

腐食・疲労等のモニタリング技術・診断技術等に関する調査（中間報告）

1. 調査概要

1. 1. 腐食・疲労等のモニタリング・診断技術

文献や企業等へのヒアリングを行い、既存の検査技術を含めて、腐食・疲労等のモニタリング・診断技術の調査を行った。その結果を以下の表に示す。

モニタリング技術等は、対象とする設備や部位等によっても、適用する技術が異なってくるため、「3. 1. 1. 長期使用設備の劣化に関する非破壊検査方法の種類と特徴」において、既存技術も含めた検査技術の概要を示すとともに、「3. 1. 2. 配管、タンクに適用可能な技術」以降において、腐食疲労等劣化による事故の発生が多く見られる「配管」、「タンク」に適用できる技術を抽出した（一部の技術は既に適用された事例もある。）。

引き続き、検査コストや技術的課題等についても調査、整理を進めることとしている。

1. 2. 補修・補強技術

現時点において、調査中ではあるが、これまでに判明した補修・補強技術は、次のとおり。

なお、補修・補強技術を適用する場合、以下のことを想定する必要があるため、それぞれに対して、適切な技術を検討する必要性がある。

①外面腐食

・雨水、地下水などが常時または高い頻度で間欠的に触れ、湿潤状態を形成している場所での腐食（保温材への水の浸み込みも含む）。

②内面腐食

- ・施工不良または設置環境により配管、底板に窪みが形成され水などが滞留することによる腐食。
- ・機器及び配管内に堆積物が残留し、堆積物内の腐食物質による腐食。
- ・応力腐食割れを発生させる物質への対策が不十分なことによる割れ

2. 調査計画

2. 1. 腐食・疲労等のモニタリング技術・診断技術調査

調査事項	訪問先など	調査内容	2017年 12月	2018年 1月	2018年 2月
文献調査 (国内資料)	論文 調査報告書 講習会資料 メーカーホームページ等 (別表参照)	配管・タンクの腐食 による危険物流出 箇所 配管・タンクの検査 技術	—	—	
文献調査 (海外資料)	下記	配管・タンクの検査 技術		—	
診断技術の 専門家へのヒ ヤリング	1)三菱ケミカル 保全部門 2)(株)ベストマ テリア	使用している診断 技術 技術動向と適用対 象	▼	▼	
検査技術保 有事業者へ のヒヤリング	3) 日本非破壊 検査(株) 4) (株)ATLAS など	検査技術全般 タンク底板検査 (FSM)			▼ ▼

外国資料

- ① International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study(NACE International IMPACT)、
- ② Managing Ageing Plant(Health and Safety Executive)
- ③ Ageing of Hazardous Installations
- ④ Plant Lifetime Management : Ageing Assets Issues
- ⑤ Plant Screening for Ageing Impact in the Process Industry
- ⑥ Infrastructure Assessment Risk Management

2. 2. 長寿命化のための補修・補強技術調査

調査事項	訪問先など	調査内容など	2017年 12月	2018年 1月	2018年 2月
文献調査 (国内資料)	論文 調査報告書 講習会資料 メーカーホームページ等 (別表参照)	防食技術、補修技術、補強技術、技術提供者、工事事業者など	—————		
文献調査 (海外資料)	下記*1	参考となる海外技術、管理手法等		—————	
補修・補強・防食技術の専門家へのヒヤリング	1)三菱ケミカル保全部門 2)日本工業出版(株)	実施している補修技術 「配管技術誌」出版*2	▼	▼	▼
補修・防食技術保有事業者へのヒヤリング	3)関西保温工業 4)日本ペイント防食コーティングス(株)	タンク保温材シール技術 防食塗料全般			▼ ▼
耐食性材料製造事業者へのヒヤリング	5)JFEスチール等 6)日東電工等 7)住友金属鉱山	ポリエチレン外装管ほか 防食テープほか 高純度亜鉛シート、テープ等			▼ ▼ ▼

* 1 外国資料

- ①International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study(NACE International IMPACT)、
- ②Managing Ageing Plant(Health and Safety Executive)
- ③Plant Lifetime Management : Ageing Assets Issues

