

# 原子力発電所の配管減肉管理における 肉厚検査への期待と検査技術の開発

## Expectancy for Developed Pipe Wall Thickness Measurement Method in Pipe Wall Thinning Management of Nuclear Power Plant

日本原子力発電(株) 大平 拓 Taku OHIRA

Pipe wall thinning management is one of important items to keep safe nuclear power plant operation. In pipe wall thinning management, accurate understanding of wall thinning behavior is required, because pipe replacement period is evaluated by the result of pipe wall thickness measurement.

In recently, not only current method "UT" and "RT" but also new nondestructive tests are being developed by many institutes. More advanced management will be achieved by these new monitoring systems.

In this paper, developed status of these new monitoring systems are described with expected advanced pipe wall thinning management.

**Keywords:** pipe wall thinning, thickness measurement, nondestructive test

### 1. 緒言

国内の原子力発電所および火力発電所の配管減肉管理は、日本機械学会が策定した「発電用原子力設備規格 沸騰水型/加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格」(2006年)および「発電用火力設備規格 火力設備配管減肉管理技術規格」(2009年)に基づいて実施されている。

これらの規格における配管減肉管理の基本的な考え方は、“配管検査による減肉状況の把握と適切な配管取替え時期の設定”であり、配管肉厚測定結果に基づく減肉率を用いて、必要最小厚さに到達するまでの期間(世寿命)を評価し、計画的に配管取替えを行うものである。

これより、配管取替え時期の正確な予測のためには、検査精度の確保(向上)が不可欠であり、これを達成する検査技術の向上および新たな検査技術の開発が求められている。

本報では、配管減肉管理の安全性を確保し且つ合理的な管理を達成するため、現状の配管減肉管理の改善点を検討するとともに、それを達成する配管検査技術の開発状況について、日本機械学会「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」(2010年度~2011年度)<sup>1)</sup>で収集した知見および情報を整理した。

### 2. 配管検査の現状と減肉管理の改善

#### 2.1 配管減肉管理における配管検査の状況

現在の配管減肉管理における配管肉厚測定は、発電所の停止時に実施することが前提である。これは、系統水がドレンされた状態であれば、配管検査が労働安全上望ましい環境で実施でき、また、これまでの運転経験より、減肉速度がある一定の速度で進行することから、発電所の停止中に検査を行えばある程度の精度で減肉率を算出できることによる。

しかし、発電所の運転期間の増加に伴う減肉の進行により、配管検査の対象部位数が増加する傾向があり、定期検査への影響を考慮する必要が生じている。さらに、近年は、配管分岐合流部の穴の周囲に設置してある補強板の下部領域において減肉が進行した事例に鑑み、当該部の適切な減肉管理を遂行するために、補強板下の配管やクロッチ部(主管と枝管の接合部)においても配管肉厚を測定することが求められている。前述のとおり、現行の配管減肉管理は、配管肉厚検査に基づく管理であることから、現在、主に用いられている超音波厚さ検査の精度および実施要領の改良だけでなく、その他の配管検査技術の導入によって、安全性を高め且つ合理的な管理に向けた取り組みが必要である。

#### 2.2 新しい検査技術への期待

前項に述べたように、近年は、配管減肉の進行に伴い、肉厚測定検査数が増加していることから、労働安全上のリスクを考慮したうえで、肉厚検査を停止時に限らず運

連絡先: 大平 拓

〒914-8555 福井県敦賀市明神町1番地

日本原子力発電(株) 敦賀発電所 運営管理室

E-mail: taku-ohhira@japc.co.jp

転中においても実施することができれば、配管肉厚検査による定期検査への影響を抑制できる。また、現行では配管肉厚検査は、減肉の進行が予想される偏流発生部位（エルボー、オリフィス等）を対象として実施しているが、海水配管等、直管部においても減肉の進行が考えられる場合もあることから、広範囲の減肉状況（肉厚測定値）を把握するスクリーニングを目的とした配管検査手法を適用することも必要である。

