

# 電磁誘導技術Bracelet/E-Pit検査による 金属材料腐食検査

Bracelet and E-Pit Probes: New electromagnetic non-destructive inspection technology for corrosion detection

## 測定原理と適用アプリケーションについて

(有)ティティエス 横野 智明

### 1. はじめに

日本の石油精製や石油化学プラントの多くは、建設から40～50年が経過し、老朽化による問題が顕在化してきている。特に、腐食などの減肉に起因する漏れや金属疲労による設備の破損・損壊等のトラブルは年々増加しており、かつ、トラブルが発生する箇所も、今までの経験から予想できないような箇所が増えてきているため、検査が必要な箇所が膨大になっており、検査の網羅性向上が、各社の大きな課題になってきている。

限られた予算で、検査の網羅性を飛躍的に向上させるためには、スクリーニング技術の導入など、従来とは違った戦略の導入が必要となる。

近年では、検査の網羅性向上に向けて様々なスクリーニング技術が開発されてきているが、それぞれ技術に特徴があり、検査アプリケーションに得手不得手が存在するため、技術を正しく理解して正しいアプリケーションへ適用する必要がある。

本稿では、新しいスクリーニング検査技術として、電磁誘導技術を利用した新技術、Bracelet/E-Pit検査について、その技術と適用事例等を紹介する。

### 2. Bracelet/E-Pit検査

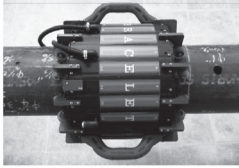
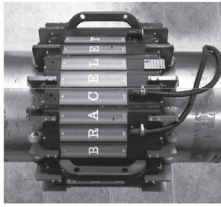

#### (1) 技術の概要

Bracelet/E-Pit検査は、電磁誘導を用いた検査技術の中で、スルートランスミッション技術を利用した検査技術で、配管の減肉などの欠陥を非破壊で画像化し、視覚的に欠陥位置を特定するスクリーニング検査サービスである。広範囲における配管・設備の調査に適しており、抜けもれなく面で測定するため、孔食のような小さな腐食も発見できる。カナダのRussell NDE Systems社によって開発された。

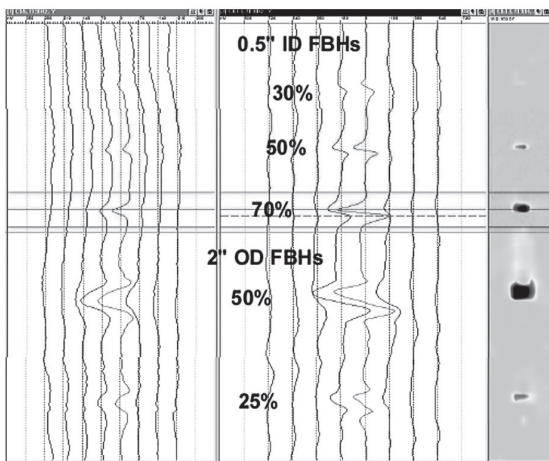
検査対象としては、大きく分けると、裸配管・設備と、保温・保冷や耐火材が施工された配管・設備の2種類がある。第1表に概要を示す。

裸配管・設備用BraceletプローブならびにE-Pitプローブを、数mmのリフトオフで配管に当てることで、炭素鋼、鋳鉄配管の内外面の減肉検査ならびに加熱炉、分解炉等のチューブの浸炭スクリーニング検査が可能となる。電磁誘導を利用しているため、配管表面の塗膜や薄いコーティングやライニングの除去は必要ない。基本的に、二つの測定原理を同時に使用しており、配管内面の検査は、スルートランスミッション (Bracelet) / リモートフィールド (E-Pit) 技術、外面の検査には、ダイレクト / ニアフィールド技術を使用している。スルートランスミ

第1表 概要

	Bracelet		E-Pit
対象配管	裸配管・設備	保温・耐火材が施工された配管・設備	裸配管・設備
使用プローブ	裸配管・設備用 プローブ 	CUI用プローブ 	裸配管・設備用 プローブ 
配管・設備サイズ	6B または 平板		5B 以下
検査対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素鋼、鋳鉄配管の内外面の減肉</li> <li>加熱炉、分解炉等のチューブの浸炭スクリーニング</li> </ul>	外面の減肉 (外装材は非磁性体を推奨)	<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素鋼、鋳鉄配管の内外面の減肉</li> <li>加熱炉、分解炉等のチューブの浸炭スクリーニング</li> </ul>

ッション技術は、発信コイルから発生した信号が、測定対象物を通過した際、板厚に応じて信号の振幅と位相が変化する現象を測定し、減肉箇所を評価している。典型的な信号パターンを第1図に記載する。



第1図 裸配管データ

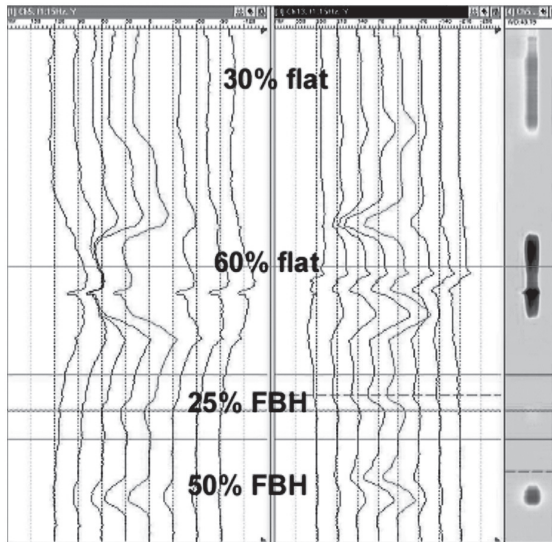
画面の左側は、各チャンネルで受信した信号データとなっており、減肉箇所では、減肉を検出したチャンネルの波形が左側に振れるような形で表示される。逆に溶接箇所など肉厚が増加する箇所では、波形は右に振れる。画面の右側

は、カラーマップとなっており、減肉箇所の位置や大きさ・範囲等を視覚的に把握できるようになっている。

CUI用Braceletプローブは、75mmまでの保温・保冷・耐火材を有した配管・設備の保温・保冷下腐食 (Corrosion Under Insulation : CUI) や耐火材下腐食 (Corrosion Under Fireproof : CUF) など外面減肉を、保温・断熱を除去することなく検査できる (近年125mm厚対応のプローブも開発されている)。外面側のみの検査となるため、測定対象金属の板厚に制限はないが、保温・保冷の場合、外装材が施工されている場合が多いため、その外装材の材質に注意が必要となる。アルミやステンレスなど、非磁性の外装板であれば問題なく測定可能であるが、亜鉛メッキ銅板のような磁性体の外装板の場合、信号が影響を受けるため、対応可能な外装断熱材の厚さが20mm程度と、極端に小さくなる。保冷配管などでは、保冷材そのものの剥離復旧工事が高額であることや運転中に保冷を剥離しにくい状況 (温度維持や表面凍結) であるが、板金のみを除去は可能であるため、板金のみを除去し、運転中にCUI検査を実施されるという運用をされておられるユーザーも存在す

る（復旧をアルミまたはステンレス板金にすることで、さらに次回検査を容易にしている例もある）。

典型的な信号パターン第2図に記載する。データの表示や確認方法は、裸配管・設備用のものと同一である。



第2図 CUIデータ

Bracelet/E-Pitの双方共に、検査は測定対象物の上にセンサー内蔵のプロブを走査させることで、計測を実行する（写真1）。一度の測定で検査可能な幅は、Braceletプロブで約250mm、E-Pitプロブで、配管1/4周となる。したがって、全面を検査するためには、プロブ



写真1 測定風景

ブを、場所をずらしながら対象範囲を走査させる必要がある。

検査速度（プロブを移動させることができる速度）は、板厚によってベストな周波数が異なるため変化するが、裸配管で約0.5～4.0m/min、保温配管で約2.0m/minとなるため、UT等による面探傷と比較すると、高速で広範囲の検査が可能となる。

