

## 危険物製造所で発生した火災 ～配管内の温度差に起因する漏えい・火災～

四日市市消防本部予防保安課

### 1 はじめに

本事案は、石油精製事業所（第1種レイアウト）の危険物製造所で発生した漏えい・火災事案で、配管内の温度差に起因して発生したものである。

本稿では、発災の原因及び対策について紹介するとともに、同種事案の発生防止に向けて本事案から得られる教訓についても述べる。

### 2 施設概要

設置許可：昭和32年7月  
取扱品名：第2、4類危険物  
取扱倍数：144,785倍

### 3 事故概要

発生日時：平成27年12月11日（金）11:47頃  
気象状況：天候曇 気温22℃ 風速8m 湿度65%  
発災施設：危険物製造所の熱源供給装置（図1）  
発災箇所：加熱炉の出口配管（10<sup>φ</sup>）  
発災物質：フラッシングオイル（第4類第2石油類）（以下、FOと称する）  
熱媒油（第4類第3石油類）

被害状況：人的被害 なし  
物的被害 周辺配管及びバルブ、作業ステージを焼損

深刻度評価指数※：人的被害4 影響範囲3 収束時間3

防御活動：自衛防災隊 泡放射による消火  
公設消防隊 配管の冷却放水

※危険物施設における火災・流出事故に係る深刻度評価指標について  
（平成28年11月2日付け消防危第203号）

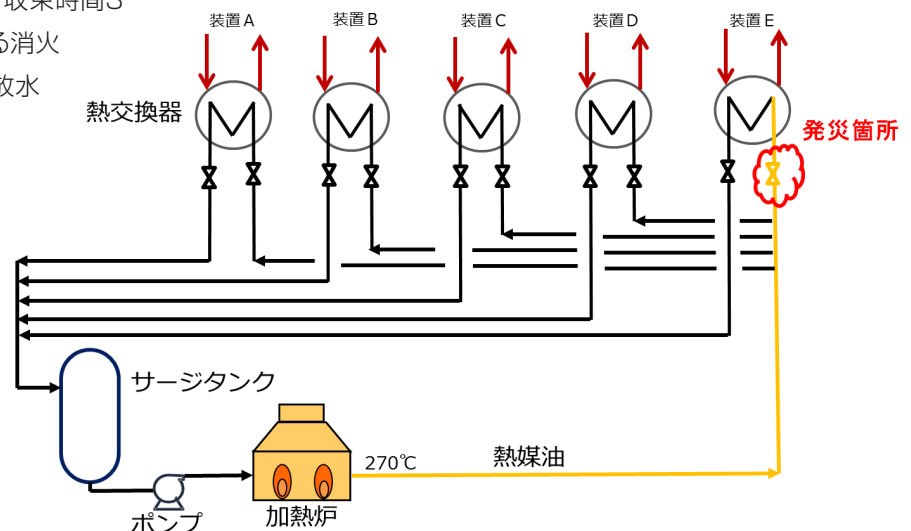


図1 熱媒油供給フロー

## 4 発災の経緯

### (1) 発災までの作業状況

#### ア 時系列

- 平成27年9月25日  
熱交換器の改造工事のため装置Eラインの熱媒油抜き取り及び窒素パージを実施（図2）
- 平成27年12月8日  
改造工事が完了し、装置Eの運転再開に向けて作業開始
- 平成27年12月11日  
朝 頃 熱交換器へのFO満たし作業を実施・完了  
11:00 熱媒油配管へのFO満たし作業を開始（図3）  
11:30 配管満たし作業の進捗を確認  
11:40 作業完了まで時間的余裕があると判断し、作業員は現場を離れる

