

ボイラ伝熱管の高効率肉厚計測技術 ケーブルレスインナーUT

Thickness Measurement Technology for Boiler Heat Exchanger Tube
Cable-less Inner UT



浦田 幹康*¹
Mikiyasu Urata

青木 清隆*²
Kiyotaka Aoki

浦田 直矢*³
Naoya Urata

和田 貴行*³
Takayuki Wada

椿崎 仙市*⁴
Senichi Tsubakizaki

松本 真太郎*⁵
Shintaro Matsumoto

火力発電プラントボイラの主要設備である節炭器管や再熱器管等の伝熱管では、外面からの局所的な磨耗減肉や広範囲にわたる腐食減肉の発生が懸念される。そこで、三菱重工業(株)及び三菱日立パワーシステムズ(株)では、これらの損傷を的確に検出するための技術として、管の内側から肉厚を計測可能な超音波水浸法のケーブルレスインナーUTシステムを開発した。本稿では、ケーブルレスインナーUTの概要及び実機ボイラで実施した伝熱管の肉厚計測事例について述べる。

1. はじめに

火力プラントボイラ設備の稼働率向上のためには、日常の保守点検に加え、頻繁な起動停止や急速な負荷変化等、運転モードに応じて生じる損傷の形態を十分に考慮した点検を行うことが重要である。また、電力の自由化による保守費用の低減から、より合理的で精度の高い検査が求められている。

火力ボイラの主要機器である節炭器管や再熱器管等の伝熱管では、局所的な磨耗減肉や広範囲にわたる腐食減肉の発生が懸念される。三菱重工業(株)及び三菱日立パワーシステムズ(株)では、これら損傷を的確に検出するための技術として、管の内面から肉厚を計測可能なインナーUT技術⁽¹⁾を開発してきた。これまで多数の検査工事に適用して高い信頼を得ており、現在もその適用実績は堅調に推移している。このような中、伝熱管肉厚計測の更なる効率化を目指し、従来のインナーUT技術をコンパクト化し、且つ計測速度を向上させたケーブルレスインナーUTシステムを開発した。次項より、ケーブルレスインナーUTシステムの概要及び実機ボイラで実施した伝熱管の肉厚計測事例について述べる。

2. ケーブルレスインナーUT システム

図1に従来のインナーUTシステム及びケーブルレスインナーUTシステムの概略図を示す。ケーブルレスインナーUTシステムは、伝熱管内に挿入可能な小型超音波センサであり、水圧を利用して走行させながら管の全周及び全長の肉厚を計測可能である。また、信号ケーブルを不要としたため、大型のケーブル送り装置や圧力ポンプを撤廃可能となり、装置総重量を従来比約90%削減するなど、システムの大幅なコンパクト化を達成している。

