

第2章

事故事例集

事 故 事 例 一 覧 表

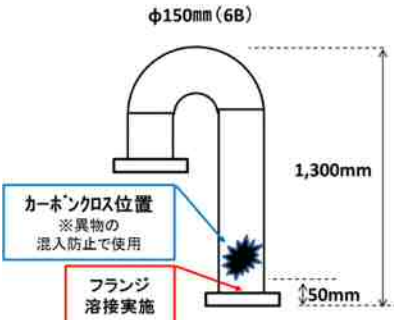
事例番号	災害種別	事 故 事 例 内 容	教育対象者				難易度	原因	発災場所
			製造	保全	設計	開発			
1	火災	タンク溶断工事における養生シートの火災	○	◎			★	施工管理不足	塔槽類
2	火災	溶接作業における養生用カーボンクロスのくすぶり		◎			★	知識不足	塔槽類
3	火災	グラインダー火花による排水溝内での火災	◎				★	監視不十分	付属施設
4	火災	ガス溶断火玉による冷却塔内部の充填材着火による火災	◎	◎			★	知識不足	ユーティリティ
5	火災	屋外集塵装置からの火災		◎			★	知識不足	その他
6	火災	溶接作業に伴う火の粉による冷却塔火災		◎			★	知識不足	付属施設
7	火災	ガス溶断作業中の火花による火災		◎			★	施工不良	配管系
8	火災	溶接スパッタによるアセチレンボンベの炎上火災		◎			★	施工不良	付属施設
9	火災	アーク溶接火玉によるピット内の電気ケーブル火災	○	◎			★	知識不足	塔槽類
10	火災	廃止危険物施設解体中の火災	○	◎			★	安全対策	配管系
11	火災	FRPタンク撤去工事現場での火災	○	◎			★	監視不十分	塔槽類
12	火災	解体工事中におけるミストセパレータ内部の火災	◎	○			★★	施工管理不足	塔槽類
13	火災	塗装用溶剤運搬中の溶剤流出による火災		◎			★★	調整不足・運搬作業方法	その他
14	火災	流量計交換後の漏えい火災	○	◎			★	操作確認不十分	付属施設
15	火災	フィルム印刷(塗布)工程での火災	◎	○			★	管理不足	その他
16	火災	加熱炉コイルの破断による熱媒の漏えい火災	◎		○		★★	誤操作	塔槽類
17	火災	製造装置からの出火	◎	○			★★	維持管理不十分	塔槽類
18	火災	無水マレイン酸の配管フランジ部からの漏えい火災	○	○	◎		★★	設計不良	付属施設
19	火災	回転ドラム式ポリマー乾燥機からの火災	○		○	◎	★★	知識不足	その他
20	火災	油水混合物排出時の火災	◎				★	手順の不足	配管系
21	火災	手回しポンプによる送液中の火災	◎	○			★	管理不足	塔槽類
22	火災	ブチルゴム溶液ろ過作業中の火災	○			◎	★	知識不足	塔槽類
23	火災	ペール缶に入った金属微粉の火災	◎				★★	管理・保管不備	その他
24	火災	無人の実験室におけるゴミ箱火災	○			◎	★★★	知識不足	その他
25	火災	排水タンクの爆発火災	◎	◎	◎		★★★	認識不足	塔槽類
26	火災	パンバリー施設排気ダクト火災	◎	○			★	操作確認不十分	配管系
27	火災	排気ダクト切断工事の際のダクト内火災		◎	○		★	知識不足	配管系
28	火災	製品乾燥設備排ガスダクト内における火災	◎		○		★★★	長期未点検	塔槽類
29	火災	エチレン製造装置の定期修理時における発煙	◎				★★★	維持管理不十分	塔槽類
30	火災	仮設電源ケーブル火災	○	◎			★★★	認識不足	ユーティリティ
31	火災	配管溶接部からの重質油漏えいによる火災		◎	○		★★	施工管理不足	配管系
32	爆発	燃料ガスの異常燃焼	◎	○			★	手順ミス	回転機器
33	爆発	加熱炉における爆発	○	◎			★★	維持管理不十分	塔槽類
34	漏えい	液化アンモニア導管からのアンモニア漏えい		◎	○		★	長期未点検	配管系
35	漏えい	配管内面腐食による溶剤の漏えい	○	◎			★	検査手順不足	配管系
36	漏えい	保冷材下の外面腐食による漏えい	○	◎			★	検査管理不足	配管系
37	漏えい	反応器マンホールのガスケット破損によるブタジエン漏えい		◎			★	施工不良	塔槽類
38	漏えい	危険物地下貯蔵タンクからの漏えい		◎			★	管理不足	塔槽類
39	漏えい	配管からの作動油漏えい	◎	○	○		★	維持管理不十分	配管系
40	漏えい	埋設地下配管からの漏えい	◎	◎	○		★	維持管理不良	配管系
41	漏えい	反応器上部レジャーサーからのブタジエン漏えい	○	○	◎		★★	設計不良	配管系
42	漏えい	配管のラック接触部からのナフサ漏えい	○	◎	○		★★	管理不足	配管系

事 故 事 例 一 覧 表

事例番号	災害種別	事 故 事 例 内 容	教育対象者				難易度	原因	発災場所
			製造	保全	設計	開発			
43	漏えい	LPG配管エルボ部からの漏えい	○	◎	◎		★★	管理不足	配管系
44	漏えい	反応器マンホールフランジからブタジエンなどを含むガスの漏えい	◎	◎	○		★★★	知識不足	塔槽類
45	漏えい	圧力計元バルブからの漏えい	○	◎			★	維持管理不十分	配管系
46	漏えい	配管継手からのオイル漏えい	○	○	◎		★	知識不足	配管系
47	漏えい	ゴム溶液のサービスタンクからの漏えい	○	○	◎		★	知識不足	塔槽類
48	漏えい	ガス塩素圧縮機からの塩素ガス漏えい	◎	○	○		★★	知識不足	回転機器
49	漏えい	三方弁からの危険物漏えい	◎	◎			★★	知識不足	配管系
50	漏えい	板厚差のある配管溶接部からの漏えい			◎		★★	施工不良	配管系
51	漏えい	ドレン開放時における硫化水素漏えい	◎	○	○		★★	誤操作	配管系
52	漏えい	熱交換器チャンネルフランジ合わせ面からの危険物漏えい	○		◎		★★★	運転方法	塔槽類
53	漏えい	ベンチ設備の熱媒タンク過熱による白煙放出	○	○	◎	◎	★★★★	ミスオペ・設計不良	その他
54	漏えい	タンクローリー充填中における上部マンホールからの漏えい	◎	○	○		★	省略行為	輸送設備
55	漏えい	ペント(配管内エア抜き)作業における漏えい	◎				★	誤操作	配管系
56	漏えい	ドラム充填作業におけるバルブ閉止忘れによる漏えい	◎	○			★	操作抜け・監視不十分	塔槽類
57	漏えい	危険物をドラム缶に詰め替えた際の漏えい	◎				★	知識不足	塔槽類
58	漏えい	LPガスバルクタンク安全弁交換作業時の漏えい		◎			★	誤認	付属施設
59	漏えい	屋外苛性ソーダ液タンクからの漏えい	◎	○			★★	管理不足・ミスオペ	付属施設
60	漏えい	屋外タンク貯蔵所からの漏えい	◎		○		★★	維持管理不十分	塔槽類
61	漏えい	ブロー弁からの危険物漏えい	◎		○		★★	誤作動	付属施設
62	破損	パッケージボイラー異常燃焼による煙道の破損	◎	○	○		★	設計不良・知識不足	ユーティリティ
63	破損	コンプレッサードレン(潤滑油)回収気相ライン破損	◎				★	管理不十分	付属施設
64	破損	酢酸タンク変形(膨れ)	○		◎		★	思い込み	塔槽類
65	破損	水張検査準備中の危険物タンク変形	◎	○			★★	設計不良	塔槽類
66	破損	貯槽内液出荷作業中における貯槽の座屈変形	○	◎	◎		★★	設計・整備不良	塔槽類
67	破損	屋内貯蔵所内ドラム缶の膨張変形	◎	○			★★	知識不足	塔槽類
68	その他	圧カスイッチ誤作動によるプラント停止	○	○	◎		★	設計不良	付属施設

※ 事例の掲載順序については災害種別及び難易度順に掲載していますが、教育資料という特性上、類似事例については難易度に拠らずまとめて掲載しています。

解答と解説	1 火気管理の状況 当該危険物屋外タンク貯蔵所の屋根ノズル改造工事中で火花飛散防止用の養生としてカーボン繊維製のカーボンフェルトシートを使用していたが、乾いた状態で使用されていたため、溶断時に発生したノロをカーボンフェルトシートで受けた時に赤熱し、且つ赤熱状態が保持されたまま、収納ボックス（メッシュパレット）に収められた事が発火の原因と考えられる。 したがって、カーボンフェルトは、赤熱（蓄熱）する事を十分理解する必要がある、火気養生の為に使用する時は水で十分湿潤させると共に残火（蓄熱）処理を徹底する必要がある。 2 工事資機材管理 当該危険物屋外タンク貯蔵所の屋根ノズル改造工事の資機材管理は、屋外タンクの屋根板上に設置された1ヶ所の収納ボックス（メッシュパレット）にて、溶断用資機材（ガスホース）と蓄熱した火花飛散防止用養生シートが収納されていた。工事用資機材は、可燃物と不燃物に分別し、更に着火源となるような熱源は十分に処理する必要がある。
関連知識	火気養生用のカーボン繊維製シートの使用について 火気養生用として、カーボン繊維製シートは、石綿代替シートとして広く使用され、熱に強いと思われがちである。同シートは瞬間的には1,000℃以上の温度に耐えることが出来るが、大気中150℃以上で徐々に酸化し蓄熱して火災の原因になる恐れがある。メーカーの資料等で確認することが大切である。 火気養生用として、カーボン繊維製シートを使用する場合は、以下の点を再度認識して使用することが大切である。 ・蓄熱しないように使用する。 ・湿潤させて使用する。

事故事例－ 2		溶接作業における養生用カーボンのくすぶり						
教育対象者	製造部門	－	保全部門	◎	設計部門	－	開発部門	－
難易度	★		原因		知識不足		災害種別	
火災								
事故の概要		溶接作業で養生に使用したカーボンを重ね、防災シート（ビニール）の間に挟んでいたところ、防災シートとカーボンがくすぶり発煙した。現場巡回中の工事担当者が、煙に気付いて水を掛けて消火した。						
事故の経過		当日の天候は晴れ、気温 33.2℃、南の風 最大瞬間風速 10.6 m/s。 1 開放中の危険物タンク天板上で、取り外したベント管にフランジを溶接する作業を実施。（溶接工法は、TIG 溶接※） 2 溶接作業者は、作業終了後、異物（塵埃）混入防止用に管内に丸めて挿入（図 1）していたカーボンクロス（1,200mm×1,200mm）を取り出して振った後、重ねて風で飛ばされないよう防災シートの間に挟み（写真 1）、その場を離れた。 3 それから約 20 分後、ルールに従って休憩前に残火確認を行うため、タンクに上がった工事監督者と工事担当者が、くすぶりを発見（写真 2）し、直ちにバケツの水を掛けて消火した。 4 カーボンを収納する際、溶接作業者は皮手袋を着用しており、異常には気付かなかった。 5 尚、当日、養生に使用したカーボンクロスは新品ではなく、数日前に別のガウジング作業（写真 3）に使用しており、付着していた金属粉が、溶接の熱で加熱され、蓄熱していた。 ※ TIG 溶接（ティグようせつ） 電気を用いたアーク溶接法的一种。TIG は、Tungsten Inert Gas の略で、タングステン－不活性ガス溶接の意。電極棒に消耗しない材料のタングステンを使用して、別の溶加材（溶接棒）をアーク中で溶融して溶接する方式でスパッタ（溶接時に飛散する溶融金属の微粒子）が殆ど発生しない。						
フロー図・写真等		図 1  写真 2 焼失したカーボン  写真 1  写真 3 ガウジング作業例 						
設問		事故の概要・経過より原因を推定し、再発防止策を考えてください。						

解答と解説	1 原因 (1) カーボンの蓄熱 一般的には、着火源として、スパッタがカーボンの付着していたことが考えられるが、本件は TIG 溶接でスパッタが殆ど発生しないことから、その可能性は低い。 異物（塵埃）混入防止のため管内に丸めて挿入していた<u>カーボンそのものが、溶接の高温（4,000-5,000℃）で蓄熱していたものと推定される。</u> (2) 金属粉の付着 当日、養生に使用したカーボンは新品ではなく、数日前に別の<u>ガウジング作業に使用しており、金属粉が付着していたものと考えられる。更にこれを畳んでいたことで、より蓄熱し易い条件が揃っていたものと推定される。</u> (3) 天候・気象条件 当日は外気温 33.2℃、タンク天板中央部付近の表面温度は 60℃近くあり、自己消火（自然に火が消えること）し難い気象条件だった。 2 再発防止策 (1) カーボンの使用に際しては、浸水・散水により湿潤の状態を保ち、使用後は水に浸ける。 (2) 現場を離れる際の残火確認の徹底。 (3) 火気使用時の休憩中には、現場に監視当番を残す。
関連知識	1 カーボンの物性 アクリル繊維を高熱処理した特殊炭化繊維を平織機にてシート状に加工したもので、JIS A 1323（建築工事用シートの溶接及び溶断火花に対する難燃性試験方法）に規定する難燃性 C 種に合格したもの。 難燃性 C 種：厚さ 3.2mm の火花発生用鋼板を溶断するとき、発生する火花に対し、発炎及び防火上有害な貫通孔がないこと。 2 火気養生にカーボンを使用する場合の留意点 上記規格に示すとおり、一般には、カーボンは熱に強いものと考えられており、瞬間的には 1,000℃以上の温度に耐えられる。しかしながら、大気中 150℃以上で徐々に酸化（発炎しないものの、ゆっくりとくすぶり、発煙する）し、蓄熱して火災の原因となる恐れがある。

解答と解説	1 火災原因 (1) 直接原因 アンカーボルトをグラインダーで切断しようとして発生させた火花が着火源となり、排水溝に残留していた溶剤に着火した。 (2) 間接原因 保全部門に引き渡す際に、製造部門がピット内に危険物が無い状態に置換・確認が出来ていなかった。 工事開始前に可燃性ガスの濃度測定を実施したが、排水溝の中までは測定を実施しなかった。溶剤のガスは、空気よりも比重が重いため、床よりも低い排水溝にガスが滞留し、作業場所の近くで可燃性ガスの濃度を測定しても検出されなかった。 また、火花飛散防止の養生シートを使用していなかったため、作業場から離れた排水溝まで火花が飛び散った。 2 このような事故を防止するために実施すべき事 溶剤のガスは空気より比重が重い場合、排水溝などの低い場所に滞留する性質がある。近くで溶剤を扱っていても、排水溝などを伝って離れた場所まで可燃性のガスが流れてくることもある。そのため、火気を扱う場合は、作業場所だけでなく、排水溝などの低い場所について、重点的にガス濃度を測定する必要がある。 また、小さな火花でも着火源となるため、溶接のノロなどだけでなく、グラインダーを使用する場合でも、養生シートを使用するなど、着火源が広範囲に広がらないような対策も有効である。
関連知識	固定式のガス検知器の設置位置について 可燃性ガスの漏えいを早期に発見するために、可燃性ガスが発生する可能性が有る場所では、固定式のガス検知器が設置されている。 ガス検知器の設置位置を決める際に、使用している物質の性質を考慮する必要がある。溶剤などの常温で液体から発生するガスは、空気よりも比重が重く低い場所に滞留しやすく、ガス検知器を床の近くに設置する。一方で、水素のような空気より比重が低いガスの場合は、装置よりも上部に設置する必要がある。 また、可燃性ガスが発生しやすい場所を考慮することも必要である。例えば、ポンプのメカニカルシール部、装置からのブロー部や油水分離槽などからは、可燃性のガスが発生しやすいため、近くにガス検知器を設置することで、可燃性ガスの漏えいを早期に発見することが可能となる。

解答と解説	1 燃焼の3要素 “燃焼”とは「熱と光の発生を伴う酸化反応のこと」である。燃焼を起こすには、3つの要素が必要になる。その<u>3つの要素とは、「可燃物（充填材）」、「酸素供給源（空気）」、「着火源（溶接火玉）」で、これを、「燃焼の3要素」という。</u>この3要素のどれか1つでも欠ければ、燃焼は起こらない。今回の事例の場合、酸素供給源（空気）や着火源（溶接火玉）の完全除去は作業エリアが屋外・広範囲である事、火気にて行う作業である事等より難しい為、可燃物の知識、つまり冷却塔の構造に関する知識が不足しており、充填材そのものの存在や充填材が可燃物との認識が無かった為、事故に繋がったと言える。 2 火気取扱についての必要知識とは いわゆる“危険物”とは違い、可燃物は特に明記等無い場合が多く、且つ色々な場所に多く使用されている。<u>工事を行なう際、工事責任者・火気使用立会者は、事前や工事中に作業環境等に自らの目で現地・現物を確認し、可燃物の有無や適切な養生状態等を判断しなければならない。</u>又、その判断に必要な工事部材等の可燃性有無に関する知識等を持つ事は事故防止の基本と考えるべきである。 特に火気使用立会者は、工事期間だけの立会者ではなく、日頃から現地にて通常作業（操業等）を行なっている人になるべきである。これは工事責任者では見逃してしまうその場所特有な環境等に日頃から接しており、その可燃性等の知識を有している事を期待されているからである。工事責任者、火気使用立会者共に防火知識の維持向上は不可欠であるが、特に火気使用立会者は、この優位点を更に高める様に定期的な防火教育を計画し実践が必要である。 今回事例の冷却塔関連の工事において多くの火災事例が発生している。知識を有する方法としてそれらの事例情報を活用した教育も有効と考える。
関連知識	1 冷却塔内部充填材に多く使われている塩化ビニルについて 塩化ビニルは、樹脂系の中では比較的燃えにくいもの（着火温度は455℃）に分類されているが、点火源の温度が高ければ燃える。又、充填材の様に一箇所に多量に使用されている場所が多いのも特徴である。加えて、塩化ビニルは燃焼の際、熱・煙・毒性ガス・催涙性ガス等の原因となるので、十分注意が必要である。 2 一箇所に多量に可燃物を使用している場所が限定される場合（例えば、冷却塔等）は、“火気取扱危険箇所”として明記するのも効果的と言える。 *考察2 冷水塔火災参照

解答と解説	1 発生原因に繋がる不具合・問題点 (1) <u>保全部門：着工前の火災危険情報の提供・共有不足</u> 外部協力会社に対し、バグフィルターが可燃物である事、ドリルによる開孔作業にて発生する加熱切粉が高温となる事（当該場所でのドリル使用の禁止）等の指示や情報提供・共有が不足していた。又、養生状態等の実施確認をせずに協力会社に作業を着工させた。（集塵装置内部に堆積している粉粒体が条件に依っては、燃焼する懸念がある事を予知できなかった。） (2) <u>協力会社：防火養生・可燃物除去の提案・実施不足</u> 外部協力会社（集塵機メーカーの保守関連会社）は、粉粒体が条件に依っては燃焼する懸念がある事を知りながら、他社での類似作業での経験では燃焼した経験が無かった事から防火養生や可燃物除去が不要と判断し、所管部署への提案やその実施を怠った。 2 事故防止 (1) <u>保全部門：作業着工前会議の開催による情報提供・共有の実施</u> 火災（燃焼）の3要素（可燃物、着火源、酸素供給源）を念頭に作業場所や作業方法に可燃物が無いか、着火源となるものは無いか等を必ず現地も含め確認し、適切な工事方法を指示すべきである。思い込みによる間違いを防止する為に周囲を含めた材料等の SDS や取扱説明書等の図書類を確認した上で、予め「この作業場所における着火源とは何か」という社内定義を決めておくのも良いと思われる。 (2) <u>協力会社：有知見情報の提案・実施</u> 当該作業が火災に繋がる知見を所管する保全部門に提案し、作業場所等にある可燃物等は、可能な限り作業前に除去する事を対応すべきである。どうしても除去が出来無い場合は、養生方法について議論し、最適な方法を選定・実施が必要である。又、火気使用前には作業着工前会議等で取り決めた可燃物除去或いは養生状態について、必ず外部協力会社のみならず、所管する部署においても相互で実施されている事を確認することが必要である。 ※参考文献「危険物製造所等における火気使用工事の安全対策（改訂版）」
関連知識	集塵装置とは 粉粒体と空気等気体を分離し粉粒体を回収する為の装置であり、重力、遠心力、静電気力など外力を働かせる「流通式」、流路にルーバーやエアフィルターなどの障害物を設ける「障害物式」に大別できる。障害物式のうちバグフィルターやセラミックフィルターなどを用いるものを「隔壁式」とする定義もある。これらのうち、産業用としては流通式の一種の電気集塵機と、隔壁式のバグフィルターが多く使われているが、本事例での集塵装置は、「バグフィルター式」であり、このバグフィルターにはポリエステルや木綿、ナイロン等可燃物が用いられる事が多い。

事件事例－6	溶接作業に伴う火の粉による冷却塔火災
--------	--------------------

教育対象者	製造部門	—	保全部門	◎	設計部門	—	開発部門	—
難易度	★	原因	知識不足	災害種別	火災			
事故の概要	冷却塔上部で転落防止用の安全柵設置工事を行っていたところ、冷却塔内部の樹脂製充填材に引火し火災が発生したため初期消火、自衛消防隊による初期消火活動を行うとともに 119 通報を行った。							
事故の経過	1 冷却塔上部で転落防止用安全柵の設置工事を溶接により行っていた。 2 工事は①上部に溶接作業、②地面レベルに溶接に伴う火の粉の発生状況などを専従で見張る「火気見張人」を配置した。 3 溶接作業にあたっては防災シートで養生を行っていたが、火の粉が養生の隙間からルーバー（空気取り入れ口のガイド）の開口部から冷却塔内部に侵入して乾いていた樹脂充填材（材質：ポリプロピレン、引火点：340～400℃）に引火した。							
フロー図・写真等								
設問	以下に掲げた設問を経過等を確認し、検討してください。 ・火気を見張る専従者は何を本来、監視すべきだったでしょうか。							

解答と解説	火気の見張り 【施工者】 1 火気を使用する工事においては溶接作業者はその作業に集中してしまうため、自らが発生させている火の粉の飛散状況を確認することは困難である。そこで、飛散した火の粉による工事火災防止のため、必要に応じて専従の火の粉の「見張人」を配置する必要がある。 2 しかしながら、その「見張人」は必ずしも工事対象の設備に精通している訳ではなく、何が可燃物なのか、何が養生の対象物なのか（特に、直接、目に見えない部分に可燃物が存在する場合）についての知識が不足していることが多い。 3 この事例でも「見張人」は冷却塔内部に多量の樹脂製充填物（可燃物）が存在することについての知識がなかった。その結果、この「見張人」は地面上に残存していた「枯れ草」に火の粉が落下してこないかどうか重点をおいて見張作業をしていた。そのため、本来、見張るべき養生の隙間からの火の粉の漏れ出しに気づくことができなかった。 【発注者】 発注者や元請には常識的なことであっても二次又は三次の事業者（施工者）は知識が無かったり、情報が伝達されていないことがあるので、発注者、元請ともに火気工事前の事前ミーティングでは実施に火気を使用する人や見張る人に理解させること及び理解しているかを確認することが工事火災防止のためには重要となる。
関連知識	1 火気取り扱い作業とは、裸火、火花発生及び加熱のおそれのある作業をいい、次のような作業がある。 ①電気溶接作業、②ガス溶接・溶断作業、③テルミット溶接等の火薬作業、④ロー付け・半田付け・ホットジェット、⑤トーチランプの使用、⑥アスファルト溶解、⑦電熱器具の使用、⑧電動ドリル・グラインダー・サンダーの使用、⑨鋸打ち機・杭打ち機の使用、⑩エア駆動ドリル・グラインダーの使用 2 危険物施設はもとより、各事業所で定める「火気使用禁止区域（名称の例）」においてこれらの火気取り扱い作業を行う場合には、事前に火気養生を確実に実施することは当然だが、火気の使用が始まってからも火気養生の範囲が十分であるか、火気養生の隙間から火の粉の漏れが無いかなどをチェックし、必要であれば作業を中止して是正することが重要である。 3 事業所での工事の場合、下の例のように火気工事を実際に行う施工者までは複数の事業者が関連することが多い。発注者や元請の指示が<u>全ての</u>火気を取り扱う者や火気の見張り人にまできちんと伝達され、理解されているかを確認することも重要である。 発注者 — 元請事業者 <pre> graph LR A[発注者 — 元請事業者] --- B[施工者 A] A --- C[施工者 B 火気取り扱いなし] A --- D[施工者 C] B --- E[作業グループ① 火気取り扱いなし] B --- F[作業グループ② 火気取り扱い有り] D --- G[作業グループ① 火気取り扱いなし] D --- H[作業グループ② 火気取り扱いなし] D --- I[作業グループ③ 火気取り扱い有り] </pre> ※ 施工者 A、B、C は二次業者となる。中～大規模な工事では三次業者も加わることがあるため、より注意深い指導や管理が必要となる。 4 火気を使用する工事を行う場合には、火の粉の飛散範囲を考慮した上で、火の粉が広範囲に広がる前に手元で受ける、その上で周辺の火気養生や可燃物を除去することが重要である。その上で、実施した火気養生の範囲外に火の粉などの火源が漏れ出していないかを確認することが必要である。 * 考察 2 冷水塔火災参照

事故事例－ 7	ガス溶断作業中の火花による火災
---------	-----------------

教育対象者	製造部門	－	保全部門	◎	設計部門	－	開発部門	－
難易度	★		原因		施工不良		災害種別	火災

事故の概要	設備の中段に設けられた作業床にて溶断作業を行っていたところ、1 段下の作業床に設置していたダンボール箱から煙と炎が上がった。
-------	--

事故の経過	1 2段構造になった上部の配管部分(バルブ上部の配管側フランジ部分)の補修工事を行うこととなった。(工事内容：溶断して不具合部分を撤去後、溶接で復旧する。) 2 配管内の窒素パージ後、溶断作業場所は不燃シート及び火花受けを設置して火気養生を行う計画とした。 3 作業補助者2名(図中A、B)、溶断作業1名(図中C)で溶断作業を実施した。 4 作業中に作業床の下の方から煙が上がって来たことに気づいたため、作業補助者Aが垂直梯子を降りて確認したところダンボール箱より煙が発生していた。 5 作業補助者AはB、Cに状況を伝え、初期消火を行った。
-------	---

フロー図・写真等	バルブ 壁面 ガス配管 (Φ 200mm) 3階 不燃シート 火花受け 作業床 30mmの隙間 溶断火花 垂直梯子 ダンボール箱 2階 発火箇所 約 7m A、B: 作業補助者 C: 溶接作業者
----------	--

設問	以下に掲げた設問を経過等を確認し、検討してください。 1 この事例の火災の直接原因を考えてください。 2 この火災を防止するためには発注者、施工者それぞれがどのようなことをする必要があったでしょうか。
----	---

