

石油精製業及び石油化学工業における
保温材下配管外面腐食(CUI)に
関する維持管理ガイドライン

平成24年2月

一般財団法人 エンジニアリング協会

目 次

はじめに	1
委員名簿	2
用語(略語)	3
第1章 本ガイドラインの概要	7
1.1 背景	7
1.2 目的	7
1.3 適用	7
1.4 構成	7
第2章 CUIの管理	9
2.1 経営者および各部門の役割	9
2.2 技術・技能教育と訓練	10
2.3 CUI検査における剥離箇所特定手順の策定	10
第3章 CUI発生メカニズムと腐食評価	11
3.1 CUI腐食と腐食要因	11
3.2 CUIの発生メカニズム	12
3.3 CUI腐食発生メカニズムに基づく腐食予測方法	13
第4章 CUI検査のための基本手順	15
4.1 考え方と基本手順	15
4.2 CUI検査のための剥離箇所の特定手順(フロー)	16
4.3 管理単位の設定	17
4.4 重要度評価	17
4.5 腐食予測	18
4.6 優先順位分け	21
4.7 スクリーニング検査	22
4.8 CUIの発生しやすい箇所と環境	25
4.9 剥離箇所の特定	26
4.10 剥離およびデータのフィードバック	28
第5章 非破壊検査技術の使用法	29
5.1 使用目的	29
5.2 技術の種類	29
5.3 スクリーニング検査への適用方法	30
5.4 水分測定の適用方法	31

はじめに

本ガイドラインは平成 19 年度～23 年度に経済産業省の石油精製業保安対策事業「被覆配管等の運転中検査技術に関する調査研究」においてまとめたものである。

まとめに当たっては国内外の非破壊検査技術調査（運転中のプラントにおける実証試験を含む）、及び国内外（欧・米・アジア）の石油精製、石油化学工業の現状調査を踏まえて作成した。

更に、本ガイドラインは石油連盟、石油化学工業協会を通じて関係企業各社及び石油学会、化学工学会などの業界関係者に対するアンケートによる調査を行うとともに、検査手法については運転中の実プラントにおいて実証試験による確認を行った上で、平成 23 年度 被覆材下配管腐食診断技術調査委員会にて最終評価を行った。本ガイドラインはこれらの評価の結果を経て策定されたものである。

平成 24 年 2 月

平成23年度 被覆材下配管腐食診断技術調査委員会 委員名簿

	氏名	所属・役職
委員長	木村 雄二	工学院大学 常務理事 工学部環境エネルギー化学科 教授
委員	中村 隆	高圧ガス保安協会 高圧ガス部長
委員	高木 吉廣	石油連盟高圧ガス設備部会 (コスモ石油㈱)
委員	山田 昌範	石油化学工業協会 (丸善石油化学㈱)
委員	岡崎 均	公益社団法人石油学会装置部会 設備保全分科会 (JX 日鉱日石エネルギー㈱)
委員	川野 浩二	出光興産㈱生産技術センター 主幹部員
委員	坂田 文稔	三菱重工業㈱原動機事業本部サービス事業戦略部主席技師
委員	柴崎 敏和	千代田アドバンスド・ソリューションズ㈱ 材料診断ユニット上席シニアコンサルタント
委員	宮澤 正純	三菱化学㈱ 設備技術部
委員	山本 勝美	早稲田大学各務記念材料技術研究所 客員研究員
委員 (技術顧問)	小林 英男	横浜国立大学 安心・安全の科学研究教育センター 客員教授
委員 (技術顧問)	辻川 茂男	東京大学名誉教授

用語(略語)

ア行：

■ 運転温度

配管内部流体温度や配管外表面温度に影響する管理上の温度で、腐食予測に係る重要な要因である。

■ 運転条件

連続運転、間欠運転などの運転温度の変動に関わる状態をいい、頻繁に停止がある場合や長期休止なども運転条件に含む。結露発生につながり、腐食予測に係る重要な要因である。

■ エリア分け

管理対象配管を地域とプロセス（装置）から分ける方法

カ行：

■ 管理単位

管理対象配管を分類管理していく単位で、エリア分けや配管ごと（ライン番号）もしくはその組み合わせの3つがある。

■ 外装板

保温材の外側を覆う板金。ジャケットやカバーともいう。ステンレス板製やアルミニウム板製もあるがわが国では亜鉛鉄板製が多い。

■ ガイド波超音波検査法

スクリーニング検査に用いられる非破壊検査法のひとつである。リング状の受発信機により配管長手方向に伝播する超音波を発生させ、一度に長距離範囲の配管全面を走査し減肉の有無を検出する方法。

■ 検出精度

非破壊検査技術の選定に用いられる評価指標。腐食の大きさ、断面形状に影響される。スクリーニング検査においては配管の断面積変化を捉える非破壊検査技術が多く、目安として最小断面欠損率（％）で表すことが多い。

■ 検出率

スクリーニング検査の効果を評価する指標のひとつ。保温材剥離後の検査による腐食箇所数（本数）をスクリーニング検査による剥離箇所の特定箇所数（本数）で除した値の百分比で表す。

サ行：

■ 最優先配管

漏洩した場合の影響度が非常に大きく且つ CUI の発生している可能性が非常に高いので、最優先に保温材を剥離して CUI 検査を行なうべき配管。基本的に全面剥離を行なう。

■ 重要度評価

対象配管の優先順位を分ける際に用いられる評価方法の尺度で、RBM で用いられる影響度の評価に相当する。内部流体の特性（揮発性、毒性、圧力など）による健康・安全・環境への影響、公害等の社会的影響、メンテナンスおよび操業停止コストなどの

経済的影響度による区分である。各事業者により決める。API 570 などの分類例がある。

■ 水分測定

CUI 腐食を直接検出するためのものではなく、CUI 発生の起因になりうる腐食環境である保温材中水分の測定方法。

■ スクリーニング検査

優先配管に対して剥離する箇所の特定制を行う判断のために行う検査。目視検査と非破壊検査を適切に用い、各事業所の経験を加味して判断を行う。スクリーニング検査の設定は本ガイドラインの最大の目的のひとつである。

■ その他配管

漏洩した場合の影響が小さい、CUI の発生している可能性が低い配管。

■ スプール図

配管の検査などに使うアイソメ図で、3 次元的なイメージを示す配管図

タ行：

■ データ

腐食予測管理データ（経過年数、運転温度、運転条件、大気環境）、肉厚管理データ（配管径、肉厚等）、スクリーニング検査、剥離検査のフィードバックによる検査データ、腐食データのこと。

ナ行：

■ 日常点検

運転中に既設足場や地上からの遠望により保温配管全体の外装板外観を広く目視観察し、異常や不具合箇所を検出する目視点検。運転員が行うことが多い。

ハ行：

■ 剥離検査

保温材剥離後の配管外面検査。目視検査や腐食成生物を除去して腐食測定などを行なう。

■ 剥離箇所の特定制

保温材を剥離解体して CUI 検査を行なうための対象配管の選定および剥離範囲の判定をいう。

■ パルス渦流磁気検査法

スクリーニング検査に用いられる非破壊検査のひとつである。電磁気を利用した渦流磁気検査法の一つで、パルス電流により高い磁界を与えることで保温材を被覆した状態のまま肉厚の減少を測定することができる検査法。

■ 判定

スクリーニング検査により検出された剥離の候補箇所について、検査結果の評価、過去の経験やデータによる判断を加えて剥離の必要性を判断し、範囲の特定制を行うこと。必要によっては周辺をさらに詳細に目視や部分剥離、非破壊検査等によって確認を行うこと。

■ 非破壊検査

スクリーニング検査に用いられる非破壊検査技術。ガイド波超音波検査法、パルス渦流磁気検査法、放射線検査法の 3 種類がある。目視検査では不明な剥離必要箇所の

判断を助けるために使用する。

■ 腐食生成物

腐食反応により生成したさび層構成物質の総称。種々の水酸化鉄および酸化鉄（マグネタイト）からなる。

■ 腐食

腐食とは CUI により生じた配管外面の有害な*) 腐食減肉（あるいは侵食）をいう。

* 有害な腐食減肉量のしきい値は各事業者が定める。

■ 腐食速度

腐食速度 (mm/y) は前回検査時からの経過期間 (年数 : y) で侵食深さ (mm) を除して求める。検査履歴がない場合には平均腐食度 (侵食深さを経年数で除す) で表す。

■ 腐食測定

剥離検査において CUI 腐食部の最大腐食深さ、平均腐食深さ、腐食範囲等の測定を行うこと。小径管などにおいては非破壊検査で判定する場合もある。

■ 腐食予測

対象配管の優先順位分けに用いられる CUI 腐食による漏洩の危険性の評価。RBM における破損確率の評価に相当する。配管の腐食予測管理データ (経過年数、運転温度、運転条件、防食仕様、大気環境) と目視点検で腐食予測し、予測度ランクを決める。それを肉厚管理データ (配管径、肉厚、前回検査における残厚データ) による肉厚の余裕度を考慮し補正する。

■ 腐食予測度ランク

対象配管の腐食予測の結果得られた評価から分類されるランク付け (本文で示す事例では高、中、低の 3 ランクに分けた例を示す)

■ 放射線検査法

スクリーニング検査に用いられる非破壊検査のひとつである。放射線源に同位元素を用いてガンマ線を使用する場合と X 線源を用いる場合があり、その透過能により適用できる配管肉厚、外径範囲が決まる。