* 2 プラントの腐食対策最前線特集など

3. 調査中間報告

3. 1. 腐食・疲労等のモニタリング技術・診断技術調査

3. 1. 1. 長期使用設備の劣化に関する非破壊検査方法の種類と特徴

非破壊検査方法	対象とする欠陥	検出原理	利点	適用限界
磁粉探傷試験 (MT)	表面欠陥、表層部の欠陥、特に微細な割れ。 PT 及び ET よりも小さな欠陥が検出できる。	試験体を磁化させたときの欠陥部における漏えい磁束を検出する。 一般には磁粉を適用する。	比較的経済的。操作が容易。装置がポータブルである。表面下の欠陥検出も可能。	強磁性体のみに適用可。試験前後の洗浄が必要。コーティングされたものは適用不可。電源が必要。
浸透探傷試験 (PT)	表面に開口した欠陥（割れ、ピンホール）。 検出可能な欠陥の最小寸法は長さ 1 mm、深さ 20 μm、幅 1 μm 程度。	欠陥に浸透液を浸透させ余剰浸透液を除去した後、現像液により浸透液を浸み出させて欠陥像を検出	携帯性がよい。経済的。試験結果の評価が容易。照明以外の電源が不要。欠陥の形状や方向性の影響がない。	コーティング、スケールなどの表面状態では適用不可。試験前後の洗浄が必要。浸透後の過洗浄や洗浄不足に注意。
渦流探傷試験 (ET)	表面欠陥、表層部の欠陥、材質の評価も可能。 検出可能な欠陥の最小寸法は PT よりもやや小さい。	試験体に渦電流を発生させて、欠陥部における渦電流の乱れをインピーダンス変化として検出	高速探傷が可能。自動化に適する。非接触でも探傷可能。	疑似信号やノイズを生じやすい。（ガタ信号、リフトオフなど）欠陥の種類、形状、寸法の評価が困難。
超音波探傷試験 (UT)	溶接線の溶け込み不良、クラック。ブローホールは検出性能が落ちる。 容器内の水位確認、接着・剥離検査も可能。	センサから超音波を発信し、内部のキズや反対面に反射して戻ってくる時間と強さから欠陥を検出	高速探傷が可能。キズの深さを測定可能。計測スポットが小さいので欠陥場所を特定できる。 肉厚を精度よく測定できる。	接触媒質が必要。表面に気泡や油脂分があると計測しにくい。複雑な構造のものは乱反射の影響を受ける。

非破壊検査方法	対象とする欠陥	検出原理	利点	適用限界
放射線探傷試験 (RT)	溶接線のブローホール、融合不良、溶け込み不良。	放射線を照射して、透過した放射線の強さから欠陥やキズの有無を検出する。	金属でも非金属でもキズの検出が可能。体積をもつ欠陥の検出効率が高い。	放射線に対する安全管理が必要。キズ深さ、位置の測定が困難。
アコースティック・エミッション (AE)	配管の腐食進行度、漏洩有無。タンク底板の腐食、開放検査の必要性評価。 設備の亀裂、摩耗、変圧器の部分放電など。	材料が変形や亀裂発生したときに生ずる弾性波（アコースティックエミッション）から、腐食、亀裂、漏洩などを検出する。	設備の稼働中に測定が可能。材料の変形や微視破壊の進展をリアルタイムで観測できる。高感度である。	電磁ノイズに弱い。 高温環境下、凹凸面や狭い空間では計測が難しい 計測システムや検査費用が高価である
パルス渦流探傷試験 (PEC)	金属板厚の測定。 配管の腐食（エロージョン、コロージョン）検出。	コイルに直流電流をパルス状（短形波）に流すことで、金属表面に発生した渦電流より発生した磁界の変化を誘導電流として検出する。	高温でも測定できる。 モバイル方式なのでセンサ費用、設置費用が不要。 非接触で測定が可能。 保温材の解体が不要。	局部的腐食の場合探傷が困難。
磁気飽和渦流探傷 (SLOFEC)	広範囲にわたって腐食部をスクリーニング。	測定対象物を予め直流磁化することにより渦電流試験で精度よく板厚を測定する。	広範囲にわたって高速で検査できる。 局部的腐食のスクリーニングに有効。	板厚を正確に測定することはできない。 全面腐食は検出が困難。溶接部近傍の腐食は検出が難しい。

