

ガイド波を用いた配管中の損傷画像化技術

Defect imaging technique with guided waves

名古屋工業大学	林 高弘	Takahiro HAYASHI Member
超音波材料診断研究所	村瀬守正	Morimasa MURASE
名古屋工業大学	長尾将弘	Masahiro NAGAO

Development of pipe inspection equipment with guided waves is described in this study. Authors have developed a defect imaging technique, in which reflected guided waves from such reflective objects as defects and weld lines are detected with many sensors lining up in the circumferential direction and the waveforms are processed with mode extraction technique and wave reconstruction. Pipe inspection equipment developing in this study has a function of the defect imaging as well as modal analysis of guided waves. Magnetostrictive sensors with small coil elements detect local vibration on a pipe surface with the high accuracy, and the analyzing software shows a defect image with the high speed.

Keywords: Guided waves, Pipe inspection, Defect imaging

1. 緒言

ガイド波は、配管などの長尺材料中を長手方向に伝播する超音波モードであり、20kHz~100kHz程度の低周波帯域を用いれば、数十mの長距離を伝播することから、配管の大領域高速検査に利用できるとして期待されている。しかしガイド波は、いくつもの音速の異なるモードが同時に発生し、それぞれは強い分散性を持っていることが多いため、損傷のない配管中を伝播しただけの波形でも非常に複雑な波形を示し、解析が困難であることがほとんどである。そのため、できるだけ分散性の小さい軸対称のモードを選んで、励起・受信することで、受信波形の複雑さを回避してきた。しかしながら、軸対称モードを用いて損傷などの反射源からのエコーを受信した場合には、損傷の長手方向位置は決定できるものの、円周方向の情報は全く得られない。つまり、その反射波が配管のある部分に局在する損傷からのものなのか、それとも軸対称な反射源である溶接線からのものなのか、円周方向のどの位置に損傷があるのか、その大きさはどのくらいかなどは分からない。そこで、非軸対称モードを積極的に用いた損傷評価技術が検討されている[1]-[3]。その中で著者らは、ガイド波の反射波を円周方向多点で受信し、その多数の波形をモードごとに分解した後、分散曲線デ

ータにしたがって処理することで、損傷に相当する反射源の画像が得られるという技術を確立した[3]。さらに実際に使用する数十m規模の探傷の際に起こる画像劣化について、詳細に検討し、低次モードのみを利用することで、劣化を低減できることを示した[4]。

本報では、この損傷画像化について紹介し、損傷画像化および画像劣化低減機能を搭載した配管検査装置について述べる。

2. ガイド波を用いた損傷画像化および劣化低減技術について

配管中のガイド波には、円周方向に振動分布の異なる多数のモードが存在し、それぞれは異なる音速で伝播する。損傷からの反射波には、これら多数のモードが混在しており、それぞれのモードは強い分散性を持ったため、非常に複雑な波形が測定される。そこで、まず、測定された波形をモードごとに分離することを考える。各モードは円周方向の振動分布が異なるので、円周方向に小さなセンサーを8個程度ならべ、受信されたそれぞれの波形に、振動分布に対応する重みを与えて積算することにより、各モードが分離した波形が得られる。分離された各モードの音速は分散曲線として解析的に求められるため、その理論音速データを基に、各モードの時間波形を各時刻の空間波形に変換することができる。各モードの円周方向振動分布を考慮して、各時刻、各モードの配管表面上における空間波形を重ね合わせることによって、各時刻における損傷

連絡先:林高弘、〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町、名古屋工業大学大学院工学研究科、電話: 052-735-5338、e-mail:hayashi@nitech.ac.jp

からの反射波の空間波形（スナップショット）が得られることになる。

入射波がちょうど損傷に到達する時刻において、損傷からの反射波が大きくなることなら、この時刻のスナップショットを求めることにより、損傷画像が得られる。

一般には、入射波が損傷に到達した時刻は分からないので、入射波として分散性が無く横波音速 c_T で伝播する T(0,1)モードを用いることで、入射波位置が

$$z = c_T \times t \quad (1)$$

と表され、この位置の波形を追跡することで、1枚の損傷画像が得られる。

このとき、理論分散曲線と実際の配管を伝播するガイド波音速の間に誤差があるため、長距離伝播させると、画像の劣化として影響が現れる。そこで、誤差の大きい高次モードを利用せず、低次モードのみを使って損傷画像化を行うことで、画像の劣化を低減することができる。その反面、円周方向に複雑な分布を持つ高次モードを無視するため、円周方向の分解能が低下するという欠点がある。

