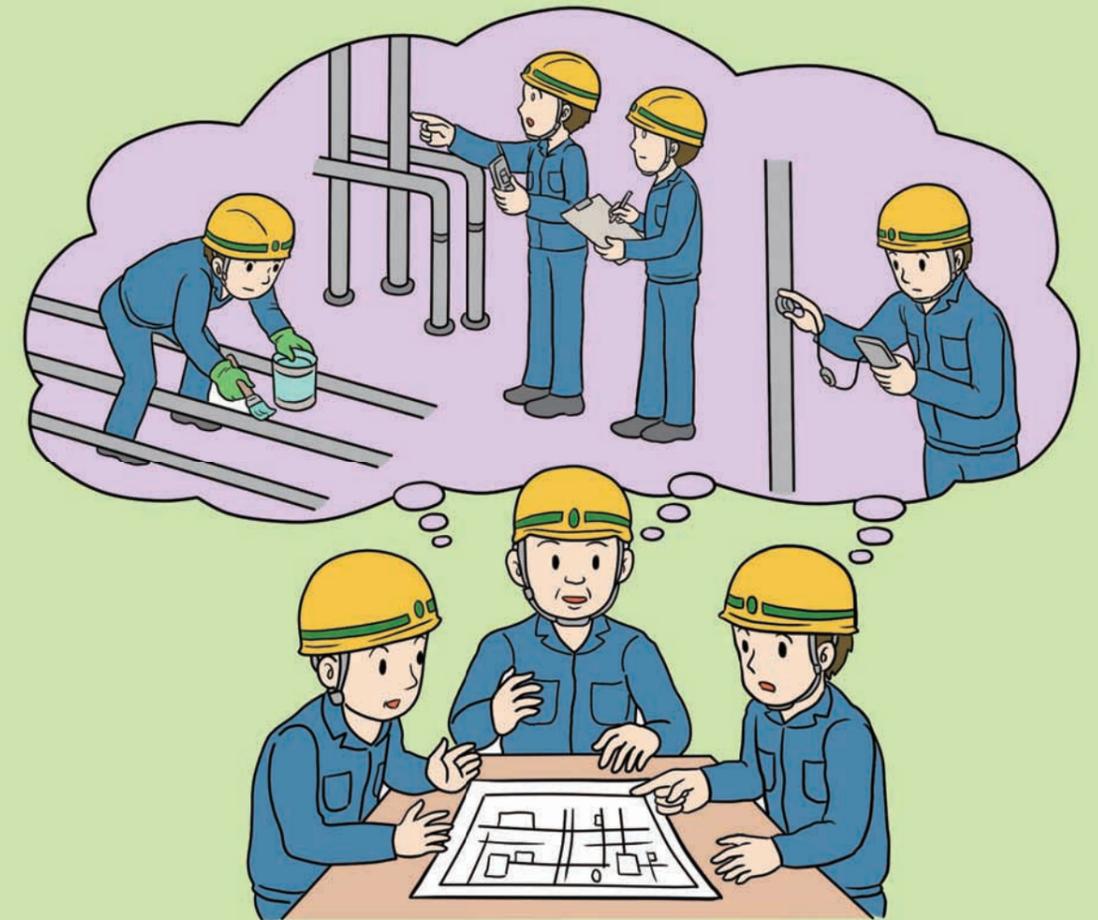


高圧ガス設備腐食管理手引書



富山県生活環境文化部環境保全課
富山県高圧ガス安全協会

〒930 - 8501 富山市新総曲輪 1 番 7 号 県庁南別館 3 階
TEL 076 (444) 3142 FAX 076 (444) 3481
県 URL <http://www.pref.toyama.lg.jp>
協会 URL <http://www6.nsk.ne.jp/toyama-kak/>

平成 27 年 3 月



富山県高圧ガス安全協会

はじめに

近年の高圧ガス事故の主な原因の一つとして、設備の劣化・腐食等が挙げられています。

設備の腐食は、経年変化のなかで避けられるものではありませんが、設備の適切な日常点検や定期的な検査により、早期に異常を見つけ出し、的確に補修等を行うことで漏えい事故の未然防止を図ることができます。

また、適切な腐食防止措置を行うことにより、設備の長寿命化を図ることもできます。

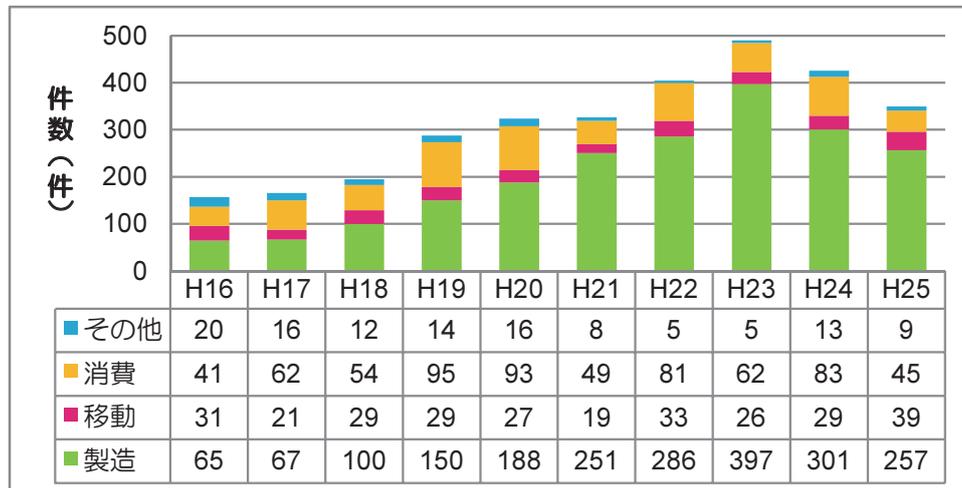
本書では、特に外面腐食が散見される配管等を中心に、設備の維持管理の基本となる腐食しやすい箇所や腐食管理の手順、腐食防止措置について記載しています。

本書を活用し、確実かつ計画的に高圧ガス設備の腐食対策を行いましょう。

1 腐食管理の意義及び必要性

(1) 高圧ガス災害事故の発生状況と原因

高圧ガスの災害事故は、国の統計では、最近5年間の件数が高止まり状況で、件数が増加し始めた平成18年の2倍近くになっています。図1-1に平成16年から平成25年までの高圧ガスの災害事故件数を示します。



(注) H23は東日本大震災による災害を含む

図1-1 平成16年以降の高圧ガス事故(災害)件数の推移

全国における最近3年間の原因別の災害事故件数を図1-2に示します。最近3年間1,266件の災害事故の原因として最も多いのは、腐食管理不良15%(196件)で、次に誤操作・誤判断12%(155件)、3番目に検査管理不良12%(152件)でした。

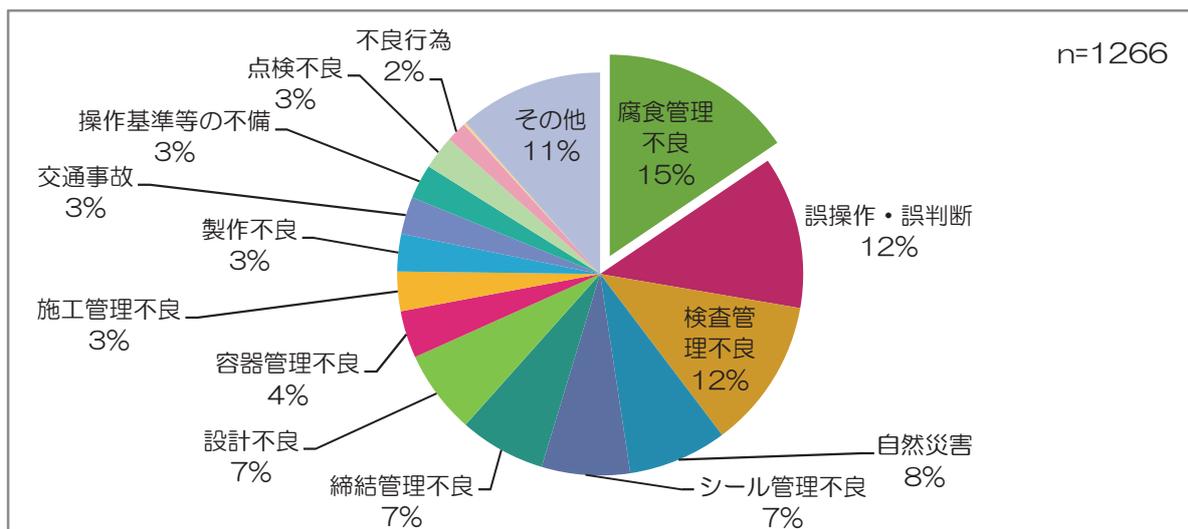


図1-2 全国における最近3年間の原因別災害事故件数

[注] パーセンテージは、それぞれ四捨五入しているため、合計が100%と一致しないものがあります。

また、県内における最近3年間の原因別の災害事故件数みると、図1-3のとおり、発生した16件の災害事故の原因として最も多いのは、全国と同様に腐食管理不良

25%（4件）でした。また、次に多いのは、施工管理不良 19%（3件）、続いて製作不良 13%（2件）、検査管理不良 13%（2件）でした。

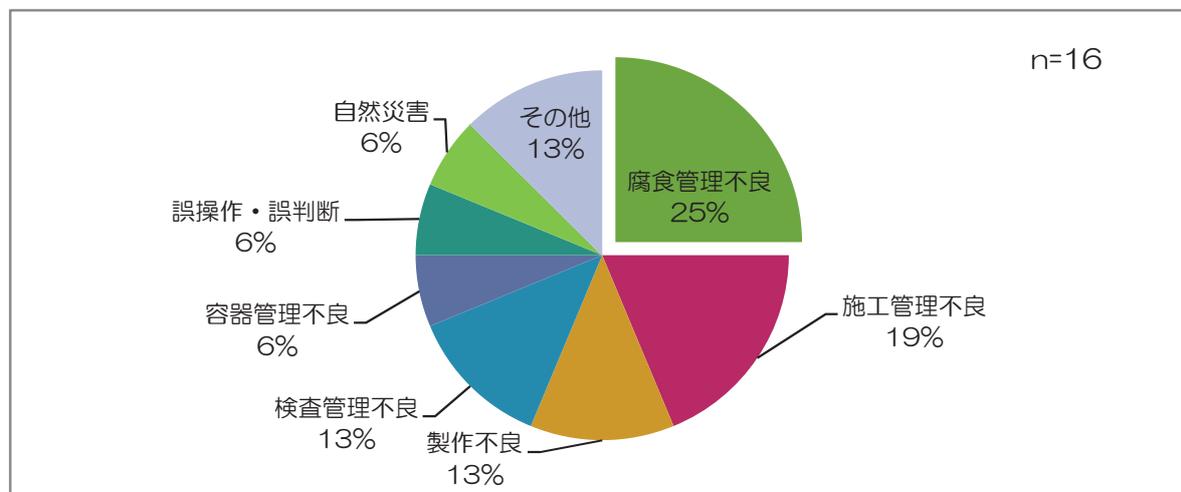


図 1-3 県内における最近3年間の原因別災害事故件数

(2) 腐食対策に対する県内事業所の状況

県内の 179 事業所に、高圧ガス設備の腐食管理対策の取組状況をアンケート調査し、158 事業所（回収率 88%）から回答があり、有効回答数は 135 事業所（有効回答率 75%）でした。

ア 高圧ガス設備の腐食箇所等

腐食が原因で高圧ガス設備等の更新、対策を実施したことがある事業所は、図 1-4 のとおり、44% の事業所でした。

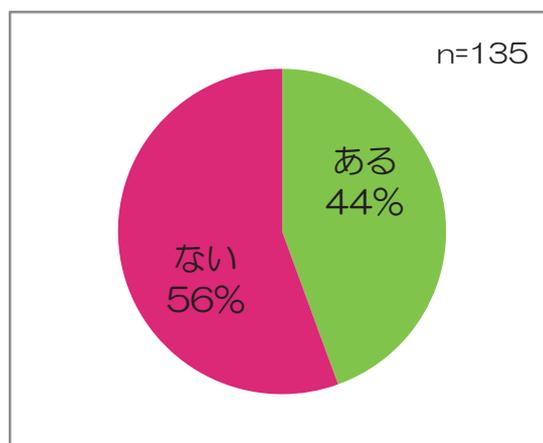


図 1-4 腐食が原因による高圧ガス設備等の更新、対策の実施の有無

腐食が原因で更新等を実施した箇所の内訳は、配管が最も多く（32%）、次にボルト、ナット（20%）、サポート部（16%）の順でした（図 1-5）。

これらの腐食を発見した機会は、日常点検時が最も多く（34%）、次に自社定期自主検査時（29%）、メンテナンス業者による定期的な検査時（18%）の順でした（図 1-6）。

