1-x} (Mackinawite : マッキナワイト) 、 FeS₂ (Pyrite : パイライト) のスケールを付着させた試験片においては流速の増加にかかわらず減肉スピードの変化がなかった。

この文献の報告内容は、腐食により生成された硫化鉄スケールが配管内表面に保護被膜として付着し、さらなる腐食進行を抑制する可能性を示している。硫化鉄スケールには、以下のように分子構造の異なるいくつかの種類が存在する。

- Fe_{1-x}S (Pyrrhotite : ピロータイト) 、 FeS_2 (Pyrite : パイライト) 、 FeS (Troilite : トロイライト) : 安定で、緻密かつ強固なスケールを生成して保護被膜として有効である。
- FeS_{1-x} (Mackinawite : マッキナワイト) : 不安定で、内部流体の流れによるせん断力によりスケールが剥がれ金属を剥き出しにして腐食進行を速めると言われている。

1969年設置配管に比べ2014年設置配管で腐食が激しかった原因は、腐食により生成された硫化鉄スケールの種類の違いである可能性が考えられる。

今回、腐食開口した2014年設置配管と、これに繋がる腐食が軽微な1969年設置配管のスケールに対してX線回折を実施した。しかし、いずれも FeS (Troilite : トロイライト) しか検出されず、上述のスケール分子構造の違いによる腐食性の相違を実証できなかった。これは、硫化鉄が約 500°C 以上に加熱されると全て単体の FeS (Troilite : トロイライト) に変化するため、火災影響によりスケールの性状が変化してしまったためと考えられる。

いずれにしても、2014年に新しい配管に取替えられた部位で、急激な腐食が発生して、約2年3ヶ月で今回の配管穿孔に至った。前述の通り、アルカリサワーウォーター腐食のメカニズム等は、現在も研究中のテーマであり、今回の事例からも腐食予測が困難であることを示している。したがって、系内に洗浄水を注入してアンモニウムバイサルファイド濃度を一定以下に下げる管理などの系全体の腐食対策が必要となる。

5. 4. 3. 直接原因のまとめ

PT-2 HD 装置 (第二潤滑油抽出水添精製装置水添精製部門) で原料油組成の重質原料油の処理比率が徐々に増加したこともあって、水分が凝縮した箇所においてはアンモニウムバイサルファイド濃度が上昇し、激しいアルカリサワーウォーター腐食が発生した。腐食により減肉し内圧に耐えられなくなった時点で配管が穿孔し、水素濃度の高い可燃性ガスが噴出し静電気などで着火して火災となったと推定される。

5. 5. 間接要因の推定

5. 5. 1. アルカリサワーウォーター腐食に対する業界の取り組みについて

前述の通り、業界の長い歴史の中でアルカリサワーウォーター腐食に関する多くの知見が得られてきているが、現在も研究・調査は継続されている。保険会社から独自に得た情報によると、海外の製油所脱硫装置においてアルカリサワーウォーター腐食を原因とする事故が2014年以降も4件発生しており、同腐食メカニズムは現在においても十分に解明されていないことを示唆していると考えられる。

1970年代～1990年は、実機の腐食データに基づいた経験ベースの評価が主体であった。NACE (米国の腐食協会) や API (米国の石油学会) から、サワーウォーター腐食を管理するために流速や K_p 値 (H_2S と NH_3 の分圧から求める腐食性や析出性の指標) の上限に関するガイドラインが発行された。

2000年代に入ると、経験ベースに加えて実験やプロセスシミュレーションを駆使した評価がされるようになった。ガイドラインの範囲内で運転しているにもかかわらず腐食トラブルが発生するケースが多発していることから、Joint Industry Program (JIP) が設立され、実験やプロセスモデルによるシミュレーション結果を総合評価して、より正確な腐食率評価方法を確立する検討が2003年に完了した。JIPの検討結果のキーポイントは、2004年発行の API Recommended Practice 932-B 「Design, Materials, Fabrication, Operation and Inspection Guidelines for Corrosion Control in Hydroprocess Reactor Effluent Air Cooler Systems」 に反映された。

5. 5. 2. PT-2 HD におけるアルカリサワーウォーター腐食の管理について

1969年 PT-2 HD 装置の建設当時において、アルカリサワーウォーター腐食のメカニズムは既知の事柄ではなく、設計時の材料選択では通常の炭素鋼が採用された。また、水分中のアンモニウムバイサルファイドを希釈できる洗浄水注入設備や、アンモニウムバイサルファイド濃度を分析するための排水サンプリング設備は設置されなかった。

その後、高圧パージガス系では定期的な配管検査に基づく腐食管理が行われてきた。具体的には高圧ガス保安法に基づく肉厚測定及び社内配管検査プログラムに基づく肉厚測定であった。社内配管検査プログラムでは、5. 4. 2. (1) 項に挙げた劣化メカニズムに加えて、配管設置状態により発生し得る劣化メカニズム(行き止まり部での腐食、外面腐食等)を定義していた。そして、これら劣化メカニズムに適した検査手法(超音波肉厚測定あるいは放射線透過試験)や検査周期(腐食が軽微で余寿命が十分にあると推定したため約10年間隔で検査を計画、直近では2009年、1998年、1991年に検査を実施)が定められていた。これら検査結果に基づき腐食進行度合いや余寿命を推定し、腐食管理がなされていた。当該系における定期的な配管検査では、全ての検査箇所にて腐食率が0.1mm/年以下であり顕著な減肉は認められなかった。

業界のアルカリサワーウォーター腐食の管理改善に向けた取り組みを受けて、2004年～2005年に旧東燃ゼネラル石油株式会社では、当時の系列3工場の脱硫装置に対するアルカリサワーウォーター腐食のリスク評価を実施した。しかし、PT-2 HD装置は以下の2点の理由により、当時のリスク評価の対象から外されたものと思われる。

- ①. 一般的に、燃料油精製設備の軽油・重油脱硫装置では燃料油製品の硫黄分の規格から90 wt%以上の高い脱硫率が要求される。これに対し、潤滑油脱硫装置では潤滑油の色相、酸化安定性、界面活性性状等の改善を行うことを目的としており、30～60 wt%の低い脱硫率で運転され、同時に脱窒素率も低くなる。したがって、水添反応で生成される硫化水素及びアンモニアの量は、燃料油精製設備の軽油・重油脱硫装置に比べて少なく、反応塔下流でのアルカリサワーウォーター腐食は軽微と考えられていた。
- ② 実際のPT-2 HD機器・配管の肉厚測定結果でも腐食が軽微であった。

装置を建設した1969年から発災までの50年弱の間、アルカリサワーウォーター腐食によるトラブルの経験はなかった。また、5. 4. 2. (2) ①項で記載した通り、製品需要に伴う原料油の処理油種比率の変更に伴いアルカリサワーウォーター腐食環境が2002年頃から徐々に過酷になっていたことが事故後の検証で判明した

(2014～2016年頃の腐食率は、2002年と比較して3～4倍の腐食率であったと推定される。図-IV-21参照)。しかし、通常の運転範囲内での処理油種比率の変更に伴い腐食環境が大きく変わることは想定できず、肉厚検査結果も腐食率は低い結果となっており、腐食環境が悪化していることを捉えることは困難であった。また、今回の穿孔部のような新材(2014年取替え配管)が、著しいアルカリサワーウォーター腐食を受けるといった知見や、新材と旧材の腐食率の違いや検査上の注意点についても技術指針(API RP 932-B等)にも記述がない。

5. 5. 3. 間接要因のまとめ

PT-2 HD装置は、燃料油系脱硫装置と比べ、脱硫・脱窒素率の低い潤滑油系脱硫装置*であるためアルカリサワーウォーター腐食は、軽微であると考えており、また、実際の装置の肉厚測定検査データからも腐食による減肉は、ほとんど認められなかった。このため新たに得られたアルカリサワーウォーター腐食の知見に基づく2004年から2005年にかけての全社で実施されたアルカリサワーウォーター腐食についてのリスク評価においては、PT-2 HD装置は、評価対象とならなかった。

* 潤滑油系脱硫装置は、旧東燃ゼネラル石油(株)の4製油所の中で、和歌山製油所の本装置のみである。これに対して燃料油系脱硫装置は、各製油所複数基あり、4製油所合計で、30数基ある。

5. 6. 火災拡大シナリオの推定

5. 6. 1. 火災拡大シナリオ

事故起点箇所として推定したPT-2 HD高圧パージガスラインが開口した後の火災の拡大について、装置挙動及び各種調査結果を基に以下3つのフェーズを推定した。

- | | | |
|----------------------|---|---------------|
| フェーズ 1 (15:37～15:47) | : | 開口 からガス火災発生 |
| フェーズ 2 (15:48～16:13) | : | ガス火災から油火災への進展 |
| フェーズ 3 (16:14以降) | : | 油火災の拡大・継続 |

5. 6. 2. 火災拡大シナリオの検証

(1) フェーズ 1 (15:37~15:47) : 開口からガス火災発生

1月22日15:37にPT-2 HD 圧力制御弁 (PICV-251) 付近の高圧パージガスライン開口部より高圧パージガスが漏えいして可燃性ガスに着火したと推定される。

運転挙動をシミュレーションで推測した結果、高圧低温分離槽 (D-253) が満液になり、圧力制御弁 (PICV-251) から液体放出する前の15:37~15:47の間は以下の3段階でガス漏えい流量が変化したものと考えられる。(図-IV-22)

フェーズ -1.1 (15:37~15:38) :

9.2mm 角の開口により約 3 ton/Hr のガス放出が始まる。

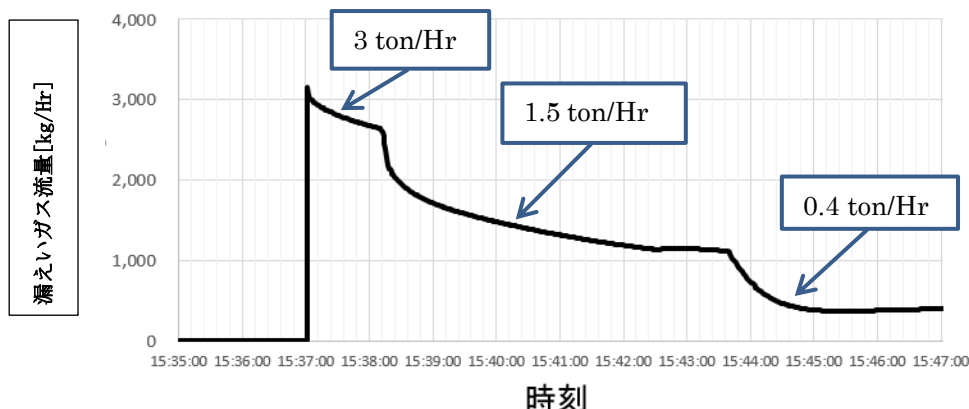
フェーズ -1.2 (15:38~15:44) :

15:38に信号喪失により圧力制御弁 (PICV-251 A/B) が閉止し、HD-5からの逆流が止まり、約 1.5 ton/Hr のガス放出量に減少する。

フェーズ -1.3 (15:44~15:47) :

15:44に高圧高温分離槽 (D-252) が満液となり、高圧低温分離槽 (D-253) にオーバーフローが始まり、ガス放出量が 0.4 ton/Hr に低下する。

図-IV-22 15:37~15:47の漏えいガス量の変化 (上記シミュレーション結果による)



[初期開口からのガス漏えい時火災形状の検討]

初期開口の一つとして考えられる PICV-251A 上流垂直配管、西向き (D-412 方向) の⑦開口部を対象に火災形状を検討した。

- ①. 漏えいガス流量は経時変化したものと考えられ、本検討ではシミュレーションから得られた流量 (15:37~15:47) を参考に、以下に示す各時刻における流量 3 ton/Hr、1.5 ton/Hr 及び 0.4 ton/Hr を対象として火災形状を検討した。
- ②. 漏えいガスの想定組成として H₂ / CH₄ / C₃H₈ / H₂S = 82 vol% / 10 vol% / 2 vol% / 6 vol% を使用した。原料油及び反応用水素ガス組成、反応槽における反応転化率及び分離槽 D-252/D-253 の運転条件をシミュレーションに与えることで漏えいガス組成を推定した。
- ③. 初期開口からのガス漏えい時火災形状

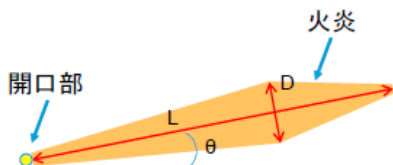
検討には災害影響解析シミュレーター DNV-GL 社製 PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) ver. 7.0 を利用した。火災・爆発など災害に関するモデルを有し、石油・ガス産業、石油化学業界における災害影響度解析に関する多くの使用実績を有するシミュレーターである。

計算の結果、火炎長さは 5 m~10 m 程度となり、漏えいガス流量の低下に伴い火炎長さ、火炎直径ともに減少する。表-IV-5、図-IV-23 に示した通り、ガス漏えい時間 (15:37~15:47) における初期開口からの火炎は、5 m~10 m 程度であったと想定される。

表-IV-5 ジェット火炎形状（上記シュミレーション結果による）

漏えいガス流量 [ton/Hr]	火炎 長さ L [m]	火炎 直径 D [m]	火炎方 向θ [deg]
3.0	10.7	1.1	9
1.5	7.8	0.8	7
0.4	4.4	0.4	4

