

危険物施設以外の設備・機器の事故の調査について

1. 目的

危険物施設に用いられている設備・機器と類似の設備・機器を用いている他の施設（水道施設等のインフラ・産業施設）における腐食疲労等劣化等による事故事例などについて調査する。

長期使用危険物施設の安全対策に参考となる事項を抽出する。

2. 調査計画と現状

	項目	説明
ステップ1	危険物施設以外で類似の設備・機器を用いているインフラ・産業施設分野の選定と絞り込み	<ul style="list-style-type: none"> ・主に産業基盤となるインフラの範囲を選定した。 （道路、鉄道、上下水道、送電網、港湾、ダム、通信網 等） ・選定に当たり、新聞記事検索結果（例示：産業や生活の基盤として整備される施設について記載のある分野）を基にインフラ・産業施設分野の範囲を考察した。 ・危険物施設に用いられている設備・機器と類似の設備・機器を用いている施設として原子力、鉄道、上下水道、送電網（発電所）、港湾、都市ガスを選択し、高圧ガス関連設備及びボイラー関連設備を選択した。 ・なお、ステップ2も実施して、道路、通信網、及び航空機（飛行場）等は参考事故事例が少ないために除外することとした。
ステップ2	インターネットによる事故事例の調査実施 （詳細を次表に記載した）	<ul style="list-style-type: none"> ・選定した分野について、インターネットによる検索を実施した。 ・検索項目を「施設名、腐食、疲労、劣化 事故事例」とした。 ・検索結果から、「事故の概要、主な原因、使用年月、対策、特記事項（参考になる事項）」等が明示されている事例を選定した。 ・原因、対策、特記事項等で危険物施設に用いられている設備・機器等に関して参考になる事項を明記した。（設計・施工、検査方法、点検方法、管理手法など参考となる点）

表1 ステップ2 (インターネットによる事故事例の調査実施) の調査に用いたデータベース等

分野	参照したデータベース
原子力発電所 関連事故事例	<ul style="list-style-type: none"> ・「失敗知識データベース」 ・「世界の貯蔵タンク事故情報」
港湾関連事故 事例	<ul style="list-style-type: none"> ・「失敗知識データベース」
上下水道関連 事故事例	<ul style="list-style-type: none"> ・「失敗知識データベース」 ・「高崎新聞 2011年6月22日」 ・「厚生労働省政策情報」
鉄道関連事故 事例	<ul style="list-style-type: none"> ・「失敗学会誌 2017-10-16」 ・「失敗知識データベース」 ・「国土交通省・鉄道事故報告書 平成15年4月25日」
電力関連事故 事例	<ul style="list-style-type: none"> ・中部近畿産業保安監督部近畿支部電力安全課 技術係 電気事故情報 <p>注：事故事例が詳細に紹介されているので代表例とした</p>
高圧ガス関連 事故事例	<ul style="list-style-type: none"> ・「液化酸素用低温容器破裂事故調査報告書 2017年5月」 ・「高圧ガス事故事例情報シート 神奈川県ホームページ 2017年9月22日」 ・「高圧ガス保安協会 容器保安規則関係事故」 ・「高圧ガス事故概要報告 2004-285」 ・「高圧ガス事故概要報告 2007-597」 ・「高圧ガス事故事例情報シート H17-11」 ・「高圧ガス事故概要報告 2009-045」 ・「高圧ガス事故概要報告 2010-035」 ・「高圧ガス事故概要報告 2010-001」 ・「高圧ガス事故概要報告 2009-060」
都市ガス関連 設備・事故事例	<ul style="list-style-type: none"> ・「失敗知識データベース」
ボイラー関連 設備・事故事例	<ul style="list-style-type: none"> ・「九州管内で発生した火力設備の事故等の事例紹介 九州産業保安監督部 電力安全課」 ・「日本ボイラー協会・事故事例」
その他の参考 データベース	<ul style="list-style-type: none"> ・リレーショナル化学災害データベース ・京都大学一事故事例データベース ・経済産業省一全国鉱山災害事例データベース ・高圧ガス保安協会一事故事例データベース ・日本ボイラー協会一事故情報 ・J-STAGE ・神奈川県高圧ガス事故事例データベース