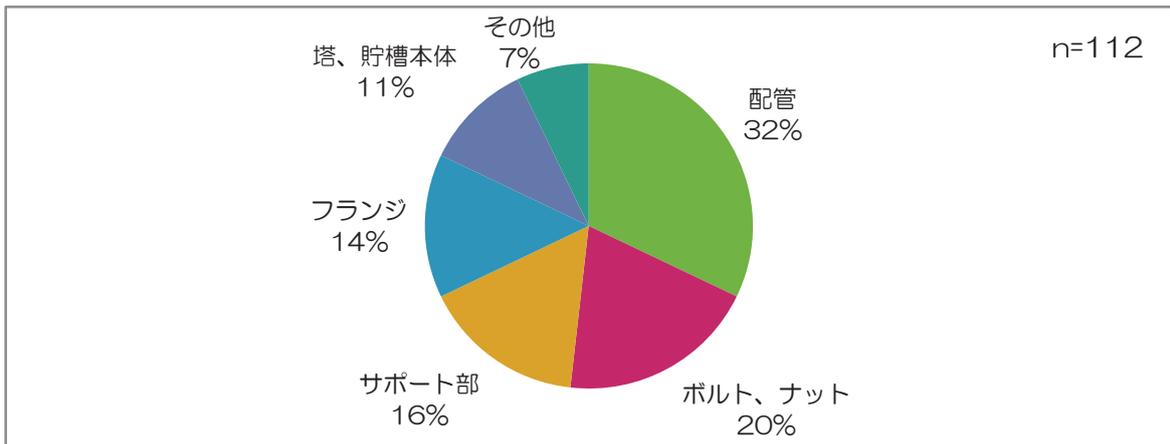


図 1-5 腐食が原因で更新、対策を実施した箇所

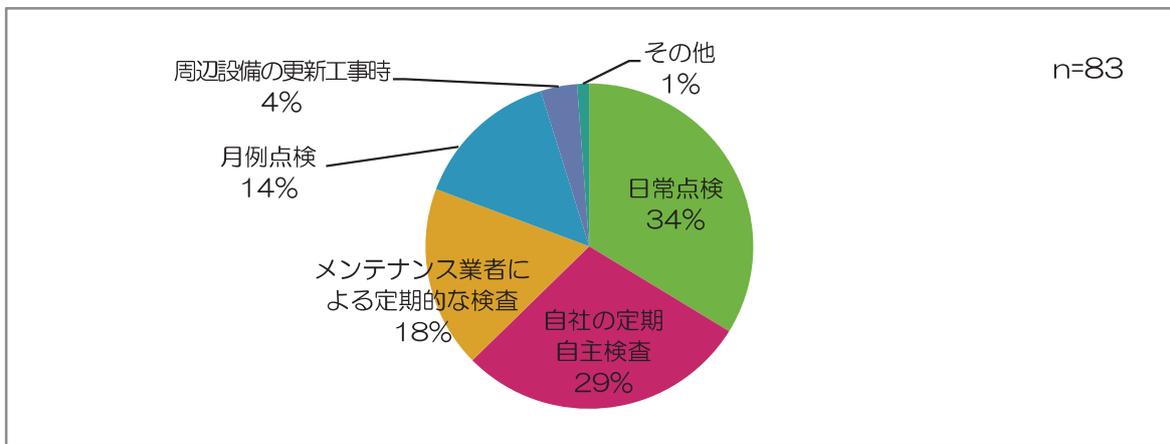


図 1-6 腐食を発見した機会

また、腐食の原因として多かったのは、「雨水」によるものが最も多く、全体の58%を占めていました（図 1-7）。

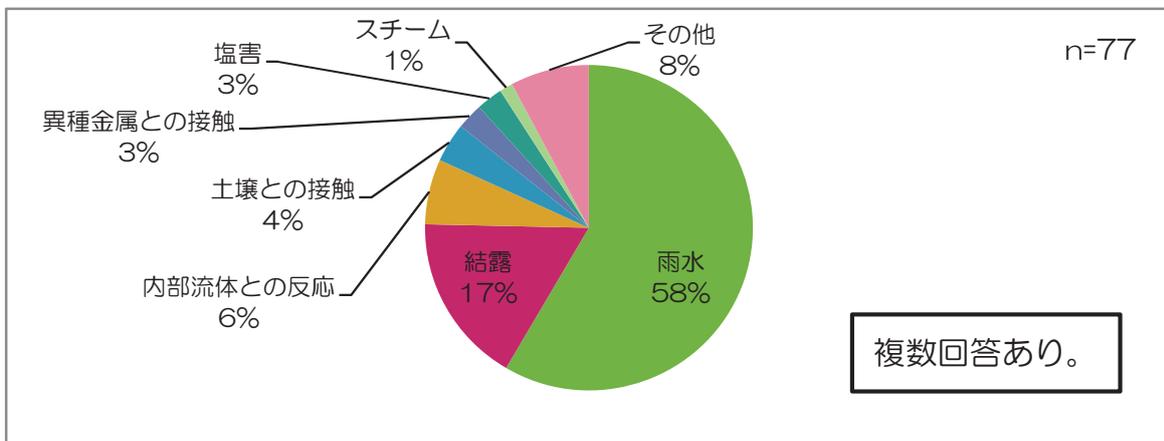


図 1-7 腐食の原因

イ 高圧ガス設備の腐食管理

設備の腐食に関する検査計画については、図 1-8 のとおり、57% (76 事業所) において検査計画がありました。

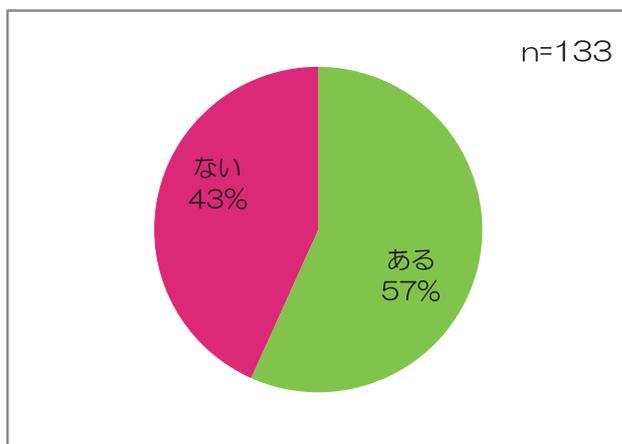


図 1-8 腐食に関する検査計画の有無

腐食検査の判定基準については、図 1-9 のとおり、検査計画を定めている 76 事業所のうち、約半数で基準が定められていませんでした。また、「ある」とした事業所の判定基準は、ほとんどの事業所において、「肉厚測定値が規定最小肉厚以上であること」でした。

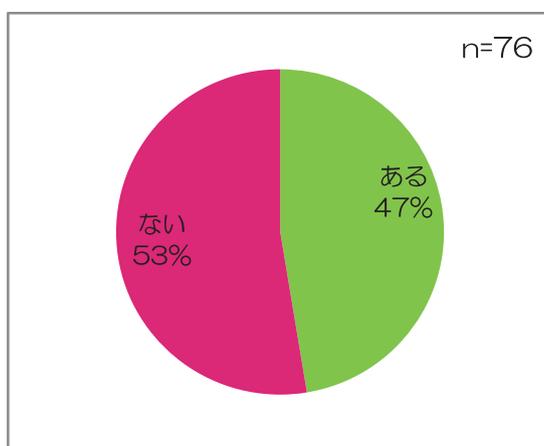


図 1-9 腐食検査の判定基準の有無

腐食防止対策については、94% (127 事業所) が対策を行っており、対策内容はほとんどの事業所において防錆塗装でした。

アンケート調査の結果から、回答のあった高圧ガス事業所の 44% において、腐食を原因とした設備の更新等を行ったことがあり、設備の腐食管理については、大部分の事業所において何らかの腐食対策がされ、定期的に検査がされているものの、その検査結果に対する判断基準が定められていないことがわかりました。

(3) 腐食管理の目的と効果

高圧ガスの設備を安全に使用するには、定期的に検査を行い、設備の劣化や異常を早期に発見・対応することが重要です。

しかし、何らかの要因により腐食が突然進行した場合は、次回の検査前に設備が破損してしまいます。

一方、進行が遅い場合には、前回の検査結果との比較では発見することができず、長年のうちに気づいたら腐食が進行していたということがあります。

特に、設置後数十年が経過し、腐食が散見される状態になっている設備では、新たな腐食に気づきにくく、設備管理者の保安意識が低下するといった弊害もあります。

外面腐食については、保温材等の設置の有無、施工方法、配管サポートの有無など多くの条件が腐食要因となり、内面腐食に比べると定点測定での傾向管理が難しいと言われており、広範囲の対象を分担することになった場合、担当者間の判断基準を統一する必要があります。

以降のページの内容をもとに、リスクアセスメントの考えを取り入れ、優先順位を決めて、効率的かつ確実な腐食管理対策をすすめ、高圧ガス事故の未然防止に努めましょう。



2 腐食管理のすすめ方

(1) 外面腐食の管理のすすめ方

ア 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、雨水が浸入し滞留しやすい箇所に発生します。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ります。

外表面が常時 $-5^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 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す。

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ります。

イ 外面腐食の防止対策

外面腐食の防止対策として有効なのは、「塗装」と「雨水浸入防止措置」です。

大気中の建造物の塗装に最も頻繁に用いられるのは、「錆止めペイントの下塗り及びフタル酸樹脂塗料の上塗り」で、数年から10年程度の耐久性があります。

塗装時の重要なポイントは「素地との密着性の良さ」です。ブラスト法などによるケレンにより素地調整を十分に行ってから塗装を行いましょう。

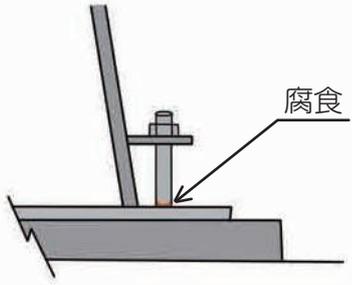
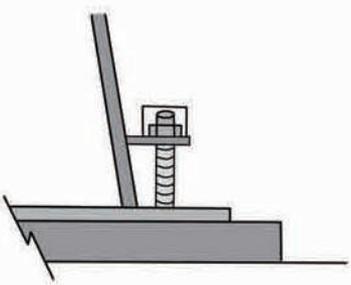
設置環境によっては、次の対策が有効となります。

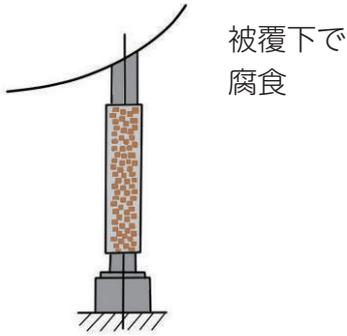
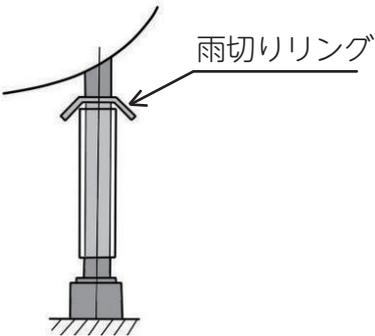
海岸などの塩害 の厳しい環境 : ジンクリッチペイントーエポキシ樹脂系塗料ーポリウレタン樹脂塗料の塗り重ね

水環境 : タールエポキシ樹脂系、エポキシ樹脂系塗料の厚塗り

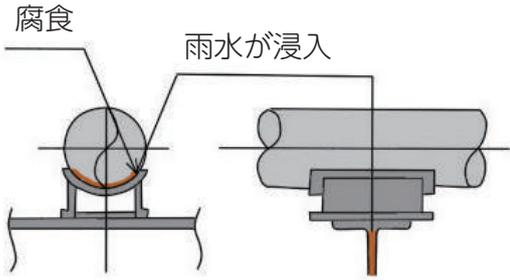
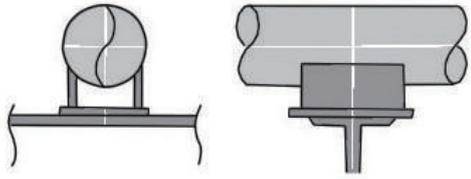
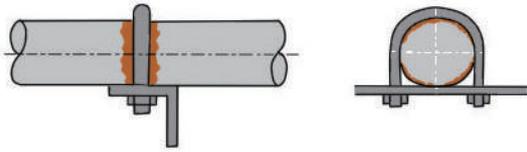
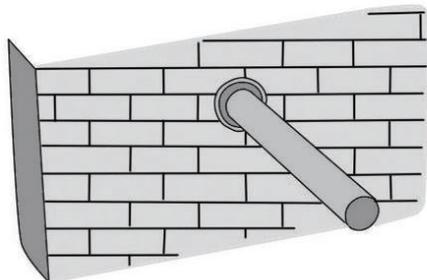
以下に、外面腐食が発生しやすい箇所とその対策例を示します。日常点検等の現場パトロールを行う際には、特に注意して確認し、検査部位の選定に反映させることが大切です。