3. 損傷画像化のためのガイド波検査装置

図1は損傷画像化を行うためのガイド波検査装置の概略である。30kHz～100kHz程度のバースト波やチャープ波の数Aの波形をスイッチングボックスを通してセンサーコイルへ流すことで、磁わい型センサーが駆動する。このとき、円周方向に並べられたすべてのセンサーを駆動することで、T(0,1)モードが励起される。センサーコイルは2列に並び、片方のレーンに適切な時間遅れを与えることで、配管の片方向へのみエネルギーを伝播させることができる。磁わい型センサーは、あらかじめ磁化されたニッケル薄板を配管に接着しておき、その上からセンサーコイルをかざすことにより、ガイド波を送受信できる仕組みである。一度、ニッケル薄板を接着させれば、あとは非接触でのセンシングになるため、非常に感度よくガイド波を検出できるとともに、複数のセンサーを用いる際の、センサー間の感度誤差を小さくすることができる。

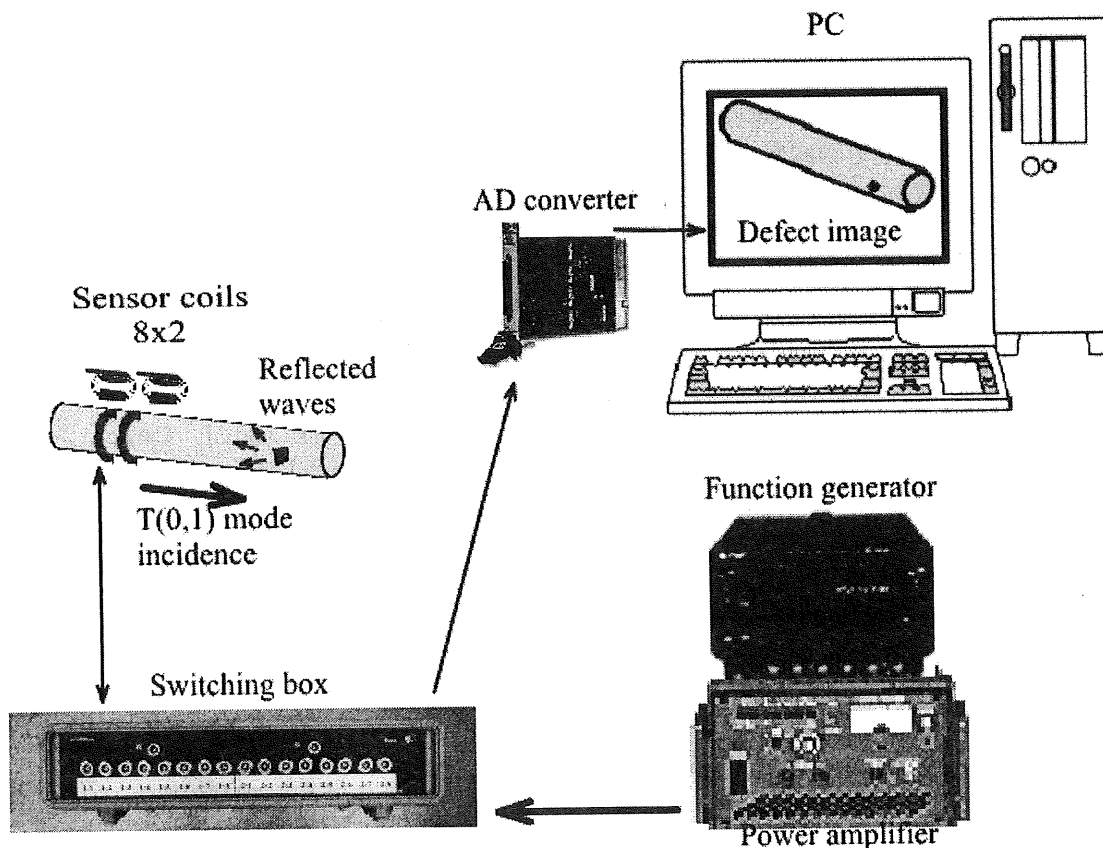


Fig.1 Guided wave inspection system with defect imaging technique

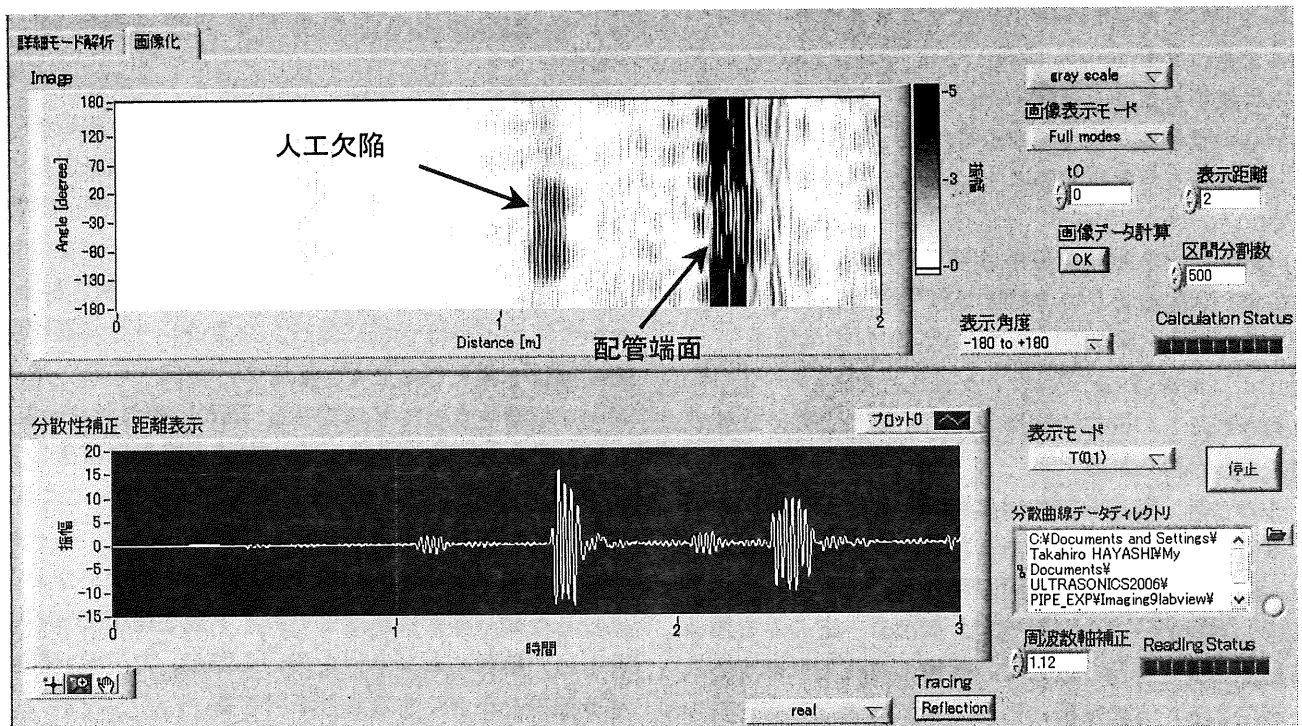


Fig.2 Screen shot of a software for analyzing guided waves containing defect imaging analysis.

損傷からの反射波は、同じセンサーコイルで受信され、スイッチングボックスを通して、1 つずつ波形が自動的に収録される。

収録された波形はコンピューター内のソフトウェアにより処理され、モードごとの波形、空間波形および損傷画像を得ることができるようになっている。

図2はその解析ソフトウェアの一部である。得られた波形より図2上のような損傷画像が数十秒で得られる高速アルゴリズムを用いている。図2の上は、文献[3]で示した1.2m先の2個の貫通穴からの反射波を用いたものである。ちょうど1.2m先に2個の強度分布の大きい領域があり、1.7m先に帯上の非常に大きな強度分布が見られる。1.2mの位置は貫通穴を、1.7mの位置は配管の端面を表している。

損傷画像は、遠距離においては、高次モードを含めるほど、劣化が激しくなる傾向にあり、低次モードのみの画像も得られるようになっている。

4. 結言

ガイド波を用いた配管検査に、著者らが開発した損傷画像化技術を適用するための、検査装置について述べた。

現場で試験を行える程度の装置化ができたので、

今後、現場の長距離検査や溶接や防錆・防食テープ、保温材の影響などを詳しく調べ、改良を加えていく必要がある。

謝辞

本研究は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 平成15年度産業技術研究助成事業により実施した。

参考文献

- [1] D. N. Alleyne and P. Cawley, "Long range propagation of Lamb waves in chemical plant pipework." *Materials Evaluation*, 55, 1997, pp.504-508
- [2] J. Li and J. L. Rose, "Excitation and propagation of non-axisymmetric guided waves in a hollow cylinder." *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.109, No.2, 2001, pp.457-468
- [3] T. Hayashi and M. Murase, "Defect imaging with guided waves in a pipe", *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.117, No.4, 2005, pp.2134-2140
- [4] 長尾将弘, 林高弘, 村瀬守正, "ガイド波を用いた配管探傷画像化システムの改良" 非破壊検査協会平成17年度秋季大会講演概要集