

一般セッション | V. 核燃料サイクルと材料：505-3 原子力施設の廃止措置技術

■ 2020年3月17日(火) 10:00 ~ 12:10 | ■ C会場 共通講義棟 L棟1F L-2

[2C01-08] 事故炉の廃止措置技術1

座長:高橋 秀治(東工大)

10:00 ~ 10:15

[2C01] デブリ塗布用ゲルの放射線耐性

*牟田 浩明¹、日比野 航己¹、大石 佑治¹、秋山 庸子¹ (1. 阪大)

10:15 ~ 10:30

[2C02] 燃料デブリ大規模取り出しに向けた被覆材の適用可能性に関する研究

*黒澤 克則¹、鈴木 俊一¹ (1. 東京大学)

10:30 ~ 10:45

[2C03] 廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく配管システムのリスク管理

(1)固液混相流条件下における物質移動係数と腐食速度の評価

*中河 良太¹、阿部 博志¹、渡邊 豊¹ (1. 東北大)

10:45 ~ 11:00

[2C04] 廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく配管システムのリスク管理

(2)可視化実験によるエルボ内固液混相流への固体粒子特性の影響評価

*江原 真司¹ (1. 東北大)

11:00 ~ 11:15

[2C05] 廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく配管システムのリスク管理

(3)流れ加速型腐食による減肉に及ぼす固体粒子特性の影響評価

*渡辺 瞬¹、森田 良¹ (1. 電中研)

11:15 ~ 11:30

[2C06] 廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく配管システムのリスク管理

(4)電磁超音波試験法による配管減肉測定の高信頼化

*内一 哲哉¹、高木 敏行¹、孫 宏君¹、浦山 良一¹、手塚 晃世¹ (1. 東北大)

11:30 ~ 11:45

[2C07] 廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく配管システムのリスク管理

(5)粗面で反射した超音波とその周波数分析による粗さ評価

*中本 裕之^{1,3}、Guy Philippe²、高木 敏行^{3,4}、内一 哲哉^{3,4} (1. 神戸大、2. INSA de Lyon、3. 東北大、4. ELyTMaX UMI 3757)

11:45 ~ 12:00

[2C08] 廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく配管システムのリスク管理

(6)多点配管内面モニタリングによるベイズ法を用いた破損確率評価

*岩崎 篤¹、関塚 渉太¹ (1. 群馬大)

12:00 ~ 12:10

座長持ち時間

デブリ塗布用ゲルの放射線耐性

Radiation resistance of gel for debris coating

*牟田 浩明¹, 日比野 航己¹, 大石 佑治¹, 秋山 庸子¹

¹大阪大学

燃料デブリにゲル状物質を塗布することで、切削時における α 線核種を含むダストの拡散抑制を検討している。本研究では粘土鉱物ゲルを主体とした複合ゲルに γ 線を照射し、その透視度、水への溶出挙動などを与える影響を評価した。

キーワード：粘土鉱物ハイドロゲル、燃料デブリ

1. 緒言

福島第一原子力発電所の炉内に生じた燃料デブリは α 線核種を含んでおり、作業者の被ばく量低減のため、デブリ取り出し作業時には放射性ダストの拡散を強く抑制する必要がある。このため冠水させてからデブリの切削等を行うことが望ましいが、現在圧力容器は閉じ込め機能を喪失しており、補修が難しい状況にある。そこで燃料デブリ上に留まりダストの飛散を抑えながら切削等の作業を妨げない、ゲル状物質を塗布することを検討している。本研究ではこの塗布用ゲルの各物性に対する照射影響を評価した。

2. 実験方法

放射線耐性が高い無機系であり透視度が高いゲル状物質として、層状粘土鉱物ハイドロゲル（スメクトンST、クニミネ工業製）を選定した。これを基材として、粘土鉱物のみでは水に溶出してしまうため有機高分子化合物などを添加した複合ゲルを作製した。作製したゲルに⁶⁰Co線源を用いた γ 線照射試験を行い、各種基礎物性として、 γ 線照射前後における試料の粘度、透視度、熱的安定性、熱伝導率、また静置した状態での水への溶出試験を行った。