マ行

■ 目視検査

スクリーニング検査に用いる配管の外観目視検査。目視検査は CUI の発生しやすい場所 (保温材の不連続部や外装板の腐食・損傷部など) における外観の不具合の範囲、程度から、水の侵入状況を推測して保温材を剥離すべき箇所の候補を抽出する。

■ 目視点検

日常点検のひとつ。目視観察によって CUI の発生しやすい場所 (保温材の不連続部や外装板の腐食・損傷部など) における外観上の異常不具合箇所を抽出し、結果は腐食予測に反映する。

ラ行 :

■ ライン番号

管理単位のひとつで機器から機器を一単位とする配管 1 本ごとの管理番号

ヤ行 :

■ 優先順位分け

対象配管の CUI 検査の優先順位を大別する工程で重要度と腐食予測度により決定する。(本ガイドラインでは最優先配管、優先配管、その他配管の3つに分類する事例を示す。)

■ **優先配管**

漏洩した場合の影響度が大きく CUI の発生している可能性が高い配管。優先配管はスクリーニング検査によって剥離箇所を特定する。

略号

■ **API (American Petroleum Institute)**

アメリカ石油学会の略

■ **CUI (Corrosion Under Insulation)**

保温配管の保温材下と配管(炭素鋼または低合金鋼)の間で起こる配管の外面腐食で、保温材下腐食ともいう。

■ **EFC (European Federation of Corrosion)**

腐食に関する欧州連合の略

■ **HSE (Health and Safety Executive)**

英国健康安全局で石油精製および石油化学プラント等の保安行政を担当する政府機関。HSE はまた Health, Safety and Environment (健康・安全・環境) の略号として用いられることも多いが、本ガイドラインでは前者の意味で用いる。

■ **NACE International**

アメリカ腐食技術者協会の略

■ **NDT**

非破壊検査(Non Destructive Testing)の略

■ **RBM**

リスクベースメンテナランスの略

第1章 本ガイドラインの概要

1.1 背景

石油精製、石油化学プラント設備は建設後30年以上経過した高経年化設備が多く、漏洩事故が増加している。これは老朽化等による設備機器・配管の損傷に起因し、その多くは配管外面の保温材下腐食（CUI）によることが統計で示唆されている。一方対策としては保温材を剥離して点検することが望まれるが、一つの工場で数十キロメートルに及ぶ保温配管を剥離・点検することは時間的にも費用的にも難しい状況にある。このような状況の中で、各社、各様に管理手順等を設定して安全・安心を確保するように努力をしている。

欧米では日本より10～20年早くこの問題に直面し、大手（メジャー）石油会社で取り組んできているが、有効な対応策は未だ見出されていない。しかし、CUIに関して米国ではNACE InternationalがStandard Practice(SP0198-2010)、欧州ではEFCがCUIガイドラインを策定し、情報交換や定期的な検討会を開催している。一方アジアに於いてもCUIの問題はすでに発生し、日本と同様な状況にある。今後、海外とも連携をとりながらCUIの問題へ対応の必要がある。

1.2 目的

本ガイドラインは日本における石油精製、石油化学プラントのCUIの早期発見・予防・維持管理を行う民間の自主的な管理指針として、漏洩事故を未然に防止することを目的とする。

1.3 適用

本ガイドラインの適用に当たっては、優先配管の順位付けからスクリーニング検査による剥離箇所の特定に至る大きな流れ（基本的な手順）については遵守するものとし、検査方法・判定方法、等の詳細については石油精製及び石油化学プラント、各々のプロセス・プラントの環境や特性により各社において修正し、設備管理（技術）マニュアル等、自社基準を策定するものとする。

- 1) 適用する配管材料は炭素鋼・低合金鋼とする。
- 2) 埋設配管には適用しないものとする。
- 3) 適用温度範囲は運転温度として常温～150℃を目安とし、常温以下と150℃以上の温度については、プラントの運転方法や環境により各社にて規定するものとする*¹⁾。

* 運転温度範囲は各事業者、事業所の方針および知見経験とプラントの特性によって定める管理範囲であるので本ガイドラインでは目安のみを掲げる。一方、CUIの発生メカニズムからの考え方や内外の諸基準やガイドラインにおける管理範囲は**第3章CUIの発生メカニズムと腐食評価および解説2**を参照されたい。

1.4 構成

本ガイドラインの構成は以下の通りとする。

第1章：本ガイドラインの概要…背景と適用方法について

第2章：CUIの管理…本ガイドラインの考え方

第3章：CUIの発生メカニズムと腐食評価…発生メカニズムの理解

第4章：CUI検査のための基本手順…剥離箇所の特特定を目的とする手順

第5章：非破壊検査技術の使用手法…非破壊検査技術の適用についての指針

解説：第1章～第5章の基礎となった関連資料

第2章 CUI の管理

石油精製・石油化学プラントの管理は、経営者および本社の管理部門と現場の設備管理部門とが連携をして企画し、実行にあたることが重要である。CUI の管理もこの一環として管理されなければならない。この中で、管理の要点は、

- ① 経営から現場の保全までの関連部門の役割を明確に位置づけること。
- ② プラント設備の経年劣化・腐食に対応し、軽微な漏洩事故を含めてその原因等の徹底的な分析を行うとともに、見えにくい危険性の把握と予防策としての適切な保安投資を行うこと。
- ③ 技術伝承や知識、技術、技能を高め、技術開発を推進するための取り組みをきめ細かく計画的に行うこと。
- ④ 腐食箇所の検出率を向上させるため CUI 検査における剥離箇所特定の具体的手順を規定した設備管理（技術）マニュアルを策定すること。

であり、以上の内容を継続的に管理し、運営していくことが必要である。

2.1 経営者および各部門の役割

経営者*¹⁾は CUI 問題およびその課題を十分に理解し、各部門の役割機能の発揮のため、常に CUI の危険性を考慮して資金・人材・技術を投入し、維持管理を円滑に促進しやすい企業風土の構築が求められる。各部門は以下に示す役割に従い、相互に連携して当該設備の維持管理に当たる。特に設備管理（技術管理を含む）責任者はその中で中心的役割を担うものとする。

1) 設備管理(技術管理含む)責任者*²⁾

- ① 設備保全の管理・運営及び設備管理技術全般について責任を持ち、経営者に進言する。
- ② 設備管理（技術）マニュアルを社内基準として決定する。
- ③ 事故分析を行い、予防策としての保安投資の立案を行う。
- ④ 国内外の技術動向を把握し、技術導入、技術開発について決定する。

2) 保全担当者*³⁾

設備管理（技術）マニュアルの検査基準・方法に従って実務を行い、その結果を責任者へ報告する。

3) 検査技術者

設備管理責任者や保全担当者の指示により、検査基準・方法に従い、専門の請負検査会社技術者を監督して検査を遂行する。また、常に検査技術の動向の把握に努めて新技術を設備管理責任者へ報告する。

4) 運転部門技術者

運転部門の技術者は運転管理の間に日常点検を行い、点検結果を保全担当者に報告する。

5) 人材育成部門

保全に係る技術伝承、技術教育および現場の人事問題を経営者、関係部門（設備管理責任者、保全担当者等）と協議し、企画・執行する。

上記の部門の名称は一般的には以下の内容を示すが、具体的には事業者ごとの個別の名称に読み替えて理解されたい。

注)

- *1：担当役員→経営トップ
- *2：設備技術部長、設備管理部長
- *3：保全課長等

2.2 技術・技能教育と訓練

技術・技能教育と訓練には経営戦略に基づき、以下の

- ① 過去の実績、経験に基づく技術伝承の仕組み構築
- ② 国内外の先進技術の情報把握、技術の実証確認、評価力の向上
- ③ 実戦的保安教育

の3要素が基本的に必要である。人材育成部門は職種ごとに目標、教育内容、教育結果の評価方法を記述した人材育成および技能教育体系とプログラムを定め、関係部門によりそれを執行させるものとする。

具体的な教育内容には以下の

- ① CUI 特有の腐食メカニズムに対する理解
- ② RBM の基礎と応用
- ③ CUI の発生しやすい箇所と環境の熟知と現場点検実習
- ④ 最新の非破壊検査技術などの知識と診断理解

の要素が求められ、座学とともに稼働中の検査を通じての実務での経験蓄積と技術習得が必要となる。

2.3 CUI 検査における剥離箇所特定手順の策定

第4、5章で詳述する CUI 検査における剥離箇所特定の具体的手順は CUI 管理上不可欠であるため、各事業者の社内基準、設備管理（技術）マニュアルとして、その事業所やプラントの特性に合わせた形で必要に応じ織り込んで活用していくことが望ましい。

第3章 CUI 発生メカニズムと腐食評価

CUI 腐食要因、発生メカニズム、腐食評価は CUI 管理を行う際の基礎として重要であり、これを理解した上で、①優先順位の設定における腐食予測、②目視点検・検査によるスクリーニング検査等の基本指針に反映することが望ましい。詳細は解説2に記述するが基本的な要点と腐食要因を腐食評価に展開する考え方をここで述べる。

3.1 CUI 腐食と腐食要因

1) 腐食反応

CUI は大気腐食の一種と考えられる。外部から侵入した雨水または保温材内部で凝縮した水分が配管表面に形成する水膜を通じて鋼材の表面に腐食電池と呼ばれる電池が形成し、直流の電流が流れる現象（電気化学反応）である。

カソードでは還元反応（主に水に溶け込んだ酸素の還元）、アノードでは酸化反応（主に鉄の溶解）が起こる。そしてカソードとアノード反応が対になって進行することが特徴である。