また、補強板の下部領域等の現行の超音波厚さ測定法では測定が困難な部位においても配管肉厚を測定できれば、これらの部位においても、その他部位と同様のレベルで管理を行うことができ、安全性が向上する。

このように、複数の検査手法を所有して、各配管部位に対して適切な検査手法を適用することによって、より高次の配管減肉管理の遂行が期待できる。

### 3. 新検査技術の開発状況

#### 3.1 定点監視で期待される新検査技術

現行の配管減肉管理で用いられている超音波厚さ測定法は定点監視であり、その要領はJIS Z 2355「超音波パルス反射法による厚さ測定方法」に定められている。

近年は、超音波厚さ測定法の他にも、下記表1に示すとおり、定点監視に係わる多くの検査技術が開発されており、幾つかの手法については、実機適用性を検討する段階に到達している。<sup>[2]</sup> また、定点監視のうち、補強板下を測定可能である検査手法を表2に示す。

	メリット	検討課題	実機適用性
電磁超音波法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接触媒質を必要としない非接触式の測定である</li> <li>・共鳴法の適用により高い精度の測定が可能である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・減肉状態による測定精度への影響を検討する必要あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・減肉速度の高精度・時間依存性評価が可能であり、減肉メカニズム解明のツールとして適用可能である。また、出力向上や水質条件の変更による減肉傾向監視技術としても適用可能である。</li> <li>・実機適用にあたっては、配管口径/厚さによる精度への影響についてデータの蓄積が必要</li> </ul>
電位差法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計測装置が簡単で安価</li> <li>・電位差と欠陥寸法の関係が容易に解析可能なこと</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・所定の感度を得るために大電流が必要</li> <li>・電極接点の熱起電力及び欠陥先端での熱発生による誤差等が問題</li> <li>・最適な直流電流入出力端子および電位差測定端子の間隔を決定する必要がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本非破壊検査協会のNDIS(3426)が制定されており、一般的な使用に際しては適用可能である</li> <li>・実機適用にあたっては、配管口径/厚さによる精度への影響についてデータの蓄積が必要</li> <li>・要求する精度を確保するための機器仕様（電流）について検討要</li> </ul>
パルスECT法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非接触、かつ高リフトオフが望める手法</li> <li>・得られた結果は検査領域の平均厚さを示している</li> <li>・断熱材を除去する必要がないため短時間での減肉スクリーニングに適している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配管の渦電流を計測することが困難</li> <li>・検査対象裏面中央付近には渦電流が発生せず、不感帯になる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パルスECTは正確な各部の厚さの測定ではなく、減肉体積が大きな形状の測定が適していることから、実機での減肉形状に適用可能か否か検討が必要</li> </ul>
RF-ECT法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁性を有する配管の検査にも適用可能</li> <li>・プラントの配管減肉検査を貫通検査にて行うことは、全周にわたっての探傷を一括で行うことができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁気シールドが被検査体よりも磁場遮蔽効果が高いことが必要</li> <li>・プローブ長の増大に伴う問題が生ずる</li> <li>・プローブを走査することなく広域監視を行うことは困難</li> <li>・大口径配管に対するの適用は問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RF-ECTは配管の内挿検査手法として既に実用化されている技術であり、配管内面からの減肉検査という観点からは技術的な問題は少ない。</li> <li>・配管肉厚さ測定における実機適用にあたっては、配管口径/厚さによる精度への影響についてデータの蓄積が必要</li> </ul>
フェーズドアレイ法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超音波ビームを集束させているため、分解能が高く信号SN比も優れている</li> <li>・減肉がどのような分布で広がっているかも視覚的に判りやすい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・欠陥検出の分野では盛んに開発が行われているが、肉厚計測への適用実績はあまり見られない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フェーズドアレイUTはJEA G4207-2007においてもき裂などの欠陥サイジングについてのみ規格化されており、肉厚計測では明確な適用規格がない</li> <li>・配管肉厚測定における精度について検討要</li> </ul>