解答と解説	1 直接原因は火気養生はしていたものの、溶断に伴う火の粉の一部が養生の外に出ていることに気づかず、さらには作業床にあった壁面との間の約 30mm のわずかな隙間から下のフロアに落下していることに気づかなかった。【施工者】 2 工事前の段取りを行う段階で作業場所付近の状況を図面で確認したり、現場で良く点検した上で、十分な火気養生の計画を立てることが必要である。今回の事例では垂直梯子側には階段につながる大きな開口部があったために不燃シートで火気養生を行っていたが、図中右側の壁面付近の 30mm の隙間に気づかなかったため、当該部から下フロアへの火の粉落下を防ぐための火気養生を行っていなかった。【施工者】 火気養生は事前に火の粉の飛散範囲を想定した上で行うが、条件（溶断状態、屋外の場合には風の向き、風速など）により、思わぬ範囲に溶断火の粉が飛散する可能性がある。そのため、溶断作業中には、火の粉の飛散状況を監視する人を配置することが重要である。（溶断作業、作業補助者は溶断作業に集中する傾向があるため、それ以外の専任者（火気の見張り人）を配置できればより安全な工事となる。この例では下側のデッキに火気の見張り人を配置していれば、防火養生の不備を早期に発見し火災を未然に防止できたと思われる。）なお、飛散範囲が想定できない場合には作業デッキ全面を不燃シートで覆って（防火養生）おけばより安全な火気使用工事となる。【施工者】 火気工事を実施する場所及びその周辺の状況については、事前に施工者と発注者（設備所管部署等）とで現場を確認し、火の粉が落下する可能性のある僅かな隙間や穴などの有無を確認することが重要である。それにより、火気養生をどうするか計画も立てやすく、また実際の養生も確実にできる。【発注者、施工者】 火気工事当日でなければ確認できない場合には、事前の図面チェックや可燃物の有無を確認しておくとともに、火気養生資機材を十分に準備しておき、当日資機材不足で十分な火気養生ができないままでの火気使用となることは絶対に避けなければならない。溶断時の火花は思っているよりも遠くまで飛散すると認識して、事前の火気養生を行うことが重要である。【発注者、施工者】
関連知識	溶接の際に発生する火花は発生時 2,000～3,000℃と言われている。これらの火花は、粒径、飛散する距離などで温度は変化する。これらの火花は外側が黒っぽく見えている状態でも、500℃～600℃の温度となっている場合がある。一方、一般的な紙の発火点はそれよりも低いため、黒っぽく見えても紙を燃焼させるエネルギーを持っている。たとえ黒っぽく見える火花でもダンボール箱、新聞紙などの可燃物に接触させることは厳禁である。 ※ 例 新聞紙の発火点 291℃ 出典 http://www.fintech.co.jp/sah/buturi-teisuu.htm

事故事例－8	溶接スパッタによるアセチレンボンベの炎上火災
--------	------------------------

教育対象者	製造部門	－	保全部門	◎	設計部門	－	開発部門	－
-------	------	---	------	---	------	---	------	---

難易度	★	原因	施工不良	災害種別	火災
-----	---	----	------	------	----

事故の概要	ガス溶接機を用いて施工場所を移動しながら作業していたところ、溶接スパッタ（※）により施工場所の下方にあったアセチレンボンベのガスに引火した。 ※アーク溶接、ガス溶接、ろう接などにおいて、溶接中に飛散するスラグ及び金属粒
-------	---

事故の経過	- パイプラック上で配管の溶接を行う作業を計画した。計画の中で、溶接作業に必要なアセチレンボンベの置き場も決めた。 - 現地で着工する前に、最初に火気を取り扱う場所を確認し、その下方にはアセチレンボンベ及びその他の可燃物が無いことを確認した上で、火気使用の許可を出して工事を開始させた。 - 工事の進行とともに溶接箇所が移動した結果、溶接用ガスボンベ直上の場所で配管の溶接作業を行うこととなった。その際、溶接スパッタが当該作業場所の真下にあった裸のアセチレンボンベの安全弁（溶栓）を溶かした。 - その結果、ガスが漏れ出し、そのガスに引火して2～3メートルの火柱があがった。消火栓でボンベ周囲に放水し、火柱が下火になるのを待って、水に浸した上着で消火したため火災による延焼はなかった。
-------	---

フロー図・写真等	発災時の溶接作業場所 アセチレンボンベ肩部のヒューズプラグ (安全栓 105±5℃で) 作動 ヒューズプラグの図 引用元 高圧ガス保安手帳（神奈川県高圧ガス流通保安協会）
-----------------	---

設問	以下に掲げた設問を経過等を確認し、検討してください。 - アセチレンボンベの置き場所を決める際にどのような配慮が不足していたでしょうか。 - 溶接作業員としてこの火災を予防するために何をしていれば良かったでしょうか。
----	--

解答と解説	1 作業計画を立てる時に溶接作業が時間とともに移動していくことへの配慮が不足していた。そのため、作業（溶接）範囲、高さ、周囲の状況とスパッタが飛散する可能性のある範囲を推定した上でのアセチレンボンベ置き場やボンベの養生を計画・指示することが必要であった。工事着手時だけではなく、工事の進捗に伴い溶接スパッタや火の粉の発生場所が変わることを見越して、アセチレンボンベの置き場所を決めることが重要である。 また、思わぬことが発生することを想定して、ボンベ本体の防火養生も行うべきである。 溶接・溶断工事では火気を使用する場所が工事の進行とともに変わっていくことが一般的である。工事着工前の状態だけではなく、工事が進捗していても工事の際の火の粉、スパッタなどがアセチレンガスボンベはもとより、その他の可燃物に接触することがないかを施工計画を立てる際に検討しておくことが重要である。 2 溶接、溶断作業などの火気工事を始めて作業に集中してしまうと、周囲の状況の確認が疎かになりがちである。施工場所を移動する場合には、新たに作業する場所の周辺（真下、真上なども含む）の火気養生の状態や周辺の可燃物の撤去状態を確認することを意識的に実施することが大切である。
関連知識	ガス吐出圧力と火の粉の飛散距離の一例を以下に示す。数メートル先まで火の粉は飛散することを理解しておく必要がある。 （A社での実験結果の一例） （参考）2mの高さでガス切断した時の火花飛散距離 ・溶断作業で飛散する火花温度は1,500℃～2,000℃の高温である。 ・火花は0.3mm～3mmと細かく、配管内や建物、設備の隙間に入り込みやすい。 ・ガス切断時は酸素吐出圧力で火花飛散距離（養生範囲）が変わる。

解答と解説	1 溶接火花に対する防火養生 (1) 火花の飛散を抑えるためには、<u>可能な限り火源に近い場所での防火養生が望まれる。</u>やむを得ず遠距離での養生を行う場合は、溶接・溶断する高さに見合った飛散範囲を確認し、その範囲内の<u>可燃物を移動させる</u>ことを検討する。可燃物が移動出来ない場合は、その範囲に見合った<u>耐火シートや鉄製板等により隙間が生じないよう確実な防火養生をすべきである。</u> (2) 特に、<u>配線ピットカバー等僅かな隙間が大きなトラブルに繋がる部分</u>は耐火シール等で密閉化するなど、日頃から隙間が無い事を点検しておくのも効果的である。更にそれらを<u>ルール化し定着化することも重要である。</u> (3) 溶接・溶断工事で落下する熔融金属は高熱のため、水を入れた火花の受け皿を配置したり、水で湿らせた養生シートを用いることも効果的である。 2 火気工事に関する関係者の対応 (1) 作業前には、<u>必ず工事現場に出向き、図面等を用いて養生の必要箇所やその方法について、現場監視者(立会者)や工事関係者(担当者、業者)等の複数により確認を行う。</u>その確認については、予めチェックシートを作成し、簡便且つ漏れが無い様にする。 (2) 危険物施設では、<u>みだりに火気を使用しないこと（危政令第24条）</u>とされており、工事等で火気を使用する場合は、「火気使用届出書」を作成し、関係者による安全対策のチェックが重要である。 <u>また火気の使用は、“防火教育を受講し教育実施記録がある者のみ”に限定させるほか、現場監視者自らがチェックすること”等のルールも併せて制定しておくべきである。</u> (3) その他、高所など不安定な足場での作業は危険を伴うため、作業者の注意力が散漫になりがちである。法令を順守した適切な足場を設置し作業を行う必要がある。
関連知識	1 火気取扱作業とは、裸火、火花発生及び加熱のおそれのある作業をいい、次のような作業がある。 ①電気溶接作業、②ガス溶接・溶断作業、③テルミット溶接等の火薬作業、④ロー付け・半田付け・ホットジェット、⑤トーチランプの使用、⑥アスファルト溶解、⑦電熱器具の使用、⑧電動ドリル・グラインダ・サンダーの使用、⑨鋸打ち機・杭打ち機の使用、⑩エア駆動ドリル・グラインダーの使用 2 危険物施設において、これらの作業を行う場合は、設備の残存危険物の排除のほか、可燃性ガス検知器を配備し、周辺からの可燃性ガスの流入にも配慮することが大切である。 ※参考文献「危険物製造所等における火気使用工事の安全対策（改訂版）」 3 溶接・溶断火花の飛散距離 某社の実験結果では、高さ2.4mから溶接溶断の火玉が落下した場合、<u>その火花は水平方向に約10m以上飛散する可能性がある。</u> また、風向や風速の気象条件によっては飛散距離が大きくなるほか、高所から落下した火花が床面に跳ね返り、二次的に飛散することがある。 ※ 参考文献「危険物製造所等における火気使用工事の安全対策（改訂版）」

解答と解説	1 工事前の事前確認として (1) 工事を実施するにあたり、どの様な危険が潜んでいるか等のリスクアセスメントを実施して、想定される危険を洗い出すこと。 (2) 想定される危険に対しての安全対策を準備する。 (3) 想定される危険と安全対策を作業者間で共有化する。 (4) 安全対策を見やすい場所に掲出する。 (5) 作業前 KY を実施する。 2 解体工事を行う場合に考えられる安全対策として (1) 施設本体と各送油配管内の再洗浄を行う。 (2) 配管をフランジ部で本体から外して別の場所で切断する。 (3) 臭いの有無は個人差があるので、臭いに頼ることなく、可燃性ガス検知器等で残油成分が無い事を確認する。 (4) 配管の切断は火花が発生しない手動のパイプカッターを使用する。 (5) 消火器を設置する。 (6) 解体工事の標識を掲出する。(工事責任者、緊急時の連絡先等を表示する。) (7) 周囲に可燃物が有る場合は除去するか防災シートで覆う。 (8) 作業に際しては危険物保安監督者等を立ち合わせ、火気監視をさせる。												
関連知識	☆リスクアセスメントの手順例 <table border="1"> <tr> <th>手順</th><th>具体的方法</th></tr> <tr> <td>1 資料の入手</td><td>工事安全担当者は、リスクアセスメント等を適正に行うために必要な資料を収集する。</td></tr> <tr> <td>2 危険有害要因の特定(危険性または有害性の特定)</td><td>資料等により危険有害要因を書き出し特定する。</td></tr> <tr> <td>3 災害の予測</td><td>特定された危険有害要因によって予測される災害を書き出す。</td></tr> <tr> <td>4 リスクの見積りと優先順位の設定(リスクの評価)</td><td> (1) 予測される災害が発生した場合の被災の程度(重篤度)を「負傷または疾病の重篤度の区分表」により定める。 (2) 災害の発生の可能性(頻度)を「負傷または疾病の発生の可能性の区分表」により定める。 (3) 上記の区分の組み合わせから「リスクの見積表」によりリスクの大きさを定める。 (4) リスクの大きさから「優先度の決定表」により優先度を決定する。 </td></tr> <tr> <td>5 リスク低減措置の検討と実行</td><td> (1) 法令に定められた事項は必ず実施する。 (2) リスク評価の結果を踏まえ、リスクの高いものから順次、次の優先順位によりリスク低減措置の内容を検討し実施する。 第1位 危険作業の除去や見直しなどにより仕事の計画段階から行う除去または低減の措置 第2位 機械・設備の防護囲い・安全装置の設置、作業台の使用などの物的対策 第3位 教育訓練・作業管理等の管理的対策 第4位 安全帯、保護マスク、保護手袋などの個人用保護具の使用 </td></tr> </table> ※考察3 撤去時の火災参照	手順	具体的方法	1 資料の入手	工事安全担当者は、リスクアセスメント等を適正に行うために必要な資料を収集する。	2 危険有害要因の特定(危険性または有害性の特定)	資料等により危険有害要因を書き出し特定する。	3 災害の予測	特定された危険有害要因によって予測される災害を書き出す。	4 リスクの見積りと優先順位の設定(リスクの評価)	(1) 予測される災害が発生した場合の被災の程度(重篤度)を「負傷または疾病の重篤度の区分表」により定める。 (2) 災害の発生の可能性(頻度)を「負傷または疾病の発生の可能性の区分表」により定める。 (3) 上記の区分の組み合わせから「リスクの見積表」によりリスクの大きさを定める。 (4) リスクの大きさから「優先度の決定表」により優先度を決定する。	5 リスク低減措置の検討と実行	(1) 法令に定められた事項は必ず実施する。 (2) リスク評価の結果を踏まえ、リスクの高いものから順次、次の優先順位によりリスク低減措置の内容を検討し実施する。 第1位 危険作業の除去や見直しなどにより仕事の計画段階から行う除去または低減の措置 第2位 機械・設備の防護囲い・安全装置の設置、作業台の使用などの物的対策 第3位 教育訓練・作業管理等の管理的対策 第4位 安全帯、保護マスク、保護手袋などの個人用保護具の使用
手順	具体的方法												
1 資料の入手	工事安全担当者は、リスクアセスメント等を適正に行うために必要な資料を収集する。												
2 危険有害要因の特定(危険性または有害性の特定)	資料等により危険有害要因を書き出し特定する。												
3 災害の予測	特定された危険有害要因によって予測される災害を書き出す。												
4 リスクの見積りと優先順位の設定(リスクの評価)	(1) 予測される災害が発生した場合の被災の程度(重篤度)を「負傷または疾病の重篤度の区分表」により定める。 (2) 災害の発生の可能性(頻度)を「負傷または疾病の発生の可能性の区分表」により定める。 (3) 上記の区分の組み合わせから「リスクの見積表」によりリスクの大きさを定める。 (4) リスクの大きさから「優先度の決定表」により優先度を決定する。												
5 リスク低減措置の検討と実行	(1) 法令に定められた事項は必ず実施する。 (2) リスク評価の結果を踏まえ、リスクの高いものから順次、次の優先順位によりリスク低減措置の内容を検討し実施する。 第1位 危険作業の除去や見直しなどにより仕事の計画段階から行う除去または低減の措置 第2位 機械・設備の防護囲い・安全装置の設置、作業台の使用などの物的対策 第3位 教育訓練・作業管理等の管理的対策 第4位 安全帯、保護マスク、保護手袋などの個人用保護具の使用												

解答と解説	1 事故の詳細 (1) 工事元請及び施工会社は、工事方法を変更した際、発注者にその内容を伝えなかった。 (2) 施工会社は、FRP が可燃物であるということは知っていたが、火災に発展する程とは思っていなかった。 (3) 工事元請、施工会社は、FRP タンク内に PE 製メッシュシート（可燃物）が残置してあったことを火気使用前に確認していなかった。 (4) 工事元請は、工事方法が変更になり、リスクも変わっているにも関わらず、リスクの再確認を怠った。 (5) 工事元請は、火気作業時の始業前点検チェックシートによる安全指示はしていたが、自ら現場確認をしていなかった。 (6) 施工会社は溶断作業を 1 人作業で実施させており火玉の飛散・落下方向、範囲を充分に確認させなかった。 (7) 施工会社は、火気作業場を離れる時に、タンク内の残火の点検を怠った。 2 発注者の注意点 (1) 発注者は工事元請に対し、危険性・有害性情報をもれなく提供しなければならない。 (2) 火気使用工事の前日までに、火気の種類・火気を使用する場所毎に可燃物の有無を三者（発注者・工事元請・施工会社）で現認し、発注者は可燃物を事前に除去することを原則とし、除去が困難な場合は、火気養生を行う場所や方法について三者で確認し、火災防止の為の措置を確実に行った上で許可をする。 3 工事元請の注意点 (1) 工事元請は工事内容変更管理を徹底しなければならない。 (2) 工事施工会社は、指示された方法を勝手に変更してはならない。 (3) 工事内容を変更しなければならない場合、変更内容を発注者に伝えると共に、変更内容に応じたリスクの再評価を行う。 (4) 火気使用工事を行う日のパトロールを 1 日 1 回以上実施し、リスクアセスメントへの対応状況や火気工事の養生実施状況等を現認する。 (5) 施工会社に対し、火気使用中の監視及び火気使用後の残火の確認をさせる。
関連知識	PE（ポリエチレン）：発火点 330～410℃ 引火点 341℃ FRP：FRP 中に含まれるポリスチレン：発火点 345～360℃ 引火点 488～496℃ * 考察 3 撤去時の火災参照

事故事例－１２	解体工事中におけるミストセパレータ内部の火災
---------	------------------------

教育対象者	製造部門	◎	保全部門	○	設計部門	—	開発部門	—
難易度	★★		原因		施工管理不足	災害種別		火災
事故の概要	二重結合をもつモノマー(第4類第1石油類)を製造していた休止プラントを解体する工事の一環として、ミストセパレーターを配管から取り外し、ガス溶断を行っていた。溶断だけによるものではないと思われる煙が発生したので、作業員が作業を中止し散水した。最終的には公設消防隊が、ミストセパレーターの方角を変えながら内部に散水し、発煙が収まった。							
事故の経過	プラントは火災の1年前に運転停止し、2ヶ月前までに内部洗浄や他との縁切り工事を完了した。危険物第4類の製造所の解体工事として消防に資料提出のうえ、1ヶ月前から解体に着手し、5日前にミストセパレーターの前配管をガス溶断で切断した。 火災当日、可燃性ガス検知器による安全確認後、架台上のミストセパレーターをニブラ(油圧圧砕機)で地上に下ろし、トラック搬出可能な大きさに解体するためにガス溶断を開始した。ガス溶断中に溶断だけによるものではないと思われる煙が発生した為、作業員は散水ガンで散水を行い、工事を監視していた製造部門に連絡した。散水方向を変えたが煙の発生が継続するため消防へ通報した。 自衛消防隊が消火栓からの放水を内部に向けて行ったが、公設消防隊到着後にニブラを用いてミストセパレーターの方角を変えながら内部に散水し、発煙は収まった。							
フロー図・写真等	火災後の検証 - ミストセパレーター内部にはデミスター(1,770×1,770×100mm)があり、枠に納められたSUS304製金網37層(空間率98%)をはがすと、その中に36kgの付着物があり、これが燃焼したと考えられる。 - 付着物はBAM(ドイツ連邦材料試験研究所)着火テストの着火性テスト(火花を当てる)と小ガス炎テスト(ガスライターの炎を当てる)の何れも着火しなかった。 - 付着物は水分24%、ポリマー40%、安定物質36%で、発熱量は概算値で641kcal/kgと小さかった。 - 付着物20gを磁性るつぽに置いてカセットガス式トーチバーナーで炙ると火炎が発生したが、バーナーを外すと火炎が消え、白煙の発生が続いた。 - 付着物をデミスターに置いて炙ると4より早く火炎が発生し、バーナーを外しても小さな炎が時々発生した後消え、白煙の発生が続いた。							
設問	- 内装物がある機器の火気工事として取るべき安全対策を挙げてください。 - 重合性モノマーを取り扱う製造所・一般取扱所の解体工事における火災発生を防止するため、追加として取るべき対策を挙げてください。							

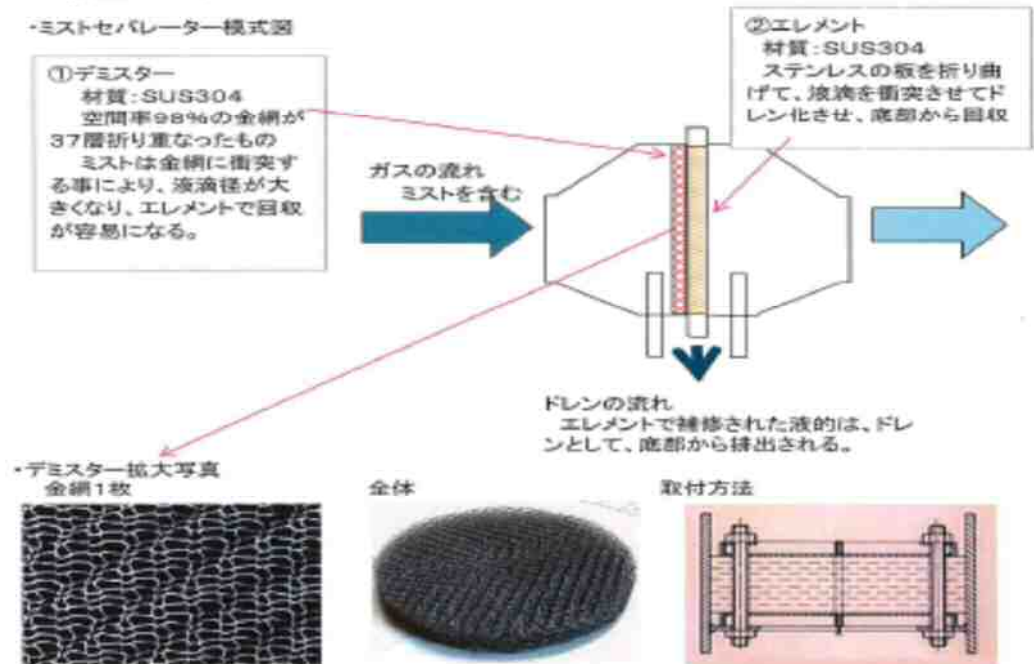
解答と解説

- この火災に関しては、ミストセパレーターの火気溶断前にその内部部品であるデミスターを、火気を使わずに取り出すべきであった。

ミストセパレーター構造

ミストセパレーター内部には、デミスターとエレメントが配置されており、ミストを捕集しドレンとして排出している。

・ミストセパレーター模式図



- 大規模プラントにおいては、機器によっては排除され難い物質が内部に残留している場合もある。火災後、以下の追加確認と工事方法の変更を行った。
 - 内部挿入物がある機器は火気を使わずに開口部を作り、安全を確認しながら洗浄し、内装物を取り出した。
 - 蒸留塔塔頂出のペーパー配管はウォーターカッターで切断し、内部の付着物なしを目視確認後に火気溶断した。
 - シェル&チューブ式の固定管板型熱交換器のシェル側をウォーターカッターで開口し、内部を目視確認後に火気溶断した。
 内部洗浄を行ってもガス検知器で検知されない可燃物が残留しているかもしれないと考え、機器の内装物はすべて取り除くべきである。

関連知識

撤去工事では運転状態の可燃性液体・可燃性ガス・毒劇物は勿論、運転中に付着する固体類（可燃性・毒性・他）の残留を考慮して、内容物の排除、その確認、作業安全の確保、適切な火気選定が必要である。

1 内容物の排除

定修以上の洗浄運転を行って、全ての機器と付属配管類から、危険物・毒劇物を排除（後処理工程送りと洗浄）し、窒素・蒸気・水を用いて置換する。

2 排除の確認

危険物第4類の排除は可燃性ガス検知器で、毒劇物の排除はpH計（試験紙）や物質に応じた検知器・検知管で行う。検知の位置も重要である。

3 作業安全の確保

窒素・蒸気・水による置換と、排除の確認の後は、空気置換のうえ常温にして、人が立ち入って火気工事が出来る環境を整える。内装物があれば搬出する。

4 適切な火気の選定

ドリルで配管に穴を空け、可燃性ガス検知を行い、問題なければ溶断する。万一残留物があつた場合を考慮し最初からガス溶断などの強力な火気は使用しない。

* 考察3 撤去時の火災参照

事故事例－ 1 3		塗装用溶剤運搬中の溶剤流出による火災						
教育対象者	製造部門	－	保全部門	◎	設計部門	－	開発部門	－
難易度	★★		原因	調整不足・運搬作業方法		災害種別	火災	
事故の概要	塗装用溶剤容器転倒により、溶剤が流出し地下の溶接作業エリアに落下。気化した溶剤にアーク溶接の火花が引火した。							
事故の経過	1 建物 1 階の一区画（塗装作業エリア）を塗装することとなった。この付近の地下には溶接作業エリアがあり、自社従業員がアーク溶接作業に従事していた。 2 塗装業者は、簡易な蓋で閉められた塗装用溶剤容器を落下防止ガードがない台車に乗せて、グレーチング構造となっている通路を運搬していたところ、容器が転倒し転げ落ちた。その際、塗装用溶剤が零れ落ち地下に流出した。地下の溶接作業エリアに零れ落ちた塗装用溶剤が気化し、アーク溶接の火花が引火し、炎と煙が発生した。【概略図】参照） 3 溶接作業部門からの溶接作業エリアにおける火気使用届出書、塗装業者からの塗装作業エリアにおける塗装作業実施書は、いずれも保全部門に提出されていたが、事故を未然に予見することができなかった。 4 塗装業者、溶接作業部門、保全部門のそれぞれの役割は次のとおり。 ・塗装業者：保全部門に塗装作業実施の届出 ・溶接作業部門：保全部門に火気使用の届出 ・保全部門：構内の作業内容の確認と調整および現場パトロール							
フロー図・写真等	【概略図】							
設問	・塗装業者および保全部門それぞれの立場で、不備や確認事項の不足原因を考察してください。【原因】 ・また、どのような措置を講じるべきでしたか。【対策】							

解答と解説	【原因】 ・塗装業者は、転倒した場合に開く可能性のある簡易な蓋を溶剤容器に使用し、溶剤容器などを落下防止対策のない台車を用いて運搬することで問題ないと思っていた（軽視していた）。 ・保全部門は、溶接作業部門からの火気使用の届出、塗装業者からの作業実施書の提出により、両作業については認識していたが、それぞれの作業が同時に実施されることのリスクが認識できていなかった。 ・保全部門は、作業現場のパトロールは実施していたが、塗装用資材の運搬に着目したパトロールは実施していなかった。 【対策】 ・塗装業者は、危険物を密閉式容器に入れる。 ・保全部門は、危険物の運搬に台車を用いる場合は落下防止ガード付とするように徹底する。 ・保全部門は、作業内容を確認し、必要に応じて、塗装溶剤運搬ルートの変更や火気作業の時間制限等について調整を図る。 ・保全部門は、定期的なパトロールに加えて、日常の現場巡視において塗装用資材等の危険物の運搬にも着目して安全管理を実施する。  落下防止ガード付台車
関連知識	本事例は、防災上の観点だけでなく、安衛法上で事業場構内の総合的な安全衛生管理体制を構築しておくことが義務付けられており、その中で作業間の連絡調整が図れる仕組みが求められている。

解答と解説	1 保全部門 (1) 工事後の引き渡しにおいて、ルールに従って漏れ確認（気密確認）を実施してから工事完了の引き渡しを行う。 (2) 実施事項に抜けが出ない様に事前に確認項目をチェックリスト化しておき、工事中や完了後に確認する。 (3) 必要に応じて通油開始時には現場で立会い、工事箇所の異常の有無を確認する。 2 製造部門 (1) 通油開始前に保全部門による漏れ確認が実施されたかを確認する。 (2) 通油開始前に、工事用仕切り板の脱着状態、バルブ開閉状態の確認、ベントプラグ閉止確認等の通油ラインの確認を行う。（通油開始前にベントプラグが開放されている事に気付いていれば漏えいは防げた。） (3) 通油開始時には、現場にて工事箇所に異常がないことを確認する。
関連知識	本事例は、計器の取替え工事であったが、現場で溶接を行うなど直火を使う場合はさらに安全管理や引き渡し管理を強化し、各部門の役割・責任を明確にして実施しなければならない。これを確実に行うために、製造部門・保全部門・保安部門・工事請負会社で、工事前に協議を行い、以下の内容を取り決める必要がある。 ・ 工事箇所の縁切り方法（仕切り板挿入箇所） ・ 脱液／置換の方法並びに置換基準 ・ 施工方法や養生方法の詳細、安全確認の方法 ・ 保護具の必要性 ・ 工事立会いの必要性や立会者 ・ 施工後の検査方法や検査実施者 ・ 工事に関わる全体工程 ・ 作業責任者や法定資格の必要性 ・ 防消火設備の準備や非常時の連絡体制 など

解答と解説	1 アース接続の問題点について インクパンの表面に付着したインクにより、接続したアースが機能していない（インクパンが電氣的に絶縁された）状態となっていた。そのため印刷作業中にインクパン内で流動するインクにより静電気がインクパンに蓄積され、インクパンから放電した際に着火源となってしまった。アース線接続時に、接続部が汚れていないか等を確認していなかったため、この様な事故が発生した。 2 対策 アース線は、その機能を発揮することで安全を確保するものなので、装置自体の不具合により火災等の大きな災害に繋がることもある。安全装置同様に常に機能を発揮出来る様な維持管理が重要である。以下に点検方法の例について記載する。 (1) 日常点検、始業時点検 「アース線接続部分に汚れがないこと」と言った簡易的な点検（外観点検）を行うことで、本事例は防止できる。このような簡易的な点検を日常または始業時の点検項目とするとともに、点検に抜けが無いようにリスト化することが重要である。 (2) 定期点検 外観点検と言った簡易的な点検方法に加え、漏洩抵抗（※）値を測定して数値を管理することも必要である。装置やプロセスによって適切な点検期間を設定し機能点検を実施すること。
関連知識	静電気対策を目的としたアースについて 一般の電器機器をアース（接地）するために使用されている接地極、接地棒を極として使用できることと合わせ、金属導体でできている構造物または金属物体の一部が大地に埋設され、その接地抵抗が $1,000\Omega$ 以下である場合はこれを接地極に利用できる。 また漏洩抵抗が $10^6\Omega$ 以下であることを絶縁抵抗器（メガー）などにより定期的に測定することが安全管理のために有用である。 ※漏洩抵抗とは 物体や材料のある点から大地までの電気抵抗のことである。作業現場での漏洩抵抗は、物体の抵抗、接触抵抗、接地抵抗などをすべて総合した抵抗のことを表す。 参考文献 独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 静電気安全指針 2007