2) CUI の発生要因

水の供給源による水膜形成であり、水の供給源としては、

- ① 降雨や冷却水の飛沫など外部から侵入する水
- ② 温度差による結露
- ③ 保温材と鋼表面間の微細なすきまでの毛管凝縮による水分の結露
- ④ 海塩粒子および保温材などからの溶出不純物イオンの化学凝縮（潮解）による水分の結露

がある。

②～④は大気中の水分の凝縮により配管表面に水膜が形成するプロセスで、大気中の相対湿度が重要となる。

3) 腐食の特徴

CUI が進行する環境の特徴および腐食の特徴は

- ① 水の供給源が非常に多様であり、水の侵入箇所と水膜形成箇所は必ずしも一致せず、予測しづらい。
- ② 一般的な屋外大気腐食より湿潤時間が長く継続する。
- ③ 一般的な大気腐食より腐食速度が大きい。
- ④ 全面腐食ではなく、腐食箇所が局所化しやすい。

の4点である。

4) 局所侵食および腐食速度ばらつき要因

屋外大気中の炭素鋼の全面腐食と異なり、腐食侵食を局所化し、腐食速度を大きく、しかもばらつかせている要因としては、

- ① 配管表面に形成する水膜の厚み（水膜の保持あるいは厚み分布）
- ② 水膜中に溶解する不純物（主として塩化物）
- ③ 保温材・外装板の存在

- ④ 運転温度が常温から高温まで広範囲にわたること（表面温度により腐食速度は複雑に変化）
- ⑤ 腐食により形成した黒色の腐食生成物、主にマグネタイト（ Fe_3O_4 ）による腐食の加速効果（解説2参照）

の5点があげられる。

5) 腐食加速要因

腐食加速要因としては

- ① 水膜中の不純物（主に海塩粒子・塩化物）
- ② 保温材・外装板（主として保温材）
- ③ 運転温度（配管表面温度）
- ④ 黒色腐食生成物

の4点である。

3.2 CUI 発生メカニズム

以上で述べた腐食発生要因、局所化・ばらつき要因、加速要因をまとめて CUI 発生メカニズムとして図 3.1 に示す。腐食のプロセスは外装板金の腐食穴あきあるいはシール材損傷により水分が侵入→保温材による水分の保持・供給→塗装被膜劣化→水膜形成および酸素供給→腐食発生→海塩による腐食加速および運転温度による腐食加速にいたる一連の CUI 腐食特有の腐食進展機構で説明できる。（解説2参照）。

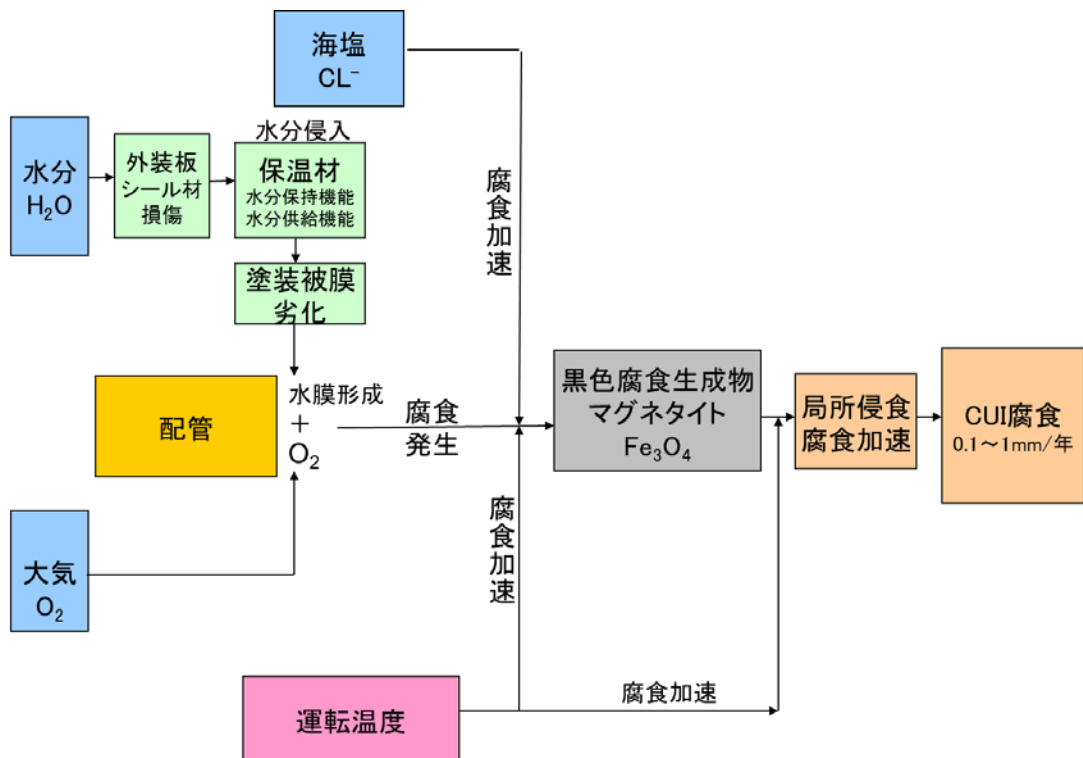


図 3.1 CUI 腐食発生メカニズム

3.3 CUI 腐食発生メカニズムに基づく腐食予測方法

1) 腐食・加速要因の腐食予測への展開

腐食発生・加速要因と腐食予測における管理項目を対応させて示す。目視点検はおもに発生要因である外部からの水の侵入を推定する方法であり、その他の腐食発生要因、加速要因、局所侵食要因に対しては腐食要因データ管理が必要である。

表 3-1 腐食発生・加速要因と腐食予測管理項目との対応

発生要因		発生しやすい環境	具体事例	腐食予測における管理項目	局所侵食要因	腐食加速要因
外部からの水の侵入	①降雨	屋外	・外装板の損傷・腐食など ・保温材不連続部	目視点検	①水膜厚み(分布)	
	②冷却水飛沫など	水噴霧等				
	防食皮膜		塗装被膜経年劣化			
結露による水膜形成	③温度差	相対湿度: 高	主管-枝管の表面温度差等	腐食要因データ管理		
			運転条件(間欠運転による温度降下等)			
	④毛管凝縮		保温材の存在そのもの			
	⑤化学凝縮	海岸沿岸部(海塩粒子濃度:高)	不純物(塩分等)		②不純物(塩分)の濃度	○
					④運転温度(常温から高温で広範囲)	○
					⑤腐食生成物の生成	○

2) 腐食予測方法

腐食予測は前項により

- ① 目視点検による評価
- ② 腐食要因管理データによる評価

の両面から評価する必要があり、配管肉厚が薄い場合は、漏洩の危険性が増加することを考慮し、肉厚管理データ(余裕代)を加えて評価する(詳細は4章参照)。

3) 腐食予測における留意点

(1) CUI 腐食の侵食形状

CUI は全面腐食ではないことに留意する。多くは局所的であり、さび層の積層とともに横断面は半楕円形状で深く侵食し、いくつかの核をもって局部的に密集して肉厚方向に進行するのが特徴である。

(2) 経過年数の影響の不連続性

CUI 腐食の発生頻度は経過年数の増大とともに増加するが経年変化の時間依存性が必ずしも連続的ではなく、腐食予測において注意する必要がある。これは乾燥期には腐食は停止、あるいは潜伏期間を経て加速する可能性や防食塗装被膜の劣化による。(厳密な検証は今後の課題とする。)

経過年数の考慮の仕方は配管外面の塗装被膜の劣化(通常のエポキシ塗装で新設塗

装 15 年程度、補修塗装後 8 年程度とみなす例が多い) や外装板の腐食・穴あき (環境により異なるが一般に亜鉛鉄板製外装板は大半がほぼ 20 年で穴あきが生ずるといわれている)、腐食生成物の蓄積等を考慮して具体的には事業者ごとの実績経験値による。参考として CUI による漏洩事故発生頻度のピークが 16-20 年と 25 年以上の 2 回離れて存在する事例^{*}) が著名である。

* B.J.Fitzgerald, P.Lazar, R.M.Kay, S.Winnik(ExxonMobil Chemical) : Corrosion 2003, paperNo.03029

第4章 CUI 検査のための基本手順

4.1 考え方と基本手順

1) 考え方

保温配管の CUI は保温材が施工されたままでは非破壊的に信頼性の高い検査が出来ない。漏洩事故を未然に防止するためには、保温材を剥離し、配管外面検査により減肉状況を検査することが最も信頼性の高い CUI 検査方法である。しかしながら、膨大な保温配管をすべて剥離することは時間的にも経済的にも困難である。したがって CUI 検査のためには膨大な量の対象配管の中から優先順位を決めて CUI 発生確度の高い箇所を可能な限り効率的に絞り込み、最終的にその絞り込んだ箇所（以下剥離特定箇所）について剥離を行なって検査を行なうことが必要である。

2) 基本手順

本章の CUI 検査における基本手順とは

- ① 優先順位分け
- ② スクリーニング検査
- ③ 剥離箇所の特定

の3つを骨格とする基本手順（フロー）を指す。

本ガイドラインにおいてはこの基本手順の流れは各事業者が共通に遵守するものとするが、その検査方法や判定方法の詳細およびその他の手順は各事業者が各プラントの特性やこれまでの長年の知見や経験によりすでに作成保有している社内基準を基本とし、本章の参照基準として示す手順を修正して用いればよいものとする。

本章では CUI 検査のための手順として

- ① 管理単位の設定
- ② 重要度評価の方法
- ③ 腐食予測の方法
- ④ 優先順位の分け方の詳細
- ⑤ スクリーニング検査の詳細
- ⑥ 剥離箇所の特定の詳細
- ⑦ 検査データのフィードバック

