

確率的乱雑化モデルの拡張とモンテカルロ計算ソルバーSolomon への実装

Model Extension of Probabilistically Disordered Media and Its Implementation in Solomon Code

*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模擬する確率的乱雑化モデルを、広範な冪乗則に適用できるように拡張し、連続エネルギーモンテカルロ計算ソルバーSolomonに実装した。

キーワード：確率的乱雑化、モンテカルロ、臨界性、パワースペクトル、冪乗則、Solomon

1. 緒言 乱雑な体系のモデリングに有用な確率的乱雑化ワイエルシュトラス関数を拡張し、広範な物質混合状態に関して、臨界性評価の揺らぎを定量化することは、1Fデブリの臨界管理上、重要である。

2. 確率的乱雑化モデルの拡張 極端に無秩序な物理的体系は、逆冪乗則のパワースペクトルで表される乱雑な状態に落ち着くことが知られており、スペクトル領域 $1/f^\gamma$ (f :周波数、 $1 < \gamma < 3$) に関しては、確率的乱雑化ワイエルシュトラス関数 $W(\mathbf{r})$ によるモデルが提案されている[1]。ここで、 $W(\mathbf{r}) = \sigma \sum_{j=1}^{\infty} B_j \lambda^{-\alpha j} \sin(\lambda^j \mathbf{r} \cdot \boldsymbol{\Omega}_j / S + A_j)$, $\sigma > 0, \lambda > 1, 0 < \alpha < 1, \gamma = 2\alpha + 1$ (\mathbf{r} は位置ベクトル、 B_j は等確率で ± 1 となる独立なベルヌーイ確率変数、 $\boldsymbol{\Omega}_j$ は独立で等方的にサンプリングされる単位ベクトル、 S はスケール因子、 A_j は $[0, 2\pi)$ における独立な一様確率変数、 \cdot はベクトルの内積を表す記号)である。一方、 $W(\mathbf{r})$ を $Y(\mathbf{r}) = \sigma \sum_{j=1}^{\infty} B_j \lambda^{\beta j} \sin(\lambda^j \mathbf{r} \cdot \boldsymbol{\Omega}_j / S + A_j)$, $\sigma > 0, \lambda > 1, -1 < \beta < 0$ に変更すると、パワースペクトルが $1/f^{2\beta+1}$ となる。つまり、 $Y(\mathbf{r})$ は、スペクトル領域 $1/f^\gamma$ ($-1 < \gamma < 1$) に対応するモデルであり、確率的乱雑化ワイエルシュトラス関数の拡張に相当する。

3. Solomonへの実装と数値計算結果 上記関数により、2種類の物質が乱雑に混合した媒質の断面積を、 $\Sigma_R(\mathbf{r}) = (1 - V^H(1 + zC(\mathbf{r}))) \Sigma_R^G + V^H(1 + zC(\mathbf{r})) \Sigma_R^H, 0 \leq z \leq 1, C(\mathbf{r}) = W(\mathbf{r}) \text{ or } Y(\mathbf{r})$ と表すことが可能となる。ここで、 Σ は巨視的断面積、下添え字 R は反応タイプ、上添え字 G, H は物質、 V^H は物質 H のレプリカ平均体積割合である。この断面積 Σ_R で表される混合媒質を含む体系の実効増倍率をデルタ追跡モンテカルロ法で計算するオプションを、連続エネ

ルギーモンテカルロ計算ソルバーSolomon[2]に実装した。図1と2は、国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクトのハンドブック掲載のTopsy炉心 (HEU-MET-FAST-002)の外縁部分と反射

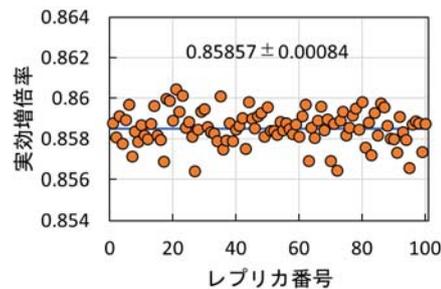


図1. Topsy乱雑化炉心1：ホワイトノイズ (フラット ($1/f^0$) スペクトル)

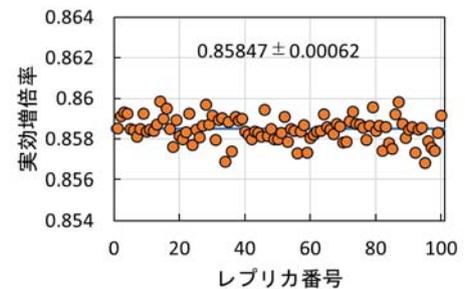


図2. Topsy乱雑化炉心2：ブラウンノイズ ($1/f^2$ スペクトル)

体を混合させた乱雑化未臨界仮想炉心に関する臨界性揺らぎ評価の結果である。フラットスペクトル混合の方が、ブラウンノイズ混合より、実効増倍率の揺らぎが約35%大きくなることが分かった。

4. 今後の研究の方向性 本報の手法を、多領域の一般化された幾何形状で効率的に実践可能とすること、および、ボクセルモデル[3]との同時実行を可能とするオプションのSolomonへの実装に今後取り組む。

参考文献

[1] 荒木祥平、山根祐一、植木太郎、外池幸太郎、2018年秋の年会、講演番号 1M09 [2] 長家康展、羽倉洋行、2018年秋の年会、講演番号 2M18 [3] T. Ueki, JNST 2018, VOL. 55, NO. 10, 1180-1192

本報の研究は、原子力規制庁の平成30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