

Title	Mode conversion of torsional guided waves for pipe inspection : an electromagnetic acoustic transducer technique
Author(s)	Nurmalia
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/26214">https://doi.org/10.18910/26214</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## Synopsis of Thesis

Mode conversion of torsional guided waves for pipe inspection:  
an electromagnetic acoustic transducer technique  
(ねじりガイド波のモード変換による配管検査：電磁超音波センサ技術)

Nurmalia

The extensive usage of pipe structures in many high-risk industrial applications encourages the continual study of pipe inspection techniques. This study is motivated by the importance of defect detection and wall-thinning inspection in a pipe structures, a frequent mechanism of pipe rupture. An electromagnetic acoustic transducer (EMATs) system with an original configuration is developed for this purpose. This is an entirely non-contact transducer, enabling measurement at high temperatures, less physical site preparation needed prior to inspection, and reduced time required for inspection itself. Torsional guided waves are utilized as a means for this inspection. A new novel inspection method is proposed which is based on group velocity change induced by mode conversion. This method relies on traveling time measurements, which is less susceptible to many factors, in contrast with the commonly-practiced amplitude based measurements. The group velocity of each higher torsional mode depends on pipe wall-thickness and its tendency to convert to a lower mode with a higher group velocity when the thickness is smaller than a critical value, the so-called cut-off thickness. Thus, the mode conversion behavior can be a basis for pipe wall-thinning inspection.

Extensive fundamental studies are performed to explore the propagation and conversion behavior of torsional guided waves. The results of this study would provide a better understanding of the mode conversion phenomena. The fundamental torsional mode,  $T(0,1)$ , and the first higher mode,  $T(0,2)$ , are generated in pipes containing defects and their mode conversion behaviors are investigated. The conversion of  $T(0,2)$  mode to  $T(0,1)$  mode with a higher group velocity at the defect is observed. This conversion causes a decrease in traveling time which can be a basis for defect detection and characterization. It is also confirmed that the conversion behavior is sensitive to the shape of the thickness transition at the defect edge. Total reflection of the  $T(0,2)$  mode occurs in a pipe with a greatly-tapered defect.

The proposed method is then applied for inspection of various defects. Partial-circumferential defects are successfully detected by the proposed method. The method can detect a fully-circumference defect with an axial length as narrow as the generated wavelength. A system of two identical EMATs connected by a rod-shaft is also developed to enable internal inspection of pipe structures. This system successfully evaluates the presence of a dish-shaped defect. A scanning inspection of multiple defects is also demonstrated to simulate a practical application. A phase-shift is observed in response to the presence of a defect during the scanning.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Nurmalia)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教 授 平 尾 雅 彦
	副 査 教 授 小 林 秀 敏
	副 査 教 授 尾 方 成 信
	副 査 准教授 荻 博 次

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、社会基盤構造材料に対する新しい非破壊検査法を提案するものである。各種エネルギープラントや化学・石油プラントにおいては、おびただしい数のパイプラインが稼動しており、老朽化が進行した状態においても過酷な運転が強いられている。最優先で要求される検査は、事故に直結する損傷に対するスクリーニングである。膨大に存在する被検査物に対して、一つ一つ詳細な検査を行うことは非現実的であり、なんらかの迅速な手法によって最低限の仕様を満足するか否かを見極める検査手法が求められている。

このような社会的要請に呼応して、非接触測定が可能な電磁超音波センサ技術に基づき、配管の減肉や損傷部位を高速にスクリーニングできる独自の手法を開発した。特に、理論的に見出し、実験によって確認したねじりガイド波の「カットオフ板厚」という概念は極めて独創的であり、同時に重要な意義を有する。これは、パイプの軸方向に伝播するガイド波の高次モードにおいて発生する現象である。高次モードのねじり波は、ある決まった肉厚（カットオフ板厚）以上が存在しない場合には伝播することができず、カットオフ板厚の箇所において低次モードに変換して伝播を続ける。この効果を、群速度の変化として検出することを提案するものであり、その有効性を周期的な磁石アレイを有する電磁超音波センサを独自に開発して実証した。群速度の測定による損傷評価はこれまでに存在しない。

さらに、一連の研究においてガイド波の無端面反射現象を発見した。板厚が徐々に減少する試料ではガイド波が端面に達する前にカットオフ板厚部において全反射する現象である。注目すべき点は、反射時に極めて高い超音波エネルギーの集中が起こり、局所的に高い振幅が発生する。つまり、局在化する。これまでこのような現象に関する報告はなく、新奇な音響現象として今後の展開が期待される。

以上のように、本論文では綿密な音響測定と理論解析に基づいて、工業的に重要な配管検査の新技术法を提示している。定量的非破壊検査に関する研究に新しい指針を提案するものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。