

災害調査報告書

化学工場においてタンクの補修中に 発生した爆発災害



JNIOSH

独立行政法人

労働安全衛生総合研究所

1 はじめに

化学工場において、濃硫酸タンクに当て板する作業中、当該箇所をサンダー掛けした際、突然爆発した。結果、下請け会社の作業員 3 名が重傷、1 名が軽傷を負った。また爆発により濃硫酸タンクが破損し、爆風による隣接硫酸倉庫の外壁破損、飛散したタンク天板による電気室の破損が破損した。

2 略

3 災害概要

3.1 略

図 1 略

3.2 事業場の概要

(1)～(2) 略

(3)業種： 化学工業

(4)事業場概要：

当該事業場は、製鉄用コークスを製造する過程で得られるコールタール、C ガスと呼ばれているコークス炉ガス等を原料としてタール蒸留品、硫酸、硫酸等の基礎化学品等を製造している。図 2 に当該事業所全体のマテリアルフローシート、図 3 に C ガス精製における硫酸設備のフロー図、図 4 に C ガス精製設備配置図、図 5 に災害が発生した濃硫酸タンク（044 タンク）を示す。なお、当該濃硫酸タンクは脱硫酸塔として利用されていたものを転用したものである。

3.3 災害発生までの経緯

- (1) 発災日 4 日前に当該タンク外部からの目視により、高さ 5m の液面付近とみられる部分に 2 ヶ所のにじみ（図 6）を発見した。濃硫酸の漏えいを防ぐため、内部の濃硫酸を払い出し、液面を下げた。
- (2) 発災当日 8:40、工事段取りと火気養生を実施した。
- (3) 同 9:20 作業を開始した。
- (4) 同 9:45 滲み部分外部でガス検知を行い、可燃性ガス、一酸化炭素の漏えいがないことを確認した。
- (5) 同 9:50 サンダー掛けを開始したところ、9:54 に爆発が発生した。

