

屋外タンク貯蔵所の浮き蓋で発生した破損事故

四日市市消防本部 予防保安課 安全指導係
清水 康明

1. 発災施設の概要

危険物施設：内部浮蓋付き固定屋根屋外タンク貯蔵所（以下、タンクという。）

設置許可日：昭和46年12月17日

変更許可日：平成27年7月29日（FRT（※1）からCFRT（※2）へ変更）

材 質：鋼板

寸 法：直径11.6 m 高さ10.6 m 【図1参照】

許 可 容 量：980 KL（液面計数値：9,241 mm）

許 可 品 目：危険物第四類第一石油類非水溶性 軽質ナフサ（以下、ナフサという。）

貯 蔵 温 度：常温（保温材なし、加温設備なし）

消 火 設 備：第一種屋外消火栓設備、第三種泡消火設備、第四種及び第五種消火器

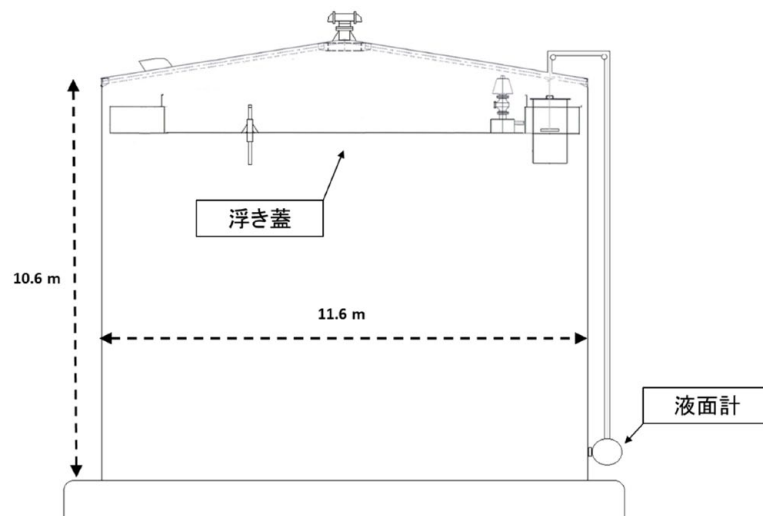


図1. タンクの立面図（断面図）

2. 事故の概要

覚知日時：令和2年5月15日（金）11時15分

天 候：曇 気温：21.6℃ 風速：2.0 m/s 湿度：68%

被害状況：人的被害なし（事業所外への影響なし）

物的被害あり 浮き蓋付属のアトモス弁（※3）破損

ゲージウェル（※4）破損

屋根板変形

ナフサが浮き蓋デッキ上へ21.6 KL漏えい

防御活動：自衛防災組織による警戒筒先配備（公設消防は活動なし）

当事故は、石油コンビナート等災害防止法における、特別防災区域四日市臨海地区の特定事業所内で発生したものであ

る。当事故が発生した危険物施設は、固定屋根があり、かつ内部に浮き蓋があるタンクで、石油精製後のナフサを貯蔵しておくためのものである。ナフサは揮発性が非常に高く、蒸発損失（可燃性蒸気の発生）を抑えるためにタンク内には浮き蓋が設置されている。

当事故は、液面計の不具合により液面計数値が液面実測値よりも小さく表示されたため、タンク内貯蔵量を誤認識し、ナフサをタンクへ過剰に送液したことに起因している。その結果として、タンク内部にある浮き蓋と屋根板とが接触、浮き蓋に付属しているアトモス弁及びゲージ jewels が破損、さらにはアトモス弁を介して浮き蓋上にナフサが漏えいしたものである。【図2から4参照】

