

1. 緒言 安全性の高い原子炉を設計するためには、数値解析の入力パラメータとなる核データをデータ同化により改善することが重要である。データ同化とは、数値解析結果に測定結果を取り入れ解析結果を修正する技法である。従来の実効増倍率 k_{eff} に着目したデータ同化では、 ^{235}U 等の k_{eff} に対する寄与が大きい核種の核データに埋もれた別核種の核データ改善が困難であった。特に、物質の化学結合を考慮した熱中性子の散乱断面積に関する核データ「軽水の熱中性子散乱則(TSL)」の不確かさが、軽水炉の数値解析結果に影響を与えることが課題となっている。そこで、核燃料を含まない体系で測定可能な核特性「即発中性子減衰定数 α 」に着目した。水槽体系のような構成核種数が少ない体系で測定された α を用いたデータ同化により、軽水の TSL データを改善できる見込みがある。本研究では水槽体系の α 実験値を活用したデータ同化により軽水の TSL データ更新を試みた。さらに、更新後の軽水の TSL データを用いた不確かさ評価により、軽水を含む体系における軽水の TSL データに起因した不確かさを低減可能かどうか調査した。

2. 軽水の TSL データを用いた不確かさ評価 軽水の TSL データの不確かさを設定するにあたって、本研究では、分子動力学計算結果に基づいた次元削減モデルの一種である CAB モデルに基づく軽水の TSL データ[1]に着目した。CAB モデルではフォノン状態密度を 6 つのパラメータで表現することができ、それらを核データ処理コードに入力し処理することで TSL データを生成できる。ここで、6 つの CAB モデルパラメータの不確かさ情報は先行研究[2]に基づいて与えた。さらに、計算コストを大幅に削減したデータ同化を実施するため、本研究では決定論的サンプリング法に注目した。これにより、(CAB モデルパラメータ数 6 つ) $\times 2 + 1 = 13$ 個の標本数のみで、データ同化に必要となる平均・共分散行列を推定することができる。

3. 計算手順 6 つの CAB モデルパラメータを決定論的サンプリング法により摂動させ、13 個の TSL 計算用入力ファイルを生成した。生成した入力ファイルを国産核データ処理コード FRENDY により処理し、過去実験における 16 種全ての水槽体系[3]を対象とし、先行研究で開発された中性子輸送計算コード[4]により水槽体系の α を求めた。続いて、水槽体系の α 実験値を用いてベイズ理論に基づくデータ同化により、CAB モデルパラメータの平均値を更新し、不確かさを低減した。最後に、更新後 CAB モデルパラメータを用いて、フッ化ウラニル水溶液 UO_2F_2 燃料を用いた臨界実験について、連続エネルギーモンテカルロコードにより k_{eff} の計算を実施した。

4. データ同化結果 図 1 より、臨界実験体系の k_{eff} 実験値 0.9990 ± 0.0043 、更新前の計算値 1.0032 ± 0.0016 に対して、更新後の計算値 1.0004 ± 0.0005 となった。更新後の k_{eff} 計算値において、平均値は実験値に近づく方向に更新され、CAB モデルパラメータ起因の不確かさは約 1/3 に低減した。このことから、核燃料を含まない水槽体系の α 実験値を活用したデータ同化により軽水の TSL データを更新することで、軽水を含むウラン溶液臨界実験における k_{eff} 計算予測精度の改善および不確かさの低減が可能であることを明らかにできた。

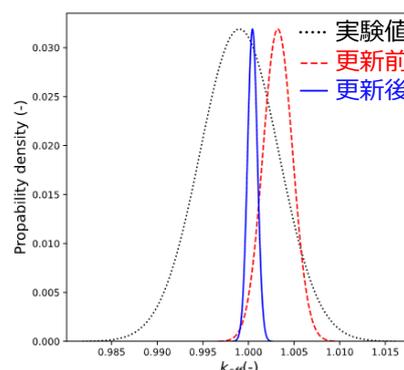


図 1 更新前/更新後 CAB モデルパラメータによる k_{eff} 不確かさ結果

参考文献 [1] J. I. Márquez Damián et al., *Ann. Nucl. Energy*, **65**, p.280 (2014); [2] D. Rochman et al., *EPJ Nucl. Sci. Technol.*, **7**, p.24 (2021); [3] K. Kobayashi et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **3**(7), p.275 (1996); [4] 山口 響, 修士論文, 名古屋大学 (2024).

口頭発表: 1. Y. Harada et al., *Proc. M&C2023*, Aug. 13–17 (2023); 2. Y. Harada et al., *Proc. ICNC2023*, Oct. 1–6 (2023); 3. 原田善成, 他, 日本原子力学会 2024 春の年会, 3 月 26–28 日 (2024); 4. Y. Harada et al., 2024 ANS Annual Conference, June 16–19 (2024); 5. 原田善成, 他, 日本原子力学会 2025 春の年会, 3 月 12–14 日 (2025) (発表予定).