

1. 緒言

現在運転されている軽水炉の炉心は、数百体の燃料集合体によって構成されている。これら燃料集合体は、それぞれ燃焼度や種類が異なるため、炉心内の配置によって、炉心の核特性は変化する。そのため、炉心の安全性や経済性は燃料配置に影響される。原子炉の運転開始前には、運転に適した燃料配置を決定する必要がある。一方、取り得る燃料配置の組み合わせの数は膨大な数になるため、効率的な探索にあたっては炉心計算の計算コストを低減することが望まれる。そこで本研究では、並列計算を高速に行える GPU を利用することで、多数の炉心について炉心計算を行い、燃料配置の最適化計算を高速化する検討を実施した。

2. GPGPU(General Purpose Computing on GPU)

GPU(Graphics Processing Unit)とは、コンピュータに搭載される演算装置の1つで、本来は画像処理を担当するプロセッサである。GPUはCPUに比べ、はるかに多い演算用のコアを有し、並列処理を得意としている。近年はGPUを画像処理だけでなく汎用計算に用いる試みが進められており、この技術はGPGPUと呼ばれている。本研究はGPGPUを原子炉炉心計算に応用する。本研究では、OpenCLを用いて、GPUでの計算を実現する。

3. GPU を利用した炉心計算の実装方法

燃料配置が適切かどうか評価するためには、炉心計算により炉内の中性子束分布を求める必要がある。有限差分法に基づいた炉心計算の場合、炉心はメッシュに分割されて表現される。このメッシュに、スレッドとよばれる計算単位を割り当てる。GPUは多数のスレッドを同時実行できるため、炉心のメッシュ分割を粗くし、メッシュ数を少なくすることで、図1のようにGPUが異なる燃料配置の炉心を同時に解析することができる。最適化のためには異なる炉心を何度も解析する必要があるが、複数炉心の同時解析によって最適解の探索を高速に行うことができる。

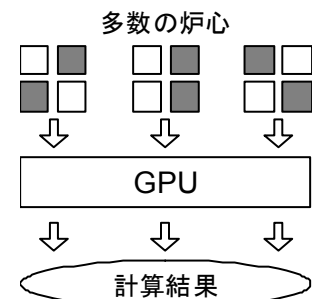


図1 炉心並列化の概念図

4. 最適解の探索方法

最適解の探索は、山登り法と二体交換によって行われる。初期値としてランダムな燃料配置を与え、炉心計算を行い炉心の評価値を得る。燃料の二体交換を行って炉心の評価値が改善すれば、その炉心に対し再び二体交換を行い、悪化した場合は二体交換前の配置に戻し、別の二体交換を試みる。この繰り返しにより評価値の高い燃料配置が得られる。本研究では最大相対出力を評価値として、出力分布の偏りが小さな燃料配置を探索した。

5. 検証計算

3ループPWR炉心を対象として検証を実施した。1/4炉心を9×9メッシュに分割し、エネルギー1群の拡散計算により炉心計算を行い、燃料配置の最適化を実施した。二体交換の回数は最大500回、並列計算される炉心の数を1024個とし、最大相対出力を最適化対象とした。二体交換の回数に対する最大相対出力の改善結果を図2に、CPUと比較したGPUの計算速度を表1に示す。表1より、GPUによる最適化計算はCPUと比較して28倍高速であり、本手法の有効性を確認することができた。

表1 計算速度比較

CPU[秒]	GPU[秒]	相対速度[-](GPU/CPU)
44.13	1.57	28

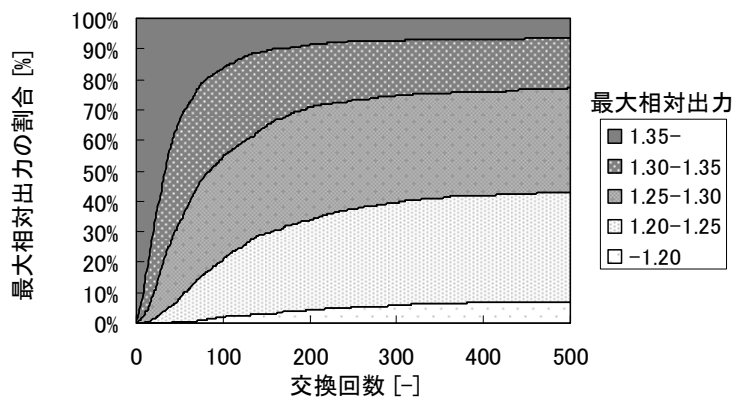


図2 山登り法による最大相対出力の改善結果

発表実績 大久保卓哉、遠藤知弘、山本章夫 日本原子力学会中部支部第45回研究発表会、R16、2013年12月

論文投稿 T. Okubo, T. Endo, A. Yamamoto, A MULTI-LEVEL PARALLEL COMPUTATION OF REACTOR CORES USING GPU FOR LOADING PATTERN OPTIMIZATION, PHYSOR2014[submitted]

発表予定 大久保卓哉、遠藤知弘、山本章夫 日本原子力学会 2014年春の年会、2014年3月