の手順を示した。

なお、基本手順の実施例を**解説4**に示す。

4.2 CUI 検査のための剥離箇所の特定手順(フロー)

CUI 検査のための剥離箇所の特定作業手順を図 4.2 に示す。図中太線枠で示す手順は基本手順を示す。

各手順項目の内容については次節 4.3 以降に記述する。

なお、本図は CUI 管理のための維持管理フロー全体を示すものではなく、剥離箇所の特定作業に絞りその考え方を具体的に参照基準として示すものであって、剥離以降の剥離検査、判定、次回以降の検査時期の設定や処置方法などは割愛している。これらは各事業者の社内基準により定めるものとする。なおスクリーニング検査や剥離後の検査によるデータ情報は次回腐食予測度の精度向上に資するので図中に破線で示した。

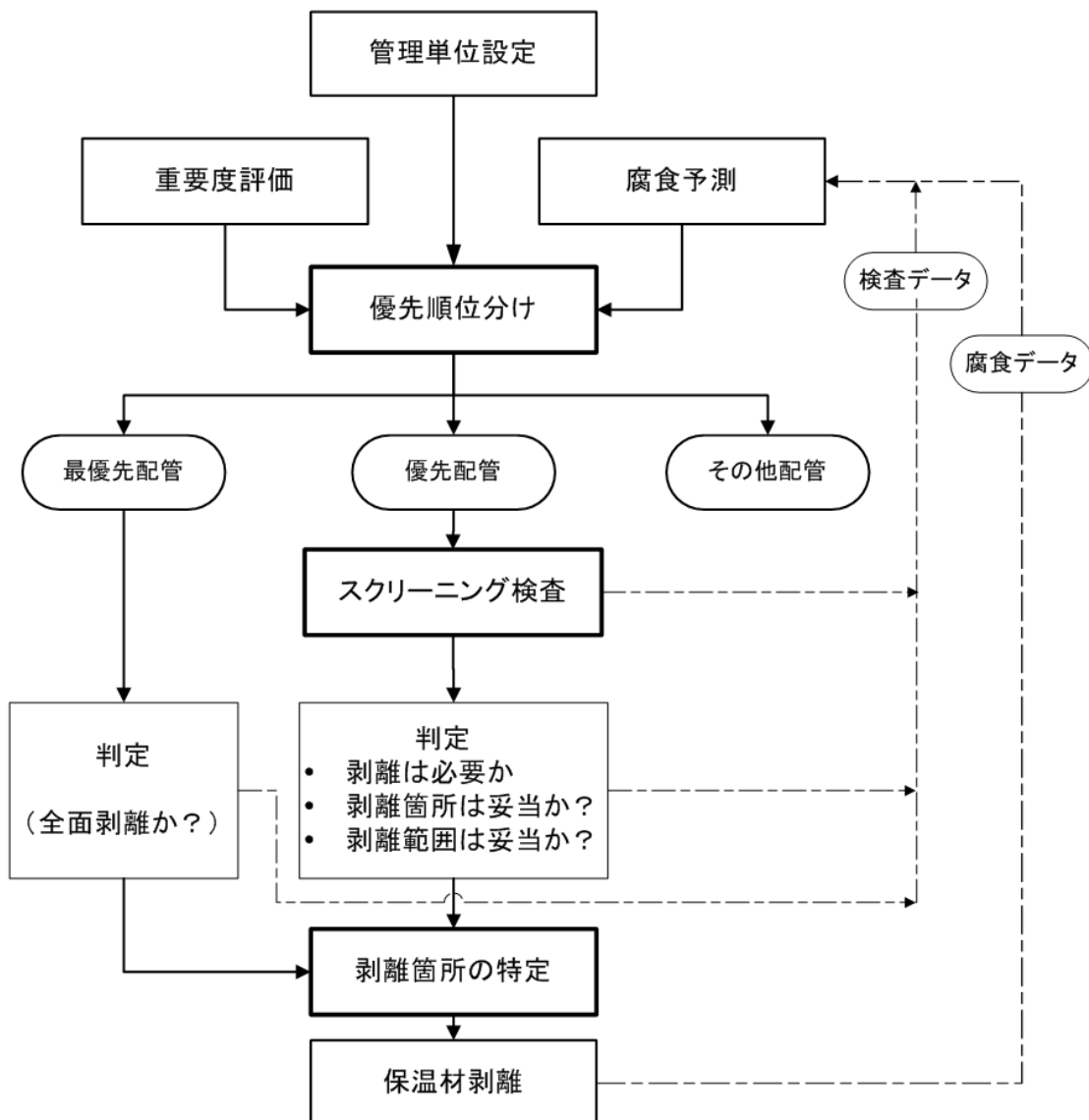


図 4.2 CUI 検査のための剥離箇所の特定手順(フロー)

4.3 管理単位の設定

配管の管理単位は CUI を含む配管の維持管理上設定される配管の分類・識別方法である。管理単位は各事業者の方針やプラントの種類、事業所の特性により設定されるものである。

CUI 管理ではそれを基に配管管理リストを作成し、以降の手順に用いる。管理単位には①対象領域を地域とプロセス(装置)から分けるエリア分け、②配管ごとに分ける場合、③エリア分けと配管ごとの2つを組み合わせる場合の3種類がある。

エリア分けは、対象配管を大きくりにオンサイト（プラント）・オフサイト（原料供給・貯蔵・出荷）などの地域で分ける場合およびプロセスごとの装置分けにより選定される場合、環境で分ける場合などがある。配管ごとに分ける場合は、機器から機器を一単位として、ライン番号などを設定し、必要箇所はスプール図により管理状況の詳細や履歴の記録を行う。

4.4 重要度評価

重要度は配管の漏洩による影響度により区分される評価であって各事業者の方針や事業所プラントの特性により個別に定められるものである。対象配管（管理単位ごと）の優先順位はこの重要度評価と後述する腐食予測度から決定される。重要度評価項目は、内部流体の特性（揮発性、毒性、反応性、可燃性、内圧）による健康、安全、環境への影響、メンテナンス及び操業停止コストなどで評価し区分けする。重要度評価の区分けの参考として API570 に準じて4区分に区分けした参考例を表 4.4 に示す。

表 4.4 重要度評価表(参考例)(API 準拠)

区分け	具 体 事 例	
A	強揮発性： 毒性： 反応性： 強可燃性： 高圧：	<p>高圧で揮発性が高く、且つC2・C3・C4留分の爆発混合気になっている内部流体、特に沸点が運転温度以下で10℃以下、若しくは沸点が常温以下の流体</p> <p>硫化水素3%以上を含有するLPG配管（気化状態）、塩素ガス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水分に曝される恐れ（水槽上、隣接）のあるフッ化水素 ・無水アンモニア ・無水塩化水素 <p>内部流体が自然発火点以上の温度で使用しているプロセス配管</p> <p>6MPa以上の高圧水素ガス、炭化水素(HC)</p>
	その他の影響：	<ul style="list-style-type: none"> ・内部流体が漏洩すると広範囲で公害問題が発生する可能性が高い配管 ・内部流体が漏洩すると生産性に及ぼす影響が大きく自装置および他装置の全面停止に及ぶ配管 ・故障により品質に及ぼす影響が大きく、オフスペックが生じる配管 ・（ガソリン、ナフサ）精留塔上部流体または炭化水素(HC)
	弱揮発性：	<ul style="list-style-type: none"> ・発火点以下の内部流体温度で、ゆっくり気化するプロセス流体配管
	可燃性：	6MPa未満の高圧水素ガス、燃料ガス、天然ガス、C3/C4(気化)
	強酸性および強アルカリ性：	アミン含有量大、硫酸、アンモニア含有水
	その他：	内部流体が漏洩しても装置の部分停止で済む保温配管
B	低揮発性：	発火点以下の内部流体温度で、気化し難いプロセス流体配管
	その他：	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸留処理後の流体と製品流体で、保管と積載の為の配管 ・タンクヤード地区にある付帯配管 ・オフサイトに設置されている酸性・アルカリ性配管
C	ユーティリティ その他用途：	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸気配管とコンデンセート配管 ・空気配管 ・窒素配管 ・水配管、ボイラー給水配管 ・潤滑油配管、シール油配管 ・その他、上記に記載以外の配管

4.5 腐食予測

腐食予測は CUI の腐食による漏洩の危険性が高い配管を選定することであり、重要度と組み合わせて優先順位分けを行なうために必要不可欠な評価である。腐食による漏洩の危険性は腐食予測と配管肉厚の余裕度を考慮して評価する。

腐食予測方法は CUI の発生メカニズムに基づいて要因を選定し、定量的に、客観性を重視して設定することが重要である。腐食予測の基本は①腐食要因データおよび②目視点検結果から行う。腐食予測の実際は各プラントの特性やこれまでの長年の知見や実績により各事業者がすでに保有している社内基準を基本とし、以下の内容は参照基準として用いられればよい。腐食予測の方法は固定的なものではなく以降の検査結果データ等のフィードバックデータや実績から得られた新たな知見などを次回 CUI 検査の腐食予測に反映させ逐次改善していくことが重要である。

1) 管理単位および配管管理リスト

腐食予測は管理単位ごとに行う。腐食予測のためには対象範囲の配管管理リストをまず作成しておき、管理単位識別番号、装置名、設置年、内部流体名、配管材質および以下の腐食要因および肉厚管理データ、目視点検結果等の必要項目と各評価欄を設ける。