出典：溶接学会誌その他文献から MCR 作成

3. 1. 2. 配管、タンクに適用可能な技術

(1) 配管

ア 測定原理

分類	技術の名称	測定原理	適用例
保温材下の腐食検査	光ファイバ AE 法	光ファイバのドップラー効果を利用した光ファイバ・アコースティックエミッションセンサを使用して保温材下の腐食 (CUI) を検査する。	住友化学(実用化技術開発 2010 年)
	ガイド波超音波法	長距離伝播性の超音波 (ガイド波) により経路上に存在する断面形状の変化が反射源となって信号を得る。 測定位置から数十メートルの検査が可能	
	リアルタイム放射線法	放射線を配管に照射し、内部の状態を背面に置いたフラットパネルで撮影し、画像の濃淡で内部のキズや形状を検査する。	
	パルス過流法	PEC (パルス渦流探傷) では、コイルに直流電流をパルス状 (短形波) に流すことで、配管表面に渦電流を発生させ「発信モード」、渦電流を発生させた後、次の電流を通すまでの間は「受信モード」になる。受信モードでは、対象金属表面に発生した渦電流より逆向きの磁界が発生し、プローブ内の受信コイルを貫く磁束が変化することで発生する誘導電流を信号として検出する。	
保温材の水分検査	中性子水分計	中性子線源から放射される速中性子が水分 (水素原子) に当たった際に生じる熱中性子を検知することによって水分を測定する。	保温材の水分含有量から腐食の危険性の高い場所を確定
配管の腐食検査(超音波探傷検査)	ラックスルー	配管の上部から超音波を周方向に送信し、一周した波を受信し、そのエコー高さの変化から減肉量(残肉)を推定する。	配管架台 (パイプラック) 上の配管の腐食部位を検出
	スパイラルスルー	超音波を斜め周方向に送信し、一周した波を受信し、そのエコー高さの変化から減肉量(残肉)を推定する。	防油堤を貫通している配管の腐食を検査
	ロングレンジ UT 法	配管にセンサを設置し、その両側に伝播効率の高い超音波を送信することで、配管の内面、外面を含む広い範囲の減肉を調査する。	センサから両端数十メートルまで一度に探傷可能
	ロングレンジガイド波による配管診断	測定原理は同上。長距離超音波を使用するので信号の減衰が小さい。	同上

分類	技術の名称	測定原理	適用例
配管の腐食スクリーニング	渦流探傷	交流電流を連続的に流して磁界を発生させたプローブを測定対象の配管に近づけて渦電流を発生させる。金属表面に傷があれば渦電流が変化する。	
配管の肉厚検査	インテリジェントピグによる肉厚測定	検査機を配管内部に入れて配管内外面の欠陥を検知する。超音波を利用する UT と磁化装置で磁束を発生させて、磁束センサで検知、計測する MFL の方法がある。	配管サイズは 6～56 インチが適用可能
連続板厚測定	磁気飽和渦流探傷 (SLOFEC)	測定対象物を予め直流磁化することにより渦電流試験で精度よく板厚を測定する。	タンク底板・側板、配管板厚測定
応力腐食割れの検査	レーザー超音波映像化探傷法	遠隔から非接触でレーザー超音波を送受信し、超音波が微小な亀裂と相互作用しやすい高周波数成分を含む特性を利用して、微小亀裂の検出と、その深さを高精度で測定する。	原子炉配管溶接部の亀裂検査、炉内構造物の検査。東芝が技術開発

イ 配管の腐食検査技術の特徴

検査技術	適用目的	長所	短所	備考
超音波探傷 (UT) Ultrasonic Testing	配管の肉厚を精度よく測定する	<ul style="list-style-type: none"> ・肉厚の絶対値が出せる ・測定精度が高い ・緩やかな減肉の検出性が良い ・探傷可能範囲が広い (センサが小さい) ・傷の有無のほか形状も把握できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・孔食の検出が困難な場合がある ・検査に時間がかかる ・コーティングの影響を受ける ・前処理が必要 ・接触媒質が必要 ・複雑な構造物は乱反射の影響を受ける 	超音波垂直探傷
SLOFEC (磁気飽和渦流探傷) Saturation Low Frequency Eddy Current	腐食箇所のスクリーニング	<ul style="list-style-type: none"> ・孔食の検出に優れる ・腐食箇所の高速スクリーニング ・コーティング上から腐食を検出可能 ・前処理不要 ・非接触で探傷が可能 (接触媒質不要) 	<ul style="list-style-type: none"> ・肉厚の絶対値が出せない ・UT の併用が望ましい ・緩やかな減肉の検出が困難 ・探傷可能範囲が狭い (スキャナ大) 	配管、タンク側板、タンク底板
ロングレンジ UT Long Range Ultrasonic Testing	配管の腐食箇所を高速でスクリーニングする	<ul style="list-style-type: none"> ・センサの両端 20m程度の範囲をスクリーニング可能 ・コーティング・塗装の剥離、接触媒質が不要 ・配管の内外面の異常部分検出が1回の探傷で可能 ・断面欠損率を推定可能 		ガイド波超音波検査法

