

製油所内配管設備の信頼性評価技術

四日市研究室

淡島 敬一、兵藤 雅巳、高村 健一、長谷川圭司
越智 則夫

大阪分室

永井 辰之、森 雅司、佐々木晃史、大根田
浩之、諸富 隆太郎、坂中 一彦、堀本 光男
岩田 裕之

製油所の配管設備のうち埋設配管及び保温配管は、検査を行い、腐食状況を確認するには、現状では、埋設配管については土壌の掘削・埋戻し等、保温配管については保温材の取外し・復旧等の前・後処理が必要となり、多大の労力と費用を要する。

このため、これらの前・後処理を必要としない腐食状況検査を可能とする非破壊検査技術の開発を行った。

1. はじめに

1.1 当該技術の特徴と歴史、産業における位置付け、背景

わが国には、北海道から沖縄まで、40 数箇所の製油所が設置され、さらに、そのうちの 10 数箇所ではエチレンセンタを軸とするコンビナートとなっている。これらのコンビナートの各プラントは、塔槽類、熱交換器、加熱炉、回転機、計装機器、電気設備などで構成され、この間を配管で結んでいる。即ち、コンビナートではおびただしい配管を必要とし、これらの設備の供用期間が長期に亘り、配管の腐食の問題が顕在化してきた。石油・石油化学プロセスのプラントでは主に炭素鋼管又は低合金鋼管が用いられ、その配管が高温あるいは低温で使用されるため、その殆どが保温材（保冷材）で覆われる。さらにそれらを風雨から保護するため、板金で覆われている場合が多い。また、配管は部分的には埋設（道路横断部、防油堤貫通部）あるいはカルバート部を通過している。これらは、いずれもこのままでは、配管自体の検査が不可能で、水分による配管の外面腐食あるいは、配管内部を流れる流体によるエロージョン・コロージョンなどの減肉損傷は、プラントのシャットダウンの原因となったり、環境および人的被害をもたらす恐れがある。

これらの配管を検査しようとする、配管外装の処置、配管の掘削・埋め戻しなどの検査の附帯作業が必要となり、検査を実施するためには多大なコストが必要である。

本技術開発は、これらの配管設備の健全性あるいは損傷状態を検査の附帯作業なしに効率的に検査できる技術開発を行うこととした。なお、本技術開発は、保温配管・機器の信頼性評価技術および埋設配管信頼性評価技術の 2 つのアイテムで実施することとした。

1.2 プロジェクト開始前の当該技術の国内外状況

1.2.1 保温配管・機器の信頼性評価技術

現在、配管の外面腐食に対する健全性を評価するには、主として目視検査が行われている。超音波試験、放射線試験などの非破壊検査手法は目視検査の結果、健全性が疑われた箇所ですらに定量的に腐食量を知りたい場合に補助手段として適用され得るに過ぎない。設備の長期連続運転のためには、保温材が施工された配管・機器においては外面腐食を信頼性高くかつ低コストで検査できる方法が不可欠である。現状の技術レベルは、

目視検査

外面腐食の発生が予想される配管・機器の部位を選定し、その部分の板金および保温を解体して、目視検査を行い、必要に応じて計測を行う方法である。

この方法では、選定部位に必ずしも外面腐食が発生しているとは限らないため信頼性に欠け、また保温材の解体復旧による工程およびコストの問題がある。

中性子水分計

中性子線を利用して保温材中の水分量を測定し、間接的に腐食環境を検出する方法である。この方法では直接的に外面腐食を検出することができないため、放射線透過試験や保温材解体による目視検査等、他の方法で補完する必要がある。

放射線透過法

保温上から放射線を透過させ配管端部の外面形状を検出する方法である。

この方法では、被爆の問題があり、全面検査では検査速度が遅く、また配管にしか適用できないという問題がある。さらに配管サイズの制約や操作性の制約が大きい。

パルス渦流探傷法

通常の渦流探傷法では被検体とセンサの距離（リフトオフ）が大きくなると測定が困難となるが、パルス渦流探傷法では励磁電流にパルスを用いることによりリフトオフが大きくても測定ができる利点がある。

この方法は、保温上から機器・配管の全面を外面腐食検査できる方法として有力視されており、現在開発中の方法である。海外のメーカーでこの方法を用いた装置が開発されているが、保温板金がアルミなどの非磁性体での仕様になっており、日本で使用されている亜鉛鉄板などの強磁性体の板金には適用が困難である。

1.2.2 埋設配管信頼性評価技術

埋設配管の検査技術としては、国内では埋設配管の掘削による目視検査、超音波肉厚測定検査などの直接検査が主流であり、埋設の状態のまま検査可能な、実用に耐えうる技術は無かった。海外では、ガイド波と呼ばれる配管を長距離伝搬する超音波を用いた配管検査装置が数社より市販されていたが、埋設配管の検査に適用できるか、不明であった。

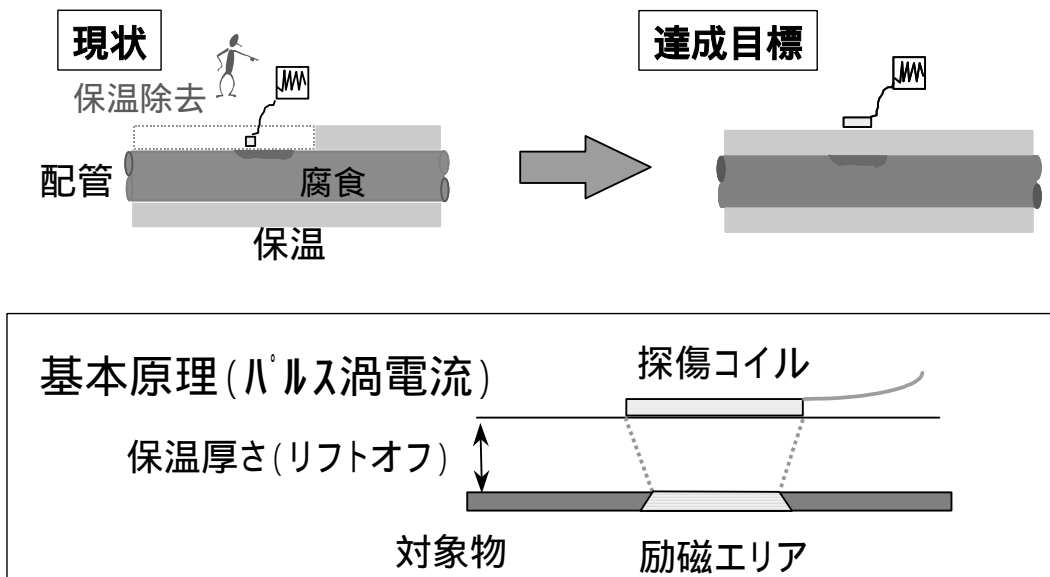
1.3 目的と具体的目標

1.3.1 保温配管・機器の信頼性評価技術

配管外面腐食は通常目視検査が可能であるが、保温材を被覆した配管は保温材を取り外して検査しなければならない。製油所内には多数の保温配管・機器が存在するが、近年保温下の外面腐食の発生が問題となっており、外面腐食箇所の検出、

