

# 配管減肉測定の高度化を目指した焦点型電磁超音波探触子の開発

Development of point focusing electromagnetic acoustic transducer for accurate pipe wall thinning measurement

東北大学大学院 工学研究科	手塚 晃世	Akitoshi TEZUKA	Member
東北大学大学院 工学研究科	孫 宏君	Hongjun SUN	Member
東北大学 流体科学研究所	浦山 良一	Ryoichi URAYAMA	
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

Electromagnetic acoustic transducer (EMAT) generates ultrasonic wave without direct contact with the specimen. This feature allows EMAT to be used under higher temperature environment compared with piezoelectric transducer, which means EMAT has a potential to be applied to monitoring of the piping system of operating power plants. However, the conventional EMAT may read thicker than the actual thickness of the pipe wall in the case of degraded pipes with rough surface. This is because the reflected signal is read under the area of the coil. Therefore, observed signal is the average result under the area. To overcome this drawback of conventional EMAT, Point Focusing EMAT (PF EMAT), which concentrates ultrasonic wave at specific point, is applied to thickness gauging. After the fabrication of two types of PF EMATs, the focus on the bottom of the surface was evaluated using piezoelectric transducer. Then, the PF EMAT was applied to thickness gauging on flat plate sample.

**Keywords:** Nondestructive testing, Ultrasonic testing, Electromagnetic acoustic transducer, Point Focusing EMAT, Pipe wall thinning, Flow accelerated corrosion

## 1. 緒言

近年、日本の原子力発電所は、43基のうち21基がその設計使用年数である30-40年を迎えている<sup>[1]</sup>。このような原子力発電所での課題として、配管減肉が挙げられる。配管減肉の原因のうち、流れ加速型腐食は局所的な配管減肉を発生させる。また、廃炉中の原子力発電所では、腐食と潰食による局所的な減肉が進行すると考えられている。これらは重大な事故につながる恐れがあり、配管減肉を管理する保全活動は重要といえる<sup>[2]</sup>。

非破壊検査手法の一つである超音波厚さ測定法のうち、電磁超音波探触子(Electromagnetic acoustic transducer, EMAT)を用いた方法は高温環境で使用でき、運転中のモニタリングへの応用が期待される。しかし、従来の探触子はプローブと同程度の面積の平均的な厚さを測定する

ため、局所の減肉評価が難しい。そこで、これに代わる探触子として、超音波を局所に集中させる探触子(焦点型 EMAT<sup>[3]</sup>)の配管肉厚測定への応用を検討する。

本研究では、配管減肉測定の高高度化を目的として、焦点型 EMAT の超音波の発生、集束及び受信における特性を評価し、配管の肉厚測定に最適な探触子の形状を検討する。初めに2種類の焦点型 EMAT を設計および試作する。次に、発生した超音波の集束特性を確認するため、試験片裏面から圧電探触子で超音波を受信し、各点での受信信号の最大振幅を2次元平面にマッピングする。最後に、パルスエコー法で試験片厚さを計測する。

## 2. 焦点型 EMAT の設計

焦点型 EMAT は各線音源から発生した超音波の干渉により、ある一点においてSV(Shear vertical)波を集束させる。式(1)に示されるように、 $i$ 番目と $i+1$ 番目の線音源から焦点までの距離の差が半波長分となるときに同位相となり、強め合いとなることを利用する。(Fig. 1 参照)

$$R_{i+1} - R_i = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f} \quad (1)$$

式(1)において  $R_i$  は  $i$  番目の線音源から焦点までの距離、 $\lambda$  は波長、 $c$  は横波の音速、 $f$  は周波数を示す。式(1)を利用して設計した焦点型 EMAT Type 1 と Type 2 をそれぞれ Fig. 2 と Fig. 3 に示す。設計上の周波数は 2 MHz、コイルは 7 巻きとした。

### 3. 焦点型 EMAT の集束特性評価

#### 3.1 実験方法

パルサー・レシーバー(RPR-400, RITECH)によってパルス信号を焦点型 EMAT に印加し、発信された超音波を試験片裏面において振動の面内成分を計測する圧電探触子(2Z2×2SN, KKG 45987)で受信する。試験片には炭素鋼配管を模擬した厚さ 20 mm の SS400 の平板を用いる。試験片表面上 20×20 mm<sup>2</sup> の領域を 2 mm ピッチで計測し、受信信号の最大振幅を各点ごとにマッピングする。