2) 腐食予測管理データ

腐食予測に用いる腐食要因データは以下のとおりである。

腐食要因データ

- ① 経過年数
- ② 運転温度
- ③ 運転条件（連続運転か間欠運転か）
- ④ 防食仕様（配管外面塗装有無、補修実績を含む）
- ⑤ 大気環境（海岸部や水噴霧環境など）

3) 腐食予測フロー

腐食予測は腐食要因データによる評価と目視点検結果により行う。腐食要因データによる予測は、表 4.5-1 に示す腐食予測マトリックスによる一次評価と大気環境による二次評価によって行う。

腐食要因データによる腐食予測と目視点検による点検結果により腐食予測度ランクを決定する。

以降に腐食予測の評価参考例を示す。

(1) 一次評価(腐食予測マトリックスによる評価)

表 4.5-1 に一次評価に用いる腐食予測マトリックス（参考例）を示す。

① 経過年数：

4 区分に分ける。補修による防食塗装が施工された場合はその効果を検討の上リセットし、前回補修時期からの経過期間を使用する。備考欄に示すように外装板継目充填材の劣化、防食塗装の劣化が進展すると想定している。

② 運転温度：

範囲を 3 区分に分ける。60～120℃の範囲が腐食速度大とみなす。

③ 運転条件：

連続運転と間欠運転*との 2 区分に分ける。

*間欠運転とは停止が頻繁であるもの、長期休止配管などを含み、その際に運転温

度が常温近くまで降下する場合をいう。ただしスチームトレースなどにより常時、配管表面温度が配管表面を乾燥させるのに十分な高温に保たれる場合などを除く。

④ 防食仕様の有無：

配管外面の防食塗装施工あり、なしの2区分に分ける。

表 4.5-1 経過年数・防食仕様・運転条件・運転温度による腐食予測マトリックス(参考例)

経過年数 ^{注1)}	10年未満		10~20年未満				20~30年未満		30年以上
防食仕様 ^{注2)}	—		あり		なし		—		—
運転条件	連続	間欠 ^{注3)}	連続	間欠 ^{注3)}	連続	間欠 ^{注3)}	連続	間欠 ^{注3)}	—
運転温度範囲 ^{注4)}									
常温~60℃以下	0	0	0	20	10	20	10	20	20
60超~120℃	0	10	10	30	20	30	20	30	30
120℃超	0	0	0	20	10	20	10	20	20
備考	2年後程度から外装板継目充填材の劣化(以降水浸入始まる)		防食塗装劣化始まる				・防食塗装効果ほとんどなくなる ・外装材板金が腐食劣化		

注1) 区分に用いた年数は暫定値。補修により防食塗装が施工された場合はその効果を検討の上リセットし、補修時からの期間を使用。

注2) 防食仕様は配管外面用であり、外装板用ではない。

注3) 頻繁停止や長期休止は間欠に含むが、運転停止があってもスチームトレースなどで配管表面温度が常時高温に保持されている場合は間欠運転に含めない。

注4) 温度範囲の区分は暫定値。

(2) 二次評価(大気環境評価)

以下の点数を一次評価の点数に加えることにより合計点を算定する。

表 4.5-2 に腐食要因データのうち⑤大気環境の評価例を示す。評価点数は暫定値である。

表 4.5-2 大気環境による評価(参考例)

⑤大気環境		評価点数	備考
屋内		0	
屋外	一般	10	
	海岸部	20	海水飛沫に直接曝される環境
	水噴霧環境	30	噴霧、水蒸気に直接曝される環境

4) 腐食予測のための目視点検

腐食予測のための目視点検は日常点検によるものとする。

(1) 検査方法

運転中に行う日常点検を主体とし、期日を定めて行う定期点検を行ってもよい。点検は、対象エリアを決め、地上や既設足場からの目視や遠望(必要により双眼鏡等使

用)により対象配管を目の届く範囲にて広範囲に配管全体を観察し外観上の異常個所を検出する。点検ポイントは表 4.8 を参考とする。

検査期間は1年ごととし全エリアをカバーすることが経年変化に対応する上で望ましい。

(2) 判定基準

外観の不具合箇所の詳細状況(不具合の範囲、程度など)から、①異常、不具合あり、②不明瞭、③問題なしの3ランクに分ける。目視点検異常例は表 4.7 に示す。

(3) 処置

異常、不具合が発見された場合は、対象箇所を関係部署へ記録(データ、写真)・連絡を行う。

5) 目視点検結果を加えた腐食予測度ランクの算定

腐食予測は、以上で求めた腐食要因管理データによる腐食予測度に加えて目視点検による評価を考慮して総合判定する。以下に算定の参考例を示す。

(1) 管理データのみによる腐食予測度ランク算定(参考例)

合計点 60 点以上を高、合計点 40 点以上 60 点未満は中、40 点未満は低に分類する。なお点数は暫定値であり、検査結果により補正や見直しを行なう。

(2) 目視点検結果の腐食予測度への反映方法(参考例)

目視点検を行った場合は①異常不具合あり、②不明瞭、③問題なしの3ランクに分け、異常不具合の場合のみ管理データによる予測度を表 4.5-3 により高い側に修正するが、問題なしの場合は管理データによる評価を優先して低い側への修正はしないこととする。これは目視点検が異常個所の抽出を目的とするためである。目視点検を行わなかった場合、修正は行なわない。

表 4.5-3 目視点検結果を加えた腐食予測(参考例)

腐食要因データのみによる腐食予測度ランク	目視点検を行った場合		目視点検を行わなかった場合 または目視点検では不明瞭の場合
	異常・不具合あり	問題なし	
高	高	高のまま	高のまま
中	高に変更	中のまま	中のまま
低	中に変更	低のまま	低のまま

6) 肉厚管理データによる余裕代の考慮(参考例)

肉厚管理データとは①配管径、②配管スケジュール No.および前回までのデータがある場合は③剥離検査データ(残厚)を指す。肉厚管理データは腐食予測そのものではなく侵食による漏洩の危険性を配管肉厚の余裕代で評価するものであり腐食予測で得た予

測度度ランクの評価を見直すのに用いる。参考例を表 4.5-4 に示す。本表に示すほか、内面腐食の可能性がわかっている場合などは経験に基づいてそれを見直しに反映することも重要である。

表 4.5-4 肉厚管理データによる評価見直し(参考例)

①②配管公称肉厚	③剥離後の検査データ(残厚)	予測度ランクの見直し	備考
10mm超え	10mm超え	なし	
中間	中間	要検討	配管内圧等により検討する
4.5mm以下	4.5mm以下	1ランク高めに 見直し	対象配管が小径の枝管あるいはノズル配管を含む場合はその小径配管を評価すること

4.6 優先順位分け

優先順位分けは上述までの重要度評価区分けと腐食予測度評価の組合せによって行なう。ここでは対象配管を最優先配管、優先配管、その他配管の3つにグループ分けを行なう事例を図 4.6 優先順位評価マトリックスと区分け(参考例)に示す。本例で示すマトリックス分割方法また領域のとり方は参考例を示すものであってグループ分けの数などは各事業者の方針や事業所、プラントの特性により最適なものに修正する。

最優先配管、優先配管、その他配管は以下の意味で用いる。

(1) 最優先配管

漏洩した場合の影響度が非常に大きく且つ CUI の発生している可能性が非常に高いので、最優先に保温材を剥離して CUI 検査を行なうべきものとして基本的に全面剥離を行なうことが求められる配管と分類する。

(2) 優先配管

漏洩した場合の影響度が大きく CUI の発生している可能性が高いので、さらにスクリーニング検査によって絞込み、剥離箇所を特定して CUI 検査を行う必要がある配管が該当する。

(3) その他配管

漏洩した場合の影響が小さく CUI の発生している可能性が低い配管で、CUI 検査の時期を急がないでよいとする配管であって、検査不要とするものではない。

表 4.6 優先順位評価マトリックスと区分け(参考例)

		重要度			
		D	C	B	A
腐食予測度ランク	区分け				
	高			最優先配管	
	中		優先配管		
	低	その他	配管		

4.7 スクリーニング検査

優先順位分けが完了し、決定した優先配管はスクリーニング検査を行う。優先配管の対象量は多く、かつ CUI 事故発生の危険性が潜在する部分であるため、その危険性を防止するためスクリーニング検査を用いて剥離箇所を絞り込み（特定）を行う。この剥離箇所の検出精度が漏洩事故の防止の鍵であり、本ガイドラインの CUI 検査手順の中でスクリーニング検査はもっとも重要な工程と位置づける。

ただし、スクリーニング検査の具体的な検査方法や判定方法は各事業者がすでに保有している社内基準を基本とし、以下に示す手順を参考に適宜修正して用いる。以下の内容は参照基準として示すものである。

1) スクリーニング検査の留意点

スクリーニング検査は CUI 発生可能性の高い箇所を特定するため、判定に必要な判断材料を得ることが目的である。そのため

- ① 優先配管であっても各事業所の実績や知見を活かし事前に剥離の判断ができる箇所は先に判定し、改めてスクリーニング検査を要さない箇所を事前に除外しておくとうい。
- ② 優先配管の全長に対してではなく、CUI の発生しやすい箇所と環境に重点を絞って検査を行なう。
- ③ 目視検査と非破壊検査等の適切な使い分けが重要である。すなわち目視検査では見逃しやすい範囲に非破壊検査を適用すること。
- ④ 目視検査では足場を必要とする箇所に非破壊検査を用いて足場を不要にする。