解答と解説	1 操作手順の理解 加熱炉で使用される熱媒は熱的に安定であるため、高温で使用されるのが通常であるが、その取扱いを誤ると事故につながる恐れがある。 当該加熱炉の運転に当たっては、先ず熱媒供給ポンプを起動させ、熱媒の循環が安定したのを確認した後に加熱炉の点火操作に移行すべきであった。本件では熱媒を循環させる前に（炉のコイル内で熱媒が滞留した状態で）加熱炉の点火操作を行ったことからコイル表面温度が上昇を続け、コイルの耐熱温度を超え破断に至った。 2 作業マニュアルの整備 運転準備等の非定常作業においては、CCR オペレーターの作業負荷が増加し、異常アラームの見落としや誤判断、修正操作の遅れ等が助長される。また、本事案の様に加熱炉温度（Hi）アラームの目的を理解していなければ、修正操作が行われない可能性がある。 このため、運転指針等には運転管理値並びに異常アラームの目的やその根拠（ノウホワイ）を加えたり、熱媒供給ポンプの起動操作を標準化し、基本操作や手順を文書化しておくことが重要である。 ちなみに、今回の加熱炉の様に操作頻度の少ない設備は、作業員も運転経験が浅く、誤操作や操作に手間取ることがあるため、定期的に運転操作の訓練（シミュレーション）を行う必要がある。 3 安全装置等の検討 コイルの過熱を防止するためには、加熱炉内の温度を検知して燃料供給量をコントロールする、あるいは炉内温度 Hi で燃料を遮断するインターロック機能の導入を検討する必要がある。これは、装置内の不具合や異常状態の見逃しによって加熱炉内の温度が異常上昇した際、燃料の供給を自動的に遮断するための装置であり、①加熱炉内の温度、②熱媒供給ポンプの稼働状況、③熱媒循環量等を検知して作動するインターロックを設計する必要がある。 今回の事故では加熱炉コイル並びにバーナーのサポートが耐熱温度以上に過熱され、自重によるクリープ変形を起こして破断したと考えられる。このため、加熱炉内のコイルや付属部品等は高温下でも十分な強度を有する材質で設計することが重要である。
関連知識	1 加熱炉の運転管理（熱媒の性質） 熱媒の種類によっては、高温・酸素の存在下で金属を激しく腐食させるものもあるので、熱媒の選定に当たっては、使用条件をしっかりと確認する必要がある。 2 作業マニュアルの整備 運転準備等の非定常作業時に作業手順ミスや確認忘れ等を起こさないために、事前にチェックリストを作成することも重要である。 ☐ 熱媒循環ポンプの起動方法を確認したか ☐ 加熱炉の運転管理温度を確認したか ☐ 安全装置が正常に作動することを確認したか 3 クリープ変形 クリープ（Creep）変形とは、物体に持続応力が作用すると、時間の経過と共に歪が増大する現象で、主に高温環境下における材料の変形を言う。

[illegible]

解答と解説	<解答> 保温用断熱材に熱媒油を浸み込ませた場合、熱媒油は酸化発熱（点火源）による蓄熱を生じ、約 170℃に到達すると急激な温度上昇に転じて発煙可能な温度に達し、油（可燃物）が点在する繊維材料に空気の供給（酸素供給源）が可能な状況、即ち「燃焼の 3 要素（点火源・可燃物・酸素供給源）」が揃い、発煙・発火に至る。 <対策> ・断熱材に熱媒油が浸み込み発火に至ったことから、装置の適正温度を保温するに必要な部分以外は撤去し、断熱材を限定して使用する。 ・限定して使用する断熱材部分にはセンサーを入れて温度上昇をモニタリングできるようにするとともに、警報装置を設置する。 ・メンテナンス時には、断熱材を全て取り除き作業を開始し、オイル漏れの生じる部分にはオイルパンで受けるとともに、清掃を確実にを行い新品の断熱材を使用する。
関連知識	本事例同様「酸化による発熱燃焼」には、次のような事例もある。 ・使用済みのウエスを置き去りにした場合。 ・大量の天かすをまとめて放置した場合。 ・衣類乾燥機に油分が付着した衣類を入れた場合。 施設・設備の管理状況だけでなく、日常作業やメンテナンス等の作業が影響して、火災が発生する可能性があることを認識しておく。

解答と解説

このような事故を防ぐために、例えば次の対策が考えられる。

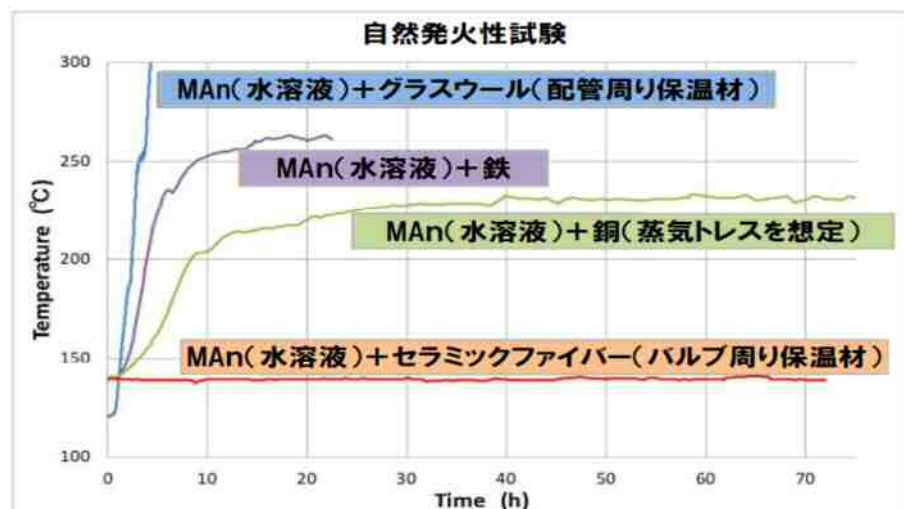
1 配管の振動対策

配管の振動が以前より確認されていたのであれば、そこに潜む危険性を感じ取り、問題視することが必要である。そして、配管のサポート強化など振動防止を図ることが必要である。

2 適切な保温材の選定・使用

取り扱う物質によっては保温材との接触を想定し、適切な保温材を選定する必要がある。このような場合、予め実際に使用する保温材との相性を確認するために、自然発火性試験（SIT）を行い、その結果を「保温材選定基準」等に反映して共有することが必要である。

下図は、事故後に検証のために行った自然発火性試験の結果である。無水マレイン酸（MAn）は、銅（蒸気トレス由来）、鉄、セラミックファイバーでは、マレイン酸（金属塩）が自然発火する温度までは達しないが、グラスウールでは120℃からでも温度上昇することが分かる。



関連知識

マレイン酸の金属塩は、約 400℃以下でも発火する。

	文献値	今回測定値
無水マレイン酸	477℃	—
マレイン酸鉄塩	368℃	391℃
マレイン酸二ナトリウム塩	—	385℃

注 測定方法 ASTM E659（発火点試験方法）

自然発火性試験（SIT）の結果、無水マレイン酸は、他の保温材（ロックウール、ケイカル）と接触しても発熱は見られなかった。それぞれの組成は次表の通りである。なお同じ商品名でも国やメーカーにより組成が異なることがあるようである。また、グラスウール中のどのような成分が無水マレイン酸と相性が良くない（低温発火物質を作る）のかは不明である。

	ロックウール※1	ロックウール※2	ケイカル
組成 (蛍光 X 線実測)	CaO 43% SiO ₂ 26% Al ₂ O ₃ 7% Fe ₂ O ₃ 18%	CaO 60% SiO ₂ 25% Al ₂ O ₃ 7%	CaO 60% SiO ₂ 40%

※1 R 社製（A 国）、※2 N 社製（B 国）

解答と解説

1 ファン風量が低下していた。

可燃性ガス雰囲気をも最小にすべくファンの設計風量は $32\text{m}^3/\text{min}$ であったが、 $5\text{m}^3/\text{min}$ 以下に落ちていた。点検の結果、ファンの異常やダクトの付着物はなかったが、屋外に排気する部分のフィルターがほこり等で約 7 割詰まっていた。開口部での風量測定を行いここ数年測定値はやや低下していたが、「有機則のドラフト制御風速 0.4m/s を満足すればよい」との誤った認識であったため気付かなかった。排気口の目詰まりを除去したところ風量は $18\text{m}^3/\text{min}$ まで回復した。



下図は火災後に、風量別に可燃性ガスの範囲を計算したものである。火災時は可燃性ガス雰囲気がドラム下部まで拡大していたと推定される。安全を担保するファン風量の確保の重要性といった設計思想を、設備を使用する限り伝達する必要がある。



2 金網が静電的に浮いた状態で、金属枠に向かってスパークした。

火災後に接地状況を確認したところ、ドラム下部の金網は接地された金属枠に置かれた状態で、付着したポリマーにより接地性能を確認できなかった。

掻き取り刃で剥がされたポリマーは金網上に落下するが、掻き取り時に負の電荷に帯電する。帯電した不導体の存在により導体である金網のポリマー側は正に帯電し（静電誘導）、金網の反対側は負に帯電する。その電荷が相当量となり、ある時点で金属枠に向かって放電し、放電部位において溶媒の可燃性ガスに着火したと推定される。

関連知識

火災は、可燃物・支燃物・着火源の 3 要素が同時に揃えば発生する。最小着火エネルギーが小さい第 1 石油類の使用に関しては、可燃物か支燃物の存在範囲を最小化する必要がある。着火源のひとつである静電気は、徹底的な排除が難しい。本火災は可燃物の最小化を見逃した例であり、この設備は火災後に風量計の設置と金網などの静電気除去を徹底し、3 要素の重なりを防ぐ措置を行った。他の類似設備は、真空乾燥など他の方法に代替した。ダクトの端にバードスクリーン等のフィルターが配置されている場合は、定期的に詰りなしを確認する必要がある。

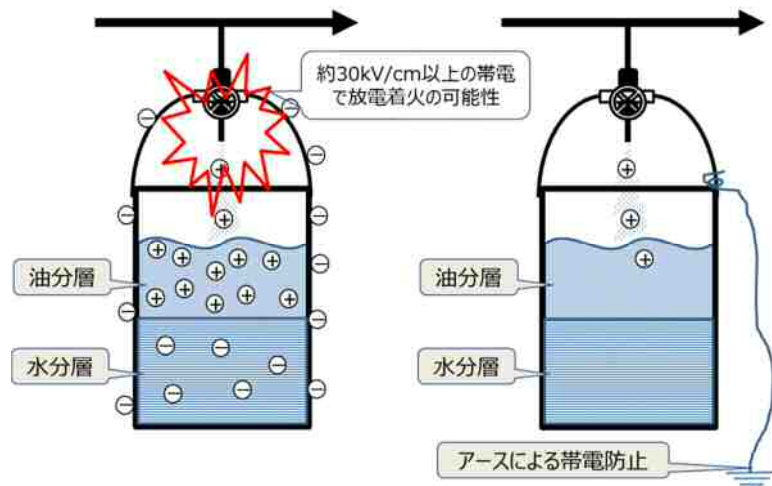
解答と解説

1 発火の原因

原料ドラムの内容物（灯油等の混合油と水の混合物）は、5時間静置され、原料ドラムも接地されている為、作業前、ドラム内に著しい静電気の帯電は無かった。しかし、小径バルブから油分（灯油等の混合油）が排出される際、静電気が発生し、油分が帯電した。更に、ペール缶はポリエチレン樹脂の取手部分で小径バルブに吊るされていたため、アース（接地）されておらず、ペール缶の内部に静電気が蓄積されていった。最終的に蓄積された静電気が原因で火花が発生し、灯油の蒸気に着火したものと考えられる。（静電気火災）空気中では約 30kV/cm を超える帯電が起こると絶縁破壊により放電し、周囲の可燃ガスに着火する可能性がある。

2 静電気火災の予防

このような火災を防ぐためには、受け缶内部に静電気を蓄積しないよう、缶自体にアース（接地）を取る（下図参照）、または、ボンディング（バルブと缶を接続）することが必要。また、缶自体の素材も導電性の金属であることが必要。次のような対策が考えられる。



関連知識

1 ガソリン（ナフサ）、灯油等の油分は、誘電率が低く静電気を蓄積しやすい上に、蒸気を発生する為火災を発生しやすい性質がある。

誘電率は絶縁性を示す電気的定数で、数値が高いほど電気を流しやすくなる。水の誘電率は 80 であるのに対し、ガソリンや灯油の誘電率は一般的に 2.0 前後であり、電気を流しにくいことが分かる。代表的な液体の一般的な誘電率を以下に示す。

- － 水 : 80
- － アンモニア : 15～25
- － エタノール : 24
- － ガソリン : 2.0～2.2
- － 灯油 : 1.8

2 静電気を帯電するきっかけは以下のような事象が考えられる。

- (1) 攪拌・衝突等による摩擦。このような摩擦は、油分が濾過、放出、噴出、高速で流れる場合などに発生する。
- (2) タンク等にこのような油分を張り込む場合、初期（しびきが発生するような状態）は、配管内の流速を 1m/秒 以下に制限することが目安として知られている。

事故事例－ 2 1	手回しポンプによる送液中の火災
-----------	-----------------

教育対象者	製造部門	◎	保全部門	○	設計部門	—	開発部門	—
難易度	★	原因		管理不足		災害種別		火災
事故の概要	MIBK（メチルイソブチルケトン 危険物第4類第1石油類）をドラム缶から手回しポンプにてステンレス製容器に汲みだす作業中にステンレス容器内で出火した。							
事故の経過	1 作業の状況 （1）作業内容 MIBK をドラム缶より手回しポンプにてステンレス製の容器（容量 20 リットル）に汲みだす作業を行っていた。ステンレス容器内には汲み出し前から 1/4 程度 MIBK が入っていた。 （2）安全対策 ドラム缶、手回しポンプ、ステンレス配管のアース設置。 2 出火時の状況 汲み出し作業を開始し、ステンレス容器内の MIBK 液面が上昇しステンレス配管の先端部分に近づいた時に、ステンレス配管の先端部分で火花が発生し、ステンレス容器内で出火した。							
フロー図・写真等	図 出荷時の状況							
設問	以下に掲げた設問について、解答してください。 1 火花放電防止について ステンレス配管の先端部分で火花が発生した原因は、ステンレス容器内の MIBK が汲み出し中の液流動により帯電し、ステンレス配管に向かって放電したものでした。このような火花放電の発生を防止する方法を検討してください。 2 発火防止について ステンレス容器内で出火してしまったのは、容器内の MIBK が揮発し、可燃性ガスが滞留していたためでした。可燃性ガスが滞留しないための対策を検討してください。							

解答と解説	1 火花放電防止について (1) 静電気発生の抑制 ステンレス配管の先端部が液面付近にあると、帯電した液面から配管先端に向けて静電気が放電し易くなる。そこでステンレス配管を長くしステンレス容器の底部に近づけ、配管先端を早く液中に浸かる様にする事で放電を防止できる。 (2) 静電気の除去 ステンレス容器にアースを設置する。静電気が発生しても、容器内の MIBK に静電気が蓄積し高電位にならないため、火花放電を防止することができる。ドラム缶など容器の表面に塗装がされていると電気抵抗が大きくなり、クリップ等によるアース線設置が有効とならないことがある。塗料をはがし金属面を露出させる等が必要である。 また人体からの放電が着火源となることもある。帯電防止加工がされた服装をする等、人体の静電気対策を実施することも必要である。 2 出火防止について（可燃性ガス抑制） 静電気発生の抑制と同様、ステンレス配管を長くしステンレス容器の底部に近づける。注ぎこむ勢いを小さくすることで MIBK が揮発し可燃性ガスとなることを抑制する。 またステンレス容器内を窒素パージするなどして、可燃性ガスの除去を行う。ステンレス容器内には 1/4 程度 MIBK が入っていたため、保管時に MIBK が揮発し可燃性ガスが容器内に滞留していた。窒素パージ設備により容器内のガスを置換し可燃性ガスの濃度を爆発下限界よりも下げることで火花が発生しても着火（燃焼）することはない。 図 対策（例）
関連知識	燃焼（爆発）する濃度の範囲はガスの種類によって様々だが、爆発下限界（LEL）と爆発上限界（UEL）の範囲でガスは燃焼する。可燃性ガスの爆発危険濃度管理は、爆発下限界（LEL）で管理する。

解答と解説	1 ブチルゴム溶液の帯電原因について (1) (電気) 導電率の低さ 配管等給液設備はすべてアースはされていたが、溶液の導電率が低く送液中に高電位に帯電していた。溶液の導電率を測定したところ 10^{-13}S/m 程度であることが分かった。低い導電率 (10^{-12}S/m 以下) の液体は容器にアースがしてあっても電荷の低下が少なく (静置時間が長くなる)、静電気帯電による危険性が高くなる。 (2) フィルター通過時の帯電 フィルター通過時は液体の流動運動により静電気が発生しやすくなる。フィルター使用時には、ろ過後の溶液の静電気測定を行うなどの確認が必要である。(管理電位の目安を関連知識の項に記載する。) また、フィルターの目詰まりによってフィルター通過時の流速が変化するので、目詰まりを考慮した管理 (フィルターの圧力管理等) も必要である。 2 帯電防止対策について (1) 溶液の導電率アップ 電防止の基本は作業 (人体)、設備及び容器と言った付随するすべての導体を適切にアース (接地)、ボンディングすることである。その上で、溶液に使用する溶媒を導電率の高いものにするすることで、帯電電位を抑制できる。関連知識の項に代表的な溶媒の導電率を記載するので参考にして欲しい。 (2) 流動運動を小さくする 溶液の流速を抑えるなど流動運動を小さくすることで帯電電位を低下させることができる。 3 静電気以外の対策 静電気の対策 (着火源) と合わせ可燃性ガスの滞留防止 (可燃物除去)、窒素パージ (窒素雰囲気) 等と合わせ対策を実施することが重要である。										
関連知識	1 導電率 電流密度 J と電界 E の比で表す。 導電率 (σ) $= E/J$ (単位: ジーメンズ/メートル (S/m)) 抵抗率とは逆数の関係にある。 2 各種溶媒の導電率・・・安全の目安 10^{-8}S/m 以上 <table border="0"> <tr> <td>トルエン</td> <td>・・・ $1.0 \times 10^{-12} \text{ S/m}$</td> </tr> <tr> <td>酢酸エチル</td> <td>・・・ $1.0 \times 10^{-7} \text{ S/m}$</td> </tr> <tr> <td>イソプロピルアルコール</td> <td>・・・ $3.5 \times 10^{-6} \text{ S/m}$</td> </tr> </table> 3 最小着火エネルギーと管理電位 <table border="0"> <tr> <td>最小着火エネルギー</td> <td>管理電位</td> </tr> <tr> <td>$0.1 \sim 1.0 \text{ mJ}$</td> <td>$\pm 5.0 \text{ kV}$ 以内</td> </tr> </table> 参考文献 独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 静電気安全指針 2007	トルエン	・・・ $1.0 \times 10^{-12} \text{ S/m}$	酢酸エチル	・・・ $1.0 \times 10^{-7} \text{ S/m}$	イソプロピルアルコール	・・・ $3.5 \times 10^{-6} \text{ S/m}$	最小着火エネルギー	管理電位	$0.1 \sim 1.0 \text{ mJ}$	$\pm 5.0 \text{ kV}$ 以内
トルエン	・・・ $1.0 \times 10^{-12} \text{ S/m}$										
酢酸エチル	・・・ $1.0 \times 10^{-7} \text{ S/m}$										
イソプロピルアルコール	・・・ $3.5 \times 10^{-6} \text{ S/m}$										
最小着火エネルギー	管理電位										
$0.1 \sim 1.0 \text{ mJ}$	$\pm 5.0 \text{ kV}$ 以内										

事事故事例－ 2 3		ペール缶に入った金属微粉の火災						
教育対象者	製造部門	◎	保全部門	－	設計部門	－	開発部門	－
難易度	★★		原因	管理・保管不備		災害種別	火災	
事故の概要	ペール缶の蓋を開け中身を確認しながら、保管していたペール缶の確認作業を行っていたところ、しばらくして、突然異音とともに、一つのペール缶上部から発火した。							
事故の経過	1 製造部門では、製造過程で、一部、屑として発生する金属微粉（※）が入ったペール缶の確認作業を行っていた。この確認作業は、水を混ぜている金属微粉のペール缶を有価売却品として処理するために実施していた。 2 製造部門の作業者が、ペール缶の蓋を開け中身の確認作業をしていたところ、水が混ぜられていない金属微粉が入っているペール缶を見つけたため、そのペール缶に蓋をして別パレット（木製）に移動し、確認作業を継続していた。 3 その後しばらくして、突然、異音とともに当該ペール缶上部から発火した。また、ペール缶を置いていたパレットにも引火した。 4 製造部門の作業者は、消火砂および消火器を使用し鎮火させた。消火砂と消火器は、万が一を考慮して、当該作業の危険予知を実施して、事前に用意していた。 ※金属微粉：危険物第2類第1種可燃性固体 ※製造過程で屑として発生する金属微粉：注水工程で水を混ぜて非危険物化したもの							
フロー図・写真等	【写真】  発火したペール缶  燃えたパレット  パレット拡大 【製造工程】 原料 ➤ 粉砕 ➤ 混合 ➤ 成型 ➤ 焼結 一部が金属微粉の屑として発生 製造部門が注水し非危険物化、保管 一部が金属微粉の屑として発生 製造部門が注水し非危険物化、保管							
設問	・火災が発生した直接原因と間接原因を考察してください。【原因】 ・火災の発生を防止するために必要な対策を考察してください。【対策】							

解答と解説	【直接原因】 ・火災を引き起こしたペール缶は、水を混ぜていなかったことで、粉状そのままの状態直接ペール缶に保管されていた。作業者が確認のため蓋を開けた際に、外気（酸素）が進入して、酸化反応が起こった。 ・ペール缶内部で酸化反応が進行することで発火に至り、内部圧が上昇・蓋が開放することで異音・煙が発生した。さらに、ペール缶の温度が高くなったことで木製パレットを焦がした。 ・作業者がパレットに移動した際の衝撃・振動を起因として、粉末同士の摩擦熱、静電気の発生や、空気との接触面積を増やしたことが燃焼を助長したことも考えられる。 【間接原因】 ・本来、製造過程で屑として発生した金属微粉が入ったペール缶は、製造部門が水を混ぜた状態で保管し、有価売却品として処理することが決められていたにもかかわらず、製造部門ではこの水を混ぜる作業を 1 缶失念していたことが間接の原因である。 【対策】 ・注水前の作業時は、粉末同士の摩擦熱や静電気の発生を考慮し、衝撃・振動をさせないこと。 ・製造過程で屑として発生する金属微粉は、水を混ぜた非危険物として処理する。 ・さらに、金属微粉の性質上、外気（酸素）との接触は危険性があるため、不活性ガスでパージする。 ・上述の処理をしたうえで、ペール缶には注水作業日と作業者氏名を記載した表示を貼付したうえで保管し、定期的な棚卸しによる管理を徹底する。																
関連知識	本事例は、人的要因による管理不備が原因であり、作業の標準化、マニュアル化に加えて、日ごろから作業者全員が危険物の性質を把握するためのケーススタディや教育を繰り返し実施していくことが求められる。 第 2 類の可燃性固体である危険物（下表）にはいろいろな種類があることから、その取扱いや保管方法、万一の消火時は、SDS を確認して対応する必要がある。 危険物第 2 類可燃性固体 <table border="1"> <thead> <tr> <th>物 質</th><th>消火方法</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>硫化りん</td><td>乾燥砂または不燃性ガスによる窒息消火</td></tr> <tr> <td>赤りん</td><td>水または強化液、泡による冷却消火</td></tr> <tr> <td>硫黄</td><td>土砂で流動を防ぎつつ、霧状の水による冷却消火</td></tr> <tr> <td>鉄粉</td><td>乾燥砂や金属火災用粉末消火剤による窒息消火</td></tr> <tr> <td>金属粉など</td><td>乾燥砂や金属火災用粉末消火剤による窒息消火</td></tr> <tr> <td>マグネシウム</td><td>乾燥砂や金属火災用粉末消火剤による窒息消火</td></tr> <tr> <td>引火性固体</td><td>泡、二酸化炭素、ハロゲン化物、粉末消火剤による窒息消火</td></tr> </tbody> </table>	物 質	消火方法	硫化りん	乾燥砂または不燃性ガスによる窒息消火	赤りん	水または強化液、泡による冷却消火	硫黄	土砂で流動を防ぎつつ、霧状の水による冷却消火	鉄粉	乾燥砂や金属火災用粉末消火剤による窒息消火	金属粉など	乾燥砂や金属火災用粉末消火剤による窒息消火	マグネシウム	乾燥砂や金属火災用粉末消火剤による窒息消火	引火性固体	泡、二酸化炭素、ハロゲン化物、粉末消火剤による窒息消火
物 質	消火方法																
硫化りん	乾燥砂または不燃性ガスによる窒息消火																
赤りん	水または強化液、泡による冷却消火																
硫黄	土砂で流動を防ぎつつ、霧状の水による冷却消火																
鉄粉	乾燥砂や金属火災用粉末消火剤による窒息消火																
金属粉など	乾燥砂や金属火災用粉末消火剤による窒息消火																
マグネシウム	乾燥砂や金属火災用粉末消火剤による窒息消火																
引火性固体	泡、二酸化炭素、ハロゲン化物、粉末消火剤による窒息消火																

事故事例－２４	無人の実験室におけるゴミ箱火災
---------	-----------------

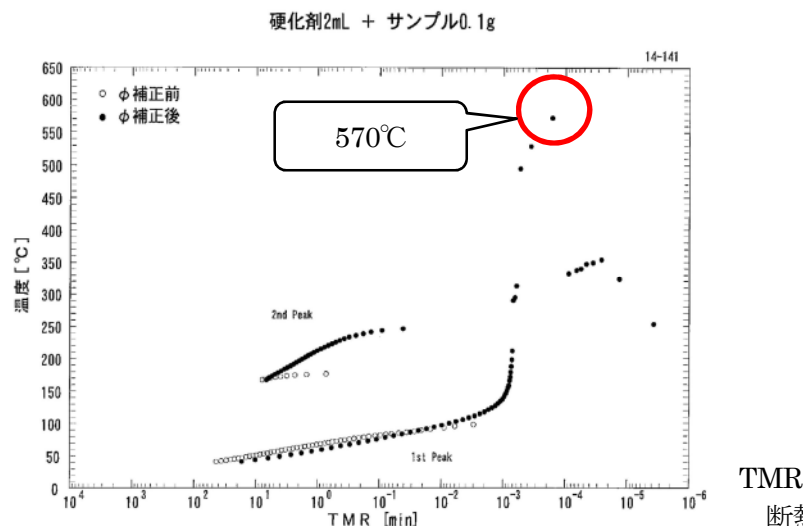
教育対象者	製造部門	○	保全部門	—	設計部門	—	開発部門	◎
難易度	★★★		原因		知識不足		災害種別	火災
事故の概要	実験終了後、無人の実験室に設置してあった火災報知機が発報した。駆けつけたところ実験室内のプラスチック製のゴミ箱が燃えていた。							
事故の経過	分析担当者が、6 価の金属酸化物を主成分とし 4 価の金属酸化物も少量存在する触媒を取り扱った際に、使用していたゴム手袋をゴミ箱に捨てた。 次に触媒を電子顕微鏡で観察する試料作りのため、液体の樹脂に、硬化剤を混合した包埋材を作成し、粒状の触媒を樹脂に固定する包埋作業を行った。その際に使用したゴム手袋、余った樹脂の入ったポリビーカー、硬化剤を計量したスポイトを同じゴミ箱に捨てた。その後実験室を退室した。退室の 30 分後に火災報知機が発報し、隣接する実験室にいた者が火災を見つけて消防通報し、別の者が事務所から駆け付け消火器 3 本で消火した。							
フロー図・写真等	火災に関連する作業は以下のとおり 1 触媒の包埋作業 触媒を電子顕微鏡で観察する際、触媒樹脂を混合し硬化剤により一晩で硬化し、粒状の個体触媒を樹脂中に固定する。翌日、樹脂を研磨機で研磨することで触媒の断面を露出させ、金を蒸着して電子顕微鏡で観察する。 (1) 冷間埋込樹脂 不飽和ポリエステル（第 4 類第 2 石油類非水溶性液体） 65～75%、スチレン（第 4 類第 2 石油類非水溶性液体） 25～35% (2) 硬化剤 メチルエチルケトンパーオキサイド(第 5 類第 1 種 自己反応性物質) 35～45%（発火点 197℃）、ジメチルフタレート（第 4 類第 3 石油類非水溶性液体） 45～55% 他 上記 [] を捨てる前にゴミ箱内に入っていたもの ・酸化モリブデン(VI)を主成分とし酸化モリブデン(IV)も少量存在する触媒が付着したゴム手袋(2双) ・その他のゴム手袋(9双) (触媒はわずかに付着している可能性あり) 2 当日の作業 分析担当者は触媒を取り扱ったゴム手袋をゴミ箱に捨てた。触媒は 6 価を主成分とし 4 価も少量存在する金属酸化物であり、<u>4 価の金属酸化物には還元性がある</u>。電子顕微鏡分析用サンプルの包埋作業は、冷間埋込樹脂 50ml に対し、硬化剤 1ml を混合し、触媒を埋め込んだサンプルを作成する。分析担当者は使用済みゴム手袋、使用後のスポイト、余った樹脂約 25ml をポリビーカーごとゴミ箱に捨てた。<u>スポイトには第 5 類の有機過酸化物が付着していた。</u>							
設問	ゴミ箱のなかで、(2) 硬化剤の第 5 類が発熱・燃焼開始しましたが、 1 無人のゴミ箱が燃えだしたメカニズムを推定してください。 2 第 5 類を使用する実験室や製造設備における対策を挙げてください。							