図-IV-23 ガス漏えい時火炎形状（水平に噴出した場合の浮力を考慮した形状）

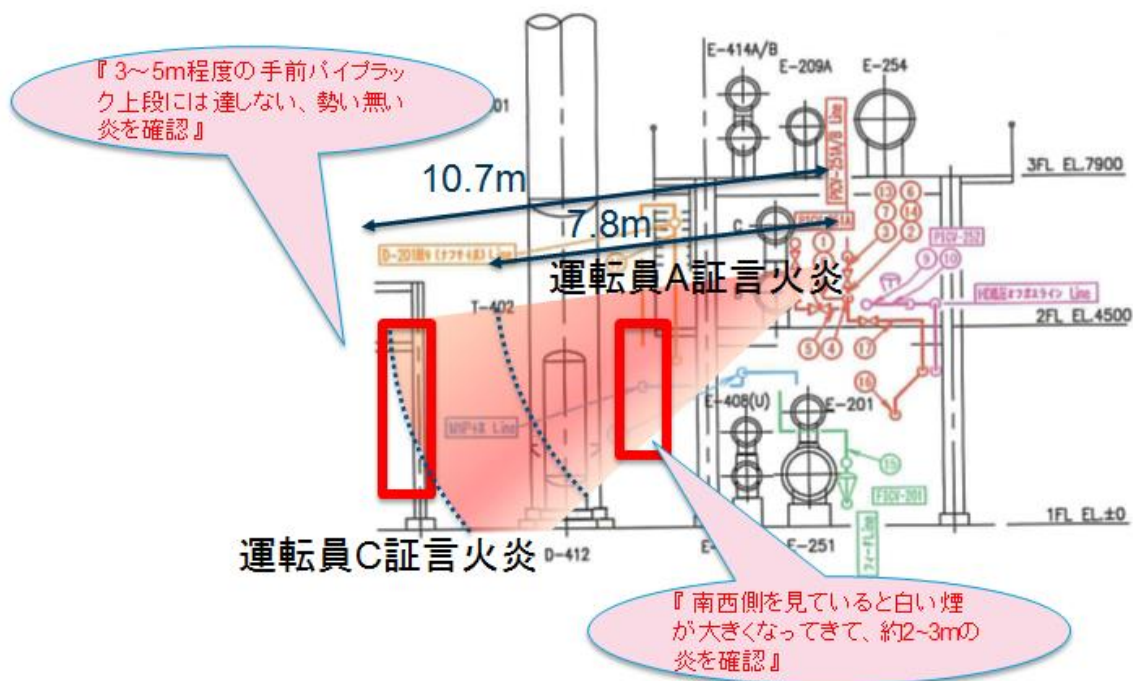


火炎モデル模式図

開口が、鉛直配管 D-412 側にあったと想定した場合、上記火炎の到達範囲は、漏えい初期から数分間は、T-401/T-402 及び D-412 に到達する程度の長さがあったものと考えられる。これは、運転員 A の証言『南東側を見ていると白い煙が大きくなってきて、約 2～3m の炎を確認』や運転員 C の証言『3～5m 程度の手前パイプラック上段には達しない、勢い無い炎を確認』に合致する（図-IV-24）。

漏えいガスは、約 82 vol%の水素、約 10 vol%の炭化水素（CH₄）、約 6 vol%の硫化水素が含まれたものであり、一般的には輝炎や黒煙などが少ない火炎と考えられる。

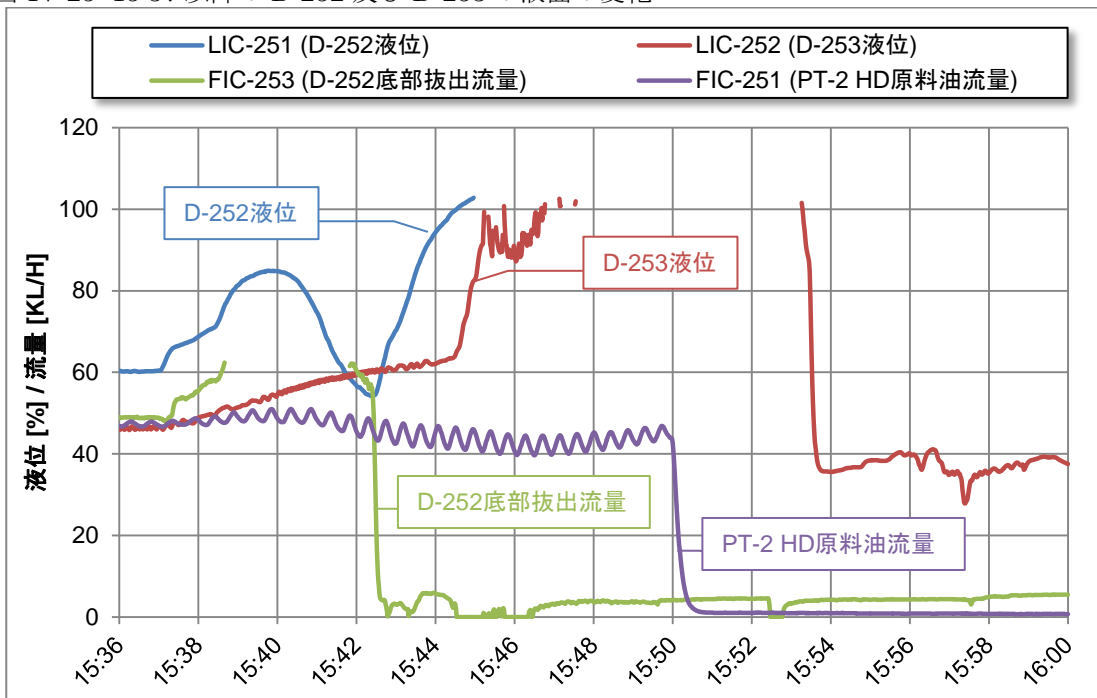
図-IV-24 発災初期の火炎形状（推定）



(2) フェーズ 2 (15:48～16:13) : ガス火災から油火災への進展

PICV-251 付近の開口により PT-2 HD 装置の圧力が急激に低下し、反応槽（D-251A/B）に浸潤していた油が通常以上の流量で高压高温分離槽（D-252）に送られたことにより、D-252 のレベル上昇が起き、15:44:32 にレベル計の指示が 100 %を超えた（図-IV-25）。

図-IV-25 15:37 以降の D-252 及び D-253 の液面の変化



15:46:41 頃より高圧低温分離槽（D-253）においてオーバーフローが始まり、圧力制御弁（PICV-251）を含む高圧パージガスラインへ流入した油は開口部より漏えいし、ガス火災とともに付近を油火災へ発展させた。工場正門の監視カメラの映像では 15:48 頃より装置の東方向において黒煙が認められた（図-IV-26：15:44～15:49 の工場正門監視カメラ映像の写真）。

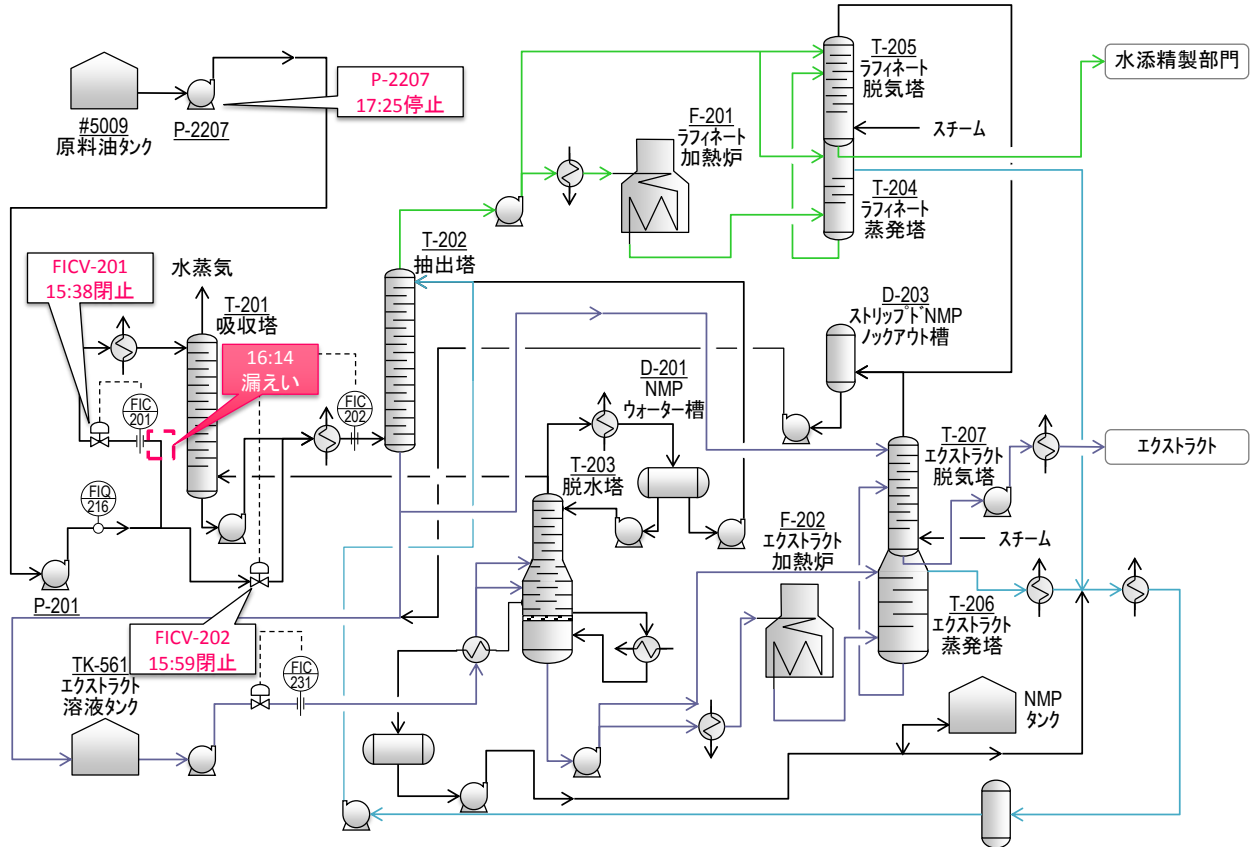
図-IV-26 15:44～15:49 の工場正門監視カメラ映像の写真



(3) フェーズ 3 (16:14 以降) : 油火災の拡大・継続

PT-2 抽出部門の原料油は、吸収塔 (T-201) を経由して抽出塔 (T-202) へ送油される系統 (流量は FIC-201 により計量) と、T-202 へ直接送油される系統の 2 つを有し、合計量は FIQ-216 で計量される (図-IV-27)。これらの原料油は、原料油タンク直近に設置されたポンプ P-2207 で先ず昇圧された後、さらに PT-2 装置内に設置されたポンプ P-201 にて昇圧される。

図-IV-27 PT-2 抽出部門

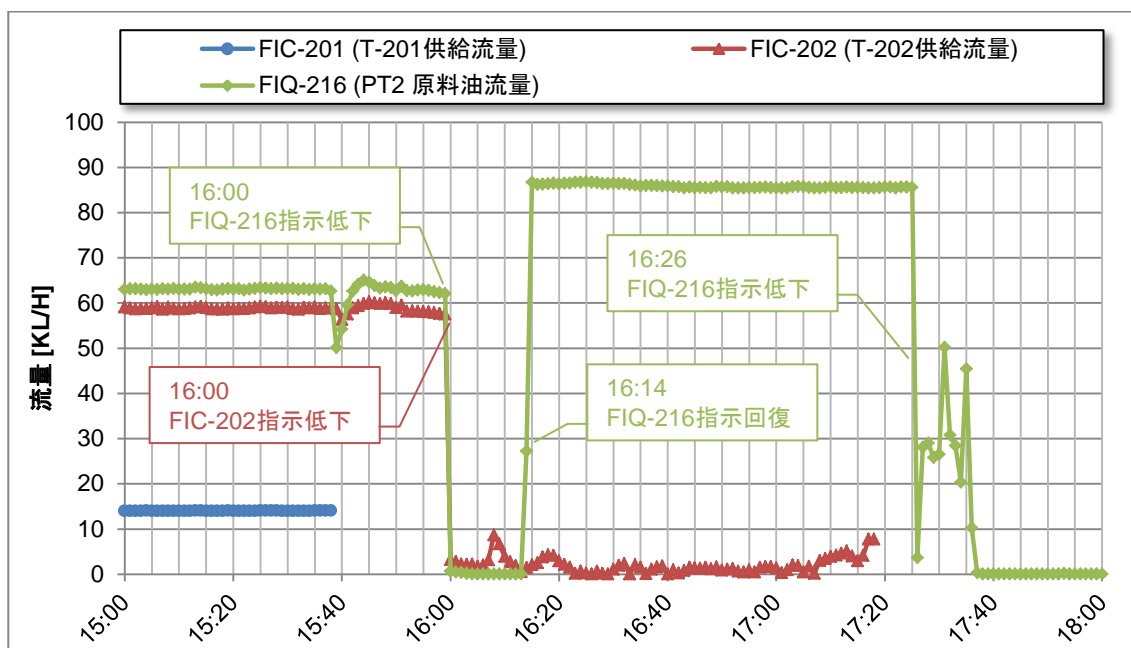


このうち、FIC-201 系統は、15:38 に流量計の指示不良が発生し、また、FICV-201 閉止と推察される事象が発生して系内へ送油される流量の低下が発生した (図-IV-28)。その後、15:59 に FICV-202 を閉止する操作を行い、装置内へ持ち込まれる原料油の総量を示す流量計 FIQ-216 及び FIC-202 はいずれも指示値が 0 となった。

一方、原料油タンク直近のポンプ P-2207 及び装置内の P-201 は駆動されたままであった。

その後、16:14 に FICV-202 を閉止しているにもかかわらず、FIQ-216 流量が約 85 KL/Hr に急上昇する事象が発生した。この事象は、原料油タンク直近の P-2207 が停止される 17:25 まで継続され、この間に約 100KL の PT-2 原料油が潤滑油製造装置内に送油されたと推察される。

図-IV-28 PT-2 原料油流量の推移



事故後の現場調査において、当該配管は FICV-201 上流に魚の口状の開口部が認められた（図-IV-29：写真）。開口部位の平面上の位置を図-IV-30 の⑮に、また、横方向からの断面位置を図-IV-31 の⑮に示す。原料油タンク直近のポンプ P-2207 は通常 127KPaG で出口圧力を制御しており、FICV-201 と FICV-202 閉止後はさらに P-201 の締切圧力が加わったため、図-IV-29 の配管は約 920KPaG の内部圧力の状態になったと推定される。上述の位置関係より当該配管が火炎にあぶられて開口に至ったと推定される。

工場内監視カメラの映像においても 16:13 と比較して 16:14 の映像では火炎の拡大が認められる。（図-IV-32 16:13-16:14 の工場内監視カメラ映像の写真）

この油漏えいにより油火災がさらに拡大し、火災が発生した範囲内の熱交換器のシェルカバー、チャンネルカバー、配管フランジのボルトナットの熱膨張で NMP その他の油の漏えいが発生して着火し火災範囲の拡大に至ったと推定される。

以上の検証結果より、火災拡大に至るシナリオを下記のようにまとめた。

15:37～15:47（フェーズ 1）：

PT-2 HD PICV-251A/B 上流配管で開口が発生して可燃性ガスが漏えいして着火、ガス火災が発生した。

15:48～16:13（フェーズ 2）：

PT-2 HD 分離槽 D-252/D-253 が満液となって頂部配管に油が流入し、PT-2 HD PICV-251A/B 上流配管の開口より約 5.3 KL の油の漏えいが発生、ガス火災から油火災へ進展した。

16:14以降（フェーズ 3）：

PT-2 FICV-201 上流部の開口により約 70 分間で約 102 KL の PT-2 原料油が漏えい、油火災が拡大した。漏えい油は火災拡大エリアにおけるプール火災を拡大し延焼に至った。

