

フォーカス機能を持った最新のガイド波技術と適用事例

横野 智明 (有) テイテイエス

Introduction of Latest Technology and Application
of Guided Wave Inspection Method (LRUT) with Focus Function

Tomoaki YOKONO TTS Ltd.

キーワード ガイド波, ロングレンジ UT, スクリーニング, 配管検査, 外面腐食

1. はじめに

1990年代後半に、長距離配管の全面スクリーニング検査を目的としたガイド波検査技術（ロングレンジ UT 検査技術）が市場に登場^{1), 2)}してから、10年が経過しようとしている。プラントの老朽化にともない、近年、配管等のトラブルが増加しており、プラント全体の設備・配管等の健全性評価が急がれる中、ガイド波検査技術は、膨大な量の配管の1次スクリーニング検査技術として認知され活用されてきた。特に、長距離保温配管の外面腐食検査やタワーオーバーヘッド配管などの立ち上がり配管検査、ラック配管のサポート接触部検査や防液堤貫通配管検査など、ガイド波の特徴を生かし、検査そのものよりも検査付帯工事が膨大になりがちな用途での適用例が多い。

ガイド波検査技術は、腐食減肉などによる配管断面積の変化箇所における、音響インピーダンスの変化によってガイド波が反射する性質を利用しているため、その反射波の振幅の大きさは、配管断面欠損率に依存している。(図1) そのため、従来のガイド波技術では、配管断面欠損率に基づいたフォローアップ検査の優先順位づけはされていたが、同じ断面欠損率でも広く浅い減肉なのか局所的で深い減肉なのかといった評価は不可能であった。

この度、ガイド波技術を応用した新技術として、ガイド波のフォーカス機能を有したシステムが開発され、腐食の詳細な評価が可能になった。本稿では、ガイド波のフォーカス機能の原理や特徴、実フィールドの適用事例などについて解説する。

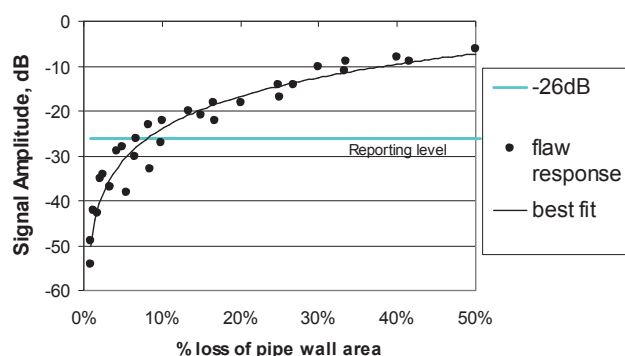


図1 配管断面欠損率と振幅との関係

2. ガイド波検査技術の変遷

2.1 1990年代後半～2005年（第一世代）

ガイド波検査システムが市販化された1990年代後半から2005年頃にかけては、Lモード（Longitudinal；図2）または

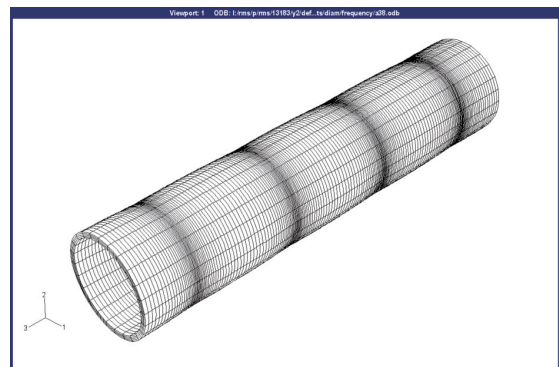


図2 Lモードのモデル

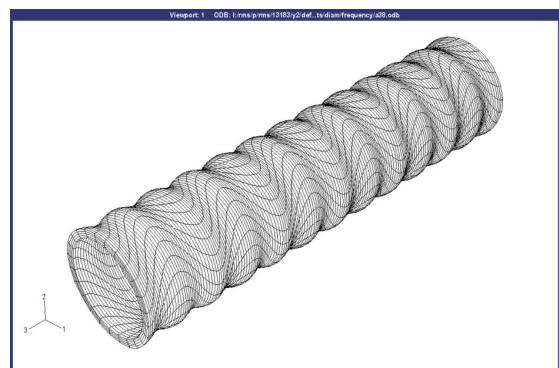


図3 Tモードのモデル

Tモード（Torsional；図3）の単一モードでの検査が主流であり、モードを切り替える場合は、センサの組み替えが必要であった。Lモード、Tモードは、それぞれ異なった特徴を有するため、検査対象配管の仕様や想定される減肉形態を熟考した上で、検査に使用するモードは慎重に選定される必要があった。検出された腐食については、反射波の振幅の大きさから、Minor・Moderate・Severの3段階で評価された。

