

1. 緒言

即発中性子減衰定数 α とは、体系内に存在する中性子数が $1/e$ 倍に減少するまでの時定数の逆数に対応する核特性である。近年、中性子非増倍体系でも測定可能な即発中性子減衰定数 α を、数値解析結果の妥当性確認や、データ同化による評価済み核データ更新に活用する手法が模索されている。ただし、決定論的手法に基づいた即発中性子減衰定数 α の固有値計算を考えた場合、輸送計算の反復法に多くの計算時間を要するため、少ない角度分割数で済む高精度な角度分点や、拡散加速法の実装および反復計算の高速化が必要となる。また、水素原子核を多く含む水槽体系のように、非等方散乱が核特性に影響を及ぼす体系では、 k_{eff} 計算と同様に非等方散乱中性子源を精度良く取り扱う必要もある。以上の課題を解決するため、本研究では GPGPU を利用した高速な計算が可能な、非等方散乱中性子源を考慮した S_N 法による α 固有値計算コードを開発した。

2. GPGPU を用いた α 固有値計算コードの実装

GPGPU とは、画像処理装置である GPU を数値計算等に利用する技術であり、様々な物理シミュレーションや機械学習など広い分野で活用が進んでいる。本研究では GPGPU による並列計算向けプラットフォームの1つである CUDA を利用して、特に計算コストの高い①角度中性子束の更新を行う transport sweep、②非等方散乱中性子源の更新、③拡散加速計算、以上3つの処理を改善した計算コードを新たに開発した。

GPU の性能を活用するには大量のデータに対して並列に処理する必要があるため、transport sweep の実装では、エネルギー、中性子飛行方向、空間メッシュについて計算を並列化した。ここで、transport sweep を飛行方向について並列化する場合、高次の非等方散乱を取り扱うために必要な各次の中性子束モーメント ϕ_m^l を計算する際にスレッド同士で操作が競合する。そのため、高い実行コストを伴う不可分操作が多数回必要であり、演算性能低下が課題となり得る。そこで本研究では、shared memory(GPU の小容量・高速なメモリ)を利用したうえで、各スレッドが計算する展開次数の組 (l, m) をずらして競合を回避することで、必要な不可分操作の回数の削減を図った。これにより改善前の transport sweep コードに比べ約 2.8 倍の性能が達成できた。

3. 計算結果

開発したコードの有効性および妥当性を確認するため、過去実験[1]の水槽体系について非等方散乱を P7 成分まで考慮した α 固有値計算を実施した。最大寸法の水槽体系について、エネルギー172 群、飛行方向分割数 1200、空間メッシュ数 36^3 の条件下で計算を実施したときの CPU・GPU コードによる計算時間の内訳を図に示す。GPU を用いることで CPU を用いた場合よりも全体で約 14.9 倍の高速化を実現した。また、CPU・GPU コードの収束解が一致し、実験値[1]とよく一致することを確認した。以上より、GPGPU を用いた決定論的手法に基づく α 固有値計算の高速化を実現することができた。

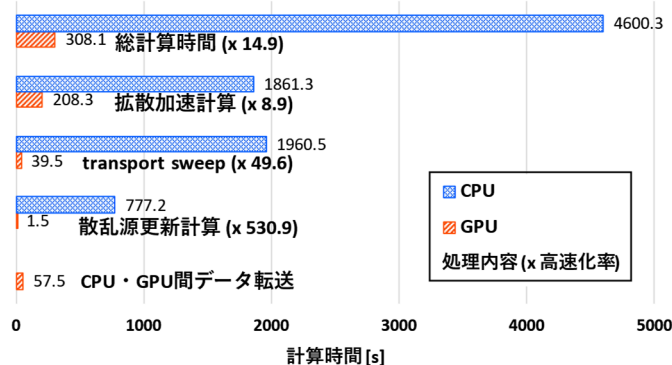


図 計算時間内訳の比較

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

口頭発表: 1. 山口響, 他, 日本原子力学会 2023 年春の年会, IK09, 3 月 13–15 日 (2023); 2. 山口響, 他, 日本原子力学会 2023 年秋の大会, 1M10, 9 月 6–8 日 (2023); 3. H. Yamaguchi, et al., *Proc. RPHA2023*, B-2-9, Gyeongju, Korea, Oct. 24–26 (2023); 4. 山口響, 他, 日本原子力学会 2024 年春の年会, 3 月 26–28 日 (2024) (発表予定);