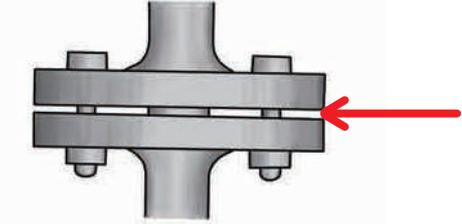
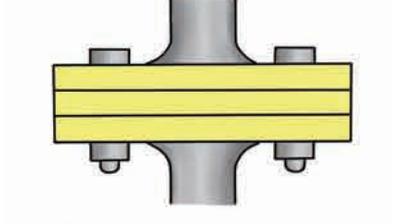
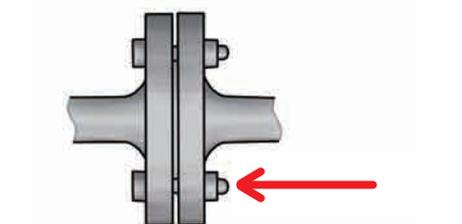
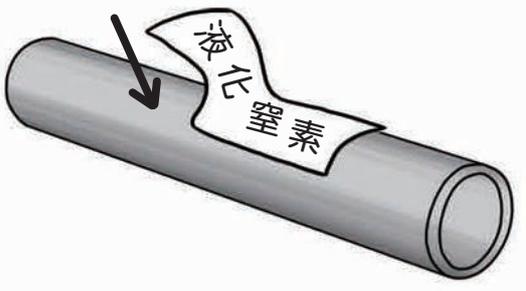
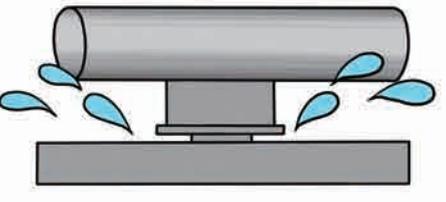
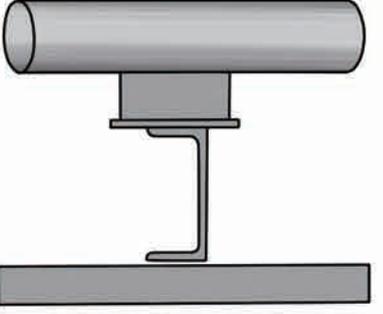
○ 塔槽類

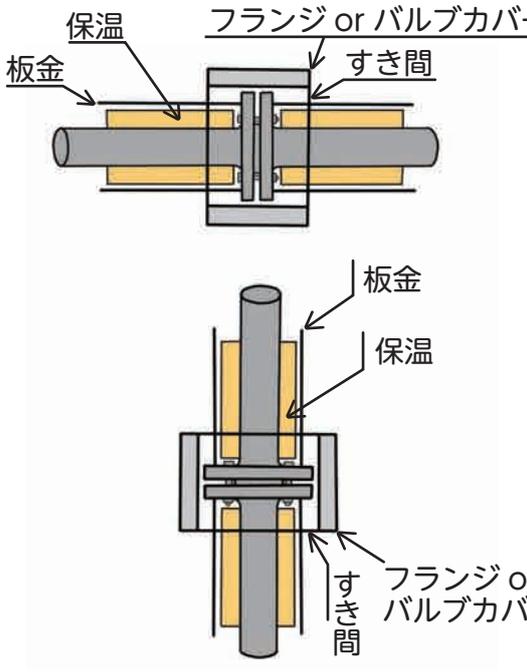
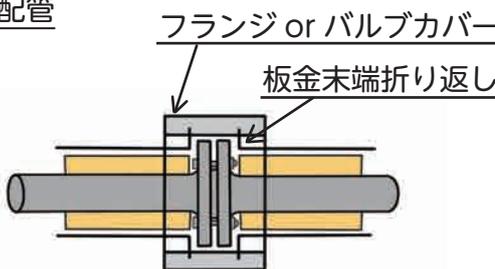
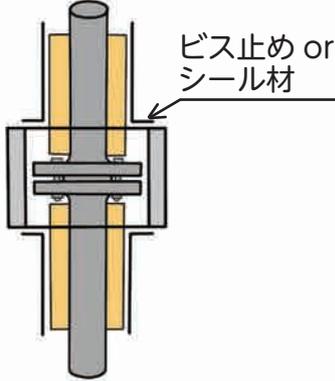
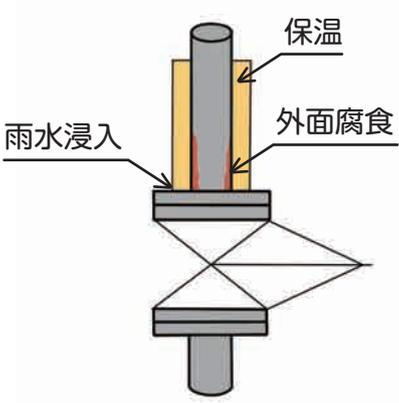
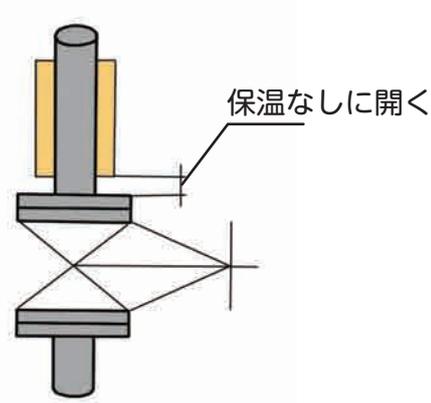
発生しやすい箇所	腐食対策例
<p>脚柱の据付部</p>  <p>腐食</p> <p>・基礎ボルト付近に雨水が溜まり腐食</p>	 <p>・基礎ボルトを重防食コーティング ・防食テープ巻き ・基礎ボルトのステンレス化 ・グリスキャップの設置</p>

発生しやすい箇所	腐食対策例
 <p>被覆下で腐食</p> <ul style="list-style-type: none"> ・脚柱と耐火被覆の境界部から雨水が浸入 	 <p>雨切りリング</p> <ul style="list-style-type: none"> ・脚部へ雨切りリングの施工 ・基礎ボルトを重防食コーティング

○配管類

発生しやすい箇所	腐食対策例
 <p>腐食</p> <p>雨水が浸入</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大口径配管とサドルとのすき間に雨水が浸入して腐食 	 <ul style="list-style-type: none"> ・配管の支持方法をシュー方式に変更
<p>U字バンド固定部位</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・すき間腐食が発生しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・配管に樹脂製スリパーを取付け、U字バンドで固定 ・防食テープを巻き、塗装を施工 ・バンド固定位置を定期的（2年程度）にずらす
<p>壁の貫通部</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・防食テープを巻き、塗装を施工 	

発生しやすい箇所	腐食対策例
<p>フランジ継手のすき間</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・垂直方向の配管では、すき間に水がたまり、腐食しやすい 	 <ul style="list-style-type: none"> ・防食テープを巻く ・腐食が著しい場合は、フランジ部に板金カバーを施工
<p>異種金属接触腐食</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・ステンレス製フランジに炭素鋼製ボルトを使用している場合、ボルトが腐食 	<ul style="list-style-type: none"> ・同種の金属を使用する（フランジ、ボルト共にステンレス化が望ましい）
<p>表示シール（ワッペン）下</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・定期的な表示シールの交換 ・流体表示をペンキで施工 <p>※裸配管には直接、表示シール（ワッペン、テープ等）を巻きつけない</p>
<p>雨水跳ね上がり部</p> 	 <ul style="list-style-type: none"> ・「配管位置のかさ上げ」や「地面の掘り下げ」により、配管と地面との距離をとる

発生しやすい箇所	腐食対策例
<p>保温・保冷外装板（フランジ継手）</p> 	<p>水平配管</p>  <p>垂直配管</p>  <p>・配管とカバーの間にすき間が生じるので、配管側の外板を折り返す（シーリング材等は、従来のように施工）</p>
<p>保温配管のバルブ直上</p> 	 <p>※保温施工を取り外すことが有効となる場合もあります</p>

なお、設置場所によっては、以下のような対策も外面腐食の防止に有効です。

- 雨水が上部から集中的に落下している場合は、雨水の落下する位置をずらしたり、配管上に雨避けを設置したりする。
- トレンチ内などで雨水が滞留して湿潤雰囲気となる場合は、排水ポンプの設置や、配管のかさ上げなどにより、通風を良くする。

コラム：腐食のメカニズム

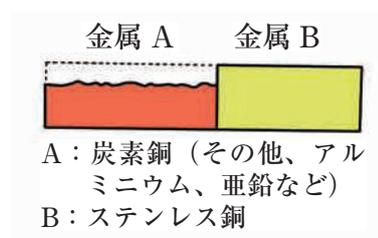
鋼を水や土の中に入れると、水と酸素の作用で腐食（湿食）が生じます。

水と酸素が均一に作用するとき生ずる腐食は決して大きなものではなく、全表面にならすと、せいぜい1年当り0.1mm減肉する程度です。

外面腐食の多くは湿食によるものです。湿食のメカニズムの主なものを次に示します。

○ 異なる種類の金属の接触によるもの

腐食環境中で、異なる二つの金属を接触させると、片方の金属の腐食が進みます。例えば、図のようにステンレス鋼と炭素鋼を接触させると、炭素鋼の腐食が進みます。このとき、ステンレス鋼の面積に比べ、炭素鋼の面積が小さい場合、より腐食が進みます。



○ 材料の不均一によるもの

同じ金属であっても、局所的な材質や表面状態の違いで、電池作用により局所的に腐食が進みます。例えば、図のような溶接部では、母材の熱影響部と溶接金属部で腐食が進みます。

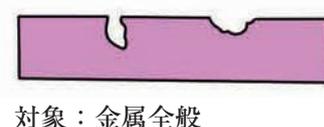


○ 孔食

ステンレス鋼は、表面に不動態被膜を形成するため、一般的には耐食性を示します。

しかし、湿性環境中に塩化物イオン（Cl⁻）がかなり高い濃度で存在し、局所的に濃縮する場合、この被膜が局所的に破壊されることがあります。その箇所ではマクロ電池が形成され孔状に腐食が進みます。

この現象は、特に塩化物環境のステンレス鋼で顕著なので、注意が必要です。



○ すき間腐食

ステンレス鋼のような不動態被膜をもつ金属では、設置箇所に狭いすき間があると、すき間内の溶液が低pH、高Cl⁻となり、すき間内の不動態被膜が破壊され、すき間で腐食が発生します。この現象が発生しやすいのは、フランジ締付け部やシール部です。

腐食には高温ガス（空気、酸素、水蒸気、二酸化炭素など）による「乾食」もありますが、ここでは説明を省略します。なお、高温用材料には、耐食性だけでなく高温強度も求められるので、使用材料によっては注意が必要です。