3. 結果

照射前の粘土鉱物ゲルの粘度のせん断率および温度依存性を図1に示す。せん断率が上がるほど低粘度となるチキソトロピー性を示し、切削時にドリルに触れる部分では見かけ粘度が減少し、作業を妨げないことが期待できる。また温度の増加とともにわずかに粘度が減少する傾向が見られた。照射前後で評価したところ、この粘度や熱伝導率などに対しては照射の影響は小さいことが確かめられた。水への溶出を防ぐためポリアクリル酸を複合したゲルの照射後の外観を図2に示す。照射によりわずかに黄色く変化している。水への溶出試験を行ったところ、未照射材は溶出しなかったのに対し、1 MGy以上の照射を行った試料はいずれも溶出した。粘土鉱物の層を繋ぎとめる高分子鎖が照射により切断されたためと考えられる。

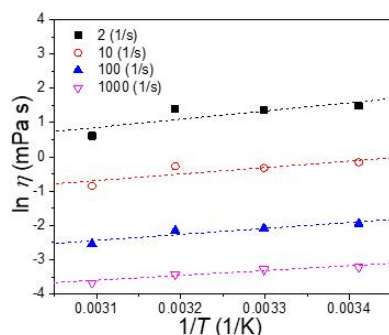


図1 2wt%スメクトンSTゲルの粘度

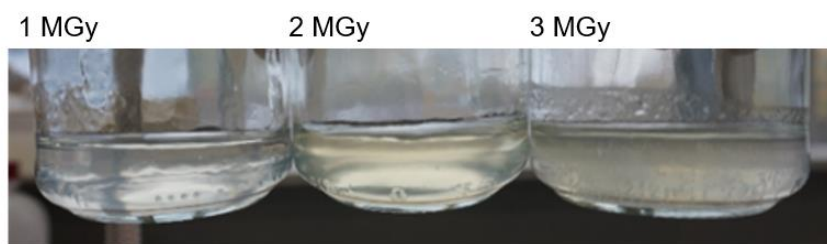


図2 照射後のスメクトンST-ポリアクリル酸複合ゲルの外観

謝辞 本研究発表は、英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業「燃料デブリ取り出しを容易にするゲル状充填材の開発」の成果の一部を含む。

* Hiroaki Muta¹, Kohki Hibino¹, Yuji Ohishi¹, and Yoko Akiyama¹

¹Osaka Univ.

燃料デブリ大規模取り出しに向けた被覆材の適用可能性に関する研究

Study on Application of Grouting Materials for Retrieval of Fuel Debris

*黒澤 克則¹, 鈴木 俊一¹

¹ 東京大学

燃料デブリ取り出し代替案として、ジオポリマー（以下、GP と略す）と沈降型超重泥水（以下、超重泥水と略す）を活用した大規模取り出し工法が提案されている。GP は燃料デブリの被覆材として用いるため、本研究では、熱伝達特性と材料強度特性および廃棄体として重要な水素発生特性について評価を行った。また超重泥水については、放射線および高温環境における沈降挙動を評価し、炉内環境でも施工が可能であることを確認した。さらに、上記被覆材を適用した際の放射線遮蔽性能を評価し、本工法の適用可能性を総合的に評価した。

キーワード：福島第一原子力発電所，燃料デブリ，ジオポリマー，沈降型超重泥水

1. 序論 現在、気中工法を重点に置いた燃料デブリ取り出し案が検討されているが、炉内構造物の損傷や切削時の放射性核種の飛散などの対策に課題がある。これに対し、Suzuki らは GP と超重泥水を活用した代替工法を提案している^[1]。炉内残存デブリを GP で被覆することで準安定化し、超重泥水を GP 表面に打設することで形成する沈降層切が削時の放射性核種を含む粉塵飛散を防止する役割を担うが、実際の炉内環境を想定した適用可能性評価が必要である。本研究では、取り出し作業時と廃棄物保管時に上記被覆材を適用した際に考えられる課題に対し、実験を通じて本工法の技術的成立性を評価した。

2. 被覆材評価試験 GP と添加剤を加えた改良材について、取り出し作業時の課題として考えられる格納容器下部の補強材としての圧縮強度試験、崩壊熱の蓄積による格納容器下部コンクリートの MCCI 反応の促進防止のための熱伝導率測定、および廃棄物保管時の課題として考えられる、放射線分解による水素発生特性評価と GP 内水素拡散試験を実施した。また超重泥水について、炉内環境を想定して放射線および高温環境下における施工可能性を評価するため、超重泥水の沈降挙動試験を実施した。その結果、照射および砂の添加により強度を増すこと、熱伝導率は低く添加剤を加えても大幅な向上はしないため別の除熱システムが必要であること、発生水素は Pd の添加および加熱乾燥でその量を低減できること、水素拡散挙動は温度と水分量に依存することなどの知見を得た。超重泥水は無機系の組成配合であれば照射および高温環境であっても数日程度で沈降が安定し、その挙動に大きな差異は見られなかったことから適用可能性のある材料であることが示唆された。また上記 2 つの被覆材を併用し、さらに GP に添加剤を加えるなどの改良を施すことで作業に十分な放射線遮蔽性能を担保することを確認した。

