

# ランダムサンプリング法に基づく不確かさ評価における 多群核反応断面積摂動時の間接効果の影響

Influence of implicit effect for multi-group cross-section perturbation  
on random-sampling-based uncertainty propagation

\*藤田 達也<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構

本研究では、ランダムサンプリング法に基づく不確かさ評価において、多群核反応断面積摂動時の間接効果が多群中性子輸送計算における無限増倍率の不確かさ評価結果に与える影響を定量的に確認した。

**キーワード:** ランダムサンプリング法, 間接効果, FRENDY, GENESIS, NJOY, JENDL-5, SERPENT

**1. 序論** 決定論的手法に基づく多群中性子輸送解析コードにおけるランダムサンプリング法において、核反応断面積（以下単に「断面積」という。）の摂動に伴う間接効果（断面積の摂動に伴う中性子束の変化による影響）の取扱方法が問題提起されている[1]。既往研究では、代表的な重核種及び核分裂生成核種に対して、無限増倍率に対する間接効果の影響を予備的に確認し、U、Pu、Am といった重核種の $(n,\gamma)$ 反応断面積で顕著であることや共分散行列のエネルギー群数によって影響度合いに違いがあることを確認した[2]。本研究では、FRENDY と GENESIS を結合した決定論的多群中性子輸送計算において、多群核反応断面積摂動時の間接効果が多群中性子輸送計算における無限増倍率の不確かさ評価結果に与える影響を確認した。

**2. 計算方法**  $\text{UO}_2$  及び MOX 燃料セル体系[3]において、FRENDY[4]で ACE 形式ファイルを入力として KRAM 形式ファイルを作成後、GENESIS[5,6]により無限増倍率を計算した。従来と同様に直接効果（断面積の摂動による影響）のみを考慮する場合は、FRENDY で KRAM 形式ファイルを作成後、NJOY2016[7]で作成された共分散行列に基づいて KRAM 形式ファイル中の多群断面積を直接的に摂動させた。直接効果と間接効果の両方を考慮する場合は、共分散行列に基づいて摂動 ACE 形式ファイルを FRENDY の ACE 形式ファイル摂動ツールで作成し、これを入力として多群断面積の KRAM 形式ファイルを作成した。本研究では、表 1 に示すとおり、SERPENT を用いた計算ケースを含めた 8 つの計算ケースに対してランダムサンプリング法により無限増倍率の相対標準偏差を評価した。上記において、断面積と共分散行列は JENDL-5 に基づいて作成した。

**3. 計算結果** 1000 回のサンプリング計算によって評価した無限増倍率の相対標準偏差について、ケース 0~6 と参照ケースの差異を図 1 に示す。図 1 から主に以下の 3 点が確認できた。①既往研究[1]のとおり間接効果の影響は  $\text{UO}_2$  燃料セル体系では小さいが MOX 燃料セル体系では顕著な影響が生じた。②MOX 燃料セル体系では間接効果の考慮の有無により 56 群計算で約 90 pcm（ケース 1 と 4）、252 群計算で約 20 pcm の差異が生じた（ケース 2 と 5、3 と 6）。③MOX 燃料セル体系では共分散行列のエネルギー群数の設定により約 70~80 pcm の差異が生じた（ケース 2 と 3、5 と 6）。④中性子輸送計算と共分散行列のエネルギー群数が最も詳細なケース 6 の不確かさ評価結果は参照ケースと同等であった。

**4. 結論** 間接効果が無限増倍率の不確かさ評価結果に与える影響を確認した。中性子輸送計算と共分散行列のエネルギー群数が詳細であれば、間接効果を明示的に考慮せず多群断面積を直接摂動させても間接効果の影響を低減可能であると考えられる。

**参考文献** [1] ANE, 138, 107178, (2020). [2] 日本原子力学会 2024 年春の年会, 1L16, (2024). [3] JNST, Vol. 39, 900, (2002). [4] JAEA-Data/Code 2022-009, (2022). [5] JNST, 45, 985, (2008). [6] NSE, 186, 1, (2017). [7] LA-UR-17-20093, (2019).

\*Tatsuya Fujita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency

表1 計算条件

| ケース     | 輸送計算コード            | 群数  |     | 摂動先        | 摂動成分 |    |
|---------|--------------------|-----|-----|------------|------|----|
|         |                    | 輸送  | 共分散 |            | 直接   | 間接 |
| 参照<br>0 | SERPENT            | 連続  | 252 | ACE<br>形式  | ○    | ○  |
|         |                    | 連続  | 56  |            |      |    |
| 1       | FRENDY/<br>GENESIS | 56  | 56  | KRAM<br>形式 | ○    | ○  |
| 2       |                    | 252 |     |            |      |    |
| 3       |                    | 252 | 56  | ACE<br>形式  | ○    | ○  |
| 4       |                    | 56  |     |            |      |    |
| 5       |                    | 252 | 252 |            |      |    |
| 6       |                    | 252 | 252 |            |      |    |

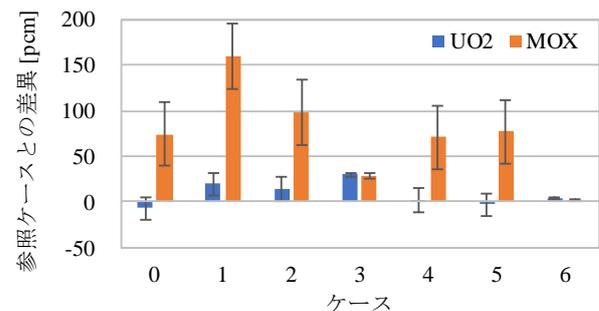


図1 無限増倍率の相対標準偏差の差異

※エラーバーはモンテカルロ計算(Serpent)及びランダムサンプリング法に起因する統計誤差を示す