さらに、対象配管・設備と同じ仕様で、既知の欠陥を複数（3ヶ所以上）有している試験体でキャリブレーションデータを取得することで、検量線を作成することができるため、検出した欠陥の定量化も可能となる。しかしながら、内面はある程度の精度で定量化（%で算出）が可能であるのに対して、外面の欠陥は、位相の変化が少ないため半定量的なレベル（4段階）評価となる。

## (2) 適用アプリケーション

Bracelet/E-Pit検査は、その技術の特性を生かし、様々なアプリケーションに活用されている。

### ① 裸配管（原油、スロップ、工水配管等）の内面減肉検査

原油、スロップ、工水配管等の内面減肉の検査は、広大な範囲から、限られた範囲に存在する欠陥を検出するため、検査が難しいアプリケーションの一つである。また、減肉のタイプも様々で、エロージョンのように広範囲に減肉するものもあれば、孔食等局所的な減肉が散在して存在する場合もある。したがって、腐食対象をもれなく検出するためには、検査対象範囲を面でカバーする必要があり、Bracelet/E-Pit検査が活用されている。

あるユーザーでは、製品中間体の配管で、局所的な内面減肉（孔食）により漏洩トラブルが発生した。漏洩箇所周辺を長めに更新し、取り外した配管を半割にし、詳しく検査したが、漏洩箇所以外には同様の減肉は全く見られず、頻繁に発生するダメージメカニズムではないと考えられたものの、同運転条件の配管は数十mに

および、全長の健全性の評価が必要であった。UTによる面探傷も検討されたが、対象とする孔食の検出には、多大な工数が必要であることが予想され、また孔食の見逃しリスクを低下させたいニーズがあったため、Bracelet/E-Pit検査が適用された。対象範囲の全長・全面は1日で検査完了した。当初、同様の孔食が存在する可能性は少ないと考えられていたが、新たな減肉箇所が1点（第3図）見付き対処を実施、トラブルを事前に防止することができた。

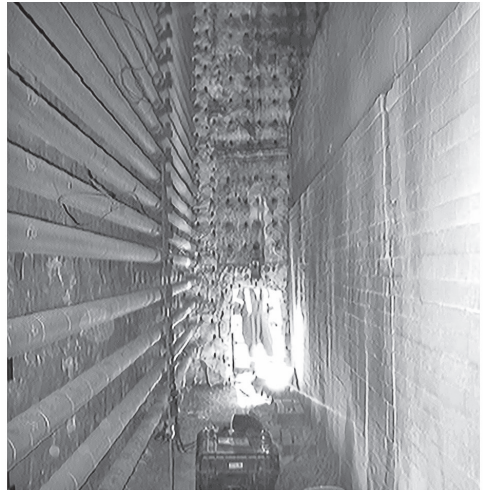
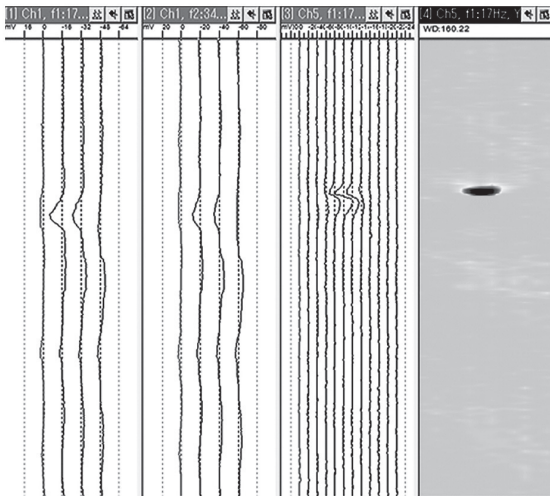


