

製造所の配管からの硫黄の流出事故について

川崎市消防局予防部危険物課
田淵 一人

1 はじめに

全国の危険物施設における火災及び流出事故件数は、平成6年から増加に転じ、平成19年以降は、高い水準で横ばいの状況が続いている。川崎市においても同様であり、このような状況を踏まえ、川崎市消防局では、危険物施設を所有する事業所を対象に立入検査、講習会等を行い、事故を未然に防止するとともに、自主保安体制の向上を図り、市内における危険物施設の安全対策の推進に努めている。その取り組みの一つとして、学識経験者を委員とした「川崎市コンビナート安全対策委員会」において、市内で発生した危険物事故の原因と改善策を詳細に審議し、その結果を講習会等で活用して同種事故の再発防止を図っている。

本稿では、平成30年に発生し、当該委員会で審議した事故事例を紹介する。

2 事故事例

(1) 発生場所

川崎市川崎区 石油コンビナート等特別防災区域内

(2) 施設概要

危険物製造所 設置許可：昭和45年9月、完成検査：昭和46年6月

脱硫装置等で生成・回収された硫化水素から硫黄を回収するための設備で、移送された硫化水素は、触媒下の反応槽において部分燃焼することにより単体硫黄に転化する。

硫黄は、溶融した状態で屋外タンク貯蔵所へ送られ貯蔵される。

(3) 事故概要

| | | |
|--------|------------------------------|--------|
| 発生日時 | 平成30年4月 5日(木) | 8時50分頃 |
| 覚知日時 | 平成30年4月17日(火) | 13時30分 |
| 処置完了日時 | 平成30年4月20日(金) | 16時45分 |
| 人的被害 | なし | |
| 物的被害 | 配管の開孔、硫黄5.8m ³ 流出 | |

4月5日に危険物製造所の溶融硫黄配管(二重管：外管(スチーム)、内管(硫黄))の内管から外管へ硫黄が2.6m³流出し、一部がスチームトラップ部から流出した。



スチームトラップからの流出(発見時)

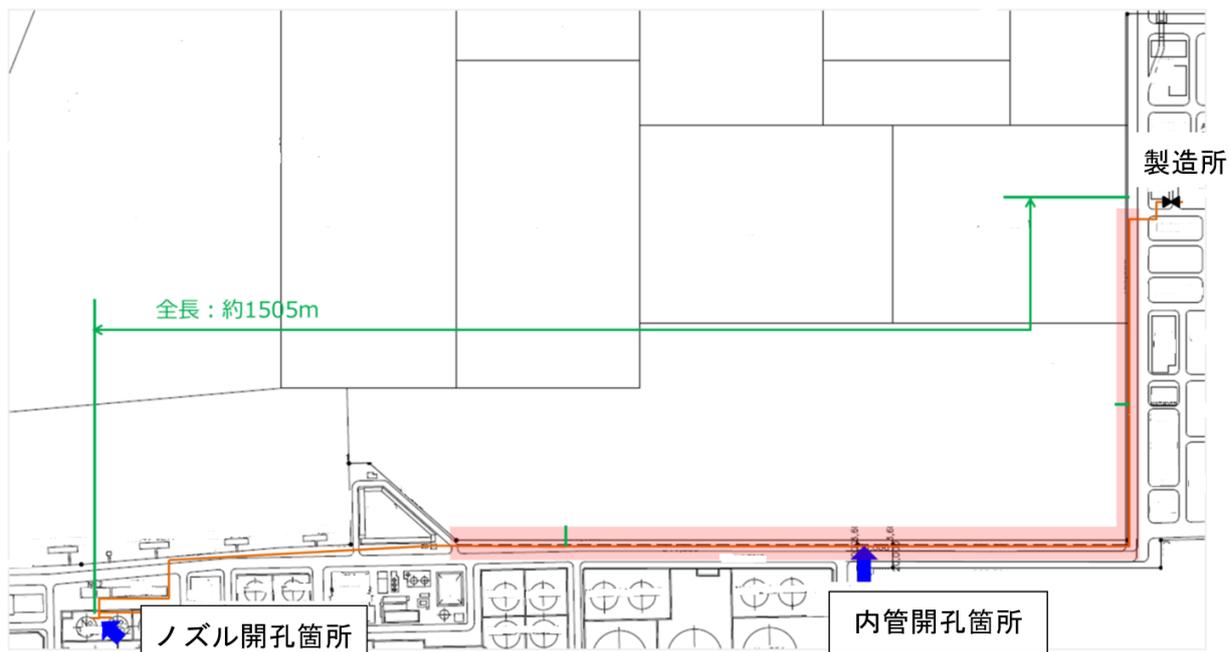
発災事業所は、複数のトラップで硫黄の流出を確認したため、保温スチームが閉そくしないよう保温の強化を図るとともに、4月12～13日にかけて外管と内管のノズルを仮設配管で繋ぎ、外管内の硫黄を回収していたところ、4月16日に仮設配管部から屋外タンク貯蔵所の防液堤内に硫黄が3.2m³流出した。



