

# マイクロ波を用いた配管広域一括検査技術の開発

Development of a nondestructive testing method using microwaves to the rapid inspection of pipes

東北大学	橋爪 秀利	Hidetoshi HASHIZUME	Member
東北大学	遊佐 訓孝	Noritaka YUSA	Member
東北大学	佐々木 幸太	Kota SASAKI	
東北大学	片桐 拓也	Takuya KATAGIRI	

This paper introduces the recent progress in the development of a microwave nondestructive testing method, aiming at the rapid and long-range inspection of a pipe, in the authors' group.

**Keywords:** electromagnetic nondestructive testing, finite element simulation, network analyzer

## 1. 緒言

原子力プラントに限らず大規模構造物において配管は重要な役割を担っており、その破損は当該構造物の主要機能の喪失のみならず重大事故にもつながり得るものである。配管には、内部流体との相互作用などにより種々の劣化が生じうるため、定期的な非破壊検査活動による劣化の早期検出とそれに基づく適切な対応が必要不可欠である。しかしながらその一方、現状主として用いられている非破壊検査技術は得られる情報が局所的であるため、長大な配管の検査には時として多大な費用と労力が必要となるということが、大規模構造物の保全活動のさらなる合理化・高信頼化に向けての課題となっている。

このような状況を鑑み、著者の研究グループにおいては約15年前よりマイクロ波を用いた配管の広域一括探傷技術の開発研究を行っている[1-3]。これは管内に伝播するマイクロ波の伝播挙動は管内壁の様相に依存しうることに基づき、管内にパルスとして入射させたマイクロ波の反射及び透過の様相から管壁に存在するきずの検出を行うというものである。マイクロ波は管内をごく低損失かつ高速に伝播するため、原理的には配管の広域一括探傷が可能となる技術と期待され、また同様に配管の広域一括探傷技術であるガイド波と比して検査に用いる機器の取り付けが容易であり、原理的に管支持構造物の影響を受けないという特徴を有する。

連絡先: 橋爪☆秀利、〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01-2、東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻

E-mail: hidetoshi.hashizume@qse.tohoku.ac.jp

本稿においては、著者の研究グループにおける、近年のマイクロ波探傷法に関する研究において得られた成果のいくつかを紹介する。

## 2. 信号処理手法の開発<sup>[4]</sup>

管内を伝播するマイクロ波の伝播速度は周波数依存性(分散)を有するため、管内にパルスとしてマイクロ波を入射させた場合でも伝播距離と共にパルス波の形は徐々に崩れ不明瞭なものとなってゆくという特徴がある。そのため、マイクロ波探傷法においては遠方のきずからの反射波ほど信号が不明瞭なものとなってゆき、また反射波の飛行時間(Time of Flight)を定量的に評価することが難しくなる。

このような問題の解決のため、マイクロ波の伝播速度の理論解に基づき、反射波を周波数成分に分解した後、各成分の位相をマイクロ波の伝播距離に応じてずらしたのちに再び時間領域の信号に変換することで、分散を補償し、もって信号を明瞭化する信号処理手法を開発した。当該信号処理は信号の明瞭化のみならずその処理過程においてきず位置を定量的に推定することも可能ならしめるものである。

## 3. 効率的なマイクロ波入射法の検討<sup>[5]</sup>

パルスとしてマイクロ波を管内に入射させるマイクロ波探傷法においては、広帯域にわたってマイクロ波を管内に効率的かつ単一の伝播モードが支配的となるように入射させることが明瞭なきず信号を得るために重要な

る。従来これは口径が大であるほど困難であったのだが、マイクロ波入射部に適切な曲率を施すことで、効率的に管内にマイクロ波を入射・伝播させることが可能となることを明らかとし、対象とする管の口径に応じたマイクロ波入射部の設計指針を提唱した。