写真2 加熱炉チューブ

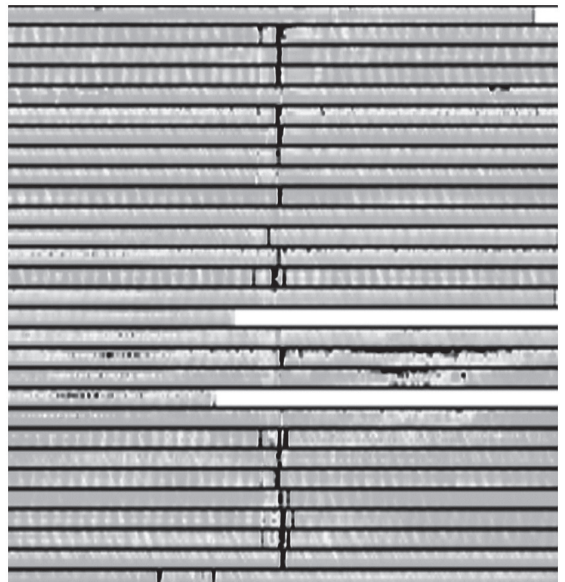


第3図 内面局所減肉データ

## ② 加熱炉/分解炉チューブ

### 浸炭スクリーニング（検証中）

膨大な本数を有する炉チューブの浸炭検査も、課題の多いテーマである（写真2）。定修の短い開放期間の中で、検査を実施しチューブの健全性の評価を実施するとともに、状況に応じてチューブの更新作業まで実施する必要があるため、前段階にあたる検査はできる限り短期間で実施しなければならない。そのため、従来は全数検査は実施されず、過去のトラブル事例等から、部分的な検査しか実施されていない場合が多かった。浸炭箇所は、チューブの材質（組成）が変化することから、電磁誘導技術を利用しているBracelet/E-Pit検査で検出が可能にな

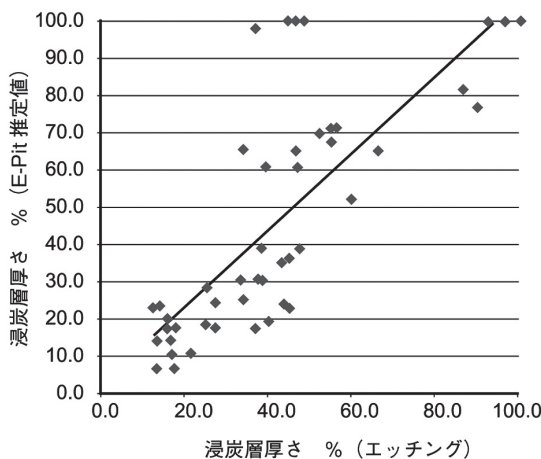


第4図 加熱炉チューブデータ

る（第4図）。

装置解放後、アクセスのための足場施工が完了した状態で、検査をスタートさせる。効率化のため、バーナーからの火炎が当たる面を中心に、チューブの全長検査が実施される。浸炭が進んでいる箇所は、通常の減肉箇所同様、波形が左側に振れ、カラーマップ上にもその位置が記録される。

Bracelet/E-Pit検査は、スクリーニング検査技術であるため、検査で検出された浸炭の浸炭深さを定量化するためには、TOFD等の別の詳細検査技術での定量化が必要になる。しかしながら、チューブ更新の判断には、できるだけ早い段階である程度の判断数値が欲しいというニーズも強いことから、現在、浸炭度に応じたカテゴリ分けが可能かどうか検証を実施している。あるユーザーの実炉から取り外したサンプルチューブでデータ検証をしたところ、信号強さと浸炭度にある程度の相関が得られることが確認できた(第5図)。精度バラツキはあるものの、定修期間中の次のアクションを決定する判断基準としては意味があると評価をいただいている。引き続き、検証を続けていく。



第5図 浸炭度と信号強さ

### ③ 保温・保冷配管・設備

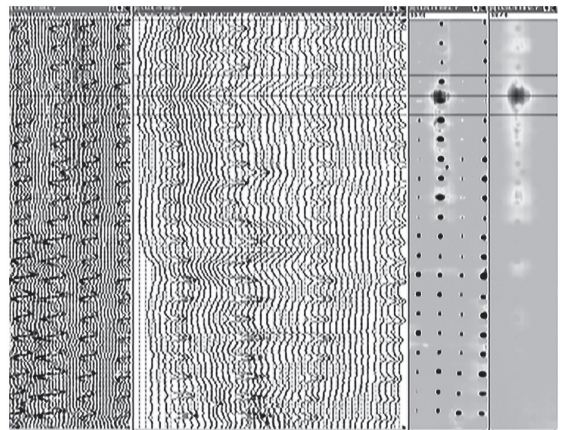
CUI用プローブを使用することで、保温・保冷配管・設備の断熱を取り外すことなく外面腐食検査が可能になる。断熱を取り外さないことで、検査の付帯工事費用を大幅に削減することが可能であると共に、運転中検査(On Stream Inspection: OSI)としても適用することが可能になる。