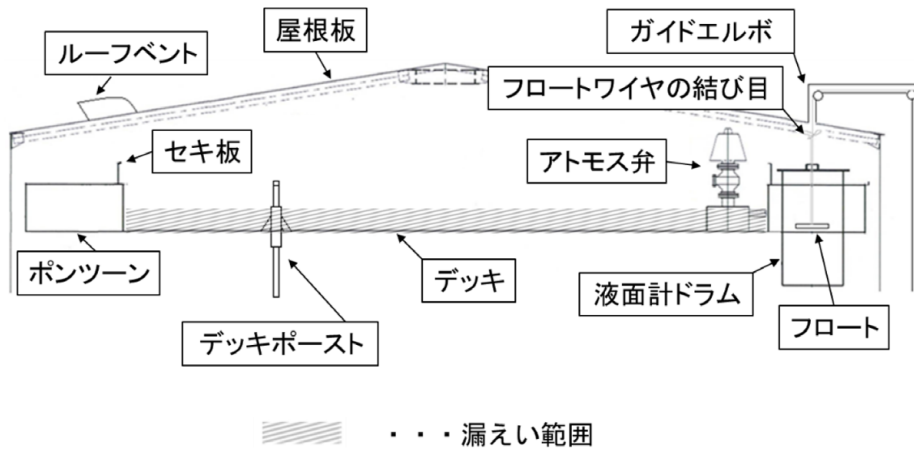


図2. タンクの詳細図

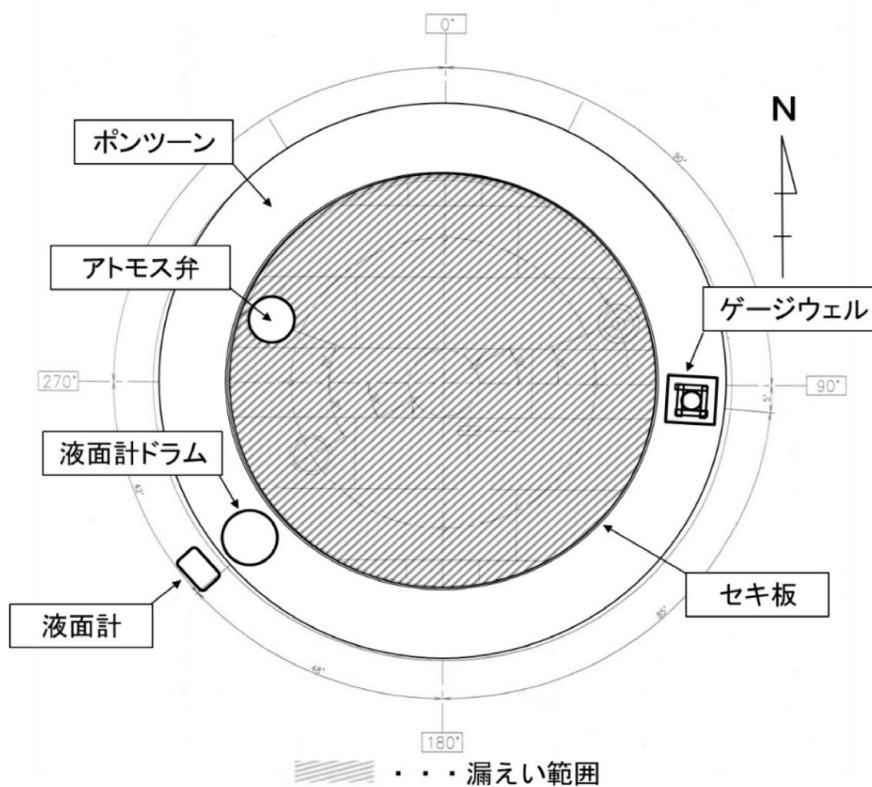


図3. 浮き蓋平面図

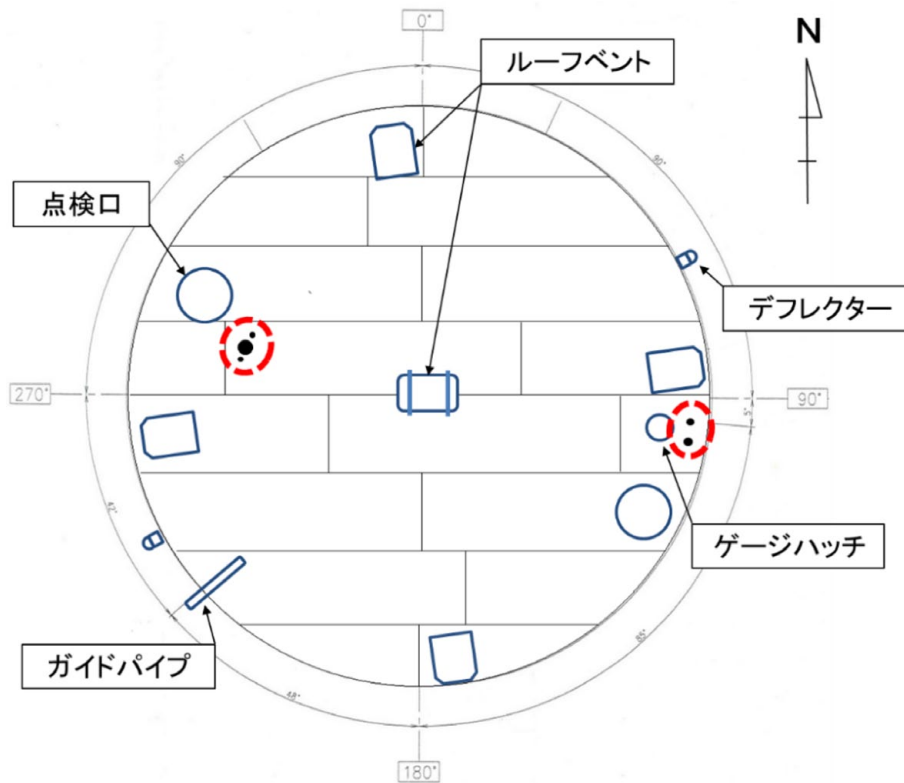


図4. タンクの平面図及び屋根板変形箇所（点線赤丸）

3. 破損状況

アトモス弁の上部には変形があり、ゲージウェルの東側にも変形があった。アトモス弁とゲージウェルの位置、破損状況及び屋根板の変形箇所から、アトモス弁とゲージウェルが屋根板に接触したと推測できた。【写真1、2 図3、4参照】



写真1. アトモス弁の破損状況（点線赤丸）



写真2. ゲージウェルの破損状況（点線赤丸）

4. 時系列

5月13日（水）

10時00分 常圧蒸留装置（※5）からタンクへ送液開始

15時46分 バランス異常発生アラーム（※6）の鳴動

15時59分 タンクへの送液を停止

19時12分 液面計が動かないこと及びポンツーン（※7）の位置が通常よりも高いことから、事業所内緊急通報

5月14日（木）

7時00分 フロートワイヤ（※8）の結び目がガイドエルボ（※9）の位置にあることを確認

5月15日(金)

8時55分 「タンクの液面が通常より高い位置にある」と消防本部へ電話連絡

11時15分 9時15分にタンクの浮き蓋デッキ上に液体があることを確認し通報

5月18日(月)

14時30分 屋根板のゲージハッチ(※10)から検尺を実施し、液面計の校正を実施

校正前 液面実測値: 9,760 mm

液面計数値: 8,817 mm

差異: 943 mm

校正後 液面実測値: 9,760 mm

液面計数値: 9,762 mm

差異: 2 mm

15時40分 タンクから他のタンクへ送液開始

5月19日(火)

14時30分 液面実測値: 6,061 mm

液面計数値: 6,078 mm

差異: 17 mm

