

確率的乱雑化による UO_2 ・コンクリート系の臨界性評価の揺らぎ

Uncertainty of Criticality Analysis of UO_2 -Concrete System under Randomization

*植木 太郎

日本原子力研究開発機構 安全研究センター 臨界安全研究グループ

UO_2 ・コンクリート系の燃料デブリに関して、ワイエルシュトラス関数に基づく確率的乱雑化モデルを構築した。独立な試行により連続変動媒質を複製し、デルタ追跡法によりモンテカルロ法臨界計算を実施した。中性子実効増倍率 (k_{eff}) の評価値には、数% Δk 程度の揺らぎが生じることがわかった。

キーワード：確率的乱雑化、燃料デブリ、 UO_2 ・コンクリート、臨界計算、モンテカルロ法、デルタ追跡法

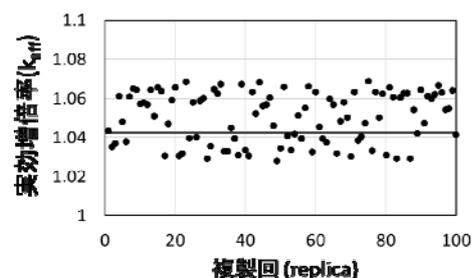
1. 緒言 軽水炉の過酷事故においては、压力容器を貫通した熔融燃料および格納容器下部コンクリート中の酸化物が相互作用し、核分裂性物質濃度が連続的かつ乱雑に分布する媒質が生成される。このため、乱雑さに起因する k_{eff} の揺らぎを評価する必要がある。

2. 確率的乱雑化モデル 極端な乱雑さを伴う実験・観測に関して、1/f 揺らぎという変動モデルが知られている。このモデルの空間分布への適用に関して、確率的乱雑化ワイエルシュトラス関数¹⁾が利用可能である。

$$V(\vec{r}) = \sum_{j=1}^{\infty} \sigma E_j \lambda^{-\alpha j} \sin(\lambda^j \vec{r} \cdot \vec{\Omega}_j + A_j), \sigma > 0, \lambda > 1, 0 < \alpha \leq 0.5.$$

ここで、 E_j は期待値0で分散1の独立な確率変数、 \vec{r} は位置ベクトル、 $\vec{\Omega}_j$ は単位長さの等方で独立な確率ベクトル、 A_j は $[0, 2\pi)$ における独立な一様確率変数である。なお、 $|\vec{r}| < 1$ の範囲で、直接的空間相関下にある。

3. モンテカルロ法臨界計算 コンクリートと12Gwd/t燃焼の UO_2 燃料の1郡断面積を、MVPコードにより作成し、体積割合の空間変動分を $V(\vec{r}/S)$ とした。ここで、 S は空間相関の目安としてのスケリング因子であり25cmとした。1郡断面積作成のための物質データは、井澤らによる論文²⁾の原子数密度を使用した。各パラメータは、燃料体積割合の期待値が1/8で $|V(\vec{r}/S)|$ が0から1/8の間で変動するように設定した。 UO_2 ・コンクリート混合体は一辺100cmの立方体とし、一辺140cmの立方体の中心に位置するようにした。混合体の外側はコンクリート100%とした。混合体を独立な試行により100回複製し、各回について、デルタ追跡法に基づきモンテカルロ法臨界計算を実施した。結果を右図に示す。約4% Δk の揺らぎが k_{eff} の評価値に認められる。なお、水平線は、混合体の部分を空間変動なしの一様混合とした場合の k_{eff} 参照値である。



4. 考察 k_{eff} の揺らぎは、計算量の増大につれて減少する性質のものではない。

一方、MVPコードの確率論的幾何形状モデルに倣って粒子追跡中に体積割合をサンプリングする場合には、唯一の k_{eff} 評価値が得られるのみである。つまり、現状の MVP のモデル機能では明らかにすることのできない k_{eff} の不確定さが存在する。今後、本報告に基づく手法を連続エネルギーモンテカルロ法コードに導入し、燃料デブリのように組成分布不明な媒質の臨界性評価に活用していく予定である。

参考文献

[1] Ueki, T, 2014. Fluctuation modeling of macroscopic cross section with spatial correlation. Nucl. Sci. Eng. 178, 16-28.

[2] Izawa, K., Uchida, Y., Ohkubo, K., Totsuka, M., Sono, H., Tonoike, K., 2012. Infinite multiplication factor of low-enriched UO_2 -concrete system. J. Nucl. Sci. Tech. 49(11), 1043-1047.

本報は、原子力規制庁受託事業「平成27年度東京電力福島第一原子力発電所燃料デブリの臨界評価手法整備」の成果の一部である。

*Taro Ueki, Japan Atomic Energy Agency, Nuclear Safety Research Center, Criticality Safety Research Group.