2.2 2005年～2007年頃（第二世代）

一つのセンサにLモード、Tモード双方のトランスデューサを組み込み、検査に使用するモードをPCの操作のみで切り替えができるマルチモードシステムが開発され市場導入された。(図4) これにより、同一箇所を双方のモードで検査できるようになり、対象配管に最適な検査条件でのデータ取得が可能となった。また同一エリアを双方のモードでダブルチェックすることとなり、より信頼性の高い検査・解析が可能となった。

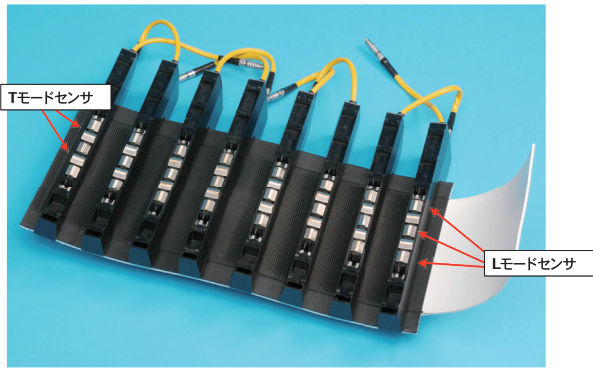


図4 マルチモードシステムセンサの構造

2.3 2007年～現在（第三世代）

マルチモードシステムに加え、ガイド波のフォーカス機能を有したシステムが開発された。フォーカス機能の詳細については、次に述べる。

3. ガイド波のフォーカス

3.1 フォーカス機能の原理

従来のLモード、Tモードを用いた検査では、配管にリング状にセットしたトランスデューサ（図5）を一斉に励起し、配管に軸対象なガイド波を入射する。

入射されたガイド波は、配管に“ガイド”される形で配管中を伝搬し（図6）、配管構造物（周溶接など）や減肉箇所などの配管断面積が変化する箇所でのエネルギーの一部が反射され、再びセンサに到達しキャッチされる。反射されずに残ったエネルギーはさらに配管の検査方向に進んでゆき、その先の配管検査を継続する。（図7）

一方、ガイド波のフォーカス機能は、ある特定の距離および角度（フォーカスポイントと呼ぶ。例として、センサから5.3m先の45°など）にガイド波のエネルギーを集中させる。（図8）