5月21日(木)

2時07分 浮き蓋デッキ上の液体調査のため水張り実施。

5月22日(金)

10時00分 浮き蓋デッキ上に液体を確認

13時50分 浮き蓋デッキ上の液体がナフサと推定(液体密度から推定)

14時15分 浮き蓋デッキ上の液体を回収実施。

5. 事故発生後のナフサ脱液作業

懸念事項として、浮き蓋デッキ上と浮き蓋下には大量のナフサがあることによる火災危険があり、また、タンク内部の浮き蓋上部には窒素を大量に送り込んでいることによる酸欠危険が懸念された。また、脱液作業前である5月18日時点ではタンク本体や浮き蓋などの内部の破損状況がわからず、ナフサの脱液作業により不測の事態が発生することが懸念された。

これらの懸念事項から最も安全な脱液作業手順が必要とされたため、事業所と消防本部とで協議し、以下の方法により脱液作業を実施した。

浮き蓋上部空間に窒素を満たし、タンクから他のタンクへ2回に分けて送液を実施した。これは、1回目と2回目の送液の間に検尺を実施し、校正時と校正後の測定結果から液面実測値と液面計数値との追従性があることを確認するためである。

脱液が進行すると浮き蓋のデッキポスト(※11)がタンクの底板に当たる。また、タンクから他のタンクへ送液していた配管ではタンク底部に溜まったナフサを回収できなくなるため、可搬式ポンプによる脱液作業を行った。【図5参照】

脱液作業後、浮き蓋上に液体が残留しているか調査をするために、タンクに注水した。これは、浮き蓋の破損状況によって脱液作業中に浮き蓋デッキ上の液体が残留している可能性があり、また浮き蓋下のナフサを水に置き換えデッキ上の液体を安全に調査・脱液するためである。

タンクに注水後、浮き蓋デッキ上に液体を確認したため、サンプル採取し、その密度からナフサと推定し、ルーフベント(※12)から検尺し、浮き蓋デッキ直径とその深さから漏えい量21.6KLを算出した。浮き蓋上の液体をすべて回収し、その後、水をすべて抜き取り、ナフサの脱液作業を完了とした。【図6参照】

