

Characteristics 法に基づいた輸送計算手法の高精度化の検討

エネルギー量子制御工学グループ 田渕将人

序論 商業用軽水炉では、炉心内に百体以上の燃料集合体が装荷され、運転が行われる。装荷される燃料集合体はそれぞれが互いに異なった性質を持っており、燃料の配置方法（以下燃料装荷パターン）によって炉心の安全性や経済性は大きく左右される。数多くの燃料装荷パターンが存在する中で、安全性が保障され、かつ、できるだけ経済性の良い燃料装荷パターンが選択される。このとき、炉心の安全性や経済性は計算によって見積もられており、この計算のことを炉心計算と呼ぶ。炉心計算の計算誤差は、運転の経済性に悪影響を与えることが知られており、計算誤差の低減は経済性の観点から重要な課題である。近年、計算機の発達に伴い、characteristics法（以下MOC）という炉心計算手法が注目されてきている。MOCは現行の炉心計算手法に比べ、近似が少なく高精度な解が得られるという特長があり、新たな炉心計算手法として期待が高まっている。しかし、MOCは計算に多大な時間を要するため、現状ではこの手法を用いて炉心計算を行うことは現実的ではなく、MOCの計算の高速化が求められている。高速化の手段の1つとして、より高精度な計算モデルの構築が挙げられる。これは、高精度化によって計算時間の短い簡易な計算条件であっても高精度な結果を得ることができれば、計算時間を短縮でき高速化が達成できるということを意味している。そこで、本研究では、計算手法の高精度化について検討を行った。

新たな極角分点セットの作成 炉心の核特性は中性子の挙動によって決まる。したがって、炉心計算では炉心内の中性子の振る舞いを予測する計算を行っている。原子炉内の中性子は様々な方向に飛び交っているが、MOCでは中性子の飛行方向をいくつかの線で代表させる。それぞれの線上で中性子の消滅、生成を求め、それらを数値積分することで実効増倍率や中性子束分布など炉心にとって重要な量を得ることができる。本研究では、MOCの高精度化を図るため、誤差要因として比較的重要度の高い極角方向の数値積分誤差に着目した。極角方向の数値積分は、代表的な角度とその重みを設定し、(1)式のようにガウス積分によって行われる。ただし、中性子の飛行方向とz軸とのなす角を θ とし、 $0 \leq \theta \leq \pi/2$ の範囲を N_{polar} 個の角度で代表させたときのi番目の角度を θ_i 、その重みを ω_i とする。

$$\int_0^{\pi/2} f(\theta) \sin \theta d\theta \approx \sum_{i=1}^{N_{polar}} \omega_i f(\theta_i) \quad (1)$$

(1)式中の θ_i 、 ω_i の組み合わせを極角分点セットと呼び、極角方向の数値積分誤差（(1)式の左辺と右辺の差）は極角分点セットによって決まる。これまでも極角分点セットに関する研究が行われ、すでにLeonardらによって最適極角分点セットが考案され、広く使われてきた¹⁾。しかし、Leonardの分点セットには、計算体系によっては精度が悪化するという問題点があった。そこで、本研究ではLeonardの手法とは異なる最適化スキームを考え、新たに極角分点セットを作成した。さらに、作成した分点セットを用いて検証計算を行った。今回考案した最適化スキームとは、極角方向の数値積分誤差がゼロである別の計算手法を参考にしたものである。

検証計算とその結果 新たに作成した分点セットの有用性を確認するため、検証計算を通して既存の分点セットとの比較を行った。計算体系は UO_2 とMOXの燃料集合体が8体ずつ混在し、それらの集合体の周りを軽水が囲っている体系である。その計算体系の4分の1だけを示した図がFig.1である。比較する既存の分点セットとしては、等分割分点セット(UDA)、ガウスルジャンドル分点セット(GL)、Leonardの分点セット(L_OPT)を考える。また、新たに作成した分点セットをTY_OPTと呼ぶことにする。それぞれの分点セットについて分点数を2および3に設定し、自作のMOCのプログラムを用いて計算を行った。その結果をTable1、Table2に示す。参照値には分点数16のGLでの計算結果を用いた。Table1、Table2より、TY_OPTが既存のどの分点セットよりも有効であることが確認できた。また、追加の計算によって、TY_OPTを用いれば、既存の分点セットの半分以下の分点数でそれと同等の精度が得られることが確認できた。したがって、TY_OPTによって計算時間を半分以下に短縮することができ、これにより2倍以上の計算の高速化に成功した。

結論 従来法とは異なる最適化スキームによって極角分点セットを作成し、検証計算を通してその有用性を確認した。新たな極角分点セットTY_OPTの開発により、2倍以上の計算の高速化を行うことができた。

今後の課題 今後の課題として、①極角方向の数値積分誤差以外の誤差要因についての検討、②簡易な計算で詳細な計算結果を再現するequivalence factorの検討の2点が挙げられる。

参考文献 1) A. Leonard, C.T. McDaniel, "Optimal Polar Angles and Weights," Trans. Am. Nucl. Soc., **73** 171 (1995).

公刊論文

- 1) 田渕将人, 他, "次世代非均質輸送計算システム AEGIS の開発(5): 新たな最適極角分点セットの作成," 日本原子力学会 2005 年秋の大会, (2005).
- 2) M. Tabuchi, et al., "Yet Another Optimum Polar Angle Quadrature Set for the Method of Characteristics," 2005 American Nuclear Society Winter Meeting, (2005).

UO₂燃料集合体 MOX燃料集合体

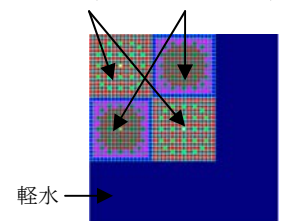


Fig.1 計算体系(1/4のみ)

Table 1 計算結果(分点数 2)

	実効増倍率	燃料棒出力	
		自乗平均差異	最大差異
UDA	-0.331%	1.263%	4.499%
GL	-0.011%	0.168%	-0.341%
L_OPT	0.097%	0.437%	-1.198%
TY_OPT	-0.005%	0.069%	-0.135%

Table 2 計算結果(分点数 3)

	実効増倍率	燃料棒出力	
		自乗平均差異	最大差異
UDA	-0.160%	0.581%	2.151%
GL	-0.011%	0.085%	-0.165%
L_OPT	0.022%	0.085%	-0.236%
TY_OPT	-0.001%	0.003%	-0.005%