

# 水体系における即発中性子減衰定数の決定論的数値解析手法に関する検討

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 野口 晃広

**1. 緒言** 従来、評価済み核データの更新や数値解析結果の妥当性を確認するための積分実験として、臨界実験が有効活用されてきた。しかし、国内外において臨界実験の実施が難しくなりつつある状況を見据え、核燃料の無い非増倍体系でも測定可能な「即発中性子減衰定数 $\alpha$ 」を活用することに注目した。ここで $\alpha$ とは、体系内で発生した中性子数が  $1/e$  に減少するまでの時間の逆数を表す時定数である。核燃料物質を含んだ増倍体系における $\alpha$ の数値解析手法については $\alpha$ -k反復解法等が既に確立されているが、非増倍体系における $\alpha$ を計算可能な数値解析コードは現状存在しない。そこで本研究では、臨界性に大きな影響を及ぼす物質である軽水のみから成る体系を対象とした $\alpha$ の決定論的数値解析手法として、「拡散理論」と「輸送理論」に基づいた $\alpha$ の数値解析手法に関して検討し、プログラミング言語 Python を用いて計算コードを試作した。そして、試作した計算コードによる $\alpha$ 計算値を先行研究[1]による $\alpha$ 実験値と比較することで妥当性確認を行った。

**2. 計算コード開発および検討内容** まず、時間依存拡散方程式に基づいて、拡散近似および形状バックリングによる漏れ近似を利用することで $\alpha$ 固有値方程式を導出し、固有値分解を利用して $\alpha$ を求める数値計算コードを試作した。しかし、試作した拡散計算コードを用いて、水のみから成る直方体体系(先行研究[1]で実施された水槽体系におけるパルス中性子実験を模擬した体系)における $\alpha$ 固有値を計算し、実験値と比較したところ、水槽寸法が小さく中性子漏洩量が大きくなるにつれて、 $\alpha$ の計算値と実験値に誤差が生じることが確認された。そこで、中性子飛行方向も厳密に取り扱った輸送理論に基づく $\alpha$ 固有値計算手法として、Sn 法とべき乗法に基づいた $\alpha$ 固有値計算コードを新たに試作した。ただし、厳密な輸送計算の場合には、空間変数 $x, y, z$ 、エネルギー変数 $E$ 、飛行方向の角度変数 $\theta, \phi$ について細かく分割する必要がある、実用的な計算時間で数値解を得られないという問題に直面した。その問題を解決するため、①1/8 対称性を利用した空間メッシュ数の削減、②一点炉加速法によるべき乗法反復回数の削減、③Numba/JIT により計算コード内の処理が重い関数に対し JIT コンパイラを作用させる、といった工夫を施すことで、約 5000 倍の計算高速化を実現できた。このように改良した輸送計算コードを用いて、水のみから成る直方体体系について $\alpha$ 固有値を計算し、 $\alpha$ 実験値と比較することで妥当性確認作業を実施した。

**3. 結果・考察** 拡散理論と輸送理論に基づき開発した計算コードの妥当性確認を実施した結果を図1に示す。図1において、プロットされた点が右斜め45度に引かれた直線からずれていないほど、誤差が大きいことを示す。結果としては、比較的精度の良い結果が得られ、概ね計算コードの妥当性は確認できた。ただし最大で9%程度の誤差が生じており、その原因として、入力として与えた非等方散乱断面による影響等が挙げられると考察した。また、拡散近似による $\alpha$ 計算値の結果に対する影響は最大でも約3%であることも分かった。課題点としては、今回入力核データとして活用した JENDL-4 以外の核データを利用した場合に、結果が改善されるかを検証すること等が挙げられる。

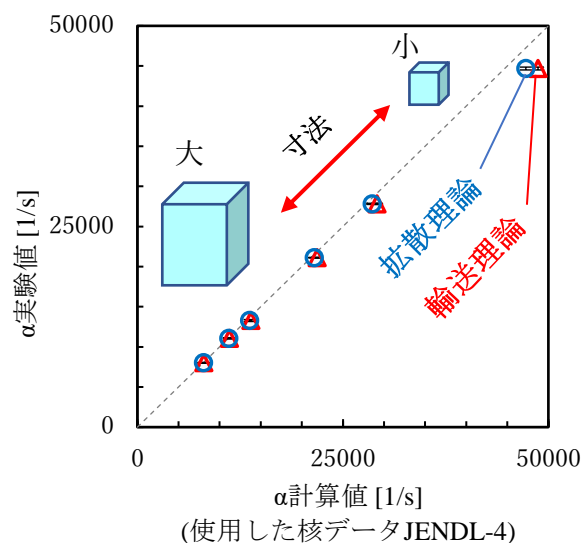


図1  $\alpha$ 計算値と実験値の比較

参考文献：[1] K. Kobayashi et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **3**(7), pp.275–288 (1966).

発表実績：野口晃広, 遠藤知弘, 山本章夫, 第52回日本原子力学会中部支部研究発表会, online, 12月, (2020).