3. 結論と今後の課題 金属粉末や砂などの添加剤を加えた GP は補強・遮蔽・保管の観点から、超重泥水は炉内環境における施工性の観点から燃料デブリ被覆材として適用可能であり、本工法が技術的に成立する可能性が示唆された。今後の課題として、GP 内の水分量が熱伝導率や水素発生/拡散挙動に大きな影響を与える可能性があるため GP の水分量を条件として特性を評価すること、GP の熱伝達性能が低い場合ヒートパイプなどの除熱システムと組み合わせた取り出し工法を検討すること、超重泥水は流体のため配管や亀裂等から流出しないかなど更なる施工可能性調査を行うこと、などが挙げられる。

なお、本研究は CLADS 英知事業課題解決型廃炉研究プログラムの一環として実施した。

参考文献 [1] 俯瞰的アプローチによる燃料デブリ取り出し代替工法の提案, 鈴木俊一, 保全学 Volume 17 Num.4 (H31.1.)

*Katsunori Kurozawa¹, Shunichi Suzuki¹

¹The Univ. of Tokyo

廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく配管システムのリスク管理

(1) 固液混相流条件下における物質移動係数と腐食速度の評価

Piping system, risk management based on wall thinning monitoring and prediction -PYRAMID-

(1) Evaluation of mass transfer coefficient and corrosion rate under solid-liquid multiphase flow

*中河 良太¹, 阿部 博志¹, 渡邊 豊¹

¹東北大学

固液混相流条件下における炭素鋼の腐食速度を予測するため、物質移動係数が腐食速度に及ぼす影響を評価した結果を述べる。

キーワード : Fukushima-Daiichi nuclear power plant, decommissioning, solid-liquid multiphase flow, mass transfer coefficient, slurry flow corrosion, carbon steel

1. 緒言

福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出し作業中に、デブリ由来の微細な固体粒子等が冷却水に混入して固液混相流が形成されて、炭素鋼製冷却水配管の腐食速度が増大する可能性がある。そのため本研究では、固液混相流環境下における炭素鋼腐食速度を評価するとともに、鉄イオンの物質移動係数の観点から考察した。

2. 実験手法

2-1. 固液混相流の再現

流動の発生には、回転円筒電極を用いた。溶液中で円筒形試験片を最高回転速度 10000 rpm で回転させることで、試験片表面近傍に強制対流を生じさせる手法である。この流動セル中に直径おおよそ 100 μm 前後の粒子を混入させることで、固液混相流を作り出した。

2-2. 物質移動係数の測定

2-1 で述べた固液混相流条件において、物質移動係数を測定した。物質移動係数は、拡散係数を濃度境界層厚さで割った指標であり、物質流束は物質移動係数に比例する。そこで、本研究では電気化学的手法によって物質拡散流束(拡散限界電流密度)を測定することで物質移動係数を算出した。

2-3. 腐食速度の測定

2-2 で物質移動係数を測定した固液混相流条件において、炭素鋼試験片(STPT410)の腐食試験を実施した。溶液は 30 $^{\circ}\text{C}$ の高純度水を用い、イオン交換水に通すことで電気伝導度を低く保った。

3. 実験結果

物質移動係数測定の結果、直径 100 μm 前後の固体粒子が混入することによって物質移動係数が 2 倍程度増大することが分かった。腐食試験の結果、脱気液単相流環境における腐食速度は鉄イオンの物質移動係数に比例することが分かった。固体粒子が混入すると腐食速度は物質移動係数が増大した効果よりも大きく増加し、液単相流条件で得られた物質移動係数と腐食速度の関係と一致しなかった。

4. 結論

固液混相流において物質移動係数が 2 倍程度に増大することが分かった。脱気単相流下において腐食速度は鉄イオンの物質移動係数に比例することが分かったが、固体粒子が混入した場合、単相流で得られた傾向より大きな腐食速度を示したことから、固体粒子の衝突による皮膜の破壊等が生じている可能性が示された。

謝辞

本研究は文部科学省 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業(日仏)「配管減肉のモニタリングと予測に基づく配管システムのリスク管理」の成果である。

*Ryota Nakagawa¹, Hiroshi Abe¹ and Yutaka Watanabe¹

¹Tohoku Univ.

廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく 配管システムのリスク管理

(2) 可視化実験によるエルボ内固液混相流への固体粒子特性の影響評価

Piping system, risk management based on wall thinning monitoring and prediction - PYRAMID -

(2) Experimental investigation of influence of solid particle properties upon a solid-liquid two-phase flow by flow visualization

*江原 真司¹

¹東北大学

事故を起こした原子力発電所においてデブリ粉塵を含む固液二相流の原子炉冷却循環システムにおいては、腐食による配管減肉現象が明らかとなっていない。本研究ではエルボ流れに着目し、種々の固体粒子を用いた固液二相流について流れの可視化実験を行い、固体粒子特性の流れ場への影響を評価した。

キーワード： 固液二相流，配管減肉，可視化実験

1. 緒言

福島第一原子力発電所における廃止措置に向けたデブリ取り出し作業においては、デブリの切り出しに伴うデブリ粉塵ならびに金属切り粉を含む固液混相流が原子炉冷却水循環システムを流れる可能性がある。循環システム配管内においては、粉塵の管壁近傍における流れによる溶出鉄イオンの濃度境界層攪拌により配管減肉の促進が予想される。本研究ではエルボ配管体系に着目し、配管内流れ中への固体微粒子の添加により流れ場（時間平均場・流れの変動等）がどのように変化するかについて、またその変化が粒子の質量密度・大きさ・流速などへのパラメータ依存を明らかにすることを目的とし、実験を行った。

2. 実験方法および結果

本実験に用いた水流動試験装置の概略を図1に示す。試験部であるエルボ、その上流に設置している助走区間および試験部下流の円管は内径 56 mm (D) の円形流路となっている。固体粒子としてガラスビーズ（粒径 63-75 μm ）を用い、粒子数速度を $5.54 \times 10^6/\text{s}$ (Case1), $2.77 \times 10^7/\text{s}$ (Case2), $5.54 \times 10^7/\text{s}$ (Case3), 軸方向平均流速を 1.5 m/s として実験を行った。図2に、エルボ出口における時間平均速度速度分布（曲り面内）を示す。横軸が無次元距離、 $x=0$ がエルボ背側、 $x=D$ が腹側壁面である。今回の粒子条件では、時間平均速度については粒子無しの単相流との違いがほとんど出ていないことが分かる。

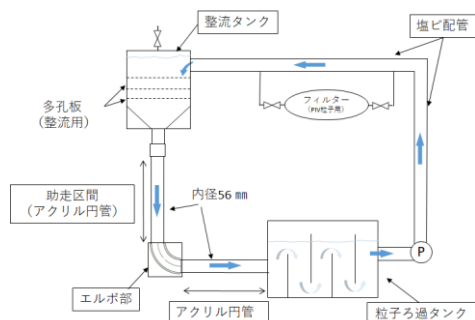


図1 実験装置概略

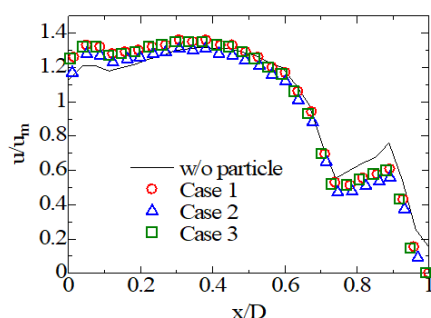


図2 エルボ出口における速度分布

3. 結言

固液二相流のエルボ流れについて、粒子数速度を変えて実験を行った。発表時には他の粒子条件についても報告を行う。

*Shinji Ebara¹

¹Tohoku Univ.

廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく 配管システムのリスク管理

(3) 流れ加速型腐食による減肉に及ぼす固体粒子特性の影響評価

Piping system, risk management based on wall thinning monitoring and prediction - PYRAMID -

(3) Evaluation of Solid Particle Characteristic on Pipe Wall Thinning by Flow Accelerated Corrosion

*渡辺 瞬¹, 森田 良¹

¹ 電力中央研究所

流動解析手法を用いて、固液混相流条件の減肉評価を行ったところ、エルボ部の腹側と側面に局所的な減肉領域が見られ、この傾向は固体粒子の体積割合の増加に伴って顕著になることが分かった。

キーワード： 廃止措置、配管減肉、固液混相流、物質移動係数

1. 緒言

本研究では、デブリ粉塵を含む固液混相流による配管減肉モデルを構築することを目的としている。本報では、流動解析手法を用いて、固液混相流条件の減肉傾向に与える固体粒子特性の影響評価を行った。

2. 固液混相流条件における減肉評価

流れ加速型腐食 (FAC) による減肉の評価モデル^[1]を用いて、FAC の流動因子である物質移動係数を評価した (図 1)。固相については、固体の粒子群を取り扱うパーセルモデル^[2]によって表現した。本評価により、エルボ部の腹側と側面に顕著な減肉領域が発生することを確認した。また、固体粒子の体積割合が増加すると、減肉傾向が顕著になることが分かり、固体粒子の存在が減肉に対して優位に影響することが示唆された。

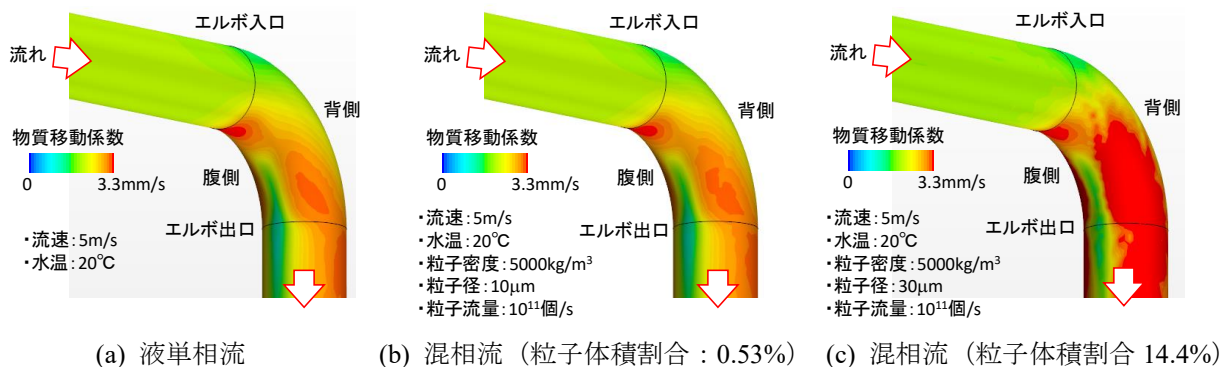


図 1 流動解析による固液混相流条件下の減肉評価 (配管表面における物質移動係数)

3. 結論

流動解析手法を用いて、固液混相流条件の減肉評価を行ったところ、エルボ部の腹側と側面に顕著な減肉領域が発生した。本体系の減肉評価では、固体粒子の体積割合が重要なパラメータになることが示唆された。

参考文献

- [1] 米田 他、「流れ加速型腐食に対する影響因子の定量的な評価 (その 4)」、電中研研究報告 L09006、(2010)
- [2] 渡邊 他、「乱流混合層中の粒子挙動に及ぼす代表粒子モデルの影響」、J. Soc. Powder Technol., Japan, 51, 846-855 (2014)

*Shun Watanabe¹ and Ryo Morita¹

¹Central Research Institute of Electric Power Industry.

廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく 配管システムのリスク管理

(4) 電磁超音波試験法による配管減肉測定の高信頼化

Piping system, risk management based on wall thinning monitoring and prediction - PYRAMID -

(4) Improvement of reliability of pipe wall thickness measurement by electromagnetic acoustic transducers

手塚 晃¹, 浦山 良一¹, 孫 宏君¹, 高木 敏行^{1,2}, *内一 哲哉^{1,2}

¹ 東北大学, ² ELyTMAX UMI 3757

本研究では、一様減肉から局所減肉などの様々な減肉形態に対応できる収束ビー型電磁超音波探触子を開発し、ビー型の収束や肉厚評価の精度について確認した。

キーワード：電磁超音波試験、配管減肉

1. 緒言

福島第一原子力発電所のデブリ取出し作業においては、デブリ粉塵を含む固液混相流が流れる配管システムの適切な管理が求められており、過酷環境における配管減肉モニタリング手法の確立も課題の1つとして挙げられている。本研究では、耐放射線性と評価信頼性に優れた電磁超音波探触子(EMAT)を用いた配管肉厚測定のための減肉モニタリングへの適用性について検討を行う。