4月16日流出状況



ノズル開孔箇所



屋外タンク貯蔵所

配管敷設図及び開孔箇所

(4) 調査結果

ア 配管仕様

設置年：昭和46年

材質：炭素鋼

サイズ：内管3B、外管4B、ノズル1B

運転温度：内管・ノズル140℃、外管150℃

運転圧力：内管・ノズル0.68MPa、外管0.35MPa

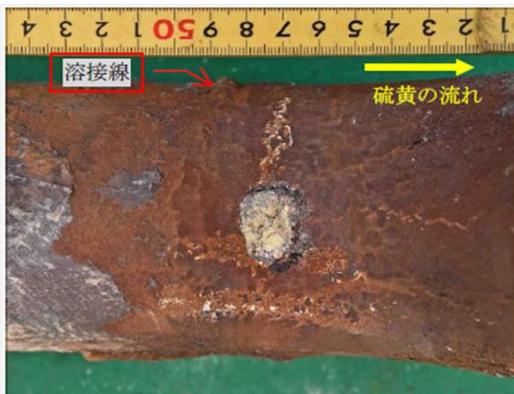
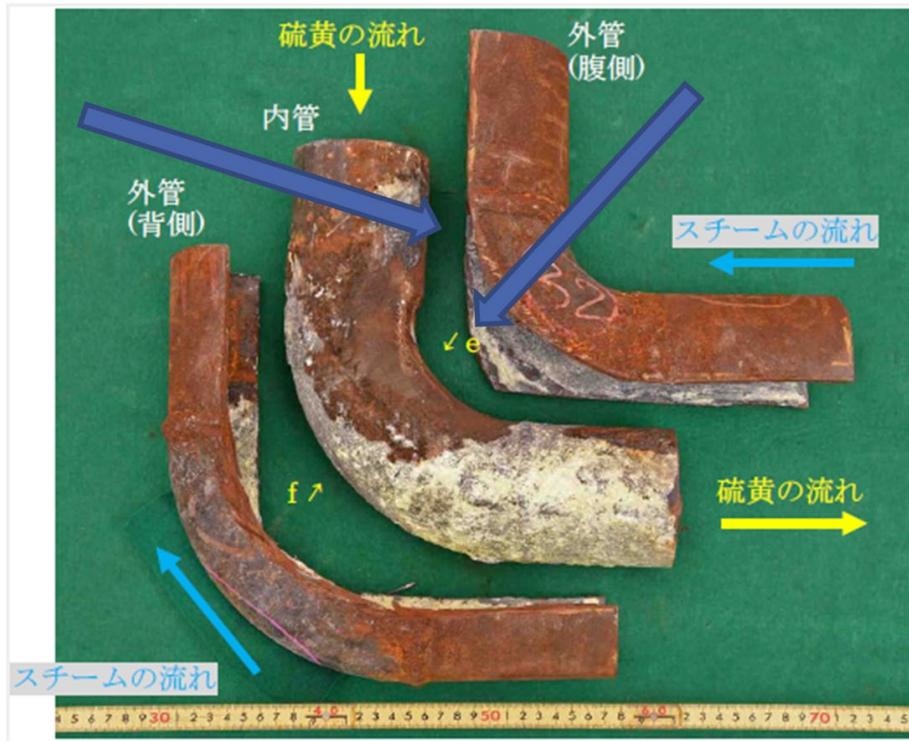
公称板厚：内管5.5mm、ノズル4.5mm