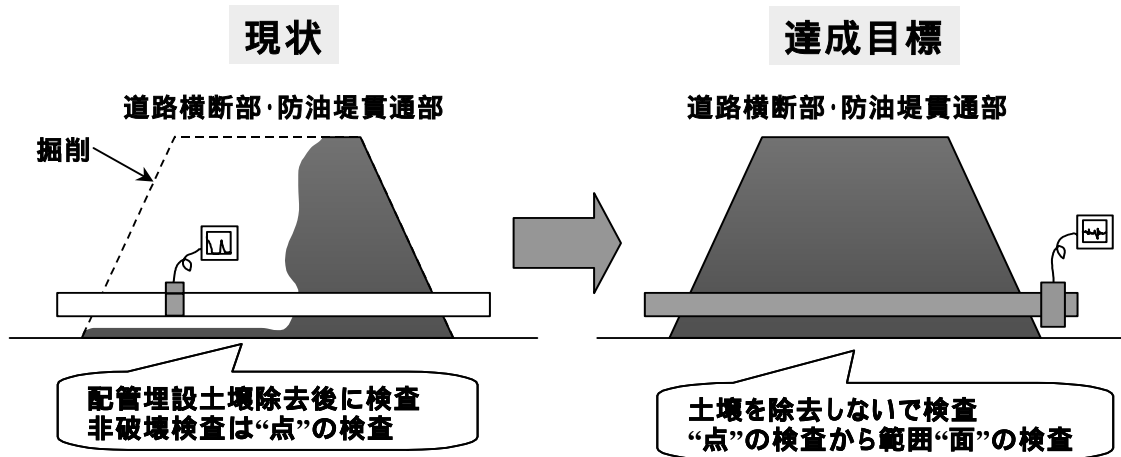
補修等が必要となる。外面腐食の検査手法としては保温を直接取外して検査を行うことが有効であるが、保温脱着及び関連する足場設置費用等のコストが高いことが問題となり、発生箇所を特定し保温取外し箇所を最小限に抑える必要がある。ところが現状の検査手法である目視（保温外装材の損傷の有無）、中性子水分計（保温材の含湿の有無）等では発生箇所の特定が困難であり、又、放射線撮影等は、検査スピード及び安全性で問題がある。そこで操業を継続したままで、かつ保温材の解体などの附帯工事を伴わずに腐食検査が可能な検査装置の開発を目的に選定した。目標値として、製油所内のほとんどの保温厚さを網羅できる200mmを設定し、検査手法としてはパルス渦流探傷法を採用した。

従って開発の最終目標は「200mm以上の保温厚さの保温配管・機器に対し操業を継続したままで、かつ保温材の解体など検査附帯工事を伴わずに、配管・機器腐食検査が可能な検査技術を開発する」とし、具体的には、パルス渦流探傷法により保温厚さ200mmにおいて腐食状況の把握が可能な装置の開発を行うこととした。



1.3.2 埋設配管信頼性評価技術

製油所内には、道路横断部、防油堤貫通部等多数の埋設配管が存在し、敷設後数十年経過しており、埋設環境、外面に施工された防食テープの劣化等により外面腐食の発生が懸念される。しかし、他の配管部位と異なり、この部分はそのままでは目視検査、肉厚測定検査ができない。現状の検査方法としては埋設部の掘削を行い、配管の検査、補修を行った後、埋め戻しており、検査附帯工事のコストが高いことが問題となる。そこで操業を継続したままで、かつ掘削など検査附帯工事を伴わずに、埋設配管の腐食検査が可能な検査技術を開発することを目的に選定した。又、目標値として、製油所内のほとんどの埋設部を網羅できる10mの長さを設定し、検査手法としてはガイド波を用いた長距離超音波探傷技術を採用した。



2. 保温配管・機器の信頼性評価技術

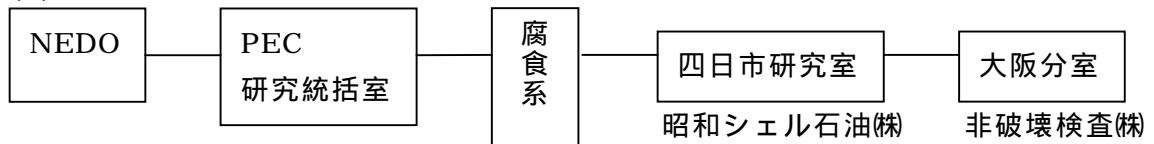
2.1 研究開発の推移と成果

2.1.1 研究開発の推移（課題と研究スケジュール）

課題	平成11年度	平成12年度	平成13年度	平成14年度
1. プロトタイプの製作	■			
2. シミュレーションによる実機装置の製作の方向性確認		■		
3. プロトタイプによる試験		■		
4. 実機装置の仕様、設計の確定、製作			■	
5. 実機装置によるテスト及び不具合点の抽出、その改良				■
6. 実機装置の検査精度の検証				■

2.1.2 研究開発の実施体制と運営管理（保温、埋設共通）

(1) 研究開発の実施体制



(2) 運営管理

(イ) 四日市研究室

主にフィールドでの検査機器の適用を実施し、検査結果から検査装置の改良、調整の方向性を決定すること及び分室の総まとめを行う役割を担っている。

(ロ) 大阪分室

本分室では、主に検査機器の開発及び評価・検討を実施する。

(3)WG、会合実績

平成 11 年度

- ・ H11.10.15 (四日市) 開発の方針、長期計画等検討会
- ・ H12.2.10 (大阪) 技術開発進捗および検討会
- ・ H12.3.17 (大阪) 技術開発進捗および検討会

平成 12 年度

- ・ H12.4.17 ~ 4.21 (大阪) 購入埋設配管検査装置トレーニング
- ・ H12.8.7 (大阪) 開発計画詳細および進捗状況打合せ
- ・ H12.8.21 (PEC) 拡大ワーキング
- ・ H12.8.22 (NEDO) H12 第 2 回推進委員会
- ・ H12.9.14 (PEC) H12 第 1 回設備信頼性委員会
- ・ H12.12.8 (大阪) 配管腐食ワーキング
- ・ H13.2.28 (PEC) 設備信頼性合同ワーキング
- ・ H13.3.1 (PEC) H12 年度第 2 回設備信頼性委員会

平成 13 年度

- ・ H13.4.11 (大阪) H13 研究計画検討会
- ・ H13.5.30 (大阪) H13 研究内容検討会
- ・ H14.8.27 (PEC) H13 第 1 回設備信頼性委員会
- ・ H14.3.1 (大阪) 開発状況確認、第 2 回信頼性委員会発表内容、
今後の計画他検討会
- ・ H14.3.18 (PEC) H13 第 2 回設備信頼性委員会

平成 14 年度

- ・ H14.5.29 (大阪) H14 研究計画検討会
- ・ H14.8.30 (四日市) 進捗状況、今後の計画、信頼性委員会報告内容検討会
- ・ H14.9.17 (PEC) H14 第 1 回設備信頼性委員会
- ・ H14.12.12 (大阪) 最終年度の成果まとめへ向けた検討会 (ワーキング)
- ・ H15.1.27 (大阪) 成果報告会の発表資料についての検討会
- ・ H15.2.21 (PEC) H14 第 2 回設備信頼性委員会、成果報告会

2.1.3 成果

(1)最適なコイルタイプの調査、プロトタイプ装置の製作による肉厚検出

平成 11 年度・12 年度に、コンピュータシミュレーションにより、種々のコイル (上置型、上置並列型、多励磁型) において発生する渦電流と磁界の空間分布の定量化を行った。さらに、対象物に対する励磁力及び磁場の絞り等、各種のコイルの詳細及び特性の評価を行った。現在までの研究で、上置型コイルが現場への適用性を含めて最も有利であるとの結論が得られた。

平成 12 年度に、シミュレーションの結果を受け、励磁、検出コイルの性能確認 (検出信号の強度、S/N 比等) をプロトタイプの検査装置を用いて行った。検出信号の減衰は肉厚に影響されることから、検出波形の減衰時間と肉厚とに対応関係 (減衰時間法と略記) が得られた (図 2.1a、図 2.1b)。即ち減衰時間法において、図 2.1a に示すような検出波形フィッティングによる測定精度向上等の結果、図 2.1b に示す

ように、リフトオフ 200mm において保温外装材上から配管・機器の腐食及び肉厚を検出する方法を見出した。

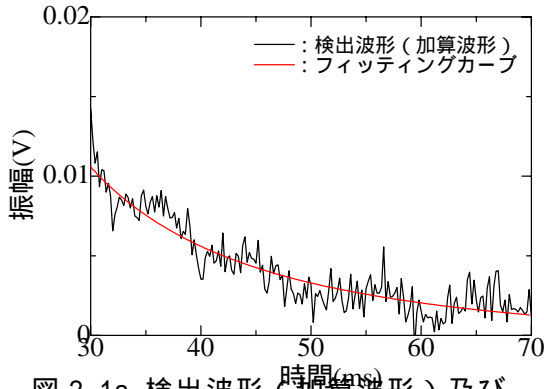


図 2.1a 検出波形 (加算波形) 及び
フィッティングカーブ(リフトオフ 200mm)