*1 総合研究所材料研究部

*2 総合研究所材料研究部 主席研究員

*3 三菱日立パワーシステムズ(株)サービス本部長崎サービス部

*4 三菱日立パワーシステムズ(株)サービス本部長崎サービス部 主席技師

*5 三菱日立パワーシステムズ(株)ボイラ技術本部ボイラ技術部 主席技師

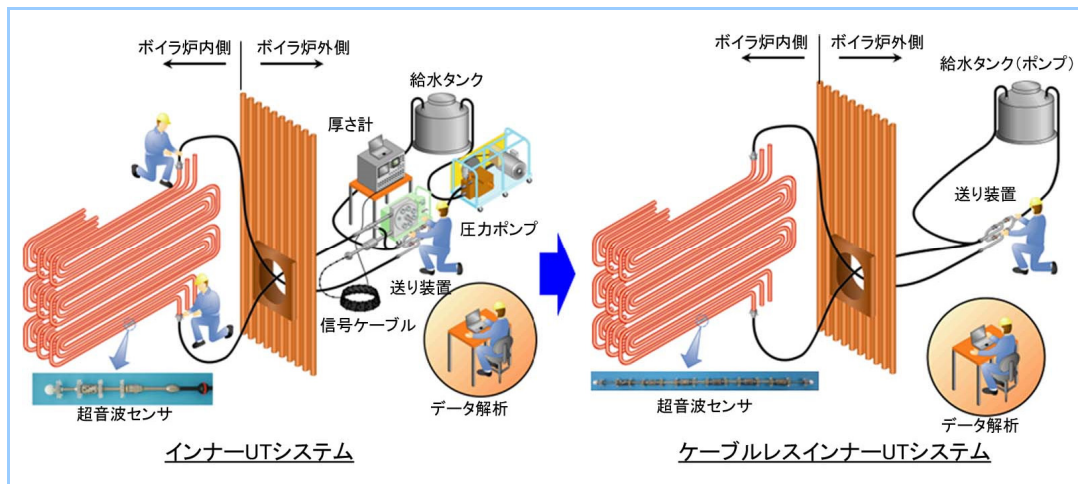


図1 従来のインナーUTシステム及びケーブルレスインナーUTシステムの概略図

図2に開発した小型超音波センサを示す。小型超音波センサは、管内径で制約される大きさまで小型化し、超音波探触子、超小型パルサーレシーバー、計測値を記録するメモリ、これらを制御する電子回路及びバッテリーで構成される。また、計測値は、検査後 USB 接続によりパソコンへ転送し、当社独自のデータ処理システムで計測波形を画像化して減肉状況図として出力可能である。なお、超音波探触子は、センサ円周方向に等間隔配置したマルチチャンネル方式を採用しており、チャンネル数(探触子数)は管の内径に応じて選定される。



図2 小型超音波センサ

このように、ケーブルレスインナーUTは、管の内面側から肉厚を計測することが可能であるため、一般的に使用される管外面からの肉厚計測技術と比較すると、管の研磨作業や足場架設が不要となり、管群で形成されたボイラ伝熱管全体の肉厚を効率的に計測可能である。また、本システムはフィン付きチューブにも適用可能であり、ほとんどの当社製ボイラ伝熱管の肉厚を計測可能である。

3. 肉厚計測事例

3.1 モックアップパネルの計測事例

図3にボイラ伝熱管を模擬したモックアップパネルの外観を示す。モックアップパネルは、内径34mm、曲げ半径57.5mmの管で構成され、管の一部には人工的に減肉欠陥を加工した。ここで、減肉欠陥部の最小肉厚値は、2.0mm、2.7mm 及び 3.8mm である。表1及び図4に計測結果を示す。図4は計測データをデータ処理システムで解析したものであり、最小肉厚値をチャート図に表示したものである。減肉部を検出可能であり、表1から管外面からの実測肉厚に対し、±0.1mmの精度で肉厚計測可能であることを確認した。図5は、小型超音波センサの管内走行状況を示しており、管内及び曲げ半径 57.5mm のバンド部をスムーズに通過可能であることを確認した。



図3 モックアップパネル外観

表1 肉厚計測結果

	減肉①	減肉②	減肉③
実測値	2.0mm	1.5mm	2.9mm
計測値	2.0mm	1.5mm	3.0mm

実測値: 断面調査による肉厚計測値
計測値: ケーブルレスインナーUT による肉厚計測値

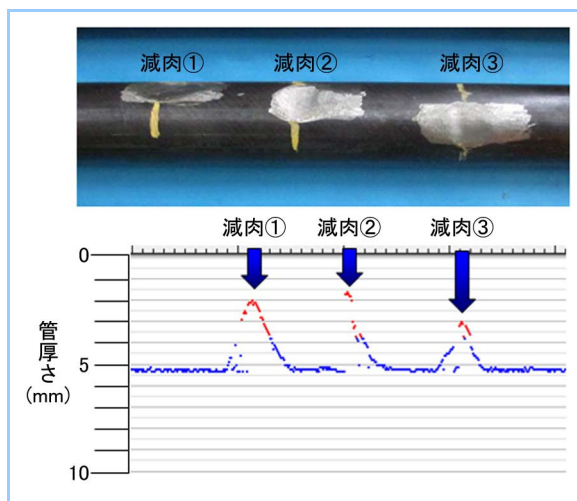


図4 肉厚計測結果(チャート図)