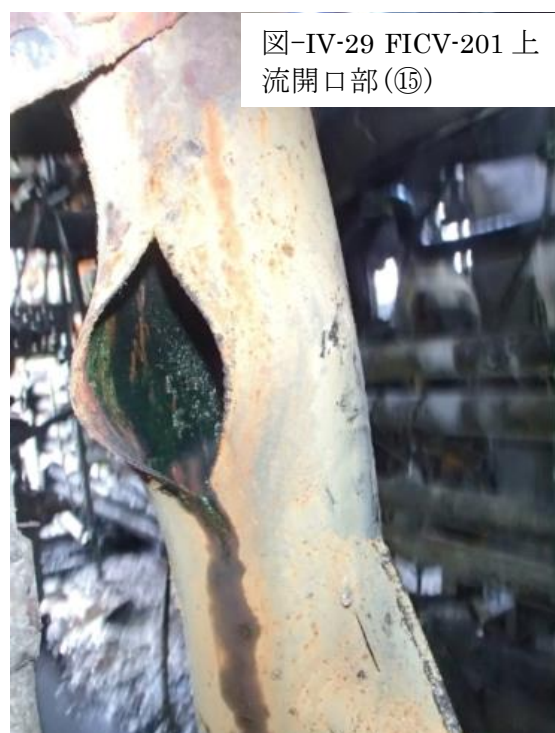


図-IV-29 FICV-201 上流開口部(⑮)

図-IV-30 PT-2 FICV-201 上流開口部位⑮平面位置図

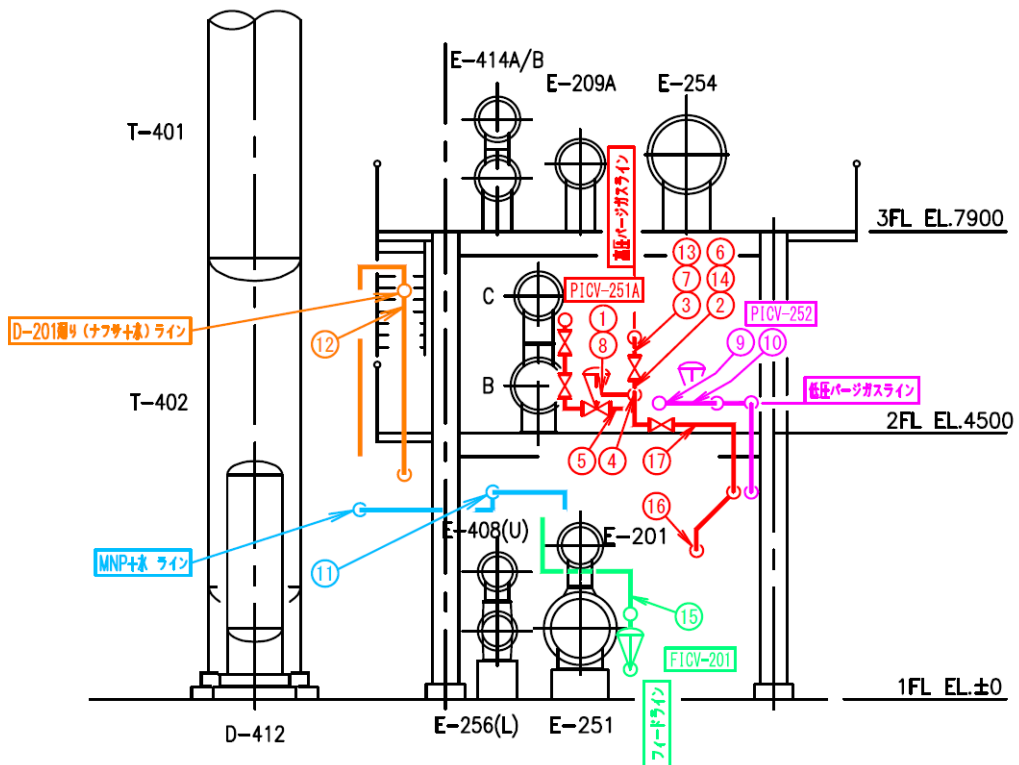
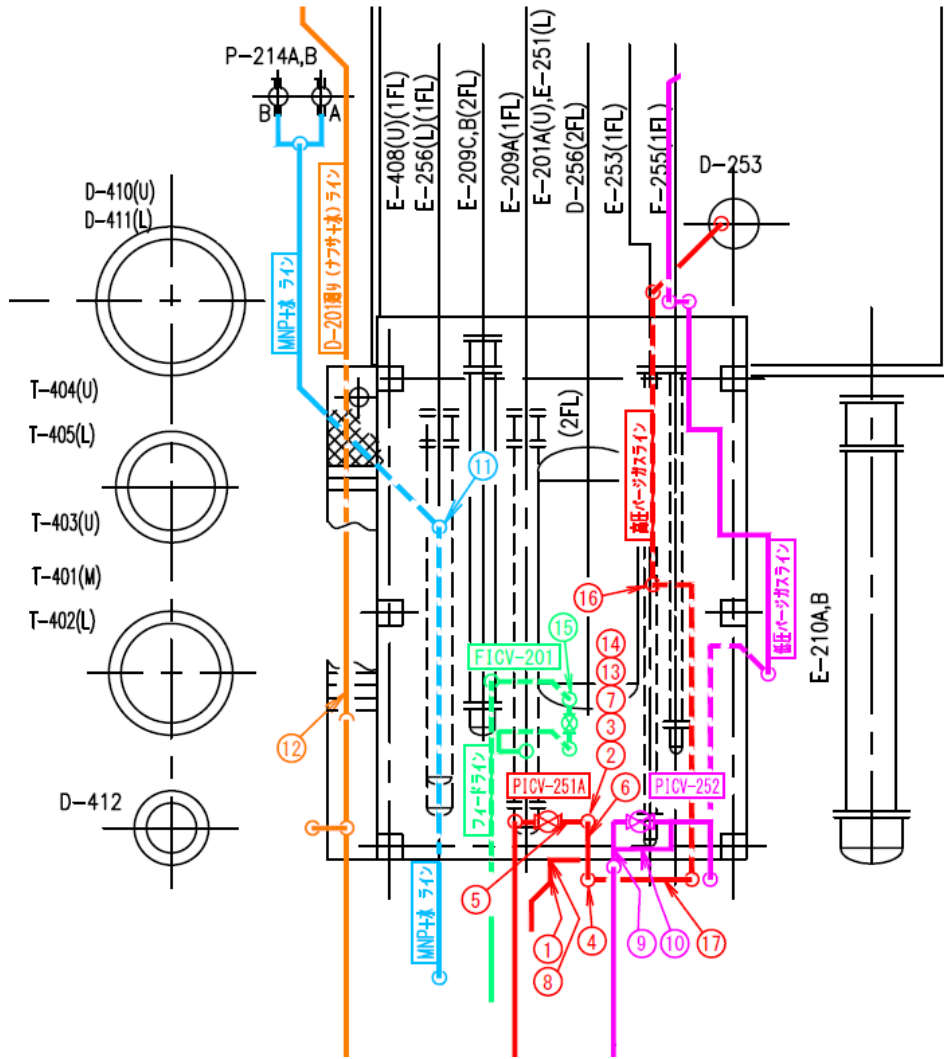


図-IV-32 16:13～16:14 の工場内監視カメラ映像の写真

ビデオ録画を開始したのが 16:00 のため、フェーズ 1 の映像は残っていない。

2017/1/22 16:13:40 頃 (フェーズ 2)



2017/1/22 16:14:00 頃 (フェーズ 3)



5. 6. 3. 火災拡大防止策の検討

次に、火災拡大に対して行った措置を検証し、防災面の改善として火災拡大防止策を検討した。表-IV-6に火災発生直後に装置を停止するために行った措置を時系列で示す。

表-IV-6 出火後の装置停止措置時系列

時刻	エマージェンシー措置	入出門カメラ/プラント監視カメラ
15:37:00		変化なし
15:38:10		透明 ⇒ 白煙
15:48:43		白煙 ⇒ 黒煙
15:49	PT-2 手動停止	黒煙
16:06	PT-2/PT-2 HD 一括操作	油火災
17:25	PT-2 オフサイト原料油ポンプ停止	継続

PT-2 HD 高圧パージガスライン開口部からの高圧パージガス漏えい開始後、ガス漏えい部位の圧力を低下する目的で緊急降圧弁（手動弁）による降圧を試みたものの、当該弁の設置位置が火災の発生した範囲内であり近づくことが出来なかった。緊急降圧弁による降圧が実施できなかったため、開口部からのガス及び油火災が継続し、火災拡大を防止する事ができなかった。

また、装置内への原料の供給を停止するべく PT-2 原料ポンプ（P-201）を停止しようとしたが、火災によりポンプ停止スイッチに近寄ることが出来ず、停止不可であった。装置には緊急対応時の処置を計器室より一括で行うための緊急時処置機構（以降、エマージェンシーシステムと呼ぶ）が設置されているが、当該ポンプは PT-2 エマージェンシーシステムには含まれていない。

これらの措置状況を踏まえ、設備対応として以下の延焼抑制対策を実施する。

(1) 緊急降圧弁の改造

早期に安全な回収先に内容物を送気・送液させ、装置の緊急降圧操作を実施する事が可燃物の外部漏えい量を最小化させる観点で、火災発生初期には有効である。よって、緊急降圧操作が確実に実施出来るように、PT-2 HD と HD-6 装置の緊急降圧を遠隔操作できる設備の設置を実施する。

(2) エマージェンシーシステムの改造

可燃性の高い油分の供給を安全・迅速に遮断する事が延焼を防止する観点で有効である。よって、現行エマージェンシーシステムで遮断できない各装置への原料移送ポンプ及びプロパン/NMP ポンプを計器室より停止できるシステムの構築を実施する。

5. 7. 事故原因のまとめ

今回の事故原因について、事実と推定を基に、推定についてはその根拠を明確化することにより原因究明を行った。

まず、直接原因の推定については、事故起点箇所となった可能性のある計 18 箇所の開口部について、運転記録（運転データ、アラーム履歴等）、金属組織調査、目撃情報、ビデオ映像、運転挙動のシミュレーションの結果及び開口部周辺の腐食減肉状況を総合的に調査した結果、第二潤滑油抽出水添精製装置の高圧パージガスライン系の開口部⑦、③、⑬のうち、⑦が最初に開口し、事故起点箇所となったと推定する。その結果、開口部から可燃性ガスが漏えいし、静電気等により着火したと推定される。

また、間接要因については、開口部⑦周辺の肉厚検査から発災前から腐食減肉が進んでいたことが認められ、プロセスの運転条件、腐食関連物質、腐食形態等から飽和水蒸気と硫化水素、アンモニアを含む高圧パージガスが冷却されることにより生成したアンモニウムバイサルファイド含有水によるアルカリサワーウォーター腐食で配管が開口したと推定される。最初に開口した開口部⑦は、2014 年に取替後 2 年程度しか経過していないにもかかわらず、激しいアルカリサワーウォーター腐食で開口した。

しかし、PT-2 HD 装置は潤滑油脱硫装置であり、燃料油脱硫装置に比べて一般的に脱硫率が低く、アルカリサワーウォーター腐食は軽微と想定されていたこと、また、過去からの肉厚測定結果でも腐食傾向は軽微であったことから、短期間で配管開口に至る激しい腐食は予測しえなかった。

6. 再発防止対策と対策実施予定

6. 1. 再発防止対策

再発防止対策を以下にまとめる。再発防止対策は5. 4. 3. 項による直接原因、及び5. 5. 3. 項でまとめた間接要因に対応しており、これら対策を確実に実行することで、事故の再発を防止する。

6. 1. 1. 直接原因に対する対策

PT-2 HD 装置では激しいアルカリサワーウォーター腐食が進行し、減肉した配管の穿孔部から発災した。このため、設備及び腐食管理の両面からのアルカリサワーウォーター腐食対策を講ずる。

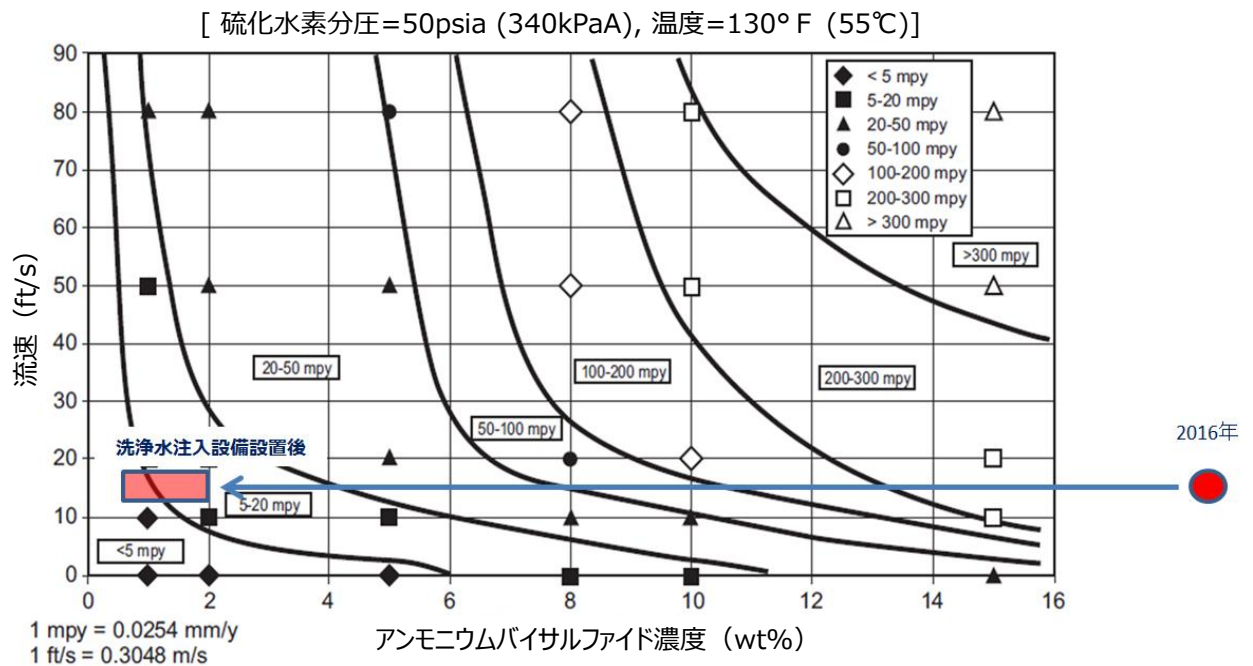
①. PT-2 HD 装置への洗浄水注入設備の設置

高圧高温分離槽 (D-252) 頂部配管から洗浄水を注入する設備を設置する。洗浄水には、アルカリサワーウォーター腐食をさらに悪化させる塩化物イオン等の不純物を排した清浄水を使用する。

