

燃料デブリの経年変化における物理学的メカニズムに関する研究

(1) 周期的な温度変動による総クラック長さの変化

Study on physical mechanism in aging phenomenon of fuel debris
(1) Transition of total crack length by cyclic temperature fluctuation

*鈴木 誠矢¹, 矢野 公彦¹, 渡部 雅之¹, 小泉 健治¹

¹ 日本原子力研究開発機構

温度変動による燃料デブリの経年変化挙動を評価するため、熱膨張率および破壊じん性により代替物質を選定し、周期的な温度変動下でのクラック長さの変化を評価した。実際の燃料デブリが受けるとされる環境よりも過酷な温度変動条件ではあるものの、温度変動の影響により単位面積当たりの総クラック長さが増加することを確認した。

キーワード：燃料デブリ, 経年変化, 物理学的メカニズム, クラック, 温度変化, 風化

1. 緒言

福島第一原子力発電所（以下、「1F」という。）における燃料デブリの取り出し開始は2021年度以降と想定されており、取り出しにも相応の時間を要すると考えられる。また、取り出した燃料デブリは長期間保管される可能性もある。このような長期にわたる1F廃止措置におけるリスクを検討する場合、燃料デブリ性状の経年変化を適切に予測することが重要である。燃料デブリの主成分の多くは酸化物であるため、経年変化のメカニズムとして、気温変化に伴う物質間の熱膨張率の違いによる岩石中でのクラックの発生・伝播により破壊に至る、岩石の風化^[1,2]と同様のメカニズムで、燃料デブリの微粉化が進む可能性が考えられる。しかし、燃料デブリの経年変化に対する気温変化の影響度など、物理学的メカニズムの影響度を定量的に評価するような既存の知見はない。そこで本報では、その影響度の定量的評価の一環として、酸化物-金属の熔融固化体試料に周期的な温度変動（以下、「熱サイクル」という。）を加え、酸化物の総クラック長さの変化を測定した。

2. 実験

燃料デブリの代替として使用する材料は前述の物理学的メカニズムの影響の観点から、熱膨張率とクラックの進展しやすさを表す破壊じん性の値により選定した。酸化物については、熱膨張率および破壊じん性の値が UO_2 に近い Y_2O_3 を、金属は実際に炉内にあると考えられるステンレス鋼を選定し、酸化物を熔融金属で覆った酸化物-金属の熔融固化体試料を用いた。

長期保管される燃料デブリが影響を受けると考えられる数十年間の気候変動および自己発熱を考慮し、熔融固化体試料に対して電気炉で基準温度を中心に $\pm 25^\circ\text{C}$ の熱サイクルを与えることでクラックの発生・伝播を促した。これらを樹脂包埋した上で、切断・研磨処理を施して、断面の総クラック長さを測定した。総クラック長さの測定は、レーザー顕微鏡により得られた Y_2O_3 部の画像に対して、モノクロ画像化、エッジ処理、二値化処理、クラック以外の削除を施した後、画像処理ツールを用いてクラックを自動的に選別して長さを計測した。

3. 結果

熱サイクルを与えた試料の単位面積当たりの総クラック長さの変化を図に示す。熱サイクル数の影響として、基準温度が 225°C の場合、熱サイクル数が増えるにつれ Y_2O_3 内部のクラックが増加する傾向を確認した。一方、基準温度が 425°C の場合は、熱サイクル数とクラックの長さに単純な増加傾向はなかった。これは、材料の温度差による機械的物性(破壊じん性、弾性率等)の違いが影響したものと考えられる。

このような知見を蓄積することにより、燃料デブリの経年変化に対する温度変動の影響を定量的に評価することが可能になると考えられる。今後は、溶出などの化学的メカニズムに影響を与える表面積の変化についても検討を加えるとともに、ウランを含む材料でのデータ取得を行っていく予定である。

参考文献

[1].BLAND, Will J.; ROLLS, David. Weathering: an introduction to the scientific principles. Routledge, 2016. [2].KIMIYA, Kazukuni. Rock Weathering from a Geological Standpoint. Journal of the Japan Society of Engineering Geology, 1991, 32.3: 120-129.

*Seiya SUZUKI¹, Kimihiko YANO¹, Masayuki WATANABE¹, Kenji KOIZUMI¹. ¹Japan Atomic Energy Agency

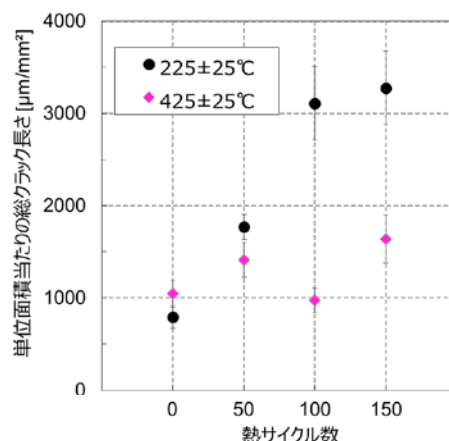


図 単位面積当たりの総クラック長さ (平均値)