

# 配管減肉のモニタリングと予測に基づく配管システムのリスク管理

## (4) 電磁超音波共鳴法による配管減肉測定のためのデータ処理方法

Piping System, Risk Management based on Wall Thinning Monitoring and Prediction  
(4) Data Processing Methods of Pipe Wall Thinning Measurement by Electromagnetic Acoustic Resonance (EMAR)

東北大学流体科学研究所	孫 宏君	Hongjun SUN	Member
東北大学流体科学研究所	浦山 良一	Ryoichi URAYAMA	Member
東北大学流体科学研究所	内一 哲哉	Tetsuya UCHIMOTO	Member
東北大学流体科学研究所	高木 敏行	Toshiyuki TAKAGI	Member

**Abstract.** The electromagnetic acoustic resonance (EMAR) method with an electromagnetic acoustic transducer (EMAT) is proposed for pipe wall thinning measurement in the previous study. In this study, the Cepstrum method is proposed to process the data obtained by an EMAR method, and it is compared with the previous autocorrelation function (ACF), superposition of  $n^{\text{th}}$  compression (SNC), multiplication of  $n^{\text{th}}$  compression (MNC) methods. The Cepstrum method can evaluate the thickness range of the specimen under EMAT. Also, the thickness difference between the maximum and minimum thicknesses calculated by the Cepstrum method might evaluate the uneven thickness condition of the specimen.

**Keywords:** Electromagnetic acoustic resonance, Electromagnetic acoustic transducer, Cepstrum, Autocorrelation function, Superposition of  $n^{\text{th}}$  compression, Multiplication of  $n^{\text{th}}$  compression.

### 1. はじめに

福島第一原発において、廃止措置のデブリ取り出しなどの作業に伴い、冷却水の循環が必要である。冷却水の流路とする配管の保全是重要な課題である。そのため、電磁超音波探触子(EMAT)を用いた電磁超音波共鳴法(EMAR)で肉厚をモニタリングする技術が提案されている[1]。EMAR 法は試験片にバースト波を特定周波数ごとに掃引し、共鳴周波数のピークを探すことにより肉厚を測定する手法である。しかし、EMAR 法を腐食された試験片に適用する場合、共鳴周波数の近くに複数のピークや散乱のピークが出る[2]。Takagi ら[1, 3]はデータ処理のために自己相関法(ACF)、N 周期加算法(SNC)及びN 周期乗算法(MNC)を提案している。

本論文はデータ処理に用いられるケプストラム(Cepstrum)法を EMAR による肉厚測定に適用することを提案し、ケプストラム法を含めて各データ処理方法を比較する。

### 2. データ処理方法

ACF は信号自身との関係を反映できる。特に、信号の周期的特性を表現する。SNC 法は周波数軸を  $1/n$  に圧縮し、複数のピークを基本共鳴周波数に重ねる方法である。

$$f_1 = \operatorname{argmax}_f \left\{ \sum_n X(nf) \right\}$$

ここで、 $f_1$  は基本共鳴周波数、 $X(f)$  はスペクトル強度、 $n$  は  $n$  番目の共鳴ピーク、 $\operatorname{argmax}$  はスペクトル強度が最大の時の周波数である。MNC 法も周波数軸を  $1/n$  に圧縮し、複数のピークを基本共鳴周波数に連乗する方法である。

$$f_1 = \operatorname{argmax}_f \left\{ \prod_n X(nf) \right\}$$

一般に Cepstrum 法は時間領域信号のフーリエ変換の対数をフーリエ逆変換するが、EMAR 法では振幅のスペクトルを評価するので、次のように Cepstrum を定義する。

$$\text{Cepstrum} = |F[\log\{|F^{-1}\{X(f)\}|^2\}]|^2$$

ここで、 $F[\cdot]$  はフーリエ変換、 $F^{-1}[\cdot]$  はフーリエ逆変換である。

### 3. 実験と考察

参考文献[3]の EMAR による肉厚測定の結果を使用し、データ処理を適用する。試験片は火力発電所の炭素鋼の配管を切り出したものである。配管のパラメータと測定点の分布をそれぞれ Fig. 1 と Fig. 2 に示す。比較のため、超音波厚さ計(UDM-570DL/帝通電子研究所)を用いて同じ測定点の肉厚を測定している。

Fig. 3 は ACF、SNC 及び MNC で処理した EMAR 法の

測定結果と超音波厚さ計の結果比較を示す。Fig. 3(a)により、ACF 法は厚さ 3.5 mm 以上の箇所だけ処理できることが分かった。Fig. 3(b)と(c)により、SNC と MNC 法はすべての測定点を処理できるが、厚さ 3.5 mm 以下の測定点では、両手法の精度が低くなることが分かった。SNC 及び MNC 法は過大評価の傾向がある。

