

液滴衝撃エロージョン (LDI) 評価システムの概要と計測箇所の選定評価イメージ

プラント配管の減肉トラブルの根絶を目指して ——液滴衝撃エロージョン (LDI) 評価システムの開発——

- 配管減肉のメカニズムを解明
- 予測・評価ツールの開発に向けて
- プラントの稼働率・信頼性の向上を目指して
- ひとつと 軽水炉高経年化研究総括プロジェクト 配管減肉ユニット
主任研究員 森田 良

配管減肉のメカニズムを解明

火力発電所や原子力発電所などをはじめとする各種のプラントでは、配管の中を流れる水や蒸気によって内面の腐食や侵食^{*1}が進み、配管の肉厚が薄くなる「減肉」と呼ばれる現象が生じます。そして最悪の場合、配管破断事故などにつながる可能性があります。このため、プラントを健全に保ち続けるには、こうした現象を早期に発見するための配管の保守管理が非常に重要となります。

電力中央研究所では、こうした配管減肉の発生メカニズムを解明し、その予測手法の確立に取り組むことで、配管減肉を起因とする事故の未然防止に寄与するのはもちろんのこと、配管検査の方法を最適化し、重要な部分をより効率的に保守管理できるようにすることを目指しています。

■事故防止に重要な減肉管理

2004年、福井県的美浜原子力発電所で、配管内面が減肉したことによる配管破損事故が起きました。これを受け電気事業では、今後こうした事故を二度と起こさないように、学会において規格を策定し、プラント配管減肉の早期発見とそれらの厳密な管理に取り組んでいます。しかし、1つのプラント内に膨大な数の検査対象配管があり、個々の配管の余寿命評価の際に過度に保守的に見積もっている箇所があるため、将来的にはより合理的な管理手法を確立することが期待されています。

このため当研究所では、配管減肉のメカニズム解明・減肉予測手法の確立に取り組んでいます。これらを用いることで、従来よりもより合理的な減肉管理が可能となり、さらに見落としの少ない効率的なメンテナンス計画が策定できるようになると考えられます。またそれは、これまで以上に事故を未然に防止できるようになることにも直結します。

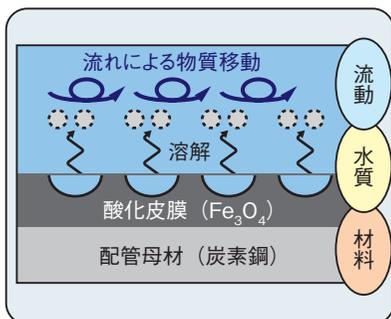


図1 流れ加速型腐食 (FAC) による減肉メカニズム

■二つの配管減肉現象

以前、減肉現象は、「エロージョン・コロージョン」などの名前ですべてまとめられていましたが、現在では「流れ加速型腐食：以下 FAC (Flow Accelerated Corrosion)」、「液滴衝撃エロージョン：以下 LDI (Liquid Droplet Impingement Erosion)」として大きく2種類に分けられています。

FACは、配管金属の化学的な腐食が水の流れることによって加速する減肉現象(図1)で、美浜原子力発電所での原因はこのFACであったことが分かりました。FACは配管の曲がり部分や配管径が細くなる絞り部分など、流れに乱れが生じる場所に発生することが多い現象です。また、化学的な腐食が面的に広く発生することから、配管が破損する際には大規模な配管損傷が生じる可能性があります。

一方LDIは、FACと同様に配管の曲がり部分や絞り部分で発生するものですが、こちらは蒸気が流れる配管において生じます。秒速100m以上にもなる高速蒸気中に混ざった液滴が配管壁に衝突し、その衝撃力で機械的に減肉が起こる現象です(図2)。LDIは、面的に生じるFACより狭い範囲で局部的に発生することから、配管の大規模な損傷事象にはつながりにくい面はありますが、局部的であるがために、減肉箇所の正確な検出が難しい場合があります。

*1 用語解説：「エロージョン」＝物理的または機械的な作用による侵食
「コロージョン」＝電気化学的作用による腐食

予測・評価ツールの開発に向けて

■減肉現象の解明に取り組む

当研究所では、実際の配管内の流動条件を模擬した実験や数値計算によって、減肉速度や減肉量の定量的な評価を行い、進展予測や余寿命評価に必要な減肉モデルや、それぞれの減肉現象評価システムの開発を進めています。

二つの減肉現象に対して、影響を与える要素は解明されつつあります。そこで本稿では、以下特に至近で研究が進展してきたLDIについて、詳細に紹介します。

LDIは、配管材料も影響する要素となりますが、一番重要なのは、蒸気中の液滴の速度や大きさ（液滴径）などの流れの要素になります。このため、減肉発生個所を予測する上では、配管内のさまざまな場所における液滴の状態（流速・液滴径など）を把握することが必要になります。

