

モニタリング技術・診断技術に対する調査について

事業所に対する調査結果及び関係業界団体に対する調査結果を踏まえて、効果的なモニタリング技術・診断技術の導入を推進するための課題等を整理する。

1 事業所に対する調査結果（モニタリング技術・診断技術に対する調査）

12 事業所に対して実施したヒアリング・アンケート調査の結果を示す。

(1) 導入している、または、導入を検討しているモニタリング技術・診断技術

各事業所で導入している、または、導入を検討しているモニタリング技術・診断技術を表 1（詳細は参考資料 2 - 4 別表 1 参照）に示す。

9 事業所から 55 種類（重複あり）のモニタリング技術・診断技術が挙げられた。

表 1 事業所において導入している、または、導入を検討している
モニタリング技術・診断技術

事業所	モニタリング技術・診断技術名	適用箇所
A 石油製品 製造業	ガイド波(超音波探傷)	ラックの保温配管
	パルス超音波(リアルタイム腐食モニタリング)	触媒移送配管
	赤外線サーモグラフィ	機器内部のライニング(断熱材) 加熱炉バーナー
	X線透視画像検査(携帯型デジタルX線検査システム)	保温配管(小口径ノズルなど)
	振動計	コンプレッサー
	ボールカメラ	ラックの配管と架台梁接触部
	機器の異常予兆を発見するための渦流探傷技術【導入検討】	保温配管(形状が不連続)
	ドローン【導入検討】	煙突、フレアスタック、塔頂の保温配管、ウィンドガーダー、地震直後の浮き屋根の被災状況
B 石油製品 製造業	磁気飽和低周波渦流探傷(SLOFEC)	タンクの屋根板、底板、ボイラー水壁管
	パルス渦流探傷	塔頂配管、球形タンク耐火被覆
	フェーズドアレイ超音波探傷	配管、機器全般
	赤外線サーモグラフィ	コールドウォール機器、加熱炉チューブ
	インテリジェントピグ	加熱炉チューブ
	3Dレーザースキャン	配管、塔槽
	炭化水素可視モニター	事故時の漏えい箇所の特特定、装置のシャットダウン前とスタートアップ後の漏れ確認
	スマートバルブ・HART通信	バルブ
	ドローン【導入検討】	アクセス困難な箇所
	オンライン肉厚測定(超音波) 【導入検討】	配管

C 化学工業	赤外線サーモグラフィー	変圧器、制御盤、保温配管
	振動計	大型ボイラー
	ボールカメラ	ラック配管
	配管と架台の接触部の腐食診断(ラックスルー)	ラックの配管と架台梁接触部
	スマートバルブ(調節弁診断システム)	バルブ
	AE(アコースティック・エミッション)	回転機器の軸受部
D 化学工業	ラテラル波(ラックスキャン)	大口径管のサポート接触部、防液堤貫通部
	ガイド波(ロングレンジガイド波)	保温配管
	パルス過流探傷(PEC)	塔内部
	超音波連続板厚測定(CBMS)	塔内部
	3次元測定器(ハンディスキャン)	回転機器
	赤外線サーモグラフィー	保温配管、分電盤
	リアルタイムRT(オープンビジョン)【導入検討】	保温配管
	インテリジェントピグ【導入検討】	配管、加熱炉管
	ドローン【導入検討】	倉庫の屋根板、煙突、ラック上部の保温板金
E 化学工業	ガイド波	保温配管
	CUI予測モデル	保温配管
	配管における連続肉厚測定装置(L-MAP)	配管
	超音波フェイズドアレイ法による劣化評価	溶接部
	データ解析による劣化評価	加熱炉輻射管
	ボールカメラ	ラックの配管と架台梁接触部
	炭素鋼製熱交換チューブの肉厚測定(FTECT)	炭素鋼製熱交換チューブ
	超音波を利用した配管架台梁接触部の腐食検査(MS-UT)	ラックの配管と架台梁接触部
	ロボットを用いた屋外タンクの目視点検	屋外タンク
	3Dレーザー計測による劣化評価	屋外タンク
	振動計	回転機器
	デジタルRT【導入検討】	保温配管
J 化学工業	中性子水分計【導入検討】	保温配管
	赤外線サーモグラフィー【導入検討】	保温配管
F 電気業	ドローン	煙道ダクト、ケーブルダクト
	ウェアラブルカメラ	施設全般
	リークデクタ	配管
	赤外線サーモグラフィー	保温配管(蒸気)