解答と解説

- 1 メチルエチルケトンパーオキシドが、還元性を有する触媒に接触し、発熱を開始した。断熱状態に近い条件であった為、温度上昇が継続し硬化剤の発火点 197℃を超えて発火し、硬化前の樹脂、ゴム手袋、ゴミ箱に延焼した非常に稀な事例。
- (1) 硬化剤の主成分であるメチルエチルケトンパーオキシドは還元剤等と混合すると、自己反応を起こす物質である。当日実験者は硬化剤を計量したスポイトをゴミ箱に捨てており、少量のメチルエチルケトンパーオキシドを含む硬化剤がゴミ箱に存在した。
- (2) この金属酸化物の 4 価は比較的容易に 6 価に酸化される還元剤である。触媒なので単位重量当たりの比表面積が大きく、非常に反応性が高い状態であった。ゴム手袋に付着した触媒は非常に微量であったが、ゴム手袋の表面に存在した為、他の物質と接触する可能性があった。
- (3) 両者がゴム手袋の表面で接触した為、発熱反応が始まった。ゴミ箱の中で折り曲げたゴム手袋は、移動しない空気が疑似的な断熱状態を作り出した為、第 4 類の発火点に達したと推定される。

実験室レベルで、少量と言えども混ぜてはいけない物質同士を、結果的に混ぜてしまったことが火災につながったのが本事例の教訓である。事後に ARC(Accelerating Rate Calorimeter)で検証を行ったところ、室温で両者を混合した直後から温度上昇が観測され、45 分後に 570℃まで上昇したデータが得られた。

ARC を用いた検証実験



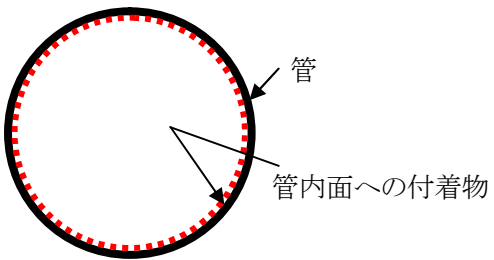
- 2 有機過酸化物である第 5 類は有用ながらも危険性を有する物質である。
- (1) 自己反応性物質の危険性についての十分な教育
温度が上昇すると自己発熱を起こし発火に至ること、酸・アルカリ・還元剤などと混合すると自己分解を始めること等、SDS の内容を十分教育する。技術資料としては第 5 類メーカーの DVD も有効である。
- (2) 第 5 類の変更の検討
電子顕微鏡の試料作成などの硬化剤は必ずしも第 5 類を使用するものばかりではない。別の薬剤への代替も有効。
- (3) ゴミ箱の分別
混触してはいけない物質と接触させないように、ゴミの分別を行う。
混触の危険性を表示して、分別廃棄を徹底することも必要。

関連知識

第 5 類の他にも混触禁止物質の組み合わせは多い。少量でも混ぜてはいけない物質どうしは廃棄段階まで分別する。

解答と解説	1 排水タンク内は、硫化水素（水に良く溶け弱酸性を示す。発火点：260℃、爆発範囲：4.3～46vol%）、アンモニアを含有しており、タンク上部のマンホールを開放しても、比重の重い硫化水素ガス（比重 1.1905）は窒素バージを行ったが置換不足のために残存していた。また、スラッジに溶存していた可燃性ガスが時間の経過とともに遊離した。さらに排水に含まれる微量の油分がスラッジの表面に残存していた。これらによるタンク内の混合ガスは爆発限界範囲内にあった。 着火源については、タンク周囲には火源はなかったこと。静電気が発生しやすい季節ではなくタンクにはアースが設置されていたこと。タンク内部のスケールの分析結果から硫化鉄の存在が確認されたこと。 これらの状況からタンク内部に付着又は堆積した硫化鉄がマンホールを開けたことで流入した空気により酸化・発熱して着火源となり、内部の可燃性ガス分に着火して爆発したと推定された。 2 硫化水素はじょ限量が 10ppm の毒性ガスであるのはもちろん、鋼鉄製の機器と反応して硫化鉄を生成する。この硫化鉄の性質は空気と接触すると酸化、発熱反応が起きて着火源となる。 3 排水には硫化水素の存在が確認され、鉄製の容器内で、水分に接触していることから、発火性の硫化鉄が生成していることを想定し作業をする必要がある。 開放手順のマニュアルを作成し、内部に生成した硫化鉄スラッジをウォータージェット等で崩すなどの対応を明記した。 4 タンク内の可燃性ガス、油分及びスラッジを除去するために、新規に次の設備を設置した。 ・タンクの底部に可燃性ガスバージ用の窒素配管を設置した。 ・油分除去対策として自動式のオイルスキミング（※）ポンプを設置した。 ・スラッジ除去対策としてスラッジ抜き出し用のポンプを設置した。 ※ タンク内の排水には微量の軽質油分が含まれており、液面上部に浮上している。この浮上油をすくい取ることをオイルスキミングという。																
関連知識	硫化水素（H₂S）の危険性を改めて認識することが重要である。 硫化水素はじょ限量が 10ppm の毒性ガスであるのはもちろん、可燃性ガスであり引火性がある。爆発限界は 4.3 ～ 46 vol% である。 鋼鉄製の機器と反応して硫化鉄を生成する。この硫化鉄の性質は空気と接触すると酸化、発熱反応が起きて着火源となる。 閉所のメンテナンスでは酸欠を含め内部物質の事前チェックを行う必要がある。 硫化水素（H₂S）の濃度対危険度 <table border="1"> <thead> <tr> <th>濃度（単位：ppm）</th><th>作用</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.003</td><td>臭いの感知の下限度</td></tr> <tr> <td>5</td><td>不快臭となる</td></tr> <tr> <td>50 - 100</td><td>気道刺激、結膜炎</td></tr> <tr> <td>100 - 200</td><td>嗅覚麻痺</td></tr> <tr> <td>200 - 300</td><td>約 1 時間で亜急性中毒</td></tr> <tr> <td>600</td><td>約 1 時間で致命的中毒</td></tr> <tr> <td>1,000 - 2,000</td><td>即死</td></tr> </tbody> </table> 引用元：労働省安全衛生部監修、中央労働災害防止協会編 「化学物質の危険・有害便覧」（1991.06）	濃度（単位：ppm）	作用	0.003	臭いの感知の下限度	5	不快臭となる	50 - 100	気道刺激、結膜炎	100 - 200	嗅覚麻痺	200 - 300	約 1 時間で亜急性中毒	600	約 1 時間で致命的中毒	1,000 - 2,000	即死
濃度（単位：ppm）	作用																
0.003	臭いの感知の下限度																
5	不快臭となる																
50 - 100	気道刺激、結膜炎																
100 - 200	嗅覚麻痺																
200 - 300	約 1 時間で亜急性中毒																
600	約 1 時間で致命的中毒																
1,000 - 2,000	即死																

解答と解説	1 火災原因 (1) 直接原因 施設一式の撤去工事の際、ブロワーの吐出側のダクト解体のためボルトを弛めようとしたが、固着して弛まないののでガス溶断器を使用してダクトを溶断した。ダクトの外側からガス溶断中に溶断部内側のタール状の付着物に溶断器の炎で着火した。当該ダクトは大気（屋根の上）へ排気するためのもので、上部に向けて燃焼部位が広がった。 (2) 間接原因 施工会社との打合せで、潤滑油配管の撤去については、裸火禁止とし、電動ノコギリで切断することを確認したものの、ダクトについては内部に付着物があるとの認識がなく、ボルトを外す施工方法を指示していたが、裸火の使用は禁止していなかった。そのため、施工会社の作業員が独断でガス溶断を使用した。 撤去工事であっても、工事発注者は施工会社に対して危険性の情報伝達の義務があった。 2 内部の状態が分からない設備を安全に工事するには 内部の状態が分からない箇所を施工する際には、事前に内部の状態を調べることで施工方法を事前に検討しなければならない。通常の可燃性の物質が流れていない箇所でも、流体中の微量な可燃性の物質が濃縮する可能性があり、注意が必要である。 3 当初の工事方法通り施工できなかった時の対処法 計画していた施工方法で工事が出来なかった時、作業を中断して改めて施工方法を計画し直してから工事を再開する必要がある、施工会社は発注者へ報連相が必要である。検討に際しては、新しい施工方法によって、新たな危険性が発生しないかの観点から検討が必要である。
関連知識	1 長年使用した排気ダクトでは、排気中に含まれる粉塵が堆積したり、微量に含まれる成分が析出や凝縮して付着していることも多い。排気ダクトの施工時には、事前に内部確認や状況に応じた施工方法が必要となる。 着工前に三者（設備管理部門、運転管理部門、工事施工会社）による工事箇所の安全を確認するためのチェックリストを作成し、このリストを用いて危険箇所と危険に対する養生・禁止事項を確認する仕組みを規則化した。実際の工事の開始時には、現場確認したうえで作業許可を出すことが重要である。 2 ダクト内の付着物とは？ 1 階のロールの熱入れの練りにより、合成ゴムに含まれる石鹸、老化防止剤や可塑剤が微量に大気中に排出され、これが排気ブロワーに吸引されてダクト内壁に付着していた。 *考察1 ダクト火災参照

解答と解説	通常は内部の状況が見えないダクトの溶断作業 内部が見えないダクトなどをその内部の状況（可燃性ガス、可燃物の付着など）を確認しないまま、火気を使用して溶断作業を開始することは厳禁である。対象物により詳細は変わるが、およそ以下の手順で内部の状況を確認した上で溶断作業に着手することが必要である。（可燃性ガスのダクトの場合には、予め窒素パージを行う。） 1 ハンドドリルなどを使用して冷却しながら小径(Φ10mm 程度)の穴あけをする。(点検孔、ガス分析用のサンプリングポートなどがあればそれを利用する。) ダクトのレイアウトにより内部可燃物(ダストなど)が溜まりやすいと想定される部位があれば、その周辺も調査・確認を行う場合もある。 2 ガス検知(ダクト径の 1/5 以上に吸引口を挿入して可燃性ガスの濃度を確認する。) 3 ハンドドリル、ノコギリ、カッターで注水しながら穴明け(目安 200mm²)をする。 4 内面付着物の有無の確認 ⇒ 有の場合 徹底した可燃物の除去をする。(除去できない場合は、無火気工法での工事を再検討する。) ガス状物質はガス検知器を使用すれば直接見えなくてもガスの有無や濃度を測定することができるが、下図のような固体状(高粘度の液体含む)が管の内部に付着している場合には内部を確認しない限り、付着物質の種類やその危険性を判断することはできないので、火気使用前の確認が特に重要である。 
関連知識	1 この例ではダクトであるが、ダクトに限らず内部の構造を良く把握、確認しないまま、外部から火気を使って切断等の加工をすることは非常に危険な行為であることを十分認識し、工事（解体を含む）や補修の計画を立てることが重要である。 2 ハンドドリルで穴をあけなくても良いように、ダクトの設計をする際には、直管部やダストが堆積しやすいベンド部分などに予め、点検孔などを設けておくことも重要である。 3 点検に限らず、運転後は定期的な内部の確認とともに、清掃が必要となるので、ダクトのレイアウト設計の際には点検孔、清掃孔を反映することが必要である。稼動当初はダスト等の堆積は無いが、稼動に伴うダスト類の堆積を設計時に想定して、点検孔等を設けるようにすべきである。 *考察1 ダクト火災参照

解答と解説	1 排ガスダクト内で火災が発生した原因（燃焼の3要素の存在） （1）可燃性物質 排ガスダクト内壁に残留していたタール状の有機物が可燃性物質として存在していた。製品内に残留する不純物等の有機物が乾燥炉内で蒸発し、排ガスダクト内壁面で凝縮し堆積していた。 （2）着火源 タール状有機物の酸化反応による発熱が着火源となった。排ガスダクト内壁面に堆積したタール状有機物が、排ガスの熱により長期間加熱されると共に、排ガス中の酸素により酸化反応が進行し、反応熱によって（排ガスの滞留部等で局部的に熱が蓄積され）タール状有機物が発火温度に到達し自然発火した。 （3）酸素供給源 排ガスブロワにより吸引された空気がダクト内への酸素供給となった。稼働中の乾燥炉（排ガスダクト）内には排ガスブロワにより常時空気（酸素）が供給されており、排ガスダクト内で出火した当時も排ガスブロワは稼働状態にあり、排ガスダクト内には酸素が供給され続けた。 2 排ガスダクト内での延焼を防ぐための改善策 （1）出火時の検出方法 排ガスダクト内に温度計を設置し、排ガス温度を連続測定することで排ガスダクト内部の出火（排ガス温度の異常上昇）を検知することが出来る。 （2）排ガスダクト内の消火方法（消火の3要素） ア 除去消火 排ガスダクトを定期的に分解し、ダクト内壁に付着したタール状の有機物（可燃性物質）の滞留を抑制することで、連続的な燃焼を防止することが可能となる。 イ 冷却消火 出火検知後速やかにダクト内に注水が出来る様、予めダクト内部に注水用ノズルを設置しておく。ダクト内部が出火（排ガス温度の異常上昇）したら自動で注水するインターロックを設置することで、速やかな消火が可能となる。 ウ 窒息消火 出火検知後に排ガスブロワを自動停止するインターロックを設置することで、排ガスダクト内への酸素供給の遮断が可能となる。 また、出火検知後に排ガスダクトダンパーの閉止あるいはダクト内へ窒息性ガス（例えば窒素）を噴射することでより効果的な酸素供給の遮断が可能となる。
関連知識	長期低温加熱による発火危険性 油脂等が付着した衣類や天ぷらの揚げかすが自然発火し火災となる事例が頻繁に報告されている。これらは長期低温加熱下における油脂の酸化発熱反応による発熱⇒発火に至るもので、雰囲気温度が50℃前後の低温下でも自然発火するとする実験結果も報告されている。（※） この様な長期低温加熱による発火危険性を抑制するには、①放熱し易い（蓄熱し難い）環境下に置く、②油脂等可燃性物質の蓄積（堆積）量を小さくする、③加熱される時間を短くする等が考えられる。 ※参考資料：「消防科学研究所報 26 号」 油脂の長期低温加熱における出火危険性について *考察1 ダクト火災参照

解答と解説	予め塔内で硫化鉄の緩慢酸化を行う場合、急激に温度や圧力が上昇しないよう空気吹込み量を制御するとともに、温度や排ガス中の二酸化硫黄・二酸化炭素の濃度を監視する必要がある。 実際に 2 度の発煙を経験したが、その次の定期修理工事では、この緩慢酸化を採用した。 スチームと共に空気を微量に吹き込む方法で、導入時点では、二酸化硫黄が検出された他、一酸化炭素・二酸化炭素の濃度上昇が見られた。出口ガス濃度を確認しながら徐々に酸素濃度を上げ、緩慢酸化処理を 17 時間実施した。 その結果、マンホール開放時に温度上昇や燻り等の異常はなく、その後の作業を安全に行うことが可能となった。
関連知識	硫化鉄について 石油精製装置では、その製造プロセスから硫化水素が発生する。さらに、鉄、硫化水素、水分がある系では、硫化鉄が生成する。 反応式：$2\text{FeO}(\text{OH}) + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$ 硫化鉄は、空気中で自然発火する性質があり、多くの火災事故の原因となっている。 参考に硫化鉄を緩慢酸化した時の反応式を示す。 反応式：$\text{Fe}_2\text{S}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$

事故事例－ 3 0	仮設電源ケーブル火災
-----------	------------

教育対象者	製造部門	○	保全部門	◎	設計部門	－	開発部門	－
難易度	★★★	原因			認識不足	災害種別	火災	

事故の概要

ボイラーの定期整備工事を実施するために、ボイラー本体の冷却用ブロアーと照明用の電源として、仮設発電機と仮設ケーブルを設置した。

夜間照明用の投光機を使用し、冷却用のブロアーを運転してボイラー本体を冷却中に、仮設ケーブルから火災が発生しているのを発見した。消火器による消火活動を実施するとともに直ちに仮設発電機を停止した。

事故の経過

工事用電源として、地上部に設置した仮設発電機から仮設分電盤を経由して、キャブタイヤケーブルにて、ボイラー設備の地上部から 6 階フロアーまで各階へ配線をした。振れ止めのため、4 階と 6 階のフロアーの手摺りにケーブルを結束（固定）して設置。

内部での作業準備として、投光機 8 台（100V・500W）、送風機 6 台（100V・500W）を 6 階のフロアーで使用開始した。電気力率=1 とすると、計算上（500W×1.0（力率）×14 台）は、7,000W（100V・70A/200V・35A = 7KVA）の負荷が掛かっていた。

仮設分電盤のアースは、装置の架台塗装部に接続されたが、架台の塗装剥離が未実施であり、十分に接地（アース）されていない状態であった。また、5.5mm²キャブタイヤケーブルの許容電流上限値は 34A（規格値）であるが、35A の過負荷状態で 28 時間連続使用されていたため、ケーブルが焼損し最終的に内部短絡を起こした。この際、トリップすべき仮設分電盤の一次ブレーカーの容量が大きすぎたため、トリップせずケーブルに対して過負荷電流が継続し、ケーブル火災が拡大した。

フロー図・写真等

※凡例

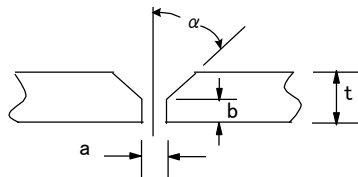
- 短絡電流による焼損
- 短絡時の熱電導による溶解
- ケーブル

設問

以下に掲げた設問について経過等を確認し、どうすればこのような事故を防ぐことが出来たか考えてみてください。

- 1 ケーブルはなぜ、焼損したのでしょうか。
- 2 焼損を防止するためには、どのような設置方法が適切か考えてみてください。

解答と解説	1 ケーブル焼損の原因 (1) 仮設分電盤を地上に設置したために、キャブタイヤケーブルは地上階から 6 階まで垂直方向に配線されており、振れ止めのために 4 階と 6 階で手摺に結束（固定）されていた。手摺に固定された部分にキャブタイヤケーブルの自重（負荷）がかかり、絶縁被覆に伸びが生じて、ケーブルがショートしやすい環境で使用された。 (2) ケーブルの太さ、種類の選定に誤りがあり、ケーブルの許容電流を超過した状態で使用されており、ケーブルが発熱状態になっていた。 (3) 仮設分電盤のアースを装置の架台塗装部に接続するなど、接地（アース）のとり方が不十分であったので、漏電遮断器が作動しなかった。 (4) 仮設分電盤の一次ブレーカーの容量選定に誤り（大きすぎ）があった。負荷容量は 5kVA（200V・25A）であるにもかかわらず、一次側仮設分電盤のブレーカーの電流遮断容量は 150A であったため、6 階でケーブルが短絡（ショート）してもブレーカーが切れなかった。そのため、短絡電流が流れ続けてケーブル被覆が軟化して発熱し火災となった。 2 焼損防止対策 (1) キャブタイヤケーブルは被覆がやわらかく弱いので、今回のように垂直で且つ、長い区間に施工する場合は CV ケーブル等の絶縁ケーブルを使用する。（CV：架橋ポリエチレン絶縁ビニールシースケーブル） (2) 事前に最大負荷を算出して、適正なケーブルサイズ及びダウントランスを選定する。今回の場合においては、ケーブルサイズ 8sq（許容電流：54A）以上、ダウントランスは 5kVA×2 台以上とすべきであった。 (3) 接地(アース)は確実にとり（下記、関連知識参照）、接地抵抗を測定して確認する。 (4) 仮設電気設備とはいえ、負荷機器容量算定、ケーブル・遮断機容量選定を適正に行うとともに「電気工事士」の資格を有した作業員が行う。
関連知識	<u>アースの接続方法について</u> 仮設分電盤を設置する際のアース（接地）の接続方法は以下の通りとする。 1 既設の静電接地アースピースに接続する（写真①） 2 架構にアース接続するときは塗膜を完全に除去する（写真②） 3 アース棒（300mm 以上打ち込む）を使用する 4 接地抵抗測定を実施 ⇒ 100Ω 以下とする（高圧の場合は 10Ω 以下） ※電気設備の技術基準の解釈より ① 既設の静電接地用のアースピースに接続する  ② このように塗装を剥がし、鉄骨の母材が見える状態にして使用すること。なお、使用後はタッチアップ塗装（さび止め塗装後）を行うこと。 

解答と解説	1 漏えい原因 穿孔箇所は、適切な開先加工がされておらず I 型の形状となっており、且つ穿孔部でのルート間隔は約 10mm と非常に広く、溶接線中央部が大きく凹んだ形状を呈しており、全周に渡って母材よりも著しく肉厚が薄くなっていた。この溶接線の最も薄かった箇所です軽微な腐食（約 0.1mm/年）が進行し、35 年間の使用により漏えいに至ったものと推定される。 2 溶接品質管理 (1) 当該配管溶接部は、適切な開先加工とルート間隔が施工されない状態で溶接施工された事が漏えいに至った根本原因と考えられる。 本事例での配管仕様は、10B-STPG370 Sch30（炭素鋼：公称肉厚 7.8mm）であるため、一般的には下記の開先形状とルート間隔にて施工されなければならない。 < 管の開先の寸法例 > <table><tr><th>形状</th><th>板厚 t mm</th><th>開先角度 α °</th><th>a mm</th><th>b mm</th></tr><tr><td>V</td><td>≤16</td><td>30</td><td>3.2±0.8</td><td>1.6±0.8</td></tr></table> (2) 溶接施工管理（開先形状、溶接品質等）は、法規、社内基準及び規格に基づき施工する事はもとより、適宜施工要領書を作成し管理する必要がある。また、溶接線の 1 層目に、被覆アーク溶接よりも溶着金属と母材との溶け込みが格段に優れているティグ溶接（タングステンを電極とした不活性ガス溶接）を適用する事も改善の一つとなる。 (3) 再発防止のために、溶接施工管理の重要性について、施工管理・品質管理担当者に周知し教育する必要がある。	形状	板厚 t mm	開先角度 α °	a mm	b mm	V	≤16	30	3.2±0.8	1.6±0.8
形状	板厚 t mm	開先角度 α °	a mm	b mm							
V	≤16	30	3.2±0.8	1.6±0.8							
関連知識	1 溶接施工条件 (1) 降雨、強風の環境の場合は、有効な措置を講じた場合以外は溶接作業を実施しない。また、暴風対策を実施しても、溶接作業近傍での風速が以下の場合は溶接作業を中止する。 ・ティグ溶接 3m/sec 以上 ・被覆アーク溶接 10m/sec 以上 (2) 気温 0℃以下、湿度 85%以上で、適切な措置が講じられない場合は、溶接作業を行ってはならない。 2 溶接施工 (1) 下向き溶接姿勢では強電流を、上向きにはその 10～20%減、立ち向きには下向きの 20～ 30%減の電流を用いる。 (2) 初層は、完全な裏波ビードを形成させる。 (3) 突き合わせ、隅肉溶接共、溶接層数は 2 層以上とする。 (4) 各層パス毎にビード形状をチェックし、割れ、ブローホール等の欠陥がないことを確認して次層に進む。 (5) 多層溶接に際しては、溶接の始点、終点が前層の始点、終点と重ならないように施工する。 (6) 板厚 25mm 以上の場合は、パス間温度を 100～200℃程度にする。（材質による）										

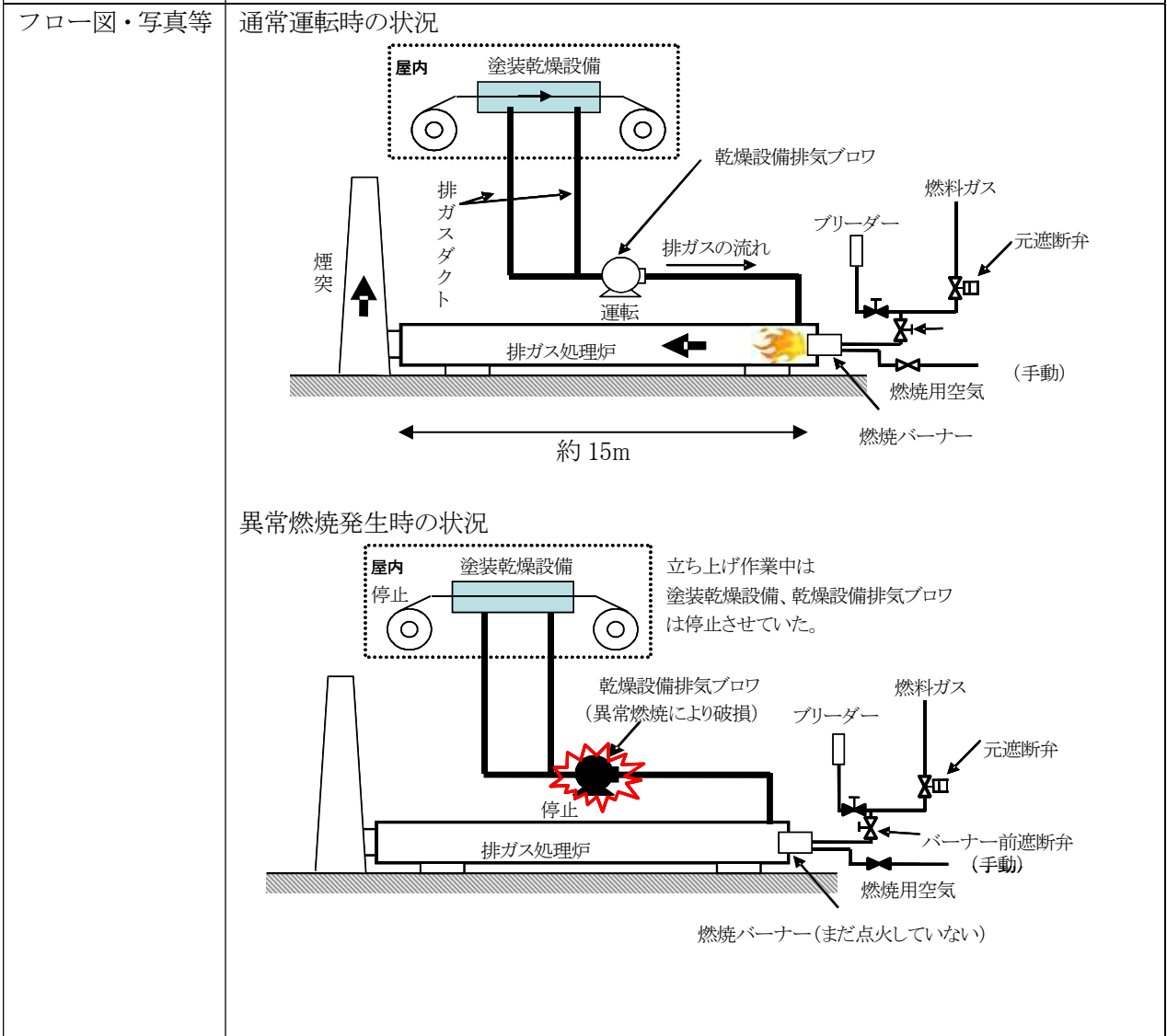
事故事例－ 3 2	燃料ガスの異常燃焼
-----------	-----------