洗浄水にはガス中のアンモニアが溶け込み、下流の高圧低温分離槽 (D-253) 底部から排水させる。これによって、D-253 頂部配管の高圧パージガスからの凝縮水のアンモニウムバイサルファイド濃度を低下させ、アルカリサワーウォーター腐食環境を緩和させる。

具体的には、0.5 ton/Hr の洗浄水を注入することで、アンモニウムバイサルファイド濃度を 2 wt%以下にコントロールする。API RP 932-B チャートに基づく腐食率推定では、本対策によってアルカリサワーウォーター腐食の腐食率は年間 0.5mm 以下に抑制されることが期待される。(図-IV-33 API RP 932-B チャート上での洗浄水注入設備設置後の運転条件、資料-IV-24 洗浄水注入設備設計図)

図-IV-33 API RP 932-B チャート上での洗浄水注入設備設置後の運転条件



②. アルカリサワーウォーター腐食管理の実施

洗浄水注入設備設置後、当該装置運転中のアルカリサワーウォーター腐食管理を以下の要領で行う。

- D-253 底部からの排水中のアンモニウムバイサルファイド濃度の上限管理値を 2 wt%に設定する。
- D-253 底部からの排水のサンプルを定期的に取り出して分析する。サンプル採取ポイントは資料-IV-24 で「S」の箇所とする。
- 具体的には排水の pH、排水中のアンモニウムバイサルファイド (HS^- , NH_4^+)、 Cl^- 濃度、及び腐食減肉発生有無を確認するための Fe^{2+} 濃度をそれぞれ分析する。

- ・ 排水中のアンモニウムバイサルファイド濃度が 2 wt%を超える場合は、洗浄水注入量を増加して希釈を促進するとともに、後述の検査実施時期の見直しを行う。
- ・ 検査方法については、アルカリサワーウォーター腐食の局部的な腐食を捉えるために、配管の測定箇所を増やすとともに超音波検査（点測定）から放射線検査（面測定）に変更する。
- ・ 現在も開催されている技術、運転、及び工務部門の定期会議に、排水分析結果、検査結果を含む腐食管理状況を報告する。

6. 1. 2. 間接要因に対する対策

今回の事故調査等を通じて、未だアルカリサワーウォーター腐食のメカニズムは十分に解明されているとはいえないことが明らかになった。アルカリサワーウォーター腐食は極めて注意すべき事象であり、腐食防止のための設計・管理が重要であることを再認識して、今後の NACE、API 等の専門機関、業界団体、事故情報等によるアルカリサワーウォーター腐食に関する新たな知見が得られた場合には、水平展開に本装置（潤滑油系脱硫装置）を加えるのはむろんのこと、再発防止を確実にするために以下の対策を講じることが重要である。

- ①. 本事故の直接原因に対する対策で、製油所内での腐食管理体制は強化する（6. 1. 1. ②）。
- ②. 定期的に製油所外の本社等の専門家が、腐食管理が適正になされていることを確認する（操業管理システムの定期監査に組み込む等）。

6. 2. 水平展開

6. 2. 1. 旧東燃ゼネラル石油株式会社 4 工場全ての脱硫装置に対するアルカリサワーウォーター腐食モニタリングの再点検

旧東燃ゼネラル石油株式会社の水素化脱硫装置・水素化分解装置における洗浄水注入設備の有無、洗浄水の注入及び排水分析の実施状況を調査する。洗浄水のサンプルが採取できない装置に対しては、プロセスシミュレーションによって水分凝縮箇所におけるサワーウォーター中のアンモニウムバイサルファイド濃度を推定する。

上記分析から得られたアンモニウムバイサルファイド濃度と流速データにより、最新の API RP 932-B チャートに基づき腐食率を推定する。推定腐食率と実際の腐食管理上の腐食率との間に乖離があれば、追加検査を実施して乖離の妥当性を検証し、設備のアルカリサワーウォーター腐食に対する健全性を確認する。

さらに、アルカリサワーウォーター腐食評価のソフトウェア Predict SW3.0 (*)を導入し、腐食率評価の精度向上を図る。

(*) 本ソフトウェアは、API RP 932-B チャートにおけるアンモニウムバイサルファイド濃度と流速による簡易的な腐食率推定を発展させたツールである。アルカリサワーウォーター腐食では、腐食から配管を保護する役目を果たす硫化鉄皮膜の配管内面からの剥離が腐食率に影響を及ぼす。そこで、本ソフトウェアでは皮膜を剥離させるように作用するせん断力を、流速、配管形状、流れのパターン等の内部流体性状から計算し、硫化鉄被膜剥離性を予測する。この剥離性に、アンモニウムバイサルファイド濃度を加味して腐食率の推定精度を向上させる。

6. 2. 2. 旧 JX エネルギー株式会社の製油所・製造所への水平展開

旧東燃ゼネラル石油株式会社 4 工場への水平展開に加え、旧 JX エネルギー株式会社の全製油所・製造所の脱硫装置におけるアルカリサワーウォーター腐食に対する腐食管理状況の確認を進める。確認結果に基づき、腐食対策が必要な装置に対して旧東燃ゼネラル石油株式会社 4 工場に対する水平展開内容と同等の対策を講じていく。

6. 3. 対策実施予定

- ①. 和歌山製油所の全脱硫装置に対する、アルカリサワーウォーター中のアンモニウムバイサルファイド濃度シミュレーションに基づく腐食懸念装置の特定と全線放射線検査実施。
 - ・ 腐食懸念装置
第四水添脱硫装置（HD-4）のみが腐食率が高い可能性があることが判明。
 - ・ 喫緊の対応

アルカリサワーウォーター腐食を助長する原料油の処理を停止し、腐食率を低く抑える運転を実施中。

- 検査の進捗
アルカリサワーウォーター腐食が懸念される部位（凝縮器から高圧パージガス系まで）の検査（放射線透過検査、約 1,000 枚）は 6 月 2 日完了見込み。

- ②. 旧東燃ゼネラル石油株式会社 4 工場全ての脱硫装置に対する下記評価の実施と評価結果に基づく対応策検討：平成 29 年 6 月末
 - 洗浄水の排水サンプル採取可能な装置については、過去の分析結果のトレンド分析を含めた腐食環境の再評価。
 - サンプル採取不可能な装置については、シミュレーションによるアンモニウムバイサルファイド濃度変化の再評価。
 - 上記 2 件の再評価結果においてアンモニウムバイサルファイド濃度が 2 wt% を超える設備のアルカリサワーウォーター腐食リスク再評価。
- ③. PT-2 HD 装置への洗浄水注入設備の設置と腐食モニタリング開始：
平成 30 年 2 月末（PT-2 HD 装置復旧時）
- ④. アルカリサワーウォーター腐食管理に関する定期的な確認の手順整備と運用開始：
平成 29 年 9 月末

7. 住民避難について

7. 1. 住民避難指示発令・解除の経過

1 月 22 日 15:40 頃に潤滑油製造装置群で火災発生後、17:14 に初島町の全住民を対象に避難指示が発令され、翌 1 月 23 日 04:10 に避難指示が解除されるまでの経過について資料-IV-25 にまとめた。

7. 2. 事故発生以前の重大事故に関する旧東燃ゼネラル石油株式会社の取り組み

(1) 重大事故リスクアセスメント実施（2011 年 6 月 22 日）（資料-IV-26）

工場全体に係る高リスク（機器）を抽出、評価して必要なリスク低減を行うことを目的に、以下の 6 項目についてリスクを評価（*）した。

- ①. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)
- ②. VCE (Vapor Cloud Explosion)
- ③. 容器の破裂
- ④. 有毒ガス放出
- ⑤. 有毒液体流出
- ⑥. 大規模火災

本火災事故のエリアにおいては、上記の内 BLEVE のリスクを持つ機器 6 基（DA-2 T-101、PD-2 D-401/ D-402/ D-403A・B/ D-602）が存在していた。

(*) 当時の親会社 ExxonMobil のみならず、石油・化学プラントのリスクアセスメントとしては一般的な手法であり、Dow Chemical の手法は公開されている。
“Dow’s Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide, 7th Edition”
(AIChE, 2010)

(2) 工場防災計画に反映（2015 年 3 月 10 日）

- ①. 主要装置毎に重大事故のシナリオ・各機器の諸元・戦略的緊急対応・消火設備・高所放水車の放水曲線などを防災戦術シート（資料-IV-10 と 11 参照）に取り纏めた。
- ②. 防災戦術シートを工場の防災活動要領の付属として正式発効した。
- ③. 防災隊の資材車に防災戦術シートを常備し、発災時に直ぐ使用可能にした。
- ④. 重大事故リスクアセスメントで当時の問題点と対策について列挙したものについては、必要性和優先順位を検討し、必要なリスク低減策については計画的に実施中である。

(3) 有田市消防本部との協議（2016 年 8 月 24 日防災会議）

- ①. 想定される BLEVE リスクの内容説明と住民避難誘導に関する議論を実施した（資料-IV-27 参照）。

- ・ BLEVE が発生した場合は、被害を受ける可能性がある範囲が広い。
 - ・ BLEVE 発生の可能性が高まってからの時間的余裕が少ない。
- ②. 具体的な対応計画（避難計画）を作成する必要性について共有した。
 - ③. 有田市とも協議し、検討を続けることを決定した。

7. 3. 本火災に伴う BLEVE 発生リスクについて

本火災による重大事故に至るリスクは、以下の理由により上述の重大事故リスクアセスメントで検討した 6 つのケースの内では BLEVE のみと考えられるので、BLEVE 発生リスクについて検討した。

- ①. BLEVE : BLEVE リスクを持つ機器が、火災の発生した範囲周辺に存在した。
- ②. VCE : 火災が発生したので、未燃ガスが多量に滞留して起こる VCE 発生は想定されない。
- ③. 容器の破裂 : 火災の発生した範囲内の機器は早期に圧力低下が実施されていたため容器破裂は想定されない。
- ④. 有毒ガス放出 : 初期には硫化水素アラーム計が点灯したが火災により硫化水素が燃焼したこと、火災の発生した範囲内の機器は早期に圧力低下が実施されたことから大量の有毒ガス漏えいは想定されない。
- ⑤. 有毒液体流出 : 火災の発生した範囲内には、有毒液体は存在しないため本リスクは想定されない。
- ⑥. 大規模火災 : BLEVE が発生すると火災範囲が拡大し、大規模火災になる可能性があった。その他ガス火災や油火災の場合、漏えい量を限定するための封じ込めや放水冷却による火災拡大防止が出来ていたため、大規模火災に至る可能性は低かったと想定される。

(1) 火災による BLEVE リスク機器について

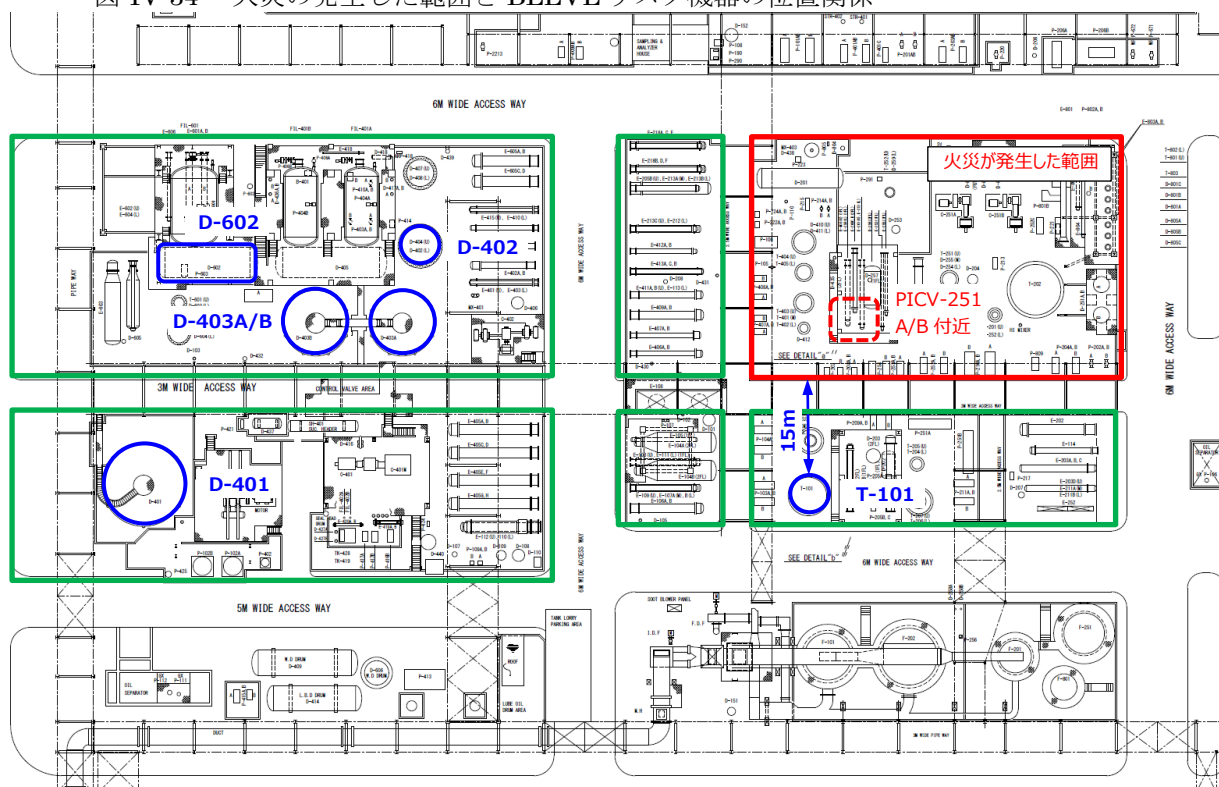
発災時の観察、火災映像、鎮火後の現場調査（機器の外観変色等）から、火災が広がった範囲は、第一発見者の火災目撃情報（PD-2 D-412）、火災損傷の大きい PT-2 HD PICV-251 付近を中心に、図-IV-34 の 赤枠で囲んだ範囲が延焼エリアと考えられる（以下、火災の発生した範囲と呼ぶ）。

火災の発生した範囲は、「機器が火炎に直接 炙られた」と見なすことができる。また、この範囲は、防液堤（高さ 約 20 cm）に囲まれているところとほぼ一致している。

BLEVE リスク機器は、火災の発生した範囲には無く、同近傍に、DA-2 T-101、PD-2 D-401/ D-402/ D-403A・B/ D-602 の 6 基が存在する。