	監視カメラ	施設全般
G 倉庫業	磁気飽和低周波渦流探傷(SLOFEC)	屋外タンク底板、移送配管下部
	保温材付き配管(大口径)の外面腐食点検【導入検討】	保温材付き配管(大口径)
H 鉄鋼業	赤外線サーモグラフィ	ベルトコンベアのモーター

備考 グレー部分は、導入を検討しているモニタリング技術・診断技術を示す。

2 関係業界団体に対する調査結果

危険物施設の維持管理に係る業界団体である一般社団法人日本非破壊検査工業会、一般財団法人エンジニアリング協会、日本メンテナンス工業会に対して調査を行った。

(1) 日本非破壊検査工業会

会員企業に対して実施したアンケート調査の結果を表2（詳細は参考資料2-4別表2参照）に示す。

10社から29種類のモニタリング技術・診断技術が挙げられた。

表2 日本非破壊検査工業会の会員企業で取り扱っているモニタリング技術・診断技術

社名	モニタリング技術・診断技術名	対象施設	対象部位
a 社	TOFD法による探傷技術	円筒タンク、球形タンク、配管 (小口径～特大口径管)、橋梁	溶接継手
	V透過法による配管架台接触部減肉調査(Rack UT)	配管(中口径)	架台接触部、サボー治具、補強板等の取付け部
	ガイド波配管検査システム	保温材付配管(小口径管～特大口径管)	直管部
	コンピューターラジオグラフィ(CR)による配管腐食減肉調査方法	配管(小口径～特大口径)	配管全長(抜取り検査)
	コンピューターラジオグラフィ(CR)による溶接継手部の検査方法	溶接構造物、円筒タンク、配管 (小口径～特大口径)	溶接継手
	フェーズドアレイによる探傷技術	溶接構造物、鍛造品、鋳造品	溶接継手、応力集中部等
	マルチチャンネル連続厚さ測定システム(ワイドスキャン)	円筒タンク、球形タンク、配管 (小口径～特大口径)	溶接継手部を除く全面
	煙突筒身肉厚測定システム(M-Master)	円筒タンク、球形タンク等の鋼製構造物	溶接継手部を除く全面 (抜取り検査)
	外面腐食測定システム(P-Master)	円筒タンク、球形タンク、配管 (大口径)等の鋼構造物	溶接継手部を除く全面
	管内検査システム(エルボマスター)	配管(小口径管～中口径管)	管内面

	鋼溶接部超音波自動探傷装置 (U-Master)	円筒タンク、球形タンク、配管 (中口径管、大口径管、特大口径管)、橋梁 等の鋼製構造物	溶接継手
	高速タンク底板全面測定システム (B-Map)	円筒タンク	底板、アニュラ板
	中性子水分計による配管検査	保温材付配管	配管全長 (抜取り検査)
	内挿式超音波検査システム (インナーUT)	熱交換器の伝熱細管	直管部
	熱交換器伝熱細管 U ベンド部 対応 UT センサ (U-MAT)	熱交換器の伝熱細管	U ベンド部
	配管内面閉塞率測定システム (ブロックチェッカー)	配管 (小口径管、中口径管)	配管全長 (抜取り検査)
	複数ベント配管 IUT システム	複数のベンド部がある配管	配管全長
	埋設配管 IUT システム	埋設配管	配管全長
	連続腐食測定システム (サー キットスキャン)	円筒タンク、球形タンク、配管な どの鋼構造物	溶接継手部を除く全面 (抜取り検査)
b 社	ラインスキャナ	石油プラント、石油貯蔵施設、 石油化学プラント、化学プラント	配管 (保温有・無しの両 方)、タンク側板
c 社	コンクリート地際等での鋼板腐 食部の残存肉厚測定	コンクリート基礎、柱	地際部分からコンクリート 内部での鋼板残存肉厚
d 社	連続板厚測定 (G-RIS)	屋外貯蔵タンク全般	タンク側板
	連続板厚測定 (T-RIS-1)	屋外貯蔵タンク全般	タンク底板
	フレキアレイ	各種プラント全般	配管、塔槽、熱交等の曲 面形状部
e 社	AE 法による石油タンク底部の 腐食評価技術	地上石油タンク	底部 (底板+アニュラプ レート)
f 社	タンク底板連続板厚測定 IMZ-8000 (SLOFEC)	タンク	タンク底板、タンク側板、 配管
g 社	フェーズドアレイ超音波探傷	エネルギーセンター (ごみ処理 施設)	コンベアプーリー軸
h 社	微加圧式漏洩検査	地下貯蔵タンク (5 基)	地下タンク・地下 (埋設) 配 管一式
i 社	X 線透過撮影検査、超音波探 傷検査、磁粉探傷検査、浸透 探傷検査、真空漏えい検査、 目視検査	屋外貯蔵施設、高圧ガス施設 など	タンク本体と付属配管な ど

