§報文　平成25年10月　第47回日本芳香族工業会大会（岡山大会）における発表

設備診断における腐食・減肉のリスクマネジメント PEC（パルス渦流探傷）

横野　智明，小田　和則

Risk management of corrosion or metal loss defect of equipment
PEC（Pulsed Eddy Current）

Tomoaki Yokono and Kazunori Oda

㈲ティティエス
（〒675-8511　兵庫県加古川市野口町長砂881）

SYNOPSIS

Many of Japanese petroleum refineries and petrochemical plants have been operated for forty to fifty years, and now they are facing many troubles or problems, such as leakage or damage of equipment, due to corrosion or metal loss defect. Especially, external corrosion is one of the difficult defects to detect as it occurs in wide area, sometimes in invisible place.

Here we report about the PEC (Pulsed Eddy current) technology, which can measure the wall thickness of metal under insulation and fireproofing, and the application example in Japan.

1．はじめに

日本の石油精製・石油化学プラントの多くは，建設から40年から50年が経過し，腐食・減肉に起因する漏れや設備の破損・損壊等のトラブルが顕在化してきている。特に，外面腐食はその発生箇所が広大かつ様々なエリアにわたり，また保温や耐火材・保護材下，構造物の隙間など直接確認・検査できない箇所が多く，保全員の頭を悩ませている。

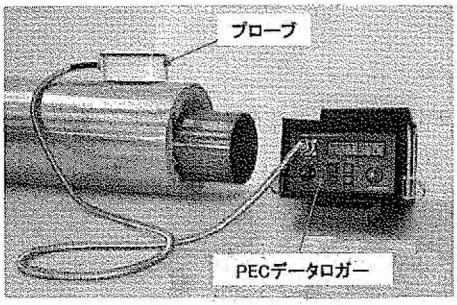
本稿では，保温・耐火材を有した設備に対し，保温や耐火材を剥離することなく設備の健全性を評価（スクリーニング）できる，PEC（パルス渦流探傷技術）について，その技術と実際のプラントにおける適用事例を紹介する。

2．PEC（Pulsed Eddy Current：パルス渦流探傷）検査技術

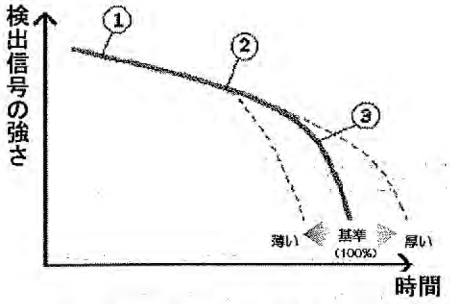
PEC（パルス渦流探傷技術）は，保温・耐火材下の金属板厚を，保温・耐火材等を剥離することなく検査することを目的として，オランダのShell Global Solutions社により開発された。

システムは，プローブとPEC本体・PCから成り立っており（**図－1**），リモートモード（PCを常時接続し，データを確認しながら計測）とスタンドアローンモード（PCを接続せずデータロガーとプローブのみで計測）の2つから，状況に応じて測定方法を選択できる。測定原理は，**図－2**にあるように，まず送信コイルにパルス状の電流を流すことで測定対象金属表面に渦電流を発生させ，その後，受信モードに切り替わった際に，渦電流は金属内を減衰しながら浸透し，金属の裏面に到着した際に急激に減衰する（**図－3**）。その急減衰し始めるまでの時間（渦電流が裏面に到着するまでの時間。**図－3**の③）から板厚を算出する。算出される板厚は絶対値ではなく，基準点に対する相対板厚となる。

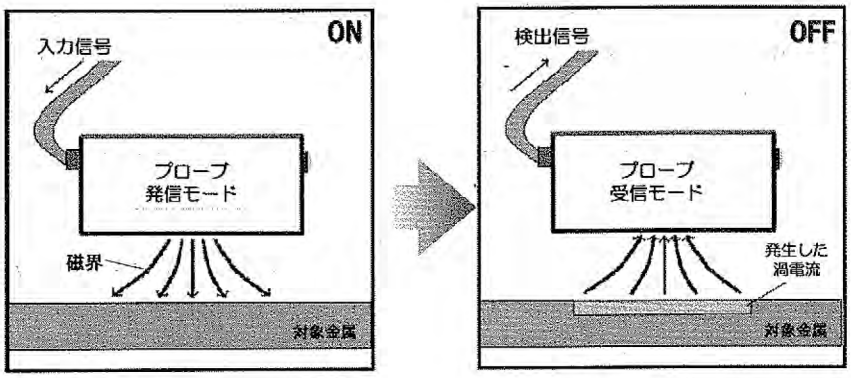
磁界は，非磁性体には邪魔されることなく透過できるので，プローブと金属の間に保温・耐火材等が存在しても，その下にある金属の板厚が計測できる。



図－1　PECシステム



図－3　PECの信号と板厚算出



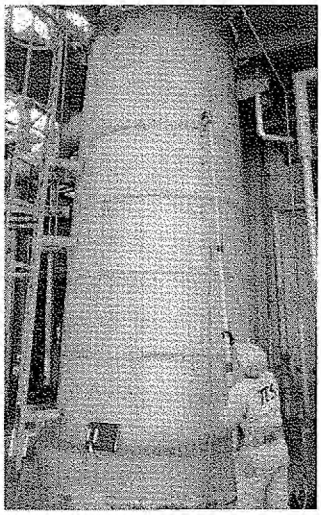
ON：発信モード
プローブから磁界を発生し、
測定対象の金属に渦電流を作る。

OFF：受信モード
発生した渦電流から、
プローブが受ける磁界の強さ
を計測する。

図－2　PECの測定原理

3．PECの特徴と活用上の注意点

PECは，上述のように金属とプローブの間に非磁性体が介在しても問題なく検査できるため，保温や耐火材，コーティング・ライニング，保護カバーあるいは貝殻などの海洋生成物といった通常検査を妨げる介在物を除去することなく，金属の板厚を検査できる。また，6m以下の高所であれば，延長ポールを利用すれば，足場施工なしで検査可能（**図－4**）であるため，通常，検査を実施する際に必要となる付帯工事を削減でき，検査にかかるトータルコストを大幅に低減することができる。



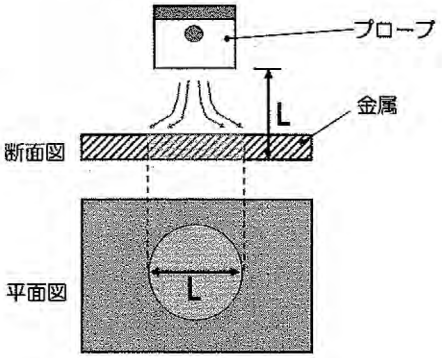
図－4　延長ポール活用例

また，製品の温度低下が許されない設備や極低温の設備では，運転中に保温・保冷を解体できない，あるいは付帯工事がハツリ等の火気工事となる際には，設備によっては運転中工事ができないため，設備停止時のみにしか検査することができない場合がある。付帯工事が不要のPEC検査では，運転中の検査が可能であり，設備の開放周期を待つことなく，即座に設備の健全性を確認することができる。

しかしながら，活用にはいくつか注意すべきポイントがある。

例えば保温設備の場合，外装材がステンレスやアルミ板の場合は問題がないが，磁性体である亜鉛メッキ鋼板の場合は，信号が影響を受ける場合があり，事前にテスト計測を実施し影響の有無を確認するなど注意が必要である。モルタル等の耐火材についても，内部にラス網などが存在しても問題ないが，φ10mm程度の鉄筋が存在する場合は，鉄筋の影響を受け評価できないポイントが発生する場合がある。

また，PEC検査を適用する場合に検討しなければならないのは，フットプリントと呼ばれる渦電流が発生する面積の大きさである（**図－5**）。PECの場合，フットプリントの大きさは金属とプローブ間の距離であるリフトオフの大きさに関係し，プローブが金属から離れるほどフットプリントのサイズが大きくなる。PECが測定・算出するのは，フットプリント内の平均板厚となるため，フットプリントを大きくとれば，検査効率は向上するが，ピッチングなど小さな腐食への検出感度・精度が低下する。逆に，フットプリントを小さくとれば，腐食検出の感度・精度はよくなるが，カバー率を上げるためには測定点数を増やす必要がある。このことを踏まえて，目的に応じて最適なフットプリントサイズと測定グリッドのピッチを選定する必要がある。



図－5　フットプリントとリフトオフ

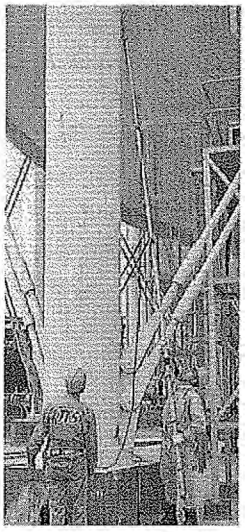
4. 適用アプリケーション

国内外を含め，PECの特徴を生かし，様々なアプリケーションでの活用が進んでいる。その代表的なアプリケーションを紹介する。

①タワースカート部（**図－4**）：タワースカート部には，モルタル等の耐火材が施工されている場合が多く，また，長期間の使用よりひび割れ等が発生し，雨水の浸入により腐食しやすい環境となっている。通常，外観目視検査実施後，