(2) 内面腐食の管理のすすめ方

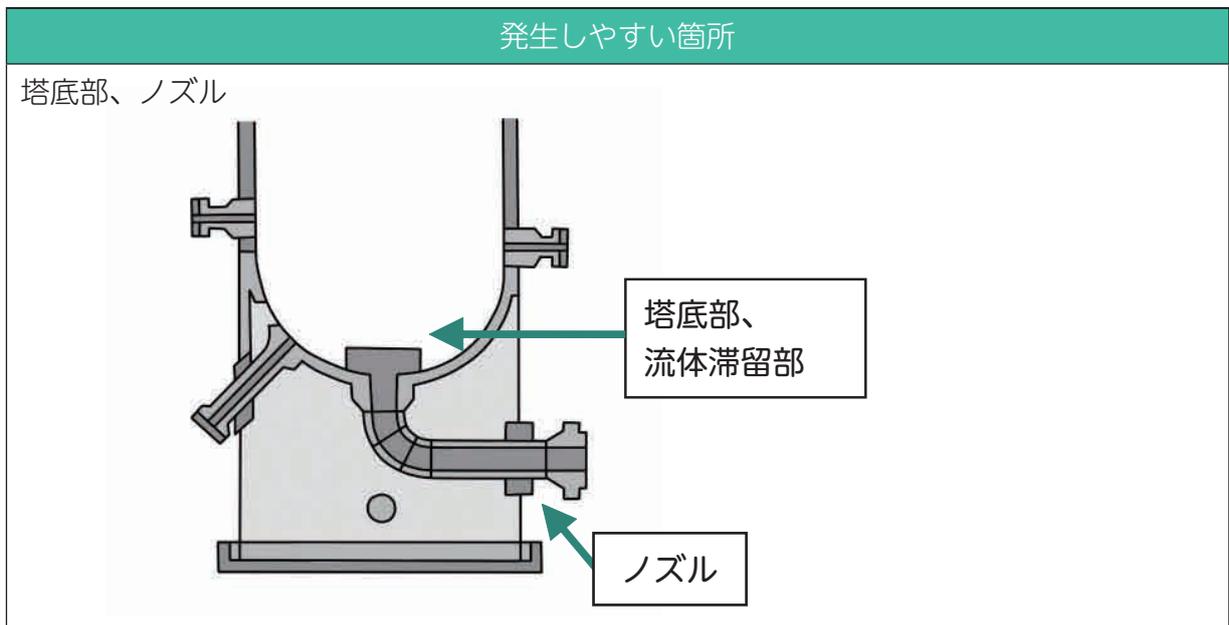
ア 内面腐食の発生しやすい箇所

内面腐食は、以下の部位において腐食が発生しやすく、減肉等のおそれがあります。

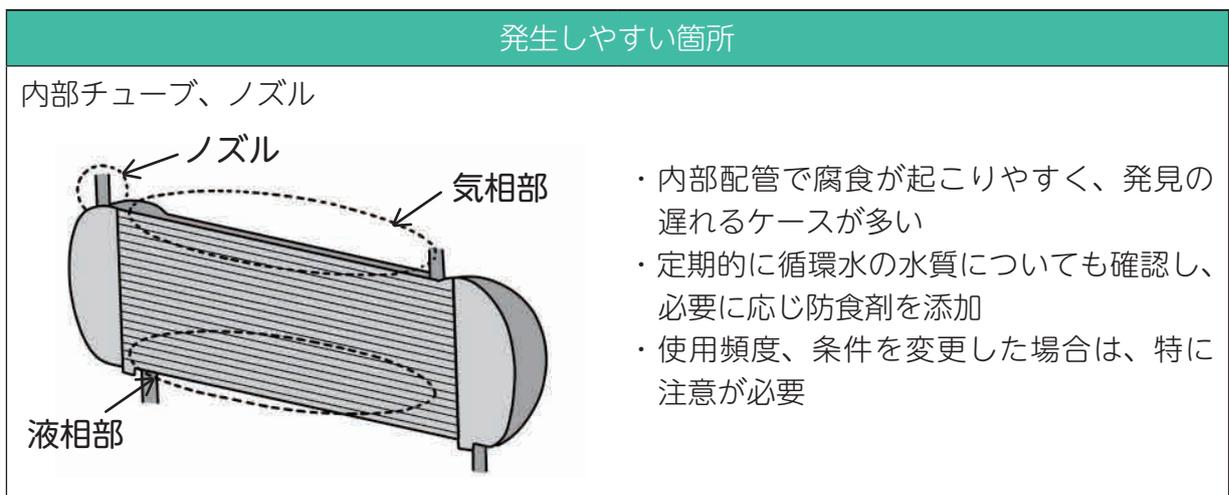
- 液相と気相の境界面
- 腐食の発生しやすい温度域に曝される部位
- 流れの滞留部
- 内容物の堆積部

腐食が発生しやすい箇所の例を以下に示します。日常点検等の現場パトロールは、結露や異音など「異常の気づき」を意識して行いましょう。

○ 塔槽類

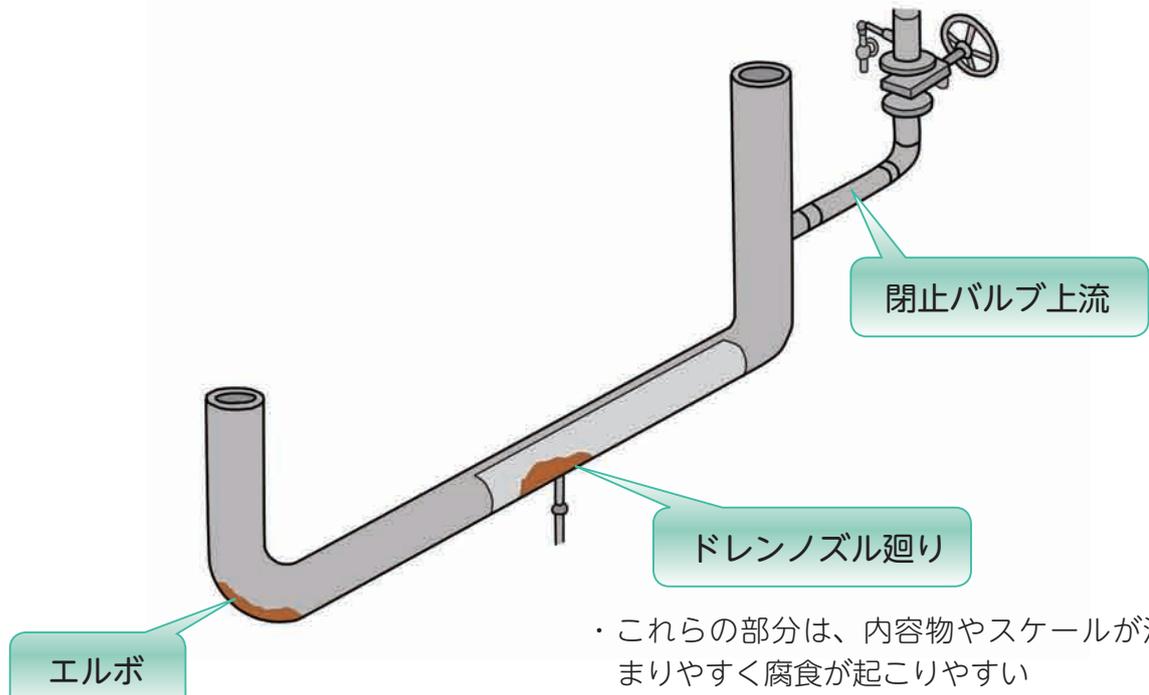


○ 熱交換器



○ 配管類

発生しやすい箇所



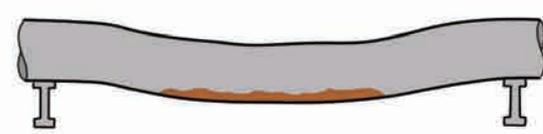
エルボ

閉止バルブ上流

ドレンノズル廻り

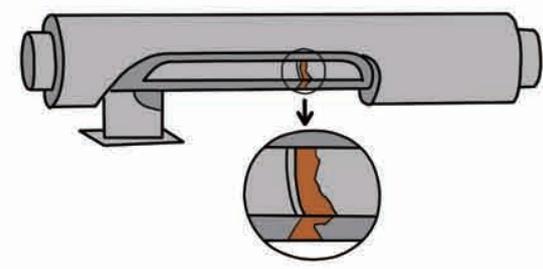
- ・これらの部分は、内容物やスケールが溜まりやすく腐食が起こりやすい

長い配管のたわみ部分



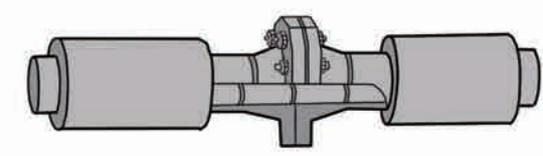
- ・たわみ部分にドレンが滞留し、下部に腐食を発生しやすい

サポート取付部及び溶接部



- ・局部冷却または凝縮により、腐食を発生しやすい

部分的に保温を施工していない部位



- ・水分の凝縮により、腐食を発生しやすい

イ 内面腐食の防止対策

内面腐食の防止には、以下の対策が有効となる場合があります。ただし、内部流体の性状や運転条件が大きく影響するため、内面腐食が見られた場合は、メンテナンス業者に相談し、適切な手法を選択しましょう。

① 環境処理

腐食性物質を除去・低減する方法や、温度を下げて腐食の反応速度を落とす方法、防食剤を添加する方法などがあります。

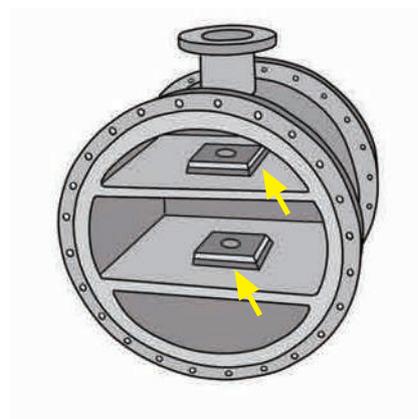
(例) ・ 大気中の除湿

- ・ ボイラ給水の脱気（酸素除去）
- ・ 防食剤の注入 ※環境負荷に注意

② 電気防食

湿食時には金属の溶出により電流が流れますが、電気防食はこれと逆方向の電流を流し、腐食を抑制する方法です。「アノード防食法」と「カソード防食法」がありますが、通常はカソード防食法が使用されます。

熱交換器のうち温かい水が流れるものでは、亜鉛合金を犠牲に腐食させ電気を流す「犠牲陽極法」が採用されることがあります。



日頃からよく観察を！

日常点検で点検項目のみのチェックで満足していませんか？

同じような設備であっても、風雨にさらされている、水滴が当たっているなど周囲の環境によって、腐食の進行は異なります。

周囲を見渡し、見比べてみて外部腐食が多くみられる箇所は、注意が必要です。

日常点検の際に、以下の「腐食しやすい箇所」をよく観察するよう意識し、気付いた点はきちんと記録しておきましょう。

また、日常点検で気付いた箇所は、月例点検時にしっかりと目視検査を行い、20 ページの評価基準を参考に塗替え等の対策を行いましょう。

腐食しやすい箇所

[塔槽類、熱交換器]

- 塔底部
- 塔槽類、熱交換器からのノズル
- 設備本体脚柱の据付部

[配管類]

- 曲がり部（エルボ）
- ドレンノズル周り
- 閉止バルブ上流
- 長い配管のたわみ部分
- 部分的に保温を施工していない部位
- サポート取付部及び溶接部（サポート、Uバンド、ハンガーの腐食）
- 壁貫通部
- フランジ継手のすき間
- 異なる種類の金属接触部
- 表示シール（ワッペン）の下
- 雨水等跳ね上がり、土等の付着
- スチーム（トレース）配管隣接部（スチーム漏洩、スチームトラップの回収など）

日常点検のチェックポイント

- ◇ 塗装のはがれや劣化の状態はどうか
- ◇ 錆の浮出しや錆の流れ出しの跡はないか
- ◇ 保温・保冷外装板にすき間や割れはないか
- ◇ 接合部やサポート部に水たまり・水の滲み出しはないか
- ◇ 異臭や異音はないか

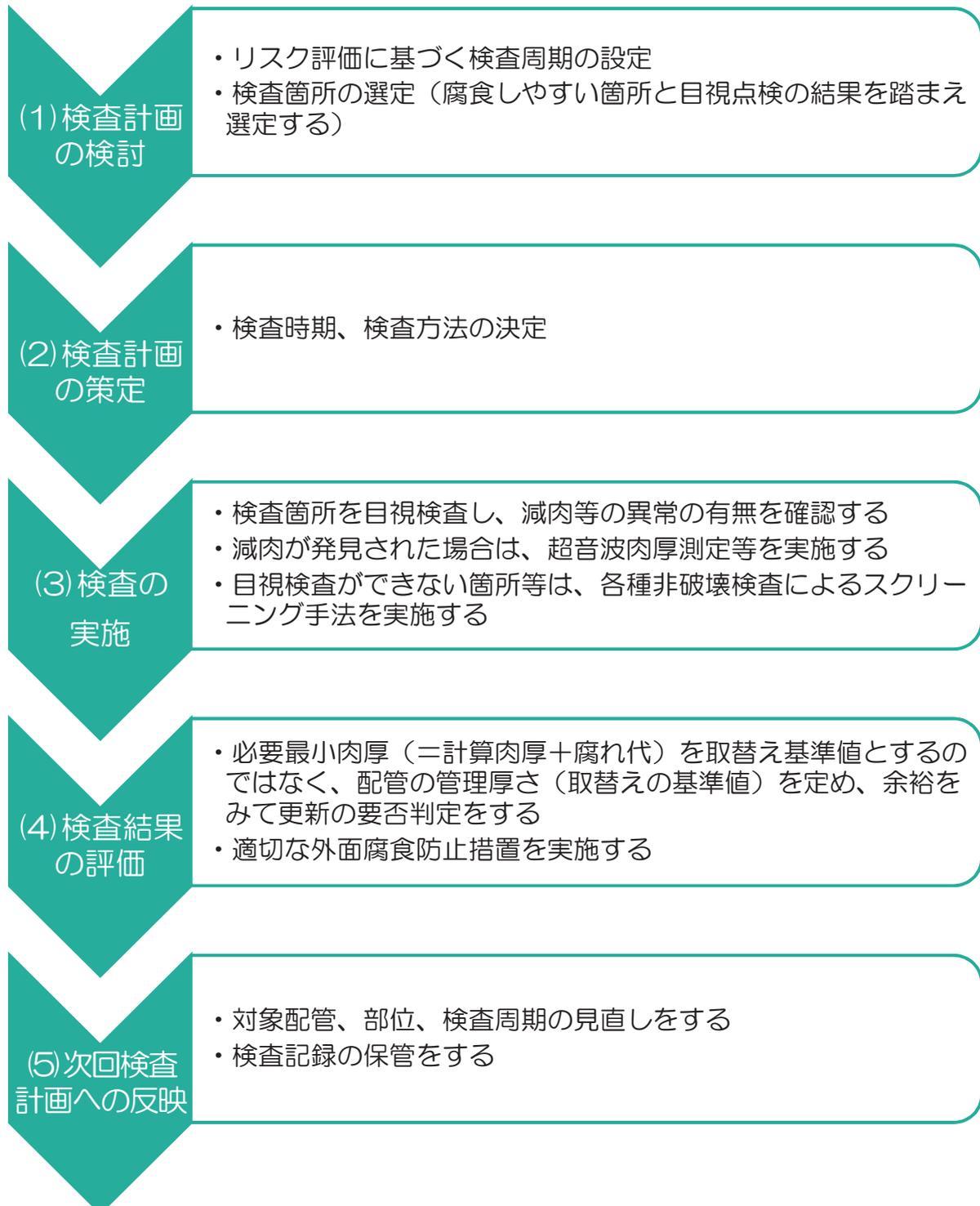
→ 少しでも気になるところがあれば、記録して保安係員（上司）に報告するとともに、メンテナンス業者にも相談してみましよう。