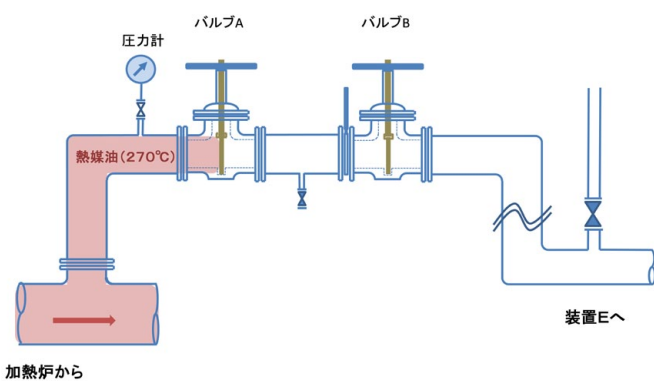


図2 FO流入前の配管

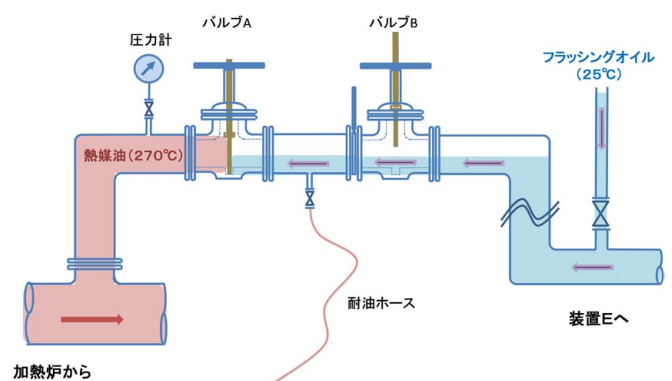


図3 FO流入後の配管

#### イ 配管のFO満たし作業について

当該作業は、通常行う運転再開作業とは異なるもので、いわゆる“非常作業”である。

##### ●作業目的

（熱応力の緩和）

窒素パージされた常温の配管内へ高温の熱媒油を流入させた場合、熱応力により配管が歪みフランジ部から漏えいする危険がある。そこで、常温のFOと高温の熱媒油を徐々に混合させることで熱影響を緩和させ、熱応力による漏えいを防止する。

（熱媒油の固化防止）

常温の配管へ熱媒油を流入させると、熱媒油の温度は低下するとともに、粘度が高くなり、配管内で固化し、閉塞する危険がある。そこで、粘度の低いFOと混合させながら流入させることで、固化・閉塞を防止する。

##### ●通常の作業手順

- ①加熱炉を停止し、熱媒油はすべて抜き取る
- ②空の熱媒油配管系に常温のFOを満たし、循環させる
- ③加熱炉を起動し、徐々にFOを昇温する
- ④規定温度に達したところで熱媒油と置換する

上記の行程を経ることで、配管内に急激な温度変化を生じさせることなく通常運転に移行することができる。しかし、今回はE以外の装置（AからD）が起動した状態で熱交換器の改造工事を行ったことから、当該方法で運転を再開することとした。

## (2) 発災の状況

### ア 時系列

12月11日

- 11:49 運転員が火災を発見
- 11:50 自衛防災隊による泡放射
- 11:52 加熱炉を緊急停止
- 11:53 119通報
- 12:00 緊急使用停止命令の発令
- 12:15 火災の消失
- 12:18 公設消防による冷却放水
- 13:16 漏えい箇所の特定
- 14:58 鎮火

### イ 漏えい箇所

熱媒油配管のバルブフランジ部でFO及び熱媒油がそれぞれ漏えいしているのを確認した(図4)。

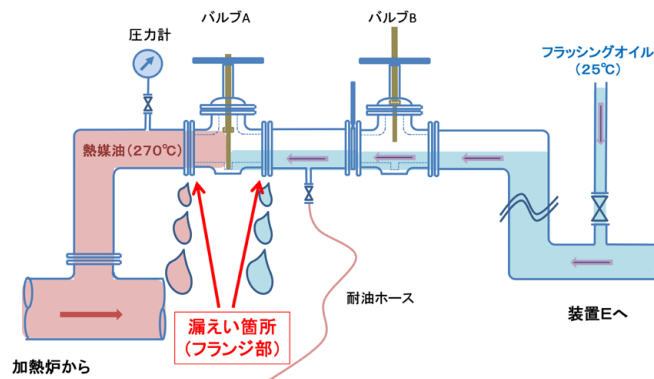


図4 漏えい箇所(バルブフランジ部)