3. 調査中間報告

危険物施設以外の設備・機器の調査として、「原子力関連・事故事例」、「港湾関連・事故事例」、「上下水道設備関連・事故事例」、「鉄道関連・事故事例」、「電力関連・事故事例」、「都市ガス関連設備・事故事例」、「高圧ガス関連設備・事故事例」、「ボイラー関連設備・事故事例」等について調査を行った。

3. 1. 原子力関連・事故事例

1) 事故の内容

- ・美浜原子力発電所の配管破裂で蒸気噴出
- ・浜岡原発タービンの損傷
- ・敦賀原発2号機の熱交換器から一次冷却水漏れ
- ・敦賀発電所1号機シュラウドサポートのひび割れ
- ・浜岡原子力発電所1号機制御棒駆動機構ハウジング貫通部のスタブチューブ取付け溶接部の応力腐食割れ
- ・敦賀2号機加圧器逃し弁管台溶接部からの漏洩事故
- ・東京電力福島原発汚染水処理施設のタンク漏れ

2) 主原因

- ・配管内の乱流によるエロージョン/コロージョンによる局部減肉
- ・未点検箇所での腐食、疲労トラブルの発生
- ・定期検査の対象外設備でのトラブル発生
- ・設計時の想定外の異常振動
- ・高温と低温の冷却水が交互に流れて「高サイクル熱疲労」で配管に亀裂が発生
- ・ニッケル合金（インコネル）の溶接部では応力腐食割れが発生
- ・使用している添加薬品がステンレス製のタンク内面と反応して腐食が発生

3) 対策

- ・設計：高温、高圧、高速の熱流体が関係する設計では、実際の現象が設計の予想から外れることを想定し、実物大モデルでの挙動の確認
- ・検査：再生熱交換器胴本体の超音波探傷試験及び寸法調査
- ・点検：点検リストの作成と統一的管理による配管肉厚管理の規定化
- ・点検：運転中の巡視点検の強化。特に溶接部等を重点的に点検する。

4) 特記事項

- ・機械、装置は必ず劣化するとの認識が必要
- ・低速、低圧がいつも安全であるとは限らない
- ・不具合の兆候をモニターする。ただし、モニターする範囲が大切
- ・インコネル合金を使用し、補修などで高い残留応力が発生している溶接部には応力腐食割れが発生する。

3. 2. 港湾関連・事件事例

1) 事故の内容

- ・ 棧橋出荷設備における圧力計取付用枝管の腐食部からの重油の漏えい
- ・ 漁船に積載中の酸素ガス容器の腐食による破裂

2) 主原因

- ・ 海水飛沫による配管外面腐食の進行。
- ・ 配管の再塗装時の錆落としなどの塗装前の下地処理が不十分であった。このため腐食が進行した。
- ・ 海風の影響及び海水に触れる環境での容器放置による外部腐食。海岸雰囲気でのMn鋼の腐食速度は0.31mm/年であった。

3) 対策

- ・ 検査：目視検査の強化
- ・ 管理：腐食の疑いがある場合は全長について塗膜と錆を除去し、複数方向の肉厚の測定
- ・ 点検：長期貸出し容器の台帳管理の徹底と定期的な点検

4) 特記事項

- ・ 外面腐食は、ある特定部位に発生しやすい。
- ・ 腐食した配管類の保全修理作業では、腐食が予想外に内部まで進行していることが多い。
- ・ 残圧のある設備を放置すると腐食により破孔し破裂のおそれがある。
- ・ ガスボンベ容器管理の徹底
- ・ 窒素、酸素等のガスボンベ容器の破裂事故は毎年発生している

3. 3. 上下水道設備関連・事故事例

1) 事故の内容

- ・ 上水道滅菌設備のバルブからの塩素ガス漏えい
- ・ 上水配管漏水で近くに埋設してあったガス管が腐食して破損
- ・ 市道の地下に埋設された上水道の水道管から水が噴出
- ・ 水道水に白い異物が混入
- ・ **上水道施設の維持管理不備による断水**

