

臨界実験データを用いたマイクロ炉の断面積起因不確かさを低減

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 永田 琴乃

1. 緒言 原子炉の運転を安全かつ経済的に行うためには、運転前の段階で炉心解析により原子炉炉心の性能を正確に予測する必要がある。しかし、本研究で検討するマイクロ炉[1]は、全固体炉心として設計されることやその小ささから、幾何形状、材質、中性子エネルギースペクトルなどにおいて従来軽水炉との差異が大きい。そのため、軽水炉実機データや解析経験を直接活用することが難しく、従来軽水炉に比べて炉心解析時の不確かさが大きくなることが予測される。これまで、同様の課題を持つ高速炉に対して、炉定数調整による断面積起因不確かさを低減が行われてきた[2]。そこで、本研究では、マイクロ炉に対して炉心特性解析に伴う断面積起因不確かさを定量評価を行うとともに、既存臨界実験データを活用した炉定数調整により断面積起因不確かさを低減を試みた。

2. 計算方法 炉心解析には連続エネルギーモンテカルロコード MCNP6.3.0 を、不確かさ評価と炉定数調整には自作コードを用いた。初めに、図1のようにマイクロ炉の計算モデル作成し、炉心解析を実施、実効増倍率と炉定数調整に必要な感度係数を取得する。そして、得られた実効増倍率を文献値[1]と比較することで、解析モデルの妥当性を確認する。また、マイクロ炉と既存臨界実験の感度係数を用いて断面積起因の不確かさ評価と炉定数調整を行う。具体的には、Whisper コードの臨界実験ライブラリに収録された 1101 個の既存臨界実験データを用いて、ベイズ推定により既存臨界実験データを再現する確率を最大化するように断面積の調整を行う。その後、調整前後の断面積起因の不確かさと核種、反応ごとの寄与率を比較し、炉定数調整による不確かさを低減の有効性を検証する。

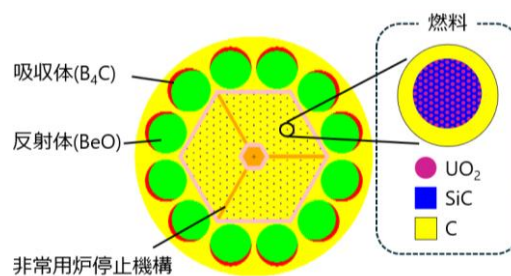


図1 作成モデル(xy平面断面図)

具体的には、Whisper コードの臨界実験ライブラリに収録された 1101 個の既存臨界実験データを用いて、ベイズ推定により既存臨界実験データを再現する確率を最大化するように断面積の調整を行う。その後、調整前後の断面積起因の不確かさと核種、反応ごとの寄与率を比較し、炉定数調整による不確かさを低減の有効性を検証する。

3. 計算結果 実効増倍率の計算値と文献値[1]の差異は小さく、炉心解析モデルを適切に構築できていることが確認できた。また、炉定数調整によって、マイクロ炉の実効増倍率に対する断面積起因不確かさは、0.53% $\Delta k/k$ (調整前)から 0.26% $\Delta k/k$ (調整後)に低減されることが確認された。図2にて、炉定数調整前の不確かさ寄与率が大きい核種、反応について、調整前後の不確かさ寄与を比較する。図2より、核種、反応によって断面積起因不確かさへの寄与の低減量は大きく異なることが分かる。特に、U235の各反応の不確かさ寄与は大幅に低減されるのに対し、BeO中のBeやOの散乱断面積起因の不確かさ寄与はほとんど低減されないことが確認された。これは、U235は多くの臨界実験にて使用されているため、断面積調整を有意に行うことができているが、BeOを使用した臨界実験データが少ないため、断面積調整を有意に行うことができなかったことが原因であると考えられる。

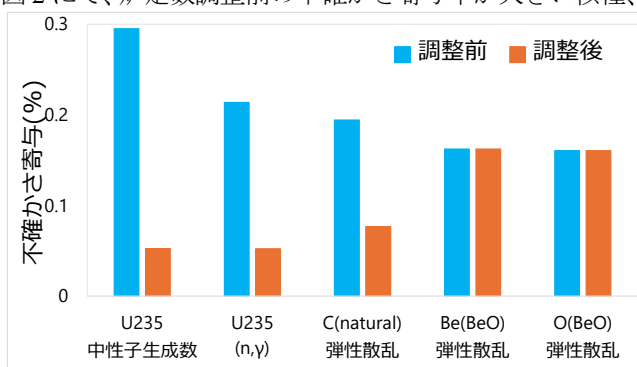


図2 核種、反応ごとの不確かさ寄与率(調整前後比較)

調整後には、BeO中のBeやOの散乱断面積起因不確かさ寄与が最も大きくなるため、さらなる断面積起因不確かさを低減にはこれらの核種の断面積起因不確かさを低減することが必要である。これには、BeOの中性子減衰定数を測定し、BeOの熱中性子散乱則データの検証を行うことにより断面積起因不確かさを低減することやBeOの反射体を用いた臨界実験データを臨界実験ライブラリに追加することが有効であると推測される。

参考文献 : [1] T. Koike, *et al.*, Proc. MSME, Paper No. ICONE31-135017, DOI:10.1115/ICONE31-135017, 2024.

[2] M. Ishikawa, *et al.*, Proc. M&C+SNA'93, Vol.1, pp.593-504,1993.

口頭発表 : 1. 永田琴乃, 遠藤知弘, 山本章夫, 第57回日本原子力学会中部支部研究発表会, R23 12月16-17日 (2025).

2. 永田琴乃, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会2026春の年会, 1D03, 3月11-13日 (2026) (発表予定)

3. K. Nagata, T. Endo, A. Yamamoto, Proc. PHYSOR2026, Turin, Italy, Apr.19-23 (2026) (accepted)