## 5 発災の直接原因及び対策

漏えいメカニズムをFEM(有限要素法)で、また、出火メカニズムをFTA(Fault Tree Analysis)で解析した。

### (1) 漏えいメカニズムの解析

FOの流入前後で配管外面の温度分布をみると、流入に伴い配管下部の温度が低下している(図5)。また、漏えいが確認されたバルブフランジ部でFO流入後の温度分布をみると、FO側のフランジの上部と下部とで温度差が生じている。また、フランジ下部に着目すると、ガスケットの流体に接触している側(内側)の温度と大気に接触している側(外側)の温度が異なっている(図6)。一方、熱媒油側では、FO流入前後で温度分布に目立った変化はなかった。

次にガスケットの接触圧を解析すると、FO側でFO流入前では、180°方向でやや低いが、最小締付圧(推奨値)を上回っている(図7-1)。一方、FO流入後では0°及び180°方向で接触圧が低下しており、特に180°方向では最小締付圧を下回る結果となった。逆に、90°及び270°方向では接触圧が高くなる結果となった(図7-2)。

熱媒油側のガスケット接触圧を解析すると、FO流入前ではFO側と同様に180°方向でやや低いが最小締付圧を上回っている(図8-1)。

次にFO流入後では、180°方向で接触圧の低下が見られたが、最小締付圧を下回らない結果となった(図8-2)。

温度分布及びガスケット接触圧の解析結果から、FO側ではFO流入により熱歪みが生じ、フランジが“くの字”に変形し、フランジの上下方向(0°及び180°)で接触圧が低下する一方で、水平方向(90°及び270°)では接触圧が高くなると考えられる。

また、ガスケットの内側と外側とでも、FO流入により温度分布に差が生じ、内側では最小面圧を下回った。これは、使用していたガスケットがうず巻き型ガスケット（金属製のフープと無機の緩衝材を巻いたもの）であり、金属部分での熱収縮が主要因と考えられる。