3 腐食管理の手順

腐食管理は計画に基づき検査を行い、腐食状況を的確に把握し、その進行を予測し必要な対策を実施することです。

検査計画を検討する際の大前提となるのが日常点検です。日常点検の結果、異常があった場合、処置を施すのはもちろんですが、異常の疑いや兆候のある箇所もしっかり記録のうえ分析を行い、検査計画の検討に役立てましょう。

ここでは、実施頻度の比較的多い、外面腐食の管理手順を例に示します。



(1) 検査計画の検討

「保安検査基準 (KHKS0850(2011))」^(注)において、高圧ガス設備の耐圧性能及び強度に係る検査として、目視検査や肉厚測定の実施頻度が定められています。

配管の場合、基本的には、ほぼ同一の腐食環境下において類似の腐食形態を受ける範囲(腐食系)単位で管理し、1年に1回実施することとされています。

しかし、設置後数十年経過した設備では、知らないうちに腐食が進行しているケースがあります。早期に異常を見つけ出し漏えいを防止する観点から、保安検査での実施箇所以外についても、計画的に検査を行いましょう。

(注) 製造設備がコールド・エバポレータの場合は、一般高圧ガス保安規則別表第三第2項

ア 腐食のリスク評価及び検査周期の設定

腐食しやすい箇所すべてに対策を施すことが最良ですが、経費の問題等から、一度に実施することは現実的に困難な場合が多いと思われます。このような場合には、高圧ガスの「漏えい時の影響の大きさ」と設備の「発生の可能性(腐食の起こりやすさ)」からリスク評価を行い、優先順位をつけてリスクレベルの高いものから対応を行いましょう。

表3-1は「漏えい時の影響の大きさ」の評価基準の例です。高圧ガスの種類及び使用条件ごとに物性や特性を考慮して評価します。

なお、本手引書の評価基準は絶対的なものではなく、あくまで参考例です。高圧ガスの種類や使用環境により多少異なると考えられますので、具体的な評価基準は各事業所の実態に応じて作成してください。

表3-1 漏えい時の影響の大きさの評価基準

評価	漏えい時の影響の大きさ
1	・影響なし ・ヒヤリ・ハットにとどまる
2	・漏えいにとどまる(圧力、流量、温度を考慮する)
3	・火災や爆発が発生する(爆発下限界、引火点などを考慮する) ・人体に影響する(有害性・許容濃度、PHなどを考慮する) ・小規模な破裂が生じる
4	・大規模な爆発や火災が生じる ・事業所外に何らかの影響が及ぶ ・経済性(機会損失、復旧費用など)

次に掲げる配管系は漏えい時の影響が大きいと思われるので、内部流体の危険度にかかわらず、必要に応じて影響度を上げます。

- 安全制御装置、警報装置等の保安設備に影響がある配管系
- 排水処理装置、焼却装置等の環境設備に影響のある配管系
- 換気装置、吸収装置等の有害物除害設備に影響のある配管系
- 消火設備、散水・冷却装置等の防消火設備に影響のある配管系

表 3-2 は「発生の可能性」の評価基準の例です。配管の外面腐食の場合は、表 3-3「腐食の起こりやすさの評価項目」に該当する項目数に応じて評価します。

なお、評価にあたっては、運転実績、過去の検査結果及び事業所の保安管理体制、日常の監視方法、異常検知の信頼性、異常発生時の保安装置、防災設備、防災体制、防食被覆（被覆材の耐用年数）なども考慮します。

評価基準や評価項目等については、本例を参考に、各事業所の実態に応じて作成してください。

表 3-2 発生の可能性（腐食の起こりやすさ）

評価	発生の可能性	「表 3-3」中の腐食の起こりやすさの該当項目数
1	ほとんど起こり得ない。	1 項目以下
2	たまに起こる。	2～3 項目
3	時々起こる。	4 項目
4	よく起こる。	5 項目以上

表 3-3 腐食の起こりやすさの評価項目

項目	内容
設置場所	多湿な場所（水の飛散、冷水塔周り、ピット内等）や沿岸部に設置している
材質	炭素鋼、低合金鋼を使用している
保温・保冷材	保温・保冷材を使用している
常用の温度	常用の温度が－5～150℃である、または配管に結露が見られる
運転形態	間欠運転を行っている
防食措置	防食措置をしていない

表 3-4 を用いて、「漏えい時の影響の大きさ」と設備の「発生の可能性（腐食の起こりやすさ）」からリスクレベルを決定します。

表 3-4 リスク評価のためのマトリックス表

発生の可能性 （「表 3-2」による評価値）	影響の大きさ 「表 3-1」による評価値			
	1	2	3	4
1	I	I	I	II
2	I	I	II	III
3	I	II	III	IV
4	II	III	IV	IV

検査周期は、表 3-5 を基本とし、過去の検査結果及び過去の補修、更新実績を考慮のうえ設定します。

表 3-5 リスクレベルに対応する配管の検査周期

リスクレベル	配管の検査周期
I	1 2 年以内
II	8 年以内
III	6 年以内
IV	4 年以内

イ 検査箇所の選定

検査箇所の選定は、7 ページの 2 (1) で示した腐食の発生しやすい箇所のほか、日常の目視点検の結果、以下のような異常が見られる箇所も加えます。

- 塗装の劣化の状態、防食テープ等劣化
- 錆び浮出しの状態、錆の流れ出し
- 防食材被覆部の劣化損傷
- 水滴・水の滲み出し
- サポート、Uバンド、ハンガーの腐食
- スチーム漏えい、スチームトラップの回収
- 貫通部構造材劣化
- 雨水等跳ね上がり、土等の付着

(2) 検査計画の策定

検査の実施時期には、停止中の検査と運転中の検査があります。作業者の安全や点検時間等を考慮し、可能な限り設備の停止中に実施できるように計画を立てましょう。

なお、運転中の超音波肉厚測定では、配管外面温度の影響により誤差が発生するので、測定値を補正する必要があります。

また、運転中の検査において異常が認められた場合は、設備を停止し検査することを検討する必要があります。

外面腐食を検査する手法は目視検査、非破壊検査などがあります。標準的な手順としては、まず、検査部位を目視検査し、異常の有無を判断します。次に必要に応じ非破壊検査を実施し、処置を決定します。

(3) 検査の実施

ア 目視検査

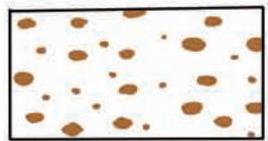
目視検査で、減肉（表面の凹凸の有無）、錆の発生、塗膜の劣化・割れ・膨れ、外面の変色、配管サポート部の腐食、外装板の状態等を確認します。

減肉の確認は、判断の差異があまりありませんが、錆の発生、塗膜の割れ・膨れは人によって判断が異なるため、以下に評価基準を示します。

- 錆の発生、塗膜の劣化度の評価

塗装が劣化していると外面腐食の進行は飛躍的に早くなります。塗装の外観を観察し、①錆による塗膜の剥離、②塗膜の割れ、③塗膜の膨れがある面積の占める割合と外観の状態から評価します。

【評価基準】

腐食レベル	損傷例	評価基準 (発生面積)	外観状態	塗替え時期
7		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が50%以上	全面にわたって錆が認められる	次年度に塗替えを実施する
6		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が20～50%未満	大きな錆が点在している	2年以内に塗替えを実施する
5		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が5～20%未満	錆が点在し、一部大きな錆が認められる	4年以内に塗替えを実施する
4		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が0.5～5%未満	明らかに錆が認められる	部分的にタッチアップ補修を行う
3		上塗りの剥離	上塗り塗装の被膜が部分的に剥離している	6年以内に塗替えを実施する
2		散水、雨水による汚れ20%以上	塗膜の表面が汚れている	汚れ対策を実施する
1		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が0.5%未満	錆がわずかにみられる	劣化の進行を管理する

出典：高圧ガス設備の供用適性評価に基づく耐圧性能及び強度に係る次回検査時期設定基準 (KHK/PSJ/JPCA 0851(2009))

- 保温・保冷外装板の状態の確認
外装板の外れ、発錆、汚れ、劣化・破損の状態及びシール不良（雨水浸入）を確認し、異常が見られれば、配管が腐食しているおそれがあります。
※目視検査の参考様式を36ページに示します。

イ 肉厚測定

外面の20%以上に腐食を確認した場合は、減肉状況を計測するための寸法測定（外径測定、デプスゲージなど）や非破壊検査（超音波肉厚測定、放射線透過試験など）による肉厚の測定を実施します。

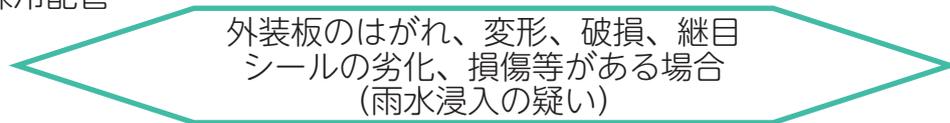
一方、目視検査が出来ない箇所や多くの付帯工事を要する箇所については、目視検査に代えて、ロングレンジガイド波などの非破壊検査によるスクリーニングを専門の検査会社へ委託し、腐食が確認された場合に、肉厚測定を行います。

