

## 非増倍体系における中性子雑音解析を用いた中性子減衰定数 $\alpha$ 測定手法の開発

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 大橋 諒之介

**1. 緒言** 革新炉設計においてはシミュレーション精度の向上が不可欠であり、入力データとなる核データに起因するバイアスと不確かさの低減が求められる。しかし、従来の臨界実験を用いた手法では、非核分裂性核種の選択的な核データ改善が困難である。この課題を解決するため、単体の物質からなる非増倍体系でも測定可能な核特性である「中性子減衰定数 $\alpha$ 」に注目している。これは体系内の中性子数が指数関数状に減衰するときの、時定数の逆数( $s^{-1}$ )を示す核特性である。ただし、 $\alpha$ の代表的な測定手法であるパルス中性子法は、高価な加速器設備を要し、実験コストが高いという課題が存在する。そこで本研究では、パルス中性子法よりも容易に実行できる代替測定技術として  $^{252}\text{Cf}$  表示付認証機器を用いた中性子雑音解析による $\alpha$ 測定手法を新たに開発することを目的とした。本発表では  $^{252}\text{Cf}$  線源を挿入した 3 次元非増倍体系について、中性子雑音解析手法である Rossi- $\alpha$ 法や Feynman- $\alpha$ 法を適用した $\alpha$ 測定手法を提案し、ポリエチレン体系にて実施した中性子雑音測定実験により実証する。さらに、2 つの中性子雑音解析手法による $\alpha$ 測定値の差異を比較する。

**2. 中性子雑音解析** 核燃料を含まない非増倍体系に  $^{252}\text{Cf}$  線源を設置し、そこから放出される中性子を連続的に検出し続けたとする。 $^{252}\text{Cf}$  線源は 1 回の自発核分裂反応により複数個の中性子を同時に放出するため、検出される中性子間には相関が生じ、検出中性子の統計的性質はポアソン分布とは異なることとなる。本研究の理論式導出を通じて、増倍体系で従来適用されてきた炉雑音解析手法が、 $^{252}\text{Cf}$  線源による非増倍体系の中性子雑音測定結果に対しても同様に適用できることを明らかにした。例えば Feynman- $\alpha$ 法[1]の場合、検出時間幅 $T$ 内で中性子計数の平均対分散比の理論式は $Y(T) = \sum_{n=0}^{\infty} Y_{n,\infty}(1 - (1 - e^{-\alpha_n T})/\alpha_n T)$ となる。また Rossi- $\alpha$ 法[2]の場合、2 つの中性子検出時刻の間隔 $\tau$ に関する頻度分布は $P(\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n \exp(-\alpha_n \tau) + C_R$ の理論式で表すことができる。ここで、下添字 $n$ は $n$ 次の空間モード成分を示す。両手法について、高次モード成分( $n \geq 1$ )を簡略化した式を用いて $Y(T), P(\tau)$ の測定値を最小 2 乗フィッティングすることで、目的とする基本モードに対応した減衰定数 $\alpha_0$ を推定できると考えた。

**3. 実験** ポリエチレンブロックを 400 mm × 300 mm × 150 mm の直方体状に積み上げた体系に対して、中性子雑音測定実験を行った。 $^{252}\text{Cf}$  線源 ( $\sim 3.5 \times 10^5$  neutrons/s) は体系中心部の空孔に挿入した。中性子検出には  $\text{BF}_3$  比例計数管を用い、体系上部における検出器位置を変化させて複数回の中性子雑音測定を実施した。各検出器位置の中性子雑音測定は、いずれも 40 時間以上とした。図 1 に Feynman- $\alpha$ 法と Rossi- $\alpha$ 法による各検出器位置での $\alpha$ 測定結果を示す。図 1 より、いずれの手法においても検出器位置によって $\alpha$ 測定値が変化しており、これは空間的な分布の偏りを持つ高次モード成分を、フィッティングの際に無視した影響であると考察した。また Feynman- $\alpha$ 法と比較して、Rossi- $\alpha$ 法は $\alpha$ 測定結果の統計誤差は大きいものの、検出器位置の違いによる $\alpha$ 測定値の変動が小さい傾向が分かった。これは Rossi- $\alpha$ 法の分析手順において、検出器不感時間の影響を回避するためにフィッティングから除外した時間領域に高次モード成分が比較的多く含まれており、結果として高次モード成分の影響を軽減できたためと考察した。

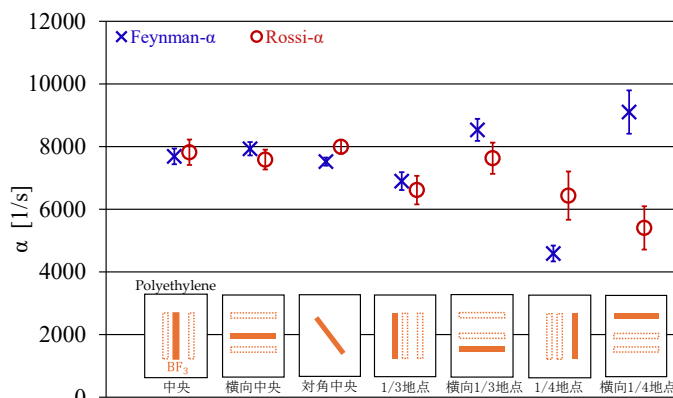


図 1 分析手法や測定位置による測定値の変化

図 1 より、いずれの手法においても検出器位置によって $\alpha$ 測定値が変化しており、これは空間的な分布の偏りを持つ高次モード成分を、フィッティングの際に無視した影響であると考察した。また Feynman- $\alpha$ 法と比較して、Rossi- $\alpha$ 法は $\alpha$ 測定結果の統計誤差は大きいものの、検出器位置の違いによる $\alpha$ 測定値の変動が小さい傾向が分かった。これは Rossi- $\alpha$ 法の分析手順において、検出器不感時間の影響を回避するためにフィッティングから除外した時間領域に高次モード成分が比較的多く含まれており、結果として高次モード成分の影響を軽減できたためと考察した。

**参考文献** [1] T. Endo *et al.*, *Ann. Nucl. Energy*, **33**(6), pp. 521–537 (2006); [2] J. D. Orndoff, *Nucl. Sci. Eng.*, **2**(4), pp. 450–460 (1957).

**口頭発表** : 1. 大橋諒之介, 廣田諒我, 遠藤知弘, 山本章夫, 第 56 回日本原子力学会中部支部研究発表会, R25, 12 月 17 日(2025).

2. 大橋諒之介, 廣田諒我, 遠藤知弘, 山本章夫, AESJ2026 春の年会, 2D21, 3 月 12 日(2026). (発表予定).

3. R. Ohashi, R. Hirota, A. Yamamoto, T. Endo, *Proc. PHYSOR2026*, Turin, Italy, Apr.19–23, 2026. (accepted).