

1. 緒言 原子炉の挙動を詳細に評価するためには、炉内を飛行する中性子の振る舞いを把握する必要がある。そのため炉心解析は、炉内の中性子の振る舞いを記述する Boltzmann 輸送方程式を数値的に解き、中性子の速度と密度の積で定義される中性子束を求めることで行われる。この Boltzmann 輸送方程式の解法の中で近年注目を集めているものに Method of Characteristics (MOC)がある。MOC とは、中性子の飛行方向を体系内に引かれた無数の直線で表すことで離散化し、この直線上で中性子の生成・消滅を計算することで中性子束を求める手法である。MOCを用いた場合、幾何形状の近似を必要としないため高い計算精度で中性子束の数値解を得ることができる。しかし、MOCによる3次元全炉心解析は膨大な計算時間と計算機メモリを必要とするため、実用化されていない。3次元全炉心解析に対してMOCを適用するための改良手法として、Axially Simplified Method of Characteristics 3D (ASMOC3D) が過去に提案されている。ASMOC3Dは計算体系に多数の平面領域を作成し、その平面領域内で中性子の収支を計算することで解析を行う手法である。この手法は、非均質な計算体系を3次元体系で取り扱える一方で、作成された各平面領域内で単純化した Boltzmann 輸送方程式を解いているため、中性子束の変化が大きな空間領域において計算精度が悪化するといった問題がある。そこで、本研究ではASMOC3Dにおける平面領域内の輸送計算手法を改良し、計算効率を悪化させずに計算精度を向上させるための方策を検討する。

2. 改良点 ASMOC3Dにおいて平面領域の中性子収支は、中性子束を角度に対して離散化した角度中性子束を用いて、メッシュ内での中性子の生成・消滅量とメッシュ境界での流入・流出量から計算される。このとき、メッシュ境界における角度中性子束は経験に基づく工学的近似を用いて位置に対する1次関数として表現されており、この近似は適切ではない可能性がある。そこで、本研究における手法では、メッシュ境界における角度中性子束をルジャンドル多項式を用いて解析的に導出し、2次関数で表現する。このようにすることで、メッシュ境界における角度中性子束をより厳密に評価することができ、解の精度を高めることができる。また、空間の離散化誤差が低減されるためにメッシュ分割数を減らすことができ、計算時間の短縮を図ることができる。

3. 検証計算 ASMOC3Dにおいて作成される平面領域を想定した、幅10cmの正方形の燃料を真空中に設置した Fig. 1 の体系において、メッシュ右側境界から角度 $\pi/4$ 方向に放出される角度中性子束 $\psi^{out}(y)$ を、本研究における考案手法により関数展開の次数を0次から2次まで変化させて計算した。また、参照解として直接MOCを適用した場合の角度中性子束の計算結果を使用した。この計算によって得られた結果を縦軸に角度中性子束 $\psi^{out}(y)$ 、横軸に境界の中点を原点とする位置 y を取りプロットし、Fig. 2 に示した。なお、この計算では体系の中性子源の積分値が1となるよう規格化を行っている。Fig. 2 に示す通り、中性子束の展開次数を高めることでより詳細に角度中性子束を表現できるようになっていることが分かる。

4. 結言 3次元の全炉心に対し適用可能なMOCによる炉心解析手法を開発するために、ASMOC3Dに注目し、この手法における角度中性子束の計算方法の改良方法を考案した。また、考案手法の有効性を確認するために検証計算を行った結果、メッシュ境界における角度中性子束の展開次数を高めることでより詳細に解を表現できることが示され、考案手法の有効性を確認することができた。

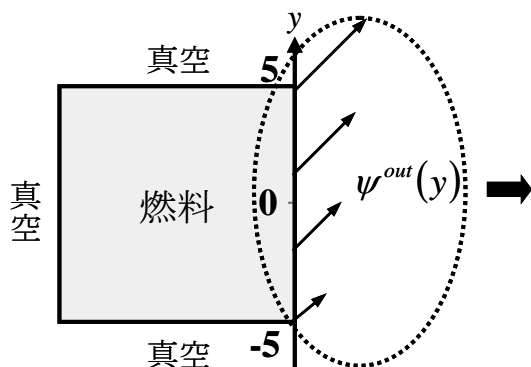


Fig. 1 計算体系

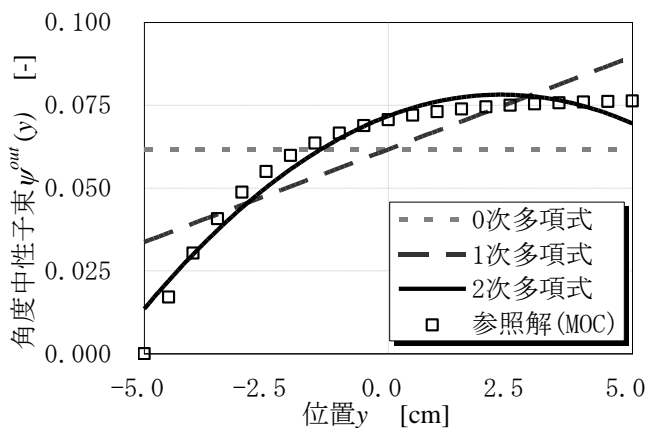


Fig. 2 右側境界における角度中性子束の空間分布