

燃料デブリの臨界管理技術の開発

(41) 統計的臨界評価 Gd 偏在の影響を考慮した 1F-2/3RPV 下部デブリの評価

Criticality control technique development for Fukushima Daiichi fuel debris

(41) Statistical evaluation of criticality - The criticality evaluation of 1F-2/1F-3 RPV lower part debris with considering non-uniform positioning of $\text{UO}_2 + \text{Gd}_2\text{O}_3$

*馬野 琢也^{1,2}, 山岡 光明^{1,2}, 木村 礼^{1,2}, 林 大和^{1,2}

¹IRID, ²東芝エネルギーシステムズ株式会社

苛酷事故解析コード“MAAP”, “SAMPSON”の予測計算結果に基づき,福島第一原子力発電所 2号機/3号機 (1F-2/1F-3) の圧力容器 (RPV) 下部の燃料デブリの冠水時の (再) 臨界可能性評価を実施した。本評価では MVP コードの確率論的幾何形状モデル (STGM) を 2 重に適用することで第 1 サイクルの燃料集合体に存在していた Gd 物質の空間配置の違いによる中性子吸収量の差を考慮した。

キーワード: 福島第一原子力発電所事故、燃料デブリ、臨界安全、Gd 物質、偏在の影響、MVP、STGM

1. 緒言

燃料デブリ取出し作業に関し,冠水時の臨界可能性の定量評価は不可欠である。燃料デブリの性状が明確に規定出来ない現状では,多くの計算パラメータをそれぞれ変化させた網羅的な計算が必要であるが,ここでは計算パラメータの値を一様乱数を用いて選定し,更に,強い中性子吸収材である Gd 物質の空間的な配置効果 (Gd 偏在の影響) を考慮できる幾何形状の計算モデルで臨界性の評価を実施した。

2. 計算手法

RPV 下部に存在する燃料デブリや構造材の質量は,“MAAP”, “SAMPSON”の予測計算結果に従った。臨界評価計算は MVP コード^[1]と JENDL-4.0^[2] を用い,原子数密度は 1F-2/1F-3 の炉心管理コードによる事故直前時の燃料集合体の燃料棒 1 本毎の詳細データをサイクル毎に平均化して使用した。強い中性子吸収材である Gd 物質 ($\text{UO}_2 + \text{Gd}_2\text{O}_3$) は第 1 サイクルの燃料集合体のものを UO_2 物質と平均化せずに独立に取り扱った。Gd 物質は小球として STGM で UO_2 物質球内の空間に配置し,更にその UO_2 物質球を STGM で RPV 下部空間に配置した。Gd 物質の配置に関しては,(1) 第 1 サイクルの UO_2 物質内に存在する場合,(2) 第 1 ~ 第 5 サイクル平均の全ての UO_2 物質内に存在する場合の 2 通りを想定した。計算モデルの概念図を図 1 に示す。燃料デブリの各数値パラメータは数値範囲を仮定して,一様乱数を用いて計算点を決めた。(1),(2)とも 600 ケースの計算を実施した。計算結果を重回帰分析し,臨界性を支配する計算パラメータの順位付けをした。

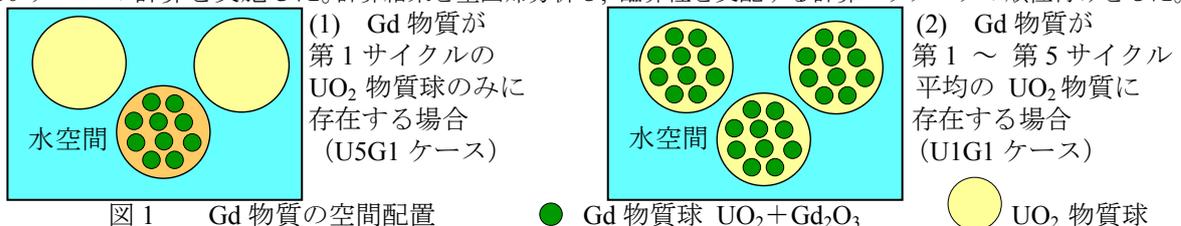


図 1 Gd 物質の空間配置

3. 計算結果

上記(1),(2)の 1F-2 の計算結果をヒストグラムにして図 2 に示す。中性子実効増倍率が 1.000 を超える割合は(1)の方が多く,Gd 物質の空間的偏在効果による中性子吸収量の変化が示されているが,その効果は 1F-2 の場合も 1F-3 の場合も極めて大きいとは言えず限定的であった。

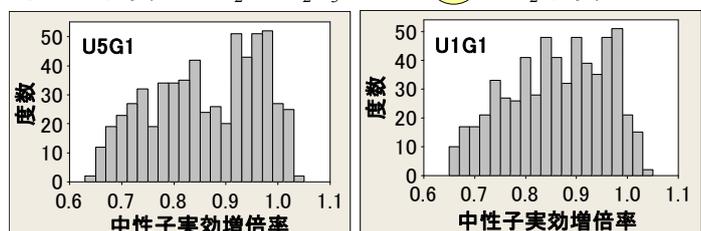


図 2 (1) U5G1 ケース (2) U1G1 ケース

4. まとめ

本計算は多くの仮定の下での計算で,今後,炉内調査が進むにつれ,計算パラメータの数値幅や分布形を修正した計算が必要になる。一方,今回の計算結果の重回帰分析から,臨界性に関して第一の支配因子は燃料デブリの体積占有率で,次に Gd 物質球の直径や混在する構造材の質量であり,Gd 物質の空間的偏在効果は支配因子ではないと理解できた。これらの知見については引き続き将来の検討に利用できると判断される。

謝辞

本件は,資源エネルギー庁『平成 27 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金 (燃料デブリ臨界管理技術の開発)」』の成果の一部を取りまとめたものである。

参考文献 [1] Y. Nagaya, et al., JAERI -1348(2005). [2] K. Shibata, et al., J. Nucl. Sci. Technol. 48(1), 1-30 (2011).

本論文に掲載の商品等の名称は,それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

*Takuya UMANO^{1,2}, Mitsuaki YAMAOKA^{1,2}, Rei KIMURA^{1,2}, Yamato HAYASHI^{1,2} ¹IRID, ²Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation