

# 配管検査の現状と保守検査への適用例

四 辻 美 年

## 要 旨

石油・石油化学プラントを構成している機器・配管等は、膨大な範囲・量を有しており、その検査に多大な時間とコストを費やしている。また、検査のために足場の組立て・解体、保温材等の付属設備の撤去・復旧といった付帯工事が必要となる。近年、こうした問題点を解決するために、配管やタンク底板等に対して、ガイド波を利用した広域探傷技術や高速で探傷可能な磁気飽和渦流探傷等、腐食等に対する新しい非破壊検査技術が開発され、実用化されてきた。当社が取り組んできた新しい非破壊検査技術について、いくつかの適用事例を紹介する。

### 1. はじめに

石油・石油化学プラント及び発電所等の大型プラントを構成する各種機器、配管の保全を考えていく上で、腐食は避けて通れない課題である。従来から保守検査として目視検査、超音波肉厚測定等が行われてきた。しかしながら、その対象となる機器・配管等は膨大な範囲・量を有しており、その検査に多大な時間とコストを費やしている。また、直接アクセス困難な場所も多い。従って多くの検査員が必要となり、検査期間も長くなる。また、足場の組立て・解体、保温材等の付属設備の撤去・復旧といった付帯工事が必要となるなど問題点が多い。近年、こうした問題点を解決するために、配管やタンク底板等に対して、ガイド波を利用した広域探傷技術および高速探傷が可能な磁気飽和渦流探傷（SLOFEC）、保温材の上からのパルスET等、腐食等に対する新しい非破壊検査技術が多く開発され、実用化されてきた。当社が取り組んできた新しい非破壊検査技術について、いくつかの適用事例を交えながら紹介する<sup>1)</sup>。

### 2. 腐食の非破壊検査技術

#### 2.1 ガイド波による配管の長距離超音波探傷検査

##### (1) 長距離超音波探傷検査の原理

長距離超音波探傷検査は、数十 kHz 程度の低い周波数の超音波を配管に励起して、板厚全体に渡って振動しながら管軸方向に長距離伝搬するガイド波と呼ばれる特殊な超音波を用い、探触子から遠く離れた腐食や溶接部等の形状変化部からの反射を検出する方法である。我社は、使用するガイド波のモードとして、主に、図 1 に示す

Torsional モードを使用している。

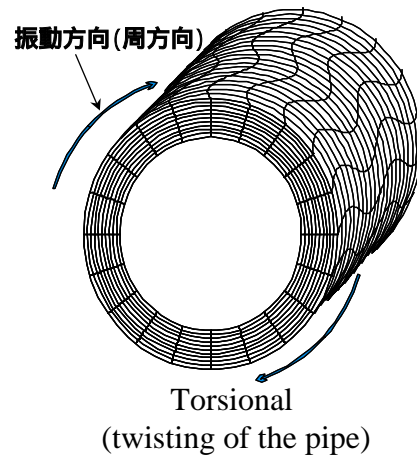


図 1 使用するガイド波のモード

##### (2) 長距離超音波探傷装置の性能

長距離超音波探傷装置の性能を、表 1 に示す。また、探傷装置の外観写真を図 2 に、探傷波形例（防油堤貫通部）を図 3 に示す。

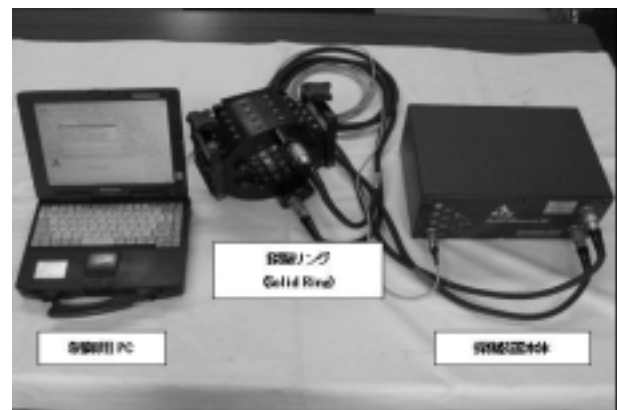


図 2 長距離超音波探傷装置外観写真

表 1 長距離超音波探傷装置の性能

	項目	内容
性能	電源	DC
	センサ取付けスペース	長手方向 500mm、隣との配管 75mm 以上
	探傷可能距離(直管部)	実用的には前後 10m 程度(配管状況により大きく変化する:最大 80m)
	欠陥形態	周方向に広がりを持つ欠陥(腐食、割れ等)、軸方向傷は検出困難
	位置測定精度	数センチ程度(環境温度により変化する)
	不感帯	約 1m(周波数により変化)
	分解能	約 200mm(周波数により変化)
	欠陥検出性	欠損断面積 3%程度(配管状況、距離により大きく変化)
	評価	溶接線信号を基準に評価。溶接線信号レベルは、余盛高さに依存するため参考程度
	使用温度	~約 100
	塗装の影響	影響少
	エルボの影響	エルボを通過すると検出性低下、1 エルボまで
	配管内スケールの影響	影響大
	振動の影響	影響大(S/N 悪化)
	管内流体の影響	影響少
対象	ラック配管	Uバンドサポート付近は、評価困難
	保温配管	センサ部のみ保温材撤去
	埋設配管	防食テープ(アスファルトジュート、ペトロラタム系)による減衰顕著
	防油堤貫通部	防食テープの場合は、探傷困難となる場合が多い
	球形タンク支柱	耐火被覆内の腐食
	加熱炉管	コーキングの検出
	機器配管	運転中の場合、振動のため探傷困難となる場合がある

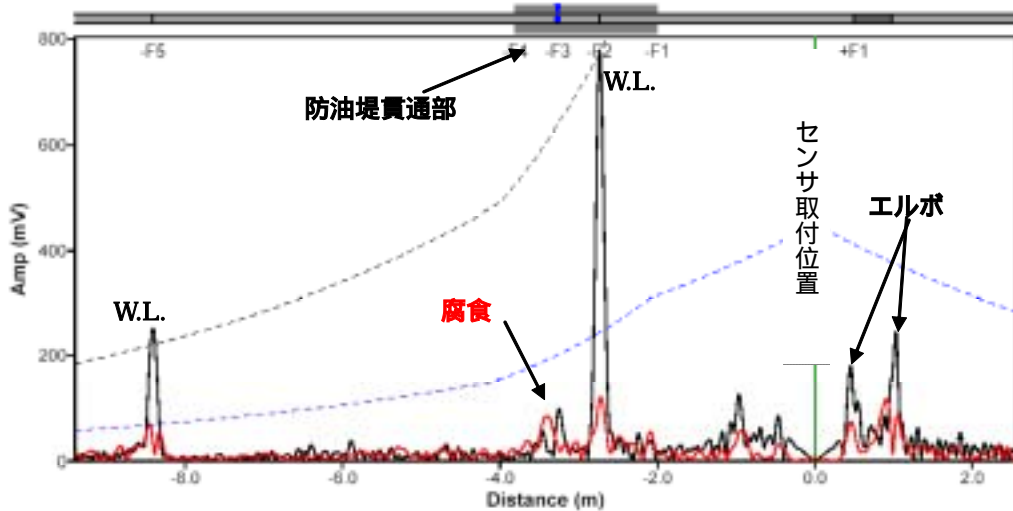


図 3 防油堤貫通部の探傷波形例

(3) 課題

表 1 に挙げたように、長距離超音波探傷検査には、防食テープによる減衰(埋設配管)、エルボ部による検出性低下、サポート信号による腐食検出性低下、低分解能といった多くの課題を有して

いる。しかしながら、コストパフォーマンスに優れた配管腐食のスクリーニング技術であることには変わり無く、これらの課題を認識した上で、フィールドに適用して行く必要があるものと考えられる。

## 2.2 表面波による配管架台接触部の腐食検査

### (1) 原理及び特徴

固体中を伝搬する超音波のモードには横波、縦波、板波の他に表面波がある。本手法が採用している表面波は他のモードと異なり、表面下数波長にエネルギーが集中して伝搬するため、試験体である配管外面に沿って伝搬するという特徴を有する。この特徴を利用し、腐食部に沿って伝播した表面波の伝播時間差により腐食の程度を推定する。試験体の表面粗さ、塗装等表面の影響は避けられないが、横波斜角法と比較して、配管内容物による透過（反射）損失が小さく、配管内面の表面状態や内面減肉の影響を受けない利点がある。つまり、外面腐食のみの評価には最適な検査手法と言える。また、データの映像化（Bスコープ表示）により視覚的な評価が可能、配管をジャッキアップせずに探傷が可能、大口径から小口径まで幅広い配管に適用可能といった利点を有している。図4に装置の外観、表2に装置の概略仕様を示す。また、図5に探傷画像例を示す。



a. スキャナ部

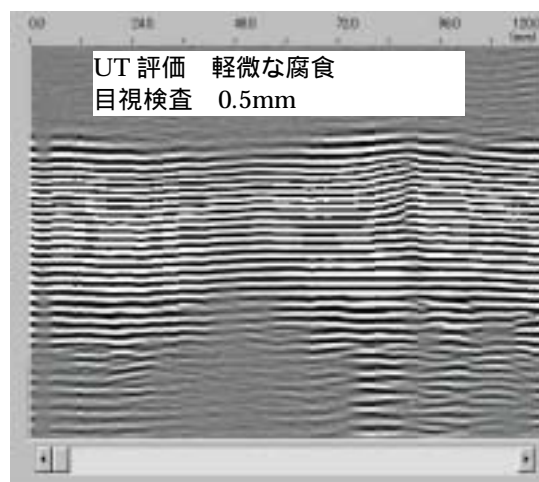


b. データ収録部

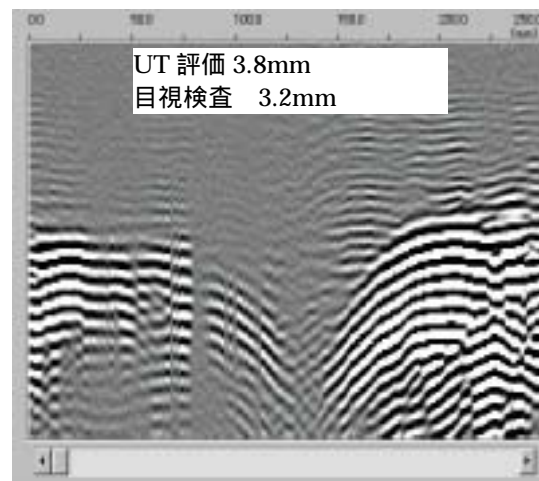
図4 装置の外観写真

表2 装置の概略仕様

項目	仕様
適用配管サイズ	4B 以上 (実績 4 ~ 72B)
架台形式	特定せず
架台長さ	0 ~ 500mm (実績 200 ~ 500mm)
配管と隣接配管 (構造物) 間隔	100mm 以上
配管温度	60 以下
配管塗装	探触子走査面の剥離必要
電源	AC100V



a. 肌荒れ程度の腐食



b. 大きな腐食

図5 実機架台の探傷画像例

### (2) 課題

この表面波による配管架台接触部の腐食検査には、配管表面の防食テープや塗装の影響がある。こうした配管には、これらの影響因子の除去が必

要となる。また、腐食深さを算出するためには、伝播時間差に一定の定数を乗じる必要がある。

## 2.3 磁気飽和渦流探傷検査 (SLOFEC)

### (1) 原理及び特徴

SLOFEC とは、Saturation Low Frequency Eddy Current の略で磁気飽和渦流探傷検査である。この手法は、腐食部検出を広範囲に渡って高速で行ない、スクリーニング技術というべきもので板厚を正確に測定するものではない。減肉部は超音波板厚測定により残肉厚を測定する。従来からの点測定によるタンク・配管管理に対し、漏洩防止の観点ではより合理的な検査手法である。図 6 に配管用スキャナの外観写真を、図 7 に SLOFEC 探傷結果出力例を示す。



図 6 配管用スキャナ外観写真

### (2) 課題

SLOFEC は、局所的な腐食に対しては、有効な検査方法であるが、全面腐食など一様に減肉している場合には、検出が困難となる場合がある。また、溶接部近傍の腐食も溶接線の信号により検出が難しい。こうした特性を考慮した上で適用する必要がある。

## 2.4 パルス渦流探傷検査

### (1) 原理及び特徴

パルス渦流探傷検査（以後パルス ET）は電磁誘導法による探傷方法の 1 つであり、励磁電流にパルス状の電流を用いていることからパルス ET と呼ばれている（通常の渦流探傷ではコイルの励磁電流は連続波（sin 波）を用いている）。通常の渦流探傷がセンサを走査するのに対し、パル

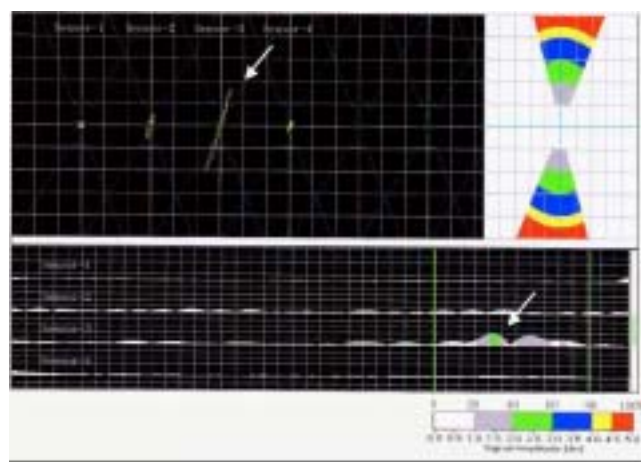


図 7 SLOFEC の探傷結果出力例

ス ET はコイルを測定部位に押し当て、励磁直後に受信コイルで検出される瞬間的な渦電流の時間変化により腐食を検出する。主な特徴を以下に示す。また、装置の外観写真及び探傷結果出力例を図 8 に示す。

- ・適用材質 : 炭素鋼
- ・適用肉厚 : 5mm ~ 25mm
- ・適用配管径 : 6B 以上
- ・保温厚さ : 200mm 以下
- ・保温外装材 : 亜鉛メッキ板金, アルミ板金, SUS 板金
- ・適用減肉形態 : ある程度面積を持った減肉  
検出は内外面を問わない  
(内外面の識別は困難)
- ・環境条件 : 対象物の温度が約 300 以下のこと。  
測定に影響を与える電磁気ノイズがないこと。

測定部近傍に導電体があると測定困難な場合がある。  
測定部位が複雑形状であると測定困難である。

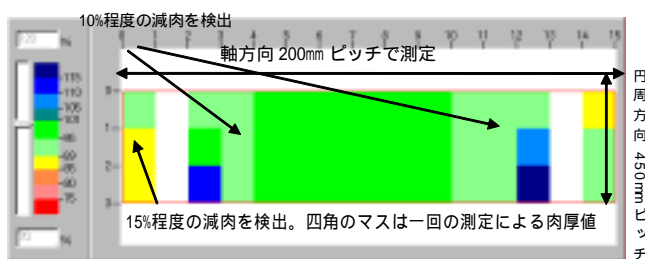


図8 パルス ET 装置の外観写真及び探傷結果出力例

## (2) 課題

パルス渦流探傷技術は、保温材の上から大きなコイルを用いるため検査面積が大きく、局部的な腐食の場合、検査全面積の平均板厚となるため探傷が困難となる。腐食面積が大きな全面腐食の探傷に適した手法である。

## 2.5 一探触子ガイド波プローブによる長距離超音波探傷検査

### (1) 性能及び特徴

一探触子ガイド波プローブを用いて、タンク底板・側板及び配管の腐食を検査する手法である。使用する探傷装置本体は、一般の垂直・斜角探傷、TOFD(Time Of Flight Diffraction)等の探傷が可能で、A、B、C スコープ表示が可能な多機能超音波探傷器を使用している。主な特徴を以下に示す。また、装置の外観写真および探傷結果出力例を図9に示す。

- ・ エアボーンスキャナと呼ばれるスキャナを使用し、XY 走査だけでなく、首振り走査にも対応。
- ・ タンク底板の腐食を、タンク外面の底板張出し部から探傷可能(内容物の存在可。ただし、感度低下)。
- ・ タンク当て板内部、配管サポート当て板内部の腐食も検出可能。
- ・ 腐食の位置および分布を検出するスクリーニング的探傷方法であり、腐食の深さ等の定量化は困難である。また、内外面の識別も困難である。