#### 3.2 結果

Fig. 4 (a)および(b)に集束特性評価の結果を示す。(a)は Type 1 を(b)は Type 2 を発信として用いた場合の各点での受信信号の最大振幅を表す。Type 1 は 4×8 mm<sup>2</sup> の範囲に、Type 2 は 2×2 mm<sup>2</sup> の範囲に集束した。ただし、各計測点の最大値の 90%を計測した点を超音波の集束した点とみなす。

### 4. パルスエコー法による厚さ測定

#### 4.1 実験方法

焦点型 EMAT Type 1 および Type 2 で超音波を発生させ、試験片裏面からの反射波を送信 EMAT と同じ面上で受信する。受信には Type 1 を用いた場合にはφ 33.4 mm の垂直型 EMAT を、Type 2 の受信ではφ 20 mm のものを用いる。また、厚さ  $d$  は入力時間と第 1 波の受信時刻の差  $\Delta t$  と SV 波の音速  $c$  を用いて式(2)によって評価される。

$$d = c \times \frac{\Delta t}{2} \quad (2)$$

#### 4.2 結果

送信側に焦点型 EMAT Type 1 を用いた場合には反射波を計測できなかったため、厚さ評価は困難であることが分かった。焦点型 EMAT Type 2 を送信に用いた場合には、反射波を観測でき、試験片の厚さは入力信号を 1 サイクルとしたときは 20.10 mm、4 サイクルとした場合は 20.80 mm と計測された。

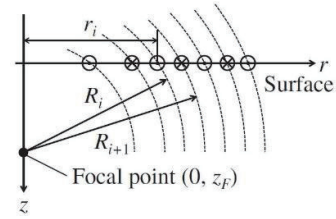


Fig. 1 Cross sectional view of PF EMAT<sup>[3]</sup>

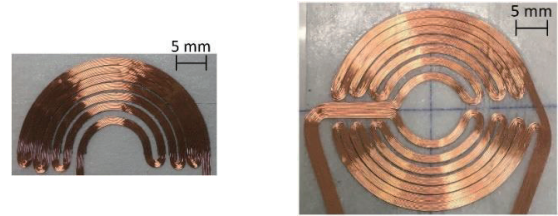


Fig. 2 Handmade PF EMAT Fig. 3 Handmade PF EMAT

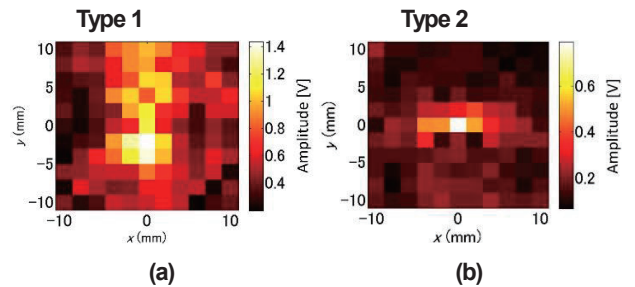


Fig. 4 Received signal amplitude profile of PF EMAT  
(a) Type 1, (b) Type 2

### 5. 結言

配管減肉測定の高度化を目的として、2 種類の焦点型 EMAT を試作し、超音波の発生、集束および受信の特性を評価し、パルスエコー法による厚さ測定をおこなった。Type 1 は超音波を 4×8 mm<sup>2</sup> の範囲に集束させたが、反射波を受信できなかったため、厚さ測定は困難である。Type 2 は超音波を 2×2 mm<sup>2</sup> に集束させ、Type 1 と比較して集束特性が向上した。反射波による厚さ測定も可能である。

#### 謝辞

本研究の一部は、「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] IAEA, “Nuclear Power Reactors in the World, Reference data Series No. 2, 2017 Edition,” 2017
- [2] 稲田文夫ほか編, “P-SCC II-3, 配管減肉管理高度化に向けた最新技術知見適用化のための調査研究分科会成果報告書,” 日本機械学会, 2012
- [3] T. Takishita, et al., “Development of shear-vertical-wave point-focusing electromagnetic acoustic transducer”, Japanese Journal of Applied Physics Vol.54, 2015, 07HC04