火災の発生した範囲に最も近い BLEVE リスク機器である T-101 について、本火災における BLEVE 発生の可能性について検証した。

図-IV-34 火災の発生した範囲と BLEVE リスク機器の位置関係



- BLEVE リスク機器
- 火災の発生した範囲以外の防液堤
- 火災の発生した範囲の防液堤

(2) T-101 の BLEVE 発生の可能性について

①. 発災当時の状況

- a 火災は、ガス火災と防液堤内での液体炭化水素の火災で、早期の周辺冷却開始により図-IV-34 の赤枠で囲んだ防液堤内に火災延焼が抑えられていた。
- b T-101 の温度・圧力は既存計器によりモニターされ、BLEVE の兆候は見られなかった（資料-IV-28 参照）。
- c T-101 には、ターレット（可搬式放水銃）1 台と高所放水車 2 台により冷却散水が実施されており、受熱量と放水による徐熱量を計算し、必要十分な冷却散水が確保されていたことを確認した（資料-IV-29 参照）。

②. BLEVE リスク増大シナリオについて

BLEVE リスクが増大するシナリオとして以下のケースを想定した。

- a 延焼範囲拡大①
図-IV-34 の赤枠で囲んだ防液堤から燃焼している油が溢れだし、T-101 に面する道路まで延焼が拡大し T-101 への輻射熱量が増加する。
- b 延焼範囲拡大②
さらに T-101 側の防液堤を乗り越えて延焼が拡大し T-101 が炎に包まれる。
- c 冷却散水の停止
放水冷却が出来なくなる。

③. BLEVE 発生の可能性

上記 3 つのシナリオの検討結果を以下に示す。

- a 延焼範囲拡大①
漏えいし燃焼したものは、炭化水素ガスと減圧蒸留装置の塔底油であり、油は引火点・凝固点が高く、水で消火・冷却された後は固体となり再着火もし難いため、防液堤を越えて延焼・拡散する可能性は低い。
- b 延焼範囲拡大②
防液堤の高さは 20 cm ほどあり、着火した油が乗り越える可能性は十分に低い。乗り越えるよりも廻りの低い箇所に拡散する。

c 冷却散水の停止

冷却水源は供給ポンプが冗長化されていたこと、消防車は待機するほど十分な数が参集しており、冷却が不可となる可能性は十分に低かった。

以上の検討結果から、本火災事故時の BLEVE 発生の可能性は低かったと想定される。上記結果を資料-IV-30 に示す。

7. 4. 防災計画について

(1) 消火戦略・戦術の事前計画

消火戦略・戦術事前計画の目的は、火災現場で消火戦略の判断と戦術の実施を最大限効果的に実現することである。消火活動の初期段階から火災現場の詳細が理解でき、設備・装置の場所、利用可能な消火栓・設備の位置が事前に決まっていれば、迅速に適切な消火活動を開始できる。

旧東燃ゼネラル石油株式会社で作成していた防災戦術シートには、以下の内容が網羅されており、適切な消火活動を迅速に判断して開始することの助けになったものと考えられる。

- ①. 装置・機器の情報として「散水設備／保温施工／設計圧／運転圧／内容物の性状など」
- ②. 内容物のリスクとして「有害性リスク／爆発の特性／環境影響や臭気／分散や雲霧性など」
- ③. 設備とその他の接続部とのリスク／想定資材と人員
- ④. BLEVE リスクを回避するための「戦略的緊急対応」として、ブロッキング／冷却／消火／隣接タンク火災から輻射熱を受けている場合の消火戦術／LPGタンク下のプール火災の場合の消火戦術など
- ⑤. 典型的な風向／アプローチの順路／消火設備とその能力／高所放水車の放水の到達距離と放水高さの関係図など

(2) BLEVE リスクに基づく避難計画

以下 3 つの観点から設定した避難距離に関して、アメリカ、カナダ及びメキシコの運輸当局等が合同で作成した危険物質、毒性物質の移送中事故の初動対応を行う防災隊向けのガイドライン（Emergency Response Guidebook；日本では「緊急時応急措置指針」（日本規格協会）として和訳されている）と比較し、同等であり適切であったと考える。

①. 爆発破片の飛散距離

1984年に PEMEX LPG Terminal (Mexico City) で発生した BLEVE が、2013年当時で過去最大規模とされていた。この BLEVE によるタンク破片飛散の最大到達距離が 1,560m であったことを考慮し、1,500m が 3σ となるような正規分布で飛散物が到達する確率評価を実施し、爆発破片の飛散に対する最低限の避難距離を決めた。

②. 輻射熱の影響

輻射熱による影響としては、ALOHA&CCPS モデル(*)で、通常数百 m から 2 km 程度とされている。2011年に市原で発生した BLEVE の場合、20秒後に 2度の火傷を負う距離は 925 m、20秒以内の保護が無ければ 2度の火傷を負う距離は 1,420 m、長時間でも苦痛を感じない距離は 2,200 m とされた。このケースから輻射熱の影響に対する最低限の避難距離を決めた。

(*) 米国環境保護庁が開発した影響評価ツール (ALOHA) 及び米国化学工学会プロセス安全センターが開発したファイヤーボールによる放射熱評価モデル

③. 爆風圧の影響

消防庁防災アセスモデルによると、2011年に市原で発生した BLEVE による爆風圧の影響範囲は、確率 1%で鼓膜が損傷する範囲は、165 m、窓ガラスが割れる範囲は、1,270 m、歪みのある小さなガラスが割れる範囲は、1,760 m とされた。このケースから爆風圧の影響に対する最低限の避難距離を決めた。

非防災隊員の最低避難距離の設定（最短隔離距離）には、上記 3 点を考慮して有意な被害を回避可能であることを確認している。また、防火服を着用した防災隊員の最低避難距離の設定（輻射熱からの回避距離）には、遮蔽物利用の知識を有することと防火服による輻射熱への耐性を加味している。

対象\目安	輻射熱からの回避距離(*1)	最短隔離距離(*2)
旧東燃ゼネラル石油株式会社和歌山工場	600 m	1,500 m
Emergency Response Guidebook	460 m	1,700 m

(*1) 防火服を着用した防災隊員の最低避難距離

(*2) 非防災隊員（民間人含む）の最低避難距離

7. 5. 住民避難についてのまとめ

国の指針等では、住民避難は、「BLEVE の恐れがある場合に発令する」であるが、その具体的な恐れ（潜在的な BLEVE 発生の影響度、発生確率）については示されていない。ただし、今回の場合は、東日本大震災時の京葉コンビナートにおける球形タンク火災・爆発事故時における BLEVE 発生後の住民避難勧告とは異なり、事前に適切な情報を共有していた有田市から最悪の事態に備えた予防的な住民避難指示が速やかに発令されたものとする。

また、17:14 に避難指示が発令された（有田市防災無線で初島町内に放送実施）後、東燃防災隊の広報車で 3 回（17:30、19:00、19:45）避難を呼びかけた。加えて避難されていない方がいないか 19:38 頃から有田警察署、有田市と手分けして個別訪問により避難呼びかけを実施した。避難指示発令から住民避難の個別訪問が終わるまでに 3 時間以上の時間が掛かった。実態として住民避難には相応の時間が掛かることを考慮すると、BLEVE 発生の可能性が高まってから避難指示を出していたのでは安全に避難を完了することは困難であると考えられる。したがって、周辺住民の安全を第一に考える上では、今後も発災時の状況に応じて予防的な避難指示は重要であるとする。

8. 情報公開体制について

8. 1. 事故後の対応

8. 1. 1. 事故発災直後の対応

(1) 地域広報

2017 年 1 月 22 日の発災後、非常呼集による自衛防災隊員の招集後、広報車による地域広報を開始した。地域広報を開始した時点で、すでに有田市より避難指示が発令されていたため、避難対象地域である初島町を巡回しながら、避難指示が出されたこと、指定避難所である文化福祉センターへの避難を呼び掛ける内容となった。地域広報の時間と内容は以下の通りである。

	日時	地域広報の内容
1.	1/22 17:30	現在消火作業中です。避難指示が発令されたため、文化福祉センターへ避難してください。
2.	1/22 19:00	現在消火作業中です。避難指示が発令されたため、文化福祉センターへ避難してください。
3.	1/22 19:45	現在消火作業中です。避難指示が発令されたため、文化福祉センター／箕島中学校へ避難してください。
4.	1/23 20:00	消火の最終段階に入りました。今夜泡消火実施予定です。
5.	1/24 07:00	消火の最終段階に入りました。これから泡消火を実施します。
6.	1/24 08:48	鎮火が確認されました。

(2) 住民避難誘導

2017 年 1 月 22 日 19:38 頃、有田警察署からの依頼により、従業員 10 名を派遣し、発災場所から近い初島町北地区の住宅約 150 軒に対し、警察、有田市と手分けして個別訪問を実施し、避難されていない方に対して避難指示が出ており、避難場所へ避難していただくよう呼びかけを行った。

(3) 避難所での説明及び対応

消防からの助言を得て、2017年1月22日20:00頃より、避難場所である有田市文化福祉センター／箕島中学校において、従業員2名を派遣し状況説明を行った。このような事故を起こしてしまったことへのお詫び、鎮火には至っておらず消火活動中であること、避難指示解除の時間は未定であることについて説明した。約2時間おきに、避難指示が解除されるまで計5回状況説明を実施した。

また、避難場所に避難された方への市の対応をサポートするために、21:10頃より2箇所の避難場所に従業員4名を常駐させ、質問の対応／具合の悪い方がいたら申し出るよう依頼／食事の分配補助等、避難されている方に対するケアを実施した。23時頃からは、堺工場からの応援者7名を増員し、対応した。

それに並行して、従業員5名による避難所への食糧の買い出し、提供を行った。

(4) プレスリリース及び記者会見

本社とも連携し、会社のホームページにおいてプレスリリースを発表。発表の時間及び内容については、以下の通りである。

	日時	プレスリリースの内容
1.	1/22 18:54	和歌山工場で火災が発生しました。けが人はいません。詳細情報が確認でき次第、速やかにお知らせします。
2.	1/22 23:00	潤滑油製造装置群で火炎を確認。原料油の流出入を遮断、周辺装置への放水冷却を行う等被害の拡大を阻止すべく消火活動継続中です。23日午前中の中の出荷は見合わせる予定です。
3.	1/23 09:28	火炎の規模は縮小しつつあり、避難指示は04:10に解除されました。引き続き関係当局と連携し消火活動を継続しています。
4.	1/24 08:54	今朝08:27に鎮火が確認されました。

また、2017年1月23日15:00より有田市消防本部5階多目的ホールにて記者会見を開催し、事故を起こしてしまったことの謝罪、火災発生からの消火活動の状況についての説明、住民避難への謝罪と協力に対する謝意を示した。

8. 1. 2. 鎮火後の対応

2017年1月24日の鎮火確認後、和歌山県や地元の関係者に対し、個別に訪問し、謝罪及び状況説明を行った。訪問先と対応者は以下の通りである。

訪問日	訪問先	対応者
1月24日	和歌山県知事、副知事 和歌山県議会議長 有田市長、副市長、有田市消防長 市議会議長、副議長 有田警察署長、初島地区連合自治会長	社長、和歌山工場長 社長 社長、和歌山工場長 社長、和歌山工場長 社長、和歌山工場長
1月25日	初島地区連合自治会(12名)	和歌山工場担当者

また、避難指示が発令された初島地区の住宅、会社、学校等、1,064箇所に対し、謝罪及び何か困っていることはないか確認するために、個別訪問を実施した。

中間報告書提出後、和歌山県や地元の関係者に対し、中間報告書の内容について、説明を実施した。訪問先と対応者は以下の通り。

訪問日	訪問先	対応者
3月2,7日	和歌山県知事、副知事 和歌山県議会議員 御坊労働基準監督署長 有田市長、副市長、有田市消防長 市議会議員、副議長 有田警察署長、初島地区連合自治会長	和歌山工場長(新・旧) 和歌山工場長(新・旧) 和歌山工場長(新・旧) 和歌山工場長(新・旧) 和歌山工場長(新・旧) 和歌山工場長(新・旧)
3月9日	初島地区連合自治会(12名)	和歌山工場担当者

8. 2. 情報公開に対する意見

事故発災直後から、情報公開に関して行った活動において、情報公開に関して出された意見は以下の通りである。

1月25日に初島地区連合自治会の会合において、和歌山工場担当者が謝罪及び事故の状況について説明を行った。北地区（工場近接地区）自治会長より、北地区は工場と隣接した地域であり、事故が発生すれば一番に被害をこうむる地区であるため、事故が発生した場合には、地域住民に事故情報を提供するため、工場周辺放送設備を活用し、情報提供をできないか考えてほしいとの要望があった。

1月27日から30日に行なった初島地区への個別訪問での聴取を含めて、上記以外の情報公開に対する要望はなかった。

8. 3. 今後の改善点について

(1) 地域広報について

事故発生後、速やかに地域住民へ事故の発生を伝えるために、製油所境界に10箇所設置されている周辺広報放送設備の活用方法を検討する。放送の内容については、消防とも確認して行うことになるが、火災の発生等、事実関係を伝えるのであれば、消防への報告は事後でも問題ない旨を確認済みである。

(2) 防災計画の改定について

住民避難を伴うような事故は初めての経験であり、現在の防災計画においても住民避難が行われた場合に対応する体制をとっていない。

しかしながら、昨年、有田市消防本部との防災会議の場で住民避難誘導に関する議論を開始したことから、今後は防災計画に住民避難後の対応を加えるとともに、住民避難指示が出された場合の対応を防災訓練のシナリオに加え、実施することを検討する。

V. 事故-B : TK35 タンク火災

1. 事故-B の概要

- (1) 発災設備名及び所在地
 - ①. 発災設備 : TK35 タンク
 - ②. 所在地 : 和歌山県有田市初島町浜 1000
- (2) 発災日時 : 1月18日(水) 06時45分頃
- (3) 発見日時 : 1月18日(水) 06時50分頃
- (4) 通報日時 : 1月18日(水) 06時55分頃 (有田市消防本部からの電話連絡時刻)
- (5) 鎮火日時 : 1月19日(木) 18時6分
- (6) 発災内容 : 火災
- (7) 気象状況 (1月18日 06時55分、観測点 : 工場正門)

天気 :	晴れ
風速 :	2.1 m/s
風向 :	北東
気温 :	2.0 °C
湿度 :	68.7 %
- (8) 発災場所 : 資料-V-1 に示す。
- (9) 被害状況
 - ①. 人的被害 : なし
 - ②. 物的被害 : 約 3,900 万円
 - ③. 環境/地域への影響 : なし

2. 発災設備の概要

2. 1. 発災設備の概要

本事故の発生場所(資料-V-1)であるTK35タンクは、原油タンクまたはスロップタンク(スロップとは、装置で製品性状を外した油、定期整備時の装置内滞油、タンク開放時の残油など)として使用しているタンクであり、2012年に開放整備後は原油タンクとして2012年4月~2016年4月の間使用し、2016年4月~11月の間はスロップタンクとして使用していた。その後、休止のためタンクを開放し、タンク内に残ったスラッジ(油混じりの残渣物)を回収・クリーニング中であった。使用停止命令範囲は、TK35タンク本体及び本体直近の受払い配管バルブまでの配管(資料-V-2)である。