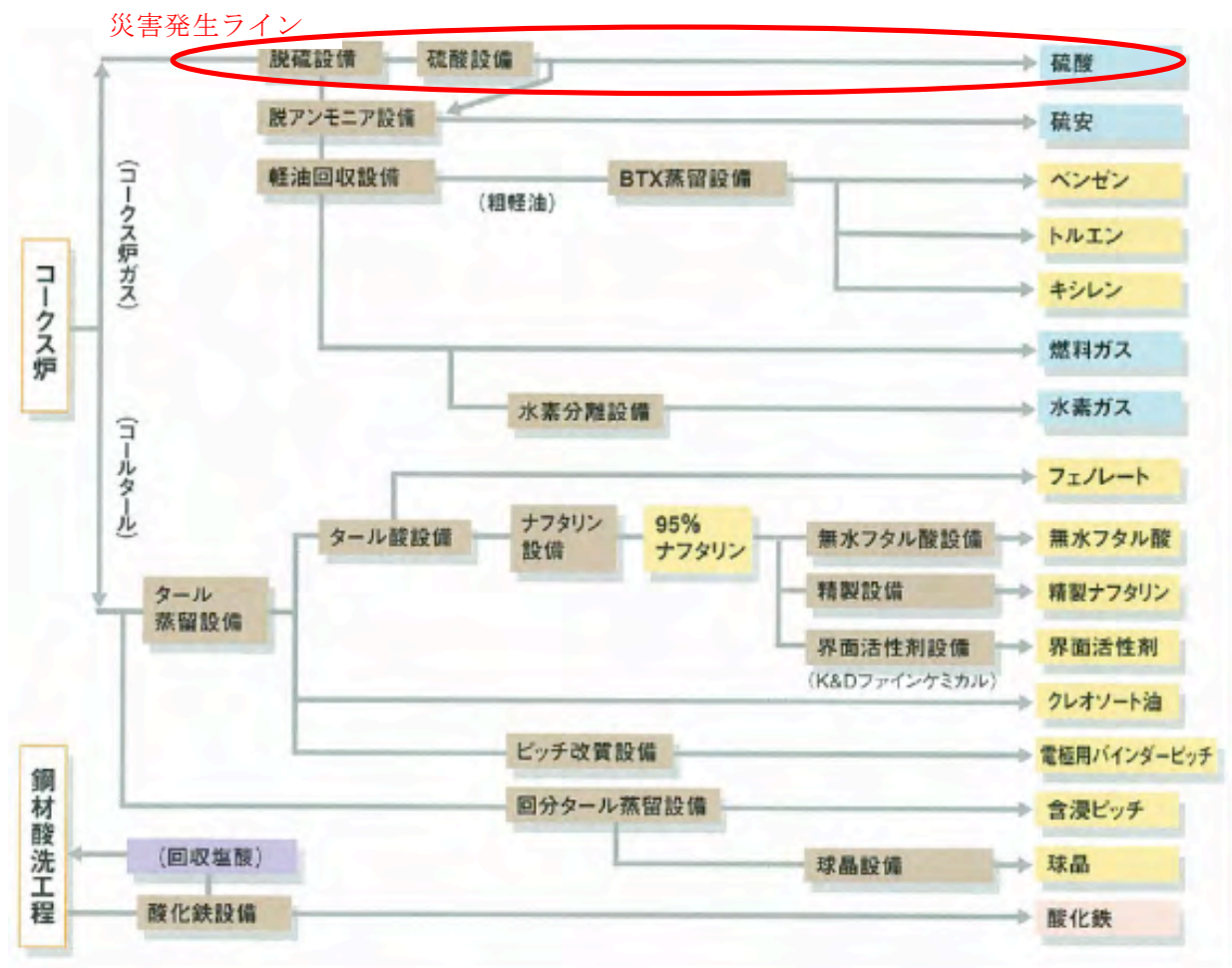


図2 マテリアルフロー図

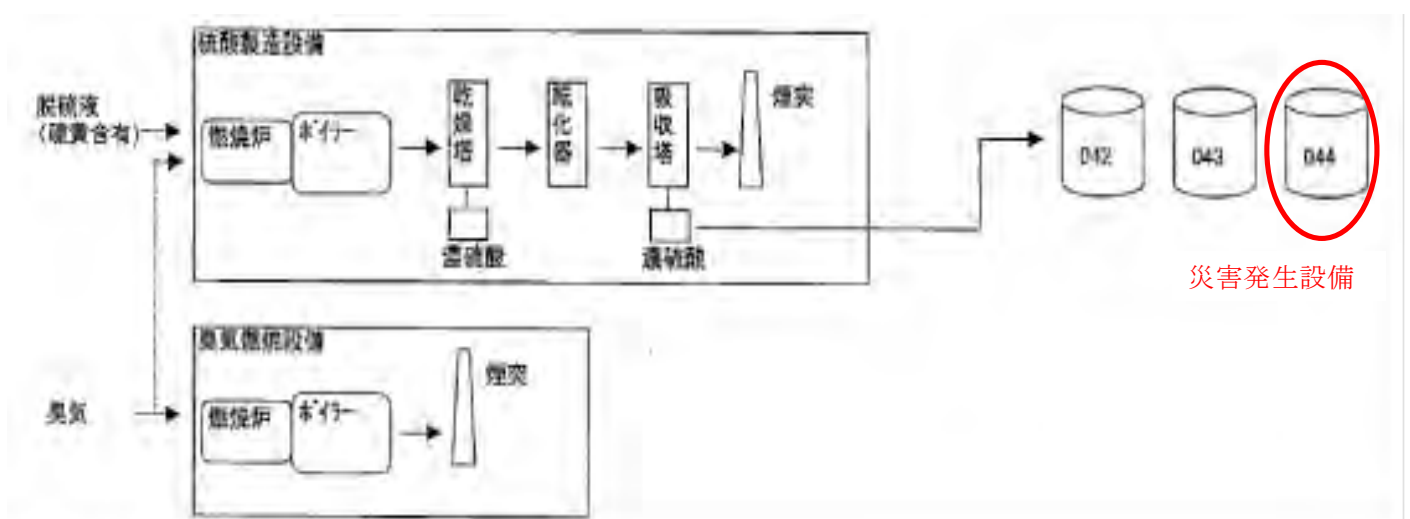


図3 Cガス精製における硫酸設備のフロー図(通常運転時)