などが重要である。

2) 目視検査による方法

スクリーニング検査に用いる配管の外観目視検査であり、CUI の発生しやすい箇所（保温材の不連続部や外装板の腐食・損傷部など）における外観の不具合の範囲、程度か

ら、水の侵入状況を推測して保温材を剥離すべき箇所の候補を抽出する。

(1) 検査方法

- ① 目視検査はCUIの発生しやすい箇所と環境を対象に遠望目視または必要に応じ近接目視により行なう。
- ② CUIの発生しやすい箇所と環境は4.8(表4-8)を参照する。さらに各事業所の実績やプラントの特性、知見により適宜選択または追加補完して用いることが望ましい。

(2) 検査結果の判断基準事例

(a) 判断の基準事例

判断は表 4.7 目視検査の異常・不具合例を参考に行う。外観の不具合の範囲、程度などから、水の侵入状況を推測して異常、不具合ありを評価する。

(b) CUI 腐食の発生しやすい環境における目視点検

CUI の発生しやすい環境（水滞留箇所、保温材中に湿気を吸収蓄積する環境、水噴霧・水蒸気・海水飛沫飛散）でかつ保温材不連続部や外装板の腐食、損傷部が発見された場合では腐食の可能性はきわめて大きい。このため

- ① CUIの発生しやすい環境における目視点検は特に入念に行う。また異常の判断もその他の環境に比して厳しくする必要がある。
- ② 外観の異常はないが従来経験、事例、知見から安全をみて、発生しやすい環境を重視し剥離の決断を行う。

のいずれかの判断によるものとする。

表 4.7 目視検査の異常・不具合例(参考例)

分類	小分類	目視検査の異常例
保温材不連続部	保温材及び外装材の貫通・切欠き部	<ul style="list-style-type: none"> ・さび汁がある ・異常な開口がある ・外装板が変形、腐食している
	保温材末端部	
外装板の劣化損傷箇所	外装板の損傷	<ul style="list-style-type: none"> ・外装材の変色(高温やけ) ・外装止めバンドのはずれ ・外装重ね合わせ部の外れ ・はげ掛け弛みあり ・保温材が吸湿している
	外装板上の腐食等	<ul style="list-style-type: none"> ・外装板のさび・腐食・穴あきあり
	膨れ	<ul style="list-style-type: none"> ・外装の膨れあり(腐食生成物が予想される)
	継ぎ目充填材劣化	<ul style="list-style-type: none"> ・塗材(マスチック)が劣化(亀裂、剥離、防水性能劣化)
	その他	<ul style="list-style-type: none"> ・サポート部のカビやコケ ・不適切な部品設置による水はけ障害部
水滞留箇所	浸入水が集中して滞留しやすい箇所	同時に外装板の劣化損傷がある(上記場合は重大)
保温材中に湿気を吸収蓄積する環境	運転温度から温度降下がある配管系統部分	
噴霧・水蒸気・海水飛沫飛散環境	水噴霧やスチーム、海水飛沫に曝される可能性のある配管	
その他	振動配管	

(3) 検査結果の処置

上記の結果、剥離すべきと判断される候補箇所を選出し、剥離の判定に移行する。判定結果、写真は記録し腐食予測にフィードバックする。関係部署への連絡・依頼・記録を行う。

(4) 足場

検査足場の設置は必要に応じて行なえばよく、判断が可能であれば必ずしも近接点検が必要とは限らない。既設足場や地上からの遠望目視により判断できる場合もある。点検車両などによる移動足場、部分設置足場、エリア内の一定範囲設置等もあるが、工事費用が大きいので各事業者の方針、各事業所の特性などにより計画する。

3) 非破壊検査による方法

スクリーニング検査に用いられる非破壊検査技術は、ガイド波超音波検査法、パルス渦流磁気検査法、放射線検査法の3種類がある。非破壊検査は目視検査では不明な剥離箇所検出の判断を助けるツールであり、効果的に用いることが望ましい。

(1) 検査対象の選定

非破壊検査の選定を行う場合の例は

(a) 目視検査のみでは判断できないと考える箇所

- ① 目視検査では異常、不具合箇所が検出された配管ではあるが、CUIの発生しやすい環境には該当せず、目視検査だけの評価では剥離の決断を行わない場合
- ② 目視検査のみの評価では剥離範囲が過大になると判断される場合など

(b) 見逃しの危険性が高い配管

CUIの発生しやすい箇所・環境で目視検査では問題なしの箇所であるが、腐食予測度は中か高に評価されている配管でCUIの発生が疑わしい箇所など

(c) 高所位置を足場不要で検査したい場合

塔の垂直配管、ラック上架空配管など

(d) 長尺の配管など

栈橋配管など延長距離が長く目視検査に多大の工数と時間を要する場合など

(e) 小口径配管で検査範囲が短い場合

効率的な観点から、スクリーニング検査を省略し、直ちに腐食評価に移行したい場合

などに示す箇所が上げられる。

(2) 検査方法

スクリーニング検査に採用する非破壊検査技術は、対象配管の設置条件（配管レイアウト形状、位置、サイズ等）に合わせてスクリーニング検査の判断に必要な最小限の評価情報を得ることを目的に最適なものを選定すればよい。

参考として表 5.2「非破壊検査技術及び使用推奨箇所(例)と留意点(その1)」、表 5.3「非破壊検査技術の種類と特徴及び使用推奨箇所(例)と留意点(その2)」および解説5「非破壊検査技術の選定と使用」を参照されたい。

(3) 結果の評価方法

非破壊検査技術はそれぞれの固有の検出精度（検出限界、見逃し）があり、それを十分認識した上で非破壊検査結果の評価を行なう。

(a) 結果評価事例

非破壊検査結果により

- ① 有意な欠陥信号または画像なし
- ② 肌荒れ程度の軽微な腐食（維持管理上問題とすべき大きさの腐食*1にまで至らない）と推定
- ③ 腐食が大きい*1可能性大

に区分を行なう。

*1：腐食のサイズはあくまで非破壊検査技術の特性、検査精度（解説5）に基づく予測値である。維持管理上の腐食の大きさのしきい値は各事業者の社内基準、設備管理マニュアル等で定める。

(b) 剥離の判断

非破壊検査結果の区分にこれまでの各事業所の経験を加えた判断により剥離不要や剥離範囲の判断など 4.9 剥離箇所の特定のための判定に移行する。検査後は記録データを作成すると共に腐食予測度に反映する。

4) 水分測定

(1) 水分測定の取り扱い

水分測定は配管の CUI 腐食部を直接検出できるものではないので取り扱いには十分に注意する。純粋に保温材中の水分の有無を半定量的に判断するのに用いる。表 4.8 の水分滞留箇所等で保温配管の保温材の水分含有状況などの相対評価などに使用できる。

(2) 方法

水分測定は中性子水分計と赤外線サーモグラフィを用いる場合とがあり、詳細は解説5に示す。

4.8 CUIの発生しやすい箇所と環境

CUIの発生しやすい箇所は第3章(表3-1)に示した腐食メカニズムの理解とこれまでの各事業者における実績の両方を勘案して各事業者が決めておくことが望ましい。

1) 発生・加速要因からみた目視点検ポイント

腐食メカニズムに基づく腐食評価から目視点検ポイントは

- ① 水の侵入しやすい箇所（保温材不連続部、外装板の劣化損傷箇所）
- ② 水の滞留箇所（侵入水が集中して滞留しやすい箇所）
- ③ CUI の発生しやすい環境（運転温度・運転条件、温度降下、水噴霧・スチーム、海水飛沫など）

の3つを重点に設定する。

2) CUI の発生しやすい箇所の分類と具体的な箇所(参考例)

CUI の発生しやすい箇所・環境およびその具体的な箇所の参考例を表 4.8 CUI 発生しやすい箇所と環境(参考例)*1に示す。また、具体的な箇所の各事例の参考図は解説3に示す。これらの事例は参考例として示すものであって、各事業者ですでに得られている事例は本参考例に追加して用いる。

*1：本章の事例については今後新たな事象に対応して必要に応じ逐次改定・増補されることが望ましい。

表 4.8 CUI の発生しやすい箇所と環境 (参考例)

分類	小分類	具体的な箇所
保温材不連続部	保温材及び外装材の貫通・切欠き部	<ul style="list-style-type: none"> ・ベント、ドレン部^(事例①) ・ハンガー保持部 ・パイプシュー取付部 ・トレース管貫通部^(事例②) ・ステージ(フローア)貫通部^(事例③) ・サポート取付部^(事例④) ・圧力容器ノズル部^(事例⑤) ・取り出し計装配管^(事例⑥)
	保温材末端部	<ul style="list-style-type: none"> ・フランジ、付属品^(事例⑦、⑧) ・鉛直配管末端部 ・保温材連結部防食不良箇所^(事例⑨)
外装板の劣化損傷箇所	外装板の損傷	<ul style="list-style-type: none"> ・外装材の変色(高温やけ) ・外装止めバンドのはずれ ・外装重ね合わせ部の外れ^(事例⑩、⑪) ・はぜ掛け弛み部
	外装板上の腐食等	<ul style="list-style-type: none"> ・外装板のさび・腐食・穴
	膨れ	<ul style="list-style-type: none"> ・外装の膨れ部(腐食生成物が予想される)
	継ぎ目充填材劣化	<ul style="list-style-type: none"> ・塗材(マステック)が劣化(亀裂、剥離、防水性能劣化)
	その他	<ul style="list-style-type: none"> ・サポート部のカビやコケ ・不適切な設置による水はけ障害部
水滞留箇所	浸入水が集中して滞留しやすい箇所	<ul style="list-style-type: none"> ・垂直配管の保温材末端部 ・立上がり配管のエルボ^(事例⑫) ・長スパン水平配管ラインの下部^(事例⑬)
保温材中に湿気を吸収蓄積する環境	管理すべき運転温度範囲と運転条件	<ul style="list-style-type: none"> ・内部流体温度-4~150℃程度で運転されている配管 ・使用中は内部流体温度150℃以上であるが間欠運転される配管
	運転温度から温度降下がある配管系統部分	<ul style="list-style-type: none"> ・本管から分岐され150℃以下となる滞留部及び部品^(事例⑭) ・内部流体温度降下で露点となる枝管^(事例⑮) ・火傷防止対策施工配管
噴霧・水蒸気・海水飛沫飛散環境	水噴霧やスチーム、海水飛沫に曝される可能性のある配管	<ul style="list-style-type: none"> ・冷却塔付近配管 ・スチームストラップ近傍配管 ・スチームトレース配管保温材内部継手 ・栈橋配管 ・水滴の直下配管^(事例⑯、⑰)
その他	振動配管	<ul style="list-style-type: none"> ・振動による外装板の損傷が早い箇所
	常時結露する配管	<ul style="list-style-type: none"> ・保冷配管

