

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

Numerical analysis and uncertainty quantification for pulsed neutron experiments with water tanks by PHITS

*朝倉 健太¹, 遠藤 知弘¹, 山本 章夫¹¹名古屋大学

過去に実施された水槽体系におけるパルス中性子実験を対象として、連続エネルギーモンテカルロ計算コード PHITS を用いて、水を主とした非増倍体系における基本モード成分の即発中性子減衰定数 α の解析を実施した。また、決定論的サンプリング手法によって $^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応断面積を共分散データに基づいて摂動させた ^1H 核データの不確かさに起因する即発中性子減衰定数 α の不確かさ評価を実施した。

キーワード: パルス中性子法, 即発中性子減衰定数, PHITS, 不確かさ評価, 決定論的サンプリング手法

1. 緒言: 現在、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、連続エネルギーモンテカルロ計算コード PHITS と $^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応断面積を摂動させた ^1H 核データを用いて即発中性子減衰定数を計算し、核データ起因の不確かさ評価を行った。

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 と核データ 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(図 1)を模擬し、①水槽内の中性子束と②水槽外部に配置した 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、最小二乗法により即発中性子減衰定数 α を求める手順を整備した。次に SCALE6.2 に付属する $^1\text{H}(n, \gamma)$ 反応断面積の共分散行列を特異値分解し、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]により 13 個の断面積摂動量を求め、FRENDY 付属ツール[3]により ^1H の摂動後 ACE 形式ファイルを 13 個作成した。これらの核データに基づいて、3 種類の大きさの水槽体系に対して核データ起因する即発中性子減衰定数 α の不確かさを評価した。

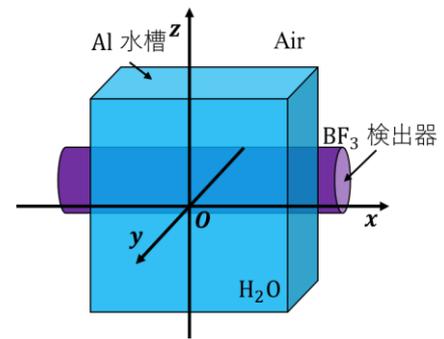


図 1 PHITS 計算体系

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 $^1\text{H}(n, \gamma)$ 核データに起因する不確かさ(絶対標準偏差 σ)を表 1 にそれぞれ示す。 $^1\text{H}(n, \gamma)$ 核データ起因の α 不確かさ σ の大きさは約 50 [s^{-1}]であり、水槽体系の大小や PHITS におけるタリーの取り方にほとんど依存しないことが分かった。本研究を通じて、核データ

表 1 $^1\text{H}(n, \gamma)$ 核データ起因の α 不確かさ

X[cm]	Y[cm]	Z[cm]	α_{meas} [s^{-1}]	$\alpha_{water} \pm \sigma[\text{s}^{-1}]$	$\alpha_{\text{BF}_3} \pm \sigma[\text{s}^{-1}]$
17.02	17.02	17.73	8012	8091 ± 52	8027 ± 51
12.07	12.06	12.02	11065	11184 ± 52	11080 ± 53
4.49	4.51	3.41	44683	47789 ± 53	45808 ± 57

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 α_{water} 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いないため、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).

[3] R. Kondo, T. Endo, A. Yamamoto et al., *Proc. M&C2019*, Aug. 25–29, 2019, Portland, OR (2019).

*Kenta Asakura¹, Tomohiro Endo¹ and Akio Yamamoto¹

¹Nagoya Univ.