2. 2. 設備設置申請許可年月日・番号

設置許可日 : 昭和44年2月4日
タンク番号 : 35番
タンク形式 : 浮屋根式タンク
容量 : 85,376KL
タンク内径 : 75.5m
高さ : 21.3m
内容物 : 原油(スロップ)

3. 火災発生前の状況

当該タンクはスロッシング対策対応タンクであるため、平成29年3月末までにスロッシング対策工事の実施、もしくは休止する必要がある、休止する計画であった。タンククリーニングは、タンククリーニング準備工事を含めて平成28年11月から平成29年1月末までの3か月で実施する計画であった。タンククリーニング工程は以下の通りである。

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| (1) 現場仮設設備の設置 | (平成28年11月14日) |
| (2) 残油回収 | (平成28年11月24日~25日) |
| (3) 窒素封入・共油洗浄・軽油洗浄・清水洗浄(COW) | (平成28年11月26日~12月2日) |
| (4) ガスフリー作業 | (平成28年12月2日~12月5日) |
| (5) 縁切りB板挿入・マンホール開放 | (平成28年12月5日) |
| (6) マンホール開放後の静置[強制換気] | (平成28年12月6日~12月8日) |
| (7) チューブシール油抜き | (平成28年12月8日~12月12日) |
| (8) 容器内スラッジ回収作業 | (平成28年12月12日~12月29日) |
| (9) マンホール開放立入禁止措置にて作業休止 | (平成28年12月30日~29年1月4日) |
| (10) 容器内スラッジ回収作業再開 | (平成29年1月5日~) |

4. 火災発生及び消火の状況

4. 1. 火災発生の状況

第一発見者の協力会社員の証言によると、火災が発生した TK35 タンクが位置する B 工区入出門に 1 月 18 日 06:40 頃の到着時では煙を認めなかった。B 工区入出門は鍵で施錠されており、第一発見者が自分で門を開閉し入場した。その後、TK42 タンク定期点検のため TK42 タンク西側に車で移動し、降車した時に TK35 タンクから黒煙が上がっているのを発見した。(資料-V-3)

連絡を受けた協力会社員が 07:00 頃 TK35 タンクに到着し、マンホール 2 から中を覗いたが、炎は見えず煙のみを確認した。その後、西側に移動し、ミキサーマンホール 2 と 3 からタンク内の炎を確認した。

マンホール(ミキサーマンホール 1、マンホール 3)からのスラッジ排出用ホース(各 1 本)に火が付いているのに気づき、消火器で消火した。

4. 2. 消火の状況

4. 2. 1. 通報

第一発見者が TK35 タンクから黒煙が上がっているのを発見後、操油課と自社事務所(タンク整備を担当している協力会社)に黒煙発生を連絡した。06:55 有田市消防本部から旧東燃消防保安課に電話連絡(近隣からの通報を受けて火災発生の確認)があり、旧東燃消防保安課で構内カメラにより TK35 タンクからの黒煙発生を確認し、出動要請するとともに自衛消防隊を出動させた。

4. 2. 2. 防災活動の状況

TK35 タンクでの黒煙発生を覚知後、旧東燃消防保安課にいた直課長(SS1)が、操油課直副長(SSV)に TK35 タンクの泡消火、隣の TK34 タンクのリング散水実施を指示し、自らも現地防災隊長(代理)として現地に向かった。

有田市消防指揮隊が到着後、指揮権を移譲し、泡消火による窒息消火を試みるも鎮火に至らず、クリーニングのため開放されていた側板のマンホール 6 箇所を閉止して水没消火する戦術を取った。

防災活動状況については、資料-V-4 に時系列を示す。

5. 事故原因

5. 1. 調査方法

5. 1. 1. 調査の方法

(1) 関係者の証言からの事実確認

①. 発災時の状況に関する証言

第一発見者、初動対応者

②. 発災前日までの作業内容に関する証言

作業に携わっていた操油課員及び施工業者社員

③. 発災前のタンク内の状況(可燃物、資機材など)に関する証言

前日の固形物残渣(スラッジ)回収作業を実施していた施工業者社員

④. TK35 タンククリーニング作業の安全管理に関する実施状況の証言

本作業に関係した旧東燃ゼネラル石油株式会社 従業員と施工業者社員

(2) 作業記録・要領書類からの事実確認

①. TK35 タンク内部のスラッジ残存状況

要領書類に記載されている安全対策

(3) 回収スラッジ(*1)の分析、火災発生事象検証のための実験

①. 社内研究所でのスラッジ成分分析

②. 社外の調査研究機関によるスラッジの発熱性試験

(*1) 火災発生前日まで TK35 タンク内のスラッジを軽油で溶解し、TK35 タンク防液堤内に設置した貯油槽(以降角槽と呼ぶ;資料-V-5 参照)に回収していた。この角槽から採取した油分を含むスラッジのこと。

5. 1. 2. 原因推定の進め方

以下の2点から火災シナリオを推定した。

- ①. TK35 タンク内部及び周辺に残存した可燃性物質等の特定
- ②. 発火源の推定

5. 1. 3. 現場検証

4月25日から27日にかけて関係行政機関（消防庁消防研究センター、有田市消防本部、有田警察署、和歌山県総務部危機管理局、経済産業省中部近畿産業保安監督部近畿支部、御坊労基署）の現場検証時にTK35内部に残存する可燃性物質、発火源の確認を実施した。

5. 2. 直接原因

5. 2. 1. 火災発生場所に存在する可燃性物質等（資料-V-6, 資料-V-7）

- ①. 回収作業工程でタンク内に残存していたスラッジ（ワックス状の油分と固形物の混合物）
- ②. スラッジの溶解作業に使用していた少量の軽油（洗浄油）
- ③. 回収作業に使用していた資機材（軽油供給用ホース、スラッジ回収用ホース等）

5. 2. 2. 発火源

以下に列挙した発火源が想定されるが、当日の各発火源の状況からスラッジに含まれていた硫化鉄が発火源である可能性が最も高いと推定される。

(1) 硫化鉄（酸化発熱）

①. 旧東燃ゼネラル石油（株）中央研究所によるスラッジの分析結果

角槽から採取したスラッジに含まれる油分をトルエンにて除去した後、残存する固形物の成分分析を ICP 分析法 (*2) により実施した。

その結果、固形物中には鉄が 36.1 wt%、硫黄が 19.0 wt%程度存在することが確認された。鉄と硫黄が硫化鉄の形態で存在すると考えると質量比的に妥当であり、52 wt%相当の硫化鉄が存在したと考えられる。その他の成分には特に自己発熱発火性を持った物質は確認されなかった。（添付-V-8）

(*2) ICP 分析法：誘導結合プラズマ（Inductively Coupled Plasma）を使用する分析機器により元素の同定・定量を行う方法

②. 外部機関によるスラッジの発熱性試験結果

外部試験機関（株式会社住化分析センター）において、角槽から回収した油分を含むスラッジを用いて酸化発熱性の確認試験を実施した。

RADEX 試験 (*3) において 60℃から酸化反応が有意に進行することが確認された。

さらに、SIT 試験 (*4) において開始温度を 40℃とした場合には、発熱は 87℃にとどまった。しかし、いったんスラッジを 60℃の N₂ 雰囲気乾燥した後開始温度を 40℃とした場合には、300℃以上の発熱が確認された。

なお、この試験に用いたスラッジが浸っていた軽油の引火点は 55℃、発火点は 229℃であった。（資料-V-9）

上記の実験結果から TK35 タンク内のスラッジは、固形物の表面を覆うワックスが洗い流されている状態であれば（実験に使用した状態）、軽油が付着している条件でも酸化発熱により自己発熱することが確認された。また、酸化発熱により 60℃に達し乾燥した雰囲気においては、硫化鉄周辺の油分や水分の気化が促進され、油分・水分の気化後は、気化に消費された熱が全てスラッジ自体の温度上昇に寄与することで急激な温度上昇が進行してタンク内に残る油分の発火点を超過する可能性があることが示唆される。

発災時はスラッジを軽油で懸濁しながら山を崩していた段階であり、山の表面上にワックス分を洗い流された（実験に使用した状態）スラッジが露出していた可能性がある。

(*3) RADEX（恒温壁熱量計）：空気流通下で昇温または等温保持し、試料の発熱挙動（酸化発熱）を測定する試験法。

(*4) SIT（Spontaneous Ignition Tester）：物質が空気中で、発火点よりはるかに低い温度で自然に発熱し、その熱が長時間蓄熱されてついに発火に至る現象（貯蔵自然発火性）を測定する試験法。

(2) 静電気

火災が発生した時刻は午前 6 時 50 分頃であり、タンク内部で作業は実施していなかった。静電気の発生には、それが発生するような摩擦動作が必要であるが、発災当時タンク内外での作業はなく、静電気発生の可能性は極めて低い。

(3) ウェスに付着した油（酸化発熱）

油が吸着したウェスを長期間放置すると、酸化し発熱・発火する場合がある。通常、油付着ウェスは産廃になるため、袋へ入れて専用ドラム缶へ入れ蓋をしている。TK35 タンク出入りマンホールの横にドラム缶を置いているが、ドラム缶には延焼した様子はなかった。また、現場検証により、タンク内に放置したウェスがなかったことを確認した。

(4) 電動工具

タンククリーニング作業中は、タンク内及びタンクヤード内へ非防爆の電気機器を持ち込むことを禁止している。記録によれば、発災前日からのタンク内部の残存物は、スコップ・ホース・ドラム缶・バケツ・エアポンプ・ブラシだけであり、着火源となりうる電動工具等は存在していない。現場検証により、タンク内に電動工具類が無かったことを確認した。

(5) 落雷

発災当時の天候は晴れであり、特に雷が発生した記録はなかった。

(6) 外部侵入者の放火

火災鎮火後すぐに TK35 タンクが位置する有田 B 工区のフェンスの損傷を点検したが、特に異常は見られていない。有田 B 工区は入出門を施錠管理しており、発災前日～当日に旧東燃ゼネラル石油株式会社関係者以外の入場はなかった。また、発災当日の 04:30 の操油課員の定期巡回点検や 06:20 の TK35 タンク周辺の可燃性ガス検知においても、不審者が現場近くにいなかったことが確認されている。

5. 2. 3. スラッジ中の硫化鉄が乾燥・発熱に至った過程の推定

石油精製装置内など空気が遮断された系内で生成された硫化鉄は、湿潤状態で直接空気に触れることがなければ酸化発熱を起こすことはなく、乾燥し空気に触れると酸化発熱を起こすことは一般に知られている。

①. 局所的なスラッジの堆積

TK35 タンクは、平成 28 年 6～7 月に近傍の TK34 タンクをクリーニングした際のスラッジを多く含むスロップを受入れたため、受け入れノズル付近のタンク北西部に、最大 1.6m 程度の高レベルのスラッジの山が局所的に生成していた。

このスラッジの山は、タンククリーニング工程(COW 工法)の共油洗浄・軽油洗浄・清水洗浄を実施した後もほぼそのまま残っていた。(資料-V-10)

②. スラッジの回収作業

マンホール開放後、タンク内部に作業員が入り、スラッジを少量の軽油に溶解し、タンク内に仮設したエアポンプによりタンク外に設置した角槽へ回収する作業を平成 28 年 12 月 12 日から実施していた。平成 29 年 1 月 14 日まではタンク内の低所のスラッジを回収する作業が継続された。TK35 タンク内に残るスラッジはタンク北西部に残るスラッジのレベルの高い箇所（最大 1.6m 程度の高さの山）を除き概ね除去されていた。なお、翌 1 月 15 日は休日作業は実施していない。発災前々日の平成 29 年 1 月 16 日の午前 9 時頃から、残るスラッジのレベルの高い箇所付近の回収作業を開始した。発災前日の 1 月 17 日は午前 8 時 30 分頃から、回収作業を開始し 16 時頃作業を終了した。

③. スラッジの乾燥・発熱

スラッジ堆積箇所のうち、堆積の低い箇所では回収時に軽油により湿潤状態が維持されたためスラッジが乾燥することはなかった。一方、山の上部のスラッジは浮屋根にも近く軽油で湿潤させる作業も行われなかったため、スラッジ回収作業期間中（実績として発災までの 1 ヶ月強）に徐々に乾燥が進行したものと推定される。

1 月 17 日に実施したスラッジの山を崩す作業で、溶解のための軽油が十分にかからない状況下で山の上のスラッジが新たに崩された。このため、スラッジの山中に埋もれていた硫化鉄の一部が空気に晒され、硫化鉄の酸化による発熱が始まったと推定される。

または、同日の作業で溶解のための軽油により、山の中腹部のスラッジ表面を覆っていたワックス分（重質油分）が除去されたことで、スラッジに含まれる硫化鉄の酸化反応が始まったと推定される。

④. 可燃性物質等が燃焼に至った過程の推定

発熱に伴い、周辺のスラッジに含まれる硫化鉄を覆うワックスの溶解及び水分・油分の気化があわせて進行する。これにより新たに空気に晒される硫化鉄の量が増加したものと推定される。空気と接触する硫化鉄量の増加とともに発熱範囲も拡大し、スラッジに付着した水分・油分の減少に伴い、それまで気化に消費されていた熱がスラッジ自体の温度上昇に寄与するようになりスラッジの蓄熱が進行したものと推定される。スラッジの温度が、スラッジ周囲の軽油やワックス等の油分の発火点に達することで着火、火災が発生したと推定される。（資料-V-11）

5. 3. 間接要因

直接原因として推定した硫化鉄の酸化発熱が起こり、可燃性物質等（軽油など）の発火を引き起こした間接要因について運転管理、設備管理・設計の観点に分けて検討した。

5. 3. 1. 運転管理

TK35 タンククリーニング作業で使用した要領書・手順書類を確認した結果を次の（1）に示す。

また、（2）では、作業員の硫化鉄に関する危険性の認識について確認した結果を示す。

（1）タンククリーニング関係手順書類の検証

①. 和工-製油部タンク開放作業要領

本要領はタンク開放作業の安全に重点をおいて、全てのタンククリーニング作業を対象として特に安全上の注意点を網羅して、具体的な手順や安全上の注意事項を記載したものである。

