使用済燃料プールにおける冷却機能喪失事故及び冷却材喪失事故に関する解析
- 使用済燃料集合体の模擬実験体を用いた酸化実験の実験解析 -

Loss of Cooling System and Loss of Coolant Accident Progression Analysis for Spent Fuel Pools
- Experimental Analysis for Oxidation of Spent Fuel Assemblies using Mockup Fuel Bundles –

＊小城　烈、堀田　亮年
原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

使用済燃料プール(以下「SFP」という。) における大規模冷却材喪失事故進展解析の評価手法の整備を目的として、米国サンディア国立研究所 (以下「SNL」という。) で行われたSFP燃料集合体の模擬実験体を用いた酸化燃焼実験[1]を対象として、酸化反応に伴う燃料温度挙動を事故進展解析コードMELCORを用いて解析した。
キーワード：使用済燃料プール、冷却機能喪失事故、被覆管酸化、輻射熱伝達、MELCOR

1. 緒言

SNLでは未酸化のジルカロイ(以下「Zry」という。)被覆管を用いたBWR 9x9模擬実験体による実機相当寸法の単一体系及び実機の1/3長さ相当の1x4体系を用い、空気環境下での強制加熱によるZry燃焼実験が実施された。本研究では、MELCOR 2.1を用いて、これらの２実験に対する解析を実施し、SFP冷却材喪失事故及び冷却機能喪失に関する現象を予測する解析モデルの妥当性を検討した。

2. 関連モデル

1) 被覆管酸化反応モデル

酸化モデルは、ANLモデル[2]及びPSIモデル[3]を用いた。これらは蒸気及び空気中の被覆管酸化反応を扱うことができる。ANLモデルはブレイクアウェイによる酸化反応が生じる時定数を実験による結果から経験的に定めている。PSIモデルでは被覆管表面の酸化膜の厚さをパラメータとして、酸化膜が不安定となる過程を機構論的にモデル化している。これらのデータベースには、被覆管材質としてZry-4、Zirlo及びM5であり初期酸化膜がある場合のデータが含まれる。

2) 輻射熱伝達モデル

輻射熱伝達については、燃料からチャネルボックス及び燃料ラックを経由して集合体外側に熱移動するモデルとし、輻射面積及び形態係数を設定した。また、燃料付近の空間へのガス輻射を考慮した。

3. 解析条件及び解析結果

1) 単バンドル実験解析

本実験では、実機相当寸法の模擬実験体を加熱し、被覆管温度並びにバンドル内及び出口付近の酸素濃度を測定しており、これらを指標として酸化反応モデルと酸化反応開始温度をパラメータに解析を行った。解析条件は、酸化モデルにPSIモデルを用い、ブレイクアウェイによる酸化開始温度を1050 K とした。また、試験体系外側の保温材へ、チャネルボックスの2 % に相当する面積から熱放出すると仮定した。燃料中心部(高さ96”付近)における解析結果及び試験結果を図1 に示す。この範囲では燃料温度上昇及び酸素濃度について、比較的良い一致を示した。

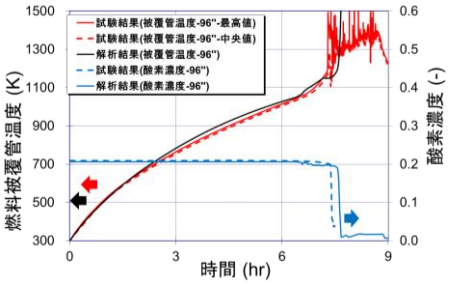

図1 単バンドル実験解析結果

2) 1x4バンドル実験解析

本実験では、中心１体を加熱し、周囲非加熱４体を含む被覆管温度及びバンドル出口付近における酸素濃度を測定している。解析条件は、単バンドル実験でよい再現性を示したPSIの酸化モデル及び系外への輻射による放出率を用い、燃料表面からチャネルボックスへの輻射伝熱の形態係数を0.1とした。試験結果及び解析結果を図2 に示す。中心燃料の温度上昇に伴って、周辺燃料の温度が上昇し、5時間後付近で燃料温度が急上昇するとともに、酸素濃度が低下する。解析結果は、中心燃料及び周辺燃料の温度、酸素濃度において、試験結果と良い一致を示した。

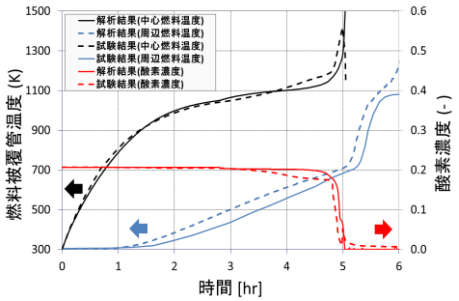

図2 1x4 短尺バンドル実験解析結果

4.結言

本研究により得られたSFPにおける燃料露出時の被覆管温度挙動のモデルに関する知見は、今後整備を行うプール全体モデルに反映する予定である。本解析で対象とした実験は未酸化被覆管を用いており、酸素侵入挙動等は初期の酸化膜構造に影響を受ける。また、蒸気–空気混合気条件下の反応速度等の被覆管酸化モデルの不確かさについて、更にJAEA等で実施された実験データを追加し、モデルの妥当性を検討する。

参考文献

[1] E.R.Lindgren et al. NUREG/CR-7143(2013). [2] K.Natesan and W.K.Sopprt, NUREG/CR-6846(2004). [3] J.Birchley et al. TM-42-14-09, PSI(2014).

*Retsu Kojo, Akitoshi Hotta, S/NRA/R