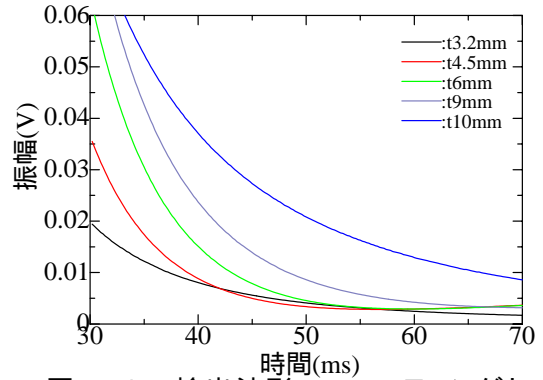
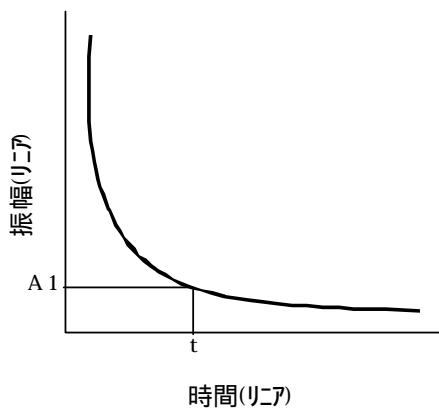


図 2.1b 検出波形のフィッティングカーブ
と肉厚との対応(リフトオフ 200mm)

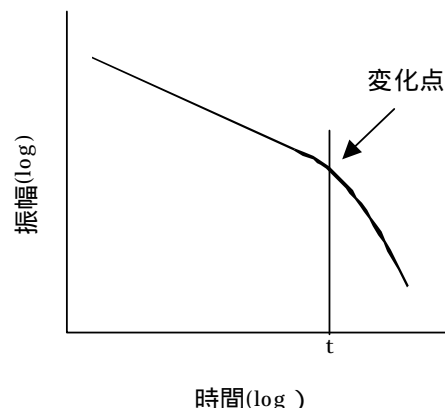
(2) 信号解析方法の改良による肉厚検出

励磁力の増大及び信号採取方法のプロトタイプ装置改造により、ノイズ低減並びに S/N 比の向上が得られ、さらに、平成 13 年度に信号解析の改良を行った。改良後の解析方法は、信号強さと時間との関係を log-log プロットし、振幅が直線的減衰から曲線的減衰に変化する点の時間を求め、肉厚と対応させるものである。改良後の信号解析方法をプロトタイプの解析方法と比較して図 2.2 に示す。この解析方法の改良により、信号の減衰の変化点と肉厚測定の相関が確認された(図 2.3)。また、この方法はリフトオフを変えても変化点への影響がほとんどないという利点も明らかになった(図 2.4)。



プロトタイプの解析方法

(振幅値が設定値 A1 になる時間を求める)



改良後の解析方法

(振幅が変化する点の時間を求める)

図 2.2 プロトタイプと改良後の解析方法の比較 (模式図)

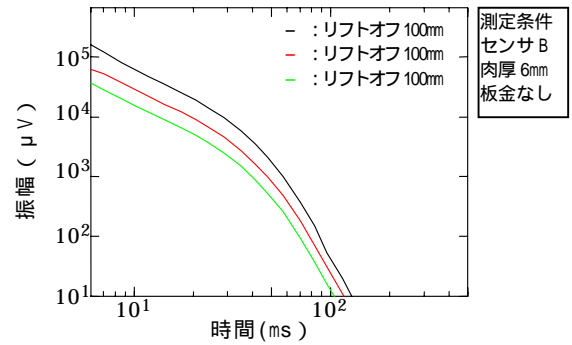
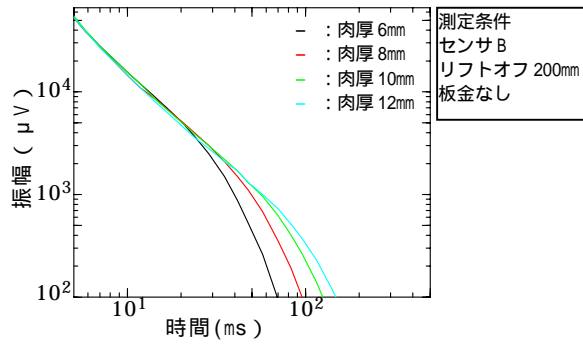


図 2.3 解析方法改良後の信号（肉厚変化） 図 2.4 解析方法改良後の信号（リフトオフ変化）

(3) 実機検査装置の設計・製作（平成 12 年度、13 年度）

プロトタイプによる検査技術と組み合わせて、実機検査装置の仕様に反映させ、実機検査装置を製作した。実際に製作した実機検査装置の仕様をプロトタイプ装置と比較して表 2.1 に示す。また、実機検査装置及びセンサの外観を図 2.5、図 2.6 に示す。

表 2.1 プロトタイプ装置の仕様と実機検査装置の仕様の比較

項目	プロトタイプ	実機検査装置
装置形状	据え置き式	可搬形
使用電源	商用電源（AC100V）	バッテリー（DC12V～24V）
励磁電流 Max	2A	10A
信号増幅度	100	1000
信号測定範囲	20V～20 μV	7V～300nV
信号サンプリングレート	500 μs	50 μs
解析方法	検出波形値がある設定値となるまでの減衰時間を求める。 （リフトオフの影響あり）	検出波形振幅と時間との関係を log-log プロットし、波形変化が直線的減衰から曲線的減衰に変化する時の時間を求める。 （リフトオフの影響なし）



図 2.5 実機検査装置 本体 外観



図 2.6 実機検査装置センサ 外観

(4) パソコンによる信号解析方法の検討および改善（平成 13、14 年度）

前述したように、得られた信号の強度と時間との関係を log-log プロットした場合、被検査材肉厚に対応する時間で直線的減衰から曲線的減衰に変化する結果が得られる。この変化点をパソコンで決定する方法について検討を行い、得られた波形信号データから簡便な手法で肉厚に対応する変化点をパソコンで解析する方法を開発し、さらに解析ソフトの改良を行った。オンライン的に解析ができ、解析条件を簡便に調整し、肉厚変化をマッピング表示できるなど現場測定に対応した改善を行った。解析方法等の概要を以下に示す。

測定データをパソコンに読み込み、log-log プロットを行い、解析に使用するデータ範囲を指定する（図 2.7a）。

直線部分を直線近似し、直線部分のデータ範囲と曲線部分のデータを特定し、曲線部分の有効データポイントから、変化時間を特定する（図 2.7b）。この時間を用いて肉厚との相関を求めることができる。肉厚が厚くなるほど変化点の時間は遅い方向にずれる。

曲線データポイント中にノイズの影響を受けているものがあればデータポイントを変更して再計算することができる（図 2.7c）。

計算結果（肉厚の相対変化）をマトリックス表示して、肉厚の場所的变化を視覚的に見ることができる（図 2.7d）。

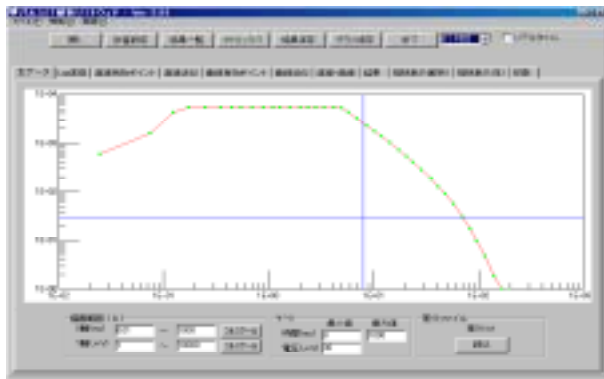


図 2.7a 生データ取り込み

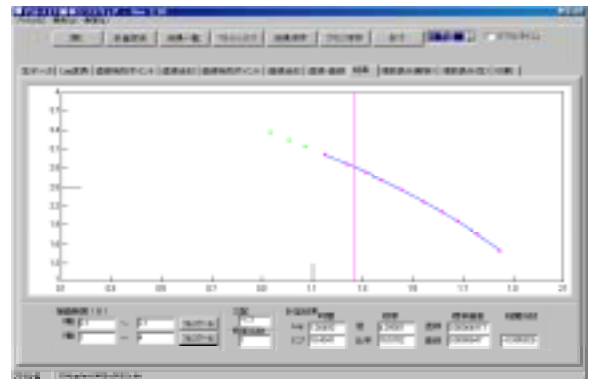


図 2.7b 計算結果の表示
(横軸時間から板厚相当値)