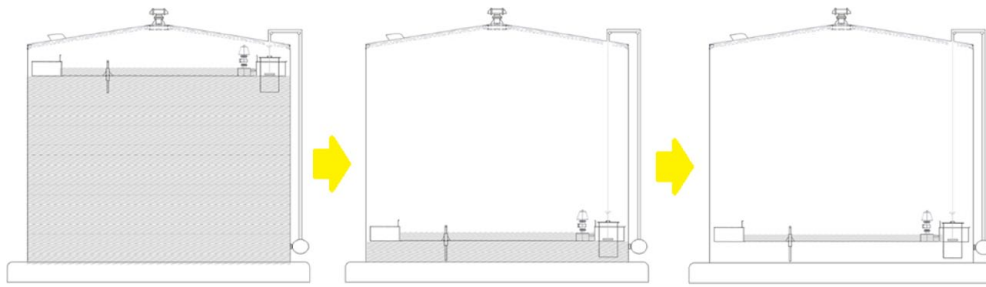


図5. 脱液工程1

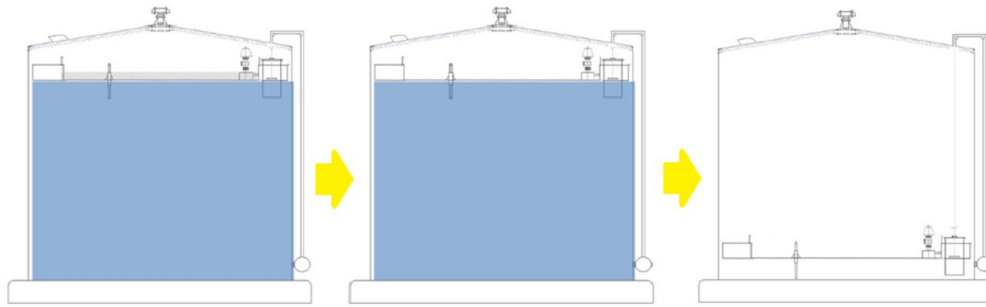


図6. 脱液工程2

6. 事故原因について

当事故は、液面計数値が液面実測値よりも小さく表示されたため、ナフサをタンクへ過剰に送液したことに起因している。そのため、タンクの液面計数値が液面実測値よりも 943 ミリメートル小さく表示された原因と、浮き蓋デッキ上にナフサが漏えいした原因について、以下のとおり調査した。

(1) タンクの液面管理方法

タンクの液面計数値の管理方法として、計器室従業員による液面計数値の監視と、ハイアラーム（※13）やバランス異常発生アラームなどの各種アラームにより液面計数値の管理を実施していた。また、タンクの液面実測値の管理方法として、6カ月に一度、タンクの屋根板にあるゲージハッチから検尺を実施し、液面実測値と液面計数値との差異を確認していた。事故発生日の約2年前、液面計の分解整備・校正を行っており、それ以降差異が ±11 ミリメートル以上発生することはなかった。

これらの管理方法を実施していたにも関わらず、液面計数値が液面実測値よりも 943 ミリメートル小さく表示され、液面管理が適切に行えず、破損事故が発生した。

(2) 液面計数値が液面実測値よりも小さく表示された原因

液面計数値が液面実測値よりも小さく表示される可能性として、6カ月に一度の検尺ミス、液面の管理ソフト、液面計の不具合によるものが考えられた。

検尺ミスは従業員が実施する作業である以上、発生する可能性は考えられるが、検尺ミスの行為そのものが 943 ミリメートルもの液面実測値と液面計数値との差異を発生させるものではない。また、液面の管理ソフトは、事故発生後の校正以降、ナフサの脱液作業において液面実測値と液面計数値との差異は誤差の範囲内であったことから不具合が発生していたとは考えにくかった。

液面計の不具合の可能性があることから液面計の検査を実施したところ、液面計の機能に不具合は確認できなかったが、液面計内部に硬質スケール（※14）が確認できた。テープ押さえ（※15）の硬質スケール堆積状況からテープ押さえは正常な位置になく、また、硬質スケールによってテープ巻取りプーリ（※16）が固着していた可能性があった。そのため、硬質スケールの影響について液面計の動作を確認した。

正常な液面計は、コンストンスプリング（※17）の力がテープ巻取りプーリを介して測長テープ（※18）に伝わり張りがある。また、液面の動きに合わせてフロート（※19）が動きフロートワイヤ・測長テープを介してスプロケットプーリ（※20）を回転させ、スプロケットプーリの回転量を変換し液面計数値として計器室に表示されている。しかし、液