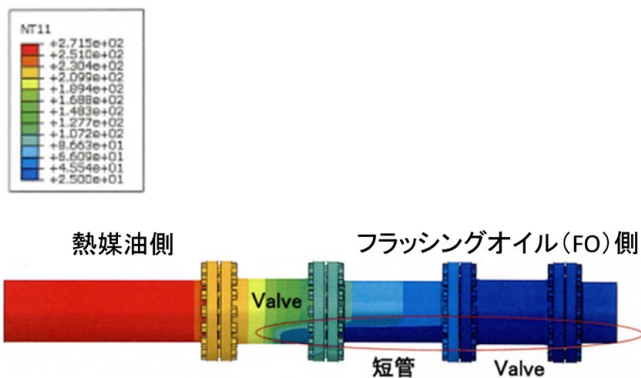


図5 FO流入後の温度分布

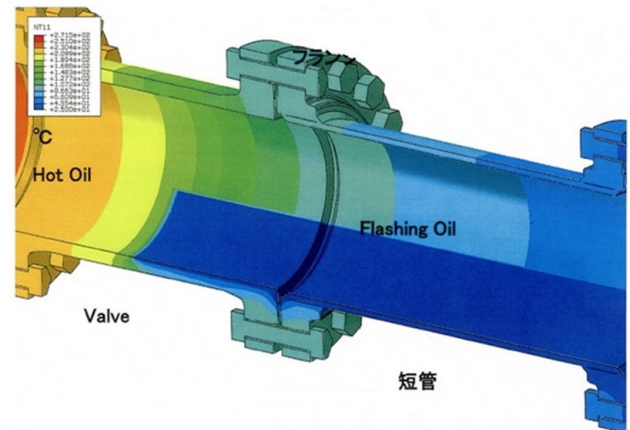


図6 フランジ部の温度分布

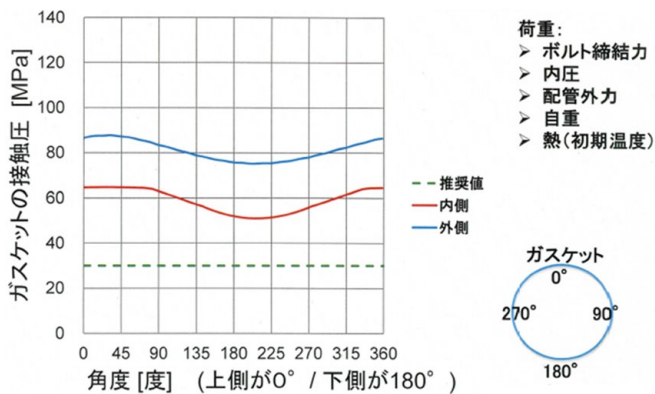


図7-1 FO側ガスケット接触圧（流入前）

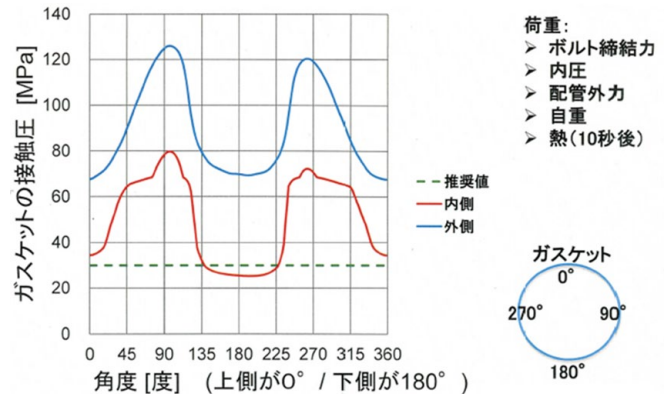


図7-2 FO側ガスケット接触圧（流入後）

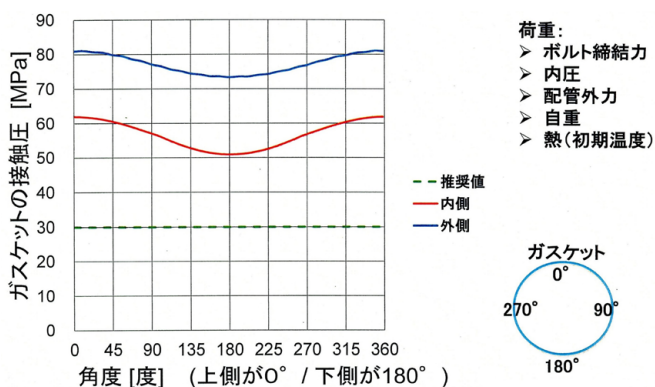