検査技術	適用目的	長所	短所	備考
リアルタイム放射線透過 (RT) (フラットパネル) Radiographic Testing	保温配管の外面腐食 検出 配管内面腐食状況調 査	<ul style="list-style-type: none"> ・照射時間が短い ・リアルタイム処理が可能 ・連続撮影が可能 ・電源が不要 ・精度が高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・線源は X 線のみ ・装置が高価 ・X 線の取扱いが必要 	放射線検査法 CUI 診断可
リアルタイム放射線透過 (RT) (フィルム) Radiographic Testing	保温配管の外面腐食 検出 配管内面腐食状況調 査	<ul style="list-style-type: none"> ・多種の線源が利用できる ・適用範囲が広い ・精度が高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・照射時間がながい ・処理に時間がかかる ・装置が高価 ・放射線の取扱いが必要 	放射線検査法 CUI 診断可
パルス渦流探傷 (PEC) Pulsed Eddy Current	保温配管の腐食のス クリーニング 配管の腐食、減肉のス クリーニング	<ul style="list-style-type: none"> ・高温でも測定できる ・モバイル方式なのでセンサ費用、 設置費用が不要 ・保温材の解体が不要 		タンク側板、 タンク底板に も適用
渦流探傷検査 (ET) Eddy Current Testing	配管表面、配管内面の 傷検出	<ul style="list-style-type: none"> ・導電体の検査に適用可能 (鋼管、 銅管、アルミ管、非磁性体) ・表面および表面近傍の検査が可能 ・非接触で検査が可能 ・前処理、後処理が不要 ・高温配管、細管内部も検査可能 ・出力が電気信号で自動化に適す ・塗膜上からの検査が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な形状・部位の計測には不 向き ・傷の形状評価は難しい ・測定面の表面粗さや付着物の影 響を受けやすい ・非導電体は検査できない 	熱交換器のチ ューブ検査に も適用
浸透探傷検査 (PT) Liquid Penetrant Testing	表面に開口している 欠陥を目視確認	<ul style="list-style-type: none"> ・多孔質でなければ金属でも非金属 でも適用できる ・内部が空洞で表面が開口している 欠陥を検出できる ・1 回の操作であらゆる方向の欠陥 を検出できる ・簡単・確実・安価である 	<ul style="list-style-type: none"> ・指示模様から欠陥の幅、深さを 求めることはできない ・開口した欠陥の検出に限られる ・前処理、浸透処理が必要 ・後処理が必要 	カラーチェッ ク

検査技術	適用目的	長所	短所	備考
磁粉探傷検査 (MT) Magnetic Particle Testing		<ul style="list-style-type: none"> ・表面および表面近傍の検査が可能 ・簡単、確実、安価である 	<ul style="list-style-type: none"> ・強磁性体のみ検査可能 ・前処理、磁化が必要 ・後処理が必要 	
アコースティック・エミッション検査 (AET) Acoustic Emission Testing	地上配管 地下埋設配管 タンク などの腐食診断	<ul style="list-style-type: none"> ・材料の変形や微視破壊の進展をリアルタイムで観測できる ・広範囲のモニタリングが可能 ・動的な観測が可能 ・複数の AE センサを使用することで欠陥の位置標定ができる ・稼働中の設備を診断できる ・高感度である 	<ul style="list-style-type: none"> ・電磁ノイズに弱い ・一般にケーブルが必要である ・高温環境下、凹凸面や狭い空間では計測が難しい ・計測システムや検査費用が高価である 	設備の亀裂、摩擦摩耗、漏えい、腐食、放電などで発生する弾性波 AE を計測
中性子水分計 (ロボットに搭載)	保温材下の水分測定 外面腐食の可能性有 無判定	・保温材を除去せずに、保温材の水分を検出し、外面腐食個所をスクリーニングできる。	・腐食の有無、肉厚は、該当箇所の保温材を除去して、別の方法で検査が必要	CUI 診断用中性子水分計
超小型 X 線撮像装置 (ロボットに搭載)	配管肉厚測定			水平直管部 CUI 診断可
外観検査 (VT) Visual Testing				