2) 主原因

- ・ 滅菌設備の塩素が水分と反応して塩素イオン化しバルブのスピンドルの腐食を促進させた。
- ・ 水道管の漏水（噴出）箇所の10cm直上でガス管が交差しておりガス管が腐食した。
- ・ 土質等の影響により埋設配管が腐食
- ・ 水道管内面の腐食を防ぐための保護材が劣化によりはがれ混入した。
- ・ **要員不足による運転監視体制不備**
- ・ **技術の継承がなされていない**

3) 対策

- ・ 管理：バルブに防災キャップの取付け
- ・ 施工：水道管とガス管を道路の左右などに離して敷設する。上下に敷設しない。
- ・ 施工：土壌に直接接触れる埋設配管の外面腐食防止対策として、配管を被覆するポリエチレンスリーブは、埋設配管が腐食することを防ぐ効果がある
- ・ 検査：次のような埋設配管腐食部の診断方法がある。（例：www.jfe-eng.co.jp）
 - ①電位差利用：埋設鋼管とアース間に電圧を印加することで、アース（大地）と埋設鋼管に電気的な閉回路ができ電流が流れる。この電流の多くは塗覆装損傷部に集中して流れ込むため、損傷部近傍の地表面に電位勾配を生じる。点間電位差として連続計測し腐食部を特定できる。
 - ②電磁波利用：電磁波をアンテナから地中に向けて放射し、土と電気的性質の異なる物質（埋設管、空洞等）から反射波を受信して、到達時間から埋設物の位置と深さを確認する。
- ・ 管理：老朽化した配管の計画的更新
- ・ **管理：運転監視体制の見直し**
- ・ **管理：技術の継承方法検討**

4) 特記事項

- ・ 腐食の診断方法など同様の手法が危険物施設の配管でも活用できる。

3. 4. 鉄道関連・事件事例

1) 事故の内容

- ・ エキスポランド・ジェットコースター事故
- ・ JR西日本新幹線トンネルにおけるコンクリート剥落
- ・ 大井川鉄道列車脱線事故

2) 主原因

- ・ ジェットコースター車輪を支える軸のねじ部の疲労破壊
- ・ 不十分な装置検査の頻度と検査内容及び行政へのずさんな報告
- ・ トンネル内の長期間にわたる漏水・温度変化・列車振動などによる側壁のひび割れの進展
- ・ 列車通過中に分岐器に使用されているトンダレールが左右動を繰り返す状況となっていたことが、トンダレールの疲労破壊を進行させた。

3) 対策

- ・ 点検：定期検査方法等の明確化及び定期報告内容の充実
- ・ 点検：トンネルの総点検実施と応急措置
- ・ 検査：線路の疲労解析実施

4) 特記事項

- ・ テーパーとねじの組合せの構造は、いつかは緩みを生じ事故に至る。
- ・ 定期検査は軽視される傾向があり、報告制度も形骸化する。
- ・ **トンネルの総点検等で機械化による自動計測の原動力の一つとなった。**

3. 5. 電力関連・事故事例

1) 事故の内容

- ・ボイラー水管の破孔漏えい
- ・ボイラーの一次過熱器管及び接触電熱壁管に破孔
- ・ボイラーの過熱器管及び過熱器吊り下げ管の破孔
- ・ボイラーの後部ケーシングの隙間に雨水が浸入し水管の外部腐食
- ・ボイラーの1次低温過熱器管のベンド部に破孔
- ・節炭器管の破孔
- ・変圧器が経年劣化及び点検不備のため焼損
- ・地中ケーブルが絶縁不良のため地絡
- ・高圧ケーブルが経年劣化のため地絡
- ・真空遮断器が経年劣化と整備不良により地絡短絡
- ・風力発電所のロータヘッド内の機器を取り付けているボルトの折損と内部機器の破損