4.9 剥離箇所の特定

スクリーニング検査により剥離すべきではないかと判断された配管および箇所は、①剥離が必要か、②剥離箇所は妥当か、③剥離範囲は妥当か等の判定が必要である。

1) 剥離の判定

剥離範囲の判断については、海外のガイドライン(EFC等)では配管の優先順位によって剥離割合を設定するように例示している場合や検査の有効度により剥離率を設定するよう推奨している例もある。しかしCUIの発生の仕方は多様であり、一律に剥離率を定めることは適当ではない。剥離の判定は以下の

- ① 最優先配管に関しては、もっとも CUI 事故の発生危険性が高いため、全長・全面剥離してよいかの確認の上保温材全面剥離を基本とする。
 - ② 優先配管については剥離箇所を特定された配管および特定された範囲について、保温材を剥離する。
 - ③ 優先配管の剥離箇所の特定はスクリーニング検査の結果（目視検査や非破壊検査結果）を参考とするが、それだけで判断するのは危険であり、剥離範囲は CUI の発生しやすい箇所と環境における異常内容に応じてそれぞれの剥離範囲の拡大などの判断が必要である。これらの詳細は各事業者や事業所、プラントの特性に応じた経験、実績による判断を加えて総合的に判定する。
 - ④ 判断が困難な場合など必要な場合には以下の参照基準に示す部分剥離の試行や必要最小限の非破壊検査の追加実施により判断を補強するものとする。
- により決定する。

2) 部分剥離による判断を行なう場合

(1) 目的

目視検査で検出された異常箇所または配管において剥離範囲の判断がしにくい場合であって非破壊検査技術が適用できなければ、剥離範囲を推定判断するために部分剥離を検討する。

(2) 検査方法

- ① 異常箇所周辺の保温材を部分剥離して目視検査する。
- ② 剥離した部分の CUI 腐食箇所の検出有無あるいは分布状況に応じてさらに剥離範囲の拡大を検討する。
- ③ ただし、部分剥離に工数がかかり過ぎる恐れがある場合は全面剥離を選択する。剥離範囲の設定や拡大の詳細方法は高度の経験と判断が要求されるので各事業所設備管理担当部門がこれまでの知見、事例に応じて決定するものとする。

(3) 判定

- ① 部分剥離による判断では未検査箇所の CUI 腐食の危険性が残る。
- ② CUI 腐食箇所が配管に多数存在すると推測される場合、剥離範囲の判定は全長が必要になる。

本判定には高度の経験と判断が要求されるので各事業所設備管理担当部門がこれまでの知見、事例に応じて決定するものとする。

3) 非破壊検査技術を使用する場合

非破壊検査技術を剥離判定の補完として以下の場合に行うことがある。

(1) 適用目的

- ① スクリーニング検査（目視検査）での判断では剥離範囲が広範囲になり過ぎて検査工事費が増大する恐れのある場合など剥離箇所の範囲の判断に迷う場合
- ② 部分剥離では剥離範囲が判断できず剥離範囲を限定したい場合
- ③ 最優先配管は基本的に剥離検査により腐食を検査するが、全面を剥離するかどうか判断に迷う場合、剥離することによる漏洩等が危惧される場合
- ④ 2 インチ以下の小径配管（ノズル分岐を含む）などでは配管外面剥離検査の代用と配管内面検査を兼ねて行なう方が効率的な場合。

(2) 検査方法

異常内容、対象配管の設置条件（配管レイアウト形状、位置、サイズ等）に応じて

適切な非破壊検査を選定し、剥離範囲の特定の補助手段とする。(表 5.2 非破壊検査技術の種類と特徴及び使用推奨箇所(例)と留意点(その1)、表 5.3 非破壊検査技術の種類と特徴及び使用推奨箇所(例)と留意点(その2)参照)

4.10 剥離およびデータのフィードバック

以上の手順で剥離箇所が特定された保温配管は保温材を剥離し最終的な CUI 検査(剥離検査)を行い、漏洩につながる腐食を検出して対策を取る。剥離検査以降の維持管理工程は本ガイドラインでは割愛し各事業者によるものとする。ただし腐食予測精度向上等に必要な腐食データ管理やデータのフィードバックについて以下の参照基準に述べる。

(1) CUI 腐食データ管理

剥離検査では保温材除去後の配管外面の目視検査と計測器使用により腐食測定、記録等を行い腐食評価し、腐食データを得る。

- ① 腐食測定データは配管の漏洩を防止する観点から侵食深さの最大値で管理し、平均侵食深さや腐食の範囲マップなども合わせて記録しておくことが望ましい。
- ② 腐食速度は前回検査時からの測定期間で最大侵食深さを除して最大腐食速度を求める(mm/y)ことが望ましい。ただし、検査履歴がない場合には平均腐食度(最大侵食深さを経過年数で除す)を記録しておく。
- ③ 運転温度は配管の外表面温度ではなく、主配管内部流体温度に近いが、末端の枝配管においては温度降下やフィン冷却があるので、温度差のあることを記録することが必要である。同時にスチームトレースの有無、常時稼働か ON-OFF かも配管表面温度に影響するので注記する。

(2) データのフィードバック

本ガイドラインの剥離箇所の特定期間(フロー)においては保温配管の CUI による予想外の漏洩事故を未然に防止するため、対象配管の優先順位を左右する腐食予測度が重要であり、それを決める腐食予測要因データが精度を左右する。したがって、

- ① スクリーニング検査、剥離検査のすべての腐食データは腐食予測管理データへ反映する。
- ② 腐食予測への反映には 4.5 腐食予測評価方法の検証と見直しを行う。

により次の腐食予測精度を高めることが望ましい。

管理面ではスクリーニング検査に関して、

- ① 目視検査での異常、不具合と剥離検査結果の腐食有無との比較
- ② 非破壊検査の検出率、検出精度等の検証

などはスクリーニング検査による剥離箇所特定の信頼性向上に貢献するので、適宜検証データを蓄積していくことが望ましい。

第5章 非破壊検査技術の使用手法

本章はスクリーニング検査における非破壊検査技術の使用法および水分測定技術の使用法についての推奨事例を技術の特性面から示し、非破壊検査技術の基礎その他詳細は解説5に記述する。

5.1 使用目的

- ① 本ガイドラインにおける非破壊検査技術は直接 CUI 検査を行なうものではなく、剥離箇所を特定するためのスクリーニング検査用ツールとして使用する。
- ② 非破壊検査技術は万能ではないので必要に応じて用いるものであって、必ず使用しなければならないものではない。
- ③ 目視検査によるスクリーニングすなわち外装板上の異常に現れない、潜在する CUI 腐食を検出し目視検査を補完するための効率的なツールとして活用するのがよい。したがって、期待される役割は目視検査のみによる見逃しを減らすために有効な情報を得ることにある。
- ④ 非破壊検査によっては足場が不要となる場合がある。また長尺配管を効率よく検査できる場合がある。このように目視検査より効率よく検査できる場合には非破壊検査を積極的に検討すべきである。

これらスクリーニング検査とは別に水分測定技術の扱いについて本章で述べる。

5.2 技術の種類

非破壊検査技術の選定に当たってはその種類、測定原理や特徴を理解して使用するものとする。CUI 維持管理に用いる非破壊検査技術には大別してガイド波超音波検査法、パルス渦流磁気検査法、放射線検査法の3種類がある。水分測定には中性子水分計と赤外線サーモグラフィの2種類がある。

(1) 種類

非破壊検査技術および水分測定技術の種類を表 5.1 に示す。

表 5.1 非破壊検査技術および水分測定技術の種類

方式 \ 目的	非破壊検査技術	水分測定技術
超音波	・ガイド波超音波検査法	
電磁気(渦流)	・パルス渦流磁気検査法	
放射線	・リアルタイム放射線検査法 (自立駆動型) (軽量小型X線) (線量計プロファイル型) ・デジタル放射線検査法 ・フィルム式放射線検査法	・中性子水分計
表面温度		・赤外線サーモグラフィ

(2) 技術概要

代表的非破壊検査技術の概要を以下に示す。

① ガイド波超音波検査法

一部保温材を外して取り付けられたリング状の受発信機により配管長手方向に伝播する超音波を発信させ、一度に長距離範囲の配管全面を走査し、減肉（検出精度：最小断面欠損率 10%程度、内外面の区別はできない）の有無を検出できる遠隔検査技術で、アクセス困難な垂直配管や長尺配管に適す。