表1 定点監視に関する配管検査法

### 3.2 広域監視で期待される新検査技術

前項の定点監視に係わる検査法に対して、近年開発されている広域検査については、表3に示す検査手法が挙げられる。<sup>[2]</sup>これらの検査技術については、試験対象範囲が広域となることから、従来はその測定精度にやや難があり、定性的な減肉傾向の把握、すなわち、減肉の有無程度の測定であったが、近年は測定装置の開発も進んだことから、定量的な測定が可能となっている。

### 4. 結言

本報では、現在、配管減肉管理に用いられている配管検査技術と、今後期待される配管検査技術を、定点監視の検査手法と広域監視の検査手法の категорияに分けて、その原理・特徴および現在の開発状況（実機適用性）について整理した。

配管減肉管理において、各配管検査技術が測定原理等の特徴を踏まえて、用途に応じて選択され、広く適用されるように、今後も各技術が開発されていくこと期待する。

### 5. 参考文献

- [1] 日本機械学会著「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」報告書、2012年
- [2] 小島史男他「配管減肉管理に関する最新知見(4)検査モニタリングの新知見」日本機械学会2012年度年次大会、2012年9月

	メリット	検討課題	実機適用性
TOFD法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・補強板下の肉厚測定が出来る可能性がある</li> <li>・大口径厚肉配管においても測定可能</li> <li>・周方向、軸方向及び斜め方向についても測定可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定誤差が1mmと比較的大きい</li> <li>・探触子間の最小値の位置特定不可</li> <li>・実機適用性検討が充分でない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・今後検証試験体を充実の上、精度や制約条件等の検証を実施することによるデータ拡充及び供用中プラントへの実機適用性確認等を実施していくことで、民間規格化及び実機への適用が可能と考えられる</li> </ul>
磁束漏えい法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非接触式の測定が可能</li> <li>・高速で測定可能</li> <li>・補強板下の板厚測定が出来る可能性あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・減肉深さに対し、絶対値評価の検討が必要</li> <li>・補強板下減肉の検出精度向上、サイジング及び補強板下の空隙の影響等の評価必要</li> <li>・管外からの測定では実機での適用性検討が充分でない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管内部を走査可能なガスパイプライン等では既に実用化されている。管外からの測定については、実機適用性確認及び補強板下減肉の検出に関して今後検討を行っていく必要がある</li> </ul>

表2 定点監視に関する配管検査法（補強板下部領域の検査法）

	メリット	検討課題	実機適用性
ガイド波法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配管の広い範囲を一度に計測できる</li> <li>・伝搬領域では原理的には計測漏れがない</li> <li>・LDI等が発生する配管減肉位置の特定にも適用が期待されている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・溶接線やエルボで感度低下する</li> <li>・T管等エルボ以外の偏流部位の適用については開発中</li> <li>・減肉の定量的把握は開発中</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JSME S TB1-2009及び、NDIS2427:2010によって規格化されており、ある程度の広域における配管減肉状態を把握する方法として適用の見通しが得られつつある</li> <li>・減肉部の肉厚の定量性については今後開発状況を踏まえて検討要。</li> </ul>
マイクロ波法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・広範囲かつ高速に測定が可能</li> <li>・減肉量や減肉位置を定量的に評価可能</li> <li>・配管内に気体や液体がある場合も計測可能</li> <li>・大幅な検査時間やコストの削減が可能</li> <li>・複数の減肉や、実機に見られるような滑らかな減肉形状の場合も検出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配管側面または端部にマイクロ波センサとの接続部が必要</li> <li>・実機適用検討未実施</li> <li>・検出感度を向上させるセンサの改良要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検出感度の向上が必要。</li> <li>・配管肉厚測定における実機適用にあたっては、配管口径/厚さや、溶接線による精度への影響についてデータの蓄積が必要</li> </ul>

表3 広域監視に関する配管検査法