

マイクロ波を用いた配管減肉の位置検出に関する基礎研究

The basic study of microwave testing for locating wall thinning in pipes

東北大学量子エネルギー	酒井 康智	Yasutomo Sakai	Student Member
東北大学量子エネルギー	遊佐 訓孝	Noritaka Yusa	Member
東北大学量子エネルギー	橋爪 秀利	Hidetoshi Hashizume	Member

In this paper, inspection of the wall thinning in pipes with microwave is studied. Experimental verifications are carried out to demonstrate that the response of microwave, time of flight, enables one to locate wall thinning. One of the advantages of this method is that whole pipe is evaluated at once. Values of time of flight obtained by the experiments agree well with theoretical ones.

Key words: Electro magnetic wave, Piping system, wall thinning, Broad area inspection

1. 序論

化学プラント等の配管群に対する検査の高速化は、非破壊検査における重要な課題のひとつである。既存技術の大半はプローブ近傍における探傷を行うためのものであるが、大規模構造物における複雑かつ長大な配管系の検査においては、プローブを移動させることなく、配管を広範囲にわたって一度に検査することができる技術が望まれている。

そのような技術の一つとして、現在、主にガイド波を用いた手法が研究されている。ガイド波は管壁を長手方向に伝播するため、広範囲の検査が行えるという特徴がある^{[1][2][3]}。しかしながら、配管の接続部での反射等、実用上の問題点も少なくはない。同様に広範囲の検査が可能である検査手法として、マイクロ波を用いた検査法が研究されている^{[4][6]}。これは配管群を導波管とみなし、マイクロ波の反射及び透過から欠陥の検出及び評価をおこなうものであり、マイクロ波が導体に囲まれた自由空間を低損失で伝播することから、配管接続部の影響をうけることなく、広範囲の検査が行えると考えられている。最近の研究により配管内部の減肉によってマイクロ波の周波数応答が有意に変化すること、またをマイクロ波の透過エネルギーから評価することが可能である可能性が高いことが数値解析により確認された。しかしながら、体系が単純化されている、時間応答については十分に検討がなされていないなどの、実用面での課題は依然として大である。

以上の背景により、本研究においてはマイクロ波の時間応答からの減肉検出能評価のため、ネットワークアナライザおよび模擬試験体を用いた検証試験を実施する。

2. 手法

配管を導波管とみなした場合、ある特定の周波数以上のマイクロ波は配管内をほぼ減衰せずに伝播する。しかしながら、減肉等の損傷はマイクロ波の伝播特性を変化させ、減衰とともに反射波を生じさせる。この反射波を観測し、その伝播速度と観測された時間(time of flight, TOF)によって反射波が生じた位置、すなわち減肉の位置が特定できると考えられる。

図1に検証の為の実験体系を示す。体系は配管を模擬した長さ1120mmの真鍮管と、その端部に取り付けられたマイクロ波入射のための同軸コネクタおよびケーブルからなる。同軸コネクタはアンリツ製K-101F、同軸ケーブルは同じくK-118であり、真鍮管に取り付けるために真鍮板に半田付されている。マイクロ波はport1より発振され、port1およびport2へ伝播する。マイクロ波の発振および計測はネットワークアナライザ(Agilent PNA, E8363B)によって行われる。周波数は10GHzから25GHzに設定した。管内の減肉は矩形断面を持つ全周減肉であり、減肉の位置は管端部から290mmと790mmの2通りについて実験を行った。尚、本研究ではマイクロ波の測定は周波数領域において行われるので、逆フーリエ変換によって時間領域のデータを取得する。

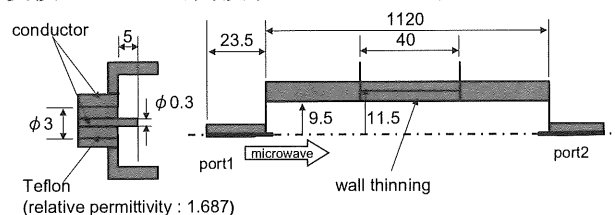


Fig. 1 the experimental model

3. 結果と考察

図2に各種条件下での時間領域での反射波の計測結果を示す。図から明らかなように、減肉によって反射波に大きな違いが表れていることが分かる。TOFからの減肉位置評価について検討を行うため、

$$TOF = T_{coaxial} + T_{pipe} = \frac{L_{coaxial} \sqrt{\epsilon_r}}{c} + \frac{L_{pipe}}{v_g} \quad (1)$$