図9 長距離超音波探傷装置の外観写真及び探傷結果出力例

(2) 課題

一探触子ガイド波プローブによる長距離超音波探傷技術は、Torisonal モードを利用した技術のように数十mの探傷は困難であり、せいぜい数mの範囲が対象となる。しかしながら、複雑な形状部においても適用可能であること利点もあり、使い分ける必要がある。



図 11 FCR 写真

2.6 画像処理による配管腐食診断 (FCR)

(1) 原理及び特徴

F C Rとは、Fuji Computed Radiography の略である。従来の工業用X線フィルムに代わり、特殊な蛍光体を用いた高感度、高鮮鋭度のイメージング・プレート ( I P ) を用いたデジタル放射線画像システムのことである。図 1 0 に F C R システムの外観写真を、表 3 に F C R の一般的な特徴を示す<sup>2)</sup>。原理は、F C R システムを利用して、配管の健全部と減肉部の濃度値 ( デジタルデータ ) を計測し、その濃度差より減肉深さを推定する方法である<sup>3)</sup>。図 1 1 に運転中に撮影した F C R 写真を示す。



図 10 FCR システム外観図

表 3 FCR の一般的な特徴

特徴	F C R	従来フィルム
1 . 高感度	従来フィルムの 1/5 ~ 1/20 の露出量	長時間照射。数時間に及ぶ場合がある。
2 . 濃度の安定	画像処理 ( 自動 ) により線量によらず安定した濃度の画像が得られる。 ( 撮影の失敗がない )	若干の放射線量の変動により濃度が大きく変動する。 ( 再撮影が多くなる )
3 . 広いダイナミックレンジ	1 画像に表現できる X 線量の変化は 1 : 500 ( 1 回の撮影で済む )	1 画像に表現できる X 線量の変化は 1 : 5 ( 撮影条件を変え複数回の撮影 )
4 . デジタルシステム	種々に変化させた画像が得られる。 ( 画像処理 ) C R T に表示可能な電氣的な定量化	得られた 1 枚のフィルムから暗室内で目視検査。
5 . 高密度保管	5.25 インチの光ディスクに約 250 画像を記録。読みとり時に検索情報も記録、過去のフィルムの検索が容易	四切りフィルム 250 枚の体積は光ディスクの 8 倍。検索のためのフィルム整理が必要、検索に手間がかかる。
6 . 暗室不要	I P 取り扱い、記録フィルムの交換等明室で行える。フィルム観察も特別暗くする必要はない。	撮影時のフィルム準備。フィルムの現像作業、観察判定に暗室作業が必要。

## (2) 課題

本手法は、局所的な腐食に対しては、有効な検査方法であるが、測定原理より、全面腐食など一様に減肉している場合には、腐食深さの測定が困難である。

### 2.7 その他の腐食検査技術

紹介した腐食検査技術は、表面波による配管架台接触部の腐食検査(レーリースキャン)以外は、スクリーニング的な検査手法である。その他に、詳細検査手法として、腐食の分布・深さを測定する超音波映像化システムなども現場で活躍している。熱交換器チューブに対しては、内挿回転式超音波検査システム(IRIS社製)やレーザー式のチューブ内面形状計測装置(ROTIS社製)を適用している。

### 3. おわりに

現在、腐食の非破壊検査技術について開発・導入に取り組んでいる。これらの技術には、コスト面、適用面から見て、多くの課題を残している。

今後、これらの課題を解決し、信頼性の高い検査技術として確立していく必要がある。また、適用場所や対象となる腐食の形態に最適な検査方法を選定、実施していく必要がある。今後も現場に即した腐食の検査技術の導入・開発に積極的取り組み、少しでも、プラントの安全及びコスト低減に寄与できるように努めていきたい。

### 参考文献

- 1) 四辻・永井：配管検査の現状と適用例，配管技術、Vol.48. No7、2006、6月号
- 2) 福岡孝義：検査技術'97.11「デジタル放射線画像検査システム - FCR - 」
- 3) 出光エンジニアリング(株)、日本シレク(株)：配管の減肉深さ推定方法(共同開発)，特許第3792322号(2006)