詳細検査対象を絞り込み検査を実施するが，外観目視結果と実腐食状況が一致しない場合もあり，無駄な工事となる場合がある。耐火材剥離復旧・足場費用は大きいため，PECを活用することで，耐火材解体の要否を的確に判断できメリットが大きい。

②球形タンク支柱（**図－6**）：タワースカート部同様に，耐火材が施工されている。検査対象エリアが6～8mと高く，また，火気工事の関係で運転中のハツリ工事・検査が難しいため，開放検査時に合わせて検査される場合が多い。開放検査時に，異常箇所が見つかった場合は，突発の補修となり，開放検査期間が延長になるなどのリスクがあるため，運転中にかつ最小限の付帯工事で検査ができるPECの適用メリットは大きい。

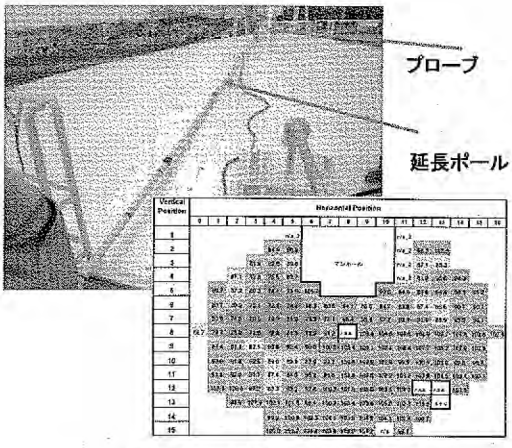


図－6　球形タンク脚柱検査

③桟橋鋼管杭（**図－7**）：船の衝突を考慮して，FRPなどで保護されている場合がある。また，貝殻などの海洋生成物が付着しており，検査の前処理に手間がかかる。検査は通常，船の着桟タイミングを外す必要があり，限られた時間の中で実施する必要がある。PECを活用することで，前処理などが不要になり，短期間で広範囲の検査が可能となる。また，防水プローブを活用すれば，海中部分の検査も可能となる。

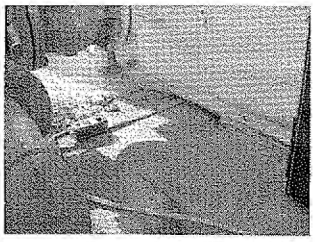
④保温・保冷　機器・配管：保温・保冷を解体することなく検査が可能となるため，大幅なコストダウン・運転中検査が可能となる。しかしながら，外装板の材質には注意が必要である（亜鉛メッキ鋼板は信号に影響を与える場合あり）。

⑤タンク天板・底板：固定屋根式タンクの場合，延長ポールを活用すれば，タンク天板に上がらずに，ステージ上からタンク天板の健全性を確認でき（**図－8**），検査員の安全を確保できる。また，底板については，内部にゴムライニング等が施工されていても，PECによりライニング上から底板の健全性を評価できるため付帯工事を削減できる。アニュラー部については，タンク外部から検査できる薄型のプローブも用意されている（**図－9**）。



図－8　タンク天板検査

図－7　桟橋鋼管杭



図－9　タンクアニュラー部検査

⑥タワートップヘッド：PECを活用しタワー内部から検査を実施することで，定修期間の限られた時間の中で，効率的に検査できる（測定箇所の研磨などの前処理不要）と共に，足場ならびに保温工事費用を大幅に低減することができる。

⑦ライニング機器：内面にチタンやステンレス・ガラスなどのライニング（非磁性体）が施工されている設備であっても，PECによりライニングの上から測定ができる。外面に保温がある設備やジャケットなど直接確認ができないエリアの内面からの検査に有効活用されている。

⑧スタック：スタック本体の減肉状況を，定修時の清掃や補修用に内部に設置されたゴンドラを活用し，キャスターの上から測定する。PECにより，足場工事などなく，測定カバー範囲を大幅に増やすことが可能となる。

⑨タワー内面からの外面腐食検査（**図－10**）：保温サポートリング，補強リング周辺は，外部から雨水の浸入があった場合には，水分が滞留しやすく腐食のリスクが高い。外面から検査を実施しようとした場合は，リングの位置が散在しているため，足場施工が大掛かりになり，保温工事を含め，付帯工事費用が膨大になる。定修時にPECを活用し，タワー内面からリング周辺の腐食検査を実施することで，足場費用を大幅に削減でき，かつUT検査などのように表面処理が不要のため，短期間での減肉発生箇所の絞込みができる。