図4 略

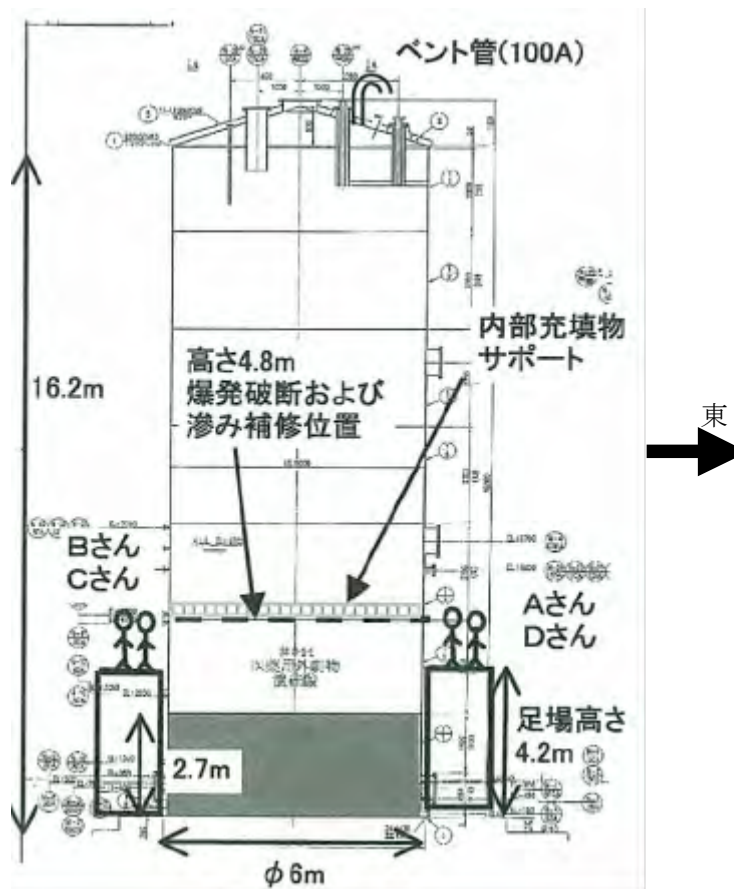


図5 044タンク概略図（発災時の作業者位置）

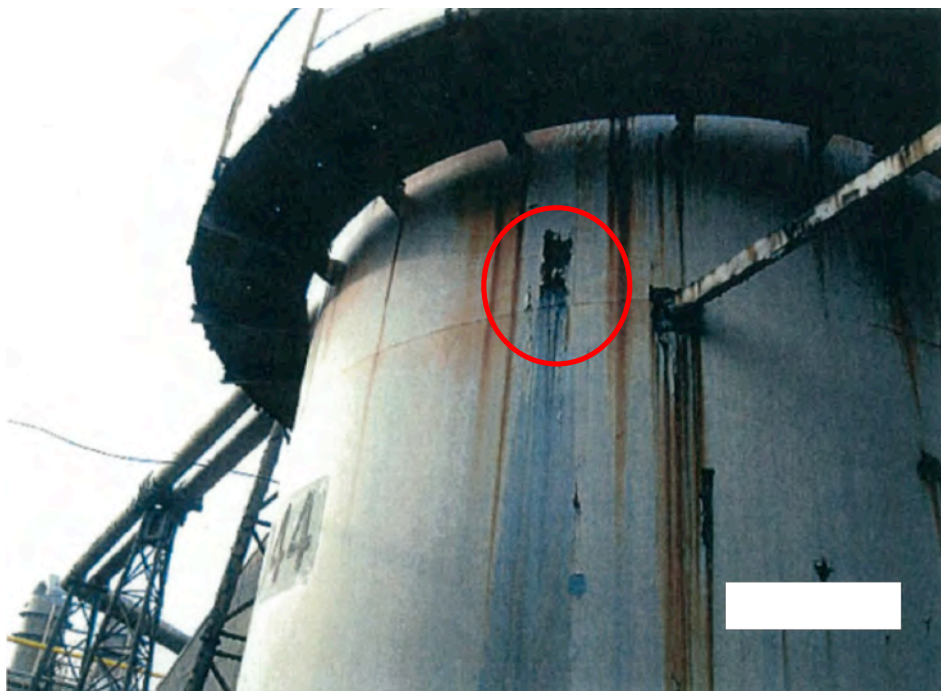


図6 災害発生前に見られたタンクのにじみ

3.4 被災状況

- (1) 略
- (2) 物的被害

濃硫酸タンク破損、爆風による隣接硫酸倉庫の外壁破損並びに飛散したタンク天板による電気室の破損など。

4 災害発生原因の検討

4.1 爆発を起こした物質について

C ガス自体は水素と一酸化炭素を主成分とする非常に燃えやすいガスである。しかし、本件ではガスから取り出した硫黄分を処理する施設であり、前段階として燃焼炉が存在するため、C ガスがタンクへ流れ込むことは考えがたい。

爆発した 044 タンクは SUS304 と SS41（旧 JIS での名称、SS400 に同じ）によって作られており、脱硫塔として利用されていた時から今まで、内部にライニング等の表面を保護する処理をした履歴はない。したがって、硫酸との反応によって水素が発生することが考えられる。ただし濃硫酸の場合、含まれる水が少ないため電離した水素イオンが発生しにくいので、一般に濃硫酸内では鉄の溶解速度は十分に低く、SS400 等は濃硫酸タンクに広く用いられている。しかし、濃硫酸が何らかの理由によって水で希釈されれば、水素の発生は促進される。

水によって希釈される可能性として雨水の漏れが挙げられる。内部の点検は過去に設備を転用する際、マンホールを開けた記録があるのみであり、爆発により天板部分（図 7）は本体から切れて隣接電気室（図 4 右上）に飛散したため、今回の爆発直前に漏れがあったかどうかの検証はできない。しかし、上部から雨水が漏れて入った場合、濃硫酸の比重は希硫酸の比重よりも大きいため対流は発生せず、混合は拡散のみによる。この場合、タンク内濃硫酸の最上部に希硫酸の層ができることになり、この部分がタンクを浸食すれば、本件のような災害につながる。