教育対象者	製造部門	◎	保全部門	○	設計部門	－	開発部門	－
-------	------	---	------	---	------	---	------	---

難易度	★	原因	手順ミス	災害種別	爆発
-----	---	----	------	------	----

事故の概要	廃ガス処理炉（塗装乾燥設備からの廃ガスを燃焼処理する設備）の燃料ガス配管清掃後のガス通し作業中に排気ブロワ付近が燃料ガスの異常燃焼で破損した。
-------	--

事故の経過	1 定期修理後の立ち上げ作業に着手した。 2 手順を進め、配管内を窒素ガスから燃料ガスに置換する作業に着手した。 3 元遮断弁を開けて、立ち上げ作業を続行した。 4 しばらくした後、排気ブロワで異常燃焼が発生した。
-------	---



設問	以下に掲げた設問を経過等を確認し、検討してください。 1 元遮断弁を開ける前には乾燥設備排気ブロワとバーナー前遮断弁はどのような状態としておくべきかを考えてください。 2 手順ミスを防止するためにはどのような工夫をしたら良いかを考えてください。
----	---

解答と解説

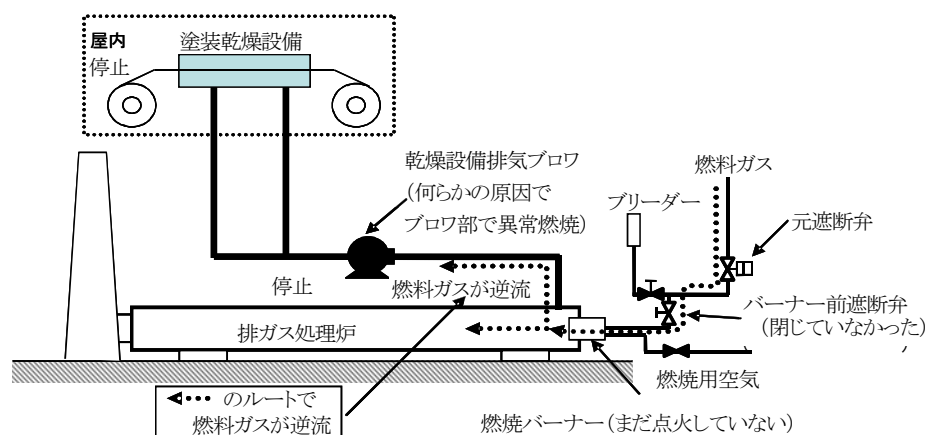
1 元遮断弁を開ける前に、バーナー前遮断弁を閉じておく必要がある。
また、「閉じていること」をチェックすることが必要であった。また、排気ブロワは炉内の雰囲気気を置換するために運転しておく必要があった。

2 この時の作業では、2つの手順ミスがあった。

- (1) 燃料ガス配管清掃後にバーナー前遮断弁を閉め忘れた。(直接原因)
- (2) 乾燥設備排気ブロワを運転していなかった。

そのため、燃料ガスが下図に示すようなルートで排気ブロワ方向に逆流した。その後、静電気等により引火・爆発したものと推定される。(排気ブロワが運転されていれば、逆流はしなかった。)

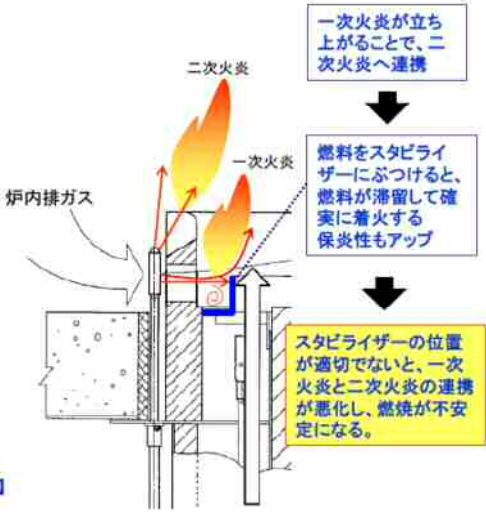
なお、手順書ではバーナー前遮断弁を閉めてから、排気ブロワを運転してガス通しをすることになっていた。



ガスを扱う場合には手順を守ることが非常に大切である。そのためには、点火前手順（ガス通し手順など）、点火作業などはチェックリストを作成し、手順を抜けなく確実に実施させる工夫が必要である。

関連知識

- 1 チェックリストを作成するとともに、点火作業者に何故その手順を守る必要があるのか、手順を守らないと何が起きるのかを具体的に教育し、手順の遵守を徹底することが重要である。
- 2 人が作業をする限り、ヒューマンエラーの発生はゼロにはできない。バーナー前遮断弁を「開」状態に操作できる条件に排気ブロワ「運転」のインターロックを設けるなどを積極的に検討し、実行することも重要である。

解答と解説	1 スタビライザー高さ（位置）を、スタート前に必ず確認する。 スタビライザーの位置について、スタートアップ手順書、メンテナンス記録に「スタート前にスタビライザーの高さ（位置）を確認する事」を追加する。 2 バーナーが失火すると、燃料弁を自動遮断するインターロックを設置する。 炉内のチューブスキン温度計の指示変動を検知し、燃料弁を自動遮断するインターロック（7 秒間の間で 2 度以上温度変化が確認された際にインターロック作動）を設置した。 尚、バーナー失火の検知方法としては、温度計による検知方法以外にも火炎検出器（フレイムディテクター）による検知方法もある。
関連知識	スタビライザーによる炎の安定性について スタビライザーは、一次火炎の燃料噴射を妨げるように配置し、スタビライザー内で一時的に滞留させることで火炎を安定させ、更に二次火炎との連携を促すことでバーナー全体の安定燃焼に寄与する役割を果たしている。 スタビライザーの位置が低いと、火炎が安定せず、一部のノズルが未着火状態となって不安定な燃焼状態となる。 <バーナー構造（スタビライザー）>   The photograph on the left shows the physical components: the パイロットバーナー (pilot burner) in the center, the スタビライザー (stabilizer) surrounding it, and the 一次火炎用 空気吹出し口 (primary flame air outlet) at the bottom. The schematic on the right illustrates the process: 一次火炎が立ち上がることで、二次火炎へ連携 (primary flame rises, linking to secondary flame), 燃料をスタビライザーにぶつけると、燃料が滞留して確実に着火する 保炎性もアップ (fuel hits stabilizer, fuel lingers, ensuring ignition and improving flame stability), and a warning that スタビライザーの位置が適切でないと、一次火炎と二次火炎の連携が悪化し、燃焼が不安定になる。 (if stabilizer position is not appropriate, the linkage between primary and secondary flames worsens, leading to unstable combustion).

解答と解説	1 腐食進行のメカニズム (1) 塗装前の配管下地処理（錆除去）の不備 配管橋上アンモニア導管の溶接線近傍の塗膜を除去し、検査後に下地処理（錆除去等）をしないまま再塗装を行ったため、配管表面と塗膜との間に錆が残った。 (2) 配管塗膜の劣化 時間の経過と共に配管表面上の錆が剥離し、再塗装箇所の塗膜が浮き上がると共に、塗膜の一部が剥がれ落ちた。 (3) 配管表面に外気が接触 塗膜の脱落箇所では配管表面が直接外気と接触し、海水由来の飛来海塩粒子が配管表面に付着した。配管表面で結露した水分が海塩粒子と共に塗膜と配管表面との隙間を通して配管下部に滞留した。塩化物イオン（Cl^-）等を含む水分により配管下面で局所的な腐食が進行した。 塗装前の下地処理（錆除去等）は塗膜の劣化進行の抑制に非常に重要な作業である。「塗装施工基準」等を整備し、その中で下地処理の重要性を明示するなどして、下地処理が確実に行われることを担保する必要がある。また、新たに敷設した配管でも溶接等によりその近傍に表面酸化被膜が形成されると共にスパッタ等が付着しているため、塗装前にはディスクサンダー等（2種ケレン以上）で酸化被膜やスパッタ等を確実に除去しておくことが重要である。 2 腐食環境下（塩害等）の配管点検における注意点 (1) 点検箇所と点検頻度の明確化と見直し 配管が敷設されている環境を基に点検すべき箇所や点検手法を明確化する。また、過去の点検結果に応じて点検頻度を適宜見直す必要がある。特に、塩害等の影響が心配される環境では、塗膜や防食テープ等の健全性を確認することが重要である。更に、配管支持部やコンクリート壁貫通部等は腐食の進行が速いため、頻度を上げた点検が必要である。 (2) 点検困難箇所の排除 目視点検の死角となる箇所を極力排除すると共に、配管全面が容易に点検可能な様に、配管のルート変更や点検用歩廊、ステージ等の設置を検討する必要がある。 配管支持部や防食テープ施工箇所等、配管表面が確認出来ない箇所は、配管をジャッキ等で持ち上げて支持部との接触面を目視確認する。防食テープ施工箇所は、テープの一部あるいは全部を除去し、配管表面を目視点検する必要がある。
関連知識	1 飛来海塩粒子による腐食：海浜近くにある配管等の構造物は腐食（塩害）し易いが、これは海水由来の飛来海塩粒子による影響を受けるためである。海塩粒子中には吸湿性の高い塩化マグネシウム水和物が含まれているため、海塩粒子が配管等に付着するとその箇所は常に湿潤状態となり、生成された塩化物イオンによって金属が腐食されることになる。また腐食により発生する錆は割れ易く保護性に乏しいため、錆層下では大きな孔食状の局部腐食が生じる場合がある。 2 ステンレス鋼の孔食：ステンレス鋼は不動態被膜により高い耐食性を有する材料である。この不動態被膜は一度破壊（溶解）されても水との反応により再度被膜が形成され、破壊は停止するが、塩化物イオンはこの不動態被膜を化学的に破壊する作用が極めて強く、孔食等の局部腐食が発生し易い。塩化物イオンの存在下では、いったん生成が始まった局部腐食の進行を停止させることは困難であるため、一般的に海浜環境ではあまり使用されない。 参考資料：海水・塩水・さびー塩分があると金属はどうしてさびやすいのか？－著者 井上 博之（大阪府立大学大学院工学研究科 講師）

解答と解説	1 腐食のメカニズム (1) 今回の配管局部減肉の原因は、配管内を流れる溶剤（ジメチルホルムアミド）中に微量に含まれるギ酸が、配管内壁と付着物（ポリマー）との隙間に保持された水分とで加水分解反応が発生し、その時生成された酸性水によって局部的に酸腐食が発生したものである。 (2) 当該設備は装置停止時作業において、配管は大量の水にて水洗を行う。また、装置のスタート前に水の排出と乾燥を行い、各ブリーダーにて水分のないことを確認する手順となっているが、今回の事例のように配管内壁全体に付着している付着物（ポリマー）に一部欠落が発生している場合、水分はその隙間で保持されてしまい完全に除去できないものとなっていた。 2 配管の減肉管理 (1) 当該配管の腐食減肉管理は、溶剤（ジメチルホルムアミド）中の微量に含まれるギ酸腐食を考慮したエロージョン・コロージョンを想定していたもので、配管底部に着目した減肉検査が行われていなかったため、局部減肉を発見できなかったことも漏えいに至った原因の一つである。 (2) 配管内壁にポリマーが付着する系統に対して、配管底部の腐食に着目した検査を行う事が重要である。 (3) 発生した事例を基に、配管肉厚検査に関わる要領に反映すると共に検査計画を立案する検査員にも周知・教育する必要がある。
関連知識	1 エロージョン・コロージョン エロージョン・コロージョンは、炭素鋼ではエロージョンによって錆びが取り除かれ、コロージョンによって錆びが発生するという複合的な作用によって、いずれか一方の作用だけの時よりも、遥かに腐食速度は大きいものになる。エロージョン・コロージョンが起き易いケースとしては、高速流の水や塩類の水溶液で、管内に乱流を生じることが多く、またそれ程高速流でなくても、曲がり部や熱交換器の入口などでも、乱流が発生するところがある。このような場所ではエロージョン・コロージョンを起こし易いことが知られている。 2 ジメチルホルムアミドの性質 ジメチルホルムアミド は、示性式 $(\text{CH}_3)_2\text{NCHO}$ で表される有機化合物。常温では無色で微かにアミン臭の液体で、水やほとんどの有機溶媒と任意の割合で混合する引火性液体であり、日本では消防法により危険物第4類に指定されている。強酸あるいは強塩基の共存下で保存していると徐々に一部がギ酸とジメチルアミンとに分解される。 3 配管内面防食対策例 配管内面の発錆予防や流体の付着防止、管内部の摩耗防止、管と流体の電氣的絶縁等の目的のために、配管内面をタールエポキシ、モルタル、ゴム、テフロン、塩ビ管等を接着（圧入）したライニング配管が使用されている。

解答と解説	1 配管表面の状況 当該配管系は、ブタン揚荷時には配管温度が 0℃以下に低下し、揚荷終了時は、大気温度となる。 保冷材の劣化により、大気中の水分を完全に遮断が出来ない場合は、保冷材内に侵入した水分は、配管温度が 0℃以下に低下した時は結露し凍結状態となる。また、配管温度が大気温度程度に上昇した場合には、凍結状態から融解する。この繰り返しにより、当該配管表面は絶えず湿潤状態となっている。 2 配管の保冷材の管理 (1) 配管に保冷を施工している場合、保冷材が健全な状態では、大気中の水分を完全に遮断する事が可能だが、保冷材が劣化した場合は、外部からの水分の侵入の恐れが有り、水分が進入した場合には、1 項の状態となり外面腐食は加速的に進行する。したがって保冷材の健全性の維持管理は、配管の外面腐食を管理する上で重要であり、定期的に保冷材の健全性を確認する必要がある。 (2) 保冷材施工箇所は保冷材の健全性維持を確認するために、目視検査による検査計画を策定する必要がある。また、検査計画を立案する検査員にも、保冷材劣化に対する外面腐食への影響について周知・教育する必要がある。
関連知識	1 保冷施工 保冷施工については、常温以下の物体を被覆し侵入熱量を小さくする事、または被覆後の表面温度を露点温度以上とし、表面に結露を生じさせない事が大切である。(参考文献：日本工業規格 JIS-A9501「保温保冷工事施工標準」)。 尚、オーステナイト系ステンレス鋼配管の保冷施工については、外装不良による雨水侵入及び断熱材中の塩素イオンによる応力腐食割れ (SCC) に注意が必要である。 2 外面腐食の発生しやすい箇所 外面腐食は、常時水分が供給される環境や、雨水が侵入し滞留しやすい箇所に発生する。 また、「保温・保冷材が設置された箇所」など外表面に保水性・保湿性を持たせる効果のある部位が腐食速度を増す傾向にある。外表面が常時-5℃～150℃の部位では、発生する可能性が高くなり、特に運転温度が常温付近にもかかわらず保温・保冷されている部位には注意が必要である。このほか、水分以外で腐食速度を速める原因としては、異なる種類の金属の接触、溶接、土や塵などの不純物の付着等がある。 3 配管表面の防食方法 鉄が腐食するためには酸素、水分などが必要です。配管の防食方法には、亜鉛等のメッキによって鉄表面を保護する方法、塗装または塗覆装によって鉄表面を覆い腐食要因である水や酸素から鉄を遮断する方法及び人為的な電気回路を形成させる方法がある。 この中で塗装または塗覆装は、塗膜の機能として、これら腐食因子を鉄面に届きにくくする作用があげられる。また腐食因子が鉄面に届いた場合も、鉄を腐食しにくくする機能も兼ねそろえている。被覆防食の一つである塗装は大きく分けて下塗り、中塗り、上塗りより構成されており、総合的に防食機能を発揮するシステムも提案されている。

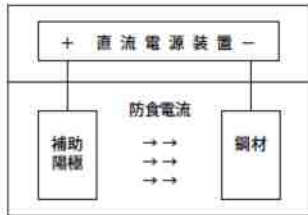
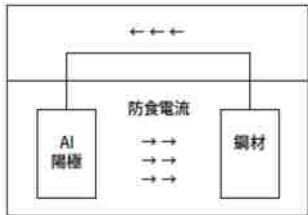
事故事例－３７	反応器マンホールのガスケット破損によるブタジエン漏えい							
教育対象者	製造部門	－	保全部門	◎	設計部門	－	開発部門	－
難易度	★	原因		施工不良		災害種別		漏えい
事故の概要	ブタジエンを原料として乳化重合を実施していた。反応器上部マンホールのガスケットが破損したことで、反応器内部のブタジエンが漏えいした。							
事故の経過	ブタジエンを原料とする合成ラテックスを反応器で重合していた。 近くで作業していたオペレータが異臭に気づき現場確認を実施した（ガス検知器の発報は無かった）。現場周辺を調査したところ、反応器上部マンホールよりブタジエンが漏えいしていることを発見した。応急処置として、漏えい箇所への散水を実施した。その後、漏えいした反応器の反応液を、使用していない別の反応器に移送し内部を空としたのち、内部を窒素でパージした。 処置後、漏えい部を確認したところ、ガスケットが変形し、隙間が発生していた。ガスケットの選定基準では、ブタジエンが含浸しないガスケットを使用することになっていたが、ブタジエンが含浸するガスケットが間違っ使用されていた。 当該のガスケットは、直近の定期整備時に交換されており、交換後、１年半経過していた。整備は協力会社により実施されていたが、個別の発注仕様書にはガスケットの仕様は明記されていなかった。							
フロー図・写真等								
設問	以下に掲げた項目の要因や背景を考えながら、どうすればこの様な事故を防ぐことが出来たかを検討してください。 1 ガスケットが変形した原因は何でしょうか。 2 間違った仕様のガスケットが使用されないための防止策を考えてください。							

解答と解説	1 ガスケットの変形理由 ガスケット写真  変形したガスケットを分析したところ、内側の白色部分は、ブタジエンの重合物だった。ブタジエンは、通常ガスケットへは浸透性が高く、ブタジエンが浸透しにくい材質のガスケットを使わなければならない。しかし、ブタジエンが浸透しやすい間違った仕様のガスケットが使用されていたことで、ブタジエンがガスケット内部に浸透した。ブタジエンは反応性が高く、ガスケット内部で重合反応することでポリマー化し、ガスケットが膨潤することで変形した。 2 ガスケットの仕様間違いの防止策 協力会社への工事発注仕様は、重要な項目については、一般仕様として提示するだけでなく、個別の作業ごとにガスケット材質を明確に指定する必要がある。取り付け前に正しい仕様のガスケットであるかを確認する必要がある。 特に保安に関係するような重要な材料については、発注者側で準備をして、支給とすることも有効な対策となる。
関連知識	アスベスト製のガスケットからノンアスベストガスケットへの変更 アスベスト製のガスケットが使用できなくなってから、ノンアスベスト製のガスケットに変更後、同様のトラブルが多発している。 漏えいが発生した当該のガスケットも、従来はアスベスト製のガスケットを使用していたがアスベスト製のガスケットが使用できなくなると材質変更を実施した。ブタジエンに対しては、PTFE製のシート材を挟み込んだ渦巻き型ガスケットが有効である。しかし、アスベスト製のガスケットより厚みがあるため、配管の面間が変わることで使えない場所もある。場所によっては漏えいした当該箇所のようにブタジエンの含浸が少ないガスケットを使用しなければならない場合もある。 長期的な対応としては、配管長の変更により面間を合わせて、渦巻き型ガスケットの使用を進める必要がある。ただし、渦巻き型ガスケットは片締めになり易いことから施工が難しく、取り付け作業者の技能が求められ、施工不良による漏えいのリスクもある。そのため、最新技術情報をメーカーなどより入手して適切なガスケット選定を継続的に検討することも必要である。 ガスケットの選定にあたっては、使用条件（温度、圧力、流体の種類・状態など）により耐久性が大きく影響を受けるので、使用者自らが使用条件で評価実験を実施し、問題が無い事を確認してから採用することが必要である。

解答と解説	配慮すべき事項 1 定期的な開放点検（内部点検）の実施 地盤面下に直接埋設する鋼製一重殻タンクは、地下水等の影響による外面腐食や構造上発見が遅れる可能性が高く、そのため被害を拡大させるおそれ大きいことから、法令で義務づけられている点検はもちろんのこと、それに加えて定期的な開放点検（内部点検）を実施することが望ましいと考える。定期点検や日常点検だけでは、タンク本体の状況を把握することは困難なことを覚えておくべきである。 2 経過年数 設置から 49 年経過していることから、外面塗覆装の剥離や外面腐食がかなり進行していると考えられるべきである。「腐食のおそれが高い地下貯蔵タンク」に該当しているのであれば、タンク本体の更新を検討する事や、内面コーティング等、早期に流出を防止するための措置を講じる必要がある。やむをえず措置の実施に時間がかかる場合は、事前に上記（１）に記載した開放点検（内部点検）を行い、地下貯蔵タンクの状況を把握しておくことが必要である。
関連知識	地盤面下に直接埋設する鋼製一重殻タンクは、現在の消防法令では設置を認められていないが、過去に設置したものについては、そのタンクの設置年数、外面塗覆装の種類及び設計板厚により、消防法令に定める措置を行うことで、継続して使用が認められている。（地下貯蔵タンクの分類と必要な措置に関するフローは次のとおり。） <pre> graph TD A[直接埋設鋼製一重殻地下貯蔵タンク] --> B[地下貯蔵タンクの設置年数、塗覆装の種類及び設計板厚に基づく腐食のおそれを評価] B --> C[腐食のおそれが特に高いもの (危告示第 4 条の 47 の 3)] B --> D[腐食のおそれが高いもの (危告示第 4 条の 49 の 3)] B --> E[それ以外のもの] C --> F["(1) 内面コーティング (2) 電気防食 ※(1)又は(2)のいずれかの措置を実施"] D --> G["(1) 内面コーティング (2) 電気防食 (3) 危険物の微小な漏れを検知するための設備 ※(1)、(2)又は(3)のいずれかの措置を実施"] E --> H[現在の基準どおり] </pre>

事故事例－３９	配管からの作動油漏えい							
教育対象者	製造部門	◎	保全部門	○	設計部門	○	開発部門	－
難易度	★	原因		維持管理不十分		災害種別	漏えい	
事故の概要	外面腐食により作動油配管に穴が開き、作動油が漏えいした。							
事故の経過	１ 設備用油圧式昇降装置の定期検査を行う為、系内の作動油（第４類第４石油類作動油）を抜いた。 ２ 検査完了後、作動油を給油し、当該設備の責任者（職長）は、昇降作動テストを行う為、油圧ポンプを起動し、作動油タンクから作動油を系内へ供給した。 ３ 職長は作動油タンクレベルが若干低下した事を確認した為、タンク周囲を確認したが、漏えいの確認は出来なかった。オイルが系内へ供給された事によりタンク内のオイルレベルが低下したものと判断した。 ４ タンクオイルレベルのローアラームが作動したが運転員はそのアラームを誤報と勘違いしリセットした。 ５ 職長が定時パトロールで現場確認を行ったところ、配管（鋼管）から作動油が漏えいしているのを発見した。 ６ 漏えいが発生した配管は、排水口に汚泥等が詰まり水はけが悪く湿度が高い環境のピット内に設置されていた。結果、配管外面が汚れ、水分も配管表面に付着しやすく、常に外面腐食しやすい環境であった。							
フロー図・写真等	概略図 ※ピット内の漏えいに気付かずにポンプを稼働させていた。							
設問	１ 異常なタンクレベルを正常なレベルと判断したのは何故でしょうか。 ２ アラームを誤報として勘違いする要因としてどのような事が考えられるでしょうか。 ３ 漏えいの直接原因は配管外面腐食による穿孔です。配管の外面腐食を防ぐために必要な確認ポイントとしてどのような事があるでしょうか。							

解答と解説	1 系内の作動油量や構造をよく理解していないと異常なレベル低下を良いと判断してしまう事が考えられる。 初期の作動油抽入後の液面低下と補充量を明確に規定しておく事が必要である。 2 1の正常な状態を理解していないにも関わらず、異常では無いという思い込みからアラームを誤報としてしまうケースがある。アラーム発報時には一つ一つ関連する事項を確認する。 3 本事例では水はけが悪く、また、外面が汚れていたために湿潤環境になっている。 ピット内に水が溜まらない様、排水口の点検を定期的を実施する。また配管に付着した埃が表面の湿潤環境を増長しているため、排水口の清掃とともに配管表面に塗装を施す等、防食環境を整える。 4 本事例では配管がピット内に設置されているが、極力、地上配管が良い。設備的に根本的に見直す際には、配管地上化を進める。
関連知識	1 発錆は、空気中でも起こるが、鉄の表面に水分が付着すると、更に進行が早まる。 雨滴のみならず、湿気や結露なども影響を与えるので、普段からのメンテナンスが大事である。 2 複数のアラームが発報するケースもあり、それらのアラームに重要なアラームが埋没してしまうケースもある。あれば便利というアラームと重要なアラームを区別し、発報するアラームの音色やインジケータの色を変える等して重要度を表すと効果的である。

解答と解説	1 配管漏えいの原因 腐食は孔食・局部腐食であり、検査ポイント数の不足や点での測定となっていたこと、並びに防食電位測定は内面からの腐食の状況（進行）を把握出来ないことから、埋設管の滞留部分の腐食状況を正確に予測できずに、漏えいに至った。 2 埋設配管の検査に係る注意点 埋設配管の検査は、下記に示したような項目・手法により行う。検査周期は当該配管の敷設仕様、過去の検査履歴及び配管の重要度から決定する。 (1) 配管内面の腐食状況の検査 (2) 埋設配管地表部の目視点検 (3) 埋設配管地表境界部の目視検査 (4) 保護管端部からの漏えい検査 (5) 電気防食配管の対地電位測定 (6) 漏えい検知管からの検査 (7) 点検ピット部分の腐食状況検査 (8) 部分掘削による検査 (9) 相関漏えい検知器による検査 埋設配管からの漏えい音を高感度加速センサーによって探知し、相関波形から漏えいの有無及び漏えい位置を探索する。 (10) その他の検査 超音波ピグ、渦流ピグなどにより減肉、損傷調査を行う。また、地上部の防食テープの巻終わり部についても、雨水が侵入するなどにより局部腐食の恐れがあるため、パトロールにおいて目視確認が必要である。 3 再発防止対策 当該タンク受入配管は設置した際に施工上防油堤横断部は埋設配管としたために、埋設部の肉厚検査が難しい状態となっていた。配管更新にあたっては、当該配管は埋設部を無くして地上化するとともに、配管仕様を SGP（配管用炭素鋼鋼管 8B 原寸肉厚 5.8mm）から STPG（圧力配管用炭素鋼鋼管 8B 原寸肉厚 8.2mm）に変更して厚肉化している。 検査方法としては、腐食状況を理解し、肉厚測定ポイントの選定・増加と孔食・局部腐食を見落とさない検査方法（面検査）の実施が必要である。定点測定箇所 1 ヶ所だけではなく、検査ポイントを増やし、また今までの点での測定ではなく面での測定を行い、局部腐食を見落とさないように改善している。
関連知識	電気防食について 電気防食法には、「流電陽極方式」と「外部電源方式」とがある。 1 流電陽極方式は、金属のイオン化傾向の高低を利用したもので、鉄よりイオン化傾向の高い金属（Al、Zn、Mg 等）を鉄とつなぎ、電氣的に接続し、両者間の電位差を利用して防食電流を流す方法である。鉄がイオン化（腐食）するのに代わって、それらがイオン化することにより鋼材の腐食を防ぐものである。 2 外部電源方式は、直流電源装置と補助陽極及び防食する鋼材と電気回路を作り、直流電源装置より防食電流を流し、補助陽極を通して防食電流を鋼材へ流す方法である。  図-1 外部電源方式の概念図  図-2 流電陽極方式の概念図