イ 流出箇所の特定

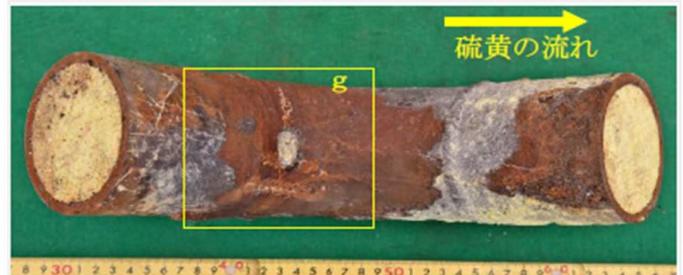
(ア) 内管開孔箇所

全長約1,500mの配管のうち、外管が著しく閉そくしている箇所(約523m)を切断し、当該箇所内の全てのエルボ部について放射線透過試験を実施したところ、内管の局所的な減肉が確認された。

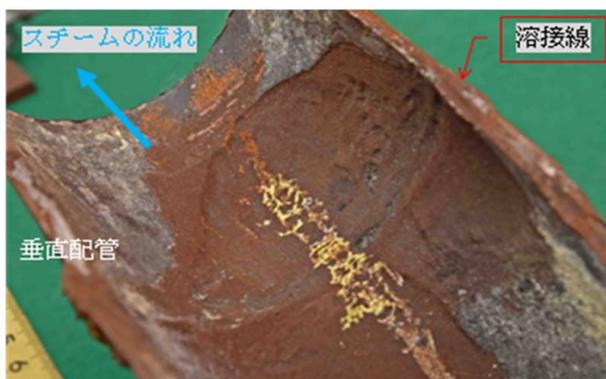
外管を切断して内管の外表面を目視した結果、内管のエルボの腹側に20mmφ程度の開孔が確認できた。



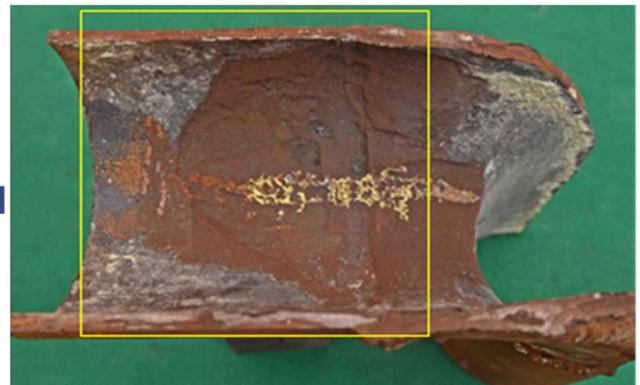
拡大
←



内管エルボ腹側外面

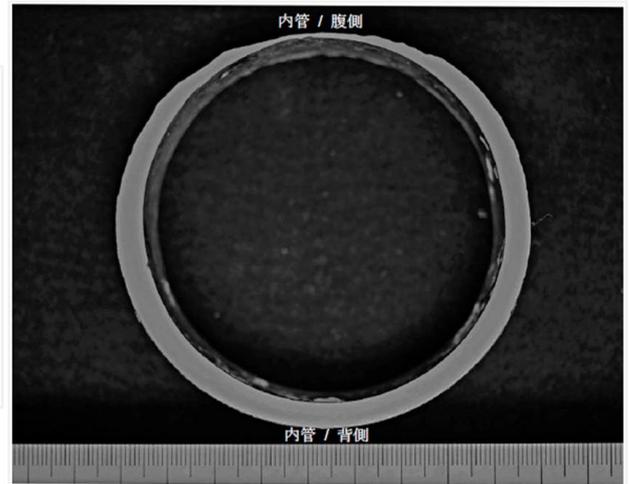
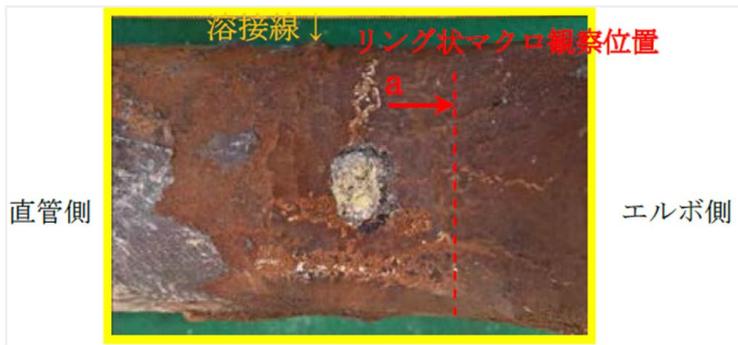