2) 主原因

- ・経年劣化
- ・絶縁破壊
- ・絶縁不良
- ・化学腐食
- ・外部腐食による減肉
- ・回転機器のボルトの疲労
- ・クリーブ破断 等

3) 対策

- ・施工：雨水浸入防止工事の実施
- ・管理：腐食防止対策として、ボイラー水質管理強化の徹底
- ・管理：経年劣化が予想されるものの早期取替えの実施
- ・点検：定期点検にてボイラー水管の詳細点検の実施
- ・点検：定期的な絶縁診断の実施と管理の徹底
- ・点検：点検周期の見直し

4) 特記事項

- ・経年劣化、腐食、疲労等に起因するトラブルの比率は全てのトラブルの約20%程度である。

3. 6. 都市ガス関連設備・事故事例

1) 事故の内容

- ・北見市都市ガス漏れ事故
- ・藤枝市都市ガス漏出事故
- ・地下鉄工事現場での都市ガス爆発（天六ガス爆発事故）

2) 主原因

- ・交通振動、除雪車等の振動による凍結地盤の不同沈下に起因するガス管の疲労破断
- ・ガス管に大規模な破壊があったにもかかわらず、当初、ガスを微量しか検出できなかった。
- ・下水道工事による地盤沈下に起因するガス低圧本管の折損
- ・ガス会社職員のガス漏れ調査における異常の未検出
- ・地上幹線道路の車輛通行による地盤沈下で振動を受けた埋設ガス管継手強度の劣化
- ・継手強度が低下していることを予測しておくべきであり、そのための抜け止めの施工を怠ったこと

3) 対策

- ・検査：ガス検査精度の向上
- ・設計：継手強度が低下していることを予測しての設計
- ・施工：厳冬下でも破壊されにくい樹脂管に変更する
- ・施工：開削工事時のガス管防護対策の制定
 - ① 露出部分の両端が地崩れのおそれのないことの確認
 - ② 漏えいを防止する適切な措置
 - ③ 温度の変化による導管の伸縮を吸収、分散する措置
 - ④ 危急の場合のガス遮断措置

4) 特記事項

- ・路面が凍結した上に更に積雪がある場合は、埋設配管から漏れたガスが地表に出られず微量しか検出できない。
- ・長期間使用されていた施設には何らかの欠陥があると予測して行動すべきである。

3. 7. 高圧ガス関連設備・事件事例

1) 事故の内容

①冷凍設備

- ・ 冷凍設備における配管破断による冷媒の漏えい
- ・ 空冷式ヒートポンプチラーの配管及び可溶栓からの冷媒漏えい

②圧力容器

- ・ 液化酸素用超低温容器（LGC）の破裂・着火爆発
- ・ LPG 揚荷配管の圧抜き配管からのガス漏えい
- ・ エチレン貯槽への返送ラインにおけるエチレンガス漏えい
- ・ 水素充填設備の圧力計用導圧管からの漏えい
- ・ 液化アンモニア導管からの漏えい、噴出
- ・ 液化窒素 CE（コールド・エバポレーター）の受入配管継手からの漏えい
- ・ 使わなくなった分析用容器の破裂
- ・ タンクコンテナの計装配管の破断
- ・ 貯槽配管からの液化石油ガス漏えい
- ・ 希硝酸プラント配管からのアンモニア漏えい
- ・ 天然ガススタンド内の圧縮機ユニットのクーラーから天然ガス漏えい
- ・ ヨウ素製造プラント塩素ガス製造設備からの塩素ガス漏えい
- ・ **三フッ化窒素製造設備の精留塔での火災**

2) 主原因

①冷凍設備

- ・ 配管ろう付け部の疲労破壊
- ・ ウォーターハンマー現象
- ・ 配管を固定している結束バンドの振動
- ・ 可溶栓のジョイント部のオーリングの劣化
- ・ **長期間停止時の薬液による内面腐食**

②圧力容器

- ・ 配管保温材の中に雨水が進入し滞留すると配管外面腐食の進行が速くなる。
- ・ 局所的な加温により腐食が進行
- ・ 不十分な下地処理での配管塗装による塗膜の劣化
- ・ 塗膜の内側への水分浸入による腐食の進行
- ・ 金属疲労による破断
- ・ 振動に伴う繰り返し応力による疲労破壊。
- ・ 小口径配管への必要な検査や対策の見逃し

