

# マイクロ波時間領域測定法を用いた配管減肉計測の周波数依存性

Frequency Dependence in the Measurement of Pipe Wall Thinning Using Time-Domain Microwave Testing

名古屋大学大学院工学研究科 近藤 佑輔 Yusuke KONDO  
名古屋大学 細井 厚志 Atsushi HOSOI  
名古屋大学 巨 陽 Yang JU

Position of pipe wall thinning was evaluated quantitatively by using time domain measurement of microwaves, and the influence of the measurement sensitivity due to the frequency band of microwaves was investigated. Microwave signals having different frequency bands of 10MHz to 40GHz and 10MHz to 67GHz were transmitted from the terminal of a straight line copper pipe, and the change in the response of the reflected signals was measured. By selecting the narrower frequency band, the measurement noises were alleviated, and the reflected signals at the both ends of the wall thinning were detected successfully. It was found that the position and length of the wall thinning could be evaluated with higher precision by selecting the appropriate frequency band.

Keywords: Microwave, Nondestructive evaluation, Wall thinning, Pipe, Time domain

## 1. 緒言

近年、配管減肉に起因した事故がたびたび報告されている。安全・安心な社会を構築するため、高経年エネルギー機器の状態監視技術の更なる高度化は必要不可欠である。その中でも、配管の状態監視技術の実現は、そのニーズが非常に高いにもかかわらず、いまだ確立されていない状況にある。

これまで円型導波管内マイクロ波の伝播原理に基づき、マイクロ波を配管内に伝播させ、マイクロ波の波長が配管の内径に依存する特徴を利用して計測を行った。この手法は、減肉量に伴い変化する共振周波数を測定することにより、広範囲、高速かつ簡便に減肉量を定量評価できる。しかし、この手法では、減肉の位置を特定することは難しい。そこで、時間領域測定法を用いることにより減肉位置の評価を試みた。本研究では、配管内に伝播させるマイクロ波の周波数帯に対する測定感度の影響を調査し、減肉位置を定量的に評価することを目的とした。

## 2. 測定原理

時間領域測定とは、ある周波数領域におけるマイクロ波信号の応答を時間領域に変換する手法であり、マイクロ波信号の波形の変化からマイクロ波が反射された位置を特定することができる。周波数領域として得た結果に逆フーリエ変換を適用することで、マイクロ波が欠陥や端部で反射した時間を測定することが

できる。配管内径が変化する箇所では、特性インピーダンスが変化し、マイクロ波が反射される。その反射波を検知することによって減肉の位置を特定することが可能となる。

## 3. 実験方法

Fig. 1 はマイクロ波による配管減肉測定システム写真を示している。本実験では、長さ 900 mm、内径 17 mm、肉厚 1 mm の軸対称の直線銅配管を用いた。配管の一端は、マイクロ波同軸ケーブルセンサと接続され、もう一端に長さ 17 mm の減肉ジョイント及び長さ 51 mm の配管延長ジョイントを接続した。減肉ジョイントは減肉率の 3 % から 80 % のものを使用した。さらに、マイクロ波信号の反射によって配管端部の位置を確認するために、脱着可能な金属の短絡キャップを装着し、配管端部で短絡端を形成した。Fig. 2 に配管のモデル図を示す。

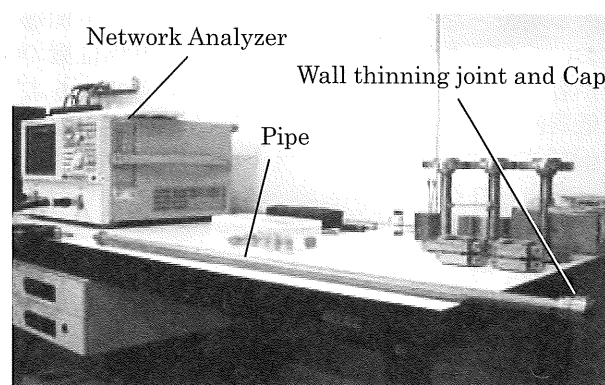


Fig. 1 Photograph of wall thinning measurement system

連絡先: 巨 陽  
名古屋大学大学院工学研究科  
〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町  
E-mail: ju@mech.nagoya-u.ac.jp