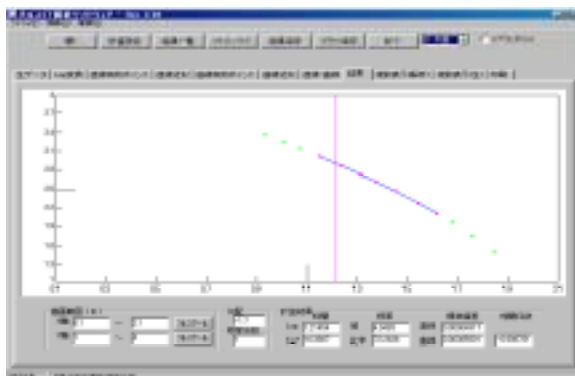


図 2.7c 有効データポイントを変更した場合の
計算結果例

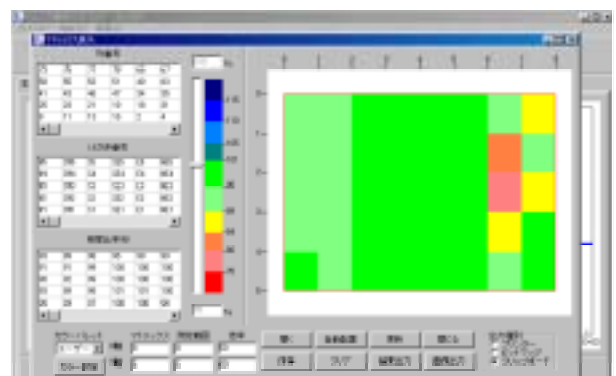


図 2.7d 解析結果をマトリックス表示した例
(肉厚相対変化)

上述の信号解析により直線的減衰から曲線的減衰に変化する時間を決定することは肉厚の絶対値を求めるものではなく、相対的肉厚値を求めるものである。現場測定等で腐食減肉部の検出を行う場合は、相対的肉厚値の変化を測定し、健全部の肉厚値に対する相対変化を求めて減肉の有無を判断する。

(5) 実機検査装置による性能確認

(5.1) 測定範囲

測定対象物に対して測定範囲の平均肉厚が測定結果として得られる(図 2.8)。測定範囲はリフトオフと鉄製板金の有無により変化する(図 2.9)。

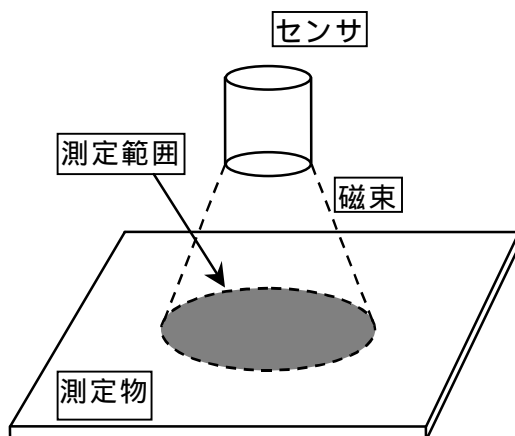


図 2.8 測定範囲の模式図

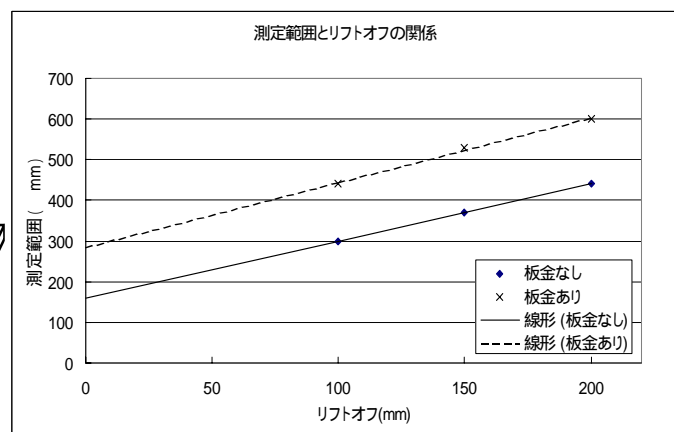


図 2.9 測定範囲とリフトオフの関係

(5.2) 肉厚と信号変化点（相対的肉厚値）との対応値

次に肉厚の異なる平板試験体（厚さ 6, 8, 10, 12mm）を測定し、肉厚と信号変化の相関を調査した結果、良好な相関性が得られた。図 2.10 に測定した結果を示す。

（測定条件：板金あり、リフトオフ 100, 150, 200mm）

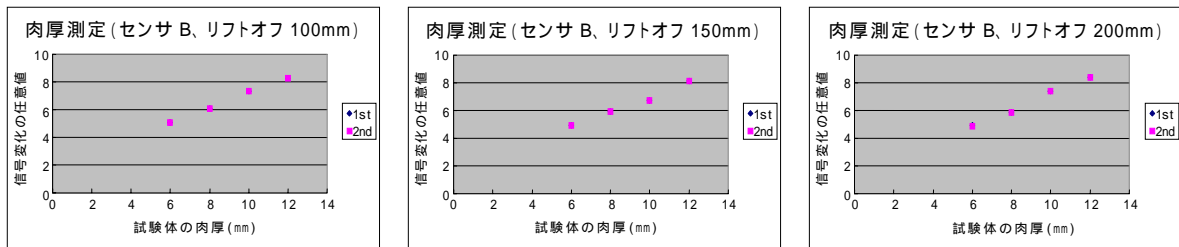


図 2.10 肉厚と信号変化の関係

(6) 実験室およびフィールド試験結果

(6.1) 実験室試験

減肉試験片（10t、800mmx800mm 平板、減肉サイズ 4mmt x 50、100、150、200、300、400mm）による鉄製板金（0.3t、600mmx600mm）ありを測定した結果を図 2.11 に示す。リフトオフ 200mm でも減肉検出可能なことを確認した。

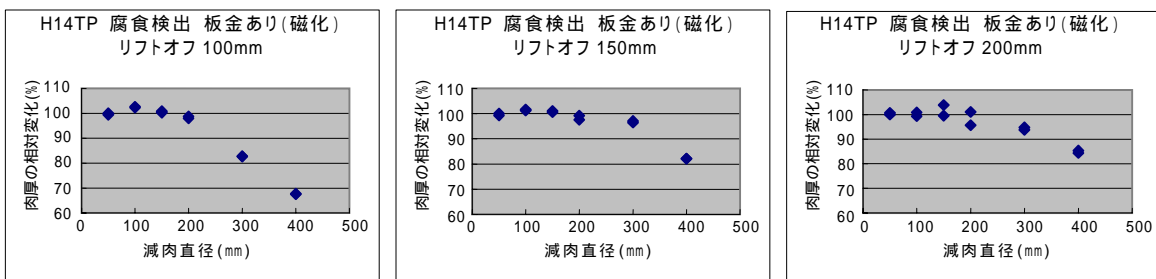


図 2.11 減肉試験片の測定結果（リフトオフ 100-200mm）

(6.2) フィールド試験

配管（供用中、サンプル配管）、機器（塔、槽、熱交）、球形タンク支持脚（耐火被覆）等について保温厚さの相違、運転中/停止中、減肉有無等の種々の条件下で、試験を行った結果、以下のことがわかった。