(2) エンジニアリング協会

ア 協会策定のガイドライン

日本における石油精製、石油化学プラントの保温材下配管外面腐食 (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に、「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）を策定している。

当該ガイドラインの中で紹介されている技術を表3に示す。

表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
「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）より

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)	・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)。	・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)	・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)	・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	・基本的に同上	・基本的に同上
	磁歪式	・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	・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	・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	・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	・狭間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	・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	・目視で検査不能な欠陥を検出可能	・基本的に同上	・基本的に同上
	圧電素子+レイリー波	・基本的に同上	・基本的に同上	・基本的に同上 ・塗装や表面凹凸の影響を受ける ・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	・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	・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	・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	・基本的に同上 ・亜鉛鉄板外面から検出能力が向上	・基本的に同上	・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	・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	・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	・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	・マッピング表示可能 ・配管全体の欠陥をスキャンできる	・スクリーニング検査で直管の欠陥分布図を得たい場合	・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	・小型軽量/電池駆動でスポット的な検査に適する	・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	・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	・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	・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	・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

イ 会員企業に対するアンケート調査結果

会員企業に対して実施したアンケート調査の結果を表4（詳細は参考資料2-4別表3参照）に示す。

3社から4種類のモニタリング技術・診断技術が挙げられた。

表4 エンジニアリング協会の会員企業で取り扱っているモニタリング技術・診断技術

会社名	モニタリング技術・診断技術名	対象施設	対象部位
j 社	オンラインピグ	ガス導管	導管の肉厚測定
	レーザーメタン mini	構内配管	配管
k 社	Dr. PLANT(予測型設備管理)	石油精製・化学工場	圧力容器・配管から電気・計装品までの評価技術
l 社	WES 2820 圧力設備の供用適性評価方法-減肉方法	(WES2820 より) 1 適用範囲 この規格は、一般に認められた設計・構造規格によって製作された圧力設備の耐圧部に適用する。減肉評価の対象は、次の a)～d)によって生じるきず又は損傷とする。 a) 腐食 b) 摩耗 c) エロージョン・コロージョン d) 検査によって発見されたきず又は損傷をグラインダなどを用いて滑らかにしたもの	

(3) 日本メンテナンス工業会

ア 工業会で取りまとめた報告書

工業会の技術研究委員会で、設備トラブル要因の早期発見やシステム化による作業効率改善、人的保有技術の共有化や継承について最新技術の調査研究を行い、「最近の保全技術情報調査報告書」(2017年3月)を取りまとめている。

