

# 中性子束の空間勾配を利用した輸送計算手法の開発

エネルギー量子制御工学グループ 加納慎也

## 1. 序論

原子炉の核的な特性（出力分布、反応度等）は、炉内に存在する中性子の挙動によって決定される。中性子の挙動は、中性子輸送方程式と呼ばれる方程式に従う。したがって、この中性子輸送方程式を解くことができれば、原子炉の核的な特性を決定することができる。しかし、原子炉の複雑な構造を直接モデル化して、中性子輸送方程式を解くことは現在の計算機の能力を持ってしても、ほとんど不可能であるといえる。そのため、通常は炉心内の構造を、Figure 1 のように、単純なものに近似して計算を行う。（Figure 1 は、原子炉を上から見たものであり、図中の四角形が1つの燃料集合体を示している。）現在では、このような炉心体系における中性子輸送方程式を解くための輸送計算手法として、Discrete Ordinate 法や Nodal Discrete Ordinate 法といった手法が存在している。ただ、これらの手法には、計算精度が低い、もしくは安定性が悪いといった問題点があることが指摘されている。本研究では、その問題点を解決するために、Discrete Ordinate CIP 法という新たな輸送計算手法を開発した。この手法は、Discrete Ordinate 法と他分野で用いられている Constrained Interpolation Profile (CIP) 法<sup>[1]</sup>という計算手法とを組み合わせた計算手法である。

## 2. Discrete Ordinate CIP 法の概要

従来の計算手法では、中性子輸送方程式を解く場合、中性子束（中性子の密度にその速度を乗じたもの）のみを未知数として計算を行う。それに対し、Discrete Ordinate CIP 法では、中性子束に加え、その空間勾配も未知数として取り扱う。今回検証を行った2次元の検証計算では、中性子束とそのx,y方向の空間微分を未知数として計算を行っている。この場合、未知数の数は従来の計算手法よりも増加するが、より高次の差分方程式を作ることが可能になるため、高い計算精度を得ることができる。

## 3. 検証計算

Discrete Ordinate CIP 法 (DOCIP) の有効性を調べるために、Figure 1 で示した2次元体系の固有値計算を行った。Figure 2 にその計算結果（実効増倍率  $k_{\text{eff}}$  の相対誤差）を示す。ただし、ここには比較のために Discrete Ordinate 法 (DOM) による計算結果も示してある。

Figure 2 を見ると、Discrete Ordinate CIP 法による計算結果は、Discrete Ordinate 法による計算結果に比べ、同じノード（メッシュ）サイズでも1~3桁程度高い計算結果を示していることが分かる。この結果から、Discrete Ordinate CIP 法の有効性を確認することができた。

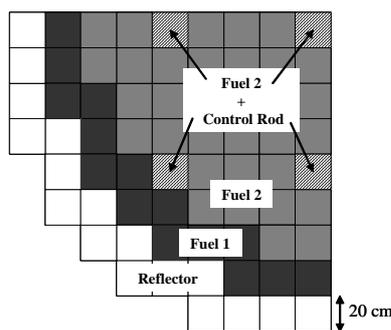


Figure 1 計算体系(1/4のみ)

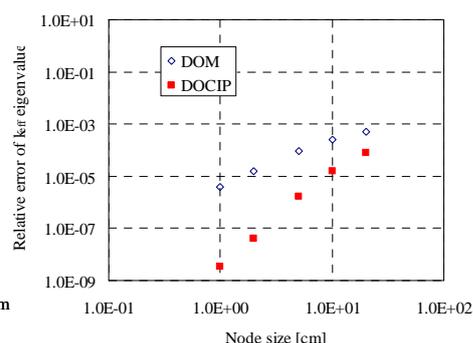


Figure 2 実効増倍率  $k_{\text{eff}}$  の誤差

## 4. 結論

本研究では、従来から原子炉物理で用いられている輸送計算手法と他分野で用いられている計算手法を組み合わせることによって、新たな計算手法（Discrete Ordinate CIP 法）を開発した。その性能を調べるために、検証計算を行った結果、従来法に比べて、1~3桁程度の精度の向上が可能であるということが分かった。

参考文献 [1] T.Yabe, et al, "Constrained Interpolation Profile Method for Multiphase Analysis," J.Comput.phys., 169 (2001) pp.556-593

公刊論文 [1] 加納慎也, 他, "Constrained Interpolation Profile (CIP) 法の中性子輸送方程式への適用," 日本原子力学会中部支部第38回研究発表会 (2006)