リフトオフ 200mm でも減肉を検出する。

センサの支持方法の改善により再現性のよいデータが得られる（具体的には配管、塔等は手の代りにベルト等でセンサを固定する）。

ほぼ全面に腐食が発生する場合は腐食検出が困難である。



実腐食配管（サンプル配管）による測定結果（模擬保温板上）を図 2.12 に示す。保温厚さ 200mm でも実際の腐食状況を検出していることを確認した。

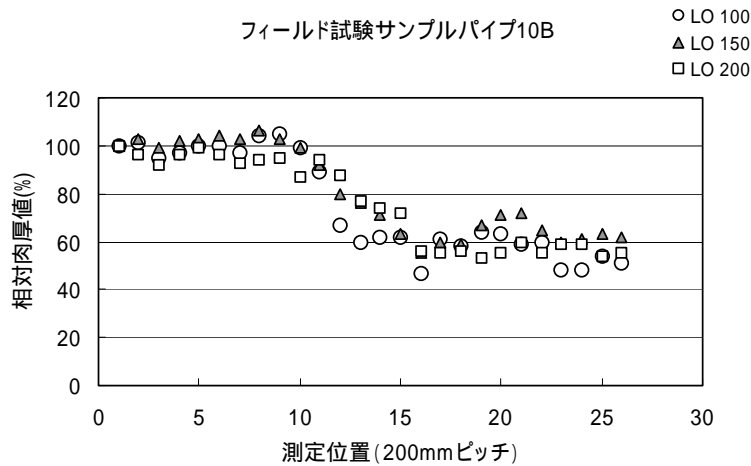
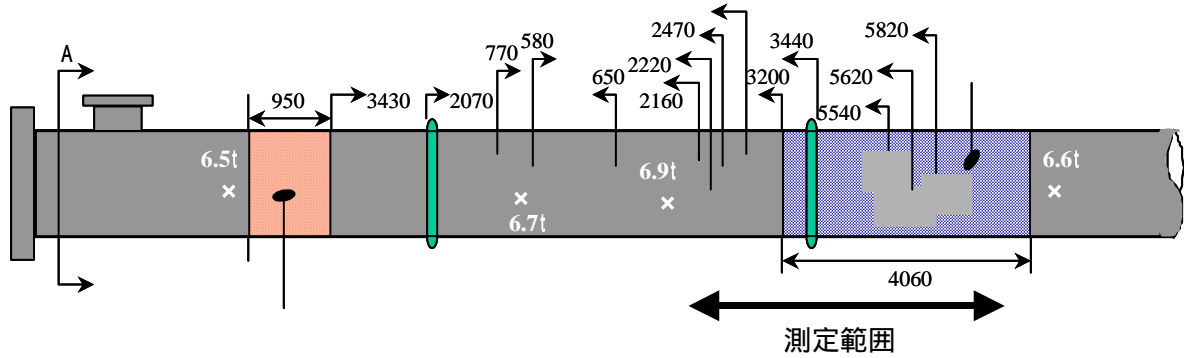


図 2.12 実腐食配管による測定結果

(7)特許、論文等

平成 13 年度

・ H14.01.29 (社) 日本非破壊検査協会 表面探傷分科会：大阪分室発表

「保温材下機器の腐食調査可能な装置の開発」

2.2 最終成果と目標達成状況

2.2.1 最終成果

保温材を解体することなく、操業を継続したままで、保温厚さ 200mm までの腐食減肉の検出という当初の目標は達成した。

2.2.2 目標達成状況

腐食減肉を検出する実機検査装置（現場用センサ、解析用ソフトウェアを含む）を製作した。フィールド試験により保温厚さ 200mm でも腐食減肉を検出することを確認した。

2.3 実用化、普及に向けた今後の展開

2.3.1 実用化、事業化の見通し

今回開発した技術は保温厚さ 200mm まで検査可能であり、適用条件としては、

- ・保温厚さ（亜鉛めっき鉄板外装材有り）：Max200mm
 - ・適用配管・機器鋼種：炭素鋼（運転温度 400 程度）
 - ・適用腐食減肉形態：ある程度減肉面積を持った腐食、エロージョン
- であるが、実際に製油所内で使用されている保温厚さは、100mm 以下が多く、また外面腐食の進行しやすい 100 前後の運転条件の箇所へは十分適用でき、具体的適用箇所の例としては、

- ・機器・配管の保温・保冷、ライニング下の腐食の検査
- ・配管のエロージョン発生箇所の検査
- ・球形タンク脚柱等の耐火ライニング上からの検査
- ・外表面の凹凸の著しい配管の検査
- ・高温機器・配管の非接触検査（モニタリング）

等が考えられる。

ただし原理上、測定範囲の平均肉厚を測定すること、得られる肉厚は基準箇所の値に対する相対値であること、周辺（サポート、フランジ等）の影響をうけることから、以下の箇所は除く。

- ・分岐の多い配管、形状不連続部の近傍
- ・対象範囲の減肉程度が一様で健全部のデータが取れない箇所

2.3.2 今後の展開

本技術を適用していく際には、フィールド検査と検査後の保温取り外しによる実証を積み重ね、測定位置、測定後のしきい値等の測定技術、評価技術を高めていく必要があると考えている。今後は本技術の製油所内での適用を継続し、検査結果の評価技術の向上と装置の性能向上を図る。また普及のため、学会発表、雑誌投稿等を行い、石油精製以外の他産業へ適用していきたい。

3 . 埋設配管信頼性評価技術

3.1 研究開発の推移と成果

3.1.1 研究開発の推移（課題と研究スケジュール）

課 題	平成 11 年度	平成 12 年度	平成 13 年度	平成 14 年度
1. 検査技術調査	—			
2. 開発のベースとなる検査装置購入、テスト		—		
3. 改良装置の仕様、設計の確定、製作			—	
4. 改良装置によるテストおよび不具合点の抽出、その改良				—
5. 改良装置の検査精度の検証				—

3.1.2 研究開発の実施体制と運営管理（保温、埋設共通）

保温配管・機器の信頼性評価技術と共通。

3.1.3 成果

(1)長距離超音波探傷技術の市販装置の性能確認

平成 11 年度に、文献及び海外調査により、最適な検査機器を選定・購入し、性能確認を行った。平成 12 年度には、購入した検査機器のベース装置の実験室試験により、人工欠陥の検出能を確認した。その結果、断面欠損率 3%以上の欠陥が検出可能であることを確認した。なお、欠陥種類によりその信号レベルは異なった。又、フィールド試験実施後、埋設配管の一部を掘削して、腐食の認められた配管をサンプリングして目視検査結果と検査機器の検査結果を比較し、実際の欠陥の検出能を把握した。その結果、防食テープが施工されている場合、浅い全面減肉の中に局所的に深い減肉がある場合は、共に減衰により欠陥を検出できなかった。又、エルボ下流側の探傷はモードが変換してしまうため困難であった。図 3.1 に購入装置によるフィールド試験の状況および実際の探傷波形例を示す。

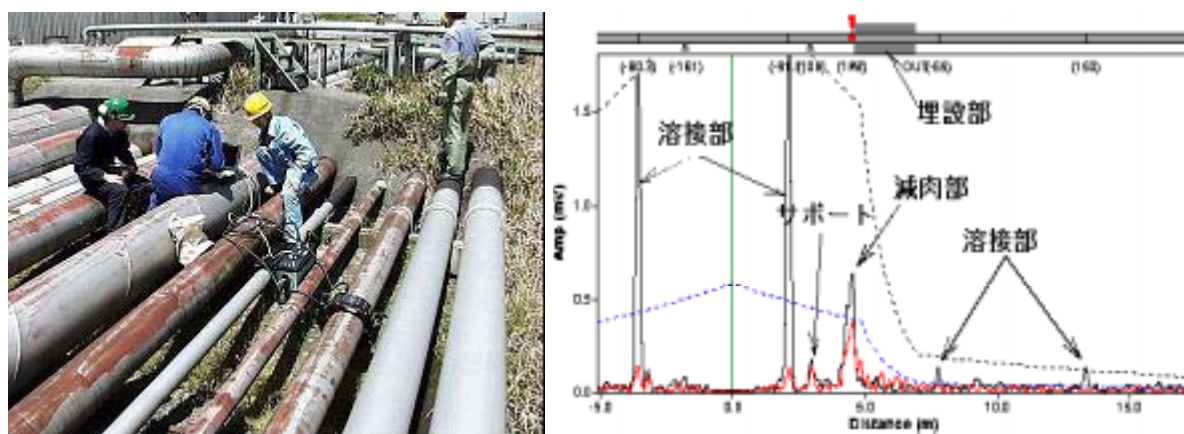


図 3.1 フィールド試験状況及び探傷波形例

(2)改良型長距離超音波検査装置の設計・製作

平成 12 年度、13 年度に実験室試験及びフィールド試験の結果から改良項目（防食テープによる減衰対策として送信波の出力増加、エルボ下流探傷のためのソフト的な対策等）を選定し、改良装置を製作した。

