

薄膜圧電センサを用いたモニタリングシステムの開発

1. はじめに

プラントにおいて、配管の腐食およびエロージョンによる減肉現象は良く知られており、肉厚の監視が重要である。多くのプラントでは、法令や客先設備管理基準に従い、定検中に膨大な箇所の定点測定を行っているが、都度、検査員が測定箇所に行き、肉厚測定を行っている。また、測定の度に測定位置が微妙にずれることにより、測定精度に影響する懸念がある。

当社では薄膜圧電センサを用いたモニタリングシステムの開発を行っている。このシステムは薄膜圧電センサを肉厚測定ポイントに常時取り付けておくことで、遠隔にて肉厚測定値の確認が可能になるものである。モニタリングシステムによる測定は、測定位置のずれ等による測定値のばらつきや減少、付帯工事を含む工事費用の削減などが期待される。

本稿では、2項および3項に超音波厚さ測定に関する基礎知識、4～6項に開発中の薄膜圧電センサや薄膜圧電センサを使用したモニタリングシステムについて紹介する。

2. 超音波厚さ測定^{1,2)}

厚さを測定するためには、ノギスやマイクロメータなどを使用する機械的な測定方法が一般的である。機械的な測定法では、必ず二点を挟むことを必要とするため、大型構造物や配管などでは、これらの方法が適用できない。

超音波を利用した厚さ測定方法は、片面からの適用

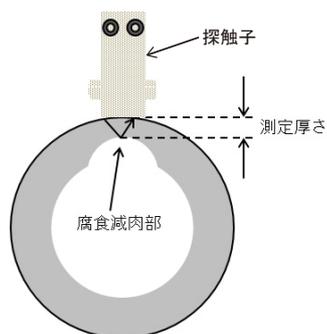


図1 配管肉厚の超音波厚さ測定

で、構造物や配管の厚さ測定 (図1) を可能としたものである。

2.1 超音波厚さ測定の原理

超音波厚さ測定の測定方式は、一般的にはパルス反射法が用いられている。パルス反射法による超音波厚さ測定では、測定面に探触子を配置し、超音波パルスが、測定物の厚さ方向に伝搬し、裏面で反射することを利用して、この測定物の厚さ方向に往復する時間を測定し、測定物の音速を乗じて厚さに換算する。

2.2 探触子

探触子の役割は、探触子の中に組み込まれた振動子により超音波を送受信することである。

超音波は、圧電素子にパルス電圧を加えることで伸び縮みの振動 (共振) によって発生する (送信)。また、この圧電素子は、力が加わると電圧を生じる性質があり、超音波振動を電気信号に変換することができる (受信)。

探触子の基本の構造は、圧電特性を持つ振動子、前面板、ダンパ材をケースに収納したものである。

2.3 接触媒質

接触媒質は、超音波を探触子と試験体との間で効率良く送受信するために使用され、主に液体状のものであり試験体表面の探触子接触面に塗布して使用する。

接触媒質の種類は、グリセリン、グリセリンペースト、マシン油、水および横波専用のものがあり、用途に応じて選択する。

3. 高温厚さ測定¹⁾

超音波厚さ測定を実施する場合の高温とは、一般に測定物の表面温度が50℃を超える場合である。一般的な探触子は、使用可能温度を超えると、振動子を貼り付けている接着剤が劣化し、振動子をはがれ、故障してしまう。そのため、高温環境下で使用可能な探触子を使用しなければならない。