- 第5条では、タンククリーニング事前準備作業として、サワー（酸性）物質を貯蔵したタンクについては、その硫化鉄生成の履歴を考慮することが記述されている。
- 第6条では、操油課員と製油技術課員（タンク運転に詳しい者）及びクリーニング施工業者で作業開始2週間前を目途にタンククリーニング安全ミーティングを開催し、施工業者より予め提出された「施工要領書及び安全対策書」について打ち合わせを行い、改訂・照査する手順となっている。また、クリーニング作業の開始後において、想定されていない状況へと変化した場合は、追加のタンククリーニング安全ミーティングを実施することが記述されている。
- 第11条では、サワーサービスで硫化鉄生成が懸念される浮屋根タンクについては、硫化鉄対策として残油回収後直ちに水張りを行い浮屋根裏面及び側板内側に付着した硫化鉄を水で濡らせること。クリーニングによりタンク内部の硫化鉄を含むスラッジが除去されるまでの期間は、定期的（目安3日以内）に水を導入し、硫化鉄を含むスラッジを湿潤に保つことと記述されている。

②. 運転部門（操油課）作業手順書（SOP）

本手順書は TK35 タンククリーニング作業において操油課員が実施する作業について、各作業をステップ毎に記載した文書である。

- 表形式で、各作業確認のチェック記入欄や注意事項の記述があり、硫化鉄対策としてタンク開放前の清水洗浄作業で浮屋根裏面に清水を噴射しスラッジを除去することと記述がある。
- スラッジ回収作業は、操油課員の作業対象外のため具体的な記載はなく、スラッジ回収作業における「硫化鉄の発熱の危険性」についての記述はない。

③. COW クリーニングの仕様書

本仕様書は TK35 タンクのクリーニング作業の契約に際し、旧東燃ゼネラル石油株式会社からタンククリーニング施工業者へ依頼する作業の内容を指示した文書である。

- 「COWを伴うタンククリーニング作業の注意事項」として、タンククリーニング作業中は硫化鉄対策としてタンク内に存在する堆積物、タンク外へ搬出した堆積物は水で湿らせて置くことと記述されている。

- ④. 施工業者タンククリーニング工事施工要領書及び安全対策書
本要領書及び対策書はタンククリーニング施工業者が作成して旧東燃ゼネラル石油株式会社へ提出し、運転部門で照査、設備管理部門で合議した文書である。
- ①項の要領、③項の仕様書にあった「硫化鉄の発熱の危険性」や「スラッジへの散水」に関する記述はない。本来、運転部門での照査、設備管理部門での合議で確認し、修正すべきであったがそれがなされなかった。

- ⑤. リスク分析シート（作業安全性分析：JSA）
本シートは作業ステップ毎に潜在的な危険有害要因を記述し、必要な危険軽減策・手順を記載した手順書である。
- リスク分析シートには当該作業に関係する危険因子をチェックするリストがあり、TK35 タンククリーニング作業に関するリスク分析シートでは「硫化鉄による発火の危険性がある」にチェックが入っている。
 - リスク分析シート中の作業ステップ毎の記述の中では、危険因子として硫化鉄が存在する可能性がある記述及びリスク軽減策としてスラッジへの散水に関する記述はない。

(2) 作業員の硫化鉄に関する危険性の認識について

「和工-製油部タンク開放作業要領」には、「タンククリーニング作業の開始後において、想定されていない状況へと変化した場合は追加のタンククリーニング安全ミーティングを行う。」との手順がある。

今回のケースでは、COW 工法での共油（原油）クリーニング実施後にスラッジ量を測定した結果、局所的なスラッジの堆積が見られた。共油量に制約があり、クリーニングを継続してもスラッジの堆積を減らすことが出来ないと操油課員と施工業者で判断した。この状態に対して「想定されていない状況」との認識が持てなかった。そのため、通常原油タンクの開放と同等の手順（清水洗浄）によりタンク内を湿潤したのみの状態でマンホールを開放し、スラッジ回収作業を実施した。

TK35 タンクのクリーニング作業に関与した関係者にヒアリングした結果は以下の通りであり、タンク内に硫化鉄の存在することや一般的な硫化鉄の危険性は理解していたが、硫化鉄の発熱・発火防止策としての散水の重要性、その具体的な防止策に関する理解が不十分であった。

①. 操油課員

操油課員は、COW 作業及びスラッジ回収作業において、作業工程の中で硫化鉄が存在しうることについては認識しており、また、硫化鉄対策として散水することも、製油部タンククリーニング要領、仕様書等で理解していた。ただし、TK35 タンクで局所的に堆積したスラッジの山に多量の硫化鉄が含まれているという認識はなかった。

②. 施工業者作業員

施工業者作業員は、COW 作業の最終工程でタンク内全体を清水で洗浄したことで、「タンク内に存在する堆積物は水で湿らせた」状態であったと判断していた。また、過去にスラッジが燻った経験もないことから散水はしなかった。過去にも散水はしたことがなかった。施工要領書及び安全対策書に硫化鉄に関する記述が無く、TK35 タンクで局所的に堆積したスラッジの山に多量の硫化鉄が含まれ、乾燥し、発熱・発火することは想定していなかった。

5. 3. 2. 設備管理・設計

当該設備は運転停止中であり、電源等も遮断されており、かつ、摩擦熱の原因となる機器の異常接触などは確認されておらず、今回の火災の原因として、TK35 タンク本体やタンク付属品の設備管理・設計に起因する可能性は低いと考える。

5. 4. 事故原因のまとめ

(1) 直接原因

硫化鉄以外の発火源が確認されていないため、硫化鉄の空気接触に起因する酸化発熱及び蓄熱によりスラッジが高温となり、スラッジ周辺に残存していた軽油やワックス等の油分を加熱し発火点を越えて自然発火したことが火災発生の直接原因と推定される。

硫化鉄の空気との接触は、スラッジ回収作業でスラッジの山を崩すことで、もしくは軽油での溶解作業でスラッジに付着していたワックス分を溶解することで、硫化鉄が露出したことが原因と推測される。酸化発熱初期に発生した熱は周囲の油分の気化に寄与したものと考えられるが、周囲の油分の減少後はスラッジ自体の蓄熱に寄与し、周囲の油分の自然発火点以上まで温度が上昇したものと推測される。

なお、回収したスラッジは硫化鉄を多量に含み、室温付近でも有意な発熱を示すことを試験により確認した。また、60℃程度の条件となれば、周囲に存在する油分の自然発火点である229℃以上の温度に上昇することを試験により確認した。これらの確認事項は本推定と矛盾しないものと考えられる。

(2) 間接要因

直接原因として推定している硫化鉄の酸化発熱によるスラッジの自然発火については、湿潤した状態もしくは散水等で除熱することが防止策として有効である。防止策が取られなかった要因として、以下の3点が考えられる。

- ①. 上位の要領書には水による湿潤化が安全対策として記載されているにもかかわらず、施工者が直接利用する作業手順書に硫化鉄に関する安全対策の具体的な記述がなかった。この作業手順書に関して、タンククリーニング安全ミーティングで旧東燃ゼネラル石油株式会社従業員と施工業者で作業内容と安全対策の確認を実施したが、硫化鉄の発熱危険性に関して議論されず、手順書の是正は実施されなかった。
仕様書に書かれている安全対策を確実に手順書に反映することが出来ていれば、硫化鉄への対策が取れていたと推測される。
- ②. 上位の要領書には、想定されていない状況に変化した場合に追加のタンククリーニング安全ミーティングを実施することを定めている。COW工法における共油(原油)クリーニング後に局所的なスラッジの堆積を認識したが、この状態を想定されていない状況への変化と捉えられず追加のタンククリーニング安全ミーティングを実施しなかった。スラッジの局所的な堆積により、時間とともに湿潤した状態が維持できず危険な状況になる認識が持てれば、追加の安全ミーティングで是正措置が可能だったと推測される。
- ③. 上記①②がなされなかった一因として、タンククリーニングに関わる関係者の硫化鉄に対する安全上の認識が不足していたと考えられる。

6. 再発防止対策と対策実施予定

6. 1. 再発防止対策

タンククリーニング中の硫化鉄による火災再発防止を図るため、5. 4. 項に記載した直接原因及び間接要因への対策として以下を実施する。

(1) 手順書の改善(直接原因及び間接要因①に対する対策)

- ①. 「施工業者タンククリーニング工事施工要領書及び安全対策書」の改善
 - ・ 「COWクリーニングの仕様書」には、現状「COWを伴うタンククリーニング作業の注意事項」として、タンククリーニング作業中は硫化鉄対策としてタンク内に存在する堆積物、タンク外へ搬出した堆積物は水で湿らせておくこと、と記述されている。この仕様に対する具体的な対応策に関する記述を「タンククリーニング工事施工要領書及び安全対策書」に追記する。
- ②. 施工業者が作成する手順書の確実なレビュー
 - ・ 仕様書に記載された安全対策及び事前のリスク評価で抽出されたリスクに対する対策が全て手順書に網羅されていることを、運転部門の照査及び設備管理部門での合議の際にチェックリストを用いて確認する。
- ③. 仕様書の質の改善
 - ・ 仕様書に記載された安全対策が十分かどうかをセーフティアドバイザー(製油技術課の安全専門家)がスポットチェックを実施する。

(2) 教育の実施(間接要因②③に対する対策)

- ①. 硫化鉄を含むスラッジの発火危険性及びその対策に関する教育
 - ・ TK35タンク火災事故概要及び推定原因に関する教育資料を作成し、従業員及び協力会社員に対する教育訓練を実施する。特にタンククリーニングに関わる従業員・協力会社員に対しては、定期的なリフレッシュ教育を実施する。

- ②. 「想定されていない状況」に面した際に作業を止めることの重要性に関する教育
 - 事前のリスク評価で想定している前提からの状況変更は、リスクの内容あるいはリスクレベルに対して影響があることを上記教育資料による教育を通じて再度徹底する。些細な変化と感じられるものであっても、リスク評価を再度行うことの重要性を教育する。
- ③. 安全対策を手順書に網羅することの重要性に関する教育
 - 施工業者に対して、作業のリスクを正しく伝え、必要な対策を施すよう促すことは、依頼側の責任である。仕様書に記載された安全対策だけでなく、事前のリスク評価で抽出されたリスクに対する対策を全て手順書に落とし込むことの重要性を従業員に再度周知徹底する。

6. 2. 水平展開

旧東燃ゼネラル石油株式会社のその他3製油所（川崎・千葉・堺）へは、和歌山製油所のTK35タンク火災事故の推定原因及び対策を周知する。各製油所において、関連する手順書・要領書を確認の上、必要により改訂を行う。同様に、旧JXエネルギー株式会社の製油所にも水平展開を行う。

6. 3. 対策実施予定

- ①. 手順書の改善（チェックリスト作成及び活用開始）：
平成 29 年 12 月末
- ②. 従業員及び協力会社員への教育：
平成 29 年 7 月末
- ③. 旧東燃ゼネラル石油株式会社のその他 3 製油所への TK35 タンク火災事故の周知：
平成 29 年 6 月末

7. 情報公開体制について

7. 1. 事故後の対応

2017年1月18日の発災後、初島町浜地区、港地区に対し、広報車による地域広報を開始した。発災直後は、火災の発生及び消火作業中であることを伝えていたが、その後、風向きによっては泡消火剤が近隣地域へ飛散していたため、泡消火剤の飛散していること及び触れないよう注意喚起を行った。地域広報の時間及び内容については、以下の通り。

	日時	地域広報の内容
1.	1/18 08:20	B 工区タンクにて火災が発生。現在消火活動中。
2.	1/18 09:40	引き続き消火活動中。
3.	1/18 11:00	泡消火剤が飛散。健康影響はないが、触れないよう呼びかけ。
4.	1/18 16:10	飛散した泡消火剤の有害性は家庭用の洗濯洗剤と同程度。 肌に触れた場合は水で良く洗い流す。
5.	1/18 17:30	火災はおさまっているが、タンクに注水しており、水の流れる音が発生する。
6.	1/19 07:30	タンクへの注水を継続中。泡消火剤を使用する可能性があり、洗濯ものを屋外に干さないよう注意喚起。
7.	1/19 18:30	鎮火が確認された。使用した泡消火剤が飛散する可能性があり、念のため、洗濯ものを屋外に干さないよう注意喚起。

7. 2. 問い合わせへの対応

消火活動において泡消火剤を使用し、発災箇所近隣地区へ泡消火剤が飛散したため、泡消火剤の毒性について質問が数件寄せられたが、家庭用洗剤と同程度の毒性であり、水洗いで溶けるため残留することはない旨説明し、納得して頂いた。

これ以外の問い合わせや意見等はなかった。

VI. 再発防止に向けた提言

今回の火災事故を起こした両設備は、法令はもとより、自主的な安全管理がなされていた。事故-Aは、高圧ガス保安法適用設備で発生しているが、同法令（含む認定関係法令）に基づいた保安管理がなされ、違反・不備等は指摘されていない。腐食因子として特定はしていたものの、現在でも十分に解明されているとはいえないアルカリサワーウォーターによる腐食メカニズムであったため、今回の急激な腐食を予見できなかったものである。しかしながら、今回の両事故の教訓を踏まえて、再発防止のためにも、さらに高度な安全管理体制を構築することが重要であり、以下を提言する。

1. 安全管理体制の強化

旧東燃ゼネラル石油株式会社では、事故のない完璧な操業を目指し、操業管理システム（資料-VI-1）により網羅的（以下に示す 11 エレメント）に人と設備の安全を確保するための計画・実行・評価・改善のサイクルを実施し継続的な改善を続けてきた。

1. マネジメントのリーダーシップ、決意及び責務
2. リスクアセスメントと管理
3. 設備設計と建設
4. 情報／文書化
5. 従業員と訓練
6. 運転と保全
7. 変更の管理
8. 協力会社によるサービス
9. 事故調査と分析
10. 地域社会の理解と緊急時対応計画
11. アセスメントと改善

この操業管理システムで規定される基準、手順等を確実に実施しておれば、今回の事故は防止できていた可能性がある。このようなシステムを持ちながらも、今回の 2 つの事故を起こした原因は、システムの実施に際しての実効性に改善の余地があったと考えられる。

今回の 2 つの事故の間接要因について、上記システムのエレメントに対する分析を行った。その結果を表-VI-1 及び表-VI-2 に示す。なお、直接原因については、物理現象に近く、システムのエレメント分析には不適なため、今回の分析からは除外した。

表-VI-1 事故 A：潤滑油装置群火災のシステムエレメント分析結果

間接要因	関連するエレメント
① PT-2 HD 装置は、燃料油系脱硫装置と比べ、脱硫・脱窒素率の低い潤滑油系脱硫装置であるためアルカリサワーウォーター腐食は、軽微であると考えており、また、実際の装置の肉厚測定検査データからも腐食による減肉は、ほとんど認められなかった。このため新たに得られたアルカリサワーウォーター腐食の知見に基づく 2004 年から 2005 年にかけての全社で実施されたアルカリサワーウォーター腐食についてのリスク評価においては、PT-2 HD 装置は、評価対象とならなかった	エレメント 2：リスクアセスメントと管理 ・リスクアセスメントの質が不十分 エレメント 5：従業員の教育と訓練 ・リスクの認識・知識不足 ・潤滑油製造装置におけるアルカリサワーウォーター腐食の知識不足