(4) 検査結果の評価

ア 目視検査データ

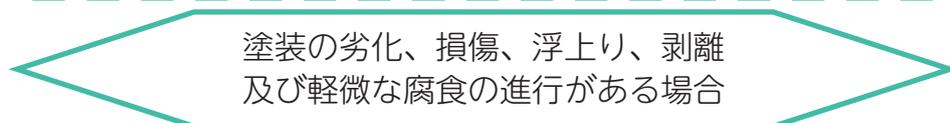
目視検査データは、以下のフローに沿って評価します。

保温・保冷配管

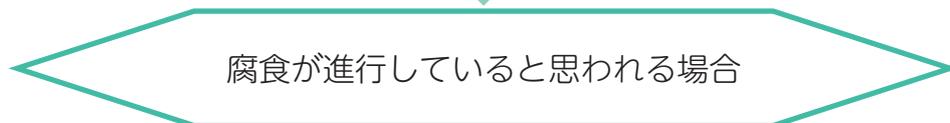


保温・保冷材を取り外す

裸配管

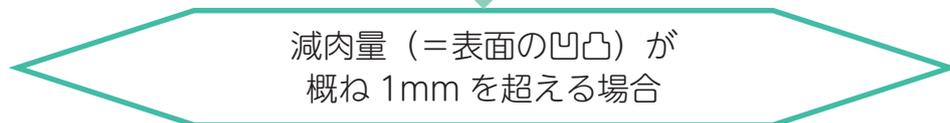


計画的に塗装・被覆材を補修



塗装・被覆材を除去

減肉状況を目視点検

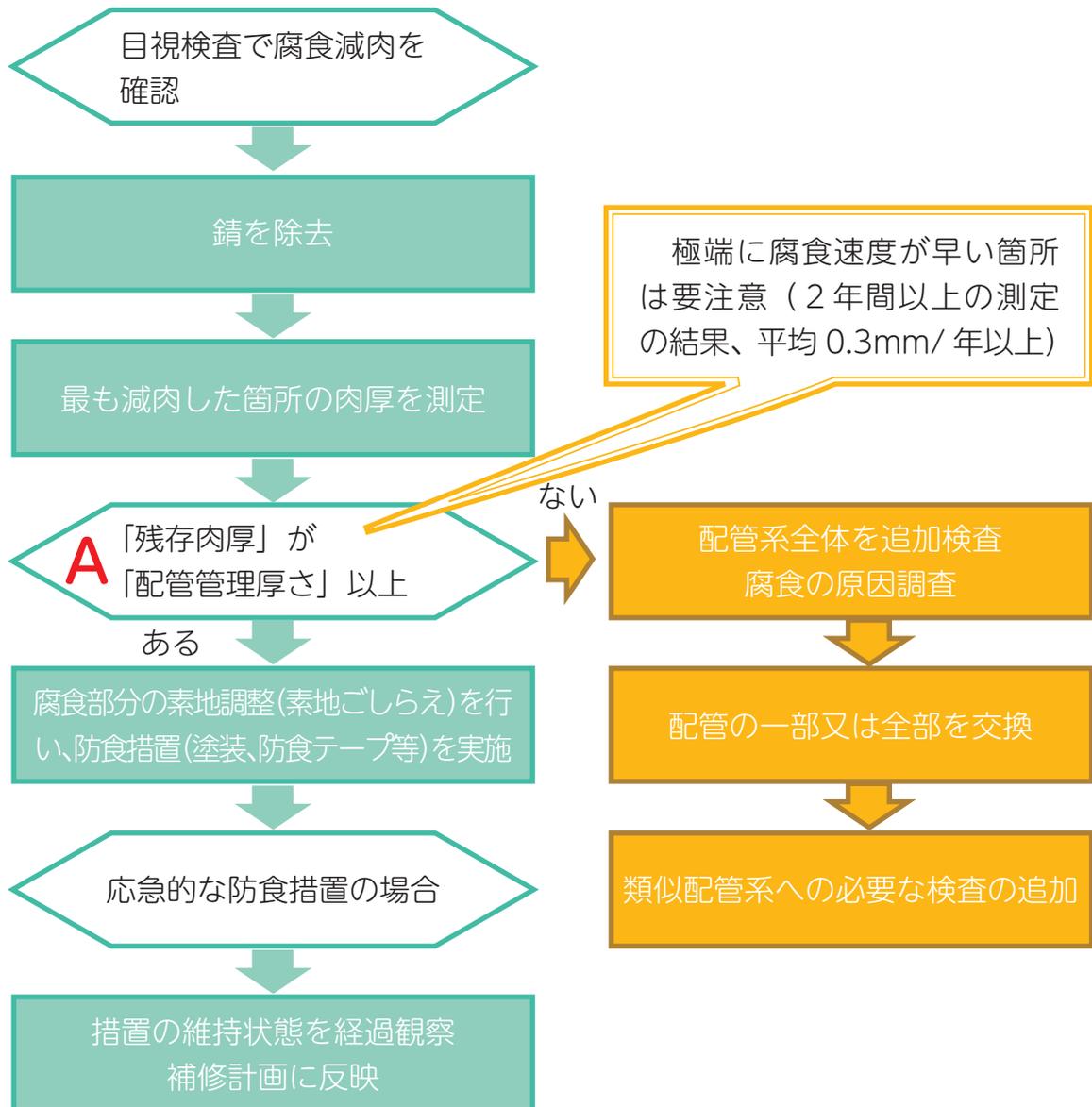


肉厚測定を実施

- 保温・保冷材を取り外した部分の、配管全面にわたり腐食が懸念される場合は、大規模に保温・保冷材を取り外します。
- 支持や振動抑え用の部材に損傷や腐食、機能上の低下が認められた場合は、補修を行います。

イ 肉厚測定データ

肉厚測定データは、以下のフローに沿って評価します。



ここで、「配管管理厚さ」とは、

必要最小肉厚（計算肉厚* + 腐れ代） + α （安全マージン）

のことで、

上記フローの A では、「残存肉厚」が「配管管理厚さ」以上であれば、検査の時点では、問題ありません。しかし、減肉が進行している箇所によっては、次回の検査時までに残存肉厚よりも薄くなってしまいます。そこで、より安全な考え方として、余寿命予測による評価をお勧めします。

※計算肉厚は、一般高圧ガス保安規則関係例示基準「8. 高圧ガス設備及び導管の強度」（または、液化石油ガス保安規則関係例示基準「16. 高圧ガス設備及び導管の強度」）の算定式により求められます。

○一般高圧ガス保安規則関係例示基準

http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2013/01/250110-1.html

○液化石油ガス保安規則関係例示基準

<http://www.meti.go.jp/policy/tsutatsutou/tuuti1/TS2-1.pdf>

余寿命予測による配管の評価 (注) 外面腐食の影響のみによる場合に限りです。

- 算定に必要なデータ
1年毎に測定した肉厚測定データを使用します。
- 減肉速度の算定

直近2回の肉厚測定データから減肉速度 c を算出します。

$$c = \frac{t_2 - t_1}{t_2 \text{ から } t_1 \text{ までの供用期間}}$$

c : 減肉速度 (mm/年)
 t_1 : 今回の肉厚測定データ (mm)
 t_2 : 前回の肉厚測定データ (mm)

直近3回以上の肉厚測定データから、最小二乗法により減肉速度 c (回帰直線の傾き) を算出します。



どちらか大きい方の値を減肉速度 c とします

- 検査点での余寿命の算定
算定した減肉速度 c から余寿命 L_R を算定します。

$$L_R = \frac{t_1 - t_a}{c}$$

L_R : 余寿命 (年)
 t_1 : 今回の肉厚測定データ (mm)
 t_a : 配管管理厚さ (mm)

- 評価
余寿命 L_R が1年未満の場合は、「残存肉厚」が「ない」と評価します。

参考：高圧ガス設備の供用適性評価に基づく耐圧性能及び強度に係る次回検査時期設定基準 (KHK/PSJ/JPCA 0851 (2009))

(5) 次回検査計画への反映

次回検査周期は、外面腐食防止措置実施後に再度リスク評価を行い設定します。

(参考) 余寿命予測による配管の評価例 (注) 外面腐食の影響のみによるもの。

○ 肉厚測定データ

測定年月	2010/8	2011/8	2012/8	2013/8	2014/8
測定値	3.9mm	3.9mm	3.9mm	3.8mm	3.6mm

○ 減肉速度の算定

- ・ 直近2回の肉厚測定データから減肉速度 c を算出

$$c = \frac{t_2 - t_1}{t_2 \text{ から } t_1 \text{ までの供用期間}} = \frac{3.8 - 3.6}{1} = 0.2$$

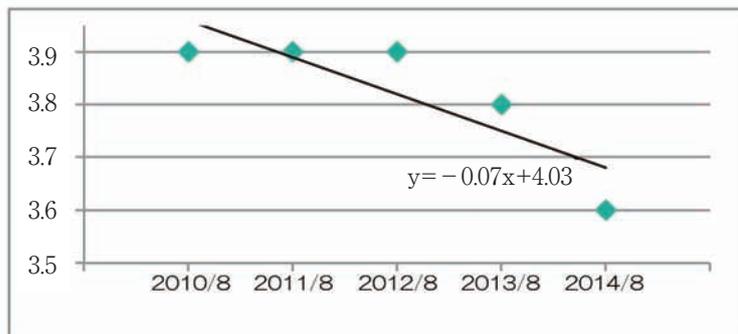
t_1 : 3.6mm (今回 [2014/8] の肉厚測定データ)

t_2 : 3.8mm (前回 [2013/8] の肉厚測定データ)

t_2 から t_1 までの供用期間: 1年

⇒ 0.2mm/年

- ・ 最小二乗法により減肉速度 c を算出



⇒ 傾きより 0.07mm/年

大きい方の値を採用し、減肉速度 c は 0.2mm/年

○ 検査点での余寿命の算定

$$L_R = \frac{t_1 - t_a}{c} = \frac{3.6 - 2.0}{0.2} = 8$$

t_1 : 3.6mm (今回 [2014/8] の肉厚測定データ)

t_a : 2.0mm (配管管理厚さ=必要最小肉厚 [計算肉厚+腐れ代] + α [安全マージン])

⇒ 余寿命 8年

○ 評価

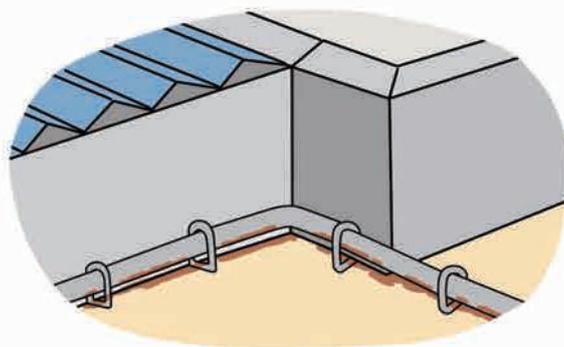
余寿命が1年以上なので、「残存肉厚あり」。

4 腐食のリスク評価と管理の実施例

(1) リスク評価の実施例

ア LP ガス消費事業所の配管

- 20t 貯槽から送り出した LP ガスを消費型蒸発器（以下、蒸発器）で消費（減圧後、気化）し、工場内で燃料として使用
- 貯槽から蒸発器までの配管は、地上から約 50cm の高さを建屋の壁に沿って設置
- 配管外面の 30% 程度に錆が見られ、その設置場所には苔が生えていることから、水はけの悪さがうかがえる
- 配管の肉厚測定は、定期自主検査時にエルボ部で年 1 回実施しているが、錆のある箇所では、測定したことがない



影響の評価

配管には LP ガスが流れており、漏えいにより「火災や爆発が発生する」おそれがあるため、表①から「影響の評価は 3」

発生の可能性（腐食の起こりやすさの評価）

配管の設置状況等は以下の表のとおり、表③の 4 項目に該当したため、表②から「腐食の起こりやすさの評価は 3」

項目	内容	該当
設置場所	周囲の水はけが悪い（湿気が多い）	○
材質	炭素鋼（STPG370）	○
保温・保冷材	保温材を使用	○
常用の温度	40℃	○
運転形態	連続運転	
防食措置	防錆塗装を実施	

リスクレベルの評価及び検査周期の設定

表④のマトリックス表からリスクレベルは「Ⅲ」なので、リスク低減対策を図るとともに、表⑤から検査周期を 6 年以内に設定。

なお、配管外面の 30% 程度に錆が見られるため、表⑥の損傷状態の評価基準の「2 年以内に塗替え」に該当することから、翌年度の定期自主検査の前に配管塗装の塗替えを行うこととする。

リスク評価用マトリックス（例）

表① 漏えい時の影響の大きさの評価

評価	漏えい時の影響の大きさ
1	・影響なし ・ヒヤリ・ハットにとどまる
2	・漏えいにとどまる
3	・火災や爆発が発生する ・人体に影響する ・小規模な破裂が生じる
4	・大規模な爆発や火災が生じる ・事業所外に何らかの影響が及ぶ ・経済性

表② 発生の可能性の評価

評価	右表の該当項目数
1	1項目以下
2	2～3項目
3	4項目
4	5項目以上

表③ 発生の可能性の評価項目

項目	内容
設置場所	多湿な場所（水の飛散、冷水塔周り、ピット内等）や沿岸部に設置している
材質	炭素鋼、低合金鋼を使用している
保温・保冷材	保温・保冷材を使用している
常用の温度	常用の温度が-5～150℃である、または配管に結露が見られる
運転形態	間欠運転を行っている
防食措置	防食措置をしていない

表④ リスク評価のためのマトリックス表

発生の可能性 \ 影響の大きさ	影響の大きさ			
	1	2	3	4
1	I	I	I	II
2	I	I	II	III
3	I	II	III	IV
4	II	III	IV	IV

表⑤ リスクレベルに対応する配管の検査周期

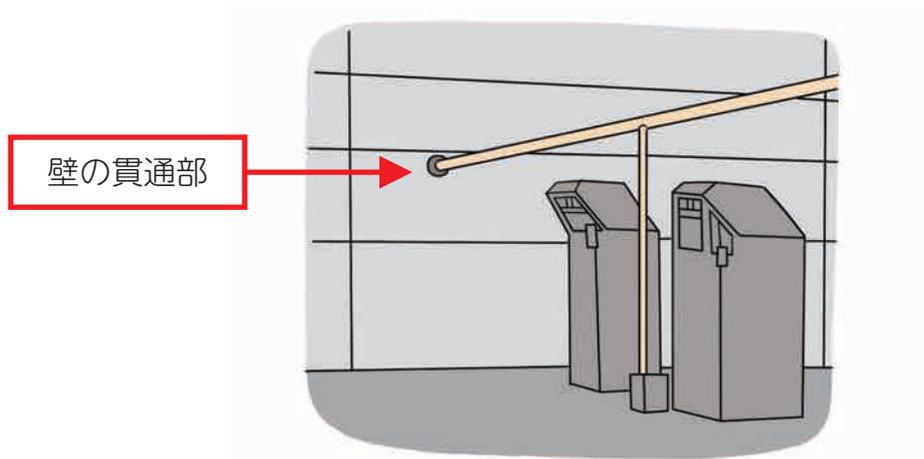
リスクレベル	配管の検査周期
I	12年以内
II	8年以内
III	6年以内
IV	4年以内

表④ 損傷状態の評価基準

腐食レベル	損傷例	評価基準（発生面積）	外観状態	塗替え時期
7		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が50%以上	全面にわたって錆が認められる	次年度に塗替えを実施する
6		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が20～50%未満	大きな錆が点在している	2年以内に塗替えを実施する
5		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が5～20%未満	錆が点在し、一部大きな錆が認められる	4年以内に塗替えを実施する
4		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が0.5～5%未満	明らかに錆が認められる	部分的にタッチアップ補修を行う
3		上塗りの剥離	上塗り塗装の被膜が部分的に剥離している	6年以内に塗替えを実施する
2		散水、雨水による汚れ20%以上	塗膜の表面が汚れている	汚れ対策を実施する
1		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が0.5%未満	錆がわずかにみられる	劣化の進行を管理する