解答と解説	1 疲労割れの原因 (1) 直接原因 当該反応器にブタジエンを仕込む際、自動弁の開くスピードをコントロールしていないため、自動弁が素早く開き、ブタジエンが勢い良く流れ始めることで、配管が激しく振動していた。当該レジューサーは設置後、25 年経っており、長年、ストレスが掛かっていたため疲労割れを起こした。 (2) 間接原因 配管を固定している U ボルトが緩んでいることで、配管の振動が激しくなっていた。U ボルトは経年で緩んだものと思われるが、配管の激しい振動に対して、対策を講じていなかったことに加えて U ボルトが緩んでいたことが間接原因となった。 2 このような事故を防止するために実施すべき事 バルブを素早く開閉させると流体の慣性力により、ウォーターハンマー現象を起こしてしまう。ウォーターハンマー現象が発生した場合には、機器や配管などに負荷が掛かり、損傷につながるので対策が必要である。対策としては、バルブの開閉のスピードをコントロールし、緩やかに開閉することが必要である。 また、配管へのストレスを軽減するためには、適度な間隔で配管のサポートを設置することが必要であり、サポートの位置や向きを十分に検討することが必要である。 配管の振動が激しい場合には、原因を調査し対策を取る必要がある。
関連知識	配管の振動の原因と対策 配管が振動するためには何らかの力が配管に働いているが、例え同じ大きさの力であっても、その振動数が配管の持つ機械的固有振動数と一致するかどうかで配管の振動に大きな差が生ずる。振動の発生源の対策も必要であるが、配管サポートの見直しも対策として有効である。 振動の発生源としては、上記の事故例のように、急激な流体の流速の変化に伴うウォーターハンマー現象がある。対策としては、バルブの開閉速度を調整し緩やかとすることが対策となる。 往復動圧縮機や往復動ポンプのような流速が周期的に変動（脈動）する機器が原因になることも多い。対策として、アキュムレータの設置や、多連式の装置を使用することで脈動を押えることが有効である。 キャビテーションも配管や機器の損傷を起こす原因となる。キャビテーションは、何らかの原因で配管内の圧力が急激に低下し、液体の圧力が飽和蒸気圧以下となり液体が気体になり、その後圧力が再び飽和蒸気圧以上になり気体が液体に変わるときに衝撃が発生することである。例としては、液体が流れている管内のオリフィスによる減圧部などがある。このキャビテーションの発生は、減圧部であれば発生の可能性があり、減圧弁やポンプなどで問題になることが多い。 配管の振動の原因は、他にも多数有り、設計段階で全ての振動の発生を想定することは難しい。運転を開始後、振動や異音が発見された場合は放置せず、速やかな原因の調査と対策が必要である。

事事故事例ー 4 2	配管のラック接触部からのナフサ漏えい							
教育対象者	製造部門	○	保全部門	◎	設計部門	○	開発部門	ー
難易度	★★	原因		管理不足		災害種別	漏えい	
事故の概要	配管ラック(架台)上の配管点検中、当該箇所を点検するため配管固定用の U 字金具を取り外したところ、配管底部が開口し、内容物であるナフサが防油堤内に漏えいした。 流体：ナフサ（第 4 類第 1 石油類） 発災場所：オフサイト間の連絡用配管 使用期間：昭和 51 年設置（40 年間使用） 検査履歴：2 年前に肉厚検査実施（著しい減肉はなかった）							
事故の経過	当該ラックの連絡配管全てについて、ラック接触部の検査を行っていた。検査内容は、ラック接触部（配管下部）で配管に保護板又は防食板が無い配管について、配管を吊り上げて接触部の状況について非破壊検査（肉厚検査）を実施して、問題がなければ防食板を取り付ける作業を実施していた。 当該配管には防食板はなく、ラック梁に U 字金具で固定してあったので、U 字金具を外した際に、配管がラック梁から少し浮き上がることで、配管に開口を生じ、内容物のナフサが漏えいした。 なお、ラックとの配管接触部は、上部のケーブルダクトの開口部から雨水がたれ落ちていた為に錆が付着していた。							
フロー図・写真等	配管ラック断面図 漏えい配管の写真							
設問	以下に掲げた設問について経過等を確認し、どうすればこの様な事故を未然に防ぐことが出来たか考えてみてください。 - この配管から、なぜ漏えいが発生したのでしょうか。 - 今回のような漏えいを未然に防止するためには、どのような検査手順が必要ですか。 - 再発防止を考慮し、この配管の適切な設置方法を考えてみてください。							

解答と解説

1 配管漏えいの原因

当該配管は設置時から 40 年が経過していたが、定期的に定点で肉厚測定と外観目視検査を実施して著しい減肉傾向はなかった。

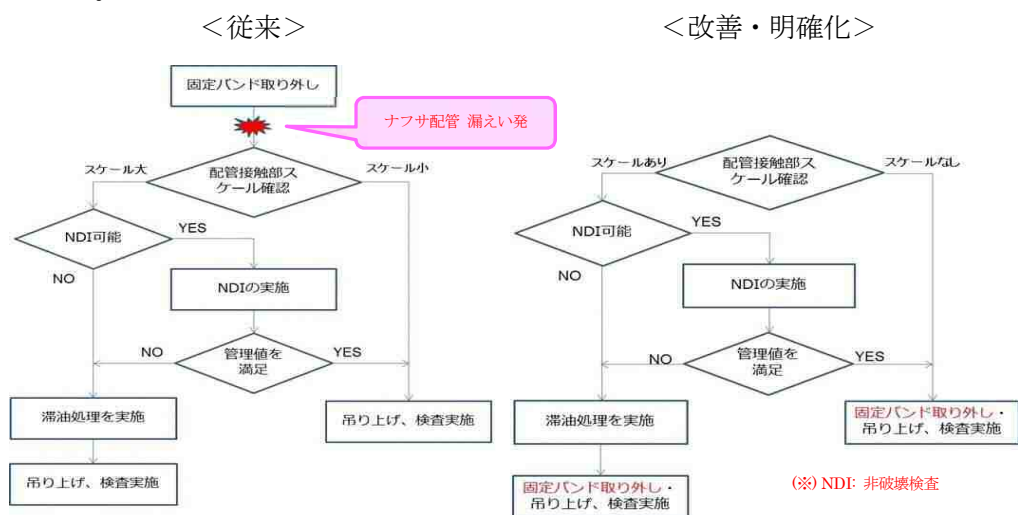
直接原因としては、配管ラック断面図のように、配管上部にケーブルダクト及びダクト支持アングルが設置されており、そのダクトが腐食しており、ダクト内に浸入した雨水及び外表面から伝わった雨水が当該ラック接触部に集中的に滴下する環境にあったことにより、ラック接触部での外面腐食が経年的に進行して開口につながったと思われる。U 字金具で固定されていたので、外部への漏えいはしていなかった。

間接原因としては、配管を吊り上げる際は、接触部の状況を確認してスケールの付着状況に応じ非破壊検査（超音波探傷検査）を実施する手順であったが、準備作業で固定している U 字金具を取り外した際に、配管が少し浮き上がり開口部から漏えいが発生した。

2 再発防止対策

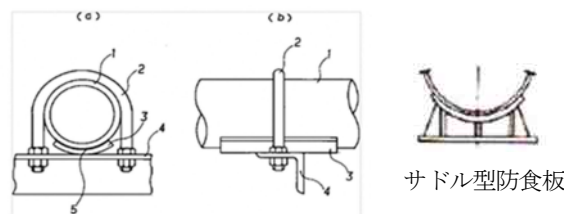
(1) 検査手順の改善

従来（当該漏えいの発生前）においては固定バンド取り外しを最初に実施していたが、検査手順を改善し、ラック接触部の配管が健全であることを非破壊検査で確認するか、あるいは、それが確認出来ない場合には配管内の液抜き処理を実施した後、U 字金具の取り外し・配管の吊り上げを許可する手順に改めた。



(2) 配管ラック接触部への防食板取り付け

配管を設置する場合はラック接触部にはサドル型の防食板を取り付ける。



※対策工事後のイメージ図 防食施行配管印断面図 (a) 及び側面図 (b)

1:配管、2:U 字型配管固定用金具、3:防食板、4:ブラケットなど配管指示部材、5:接着剤層

出典：配管支持部における配管の防食方法および防食工法（JFE プラントエンジニアリング株式会社）より

関連知識

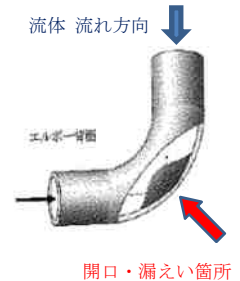
外面腐食は大気中の水分等により、保温材下や接触部に生じる炭素鋼及び低合金鋼の電気化学的な湿性腐食である。いわゆる錆の発生により、経時的変化で腐食が進行する。

※神奈川県安全防災局工業保安課「高圧ガス配管外面腐食検査に係る技術資料」—標準的な検査手順・手法等に関する提案— 平成 19 年 3 月を参照のこと。

解答と解説

1 原因

- (1) 当該配管は、設置後 35 年を経過しており、配管内部の流体には、上流の装置から微量の塩化物 (0.3ppm) と水分が含まれており、凝縮する部分において塩酸となり、塩酸による減肉が進行したと考えられる。
- (2) 漏えい部は流体がトリムクーラーを出た垂直配管の最初のエルボ部であり、気液混相の流体が乱流状態で最初に衝突する位置で当該エルボ部の背側のエロージョン (減肉) が進行したものと考えられる。
- (3) 今回漏えいした配管系統の設定された複数の定点測定箇所の中に、当該エルボ部は含まれていなかった。また、漏えい箇所は 3 階ステージ直下の検査し難い箇所でもあった。



2 再発防止対策

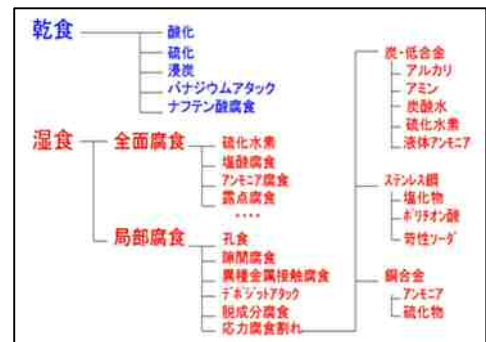
- (1) 内面腐食が想定される箇所 (液滞留部、エロージョン発生部、溶接線近傍等) を定点測定箇所・検査部位として適切に選定する。
- (2) 検査方法に関し、放射線透過試験の多用により、点ではなく面での管理を強化する。また更なる新検査技術の適用も検討する。

関連知識

腐食現象の概要

腐食とは、金属が使用される環境において、化学的反応により損傷される現象で、全ての金属及び合金は、特定の環境に対しては耐食的であるが、他の環境に対しては敏感である。一般にあらゆる環境に対して耐食的である工業用金属は存在しない。

腐食は、発生する環境面から、高温ガス等の乾燥環境で発生する「乾食」と、水分が関与する「湿食」がある。さらに腐食形態から全面腐食と局部腐食に分類されている。



湿食の種類 (全面腐食) の例

損傷名	概要	事例(発生部位)
硫化水素による腐食	硫黄は原油中にはメルカプタン、チオフェン等の有機化合物の形態で含まれ、加熱により硫化水素を発生する。この硫化物の分解は生成した硫化鉄スケール中に水素が侵入形プロトンとして入り込み、金属空孔を増して多孔質化することにより保護被膜性を阻害し、剥離、生成を繰り返して激しい腐食となる。	・水素脱硫装置の反応塔周辺の高温高圧機器や配管等
塩酸腐食	塩酸は金属に対しても腐食性の強い酸の一つである。これは塩酸が最強の強酸のうえに、アニオン側の塩素イオンにより硫酸イオンの場合に見られる難溶性の金属塩を生成して不動態化することがないためである。	・原油常圧蒸留装置
アンモニア化合物	高温高圧のアンモニア環境では、Cr, Al, Ti, SiなどがNと反応して固い窒化物を作る。このとき副生したHが鋼中に存在する不安定な炭化物と反応してメタンを生成するので、水素浸食を伴い鋼は脆性を持って脆化する。	・灯油・軽油水素化脱硫装置の反応塔 ・接触改質装置
アミン腐食	アミン類(MEA, DEA等)はガス中の酸性ガス、たとえばH2Sを選択的に吸収除去するガス処理装置(GT)で使用するが、特にH2SやCl2と水の共存により腐食が著しい。	・ガス処理装置

解答と解説	1 ガasket選定時の変更管理上の反省と教訓として最も重要なものは、ガasketが使用される条件(化学組成・温度・圧力)で、十分な事前評価を行わず、実機に使用した点である。 問題:2006年9月の代替ガasket選定は液体のスチレンなどの含浸テストを行ったが、常温常圧で気体であるブタジエンを用いてオートクレーブなどを用いた液相や気相のテストを行わなかった。また、半年に1回マンホールフランジを開放した際のポリマー付着に対して、顕微鏡等を用いたガasket内部の詳細な観察や、強度確認等の評価を行わなかった。 アスベスト含有ガasketをノンアスベスト化する際は、変更後においてもガasketの最新情報を入手し、使用している機器に対する評価を行うことが重要である。新しいガasketを採用する場合は、メーカー推奨を参考にするとともに、事業者が同じ使用条件で評価試験を実施し、問題ないことを確認することが重要である。 対策:マンホールガasketはこの反応器の他のマンホールフランジで実績のあるステンレス包み膨張黒鉛製ガasketに変更した。この反応器の他の部位(液相・気相を含む)で使用していた300番のガasketを全て確認したが異常はなく、気相のブタジエンに特有の現象であると判明した。 2 クランプ止めマンホールの締結上の課題と教訓として最も重要なものは、一般のフランジに比べて金属部分が薄く、面の均一性が異なることから、締結管理がより重要であることを考慮し、締め付け圧力を管理すべきであった。 問題:漏えい後の締結力が低下していた結果、反応性モノマーがガasketの端面ばかりではなく上下面からもガasket内部に含浸していたと考えられる。含浸した反応性モノマーはガasket内部で重合し、グラファイトおよびPTFE組織を破壊したと推定される。 ボルト締め付け方式のクランプ式継手(自緊式クランプ型管継手を除く)は構造規格がないことから、クランプ・フランジ及びガasketの設計・使用環境・ボルト軸力などの相互作用によりガasket面圧が不均一となって、内部流体が漏えいすることがないよう、慎重に締結管理を行うことが重要である。 対策:締め付けトルクの低下がみられたことから、材質をメタルジャケットに変え、ガasketの締め付けトルクを増加し、熱運転後に増し締めし直すなど、トルク管理を行うこととした。
関連知識	石綿使用禁止にともない、非アスベスト化は化学装置の随所に影響を及ぼしている。事業所はこの教訓を活かし、他の製造工程に水平展開を行って問題点の解消を図った。更にガasket選定基準を制定し、継続的に評価を行っている。 なお、使用したガasketは、重合性モノマーに対して、選定時はメーカー推奨品であったが、その後メーカー推奨品から外されている。

解答と解説	1 バルブの確認作業 バルブの定期点検、運転スタート前後の確認を実施していなかった。そこで、対策としてバルブの点検を強化する。 (1) 設備開放後の運転スタート前には気密試験を行うが、運転再スタート前にも毎回気密試験を行い、バルブ周りにおいても漏えいがないことを確認する。 (2) 運転スタート後に、可燃性ガス検知器による漏えい確認を行い、バルブ周りにおいても漏えいがないことを確認する。 (3) 溶剤回収塔の定期開放検査時に、点検周期を決めてボルトの緩みを確認し、必要により増し締めやバルブ交換を行う。 2 その他の対策 (1) 設計の見直し 当該圧力計を使用していないのであれば、当該バルブの撤去も必要である。 (2) ホットボルティング 熱の影響が大きい箇所については、ホットボルティングが必要である。 (3) 教育 事故事例教育の題材とすることも必要である。
関連知識	1 ホットボルティング 低温時に締め付けたボルトを温度上昇に合わせて増し締めしていくことを「ホットボルティング」と言う。設備の使用温度の変化でボルトの軸力低下がほとんど見られない場合には不要であるが、振動がある箇所については必要な場合があるので注意が必要である。 2 バックシート 逆座（バックシート）は全てのバルブに付いているとは限らないが、逆座を有するバルブでは、グランド部からの漏れを発見して、増締めをしても漏れが止まらない場合に、バルブを全開にしてバックシートを効かすと漏れが止まる場合がある。なお、この状態では液やガスがバルブ内に封入されているため、安全な場所でバルブ内の残留液やガスを抜く必要がある。

解答と解説	1 漏えいの原因について (1) 内圧の上昇 配管の出口側バルブが閉状態となると、配管吸い込み側がフート弁となっているため、配管の両端が弁で閉鎖された状態になっていました。送液中は約 15℃ だったオイルが、計量完了後すぐに出口側バルブが閉められ、外気温や日光により温められ配管内のオイルが温度上昇 (35～40℃) したことにより熱膨張し配管の内圧が上昇した。 2 漏えい (配管内の圧力上昇による) 防止について (1) リリーフ弁 (安全弁) の設置 配管内の圧力が上昇した場合の圧力開放としてリリーフ弁を設置する。(下図参照) 内圧が上昇した場合、リリーフ弁が解放され膨張分が貯蔵タンクへ戻される。 (2) リリーフ弁 (安全弁) の点検 リリーフ弁も設置環境や経年等により、設定圧力通りの動作をしなくなる場合がある。そこで定期的に点検を行い、仕様通りの機能を有しているか確認する必要がある。 図 対策 (例)
関連知識	本事例のように密閉された液体は温度上昇により (膨張し) 圧力が大きく上昇する。そこで液体の危険物を容器内に保管し運搬する場合は、内容積の 98% 以下の収納率で収納し、55℃ の温度において漏れのないように十分な空間容積をとることなど、法 (危規則 第六章 運搬及び移送の基準) で規定されている。

解答と解説	1 レベルスイッチ（センサー）の選定 粘性が高い、溶媒が揮発した場合にどのような状態になるかなど測定物の性質を考慮したレベルスイッチの選定ができていなかったことが本事故事例の主原因である。 適切なレベルスイッチ、センサーを選択するために、検出する測定物の性質を良く確認すること、使用するセンサーの特徴、仕組みを良く理解することが重要となる。 2 安全装置（及びシステム）の不足 本事故事例を例にすると、サービスタンクに溶液を供給する時間に上限を設定し、設定時間に達した場合は供給を停止することでより安全性を確保することができる。 装置の安全性を向上するためには、安全性を確保する仕組みを2つ以上設けることも有効である。また、誤動作すると設備としては動かないまたは安全方向に動作する仕組みを付加するとさらに安全性が向上する。 3 安全装置のチェック 安全装置が正しく動作することを維持することが装置の安全性を確保するため必要である。そのためにも、動作チェック等が行えるようなメンテナンスの容易さを設備設計段階から考慮することが大切である。
関連知識	レベルスイッチ等液面センサーの種類について代表的なレベルスイッチ、センサーについて紹介する。 1 フロート式レベルスイッチ フロートが浮力によって上下し、フロート内のマグネットによりリードスイッチが作動する。コストが比較的安く設置も容易であるが、粘性の高い液体、固形物が混入している液体、比重の軽い液体、高圧の場所等では故障や誤検知をする可能性があるので使用については注意が必要である。 2 静電容量式レベルセンサー 測定物の誘電率と空気の誘電率との差を計測して測定物の有無を検出する。 センサー部の形状がシンプルであるが、設置方向（垂直、水平）や設置する容器の材質によって検出精度が変化する。粘性の高い液体にも対応するが、濃度変化があるような溶液は、液体の誘電率が変化し検出精度に影響があるので注意が必要である。 3 パドル式（回転式）レベルセンサー 羽根（パドル）が先端についたシャフトを回転させ、測定物が羽根に触れると羽根が停止し、その停止の検知を液面レベルとして検出する。主に、粉粒体のレベル検出に使用されている。 その他各種レベルスイッチ、センサーがありますが、各メーカーが公開している情報を収集し、より適切な機器を選定する必要がある。

解答と解説	1 運転管理上の不備 (1) シールポットのシール水供給停止 除害装置行の弁が開の状態にも拘らず、シールポットのシール水補給弁を閉止したため、シール水の蒸発による液面低下に伴い、第2スタフィンボックス内圧力も低下し、除害装置運転圧力（当時～200mmH₂O）以下まで低下したところで、除害装置側からガスが逆流して来た。 (2) マニュアルの不備 停止操作マニュアルにはシールポットへのシール水補給弁操作について記述がなかったため、現場作業員の判断で補給弁の（閉止）操作が行われた。本来、圧縮機停止時にスタフィンボックスへの窒素ガス供給弁及び除害装置行ラインの弁を開操作する場合は、シールポットへのシール水補給弁も開と（第2スタフィンボックスの圧力補償）しなければならないが、マニュアルにはその操作が明示されていなかった。 (3) 圧縮機構造の周知不足 現場作業者は圧縮機の構造を理解していなかったため、シール水補給弁を閉止した場合の危険（シール水液面の低下に伴う除害装置側からのガス逆流の可能性）が予測出来なかった。 2 再発防止に向けた対策 (1) 運転管理上の対策 ア 操作マニュアルに停止操作時の際のシールポットへのシール水補給弁「開」操作を明示すると共に、閉止した場合の危険想定（ノウホワイ）も記載する。 イ 現場のシール水補給弁に「常時開」札を設置するなど、現場での誤操作防止を図る。 ウ 圧縮機運転・停止操作だけでなく、圧縮機の構造やそれぞれの機能に関する教育を定期的に行う。 (2) 設備管理上の対策 圧縮機のグランドパッキンはその機能を維持継続させるために、圧縮機の使用環境（流体、稼働時間等）に応じて交換時期を設定する。
関連知識	1 シールポットの運転管理 シールポット内のシール水液面管理は非常に重要であり、管理を怠ると有害ガスの漏えいや機器の破損・変形を生じさせる恐れがある。そのためにも、シール水の液面が正常な位置にあることを容易に確認出来る構造に（サイトグラス、レベルゲージ、フローゲージ等を設置）しておく必要がある。 2 グランドパッキンの選定 グランドパッキンの形態として一般的なのが「ブレードパッキン（編組パッキン）」で、様々な材料の繊維に潤滑剤等を含浸させ編み上げたものです。 繊維材料としてはグラファイトやテフロン（TPFE）、バーミキュライト（蛭石）、インコネルワイヤーで補強したものなどがある。 グランドパッキンの選定に当たっては、①流体（プロセス）、②使用温度、③使用圧力、④使用速度（回転数）を考慮して形態や材質を選ぶ。 グランドパッキンには潤滑剤等を含浸させて気密性や低摩耗性を持たせているが、経年的な潤滑剤の劣化によってグランドパッキンの変質や硬化が生じることがあるため、使用環境に応じて交換時期を設定しておく必要がある。

解答と解説	1 発生原因に繋がる不具合・問題点 (1) 消耗部品の長期未点検 本流出が発生した当該弁は、本体装置設置（45 年経過）と同年数の期間使用されてきたが、弁内部シール材等の交換等がなされずに使用を続けた為、劣化が進行し、流出が発生した。 (2) 使用機器に関する知識不足 使用機器の構造を正しく理解していなければ、日常管理等が実の有るものと成らない可能性が高い。又、異常時にも正確な判断や措置が出来ない。 (3) 内部漏えい現象に対する未報告 2 事故防止 (1) <u>シール材等は、消耗品である事を良く認識し適切な交換周期を設定、定期交換を行うべきである。</u>使用頻度や環境より異なるが、取扱説明書や機器製造メーカーへの確認等を行い推奨交換周期をベースに交換周期を設定、保全部門と良く連携しカレンダー化を行う事により抜けが生じない工夫を実践すべきである。 (2) <u>機器構造を正しく理解する為に社内・グループ内教育の充実が必要である。</u>又、取扱説明書は使用開始時のみならず、職場のバイブルとして継続的に教育等に活用する事。 (3) 不明なところや気が付いた点は、<u>日頃から上長や保全部門と（報告）・相談・連絡を行う事を習慣付けると共に、それらがし易い職場雰囲気構築していく必要が有る。</u>危険物は、文字通り“危険な物質”である。その事を職場全員の認識とし事故防止に繋がる教宣・意識付けを実践する事。
関連知識	シール材の選定 シール材は、その材質（ニトリルゴム、フッ素ゴム、シリコンゴム等）、形状（Oリング、パッキン、メカニカルシール等）多くの種類が有り、油種や使用温度と言った使用環境に適した選定に留意しなければならない。交換等を行う際は、各機器メーカー、シールメーカーと相談するか各機器の取扱説明書の確認を励行する事。

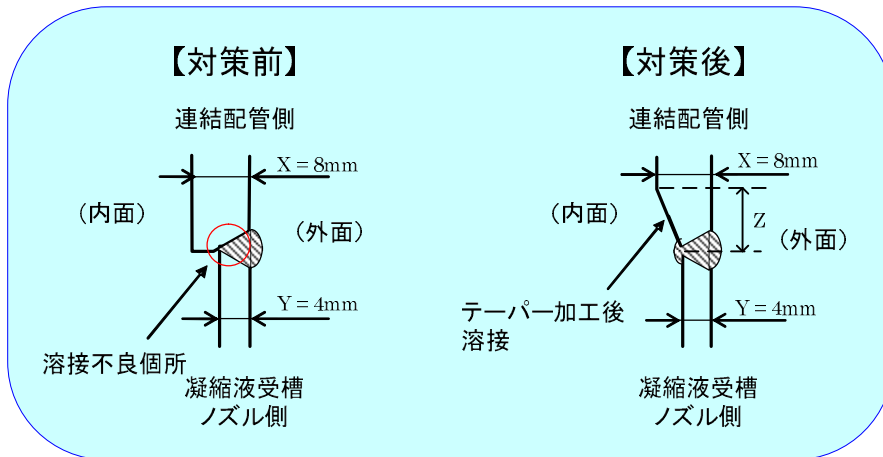
解答と解説

1 注意点

板厚が大きな部材の突合せ溶接では、応力の集中を避けるため、テーパを設けて滑らかに連続的にしなければならない (JIS B 8265 「压力容器の構造」6.3.2 参照)。

厚い方の板厚 (X)、薄い方の板厚 (Y) とすると、板厚差 (X-Y) が、薄い方の板厚の 4 分の 1、又は 3.5mm の何れか小さい値を超える場合、すなわち、 $(X-Y) > Y/4$ 、又は $(X-Y) > 3.5\text{mm}$ の場合である。

本事故事例では、 $(X-Y) = 4\text{mm}$ 、 $Y/4 = 1\text{mm}$ であり、テーパ部を設ける必要がある (下図参照)。なお、テーパの長さ (Z) は、板厚差 (X-Y) の 3 倍以上、すなわち 12mm 以上とする。



なお、実際に行なった対策は、(1) ～ (3) である。

(1) テーパー加工

熱応力の影響を検討の上、不連続面のテーパ加工を行なった。また、水平展開として同様の箇所が無いかを調査し、問題ないことを確認した。

(2) 設計要領類の見直し

ア 大きな板厚差が生じないように、設計基準に明記した。

イ 施工者の計画をチェックする際の、チェックリストを見直した。

(3) 教育

発注者及び施工者に対して、事故事例教育の題材とした。

2 熱応力の軽減対策

連結配管には凝縮前のガスと凝縮後の液が流れ、常に温度変化が生じる。また、連結配管は上側の凝縮器と下側の受槽に拘束されており、熱応力の影響を受ける所にある。この様な設備を設計する際には、熱応力の影響を緩和するため、機器の配置や配管へのエキスパンション設置を設計に反映する必要がある。これらの対策がやむを得ず実施できない場合には、注意事項を溶接施工要領や工事仕様書に明記する必要がある。

関連知識

JIS B 8265 「压力容器の構造」 6.3.2 についての補足

- 1 溶接継手の一部又は全てをテーパの一部とすることができる。
- 2 テーパー部を厚い方の母材を削って形成する場合、最小厚さは計算厚さ以上とする。
- 3 テーパーは外面又は内面のいずれでもよい。
- 4 テーパー部を必要とする長さの内に溶接継手を含めてもよい。

