

ハイブリット計測による配管ヘルスマモニタリング法

The pipe health monitoring method by Hybrid measurement using ultrasonic

(独)日本原子力研究開発機構 田川 明広 Akihiro TAGAWA Non Member
(独)日本原子力研究開発機構 上田 雅司 Masashi UEDA Non Member
(独)日本原子力研究開発機構 宮原 信哉 Shinya Miyahara Non Member
(独)日本原子力研究開発機構 山下 卓哉 Takuya YAMASHITA Member

This paper describes the development of a new sensor for the pipe health monitoring. The Hybrid measuring using EMAT was made as a trial. It examined and checked that it could measure.

Keywords: ハイブリット計測, ヘルスマモニタリング, 電磁超音波, パルスエコー法, 電磁共鳴法

1. はじめに

原子力発電所では、安全確保を大前提としながらも、経済性の向上も求められる。そこで、状態監視保全技術の導入が検討され、さまざまな研究が行われている^[1]が、配管等の状態監視技術の確立には至っていない。本研究は、経済性の観点から1つのセンサで配管減肉、配管表面温度、内部流体温度のハイブリット計測が可能で、かつ安全性の観点から運転中でも連続状態監視可能なセンサ開発を実施したものである。本技術の確立により、科学的合理的保全を経済性、安全性ともに向上できる。開発した超音波センサは、電磁超音波探触子（以下、EMAT）を採用した。EMATを用いたモニタリングセンサの開発は行われている^[2]が、ハイブリット計測を可能とする研究はなされていない。EMATは、コイルで誘導した渦電流と永久磁石による磁場との相互作用や磁歪効果により超音波を発生させるため、接触媒質が不要であり高温でも利用できる。

本研究の EMAT は、縦波、横波を1つのセンサで送受信することで、縦波により流体温度、横波により配管板厚、コイルの直流抵抗により配管温度の測定を行うことができる。このように、異なる物理量を同時かつ同一条件で検出し、それぞれ

の計測値を使って誤差を補正することにより、測定精度の向上も図られる。

2. 設計・試作

2. 1 設計条件

センサ設計に必要な温度や板厚などの計測条件の設定には、「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針(PWR)^[3]と関西電力美浜発電所3号機、配管減肉による破断事故の条件^[4]を参考とした。

2. 2 測定フロー

高温用 EMAT センサにより測定を行う場合、温度補正のために別途温度計を取り付けることが必要であった。本研究の EMAT では、コイルの直流抵抗を測定することで、温度を測定し、その温度を用いて音速の補正を行う。補正された音速を用いて板厚を測定し、液体温度を測定する際には、板厚を差し引いた配管内径を用いる。本研究では、水系配管が対象であるため、内部流体は、水とした。測定フローを図1に示す。

温度計、板厚計、水温計が同位置に存在することで、場所による誤差がなくなる。そのため、測定精度は高くなる。

連絡先：田川 明広、〒919-1279 福井県敦賀市白木1丁目、独立行政法人日本原子力研究開発機構
次世代原子力研究開発部門 FBR プラント技術ユニット ナトリウム技術グループ
TEL. 0770-39-1031、tagawa.akihiro@jaea.go.jp

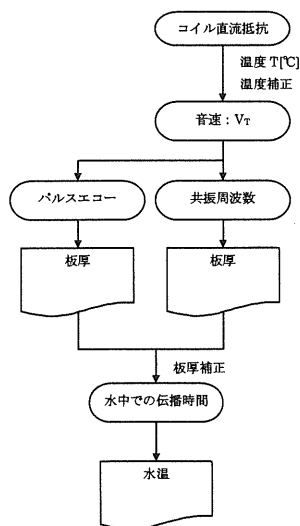


図1 測定フロー

2. 3 センサ試作

センサ配置を考えた場合、図2のような配置となる。

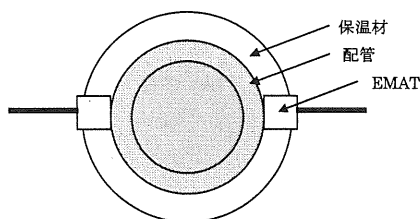


図2 計測系概念

このとき、2個のEMATを配管外面に対面となるように取り付ける。それぞれのセンサから得た信号を図1のフローに従って測定する。

そこで、それらを同時に計測できるセンサを試作した。

2. 4 測定原理

①コイル直流抵抗測定

金属などの導体は温度によって抵抗値が変化することを利用する。

②板厚測定

a)パルスエコー法

超音波が鋼材中を伝播し、多重反射する時間差を利用する。板厚は、(1)式の通り計算できる。

$$T = \frac{(t_{n+1} - t_n)}{2v} = \frac{\Delta t}{2v} \quad (1)$$

T : Thickness (mm)、t : Time (μ s)

v : Velocity (mm/s)

b)電磁超音波共鳴法

超音波が鋼材中を伝播する際の周波数は、鋼材板厚により波の重なる周期(共鳴周波数)が変化することを利用する。板厚は、(2)式の通り計算できる。

$$T = \frac{n\lambda}{2} = n \left(\frac{v}{2f_n} \right) \quad (2)$$

n : Number of resonance、f : Frequency (Hz)

③水温測定

液体中の超音波音速は、温度に依存し変化することを利用する。

3. 試験

3. 1 試験条件

①コイル直流抵抗測定試験

EMATと温度確認用温度計を配置し、試験体をヒータで常温から200°Cまで加熱し、デジタルマルチメータにより直流抵抗値を測定する。

②板厚測定試験

EMATと温度確認用温度計を配置し、試験体をヒータで常温から200°Cまで加熱し、パルスエコー法と電磁超音波共鳴法を用いて板厚を測定する。

③水温測定試験

図2のように温度確認用温度計を配置し、常温から90°C程度までの水温を測定する。更なる高温での測定には水を加圧する必要があるが、本報告では、加圧は実施していない。

3. 2 試験結果

①コイル直流抵抗測定試験

計測は4回実施し、最小二乗法を用いて評価した。また、総変動に対する予測値による変動の比を決定係数 R^2 とした場合、(3)式より99.93%の差で一致していたため、再現性も十分確保できたと考える。

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

y : 測定値 \hat{y} : 推定値 \bar{y} : 平均値

②板厚測定試験

板厚 10mm、常温 (20℃) ~高温 (200℃) での板厚測定を実施。高温では、約 70~80% の感度低下があるものの、測定には十分な感度を得ることができた。しかし、ノイズが高くなり、周波数の分解能も常温に比べて悪い。これは、高温では磁石からの反射感度が相対的に上がることが起因していることが考えられるが、具体的対策や最適化は、今後の課題である。

③水温測定試験

EMAT で測定した水中音速と文献値^[5]を比較した。その結果、測定値と文献値は非常によく一致した。

4. まとめ

EMAT を用いた、ハイブリット計測センサの試作を実施した。本センサを用いて配管表面温度、配管板厚、水温の測定が可能である。

5. 参考文献

- [1] 例えば、原子力 eye vol.54 No.4, 2008
- [2] Akihiro TAGAWA, Kazunari FUJIKI, Takuya YAMASHITA, Investigation of the on-line monitoring high accuracy sensor for a pipe wall thinning, Short paper proceedings of 13th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics pp.243-244
- [3] 美浜発電所 3 号機事故の概要と原因
(http://www.kepco.co.jp/notice/mihama/jiko_img/gaiyoyu.pdf)
- [4] 「原子力設備 2 次系配管肉厚の管理指針(PWR)
- [5] 超音波技術便覧 (新訂版) 1991 年 6 月 25 日 新訂 8 刷発行