面計のテープ押さえが正常な位置になく、かつ硬質スケールの影響によってテープ巻取りプーリが固着していた場合、液面計数値が液面実測値よりも小さく表示される事象が発生する条件があることが分かった。タンクの液面上昇時、テープ巻取りプーリの固着によって測長テープが巻き取られず、またテープ押さえが正常な位置にないことによってたるみが発生し、その後テープ巻取りプーリの固着が改善し動き出すと、スプロケットプーリが回転せずに測長テープのたるみがなくなり、液面計数値が変化せず液面実測値だけが上昇してしまう。このメカニズムによって液面計数値が液面実測値よりも小さく表示される事象が発生する。ただし、タンクの液面下降時は、測長テープのたるみが理論上発生することがないため、液面計数値と液面実測値との差異が発生することはない。【図7から9参照】

タンク液面上昇と下降を繰り返す過程において、液面下降時に少しずつ液面計数値が液面実測値よりも小さく表示され、結果的に943ミリメートルもの差異が発生したと結論付けた。

(3) 浮き蓋デッキ上にナフサが漏えいした原因

真空検査、PT 検査、目視検査によりタンクの損傷を調べた結果、アトモス弁及びゲージ jewels が破損し屋根板が変形していることが分かったものの、タンク本体と浮き蓋本体に破損は確認できなかった。また、事故発生後、浮き蓋下にあるナフサをすべて脱液し水に置き換えたが、浮き蓋デッキ上にはナフサが残っていた。これらのことから、浮き蓋には亀裂などの破損がない状態で、浮き蓋デッキ上にナフサが漏えいした可能性があった。

浮き蓋下にあるナフサが浮き蓋デッキ上に漏えいする経路は、ゲージ jewels とゲージポール（※21）との間、タンクと浮き蓋との間、アトモス弁が考えられた。

ゲージ jewels とゲージポールとの間には物理的に隙間があるためこの間から漏えいする可能性はあるが、この間からナフサが漏えいしたとしても、浮き蓋にはセキ板（※22）があるため浮き蓋デッキ上にナフサが漏えいすることは不可能である。【図 10 参照】

タンク側板と浮き蓋との間にはシール材があり物理的に隙間がないためこの間からナフサが漏えいする可能性は低いが、この間からナフサが漏えいしたとしても、セキ板があるため浮き蓋デッキ上にナフサが漏えいすることは不可能である。【図 11 参照】

アトモス弁は浮き蓋上と浮き蓋下との圧力差が一定以上となった場合に通気させる装置であることから、一定圧力が加われば気体の移動が可能である。加えてアトモス弁が破損していることを勘案すると、アトモス弁を介して浮き蓋下のナフサが浮き蓋デッキ上に漏えいする可能性はある。【図 12 参照】

これらのことから、浮き蓋下にあるナフサが浮き蓋デッキ上に漏えいする経路は、アトモス弁の可能性があった。

当事故の発生時、液面計の不具合によりタンクへナフサを過剰に送液したことで、アトモス弁及びゲージ jewels の位置関係、破損状況、屋根板の変形箇所から、タンク内でアトモス弁が屋根板に接触し、その後浮き蓋が段々傾きゲージ jewels が屋根板に接触し、さらにナフサの送液が継続したためアトモス弁から漏えいしたと結論付けた。