解答と解説	1 ドレン弁の詰まり除去作業 下向きのドレン弁が、ゴミの堆積や流体の固化などで詰まることがある。このような場合に、安易に番線等を使用して詰まりの除去をすると、内容物が噴出する事故が危惧される。 ドレン弁の詰まり傾向が確認された際は、設備（運転）を停止して除去作業を行うのが原則であるが、やむを得ず運転中に行う場合は、クローズ化（大気放出しない）した系内での作業を優先して行う。具体的には中低圧スチーム等によるパージによる除去（内部流体により適切な媒体を選定する）等が推奨される。完全に閉塞している場合は、水圧、油圧等のポンプを使用し堆積物の除去を行う。 2 硫化水素を含んだ排水を取り扱う場合の安全対策 高濃度の硫化水素を含んだ排水を大気中に直接放出しない事が原則であるが、止むを得ず大気に放出する際には、以下の安全対策を実施する。 ・作業員は、エアラインマスク等の保護具を装着して作業を行う。 ・作業エリア周辺は、保護具を装着した作業員以外の立入を禁止する。 ・硫化水素用のガス検知器を設置して作業環境測定を行いながら作業を行う。																
関連知識	硫化水素の危険性をあらためて認識することが重要である。 硫化水素（H_2S）は空気より重く（比重 1.1905）、無色の気体で、水によく溶け、弱い酸性を示し、腐った卵に似た特徴的な強い刺激臭（腐卵臭とはそもそも硫化水素が主成分の臭いである）があり、目、皮膚、粘膜を刺激する有毒な気体である。 人工的な発生源としては、石油精製工場や石油化学工場などがあり、また、下水処理場、ごみ処理場などにおいても、硫黄が嫌気性細菌によって還元され硫化水素が発生する。また、飲食店などの厨房排水で設置される分離槽や溜め枡内で、閉店後水が動かなくなると非常によく発生する。 硫化水素（H_2S）の濃度対危険度 <table border="1"> <thead> <tr> <th>濃度（単位：ppm）</th><th>作 用</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.003</td><td>臭いの感知の下限度</td></tr> <tr> <td>5</td><td>不快臭となる</td></tr> <tr> <td>50 - 100</td><td>気道刺激、結膜炎</td></tr> <tr> <td>100 - 200</td><td>嗅覚麻痺</td></tr> <tr> <td>200 - 300</td><td>約 1 時間で亜急性中毒</td></tr> <tr> <td>600</td><td>約 1 時間で致命的中毒</td></tr> <tr> <td>1,000 - 2,000</td><td>即死</td></tr> </tbody> </table> 引用元：労働省安全衛生部監修、中央労働災害防止協会編 「化学物質の危険・有害便覧」（1991.06）	濃度（単位：ppm）	作 用	0.003	臭いの感知の下限度	5	不快臭となる	50 - 100	気道刺激、結膜炎	100 - 200	嗅覚麻痺	200 - 300	約 1 時間で亜急性中毒	600	約 1 時間で致命的中毒	1,000 - 2,000	即死
濃度（単位：ppm）	作 用																
0.003	臭いの感知の下限度																
5	不快臭となる																
50 - 100	気道刺激、結膜炎																
100 - 200	嗅覚麻痺																
200 - 300	約 1 時間で亜急性中毒																
600	約 1 時間で致命的中毒																
1,000 - 2,000	即死																

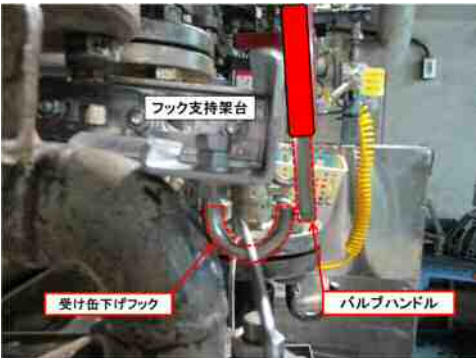
解答と解説	1 フランジの適正締付けトルク値の設定や定期的なトルクチェック 2 サーモサイホン式ヒートパイプの機能維持 (1) 生産設備停止時の蒸留塔運転手順の決定。 (2) 蒸留塔液面アラームの設定値を高めで管理する。 (3) アラームに対応して蒸留塔液面レベルコントロールバルブが閉止するシーケンスの設置。
関連知識	1 フランジ面のシール性を確保する為に、適切に締付トルクを管理しなければならない。特にフランジ面に熱変化が想定される場合、定期的なトルクチェックや必要に応じた増し締めを行う。 2 サーモサイホン式はヒートパイプ内に充満している物質の温度差で対流する事により機能させるものである事から、ヒートパイプ内は常に対象物質で満たされている必要がある。 ヒートパイプ内を充満させるためには蒸留塔内の液面レベルを一定以上に維持しなければならない。

解答と解説	1 粘度が高い流体の温度を管理できる制御システムになっていない。 問題点：前頁フローに示すように、熱媒タンクの温度計は2系列あり、I/L 作動用の温度計は上部に、温度調節用の温度計はそれより 100mm 下に設置されている。熱媒の温度が低く粘度が高くと、ヒータ加熱によって上部の熱媒が流動して温度上昇しても、熱媒温度を制御している下部温度計は、熱媒の粘度が高いため循環せず低い温度を示し、加熱され続ける可能性がある。 解決策：下記3点等の対策が必要である。 (1) このような流体を取り扱う場合は温度計の数を増やして夫々を表示・制御し、かつ I/L の接点として取り込む。 (2) 一定流量以上でポンプ循環されていなければ、ヒータ加熱されないシステム設計を行う。 (3) 空焚き防止などヒータそのものの過昇温防止装置を追加する。 2 I/L をリセットすると加熱が再開される、不安全側に作動する設計だった。 問題点：従来から I/L の作動とリセットは発生しており、この装置を熟知した実験担当者が運転マニュアルに基づいて加熱電源を切りにすることで事故を防いできた。しかし当日はうっかりミスで加熱電源を切りにせず帰宅してしまった。人間のミスが不安全状態を作り出す制御システムであった。 解決策：I/L をリセットした場合、安全側に停止するシステムに改善する。 (1) 必要な安全装置は入のまま保持とする。 (2) それ以外の不安全側に作動する原料供給・加熱・加圧などは、停止したまま保持とする。 具体的には I/L をリセットしても熱媒ヒータ電源は切りのまま、有機物の流入防止のため流量調節弁や遮断弁の閉止を継続する、等である。
関連知識	 この設備は過去に他地区で実験者が作り込んだ装置であったが、移設した後に本格的に終夜運転を行うなど重要な装置となった。移設時に熱媒ヒータの電源が、制御盤の裏側に設置され、通電状態を確認し難かった。当時は現在行われているような変更管理を行っていなかった。 実験装置といえども、配置や I/L 構成など設計に関する安全思想が、属人的にならないよう、第三者がチェックする必要がある。そうすることで、このような設計ミスによる災害発生を防止する必要がある。

解答と解説	1 手順を守ることの重要性 (1) 手順を定めている背景や理由の説明 いくら完璧なチェックリストを作成しても、手順を無視しては意味が無い。決めたことには必ず背景や理由があるが、なぜ、このような手順を定めているのか理解する必要がある、その内容を理解・納得できない場合には、人は守らなくなる。 作業員に手順を守ることの重要性を理解させるためには、次の事項の説明を加えた教育が望まれる。 ア その手順を行う背景・理由（ノウホワイ）の説明 イ その手順を守らない場合に発生するトラブル事例の説明 ウ 過去の類似事故事例の説明 (2) ベテラン作業員の落とし穴 ベテランの作業員は、設備の癖や取扱作業の危険性を経験的に心得ているが、作業の慣れから手順を無視したり、作業時間の短縮のために手順を省いたりする傾向が見られる。 人の意識は低下しやすいので、作業手順の遵守について維持する活動も求められる。定期的な訓練を繰り返し行うことも大切であるが、本人の仕事に対する心構えや意識の問題でもあるので、事故を起こしたときに失う物の大きさや手順無視が招いた悲惨な結末など、直接的に心理に働きかけるような教育も、必要である。 一方、コンプライアンスという観点から、作業手順を理解、遵守し、他の作業員に模範となるような作業員に対して、目標を与えて役職や褒賞を授けることも、やる気を起こさせることから遵法精神を育てる上では効果的である。 2 チェックリストの作成と活用 人は忘れたり勘違いを起こしやすいので、チェックリストによる点検・確認を行うことが有効である。チェックリストは、「設備」、「環境」、「制度」、「管理」、「人」の面から、作業内容や作業場所に応じたチェック項目を作成する。 本事故の例であれば、「防護柵の水抜きドレン弁は閉止されているか。（設備）」や、「車両の傾斜によるオーバーフローの危険は無いか。（環境）」といった項目がこれに当る。 また、誰もが同じレベルで作業を実施するためには、誰が、いつ、何を、どのような方法でチェックしたのか、「見える化」を行うことが重要である。 さらに、チェック項目ごとに指差呼称を実施することは、本人の意識のみならず、周囲の作業員等に注意喚起を促す上で、極めて重要なことである。 3 ダブルチェック 重要事項に関しては、「保安監督者の立会いを受けているか。（管理）」といったダブルチェックも行う。 【再発防止対策(某社事例)】 1 日頃の習得状況を確認するために荷卸しコンテストを実施した。 2 チェックリストを見直して、乗務員、立合者もしくは両者が確認する項目について明確にした。 3 ハッチごとに充填しているドラムの本数を示す表示ボードを作成し、乗務員がどの様に積込んでいるか立合者も確認できるようにした。
関連知識	1 タンクローリーのタンクの空間容積を把握しておく。 2 過去からの慣例として実施しており、自工場の機器を使用しない作業には、手順がない場合があるので、手順の有無を確認する。 3 危険物施設内で行う作業について、立会者が確認すべきポイントを明確にして、乗務員任せにしないことが必要である。

解答と解説	1 原因 (1) 人的要因 ア ゲートバルブの開度を大きく開け過ぎていた。 イ 油が予想よりも速く大量に出てきたことで、パニックになった。 ウ バルブハンドルと作業位置が逆であった事により、更にパニックになった。 エ 逆手で操作した上にパニックが重なって、ハンドルを「開」方向に逆に回した。 (2) 設備要因 作業スペースの制約から、仮設ベントをバルブハンドル側に向けて設置できなかったため、バルブハンドルの正面でハンドル操作ができなかった。 (3) 環境（手順・方法）要因 ア 足場が高所且つ配管上で不安定だったので、片手で受け缶を保持しつつ、もう片方の手でバルブ操作をせざるを得なかった。 イ かがまないと作業できない狭い場所だった。 ウ バルブハンドルに正対できる位置に受け缶を設置する余地がなかった。 (4) 管理要因 非定常作業手順書作成者（＝作業員）は、手順書作成に当たり、少量の油が飛散することは予見したが、大量漏えいには想像が及ばなかった。即ち、手順書作成者の習熟度によって、手順書の内容にばらつきがあり、危険予知項目等を事前に管理者（上司）と共有化する仕組みがなかった。 2 対策 (1) 人的対応（教育指導の徹底） ア 事例を共有化し、ゲートバルブの特性（遊びがあること、残り 1/3 回転くらいから流量変化大）を考慮した基本操作の遵守を再徹底する。 イ 作業員全員にエア抜き作業を題材とした危険予知訓練を実施する。 (2) 設備対応 バルブハンドルの正面で操作できるよう、当該箇所 7 基のバルブの向きを正反対（180° 反対側）に改造する。 (3) 作業環境の改善（受け缶転倒防止措置の追加） 配管上でエア抜き作業を行う場合は、受け缶を置けるよう足場板を設置するか、もしくは受け缶を結束する等の転倒防止措置を講じる。 (4) 管理面の対応 危険予知項目等を事前に管理者（上司）と共有化する仕組みとして、「非定常操作要領作成の手引き」を作成し、手順書作成時の留意点を明確にすることで、記述内容の標準化を図る。
関連知識	ゲートバルブの特性 1 ゲートバルブには遊びがあるので、ハンドル操作に応じて、流量がリニアに増減しない。 2 バルブ「閉」の場合、最初の 2/3 くらいまでは流量にあまり変化がなく、残り 1/3 から流量が減る。

事件事例－５６	ドラム充填作業におけるバルブ閉止忘れによる漏えい							
教育対象者	製造部門	◎	保全部門	○	設計部門	—	開発部門	—
難易度	★	原因		操作抜け・監視不充分		災害種別		漏えい
事故の概要	小ロット品ドラム充填準備中、共用充填ライン配管内の前油残油を受け缶に回収し、廃油ポットに廃棄する際、充填口先端バルブを閉め忘れたまま、次に配管内を充填油に置換するためタンク底弁を開けたことで、油（第４類第３石油類）がオイルパン内に約２４Ｌ漏えいした。							
事故の経過	１ ドラム充填開始前の準備作業において、まず、共用充填ライン配管内の前油残油を受け缶に回収する。 ２ 次に、受け缶に回収した前油残油を廃油ポットに廃棄し、空いた受け缶を再び充填口に設置するため、一旦、充填口先端バルブを閉止すべきところ、<u>充填口先端バルブの閉止を忘れた。</u> ３ 次の工程では、共用充填ライン配管内を充填油に置換するため、タンク底弁を開け、充填油で配管の共洗いを行う。作業者は、「充填口先端バルブを閉め忘れた」認識がなかったので、タンク底弁（エアーバルブ）を開くレバーを操作した。 ４ その直後、作業者は、予め手元に用意しておくべきサンプル瓶を準備していなかったことに気づき、３ｍほど離れた置場にサンプル瓶を取りに行くため、持ち場に背を向けて目を離した。（この間１分足らず） ５ 作業者がサンプル瓶を取り出して持ち場に戻ると、受け缶から溢れ出た油が、計量器直下のオイルパン内に漏えいしているのを発見した。 ６ 作業者は、他の職場から異動して１ヶ月足らずと経験が浅く、作業手順に対する理解が不十分だった。 ７ なお、当該設備は少量多品種専用ラインで、１バッチ当りの充填本数が限られるため、ポンプではなく重力で油をタンクから排出する構造で、且つ定量弁もなく、計量器（秤）のデジタル表示重量を目視確認しながら、手動のバルブ操作で充填量を調整する仕組みである。							
フロー図・写真等	A: 充填口先端バルブ B: タンク底弁（エアーバルブ） < 充填設備フロー図 > < 充填口先端バルブ拡大 >							
設問	本事例は、技能未熟に起因する至極単純なヒューマンエラーですが、こうしたミスは、人の注意力に頼っているだけでは、なかなか防ぎ切れません。 教育・訓練の充実や現場表示の改善は勿論のこと、加えてヒューマンエラーを防ぐための設備面の対応が求められます。あなたなら、どのような再発防止策を考えますか。							

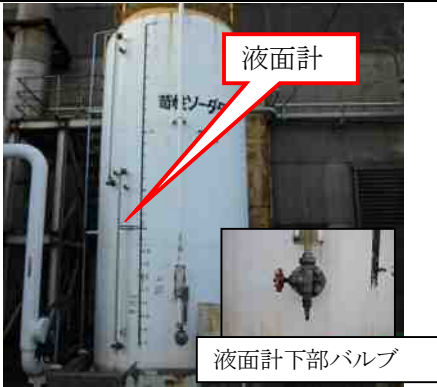
解答と解説	1 設備の自動化 操作バルブを自動化し、充填口先端バルブとタンク底弁が同時に「開」にならないよう、システム化することが最も望ましい。 当該設備は共用配管で複数の自動弁と手動弁の組み合わせになっていることから、操作するバルブ類を全て自動化し、各自動弁をシーケンスで繋ぎ、以下の3パターンの弁開閉に合わせて操作スイッチを設けることにより、誤操作の防止を図る。 ①前油処理ポジション②充填油置換ポジション③充填ポジション 2 バルブ操作順序の現場表示 前油残油回収・充填油共洗いの手順に沿って、「開・閉」色の異なる「番号札」を充填口先端バルブと底弁エアーバルブに設置し、作業チェックリストと照合しながら、番号順にバルブ開閉操作を行う。 3 サンプル瓶置場の位置変更 作業手順書には、「作業中に現場を離れない」よう明記されていたにもかかわらず、準備を忘れたサンプル瓶を取り出すために目を離した隙にオーバーフローしていることから、サンプル瓶置場の位置を充填設備の左隣に移動し、操作中に持ち場から目を離さないよう変更する。  <従来は設備に背を向ける配置>  <設備の左隣に移動>
関連知識	電気的な設備を追加することなく、作業手順と作業者の行動特性を利用した簡易な改造によるヒューマンエラー対策の実施例を紹介する。 1 受け缶下げフックの位置を変更し、バルブハンドルが「閉」の位置でないと受け缶の取っ手を取り外せないように改造する。これにより、受け缶に溜った油を廃棄する際には、必ずバルブを閉めることになり、閉め忘れが防げる。  <前から見た図>  <横から見た図> 2 作業手順書作成時の留意点 作業手順書には、単に操作の手順を記述するだけでなく、「何故そうしなければならないか」という根拠・理由を明記し、一つひとつの操作の意味するところを作業者に正しく伝え、理解させることが重要である。

解答と解説	1 溢れ・飛散防止対策 (1) 詰め替え時の収納率の確認 詰め替え時には、容器の重量測定や検尺棒を用いて、常に危険物の量を把握するようにする。特に一人で作業を行うときは、非常時にただちに詰め替えが停止できるよう、容器内の液面の高さを検知して自動的に注入を停止させる装置を取り付ける。 〔解説〕容器の収納率は、温度変化による圧力上昇に対応するため、十分な空間容積を確保することが必要である。容器の中は外から見えないので、詰め替え時に、液面計と連動してポンプが自動停止するような仕組みを検討する必要がある。 (2) 残液の確認 詰め替え作業に用いたホースを取り外すときは、ホース内に残液が無いか確認する。また、作業者以外に監視人を置く等、有事の連絡体制を整えておくことである。 2 溢れ出た場合の対応 万が一、危険物が漏れ出た場合に備えて、容器への詰め替えは囲いの中で行うようにする。囲いがない場合は、漏れ出た危険物が排水溝等に流入しないよう、オイルパンやドラム周囲に不燃性シート及び土のう等を用いた防液堤を作り、ドラムが転倒しないよう安全に作業を行う。 また、床に飛散した場合の対応として、吸着マットや消火器を備え付けるようにする。
関連知識	1 作業前における準備・安全対策 【容器の確認】 危険物を収納する容器は、危険物の性質に応じて適切なものを選び、破損や亀裂等が無いか確認し、収納した危険物が漏れるおそれがないものを使う。 〔解説〕運搬容器は、危政令第 28 条及び危規則第 41～43 条に技術上の基準が定められている。この中で容器の種類（金属、プラスチックなど）や最大容積が決められている。 2 静電気の危険性 【火災の発生防止対策の例】 (1) 静電気対策 ア ホースは、導電性のあるものを用いて、詰め替え作業前に断線等が無いか導通試験を行う。また、容器にはアースクリップを取り付け、確実に接地させ、詰め替え作業中に容器が帯電しないようにする。 第 4 類第 1 石油類のように、揮発性の高い引火性液体の場合には、流速を下げることや、注入管を用いて先端部を容器の底部に着け、飛沫帯電を防止することも重要な対策の一つである。 イ 作業員は、帯電防止服や帯電防止靴を着装すること。 (2) 可燃性蒸気の排除 可燃性蒸気が滞留するおそれがある危険物を取り扱うときは、十分な換気を行い、安全な場所で行う。 この際、ポンプや照明等の電気設備は、防爆性能を有するものを使用するが、必要に応じて空気駆動式ポンプを使用することも検討すること。 3 作業に関する関係法令の把握 (危政令第 24 条、第 27 条、第 28 条、第 30 条)

事件事例－５８		ＬＰガスバルクタンク安全弁交換作業時の漏えい						
教育対象者	製造部門	－	保全部門	◎	設計部門	－	開発部門	－
難易度	★	原因		誤認		災害種別		漏えい
事故の概要	ビル空調用設備への供給用に設置している ＬＰ ガスバルクタンクの安全弁交換作業中に、安全弁元弁から大量の ＬＰ ガスが漏えいした。							
事故の経過	ＬＰ ガスバルクタンク（貯蔵能力 2,500kg）に設置されている安全弁の交換作業を行う為、作業員が安全弁元弁（※ボール弁方式）から安全弁を取り外したところ安全弁元弁から ＬＰ ガスが漏えいした。原因は、作業員が元弁を連結弁方式（※）と誤認して、安全弁元弁（ボール弁方式）を閉止せずに安全弁交換作業を実施した事によるものである。作業員はボール弁方式と連結弁方式の違いについては教育を受けていたが、経験が浅く不慣れであった。 ※ボール弁方式と連結弁方式 ボール弁方式とは貯蔵能力 1,000kg 以上のバルクタンクに設置する方式で、手動により閉止するボール弁を使用している。連結弁方式とは 1,000kg 未満のバルクタンクに設置する方式で、安全弁を緩めていくと閉止する構造である。							
フロー図・写真等								
設 問	再発防止対策を考えてください。							

解答と解説	再発防止対策 1 バルクタンクの安全弁を交換する際は、安全弁元弁の構造に連結弁方式とボール弁方式の2種類が存在する事をしっかり理解し、元弁構造に適した手順で行うこと。(交換作業の詳細については、メーカーによって異なる場合があるため要領書を確認すること。) 2 誤認を防ぐ為に、安全弁元弁の方式を安全弁に表示する。 3 下記の(1)～(3)等の方法により作業前の安全対策を確認する。 (1) リスクアセスメントの実施 (2) KYの実施 (3) 作業手順書の作成
関連知識	1 ボール弁方式の手順例 (1) 手動弁の開閉操作部の封印(キャップ)を外す。 (2) 手動弁を閉じる。 (3) 安全弁の六角部にスパナを掛け、反時計回り(左回り)に回し、手動弁と安全弁の接続部からガスが漏れた時点(ガスが漏れる時にはシュッと音が出ます)で安全弁を緩めるのを一旦停止する。 (4) 手動弁内部の安全弁接続ねじ部に附着した古いシールテープをきれいに取り除き、脱脂剤を塗布した綺麗な柔らかい布等で手動弁の内部の汚れを拭き取る。このとき手動弁内部に異物がないこと、取付けネジ部及び手動弁内部に傷や変形のないことを確認する。 (5) 手動弁をスパナで固定した状態で、安全弁の六角部にスパナを掛けて時計回り(右回し)に締め付ける。(締め付けトルクはメーカー要領書にて確認をする。) (6) 手動弁を開ける。 (7) 安全弁と手動弁の接続部より漏れのないことを検知液にて確認し、キャップを装着する。 2 連結弁方式の構造

事故事例－５９	屋外苛性ソーダ液タンクからの漏えい
---------	-------------------

教育対象者	製造部門	◎	保全部門	○	設計部門	—	開発部門	—
難易度	★★	原因	管理不足・ミスマッチ	災害種別	漏えい			
事故の概要	製品の表面処理工程に使用する苛性ソーダ液（濃度 48%）を保管及び工場内工程装置に送液している屋外タンクにおいて、付属しているタンク液面計下部ドレンバルブより苛性ソーダ液が漏えい。その後タンク防液堤からも流出した。 ＜補足＞ 苛性ソーダ：水酸化ナトリウムの別称。本工程では製品の洗浄工程に使用される。毒物及び劇物取締法の“劇物”に指定されている。							
事故の経過	1 当該タンクは工場南側に設置されており、<u>当日は冬季気温低下と強い季節風に曝され、液面計内部は凝固状態にあった。（発生時状況：最低気温：約 5℃）</u> 2 当該タンクの液面（タンク液量）確認は 1 回/日目視にて運転部門の担当者により実施されており事故当日もその確認を行ったが、昨日と比べ液面計値の変位が想定より少なかった事より、<u>通常は閉止の液面計下部ドレンバルブを開状態とし、凝固の有無を確認しようとした。（同バルブ開閉用のコックハンドルが破損していたので、工具（ペンチ）を使い、開操作を行った。）</u> 3 又、同担当者は前日までに降った雨水が当該タンク防液堤内部に相当量溜まっていることに気が付き、<u>防液堤排水用バルブを開け雨水を側溝へ流した。</u> 4 担当者は、液面計下部バルブを工具により閉め、運転業務に戻った。担当者が閉めたと認識していた液面計下部バルブは、<u>実際は閉まりきっておらず、その後の気温上昇により凝固状態から液化し、防液堤内に漏えいした。</u> 5 <u>雨水排出の為に開けた防液堤排水バルブを閉め忘れた為、側溝を通り流出が拡大した。</u>							
フロー図・写真等	 苛性ソーダ屋外タンク  防液堤							
設問	事故の経過にある要因や背景を情報として、以下の設問に対し解答してください。 1 当該タンクから防液堤への漏えいについて、発生原因に繋がる不具合・問題点を抽出してください。 2 同様に防液堤から側溝への漏えいについて、発生原因に繋がる不具合・問題点を抽出してください。 3 上記 1、2 について、どうすればこのような事故が防げたのか考えてみましょう。							

解答と解説

1 タンクからの漏えいに対する問題点

(1) 冬季等に対する苛性ソーダ凝固対策の不足

48% 苛性ソーダ液の凝固温度は一般的には約 10℃とされている。当該液は、使用されることにより液に動きが生じるため、凝固しづらい環境では有ったが、冬季の最低気温等を考慮すれば凝固が生じるリスクは想定出来たはずである。

(2) 液面計下部バルブの不適切な管理

漏えいのリスクを考えた時に凍結確認をバルブを開ける事により行った事は安易な方法と言える。又、液面計の下部バルブが閉め切れなかったのは、コックハンドルが破損されたまま放置されていたことも原因に繋がったと考えるべきである。

2 防液堤からの漏えいに対する問題点

(1) 防液堤排水バルブの閉め忘れ

当該担当者は、日常業務を効率的に行いたいあまり、“ながら作業”を行ってしまった。気持ちは判らなくもないが、人間は一度に複数の事を考える事が出来ない。この様な作業方法は、今回の様な大きなミスに繋がる。

3 対策のまとめ

(1) 苛性ソーダの特性理解とそれに応じた凍結防止対策実施

その地域に応じた適切な凝固防止策の実施。(当該事例では、断熱材施工にて対応可能。)

(2) 設備等日常管理(点検、不具合復元・改善)の徹底

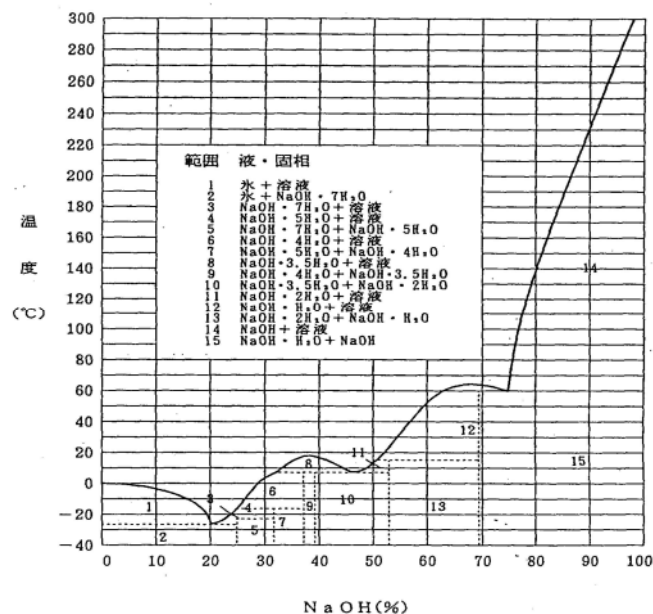
日常点検等を確実に実施し発見された不具合については、即座に復旧する維持管理の徹底が重要。又、当該バルブが不使用なバルブで有ったならば、バルブそのものを無くしてしまう事も本質安全化処置として非常に有効。

(3) ヒューマンエラーを防止する作業手順の見直し・変更と工夫・改善の実践

ひとつひとつ着実な作業の励行。指差呼称も効果的である。又、そうはいつでも人間はミスをする生き物。ミスや忘れを即座に気が付ける様な工夫、例えば、ドレンバルブ末端の閉止キャップの取付、バルブを開けていることの明示化や申し送りの徹底、見える化を図る事が重要である。

関連知識

苛性ソーダ液の凝固点について：苛性ソーダは、その濃度に依って凝固点に変化し又、その挙動は特殊で有るため注意が必要である。



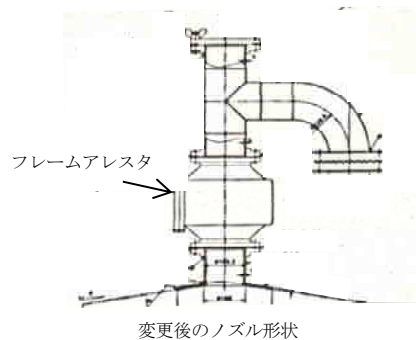
※鐘淵化学工業株式会社製品安全データシートより

解答と解説

以下の対策を行う事で事故を防ぐことができる。

【対策】

- 1 無弁通気管を加熱
無弁通気管にスチームトレースを取り付けてノズル部を加熱する事で、ノズル内温度を上げる。
- 2 析出物（ナフタレン）の発生抑制
タンク管理温度を 60℃から 50℃へと変更する。
- 3 ノズルの定期点検
フレイムアレスタ部の分解を行わずに、ノズル部の点検を行えるように無弁通気管形状を変更した。