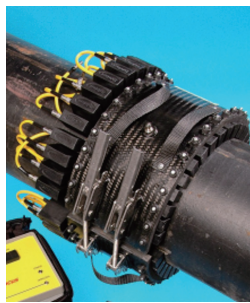


図5 配管にリング状にセットされたトランスデューサ

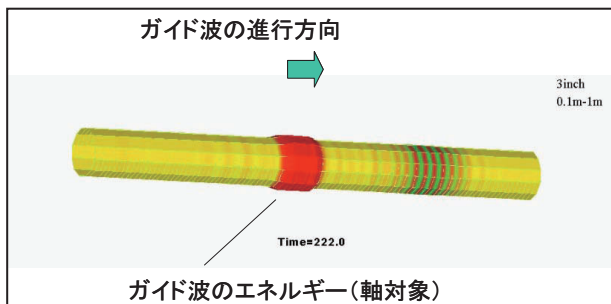


図6 Lモードの配管伝搬モデル

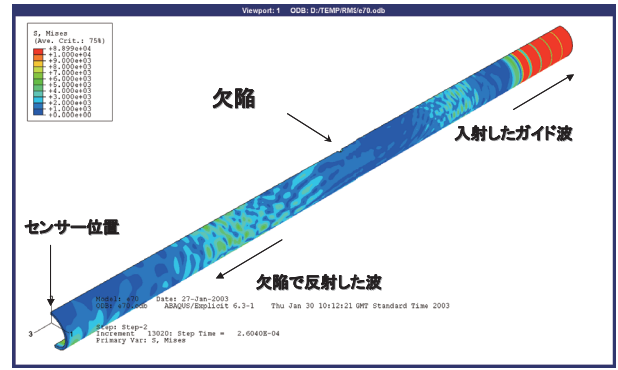


図7 ガイド波の欠陥における反射モデル（Lモード）

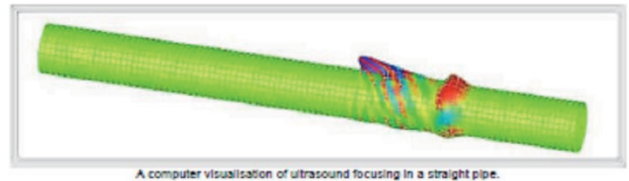


図8 フォーカスされたガイド波

1ショットのデータでは、そのフォーカスポイントのみの評価を実施する。フォーカスポイントを順次移動しながら検査を実施していくことで、減肉箇所の角度や周方向への広がり的大小を評価することができる。

フォーカス機能を使用する場合、センサそのものの配管へのセット方法は軸対象波（L/Tモード）と同一であるが、ガイド波の入射方法は異なり、センサを8つのセグメントに分割し、フェーズアレイのように、それぞれのセグメントを異なるタイミング・強さで励起させガイド波を入射することで、狙った位置にエネルギーを集中させることができる。

3.2 フォーカス機能の特徴

フォーカス機能には、次の特徴が上げられる。

3.2.1 検出精度向上

図9は軸対象モードにて、5.5m先、0°方向に断面欠損率3%の欠陥を有する配管を検査したデータである。欠陥位置にピークは出ているが、その振幅は小さく、周囲のノイズとの区別をつけることは難しい。一方、図10の青ラインは、同一配管で欠陥位置（0°、5.5m）にフォーカスポイントをセットし測定した場合のデータである。図から明らかなように、欠陥位置のピークは増大し、はっきりと識別できる。各種実験データより、フォーカス機能を使用することで、検出精度は4倍程度向上すること