(2) タンク

ア タンク使用中における検査技術

検査技術	適用目的	長所	短所	備考
アコースティック・エミッション検査 (AET)	タンク底板の腐食診断 (側板方式/アニューラ方式)	<ul style="list-style-type: none"> ・材料の変形や微視破壊の進展をリアルタイムで観測できる ・広範囲のモニタリングが可能 ・動的な観測が可能 ・複数の AE センサを使用することで欠陥の位置標定ができる ・稼働中の設備を診断できる ・高感度である 	<ul style="list-style-type: none"> ・電磁ノイズに弱い ・一般にケーブルが必要である ・高温環境下、凹凸面や狭い空間では計測が難しい ・計測システムや検査費用が高価である 	設備の亀裂、摩擦摩耗、漏えい、腐食、放電などで発生する弾性波 (AE) を計測
電場指紋照合法 (FSM) Field Signature Method	タンク底板の亀裂、腐食のスクリーニング検査 (粗探傷)	<ul style="list-style-type: none"> ・腐食減肉量 (残存肉厚)、亀裂長さを特定できる 		
超音波探傷 (UT)	タンク側板の肉厚を精度よく測定する	<ul style="list-style-type: none"> ・肉厚の絶対値が出せる ・測定精度が高い ・緩やかな減肉の検出性が良い ・探傷可能範囲が広い (センサが小さい) ・傷の有無のほか形状も把握できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・孔食の検出が困難な場合がある ・検査に時間がかかる ・コーティングの影響を受ける ・前処理が必要 ・接触媒質が必要 ・複雑な構造物は乱反射の影響を受ける 	超音波垂直探傷

検査技術	適用目的	長所	短所	備考
磁粉探傷検査 (MT)	タンクの天板、側板外面の欠陥有無検査	<ul style="list-style-type: none"> ・表面および表面近傍の検査が可能 ・簡単、確実、安価である 	<ul style="list-style-type: none"> ・強磁性体のみ検査可能 ・前処理、磁化が必要 ・後処理が必要 	磁粉探傷検査 (MT)
浸透探傷検査 (PT)	タンクの天板、側板の外面欠陥有無検査 (表面に開口している欠陥を目視確認)	<ul style="list-style-type: none"> ・簡単・確実・安価である 	<ul style="list-style-type: none"> ・指示模様から欠陥の幅、深さを求めることはできない ・開口した欠陥の検出に限られる ・前処理、浸透処理が必要 ・後処理が必要 	カラーチェック

イ タンク開放に係る検査技術

検査技術	適用目的	長所	短所	備考
超音波探傷 (UT) * 1	タンク底板、側板の肉厚を精度よく測定する (開放検査)	<ul style="list-style-type: none"> ・肉厚の絶対値が出せる ・測定精度が高い ・緩やかな減肉の検出性が良い ・探傷可能範囲が広い (センサが小さい) ・傷の有無のほか形状も把握できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・孔食の検出が困難な場合がある ・検査に時間がかかる ・コーティングの影響を受ける ・前処理が必要 ・接触媒質が必要 ・複雑な構造物は乱反射の影響を受ける 	超音波垂直探傷
電場指紋照合法 (FSM)	タンク底板の板厚分布の詳細測定			
磁粉探傷検査 (MT)	タンクの底板、側板内面の欠陥有無検査	<ul style="list-style-type: none"> ・表面および表面近傍の検査が可能 ・簡単、確実、安価である 	<ul style="list-style-type: none"> ・強磁性体のみ検査可能 ・前処理、磁化が必要 ・後処理が必要 	磁粉探傷検査 (MT)
浸透探傷検査 (PT)	タンクの底板、側板の内面欠陥有無検査 (表面に開口している欠陥を目視確認)	<ul style="list-style-type: none"> ・簡単・確実・安価である 	<ul style="list-style-type: none"> ・指示模様から欠陥の幅、深さを求めることはできない ・開口した欠陥の検出に限られる ・前処理、浸透処理が必要 ・後処理が必要 	カラーチェック
外観検査	タンク底板、タンク側板			