関連知識

タンク内流体の性状を把握し、設備対応や運転条件を設定することが重要である。

実際の流体を用いて、タンク温度と流路の温度による析出物の発生状況について、フラスコにて実験を行った。

ノズル部温度とタンク内流体温度の条件によって、ナフタレン結晶化によりノズルが閉塞する速度に影響がある事が試験結果で確認された。

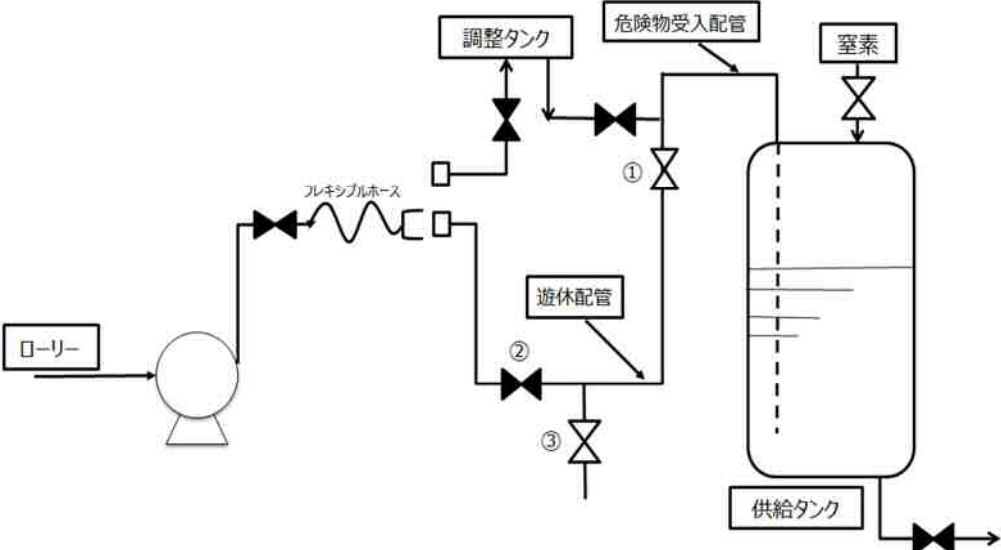
ノズル部温度が低い、タンク内流体温度が高いほど、ノズル閉塞速度は早い。

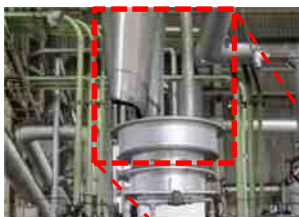
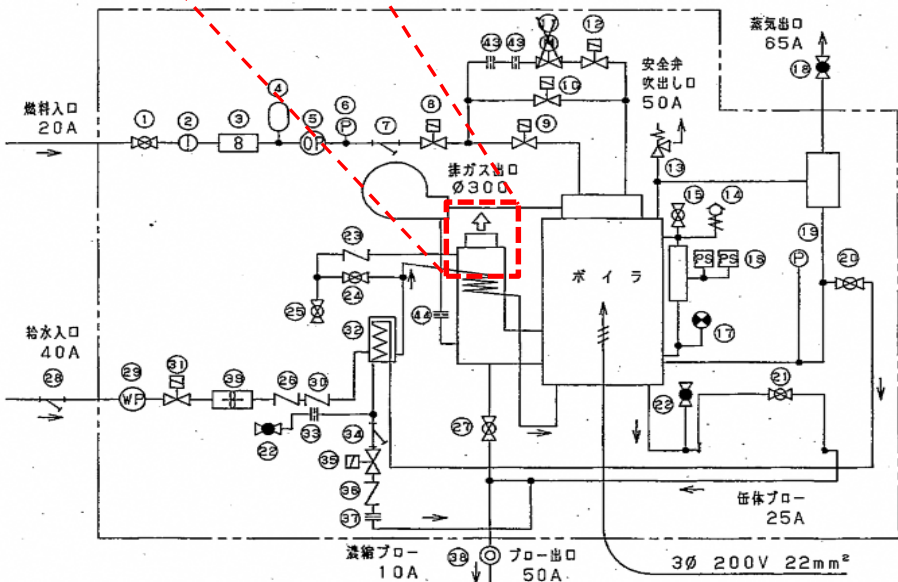
表 ナフタレン結晶化実験結果

気相部流路温度		0℃	5℃	10℃
フラスコ内 液温度	60℃	60分	90分	閉塞無
	30℃	90分	閉塞無	閉塞無

※ 上表の「気相部流路温度」はノズル部温度、「フラスコ内液温度」はタンク内流体温度を想定している。

※上表の時間は、気相部流路が閉塞するまでの時間を示している。

解答と解説	1 タンク下部近くまで配管が達している構造 事例のタンクは危険物の受入を上部から行う構造となっており、危険物（可燃性液体）が配管からタンク内に入る際、霧状になって静電気が発生する事を防ぐために、受入配管は供給タンク下部まで達している構造になっている。このような構造で、配管出口部が危険物液面下まで浸っていると、気相の圧力が上がる事で危険物は受入配管を逆流し、本事例の事故が発生する。 よって、タンク内液面を受入配管の下端部より低い位置まで下げてから、N₂ガスを入れるのが確実な方法である。 (本タンク内配管に、ウィープホールは無い)  2 供給タンクを介さず、閉塞確認を行う遊休配管単体で詰まりの有無を確認する。 一例として、①弁閉の状態、①弁一次側フランジを開放、②、③弁開とし、回路図上左端より N₂を加圧し、①弁及び③弁からブロー状態を確認する。
関連知識	可燃性液体は霧状になると静電気により着火する事がある。その為、可燃性液体の受入配管はタンク内部で可燃性液体が静電気による着火を防止する構造になっている。タンク上部から受け入れを行う場合、受入配管の出口をタンク下部に近づける構造はその一つである。可燃性液体を受け入れるタンクにおいて、受入配管がタンク上部にある場合は、その受入先端はタンク下部に達する構造になっていると考えるべきである。

事故事例－62		パッケージボイラー異常燃焼による煙道の破損						
教育対象者	製造部門	◎	保全部門	○	設計部門	○	開発部門	－
難易度	★	原因		設計不良・知識不足		災害種別	破損	
事故の概要	9年5ヶ月前に設置のパッケージボイラー（蒸気発生能力：2t/時、燃料：灯油「第4類第2石油類」）のファンベルトが破断し、ファンを駆動することができない状態で自動起動した結果、異常燃焼により大量の排ガスが急激に発生し、煙道を損傷させた。							
事故の経過	当日早朝、始業前点検は問題なし（但し、ファンベルト張力確認は点検項目になし） 1 製造開始後、蒸気量不足により、当該ボイラーに指示信号が入り、自動起動。 2 1回目点火したが不着火、この際ファンが稼動しないことから、換気が行われず、炉内に可燃性ガス滞留。 3 2回目点火時、可燃性ガス量が多かったため、異常燃焼発生。 4 異常燃焼により、排ガスが急激に発生し、煙道が破損。 5 直接原因は、2回の点火動作により、炉内に約2倍量の可燃性ガスが存在したため、異常燃焼が発生したことによるもの。 尚、当該ボイラーのシーケンスは、不着火の場合、ファンが正常に稼動し換気されている前提で自動的に再点火を行い、ファンが起動しない場合に、それを検知する仕組みはなく、かつ排気側の風量検知センサーもなかった。							
フロー図・写真等	 < 損傷した煙道 > 							
設問	事故の概要・経過より、以下の観点から異常燃焼及びファンベルト破断の間接原因を推定し、再発防止策を考えてください。 1 異常燃焼の原因となった設備面の問題点 2 ファンベルト破断の原因となった管理面の問題点							

解答と解説	1 シーケンスの不備 ファンベルトの破断によりファンが起動しなかったので、1回目の不着火で炉内に供給された可燃性ガスが換気されずに滞留したまま 2 回目の点火動作が行われたため、可燃性ガスが多い状態で点火され、異常燃焼が発生した。 間接原因として、点火前にファンが作動していないことを検出するシーケンスになっておらず、かつ風量検知センサーもなかったことが挙げられる。 シーケンスについては、ボイラーそのものが、既製品の自動運転装置であったため、詳細なシーケンスを確認するまでもなく、メーカーが安全を担保していると考えていた。既製品といえども、導入時には<u>装置のシーケンスを確認し、点火や非常停止等の重要な機構の仕組みを確認することが望ましい</u>。 2 管理面の問題点 ファンが正常に起動しなかった点に着目し、ファンベルトの損傷原因を辿ると、<u>張力低下により</u>、ファンベルトがプーリーに乗り上げて破断したものと推定される。また、日常点検・メーカー定期点検ともにファンベルト張力は点検項目になかった。 更に、始業前点検については、メーカーが定めた点検表を用いていたため、問題ないと考えていた。また、メーカーは、劣化の有無に拘らず、3年に一度（直近は1年6ヶ月前に交換済）、ファンベルト交換を行うこととしていたが、交換後、初期のベルト伸びによる張力低下を監視する視点が欠けていた。 このことから、<u>装置のリスクを考慮した点検項目であるかを確認することが重要である</u>。 上記より、対策として、 1 送風ダクトに風圧感知用圧力（差圧）スイッチを設置するとともに、供給空気圧不足の場合、警報を発報するよう点火シーケンスを変更する。または、ファンの排気側に風量検出センサーを設置する。 2 バーナーの燃焼状態を監視する火炎検出器（フレイムアイ）を設置する。 3 日常点検・メーカー定期点検項目に「ファンベルト張力」を追加する。
関連知識	1 機械設備のリスクアセスメントを行い、リスク低減の対策を講じる。 2 点検項目及び点検頻度はリスクに見合っているか、を確認する。 3 プーリー間距離と適正たわみ量に関する相関式 The diagram illustrates the relationship between the distance between two pulleys (L) and the sag of the belt. Two circles represent the pulleys, and a solid line represents the belt. Dashed lines and arrows indicate the sag of the belt between the pulleys. 適正たわみ量＝L（プーリー間距離）×1/64＝L×0.016

解答と解説	1 本作業のバルブ操作の基本手順は以下の通り。 (1) 定期補修から立ち上げる際に、ラインアップ確認を行う。 (2) 封印されているバルブの記録に沿って、運転が可能となる様、各バルブの開・閉作業を行う。 (3) 開閉操作が終了したら、開閉表示札で表示させる。 2 各バルブは、その用途や設置位置によって開・閉が決まっている。また、各バルブは、平常時、メンテナンス時、緊急時に開・閉のどちらにしなければならぬのかを平常時から管理しておく。 その為に、封印の記録を残す事や、開・閉の札を活用し、運用を間違えにくくしておく。
関連知識	通常運転時に圧力の上昇が殆ど無い配管は圧力計が設置されていない場合がある。異常時に圧力が上昇する事が予想される設備には安全弁の設置や、圧力計の設置等の策も有効である。

解答と解説	1 原因 (1) 設備面 氷酢酸（融点・凝固点：16.7℃・当日の最低気温 1.5℃）の凍結防止のために、貯槽側胴部及び関連する危険物配管は電気トレスで 35℃加温を実施していたが、貯槽内の気層部の蒸気が電気トレスのない通気管で外気温に冷やされて結露、外気温による凍結が徐々にエキゾースト管内を閉塞させた。設備設計部門は、当該エキゾーストは、酢酸に直接触れる場所ではないため電気トレスは不要と判断していた。 (2) 人の面 受け入れ作業中に異常（液面計指示の急上昇）を検知したにも拘らず、上長に報告せず作業を継続した。 2 対策 (1) 設備面の対策 直接液が触れていなくても、配管内の蒸気が固結するためエキゾーストにも電気トレスを設置する必要がある。 また、貯槽蓋板部に連成計（圧力計の一種で正圧・負圧が連続して見ることができる）を設置し、エキゾースト詰りが判断出来る改善も有効だが、連成計にも電気トレスが必要。 (2) 人・管理面の対策 異常を感じた場合は、即、作業中止し上長への報告を速やかに行い、原因の確認、対策を実施した後に作業開始すること。 (3) 管理面の対策 エキゾーストの詰りが発生していないか、内圧確認方法を作業手順書に記載しておくこと。また、物質の特性や使用条件（温度等）を取扱い者全員が理解しておくことも重要である。
関連知識	SDS 出典：厚生労働省 職場のあんぜんサイト

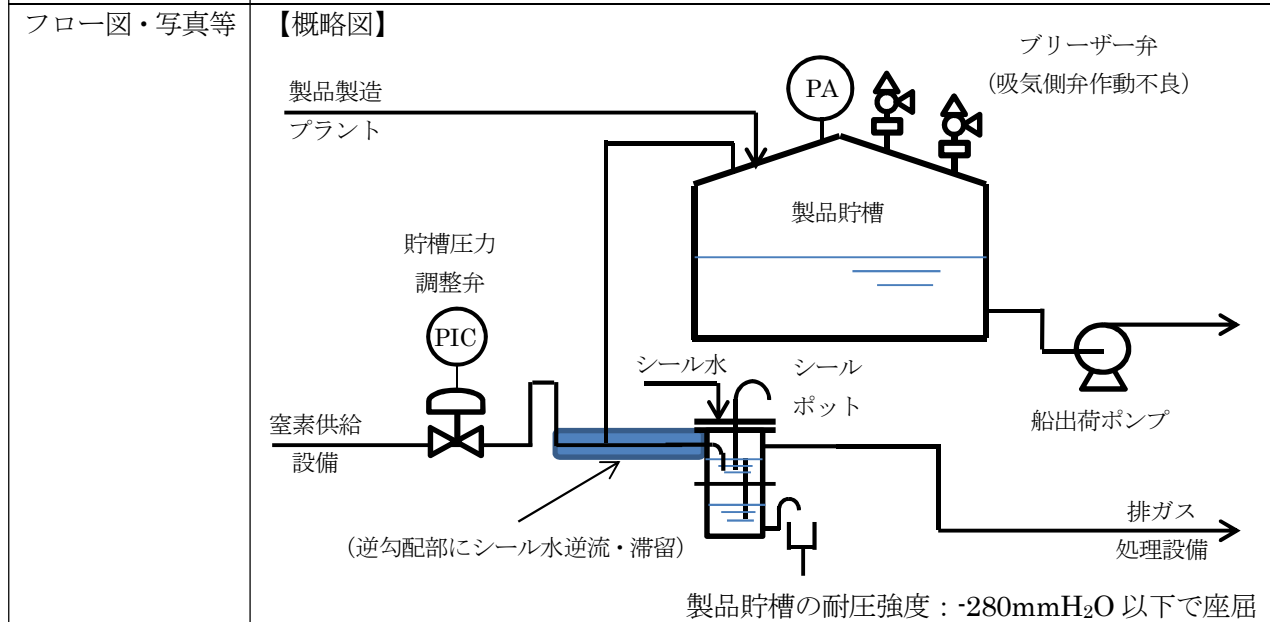
解答と解説	1 タンク内が減圧となった原因 タンクの頂部に接続したホースが水で満たされてサイフォン現象が発生した。このため、水投入停止後もホースからの水流出が止まらず、タンク内が減圧となった。作業要領書がなかったため、作業前に手順書を作成したが、その手順書に不備があった。 2 再発防止対策 (1) サイフォン現象の学習 本事例を活用し、サイフォン現象についての認識を深める。 (2) 作業要領書の作成と周知・教育 次の項目を明記した「水張り検査の準備作業に関する作業要領書」を作成し、周知・教育を実施する。 ア 水張り検査に必要な水量（液面高さ） イ 液面（液面は今どこにあるのか）の確認方法 ウ 水張りの手順 エ ガス抜き用開放部の大きさ オ 水抜きの手順
関連知識	1 サイフォン サイフォン（siphon、ギリシャ語で「チューブ、管」の意味）とは、隙間のない管を利用して、液体をある地点から目的地まで途中出発地点より高い地点を通して導く装置であり、このメカニズムをサイフォン原理と呼ぶ。途中、どれくらい高い地点を通ることができるかは、大気圧、蒸気圧および液体の比重による。最高地点において液体の圧力が蒸気圧より低くなった場合は液体は気化し（キャビテーション）、サイフォンは停止する。1 気圧下において理論上水ならば出発地点から最高約 10m の高さを通るサイフォンをつくることができるが、実用的には水の場合キャビテーションによって 7～8m とされる。 2 水張り検査時に必要な水量 常圧（満液+5kPa 以下）タンクの設計圧力に例えば「+3kPa」等の記載があるが、水張り検査においては誤差とみなして検査水量に考慮しなくても良い。タンク水張り検査時に必要な水量については次の通りである。（川崎市の例） (1) 新設時：側板最上部肩口（天板トップアングル）まで (2) 液相部改造時：申請容量まで (3) 気相部改造時：気相部の改造部分まで

事故事例－ 6 6	貯槽内液出荷作業中における貯槽の座屈変形
-----------	----------------------

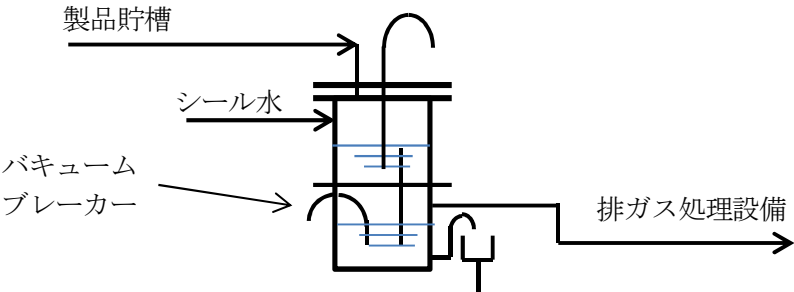
教育対象者	製造部門	○	保全部門	◎	設計部門	◎	開発部門	－
難易度	★★	原因		設計・整備不良		災害種別		破損

事故の概要	液状の製品を貯蔵した貯槽より製品を輸送船にポンプにて送給中、貯槽側板上部が座屈変形した。
-------	--

事故の経過	現場作業員は製品（液状：第 4 類第 1 石油類）の船出荷依頼を受け、製品貯槽から輸送船への製品送給準備を整え、船出荷ポンプを起動させて製品の輸送船への送給を開始した。その後、当該作業員は製品製造プラントの運転再開準備に取りかかった。 製品の船出荷作業と製品製造プラントの運転再開準備が同時並行で行われたため、製品貯槽を含むプラント内の窒素使用量が急増した。 窒素供給設備の元圧力が徐々に低下（窒素供給量＜窒素使用量）し、供給元圧力下限値アラームが作動したが、CCR オペレーターは製品製造プラントの運転再開準備に気を取られていて、アラームの作動に気付かなかった。 現場作業員は製品の輸送船への送給作業を完了させた後、後処理作業のために製品貯槽に戻ったところ、貯槽上部が内側に変形しているのを発見した。 製品貯槽には製品の張込みや払出しにより生じる貯槽内空間圧力変動を制御するため貯槽圧力調整弁（設定圧：+20mmH₂O）とシールポット（排出設定圧：+150mmH₂O）が設置されていた。また、圧力調整機能喪失に備えた安全装置としてブリーザー弁（排気弁+吸気弁一体型）2 台が設置されていた。 原因調査の過程で、貯槽に設置された 2 台のブリーザー弁の吸気側弁のシート面が（整備時使用した残存油脂で）固着し作動不良を起こしていたことが確認された。また貯槽内圧力を逃がすためのシールポットのシール水が貯槽排ガス配管及び窒素供給設備配管側に逆流し、配管底部に滞留していたことも確認された。
-------	--



設問	事故の概要・経過から次に事項について検討してください。 - 製品貯槽が変形した原因は何であったか考えてください。 (キーワード：窒素供給設備の能力、貯槽圧力調整設備、安全装置の信頼性) - 製品貯槽の負圧防止のため、窒素供給設備及びシールポット設備に対してどのような改善が必要か考えてください。 (キーワード：ブリーザー弁の保守管理、シールポット設備の構造)
----	---

解答と解説	1 製品貯槽が変形した原因 製品貯槽が変形した原因は以下の（１）～（３）により貯槽内圧力が負圧になり、製品貯槽の耐圧強度（$-280\text{mmH}_2\text{O}$）を超えたため座屈した。 （１）窒素供給設備の能力不足 窒素供給設備の設計供給能力が実使用量を下回っていたため、窒素供給量が不足し、製品の払い出しに伴って生じる貯槽内圧力の低下を補うことが出来なかった。結果として製品貯槽内の圧力が負圧（耐圧強度以下）となった。 （２）シールポット設備内シール水の逆流 シールポット設備の役割は、貯槽と大気をシール水によって遮断しながら貯槽内の圧力上昇を防止する（圧力を大気に逃がす）ものである。当該シールポットは、製品貯槽からの排気ラインが直接シールポット内のシール水に浸された構造で、且つ負圧防止（バキュームブレーカー）機能が備わっていなかったために、製品貯槽内圧力が負圧となった。 （３）安全装置（ブリーザー弁（吸気側弁））の作動不良 ブリーザー弁（排気弁+吸気弁一体型）は貯槽の破損を防止する目的で設置された安全装置で、貯槽内圧力上昇時は排気弁が作動し貯槽内圧力を降下させ、圧力低下（負圧）時は吸気弁が作動して圧力低下（負圧）を防止するものである。 当該ブリーザー弁の定期整備の際に使用した油脂が弁シール面に残留していたため、油脂がシール面を固着（劣化）させ、製品貯槽内圧力が負圧になっても作動しなかった。ブリーザー弁（安全装置）を冗長化させていたが、整備方法に問題があり２台共に作動不良を起こした。 油脂類は時間の経過と共に固化（劣化）するため、弁の作動部には油脂類が残存させない様注意が必要である。 2 窒素供給設備及びシールポット設備に対する改善 （１）窒素供給装置 窒素は通常運転時より非定常運転時や緊急時に最も使用される。窒素供給設備の供給能力は定常運転時に加え、非定常運転時及び緊急時の使用量を加味して設定する必要がある。 （２）シールポット設備 シールポット設備はシールポット内のシール水が貯槽から排気ラインに逆流しない構造（バキュームブレーカー機能）を持たせる必要がある。 （バキュームブレーカー機能を備えたシールポット設備の一例） 
関連知識	1 窒素供給能力に制約がある場合は、窒素を使用する作業に制限（順序や組み合わせの設定等）を設ける必要がある。 2 ブリーザー弁のシート面に油脂等が残存していると経年で油脂の固化が起これ、シート面を固着させる可能性があるため、組立て前には油脂類を完全に除去する必要がある。特に植物性油脂の中には劣化（固化）速度が速いものもあるので、整備時等での使用は避けるべきである。

解答と解説	1 室温の上昇を防止する対策 (1) 適宜、換気設備の運転により空気の循環を行い、室温の上昇を緩和する。 (必要があれば常時運転または温度センサーによる自動起動も有効。) (2) 屋根に散水装置を設置し、外気温が高い日などに散水して室温の上昇を緩和する。  (3) 屋根部に遮熱塗料を塗装し、室温の上昇を緩和する。 (4) 空調設備を設け、室温の管理を行う。(廃液管理には不経済なので、製品管理などに用いる。) 2 日常管理の留意点 (1) 容器の収納率には余裕を持って貯蔵を行う。 (2) 容器の蓋（キャップ）を定期的に関開け、内部の圧抜きを行う。 (3) 夏期は特に点検の頻度を増やし、異常の有無を確認する。
関連知識	1 屋内貯蔵所での貯蔵危険物の温度管理 危政令第 26 条第 1 項第 3 号の 3 の基準により、屋内貯蔵所において容器に収納して貯蔵する危険物は、温度が 55℃を超えないように必要な措置を講ずることとなっている。 危険物の温度を 55℃以上で管理する場合は、屋内貯蔵所以外の施設で規制されるため注意すること。 2 液体の熱膨張について 危規則第 43 条の 3 第 1 項第 4 号の基準により、原則、運搬容器に液体の危険物を入れるときは、内容積の 98%以下の収納率にすること、かつ、55℃の温度でも漏れない十分な空間容積を取ることとなっている。これは、温度変化等により発生するガスを溜める空間を確保し、内容物が漏れないようにするための措置である。 3 貯蔵等に関する関係法令の把握 【危政令】 第 4 章 <貯蔵及び取扱の基準> (第 24 条) 法第 10 条第 3 項の製造所等においてする危険物の貯蔵及び取扱いのすべてに共通する技術上の基準は、次のとおりとする。 第 1 号～第 14 号参照 (第 25 条) 法第 10 条第 3 項の製造所等においてする危険物の貯蔵及び取扱いの危険物の類ごとに共通する技術上の基準は、次のとおりとする。 第 1 項第 1 号～第 6 号、第 2 項参照 (第 26 条) 法第 10 条第 3 項の危険物の貯蔵の技術上の基準は、前 2 条に定めるもののほか、次のとおりとする。第 1 項第 1 号～第 12 号、第 2 項参照

解答と解説

具体的な対策（防水機能のある圧力スイッチへの交換）

本トラブルでは、圧力スイッチの設置場所が屋外であったにも関わらず、圧力スイッチに防水機能のあるタイプを採用していなかったことが問題点としてあげられる。そこで、合わせ面にガスケットが使用されており防水機能のある圧力スイッチに交換する。

この問題の背景には、設計部門担当者に防爆機能があれば防水機能も有するという誤った認識があった。設計部門担当者が圧力スイッチの標準仕様書を作成する際に、防爆機能か防水機能を選択することが慣例となっており、これら両方を選択することがなかったようである。今一度、防爆機能と防水機能は別のものであることを周知・教育し、標準仕様書にもその旨の注意書きをしておくことが必要である。

耐圧防爆構造（図 4）について、よく理解しておくことが必要である。なお、防水機能のあるタイプでは、耐圧防爆の隙間はケーブル側で確保されている。

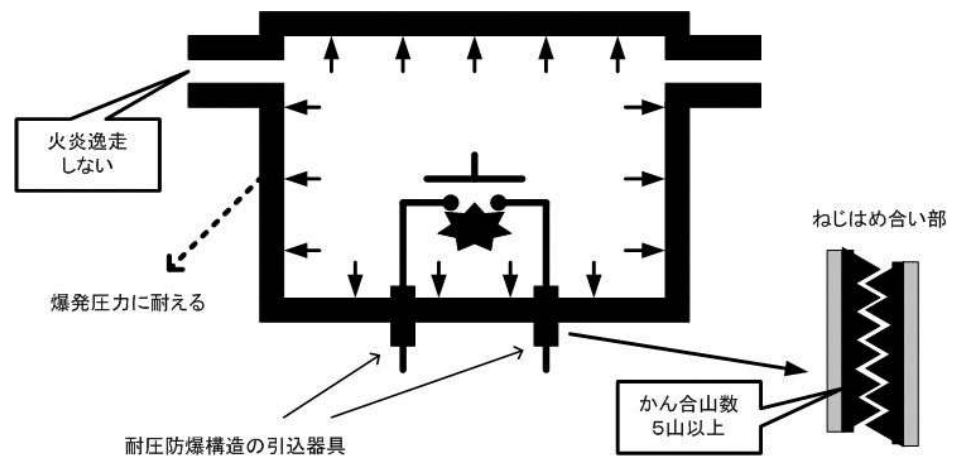


図 4 耐圧防爆構造

全閉構造であって、ガス又は蒸気が容器の内部に侵入して爆発を生じた場合、容器が爆発圧力に耐え、かつ爆発による火炎が容器の外部のガス又は蒸気に着火しないようにした構造。

関連知識

1 その他の対策（圧力スイッチから圧力発信器タイプへの変更）

圧力スイッチの出力はオン／オフであるため、機器の異常の予兆を外部に出力する機能はない。そこで、圧力スイッチを機器の異常の予兆をトレンドとして監視できる圧力発信器タイプに交換することも対策になると考えられる。

2 危険場所

危険場所とは電気設備の構造、使用について特に考慮する必要がある量の爆発性雰囲気が存在するか又は存在する恐れのある場所である。危険場所に電気機器を設置してもこれが着火源となって爆発等の事故が発生しないように電気機器に防爆性を持たせるには、着火源の防爆的隔離、電気機器の安全度の増強、着火能力の本質的抑制等の方法が考えられる。このような考え方に基づいて製作されたものが防爆構造である。