図5 センサの走行状況

3.2 実機ボイラ伝熱管の計測事例

ケーブルレスインナーUTシステムの実用性を評価するため、実機ボイラの定期検査期間を利用し、検証試験を実施した。検証対象パネルは、最小管内径57mm、最小曲げ半径50mmの再熱器管である。図6～図8に、計測結果を示す。計測値の妥当性は、多数の適用実績がある従来のインナーUTシステムによる計測値と比較評価した。

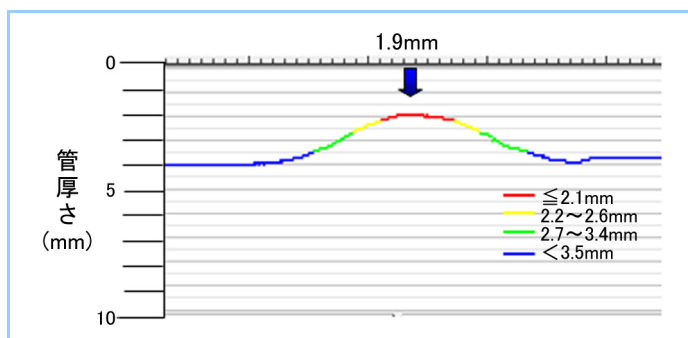


図6 最大減肉部の計測結果(従来のインナーUT)

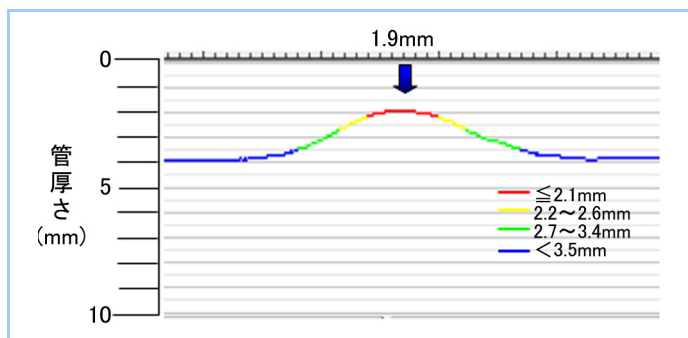


図7 最大減肉部の計測結果(ケーブルレスインナーUT)

検証の結果、図6及び図7に示したように、従来のインナーUT及びケーブルレスインナーUTによる最小肉厚計測値はいずれも 1.9mm であり、実機の減肉であっても従来と同等の精度で肉厚計測可能であった。また、図8に示したように、計測データをデータ処理システムで解析し、100mm ごとの最小肉厚値を色分けしてパネル図上にカラー表示可能であり、減肉検出位置も従来のインナーUTと一致することを確認できている。更に、センサは直管部及びベンド部共にスムーズに通過可能であり、従来のインナーUTと比較して約2倍の速度で肉厚計測可能であった。

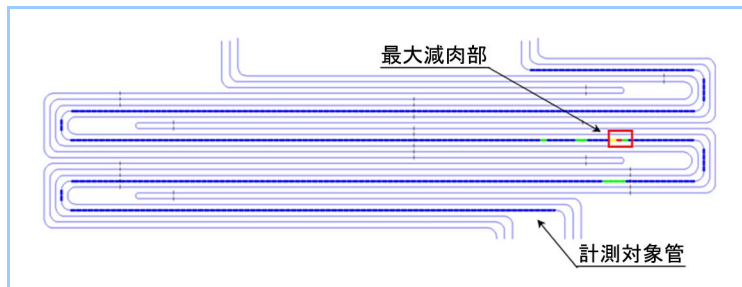


図8 計測結果(パネル図)