3. 2. 長寿命化のための補修・補強技術調査

腐食による危険物製造設備の劣化を補修・補強して長寿命化する技術について調査を実施している。腐食による設備劣化のメカニズムには様々な要因があり、出現する劣化の形態も多種多様である。個々のケースに適切な補修・補強技術を考える必要がある。

3. 2. 1. 腐食のメカニズムについて

危険物製造設備を構成する金属の腐食には水分の存在下で起こると湿食と水分が関係しない高温環境で起こる乾があるが、危険物を扱う配管及びタンクでの腐食は「強酸から弱酸性下にある水分」、「腐食性物質を含む水」及び「酸素を含む水」と接触することによって起こる湿食である。

また、湿食環境下にある異材溶接部等などでは「異種金属の接触腐食」が、配管架台と配管の接触部では「酸素濃淡電池（隙間腐食または通気差腐食）」による腐食が起こる。

このように腐食による危険物製造設備の劣化は多種多様である。因って、腐食による製造設備の劣化抑止にはこれらの要因を排除する技術を個々の事例に即して施す必要がある。危険物製造設備に起こる具体的な腐食劣化としては下記4形態に分類される。

- ①外面腐食…保温材下また雨水、地下水などに常時または高い頻度で間欠的に触れ、湿潤状態を形成している埋設配管等での腐食。
- ②内面腐食…配管形状によって生じる流体の「衝突」、「渦流」、「高速化」による配管内壁へのアタックによる局部的摩耗と化学的腐食。
- ③内面腐食…機器および配管内に水、腐食性物質及び堆積物の滞留に因って生じる化学的腐食。
- ④内面腐食…材質と塩素イオンなど腐食性物質及び引っ張り応力の存在下で起こる応力腐食割れへの対策が不十分なことによる割れ。

これらの腐食劣化は、個々の腐食メカニズムを抑制する「防食技術」、腐食の状態を正しく評価する「検査技術」及び検査結果としての肉厚などを管理する「管理技術」の組み合わせ技術を機能させることで防止できる。

3. 2. 2. 防食技術について

防食対策には、危険物製造設備等が晒される環境改善と金属材料の耐食性を高めるアプローチがある。図1は金属材料の耐食性を高める防食技術について概説したものである。

- ①「被覆防食」、「化成処理」などのように金属が晒される環境に対して耐食性がある材料をその表面に施し腐食環境と金属を遮断する。
- ②金属材料そのものをその環境に対してより耐食性の高い金属に変更する。
- ③金属の腐食が「電気化学反応」に因って起こる原理を逆利用して行う電気防食。

