

# ランダムサンプリング手法を用いた不確かさ評価における分散低減の検討

## (1) 燃料集合体無限増倍率計算への分散低減化法の適用

Variance reduction on uncertainty analysis by random sampling method

(1) Variance reduction approach to uncertainty analysis for infinity multiplication factor in fuel assembly

\*柴 茂樹、酒井 友宏、山本 敏久  
原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

燃料集合体等を対象にした無限増倍率の不確かさ評価にランダムサンプリング手法を用いた場合、数百～数千ケースものサンプリングが必要となる。サンプリング数を減らすため、同手法に分散低減化法である MCCV 法及び MMC 法を適用した。本稿では、両手法の紹介及び燃料集合体に対する無限増倍率の不確かさ評価に分散低減化法を適用した場合の低減効果について報告する。

**キーワード：** MCCV 法、MMC 法、ランダムサンプリング手法、不確かさ評価

### 1. 緒言

不確かさ評価のための国際ベンチマーク問題 (UAM ベンチマーク問題) <sup>1)</sup>における燃料集合体問題を対象としランダムサンプリング手法を用いた不確かさ評価の結果を報告 <sup>2)</sup>してきた。CASMO4 及び JENDL-4.0 をベースとして作成された核データライブラリ及び JENDL-4.0 の共分散データを使用した同手法の評価では、膨大なサンプリングケースを必要とすることからサンプリング数を減らすことを目的に、分散低減化法である Monte Carlo Control Variate (MCCV) 法及び Multilevel Monte Carlo (MMC) 法 <sup>3)</sup>を適用し不確かさ評価を実施した。

### 2. 分散低減化法

MCCV 法を用いたランダムサンプリング手法は、ランダムに選んだ変数を使ったサンプリングによって評価対象の平均値や分散を求める点は従来のランダムサンプリング法と同じであるが、平均値が既知である別の対象 (類似対象) にも同じ変数を用いてサンプリングを行い、その情報を活用し分散低減を図るのが特徴である。類似対象は、評価対象と確率分布の相関係数が高いほど分散低減化効果が高い。評価対象の確率分布を  $V(X)$ 、類似対象の確率分布  $W(X)$  及び制御係数を  $\alpha$  とおくと、以下の式で表現できる。なお、 $E[\cdot]$  は平均演算子である。

$$E[V^*(X)] = E[V(X) - \alpha W(X)] + \alpha E[W(X)]$$

一方、MMC 法では、2 つの類似対象の確率分布  $W_1(X)$  及び  $W_2(X)$  を用意し  $V(X)$  と併せて合計 3 つを対象に同じ変数を用いて確率分布関数のサンプリングを行うもので、MCCV 法の変形版である。ただし、2 つの類似関数については、その平均値が既知であるとし、以下の式を用いる。

$$E[V^*(X)] = E[V(X) - \frac{1}{2}(W_1(X) + W_2(X))] + \frac{1}{2}(E[W_1(X)] + E[W_2(X)])$$

### 3. 分散低減化法の適用例

適用例の一つとして、UAM ベンチマーク問題の PB2 燃料集合体を対象に MCCV 法及び MMC 法を用いたランダムサンプリング手法による無限増倍率の不確かさ評価結果を図 1 に示す。MCCV 法については、類似対象として BWR 燃料格子の不確かさ解析結果を使用し、類似対象の相関性が高いものと仮定した場合 ( $\alpha=1$ ) の結果である。集合体無限増倍率の不確かさは、MCCV 法を適用することによって少ない標本数で、十分な精度で評価できることを確認した。また、MMC 法についても 2 種類の類似対象を用いて同評価に適用し MCCV 法と同様に少ない標本数で、十分な精度で集合体無限増倍率の不確かさを評価できることを確認した。

### 4. 結言

無限増倍率の不確かさ評価に対する分散低減化法の適用の有効性を確認した。引き続き、評価対象と類似対象の相関性を判断する指標の検討や核定数等に対する不確かさ評価への同法の適用についても検討する予定である。

#### 参考文献

1) K. Ivanov et al., Benchmark for Uncertainty Analysis in Modeling (UAM) for Design, Operation and Safety Analysis of LWRs, NEA/NSC/DOC(2013)7. 2) 酒井, 柴, 高田, UAM ベンチマーク問題の解析 [5]統計的サンプリング法を用いた集合体問題の解析, 日本原子力学 2011 秋の大会予稿集, N36. 3) Glasserman P. 2003. Monte Carlo methods in Financial Engineering. Springer, 185-202.

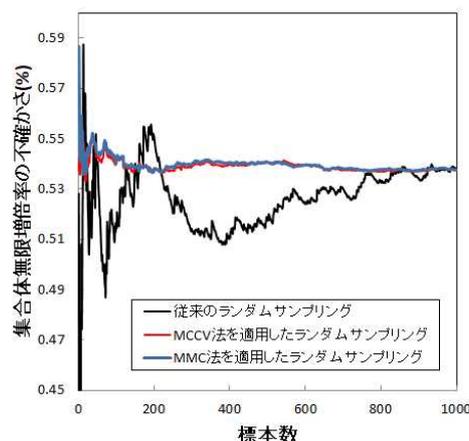


図1 分散低減化法を用いたランダムサンプリング手法による燃料集合体無限増倍率の不確かさ評価結果

\* Shigeki Shiba, Tomohiro Sakai and Toshihisa Yamamoto

Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)