また、通常の接触媒質は、高温によって蒸発してしまい、接触媒質としての役割を果たさなくなってしまうため、必ず高温専用の接触媒質を適用しなければならない。

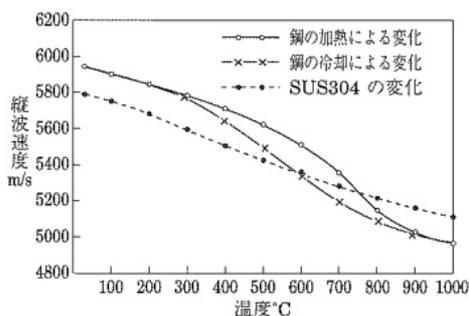


図2 鋼材の温度による縦波音速の変化の測定例³⁾

音速も常温の時と比べて変化している。図2に温度による音速の変化の状況を示す。温度が高くなると測定物の音速は遅くなるため、表示された肉厚値に対して音速の違いを補正しなくてはならず、測定物の温度による音速変化を知っておく必要がある。

4. 薄膜圧電センサ

薄膜圧電センサは、従来の探触子に比べ薄く、柔軟性があり、高温環境下でも連続使用が可能である。センサの厚みは1mm以下であり、配管などの曲面に密着させることが可能である。また、センサを構成する材料は、金属とセラミックのみであるため、樹脂などのダンパ材を含む従来の垂直探触子に比べ、高温環境下での耐久性に優れている。遅延材なども必要なく、温度の変動にも強い特性を持っている。図3に薄膜圧電センサと従来の一振動子垂直探触子を示す。

また、チタン酸ジルコン酸鉛を用いたPZTセンサ、チタン酸ビスマスを用いたBiTセンサの2種類を使用している。

4.1 特徴

- 1) 高温で危険な環境での肉厚モニタリングが可能
- 2) 薄く、フレキシブルであるため、狭所への適用が可能
- 3) センサの着脱が不要のため、測定値のばらつきを減少
- 4) 保温材の取り外し・復旧、足場の設置・解体等の付帯作業の削減
- 5) 現場測定作業が削減され、安全面でのリスク低減

4.2 適用

- 1) 材質：炭素鋼，ステンレス鋼，低合金鋼等
- 2) 測定対象：配管，機器
- 3) 配管径：4B～16B（その他は都度検討）
機器：対象物を確認後，取り付けの可否を検討

表1 薄膜圧電センサ仕様

名称	PZTセンサ	BiTセンサ
耐熱温度	～150℃	～400℃
公称周波数	5 MHz	
分解能	0.1 mm	
測定下限値	2 mm	約 5 mm

4.3 仕様

PZTセンサについては、品質・性能・耐久性とともに安定している。BiTセンサについては、現在も改良中であり、性能および耐久性の確認を行っている。

4.4 性能・耐久性の検証

薄膜圧電センサの性能・耐久性を検証するため、高温配管の肉厚測定を模擬し、配管試験体にPZTおよびBiTセンサを取り付けた試験体の連続加熱試験を行っている（図4）。

表1に示す、2種類のセンサの耐久性の確認は、実験温度範囲を①常温～150℃以下（PZTセンサ）、②常温～400℃以下（BiTセンサ）のケースにて、数回の熱サイクルを加え、定期的に超音波データ（肉厚測定値、超音波信号波形、SN比、感度）の確認を行っている。

加熱開始から配管肉厚の推移を測定した結果を図5、6に、連続加熱中の信号波形の一例を図7、8に示す。PZTセンサでは、現在最長で665日の連続耐久性を確認している。665日を経過した時点においても配管肉厚を安定して測定可能な波形が得られており、肉厚値も0.1mmの誤差範囲に納まっている。この連続加熱試験は引き続き継続して行っていく。