また、濃硫酸自体には吸湿性があるため、湿度の高い状態で放置すれば液面付近で濃度低下が起こる可能性もある。044 タンクは、100A 配管を J 字型に曲げてさかさまにして上部天板部分に設置したベント管（図 7）から外気と通じており、濃霧等が発生するような湿度の高い外気の状態が長期おかれた場合がそれに該当する。ただし、タンク容量に比して 100A 配管は細く、したがって出入りできる空気中の水分も限られており、湿度によって濃度低下が発生した可能性は低い。

以上 2 点の可能性は排除しきれないが、本件においては 4.3 に記すとおり、より確実に希釈が行われたことが調査によって判明したため、主因はその希釈であり、爆発は水素－空気混合気による爆発と考えてよい。



図7 044 タンク天板（本体から切れて別途飛散した。元の設置状態は上下反対）



図8 明らかな減肉が見られる破断部分

4.2 着火源について

本件では爆発に至る直前に東側足場において、作業手順書にしたがって 4 点式（可燃性ガス、一酸化炭素、硫化水素、酸素）のガス検知器により可燃性ガスがないことが確かめられている。しかし、検知は容器の外側のみで行ったため、内部の濃度については検知し得なかったと考えられる。図 8 に、爆発によって破断した 044 タンクの破断面を示した。破断した箇所では、高さ方向に数 cm～数十 cm で明らかな減肉が見られていた。そういった部分が発災日 4 日前に、にじみとして現れたものであり、ケガキあるいはサンダー掛けした時点で大きく開口し外部に混合気が漏えいしたものと考えられる。この漏えいしたガス、あるいは内部のガスに、サンダーによって発生した火花で引火した可能性が極めて高い。なお、にじみが発見されてからは、硫酸の漏えいを防ぐために 044 タンクは主に払い出しのみを行い、液量を減らし続けていた（図 9）ため、にじみ付近の裏側は気相部分であった。

