

配管厚さ測定装置

Pipe Thickness Measurement System

東 泰彦 Yasuhiko Higashi

近年、発電プラントなどの安定稼働の観点から、配管の肉厚（厚さ）管理がますます重視されている。配管の減肉を、保温材の上からプラント運転中でも容易に検出できる装置を開発した。富士電機の配管測定技術である3ビーム演算方式を生かし、測定方式が放射線透過型でも配管の片側厚さを測定できるようにした。被ばく線量が十分小さいことが審査・認証された表示付認証機器であるため、放射線の被ばく管理は不要である。本装置は80～500Aの配管に適用し、肉厚30mm以下で、2.0%以内の精度で測定できる。

In recent years, pipe thickness management has been further emphasized from the standpoint of stable operations in plants such as power generation plants. Fuji Electric has developed a system that can easily detect pipe wall thinning through heat insulation even when the plant is running. The system utilizes a three-beam calculation method, a Fuji Electric pipe measurement technique, and it can measure the one-side thickness of a pipe even when the measurement method is the radiation transmission method. The system does not require radiation exposure controls because it is an approved device with a certification label that has been reviewed and certified to have a sufficiently small amount of radiation exposure. The system can be used on pipes from 80 A to 500 A with a thickness 30 mm or lower, and it can measure thickness with an accuracy within 2.0%.

1 まえがき

近年、発電プラントなどの安定稼働の観点から、配管の肉厚（厚さ）管理がますます重視されている。そのため、管理や調査の対象が増え、肉厚管理にかかるマンパワー、コストは増大しており、より効率的な測定が要望されている。特に、保温材付き配管の肉厚測定では、多くの時間とコストが保温材の撤去・復旧工事に費やされている。また、保温材を外すことができるのはプラント停止中のみであるため、定期検査の期間中に超音波厚さ計による肉厚測定が実施されている。

定期検査は一定期間内での作業となるため、新たな知見を得るための調査などにかかる時間は限られている。また、配管の交換が必要と判定されると、長期にわたってプラントを停止させなければならない恐れもある。

富士電機は、これらの課題を解決するため、東北電力株式会社と配管減肉検出装置の共同研究を行い、測定サービスならびに装置の提供を開始した。

本稿で紹介する配管厚さ測定装置は、配管の保温材の上から測定ができ、かつプラント稼働中においても測定が可能という特徴を持つ。さらに、富士電機が持つ配管測定技術を生かした3ビーム演算方式を採用することにより、配管の片側厚さが測定できる⁽¹⁾。本稿では、その原理、システム構成、装置仕様などについて紹介する。

2 特徴

配管厚さ測定装置は、次の特徴を持つ。

(a) 放射線透過型であるため、保温材の上からの配管の

肉厚測定ができ、^(注1)減肉量が評価可能

- (b) プラント運転中でも減肉を検出し、定期検査前に配管の早期手配などが可能
- (c) 自動回転アタッチメントにより、配管円周方向の厚さプロファイル測定が可能
- (d) 小型・軽量なので狭隘（きょうあい）部・高所へも取付け可能
- (e) 被ばく線量が十分小さいことが審査・認証された表示付認証機器（288ページ「解説5」参照）であるため、放射線の被ばく管理、放射線取扱主任者資格などは不要

3 システム構成

本装置は、放射線源部や検出部、自動回転アタッチメント、駆動制御部、操作表示部で構成する。図1に装置の外

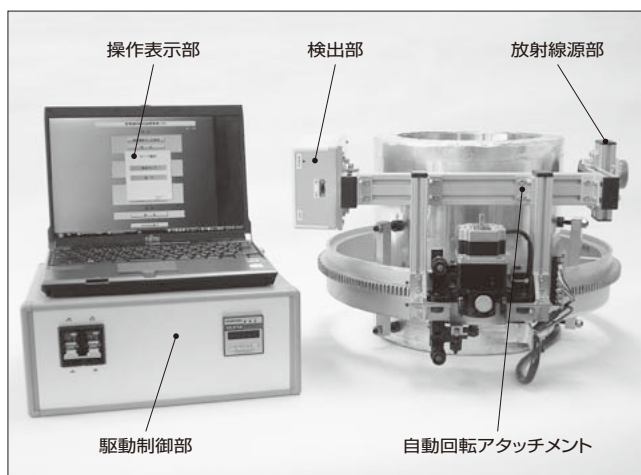


図1 配管厚さ測定装置

〈注1〉減肉：高温・高圧の水流によって配管の肉厚が削られる現象

観を、図2にシステム構成図を示す。

放射線源部は、線源ホルダで遮蔽されており、線源ホルダは測定時の散乱線の影響を低減する構造としている。図3に、線源ホルダの外観を示す。

CsI（よう化セシウム）を用いた検出器で放射線を検出しており、温度変化などによる感度の変動については、放射線のエネルギーを基準にした補正回路を付加した。

また、操作表示部への測定データおよび測定条件データの通信には、配管への取付け、回転が迅速かつ容易に行えるようBluetooth（注2）を採用し、ワイヤレス化を図った。図4に、検出部の外観を示す。

放射線源部と検出部は、C型フレームに固定され、自動回転アタッチメントで測定配管に取り付けられる。自動回転アタッチメントを使用すると、設定した測定点数に従い、配管円周上に等分に設定した測定点に順次回転させて配管の厚さを測定し、配管円周上の厚さプロファイルを作成する。

保温材付き配管の外径寸法は、配管と保温材の組合せにより大幅に変わる。配管への取付け金具は、配管の各サイズに対応できるように、5種類の回転レール部と各サイズに対応した回転レール部取付け金具で構成されている（図5）。

駆動制御部は操作表示部からの設定に基づき、自動回転アタッチメントのパルスモータを動かして、設定された回転角度に制御している。

操作表示部は、汎用PCに専用のパッケージソフトウェアをインストールして使用する。主な機能は次のとおりである。

- (a) 検出した放射線量と、配管に関する各種定数データから配管の厚さを算出して保存する。
- (b) 測定データを測定値表示シート（注3）（Excel）に転送されて、3ビーム厚さデータの演算を行い、各点の厚さデータを絶対値で表示する。
- (c) 測定配管に関する各種設定データを、操作表示部から検出部にBluetoothを介して転送する。
- (d) 配管に関する設定データの入力、保存、編集、さらに測定厚さデータを取り出し、配管円周方向のプロファイル表示を行う
- (e) 部位ごとの厚さ推移表示、減肉速度や余寿命の計算を行う。

次に汎用PCの主な動作環境を示す。

- OS：WindowsXP（注4）

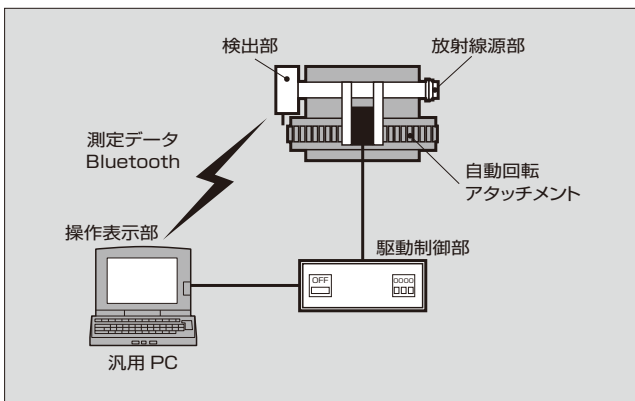


図2 システム構成図



図4 検出部



図3 線源ホルダ

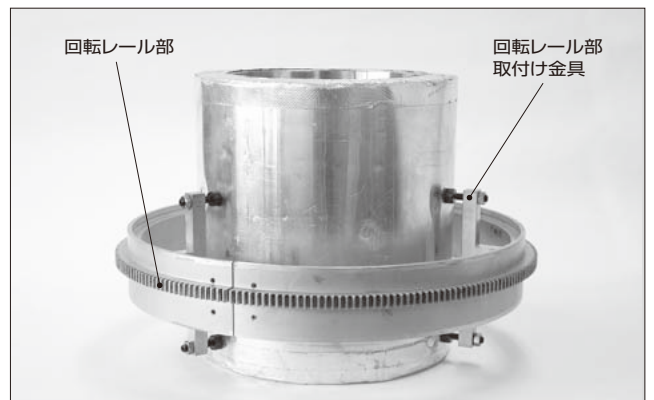


図5 配管への取付け金具

〈注2〉 Bluetooth：米国 Bluetooth SIG, INC. の商標または登録商標

〈注3〉 Excel：米国 Microsoft Corporation およびその関連会社の商標または登録商標

- CPU : 1.3GHz 以上
- ハードディスク : 40GB 以上
- メモリ : RAM 512MB 以上
- 汎用ソフトウェア : Excel 2003
- 汎用ソフトウェア : Access 2003

4 装置仕様

表 1 に、本装置の主な仕様を示す。

対象配管の外径と肉厚の仕様は、火力発電所における配管の大部分が包含できるように、空配管で呼び径 500 A 以下、肉厚 30 mm 以下とした（満水時は呼び径 300 A 以下、肉厚 20 mm 以下）。