(2.1) ベース検査装置の性能確認

ベース検査装置の性能確認を行った結果を表3.1に示す。

表 3.1 ベース機器の性能確認結果、改良項目のまとめ

項目	ベース機の問題点	課題、検討事項	対応策
防食テープの影響	減衰が大きく欠陥信号検出できない	送信波強度増大、低周波数、S/N比上げる	送信電圧50V 200V
L-モードの必要性	解像度低い、内部流体の影響大	必要性検討	T-モードのみ採用
エルボの影響	エルボ 下流の解析困難	散乱、減衰、モード変換に起因	モックアップ/フィールド試験で確認(1エルボ：探傷可能)
減肉量の計算	信頼性の詳細な検討要	サンプル数を増やし比較	フィールド試験実施

(2.2)改良型検査装置の設計・製作

ベース装置の性能確認により改良項目を決定し改良型検査装置の設計・製作を行った。

主な仕様及び外観を以下に示す。

(イ)探傷リング

製作した探傷リングの外観写真を図 3.2 に示す。また、仕様を以下に示す。

・仕様

図 3.2 探傷リングの外観

適用する配管サイズ

6 B (OD165.2mm), 4 B (OD114.3mm)

超音波のモード

Torsional-mode の 1 種類とした。

探触子

・探触子数：1 列 16 個の 2 列 (1 列 4 セグメント)

・周波数範囲：10 ~ 100kHz

・外形寸法：16 × 16 × 16mm (コネクタ部を除く)

探傷リング

・配管への押え付け：各探触子をばねで押え付け

・押付圧力：19.6 × 10⁴ Pa (2kg/cm²) 程度

・材質：ステンレス板金加工

・重量：4.4Kg (探触子含む、ベース機器：12.4kg)

・寸法：260 × 260 × 80mm (突起部を除く)



図 3.2 探傷リングの外観

(ロ)探傷装置本体

製作した改良型検査装置の概略仕様を表 3.2 に、構成及び外観写真を、図 3.3 に示す。この装置は送信電圧を最大 200V とし、ベース機器に比較して出力を約 4 倍程度大きくした。

表 3.2 改良型検査装置の概略仕様

項 目	仕 様
超音波モード	Torsional mode (T(0,1)モード)
送信性能	
送信 ch. 数	1 チャンネル (8 セグメント中の任意の 1 セグメントに送信)
送信周波数	10 ~ 100kHz 可変
送信波形	ガウシャントーンバースト (1 ~ 10cye. 可変)
受信性能	
同時受信 ch. 数	4 チャンネル (8 セグメント中の任意の 4 セグメントを受信)
受信フィルタ	バンドパスフィルタ 中心周波数可変
受信ゲイン	0 ~ 78dB 可変
測定領域	距離 : 200m(100m 往復) 音速 : 3230m/s
電力定格	
供給電源電圧	AC100V 50/60Hz
消費電力	T. B. D

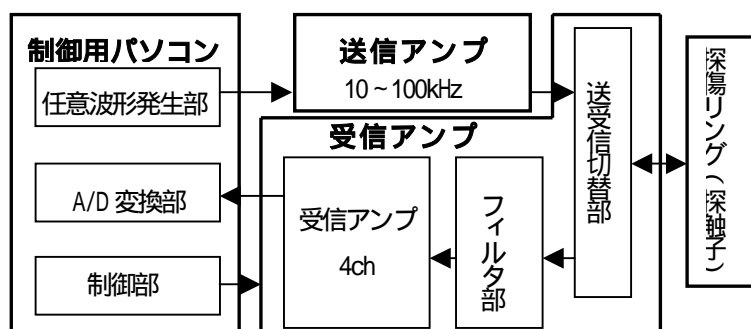


図 3.3 改良型検査装置の構成及び外観

(3) 改良型検査装置の改善

H14 年度に、H13 年度に製作した改良型検査装置のモックアップ・フィールド試験による性能確認を行い、検査機器の性能を総合評価し、改良型検査機器の不具合点の抽出及び改良を行った。改良後、検査精度の検証を行い、装置を完成させた。

H13年度に製作した改良型検査装置は、フィールド・モックアップ試験により

- ・鏡像エコー（擬似信号）のレベルが高い。
- ・全体的なノイズレベルが高い。

といった不具合点が確認された。それに対し、探触子、送信 AMP、受信 AMP、信号処理ソフトウェアの見直しを行ったところ、以下の項目の機能の改良により、上記不具合点が改善されることが確認された。

(3.1) 探傷リング固定強度の改良

探傷リングの固定強度を高めることにより、S/N が改善されることがわかり、探傷リングの改良を行った。改善前後の探傷リングの外観を図 3.4 に示す。



図 3.4(a)改善前の状態



図 3.4(b)固定強度を改善後

(3.2) 送信アンプの改良

探触子装着時のインピーダンス変化の低減により、S/N の改善効果が高いことがわかったため、改良を行った。

(3.3) 信号処理ソフトウェアの改良

信号処理ソフトウェアのフィルタの調整により、S/N の改善効果が高いことがわかったため、改良を行った。

(3.4) 装置改良による効果の確認

装置改良による効果の確認のため、モックアップ試験により改良前後の探傷結果の比較を行った。その結果、

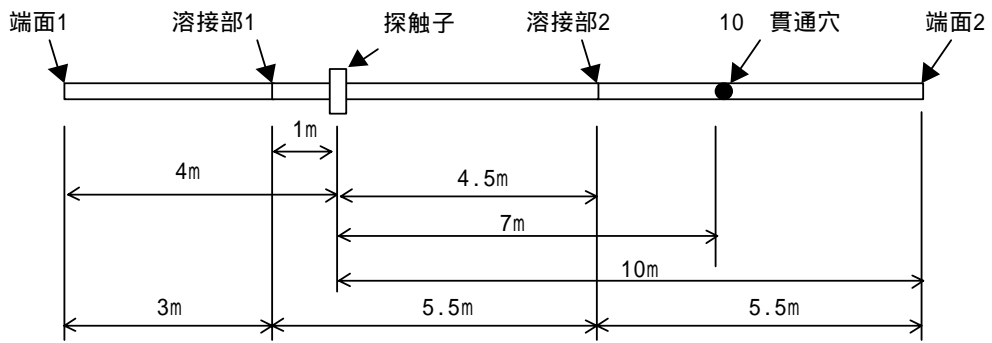
- ・鏡像（ゴースト信号）の低減（約-22dB 改善）
 - 内訳 探傷リング固定強度の改良（約-4dB 改善）
 - 送信アンプの改良（約-10dB 改善）
 - 信号処理ソフトウェアの改良（約-8dB 改善）
- S/N の改善（ 10 貫通穴を明瞭に検出）