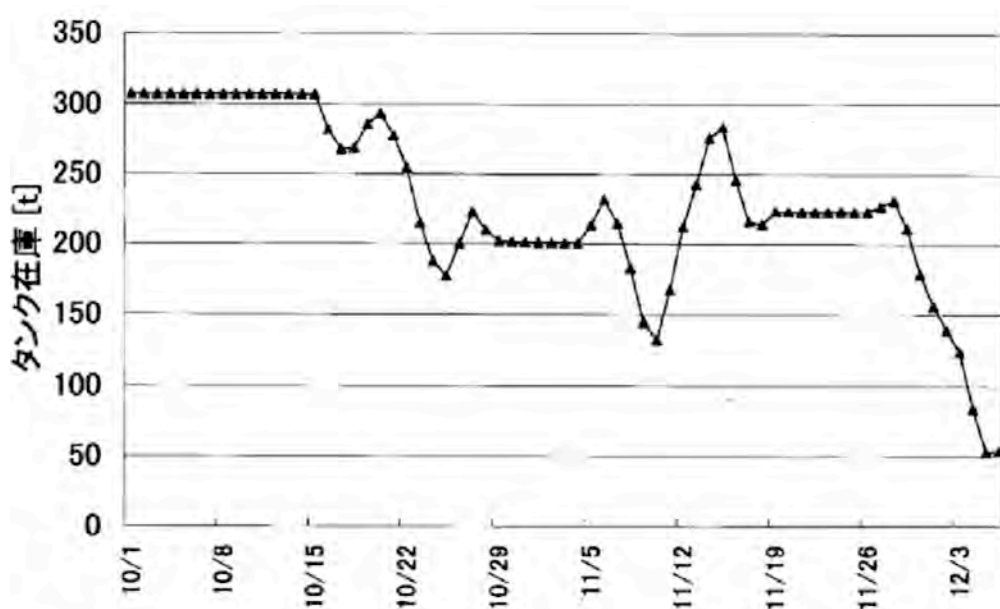


図 9 044 タンク内の硫酸量

4.3 硫酸の希釈原因について

本件の設備は、本来であれば脱硫設備から来る脱硫液を燃焼させて純度の高い硫酸を得る設備であるが、図 3 に示したとおり、排ガス等の臭気を取るためにも用いることがある。臭気を処理する設備は別途存在するが、本件発生の 1 週間ほど前に、その臭気燃焼設備が年に一度の定期点検に入っており、そのため臭気処理の代替設備として当該設備が使われた経緯が判明した。その際、臭気処理のみを行ったため、乾燥塔で得られる硫酸は十分に濃い物とならず、通常よりも薄い硫酸が 11/26 に 044 タンクに移されたことが、本件の発生の主因である。

乾燥塔に残った硫酸を調べた結果、濃度は 20 % 程度であった。この濃度であれば十分に鉄を侵し得る。また、当該設備は脱硫塔から転用したものであり、通常のタンクと異なり内部に触媒等を設置するための棚が存在した。そのため、壁面部分に浸食されやすい溶接部分が多く、また、棚自体にも同様に浸食されやすい部分が多数存在している。

4.4 災害発生のメカニズムについて

本災害は水素 - 空気混合気による、ガス爆発災害である。水素の発生は濃硫酸の希釈を原因としたタンクとの反応によるものであり、着火源はサンダー掛けの際の摩擦・衝撃による火花である。