- ・応力集中箇所の疲労による亀裂
- ・ガスボンベに残ガスが残ったままの長期間放置

3) 対策

①冷凍設備

- ・施工：配管のサポート支持の強化による振動の抑制
- ・管理：劣化配管更新と類似箇所の点検を実施
- ・検査：配管の外表面腐食検査方法の見直し
- ・施工：ウォーターハンマー防止策（高温蒸気と低温ドレンの接触を断つ）

②圧力容器

- ・施工：配管の外表面を塗装
- ・設計：配管の保温材の施工に関しては、保温材の間隙部が生じにくい形状にする。
- ・検査：配管の内表面腐食状況を X 線透過写真撮影と画像処理法により、運転を停止することなく検査、診断する
- ・施工：施工配管にスチームトレースを施工する際は、局部的加温による温度変化に起因する腐食に注意する。
- ・検査：外表面腐食検査の方法を見直す。
- ・検査：配管の外表面腐食の非破壊検査手法として種々のものがある。（資料 2 - 6 参照）
 - ・垂直、水平配管 : ロングレンジガイド波、磁気飽和過流探傷
 - ・被覆配管 : パルス ET
 - ・ラック接触部配管 : ラックスルー、レイリースキャン
 - ・保温、保冷材の水分 : 中性子水分計
- ・検査：メンテナンス体制を強化し、検査箇所、検査方法、部品取替え時期について具体的な基準を作成する。
- ・施工：塗装施工基準の見直し。下地処理（素地調整）の対象物に配管溶接部を加えて、塗装の施工品質を確保する。
- ・設計：配管材質を炭素鋼から耐食材（SUS）に変更する。
- ・設計：常時振動を繰り返し受けている設備や配管は疲労破壊のおそれがあるので、振動を緩和する必要がある。振動変位を吸収できるサポート構造とする。
- ・設計：防振装置の設置
- ・管理：停止後の運転開始時は塔内のガス分析を行う。
- ・管理：運転開始手順を明確にするため、運転管理基準の見直しを行う。
- ・管理：停止設備の管理基準を見直し、リスク評価表等を見直しを行う。

4) 特記事項

- 運転部門や保全部門による日常の目視点検による異常の発見が重要である。
- 現場作業員への保安教育の徹底
- 目視検査の視点として、配管部分やサポート部分の他に塗装劣化部を追加する。
- 高圧ガス配管の外面腐食対策は、環境要因を遮断することがポイントである。
- 極低温のガスを受け入れる際の温度差により応力がかかる部分を把握して、日常及び定期自主等の点検に活かすことが重要である。
- 窒素パーージをせずに長期間停止していた設備を再稼働する場合は、あらゆるケースを想定したリスク評価を行い、内容物のガス分析等十分な準備を行うこと。

3. 8. ボイラー関連設備・事故事例

1) 事故の内容

- ・ボイラー水冷壁管損傷
- ・ボイラー・クーリングスペーサ管損傷
- ・温水ボイラーに付設された貯湯槽の破裂

2) 主原因

- ・過大な応力によるボイラー管外面からの疲労亀裂の進行
- ・ボイラー側フランジのボルト 穴裕度不足
- ・経年的なスティラップ（支持金物）の劣化
- ・製作不完全（応力が作用しやすい形状）
- ・配管の内面腐食による閉塞に伴う内圧上昇

3) 対策

- ・施工：ボイラー内面に加え外面にも隅肉溶接を実施し、応力集中が緩和される構造に変更
- ・施工：ボルト穴拡大加工の実施。フランジ熱伸び時にボルトへ過大な剪断力が生じない対策を実施
- ・施工：クーリングスペーサ管を応力緩和型（フレキ管）に取替。
- ・施工：ロッドスペーサの取付位置を変更し応力緩和
- ・施工：耐食性材質に変更
- ・管理：点検の強化

4) 特記事項

- ・溶接絡みの事故が多い。
- ・設備の日常管理に抜けがある。

以上