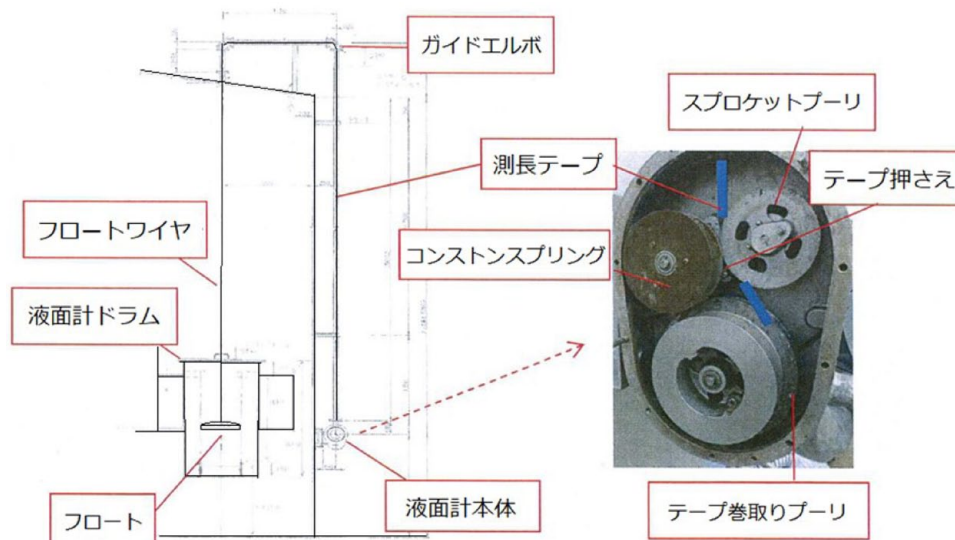
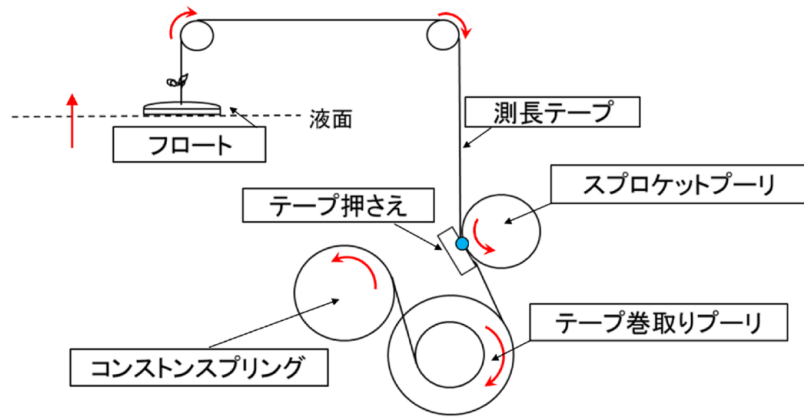