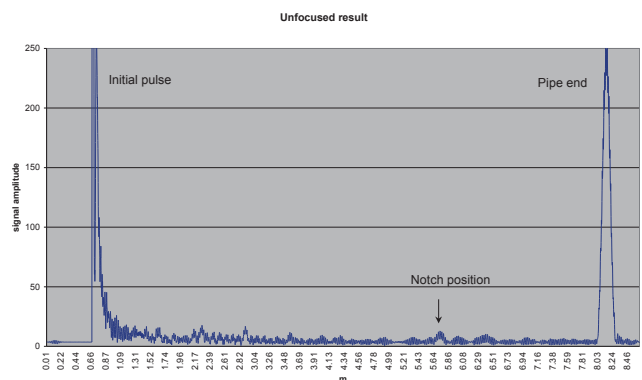


図9 3%欠陥の軸対象モード検査結果

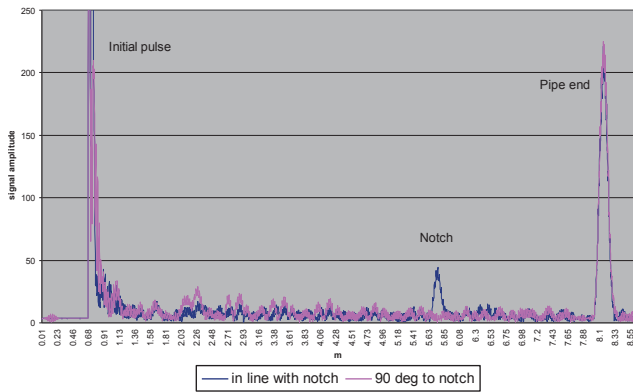


図 10 3%欠陥のフォーカス検査結果

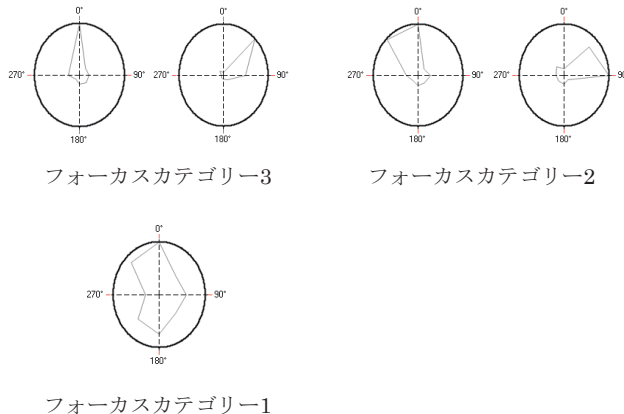


図 12 フォーカスカテゴリ

が確認されている。

3.2.2 減肉エリアの特定

図 10 の赤ラインは、同一距離で欠陥から 90° ずれた位置 (90°, 5.5m. 欠陥はなし) にフォーカスポイントをセットしたデータである。測定データにピークは現れず、欠陥の周方向の広がり は 90° 以内であることがデータからも理解できる。実際のフィールドにおける検査では、45° ずつ 360° 検査を実施し、減肉エリ アの大きさを評価する。

4. フォーカス機能を活用した欠陥評価

フォーカス機能の開発により、実際のガイド波配管検査にお ける欠陥評価方法が充実した。具体的には、従来からの軸対象 モード (L/T モード) における振幅値による評価 (振幅カテ ゴリー) とフォーカス機能による腐食エリアの大きさ (フォーカ スカテゴリ) の二つのパラメータから、総合的に、検出され た欠陥の評価を実施する。

4.1 振幅カテゴリ

図 11 に示すように振幅値に閾値を設定し、反射波の振幅の大き さから三つのカテゴリで評価する。カテゴリ 1 は、断面 欠損率で 9% 相当以下、カテゴリ 2 は断面欠損率 9% ~ 15% 相当、カテゴリ 3 は断面欠損率 15% 相当以上に相当する。

4.2 フォーカスカテゴリ

図 12 はフォーカス機能の測定結果をポーラ図で表したも のである。線が外側にあるほど、その角度での反応が強いことを 示している。フォーカスで強い反応が得られている角度幅から、 次のカテゴリに分けられ評価される。

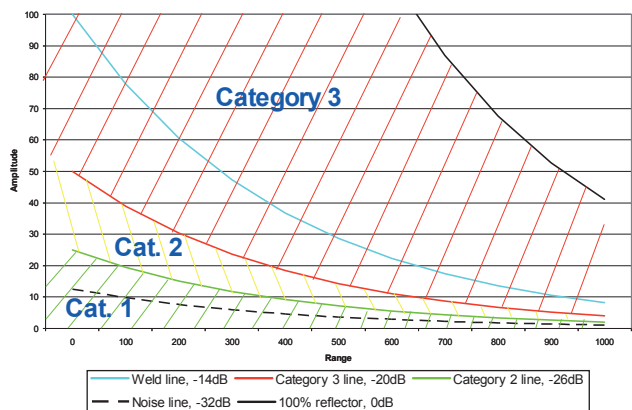


図 11 振幅カテゴリ

(カテゴリ 3) 非常に指向性強く、欠陥が局所的であることを示している。欠陥の面積が小さい場合でも、欠陥が深い可能性も考えられる。

(カテゴリ 2) カテゴリ 3 と比較し、欠陥は幅が広く、同じ振幅値の場合は、欠陥が浅い可能性があり。

(カテゴリ 1) 欠陥はさらに幅が広く、同じ振幅値の場合は、さらに欠陥が浅い可能性があり。

4.3 トータルスコア

振幅カテゴリ値ならびにフォーカスカテゴリ値を掛け合 わせたものがトータルスコアとなる。(表 1)

基本的に、トータルスコア 2 以上はフォローアップ検査が必要となり、トータルスコア 3 以上でトータルスコアの値が大き くなればなるほど優先度が高い。

表 1 トータルスコア

振幅	フォーカス	トータル	優先度
3	3	9	High
3	2	6	High
3	1	3	High
3	0	0	Weld
2	3	6	High
2	2	4	High
2	1	2	Medium
1	3	3	High
1	2	2	Medium
1	1	1	Low