図－10　タワー内面からの検査

5．PEC精度検証事例

PECの精度を検証するため，タワースカート部2基，桟橋鋼管杭4本において，PEC測定後にモルタル解体し，UT検査を実施した。比較データ数は両方のアプリケーションで439点となった。比較するにあたり，PECは，基準点に対する相対板厚となるため，PEC基準点と同じ位置のUTデータを100％とし，UT結果も％表示とした。また，PECは，フットプリント（この事例ではϕ40～60mm）内の平均板厚であるが，UT測定は，そのほぼ中央1点での点での測定となる。**図－11**にその比較データを示す。

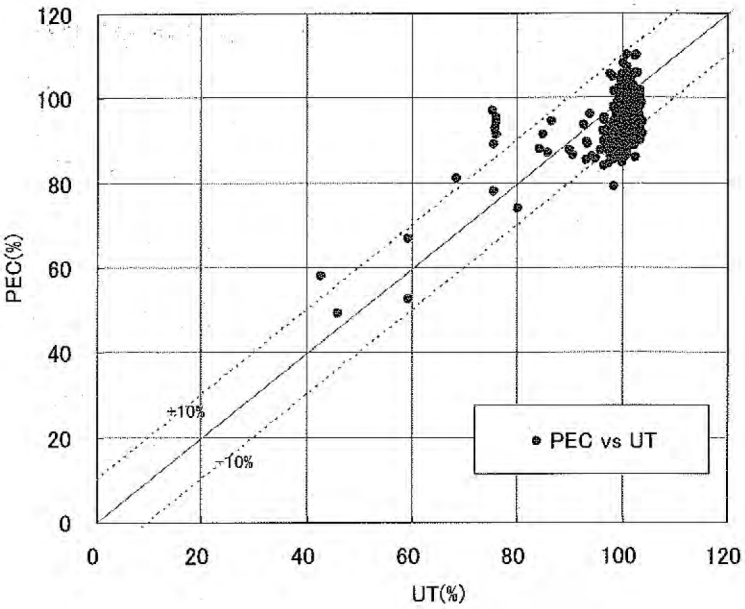
スクリーニング検査の場合，PECの公称精度は表示値の±10％となっている。点（UT）と面（PEC，平均板厚）との比較のため，直接の比較は難しい面もあるが，UT測定値を正とした場合，検証データは，ほぼ±10％に測定値は収まっていることが確認できる。一部，データが乖離している点があるが，測定箇所のPECのフットプリント内の板厚に大きくバラツキがあったため，平均値と中央1点のUT値に差異が生じていることが確認された。

6．検査トータルコスト，リスク低減事例

石油化学工場にて，球形タンク10基，94本の脚柱検査にPECが適用された事例を紹介する。

当初，従来通りの検査手法である，全面足場施工，耐火被服解体，目視・UT検査，耐火被服復旧といった内容で検討されていたが，必要な予算は1億円以上が見積もられ，検査に必要な工期も非常に長いものとなっていた。実際，検査の予算申請はされたものの，近年の厳しい経営環境の中，全面解体による検査予算は凍結されることとなった。

しかしながら，過去，サンプル的に抜き出しでの脚柱検査記録しか残っておらず，また，昨今の各国における球形タンクのトラブル事例から，球形タンク脚柱の健全性を早急に確認することは必須であると考えられ，以前，タワースカート部検



図－11　PECとUTの比較

査でPECを採用し，精度検証も実施されていたことからPECによる脚柱のスクリーニングを検討。同じ脚柱の検査対象本数に対し，PEC適用により大幅なコスト削減が可能であることが見積もりにより明確になり，本社に再申請。本社の承認もとれ，採用となった。

一部，6m以上の高さをもつ脚柱は，低床足場の施工が必要となったが，それでも検査費用は従来法の1/4，工期は94本の脚柱全てに対し，2.5ヶ月で完了（全て運転中）。大幅なコスト低減，かつ開放周期を待つことなく，早急にすべての脚柱の健全性を評価することができた。

7．まとめ

今回は，PECの技術紹介ならびに，現在の国内における活用状況・事例を紹介した。今回，紹介したアプリケーションは，海外の事例を展開したものもあるが，主に，国内のプラントユーザーから，このような検査に活用できないか？と，ユーザー側からのアプローチで始まっているものも多い。

今後，さらに有効なPECのアプリケーションを開発していき，プラントの腐食管理・リスクマネジメントの一助になればと考えている。