当該報告書の中で、断熱材下配管の腐食のスクリーニング検査技術として紹介されている技術を表5に示す。

表5 各スクリーニング検査技術の一覧表
「最近の保全技術情報調査報告書」(2017年3月)より

表 1.1 各スクリーニング検査技術の一覧表			
スクリーニング検査技術	測定原理・対象	特徴・利点	留意点
中性子水分計	- 中性子後方散乱を利用し、断熱材中の水分量を予測する手法 - 腐食潜在箇所の推定に利用	- 簡便に実施出来る - 検査速度が速く、数mの高さまで地上から検査可能 - 運転中の検査が可能	- 水分量と腐食量に直接的な相関がなく、他の手法と組み合わせる必要がある - 約5m以上（ボールの長さ以上）は足場が必要 - 天候により結果が左右される場合がある
赤外線サーモグラフィ	- 外表面の温度を測定し、断熱材の劣化部を検出する手法 - 腐食潜在箇所の推定に利用	- 短時間に広範囲の測定が出来る - 防爆タイプの測定器もあり、常時監視も可能 - 運転中の検査が可能	- 断熱材劣化部と腐食量に直接的な相関がなく、他の手法と組み合わせる必要がある - 天候により結果が左右される場合がある
ガイド波	配管全体を伝搬するガイド波を用い、長距離を検査する手法	- 条件により、一度に数十mの検査が可能 - 運転中の検査が可能（一部断熱材の解体要） - フォーカス機能により局所的であるかどうかの評価や周方向位置の特定も可能になって来ている	- センサ取付部の断熱材解体が必要 - 構造変化部のほか、防食テープ施工部、固着スケール等により探傷出来ない場合もある - 局所的な減肉に対し過小評価の恐れがある
パルスET	金属表面にパルス状の渦電流を発生させ減衰時間変化を測定し、減肉を推定する手法	- 比較的簡便に実施可能 - 運転中の検査が可能 - 塔槽スカート耐火被覆下の腐食減肉推定に利用される事が多い - 運転中の検査が可能	- 断熱材が厚くなるとセンサ径を大きくする必要があり、精度が落ちる - 外装板が亜鉛鉄板の場合は、小さな減肉を捉える事が難しく、配管CUIへの適用が困難 - 耐火被覆内の鉄筋、金網などの影響も受ける - 相対評価のため全面均一減肉の検出は困難 - 局所的な減肉に対し過小評価の恐れがある
FSM-IT	直流パルス電流を印加して電位差を測定し、断面積減少による抵抗値変化を捉え、腐食量を推定する手法	- 防油堤や埋設管などでも利用される場合が多い - 運転中の検査が可能（電流による危険性はない） - 割れの評価、モニタリングも可能	- センサ取付部の断熱材解体が必要 - 局所的な減肉に対し過小評価の恐れがある
放射線	X線やガンマ線を利用して検査する手法 <u>ハンディタイプ</u> - 小型可搬式の線源を用いて画像取得、もしくは断面プロフィールを取得し、肉厚を計測する手法 <u>自走式センサータイプ</u> - 線源およびセンサを自走メカに組み込み、配管上を走行して連続的に撮影、濃度差を利用して残肉厚を推定する手法	定量評価が可能で、詳細検査に近い結果も得られるものもある <u>ハンディタイプ</u> - 小型軽量で定量評価が可能 - 運転中の検査が可能 <u>自走式センサータイプ</u> - マッピング表示可能 - 運転中の検査が可能 - 水分や錆こぶがあっても評価出来つつある	放射線の届出や管理区域の設定が必要 <u>ハンディタイプ</u> - 小口径のみ適用可能 - 方向を変えて複数回測定する必要がある - 一度に測定出来る範囲が限定的 <u>自走式センサータイプ</u> - 現状、直管部のみ適用可 - センサ幅に限られるため、周方向のデータを得るためには複数回測定する必要がある - 検査速度の向上が望まれる

イ 会員企業に対するアンケート調査結果

会員企業に対して実施したアンケート調査の結果を表6（詳細は参考資料2-4別表4参照）に示す。

4社から4種類のモニタリング技術・診断技術が挙げられた。

表 6 日本メンテナンス工業会の会員企業で取り扱っているモニタリング技術・診断技術

会社名	モニタリング技術・診断技術名	対象施設	対象部位
m 社	ドローンをツールとした点検	タンク、高所設備	屋根板、側板、高所配管、煙突、フレアースタック
n 社	ESCC 検出を目的とした渦流アレイ(ECA) 検査	石油精製設備、化学設備	配管(オーステナイト系ステンレス鋼)
o 社	U スルーUT 検査システム	蒸気ボイラ、他熱交換器	ボイラチューブ
p 社	3D レーザースキャン技術を用いた腐食の可視化	機器、タンク、配管	機器内外面・タンク内外面・配管外面

3 今後の課題

48 号通知の定期点検記録表に記載されている点検方法は、ほぼ目視となっている。

現状の定期点検では、点検者が、視覚、聴覚、触覚などの五感とこれまでの現場経験に基づき実施しているところであるが、五感や経験に頼った点検は人に依存する部分が強く、個人差が大きい。

設備等の長期使用に伴う事故リスクの高まりや、ベテランの減少などの背景から、設備等の状態を定量的に把握し、適切な処置へつなげるためのモニタリング技術・診断技術が求められている。

調査結果のとおり、各事業所においては、人による目視点検を補完する形で、様々なモニタリング技術・診断技術の導入を図っているところであり、今後は、危険物施設で発生している事故原因に対して効果的なモニタリング技術・診断技術を整理し、導入を推進していくことで危険物施設での事故数減少を目指す。