

スペクトル範囲設定機能付き逆冪乗則乱雑媒質の臨界性評価

Criticality Analysis of Inverse Power Law Random Media with Spectral Range Control

*植木 太郎¹

¹ 日本原子力研究開発機構

逆冪乗則パワースペクトルを実現する確率的乱雑化ワイエルシュトラス関数においては、ワイエルシュトラス関数のフラクタル性への収束との関係を断ち切るにより、スペクトル範囲設定機能の導入が可能となる。この新機能の臨界計算への適用例として、燃料デブリの中性子実効増倍率の不確かさ評価を示す。

キーワード：スペクトル範囲、パワースペクトル、不完全確率的乱雑化ワイエルシュトラス関数、Solomon

1. 緒言 極端な無秩序の下では、統計力学的な系は、逆冪乗則パワースペクトルの状態に向かうことが知られている。工学的には、逆冪乗則モデルにスペクトル範囲設定機能を導入することが重要である。

2. 不完全確率的乱雑化ワイエルシュトラス関数 (IRWF: incomplete randomized Weierstrass function)

IRWFとは、次に示す確率的な関数のことである： $\sigma \sum_{j=m_1}^{m_2} B_j \lambda^{-\alpha j} \sin(\lambda^j x + A_j)$, $\lambda > 1, \alpha \geq 0, -\infty < m_1 < m_2 < \infty$. ここで、 σ は振幅調整因子、 A_j は独立で $(0, 2\pi)$ において一様な確率変数、 B_j は期待値0で分散1の独立な確率変数である。ワイエルシュトラス関数は、 $A_j=0, B_j=1, m_1=1, m_2=\infty$ に相当する。IRWFでは、 $m_2 \rightarrow \infty$ の時に現れるフラクタル性への収束とは全く関係なく、 $m_1=1$ という条件も外し、 $-\infty < m_1 < m_2 < \infty$ という束縛のみの有限和を計算する。この意味で、不完全な確率的乱雑化ワイエルシュトラス関数である。共分散計算とWiener-Khinchinの定理の適用により、IRWFのパワースペクトルが、(波数) $^{2\alpha+1}$ に比例し、波数範囲が $[\lambda^{m_1-1}, \lambda^{m_2}]$ であることを示すことができる。IRWFは、 $\sigma \sum_{j=m_1}^{m_2} B_j \lambda^{-\alpha j} \sin(\lambda^j \mathbf{r} \cdot \mathbf{\Omega}_j / S + A_j)$ として3次元化され、partial volume pairing法[1]により、多種物質乱雑混合での巨視的核反応断面積に適用される。なお、 \mathbf{r} は位置ベクトル、 $\mathbf{\Omega}_j$ は単位球面上で一様にサンプリングされる独立なベクトル、 S はスケール因子である。

3. 臨界計算への適用例 前節の手法を、3燃焼度点で代表される水含有燃料デブリの燃料混合部分に適用し、Solomonモンテカルロソルバーによる臨界計算を実施した。燃焼燃料の原子個数密度は、燃焼度15.2GWd/t、24.2GWd/t、37.5GWd/tのデータを使用した。計算体系は、内半径30 cm、半径60 cmの同心球とした。半径30 cmから半径60 cmの部分を水反射体とし、半径30 cm以下では、水対燃料体積比を5:2とした。個々のレプリカ計算の条件は、世代あたりの粒子数50000、世代数5200、初期スキップ世代数200である。1レプリカのモンテカルロ計算の標準偏差は0.00006程度である。ブラウン運動相当の乱雑化ケース ($\alpha=0.5$ の場合) についての

臨界性評価例を、IRWFの最大振幅条件を同一にして、図1に示す。低波数、即ち、高波長領域

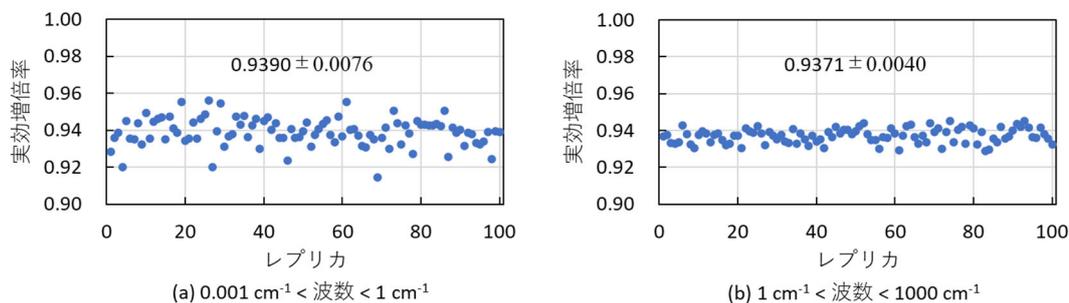


図1 臨界性揺らぎ (1/(波数)² スペクトルのケース)

が、臨界性揺らぎを大きくすることがわかる。なお、 $S=30$ cmとした。

4. 今後の研究の方向性 任意のパワースペクトル入力に対する乱雑化手法に取り組む予定である。

参考文献 [1] T. Ueki, Nuclear Science and Engineering, February 2021, <https://doi.org/10.1080/00295639.2020.1801000>.

本報の研究は、原子力規制庁の令和2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の整備事業として行われた。

*Taro Ueki

¹Japan Atomic Energy Agency, Nuclear Safety Research Center, Criticality Safety Research Group