表-VI-2 事故 B : TK35 タンク火災のシステムエレメント分析結果

間接要因	関連するエレメント
① 上位の要領書(「製油部タンク開放作業要領」)において硫化鉄のリスクに関する記載および必要な対策に関する記載があったが、施工者が直接利用する作業手順書に硫化鉄に関する安全対策の具体的な記述がなかった。事前の安全ミーティングにおいても、硫化鉄に関する記述の不足は指摘されず、手順書は改善されないままであった。	エレメント 6 : 運転と保全 <ul style="list-style-type: none"> - 要領書から手順書に落とす際の手順不足 - 手順書自体の内容不足 エレメント 2 : リスクアセスメントと管理 <ul style="list-style-type: none"> - リスク想定不足
② 開放する時点で、TK35 タンク内部には硫化鉄を多量に含むスラッジが局所的に堆積することは認識されていた。しかし、事前の安全ミーティングで想定していた状態と異なるが再度安全ミーティングを実施すべき事態と認識されず、そのまま作業が進められた。	エレメント 2 : リスクアセスメントと管理 <ul style="list-style-type: none"> - リスク評価前提からの変化に対する対応不足 エレメント 5 : 従業員の教育と訓練 <ul style="list-style-type: none"> - リスクの認識不足
③ 過去のタンククリーニング時に硫化鉄による発熱は経験がなく、タンククリーニング関係者の硫化鉄に対する安全上の認識が不足していた。	エレメント 5 : 従業員の教育と訓練 <ul style="list-style-type: none"> - リスクの認識不足

今回の 2 件の事故を顧みると、潤滑油装置群火災事故では、過去のデータからリスクは低いと判断した当時のリスク評価の質が不十分であった(エレメント 2 の実効性)。TK35 タンク火災事故では、要領等で硫化鉄の発火リスクは特定されているにもかかわらず、作業手順へのリスク対策の反映が不十分であった(エレメント 6 の実効性)。リスクアセスメント時の知識不足及び対策実行に関わる人のリスク認識の甘さが認められる(エレメント 5 の実効性)。決められた手順に従って作業を進めてはいるものの、そこで求められるリスクアセスメントの質に改善すべき点がある。

2. リスクアセスメントとプロセスセーフティの改善

前述のように 2 件の事故とも、間接要因としてリスクアセスメントの質、特にプロセスセーフティに係るリスクアセスメントの質が不十分であったことが指摘される。旧東燃ゼネラル石油株式会社和歌山工場においては、エレメント 2 や 5 に基づき、リスクアセスメント、リスクマネジメント(以下、RA/RM)教育やプロセスセーフティ教育がなされてきた。RA/RM については、それについて高度な知識を有する専任のセーフティアドバイザーが和歌山製油所には配置されている。また、その上には、本社にシニアセーフティアドバイザーが専任配置されている。これらセーフティアドバイザーの下、各階層に対する RA/RM 教育プログラムが策定され実施されている。

また、世界的にプロセスセーフティ強化の嚆矢となった近年の石油精製工場での大規模事故 - 2005 年 BP 社 テキサスシティ製油所の爆発・火災事故(15 名死亡、170 名以上負傷)後、「RA/RM の意志決定者(部課長層)に対してリスクマネジメント教育(1 日教育、2008 年)」、プロセスセーフティワークショップ(2008 年、部長層以上 4 日間教育、運転部門課長・副長層 1 日間教育)等の大規模なリフレッシュ教育を実施している。特に、部長層以上のプロセスセーフティワークショップにおいては、連続 4 日間、会社の持つプラント設計の安全設計(12 章からなるプロセスセーフティのバイブル、表 VI-3 参照)を再度教育するとともに、他社を含む石油/化学関係の重大事故について映像を交えながら、再確認するとともに参加者が教訓等について討議した。

表-IV-3 旧東燃ゼネラル石油(株) 設計基準 - プラント安全指針

1. 基本原理
2. 火災、爆発、事故の最小化
3. プレッシャー・リリーフ
4. 排出システム
5. フレア
6. 緊急の“縁切り/降圧/シャットダウン”のシステム
7. 機器間距離
8. 爆風圧防御と耐火
9. 消火設備
10. 積込みラックとLPG貯槽設備
11. “引火性ガス、毒性ガス、火災”の検知システム
12. 安全、健康、環境に係るクリティカル機器

旧東燃ゼネラル石油株式会社和歌山工場においては、技術系、運転系従業員の教育プログラムが整備されており、そのポジションで要求される知識、技能等は木目細かく管理されている。特に、プロセスセーフティ、RA/RMについても良く練られたコンピュータベースドトレーニングが用意されており(約110項目)、必要な項目の試験に合格しないと、そのポジションにはつけない。技術系従業員においても、同様であるが、新入社員の頃から上述のプラント安全設計を教育される。

また、自社、他社事故情報の共有、いわゆる水平展開については、全社的なワークフローが整備されており、特徴としては、①国内のみならず海外事故情報も収集、②収集した事故情報については、社内専門家が検討して工場への水平展開要否、要の場合の水平展開深さを決定する機関を有する(詳しい情報から自社・自工場にとって有益な情報を精査・選別し、限られたリソースを有効に活用する)、③②の機関において、特に重要な教訓を含む事故情報の水平展開については、「重大教訓事故情報」と位置付け、重要度を上げたフォローを行う(フォロー状況をマネジメント層まで定期的に報告する等)、④実際の事故に至らない事象(ニアミス等)についてもプロセスセーフティ上の潜在リスクを評価する手順があり(事故潜在リスク分析ツール)、定められた潜在リスク度を超える事象については、前述の重大教訓事故情報と同レベルの水平展開を実施する、の4つが挙げられる。

このように各部門の一般層及び管理層に対して、複数のプロセスセーフティ、RA/RMに係る教育及び定期的なリフレッシュトレーニングが行われてきたが、今回の事故発生の直接原因、間接要因を考えると、その内容を点検して改善機会を発掘、必要な改善を図ることが必要である。その視点としては、今回の事故を踏まえると下記の通りである。

視点-1:

運転・設計・保全作業等に関わるリスクは、基本的にそれぞれチェックリストが用意され、リストに従って評価を行う仕組みとなっている。しかし、評価者の知識・技能レベルにより想定されるリスクレベルに差異が生じ、リスクに対する適切な対策が取られない可能性がある。評価者の技能・知識向上のため、現在の安全に関する教育プログラムに、プロセスセーフティに関する過去の事故事例を用いた教育を含めたリスク予知に関する教育訓練を多用することを提言する。

TK35タンク火災においては、過去に同様の手順で何度も開放作業を行っており、その際には問題が発生していなかったことから、タンク内に残ったスラッジの山に対してもリスク前提の変化を見逃した可能性がある。過去に実施した作業においても、その当時のリスク評価を鵜呑みにせず、最新の状況や知見をもとに再評価を実施し、見逃されているリスクの発掘に努める必要がある。

リスク評価の手順上は、こうした評価者による質の差をなくすために、必ず上位者あるいは専門家の確認を得ることになっている。しかし、類似の作業が多く発生している中で、上位者による確認においても、作業環境の変化によるリスクレベルの悪化を発見することが出来なかった。評価者だけでなく、上位者を含めたリスクアセスメントの質を向上するための教育に抜けがなかったか、の視点での再点検を行う。

視点-2:

設備劣化や操作ミスによる漏えい、火災、爆発といったプロセスセーフティ事故の防止に対する役割は、エンジニア、保全員、運転員など立場によって異なる。しかし、各個人がプロセスセーフティを守るための責任をよく理解していないと、活動が専門家や限られた関係者に依存してしまう傾向にある。

一人ひとりに能動的に原因や対策を考えさせ各人の責任を再認識させるような視点で現行教育を点検して、改善、追加等を検討する。

3. 安全文化の醸成

3. 1. 安全文化醸成のための取り組み

和歌山工場では、1960年代から1970年代にかけて起きた事故を反省し、1970年代から1980年代にかけて運転管理面・設備面の対策を進めてきた。さらに、1990年代からは操業管理システムの導入により労働災害の低下に成功し、2000年代からはロス予防システム（LPS）の導入により人の行動に焦点を当てた安全行動を推進することで労働災害発生件数の低い状態を保っていた。特に2016年には百万時間・人あたりの不休業災害を含む労働災害発生率がゼロを記録し、旧東燃ゼネラル石油株式会社の他工場と比較しても優れた結果であった。また、和歌山工場では漏えい、火災、爆発といったプロセスセーフティ事故についても、1970年代以降大きな事故を起こしていなかった。

しかしながら、今回2件の火災事故を起こした背景には、しっかりとした操業管理システムを持ちながらも実効性が不足してしまったことが指摘される。システムを動かすのは人であり、システムの実効性を上げるためには人の教育と目的達成に向けてやり抜く力を付けること（動機付けとこだわりを持つこと）が必要である。

安全を確保し、関係各方面からの信頼を回復するためには、安全文化面まで踏み込んだ検証を実施すべきである。今回の安全文化の検証では、和歌山製油所全体の組織風土や組織慣習にも焦点を当て、組織としての改善機会を探ることも重要である。普段から目の前の小さな変化にも真摯に向き合おうとする組織、今日の安全に決して慢心せず常に安全を死守しようとする組織においては、積極的なリスク発掘を心がけるものである。そして、このような人の組織貢献について常に動機付けがなされ、必要な教育が十分に施され、安全へのこだわりが強固なものとされているか、現在の和歌山製油所の安全文化について検証を進めて頂きたい。このためには、コンサルティング会社等の外部機関を活用するなどして現状を客観的に分析し、より良い安全文化醸成に向けた改善策を立案・実行することを推奨する。この結果、システムの実効性がさらに高まり、また補完されることが期待される。

3. 2. 再発防止に向けた和歌山製油所の役割と決意

旧東燃ゼネラル石油株式会社では、「安全」とは、単なる優先順位を超えた基本的な価値観(コア・バリュー)であると社内外に説明をしてきた(高圧ガス保安協会 月刊誌「高圧ガス」 Vol.53 No.8, 2016)(資料・VI-2)。この場合の基本的な価値観とは、常に社長から現場の第一線に至る全てのレベルにおける判断の前提となるような価値観のことである。

安全なくして和歌山製油所の存続はありえない。安全が、全てに優先する基本的な価値観であることを、各個人レベルまで十分に浸透させる必要がある。従業員・協力会社員と本社及び製油所幹部層間のコミュニケーションをさらに推進し、人の安全のみならずプロセスセーフティも重要であることを啓蒙すべきである。

今回の事故の教訓を風化させないため、和歌山製油所において1月22日を安全の日と定めるべく検討していることを支持する。

VII. おわりに

今回、旧東燃ゼネラル石油株式会社 和歌山工場において 1 月に 2 件の火災事故が発生した。

1 件は、潤滑油製造装置群の装置内部に生成したアルカリサワーウォーターによる配管の局部腐食により、穿孔し、内部流体（水素、液体炭化水素）が漏えいし、静電気によって着火、火災に至った事故である（事故-A）。他の 1 件は、クリーニングのために開放された原油タンクの底板上に堆積していたスラッジに含まれる硫化鉄が自然発火し、スラッジ中の軽油成分などに着火、火災に至った事故である（事故-B）。

事故-A においては、腐食因子としてアルカリサワーウォーターを特定して保安管理を行っていたが、アルカリサワーウォーターによる腐食のメカニズムは現在においても十分に解明されていないこともあり、今回の急激な腐食を予見できなかった。また、事故-B においては、硫化鉄発火リスクの低減が規程に盛り込まれていたが、十分な対応がとれなかった。いずれも、法令や同社の規程に沿って保安管理がなされていた。しかしながら、結果として事故に至ったことは、極めて遺憾であり、事故撲滅に向けてさらなる継続的改善を進めていただきたい。

2 つの火災事故には、直接の関連性はなく、全くの別の事故であるが、間接要因については、共通性が見られる。即ち、いくつかの事故防止のための仕組み（ルール、手順書等・事故防止バリア）がありながら、その運用、実行に際して抜けがあったため、バリアを貫通して発災に至った点である。総括すると、「リスクアセスメントの甘さ」と、「決められたルール/手順書等を徹底的に実施しきれなかった」の 2 点が、今後の継続的改善のポイントと考えられる。

旧東燃ゼネラル株式会社は、日本では早くから欧米型の操業管理システムを導入し、包括的なリスクアセスメントの仕組み等を保有しており、リスクに基づく体系的なプラント保安の面では、業界をリードしてきた。その中で、今回のような事故が発生したことを真摯に受け止め、操業管理システムの実効性、特に、リスクアセスメントの質をさらに高めることが強く望まれる。実効性を上げることは、容易ではなく、永遠の課題でもある。システムを動かすのは、ヒトであり、そのヒトを正しく教育して、安全についての強い動機付けとこだわりを持たせることなどが必要であり、まさに安全文化醸成の努力そのものかと思われる。まずは、今回の教訓を踏まえた改善を確実に実施し、「活きた操業管理システム」、「強固な安全文化」の醸成に継続的な努力を傾注していただきたい。

なお、今回の事故-A では、有田市より地域住民に対して避難指示が出され、避難が実行された。これは、爆発発生などに伴う避難ではなく、予防的な避難であり、我が国のプラント事故において極めて珍しいケースであった。住民避難やリスクコミュニケーション等のあり方については、今後、コンビナート等における防災・減災を考えていく中で、重要なテーマの一つであるので、本委員会でも今回の避難指示についての検証を取り上げた。今回は、BLEVE のリスクに対する避難で、和歌山製油所では、予め当該プラントで万一火災等が発生した場合の消火戦術、工場敷地外に及ぼす可能性のある重大リスクと対策等を定めていた。これは先進的な取り組みと言える。また、その内容を地元消防当局と共有化しており、それが今回の早期「避難指示」に結び付いた。実際には、BLEVE の爆発は起こらなかったが、危機管理の視点では、責められず、今回の避難指示は妥当であったと考えられる。住民避難の判断は、難しい課題であるが、今回のケースは、今後の避難指示を考える上での一つの参考となろう。

本事故報告書が、石油プラント等における事故未然防止に活用され、石油/化学産業界の安全向上に多少なりとも貢献できれば幸いである。

最後に、事故調査に際し、ご指導をいただいた経済産業省、消防庁、消防研究センター、有田市消防本部、和歌山県 危機管理局、高圧ガス保安協会、産業技術総合研究所の方々に厚く御礼申し上げます。

2017 年 5 月 16 日

JXTG エネルギー株式会社 (旧 東燃ゼネラル石油株式会社)
和歌山製油所 火災事故調査委員会
委員長 田村 昌三