水素 - 空気混合気の爆発は水素 4 vol.%～75 vol.%で発生する可能性があり、特に 30 vol.%中心に爆発の中でも、火炎の伝ば速度が音速を超える爆ごうが発生する可能性がある。火炎伝播方向に邪魔となるものがある場合、火炎の前方で流れに乱れが発生する。その際、乱れの中で火炎はしわ状になるため、実質的な火炎面積が増え、反応速度が増大し、伝ば速度は加速する。その加速を繰り返すことで音速を超え、爆ごうに至るメカニズムが存在する。本件においても脱硫用の触媒棚がその邪魔板に対応するため、火炎は加速されたと考えられる。爆ごうに至った場合、開口面があればそこから通常音速で逃げて行く爆発のエネルギーが、火炎が音速を超えるため逃げるができず、火炎面に集中して 1 MPa 以上の非常に高い圧力が発生する。その際タンクはいたるところで破断されるが、本件ではタンク自体が形状を保っているため、爆ごうまでは至っていないと考えられる。天板部分が別途破断されたのは、火炎伝播で発生する圧力波の反射により部分的に圧力が大きくなったことと、その形状から応力が集中したためによるものと考えて良い。

密閉された容器で爆発が一度起これば、400 kPa 程度の絶対圧を発生するため、特別に圧力に耐えるように作成したタンクでない限り、破壊される。特に本件では希硫酸層が形成されていたと思われる部分で減肉が顕著にみられ、強度が低下していたものと考えられる。事実、その部分で破断されていた。

5 再発防止対策

5.1 作業手順書の拡充

本件では、タンク補修の作業手順書が存在し、可燃物点検及び周辺状況点検結果記録と火気対策指示票の記入されたものが残されている。火気対策指示票には「内部可燃物の除去」、「内部可燃性ガス検知」が項目として存在するが、本件作業時には適用対象外とされたのか記載がなかったため、内部の水素ガス検知が行われず、本件は災害につながったものである。検知等については選択項目とせずに無条件に行うことが必要である。併せて本件タンクのみならず、設備補修における具体的な検知方法についての検討を行い、作業手順書を拡充することが必要である。

5.2 工程変更時の影響評価の徹底

本件においては、臭気除去設備の定期点検が遠因としてある。本件は、その臭気除去設備の定期点検がどこまで影響を及ぼすものかの検討時に、発生する希硫酸と濃硫酸の差を十分認識せずに処理を行ったため発生した災害である。化学物質が濃度によってその反応を変えることは推定しておかねばならない。

一般に、工程に何らかの変更を加えた際には、その変更の履歴を残すとともに、変更の影響を毎回見積り、前後工程はもちろん隣接設備等も含めて周知する必要がある。特に化学プラントにおいては、変更が重なる場合もあり、変更の影響見積りと周知がなされないと、既知の反応であったとしても予見することができず、災害につながる可能性がある。

臭気除去設備の定期点検は年に一回とされているので、044 タンク導入以降のみをとっても初めての点検ではない。前回定期点検時に発生していた可能性のある水素ガスについては既に漏れ去っているものと思われるが、タンクの減肉については、本件同様の状態にある可能性があるため、検査等を行い現状を把握しておくことが望ましい。

5.3 液相硫酸濃度の監視

本件の直接の原因となった硫酸の濃度について、何らかの監視が必要である。特に雨水、湿度による液面部分の希釈が発生する可能性が否定できない以上、液面部分の濃度監視は必須である。爆発の影響もあるが、図 7 のベント管には腐食が見られており、タンクの高さは 16 m 以上あることから、雨水の侵入を未然に監視し続けることは困難である。本件では発災日 6 日前の受け入れから、にじみが見つかるまでわずか二日という時間間隔であるため、少なくとも一日一回以上の検査が必要である。無論この時間についてはタンク形状によって大きく変わるため、連続監視を推奨する。水素の発生が顕著になる前に検知することが肝要であるため、比較的高濃度での変化を検出できるものを用いる必要がある。

攪拌等によりタンク内の均一性が確保できるのであれば、上記濃度の監視は払い出した硫酸の濃度検査で代替は可能であるが、本件転用タンクのような場合は攪拌自体が非常に困難であるため、液面の濃度監視の方がより現実的である。

5.4 気相水素濃度の監視

最終的な爆発は水素と空気の混合気であったことから、ベント管付近等で水素ガスの検知を行えば、爆発性の混合気を形成する前に対処が可能になる。水素ガスは軽い
ため、例えばベント管部分に設置することで十分に検知することが可能である。補修作業時の内部可燃性ガスの検知は、この監視装置によって自動的に達成できる。