5. 実機での実証試験の紹介

化学工場にて、BiTセンサの耐久性確認の試験を行っている。試験結果について紹介する。

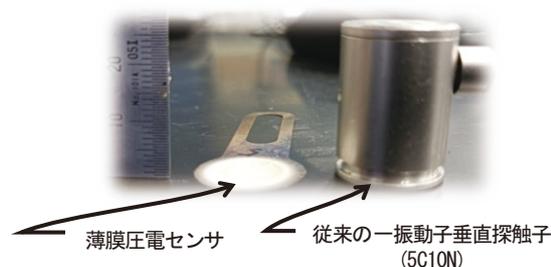


図3 薄膜圧電センサと従来の一振動子垂直探触子

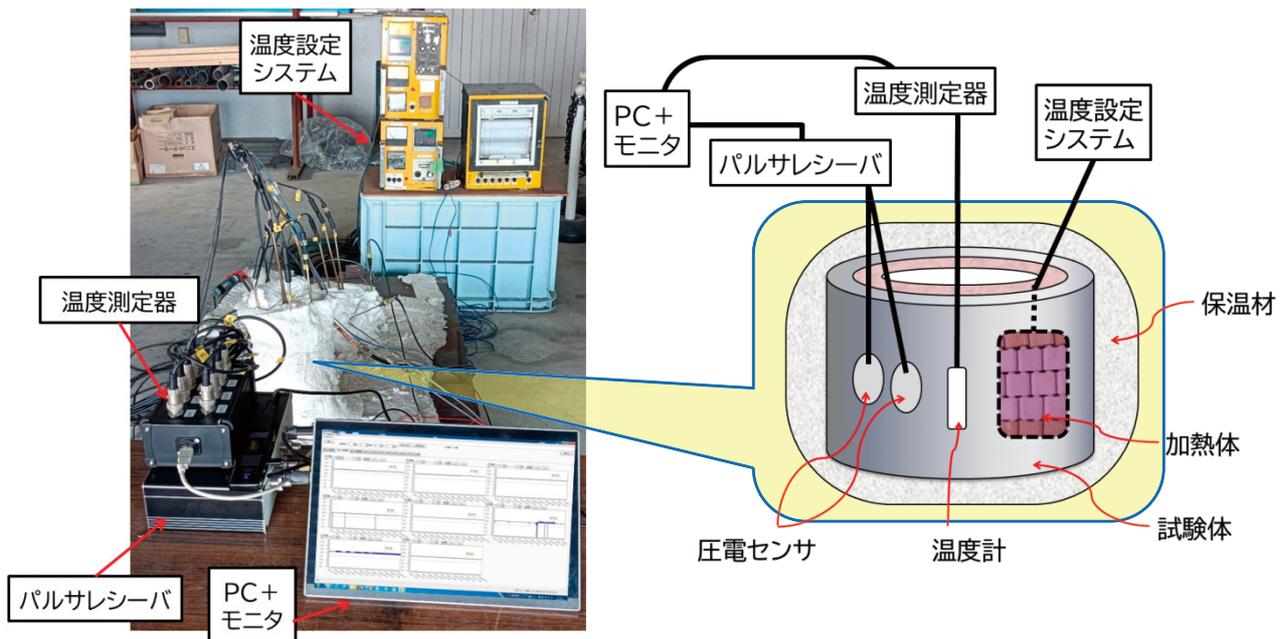


図4 耐熱実験の状況

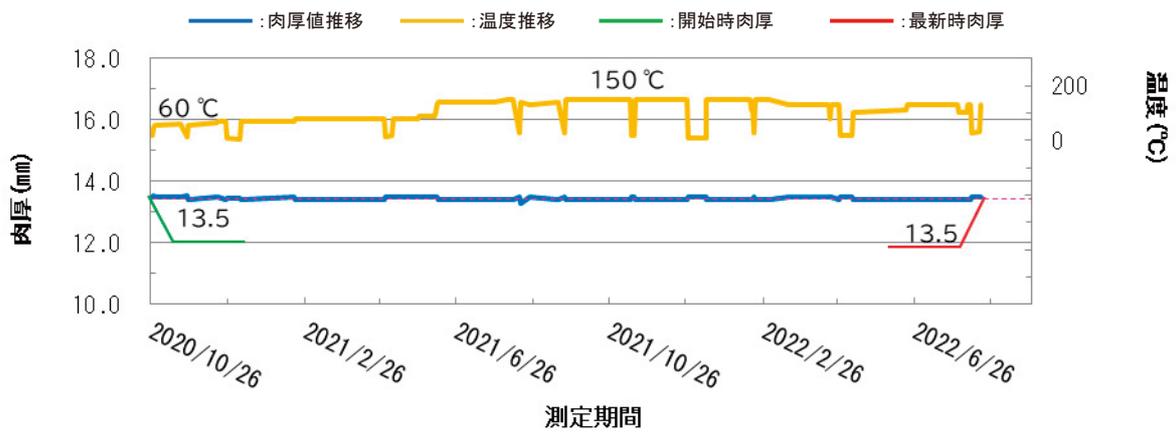