拡大
←



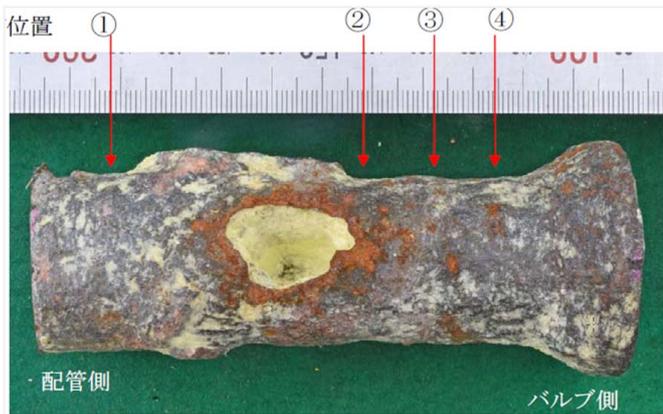
外管エルボ腹側内面

その他の部位の減肉は軽微であり、また、内管内部に腐食は確認できなかった。内管の溶接線についても確認したが、溶接欠陥は認められなかった。内管及び内管溶接線の材料について確認したが、適切な材料が使用されていた。これらの結果から、内管のエルボ腹側の外面が減肉し、開孔したと考えられる。



(イ) ノズル開孔箇所

ノズル部分を取り外し、検査を行った結果、金属組織等に問題は確認されなかった。ノズルの外径を測定した結果、開孔部のみが外面から局部的に減肉しているのが確認された。

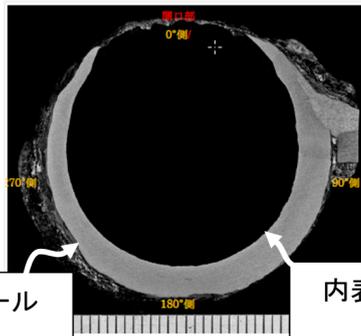
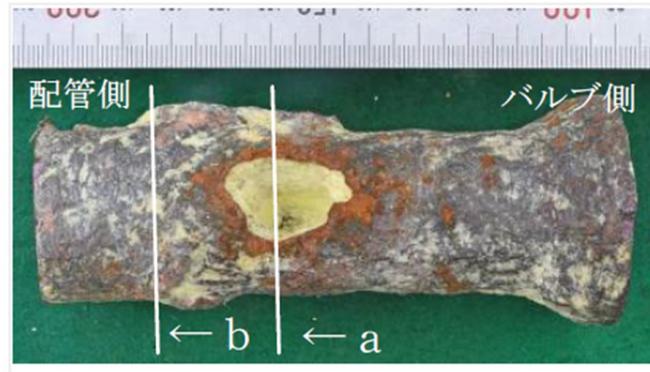


外径測定結果 (単位: mm)

| 測定位置 | ① | ② | ③ | ④ |
|------|------|------|------|------|
| 上下側 | 35.5 | 33.0 | 32.8 | 32.5 |
| リブ側 | 36.2 | 32.8 | 33.5 | 33.0 |

※当該配管の公称外径は、34.0mm

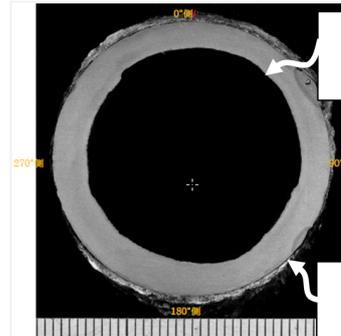
ノズルを切断し、断面を確認したところ、ノズル外面に腐食スケールの付着があったが、内面には腐食スケールの付着はなかった。腐食スケールは、ノズルの外面のみに付着していることから、ノズルの外面で腐食が発生したものと考えられる。