イ LP ガス充填所の機械室の壁を貫通する配管

- 貯槽から取り出したLP ガスを、液送ポンプで充填機へ送り出し、容器に充てん
- 液送ポンプから充填機への配管は、液送ポンプのある機械室の壁を貫通し設置
- 貫通部の配管は、70%近く塗膜が剥がれており、また、錆がわずかに見られる (0.5%未満)
- 配管の肉厚測定は、定期自主検査時にエルボ部で年1回実施しているが、貫通部では、測定したことがない



影響の評価

配管にはLP ガスが流れており、漏えいにより「火災や爆発が発生する」おそれがあるため、表①から「影響の評価は3」

発生の可能性（腐食の起こりやすさの評価）

配管の設置状況等は以下の表のとおり、表③の3項目に該当したため、表②から「腐食の起こりやすさの評価は2」

項目	内容	該当
設置場所	周囲に湿気がなく、風通しが良い	
材質	炭素鋼 (STPG370)	○
保温・保冷材	保温・保冷材の使用なし	
常用の温度	40℃	○
運転形態	日中のみ運転 (間欠運転)	○
防食措置	防錆塗装を実施	

リスクレベルの評価及び検査周期の設定

表④のマトリックス表からリスクレベルは「Ⅱ」なので、表⑤から検査周期を8年以内に設定。

なお、配管外面の塗膜が50%以上剥がれているため、表⑥の損傷状態の評価基準の「次年度に塗替え」に該当することから、次年度に配管塗装の塗替えを実施する。

リスク評価用マトリックス (例)

表① 漏えい時の影響の大きさの評価

評価	漏えい時の影響の大きさ
1	・影響なし ・ヒヤリ・ハットにとどまる
2	・漏えいにとどまる
3	・火災や爆発が発生する ・人体に影響する ・小規模な破裂が生じる
4	・大規模な爆発や火災が生じる ・事業所外に何らかの影響が及ぶ ・経済性

表② 発生の可能性の評価

評価	右表の該当項目数
1	1項目以下
2	2～3項目
3	4項目
4	5項目以上

表③ 発生の可能性の評価項目

項目	内容
設置場所	多湿な場所（水の飛散、冷水塔周り、ピット内等）や沿岸部に設置している
材質	炭素鋼、低合金鋼を使用している
保温・保冷材	保温・保冷材を使用している
常用の温度	常用の温度が -5～150℃である、または配管に結露が見られる
運転形態	間欠運転を行っている
防食措置	防食措置をしていない

表④ リスク評価のためのマトリックス表

発生の可能性 \ 影響の大きさ	影響の大きさ			
	1	2	3	4
1	I	I	I	II
2	I	I	II	III
3	I	II	III	IV
4	II	III	IV	IV

表⑤ リスクレベルに対応する配管の検査周期

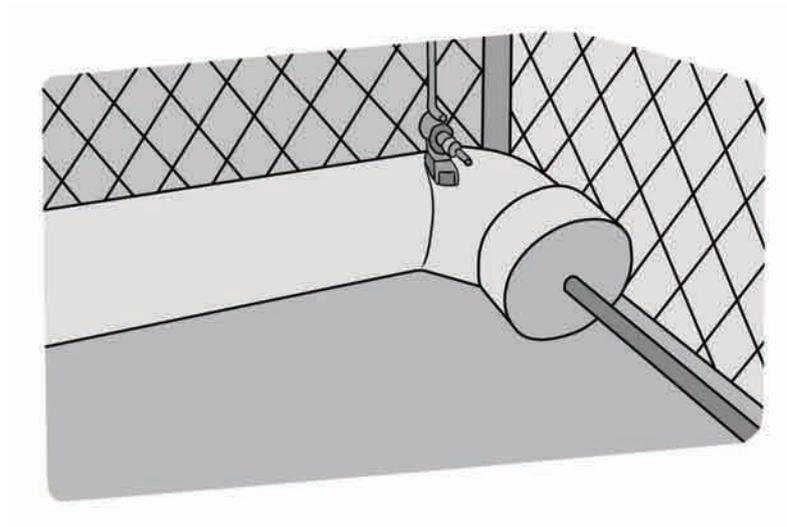
リスクレベル	配管の検査周期
I	12年以内
II	8年以内
III	6年以内
IV	4年以内

表④ 損傷状態の評価基準

腐食レベル	損傷例	評価基準 (発生面積)	外観状態	塗替え時期
7		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が50%以上	全面にわたって錆が認められる	次年度に塗替えを実施する
6		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が20～50%未満	大きな錆が点在している	2年以内に塗替えを実施する
5		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が5～20%未満	錆が点在し、一部大きな錆が認められる	4年以内に塗替えを実施する
4		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が0.5～5%未満	明らかに錆が認められる	部分的にタッチアップ補修を行う
3		上塗りの剥離	上塗り塗装の被膜が部分的に剥離している	6年以内に塗替えを実施する
2		散水、雨水による汚れ20%以上	塗膜の表面が汚れている	汚れ対策を実施する
1		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が0.5%未満	錆がわずかにみられる	劣化の進行を管理する

ウ 液化窒素の保冷配管

- コールド・エバポレータから取り出した液化窒素を、空温式気化器で気化させ、工場内で使用
- 配管の一部には保冷材を設置
- 配管の肉厚測定は、定期自主検査時に他の箇所でも年1回実施しているが、この箇所では測定したことがない



影響の評価

配管には液化窒素が流れているが、漏えいにとどまる程度であるため、表①から「影響の評価は2」

発生の可能性（腐食の起こりやすさの評価）

配管の設置状況等は以下の表のとおり、表③の1項目に該当したため、表②から「腐食の起こりやすさの評価は1」

項目	内容	該当
設置場所	周囲の水はけが良い	
材質	ステンレス鋼（SUS304）	
保温・保冷材	保冷材を使用	○
常用の温度	-10℃	
運転形態	連続運転	
防食措置	防錆塗装を実施	

リスクレベルの評価及び検査周期の設定

表④のマトリックス表からリスクレベルは「I」なので、表⑤から検査周期を12年以内に設定。

なお、当年度を基準年とすることとし、保冷材の一部を剥がし、肉厚測定を実施する。

リスク評価用マトリックス (例)

表① 漏えい時の影響の大きさの評価

評価	漏えい時の影響の大きさ
1	・影響なし ・ヒヤリ・ハットにとどまる
2	・漏えいにとどまる
3	・火災や爆発が発生する ・人体に影響する ・小規模な破裂が生じる
4	・大規模な爆発や火災が生じる ・事業所外に何らかの影響が及ぶ ・経済性

表② 発生の可能性の評価

評価	右表の該当項目数
1	1項目以下
2	2～3項目
3	4項目
4	5項目以上

表③ 発生の可能性の評価項目

項目	内容
設置場所	多湿な場所（水の飛散、冷水塔周り、ピット内等）や沿岸部に設置している
材質	炭素鋼、低合金鋼を使用している
保温・保冷材	保温・保冷材を使用している
常用の温度	常用の温度が -5～150℃である、または配管に結露が見られる
運転形態	間欠運転を行っている
防食措置	防食措置をしていない

表④ リスク評価のためのマトリックス表

発生の可能性 \ 影響の大きさ	影響の大きさ			
	1	2	3	4
1	I	I	I	II
2	I	I	II	III
3	I	II	III	IV
4	II	III	IV	IV

表⑤ リスクレベルに対応する配管の検査周期

リスクレベル	配管の検査周期
I	12年以内
II	8年以内
III	6年以内
IV	4年以内

表④ 損傷状態の評価基準

腐食レベル	損傷例	評価基準 (発生面積)	外観状態	塗替え時期
7		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が50%以上	全面にわたって錆が認められる	次年度に塗替えを実施する
6		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が20～50%未満	大きな錆が点在している	2年以内に塗替えを実施する
5		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が5～20%未満	錆が点在し、一部大きな錆が認められる	4年以内に塗替えを実施する
4		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が0.5～5%未満	明らかに錆が認められる	部分的にタッチアップ補修を行う
3		上塗りの剥離	上塗り塗装の被膜が部分的に剥離している	6年以内に塗替えを実施する
2		散水、雨水による汚れ20%以上	塗膜の表面が汚れている	汚れ対策を実施する
1		錆、剥がれ、割れ、膨れの割合が0.5%未満	錆がわずかにみられる	劣化の進行を管理する

(2) 腐食発見・対策実施事例

県内事業所での腐食を発見及び対策を実施した実施事例を紹介します。これらの事例を参考に措置を行いましょう。

事例名	U字バンド固定部におけるすき間腐食による配管の外面腐食
-----	-----------------------------

配管サポート部に防食テープを巻いていたが、すき間腐食が発生した事例。



腐食による減肉
(凹みが見られる)