図5 薄膜圧電センサによる150°C以下での肉厚測定結果 (PZTセンサ)

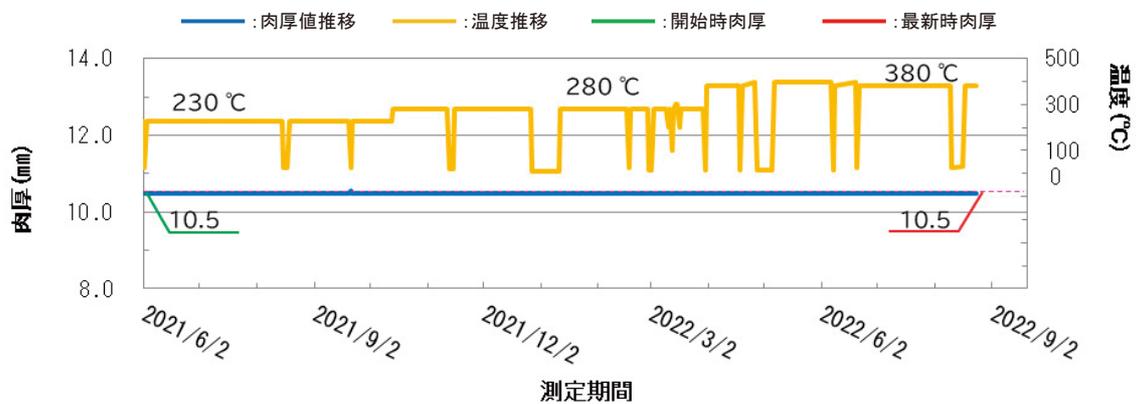


図6 薄膜圧電センサによる400°C以下での肉厚測定結果 (BiTセンサ)

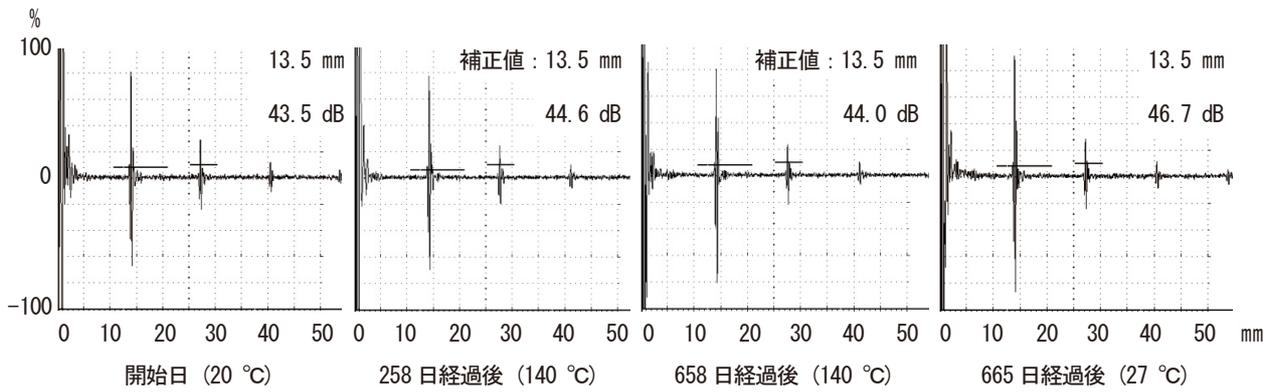


図7 薄膜圧電センサによる150°C以下での耐久性試験 (PZTセンサ)