② パルス渦流磁気検査法

電磁気を利用した渦流磁気検査法の一つで、パルス電流により高い磁界を与えることで保温材を被覆した状態のまま肉厚の減少を測定することができる。ただし内外面の区別はできない。一回の測定はセンサで定まる範囲であり、格子状に測定点を設けることが多い。検査精度は保温材厚さ、外装板の材質、腐食部の形状で定まる。

③ 放射線検査法

放射線源に同位元素を用いてガンマ線を使用する場合と X線源を用いる場合があり、その透過能により適用できる配管肉厚、外径範囲が決まる。

デジタル放射線法（CR, Computed Radiographyともいう）はフィルムの代わりにイメージングプレートという電子媒体に画像を結ばせる方法で、この電子媒体をオフライン（通常は専用車両内のスキャナ）で読み取り、読み取った画像は専用ソフトで肉厚測定し、記録可能である。

リアルタイム放射線法は画像をフラットパネルディテクタ、半導体検出器やカメラまたは線量計により、現場で記録、監視できるもので小型携帯型と自立駆動型がある。

④ 中性子水分計

放射性同位元素により中性子を照射し、保温材中の水分（水素）によって生ずる後方散乱による熱中性子量測定から水分量を予測する。

⑤ 赤外線サーモグラフィ

保温材外装板表面から発する赤外線放射量を赤外線カメラまたはビデオでスキャンすることによって、温度差を色イメージあるいは定量的に識別し、保温材の腐食や水分の存在を予測する。

5.3 スクリーニング検査への適用方法

1) スクリーニング検査への非破壊検査の適用配管

非破壊検査対象は、4章 4.9 3) 非破壊検査による方法の目的に従って、目視検査のみではわかりにくい箇所、見逃しの危険性が高い配管、目視検査より効率よく検査できる場合に用いる。5章ではその検査対象配管に対して非破壊検査技術の特性面より適切な技術の選定と適用推奨箇所の指針を示す。

2) 非破壊検査技術の選定方法

非破壊検査技術はそれぞれ長所、短所があり、適材適所に非破壊検査を選定し適用する。

(1) 使用推奨箇所例

非破壊検査技術の選定と適用箇所は表 5.2 および表 5.3 の非破壊検査技術の種類と特徴および使用推奨箇所(例)と留意点を参照して行うものとし、具体事例は解説5に示す。
(2) 配管のレイアウト形状やサイズによる選択例

配管のレイアウト(3次元配置形状)は選択の際の判断の鍵となるので以下の考え方を参考に選択するとよい。

(a) 直線配管系：

- ① 直線部(エルボ1個含む)延長距離が長いレイアウトの配管系は一度に短時間で数十メートル単位の全面スクリーニング検査ができるガイド波超音波検査法が適する。(オフサイト配管)
- ② タワー垂直配管および垂直配管を含む架空配管は足場を不要にできるガイド波超音波検査法が適する。

(b) 分岐の多い複雑な配管系のスポットエリア：

- ① 外径4インチ以上の配管で対象箇所の範囲がほぼ1m前後の範囲に狭く絞れるならば、減肉評価可能なパルス渦流磁気検査法(ただし、亜鉛鉄板カバー対策機種)の選定ができる。
- ② 外径4インチ未満の小径管や複雑な分岐やバルブ、フランジ、レギュレーター等の部分にはパルス渦流磁気法は不適で放射線検査法が適する。

(c) 小径配管の場合

以下の小径配管に関しては保温材を剥離せず、放射線法検査(基本的にはフィルムまたはデジタル放射線検査法)を用いて直接、定量的減肉の腐食評価に進むことが多い。その理由は、

- ① 小径配管(外径2インチ以下)は補修より取替えの対象となることが多い。
- ② うす肉であるから漏洩危険性が高いので外面腐食、内面腐食同時に定量的な腐食測定が必要である。
- ③ 薄肉小径管は余裕肉厚が小さいので保温材を剥離するとそれが引き金となってさび層が取り払われるため、漏洩事故発生につながる可能性が大きい。

などの理由による。

5.4 水分測定の適用方法

水分測定には保温材中水分の検出(中性子水分計)と表面温度(サーモグラフィ)による測定の2つがある。

留意事項は以下のとおりである。

- ① 直接的にCUIの腐食箇所を検出するものでない。
- ② 保温材中の水分を半定量的に確認するものであり、測定結果は天候、内部流体等の影響を受ける。
- ③ 測定結果を直ちに保温材の剥離判断に利用することは避けるべきである。
- ④ 測定者は専門性を必要とし、経験者が必要である。

表 5.2 非破壊検査技術の種類と特徴および使用推奨箇所(例)と留意点(その1)

NDT	技術分類	特徴	使用を推奨するケース・場所	使用上の留意点
ガイド波超音波検査法	圧電素子(旧世代)	<ul style="list-style-type: none"> ・数10m(条件がよければ片側80m)の配管長を一度に検査でき、長さ方向の位置を予測可能。 ・足場不要にできる場合がある。 ・検査時間が短い。 ・検査できる配管径の範囲が広い(4から48B)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高所の配管を足場架設なしに、地上から検査したい。 ・長距離配管を能率よくスクリーニングしたい。 ・埋設部をそのまま検査したい。(距離は短くなる) 	<ul style="list-style-type: none"> ・構造変化部の先の検査は困難。(エルボ1個までは可能) ・センサセットに約300mm保温材を外す。 ・隣接配管間隔75mmが必要。 ・欠陥断面積が小さいものは検出できない。(断面欠損率で10%程度まで) ・あばた状全面腐食や割れの検出には適さない
	圧電素子(新世代:フォーカス機能等を備えた機種、解説5参照)	<ul style="list-style-type: none"> ・同上 ・旧世代よりも長距離が検査可能 ・円周方向の欠陥位置が推定可能 ・最小欠陥検出能が向上し見落としが減少(断面欠損率で3%程度) ・配管展開図表示機能の追加、客観評価が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上
	磁歪式	<ul style="list-style-type: none"> ・圧電素子(旧世代)と同様 ・隣接配管との間隔が狭くても良い 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧電素子(旧世代)と同様 ・センサを残置し経時変化を求める 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧電素子(旧世代)と同様(配管間隔は狭くても可)
近距離ガイド波超音波法	EMAT(直流磁化)+SH波	<ul style="list-style-type: none"> ・目視で検査不能な欠陥を検出可能 ・センサは接触媒質不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・狭隘で目視検査困難な架台等との接触部を詳細に検査したい場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・センサを接触させるため保温材剥離が必要 ・検査範囲は1-2m程度
	圧電素子+SH波	<ul style="list-style-type: none"> ・目視で検査不能な欠陥を検出可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上
	圧電素子+レイリー波	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上 ・塗装や表面凹凸の影響受ける ・検査範囲は400mm程度

表 5.3 非破壊検査技術の種類と特徴および使用推奨箇所(例)と留意点(その2)

NDT	技術分類	特徴	使用を推奨するケース・場所	使用上の留意点
パルス渦流磁気検査法	従来型	<ul style="list-style-type: none"> ・保温材カバー外面からの非接触検査可能 ・欠陥サイズを層別評価(メッシュ表示) ・放射線のような管理が不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ある程度絞込まれた箇所周辺の粗い損傷評価を行い、更に範囲を絞込む場合 ・保温材が比較的薄く、配管径が大きい、大面積損傷に適す 	<ul style="list-style-type: none"> ・スチームトレースや配管サポート、配管間隔小などは制約となる ・能率が悪い ・亜鉛鉄板カバーには不適 ・10B以下の中小径管には適さない
	亜鉛鉄板対応型	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上 ・亜鉛鉄板外面から検出能力が向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的に同上 (亜鉛鉄板カバーには対応)
デジタル放射線法	イメージングプレート記録	<ul style="list-style-type: none"> ・保温材剥離せずに肉厚測定可能 ・剥離検査に近い検査精度(0.1mm程度) ・内外面の両方の減肉評価が可能 ・フィルム方式に対して記録、解析処理が向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・対象部位の保温材を剥離せずに損傷評価をしたい場合 ・複雑な分岐がある配管の詳細な検査の場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・2本並列配管では4重壁となり精度が低下する ・放射線の届出、管理区域等の管理が必要 ・局所的な情報しか与えない ・照射方向によっては見逃しの可能性あり ・中小径管に限られる
リアルタイム放射線	自立またはレール移動型	<ul style="list-style-type: none"> ・マッピング表示可能 ・配管全体の欠陥をスキャンできる 	<ul style="list-style-type: none"> ・スクリーニング検査で直管の欠陥分布図を得たい場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・デジタル放射線より精度低い ・放射線の届出、管理区域等の管理が必要 ・レールの設置が必要 ・機器走行に支障ない直管に限られる
	小型パルスX線	<ul style="list-style-type: none"> ・小型軽量/電池駆動でスポット的な検査に適する 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑小径配管のバルブ、ノズル、ゲージ等のスポット的検査用 	<ul style="list-style-type: none"> ・放射線の届出、管理区域等の管理が必要 ・接線陰影法のため角度により見逃の可能性あり
	線量計プロフィール型	<ul style="list-style-type: none"> ・小型軽量で管軸/円周方向に手動走査が可能 ・透過線量計測法のため、定量的に肉厚変化を捉えられる 	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易に小径管の内外面の損傷評価をしたい場合 ・小範囲を連続的にスクリーニングしたい場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・欧米で使用実績多いが、日本で実績ほとんどない ・放射線の届出、管理区域等の管理が必要