$$v_g = c \sqrt{1 - \left(\frac{2.4048 \times c}{2\pi a f} \right)^2}$$

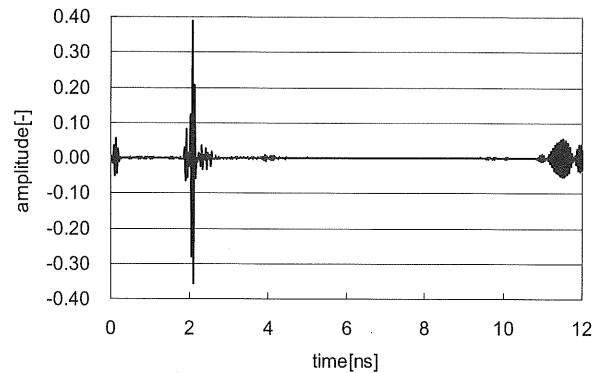
にて与えられるTOFの値と、実際に測定されたTOFの値の比較を行った。ここで、 $T_{coaxial}$ は同軸ケーブル及びコネクタ部をマイクロ波が通過する時間、 T_{pipe} はコネクタ部から減肉部までをマイクロ波が配管内部を伝播する時間である。 c は光速、 ϵ_r は同軸ケーブルの比誘電率、 a は管の半径、 f は周波数である。 v_g は管内でTM01モードが支配的であるとして計算したが、実際には管内でのマイクロ波の伝播速度は周波数依存性を持つので、最も透過エネルギーが大である17GHzと伝播速度が速い25GHzのときのTOFを計算し、この2つの値を上限値と下限値とした。図2において減肉からの反射波の立ち上がりは理論的に求められたTOFの範囲の中に納まっていることが確認できる。このことから、マイクロ波は確かに減肉において反射していること、TOFを用いて減肉の位置特定を行える可能性があることが明らかになった。また、減肉からの反射波の振幅は減肉の位置が遠くなるに従い小さくなった。これは管内の分散によるものであると考えられ、より長い配管への応用を考えるときに、減肉からの信号が小さくなるなどの問題が考えられる。

4. 結論

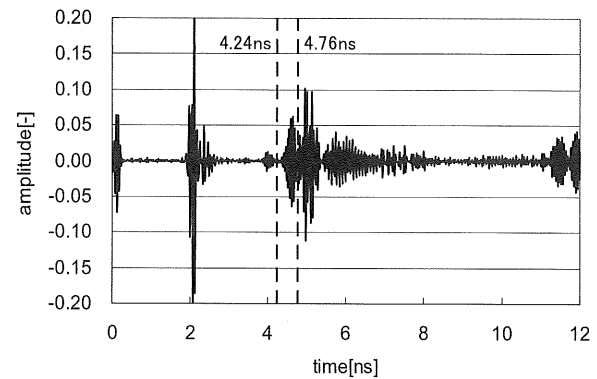
マイクロ波を用いた減肉の位置特定について実験を行った。マイクロ波の伝播速度と減肉からの反射波の観測される時間からマイクロ波の位置特定が行える可能性が示された。配管内部を伝播するマイクロ波のモードを定量的に把握し、実効的なTOFを定義すると共に、分散による信号の減少を抑えることで、より精度の高い評価が可能になると考えられる。

参考文献

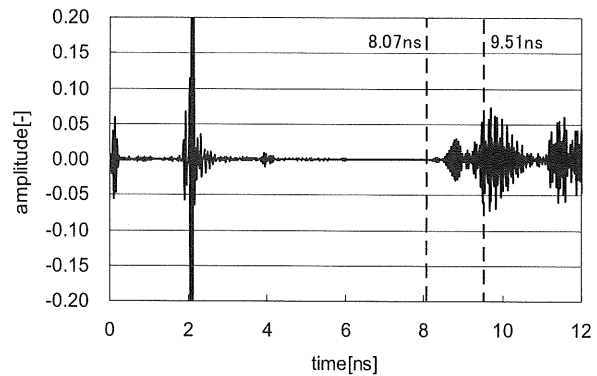
- [1]D. N. Alleyne, M. J. S. Lowe, P. Gawley, The reflection of guided waves from circumferential notches in pipes, *Journal of Applied Mechanics* 65 (1998) 635-641.
- [2]P. D. Wilcox, A rapid signal processing technique to remove the effect of dispersion from guided wave signals, *Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 50 (2003), 419-427.
- [3]Joon-Hyun Lee, Seung-Joon Lee, Application of laser-generated guided wave for evaluation of corrosion in carbon steel pipe, *NDT&E*



(a) Without wall thinning



(b) Location 290mm



(c) Location 790mm

Fig. 2 Reflection of each condition

International 42 (2009) 222-227

[4]Kavoos Abbasi, Study of Microwave Nondestructive Technique to Detect Crack and Predict Its Location in Piping System, Tohoku University Doctoral Dissertation, (2007)

[5]Y. Ju, L. Liu, M. Ishikawa. Quantitative evaluation of wall thinning of metal pipes by microwaves. *Materials Science Forum* 614 (2009), 111-116

連絡先：酒井康智

東北大学橘爪・江原・遊佐研究室

〒980-8579

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01-2

Tel/Fax 022-795-7906