図7. 液面計の概略図



●・・・測長テープとスプロケットプーリの接点

図8. 正常な液面計の動作図

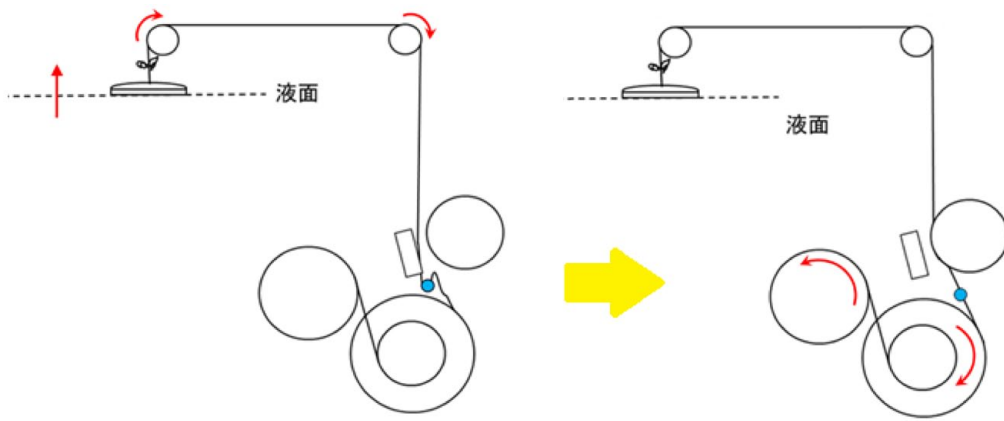


図9. 不具合のある液面計の動作図

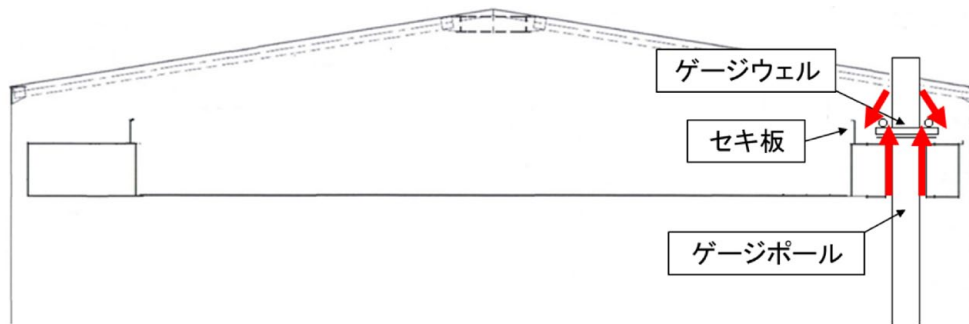


図. 10 ゲージウェルとゲージポールの間からの漏えい図

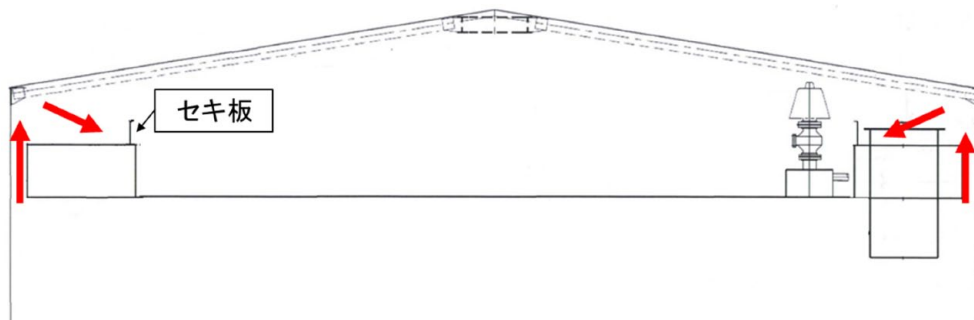


図. 11 タンク側板と浮き蓋との間からの漏えい図

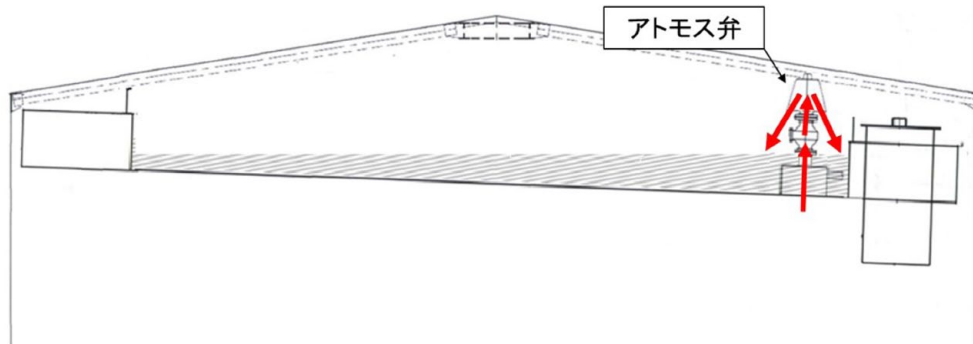


図. 12 タンク側板と浮き蓋との間からの漏えい図

7. 対策

当事故は、液面計の不具合により液面計数値が液面実測値よりも小さく表示されたためタンク内貯蔵量を誤認識してしまい、ナフサをタンクへ過剰に送液したことに起因している。そのため、以下の対策を実施した。

(1) 浮き蓋デッキ上にナフサが漏えいした原因に対する対策

同一事案が発生した場合の備えとして、警報が鳴動する液面計数値を 943 ミリメートル低下させた（当事故発生時における液面計数値と液面実測値との差異分）。

(2) 液面計数値が液面実測値よりも小さく表示された原因に対する対策

液面計の定期的な分解整備を実施することで硬質スケールによる液面計の不具合を発生させないようにし、硬質スケールがガイドパイプ（※23）を介して液面計の内部に侵入しないよう液面計を硬質スケール対策品へ変更した。また、当事故はテープ押さえが正常な位置になかったことが硬質スケールの堆積状況からわかったため、テープ押さえを固定式のものへ変更した。【写真3 参照】