保温や耐火配管・設備の場合は、外観目視により、保温・耐火材表面が劣化している箇所

に絞って検査を実施する場合も多いが、保冷設備、特に結露しやすい温度域の保冷配管・設備は、減肉の発生箇所がゲリラ的なため、面での検査が必要である上、内容物の温度維持から保冷を剥がせない場合も多いためOSI検査が難しく、Bracelet/E-Pit検査導入のメリットが大きいアプリケーションである。さらに、保冷工事は保温と比較してさらに工事費用が高額になるため、保冷材を取り外さず検査できることで、大幅なコストダウンが可能になる。

### ④ 球形タンク脚柱

CUI用プローブを使用することで、耐火材を除去することなく、脚柱の外面腐食検査が可能になる。脚柱には、耐火材落下防止用のスタッドが施工されている場合も多いが、スタッドからの信号については識別が可能であり、全体の信号からスタッドの信号を除去可能であるため、的確に減肉箇所の評価が可能になる(第6図)。



第6図 球形タンク脚柱データ

⑤ 防食テープ施工箇所、FRPカバー補修箇所  
腐食が発生しやすい環境に設置されている配管等には、防食テープが施工されている場合が多い。しかし、長年経過すると、防食効果が低下し、防食テープの下で腐食が発生している状態が散見される。防食テープ下で腐食が発生すると、錆コブにより防食テープ表面が盛り上がり

ることで腐食が発生している箇所は把握できるが、腐食の程度の判断は難しい。しかし、腐食確認のために防食テープを剥離するという行為は、①テープ剥離の際に、錆コブでギリギリふさがっていた腐食箇所を貫通させてしまい漏れのトラブルが発生する可能性がある、②防食テープを復旧する際、工事の不備により雨水等が入り込みやすい環境になり、腐食の発生しやすい箇所になってしまう可能性がある、という理由から敬遠される場合が多い。防食テープを剥離しても大丈夫な腐食かどうかを判断するため、Bracelet/E-Pit検査が適用される事例も増加している。

FRPカバー補修箇所は、過去、ある程度進行した外面腐食の進行を止めるために施工された経緯があるが、これも長年が経過し、FRP補修下の腐食状況が懸念される状況がでてきている。Bracelet/E-Pit検査により、FRPを剥離することなく検査が可能であるため、FRP下の腐食の進行状況を定期的にモニタリングし、腐食箇所をコントロール下に置くことができるようになる。

#### ⑥ ボイラー水壁

ボイラー水壁も、対象本数が多く検査ボリュームが膨大であり、短い開放期間の中でいかに検査の網羅性を上げるかがテーマになっているアプリケーションの一つである。チューブ間に

板が存在するため、検査が難しい対象であるが、E-Pitプローブを活用することで、プローブ側半面の欠陥を、連続的に検査できる（写真3）。

### 3. おわりに

今回は、診断サービスを提供しているティティエスが導入した電磁誘導技術を利用した新しい検査技術、Bracelet/E-Pit検査の技術、適用アプリケーション事例を紹介した。

本稿の冒頭で述べたが、各検査技術には、得手不得手があり、それぞれの検査技術の特徴を良く理解したうえで、適所に活用する必要がある。

今回紹介したBracelet/E-Pit検査技術は、付帯工事を削減しながらも、検査対象を面でカバーでき、かつ内面減肉検査に必要な孔食の検出も可能であることから、検査の網羅性向上とコストダウンの両立を達成できる技術であると確信している。しかしながら、導入してからまだ日が浅いため、今後さらに実績を積み、有効に活用できるアプリケーションを開発し、プラントの腐食管理・リスクマネジメントに貢献していきたいと考える。



写真3 ボイラー水壁検査

#### 【筆者紹介】

横野 智明

(有)ティティエス ジェネラルマネージャー