5. 実フィールドにおける適用事例

ある石油精製会社で、6 インチの配管検査を実施した。まず 初めに軸対象波 (本検査では T モード) で計測したところ、振 幅カテゴリ 1 の腐食反応が得られた箇所があった。(図 13)

該当位置にフォーカス機能を適用したところ、180° 方向のみに 強い反応が得られ (フォーカスカテゴリ 3、図 14-1, 2)、 トータルスコアは 3 となった。振幅カテゴリからは、断面欠 損率 9% 以下の腐食であることが想定されたが、フォーカスカ テゴリーの値から、欠陥は局所的で深くなっていることが考え られ、早急なフォローアップ検査・アクションが推奨された。

該当位置がフォローアップ検査されたところ、 $\phi 20\text{mm}$ の腐食が確認された。しかも、錆コブから薄っすらと内液が滲みでてきていることが確認されたため、すぐに応急処置がとられ、大きなリークを事前に防ぐことができた。

本事例からいえることは、従来の軸対象波（Tモード）でも腐食は検出していたが振幅カテゴリーは1であり、フォーカス機能により局所的な腐食であることが明確になったため、優先順位があがり、結果としてリーク事故を防ぐことができた。つまり、フォーカス機能を活用することで、従来よりもさらに精

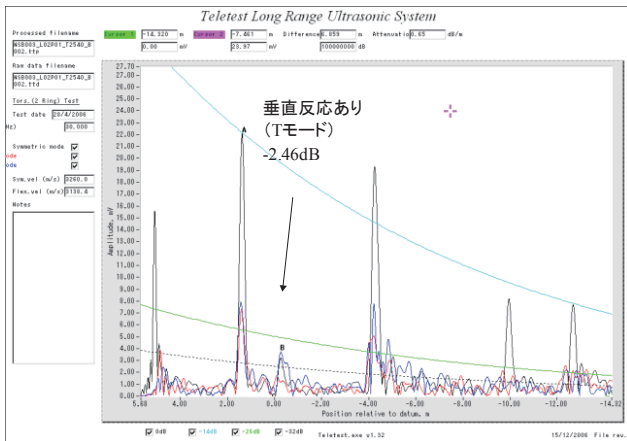


図 13 Tモードでの計測結果

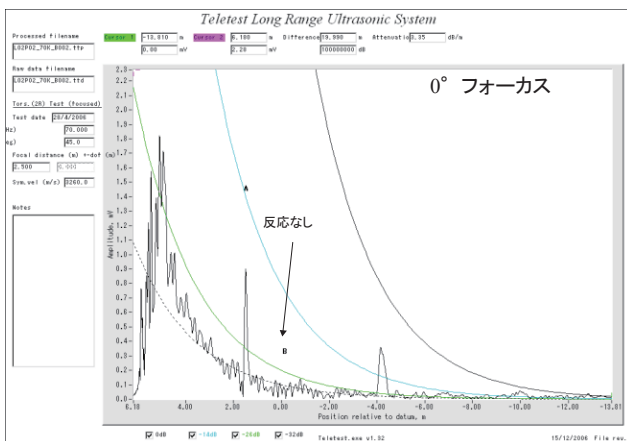


図 14-1 0°方向フォーカス計測結果

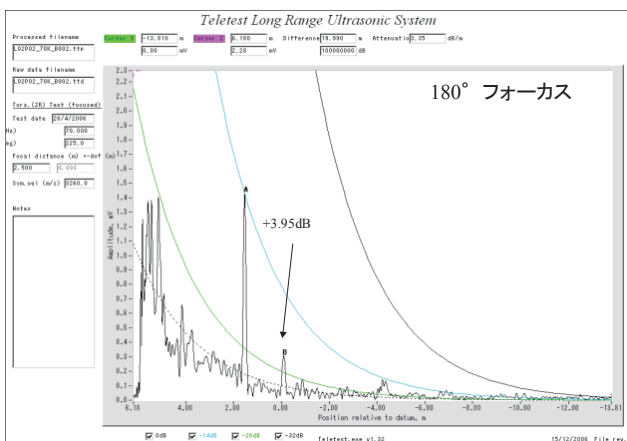


図 14-2 180°方向フォーカス計測結果

度の高い欠陥評価を実施することができるようになるということである。

その他、ラック配管のサポート接触部の検査や保温・保冷配管のCUIでもフォーカス機能を活用し、実績が上がっている。

6. ガイド波の開発動向と今後

この10年で大きな進歩を遂げたガイド波検査技術であるが、開発の方向性として、さらに定量的な評価ができるように開発が進んでいる。また、測定結果の表現方法に関しても開発が進んでおり、ガイド波の測定結果をCスキャンで表示するソフトウェアの開発も進んでいる。(図15)