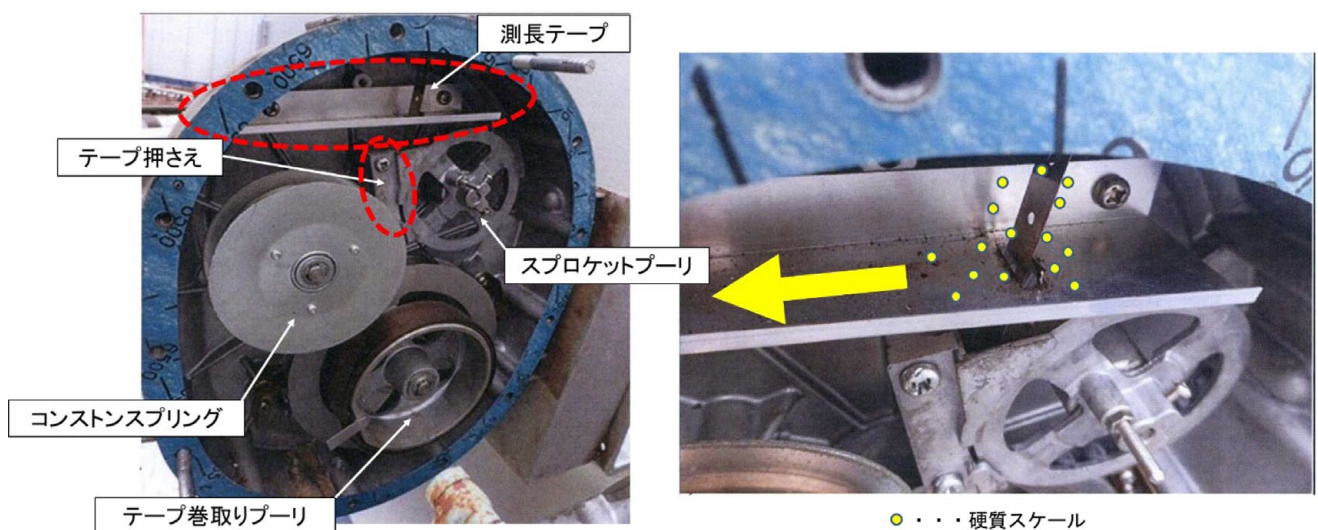


写真3. 硬質スケール対策液面計 (点線赤丸部分が変更部分)

8. 最後に

四日市市消防本部管内の特定事業所は、様々な方法によって潜在危険性を洗い出し、リスクレベルに応じたインターロック制御・計測機器の二重化などのハード対策及び作業手順書の作成・作業前KYなどのソフト対策を実施している。

今回のタンクは、液面計数値の変化量から算出される流量と流量計から算出される流量との差が 15KL 以上となると発報するアラーム、液面計数値が上限付近に達した場合発報するアラームなどによる数値管理、計器室従業員による数値監視が実施されており、液面管理についての潜在危険性対策が実施されていたが、当事故に至っている。潜在危険性に対する評価・対策を実施しても洗い出しに見落としがあると、それらに対する評価・対策を実施することができない。災害防止の第一歩として、潜在危険性の洗い出し作業を見落としなくできる人材及び体制が最も重要であると考える。

【用語集】

- ※1 FRT
浮き屋根式タンクのこと。フローティング・ルーフ・タンクとも呼ばれ、液面に浮き蓋が浮いているため可燃性蒸気の発生を抑制することができる。
- ※2 CFRT
内部浮蓋付き固定屋根タンクのこと。液面に浮き蓋があるため可燃性蒸気の発生を抑制し、また固定屋根があるため水の浸入を防ぐことができる。
- ※3 アトモス弁
浮き蓋下側と上側との圧力差が所定の数値以上となった時、圧力調整を行う安全装置
- ※4 ゲージウェル
ゲージポール（※21）に浮き蓋が引っ掛からないための装置
- ※5 常圧蒸留装置
沸点差を利用し、原油に含まれる様々な物質を分離させるための装置。
- ※6 バランス異常発生アラーム
受払量（流量計による計算）と在庫量（液面計変化量による計算）との差異が15KL以上で発報するアラームのこと。
- ※7 ポンツーン
浮き蓋が沈まないよう、浮き輪の役割をしているもの。
- ※8 フロートワイヤ
フロートと液面計本体とを繋いでいる金属製ロープのこと。
- ※9 ガイドエルボ
ガイドパイプ（※23）が90度に折れている部分で、ローラーによりフロートワイヤがスムーズに通過できる。
- ※10 ゲージハッチ
ゲージポールの最上部にあり、タンクの検尺を実施するための穴。
- ※11 デッキポスト
浮き蓋が着底した時の支持構造物のこと。タンク内のナフサをすべて抜いた時、浮き蓋がタンクの底と接触しないようにするためのもの。タンクの浮き蓋には十数本ある。
- ※12 ルーフベント
屋根板に設けられた通気口のこと。
- ※13 ハイアラーム
液面計数値が上限付近の設定値で鳴動するアラームのこと。
- ※14 硬質スケール
成分未確認の固体。液面計内部等においてナフサ蒸気から析出したものと推定。
- ※15 テープ押さえ
スプロケットプーリ（※20）と測長テープとのズレが生じないようにするためのもの。
- ※16 テープ巻取りプーリ
コンストンスプリングの張力によって測長テープ（※18）を巻き取るためのもの。
- ※17 コンストンスプリング
一定の張力を発生させる金属製の渦巻きばね。
- ※18 測長テープ
金属製のテープ。テープ表面には等間隔に穴が開いておりスプロケットプーリと噛み合うようになっている。
- ※19 フロート
液面計ドラム内で液面に浮かんでいるもの。
- ※20 スプロケットプーリ
液面の上下時、フロートが上下する数値がフロートワイヤを介してスプロケットプーリの回転量に変換される。

※21 ゲージポール

検尺するためのポール。また、これにより浮き蓋が回転しない。

※22 セキ板

火災などの有事の際、タンク内の泡放出口からでた泡を浮き蓋の外周付近に留めておく、堤防のような役割をしているもの。

※23 ガイドパイプ

フロートワイヤが通る管。