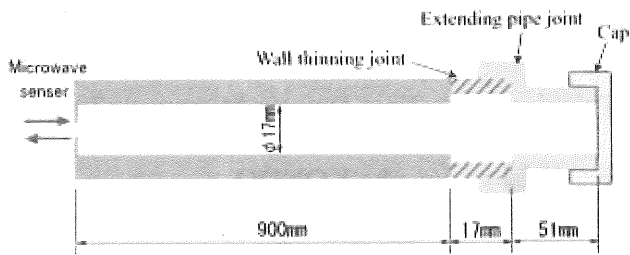


Fig. 2 Model of a pipe with a wall thinning joint, extend pipe joint and a cap

#### 4. 実験結果及び考察

Fig. 3 及び Fig. 4, Fig. 5 に 10 MHz~40 GHz のマイクロ波を伝送した結果、Fig. 6 にこれまでの研究で得られた、10 MHz~67 GHz のマイクロ波を伝送した結果について示す。Fig. 3 は 900 mm 配管にキャップのみを装着した結果、Fig. 4 は Fig. 3 の  $6.0 \times 10^{-9}$  ~  $8.0 \times 10^{-9}$  sec の部分を拡大した波形である。Fig. 5 は 900 mm 配管に 20% の減肉ジョイント及び配管延長ジョイント、キャップを装着した結果を示す。Fig. 3 より配管のセンサー側端部と減肉ジョイント側端部の反射によるピークが確認できる。配管のセンサー側端部の最大ピークは 0.42 nsec、減肉ジョイント側端部の最大ピークは 7.12 nsec となった。このマイクロ波の伝播距離は 1800 mm であるため、今回の配管の内径、伝播モードによるマイクロ波の伝播速度が求められる。この伝播速度を考慮して Fig. 5 の丸で囲まれている部分を Fig. 4 の丸で囲まれている部分と比較すると、配管延長ジョイント端部による反射であることがわかり、四角で囲まれている 2 つのピークは減肉ジョイントと配管及び配管延長ジョイントとの接続部による反射であることが確認でき、減肉長さの評価も可能である。また、その他の減肉ジョイントを取り付けた場合の結果も同様の結果となった。

Fig. 6 は Fig. 5 と同じ配管を用い、10 MHz~67 GHz の周波数帯で測定された結果である。丸は端部による反射、四角は減肉ジョイントによる反射を示す。Fig. 5 と Fig. 6 を比較すると、周波数帯が狭い Fig. 5 の方はノイズが低減され、減肉ジョイントの両端部における反射が明瞭となった。さらに、減肉ジョイント側端部におけるピークが 1 つになったことで、減肉位置の測定が容易になった。この原因は Fig. 5 には Fig. 6 よりも低周波のマイクロ波を伝播させているため、配管内を伝播するマイクロ波のモードが少なくなったためだと考えられる。

#### 5. 結言

減肉部による影響が測定可能な分解能を保ちながら、ノイズを可能な限り低減させるように選定した周波数帯を持ったマイクロ波を配管内に伝播させることにより、減肉位置を定量的に評価可能であることがわかった。

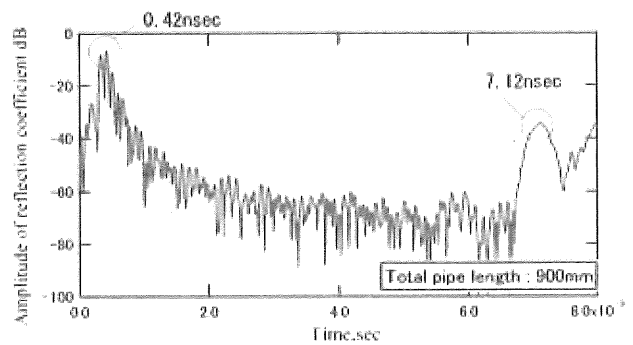


Fig. 3 Relationship between the amplitude of reflection coefficient and the time without the wall thinning joint (with the cap, 10 MHz~40 GHz)

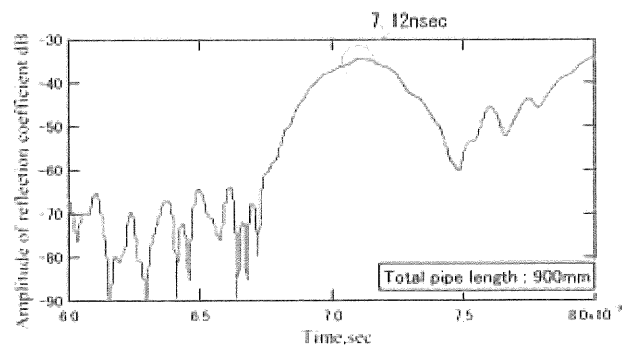


Fig. 4 Relationship between the amplitude of reflection coefficient and the time without a wall thinning joint (part of Fig. 3, with the cap 10 MHz~40 GHz)

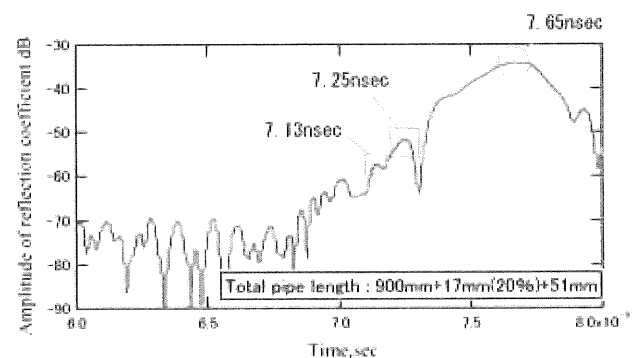


Fig. 5 Relationship between the amplitude of reflection coefficient and the time with 20% wall thinning joint, extend pipe joint and the cap (10 MHz~40 GHz)

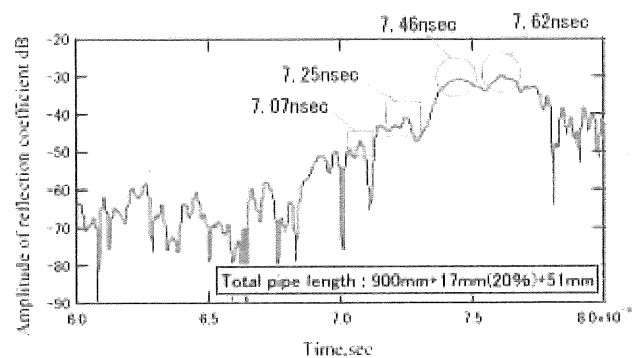


Fig. 6 Relationship between the amplitude of reflection coefficient and the time with 20% wall thinning joint, extend pipe joint and the cap (10 MHz~67 GHz)