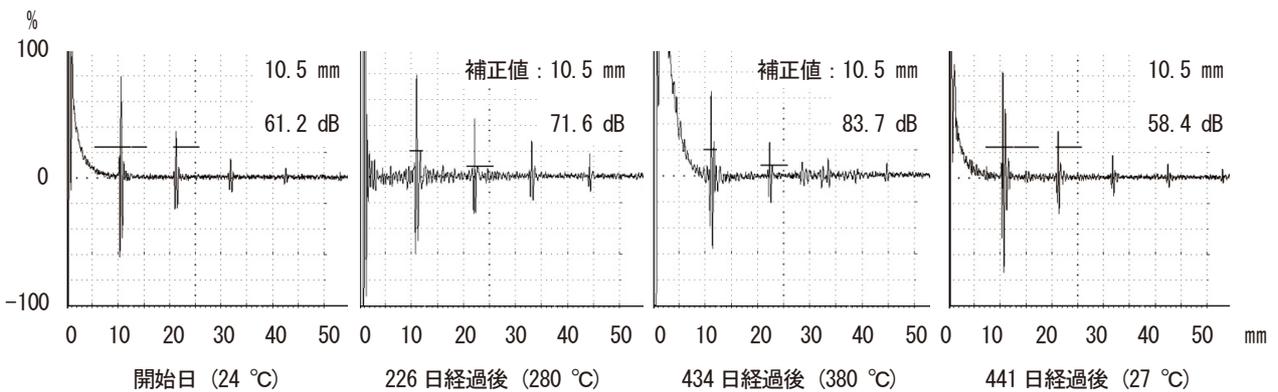


図8 薄膜圧電センサによる400°C以下での耐久性試験 (BiTセンサ)

5.1 配管仕様および実証試験条件

試験条件を下記に、薄膜圧電センサを取り付けた外觀状況を図9に示す。

配管公称：400A Sch80 21.4mm

設計温度：250°C

運転温度：225°C

配管材質：SUS316L

取り付け箇所数：16箇所（4系統×各4箇所）

実証試験期間：約15か月

5.2 センサの取り付け位置および測定方法

薄膜圧電センサの取り付け位置図を図10に示す。薄膜圧電センサはエロージョンが起りやすいエルボの背側に取り付けられている。

現在、開発中のパルスレーザや薄膜圧電センサについては、非防爆であることおよび通信環境の問題により、今回の実証試験においては、薄膜圧電センサのみを常時配管に取り付けておき、定期的に検査員が超音波探傷器により肉厚データの収集を実施している。

