

PHITSによる水槽パルス中性子実験の数値解析および不確かさ評価

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 朝倉健太

1. 緒言

近年、核燃料を用いた積分実験の実施が難しい環境になりつつある。このような状況下で評価済み核データを用いた数値解析コードの妥当性を確認するために、核燃料を用いない積分実験を有効活用できないか検討されている。そこで、本研究では即発中性子減衰定数 α に注目した。即発中性子減衰定数 α は、核燃料を用いない中性子非増倍体系においても測定可能なパラメータであり、近年の研究成果として即発中性子減衰定数 α の測定値を活用したデータ同化により数値解析による予測を改善できることも報告されている。本研究では、過去に実施された水槽体系におけるパルス中性子実験[1]をモデルとした計算体系を対象として、①最も厳密な数値解析手法(連続エネルギーモンテカルロ計算)および② ${}^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応断面積を摂動させた ${}^1\text{H}$ 核データを用いることで、核データ不確かさに起因する即発中性子減衰定数 α の不確かさ評価を実施した。

2. 評価手法

連続エネルギーモンテカルロ計算コード PHITS3.20 と評価済み核データライブラリ JENDL-4.0 を用いて、小林らが実施した水槽パルス中性子実験体系を模擬した計算体系(図 1)を作成し、①水槽内の中性子束と② BF_3 検出器内での ${}^{10}\text{B}(n, \alpha)$ ${}^7\text{Li}$ 反応率の時系列データを計算し、非線形最小二乗法を用いて即発中性子減衰定数を求める手順を整備した。しかし、統計精度良く PHITS 計算結果を得るには多くの計算時間を要する時間的制限から、数百以上のサンプル数を必要とするランダムサンプリング法による α 不確かさ評価は困難であるという課題に直面した。そこで、本研究では Unscented 変換のシグマ点を用いた決定論的サンプリング手法[2]を利用することでサンプル数を削減し α 不確かさ評価を実施した。具体的には、 ${}^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応の共分散行列を特異値分解し、元々の共分散行列を再現するような 13 個の断面積摂動量を求め、PHITS 計算の入力となる摂動後 ${}^1\text{H}$ 核データを 13 個作成した。摂動後核データを用いて 3 種類の大きさの水槽体系において、13 ケースずつ PHITS 計算を行い、統計処理によって、 ${}^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応断面積の不確かさに起因する即発中性子減衰定数 α の不確かさを評価した。

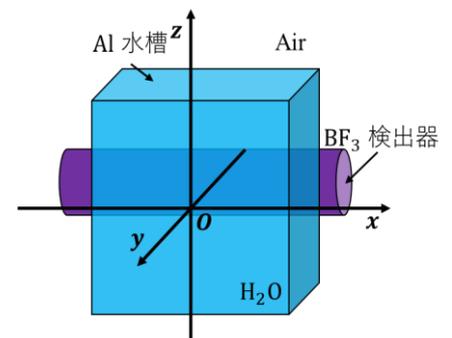


図 1 PHITS 計算体系

3. 結果・考察

即発中性子減衰定数 α の測定値 α_{meas} および 13 ケースの PHITS 計算値の平均(α_{water} , α_{BF_3})と ${}^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応断面積の不確かさ起因の α 不確かさ(絶対標準偏差 σ_{SD})を表 1 にそれぞれ示す。 ${}^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応断面積起因の α 不確かさ σ_{SD} の大きさは約 52 [s^{-1}]であり、水槽体系の大小や PHITS にお

表 1 ${}^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応断面積起因の α 不確かさ

X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	α_{meas} [s^{-1}]	$\alpha_{water} \pm \sigma_{SD}$ [s^{-1}]	$\alpha_{\text{BF}_3} \pm \sigma_{SD}$ [s^{-1}]
17.02	17.02	17.73	8012	8090.9 ± 52.4	8027.4 ± 51.5
12.07	12.06	12.02	11065	11183.7 ± 52.1	11056.4 ± 52.7
4.49	4.51	3.41	44683	47789.2 ± 52.8	45808.3 ± 57.0

ける統計量の取り方にほとんど依存しないことが分かった。本研究を通して、 ${}^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応断面積の不確かさ起因の α 不確かさ評価を実施することはできたが、体系が小さくなるにつれて計算値が測定値より過大評価される傾向がある点について原因を特定できておらず、その原因究明が今後の課題として挙げられる。

参考文献

[1] K. Kobayashi, Y. Seki, N. Mizoo et al, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 3(7), pp.275–288 (1966).

[2] B. Foad, A. Yamamoto, T. Endo, *Ann. Nucl. Energy*, 143, 107493 (2020).