

## 黒鉛の熱中性子散乱則が中性子減衰定数 $\alpha$ に与える影響評価

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 藤城 光祐

**1. 緒言** 安全性に優れた高温ガス炉の核設計には、減速材である黒鉛の核特性の正確な評価が不可欠である。最新の評価済み核データ ENDF/B-VIII.1 には、熱中性子が黒鉛中の C 原子核にどのように散乱されるかを表す核データ (熱中性子散乱則(TSL)データ)として、黒鉛結晶中の空孔率に応じて複数の TSL データが収録されている。TSL データにおける空孔率の違いが核特性に与える影響を調べる際に、実機炉心のような複雑な体系の場合には、炉心のモデル化誤差や燃料核種の断面積誤差などが重なり合うため、TSL データ単独の影響を評価することは困難である。そこで本研究では、他の不確かさ要因を排除するため、核燃料を含まない黒鉛単体の体系で測定可能な固有な核特性である「中性子減衰定数 $\alpha$ 」に注目した。本研究では、先行研究の黒鉛パルス中性子実験[1]を対象に、データ同化に向けた予備検討として、TSL データにおける空孔率の違いが核計算コードによる $\alpha$ 計算結果に与える影響を調査するとともに、 $\alpha$ 実験値との比較により計算手法の妥当性の評価を実施した。

**2. 計算条件** 先行研究のパルス中性子実験で用いられた黒鉛体系(40 cm × 40 cm × 40 cm)を対象として、中性子輸送計算コード GENESIS を用いて $\alpha$ 固有値計算を実施した。温度は室温(296 K)とし、TSL データの影響のみを調べるため、黒鉛密度は空孔率に依らず先行研究の値(1.60 g/cm<sup>3</sup>)に統一した。まず、TSL データの有無が $\alpha$ に与える影響を調べるため、TSL を考慮しない Free-Gas モデルによる計算を行った。次に、最新の評価済み核データ ENDF/B-VIII.1 を用いて、4 種類の異なる空孔率(0, 10, 20, 30%)の TSL データそれぞれを使用して $\alpha$ 固有値を求めた。計算時間短縮のため、体系の対称性を利用し、実際の寸法の 1/8 体系(x, y, z 方向の片方を真空境界、対面を完全反射境界)を設定した。空間メッシュ分割数は20 × 20 × 20、エネルギー群数は 401 群とした。角度方向の離散化については、方位角方向(0-2 $\pi$ )を 64 分割、極角方向(0- $\pi$ )を 8 次のガウス・ルジャンドル分割とし、散乱断面積と仮想中性子源の非等方性については輸送補正近似を適用した。べき乗法による $\alpha$ 固有値の収束判定基準は10<sup>-6</sup>とした。

**3. 計算結果** GENESIS による $\alpha$ 固有値計算の一部を図 1 に示す。TSL の有無により、中性子束エネルギースペクトル $\phi(E)$ の形状に影響を与えることが分かった。結晶構造を無視した Free-Gas モデルの場合には、 $\phi(E)$ は熱平衡に達したマクスウェル分布に近い形状となった。一方、TSL データ(0%, 20%)を用いた計算では、黒鉛の結晶構造による Bragg 回折(干渉性弾性散乱)や非弾性散乱を考慮することで、 $\phi(E)$ はマクスウェル分布とは異なる形状となった。特に、図 1 の灰色破線で示された Bragg cut-off ( $E_B \approx 1.8 \times 10^{-3}$  eV)の位置において、 $\phi(E)$ がステップ状に変化することが確認された。これは、黒鉛の干渉性弾性散乱断面積が Bragg cut-off 以下のエネルギー領域で急激にゼロになるためである。また、空孔率の増加により黒鉛の結晶性が乱れ、Bragg 回折による干渉性弾性散乱が減少するため、 $\alpha$ 固有値は増加する傾向となった。なお、TSL を考慮した計算では冷中性子領域(10<sup>-5</sup>-10<sup>-4</sup> eV)に $\phi(E)$ のピークが生じており、これが体系内に中性子を閉じ込める効果として働き、漏洩を過小評価した結果、 $\alpha$ 固有値は実験値に比べて小さく評価されたと考えられる。今後の課題として、パルス中性子実験を模擬したモンテカルロ計算を実施することで、 $\alpha$ 固有値計算の更なる検証を行う。

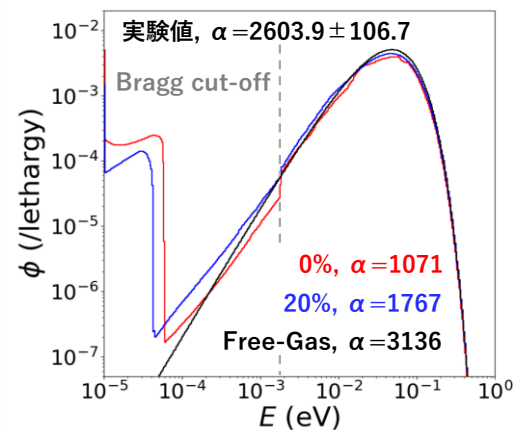


図 1  $\alpha$ 固有値(s<sup>-1</sup>)及び中性子束エネルギースペクトル

**参考文献** [1] J. Mitsui and K. Sugiyama, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **10**(1), pp. 1-9 (1973).

**口頭発表** : 1. 藤城光祐, 山本章夫, 遠藤知弘, 第 57 回日本原子力学会中部支部研究発表会, R25, 2025 年 12 月 17 日.

2. 藤城光祐, 山本章夫, 遠藤知弘, AESJ2026 春の年会, 2D05, 2026 年 3 月 12 日. (発表予定).

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