4. 性能比較及び適用範囲

表2に、従来のインナーUTシステムとケーブルレスインナーUTシステムの比較結果を示す。ケーブルレスインナーUTシステムは、従来システムと同等の肉厚計測精度を有しながら、総重量は従来比 90%減の軽量化を達成しており、検査準備時間等の短縮が可能である。更に、従来システムの約2倍の速度で肉厚計測可能であることを実機伝熱管検査で実証しており、検査工程の短縮が期待できる。

表2 従来のインナーUTとケーブルレスインナーUTの比較結果

	従来のインナーUT	ケーブルレスインナーUT	評価
肉厚計測精度	±0.1mm	±0.1mm	同等
位置特定精度	±100mm	±100mm	同等
計測速度	通常検査時 100～150mm/s (最大 200mm/s)	通常検査時 200～280mm/s (最大 300mm/s)	約2倍
現地準備時間	2日	1日	50%削減

表3に従来のインナーUTとケーブルレスインナーUTの適用範囲を、図9にセンサが通過可能な管内径と管曲げ半径の関係を示す。ケーブルレスインナーUTセンサが通過可能な最小曲げ半径は、管内径 30mm の場合に 35mm であり、最小管内径は 25mm である。小型センサの開発により、ほとんどの当社製ボイラ伝熱管を計測可能である。

表4に標準的な検査工程を示す。従来のインナーUTは、全体工程7日間であったのに対し、3日間短縮可能であり、装置の準備及び撤去を含め、4日間で計測可能な目処を得ている。このように、装置構成の簡素化と計測速度の向上により、検査工程の短縮が期待できる。

表3 従来のインナーUTとケーブルレスインナーUTの適用範囲

	従来のインナーUT	ケーブルレスインナーUT
伝熱管の厚さ	1.5mm～20mm	1.5mm～20mm
伝熱管の内径	22～60mm	25～60mm
伝熱管の曲率半径	≥35mm	≥35mm
対象パネル型	横置き, 吊り下げ	横置き

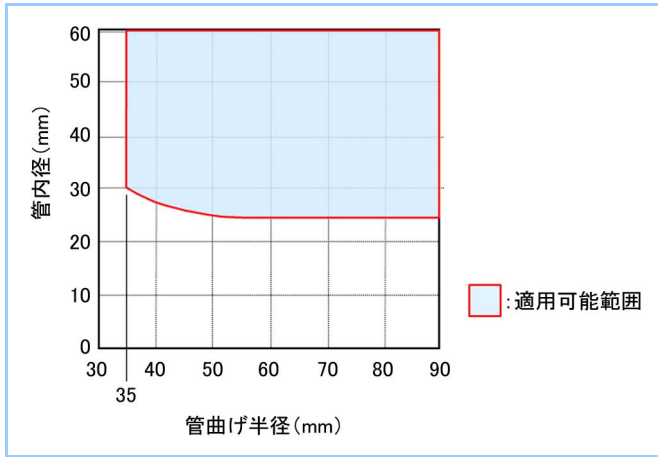


図9 通過可能な管内径と管曲げ半径の関係

表4 検査工程

項目 \ 日程	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日
装置の搬入・調整	←→		←→					
計測		←→		←→		←→		
装置の撤去・搬出		←→		←→			←→	

1日短縮
1.5日短縮
0.5日短縮

←→ : 従来インナーUT
←→ : ケーブルレスインナーUT

5. まとめ

当社では、火力発電プラントボイラ設備の稼働率向上のため、ボイラの各部位・損傷形態に応じて様々な検査技術の開発に取り組んでいる。本稿では、ボイラ伝熱管の肉厚計測技術であるケーブルレスインナーUTシステムを紹介した。本技術は、数あるボイラ伝熱管の肉厚計測技術の中で、伝熱管全体を高速且つ高精度に肉厚計測可能な唯一の高効率技術であり、ボイラの稼働率向上への大きな貢献が期待できる。今後も継続してシステムの高度化に取り組んでいく。

参考文献

- (1) 浦田ほか, 水浸 UT (超音波) による熱交換器管の非破壊検査技術, 日本機械学会誌