配管



配管サポート部も腐食

防食テープを剥がした状態

↓

配管の更新及び再塗装を実施



Uバンド

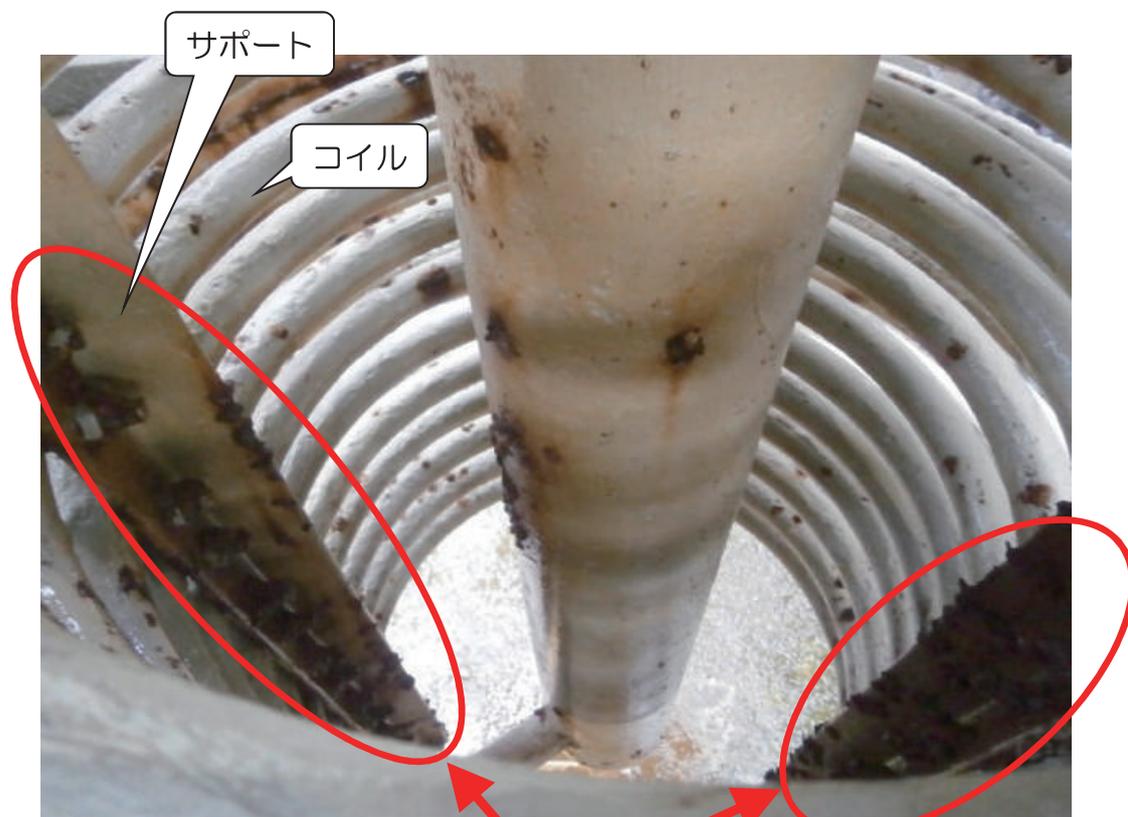
配管

事例名 | 気化器コイルの腐食

気化器コイルの塗装劣化箇所が腐食した事例。

定期検査にて、腐食の進行を確認。

「コイルとサポートの接触部」で塗装の劣化や腐食が著しく、予防保全の観点からコイルの更新を実施。



コイルとサポートの接触部で
塗装の劣化及び
著しい腐食を確認



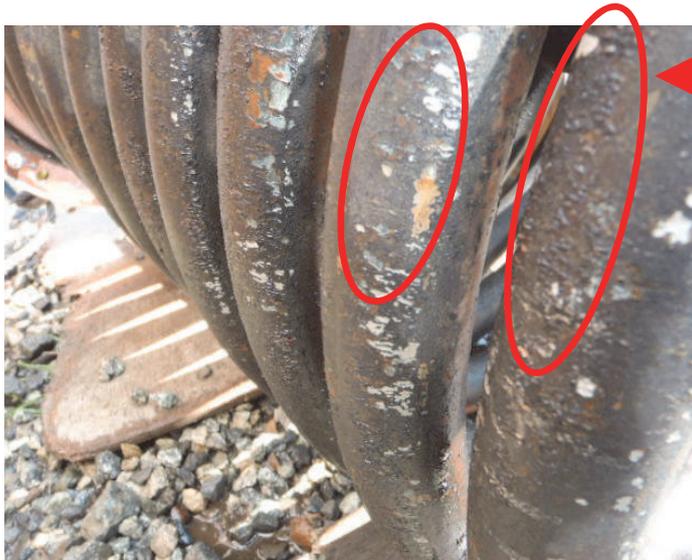
コイルの更新を実施

事例名 | LP ガス用気化器コイルの腐食

LP ガス用気化器のコイルが水により腐食した事例。
定期の開放検査で腐食を確認。



開放時のコイル（洗浄前）



腐食による
凹凸が見ら
れる

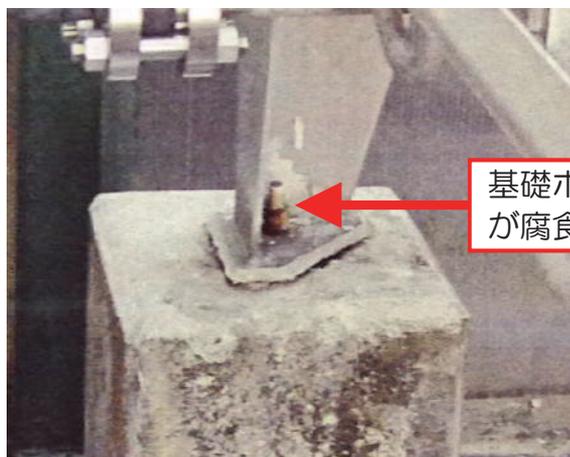
洗浄後のコイル

使用后2年で 1.5mm
の減肉を確認

循環水に防錆剤を添加
(コイルの更新を検討)

事例名 | コールド・エバポレータの蒸発器の基礎ボルトの腐食

コールド・エバポレータの蒸発器の基礎ボルトが雨水で外面腐食が発生した事例。



基礎ボルトが腐食

基礎ボルトの状況（施工前）

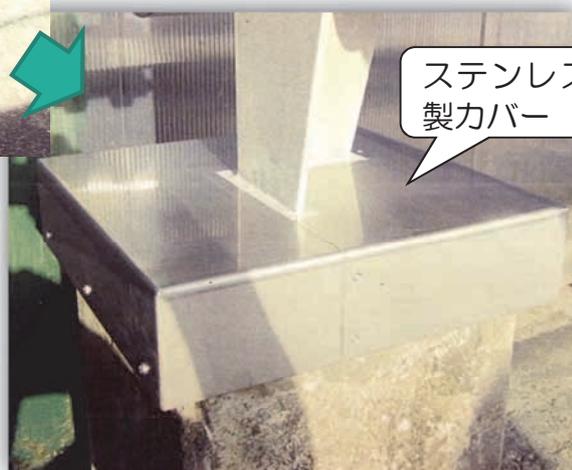


基礎ボルトを更新し、ボルト締結部にステンレス製カバーを設置



基礎ボルト

基礎ボルトの更新



ステンレス製カバー

ステンレス製カバーの設置

<参考様式> (例) 配管の腐食状況の月例点検表

保安統括者	保安係員	検査実施者

施設名：

アイソメトリック図または写真

点検日： 年 月 日

No.	部位 番号	総合 評価	防食 テープ の劣化	保温・保冷 外装板のす き間・割れ	水たまり ・水の滲み 出し (接合部・ サポート部)	腐食レベル							
						0	1	2	3	4	5	6	7
						問題 なし	発生面積* の割合 0.5%未満	雨水等に よる汚れ (20%以上)	上塗り の剥離	発生面積*の割合			
					0.5%~5% 未満	5%以上~ 20%未満	20%以上~ 50%未満	50%以上					
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								
		適・否	無・有	無・有	無・有								

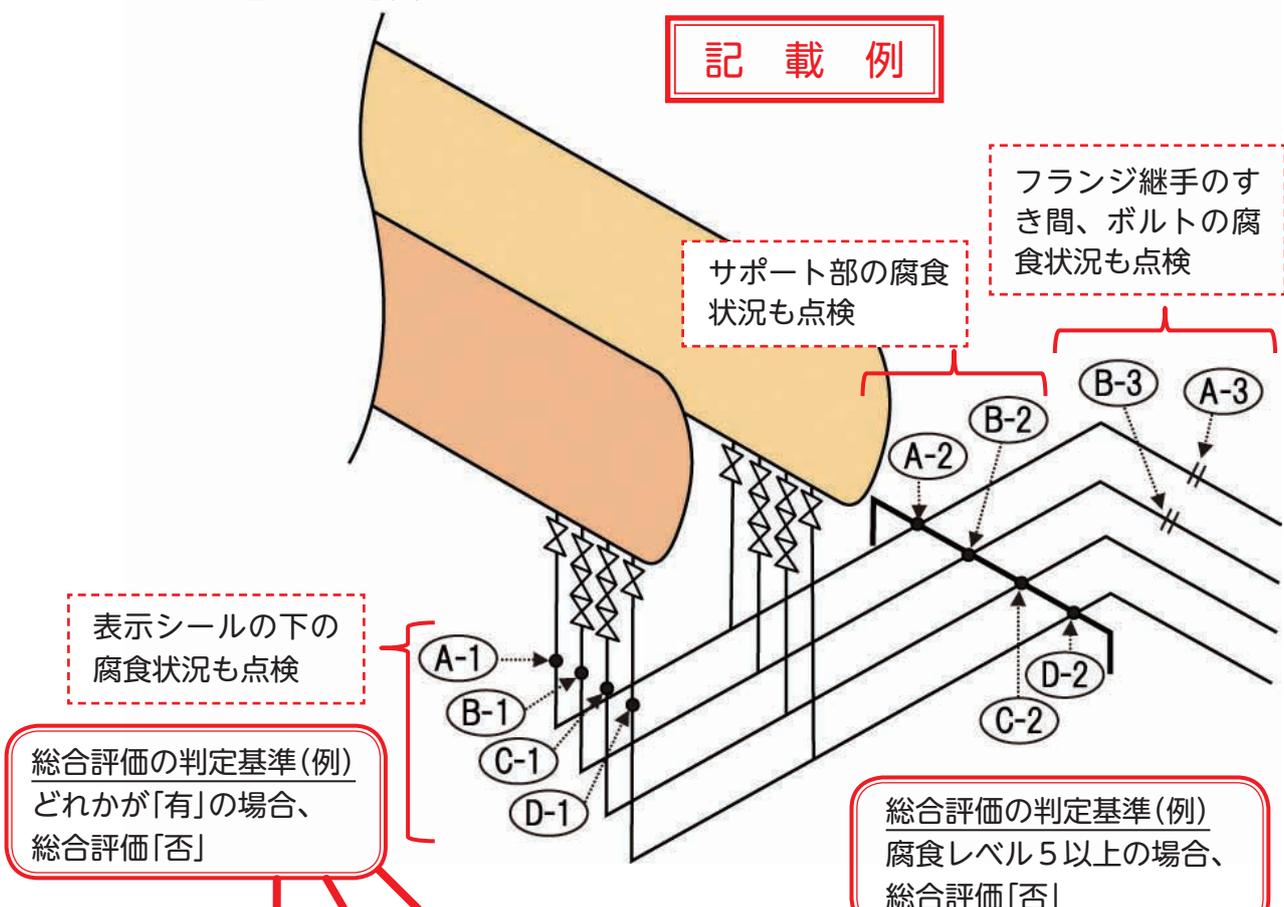
※発生面積：錆、剥がれ、割れ、膨れの発生面積

配管の腐食状況の月例点検表

保安統括者	保安係員	検査実施者
(鈴木)	(佐藤)	(高橋)

施設名：液化石油ガス製造施設

アイソメトリック図または写真



点検日：2015年3月1日

No.	部位番号	総合評価	防食テープの劣化	保温・保冷外装板のすき間・割れ	水たまり・水の滲み出し(接合部・サポート部)	腐食レベル					発生面積*の割合			
						0	1	2	3	4		5	6	7
						問題なし	発生面積*の割合0.5%未満	雨水等による汚れ(20%以上)	上塗りの剥離	0.5%~5%未満		5%以上~20%未満	20%以上~50%未満	50%以上
1	A-1	適・否	無→有	無→有	無→有						✓			
2	A-2	適・否	無→有	無→有	無→有				✓					
3	A-3	適・否	無→有	無→有	無→有	✓								
4	B-1	適・否	無→有	無→有	無→有			✓						
5	B-2	適・否	無→有	無→有	無→有						✓			
6	B-3	適・否	無→有	無→有	無→有			✓						
7	C-1	適・否	無→有	無→有	無→有							✓		
8	C-2	適・否	無→有	無→有	無→有	✓								
9	D-1	適・否	無→有	無→有	無→有				✓					
10	D-2	適・否	無→有	無→有	無→有		✓							

※発生面積：錆、剥がれ、割れ、膨れの発生面積

(例) 配管台帳

アイソメトリック図または写真

施設名：

台帳作成日： 年 月 日

No.	名称	From	To	材質	口径	肉厚管理 値 (mm)	設置年月	設計		常用		断熱材の有無	塗装仕様
								温度 (°C)	圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)		

(例) 検査記録表 [機器]

保安統括者	保安係員	検査実施者

施設名：

機器No.		機器名称	
管理単位		製造年月	
	設計		常用
温度	℃		℃
圧力	MPa		MPa
運転モード	連続運転 間欠運転		
使用流体	成分		
	状態	ガス 液体	
使用材料	部位：	使用材料：	
	部位：	使用材料：	
検査結果	目視検査（実施日 ）		肉厚測定（実施日 ）
	箇所	結果	評価
次回検査予定時期			
検査履歴	損傷発生状況、進行状況など		
備考			

(例) 検査記録表 [配管]

保安統括者	保安係員	検査実施者

施設名：

配管No.				配管名称					
管理単位				設置年月					
		設計		常用					
温度		℃		℃					
圧力		MPa		MPa					
運転モード		連続運転		間欠運転					
使用流体	成分								
	状態	ガス		液体					
使用材料		部位：		使用材料：					
		部位：		使用材料：					
		部位：		使用材料：					
検査結果		目視検査（実施日 ）			肉厚測定（実施日 ）				
		箇所	結果	評価	管理値	測定値	評価		
次回検査予定時期									
検査履歴		損傷発生状況、進行状況など							
備考									

目 次

はじめに	1
1 腐食管理の意義及び必要性	2
(1) 高圧ガス災害事故の発生状況と原因	2
(2) 腐食対策に対する県内事業所の状況	3
ア 高圧ガス設備の腐食箇所等	3
イ 高圧ガス設備の腐食管理	5
(3) 腐食管理の目的と効果	6
2 腐食管理のすすめ方	7
(1) 外面腐食の管理のすすめ方	7
ア 外面腐食の発生しやすい箇所	7
イ 外面腐食の防止対策	7
(2) 内面腐食の管理のすすめ方	12
ア 内面腐食の発生しやすい箇所	12
イ 内面腐食の防止対策	14
3 腐食管理の手順	16
(1) 検査計画の検討	17
ア 腐食のリスク評価及び検査周期の設定	17
イ 検査箇所の選定	19
(2) 検査計画の策定	19
(3) 検査の実施	20
ア 目視検査	20
イ 肉厚測定	21
(4) 検査結果の評価	22
ア 目視検査データ	22
イ 肉厚測定データ	23
(5) 次回検査計画への反映	24
4 腐食のリスク評価と管理の実施例	26
(1) リスク評価の実施例	26
ア LP ガス消費事業所の配管	26
イ LP ガス充填所の機械室の壁を貫通する配管	28
ウ 液化窒素の保冷配管	30
(2) 腐食発見・対策実施実例	32
＜参考様式＞ (例) 月例点検表、配管台帳、検査記録表	36
参考資料	41

参考資料

- 高圧ガス設備の供用適性評価に基づく耐圧性能及び強度に係る次回検査時期設定基準 (KHK/PSJ/JPCA 0851 (2009)) (H21.10) 高圧ガス保安協会、石油連盟及び石油化学工業協会
- 高圧ガス配管外面腐食検査に係る技術資料 (H19.3) 神奈川県安全防災局工業保安課
- 高圧ガス製造保安係員講習テキスト 一般 高圧ガス編 (第4次改訂版) (H25.11) 高圧ガス保安協会
- 高圧ガスの事故に学ぶ (H24.2) 高圧ガス保安協会
- 高圧ガス事故の統計と解析 事故知識の伝承と活用 (H26.2) 小林 英男 編著
- 外面腐食対策ガイド (H22.10) 公益社団法人日本プラントメンテナンス協会