外表面スケール
付着有り

内表面スケール
付着無し

a 断面



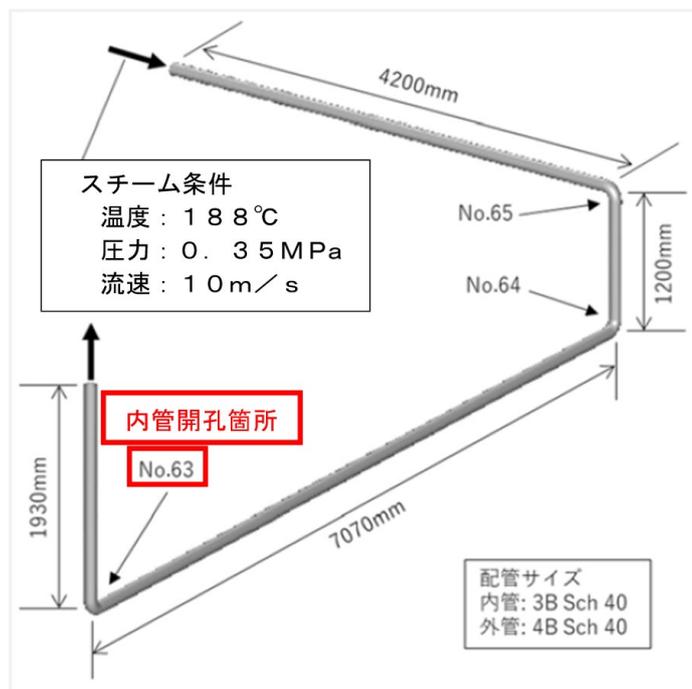
内表面スケール
付着無し

外表面スケール
付着有り

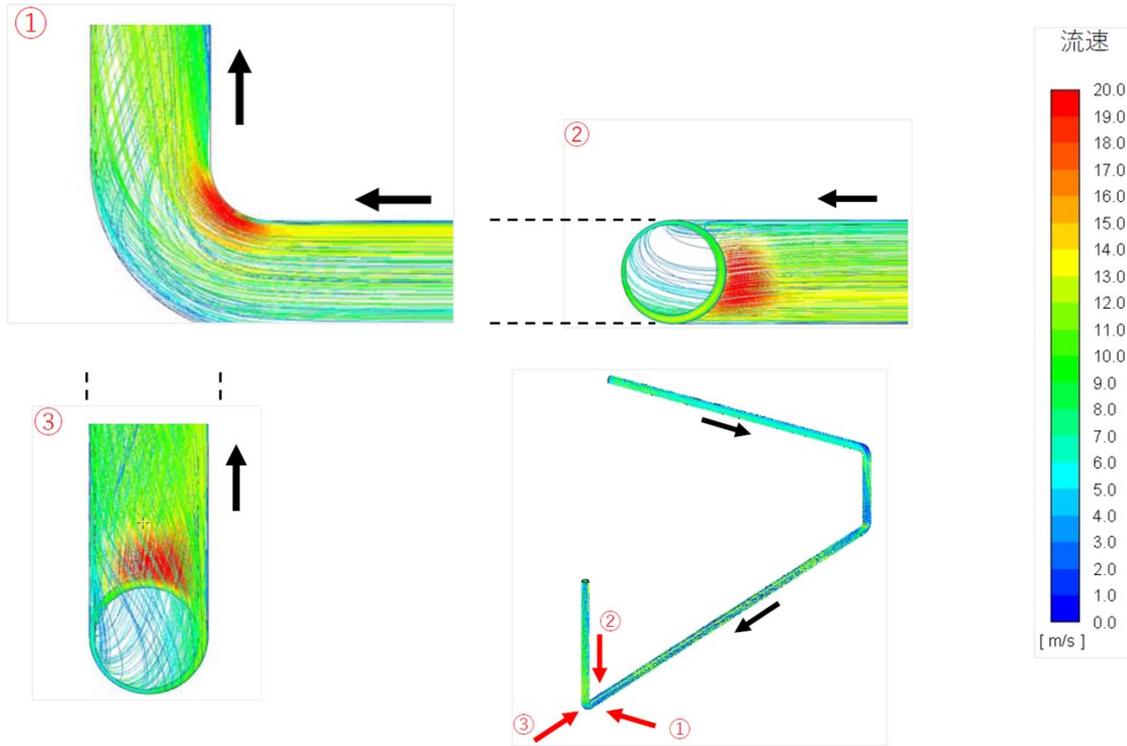
b 断面

工 流動解析の結果

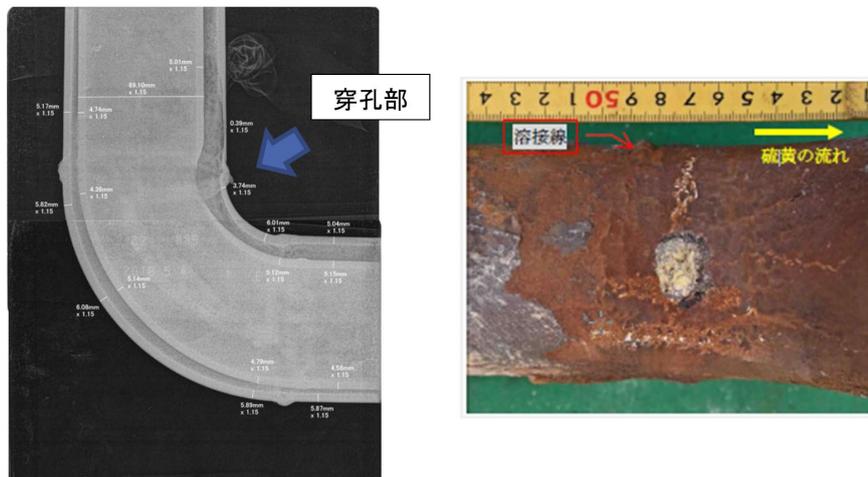
内管の開孔部近辺の流動解析を行った。実際の敷設状況と同様な配管モデル（二重管）を作成し、スチーム流速を10m/s、20m/s、30m/sの3段階で行った。実際のスチームの流速は2~15m/sと推定されるため、中間の10m/sの結果を用いて解析した。



