

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

Study on physical mechanism in phenomenon of fuel debris

*鈴木誠矢, 荒井陽一, 岡村信生, 渡部雅之

日本原子力研究開発機構

燃料デブリの取出し・保管において、長期の安全性を評価するため経年変化プロセスの把握は重要な課題の一つである。本報では経年変化の一因である物理学的メカニズムに着目し、環境温度の変化を要因とするクラックの発生量などの影響を調査し、燃料デブリのクラックの発生・進展に係る挙動を明らかにした。

キーワード：燃料デブリ, 経年変化, 物理学的メカニズム

1. 背景・目的

福島第一原子力発電所（1F）において発生した溶融燃料や原子炉構造物を含む燃料デブリは、長期間冠水状態にあり、また廃炉のために取出された後は、最終的な処理方法が決定されるまでさらに長い期間保管されることが予想される。炉内は冷却管理されているが、昼夜や季節性の温度変化の影響を受ける。そのため、燃料デブリは岩石や鉱物の風化に似た経年変化（劣化）が進むと想定される。燃料デブリの経年劣化が進むと、燃料デブリの機械的強度が低下して容易に微粉化することで、放射性物質の冷却水への分散や溶出の可能性がある。本研究では、1F 燃料デブリ特有の生成・滞在環境や周辺の気候変動を考慮した物理学的な経年劣化挙動の把握を目的とし、環境温度の周期的な変化が燃料デブリを模した試料中のクラックの発生及び進展に与える影響を評価した。

2. 実験

試料として、 UO_2 及び、それと同程度の熱膨張率並びに破壊じん性を有する Y_2O_3 とステンレスの溶融固化体（ UO_2 -SUS 試料、 Y_2O_3 -SUS 試料）を作製した。試料の概略を図 1 に示す。これらを周期的な温度変動（サイクル）に晒した後、酸化物中のクラックの状態を観察した。温度条件は、燃料デブリの内部は未だに高温の部分もあり、局所的な温度勾配が生じていることを考慮して 200～250℃に設定した。これは、燃料デブリと類似した組成と考えられる岩石やセラミックスの熱膨張率が変化する温度領域でもある。温度の変化幅は、周辺地域の寒暖差を考慮して±25℃に設定した。そして、温度サイクル数は寒暖の周期（1年で1サイクル）及び、熱源の突発的な移動による温度勾配の発生を考慮して 50、100、150 回とした。上記の熱サイクルに晒した試料は切断・研磨等の後、レーザー顕微鏡で断面画像を取得し、最後に画像処理解析によりクラック長さを計測した。画像処理には WinROOF2015 を使い、バックグラウンド処理、最大値フィルタ、輝度量子化、2 値化処理、そして排他的膨張処理を経てクラックを抽出・計測した。

3. 結果と考察

UO_2 -SUS 試料と Y_2O_3 -SUS 試料の両方とも温度サイクル数の増加に伴いクラック長さも増加することを確認した。全ての模擬デブリ試料のクラック量は上昇傾向にあったが、 Y_2O_3 -SUS 試料は徐々にクラック長の増加量は減少する傾向にあった。この結果から、燃料デブリに発生するクラックは一定量で成長が停止し、微粉化までには到達しない可能性があることが示唆された。計測結果をもとに疲労クラック進展速度を表す Paris 則^[1]（下式）を使った評価を試みた。

$$da/dN = C\Delta K^m$$

N：繰り返し数、a：クラック進展長さ、 ΔK ：応力拡大係数、C, m：材料定数

応力拡大係数 ΔK は応力拡大係数ハンドブック^[2]の中から本試験と近いモデルを選定し、その応力拡大係数導出式に計測したクラック長さや温度の情報を代入することで求めた。 da/dN - ΔK プロットから材料定数である C と m を算出することで、温度サイクルの繰り返し回数に応じたクラック長さの変化を確認することができた。今後、試験の取出し等で明らかになっていく 1F 燃料デブリの性状を上記モデルに適用することで、環境温度の変化による燃料デブリの経年劣化挙動を予測可能となる。

参考文献

- [1] PARIS, Paul; ERDOGAN, Fazil. A critical analysis of crack propagation laws. 1963.
[2] MURAKAMI, Y., et al. Stress Intensity Factors Handbook, Vol 2, Revised Edition. 1990.

*Seiya Suzuki, Arai Yoichi, Okamura Nobuo, Watanabe Masayuki
Japan Atomic Energy Agency

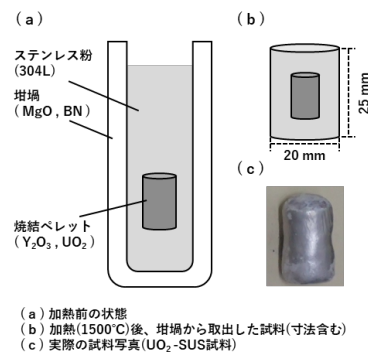


図 1 試料の概略図