危険物配管やタンクの補修、補強にあつては被覆防食あるいは鋼材自体の耐食性向上策に因ることが多く、電気防食は大規模な地下埋設管等新設設備に採用されることが多い。

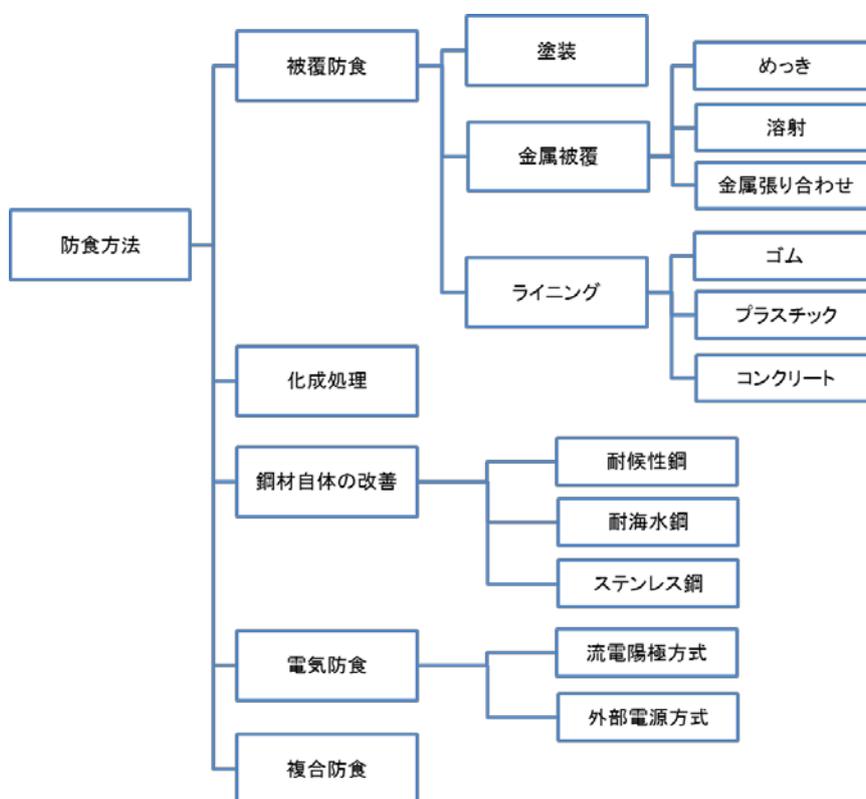


図1 防食方法の分類（参考）

3. 2. 3. 新しい防食技術について

☆一1 新しい防食材料・補修技術の例

- ・亜鉛をテープ状、シール状、ペースト状として、金属を被覆したり、金属間に挟んだり、敷いたりする方法。(腐食電位の低い金属を利用して基材となる金属の腐食を防ぐ方法)
- ・金属管の代替として耐食性、施工性、耐震性を持つ第3世代高密度ポリエチレンを用いた管材。(プラスチック内装鋼管など)
- ・屋外貯蔵タンク底部からの雨水浸入を被覆することで防止するシート、配管防食用テープ。(新しい被覆素材)
- ・操業状態のまま減肉配管の強度を復元することができる炭素繊維複合材補修技術。低圧力でピンホールが貫通しても配管と接着しているコンポジット層が最大20年間漏れを防ぐとされている。(炭素繊維を利用した補修材料)

☆一2 電気防食の例

- ・電気防食の中の流電陽極方式の一方法としてマグネシウム合金陽極を用いる方法が開発されている。

比較的新しい技術について例示をしたが、これらの適用性などについて引き続き調査をする予定。

3. 2. 4. 配管やタンクの補修・補強技術について

ここでは、事故事例から発生件数の多い配管とタンクについての防食技術について例示した。個々の技術の適用性については引き続き調査をする。

表 1 配管の防食技術

対象場所	腐食原因	防食技術
配管架台と配管の接触部	・配管と架台接触部の配管熱伸縮に伴う塗膜損傷及び結果として起こる酸素濃淡電池の形成による腐食。	手法として何種類かあるが、下記に例示する。 ① 高純度亜鉛を配管と架台の接触部に挿入することで摩耗と腐食を防止する。 ・架台との接触部にシート状の亜鉛を敷き、テープ状の亜鉛で配管の外周を巻く方法 ・高純度亜鉛とSUS材で配管サイズに合わせた配管受けスリーブを配管と架台の間に挿入する方法。 ② 腐食部の浮き錆を軽くケレンした上で「ペトロラクタムペースト（非伝導体）」を塗布しその上に防食テープを巻き、さらに架台との接触摩擦回避としてSUS薄板巻+SUS両端をFRP処理する。
埋設配管	土中において電池作用で腐食。特定環境下で起こる迷走電流によって腐食。	電気防食（流電陽極方式、外部電源方式、選択排流方式）
埋設配管	アスファルト塗覆管やコーラルターエナメル塗覆管は地盤との接触や塗覆材の劣化で亀裂や剥離を起こし、配管が腐食する。	① 防食テープ（ペトロラクタム含浸）+樹脂製テープ巻で補修し、腐食を防止する。 ② 配管の外面にポリエチレンで被覆した配管で、腐食にも擦れにも耐久性の高い配管に更新する。
配管全体	下地処理が不完全、下塗り塗料、上塗り塗料の選定不適切、塗装施工不良による塗料剥離で腐食	再塗装（設置環境に応じた塗料の選定、塗装方法、塗料厚さの適正化）