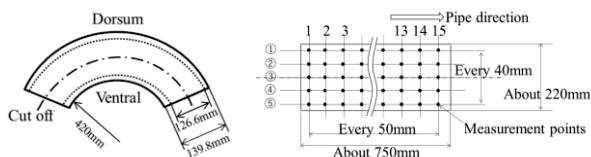


Fig. 1 Pipe shape

Fig. 2 Measurement points

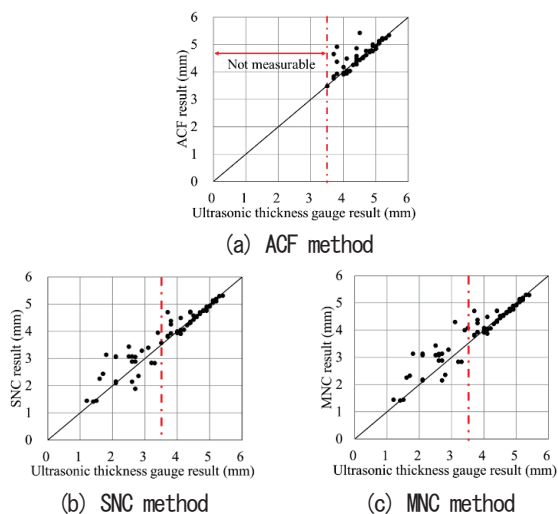


Fig. 3 Comparison of ACF, SNC, MNC and thickness gauge

振幅のスペクトルのフーリエ逆変換は時間領域の信号になり、その重要な情報は時間軸の前半にある。従って、Cepstrum 法を適用する時、指数関数を時間領域の信号に掛け[4]、重要な成分を得る。また、腐食された試験片は厚さが不均一となるため、EMAR 法の各共鳴周波数は一定の厚さに対応するわけではない。Cepstrum 法は非線形の変換を通して、信号の各共鳴周波数に強調するため、各共鳴周波数を特定できる。従って、EMAT 下の試験片の厚さの最大値と最小値をある程度評価できる。Fig. 4(a)により、Cepstrum 法により得られた最小厚さは超音波厚さ計の結果より小さい傾向がある。Fig. 4(b)は Cepstrum 法により得られた最大厚さを示す。Fig. 4(c)は Cepstrum 法により評価された最大厚さと最小厚さの差を示す。厚さ 4 mm 以下の測定点では、腐食が進むことで厚さの差が大きくなり、不均一性が強くなることが分かった。

#### 4. まとめ

本研究では Cepstrum 法を EMAR による肉厚測定に適

用することを提案した。また、データ処理の各手法の原理を示し、比較した。Cepstrum 法は EMAT 下の試験片の不均一な厚さの範囲を評価することができ、その評価された最小厚さは超音波厚さ計の結果より小さいことが分かった。最大厚さと最小厚さの差により、試験片の厚さの不均一性を評価できる可能性がある。

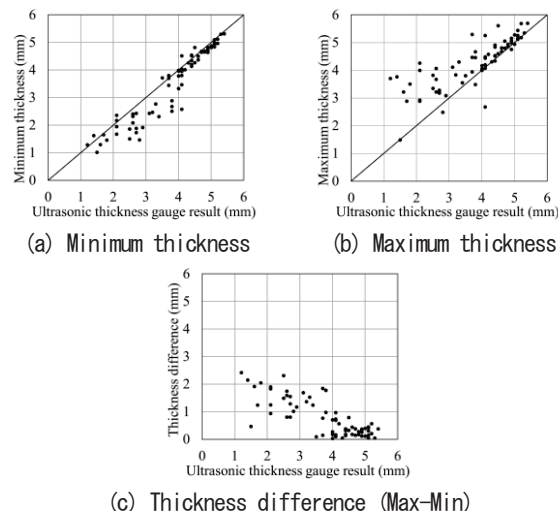


Fig. 4 Comparison of Cepstrum and thickness gauge

#### 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18J11863 及び「文部科学省英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業(日仏)」により実施された「配管減肉のモニタリングと予測に基づく配管システムのリスク管理」の成果である。

#### 参考文献

- [1] T. Takagi, R. Urayama, T. Ichihara, T. Uchimoto, T. Ohira and T. Kikuchi, "Pipe wall thinning inspection using EMAR", Nucl Eng Int, Vol.58, 2013, pp.18-21.
- [2] 孫宏君、浦山良一、小島史男、橋本光男、内一哲哉、高木敏行、Gerd DOBMANN、「連続波とパルス波の電磁超音波共鳴法による配管減肉検査の比較」、日本 AEM 学会誌、Vol.26、2018、pp.312-319.
- [3] H. Sun, R. Urayama, T. Uchimoto, L. Udpa, T. Takagi, K. Kobayashi, "Data Processing Method for Thickness Measurement Using Electromagnetic Acoustic Resonance", ENDE Workshop, Detroit, USA, 2018.
- [4] Robert B. Randall, "A history of cepstrum analysis and its application to mechanical problems", Mech Syst Signal Process, Vol.97, 2017, pp.3-19.