解析の結果、内管開孔部付近では流速が早くなることが分かった。これは、各エルボ作成時に外管に対して内管が中心からずれた位置で設けられたことにより、スチームが回転して流れていたためと考えられる。



流速分布と開孔部付近を比較したところ、流速の早い位置に開孔部が位置することが分かった。これらの結果から、開孔部は流れの影響を受け、減肉したものと考えられる。



オ 配管の過去の検査状況

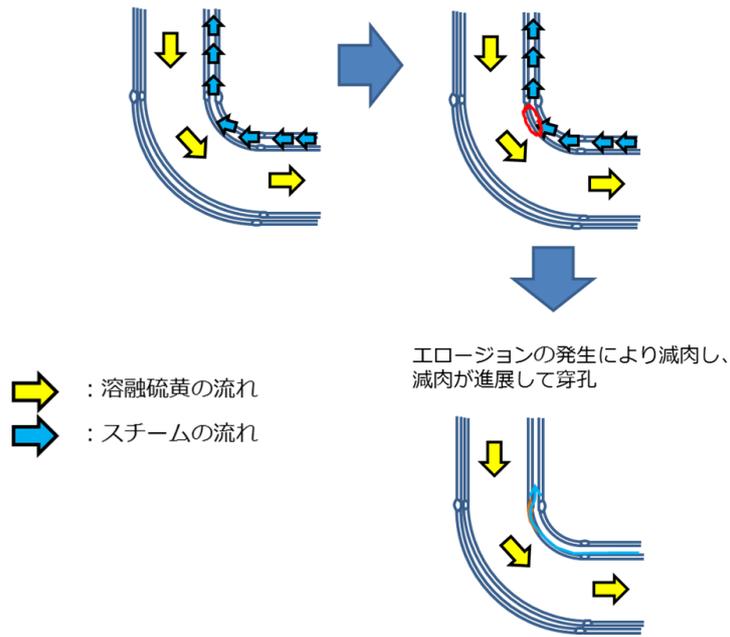
当該配管は、直近で平成27年にエルボ部に対し、ガンマ線による放射線透過試験を実施しているが、内管開孔箇所を含む他事業所との境界近接部は、放射線に係る法律の規制により試験を実施していなかった。