が確認できた。探傷結果を図 3.5、3.6 に示す

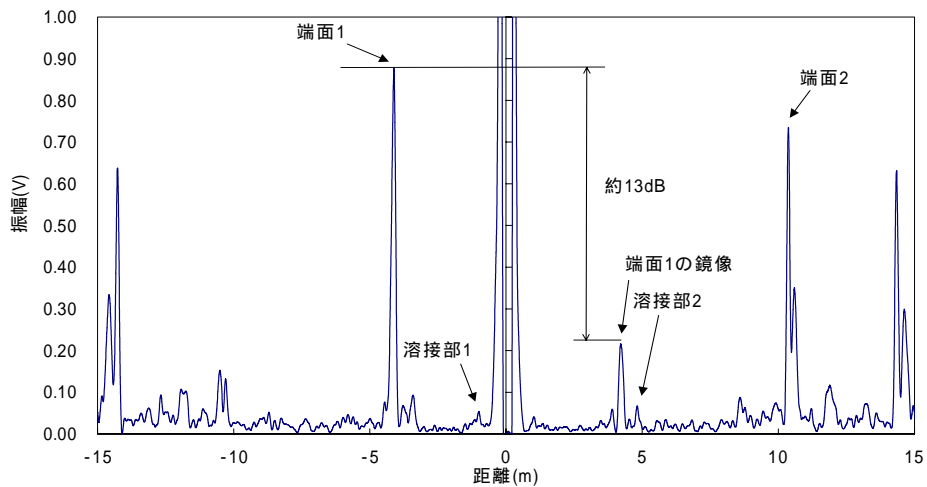
(3.5) ソフトウェアの改良

非軸対象モード信号の検出感度向上、DAC 曲線の付加

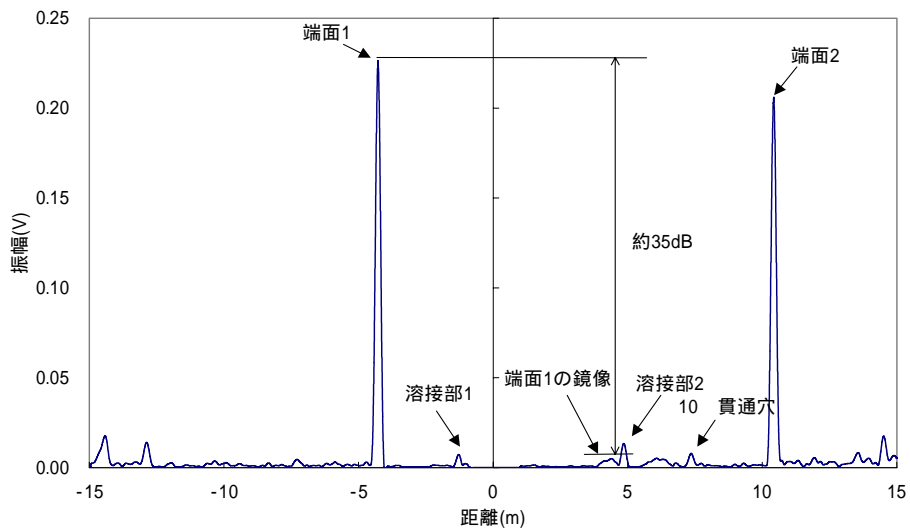
(3.6) 4 B 用探傷リングの製作（締め付け機構改善、押付力増加）



a) 探傷リング取付位置の模式図



b) 改良実施前の探傷波形



c) 送信AMP改造 + センサの締め付け改善 + 信号処理S/Wの改造後の探傷波形

図3.5 装置改良による改善効果の確認結果

(4) 改良型検査装置の性能確認

改良型検査装置の改善後、モックアップ、フィールド試験により性能確認を行った。試験結果を以下に示す。なお、試験では性能比較のためベース装置による測定

も行った。

(4.1)モックアップ試験結果

図 3.6(a)のモックアップ試験体に対して、改良型検査装置による探傷結果を図 3.6(b) に、ベース検査装置による探傷結果を図 3.6(c)に示す。このケースでは、防食テープの影響により約 15dB の信号の減衰が見られたが、改良型検査装置による探傷結果ではフランジや溶接部、減肉部、サポートを確認することができた。しかし、ベース検査装置による探傷結果では減肉部の確認は困難である。このことより、防食テープによる減衰に対しては、改良型検査装置のほうが検出能力は高いことが確認された。

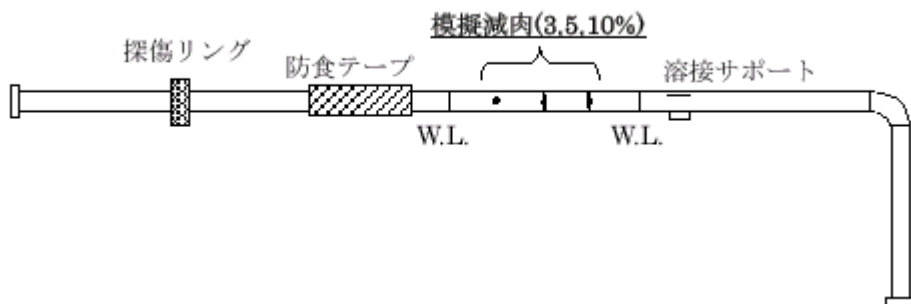


図 3.6(a) モックアップ試験体の概略図

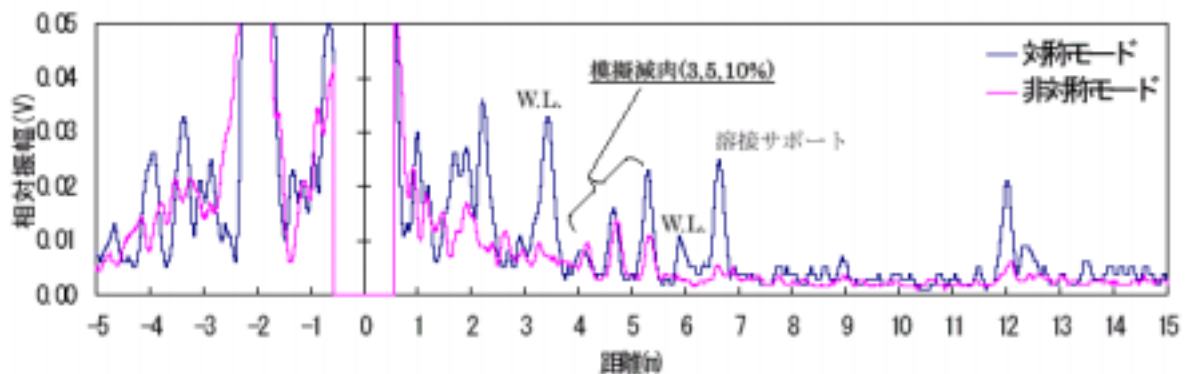


図 3.6(b) 改良型検査装置による探傷結果

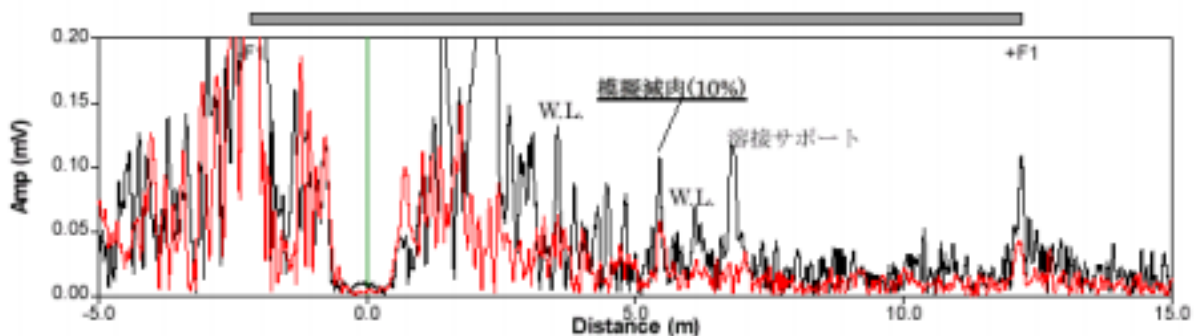


図 3.6(c) ベース検査装置による探傷結果

(4.2)フィールド試験結果

図3.7に6B配管（掘削後、スリーブ管、防食テープ除去）に対して、改良型検査装置による探傷結果を示す。10～14m先の軽微な腐食の検出が確認された。

また、図3.8に4B配管(掘削後、スリーブ管、防食テープ除去)の探傷結果を示す。この配管は、全体的に腐食が進行しており超音波の減衰が比較的大きいが、約14m先に溶接部と同等の信号レベル(断面欠損率20%)の大きな腐食が確認された。