2. 焦点型 EMAT の試作と評価

デブリ粉塵を含む固液混相流による配管の減肉現象を予測することが困難であるため、単一のプローブにより一様減肉から局所減肉などの様々な減肉形態に対応することが必要である。本研究では超音波ビー型を収束させることが可能な焦点型 EMAT を適用する。

図 1 に示すミアンダコイルを用いた焦点型 EMAT^[1]を試作した。炭素鋼において SV (Shear vertical) 波が深さ 20mm において収束するよう設計した。

試作したプローブによるビー型の収束特性を評価するために、超音波可視化装置((一財)発電設備技術検査協会)^[2]を使用し測定を実施した。厚さ 20.3 mm の炭素鋼平板に EMAT を設置し、その裏面において縦波探触子を用いて音場の分布を 0.2 mm ピッチで計測した。図 1(b)に示す音場の測定結果から、超音波ビー型は収束しており、6dB ドロップ指示範囲で評価した有効ビー型径は 6.8 mm であることを確認した。当日は、減肉模擬試験の測定結果についても、報告する予定である。

謝辞 本研究の一部は、「文部科学省英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業(日仏)」により実施された「配管減肉のモニタリングと予測に基づく配管システムのリスク管理」の成果である。

参考文献

- [1] T. Takishita, and H. Ogi et al., “Development of shear-vertical-wave point-focusing electromagnetic acoustic transducer,” Japanese Journal of Applied Physics **54**, (2015) 07HC04.
[2] 山本敏弘他 “EMAT が発生する超音波の可視化,” 溶接・非破壊検査技術センター技術レビュー **9**, (2013) 17-21.

Akitoshi Tezuka¹, Ryoichi Urayama¹, Hongjun Sun¹, Toshiyuki Takag^{1,2}, *Tetsuya Uchimoto^{1,2}

¹Tohoku Univ., ²ELyTMAX UMI 3757, CNRS – Université de Lyon – Tohoku University, International Joint Unit

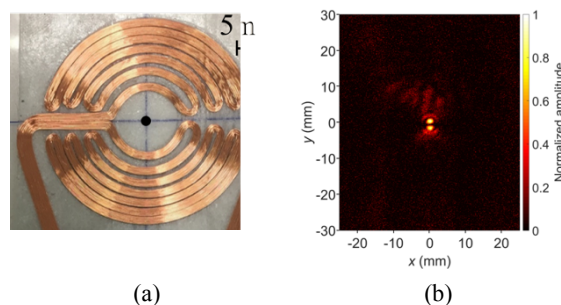


図 1 試作プローブ(a)と、試験片裏面での超音波振幅分布 (b)

廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく 配管システムのリスク管理

(5) 粗面で反射した超音波とその周波数分析による粗さ評価

Piping system, risk management based on wall thinning monitoring and prediction - PYRAMID -

(5) Roughness measurement based on frequency analysis of ultrasonic wave reflected on rough surface

*中本 裕之^{1,3}, Guy Philippe², 高木 敏行^{3,4}, 内一 哲哉^{3,4}

¹神戸大学, ²INSA de Lyon, ³東北大学,

⁴ELyTMaX UMI 3757, CNRS–Université de Lyon–Tohoku University, International Joint Unit

本研究は配管内面の粗面の粗さの計測を目的とし、超音波の反射波の減衰から粗さを推定する方法を提案する。減衰と粗面の粗さの関係を周波数ごとに解析し推定の有効性について考察した結果を報告する。

キーワード：非破壊計測, 超音波, 減衰, 腐食

1. 緒言

配管中の流体は配管内面に腐食を発生させ、この腐食は減肉を伴いつつ粗面を形成する。一般に配管検査では肉の程度を調べるため配管の厚さを計測するが、粗面の粗さも配管の健全性評価の要因となり得る。そこで、本研究では配管検査技術の高度化のため、粗面の粗さを計測する方法を検討した。

2. 方法と実験

超音波の減衰にもとづき粗さを評価する。粗さ以外の要因を無くすため、超音波を入射後 2 回目の反射波までを計測する。計測データから 1 回目と 2 回目の反射波の部分を取り出し周波数毎の振幅を算出し、粗面における散乱による超音波の減衰を評価する。