表 2 タンクの防食技術

対象場所	腐食原因	防食技術
タンク底板 (タンク内面)	腐食性内容物または水分、塩分、酸、スラッジ等が底部に滞留して腐食	・底板、塗装またはライニング施工またはライニング材のグレードアップ（ビニルエステルフレックライニング等）
タンク底板 (底板裏面)	底板裏面に水分の侵入滞留と電池作用によって腐食	・タンク底板の裏面に亜鉛を溶射し皮膜を形成 ・タンクアニュラー部の一部に鉄より低電位金属である亜鉛、アルミニウムを被覆した鋼板を使用
	底板裏面に雨水侵入、雨水中の塩素イオン濃縮による SUS304 底板溶接部に割れ発生。	・床板雨水侵入用防水シール施工。
タンク側板 (内面)	腐食性内容物または水分等が蒸発してタンク気相部で凝縮してタンク側板上部側板内面を腐食	・塗料の耐食性（内容物に対応）グレードアップ
タンク側板 (外面)	雨水、海水飛沫等が保温材下に侵入し、滞留した部位を腐食	①雨水侵入防止対策、 ・雨水侵入防止テープで隙間をシール ・シリコンシーラントで隙間をシール ②雨水滞留防止対策 ・保温止めリングを側板に水抜き隙間を設ける構造に変更。 ・タンク最下部保温撤去、水切り実施 ③外面保温下塗装施工。 ・塗料の耐食性（雨水、塩分）グレードアップ。
	保温下に侵入した雨水中の塩素イオン濃縮による側板溶接部等の応力腐食割れ	同上
タンク側板 (外面) <雨水侵入防止>	雨水侵入による側板腐食	・雨水侵入防止テープで隙間をシール
		・シリコンシーラントで隙間をシール

4. 別表

NO	タイトル	筆者・出典等
1	非破壊検査による表面欠陥の検出と評価	横野泰和
2	配管検査の現状と保守検査への適用例	四辻美年
3	配管検査技術の紹介	依田誠子ほか
4	プラント設備における放射線による検査の現状と今後	永田博之ほか
5	ガイド波を用いた配管腐食検査技術	卯西弘幸ほか
6	配管肉厚検査装置	濱田智広ほか
7	溶接・接合部の非破壊試験法と検査	横野泰和
8	保温材下配管外面腐食に関する維持管理ガイドライン	エンジニアリング協会
9	石油精製装置における腐食と課題	宮川 淳
10	高度設備管理に関する最新技術調査	山口明久
11	配管検査ロボットの開発と高性能 X 線検査技術の現場適用	三浦 到ほか
12	燃料貯蔵タンク底板外面の腐食深さ測定と超音波検査結果の検討	荒岡 礼ほか
13	屋外貯蔵タンクの底部板厚測定の様況について	危険物保安技術協会 Safety & Tomorrow No.136 (2011.2.)
14	AE 法による地下貯蔵タンクの腐食損傷評価	前田 穰ほか
15	屋外石油タンクの底部腐食損傷の AE グローバル診断法に関するガイドライン	石油エネルギー技術センター H24.3.16 制定
16	屋外貯蔵タンク側板の老朽化の現状と 効果的な点検方法のあり方に関する検討報告書	平成 23 年 3 月 危険物保安技術協会
17	屋外貯蔵タンクの側板の点検に係るガイドラインの作成に関する検討報告書	平成 25 年 3 月 危険物保安技術協会
18	屋外貯蔵タンクの側板に係る老朽化の実態について	危険物保安技術協会 タンク審査部
19	屋外タンク貯蔵所の点検基準	危険物保安協会 Safety & Tomorrow No.143(2012.5)
20	危険物流出等の事故原因に関する検証	「消防技術安全所報」 47 号 (平成 22 年)
21	石油タンク底板裏面の腐食管理と寿命予測	「材料と環境」 53,520-523(2004)

NO	タイトル	筆者・出典等
22	保温配管からの危険物流出事故の低減に向けて	危険物保安協会 Safety & Tomorrow No.138(2011.7)
23	高圧ガス配管外面風食検査に係る技術資料 ー標準的な検査手順・手法に関する提案ー	神奈川県安全防災局 安全防災部 工業保安 課 H19.3
24	石油精製業及び石油化学工業における保温材下外面腐食 (CUI) に関する維持管理ガイドライン	平成24年2月 エンジ ニアリング協会
25	配管及び装置の検査技術	配管技術研究会 H26.11.28
26	小型中性子源とイメージング技術	平成29年度非破壊検 査・可視化・分析技術研 究会 H29.11.8
27	保守検査ミニシンポジウム	日本非破壊検査協会 H24.6.29
28	これからの設備管理	石油学会第47回装置 研究討論会 H28.12.8-9
29	被覆配管等の運転中検査技術に関する調査研究	エンジニアリング振興 協会 H20.3
30	配管検査技術と事例紹介	日本工業出版セミナー H28.5.13
31	設備の高経年化に対応する設備管理・設備診断 (2010年度 鹿島コンビナート講習会)	化学工学会関東支部 H22.11.30
32	屋外貯蔵タンク維持規格	石油学会 H26.3.13 追補

以上