

# 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

## - 空気-蒸気混合気環境下における酸化モデルを用いた事故進展解析 -

Loss of Cooling System and Loss of Coolant Accident Progression Analysis for Spent Fuel Pools  
- Accident Progression Analysis using Oxidation Models under Air-Steam Mixture Environments -

\*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の解析評価手法の整備を目的として、事故進展解析コードMELCORを用いて蒸気及び空気-蒸気混合気環境下における燃料被覆管の酸化実験を解析し、この結果を用いてSFPにおける冷却材喪失事故(以下「LOCA」という。)の事故進展を解析した。  
キーワード：使用済燃料プール、被覆管酸化、空気-蒸気混合気、MELCOR

**1. 緒言** SFPにおける重大事故時において燃料が露出した場合、燃料被覆管は蒸気のみならず建屋内に存在する空気に曝される。OECD/NEAのSFPに関する重要現象ランキングテーブル<sup>[1]</sup> (PIRT)において、空気-蒸気混合気環境下における酸化挙動は蒸気による酸化と酸素による酸化の挙動が異なることや空気中の窒素による影響によって酸化挙動を記述する解析モデルの検討が今後の研究課題として挙げられている。SFPでのLOCAにおいては、事故進展によってSFP内の気相部を占める気体の状態が異なる。そこで本研究では、MELCORに実装されている空気-蒸気混合気環境下の酸化モデルを検討し、これらのモデルを用いた代表的なBWRプラントのSFPにおける事故進展解析を実施し、酸化挙動の違いによる事故進展への影響を分析した。

**2. 被覆管酸化反応モデルの検討** 空気-蒸気混合気条件下での酸化モデルの検討を目的に、ドイツ Karlsruhe Institute of Technology (KIT)で実施された複数の空気-蒸気混合気条件下での酸化試験<sup>[2]</sup>を対象に実験解析を行った。実験ではジルカロイ被覆管を加熱炉に設置し、空気-蒸気の混合気体を流入させながら一定温度で加熱し、被覆管温度及び質量の増加量を測定した。解析では加熱炉の空間を1つの体積として、初期酸化被膜のZrO<sub>2</sub>を考慮した被覆管ジルカロイを体積内に設定し、加熱した。MELCORにおける被覆管の酸化モデルは酸化物の質量変化をアレニウス型の係数を用いてモデル化している<sup>[3]</sup>。解析から空気-蒸気の混合気体割合の異なる実験に対して広い範囲で解析結果がよく一致する酸化速度係数を求めた。

**3. 実機体系での解析** 2.で実施した酸化モデルの検討結果を考慮し、国内の代表的なBWRプラントにおける実機体系での事故進展解析を行った。解析のノード図を図1に示す。崩壊熱は核分裂生成物評価コードORIGENを用いて、各燃焼サイクルの崩壊熱及び放射性物質質量を計算した。燃料集合体はSFP内に高発熱の燃料が隣り合わない配置となるモデルとした。建屋及びSFPにおける自然対流冷却挙動は、参考のため3次元熱流動解析を実施し、燃料部を通過する気体の質量流速が同等となるようにノーディングを行った。事故シナリオはLOCAとし、緩和操作は期待しない。LOCAの位置は、SFP底部及び燃料の有効発熱長下端(以下「BAF」という。)の高さとした。BWRの燃料集合体にはチャンネルボックスが設置されており、SFP底部でのLOCAの場合は、自然対流によって集合体下部から空気が流入するが、BAF高さでのLOCAの場合は燃料下部がシールされる。

SFPが原子炉側から切り離されるスクラム後約10日で起因事象が発生する場合の解析結果を示す。燃料損傷に至るまでの時間はBAF高さでのLOCAの場合が底部でのLOCAの場合に比べて、一時間程度遅い結果となった。底部でのLOCAの場合は14時間以降から被覆管温度が急激に上昇した(図2)。これは底部でのLOCAの場合は酸素による酸化反応が活発であるのに対して、BAF高さでのLOCAの場合は酸化反応のための酸素が欠乏することで、反応熱が制限される結果となった(図3)。底部でのLOCAの場合は自然対流冷却による除熱が期待されるが、スクラム後10日程度の場合には、酸化反応による発熱が、自然対流冷却による除熱を上回る結果となった。

**4. 結言** 燃料取出後短期間においてLOCAが発生した場合、酸素による酸化反応の有無によって事故進展の挙動が異なることを確認した。

**参考文献** [1] OECD/NEA, NEA/CSNI/R(2017)18, (2017). [2] M.Steinbruck, et al., FZKA7257(2007). [3] R.O. Gauntt et al. SAND 2017-0455, vol.1 (2017)

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

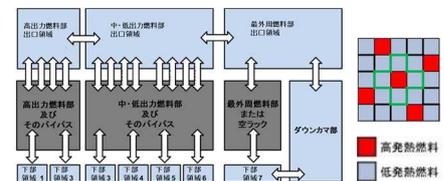


図1. MELCORのノーディング  
(左：ノーディング、右：燃料配置例)

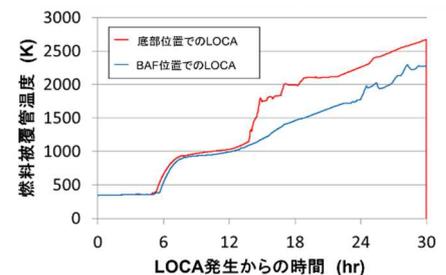


図2. 解析結果(被覆管温度)

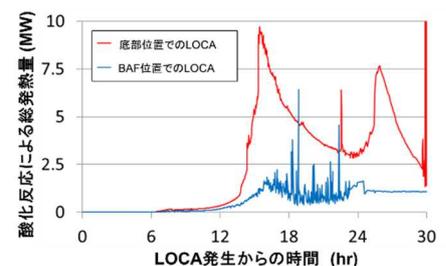


図3. 解析結果(化学反応熱)