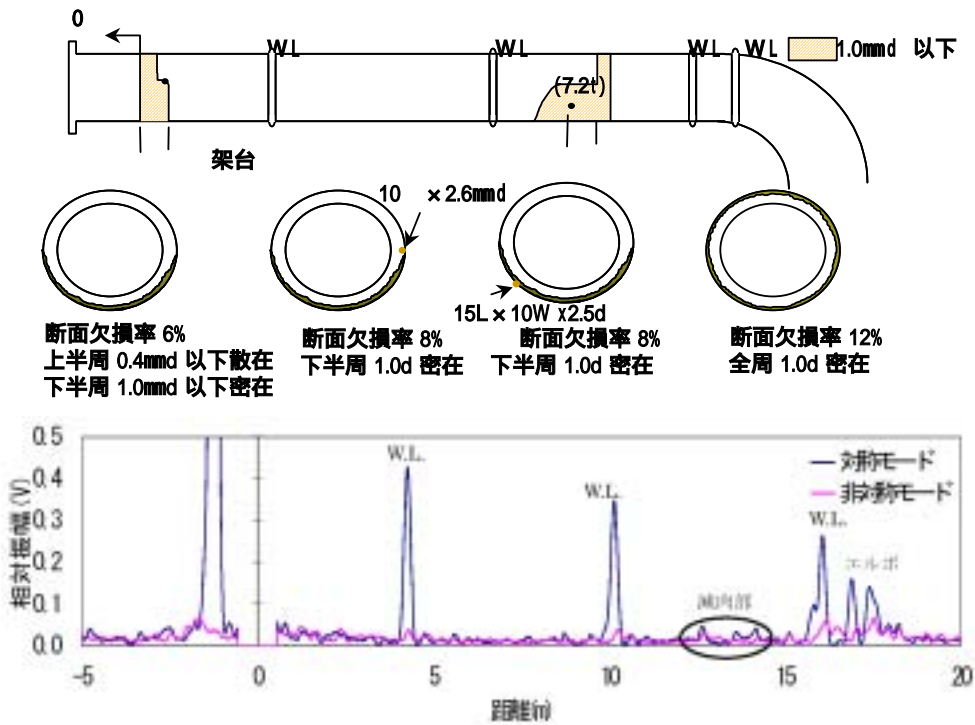


図 3.7 改良型検査装置による 6B 配管 探傷結果

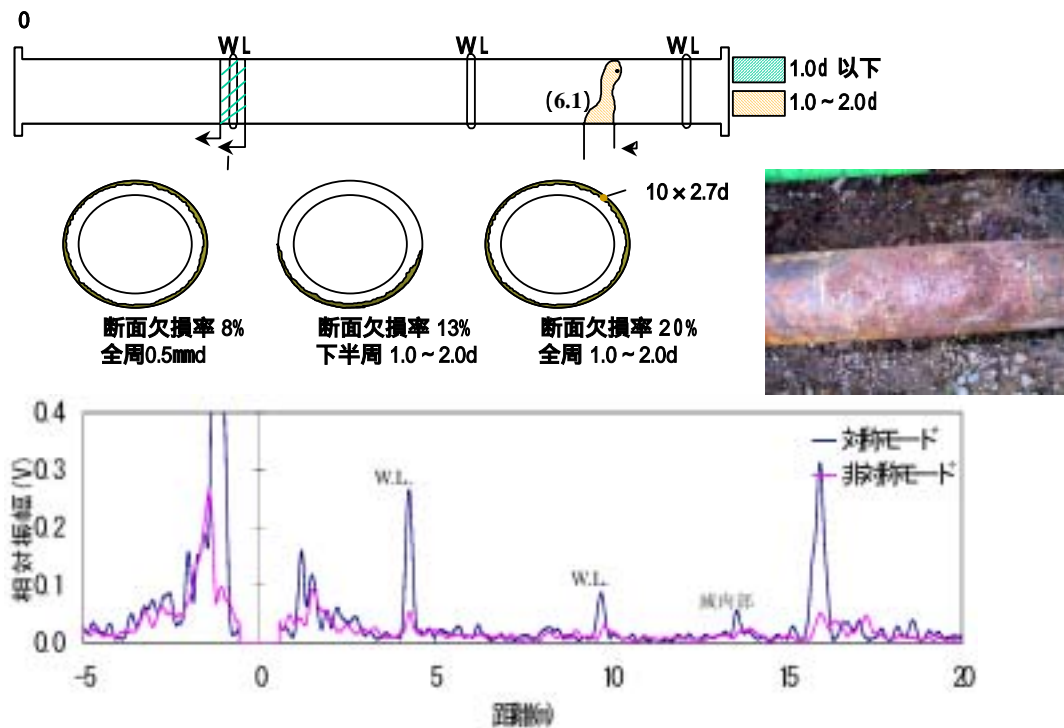


図3.8 改良型検査装置による4B配管 探傷結果

(5)特許、論文等

平成 13 年度

・ H13.5.31 (社) 日本非破壊検査協会 平成 13 年度春季講演大会：大阪分室発表

「埋設配管に対する長距離超音波探傷技術の開発」

- ・ H13.6.21 (社)日本非破壊検査協会 第1回保守検査シンポジウム
「埋設配管に対する長距離超音波探傷技術の開発」: 四日市研究室発表
- ・ H13.12.6 (社)石油学会 第32回装置研究討論会: 四日市研究室発表
「埋設配管に対する長距離超音波探傷技術の開発」
- ・ H13.11.1 日本工業出版(株) 検査技術(Vol.6, No.11): 四日市研究室投稿
「長距離超音波探傷技術の開発(附帯工事の必要ない埋設配管検査技術)」

平成14年度

- ・ H14.4.24 (社)溶接学会 2002 国際ウエルディングショー: 展示
~ 27 配管検査装置展示(湘菱電子)
- ・ H14.9.25 日刊工業新聞社 国際新技術フェア 2002 / NEDO フォーラム 2002 展示会
~ 27 埋設配管検査装置の開発 パネル、パンフ、装置展示(デモ): 大阪分室
- ・ H14.10.1 産報出版(株) 溶接技術(Vol.50, No.10): 四日市研究室投稿
「ガイド波を利用した配管試験装置」
- ・ H14.10.1 (社)日本非破壊検査協会 非破壊検査(Vol.51 No.10): 大阪分室投稿
解説(非破壊検査技術の保守検査への適用例)
「埋設配管に対する長距離超音波探傷技術の開発」
- ・ H15.1.1 日本工業出版(株) 検査技術(Vol.8, No.1): 大阪分室投稿
「ガイド波を利用した配管検査装置」

3.2 最終成果と目標達成状況

3.2.1 最終成果

ガイド波を用いた長距離超音波法による実機検査装置を製作し、埋設部を掘削することなく操業を継続したままで長さ 10m の範囲の埋設配管の腐食減肉を検出することが可能な装置が完成した。この結果、従来必要であった掘削、埋め戻し費用が不要となり、埋設部でも積極的に検査が実施でき、設備の信頼性向上に繋がることが期待される。

3.2.2 目標達成状況

埋設部を掘削することなく、操業を継続したままで、長さ 10m までの腐食減肉の検出という当初の目標は達成した。本技術は埋設配管での腐食減肉検出技術に関する検出性能としては世界のトップレベルではないかと考えられる。

3.3 実用化、普及に向けた今後の展開

3.3.1 実用化、事業化の見通し

(1) 適用条件

検査範囲: 5~50m (信号の減衰の程度、検出対象きずのサイズにより異なる)
ただし防食テープの施工状態(密着)が良い場合は 0.5m 程度

検査可能配管サイズ：2～24B（今回製作した探傷リングは4、6B）

検出可能レベル：管断面積の10%程度

（ノイズレベル、減肉形状により異なる。実験室レベルでは3%確認）

配管条件：直管問題なし、曲管1エルボ下流まで、Fittingバルブ、フランジまで

表面：塗装の影響少ない、塗装剥離すれば、S/N向上

断熱材：影響なし

管内流体の影響：粘度が低ければ影響なし

減衰要因（種類、状態により程度差有り）：

防食テープ、ライニング、コンクリート、全面腐食、スケールの付着

検出困難な箇所、形状：探傷リング設置箇所から1mの範囲（不感帯）

配管サポート（軸方向）近傍の減肉、全面減肉

(2)改良型検査装置によるフィールド試験の継続ならびに検査業務への展開
適用箇所

- ・埋設配管（道路下横断部、防油堤貫通部）
- ・カルバート、トレンチ内配管
- ・オンサイト、オフサイト配管（特に、高所配管および架台接触部）
- ・加熱炉 加熱管

検出対象

- ・アクセス困難な箇所の広範囲探傷
- ・長距離配管の減肉箇所の特定
- ・局部腐食の発生箇所

(3)他装置産業への適用検討

(4)学会発表、雑誌投稿等による普及

3.3.2 今後の展開

本技術を用いた埋設配管以外の配管の検査への応用が期待できる。今後は本技術の製油所内での適用を継続し、検査結果の評価技術の向上と装置の性能向上を図る。また普及のため、学会発表、雑誌投稿等を行い、石油精製以外の他装置産業へ適用していきたい。