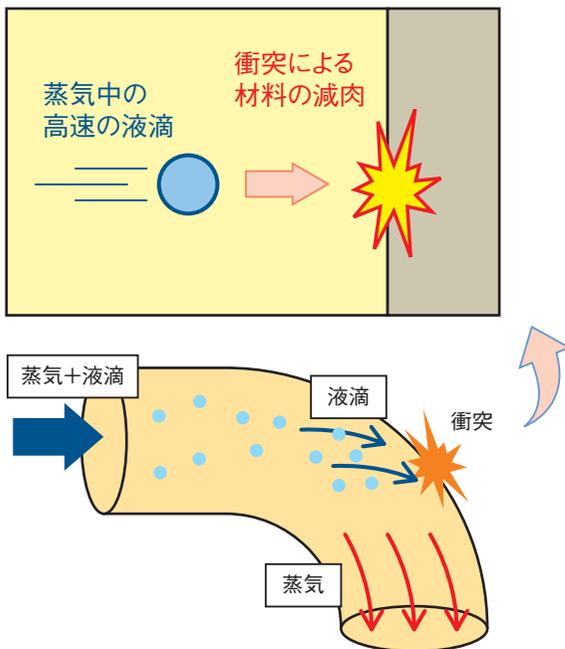


図2 液滴衝撃エロージョン (LDI) の模式図

■独自の評価手法を開発

配管内のさまざまな場所における液滴の状態を把握するために、当研究所ではまず、蒸気実験装置（図3）を用いた高速蒸気流中の液滴径の計測実験と、独自に開発したプログラムによる数値計算を組合せた研究を行い、液滴の大きさと流速などの状態量との相関式を作りました。

さらに、従来は液滴の挙動を3次元計算で行っていたため、非常に長い計算時間が必要でしたが、配管内の蒸気流に対象を絞ることで計算方法を1次元計算とし、所要時間を約1/1000と大幅に短縮することが可能になりました。また、その結果も3次元計算と定量的によく一致することを見出しました。

これまでに得られた液滴の状態を評価する研究の成果や、LDIと液滴の状態との相関に関する既存の知見などを基にして、発電所などの現場でも簡便に用いることが可能な、LDI発生箇所の予測・評価ツール（LDI評価ツール）の開発を最終的な目標として研究を進めています。

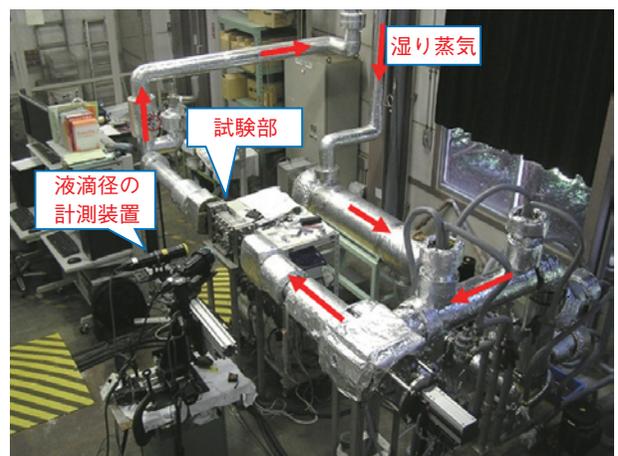


図3 蒸気実験装置による液滴径の計測実験

■ LDI 評価システムを構築

単純な個々の配管形状における液滴の状態評価に関しては、既に数値計算による評価が可能になっています。しかし、実プラントにおける複雑なレイアウトの配管系全体での LDI の評価を行うためには、これまでの個々の技術・知見を組み合わせ、評価の手順・方法などを改めて整理し、体系だった評価システムを構築する必要があります。このため、配管系の上下端での流動条件や、配管レイアウトの要素を加えて、①流動評価（配管内の流動（液滴）の状態評価）、②LDI 評価（評価対象個所での LDI による減肉量と流速などの関連性評価）を同時に自動的に行える、「LDI 評価システム」を新たに提案しました（表紙図）。

そして、本システムで配管絞り部のあるモデルを用いた試計算を行った結果、液滴の配管に対する衝突割合の評価が、減肉の可能性を判断する上では、流速、湿度などと同様に重要な要素になることが、また新たにわかってきました（図4）。

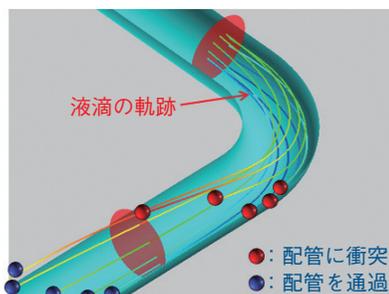


図4 液滴挙動計算による液滴衝突割合の評価

関連 報告書

- 「液滴衝撃エロージョン評価システムの構築」 電力中央研究所報告：L07017
- 「液滴衝撃エロージョンに関わる流動特性の解明（その2）－流動評価技術の高度化－」 電力中央研究所報告：L07016
- 「液滴衝撃エロージョンに関わる流動特性の解明（その1）－蒸気実験による液滴径の計測－」 電力中央研究所報告：L06008

■さらなる知見の蓄積が重要

LDI 評価システムは、現在はまだプロトタイプ段階ですが、今後は入力環境の整備や局所流動評価に関するデータベース化などを行い、近い将来、電力会社の現場で容易に使うことができる実用ツールにしていく予定です。

科学的な根拠に基づく配管減肉の実用的な評価方法を確立することは、管理やメンテナンスの合理化の鍵となるばかりでなく、社会から広く理解や信頼を得るためにも欠かせません。

当研究所ではFAC、LDIといった減肉現象それぞれに対する知見を今後もより深め、減肉トラブルの根絶を目指すと同時に、将来的には設備の稼働率向上などにも役立てていければと考えています。

● ひとこと



軽水炉高経年化
研究総括プロジェクト
配管減肉ユニット
主任研究員
森田 良

配管減肉は原子力発電所だけでなく、火力発電所などでも昔から生じている一般的な現象ですが、そのメカニズムや発生箇所の予測は複雑で、奥の深い研究対象となっています。

FAC・LDIの予測手法の構築、それらを1つにまとめたツールの開発は研究の段階的な目標であり、最終的な目標はツールの現場への適用による減肉管理の最適化・プラント信頼性の向上であるため、これからも所内外において議論を行いながら研究を推進していく体制を取っていきたいと思います。