精度（指示変動誤差）は、減肉が十分検出できるように、一般的な公称肉厚と必要厚さの差や測定時間から、公称肉

表 1 装置仕様

項目	仕様	
対象配管	材質	炭素鋼, 低合金鋼, ステンレス鋼
	部位	直管, 曲管, レジューサ
	外径 肉厚	空配管 呼び径80 ~ 500 A肉厚30 mm以下 満水配管 呼び径80 ~ 300 A肉厚20 mm以下
保温材	材質	けい酸カルシウム (他の材質も対応)
	外径	710 mm以下
外装板	鉄・アルミニウム	
指示変動	公称肉厚の±2.0%以内 (1.645σ)	
校正精度	校正基準原器肉厚の±0.5%または±0.1 mmの大きい方以内	
使用線源	¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co (10 MBq以下)	
1点当たり測定時間	呼び径200 A以下肉厚10 mm以下	300s以内
	呼び径500 A以下肉厚30 mm以下	400s以内
使用温湿度	0 ~ 40℃, 80%RH以下	
質量	配管設置部分 : 約6 kg	

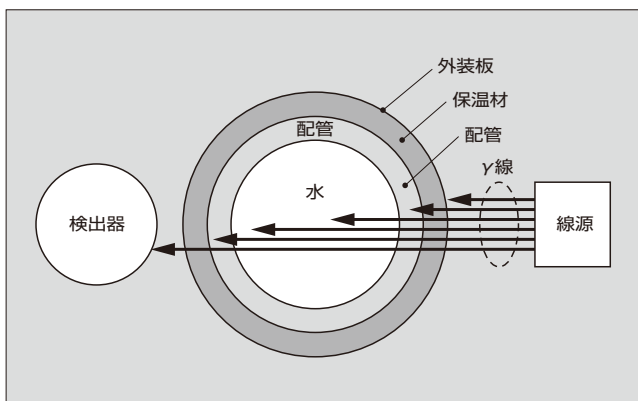


図 6 基本原理

<注 4> WindowsXP: 米国 Microsoft Corporation およびその関連会社の商標または登録商標

<注 5> Access : 米国 Microsoft Corporation およびその関連会社の商標または登録商標

厚の 2.0% 以内とした。

5 測定原理

図 6 に基本原理を、図 7 に 3 ビーム演算方法の測定原理を示す。放射線は、外装板、保温材、配管、内部流体（水、あるいは空気）のそれぞれを透過することに減衰する。

この特性を利用して、保温材付き配管全体における放射線の減衰率を検出した後、外装板、保温材、内部流体による減衰率を一定値として差し引いて、配管における減衰率のみを抽出し、これを用いて肉厚値を算出している。したがって、算出する肉厚値は配管両側の肉厚の合計値である。基本原理式を式(1)に示す。

$$N = K \cdot N_0 \cdot e^{-\mu t} \dots\dots\dots(1)$$

N : 配管・保温材・水を透過した放射線の量（計測値）

N₀ : 配管・保温材・水なしの放射線の量（計測値）

K : 保温材、外装板、配管内流体による減衰率（設定値）

μ : 配管の放射線の吸収係数（校正値）

ρ : 配管の密度

t : 配管肉厚（両側合計値）

放射線照射ビームを配管内に正三角形を形成するように照射して、式(1)の基本原理式に基づいて厚さ演算と角度補正を行い、A, B, C ビームの厚さ演算結果 t_A, t_B, t_C を得る。t_A, t_B, t_C は正三角形のそれぞれ頂点の厚さ t₁, t₂, t₃ を用いて式(2)で表わされ、この式を解いて式(3)により、t₁, t₂, t₃ を算出する。

$$\left. \begin{aligned} t_A &= t_1 + t_2 \\ t_B &= t_2 + t_3 \\ t_C &= t_3 + t_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= (t_A + t_C - t_B) / 2 \\ t_2 &= (t_B + t_A - t_C) / 2 \\ t_3 &= (t_C + t_B - t_A) / 2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