5.3 実証試験結果

実証試験結果の一例を図11に示す。

下部90°エルボの背側（測定点②、③）において、

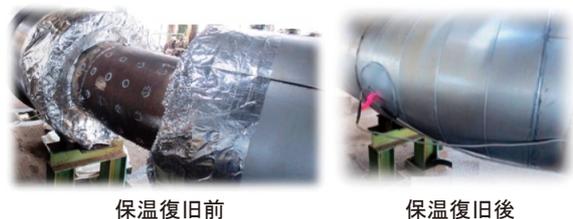


図9 センサ取り付け外觀状況

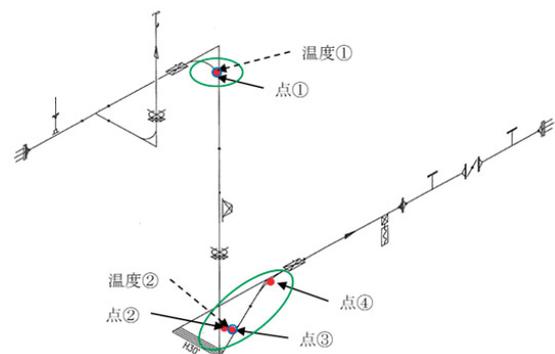


図10 薄膜圧電センサ取り付け位置図

減肉傾向が確認された。また、薄膜圧電センサ取り付け部の周囲は、3か月に一回超音波厚さ計により、検査員が定点の肉厚測定を行っている。それらの結果も

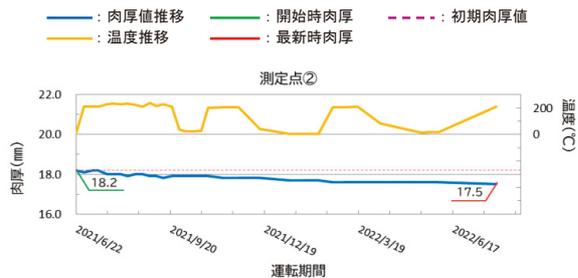


図11 実証試験結果

同様に減肉の傾向が見られている。

BiTセンサについても、実験室での耐久性は約1年程度確認できているが、実機では、稼働中の振動による故障が確認され、本実証実験での耐久性は6か月程度である。現在も、取り付け用の治具の改良やセンサの品質・耐久性の向上を目指し、改良に取り組んでいる。今後も、定点の肉厚測定と本センサの耐久性の検証と合わせ、実証実験を行っていく。

6. 開発モニタリングシステムの概要

開発中のモニタリングシステムの概要を図13に示す。本モニタリングシステムは薄膜圧電センサ、パルサレーバ、PC、温度測定器により構成される(図12)。薄膜圧電センサは高温環境下でも連続使用が可能のため、運転中も保温材の内側に常設して使用する。薄膜



図12 装置構成



図13 モニタリングシステムの概要

圧電センサから保温材の内側を通した耐熱ケーブルは、測定対象物の近辺に設置されたパルサレーバに接続する。このパルサレーバにより、複数の薄膜圧電センサからの肉厚データを指定した間隔で取得することが可能である。また、薄膜圧電センサの傍に温度計も常設し、肉厚データを取得するタイミングと同時に薄膜圧電センサ近傍の温度を測定する。得られた温度のデータから、温度補正を行い、測定物の肉厚の値に換算する。Wi-Fiなどの通信端末により、事務所等の現場から離れた場所から測定データの受信や、ゲイン、ゲート等の設定変更を行うリモートモニタリングを可能とするシステムである。

7. おわりに

従来から行われている、超音波厚さ計による定期的な肉厚測定に変わる手法として、測定対象物に常時取り付けられる薄膜圧電センサとパルサレーバを組み合わせたモニタリングシステムを開発中である。本モニタリングシステムの適用により、肉厚の情報が自動で蓄積されるため、検査員が現地に行き測定する必要がなくなり、高温部でも、高所でもいつでも肉厚測定が可能となる。データはインターネットを介して常時監視でき、腐食率や監視対象資産の余寿命などの分析結果に活用できる。

今後は、防爆対策や無線化の対応を進め、実機でのシステムの実験を行い、プラントでの安定的な適応を目指す。

本開発は、熊本大学および株式会社CASTとの共同事業開発である。熊本大学大学院先端科学研究部の小林牧子教授、中妻啓助教(兼株式会社CAST代表)のご協力のもと開発を進めている。

秀島 由香利 (東亜非破壊検査(株) 技術部)
山本 駿介 (東亜非破壊検査(株) 技術部)

参考文献

- 1) 超音波厚さ測定 I, (社)日本非破壊検査協会
- 2) 超音波探傷試験 II, (社)日本非破壊検査協会
- 3) JIS Z 2355-1 非破壊試験-超音波厚さ測定-第1部: 測定方法, (一財)日本規格協会