

使用済み燃料プールの事故時の安全性向上に関する研究 (15) SFP における冷却機能喪失及び冷却材喪失事象の CFD 解析

Study on Improvement of Safety for Accident Conditions in Spent Fuel Pool

(15) CFD Analysis on Loss of Cooling and Loss of Coolant Accidents in SFP

*小林 謙祐¹, 金沢 徹¹, 東條 匡志¹, 後藤 大輔¹, 根本 義之², 加治 芳行²

¹GNF-J, ²JAEA

SFP を含む原子炉建屋オペレーティングフロア全域に CFD を適用し、プール水の喪失事象を想定した場合の崩壊熱による使用済み燃料温度上昇と建屋内自然対流挙動を調べた。使用済み燃料ラック外周部への高崩壊熱燃料配置により、従来のチェッカーボード状配置よりも事故時の燃料温度を低減できる結果を得た。

キーワード： SFP, LOCA, CFD, 自然循環, 燃料配置, 燃料被覆管温度, ポーラス体近似, STAR-CCM+

1. 緒言 SFP における冷却材喪失事故時には、水蒸気中／空气中に露出した燃料棒の温度が崩壊熱により上昇し、原子炉建屋内全域に渡る自然対流により冷却される。大規模自然対流場における使用済み燃料ラック及び使用済み燃料の冷却特性を CFD により評価する。

2. CFD モデリング 計算負荷低減のため、使用済み燃料にはポーラス体近似を適用し、崩壊熱相当の発熱量と実燃料相当の内部流動抵抗を与える。使用済み燃料ラック (B-SUS 製, 7×10 ラック) に収納されたポーラス体とラック金属枠との間には、ギャップ熱伝達を考慮した接触熱抵抗を設定する。3 か月冷却相当の高崩壊熱燃料 30 体及び 5 年冷却相当の低崩壊熱燃料 40 体を装填した高崩壊熱ラック 24 台と、低崩壊熱燃料 70 体のみを装填した低崩壊熱ラック 26 台を SFP 床面上に配置する。プール水面が燃料発熱長の中間位置まで低下したケース、発熱長下端まで低下したケース及び冷却水全喪失ケースの 3 種類の事象を想定し、建屋内の流速場及び温度場の定常状態を求める。

3. 自然対流挙動と燃料温度特性 原子炉建屋内部空間には、SFP (図 1 右下部) から立ち上る上昇流が天井面から側面、さらに床面 (オペレーティングフロア) に沿って SFP 上部へ戻る自然対流による大きな循環流が形成された。高温の水蒸気／空気は、建屋コンクリート壁を通じた放熱により冷却される。使用済み燃料を模擬したポーラス体の最高温度は、高崩壊熱燃料をラック外周部へ配置 (図 2 左半分) することにより、従来のチェッカーボード状配置 (図 2 右半分) に比べて有意に低減できる結果を得た。

4. 結言 想定した 3 種類のプール水喪失事象において、高崩壊熱燃料を使用済み燃料ラック外周へ配置した手法による事故時の燃料温度低減効果を確認した。本解析の結果を境界条件として、今後、燃料集合体内の詳細形状を模擬した体系で、ふく射伝熱及び被覆管表面の酸化反応熱を考慮した解析を実施し、使用済み燃料体内の詳細な熱流動及び被覆管温度挙動に関する知見を得る予定である。

本報告は、経済産業省の「平成 28 年度発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業 (重大事故解析手法の高度化)」にて得られた成果の一部である。

*Kensuke Kobayashi¹, Toru Kanazawa¹, Masayuki Tojo¹, Daisuke Goto¹, Yoshiyuki Nemoto² and Yoshiyuki Kaji²

¹GNF-J, ²JAEA.

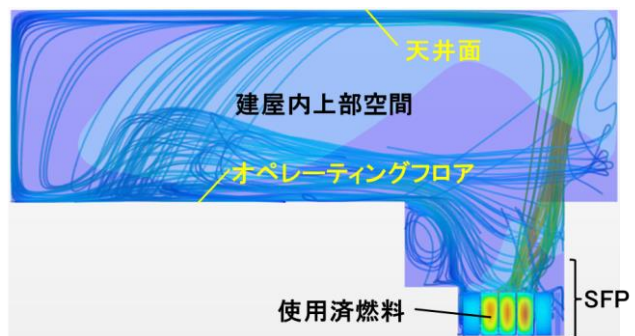


図1 自然対流の流線例 (発熱長下端水位ケース)

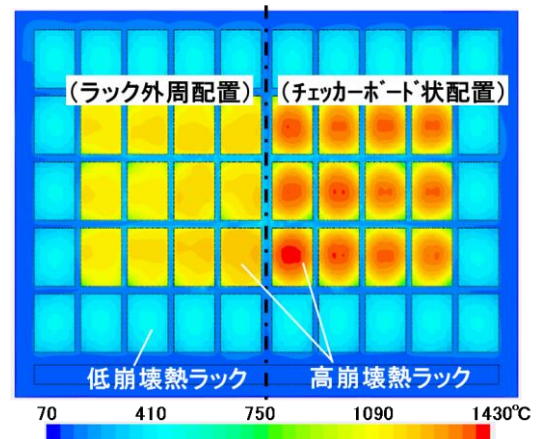


図2 使用済み燃料温度分布の解析結果例