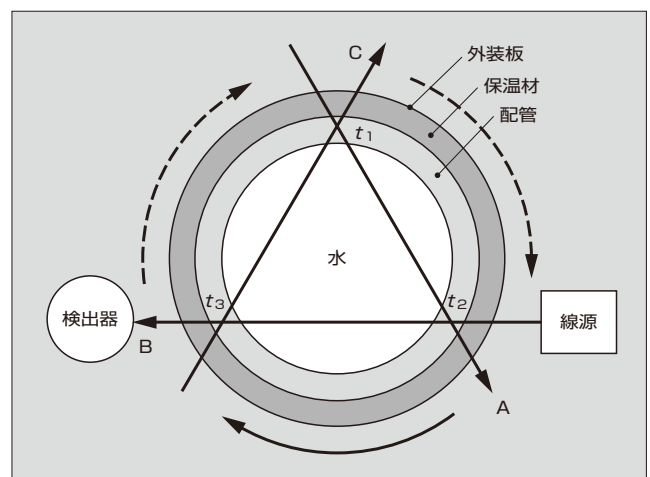


図 7 3ビーム演算方式の測定原理

6 測定精度

6.1 指示変動（放射線計測値の統計変動誤差）

放射線計測特有の誤差で、単位時間内に崩壊するγ線の数は一定の確率分布に従う。したがって、検出量は統計的変動を持ち、この変動が測定誤差として表れる。この誤差は式(4)の指示変動誤差で表され、誤差を小さくするには、放射線強度を大きくするか、測定時間を長くする。

$$\Delta t/t = K / (Q \cdot t)^{1/2} \dots\dots\dots(4)$$

- Δt/t：指示変動誤差
- Q：放射線強度（Bq）
- t：測定時間
- K：放射線源核種、検出効率、測定厚さで決まる定数

表2に、代表的な測定条件での指示変動誤差を示す。

6.2 芯ぶれ誤差

本装置は保温材の外から測定部を取り付けることから、保温材の中で、配管が位置ずれを起こしていると、放射線ビームがずれて、芯ぶれ誤差が生じる。測定時の芯ぶれ量は不明であることから、測定した結果は、この誤差を考慮して評価する必要がある。この誤差は計算することができ、火力プラントでの現地調査結果では、この芯ぶれ量は最大4mm以下と推定できる。図7で配管が下側に4mm芯ぶれした場合、呼び径200A配管で肉厚5mmでは、芯ぶれによる厚さ指示の誤差は約0.25mmとなる（表3）。

また、t₁、t₂、t₃の芯ぶれ誤差は、加え合わせるとほぼ誤差は相殺されていることから、現在、各測定点のデータ分析を行って、芯ぶれ量の推定と芯ぶれ誤差を補正するアルゴリズムを開発中である。

その他の測定誤差としては、放射線強度の減衰、環境変

表2 指示変動誤差

測定厚さ (mm)	指示変動誤差 *1 (mm)	測定条件
5	±0.100	測定時間 300秒 測定ギャップ *2 260mm
10	±0.140	
15	±0.190	
20	±0.260	

* 1 指示変動誤差：標準偏差の1.645倍（90%応答）
* 2 測定ギャップ：放射線源と検出部間距離

表3 芯ぶれ誤差

芯ぶれ量	t ₁	t ₂	t ₃
-4mm	0.249mm	-0.117mm	-0.117mm
+4mm	-0.258mm	0.137mm	0.137mm

化による検出器の感度変化などがあるが、減衰補正、ゼロ校正機能、エネルギー補正機能で補正されていることから、配管の減肉測定に当たっては、十分な精度である。

7 今後の課題

配管厚さ測定装置をさらに効果的な装置へと進化するための課題は次のとおりである。

- (a) 配管内のスケール、残留冷却水の影響などは、検出データから判断して対応することが必要であり、開発検証中の水位検知解析ソフトウェアの実プラント実証試験を実施し、実用化を図る。
- (b) 現在、自動回転アタッチメントは直管部に適用しているが、今後は配管減肉が多いエルボ配管に適用できる治具の開発を推進する。また、配管円周上の測定だけでなく直進方向の自動化についても、開発を進め、配管厚さ測定の完全自動化測定を実現する。
- (c) 水力発電所、食品、化学分野などから、配管内の流体の密度、異物、付着物などの測定ニーズがあり、基本原理に従った配管診断装置の開発と実証試験を進める。

8 あとがき

小型・軽量かつ被ばく管理が不要で、保温材の上から配管厚さの検出が可能な配管厚さ測定装置を開発した。

今後は、火力発電プラントでの実証試験を実施し、配管減肉測定の官庁への報告データに適用できるようにする。また、石油プラントや化学プラントの配管で、保温材と配管の間のさびなどによる配管厚さの変化を測定したいというニーズも高まっており、本装置での実証試験を計画中である。

本装置のいっそうの開発を進め、プラントの安定稼働に貢献する所存である。

参考文献

(1) 東泰彦. 日本保全学会第7回学術講演会要旨集. 2010, p.216-220.



東 泰彦

配管減肉測定装置の開発に従事。現在、富士電機株式会社生産統括本部東京事業所機器生産センター放射線装置部主席。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。