また、各種アプリケーションに対応すべく、センサの開発も進んでおり、熱交換器チューブ用のセンサ(図16)や高所や埋設部などアクセスが難しい箇所に恒久的に設置するタイプのセンサ(図17)も開発が進みリリース間近である。恒久的に設置

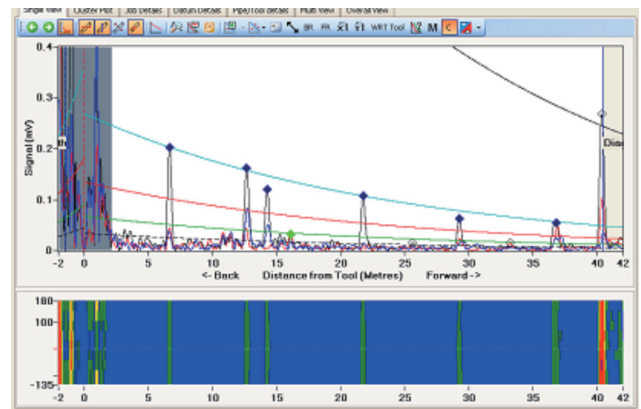


図 15 Cスキャンディスプレイ

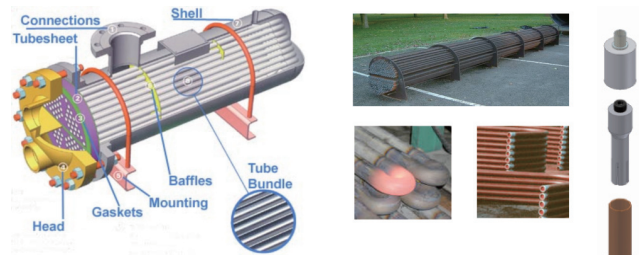


図 16 熱交換器チューブ用センサ



図 17 恒久設置タイプセンサ

するタイプのセンサの利点として、ガイド波の検査データは、センサの設置状況が同じであればデータの再現性が非常に高いため、同一箇所定期的にモニタリングすることで、腐食の兆候を非常に早い段階で把握することが可能になる。

7. おわりに

スクリーニング技術として、一度に広範囲にわたって腐食の有無を検査できる従来のガイド波検査システムの機能を生かしつつ、さらに詳細な評価が可能になるフォーカス機能が追加されたことは大きな進歩であると考えられる。また、フォーカス機能を活用することにより、従来よりも精度よく、比較的面積の小さい腐食に対しての感度も向上するため、プラントの健全性を確認するという意味においては、より信頼性の高い技術になりつつある。

実際に検査を受けるプラントユーザーからも、振幅スコアとフォーカススコアの二面から減肉を評価することで、従来よりも個々の検査結果に対し、次のアクションを決定しやすくなったとの評価を受けている。

しかしながら、このフォーカス機能はまだ新しい技術であり、今後、さらに様々なアプリケーションへの適用を増やしより信頼性の高い技術へと高めていきたい。

参 考 文 献

- 1) Plant Integrity LTD: Case Histories of successful application of the Teletest, Long range UT pipe testing technology, (2000)
- 2) 横野智明：ガイド波による長距離の配管腐食診断新技術，検査技術，8, (2000)



横野 智明 (有)テイテイエス (675-8511 兵庫県加古川市野口町長砂 881) テクニカルマネージャー

1995年(株)ティエルブイ入社。蒸気関係のエンジニアリングに従事。1997年より同社内の検査部門立ち上げの一端を担い、2001年に検査会社(有)テイテイエスとして別会社化。ガイド波技術など、海外の各種検査技術を国内に導入している

<http://www.tts-inspection.com/>