図8-1 熱媒油側ガスケット接触圧（流入前）

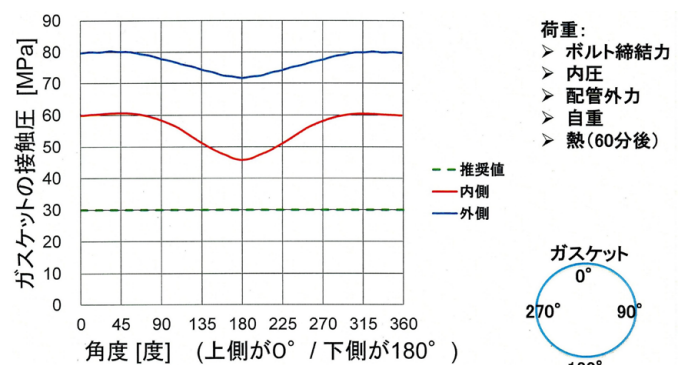


図8-2 熱媒油側ガスケット接触圧（流入後）

## (2) 出火メカニズムの解析

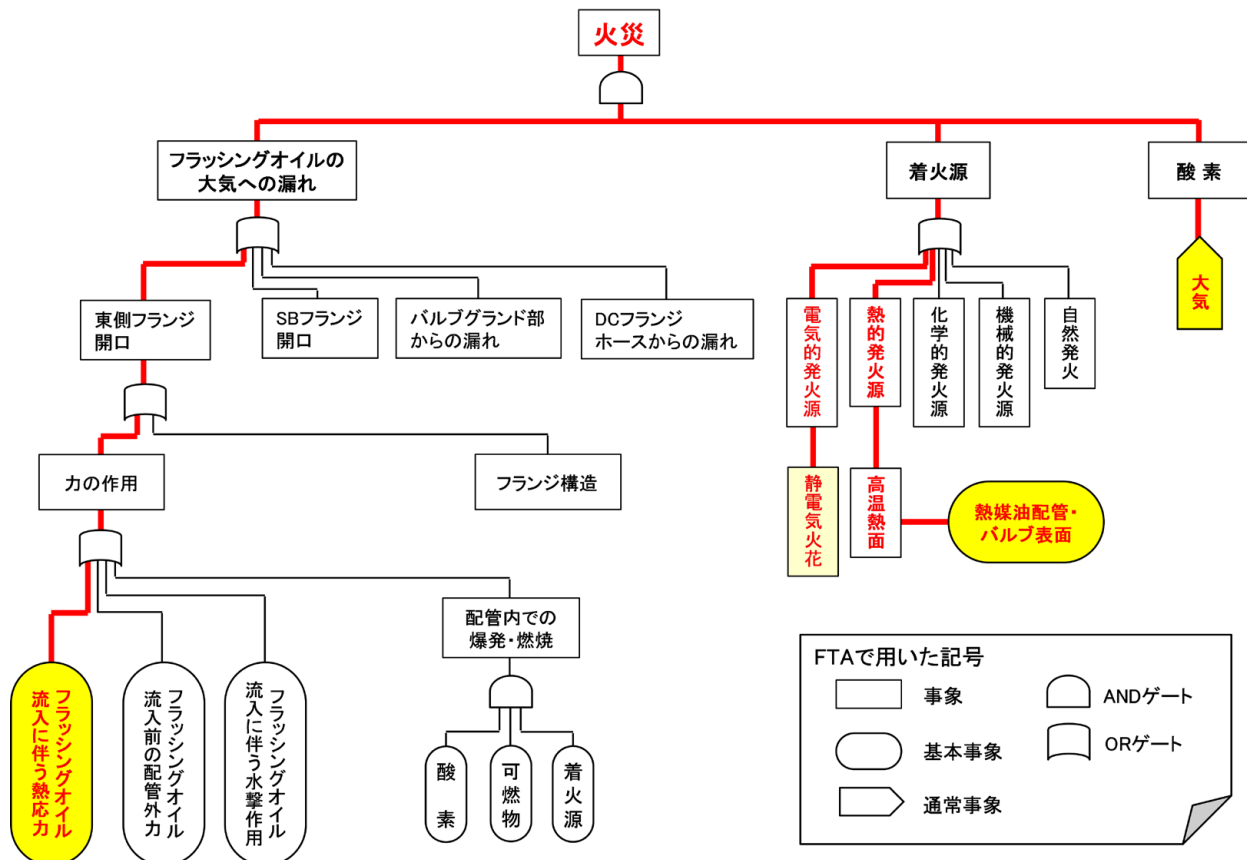
表1-1に使用油の性状、表1-2に抽出された燃焼の3要素を示す。これらをファクターとし、解析した結果、可燃物としてはFO、着火源としてはバルブの高温表面熱、酸素供給源としては大気中の酸素が導き出された(図9)。