周期的な傷もつ試験体の計測データから周波数解析により特定の周波数における振幅を求め、傷の無い試験体の振幅との比率を算出した。プローブ固有の周波数よりも低い周波数における比率は理論的な減衰の比率^[1]と比較して低感度である傾向がみられた。一方、高い周波数では逆に粗さに対して高感度に減衰が大きくなる結果が得られた。これらの結果は、周波数毎に算出した減衰を用いることで詳細な粗面の情報を推定できる可能性があることを示唆している。

3. 結論

粗面で反射した超音波の周波数毎の振幅の減衰を確認した。今後は粗さの推定式の導出を検討する。

謝辞

This work was realized in the framework of the PYRAMID project (Piping sYstem, Risk management based on wAll thinning MonItoring and preDiction) which is supported by the French National Agency of Research. (ANR-17-CE08-0046) and carried out under the Center of World Intelligence Project for Nuclear S&T and Human Resource Development by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan. Part of the work was carried out under the Collaborative Research Project of the Institute of Fluid Science, Tohoku University.

参考文献

[1] PB. Nagy and L Adler, J. Acoust. Soc. Am. 82 (1987)

*Hiroyuki Nakamoto^{1,3}, Philippe Guy², Toshiyuki Takagi^{3,4} and Tetsuya Uchimoto^{3,4}

¹Kobe Univ., ²INSA de Lyon, ³Tohoku Univ., ⁴ELyTMaX UMI 3757, CNRS–Université de Lyon–Tohoku Univ., Int. Joint Unit

廃炉措置における配管減肉の予測とモニタリングに基づく 配管システムのリスク管理

(6) 多点配管内面モニタリングによるベイズ法を用いた破損確率評価

Piping system, risk management based on wall thinning monitoring and prediction - PYRAMID -

(6) Evaluation of Probability of Failure using Bayesian Method

with multi-point piping inner surface monitoring

*岩崎 篤¹, 関塚 渉太¹

¹群馬大学

本研究は、誤差を有する減肉量検査データより配管内面の減肉進行及び減肉量分布をベイズ法により推定し、将来の破損確率(PoF)の定量評価を行う手法に関するものである。本稿では、冷却水循環システムの配管設備を対象とし、エルボ部の多点モニタリングから減肉進行および将来の破損確率、リスク評価を行う手法の提案及び有効性の検証を行った。

キーワード：モニタリング，信頼性，破損確率，配管減肉，工学リスク，リスク評価，ベイズ推定

1. 緒言

原子力発電所の原子炉冷却水循環システムの配管設備に破損が生じた場合、原子炉は冷却機能を失い放射性物質が外部へ放出されるリスクが懸念される。特に、福島第一原子力発電所の排水プラントは応急的に作られたものであり、外力の作用、内部流体の状態など不明なパラメータが多く存在しており、減肉進行状態や寿命消費性能に不確実性を有する。そのため適切な肉厚の管理が重要となるが、作業環境を考慮し、遠隔モニタリングによる管理が望ましい。しかし、センサによる減肉量の検査データは誤差を有し、コスト等の観点から計測箇所数は限定される。そこで本研究では、ベイズ推定を用い、複数箇所の減肉モニタリングデータより、配管系の破損確率および影響度を考慮した工学リスクを定量評価する手法の提案を行う。

2. 工学リスク評価手法

提案手法では、工学リスク評価を 1)計測箇所単点での減肉進行予測および将来の減肉量評価、2)危険部位の減肉量分布予測、3)限界状態関数法による破損確率評価、4)影響度を考慮した工学リスク評価の流れで実施する。適用対象は内部状態に不確実性が高く、結果減肉進行モデルの確定が困難である。そこで提案手法では、複数の減肉進行モデルの候補を設定し、ベイズ推定により、モニタリングデータから各進行モデルの確信度を評価する手法で進行予測を行う。また PYRAMID プロジェクトでは、環境に対する頑健性を有するセンサを用いる予定であり、使用予定センサの評価特性を考慮した進行予測モデルの検討を行った。提案手法にて設定した配管系のリスクマトリクス評価を行い、提案手法の有効性の検証を行った。

3. 結論

提案手法の有効性及び評価に必要なセンサ数、計測精度の検討を行い、提案手法の有効性、プロジェクトに用いるセンサが有効な評価精度を有すること、6点程度の計測点数で評価精度が安定することを示した。

*Atsushi Iwasaki and Shota Sekizuka¹

¹Gunma Univ.