#### 4. 長尺配管への適用性評価<sup>[6,7]</sup>

マイクロ波探傷法による探傷可能距離評価のため、最長約30mの配管等を用いての測定試験を実施し、マイクロ波入射部から25mほど離れた箇所配置した人工全周減肉からの明瞭な信号を確認することに成功した。加えて、きずによる反射波がマイクロ波の伝播距離と共に減衰する程度は、対象とする配管の口径と電磁気的特性、そして管内表面の粗さに主として依存することを明らかとし、管内伝播マイクロ波エネルギーの減衰に基づく、信号の減衰評価式を提唱した。評価式により得られた値は、実際の探傷試験結果によるものと良好な一致を見せるものであった。

#### 5. 軸方向割れ検出のためのTEモード伝播技術の開発<sup>[8]</sup>

割れは減肉と並んで配管の重要な劣化であるが、マイクロ波探傷法の観点からは、単純にその体積が小であることによる検出の困難さに加えて、検出感度が割れの向きに依存するという特徴がある。より具体的には、TMモードのマイクロ波に対しては周方向の割れの、TEモードのマイクロ波に対しては軸方向の割れの検出性が高いという特徴がある。これは管壁に誘導される電流の分布より容易に推察される事柄であるが、従来TMモードのマイクロ波は比較的容易に伝播させることが可能であった一方で、TEモードのマイクロ波を伝播させることは難しく、よってマイクロ波を用いた配管広域一括探傷技術では配管に発生することが多い軸方向を向いた割れの検出性は高いとは言い難いものであった。

近年の研究により、管の周方向に等間隔にマイクロ波の入射部を配置し、各入射部から同一強度・同位相のマイクロ波を入射することにより、比較的広い周波数帯にわたって管内にTEモードのマイクロ波を伝播させられることを見出した。実際に当該形状のマイクロ波入射部を製作し、約10mの直管を用いた検証試験を行ったところ、従来は検出が困難であった軸方向スリットからの明瞭な反射波を確認することができた。

## 6. 結言

マイクロ波を用いた配管内壁広域一括探傷技術に関する近年の研究成果を報告した。現状、対象とする配管の径及び材質にも依存するものの、対象とするのが直管に発生した減肉であれば、実機に発生する減肉のように端部がなだらかなものであったとしても、20m程度の直管を瞬時に検査することが可能<sup>[7]</sup>なレベルに達している。現在、割れのようなさらに微細なきずに対しての検討を主として進めているところである。

## 参考文献

- [1] K. Sugawara, H. Hashizume, S. Kitajima, "Development of NDT method using electromagnetic waves", JSAEM Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 10, 2001, pp. 313-316.
- [2] H. Hashizume, T. Shibata, K. Yuki, "Crack detection method using electromagnetic waves", Int. J. Appl. Electromag. Mech., Vol. 20, 2004, pp. 171-178.
- [3] K. Abbasi et al., "Prove the ability of microwave nondestructive method combined with signal processing to determine the position of a circumferential crack in pipes", Int. J. Appl. Electromag. Mech., Vol. 28, 2008, pp. 429-439.
- [4] Y. Sakai et al., "Nondestructive evaluation of wall thinning inside a pipe using the reflection of microwaves with the aid of signal processing", Nondestr. Test. Eval., Vol. 27, 2012, pp. 171-184.
- [5] K. Sasaki et al., "Optimized microwave excitation probe for general application in NDT of wall thinning in metal pipes", NDT&E International, Vol. 70, 2015, pp. 53-59.
- [6] K. Sasaki et al., "Demonstration of the applicability of nondestructive microwave testing to the long-range inspection of inner-surface cracks in tubes", Materials Transactions, Vol. 58, 2017, pp. 692-696.
- [7] K. Sasaki et al., "Experimental verification of long-range microwave pipe inspection of using straight pipes with lengths of 19-26.5 m", NDT&E Int. (投稿中)
- [8] T. Katagiri et al., "Non-destructive testing using microwave in TE mode for detecting axial cracks in a metal pipe", Electromagnetic Nondestructive Evaluation (XX), IOS Press (受理済)