表1-1 使用油の性状

性状	熱媒油	フラッシングオイル
沸点(°C)	276	201.5
引火点(°C)	174	90.5
発火点(°C)	343	220
運転温度(°C)	270	常温(25)
運転圧力(MPaG)	0.55	0.30

表1-2 燃焼の3要素

可燃物	酸素供給源	着火源
フラッシングオイル	大気中の酸素	熱表面(熱媒油仕切りバルブ)(260°C)
熱媒油		静電気
その他可燃物(ゴムホースなど)		落下物
		工事火源



## (3) 総合メカニズム

まず、FOの流入により、フランジ下部が急冷され、熱歪み及び収縮が起こり、FOの漏えいが発生した。漏えいしたFOは発火点以上の熱媒油配管やバルブに接触し、発火した後、熱媒油側のフランジを炙り、熱媒油の二次漏えいを誘発した。これにより、火災が延焼拡大したものと推定した。



#### (4) 再発防止対策

- 急激な温度変化を生じさせないために、今後は、加熱炉を停止させ熱媒油の温度が十分に低下した状態でFOを満たすこととする。
- 水平展開として、所内類似箇所（温度差が大きく、急冷される可能性がある箇所）を調査し、対策を講じる。
- 体感型教育として、配管が急冷されると内容物が漏えいすることを体験できる装置を開発する。

### 6 間接原因と対策

#### (1) 間接原因

- 作業プロセスのリスクアセスメントが未実施  
環境設定にかかるリスクアセスメントは行ったが、作業プロセスにかかるリスクアセスメントの要否を担当課長に一任していた。
- 作業員が現場を離れた（ルールの不順守）  
ドレンホース先端からの窒素の抜け状況から、作業完了までに十分な時間があると個人で判断した。

#### (2) 再発防止対策

- リスクアセスメントの確実な実行  
リスクアセスメントの要否について、個人差が発生しないように、チェックリストを新規に作成し、部門長の承認を得るよう規程類を改訂した。  
保安・運転・施工部門及び協力会社が参加する連絡調整会議において、チェックリストを確認し、見落としがないか確認する。  
規程類が適切に運用されているか確認するため、監査員を設け不定期に確認する。
- 従業員への意識づけ  
ルールを逸脱したことにより発生した事案として、事業所の事故事例集に追加し、他の事案とともに繰り返し教育することで危険に対する感性を高める。

### 7 本事案から得るものは

#### (1) 再度リスクアセスメントを実施する

温度差が生じる箇所（機器や配管）を抽出し、再度リスクアセスメントする。  
本事案の熱媒油とFOの温度差は約250℃であるが、これ以外に当消防本部管内では、200℃の温度差が生じて発生した漏えい事案もあり、対象を抽出するためのひとつの指標として200℃以上の温度差が考えられる。

#### (2) 着火源として、高温表面熱に注意する

近年の危険物施設の出火原因を見ると、これまで静電気火花が原因の第1位であったが、平成27,28年は高温表面熱が原因の第1位となっている。  
今回の事案のように、高温部分に危険物が接触することで出火する場合や保温材に危険物が浸み込み酸化蓄熱することで出火する場合など、出火にいたるプロセスはいくつか考えられるが、高温部分に危険物を接触させない対策が重要となる。

#### (3) リスクの気付くことができる人材の育成

各事業所や業界団体において、事故の未然防止に向けた教育・訓練が積極的に行われているが、人の意識にかかる部分であることから定量的に評価することが難しく、有効性の判断に苦慮している部分でもある。  
そのなかで、感性に訴える教育として、上述のような体感型の教育は有効と考えられる。また、語り部活動など実際に事故を体験された方の話を聴くことも有効な方法と考える。

### 8 最後に

配管内の温度差に起因して発生した事案を紹介したが、これが各事業所等で行う事故防止に向けた取組への“きっかけ”となれば幸いである。