(5) 原因の推定

ア 内管開孔箇所

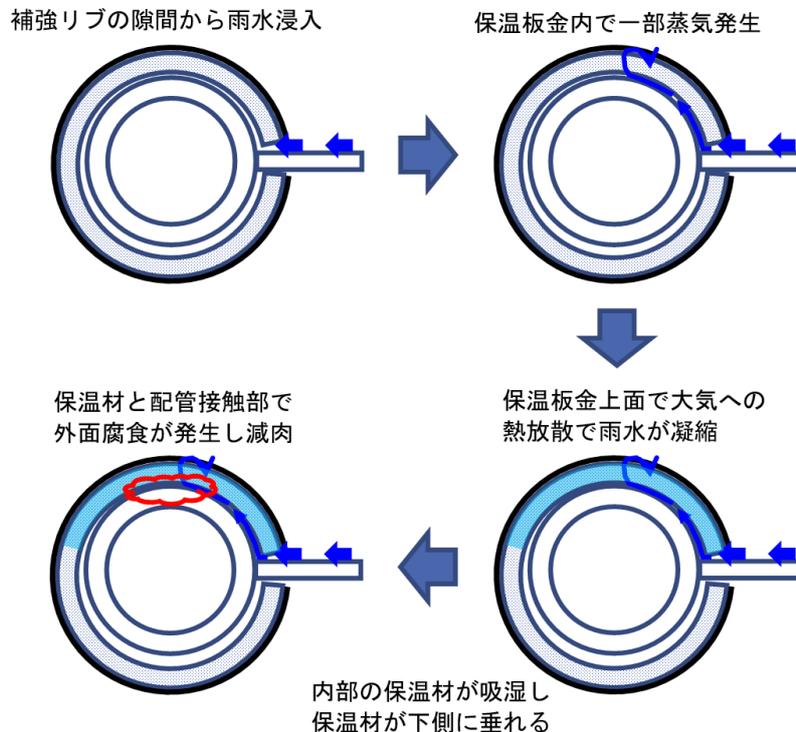
外管のスチームは、内管の熔融硫黄に熱を与えるととも一部外気へも熱放散する過程で凝縮して液滴となり、この外管に発生した液滴がスチームの流れに乗って、進行する方向が立ち上がるエルボ部へ衝突したことによるエロージョンにより開孔したものと考えられる。

内管は溶融硫黄が流れ、外管と内管の間をスチームが流れる 経年的にエルボ腹側に凝縮したスチームが衝突しエロージョンが発生



イ ノズル開孔箇所

長期間流れのないノズルの配管部の保温内部に、配管部に水平に付けられた補強リブの保温材切り欠き部を通して雨水が浸入して外面腐食が発生し、薄くなっていた部分が、仮設配管の接続で流れ込んだ外管のスチーム（約135℃）により開孔したものと考えられる。



(6) 再発防止対策

ア 配管の取り換え

外管に硫黄による閉そくが生じていた5.23mの配管部分については、取り換えを実施した。

イ 配管の検査

取り換え範囲外にある立ち上がりエルボについては、過去に検査を行っているものはその結果を基に余寿命確認

を行い、未検査のものは検査を行い余寿命の確認を行った。

他事業所境界部にある、ガンマ線による放射線透過試験を行えない立ち上がりエルボ9箇所については、外管を切断して内管の肉厚測定を行い、健全性を確認した。検査の結果、補修を必要とする箇所は認められなかった。また、内管部分に対して耐圧試験を実施した。

ウ ノズルの検査

開孔したノズルと類似形状のノズル40箇所の検査を行ったところ、2箇所について補修を要することが分かったが、今後使用する見込みがないことから撤去した。また、補修を要しないが使用見込みがない1箇所についても撤去した。その他のノズルについては、外面腐食防止のため再塗装を行った。本事例を周知し、検査プログラムに補強リブ等が設けられ、雨水の浸入を許す構造の箇所を検査対象として追加した。

エ 新規配管の敷設

今回事故が発生した配管とは別に、二重管ではなくヒーターケーブルにより加熱を行う溶融硫黄配管を新たに敷設した。また、既設の配管については、新規配管を敷設するまでの間、暫定的に使用した。

3 おわりに

危険物施設の多くは高経年化が進んでおり、腐食・疲労等劣化を原因とする事故が増加傾向にある。今回紹介した施設も昭和46年から約47年間使用しており、このような施設において「これまで大丈夫だったから」は通じない。長期使用に伴う事故を踏まえた点検・維持管理の徹底はもちろん、事故を素早く発見し、被害を拡大させないための体制づくりが重要であると考えます。