

PWR 燃料の反応度投入事故時機械的破損評価コードの開発

Development of the fuel behavior analysis code for mechanical fuel failure

during PWR reactivity insertion accident

*東 侑麻¹, 辰巳 栄作¹, 淀 忠勝¹, 白土 雄元¹, 山本 晃久², 村上 望²

¹三菱重工業 (株), ²三菱原子燃料 (株)

原子力発電プラントにおいて燃焼が進んだ燃料は、被覆管の脆化進行等により、反応度投入事象を含む過出力時に燃料ペレットと被覆管の機械的相互作用 (PCMI) による破損限界が低下し、評価値との余裕が減少する。このような背景を踏まえ、三菱では破損評価をより精緻に行うため、反応度投入事象に対する PCMI 破損評価に適用可能な解析コードを開発した。本報では、その解析コードの予備的な妥当性確認結果を報告する。

キーワード: PWR、安全解析、燃料安全、PCMI 破損

1. 緒言 反応度投入事象における PWR 燃料の PCMI 破損に対する破損判断基準の指標としては、従来、パルス試験結果を基にした燃料エンタルピーの増分が用いられており、燃料の安全解析では燃料エンタルピー増分を解析コードにより算出する評価体系を採用している。しかしながら、実際の被覆管の破損挙動は、燃料ペレットと被覆管が接触して被覆管に機械的な負荷が加わることにより破損するものであり、破損メカニズムを踏まえたより直接的な体系による評価が可能となる解析コードの開発が国内外において行われている。このような背景を踏まえ、燃料安全研究推進の観点から、既存三菱コードのモデルを拡張し、PCMI 破損を直接的に評価できる燃料機械的破損評価コード (FLAME: Fuel Analysis routine for MEchanical behavior) を開発した。

2. FLAME の概要 反応度投入事象を含む過出力時の燃料機械的挙動を評価するコードには、①ペレット-被覆管熱モデル (比熱、輻射等 非定常計算式)、②被覆管表面熱伝達モデル (遷移沸騰、膜沸騰モデル)、③ペレット-被覆管変形モデル (2 次元以上の計算メッシュ※)、④被覆管高温モデル (高温クリープ変形、高温酸化モデル) の評価モデルが必要である。これらのモデルを三菱炉心熱流動解析コードの MIDAC^[1] に実装することにより、燃料被覆管の機械的破損評価コード FLAME として新規整備した。※本報では 1 次元計算メッシュでの結果を報告する。

3. V&V FLAME コード及び NRC 所有の FRAPTRAN コードによる評価結果^[2]を用いたコード間ベンチマーク、及びランプ/パルス試験に対して実測データ^[3]に対する予測解析を行い、コードの検証及びコードの妥当性を確認する。

4. 結論及び今後の課題 MIDAC コードに燃料機械的破損評価に必要なモデルを組み込み、過渡時燃料機械的破損評価コード FLAME を開発した。コード間ベンチマーク及びランプ/パルス試験結果の予測解析によりコードの検証及びその妥当性を確認した (図 1., 図 2.)。今後は、ペレット-被覆管変形モデルを 2 次元計算メッシュに拡張し、局所の変形にも対応した解析コードを開発する。

参考文献

- [1] T.Yodo, et.al, "Development of a Sub-Channel Analysis Code "MIDAC" for Core Thermal-Hydraulic Design and Safety Analysis in PWR Plants", Proceedings of the 2017 25th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE25-67657, July 2-6, 2017, Shinghai, China
- [2] PNNL-19400, Vol.2 Rev.2 "FRAPTRAN-2.0: Integral Assessment" May 2016.
- [3] (財)原子力発電技術機構「平成 13 年度 高燃焼度等燃料安全試験に関する報告書 (PWR 高燃焼度燃料 総合評価編)」平成 14 年 3 月

*Yuma Higashi¹, Eisaku Tatsumi¹, Tadakatsu Yodo¹, Yugen Shiratsuchi¹, Teruhisa Yamamoto² and Nozomu Murakami²

¹Mitsubishi Heavy Industry, LTD., ²Mitsubishi Nuclear Fuel Co., Ltd.

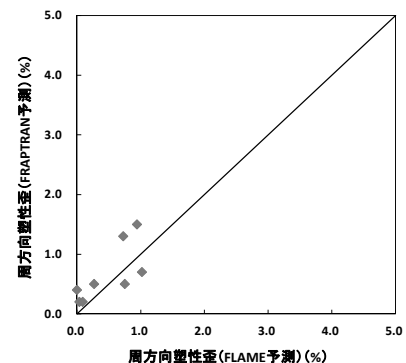


図 1. コード間ベンチマーク結果

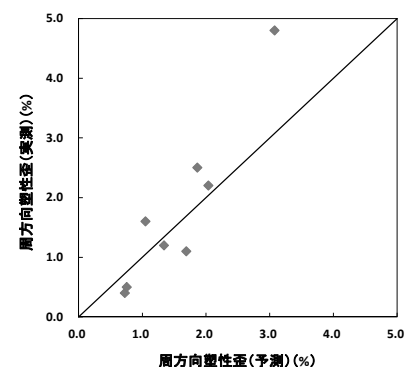


図 2. パルス試験 実測/予測 比較